

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 79 (1953)  
**Heft:** 9-10: École polytechnique de l'Université de Lausanne: publication du centenaire 1853-1953, fasc. no 1

**Artikel:** Amélioration du rendement des installations publiques d'eau potable moyennant le remplacement des pompes élévatoires et la protection des canalisations contre la corrosion

**Autor:** Sunnen, Théo

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-59761>

### **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:** 14.01.2026

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

## AMÉLIORATION DU RENDEMENT DES INSTALLATIONS PUBLIQUES D'EAU POTABLE moyennant le remplacement des pompes élévatoires et la protection des canalisations contre la corrosion

par M. THÉO SUNNEN, ingénieur, Dr ès sc. techn. de l'EPUL ;  
directeur des Syndicats d'Eau du G. D. de Luxembourg.

Dans la communication ci-dessous, nous n'avons pas la prétention de traiter, dans son ensemble, le vaste problème de l'amélioration du rendement des installations publiques d'eau potable. En effet, une étude d'ensemble devrait porter sur les nouvelles méthodes d'enrichissement des captages, l'aménagement le plus rationnel des usines élévatoires, le choix et l'installation des compteurs d'eau, la nature des matériaux à employer pour les canalisations, la confection des joints des tuyauteries, la surveillance des réseaux d'eau, etc.

Nous nous bornerons donc à examiner deux aspects bien définis du problème que nous avons trouvés comme particulièrement intéressants, au point de vue du rendement et qui sont : 1° le remplacement, au bout d'un certain temps, des pompes destinées à refouler les eaux des usines élévatoires jusqu'aux réservoirs de distribution et 2° la protection des tuyauteries contre les corrosions. Comme on le verra, les deux moyens ci-dessus nous ont permis d'améliorer sensiblement le rendement d'anciennes installations et de réaliser des gains financiers considérables.

### 1. Remplacement, au bout d'un certain temps, des pompes élévatoires

Ici, il y a lieu de distinguer entre les deux méthodes suivantes :

#### A. Transformation des pompes en vue de la réadaptation de leurs courbes caractéristiques aux caractéristiques du réseau des conduites d'eau.

Très souvent, les organismes distributeurs d'eau, après une certaine période de marche initiale, se voient obligés d'apporter des modifications aux caractéristiques de leurs conduites de refoulement, soit en ajoutant à la première conduite de refoulement, devenue trop faible ou trop usée, une deuxième conduite de refoulement, soit en prélevant sur les conduites de refoulement des proportions d'eau relativement importantes pour l'alimentation de nouvelles localités situées entre l'usine élévatoire et le réservoir d'eau principal, soit encore en changeant le régime de fonctionnement des pompes élévatoires pour des raisons de tarif d'électricité, d'augmentation de la consommation ou autres. Dans bien des cas, la conduite de remplacement présente une rugosité fortement différente de celle de la conduite primitive (par exemple, éternit à la place de fonte ou d'acier). Il va sans dire que toutes ces modifications exercent une influence sur les frottements produits dans les conduites de refoulement, donc aussi sur la hauteur manométrique imposée aux pompes. Cette

influence est surtout très sensible dans les installations où les pertes par frottement constituent une partie importante de la hauteur manométrique totale à produire.

Il peut même arriver que, par suite d'un excès de prudence, les résultats des premiers nivellements opérés entre l'usine élévatoire et le réservoir principal aient été fortement arrondis vers le haut ou bien que la perte de charge spécifique, dans les conduites de refoulement, ait été admise trop grande, par suite de l'emploi de coefficients de frottement non conformes à la nature du métal entrant dans la fabrication des conduites de refoulement.

Il y a, enfin, le facteur d'incrustation qui, dans le cas des eaux agressives surtout, peut jouer un grand rôle après plusieurs années de service.

Une première conclusion qui se dégage de ces considérations, c'est qu'il faut communiquer au constructeur d'une pompe tous les renseignements relatifs aux conditions extrêmes de fonctionnement, en particulier : les niveaux de déversement, tous les niveaux de l'aspiration (en charge ou en dépression), les caractéristiques de la conduite d'aspiration, les caractéristiques de la conduite de refoulement, les limites du débit demandé à la pompe, le débit correspondant au rendement optimum, les valeurs extrêmes présumées de la perte de charge dans la conduite de refoulement, l'assujettissement de la marche en parallèle avec d'autres pompes et, en outre, le mode d'entraînement désiré, la nature du courant disponible et le nombre de tours préféré. La méthode consistant à ne communiquer que les conditions « normales » de fonctionnement et de prévoir tout simplement un moteur d'entraînement d'une puissance de 10 à 20 % supérieure à la valeur qui correspond au rendement optimum du groupe peut conduire à des déboires gros de conséquences.

Cependant, bien que toutes les données ci-dessus aient été communiquées au constructeur de la pompe, il arrive très fréquemment que pour les raisons mentionnées plus haut, on soit amené, après un certain temps, à réadapter les courbes caractéristiques d'une pompe à de nouvelles conditions. Personnellement, nous avons eu affaire, en 1940, à une installation dans laquelle, à la suite du concours de plusieurs des circonstances précédentes, quatre pompes centrifuges construites primitivement pour une hauteur manométrique de 166 m, n'avaient plus à vaincre qu'une hauteur manométrique comprise, suivant les conditions de marche, entre 133 et 149 m. Pour adapter les pompes aux nouvelles caractéristiques du réseau de refoulement,

nous pouvions recourir à l'une ou l'autre des solutions suivantes :

- faire varier la vitesse des moteurs accouplés avec les pompes ;
- réduire le diamètre des roues mobiles en rognant, au tour, une certaine partie des aubes tout en conservant les dimensions initiales des joues des roues ;
- fermer partiellement les vannes installées sur les tubulures de refoulement des pompes ;
- remplacer les roues à aubes mobiles et les roues directrices ;
- installer de nouvelles pompes avec, le cas échéant, de nouveaux moteurs de commande.

Or, un changement de vitesse des moteurs existants, du type asynchrone triphasé, n'aurait pas été réalisable économiquement. Par ailleurs, cette solution, tout comme la deuxième solution indiquée, aurait eu pour effet de faire descendre la courbe caractéristique  $Q-H$  (courbe de la hauteur manométrique en fonction du débit des pompes) à peu près parallèlement à son allure initiale. Nous nous serions exposé alors au risque de ne plus pouvoir faire travailler les pompes exceptionnellement, comme par exemple en cas d'avarie sur l'une des deux conduites de refoulement, contre des hauteurs manométriques bien supérieures à la valeur normale. En outre, nous aurions été gênés, dans l'opération du rognage des aubes, par le profil fortement courbé en arrière de celles-ci.

D'autre part, un fonctionnement des pompes au

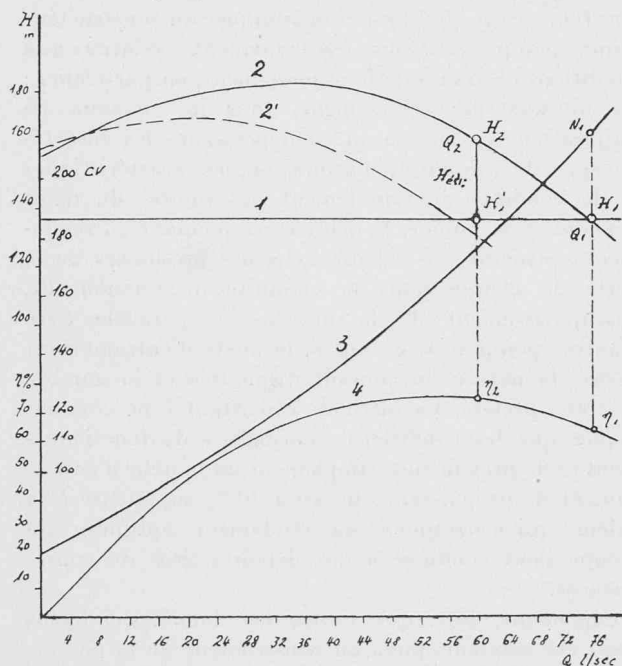


Fig. 1. — Modification des courbes caractéristiques d'une pompe centrifuge, par le remplacement des roues

1 = courbe du réseau ; 2 = courbe caractéristique  $Q-H$  de la pompe primitive ; 2' = courbe caractéristique de la pompe modifiée. 3 = puissance absorbée primitivement ; 4 = rendements primitifs.

point d'intersection de la courbe du réseau et de la courbe des pompes, représenté par le point  $H_1$  sur la figure 1, ne pouvait être envisagé, à cause de la puissance insuffisante des moteurs d'entraînement. En effet, la puissance  $N_1$  correspondant au point  $H_1$  aurait été de 215 CV, soit de 25 % supérieure à la puissance installée.

Par ailleurs, le rendement des pompes, au point de fonctionnement  $H_1$ , aurait été trop bas et, à un autre point de vue, les conditions d'aspiration seraient devenues trop mauvaises.

Quant au remplacement pur et simple des quatre groupes en question par de nouvelles machines, il ne fallait pas y penser, d'abord à cause des frais considérables qui en seraient résultés et ensuite, en raison des graves difficultés d'approvisionnement existant à cette époque.

Avant que nous eussions à examiner les machines en question, on avait eu recours, pendant quelque temps, à la solution c) ci-dessus, consistant dans la création d'une perte de charge additionnelle provoquée par la fermeture partielle des vannes de réglage du côté du refoulement des pompes. Le mauvais effet, qui en était résulté au point de vue du rendement, est illustré par le diagramme de la figure 1. Ici, la courbe 2 reproduit la caractéristique  $Q-H$  primitive telle qu'elle avait été obtenue par le constructeur des pompes. La courbe 1 représente la courbe du réseau à l'époque où nous avions à étudier l'adaptation des pompes. Or, pour ramener la puissance  $N_1$  à la valeur pouvant être supportée par les moteurs existants, il fallait réduire le débit des pompes  $Q_1 = 76$  lit/sec jusqu'à  $Q_2 = 60$  lit/sec, par étranglement de la veine liquide dans les vannes de réglage. Le point de marche des pompes se déplaça alors de  $H_1$  vers  $H_2$  et les pompes eurent à vaincre, en plus de la pression du réseau  $H_1 = 136$  m, également une perte par étranglement  $H_{étr} = 26$  m. La puissance perdue par étranglement était

$$\frac{Q_2(H_1' + H_{étr})}{75 \times \eta_2} - \frac{Q_2 \times H_1'}{75 \times \eta_2} =$$

$$\frac{60(136 + 26)}{75 \times 0,75} - \frac{60 \times 136}{75 \times 0,75} =$$

$$172,8 - 145,1 = 27,7 \text{ CV} = 16,00 \%$$

Devant cette énorme perte d'énergie, nous décidâmes d'équiper les quatre pompes en question avec de nouvelles roues, mieux adaptées aux conditions du réseau de refoulement. La courbe 2' représentée en tirets sur la figure 1 se rapporte aux pompes modifiées. Comme on le voit, son point d'intersection avec la courbe du réseau s'est légèrement déplacé vers la gauche, ce qui veut dire que le débit de chacune des pompes modifiées a très légèrement diminué. Par contre, nous avons supprimé les pertes par étranglement et nous avons atteint une faible diminution de la puissance absorbée par les moteurs, ce qui n'était pas un inconvénient après trente années de service presque ininterrompu.

En prolongeant la courbe du réseau de la figure 1, nous avons trouvé, au point d'intersection avec la courbe des quatre pompes non modifiées, marchant en parallèle, un débit  $Q = 224$  lit/sec, ainsi que les hauteurs manométriques  $H_1' = 149$  m et  $H_2 = 170$  m (voir la signification de ces lettres sur la figure 1). Le gain théorique obtenu par la suppression de l'étranglement de la veine liquide est donc au total :

$$\frac{224 \times 170}{75 \times 0,75} - \frac{224 \times 149}{75 \times 0,75} =$$

$$677 - 593 = 84 \text{ CV} = 12,4 \%$$

En réalité et selon les indications des instruments de contrôle, le gain est le suivant :

avant modernisation des pompes 0,695 kWh/m<sup>3</sup> ;  
 après modernisation des pompes 0,616 kWh/m<sup>3</sup> ;  
 gain réalisé = 0,695 — 0,616 = 0,079 kWh/m<sup>3</sup> = 11,4 % ;

ce qui, pour une production annuelle de 6 000 000 m<sup>3</sup>, constitue un gain de  $6\,000\,000 \times 0,079 = 474\,000$  kWh.

Pour une dépense insignifiante et entièrement amortie en plusieurs mois, nous avons, de cette façon, réalisé un gain de plus de 300 000 francs belges par an<sup>1</sup>.

Cependant, le cas peut se présenter aussi où le type de pompe ne se prête pas à la modification préconisée ci-dessus. Souvent aussi, l'usure des pompes centrifuges a déjà atteint un degré tel que le remplacement des aubes seules ne suffit plus pour ramener le rendement à des valeurs satisfaisantes. Enfin, il arrive fréquemment que pour des raisons bien déterminées, on veuille changer la vitesse des machines. Il faut alors recourir résolument au deuxième moyen de réadaptation, c'est-à-dire :

#### B. Installation de machines modernes d'un rendement supérieur à celui des anciennes machines.

Par exemple, nous avons en service, jusqu'il y a quelque temps, un groupe élévatoire construit pour un débit de 60 m<sup>3</sup>/heure, une hauteur manométrique moyenne de 245 m et une vitesse de 2920 t.p.m. La puissance absorbée, sous 380 volts, par le moteur d'entraînement était de 87,3 kW ou 1,455 kWh/m<sup>3</sup>, ce qui correspondait à un rendement du groupe de 45,7 %.

Nous venons de remplacer ce groupe par des machines plus modernes, d'un débit mieux approprié aux exigences actuelles (79 m<sup>3</sup>/h) et d'une vitesse de 1450 t.p.m. (au lieu de 2920 t.p.m.). Les mesures effectuées jusqu'à présent donnent une puissance absorbée par le moteur de 80,5 kW, ce qui correspond à une consommation spécifique de 1,019 kWh/m<sup>3</sup> seulement et à un nouveau rendement de 64,60 %. L'économie d'énergie électrique résulte donc à  $1,455 - 1,019 = 0,436$  kWh/m<sup>3</sup> = 30 %. Du côté de la tension de 15 kV fournie par le distributeur de l'énergie électrique, le gain est même de 0,464 kWh/m<sup>3</sup>. La production du nouveau groupe étant de 330 000 m<sup>3</sup>/an, le remplacement des machines rapportera un gain annuel de 153 120 kWh, et les frais d'investissement seront amortis en moins de une année et demie.

## 2. Protection des tuyauteries contre la corrosion

La question de la protection des réseaux d'eau contre la corrosion attire aujourd'hui l'attention de tous ceux ayant à s'occuper de la construction et de l'entretien des distributions d'eau, tant à cause des capitaux énormes investis dans les installations à protéger qu'en raison des graves inconvénients résultant de toute défectuosité de ces mêmes installations. Les cas ne sont pas rares où des conduites d'eau insuffisamment protégées contre les corrosions — que celles-ci aient leur origine dans l'agressivité des eaux à transporter (corrosions *intérieures*) ou bien dans l'agressivité du sol entourant les conduites (corrosions *extérieures*) —

sont devenues inutilisables après cinq à dix années de service seulement.

Faisons remarquer ici que les considérations qui suivent se rapportent essentiellement aux corrosions *extérieures*, c'est-à-dire aux corrosions provenant du sol qui entoure les canalisations d'eau.

#### A. Théorie de la corrosion

Toutes les corrosions se produisant sur des structures métalliques enterrées, en présence d'eau ou d'humidité, sont ramenées aujourd'hui à un processus électrochimique, que ce processus soit provoqué par des courants vagabonds provenant de réseaux de traction à courant continu ou par des hétérogénéités de la matière des canalisations ou par des agressivités particulières du sol. Lorsqu'une canalisation, en un certain point, se trouve à un potentiel plus élevé que le sol environnant, il se produit un échange de courant dans le sens conduite-sol. Le sol joue alors le rôle d'un électrolyte. Si, par contre, le potentiel de la canalisation est inférieur à celui du sol, l'échange de courant se fait en sens inverse, c'est-à-dire du sol vers la canalisation. Dans ce cas, aucune corrosion ne se produit. C'est donc le potentiel *relatif* de la matière de la canalisation qui détermine, s'il y a corrosion ou non. Ce potentiel qui varie suivant l'échelle des tensions est généralement mesuré par rapport à une électrode impolarisable au sulfate de cuivre, posée à la surface du sol.

La corrosion des conduites s'effectue toujours aux endroits anodiques, c'est-à-dire aux sorties de courant. Il est théoriquement et expérimentalement établi que les structures métalliques enterrées ne sont sujettes à la corrosion que si leur potentiel n'est pas assez électro-négatif par rapport au milieu environnant.

Cependant, en pratique, on n'a jamais affaire à des métaux homogènes ni à des électrolytes homogènes. Des couples locaux prennent alors naissance, en plus de ceux qui sont à attribuer aux différences de potentiel indiquées par l'échelle des tensions. C'est donc la résultante du potentiel de l'échelle des tensions et des couples locaux dus à l'hétérogénéité des constituants de la canalisation ainsi que des constituants du sol, qui détermine l'existence et la valeur des corrosions. Il suffit, parfois, que des organismes vivants sécrétant des produits chimiques provoquent l'hétérogénéité du sol dans lequel une canalisation est enterrée. Souvent aussi, la présence de carbone inégalement réparti dans la fonte ou d'impuretés locales dans l'acier est la cause de courants locaux et de corrosions. Dans l'eau ordinaire servant comme électrolyte, la différence de potentiel entre le graphite et la ferrite, soit les deux principaux constituants de la fonte, est de 0,5 à 0,6 volt ; elle est de 0,8 volt entre la cémentite et la ferrite. En outre, l'agressivité du sol croît avec sa conductibilité électrique, donc avec les sels qui y sont dissous et parmi lesquels les chlorures jouent un rôle particulièrement important.

Il existe cependant une différence assez sensible entre la corrosion de la fonte et celle de l'acier ferritique. Dans ce dernier cas, les couples électriques sont généralement moins nombreux, de sorte que les ions *Fe'* et *OH'* se forment en des endroits séparés par une plus grande distance et doivent donc parcourir un plus

<sup>1</sup> 1 franc belge = 8,71 ct. suisses.

grand chemin avant de se rencontrer pour se neutraliser. Contrairement à ce qui se passe pour la fonte où la corrosion progresse de préférence uniformément sur toute la surface, elle tend à se produire dans l'acier ferritique sous forme de piqûres localisées.

B. *Influence de la nature du sol sur les corrosions. — Utilité de l'étude préalable du sol*

Au Luxembourg, c'est l'argile qui cause la plupart des corrosions des canalisations d'eau. L'action de l'argile est d'autant plus néfaste que celle-ci est plus saturée d'eau et qu'elle renferme plus de gypse, plus de carbonates et plus de matières organiques. L'influence du gypse, en particulier, a été mise en évidence, au Laboratoire de l'Etat, à Luxembourg, par l'expérience suivante. Deux électrodes en platine soumises à une différence de potentiel de 0,5 volt, ont été plongées dans de l'eau distillée. Au bout de quelque temps, un milliampèremètre branché dans le circuit indiqua un courant de 0,02 milliampère. En ajoutant du gypse à l'eau, le courant augmenta jusqu'à 0,08 milliampère, soit au quadruple.

Un facteur important, au point de vue des corrosions, est la présence de pyrite et également de chlorure de sodium provenant des eaux usées des maisons ou du purin des tas de fumier. Ces deux substances font augmenter fortement l'agressivité du sol.

On voit donc tout l'intérêt qu'il y a à étudier la nature du sol dans lequel on a projeté d'installer une conduite d'eau. Il est évident que l'eau qui s'infiltre dans le sol se charge précisément des sels contenus dans le sol, comme le sodium, le potassium, le calcium, le chlore, etc. Dans les terrains calcaires, les eaux venant en contact avec les canalisations sont naturellement calcaires ; elles sont sulfatées dans les terrains gypseux, magnésiennes dans les sols dolomitiques et ainsi de suite.

C. *Résistance des matériaux à la corrosion*

*Les tuyaux en fonte, coulés verticalement, dans des moules de sable*, présentent à la surface extérieure une pellicule d'oxydes et de silicates de fer, avec du carbone combiné (fonte blanche), laquelle offre une protection excellente contre les corrosions venant de l'extérieur. Par contre, la fonte grise que l'on trouve à l'intérieur des tuyaux, par suite de la ségrégation du graphite, donne facilement lieu à des couples électriques locaux, donc à des corrosions électro-chimiques et même, à cause de sa plus grande solubilité, à des corrosions purement chimiques.

*Les tuyaux centrifugés, dans des moules de sable*, possèdent à leur surface extérieure une pellicule de recuit, qui constitue une couche protectrice d'oxyde de fer, fortement adhérente au reste de la paroi des tuyaux. La résistance à la corrosion est meilleure que celle de la fonte grise ; elle est, cependant, sujette à la formation de couples locaux.

La résistance à la corrosion des *tuyaux en fonte, centrifugés dans des moules d'acier*, dépend fortement du traitement ultérieur subi par ces tuyaux. En effet, la surface extérieure qui, après la centrifugation, constitue une zone trempée, change à la suite du recuit auquel les tuyaux sont généralement soumis. Suivant la nature de l'atmosphère du four à recuire et,

également suivant la température et la durée du recuit, la composition et l'épaisseur de la pellicule qui se forme à la surface sont différentes. Généralement, il s'agit d'une pellicule d'oxydes bien adhérente, compacte et imperméable à l'humidité, ce qui constitue une certaine protection à la corrosion, inférieure cependant à celle des tuyaux centrifugés dans des moules de sable.

Par suite de leur homogénéité plus grande, *les tuyaux en acier*, du moins au début, sont moins exposés à la formation de couples locaux, donc à la corrosion, que les tuyaux en fonte. Cependant, les corrosions perforantes une fois amorcées progressent plus rapidement que sur les tuyaux en fonte. D'autre part, l'épaisseur des tubes en acier n'étant, en moyenne, que la moitié de celle des tuyaux en fonte correspondants, les perforations se produisent en un temps plus court que dans le cas de la fonte.

D. *Protection des tuyaux contre les corrosions, avant et pendant leur pose*

La protection des tuyaux avant leur pose et les préparations à prendre au moment de leur pose sont suffisamment connues pour que nous n'ayons pas lieu de nous y arrêter. Rappelons seulement, parmi les matières de protection les plus usitées : l'asphalte, le bitume, le coaltar, le jute, le feutre de verre et les bandes plastiques. L'adhérence de la matière protectrice est améliorée par la centrifugation, l'épaisseur de la couche pouvant atteindre et même dépasser 2 mm dans le cas du transport d'eaux agressives. Signalons aussi que dans les terrains fortement agressifs et également dans le cas du transport d'eaux très agressives, on emploie de plus en plus les tuyaux à base de polythène, soit une matière plastique extrêmement résistante aux corrosions.

Les fonds des tranchées doivent être soigneusement drainés et même, suivant les conditions du sol, remplis de sable ou de matières neutres.

Avant leur descente dans les tranchées, les tuyaux doivent être nettoyés et l'enduit protecteur, où cela est nécessaire, doit être réparé en le chauffant moyennant une lampe à essence ou à gaz. Cependant, l'effet protecteur de tous les revêtements ci-dessus ne dure généralement qu'un certain temps à cause de la putréfaction à laquelle ils sont exposés dans le sol. Pour améliorer la protection contre les corrosions, nous pouvons recourir soit aux dispositifs isolants, soit à des appareils susceptibles de maintenir constamment les conduites négatives par rapport au sol.

E. *Protection des conduites par dispositifs isolants*

Les dispositifs isolants qui sont généralement constitués par des joints intercalaires en cuir, en bakélite ou en caoutchouc installés à des intervalles plus ou moins grands, ont tous pour but de réduire les intensités du courant traversant la conduite à protéger. A cause de la grande résistance ohmique offerte par les joints isolants, le danger d'électrolyse, donc aussi le danger de corrosion se trouve fortement diminué.

Dans la catégorie des dispositifs isolants, il convient de ranger également les joints en caoutchouc, tels que les anneaux d'étanchéité connus sous le nom de joints H ou les joints Sigur avec bague en caoutchouc, ou les joints Trifet, également avec bague en caoutchouc.

L'inconvénient des joints isolants, c'est qu'il subsiste toujours, autour des joints, un faible courant de dérivation par le sol dont l'amplitude est d'autant plus importante que le sol environnant est plus humide et plus conducteur. En outre, les joints isolants ne protègent pas les conduites contre les corrosions dues à des sols agressifs qui sont le siège de couples électriques locaux. Enfin, les dispositifs isolants ne sont plus que d'une utilité restreinte lorsqu'ils sont appliqués à des conduites dont le revêtement a déjà beaucoup souffert.

#### F. Protection cathodique des conduites contre la corrosion

Comme nous l'avons déjà fait remarquer plus haut, il suffit de porter les conduites enterrées, partout et à tout moment, à un certain potentiel cathodique minimum pour les rendre passives à la corrosion. De nombreuses expériences pratiques et des essais de laboratoire ont fourni comme valeur minima de la différence de potentiel conduite-sol le chiffre de  $-0,85$  volt, la mesure étant rapportée à une électrode de sulfate de cuivre. Quant à l'intensité du courant de protection, il convient de faire remarquer qu'elle est surtout fonction de l'état de vétusté des conduites. Elle peut varier de  $0,1$  milliampère par  $m^2$  (tuyauteries récentes avec bon revêtement) jusqu'à  $10$  milliampère par  $m^2$  (anciennes tuyauteries, mal revêtues).

Pour amener le potentiel des conduites enterrées à la valeur cathodique voulue, nous disposons aujourd'hui principalement des trois sources de courant suivantes :

##### 1° Protection par anodes réactives

Ici, la conduite à protéger est reliée galvaniquement (moyennant des câbles) à une ou plusieurs électrodes en zinc, en magnésium ou en aluminium enterrées dans le sol (fig. 2). Un courant s'établit entre la conduite

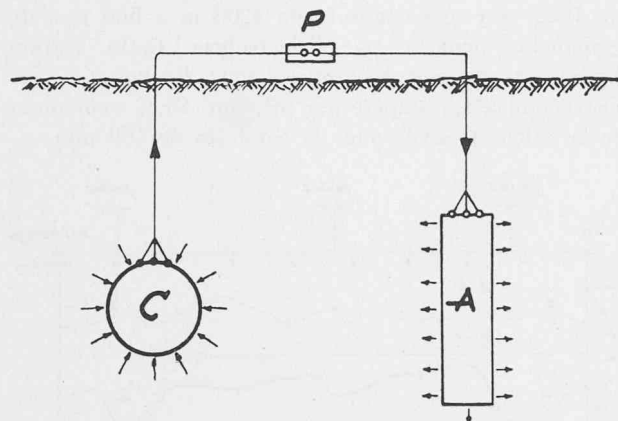


Fig. 2. — Protection par anode réactive.

C = conduite ; A = anode réactive ; P = pavé de contrôle.

et l'anode, ce qui a pour effet d'abaisser le potentiel de la conduite à la valeur voulue. Il est évident que le métal des anodes est décomposé progressivement, par suite du phénomène de la corrosion électrolytique ; il doit donc être remplacé au bout d'un certain temps. D'autre part, à cause du manque d'homogénéité du sol et afin d'obtenir une consommation uniformément répartie sur toute la surface des anodes, il est indiqué de loger les anodes dans un milieu artificiel composé d'un mélange d'argile colloïdale et de gypse.

En ce qui concerne le choix entre les trois métaux des anodes, il y a lieu de dire que l'aluminium présente

l'inconvénient de la formation d'un film d'oxyde d'aluminium, ce qui peut provoquer une polarisation anodique. Aussi s'arrête-t-on généralement à l'adoption du zinc ou du magnésium. A première vue, le magnésium semble préférable au zinc parce que, dans l'échelle des potentiels, son écart par rapport au fer est plus grand que celui du zinc. Par contre, le rendement électrochimique, c'est-à-dire le rapport du courant réellement débité au courant théoriquement débité, est beaucoup plus grand pour les anodes en zinc (70 %) que pour les anodes en magnésium (40 %). De plus, le coût actuel du zinc, en Belgique (36 fr/kg), est sensiblement inférieur à celui du magnésium (72 fr/kg), de sorte qu'il y a généralement avantage à employer des anodes en zinc plutôt qu'en magnésium.

On comprend facilement que la protection par anodes réactives, dont le couple galvanique (zinc ou magnésium-acier) est forcément très limité, n'est employé que dans les cas de protections locales de peu d'étendue (siphons pour la traversée des cours d'eau par exemple) ou dans les cas de courants vagabonds de faible intensité.

##### 2° Protection par drainage de courant

Dans ce cas, le courant de protection est fourni par les rails d'une voie électrifiée à courant continu, moyennant une connexion galvanique entre les rails et la conduite à protéger. En effet, dans le voisinage des stations d'alimentation des voies électrifiées, les courants vagabonds ont tendance à sortir des conduites enterrées pour revenir aux rails qui sont généralement reliés au pôle *négligé* des stations d'alimentation. En raison des fortes fluctuations des courants de traction et pour éviter qu'en certains moments les conduites ne prennent une polarité contraire (c'est-à-dire positive par rapport au sol), il est nécessaire de drainer constamment les courants de protection dans le même sens. Le drainage du courant de protection est obtenu en insérant dans la connexion rail-conduite soit des joncteurs-disjoncteurs qui ne se ferment que lorsque le courant passe de la conduite vers le rail, soit des cellules redresseuses qui ne laissent passer le courant que dans le sens désiré. Certains dispositifs de contrôle de sécurité, tels que des ampèremètres, des fusibles et des contacteurs sont nécessaires, pour protéger les cellules redresseuses contre des tensions inverses inadmissibles (fig. 3).

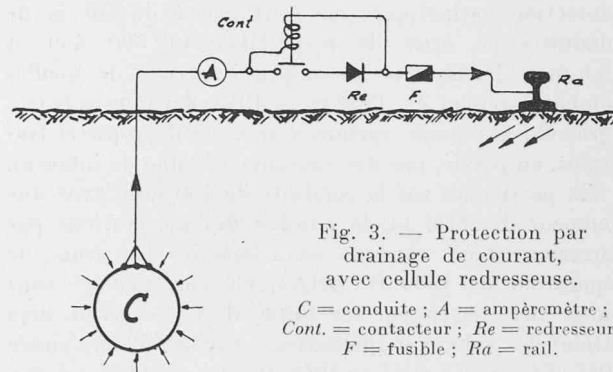


Fig. 3. — Protection par drainage de courant, avec cellule redresseuse.

C = conduite ; A = ampèremètre ;  
Cont. = contacteur ; Re = redresseur ;  
F = fusible ; Ra = rail.

##### 3° Protection par soutirage de courant

Cependant, dans bien des cas, les rails sont raccordés au pôle *positif* de la station d'alimentation ; ou bien, la voie électrifiée est trop éloignée de la conduite à protéger. On recourt alors à la protection par soutirage

de courant dont le principe — comme le nom l'indique — consiste à prendre le courant de protection sur une source extérieure, généralement un réseau électrique interurbain passant à proximité. La conduite à protéger est reliée au pôle négatif d'un appareil redresseur de courant alimenté, moyennant un petit transformateur, par le réseau électrique interurbain. Le pôle positif est raccordé à une prise de terre, appelée « déversoir », laquelle fait office d'une électrode anodique, constituée par de vieux rails ou de vieux tubes enterrés, en bon contact avec le sol (fig. 4).

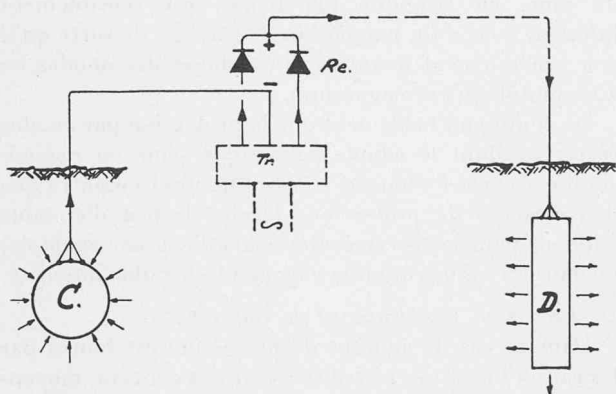


Fig. 4. — Protection par soutirage de courant.

C = conduite ; Tr. = transformateur ; Re = redresseur (fer sélénium, p. ex.) ; D = déversoir.

Remarquons ici que les consommations d'énergie électrique sont d'autant moindres que les conduites à protéger sont mieux isolées vis-à-vis du sol. A ce titre, les tubes en acier, bien revêtus de bitume, de jute ou de feutre de verre, présentent un avantage sur les tuyaux non revêtus ou simplement enduits d'une couche de bitume. On conçoit donc que les conduites en fonte, de fabrication courante, se prêtent moins bien à la protection cathodique que les conduites en acier. A l'inconvénient du faible isolement des tuyaux en fonte vient encore s'ajouter celui de la mauvaise conductibilité électrique de la fonte qui, en effet, n'est que le cinquième environ de celle de l'acier.

#### G. Quelques expériences acquises dans le domaine de la protection cathodique

Jusqu'au 1<sup>er</sup> janvier 1953, nous avons appliqué la protection cathodique par soutirage à 14 870 m de conduites en acier de respectivement 500-450 et 150 mm. Dans tous les cas, il s'agissait de vieilles conduites posées en 1930 et en 1940, dans des sols très agressifs, composés surtout d'argile et de gypse et traversés, en partie, par des courants vagabonds intenses.

En particulier sur la conduite de 450 mm, avec une longueur de 9020 m, le nombre des perforations par corrosion dont chacune occasionnait des frais de réparation de 1300 fr. belges, en moyenne — sans parler des pertes par les fuites d'eau — avait déjà atteint des valeurs inquiétantes, à savoir : 43 en l'année 1946 ; 54 en 1947 et 44 en 1948. Pour sauver la conduite, dont la valeur de réacquisition est voisine de 13 millions de francs belges, nous nous décidâmes dès l'année 1949 à appliquer la protection cathodique par soutirage, en commençant par isoler le tronçon en question moyennant des joints isolants de cloisonnement et par

shunter électriquement les emboîtements à joints de plomb et les joints en caoutchouc. Les trois postes de soutirage installés ont les caractéristiques suivantes : 26 volts  $\times$  11 ampères ; 14 volts  $\times$  8,5 ampères ; 15 volts  $\times$  14 ampères. Le diagramme de la figure 5 montre les potentiels mesurés avant et après l'application de la protection. Comme on le voit, le potentiel de la conduite protégée est partout compris entre -900 et -1300 millivolt, donc supérieur à la valeur critique de -850 millivolt. La densité moyenne du courant de protection est ici de 3,5 milliampère par m<sup>2</sup> de conduite. La consommation annuelle des trois stations réunies est d'environ 9000 kWh. Les valeurs relativement élevées s'expliquent par l'état très mauvais de l'isolement de la conduite et par les conditions tout à fait défavorables du sol et la ligne voisine des tramways.

Malgré ces dépenses annuelles de courant relativement importantes, le bénéfice réalisé par la protection est considérable. En effet, pour une dépense de courant électrique d'environ 19 000 fr/an et pour un coût total des installations de protection de l'ordre de 300 000 fr., nous avons, depuis l'année 1952, réduit les frais de réparation de la conduite et les pertes d'eau par les corrosions à zéro et nous avons, d'autre part, pour ainsi dire doublé la durée de service de la conduite, ce qui représente un gain compris entre 100 000 et 200 000 fr. par an.

En présence des bons résultats obtenus par la protection ci-dessus et à cause du fait que la deuxième station de soutirage n'était utilisée qu'incomplètement, nous venons de brancher, sur cette même station, un tronçon perpendiculaire de conduite en acier de 1650 m  $\times$  150 mm  $\Phi$ .

Une autre station de soutirage fut mise en service, en 1952, sur une conduite de 4200 m  $\times$  500 mm  $\Phi$ , également menacée par l'électrolyse. Cette station débite actuellement 10 ampère, sous 19 volt, ce qui correspond à 1,5 ampère par m<sup>2</sup>, soit 43 % seulement de la valeur trouvée pour la conduite de 450 mm.

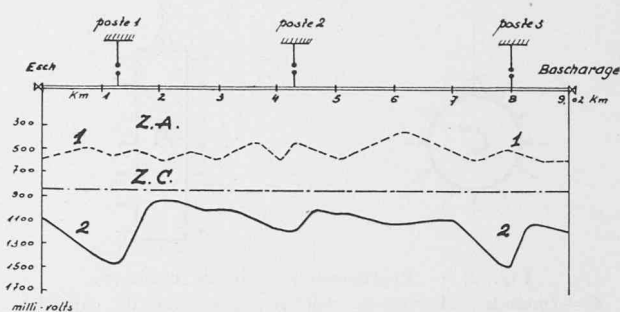


Fig. 5. — Diagramme des potentiels avant (courbe 1 — 1) et après (courbe 2 — 2) la protection par soutirage de la conduite de Esch-Bascharage.

Z. A. = zone anodique (corrosions) ; Z. C. = zone cathodique (protection).

#### H. Conclusion

Les résultats que nous a procurés jusqu'ici la protection cathodique contre les corrosions, sur des conduites en acier d'une valeur totale de 20 millions de francs belges, sont tellement encourageants que nous avons envisagé, pour l'avenir et chaque fois que le besoin s'en fera sentir, une protection systématique de toutes les conduites contre les effets nocifs de la corrosion.