Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 75 (1949)

Heft: 6

Artikel: Les câbles électriques, leur développement et leurs perspectives d'avenir

Autor: Foretay, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-56860

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: 09.12.2025

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

Chaleur correspondante au travail de frottement : $L_p = (1 - \eta_m)\ L_r$	2e diffus.	= 1,13 Kcal/kg
	3e »	= 1,15 »
	4e »	= 1,10 »
Chaleur totale évacuée :	1er étage	= 0,00 Kcal/kg
	2e »	= 3,57 »
	3e »	= 4,76 »
	4e »	= 5,76 »
	5e »	= 3,84 »
	Total	17,93 Kcal/kg

Chaleur totale évacuée en une heure

$$Q = 4.3600.17{,}93 = 258\,000 \text{ Kcal/kg.}$$

Si l'eau entre à 15° C et si nous la laissons chauffer jusqu'à 45° C, on devra fournir au compresseur une quantité P :

$$P = \frac{258\,000}{30} = 8600 \text{ litres/h.}$$

Les calculs ci-dessus sont donnés simplement à titre d'application du procédé que nous avons décrit.

Symboles plus fréquemment employés dans l'exposé
unités en kg, m, sec.

T = température absolue. — v = volume spécifique. — p = pression. — c = vitesse. — q = Quantité de chaleur. — i = enthalpie. — S = Entropie. — $A = 1/427$. — L_p = travail transformé en chaleur par résistance à l'écoulement du gaz. — L_{is} = travail absorbé par une transformation isotherme idéale. — L_{ad} = travail absorbé par une transformation adiabatique idéale. — L_{compr} = travail absorbé par une compression réelle, sans tenir compte de L_p

$$L_{compr} = \int_1^2 v.dp.$$

L = travail intérieur total de compression, éq. (2). — $\overline{L_r}$ = travail absorbé par le compresseur à l'accouplement. — $\overline{L_{is}}$ = travail idéal absorbé par un compresseur isotherme sans pertes. — $L_{r,r,2}$ = travail total intérieur (même déf. que L) ; le premier indice signifie qu'il s'agit de travail réel, le second que l'élément considéré est une roue, le troisième que l'étage considéré est le second. — $L_{is,r,2}$ = travail correspondant à $L_{r,r,2}$ dans la machine isotherme de comparaison. — η_o = rendement organique. — η_v = rendement volumétrique. — η_p = rendement envisageant les pertes de charge dans les conduits de retour (ou dans les réfrigérants). — η_m = rendement hydraulique ou manométrique. — η_r = degré de réfrigération. — η_c = rendement cinétique. — $\eta_{is,t}$ = rendement isothermique total d'un élément (extérieur). — $\overline{\eta}_{is,t}$ = rendement isothermique total du compresseur. — η_{is}^{e} = rendement isothermique d'un élément, suivant la déf. (13). — β = coefficient exprimant l'augmentation de L_{compr} lorsque l'on passe d'une compression adiabatique idéale à une compression réelle sans réfrigération. — λ = rapport entre la température à l'entrée d'un élément et la température de l'isotherme de comparaison. — μ = effet d'un réfrigérant (ou d'un conduit de retour). — ν = nombre exprimant l'augmentation de température dans un élément. — ρ = rapport de compression. — r = degré de réaction.

Bibliographie

1. M. Maekawa : *A contribution to the design of the turbocompressor.* — Technology Reports of the Imperial Tôhôku University. Sendray (Japon), 1928.
2. W. I. Kearton : *Recent Developments in Turbo-Blowers and Compressors.* — Transactions of the Institution of the Mechanical Engineers. London, janvier 1936.

Les câbles électriques, leur développement et leurs perspectives d'avenir

par E. FORETAY, ingénieur à la S. A. des Câbleries et Tréfileries, Cossonay-Gare [1]

Introduction

Un câble électrique peut se définir comme étant constitué par un ou plusieurs conducteurs recouverts chacun de couches isolantes appropriées, l'ensemble étant revêtu d'une gaine de protection commune.

Dans cette définition rentrent deux catégories de câbles : ceux dits de télécommunication servant à transmettre des messages : câbles téléphoniques, télégraphiques, de télémesure par exemple, et les câbles de transmission d'énergie appelés en France « câbles armés » qui servent à transporter d'un point à un autre des quantités importantes d'énergie électrique par opposition aux câbles de télécommunication qui ne sont parcourus que par des puissances infinitésimales.

Etant donné l'étendue du sujet et le peu de temps dont je dispose, je me limiterai uniquement aux câbles d'énergie dits aussi câbles à courant fort.

Ce congrès étant consacré à l'histoire des sciences, j'ai pensé vous intéresser en insistant particulièrement sur le développement de la technique des câbles. Je vous dirai donc quelques mots de ce qui s'est fait autrefois, puis je m'efforcerai de vous donner une image de l'état actuel de cette industrie pour terminer par quelques allusions à ce que l'on peut en attendre dans l'avenir.

Les premiers câbles

Les premiers essais effectués pour établir des conducteurs souterrains concernent des circuits télégraphiques. Au milieu du XIXe siècle, on utilisait comme isolant pour les conducteurs électriques des matières fibreuses, soie ou coton, secs ou imprégnés. Ces produits étant hygroscopiques, ne peuvent pas être posés dans le sol sans un revêtement imperméable. En 1845, trois brevets anglais se rapportent à la fabrication des câbles : ceux de Wheatstone et Cooke, de Young et Mc Nair et de Mapple.

Ces trois procédés, qui n'ont pas été mis en pratique par leurs inventeurs, contiennent en principe les éléments essentiels de la technique des câbles.

Une autre méthode, appliquée par Brooks en 1875, consistait à placer des fils de cuivre isolés au coton dans des tuyaux en fer remplis d'huile.

En Suisse, un peu avant 1879, l'ingénieur neuchâtelois François Borel eut l'idée de remplacer les tuyaux en bois utilisés à cette époque comme conduite d'eau, par des tuyaux en papier imprégnés d'asphalte. Ces tuyaux étaient bien imperméables, mais ils s'écrasaient dans le sol et furent abandonnés. François Borel essaya alors d'isoler des conducteurs électriques au moyen d'asphalte. Le résultat était bon, mais une gaine imperméable était nécessaire pour conserver leurs qualités isolantes dans la terre. Ayant vu, au cours d'un voyage à Pompéi, des tuyaux de plomb parfaitement conservés après plusieurs siècles, il essaya de recouvrir ses câbles d'un tube de plomb. Sa première presse à main fut suivie d'une presse hydraulique pour laquelle il obtint le brevet allemand en 1879. Cette machine avait la particularité d'être rechargée au moyen de plomb fondu, ce qui permettait de faire des câbles aussi longs qu'on le voulait.

En 1880, on fabrique en Allemagne le premier câble à courant fort utilisant comme isolant la gutta-percha qui servait depuis plusieurs années pour les câbles télégraphiques sous-marins. Des câbles isolés au coton et au jute imprégné, recouverts d'un tuyau de plomb fabriqué séparément, ont servi à l'éclairage de certaines rues et places de Berlin. A

[1] Communication présentée au *Ve Congrès international d'Histoire des sciences*, à Lausanne, en 1947.

l'Exposition universelle de Paris, en 1881, il y avait quinze kilomètres de ces câbles.

En 1882, le brevet allemand fut attribué à Siemens pour une presse à plomb. On a donc en présence trois procédés : les câbles introduits dans un tuyau de plomb fabriqué séparément, les câbles mis sous plomb à la presse Siemens qui se charge au moyen de blocs de plomb, et la presse Borel capable de recouvrir de plomb des câbles de longueur quelconque.

En 1882 aussi, Edison, qui développait un système d'éclairage électrique, utilisait comme conducteurs souterrains deux ou trois barres de cuivre massif introduites dans des tuyaux de fer de 6 m de longueur remplis d'un mélange isolant à base d'asphalte. Les tronçons étaient reliés entre eux par des pièces de raccordement pouvant servir aussi de dérivation pour alimenter les abonnés.

En 1884, on fabriqua dans divers pays des câbles concentriques à deux conducteurs composés d'un conducteur central, d'une couche isolante, un premier tube de plomb, un deuxième conducteur formé d'une couche de fils de cuivre, une deuxième isolation puis un double plomb et un revêtement protecteur de filins asphaltés. Les raisons d'adopter cette construction, compliquée et coûteuse, étaient de divers ordres. Dans un circuit à courant alternatif, son influence sur les circuits télégraphiques ou téléphoniques voisins était réduite puisque les courants aller et retour circulaient l'un autour de l'autre. Enfin, le conducteur central seul étant sous haute tension et le conducteur extérieur étant relié à la terre, les dangers pour les personnes, en cas d accident ou de défaut, étaient considérablement réduits. Avec les procédés de fabrication de cette époque c'était le seul moyen de faire des câbles à plusieurs conducteurs.

En 1885, la maison Siemens et Halske obtint le brevet allemand pour la protection des câbles au moyen de deux feuillards de fer, procédé encore employé aujourd'hui.

De 1885 à 1888, 138 km de câbles ont été posés pour l'éclairage de la ville de Berlin. En 1886, aux Etats-Unis d'Amérique, à Philadelphie on posa un câble sous plomb à isolant imprégné pour 600 volts.

A la même époque, en Angleterre, trois systèmes différents étaient utilisés : des conducteurs nus portés par des isolateurs dans un caniveau en ciment, des câbles isolés au caoutchouc sans plomb, tirés dans des tuyaux en fer et enfin des câbles à isolation en matière fibreuse imprégnée (chanvre, jute, coton) sous manteau de plomb. Parmi les câbles isolés au caoutchouc, ceux d'Eastbourne fonctionnaient à une tension de 2000 volts.

En 1886, en Suisse, de Vevey à Montreux et Villeneuve, il y avait des câbles à 1200 volts.

En 1888, aux Etats-Unis d'Amérique, plusieurs grandes villes installent un réseau de câbles à basse tension et quelques circuits à 1000 et même à 2000 volts à Chicago.

L'année 1890 est une date importante dans l'histoire des câbles, car c'est alors qu'on a pour la première fois remplacé l'isolation en jute imprégné par des rubans de papier, enroulés autour des conducteurs et imprégnés de la même composition isolante d'huiles et de résines. Des câbles pour 10 000 volts à conducteurs concentriques construits par tronçons de 6 m et introduits dans un tuyau de plomb fabriqué séparément sont restés en service pendant trente-quatre ans entre Deptford et Londres. Les premiers câbles au papier imprégné aux Etats-Unis datent de la même époque.

En 1891, la ville de Zurich commence à installer son réseau de câbles. En 1892, c'est : Paris (Champs-Elysées) à 3000 volts ; Coire, 2000 volts ; Neuchâtel, 4000 volts ; Genève, 4000 volts. Le réseau de Zurich comprend 17 km de câbles à haute tension (2000 volts) et 49 km de câbles à basse tension. En Angleterre, Londres, et aux Etats-Unis, Chicago, ont leur réseau haute et basse tension entièrement souterrain. D'après une annonce d'une fabrique de câbles dans un ouvrage de cette époque, on fabriquait des câbles à Haute Tension (avec deux majuscules !) jusqu'à 10 000 volts. Vous verrez bientôt qu'on a fait du chemin depuis.

En 1896, un câble sous-marin à 2100 volts alimente le phare de Rotesand. En Suisse, on installe dans le réseau Olten-Aarbourg 3 km de câble biphasé pour 5000 volts. En 1899, il y a 265 km de câble triphasé pour 5700 volts dans le réseau de Berggeist, près Brühl en Allemagne, et des câbles pour 6000 et 15 000 volts sont installés à Bakou.

En 1900, la longueur des câbles dans les principales villes suisses était : Genève 80 km, Zurich 80 km, Berne 45 km, Lucerne 25 km, Lausanne 28 km, Vevey-Montreux-Territet 15 km. Certains sont encore en service aujourd'hui.

Les câbles, au départ de la fabrique, étaient enroulés sur de grandes bobines en bois. Pour les poser dans les fouilles, en général, on mettait les bobines avec leur axe vertical sur une sorte de plaque tournante fixée sur un char. Il y a quelques anciennes photographies de cette époque : Zurich 1896, Bruxelles 1901, Genève 1901, Lausanne 1900 (Cortaillod) ; Bordeaux, Zurich (Aubert Grenier vers 1900).

Plusieurs inventeurs, dans divers pays, eurent l'idée de remplacer les fils de jute par des rubans de papier pour l'isolation des câbles. Mais en général on n'avait aucune confiance dans ce nouveau matériel.

Malgré cette méfiance du début, le nouveau procédé s'implante progressivement. En 1903, par exemple, la Ville de Zurich installe les premiers câbles de 6000 volts avec isolation en jute imprégné, mais dès 1905, tous les câbles du réseau à 6000 volts étaient isolés au papier. Jusqu'en 1906, on continua à utiliser un double manteau de plomb, mais les progrès réalisés dans la construction des presses à plomb permirent d'obtenir régulièrement des manteaux de plomb sans défauts et on se contenta d'une seule couche de plomb d'épaisseur suffisante. L'ingéniosité des fabricants leur permit de construire des câbles à plusieurs conducteurs toronnés et on a abandonné progressivement le système à conducteurs concentriques, coûteux et compliqué.

Evolution de la technique

Les progrès de la fabrication se traduisirent par la possibilité de fournir des câbles pour des tensions toujours plus hautes, ce qui correspondait à un besoin résultant de l'augmentation croissante des puissances à distribuer dans les villes. Ainsi, en 1904, la Société générale d'électricité de Berlin livra des câbles à 12 000 volts pour le Métropolitain de Londres et l'année suivante des câbles à 16 000 volts pour l'Amérique du Sud et à 20 000 volts pour Durham, en Angleterre.

En 1910, le réseau à haute tension de Berlin, formé de câbles à trois conducteurs de 50 mm² pour 30 000 volts, comprenait 180 km de câbles, cette longueur atteignant 240 km deux ans plus tard.

L'année 1913, date de l'invention de la métallisation des conducteurs par Hochstaedter, est presque aussi importante que celle de l'invention de la presse à plomb.

Un câble à haute tension pour courant triphasé est composé de trois conducteurs isolés chacun par une certaine épaisseur de papier. Les trois conducteurs sont câblés ensemble, les espaces vides étant remplis d'un bourrage approprié, puis ce faisceau est à son tour recouvert d'une couche isolante de papier égale à celle des conducteurs, le tout étant mis sous

plomb après imprégnation. Des études approfondies par diverses méthodes mathématiques et expérimentales ont montré que les papiers isolants, étant soumis à l'effet d'une tension alternative qui change de sens cent fois par seconde, sont sollicités, selon l'instant considéré, non seulement perpendiculairement à leur surface, mais aussi tangentiellement. On comprendra facilement, si on peut s'exprimer ainsi, que les charges électriques ont plus de facilité à se glisser entre les couches de papier qu'à passer au travers de ces papiers. Si, au contraire, on adopte une autre construction, chaque conducteur étant recouvert d'une couche isolante sur laquelle on applique une mince feuille métallique, l'étude du champ électrique montre que les couches de papier sont sollicitées uniquement dans le sens radial du câble, donc perpendiculairement à leur surface, c'est-à-dire dans les conditions les plus favorables.

Actuellement, pour les tensions supérieures à 15 000 et 20 000 volts on adopte presque toujours les câbles système Hochstaedter. D'après une statistique établie en 1928, l'adoption de ce procédé a réduit de moitié le pourcentage des défauts.

Un autre phénomène, étudié dans les laboratoires des fabriques de câbles, est celui du vieillissement. Un câble n'est pas un être vivant mais on ne peut pas dire non plus qu'il soit mort, bien qu'on ait l'habitude de l'enterrer le plus rapidement possible après sa fabrication. Des câbles ont eu, après plusieurs années, des défauts qui ne pouvaient pas être attribués à une influence extérieure. Comme des chirurgiens pratiquant l'autopsie d'un malade décédé pour une cause inconnue, les spécialistes se sont penchés sur le câble accidenté, l'ont disséqué et examiné à fond. Si on déroule les papiers l'un après l'autre, on trouve à leur surface des traces de carbonisation en forme d'arborescences. Il semble qu'il s'est produit entre les papiers de petits éclairs dont l'image s'est enregistrée.

Ces accidents ont pour origine des vides qui se sont formés dans l'isolant par le retrait de la matière d'imprégnation lors du refroidissement en cours de fabrication, et surtout par les alternatives d'échauffement et de refroidissement produites en exploitation par les variations de charge.

Pour éviter une altération de l'isolant on doit lui donner une épaisseur largement calculée, et les résultats sont très satisfaisants.

On peut citer par exemple le réseau parisien à 60 000 volts qui avait, en 1927, une longueur de 220 km et qui transporte chaque jour, en hiver, 2 millions de kilowattheures.

L'augmentation constante des puissances à transmettre nécessite l'adoption de tensions toujours plus élevées pour les lignes aériennes, 110 000, 150 000 et 220 000 volts, qui ne peuvent pas être amenées sans dangers dans les villes. On doit donc disposer de câbles souterrains appropriés.

Le type de câble à compound visqueux utilisé jusqu'à 60 000 volts devrait avoir, pour ces très hautes tensions, une épaisseur d'isolation énorme qui rendrait le prix et le poids prohibitifs. Il faut donc solliciter davantage l'isolant, sans compromettre la sécurité d'exploitation, en empêchant, par des procédés spéciaux, la formation des vides.

Les câbles modernes à très haute tension comprennent divers types.

Câbles à huile

Si, au lieu d'un compound visqueux, on utilise une huile très fluide et qu'on relie le câble avec des réservoirs maintenus constamment sous pression, quand l'huile se dilate par échauffement elle sort du câble, dans lequel elle peut circuler dans des canaux appropriés, pour pénétrer dans les réservoirs. Quand, aux heures de faible charge, le câble se refroidit, l'huile retourne des réservoirs dans le câble qui reste ainsi toujours plein. Ce système, inventé par l'ingénieur Emanueli de la maison Pirelli, a fait ses preuves pour les plus hautes tensions. La première installation a été faite en Italie, en 1924, pour 132 000 volts puis d'autres câbles pour la même tension ont été posés à Chicago, en 1927. L'année suivante, une installation à 100 000 volts a été faite en Allemagne (Nuremberg) et, en 1930, on faisait les premiers essais qui ont conduit à l'installation à 220 000 volts du poste de Clichy-sous-Bois à l'usine de Saint-Denis à Paris, permettant d'amener sur place, par câbles souterrains, l'énergie des usines hydro-électriques du Massif central. Ce réseau, qui comprend un parcours de 19 km de trois câbles à un conducteur, a fonctionné dès sa mise en service, le 23 mars 1936, sans aucun dérangement. Le câble, qui pèse 27 kilos par mètre, transmet une puissance de 160 000 kilowatts.

Il y avait en 1939, dans diverses parties du monde, 750 km de câbles à huile pour des tensions comprises entre 100 000 et 220 000 volts.

Câbles à pression

Un autre procédé, pour empêcher la formation des vides dans l'isolation, consiste à utiliser un câble à matière visqueuse, sous un manteau de plomb mince, introduit ensuite dans une conduite en tubes d'acier remplie de gaz, généralement de l'azote, sous une pression de 14 kg/cm^2. Cette pression, agissant constamment à l'extérieur du câble, comprime l'isolant et empêche la formation de vides. Ce procédé, appliqué en Allemagne, a donné de bons résultats.

En Angleterre, on a développé un câble ne contenant pas d'huile libre, et dont le plomb, spécialement renforcé, remplace la conduite en acier remplie de gaz sous pression utilisée en Allemagne. Plusieurs tronçons sont actuellement en service à la tension de 132 000 volts.

En résumé, on peut dire qu'actuellement le choix des divers types de câbles s'établit comme suit :

Tension	Types
Jusqu'à 15 000 V	Câbles à plusieurs conducteurs à matière visqueuse.
15 000 à 30 000 V	Câbles à plusieurs conducteurs à matière visqueuse type Hochstaedter.
50 000 à 60 000 V	Câbles à matière visqueuse à un conducteur (trois câbles).
60 000 à 220 000 V	Câbles spéciaux, surtout câble à huile.

Quelques détails concernant la fabrication des câbles

Le conducteur, qui doit être flexible pour permettre l'enroulement du câble sur les bobines et son déroulage à la pose, est formé d'un faisceau de fils de cuivre recuit, câblés ensemble par une machine spéciale. La corde ainsi formée est ensuite recouverte de rubans de papier enroulés en spirale. S'il s'agit d'un câble à plusieurs conducteurs, par exemple pour du courant triphasé, les divers conducteurs isolés sont câblés ensemble par une machine appropriée qui introduit dans les espaces libres entre les conducteurs un bourrage convenable pour obtenir un faisceau bien rond. Dans le cas de câble type Hochstaedter, on enroule encore autour du faisceau un ruban de cuivre qui établit le contact entre les couches métalliques des conducteurs et le plomb, tandis que pour les câbles à isolation de ceinture le faisceau est encore isolé

par une épaisseur de papier égale à celle recouvrant les conducteurs. Le câble est alors introduit dans une cuve où il est tout d'abord séché par la chaleur et sous vide, puis imprégné d'un mélange isolant à base d'huile minérale et de colophane, et il est ensuite recouvert d'un manteau de plomb au moyen d'une presse hydraulique qui applique sur le faisceau un tube de plomb étanche et flexible.

Le plomb étant un métal tendre doit être protégé mécaniquement par un revêtement résistant, par exemple sous forme de deux feuillards de fer, combinés avec des enduits protecteurs à base de papier et ficelle imprégnés de brais ou de bitume qui préservent plomb et feuillards des actions chimiques des eaux contenues dans le sol. Enfin le câble est contrôlé par des essais approfondis au laboratoire.

L'avenir

J'ai essayé de vous donner une idée de l'état actuel de la technique des câbles. Quel sera l'avenir de cette industrie ? Tout d'abord l'évolution des tensions de service. Ayant commencé avec 2000 volts en 1890, on atteint 6000 volts en 1899, 30 000 volts en 1910, 60 000 volts en 1920, 132 000 volts en 1934, et 220 000 volts en 1936.

D'autre part, le développement de certains réseaux urbains est intéressant.

Le Service électrique de la Ville de Zurich a installé ses premiers câbles à haute tension en 1891. Le réseau s'est développé rapidement. A fin 1892, il y avait environ 18 km de câbles à haute tension et 49 km de câbles à basse tension. En 1905, on en comptait respectivement sept et dix fois autant et enfin, en 1915, dernière année de la statistique, les câbles à haute tension étaient douze fois plus longs qu'en 1892 et les câbles à basse tension vingt-huit fois plus.

Pour la Ville de Lausanne, le développement du réseau est également très rapide. En 1900, il y avait 15 km de câbles à haute tension et 13 km de câbles à basse tension. Si l'on tient compte des chiffres à fin 1946, la longueur des câbles à haute tension est dix fois celle de l'année 1900 et celle des câbles à basse tension environ vingt-cinq fois.

Le développement croissant des applications de l'électricité entraîne une augmentation correspondante des réseaux de câbles, et l'emploi d'une tension toujours plus haute. En Suisse, il y a actuellement des câbles à 50 000 volts à Bâle, Zurich et Winterthour ; Lausanne prévoit aussi d'en installer.

Les expériences favorables faites avec les câbles à très haute tension et particulièrement ceux à huile, montrent qu'il n'y a maintenant aucune difficulté à les utiliser pour 220 000 volts.

A la Conférence internationale des grands réseaux électriques à haute tension, à Paris en 1946, plusieurs rapports ont été présentés au sujet des câbles à très haute tension à huile ou à pression de gaz. Je citerai seulement celui de M. Domenach, ingénieur en chef des Câbles de Lyon, décrivant les résultats d'un câble d'essai à huile pour 400 000 volts, dont un échantillon a résisté pendant trois minutes à une tension égale à quatre fois sa tension effective de service.

On a souvent demandé s'il ne serait pas possible de remplacer les lignes aériennes à haute tension par des câbles souterrains. Les amis des beautés de la nature estiment, pas toujours à tort, que ces nombreux conducteurs et les pylônes qui les supportent enlaidissent le paysage. Les ingénieurs d'exploitation des compagnies d'électricité voudraient mettre leurs lignes à l'abri des perturbations causées par la foudre, et les aviateurs aimeraient voir disparaître sous terre tous ces conducteurs aériens qui rendent si dangereux les départs et les atterrissages.

Ces problèmes peuvent être en partie résolus. Il est facile d'intercaler un tronçon de câble dans une ligne aérienne soit pour ne pas enlaidir un site particulièrement pittoresque, soit pour assurer la sécurité de la navigation aérienne au voisinage des aérodromes. Par contre, l'établissement de longues lignes en câbles souterrains se heurte à deux obstacles insurmontables. Le prix d'un câble est beaucoup plus élevé que celui d'une ligne aérienne de même tension et capable de transporter la même puissance.

Un second obstacle est d'ordre technique résultant de la capacité du câble.

Toutefois, une solution peut être entrevue qui permettrait d'utiliser des câbles souterrains pour transmettre de grandes puissances à de très grandes distances, c'est l'emploi du courant continu à très haute tension, objet d'études très sérieuses pour les électriciens. L'isolant des câbles pouvant être beaucoup plus fortement sollicité en courant continu qu'en alternatif, on peut envisager par exemple de transporter 800 000 kilowatts par deux câbles de 600 mm² ayant une épaisseur d'isolation de 20 mm seulement pour une tension totale de 1 million de volts. On a même calculé que, dans certaines conditions, le câble n'est pas plus cher que la ligne aérienne. Plusieurs questions restent à résoudre mais certainement la solution sera trouvée. De puissantes chutes d'eau, trop éloignées des centres de consommation pour les moyens actuels de la technique pourront ainsi être mises en valeur, et il y aura encore les usines de désintégration atomique qui doivent, par définition, être éloignées des lieux habités.

Un jour viendra peut-être où l'énergie électrique sera transportée à distance sans fil, mais jusque-là, l'industrie des câbles a encore de belles années en perspective.

En terminant, je tiens à remercier la Direction de la *Câblerie de Cossonay* qui m'a accordé les facilités nécessaires à la rédaction de ce travail et plusieurs collègues de l'*Association Suisse des Electriciens* qui ont bien voulu me communiquer des renseignements.

DIVERS

L'enseignement des sciences appliquées [1]

...L'importance de l'enseignement des sciences pures dans la formation de l'ingénieur ne souffre pas de contradiction. Tous les principes de base de l'enseignement des sciences appliquées sont intimement liés aux sciences fondamentales dont nous venons de parler. On pourrait dire assez justement que le génie est la science des applications de la physique et de la chimie à l'aide des mathématiques. On reconnaît toutefois que l'ingénieur n'utilise pas aussi fréquemment qu'on semble le dire, cet outil mathématique jugé indispensable à sa formation. C'est vrai. Son expérience ou celle de ses prédécesseurs est cependant basée sur l'analyse mathématique des faits et la solution mathématique des problèmes concrets. La profession de l'ingénieur est maintenant développée au point où le long passé d'expérience permet de rendre empirique la solution de la plupart des problèmes journaliers ; toutefois, les données de ces problèmes pouvant naturellement varier à l'infini, il arrive très fréquemment que les formules empiriques ne sont pas utilisables. Elles sont trop généralisées pour s'appliquer à tous les cas particuliers possibles. L'ingénieur doit donc être préparé à faire

[1] Extrait d'un article paru sous ce titre au N° 136, 34e année (hiver 1948-1949) de la *Revue trimestrielle canadienne* et dû à la plume de M. H. Gaudefroy.