Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 74 (1983)

Heft: 19

Artikel: Développements récents dans les câbles de télécommunication

Autor: Ruchet, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904873

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: 05.02.2026

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

Développements récents dans les câbles de télécommunication

R. Ruchet

Le développement incessant des télécommunications durant ces dernières années a nécessité le perfectionnement des câbles conventionnels à circuits symétriques et asymétriques et la recherche de nouveaux supports de transmission. L'article donne un aperçu des études et réalisations nouvelles dans le domaine des fibres optiques, de la protection contre le phénomène NEMP et de la protection contre la pénétration accidentelle d'eau dans les câbles.

Die Entwicklung der letzten Jahre auf dem Gebiet der Telekommunikation hatte zur Folge, dass die konventionellen Kabel mit symmetrischen und asymmetrischen Kreisen verbessert und nach neuen Übertragungsmitteln gesucht werden musste. Der Aufsatz soll einen Einblick in die Entwicklung und Verwirklichung von neuen Elementen geben: die Glasfasertechnik, den Schutz gegen den NEMP und den Schutz gegen eindringendes Wasser in Kabel.

Cet article est conçu également au nom des câbleries de Brugg, de Cortaillod et de Cablex S.A.

Adresse de l'auteur
R. Ruchet, S.A. des Câbleries et Tréfileries de Cossonay, 1305 Cossonay-Gare.

1. Introduction

Les télécommunications n'ont cessé de se développer au cours de ces dernières années et l'industrie câblière a suivi ce développement en perfectionnant les câbles conventionnels à circuits symétriques et asymétriques et en recherchant de nouveaux supports de transmission.

En 1972 est apparu pour la première fois une fibre optique multimode prototype dont l'affaiblissement linéique était inférieur à 4 dB/km. Cette nouvelle technologie offrant des caractéristiques intéressantes quant à son utilisation dans les réseaux de télécommunication, les câbliers se sont équipés en vue des recherches et applications dans ce domaine.

Un autre facteur a pris une importance particulière, à savoir l'augmentation des perturbations électromagnétiques. Les câbles sont exposés à ces perturbations. Ces dernières sont dues, par exemple, à la foudre; actuellement il faut également tenir compte du phénomène NEMP engendré lors de l'explosion d'une bombe atomique se produisant, par exemple, à quelques centaines de kilomètres de notre pays. Cela a nécessité des études qui ont conduit à la fabrication de plusieurs types spécifiques de câbles.

L'exploitant exige de plus en plus que la fiabilité de son matériel soit augmentée. Cela a amené, entre autres, à étudier des procédés pour empêcher la pénétration longitudinale de l'eau dans les câbles.

Afin de donner un aspect des réalisations nouvelles, on a choisi, pour cet article, la description de quelques cas types concernant les problèmes mentionnés.

2. Fibres optiques

En 1977, les câbleries de Brugg, Cortaillod et Cossonay ont fondé la société Cabloptic S.A. qui est chargée de développer, mettre au point et fabriquer des fibres optiques. A présent, il s'agit d'une fibre 50/125 µm à gradient d'indice de réfraction (ouverture numérique de 0,2) protégée par une couche de silicone et par une gaine en polyamide extrudée serrée; le diamètre extérieur est de 1 mm. Plusieurs fibres gaînées peuvent être assemblées pour former le câble désiré.

A ce jour, plusieurs installations ont été livrées aux PTT suisses, représentant au total plus de 520 km de fibres

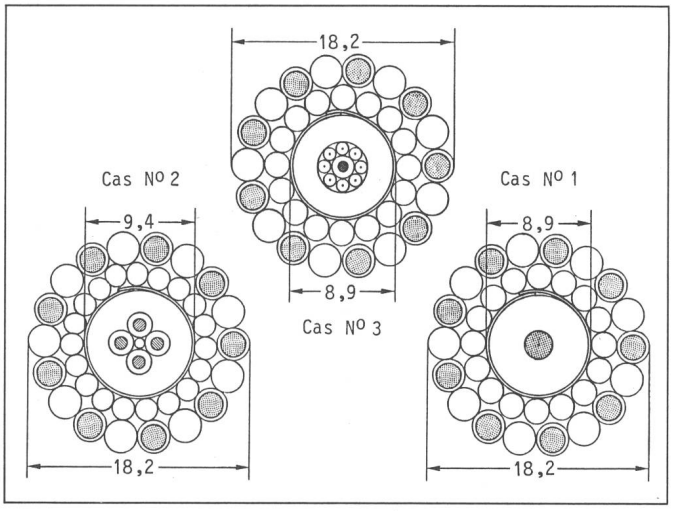

Fig. 1
Coupe des lignes de terre du tableau I

Comparaison des caratéristiques de lignes de terre avec différents supports de télécommunication incorporés (cf. figure 1) Tableau I

Cas n°	1	2	3
Ligne de terre avec	1 paire coaxiale incorporée R*2,2/8,1 PE	1 quarte incorporée 1×4/1,0 PE	8 fibres optiques incorporées
Section effective de la ligne [m²] Alumoweld Aldrey	 47,4 99,7	 47,4 95,8	 47,4 99,7
Diamètre extérieur [mm]	18,2		
Module d'élasticité [kN/m²]	85		
Coefficient de dilatation linéaire de la ligne [1/K]	$17 \cdot 10^{-6}$		
Charge de rupture [kN]	88	86	88
Poids [kg/km]	680	682	680
Rayon de courbure minimum [mm]	280		
Longueur maximale de fabrication [m]	2800		2000
Facteur de réduction, $f = 16\frac{2}{3}$ Hz $f = 50$ Hz	0,80 0,39	0,80 0,42	n'a pas de signification
Tension de tenue au choc [kV]	≧ 100		n'a pas de signification
Courant de court-circuit admissible dans la ligne de terre pendant 1 s [kA]	8	7,8	10
Bande passante, valeur maximale[1]) [MHz]	1	0,5	pour $\lambda = 850$ nm: 100...70 [3]) pour $\lambda = 1300$ nm: 50 [3])
Longueur du tronçon d'amplification [km]	28...54 [2])	14...36 [2])	pour $\lambda = 850$ nm: 8...12 [3]) pour $\lambda = 1300$ nm: 20 [3])

[1]) pour l'ensemble de la longueur du tronçon d'amplification
[2]) dépend de la fréquence et du nombre de canaux utilisés (au maximum 12 canaux pour les cas considérés)
[3]) en admettant les conditions suivantes pour une fibre optique 50/125 µm:
bande passante $B = 500$ MHz·km; affaiblissement linéique $\alpha = 3{,}0$ dB/km pour une longueur d'onde $\lambda = 850$ nm resp. $\alpha = 1{,}5$ dB/km pour $\lambda = 1300$ nm.

optiques. Les caractéristiques de transmission mesurées sur des tronçons de 10 km de longueur complètement équipés (jonctions, etc.) sont comprises, pour l'affaiblissement linéique, entre 2,6 et 3,0 dB/km et présentent des valeurs de bande passante supérieures à 120 MHz, ce qui suffit pour des transmissions à 140 Mbit/s. Cela démontre la très bonne qualité de ces fibres fabriquées entièrement en Suisse. Voici trois exemples de réalisations spécifiques.

2.1 Fibres optiques incorporées dans une ligne de terre

Dans notre pays, la fabrication et la livraison de lignes aériennes avec conducteurs de télécommunication (paire coaxiale ou quarte) incorporés ont débuté en 1971. Ils présentent l'avantage de permettre la propagation de n'importe quelle fréquence porteuse sans perturber d'autres systèmes de transmission extérieurs au câble de garde. A mi-1983, environ 2500 km de liaisons de ce genre ont été installées, dont plusieurs centaines de kilomètres ont été livrés à l'étranger par l'intermédiaire de la société d'exportation Cablex S.A. L'exploitation de ces câbles donne entière satisfaction.

Pourquoi veut-on alors les remplacer par des fibres optiques? En voici les raisons:

- d'une part, les conducteurs de télécommunication peuvent, dans certains cas, être perturbés par l'action de champs électromagnétiques engendrés soit par la foudre, soit par la mise en court-circuit accidentelle de la ligne aérienne; les fibres optiques y sont totalement insensibles;
- d'autre part, les fibres optiques ont un faible affaiblissement linéique, aucune «diaphonie» entre elles et une large bande passante, permettant ainsi la transmission d'information à vitesse élevée et à grand débit.

Le tableau I donne la possibilité de comparer les caractéristiques de lignes de terre ayant des armatures métalliques de sections pratiquement identiques mais contenant soit une paire coaxiale, soit une quarte, soit un câble à 2...8 fibres optiques. En ce qui concerne les fibres optiques, on remarque en particulier que

- celles-ci étant insensibles aux phénomènes électromagnétiques, il n'y a pas lieu de tenir compte des valeurs de facteur de réduction et de la tension de tenue au choc;
- les fibres optiques étant gainées de polyamide dont la température de déformation sous contrainte mécanique est plus élevée que celle du polyéthylène, la valeur du courant de court-circuit admissible dans la ligne de terre est plus grande;
- la valeur maximale de la bande passante pour une longueur de tronçon d'amplification est nettement à l'avantage de la fibre optique où l'on peut, sans autre, envisager, par exemple, une transmission vidéo à longue distance (surveillance TV);
- les dispositifs d'amarrage sont identiques à ceux d'une ligne de terre conventionnelle ou d'une ligne de terre avec paire coaxiale ou quarte incorporée.

Valeurs mesurées sur les fibres optiques après pose et montage des câbles combinés

Tableau II

Tronçon	A-D	A-C	D-C
B = Bande passante [MHz][1])	280...370	403...522	225...383
α = Affaiblissement [dB][1])	11,0...12,2	7,7...9,2	11,0...11,5
Longueur [km]	~ 3	~ 2,1	~ 2,7
Nombre de jonctions	7	4	6

[1]) Caractéristiques des fibres avant pose et montage: $B \geqslant 500$ MHz·km, $\alpha \leqslant 5$ dB/km

En automne 1980, une installation expérimentale de ligne de terre avec fibres optiques incorporées a été réalisée. Sa longueur est de 3,2 km avec une portée moyenne entre poteaux de 150 m [1]. Les résultats obtenus à ce jour montrent que la qualité de transmission est excellente et reste très stable vis-à-vis des conditions d'environnement (température, forces de traction, etc.). D'autre part, le coefficient de température de l'affaiblissement linéique des fibres optiques placées à l'intérieur de la ligne de terre est très petit ($a = 6{,}3 \cdot 10^{-4}$ 1/K) pour le domaine de température de −17 à +35 °C.

Il s'ensuit que l'on peut envisager l'emploi d'une ligne de terre aérienne avec fibres optiques incorporées. Actuellement, plusieurs projets sont à l'étude aussi bien pour $\lambda = 850$ nm que 1300 nm; des réalisations pour le service normal sont envisagées pour 1984 et 1985.

2.2 Fibres optiques dans des câbles souterrains

Exemple n° 1: Câbles combinés «8 fibres optiques + téléphone»

Il s'agissait de relier trois centraux A, C et D pour assurer d'une part des liaisons téléphoniques conventionnelles et d'autre part des liaisons inter-ordinateurs et vidéo. Après étude, il a été convenu de fabriquer des câbles combinés comportant un câble à huit fibres optiques au centre d'un faisceau de quartes téléphoniques usuelles à isolation PEZ (isolation composite polyéthylène + flocks de cellulose).

Les résultats des mesures après pose et montage sont donnés dans le tableau II. Les valeurs obtenues sont bonnes, compte tenu de la distance entre les centraux et du nombre de jonctions. D'ores et déjà, les essais de transmission vidéo et de données effectués permettent d'avoir entière confiance dans une telle utilisation de ces fibres.

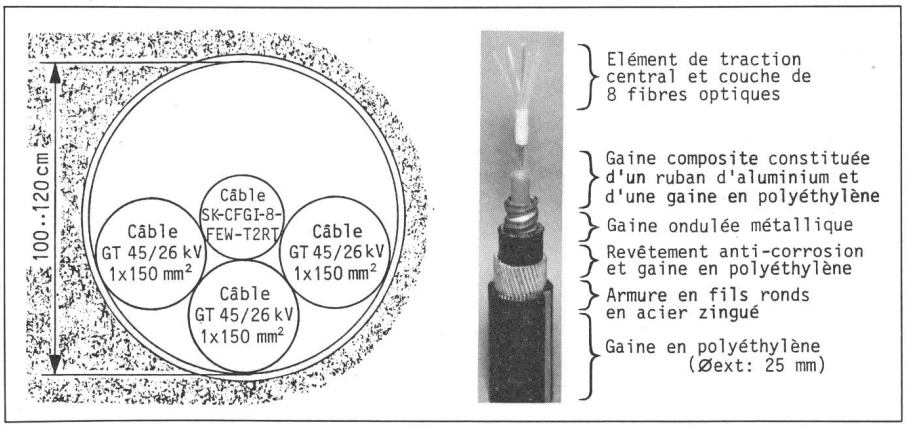

Fig. 2 Disposition et construction du câble SK-CFGI-B-FEW-T2 RT

Exemple n° 2: Câbles renforcés mécaniquement

Dans ce cas, il fallait relier deux sous-stations entre elles pour permettre d'une part, la liaison entre deux systèmes de télécommande et d'autre part, la liaison entre des systèmes de protection à distance ainsi que, plus tard, l'utilisation de systèmes de surveillance TV.

La condition particulière de cette installation était que le câble de télécommunication devait être placé dans le même tube que des câbles d'énergie à haute tension (HT). Cela impliquait l'impossibilité d'utiliser un câble de télécommunication conventionnel en raison des dangers dus à la proximité des câbles HT (fig. 2). La solution du câble à fibres optiques s'imposait donc étant donné son insensibilité aux phénomènes électromagnétiques. D'autre part, le diamètre intérieur restreint du tube déjà posé nécessitait l'adoption de la solution de trois câbles unipolaires HT tirés simultanément avec le câble à fibres optiques.

Pour éviter un endommagement de ce dernier lors du tirage des 4 câbles ou lors des dilatations et contractions des câbles HT en service, il a été renforcé mécaniquement, notamment par une gaine ondulée métallique et par une armure. Ce renforcement a été dimensionné en tenant compte des sollicitations mécaniques et de la place à disposition dans le tube de façon à ne pas trop entraver le mouvement des câbles HT.

Les fibres optiques utilisées dans ce câble sont identiques à celles des câbles du cas précédent. De même, les mesures effectuées après pose démontrent que les caractéristiques de transmission de l'installation sont bonnes.

3. Câbles de télécommunication protégés contre le phénomène NEMP

L'abréviation NEMP désigne l'impulsion électromagnétique engendrée par une explosion nucléaire (NEMP: Nuclear Electromagnetic Pulse). Lors des essais de bombes atomiques, on a constaté de multiples effets qui sont: une émission de neutrons, des émissions de rayons γ et X, un phénomène NEMP, un phénomène d'éclair, un rayonnement thermique, des ondes de choc dans l'air et dans le sol, un souffle et des retombées radioactives.

Le mécanisme fondamental de la génération du NEMP s'explique par le processus de transformation d'énergie [2; 3; 4]. Une petite fraction de l'énergie nucléaire est transformée en plusieurs étapes intermédiaires en énergie dans le spectre des fréquences électromagnétiques. La première étape de cette conversion est la libération de rayons γ lors de l'explosion nucléaire. L'interaction des rayons γ avec les molécules d'air de l'atmosphère engendre par effet Compton (effet d'une collision entre un photon γ et un électron dans la structure atomique d'un matériau) des électrons libres et des ions positifs. La région où les rayons γ agis-

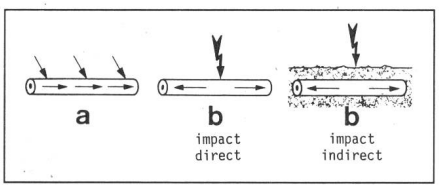

Fig. 3 Actions du NEMP et de la foudre

a NEMP: Le câble est soumis sur toute sa longueur au champ électromagnétique engendré par l'effet NEMP

b Foudre: Le câble est parcouru par le courant de foudre depuis le point d'injection

sent de cette sorte est appelée région-source. Le flux d'électrons dans cette région constitue un courant qui peut rayonner une énergie électromagnétique d'où découle l'onde NEMP.

L'amplitude du NEMP est fonction du champ magnétique terrestre, de la hauteur HOB de l'explosion par rapport au sol, de la distance S entre le point d'explosion et l'installation considérée, de la puissance de la bombe, de la résistivité du sol et des paramètres de la ligne influencée (impédance caractéristique, longueur, hauteur ou profondeur par rapport à la surface du sol).

En première approximation, on peut dire que l'effet de l'impulsion NEMP est semblable à celui d'une surtension d'origine atmosphérique mais avec une autre forme d'onde (durée de front et durée de mi-amplitude différentes) et avec une autre action du champ électromagnétique (fig. 3).

Dans le cas d'une explosion exoatmosphérique se produisant dans l'hémisphère Nord, on constatera que le champ sera plus faible au nord du point d'explosion et que le domaine à champ maximum se trouvera au sud du point d'explosion et à une distance de l'ordre de deux fois HOB. Il s'ensuit que si l'explosion se produisait à une altitude de 400 km et à une distance d'environ 700 à 800 km au nord de Berne, notre pays serait dans la zone de champ maximum. Cela démontre que sans que nous soyons impliqués dans un conflit, l'exploitation des réseaux de transmission d'information et d'énergie ainsi que ceux des chemins de fer peut être perturbée. Il est donc nécessaire de protéger les lignes électriques contre les influences de l'effet NEMP d'une explosion à haute altitude.

Dans une explosion à proximité du sol, le volume influencé peut être considéré comme confiné dans un hémisphère d'un rayon de quelques km. Les champs NEMP décroissent fortement en fonction du rayon de l'hémisphère. L'atmosphère dense près de la surface de la terre restreint l'action des rayons γ et limite la dimension de la région-source. Cette dernière coïncide, en gros, avec la zone où la plupart des autres effets destructeurs de la bombe sont prépondérants. Il apparait que:

- jusqu'à une distance S de 2,5 km les autres effets, tels que le rayonnement thermique, les ondes de choc et le souffle sont prépondérants par rapport au NEMP. Il est illusoire de croire que l'on puisse protéger les câbles enterrés à faible profondeur ou les lignes aériennes. Dans ce cas, seuls les câbles à forte profondeur pourront résister aux sollicitations, pour autant qu'ils soient conçus en conséquence;
- entre 2,5 et 5,5 km, zone qui est encore le siège de fortes destructions dues aux autres effets, il faut protéger le câble ou la ligne aérienne contre les influences NEMP;
- à partir de 5,5 km et jusqu'à environ 10 km, l'intensité NEMP, qui décroît fortement en fonction de la distance du point d'explosion, reste tout de même suffisante pour que l'on prenne son effet en considération.

Pour faire le choix entre les différentes possibilités de protection des câbles ou lignes aériennes, il faut déterminer les sollicitations en courant et en tension des câbles exposés au phénomène NEMP [5]. Les calculs ont été effectués pour des configurations simples et usuelles de lignes aériennes et de câbles souterrains pour une résistivité de sol ϱ de 10 000 Ωm (en Suisse, ϱ varie généralement entre 100 et 10 000 Ωm, suivant les régions) et pour une explosion exoatmosphérique (HOB > 40 km) et au sol de bombes de 1 Mt.

La valeur maximale du courant $\hat{I}$ induit dans la ligne considérée varie, suivant les cas, entre 4 et 120 kA et la charge $\hat{Q}$ inhérente entre 0,1 et 3 C. Les valeurs les plus élevées sont atteintes pour les lignes aériennes et les câbles autoporteurs. Ces valeurs de courant pourraient être réduites si l'on tient compte de l'effet compensateur des infrastructures métalliques environnantes (autres câbles, tuyaux métalliques, rails de chemin de fer, etc.) pour autant qu'elles existent.

Pour protéger les câbles contre l'effet NEMP, les possibilités sont les suivantes:

- *Variante I:* tirage du câble dans un conduit métallique de section et de métal appropriés.
- *Variante II:* faisceau + gaine isolante, si nécessaire, de façon à augmenter la rigidité diélectrique entre le faisceau et les revêtements métalliques + écran métallique en matériau non ferro-magnétique + écran métallique en matériau ferro-magnétique + écran métallique en matériau non ferro-magnétique + protection contre la corrosion + armure de traction éventuelle.
- *Variante III:* dito variante II mais sans l'écran ferro-magnétique (fig. 4).
- *Variante IV:* faisceau + gaine isolante ayant la même fonction que pour les variantes II et III + écran métallique en matériau non ferro-magnétique + protection éventuelle contre la corrosion et les endommagements mécaniques.

Un paramètre important caractérisant l'effet protecteur de ces revêtements métalliques est l'impédance de transfert qui permet de déterminer la pénétration du champ électromagnétique dans un câble coaxial. Elle donne, quantitativement, le rapport entre la tension par unité de longueur du câble apparaissant à l'intérieur de la gaine métallique et le courant circulant à la périphérie de la gaine. Sa valeur est dépendante de la géométrie et des propriétés électromagnétiques des revêtements métalliques du câble ainsi que de la forme de l'onde du courant de choc (durée de front, durée de mi-amplitude). Des différentes constructions réalisées, la figure 4 montre une exécution selon la variante III. Ce câble a, entre le faisceau et la gaine en aluminium lisse, une gaine isolante dont la rigidité diélectrique au choc est supérieure à 100 kV.

4. Le câble Aquabloc (AQB)

La présence d'eau ou d'humidité dans un câble de télécommunication affecte ses caractéristiques de transmission. Si l'isolation est en papier, on a très vite un court-circuit entre les conducteurs eux-mêmes et avec l'écran. Dans le cas d'une isolation extrudée (p.ex. en polyéthylène), l'eau peut se propager longitudinalement sans qu'il se produise de court-circuit. Si ce câble est complètement rempli d'eau, la capacité mutuelle des circuits doublera et l'on aura, par conséquence, une augmentation de l'affaiblissement linéique de 40% (f = 4 kHz) à 150% (f = 1,6 MHz). De plus, la diaphonie se dégradera aussi.

Ce sont les raisons pour lesquelles il faut protéger le câble de télécommuni-

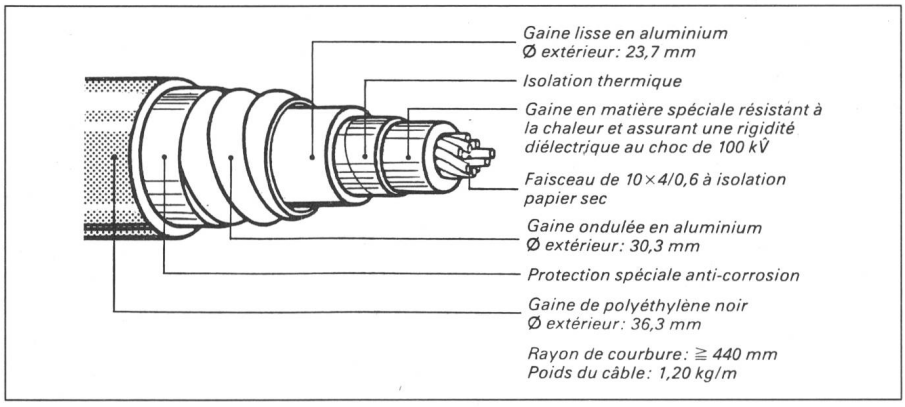

Fig. 4 Câble TK-10×4/0.6 P-T*-ALU1-ALUW1-T2T correspondant à la variante III

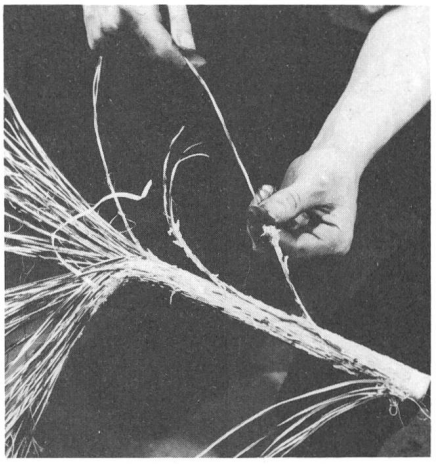

Fig. 5 Préparation d'une extrémité d'un câble type aquabloc pour le montage d'une jonction

cation contre les pénétrations d'eau radiale et longitudinale. Dans le premier cas (isolation en papier), le problème est résolu depuis longtemps par l'utilisation d'une gaine métallique étanche (par exemple: gaine de plomb) ou d'une gaine étanche composite de type -ALT (ruban métallique longitudinal + gaine en polyéthylène). Pour le second cas, il existe plusieurs possibilités dont les deux plus courantes sont d'une part le remplissage des interstices entre les fils isolés sur toute la longueur du câble et d'autre part l'injection de bouchons d'étanchéité à intervalles réguliers. C'est cette deuxième solution qui est le principe du système Aquabloc, dont les câbleries de Brugg, Cortaillod et Cossonay ont acquis la licence de fabrication.

4.1 Construction des câbles

Les bouchons d'étanchéité mentionnés sont en élastomère silicone et ont chacun une longueur d'environ 20 cm. La distance entre les bouchons, fonction de la composition du faisceau, est de l'ordre de 2 à 4 m. L'étanchéité est évidemment aussi assurée entre le faisceau, l'isolation ceinture et la gaine -ALT par un encollage spécial à intervalles réguliers.

En résumé, la construction des câbles AQB disponibles actuellement est la suivante:

- *Conducteurs:* en cuivre électrolytique de 0,4 à 0,8.
- *Isolation:* en polyéthylène.
- *Faisceau:* en couches concentriques. Les compositions maximales sont:

pour conducteurs de:	0,4	0,5	0,6	0,8 mm
nb. max. de quartes:	200	150	100	50
capacité mutuelle nom.:	40	40	40	40 nF/km

- *Bouchons d'étanchéité:* en élastomère silicone, assurant l'étanchéité longitudinale.
- *Isolation ceinture:* ruban spécial en matière synthétique + gaine en polyéthylène éventuelle, assurant les étanchéités radiale et longitudinale et la rigidité diélectrique désirée.
- *Gaine d'étanchéité:* composée d'un ruban métallique adhérant à la gaine en polyéthylène, assurant l'étanchéité radiale et constituant aussi l'écran électro-statique.
- *Armure:* rubans d'acier plombés ou fils d'acier zingués selon les conditions de pose et d'exploitation.
- *Gaine extérieure:* si nécessaire, choix du matériau dépendant des conditions de pose et d'exploitation.

La figure 5 montre l'aspect d'un câble AQB lors de la préparation pour le montage d'une jonction.

Pour certaines utilisations, il est encore possible d'ajouter des fils de continuité en cuivre étamé sous la gaine -ALT et d'incorporer un fil de détection de pénétration d'eau. Ce fil est un conducteur isolé dont l'isolation est trouée à intervalles réguliers, permettant ainsi sa mise en court-circuit immédiate au contact de l'eau.

4.2 Caractéristiques

La permittivité de l'élastomère silicone est légèrement plus élevée que celle de l'isolation en polyéthylène des conducteurs. Il est évident que, suivant la distance entre bouchons et la longueur de chacun de ceux-ci, la capacité mutuelle des circuits sera plus élevée que celle d'un câble de mêmes dimensions et de même composition sans bouchons. Cette augmentation en fonction du taux de remplissage est donnée par le graphique de la figure 6. Pour un diamètre de faisceau identique, le câble rempli de vaseline (petroleum jelly) aura une capacité mutuelle supérieure d'environ 19% à celle du câble avec bouchons d'étanchéité distants de 3 m et un taux de remplissage de 8%.

De plus, on a calculé que, pour une capacité mutuelle des circuits et un diamètre de conducteur donnés, les diamètres des fils isolés doivent être différents si le câble est sans remplissage (CSR), s'il est obturé périodiquement avec des bouchons d'étanchéité

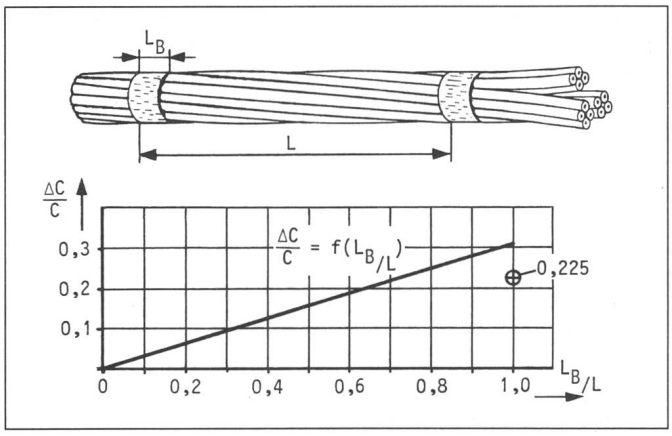

Fig. 6
Augmentation de la capacité mutuelle ΔC/C des circuits en fonction du taux de remplissage L_B/L par rapport à un câble de mêmes dimensions sans remplissage

⊕ câble rempli de vaseline (ε_r vaseline ≈ 2.2) sur toute sa longueur

(CAB) ou s'il est rempli complètement sur toute sa longueur avec de la vaseline (CAV). Le tableau III montre que pour un même nombre de quartes et la même capacité mutuelle, le diamètre du faisceau rempli avec de la vaseline sera 1,3 fois plus élevé que celui du câble avec bouchons. Il s'ensuit évidemment une différence de prix.

La résistance à la pénétration d'eau des bouchons est contrôlée selon la méthode prescrite dans la publication CEI n° 708-1 (sous une hauteur d'eau de 1 m) [5].

D'une façon générale on peut dire que la présence de ces bouchons en élastomère silicone empêche la propagation d'eau dans le câble sans affecter sa souplesse. Elle donne une légère augmentation (3% pour une distance entre bouchons d'environ 3 m) de la capacité mutuelle par rapport à un câble sans remplissage. A remarquer que pour un câble complètement rempli avec de la vaseline, cette augmentation est de l'ordre de 22%. D'autre part les bouchons n'affectent pratiquement pas les valeurs de l'affaiblissement linéique, de l'impédance caractéristique et de la diaphonie dans le domaine de fréquences exploré de 0...1 MHz.

Comparaison entre câbles sans remplissage (CSR), obturés avec bouchons (CAB) et câbles remplis complètement (CAV) Tableau III

Type de câble	CSR	CAB	CAV
Taux de remplissage (%)	0	8	100
ε_r apparent du faisceau	1,85	1,89	2,27
Rapport du diamètre du conducteur isolé au diamètre du conducteur isolé du câble CSR	100	103	134

Bibliographie

[1] *R. Ruchet* e.a.: Transmission d'informations par fibres optiques incorporées dans une ligne de terre. Rapport CIGRE N° 35-08, 1982.

[2] *T. Ruedy, J. Bertuchoz* und *B. Wamister:* Entstehung und Wirkung des NEMP. Bull. SEV/VSE 71(1980)17, S. 906...910.

[3] *L.W. Ricketts, J.E. Bridges, J. Miletta:* EMP Radiation and Protective Technics. John Wiley & Sons, New York 1976.

[4] *K. Appert, J.P. Blasen, W. Jöhl, M. Wick:* Primäre und sekundäre NEMP-Wirkungen. Forschungsinstitut für militärische Bautechnik 72-1, Zürich 1972.

[5] *E.F. Vance:* Coupling to shielded cables. John Wiley & Sons, New York 1978.

[6] Câbles pour basses fréquences à isolation polyoléfine et gaine polyoléfine à barrière d'étanchéité. Première partie: Constitution générale et prescriptions. Publication de la CEI 708-1, 1981.