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: 88 (1997)

Heft: 17

Artikel: Câbles aériens à fibres optiques : différentes utilisations dans les lignes aériennes à haute tension

Autor: Ruchet, Roland / Gavillet, Jean-Marc / Fehlbaum, Jean

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902226

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

Depuis 1970, les moyens mis en œuvre pour assurer les transmissions d'informations associées à l'exploitation des réseaux d'énergie électrique à haute tension ont fortement évolués. Du fait de son insensibilité à l'environnement électromagnétique et de ses qualités intrinsèques, la fibre optique est le support adéquat pour assurer la plus grande fiabilité possible à ces importantes télécommunications. Cet article présente les différents types de câbles aériens à fibres optiques avec leurs caractéristiques et leurs essais de type ainsi que les critères pour permettre le choix entre les différentes possibilités en fonction des conditions d'environnement.

Câbles aériens à fibres optiques

Différentes utilisations dans les lignes aériennes à haute tension

■ Roland Ruchet, Jean-Marc Gavillet et Jean Fehlbaum

Dès 1970, Alcatel Cable Suisse a mis en évidence les avantages d'incorporer des conducteurs de télécommunication en cuivre dans une ligne de garde (plus de 4000 km installés) [1, 2]. Les transmissions d'information dans les réseaux d'énergie à haute tension ont depuis fortement évolué grâce à la technologie numérique. Cette dernière a trouvé de plus en plus d'application dans le domaine de la protection, de la commande, de la mesure et de la surveillance des réseaux d'énergie électrique. Ces systèmes électroniques ont contribué à l'amélioration du comportement en exploitation et à la réduction des coûts.

Au cours de ces dernières années, les processus de déréglementation et de privatisation ont constitué une priorité pour toutes les économies modernes en train d'évoluer vers une société fondée sur l'information résultant de la convergence entre médias, télécommunications et informatique. Dans cette évolution les réseaux et les infrastructures de réseaux jouent un rôle considérable [3]. En Suisse, six compagnies d'électricité ont créé en juillet 1996 une société afin de se lancer dans le marché libéralisé des télécommunications.

Pour assurer la plus grande fiabilité possible à ces télécommunications importantes, les liaisons optiques sont les plus adéquates car elles ont, pour elles, les avantages d'être insensibles aux perturbations électromagnétiques, d'avoir un petit affaiblissement linéique, une grande largeur de bande passante et une séparation galvanique totale entre les appareils terminaux.

C'est pourquoi en 1980 déjà, la première installation d'un conducteur de garde avec fibres optiques incorporées a été réalisée en Suisse, suivie, en 1983, d'une deuxième réalisation [4, 5]. Dans le courant de la dernière décennie, l'utilisation de câbles optiques s'est fortement intensifiée et les concepts de construction ont évolué. Différents types de câbles métalliques ou non métalliques sont proposés et décrits ci-après. Concernant les désignations et les définitions des caractéristiques des câbles commentés dans cet article, nous nous sommes référés aux projets de normes EN et CEI [6–8].

Liaisons optiques le long des lignes aériennes à haute tension

Pour assurer une liaison optique le long d'une ligne aérienne à haute tension,

Adresses des auteurs
Roland Ruchet, ing. ETS dipl., et
Jean-Marc Gavillet, ing. ETS dipl., Alcatel Cable Suisse SA, 1305 Cossonay-Gare, et
Jean Fehlbaum, ing. EPFL dipl., Alcatel Cable Suisse SA, 2016 Cortaillod

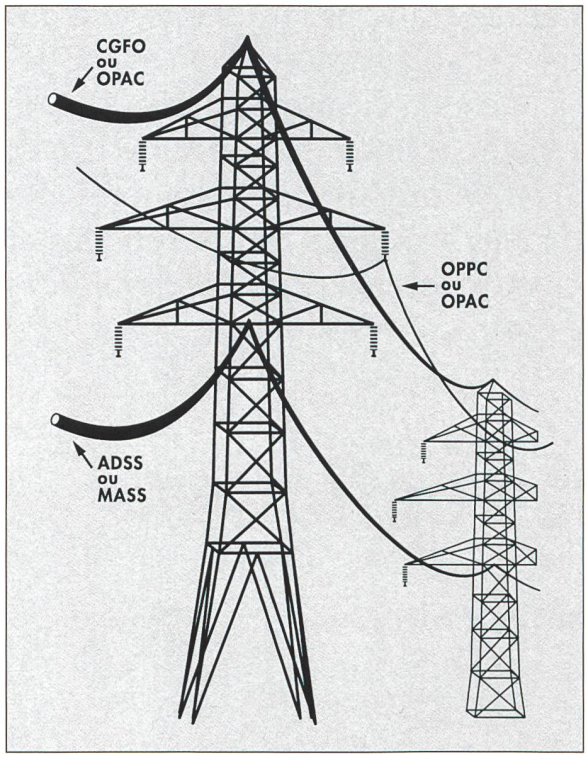


Figure 1 Emplacements des différents câbles optiques utilisés le long des lignes aériennes à haute tension

Au haut du pylône:
CGFO câble de garde avec fibres optiques incorporées, ou
OPAC* câble optique attaché au câble de garde usuel

Dans les ternes:
OPPC* conducteur de phase avec fibres optiques incorporées, ou
OPAC* câble optique attaché à un conducteur de phase

Dans le plan inférieur:
ADSS* câble optique autoporteur sans éléments métalliques, ou
MASS* câble optique autoporteur avec éléments métalliques

* abréviations anglaises; les françaises ne sont pas encore déterminées

nous avons les possibilités suivantes (voir fig. 1):

- par un conducteur de garde (CGFO ou abréviation anglaise OPGW) ou de phase (OPPC) avec fibres optiques incorporées
- par un câble optique autoporteur (MASS) avec éléments métalliques
- par un câble optique autoporteur (ADSS) sans éléments métalliques
- par un câble optique sans éléments métalliques (OPAC) attaché à un câble aérien porteur (conducteur de garde ou de phase usuel existant)

Si la ligne aérienne à haute tension est à réaliser, la première possibilité est, sans aucun doute, la plus appropriée et la plus fiable tant au point de vue technique qu'économique. Par contre, si la ligne aérienne à haute tension est existante, les quatres possibilités sont envisageables et seront commentées.

Paramètres importants et essais de type

L'utilisateur peut donc choisir parmi cinq types de câble optique (CGFO, OPPC, MASS, ADSS, OPAC). Le choix se fait en tenant compte des caractéristiques mécaniques et électriques requises découlant du tracé de la ligne (portées, dénivellations, flèches maximales à respecter), des conditions d'environnement (variations de température, surcharge de glace, vent, foudre) et de la statique des pylônes. Par le choix adéquat de la construction et des matériaux utilisés, on obtient un câble optimalisé au point de vue poids, force de traction admissible, prix, etc.

Les caractéristiques importantes en fonction du type de câble, pour son dimensionnement et son exploitation sont données dans le tableau I. La plupart des caractéristiques mentionnées ne nécessitent pas de commentaires particuliers. Toutefois, pour certaines d'entre elles, il faut préciser:

- La tension maximale admissible (tab. I, pos. n° 6) est la force extrême pouvant être appliquée sans qu'il y ait fluage et/ou reprise importante d'affaiblissement des fibres optiques.
- La valeur admissible de courant de court-circuit (tab. I, pos. n° 10) est dépendante des températures initiale ϑ_i et finale ϑ_f. En général, ϑ_i est égal à 40 °C et ϑ_f égal à 170 °C d'où $\Delta\vartheta$ = 130 °C. Si l'on admet ϑ_i = 20 °C et toutes choses restant égales, le courant de court-circuit admissible sera 1,075 fois plus élevé.
- La marge d'allongement est définie comme étant l'élongation que le câble optique peut supporter sans que les fibres soient soumises à une contrainte longitudinale ou sans que l'affaiblissement optique ne dépasse les valeurs prescrites.

Ayant déterminé les caractéristiques principales à connaître pour chaque famille de câble aérien, il faut les contrôler par des mesures. En plus des essais de routine usuels, il est nécessaire de soumettre le câble aérien et ses accessoires à des essais de type permettant de vérifier, en vraie grandeur, les caractéristiques optiques, mécaniques et électriques et la fiabilité du produit dans les conditions extrêmes. Dans ce but, Alcatel Cable Suisse a sur le site de Cossonay une plate-forme d'essai à l'air libre qui permet d'effectuer des essais très proches de la réalité (voir fig. 2 et 3). Le tableau II résume les essais de type principaux.

Caractéristiques des fibres optiques

L'utilisation de fibres optiques insuffisamment spécifiques peut créer, déjà à partir de 2,5 GBit/s, des problèmes dus à la dispersion de polarisation modale

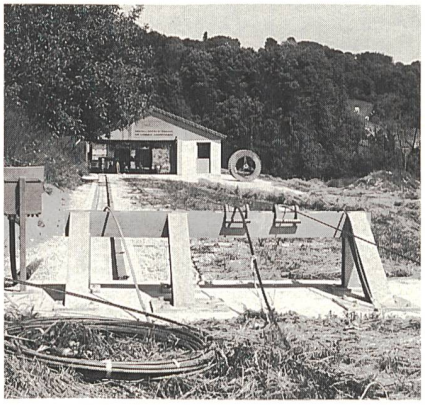


Figure 3 Photo de la plate-forme d'essai

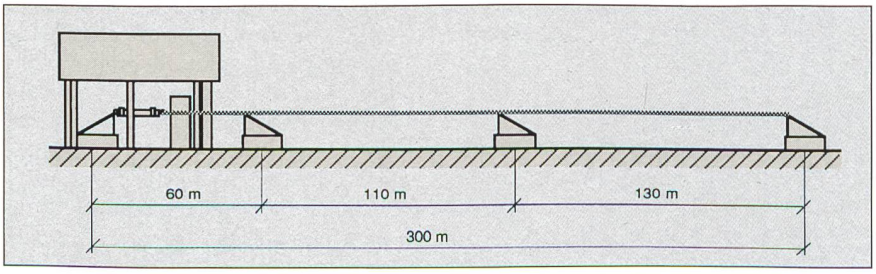


Figure 2 Plate-forme d'essai
distance max.: 300 m force de traction: 100 kN

Pos. n°	Caractéristiques		Types de câble			
			CGFO et OPPC	MASS	ADSS	OPAC
1	Nombre, type et caractéristiques des fibres		X	X	X	X
2	Diamètre extérieur	[mm]	X	X	X	X
3	Section(s) droite(s) des éléments de traction	[mm²]	X	X	–	–
4	Masse linéique	[kg/km]	X	X	X	X
5	Charge de rupture assignée *CRA*	[daN]	X	X	X	–
6	Tension maximale admissible *TMA*	[daN]	X	X	X	X
7	Module d'élasticité *E*	[daN/mm²]	X	X	X	–
8	Coefficient de dilatation linéaire β	[1/°C]	X	X	X	–
9	Domaine des températures admissibles	[°C]	X	X	X	X
10	Charge de court-circuit pour $\Delta\vartheta = \vartheta_f - \vartheta_i$	[kA·s]	X	–	–	–
11	Résistance ohmique linéique en courant continu à 20 °C	[Ω/km]	X	–	–	–
12	Résistance à l'impact d'un coup de foudre		X	–	–	X
13	Compatibilité mécanique entre le câble et les accessoires		X	X	X	X
14	Gaine extérieure anti-tracking		–	–	X	X
15	Résistance à l'impact de balles de fusil		–	–	X	X
16	Marge d'allongement des fibres optiques		X	X	X	X

Tableau I Caractéristiques importantes des câbles optiques aériens en fonction des types

(PMD) et des perturbations d'image lors de transmissions analogiques CATV. C'est aux Etats-Unis, au début des années 90, qu'apparurent les premiers problèmes liés aux systèmes analogiques CATV. Contrairement à la dispersion chromatique et d'après les connaissances actuelles, on ne peut pas éliminer l'influence de la PMD sur la transmission par des procédés de compensation. La dispersion est, avec l'affaiblissement linéique, un des paramètres-clés caractérisant les qualités de transmission d'une fibre optique. Elle décrit comment une impulsion lumineuse se propage dans une fibre optique. A ce jour, trois types de dispersion existent, soit:

La dispersion modale

Les premières fibres optiques utilisées au début des années 80 étaient des fibres optiques multimodes avec un cœur de 50 à 100 µm de diamètre. Dans ce type de fibre, les modes ne se propagent pas tous suivant la même trajectoire. La différence du temps pris par les divers modes pour parcourir une longueur donnée de fibre est ce que l'on appelle la dispersion modale d'une fibre. Pour s'affranchir de cette contrainte, la fibre multimode à gradient d'indice puis la fibre monomode ont été créées.

La dispersion chromatique

Les sources de lumière ne sont jamais monochromatiques. La lumière émise par ces sources est constituée de la somme d'ondes à diverses longueurs d'ondes voisines. L'indice de réfraction du matériau constituant la fibre varie avec la longueur d'onde. Il s'ensuit une vitesse de propagation différente pour chaque longueur d'onde. Si on injecte de la lumière constituée de plusieurs longueurs d'ondes suivant une direction donnée (mode spécifié), cette lumière, se propageant à différentes vitesses selon la longueur d'onde, est décomposée dans le temps. Il en résulte

Essai	But
Essai de traction jusqu'à la rupture (courte longueur, env. 10 m)	Vérifications de la charge de rupture, du module d'élasticité et de la compatibilité mécanique entre le câble et ses accessoires d'ancrage
Essai de traction ou grande longueur (longueur: 60–300 m)	Vérifications de la marge d'allongement des fibres optiques, des caractéristiques optiques en fonction de la sollicitation mécanique due à la traction et à la compression des accessoires d'ancrage
Essai d'écrasement	Vérification du comportement du câble
Essai de passage sur poulies (simulation de pose)	Vérification que le câble ne soit pas endommagé et que ses caractéristiques optiques restent acceptables
Essai de vibrations éoliennes	Evaluation du comportement en fatigue du câble et de ses caractéristiques optiques. Détermination de l'emplacement du type et du nombre des amortisseurs
Essai de court-circuit	Evaluation des performances du câble et de ses caractéristiques optiques (détermination de la température maximale admissible ϑ_f, etc.)
Essai d'impact de foudre	Evaluation de l'ampleur des dégâts éventuels dus à l'impact de foudre
Essai de pénétration d'eau	Vérification de l'étanchéité longitudinale des éléments renfermant des fibres optiques
Essai de cycles de températures	Vérification de l'augmentation éventuelle de l'affaiblissement linéique des fibres

Tableau II Essais de type

un délai entre les différentes longueurs d'ondes en bout de fibre. Cette dispersion est appelée dispersion chromatique. C'est une des propriétés de toutes les fibres, même des fibres monomodes.

La dispersion de polarisation modale

Les constatations effectuées aux Etats-Unis confirment que les fibres optiques dites monomodes, se comportent en fait comme des fibres bimodales vis-à-vis du champ électrique constituant les ondes lumineuses. La lumière est en effet une onde électromagnétique transverse dont le champ électrique se décompose naturellement en deux composantes se propageant à des vitesses légèrement différentes (sauf si la fibre est parfaitement cylindrique et isotrope). Par dispersion de polarisation modale (PMD), on désigne le phénomène par lequel une impulsion de lumière se divise en deux différentes composantes polarisées qui se propagent à travers la fibre à des vitesses différentes. La différence du temps de propagation est la valeur de la dispersion de polarisation modale.

On a vu que pour les transmissions à grand débit, il faut tenir compte de la PMD, et selon les prescriptions en vigueur, elle doit être inférieure à 0,5 ps/km$^{1/2}$. Les fibres anti-PMD d'Alcatel Cable Suisse ont des valeurs mesurées inférieures à cette limite (la valeur moyenne est d'environ 0,04 ps/km$^{1/2}$). Pour démontrer l'influence de ces trois dispersions sur la largeur de bande, on peut se référer à la figure 4.

CGFO – le câble de garde avec fibres optiques incorporées

Les fonctions principales d'un câble de garde avec fibres optiques incorporées (CGFO) sont

- de protéger les conducteurs de phase de lignes aériennes contre les coups de foudre directs,
- de permettre l'écoulement du courant de court-circuit lors d'une mise à la terre accidentelle des conducteurs de phase,
- d'assurer la liaison en télécommunication et ceci dans un domaine de température de –40 °C à +70 °C sous les contraintes mécaniques en découlant.

Depuis la fin des années 1970, les structures de CGFO utilisées en Suisse ont évolué et on peut les classer en quatre catégories principales (voir fig. 5), soit:

Catégorie n° 1: CGFO avec fibres optiques gainées serré; un peu plus tard, avec fibres optiques incorporées dans des tubes en plastique, gaine plastique et armure constituée d'une couche de fils profilés méplat en aldrey (ALD) et d'une ou plusieurs couches concentriques de fils ronds en aldrey (ALD) et/ou en acier revêtu d'une couche d'aluminium (ACS). Premier câble installé en 1978.

Catégorie n° 2: CGFO avec fibres optiques dans tubes en plastique, gaine en aluminium et armure constituée d'une ou plusieurs couches concentriques de fils ronds en ALD et/ou en ACS. Premiers câbles installés en 1987.

Catégorie n° 3: CGFO avec un centre composé d'un fil rond en ALD et d'une couche d'un ou plusieurs tube(s) en acier inoxydable contenant des fibres optiques et de plusieurs ou zéro fil(s) rond(s) en ALD. Une armure constituée d'une couche en fils profilés méplat en ALD et d'une ou plusieurs couches concentriques de fils ronds en ALD et/ou en ACS. Premiers câbles installés en 1992.

Catégorie n° 4: CGFO avec tubes en acier inoxydable contenant des fibres optiques et une armure constituée de fils ronds en ALD et/ou en ACS, le ou les tube(s) en acier inoxydable prenant la place de fils ronds en ALD ou en ACS. Premiers câbles installés en 1994.

ALD est un alliage d'aluminium silicium-magnésium appelé aldrey et ACS est un fil d'acier revêtu d'une couche d'aluminium (Aluminium Clad Steel). A ce jour, pour l'ensemble des quatre catégories, plus de 2700 km de CGFO sont installés ou en commande. Il est à relever que:

- le diamètre des fils ronds en ALD ou en ACS est compris normalement entre 1,2 et 3,5 mm,
- la composition des fils peut être homogène (tout ALD) ou hétérogène (mélange de fils ALD et de fils ACS),
- les sections ALD et ACS sont dépendantes des caractéristiques mécaniques et électriques prescrites,
- pour les catégories n° 3 et 4 des exécutions ont été fabriquées avec des fils en cuivre dur (câbles autoporteurs pour chemins de fer).

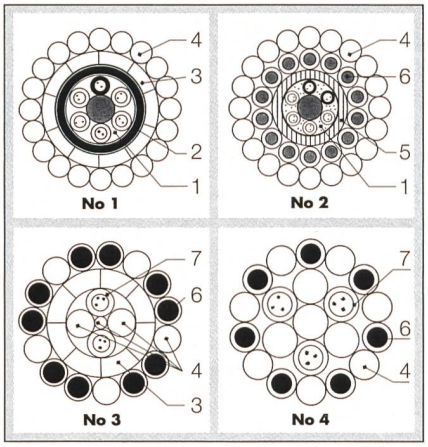


Figure 5 Les quatre catégories principales de CGFO

1 centre optique avec tubes en plastique
2 gaine en polyéthylène
3 fil profilé méplat en aldrey
4 fil rond en aldrey
5 gaine en aluminium
6 fil rond en ACS (Aluminium Clad Steel)
7 tube en acier inoxydable avec fibres optiques incorporées

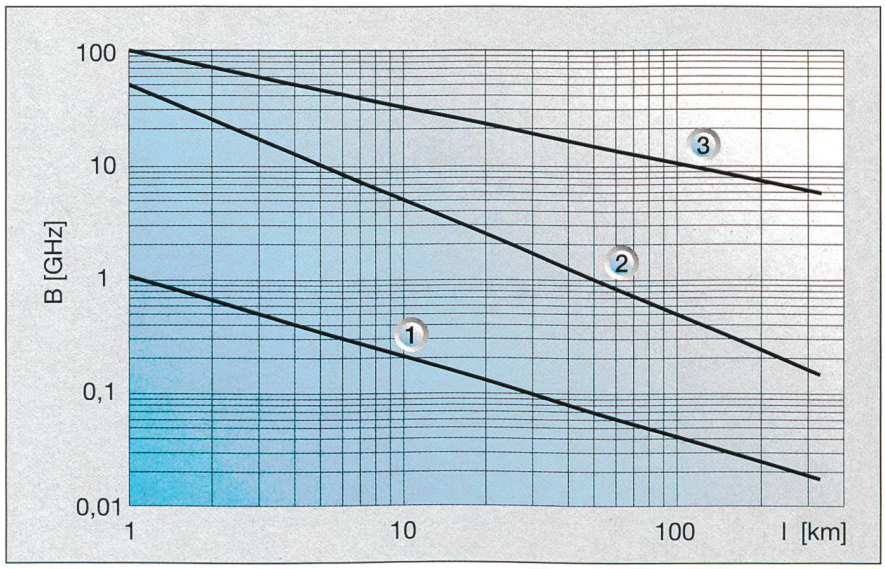


Figure 4 Limitation de la largeur de bande par les trois dispersions

l longueur de la liaison
B largeur de bande
1 dispersion modale (seulement présente dans les f. o. multimodes)
2 dispersion chromatique (peut être éliminée par compensation)
3 dispersion de polarisation modale (PMD = 0,5 ps/km$^{1/2}$)

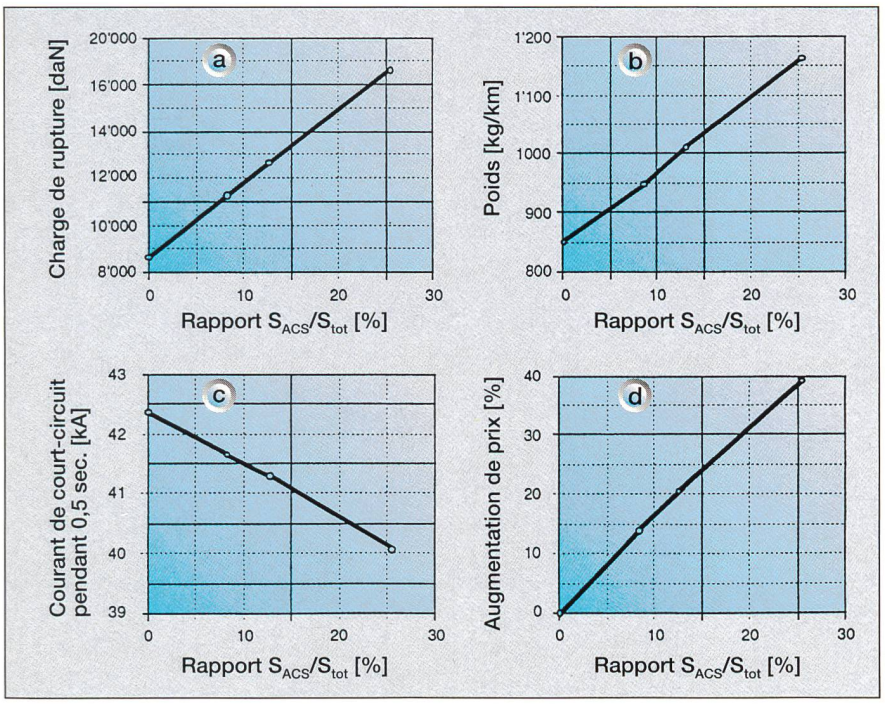


Figure 6 Influence du pourcentage d'ACS sur différents paramètres des CGFO

type LG-SM-1LA-K*/ALD 308 … 228/ACS 0 … 80
S_{ACS} section d'ACS
S_{tot} section métallique totale (ACS + ALD)
a charge de rupture
b poids
c courant de court-circuit pendant 0,5 s
d augmentation du prix

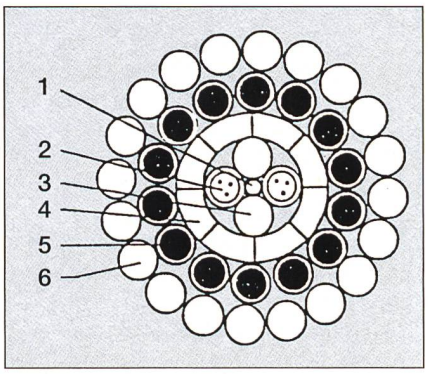


Figure 7 Exemple de CGFO, catégorie n° 3

type LG-SM-1 … 4LA-K*/ALD 248 … 224/ACS112
1 élément central métallique
2 1–4 tubes inox ∅ 3,2 mm avec 2–96 f. o.
3 3 à 0 fils ALD ∅ 3,2 mm
4 couche de 8 fils profilés ALD
5 couche de 14 fils ACS ∅ 3,2 mm
6 couche de 20 fils ALD ∅ 3,2 mm

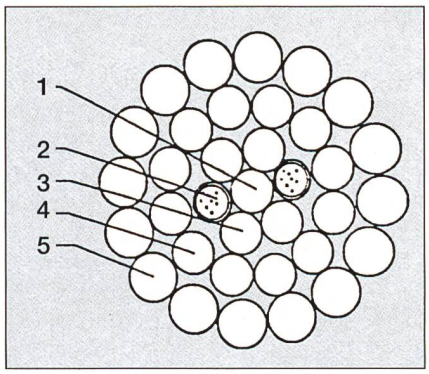


Figure 8 Exemple de CGFO, catégorie n° 4

type LG-SM-1 … 3LA-K/ALD 194 … 184
1 élément central métallique
2 1–3 tubes inox ∅ 2,33 mm avec 2–36 f. o.
3 5 à 3 fils ALD ∅ 2,5 mm
4 couche de 12 fils ALD ∅ 2,5 mm
5 couche de 16 fils ALD ∅ 2,9 mm

Actuellement, ce sont les catégories n° 3 et 4 qui sont les plus utilisées. Leurs avantages sont:

- facteur de remplissage élevé, c'est-à-dire une réduction du diamètre extérieur
- un poids moins élevé
- un nombre élevé de fibres optiques
- une meilleure résistance aux vibrations car plus compact
- température admissible plus élevée (courant de court circuit)

Pour des portées et des sollicitations mécaniques et électriques usuelles (p. ex., Plateau, Jura et Préalpes), les constructions tout en ALD conviennent la plupart du temps. Par rapport aux constructions mixtes ALD-ACS, elles sont plus légères, moins chères et supportent des courants de court-circuit plus élevés.

Lors de grandes portées, de faibles flèches admissibles et/ou de fortes charges de glace, il est possible d'augmenter la charge de rupture par l'adjonction d'ACS pour l'adapter aux exigences. A titre d'exemple, nous avons examiné le cas du CGFO, type LG-SM-/LA-K*/ALD 308 (catégorie n° 3). L'augmentation du pourcentage d'ACS provoque (voir fig. 6):

- une augmentation de la charge de rupture
- une augmentation sensible du poids
- une diminution du courant de court-circuit admissible
- une augmentation de prix

Les conditions climatiques et topographiques, par conséquent les sollicitations mécaniques et électriques diffèrent suivant les régions de notre pays. En première approche, on peut admettre que les valeurs des paramètres de dimensionnement sont dans l'ordre de grandeur donné dans le tableau III.

Pour caractériser ces constructions, nous avons choisi le cas d'un CGFO à haute résistance mécanique installé dans une région montagneuse avec des conditions climatiques, topographiques et kérauniques sévères (voir fig. 7 et tab. IV) ainsi que le cas d'un CGFO à moindre résistance mécanique installé dans une région du Plateau avec des conditions moins rigoureuses (voir fig. 8 et tableau IV).

Région	*CRA* [daN]	I_{cc}·*t* [kA·s]	Sections métalliques nécessaires [mm²] ALD	ACS	Catégorie de CGFO
Plateau	4 900– 5 800	16–19	≈ 200	–	3 ou 4
Préalpes	8 800–11 000	28–35	270–400	–	3 ou 4
Alpes	12 500–22 000	21–31	280–240	30–120	4

Tableau III Paramètres de dimensionnement (ordre de grandeur)
CRA charge de rupture assignée

Résistance à l'impact de foudre

Dans ce cadre, il est important de déterminer l'effet d'un impact de foudre sur

		CGFO de la catégorie n° 3 LG-SM-1…4LA-K*/ ALD 248…224/ACS112				CGFO de la catégorie n° 4 LG-SM-1…3LA-K/ ALD 194…184		
		1 tube	2 tubes	3 tubes	4 tubes	1 tube	2 tubes	3 tubes
Section ALD	[mm²]	248	240	232	224	194	189	184
Section ACS	[mm²]	112	112	112	112	–	–	–
Diamètre extérieur	[mm]	24,6	24,6	24,6	24,6	18,3	18,3	18,3
Masse totale	[kg/km]	1422	1414	1406	1398	547	544	541
Rayon de courbure min.	[cm]	74	74	74	74	55	55	55
Charge de rupture min.	[daN]	21 550	21 320	21 090	20 870	5440	5300	5160
Module d'élasticité virtuel	[daN/mm²]	8860	8930	9000	9070	5635	5630	5620
Coéfficient de dilatation linéaire	[1/°C]	$17{,}1 \cdot 10^{-6}$	$17{,}1 \cdot 10^{-6}$	$17{,}1 \cdot 10^{-6}$	$17{,}1 \cdot 10^{-6}$	$23 \cdot 10^{-6}$	$23 \cdot 10^{-6}$	$23 \cdot 10^{-6}$
Plage thermique admissible en service	[°C]	–30…+70	–30…+70	–30…+70	–30…+70	–30…+70	–30…+70	–30…+70
Résistance ohmique max. à 20 °C	[Ω/km]	0,113	0,116	0,120	0,123	0,169	0,173	0,178
Courant de court-circuit admissible I_{cc} pour t = 1 s (40–170 °C)	[kA]	29,7*	29,0*	28,3*	27,5*	17,4*	16,9*	16,5*

Tableau IV Caractéristiques techniques d'exemples de CGFO (voir fig. 7 et 8)

* pour d'autres durées de t: $I_{cc}(t) = I_{cc} \cdot (1s/t)^{1/2}$

les câbles de garde. On sait qu'un courant de foudre, selon son intensité, sa polarité et sa durée, peut endommager partiellement ou entièrement un conducteur métallique.

C'est pourquoi, nous avons procédé à des essais de simulation de décharges de foudre en collaboration avec le laboratoire à haute tension de l'université de l'armée allemande à Munich [9]. Deux types de décharges ont été générés, l'une impulsionnelle caractérisée par des valeurs de courant jusqu'à quelques dizaines de kiloampères et une durée de mi-amplitude de l'ordre de 200 à 500 µs alors que celle de longue durée ne dépasse pas quelques centaines d'ampères pendant moins d'une seconde. Les essais ont été effectués sur des fils en aldrey, en cuivre et en ACS et sur des CGFO de différentes constructions. Les essais ont montré:

- La décharge impulsionnelle provoque une évaporation d'une fine couche de matière sur une grande surface. Les caractéristiques mécaniques ne sont que faiblement diminuées (proportionnellement à la section évaporée, inférieure à 20%).
- La décharge de longue durée peut engendrer une diminution notable de la résistance mécanique ainsi que la fusion partielle ou complète, et dans certains cas, la rupture des fils.
- Pour que les fibres optiques ne soient pas affectées par un coup de foudre, il est nécessaire que le tube en plastique ou en acier contenant les fibres soit recouvert par *au moins* deux couches métalliques constituées, par exemple, d'une couche de fils profilés *et* d'une couche de fils ronds (1), ou de deux couches de fils ronds (2), ou d'une gaine en aluminium *et* d'une couche de fils ronds (3).

La figure 9 montre l'aspect d'un CGFO ayant subi un coup de foudre avec décharge de longue durée: plusieurs fils ont fondu et sont interrompus. La construction de ce CGFO étant semblable au concept (1) cité ci-dessus, les caractéristiques optiques des fibres n'ont pas été affectées malgré l'endommagement des fils métalliques.

OPPC – le conducteur de phase avec fibres optiques incorporées

La construction du conducteur de phase avec fibres optiques incorporées (OPPC) est semblable à celle du CGFO et sa structure est soit de la catégorie 3, soit de la catégorie 4. De par sa fonction, l'OPPC est sous tension et est parcouru, en permanence ou de façon cyclique, par un courant électrique d'où température au conducteur plus élevée que celle du câble de garde. Il s'ensuit que pour s'affranchir de la différence de potentiel entre l'OPPC et la terre, il faut équiper les extrémités du câble optique aérien de boites d'extré-

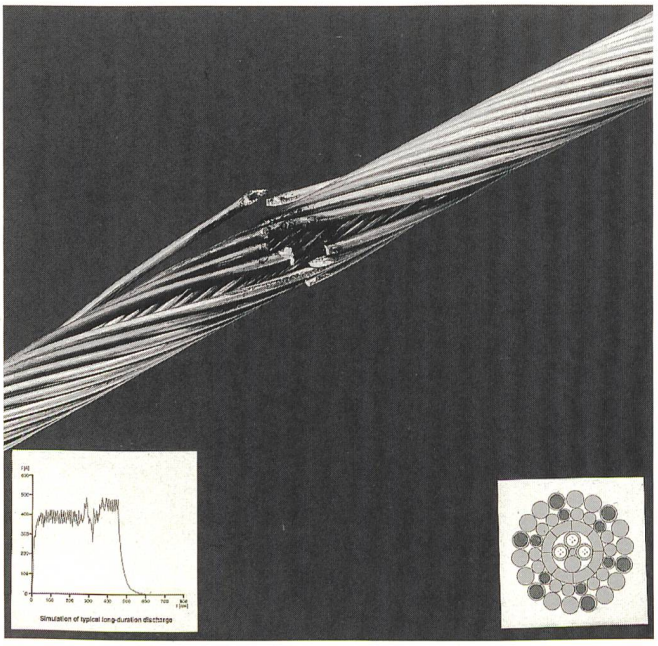


Figure 9 Aspect d'un CGFO ayant subi des essais de foudre avec décharges de longue durée

mité à haute tension conçues spécialement. Ceci est techniquement possible mais représente tout de même un investissement et un risque de panne éventuelle supplémentaire qui augmente, plus on monte en tension. En 1987, une installation à 30 kV a été réalisée et est donc en service depuis dix ans.

MASS – le câble autoporteur avec éléments métalliques de traction

La structure du câble autoporteur avec éléments métalliques de traction (MASS) est semblable au CGFO et à l'OPPC. Par contre, il n'a pratiquement pas de sollicitations électriques particulières et s'installe comme le CGFO. Ce type de câble est rarement utilisé le long des lignes aériennes.

ADSS – le câble autoporteur sans éléments métalliques

Le câble autoporteur sans éléments métalliques (ADSS) peut être placé entre les pylônes, indépendamment du câble de garde et des conducteurs de phase; il est généralement utilisé sur des lignes existantes. Dans ce cas, et bien que l'ADSS est un câble relativement léger, il exerce un effort non négligeable sur les pylônes auxquels il est amarré. Il faut donc s'assurer que la résistance mécanique des pylônes soit suffisante pour accepter cette sollicitation supplémentaire à celle des conducteurs de garde et de phase existants.

Du fait de son emplacement sis en dessous ou entre les ternes des conducteurs de phase, ce câble aérien est soumis au champ électrique de la ligne à haute tension. Par couplage capacitif, l'ADSS est l'objet de charges électrostatiques induites qui peuvent être de l'ordre de quelques kilovolts voire de dizaines de kilovolts.

Avec l'effet amplificateur de la pollution, de l'humidité, etc., sur la périphérie de l'ADSS, ces charges vont engendrer des courants de cheminement dont l'intensité sera d'autant plus élevée que l'on

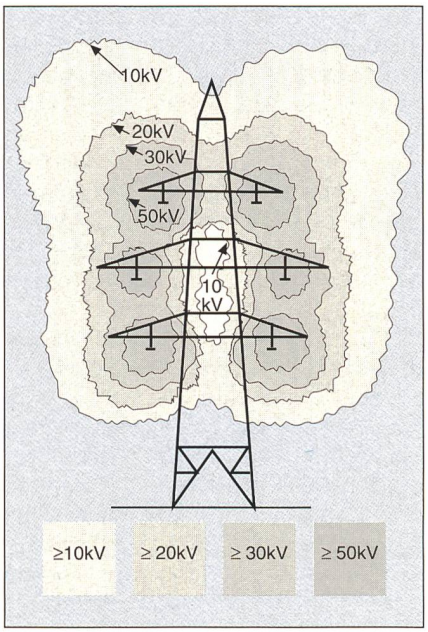


Figure 10 Pylône 380 kV – exemple de distribution du potentiel électrique par rapport à la terre

se rapproche des masses métalliques des amarrages et des pylônes; suivant le matériau utilisé, il peut en résulter un vieillissement accéléré de la gaine extérieure et diminuer, par conséquent, sa résistance mécanique et son étanchéité (par fissuration, etc.).

Il s'ensuit que la forme des amarrages métalliques doit être étudiée de façon à diminuer l'effet couronne aux extrémités et que le matériau constituant la gaine extérieure ait des propriétés anticheminement (gaine anti-tracking). L'emplacement optimal du câble dans le plan vertical, perpendiculaire à l'axe de la ligne doit être déterminé par calcul. L'expérience a montré que, si le câble est à l'intérieur de la ligne de champ isopotentielle 12 kV, la gaine peut être en polyéthylène normal, par contre, si le câble est placé entre les lignes de champ isopotentielles 12 kV et 20 kV, il faut choisir une gaine anti-tracking. Pour plus de sécurité, il faut toujours prendre une gaine anti-tracking pour une tension de ligne supérieure à 60 kV. Un exemple de calcul de champ est donné dans la figure 10.

La figure 11 et le tableau V donnent la construction et les caractéristiques principales des trois types de câbles normalisés ADSS d'Alcatel Cable. Ces câbles ont subi les essais requis pour leur homologation et ont fait, depuis, leur preuve. Le premier câble a été posé en 1986 et à ce jour plus de 340 km ont été fabriqués et installés.

OPAC – le câble à fibres optiques attaché

De par son mode de pose, le câble à fibres optiques attaché (OPAC) peut être de construction légère car il n'a pas à supporter de forces de traction longitudinale et de compression élevées. Différents modes de fixation aux câbles aériens porteurs sont envisageables; à ce jour, les quatre solutions principales utilisées sont (voir fig. 12):

Mode n° 1: le câble optique est attaché au porteur au moyen de deux fils appropriés

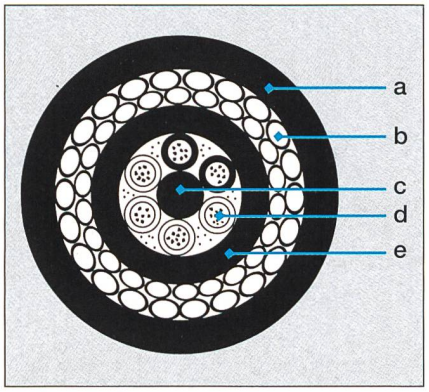


Figure 11 Famille de câble ADSS pour des portées de 60 à 1000 m

exemple de construction: LL-SG-6LV-(FT-KKT 50)
a gaine PE noir, qualité anticheminement (anti-tracking)
b double couche de cordelettes en polyamide
c élement central non métallique
d faisceau de six tubes plastiques
e gaine PE spéciale

Pos. n°	Désignation du câble	Nb. max de f. o.	∅ ext. [mm]	Charge de rupture *CRA* [daN]	Force de traction max. admissible *TMA* [daN]	Longueurs installées / à installer [km]
1	LL-SG-6LV-(FT-KTG)	30	15,0	1500	600	40
2	LL-SG-5LV-(FT-KKT25)	60	20,1	10000	2500	227
3	LL-SG-6LV-(FT-KKT50)	144	25,7	18000	5000	80

Tableau V Famille de câble ADSS pour des portées de 60 à 1000 m

exemple de construction: voir figure 8
CRA charge de rupture
TMA tension maximale admissible définie pour l'allongement du câble où les fibres sont sans contrainte

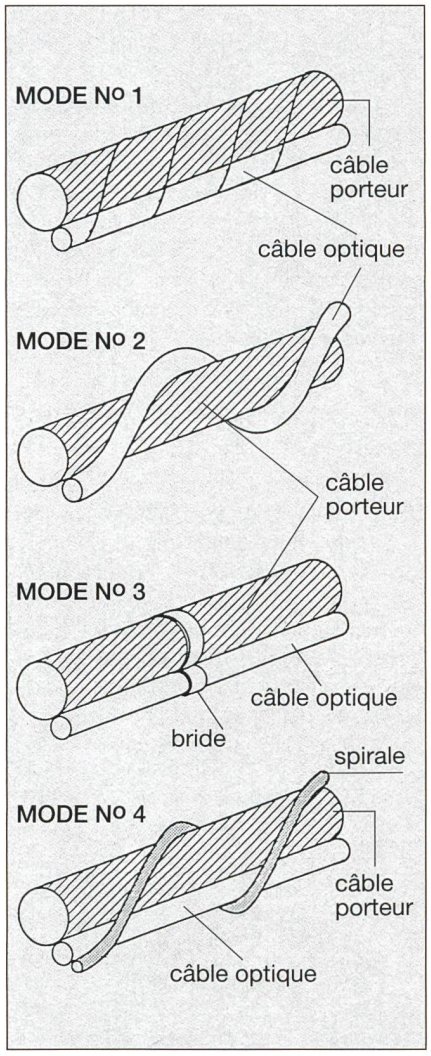


Figure 12 Les quatre modes de fixation de câble attaché
voir texte

enroulés autour du câble et du câble porteur (Lashed cable).
Mode nº 2: le câble optique est enroulé autour du câble porteur (Wrapped cable).
Mode nº 3: le câble optique est attaché au câble porteur au moyen de brides placées à espaces réguliers.
Mode nº 4: le câble optique est attaché au câble porteur au moyen de spirales préformées placées à espaces réguliers.

L'avantage d'attacher le câble optique au câble de garde ou à un conducteur de phase est que ceci peut être – pour les quatre modes – la méthode la plus économique lors de la pose sur un câble porteur existant; pour les modes nº 1, 3 et 4, le câble optique est moins exposé au foudroiement direct que pour le mode nº 2. Les inconvénients de cette méthode sont une pose discontinue par suite de la translation obligatoire du dispositif de déroulement et de fixation à chaque pylône (temps nécessaire par pylône jusqu'à 30–40 min), une pose difficile des balises, et qu'une inspection ou réparation ponctuelle au moyen d'une nacelle ou d'une bicyclette est difficile voire impossible pour le mode nº 2. Après un examen approfondi des quatre solutions citées ci-dessus, Alcatel Cable a choisi le mode nº 1 comme étant le plus approprié. Ce mode de fixation a été évalué et les premières installations en Suisse sont en cours de réalisation.

En complément, il est à remarquer que ce même mode de pose pourrait être utilisé pour attacher un câble optique à un conducteur de phase. Le problème majeur réside alors dans la différence de potentiel entre le conducteur de phase et la terre. Ceci peut être résolu au moyen de boites d'extrémités adéquates résistant aux sollicitations électriques; comme pour l'OPPC, il y a risque et celui-ci augmente plus on monte en tension. Enfin, avec ce type de pose, la grandeur du diamètre du câble optique et celle du câble porteur peuvent amener une modification du comportement aérodynamique des câbles (augmentation de la surface au vent).

Accessoires d'amarrage et de suspension

Les accessoires d'amarrage et de suspension doivent être choisis et montés avec soin et ne doivent pas engendrer d'augmentation majeure d'affaiblissement quand le câble aérien est soumis à sa traction maximale admissible. En Suisse, par exemple, pour les amarrages, deux systèmes sont utilisés: le premier qui consiste en une pince d'amarrage à serrage concentrique combinée éventuellement (suivant le diamètre du câble) avec une «spirale» de protection; la deuxième est une «spirale» d'amarrage combinée avec une «spirale» de protection: Les deux systèmes donnent satisfaction. La déformation de câble aérien sous l'effet compressif de l'amarrage (ici pinces) est illustrée par les photographies de la figure 13.

Conclusion

En résumé, il faut tenir compte que pour *une ligne aérienne à réaliser*

- le conducteur de garde CGFO avec fibres optiques incorporées est, sans aucun doute, le produit le plus approprié et le plus fiable tant au point de vue technique qu'économique,
- le conducteur de phase OPPC avec fibres optiques incorporées doit être muni de boîtes d'extrémité de transition entre le potentiel de phase et de terre; celles-ci peuvent présenter un risque d'incident d'autant plus élevé que la différence de potentiel est grande.

Pour *une ligne aérienne existante*

- le conducteur de garde existant peut être remplacé par un nouveau CGFO,
- le conducteur de garde existant peut être muni d'un câble optique attaché OPAC,
- un conducteur de phase OPPC peut être muni d'un câble optique attaché OPAC; les réserves émises ci-dessus pour l'OPPC sont ici aussi valables,
- un câble optique autoporteur non métallique ADSS peut être placé entre les pylônes indépendamment du câble de garde.

Le choix entre les différentes possibilités est dicté par les critères techniques et économiques ainsi que la durée de vie envisagée de l'installation. Les expériences acquises au cours des ans dé-

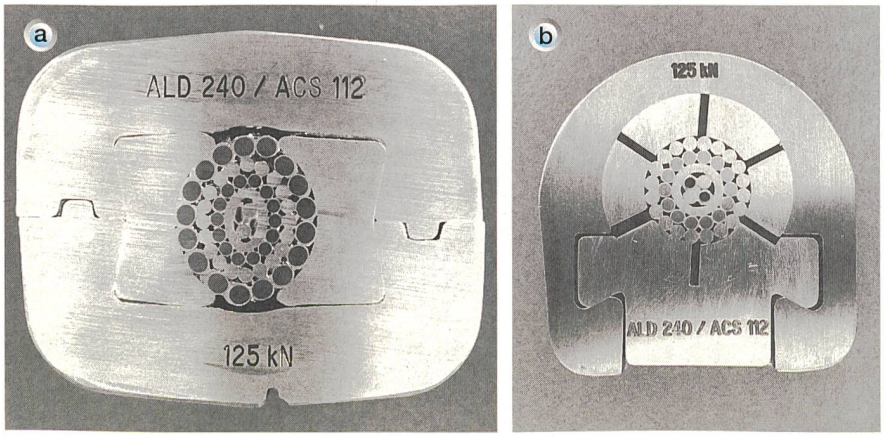


Figure 13 Comparaison entre deux types de pince
a ce qu'il ne faut pas utiliser: pince d'amarrage avec coins → *câble déformé*
b ce qu'il faut utiliser: pince d'amarrage à serrage concentrique → *câble non déformé*

montrent que les concepts des câbles aériens présentés dans cet article répondent à toutes les sollicitations mécaniques et électriques pour lesquelles ils sont dimensionnés. Ceci permet ainsi aux compagnies d'électricité d'assurer une grande fiabilité des transmissions optiques.

Bibliographie

[1] Conducteur aérien de terre d'une ligne à haute tension associé à un câble de télécommunication. Brevet CH 519273/23.07.70.

[2] *P. Bongard et R. Ruchet:* Câble de garde avec conducteurs de télécommunication incorporés. Bull. ASE/UCS 67(1976)6, p. 305–310.

[3] Télécommunications et télécommandes des réseaux d'énergie. Rapport général du groupe 35. Electra, n° 170, février 1997, p. 102–104.

[4] *R. Ruchet, P. Bongard, A. Meier, H.P. Koch, C. Weber et J.-F. Zürcher:* Transmission d'information par fibres optiques incorporées dans une ligne de terre. Rapport Cigré 35-08, session 1982.

[5] Conducteur aérien pour réseau de transmission d'énergie électrique à haute tension. Brevet CH 622124/21.03.78.

[6] Norme européenne EN 187102: Spécification de famille – Câbles optiques de télécommunication aériens.

[7] Projet de norme européenne EN 187200: Sectional specification – Optical cables to be used along electrical power lines (OCEPL).

[8] Projet de norme CEI 1396: Prescriptions électriques, mécaniques, physiques et méthode d'essais pour câbles de garde à fibres optiques.

[9] *F. Meier, N. Nibbio et F. Gaille:* Effets des coups de foudre sur les câbles de garde à fibres optiques. Rapport 3.26 Cired 1995.

Freileitungskabel mit Lichtwellenleitern

Verschiedene Einsatzmöglichkeiten der Faseroptik zur Datenübertragung über Hochspannungsleitungen

Seit Anfang der siebziger Jahre haben sich sowohl der Bedarf wie auch die technischen Möglichkeiten für die Übertragung von Informationen und Daten, welche für den Betrieb der Hochspannungsnetze benötigt werden, sehr rasch weiterentwickelt. Wegen ihrer hohen Übertragungskapazität und Unempfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Störungen sind dabei die Lichtwellenleiter (LWL) zum bevorzugten Medium geworden (Tab. I und Fig. 4).

Dem Anwender bieten sich heute verschiedene Möglichkeiten an, entlang der Hochspannungsleitungen fiberoptische Verbindungen herzustellen (Fig. 1). Dazu gehört die Integration der LWL in das Erdseil (CGFO, s. Fig. 5–8 und Tab. III und IV) oder, analog dazu, in einen Phasenleiter (OPPC). Fiberoptische Kabel mit (MASS) oder ohne metallische Elemente (ADSS, s. Fig. 11 und Tab. V) können – sofern sie entsprechend konstruiert sind – selbsttragend zwischen den Masten aufgehängt werden; spezielle Beachtung ist dabei der Wahl der Aufhängepunkte in einem Gebiet möglichst kleiner elektrischer Felder und der Konstruktion der Armaturen zu schenken (Fig. 10). Ferner besteht die Möglichkeit, fiberoptische Kabel mit verschiedenen Verfahren auf dem Erdseil oder auf einem Phasenleiter zu fixieren (OPAC, Fig. 12). Bei neu zu erstellenden Hochspannungsleitungen ist die Integration der LWL in das Erdseil oder in einen Phasenleiter technisch und wirtschaftlich sicher die beste und zuverlässigste Lösung. Für den Einbau von LWL in einer bereits bestehenden Hochspannungsleitung kommen alle anderen Möglichkeiten nach Figur 1 auch in Frage und sollten ebenfalls evaluiert werden.

Dieser Artikel gibt einen Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten, optische Datenleitungen in HS-Freileitungen zu integrieren, und beschreibt die wichtigsten Eigenschaften solcher Lösungen. Er geht auch auf die gemäss den EN- und IEC-Normen durchgeführten Typenprüfungen ein (Fig. 2 und 3 und Tab. III) und erörtert sonstige Betriebs- und Laborerfahrungen (Fig. 9 und 13).

ETG
SEV/ASE

Connaissez-vous l'ETG?

La Société pour les techniques de l'énergie de l'ASE (ETG) est un *Forum national* qui s'occupe des problèmes actuels des systèmes d'énergie électrique dans le cadre global de toutes les formes de l'énergie. En tant que *société spécialisée de l'Association Suisse des Electriciens* (ASE), elle se tient à la disposition de tous les spécialistes et utilisateurs intéressés du domaine des techniques de l'énergie.

Pour de plus amples renseignements et documents, veuillez prendre contact avec l'Association Suisse des Electriciens, Luppmenstrasse 1, 8320 Fehraltorf, téléphone 01 956 11 11.

Der SEV – Ihr neuer Arbeitgeber

Vor wenigen Tagen hat der SEV seine Tochterfirma SEV (Hongkong) Ltd. gegründet. Diese geografische Expansion ist nur eine der zielstrebigen Massnahmen, mit denen der SEV auf die weltweite Liberalisierung bei der Zulassung von elektrotechnischen Geräten sowie auf die Globalisierung des Prüf- und Zertifizierungsmarktes reagiert. Um unsere ehrgeizigen Ziele zu realisieren, suchen wir für unseren Hauptsitz in Fehraltorf gut ausgewiesene Kader- und Fachleute, von denen wir unternehmerisches Denken, kreatives Planen und Handeln sowie die Beherrschung von Deutsch, Französisch und Englisch in Wort und Schrift erwarten. Damen und Herren, die sich durch unser Inserat angesprochen fühlen, bitten wir, ihre vollständigen Bewerbungsunterlagen an Frau Beatrice Stauffacher, Schweizerischer Elektrotechnischer Verein, Luppmenstrasse 1, 8320 Fehraltorf, zu senden. Die ausführlichen Inseratetexte zu den einzelnen Stellen finden Sie in der SEV-Homepage unter http://www.sev.ch.

Leiter Verkauf

Aufgaben: Sie verkaufen die SEV-Dienstleistungen. Sie sind verantwortlich für den Ausbau und die Pflege von Kundenbeziehungen sowie für die Einhaltung der Umsatz- und Ertragsziele.

Anforderungen: Als Leiter der Verkaufsabteilung verstehen Sie es, das Wachstumspotential durch kundenoptimierte Angebote und ungewohnte Ideen auszuschöpfen. Als Ingenieur oder Betriebswirtschafter verfügen Sie über Erfahrung im Investitionsgüterverkauf sowie erste Führungserfahrungen mit Aussendienstmitarbeitern und Verkaufsleitungen. *Kennwort:* V-L

Leiter Marketing

Aufgaben: Sie sind für die Ausarbeitung und Anpassung der Marketingstrategie sowie das Erscheinungsbild der Firma verantwortlich, verfolgen die Marktentwicklungen und nehmen auf die Produkt- und Sortimentspolitik Einfluss.

Anforderungen: Sie haben Berufserfahrung im Marketing oder Produktmanagement. Sie sind Betriebswirtschafter oder Betriebsökonom mit Spezialisierung im Investitionsgütermarketing oder Dipl. Ing. ETH oder HTL mit betriebswirtschaftlicher Weiterbildung oder Spezialisierung im Marketing. *Kennwort:* M-L

Leiter Geschäftseinheit Werke

Aufgaben: Sie verkaufen die SEV-Dienstleistungen im Marktsegment Werke, führen Verhandlungen mit wichtigen Verbänden und Schlüsselkunden und leiten grössere Projekte selbständig. Sie tragen die Verantwortung für die Umsatz- und Ertragsziele und arbeiten bei der Dienstleistungsgestaltung mit.

Anforderungen: Als Dipl. El.-Ing. HTL mit Spezialisierung in Energietechnik verfügen Sie über Erfahrung als Produktmanager oder als Verkäufer von Dienstleistungen in der Stromerzeugungs- oder Stromverteilungsbranche. Sie sind verhandlungssicher, haben eine schnelle Auffassungsgabe und unternehmerisches Denken.

Kennwort: SGE-WK

Leiter Produktequalifizierung Geräte

Aufgaben: Sie sind für die Prüfung und Zertifizierung der Produkte unserer internationalen Kundschaft verantwortlich. Sie beraten unsere Kunden bei der Entwicklung und Fertigung ihrer Produkte bezüglich Normen und Qualitätsanforderungen.
Anforderungen: Sie sind Dipl. El.-Ing. ETH oder HTL, verfügen über Erfahrung in der Entwicklung und Produktion elektrotechnischer Produkte sowie in der Führung eines Teams. *Kennwort:* PE-GE

Stv. Leiter Produktezertifizierung

Aufgaben: Sie arbeiten in nationalen und internationalen Normen-Gremien mit, bewerten Zertifikate nationaler und ausländischer Prüfstellen und stellen internationale Zertifikate aus.
Anforderungen: Als Dipl. El.-Ing. ETH oder HTL haben Sie Erfahrung in der Entwicklung und Produktion von elektronischen Produkten. *Kennwort:* PE-GE

Ingenieure für den Bereich Produktequalifizierung Geräte

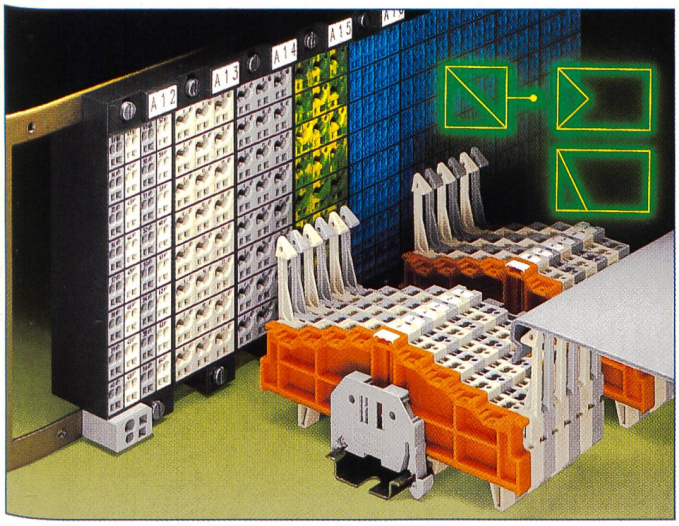
Aufgaben: Sie sind für die Prüfung und Zertifizierung der Produkte unserer internationalen Kundschaft verantwortlich und beraten unsere Kunden bei der Entwicklung und Fertigung ihrer Produkte bezüglich Normen und Qualitätsanforderungen.
Anforderungen: Sie sind Dipl. El.-Ing. ETH oder HTL und verfügen über Erfahrung in Entwicklung und Produktion elektrotechnischer Produkte. *Kennwort:* PE-L

Sachbearbeiter im Verkaufsinnendienst

Aufgaben: Sie sind im Team für den reibungslosen Ablauf der Auftragsabwicklung sowie das Erstellen, Abwickeln und Nachfassen von Offerten verantwortlich.
Anforderungen: Sie haben Erfahrung im Verkaufsinnendienst, behalten auch in hektischen Situationen den Überblick und arbeiten gerne in einem Team. Sie haben ein Handelsdiplom oder einen KV-Abschluss, kennen MS Office, Schedule+ sowie MS Exchange gut. Neben Deutsch, Französisch und Englisch sprechen Sie auch Italienisch.

Kennwort: VI

Unglaublich:
Null Probleme!



Kurzschluß? Nein, danke! Darum sollte Ihre Sicherheit beim Anschließen, Umverdrahten und Rangieren unseren Namen tragen:

WAGO
RANGIERSYSTEME

Damit entscheiden Sie sich:

- **Für Rangierverteiler mit zweiseitiger Zugänglickeit: RANGIERWABEN und POTENTIALVERTEILERBLÖCKE.**
- **Für Rangierverteiler mit einseitiger Zugänglichkeit: RANGIERKLEMMEN.**
- **Für normale Schraubendreher statt teurer Spezialwerkzeuge für die Verdrahtung.**
- **Für eine übersichtliche Klemmstellen-Kennzeichnung.**
- **Für den original WAGO CAGE CLAMP-Anschluß.**

Alles über WAGO Rangiersysteme finden Sie im WAGO GESAMTKATALOG. Gleich anfordern!

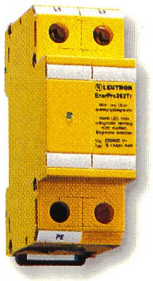
Ineltec 97
Halle 113
Stand D24

Mehr Qualität Typisch WAGO

WAGO®
INNOVATIVE CONNECTIONS

WAGO CONTACT SA · Case Postale 168 · CH-1564 Domdidier
Telefon 026 / 6 76 75 00 · Telefax 026 / 6 76 75 75

Cerberus schützt übrigens auch vor Überspannung



Überspannungsableiter

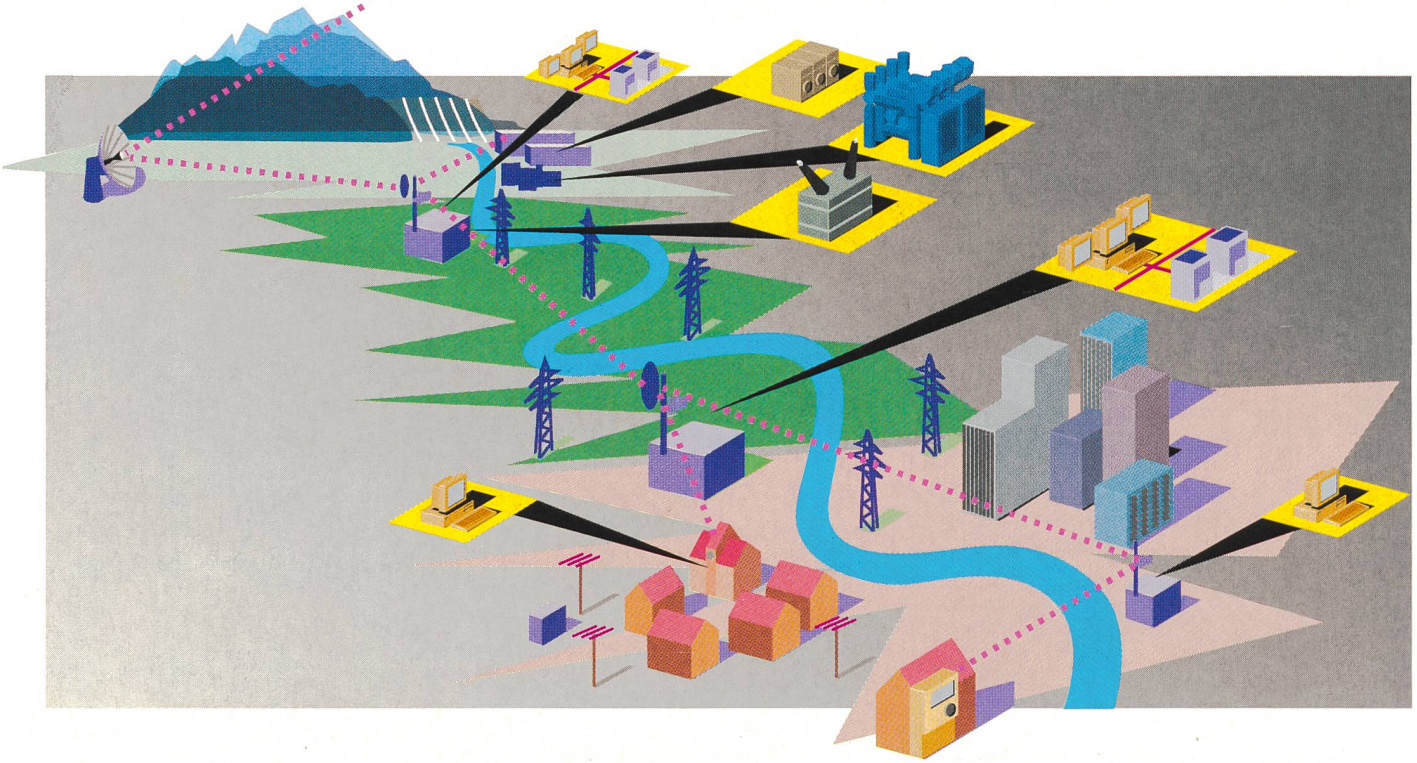
Ruhen und urplötzlich blitzschnell reagieren. Dieser Schutzreflex sichert das Überleben in der Natur. Elektronische Einrichtungen verfügen über keine solchen Reflexe – es sei denn über jene von Cerberus.

Ineltec 97
Halle 113
Stand A32

Cerberus informiert Sie gerne über das breite und qualitativ hochstehende Sortiment an gasgefüllten Überspannungsableitern, Trennfunkenstrecken und Überspannungsableitern. Verlangen Sie noch heute unsere Unterlagen, oder schildern Sie uns Ihr Anliegen!
Cerberus hat die Lösung!

Cerberus AG
Überspannungsschutz
8603 Schwerzenbach/Schweiz
Tel. +41 1 947 71 11
Fax +41 1 947 73 73
e-mail: sales.sp@cch.cerberus.ch
http://www.cerberus.ch

CERBERUS
Cerberus-Sicherheitstechnik schützt Menschen und Werte



Kann man den gesamten Prozess von Stromübertragung und -verteilung, auch kostenmässig, noch weiter optimieren?

Ja, wir können.

Grössere Ereignisse werfen ihre Schatten voraus. Das gilt auch für die Einführung des europäischen Binnenmarktes für Energie, der 1999 startet und in dem sich ein Wettbwerbsklima abzeichnet, das den Kunden ganz klar ins Zentrum stellt. Die Energieversorgungsunternehmen müssen sich auf die neuen Verhältnisse entsprechend ausrichten. Auch die Schweiz kann sich dieser Entwicklung nicht verschliessen.

Für ABB insgesamt ist der freie Energiemarkt bereits Realität. Mit entsprechend optimierten Systemen, Produkten oder Dienstleistungen werden Versorgungsunternehmen in bereits deregulierten Märkten, wie Grossbritannien oder USA, wirksam unterstützt.

Durch unsere traditionell starke Präsenz in der Schweiz und die intensive Zusammenarbeit mit unseren Schweizer Kunden kennen wir die hiesigen Verhältnisse sehr gut und können sie in ihren europäischen Kontext stellen.

Von der Energieerzeugung bis zum Zähler und von der technischen bis zur betriebswirtschaftlichen Seite sehen wir die Energieversorgung als komplexes System, in dem jede Komponente nur im Zusammenhang bewertet werden kann. Wir sind daher in der Lage, Sie und Ihr Unternehmen entsprechend zu beraten und darauf abgestimmte Konzepte zu erarbeiten und zu realisieren.

ABB Stromübertragung und -verteilung
CH-5400 Baden/Schweiz
Telefon +56-205 20 28 und 205 79 75, Fax +56-205 72 77

ABB