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: 79 (1988)

Heft: 23

Artikel: Le vieillissement des câbles haute tension à isolation synthétique

Autor: Wavre, J. J. / Véluzat, G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904115

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: 06.07.2025

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

Le vieillissement des câbles haute tension à isolation synthétique

J.J. Wavre, G. Véluzat

Plus de sept années d'essais de longue durée sur des câbles à isolation XLPE et EPR permettent d'en dégager les tendances à long terme en exploitation. L'effet de vieillissement est faible pour l'un comme pour l'autre des isolants, la fiabilité étant davantage liée à la conception et à la construction des câbles qu'à la nature propre de l'isolant. Les avantages globaux de l'isolation EPR paraissent ressortir en basse et en moyenne tension; en haute et très haute tension, les propriétés diélectriques supérieures de l'isolation XLPE demeurent convaincantes.

Mehr als sieben Jahre Langzeitprüfungen an Hochspannungskabeln mit XLPE- und EPR-Isolation erlauben, gewisse Tendenzen über das Langzeitverhalten zu erkennen. Für die eine wie die andere Isolation ist die Wirkung der Alterung schwach, die Zuverlässigkeit ist eher an das Konstruktionskonzept des Kabels gebunden als an die Natur der Isolation. Generell scheinen die Vorzüge der Isolation EPR bei Nieder- und Mittelspannung zu dominieren; bei den Hoch- und Höchstspannungskabeln bleiben die besseren dielektrischen Eigenschaften der XLPE-Isolation massgebend.

Der Text dieses Aufsatzes ist auch in deutscher und englischer Sprache erhältlich bei Service Publicité Câbles Cortaillod SA.

Adresse des auteurs
J.J. Wavre et *G. Véluzat*, Câbles Cortaillod SA, 2016 Cortaillod.

1. Compte rendu des essais effectués

Trois types de câbles ont été soumis aux essais:

1. Câble de 66 kV, type XKT, 1×400 mm²

Conducteur en aluminium, isolation en polyéthylène réticulé de 13,5 mm d'épaisseur, écran en fils de cuivre, gaine extérieure en PVC.

2. Câbles de 20 kV

- Type XKT, 1×150 mm²
- Type GKT, 1×150 mm²

Constructions identiques: conducteur en cuivre, isolation en polyéthylène réticulé (X), respectivement en élastomère EPR (G), écran en fils de cuivre, gaine extérieure en PVC.

On a pris garde ici que la nature des isolants reste la variable déterminante des essais: les deux câbles sont issus des mêmes machines, avec les mêmes procédés de réticulation et, en particulier, les mêmes matières semi-conductrices.

1.1 Câble de 66 kV, isolation XLPE, 1×400 mm²

a) Essais de vieillissement

Une longueur de 200 m a été posée à même le sol, donc directement soumise aux contraintes climatiques. Le câble a subi une série de cycles de chauffage et de refroidissement de 24 heures sous une tension constante de 78 kV selon les modalités suivantes:

Courant de chauffage	820 A
Température min./max.	ambiante/90 °C
Cycle thermique	8 h EN, 16 h HORS
Nombre de cycles	2700
Tension permanente	78 kV (2 U_0)
Gradient max.	8,3 kV/mm
Durée totale des essais	65 400 heures (7,5 ans)

Une jonction filée a subi sans difficultés ces essais, à la suite desquels 16 échantillons de câble ont été soumis à la série d'essais et de mesures, dont les résultats sont présentés dans le tableau I.

Les figures 1 et 2 montrent l'installation lors des essais au choc, respec-

	Avant vieillissement	Après vieillissement
Décharges partielles à 100 kV (2,6 U_0)	< 2 pC	< 2 pC (avec jonction)
Essais (non destructifs) aux chocs 10 + / 10 - (onde CEI)	325 kV (1/50 µs)	325 kV (1/50 µs)
tg δ	$< 5 \cdot 10^{-4}$	$< 5 \cdot 10^{-4}$
Essais (destructifs) jusqu'au claquage à: (Diagramme de Weibull, $p\% = 63$[1])	80kV/mm	74 kV/mm

[1] Méthode d'essais: dix chocs positifs et dix chocs négatifs alternés, 30 kV par palier dès 40 kV/mm; à température ambiante.

Tableau I Mesures au câble de 66 kV

tivement lors des essais aux décharges partielles.

b) Observations microscopiques

En réticulation à la vapeur (procédé utilisé à Cortaillod de 1974 à 1977), on remarque le nombre élevé de microvacuoles. Celles-ci sont représentées sur la coupe de câble non vieilli de la figure 3a.

La figure 3b montre, avec un même agrandissement, une coupe du même câble, mais néanmoins vieilli. On y observe un nombre important d'arborescences du type nœud papillon (Bow-Tie) qu'un procédé de coloration fait ressortir, tout en masquant les vacuoles pourtant présentes. Ces arborescences, de très petites dimensions, ont pour origine des microvacuoles ou micro-impuretés au sein de la matière isolante. Malgré le grand nombre de «nœuds papillons», la rigidité diélectrique du câble n'est réduite que de moins de 10% par un vieillissement cependant très sévère.

Outre la sévérité du cycle thermique de vieillissement, on doit relever la rigueur des conditions d'essai dont le gradient de tension équivaut à celui d'un câble de 220 kV et l'absence de protection contre la pénétration d'humidité constituent des facteurs aggravants. Les 16 échantillons vieillis ont résisté à plus de 670 kV aux essais de choc, cote qui correspond à plus de deux fois la valeur admissible en essais de type pour un câble neuf.

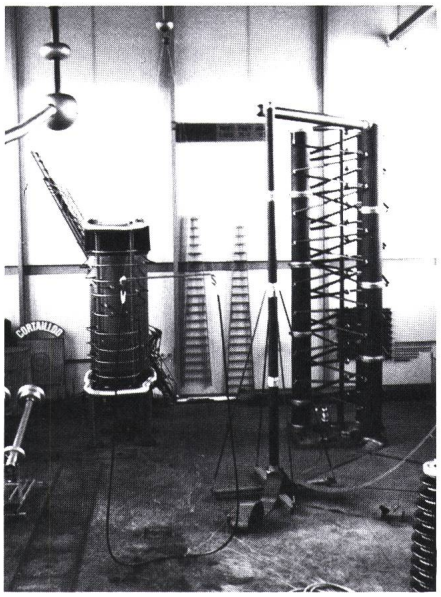
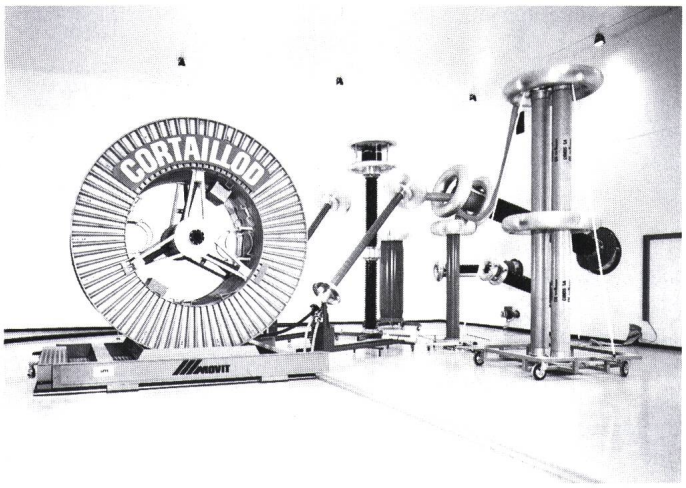


Figure 1 Essais au choc
L'échantillon de câble se trouve suspendu au premier plan

Figure 2
Essais aux décharges partielles
L'échantillon est enroulé sur le tambour



Malgré la présence d'humidité, on ne décèle aucune arborescence du type ouvert (Vented-Tree), seule capable d'entraîner une réduction de la durée de vie d'un câble.

Les propriétés diélectriques – tg δ et résistance d'isolement – n'ont pratiquement pas varié; les nombreuses arborescences n'ont d'influence ni sur tg δ ni sur le niveau des décharges partielles.

1.2 Câbles 20 kV

a) Essais de vieillissement comparés des isolants XLPE et EPR

Comme le câble à 66 kV, les câbles 20 kV sont restés au sol, soumis aux intempéries. Ils ont subi les cycles thermiques naturels sous une tension de 40 kV dans les conditions suivantes:

Température min./max.	−10/+50 °C
Tension permanente	40 kV (3,5 U_0)
Gradient max.	10,2 kV/mm
Durée totale des essais	17 250 heures (2,5 ans)

Les résultats des essais et mesures avant et après vieillissement sont présentés dans le tableau II. Les méthodes des essais destructifs étaient les suivantes:

- à 50 Hz: à partir d'un niveau correspondant à un gradient de 50 kV/mm, le câble est soumis à la tension par paliers de 10 kV/min, ceci jusqu'au claquage.
- aux chocs: à partir d'un niveau correspondant à un gradient de 127 kV/mm, on applique 10 chocs négatifs par pas de 10 kV, ceci jusqu'au claquage.

b) Observations microscopiques

Le nombre et les dimensions des arborescences restent extrêmement faibles pour les deux types d'isolation, circonstance due à la courte durée d'application de la tension aux câbles considérés.

2. Conclusions

Pour le XLPE comme pour l'EPR, aucune variation significative de tg δ n'est détectable au cours des cycles de vieillissement. En revanche, la rigidité

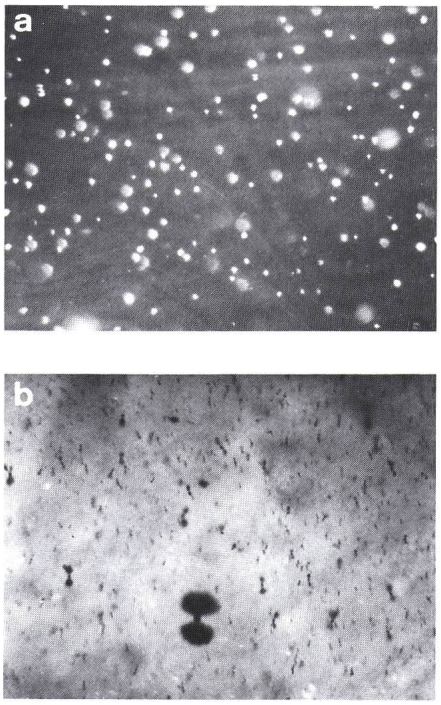


Figure 3 Coupe à travers l'isolant
a avant vieillissement
b après vieillissement

diélectrique à fréquence industrielle a légèrement augmenté après vieillissement. Bien que cette amélioration soit sans réelle signification, il faut cependant l'attribuer à des phénomènes liés aux sous-produits de la réticulation. En effet, lors de la réticulation des câbles, des gaz sont libérés. Certains d'entre eux ont un effet bénéfique sur les caractéristiques diélectriques de l'isolant alors que d'autres, tel que le méthane, ont un effet plutôt défavorable. En fonction de l'état de dégazage du câble, nous pouvons rencontrer de légères variations des caractéristiques diélectriques, qui peuvent être aussi bien négatives que positives.

Bien que les câbles étudiés aient été réticulés à la vapeur et que la filtration de leur matière isolante n'ait pas toujours eu lieu dans des conditions optimales, on peut néanmoins faire état en ce qui les concerne d'un excellent comportement à long terme.

Aujourd'hui, on obtient ainsi des valeurs de rigidité diélectrique aux chocs environ deux fois supérieures à ce qu'elles étaient il y a une dizaine d'années. Cette amélioration est plus particulièrement due à des matières isolantes plus pures, à des interfaces semi-conducteur-isolant plus lisses et enfin à une filtration plus fine de la matière en cours d'extrusion.

La rigidité diélectrique aux chocs d'un câble à isolation en EPR est aujourd'hui supérieure à celle d'un câble à isolation en XLPE d'il y a dix ans. Il faut cependant remarquer que la rigidité diélectrique aux chocs d'un câble X reste nettement supérieure à celle d'un câble G du même âge, et ceci quel que soit leur état de vieillissement.

	Câbles avant vieillissement		Câbles après vieillissement	
	Type XKT	Type GKT	Type XKT	Type GKT
Décharges partielles 30 kV ≙ 2,5 U_0	< 2 pC	< 2 pC	< 2 pC	< 2 pC
tg δ, $T = 20$ °C	$< 1 \cdot 10^{-4}$	$20 \cdot 10^{-4}$	$< 1 \cdot 10^{-4}$	$20 \cdot 10^{-4}$
tg δ, $T = 90$ °C	$< 1 \cdot 10^{-4}$	$50 \cdot 10^{-4}$	$< 1 \cdot 10^{-4}$	$50 \cdot 10^{-4}$
Essais à 50 Hz destructifs	270 kV, 68 kV/mm	186 kV, 47 kV/mm	282 kV, 72 kV/mm	195 kV, 50 kV/mm
Essais destructifs aux chocs, température ambiante	630 kV, 160 kV/mm	357 kV, 91 kV/mm	550 kV, 140 kV/mm	344 kV, 88 kV/mm
Essais destructifs aux chocs, $T = 95$ °C	580 kV, 148 kV/mm	320 kV, 82 kV/mm	533 kV, 135 kV/mm	310 kV, 79 kV/mm

Tableau II Evolution des caractéristiques au vieillissement

On constate également que les isolants en EPR disponibles sur le marché pour des câbles à haute tension ne diffèrent que très peu des mélanges pour des câbles à moyenne tension. Ainsi, les différences entre les rigidités diélectriques aux chocs des deux types d'isolant restent relativement semblables pour des câbles de 60 à 150 kV.

Les valeurs de tgδ sont environ vingt fois plus élevées pour une isolation en EPR. Si cette différence marquée ne joue aucun rôle pour des câbles à moyenne tension, il n'en est plus de même pour des câbles de 110 et 150 kV.

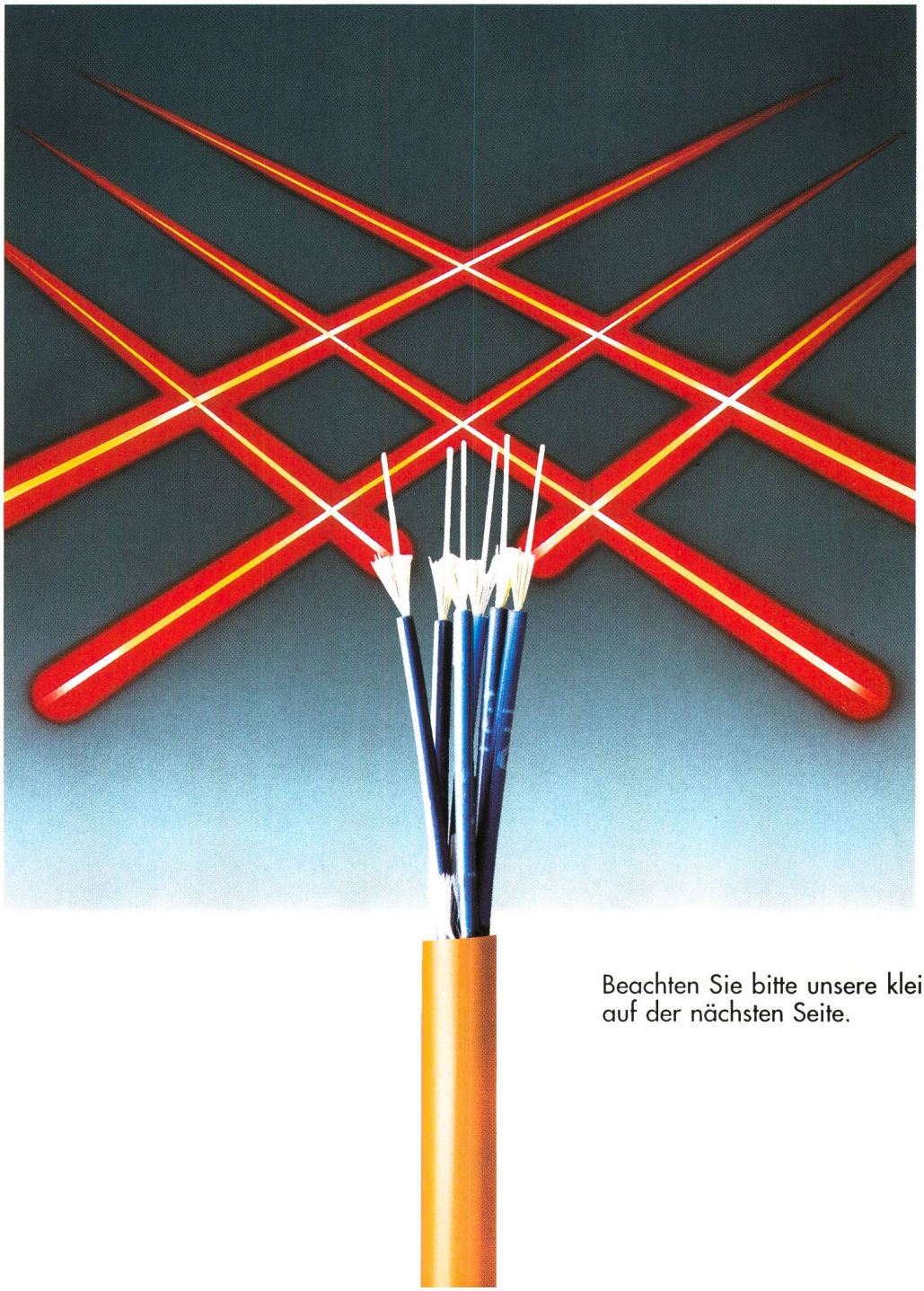
Il apparaît donc que la rigidité diélectrique aux chocs et la valeur de tgδ sont des facteurs restrictifs pour l'emploi d'une isolation en EPR à des niveaux de tension de 220 kV et plus.

Les mesures de décharges partielles permettent de déceler des vacuoles de grandes dimensions ou des défauts au niveau des interfaces semi-conducteurs-isolant. Les mesures ne donnent en revanche aucune indication sur l'état de vieillissement d'un isolant.

D'autres essais de longue durée impliquant en particulier la présence d'eau dans les conducteurs et sous les gaines extérieures sont en cours; les premiers résultats révèlent déjà que les effets de vieillissement sont plus prononcés en présence d'eau dans les conducteurs. Tout comme l'isolant XLPE, la matière EPR est aussi influencée par l'eau. Le compte rendu de ces travaux fera l'objet d'un prochain article.

Stark im System, stark im Detail, SUHNER FIBEROPTIC

Lichtwellenleiter Kabel, Verbinder, Wandler und Systeme



Beachten Sie bitte unsere kleine Umfrage auf der nächsten Seite.

SUHNER FIBEROPTIC - ein kompetenter Partner für optische Übertragungssysteme und Bauteile

Die optische Übertragung hat sich weltweit in zahlreichen Installationen bewährt. Die Vorteile, wie: keine elektromagnetischen Interferenzen, keine EMC- und EMP-Probleme, galvanische Trennung, keine Erdungsprobleme, Erdschlaufen usw., verlustarme Übertragung über grosse Distanzen, keine Funkenbildung, Sicherheit in explosionsgefährlicher Umgebung, höchste Abhörsicherheit, niedriges Gewicht und kleines Volumen sind unumstritten.

Die SUHNER FIBEROPTIC Kabel lassen sich wie elektrische Leitungen installieren und auf einfachste Art und Weise mit den elektrooptischen Wandlern verbinden.

Unsere SUHNER FIBEROPTIC Ingenieure und die mehrjährige, erfolgreiche Marktpräsenz sind eine solide Vertrauensbasis für die Anwender der SUHNER FIBEROPTIC Produkte. Fachberatung, massgeschneiderte Problemlösungen und ein anwendungsorientiertes Produktespektrum sind Leistungen von denen Sie profitieren.

Wir freuen uns, Sie beraten zu können.

Verlangen Sie weitere Informationen

Unsere Kataloge geben Auskunft über das Standard-Produktesortiment. Verlangen Sie unsere Kabel-, Verbinder- und Wandler-Dokumentationen. Für Spezialprodukte stellen wir Ihnen Datenblätter zur Verfügung und falls Fragen zu speziellen Problemlösungen auftreten, so vertrauen Sie auf unser kompetentes Ingenieurteam. Das umfassende SUHNER FIBEROPTIC Bauteileprogramm hat für den Einsatz in Industrie, Datenverarbeitung, Kommunikation, Videotechnik und vielen anderen Anwendungsbereichen das richtige Produkt für die optimale Übertragung.

Fehlt hier die Karte?
Wir senden Ihnen gerne die entsprechenden Unterlagen.
CH: 071/53 41 11
A: 0222/61003-0
D: 089/61201-0

Vertretung für Deutschland:

SUHNER ELEKTRONIK GMBH
Mehlbeerenstrasse 6

D-8028 Taufkirchen
☎ 089/61201-0
TTx 89 7390
FAX 089/61201-162

Vertretung für Österreich:

TOMEK ELECTRONICS GMBH
Kolpingstrasse 16

A-1232 Wien
☎ 0222/61003-0
Tx 111 953
FAX 0222/61003-666

HUBER+SUHNER AG
Bereich Optische Übertragungstechnik
CH-9100 Herisau/Schweiz
☎ 071 53 41 11
Tx 882 729
FAX 071 53 45 90