

| | |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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: | 68 (1977) |
| Heft: | 11 |
| Artikel: | Les câbles d'énergie à l'époque actuelle et leurs perspectives d'avenir |
| Autor: | Wanser, G. |
| DOI: | https://doi.org/10.5169/seals-915033 |

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: 15.01.2026

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

reich benötigten beträchtlichen Pendelleiterlängen transportieren zu können, werden die Pendelleiterenteile und Verbindungsstücke zusammengeschraubt, wozu an den Leiterholmenden Schraubmuffenteile vorgesehen sind. Dieselben werden mittels Überwurflingmutter zusammengehalten und weisen aus Gründen der Vermeidung ausgeprägter Knickpunkte an den Leiterholmverbindungen einen konischen Übergang zum Holmquerschnitt auf. Grundsätzlich ist der Arbeitsbereich des Monteurs nach oben hin durch Fehlen einer Reihe von Sprossen im Pendelleiteroberteil begrenzt, so dass für ihn keine Möglichkeit der teilweisen Überbrückung der Isolatorkette oder des Aufsteigens in eine Gefahrenzone des Erdpotentials besteht. In diesem Bereich sind deshalb in grossen Abständen lediglich einige Distanzstücke vorgesehen. Dabei ist wesentlich, dass ganz allgemein derartige Arbeiten unter Hochspannung⁵⁾ nicht bei allen Witterungs-

lagen vorgenommen werden können, wie zum Beispiel bei relativen Luftfeuchtigkeiten grösser als 80 % sowie bei Nebel, Regen und Schneefall.

⁵⁾ In der Schweiz ist das Arbeiten unter Hochspannung noch nicht gestattet (St.VD Art. 7, Abs. 2).

Literatur

- [1] E. Homberger: Schutzmassnahmen in elektrischen Anlagen, Verlag «Der Elektromonteur», Aarau (1973), 271 S., 190 Fig.
- [2] G. Irresberger: Isolierstangen und Isolierleitern, Technische Rundschau 1963, Band 55, Heft 32, Seiten 17, 19, 21; Heft 34, Seiten 19, 21, 23; 26 Fig.
- [3] G. Irresberger: 161 Schrifttumsquellen zum sicherheitstechnischen Thema «Ausführung, Anwendung und Prüfung von teil- und vollisolierten Leitern zur Standortisierung» (beim Verfasser erhältlich)

Adresse des Autors

Georg Irresberger, Ing., Direktionsassistent der OKA, Anton-Bruckner-Strasse 5, A-4810 Gmunden, Österreich.

Les câbles d'énergie à l'époque actuelle et leurs perspectives d'avenir

Par G. Wanzer¹⁾

Die in Ballungsgebieten steigende Bevölkerungsdichte und die wachsenden Ansprüche der einzelnen Menschen beeinflussen bei der zunehmenden Nutzung der elektrischen Energie unmittelbar die Entwicklungsrichtungen auf dem Gebiet der Energiekabel. Die zunehmenden Leistungen bei der Energieübertragung führen zum Einsatz höherer Spannungen und zur Anwendung besonderer Kühlmaßnahmen bei den klassischen Ölkabeln. Wenn die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten der gegenwärtigen Kabeltechnik erschöpft sind, ist mit der Einführung von gasisolierten Kabeln und von Kabeln mit Supraleitern zu rechnen. Die Probleme der Energieverteilung werden durch Verwendung grösserer Leiterquerschnitte und durch Anheben der Spannungsebenen zu lösen sein. Über zu erwartende Probleme wird berichtet, Lösungsmöglichkeiten werden aufgezeichnet.

1. Technique des câbles et économie de l'énergie

Notre monde actuel se trouve dans une période de mutation technologique principalement déterminée par deux facteurs:

- Le nombre des humains vivant sur terre s'accroît de manière démesurée.
- Les besoins de chacun pris séparément augmentent au delà des limites normales.

Les relations esquissées par la fig. 1, permettent d'entrevoir que les deux facteurs cités ne demeurent pas uniquement sans influence sur les besoins estimés d'énergie, mais qu'ils ont aussi une incidence sur la technique des câbles.

Les problèmes d'alimentation en énergie électrique des grandes zones urbanisées sont posés dès à présent.

C'est précisément au cours de ces derniers temps que des échanges très amples d'expériences et d'idées ont eu lieu au cours de conférences à Paris, Berlin et à Atlantic-City.

Pour commencer, je donne une vue générale sur les problèmes de l'avenir qui vont se poser en vue d'assurer l'alimentation en courant par voie souterraine des grandes agglomérations et montre, en même temps, les apports que l'on peut espérer de la technique des câbles dans la résolution de ces problèmes.

La densité croissante de la population dans les zones urbanisées et les exigences croissantes de l'homme contribuent à faire augmenter la consommation d'énergie électrique et elles influent de ce fait directement sur les tendances de développement dans le domaine des câbles électriques. Les puissances toujours plus élevées à transporter conduisent à utiliser des tensions supérieures et des systèmes de refroidissement spéciaux pour les câbles à huile classiques. Lorsque seront épuisées les possibilités techniques et économiques de l'actuelle technologie des câbles, il faudra s'attendre à l'introduction de câbles isolés au gaz et de câbles à supra-conducteurs. Pour résoudre les problèmes du domaine de la distribution de l'énergie, il faudra utiliser des câbles de section supérieure et relever les niveaux des tensions. L'exposé ci-après traite des problèmes qui surviendront et en montre des solutions.

Suivant les estimations du VDEW (Association des producteurs allemands d'énergie électrique) l'accroissement annuel de consommation en courant en Allemagne se situera entre 2 et 3 % du produit national brut.

Personnellement, je pense que nous serions bien avisés, en situant nos investissements futurs plus près de la limite supérieure en escomptant plutôt un taux d'accroissement de l'ordre de 7 %. Il n'est pas douteux, que les problèmes liés à l'utilisation croissante de l'énergie électrique trouvent leur répercussion sur la technique des câbles.

Nos exigences relatives aux câbles d'énergie des points de vue du transport de la production comme des possibilités de montages simplifiés et d'une fiabilité de service, conjuguées à la rentabilité doivent être plus élevées, si nous voulons pouvoir assurer de la manière habituelle notre alimentation en courant pour l'avenir.

Le mode de transport de l'énergie électrique dépendra largement de la distance existante entre les centrales et les points importants d'utilisation. On peut estimer qu'à l'avenir, sur base de nos récentes considérations, il y aura entre 15 et 20 % de l'ensemble des centrales de production installées à

¹⁾ Extrait d'une conférence présentée à la 59e Assemblée générale du VDE à Munich (traduction).

proximité immédiate du centre des villes, c'est-à-dire en fait à une distance de 5 à 15 km de ces centres. Environ 40 % de cette puissance se trouvera à une distance un peu supérieure soit donc entre 15 et 50 km.

Une autre partie encore de 40 % de cette puissance sera produite à plus de 50 km du centre des villes et cela signifie, pour des villes plus étendues, que ces installations se trouveront déjà en dehors des zones urbanisées.

L'idée de rapprocher le lieu d'établissement des centrales des points importants d'utilisation se justifie par le besoin de réduire les pertes dues au transport, ainsi que par des raisons écologiques et économiques résultant du rapport à atteindre entre la puissance et la chaleur. Aucun obstacle à cette tendance n'est constitué par l'utilisation croissante de l'énergie nucléaire.

La distribution de l'énergie électrique dans les zones urbanisées elles-mêmes, sera déterminée par le chiffre de la superficie par rapport à la puissance destinée à chaque utilisateur, soit donc par la puissance spécifique. La fig. 2 montre quelques exemples à ce sujet.

La composition de la clientèle des entreprises allemandes de distribution d'électricité au cours de ces deux dernières décennies permet d'observer une restructuration très marquante: les consommateurs privés, comme les entreprises commerciales et artisanales présentent un taux d'accroissement de consommation d'énergie électrique bien au dessus de la moyenne. On peut s'attendre pour 1985 à une consommation d'énergie électrique d'environ 50 % par la clientèle tarifaire.

Il est bien évident que pareille évolution devra être liée à une transformation des réseaux de distribution et que l'on doit s'attendre, en même temps, à une large extension des réseaux existants de câbles. Cette tendance est déjà visible sur la représentation du développement au cours de la dernière décennie (fig. 3).

La nécessité technique de l'utilisation de câbles se marquera dans les investissements à consentir par les entreprises

de distribution d'électricité et que celles-ci doivent faire pour la distribution de l'énergie.

Aujourd'hui plus de la moitié des investissements sont dépensés pour assurer la distribution et son extension. On estime que 10 à 15 % de ces investissements sont attribués à l'installation de câble. Il est intéressant de souligner ici, que sur base d'une étude de l'UNIPEDE faite en Allemagne, en France et en Italie au sujet des investissements relatifs à la distribution de l'énergie dans les réseaux urbains, la partie se rapportant aux installations de câbles correspondait à peu près partout à une valeur identique de 75 %.

Une difficulté majeure se présente au moment du renforcement de réseaux existants, ou lors de la construction de nouveaux réseaux en câbles souterrains; il s'agit de la résorption de l'augmentation quasi explosive des coûts des travaux de terrassement au cours de ces dernières années.

2. Problèmes de l'alimentation en énergie électrique des zones urbanisées

2.1 Transport de l'énergie électrique dans les régions à haute densité de puissance

On sait que les grandes puissances électriques à transporter sur de longues distances le sont presqu'exclusivement par des lignes aériennes. Ces derniers temps cependant, on a exprimé à plusieurs occasions l'exigence de remplacer les lignes aériennes par des câbles, les raisons invoquées étant en premier lieu d'ordre esthétique. Présentés bien souvent avec passion, les arguments laissent totalement à l'écart les points de vue économiques et techniques.

A mon avis, il faudrait se concentrer plus sur la question de savoir, quelle serait la meilleure décision à prendre en vue de sauvegarder l'environnement naturel tout en considérant aussi le coût des réalisations et l'intérêt du consommateur qui en fin de compte devra en supporter la charge.

Les différences essentielles, très faciles à reconnaître, existant entre les lignes aériennes et les câbles, se situent d'une part dans l'espace nécessaire et d'autre part dans le

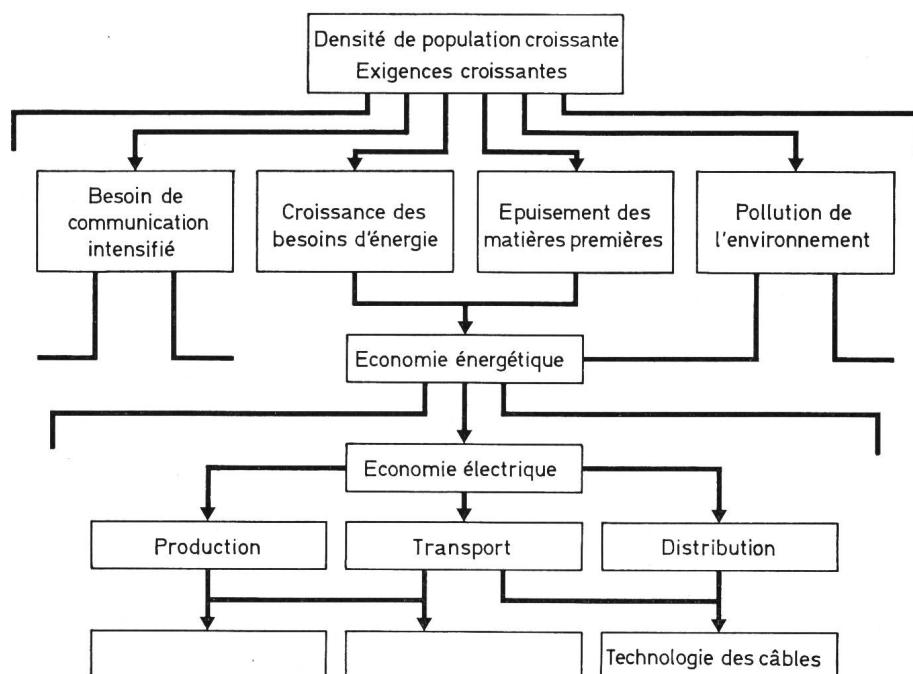


Fig. 1
Technologie des câbles et économie électrique

| Ville | Superficie km ² | Densité de puissance MW/km ² 1970 | 2000 |
|----------------------|----------------------------|-------------------------------------------------|------|
| Paris | 650 | 4 | 30 |
| Paris (centre ville) | 87 | 14 | 85 |
| Berlin - Ouest | 302 | 4,0 | |
| Hambourg | 400 | 3,0 | 15 |
| Munich | 230 | 2,4 | 13 |

Fig. 2 Densité de puissance dans certaines grandes agglomérations

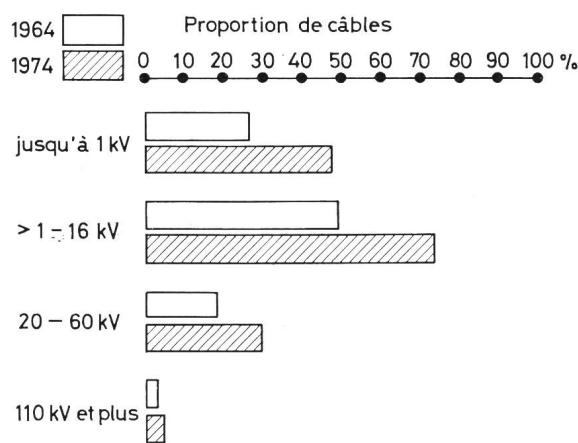


Fig. 3 Proportion de câbles par rapport à la longueur totale des lignes en Allemagne (selon VDEW)

coût des investissements à faire. La fig. 4 permet de se rendre compte du large espace nécessaire à l'établissement de lignes à très hautes tensions, d'où l'on peut en déduire l'absolue nécessité de passer aux câbles souterrains dans les régions à haute densité d'habitants. Les relations entre les coûts dépendent évidemment des situations particulières rencontrées et des tensions de service et sont généralement en faveur des lignes aériennes.

Un exemple marquant de réalisation en zone urbanisée, avec une prépondérance pour les câbles souterrains, est celui de la ville de Berlin. Comparativement au reste des grandes régions d'alimentation de l'Allemagne de l'Ouest, les lignes aériennes ne constituent à Berlin qu'une très faible partie du réseau total. Vu la situation politique malheureuse de cette ville, Berlin-Ouest ne peut pas disposer d'une zone environnante suffisamment vaste permettant des interconnexions et la réalisation d'une ceinture en lignes aériennes de très hautes tensions. Les réseaux de transport d'énergie, de même que les interconnexions doivent se faire sur le territoire de la ville elle-même avec comme conséquence que tout doit être réalisé en transport souterrain.

Berlin-Ouest est la première ville allemande construisant un réseau d'interconnexion souterrain à très grande puissance qui sera exploité à une tension de 380 kV. Comme pour toutes les autres grandes villes européennes, on estime également ici, qu'à l'aide du niveau de tension de 380 kV, l'alimentation en énergie se trouve assurée pour les vingt prochaines années.

A titre de second exemple, je voudrais citer celui de la ville de Paris. Une liaison en ligne aérienne vers le centre de Paris étant impensable, on avait décidé, dès avant la guerre

d'assurer le transport de l'énergie nécessaire à l'aide de câbles. La tension qui fut choisie à ce moment était de 225 kV. D'une part, on ne disposait pas encore au moment de la pose de câbles fiables pour une tension de service de 380 kV; d'autre part il était alors possible à ce niveau de tension, d'adapter les installations existantes aux besoins croissants de puissance en augmentant uniquement les sections.

Dans un certain avenir, la puissance nécessaire sera reprise à partir d'un vaste réseau d'interconnexion à 730 kV entourant Paris et celle-ci sera transportée vers le centre de la ville par un grand nombre de câbles disposés radialement.

Examinons encore pour terminer le cas de Manhattan. C'est une région d'alimentation pour laquelle la densité de puissance se situe déjà maintenant au delà de 100 MW/km².

A mon avis, on nous montrera bientôt de manière tangible, les problèmes auxquels nous serons confrontés d'ici une dizaine d'années dans nos villes par l'accroissement continu de la consommation de courant.

On peut déjà déduire de ces seuls exemples, les devoirs qui seront imposés à la technique des câbles, uniquement du point de vue du transport de l'énergie dans le futur.

– Il faut trouver des constructions de câbles qui permettent à la fois le transport de fortes puissances avec un espace très réduit pour la pose, étant donné la place très restreinte dont on peut encore disposer dans les villes.

– La fiabilité en service doit être très élevée et correspondre pour cette gamme de puissances, à celle des lignes aériennes qui sont pratiquement en usage dans ce domaine.

Les constructions possibles de câbles dans ce domaine seront définies dès que je vous aurai préalablement exposé la problématique de la distribution de courant.

2.2 Distribution du courant dans les régions à haute densité de puissance

L'accroissement de la densité de puissance postule, en même temps, une élévation de la tension des réseaux de distribution, tant pour des raisons économiques que techniques.

La tension d'alimentation pour la clientèle tarifaire ne pourra certainement pas être modifiée. Cela signifie que les sous-stations de transformation de moyenne tension vers la basse tension seront à l'avenir très rapprochées entre-elles. Le

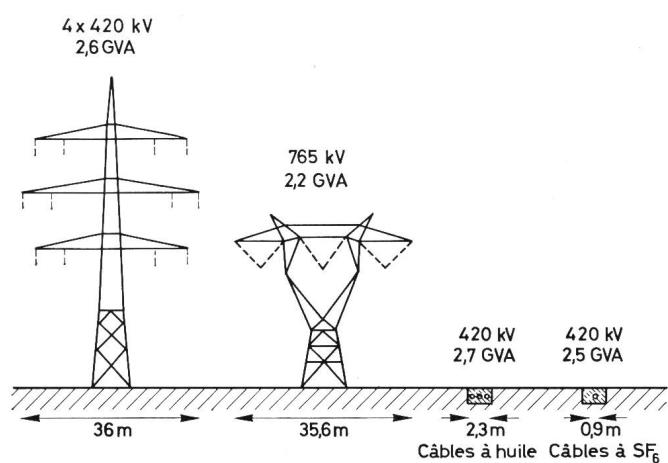


Fig. 4 Largeurs des cheminements pour les divers systèmes de transport (selon Eidinger et Klement)

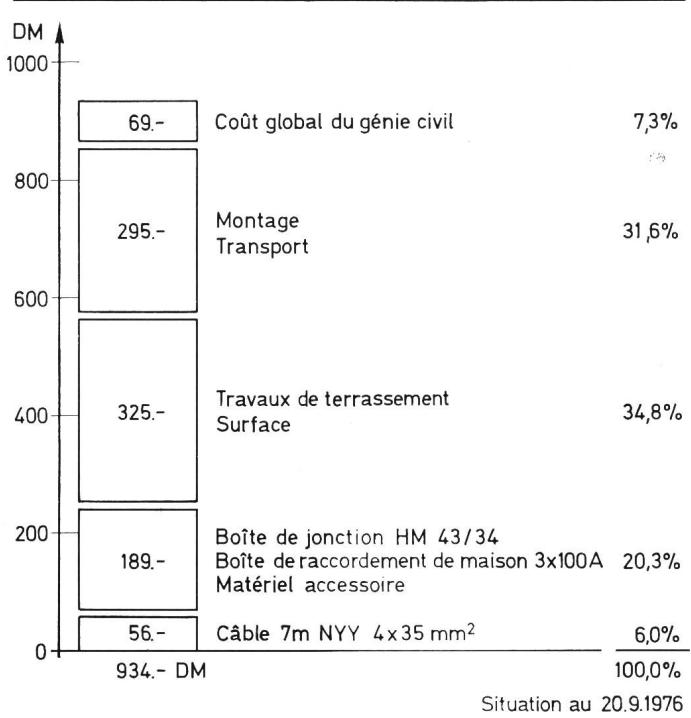


Fig. 5 Répartition des coûts d'un raccordement d'habitation en câble (selon RWE Essen)

réseau à moyenne tension s'étendra encore beaucoup plus que jusqu'à présent. A l'avenir, les clients tarifaires seront alimentés par de très courtes lignes à basse tension.

Que signifie dès lors cette situation pour la technique des câbles?

Une accumulation de câbles est inévitable aux approches des postes et pose ainsi le problème de l'assèchement du sol environnant. Ceci correspond directement à une dépréciation de l'évacuation de chaleur, si on ne réduit pas simultanément les charges des câbles.

Une sollicitation thermique plus conséquente des câbles doit être prise en considération, lorsque la durée d'utilisation des câbles s'accroît, du fait de l'augmentation du nombre de consommateurs se servant notamment du chauffage électrique.

Les croisements de câbles avec les canalisations de chauffage urbain augmentent aussi la charge thermique du sol et des câbles qui y sont posés.

Nous savons maintenant très exactement que toute augmentation de la température de service d'un isolant se répercute de manière très défavorable sur la durée de vie de cet isolant. C'est un des aspects du problème. L'autre aspect est d'ordre purement économique.

Les accumulations de câbles et les distances plus courtes entre les postes forceront à réaliser plus de terminales et de jonctions à l'avenir.

Si, en plus de ces facteurs, les coûts pour la main-d'œuvre se développent comme ce fut le cas jusqu'à ce jour, nous serons conduits vers des accroissements très marqués des frais.

La figure montre la part prise par les services dans les frais de raccordement d'une habitation à l'aide d'un câble souterrain. Maintenant déjà la part de dépenses applicable au câble lui-même est très petite (fig. 5).

2.3 Limites de charges des câbles du type conventionnel

Il semble établi, que les problèmes qui se poseront dans les zones urbaines lors de l'emploi de câbles conventionnels et qui sont la conséquence de l'accroissement constant de la consommation d'énergie ainsi que l'augmentation de la densité de puissances, ne soient que partiellement résolus.

Le vieillissement accéléré des isolants aux températures élevées empêche de dépasser les limites maximales prédéterminées des températures admissibles. Cette constatation est aussi bien valable pour les câbles à basse tension que pour les câbles à haute tension. Chaque dépassement des températures limites, reconnues pour tous les matériaux isolants utilisés actuellement, indiquées aussi bien dans les normes de la CEI que du VDE, signifie une réduction de la durée de vie.

Il devient très aléatoire de préciser actuellement les indications au sujet des températures admissibles pour des durées réduites de surcharges, principalement à cause du phénomène de vieillissement encore trop peu connu des isolants. Cette remarque est surtout valable pour les câbles de distribution.

Pour les câbles de transport, c'est-à-dire les câbles pour tensions de 110 kV et au-delà, seule la limite supérieure de courant en service continu présente un intérêt, sachant que la charge de ces câbles est généralement contrôlée de manière précise. Les questions de surcharge n'ont donc pas la même signification que pour le cas des câbles de distribution.

Les pertes de puissance dans un câble ne sont pas uniquement constituées par des pertes qui dépendent du courant circulant dans les conducteurs. Il faut aussi tenir compte des pertes diélectriques en fonction de la tension de service.

Sachant que la perte de puissance maximale admissible est limitée pour des raisons techniques et économiques, on ne pourra dès lors admettre que des courants moindres dans les conducteurs et par voie de conséquence une puissance transportée plus réduite, lorsque les pertes diélectriques seront croissantes (fig. 6).

Partant de résultats obtenus à Waltz-Mill aux Etats-Unis, après des essais de longue durée en laboratoire sur des câbles

Puissance

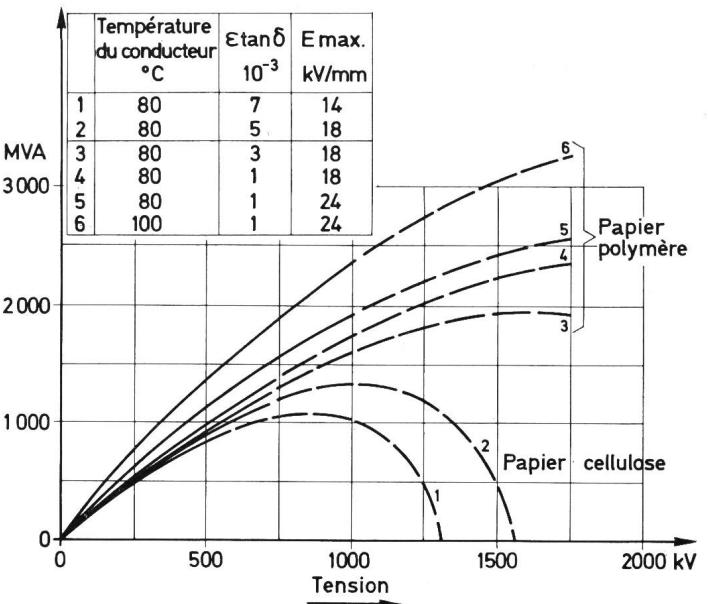


Fig. 6 Puissance de transport de câbles à huile de 1200 mm² (selon Fujita)

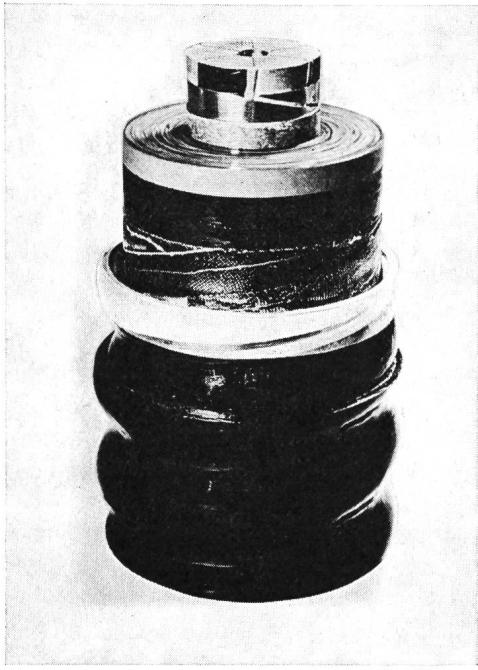


Fig. 7 Câble à l'huile fluide pour 750 kV et 1000 kV (Pirelli)

à haute pression d'huile, on a conclu en Amérique que la limite supérieure de la combinaison huile et cellulose n'était pas encore atteinte à 550 kV.

En utilisant des papiers normaux d'isolation et le refroidissement naturel, on trouve une limite technique raisonnable de la tension de transport à environ 750 kV. La limite de puissance résultant de ces essais est représentée sur la figure. Des papiers synthétiques, à base de fibres en matières synthétiques, ouvrent semble-t-il de nouvelles possibilités, toutefois les résultats connus jusqu'à présent ne permettent pas encore de tirer de conclusions définitives.

En Italie, on étudie actuellement la question de savoir s'il est techniquement possible d'étendre l'application des câbles à huile isolés au papier jusque 1000 kV. La figure montre un tel câble d'essai qui à Milan figure au programme des études et recherches depuis plusieurs années (fig. 7).

Ceci donne un aperçu des limites actuellement visibles pour les câbles du type conventionnel, qui dans l'état actuel et sur base de données économiques acquises défendables, ne peuvent plus être déplacées.

3. Possibilités de résolution des problèmes

3.1 Les câbles de distribution

Dans le domaine des câbles à basse tension, on peut remarquer que le câble isolé aux matières synthétiques et sans écran, avec l'isolation en polychlorure de vinyle PVC, a fait ses preuves comme construction acceptable tant sur le plan économique que technique. Mais ici aussi le progrès technique avance. Le polyéthylène réticulé, comme d'autres matériaux nouveaux, présente de meilleures qualités techniques sans devenir toutefois plus économique.

Pour cette raison, je voudrais approfondir la question des nouveaux isolants et considérer, par la même occasion, les tendances du développement dans ce domaine.

Au cours des dernières années, les matériaux polymères ont remplacé complètement l'isolant classique, c'est-à-dire le

diélectrique huile-papier dans le domaine de la basse tension.

Les raisons de ce changement apparaissent aussi dans une technique de fabrication plus rationnelle que dans les propriétés plus favorables à la pose et en service.

Les matériaux isolants polymères qui prédominent actuellement sont le polychlorure de vinyle plastifié, le polyéthylène et le polyéthylène réticulé. En plus de ces matériaux il est encore question maintenant de recouvrements de polyéthylène et de polypropylène désignés par le sigle PPE.

Les matières synthétiques précitées se différencient entre elles par leur constitutions moléculaires diverses et par leur comportement mécanique et électrique. Pour les câbles à basse tension, ce sont surtout les propriétés mécaniques, mais également les propriétés électriques qui sont d'importance égale.

3.2 Comportement thermique des isolants pour câbles

La fig. 8 représente la résistance à la déformation en fonction de la température. On distingue une nette différence entre les matériaux thermoplastiques PVC et PE et le matériau réticulé, c'est-à-dire le polyéthylène réticulé thermoplastique PRC.

Le *PVC souple* est un matériau qui demeure souple à la température ambiante et reste encore suffisamment résistant et élastique jusque 100 °C. Le fluage commence cependant à partir de 100 °C et le matériau devient visqueux à partir de 170 °C seulement.

Le *polyéthylène souple*, mis en œuvre pour les isolations de câbles, contient une quantité innombrable de petits cristaux qui lui assurent une bonne résistance jusqu'à son point de fusion situé à environ 115 °C. Au delà de cette valeur le PE devient visqueux.

Pour le *polyéthylène réticulé (PRC)* les molécules sont intimement liées entre elles comme dans le caoutchouc. C'est pour cette raison que ce matériau n'accuse aucun fluage avant sa température de décomposition située au delà de 250 °C. Toutefois, on constate un certain ramollissement au point de fusion de ses petits cristaux vers 110 °C, mais le matériau conserve sa forme. Il ne flue pas.

Le polypropylène est comme le polyéthylène un hydrocarbone partiellement cristallin.

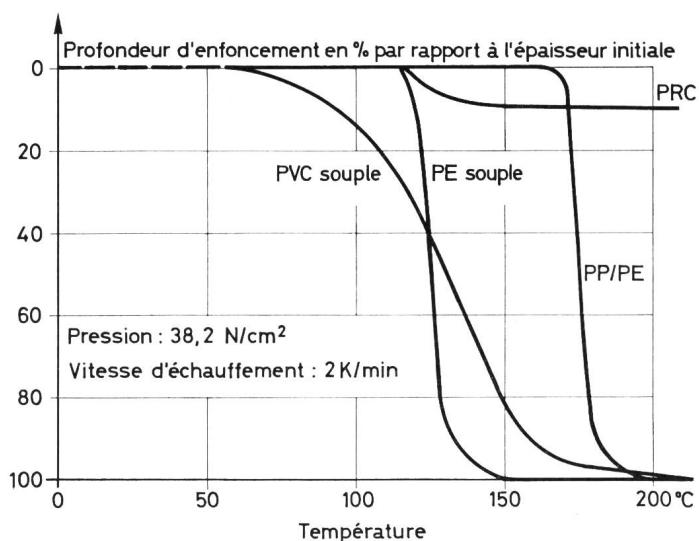


Fig. 8 Comportement à la déformation thermique du PRC, PVC, PE et PPE

Qualität - Flexibilität - Norm ... vereinigt im neuen Hilfsschütz CS 3

Qualität

Eine Synthese aus neuesten Entwicklungsergebnissen, modernsten Fabrikationsmethoden und über 75-jähriger Erfahrung. Mit dem neuen Hilfsschütz CS 3 setzt Sprecher+Schuh diese qualitätsbewusste Tradition fort.

Flexibilität

Durch kombinierbare Bauelemente vielfältige Anwendungsmöglichkeiten.

Aufsteckbare Hilfskontaktblöcke mit 2 oder 4 Schaltgliedern.

Schraubbefestigung auf Grundplatte oder Lochplatte in 5 mm-Raster.

Schnappbefestigung auf Tragschiene EN 50 022-35 (DIN 46 277, Blatt 3).

Beliebige Einbaulage.

Drei Beschriftungsarten:

Klebschilder, Papierschilder mit transparenter Abdeckung, Sprecher+Schuh Aufsteckschilder.

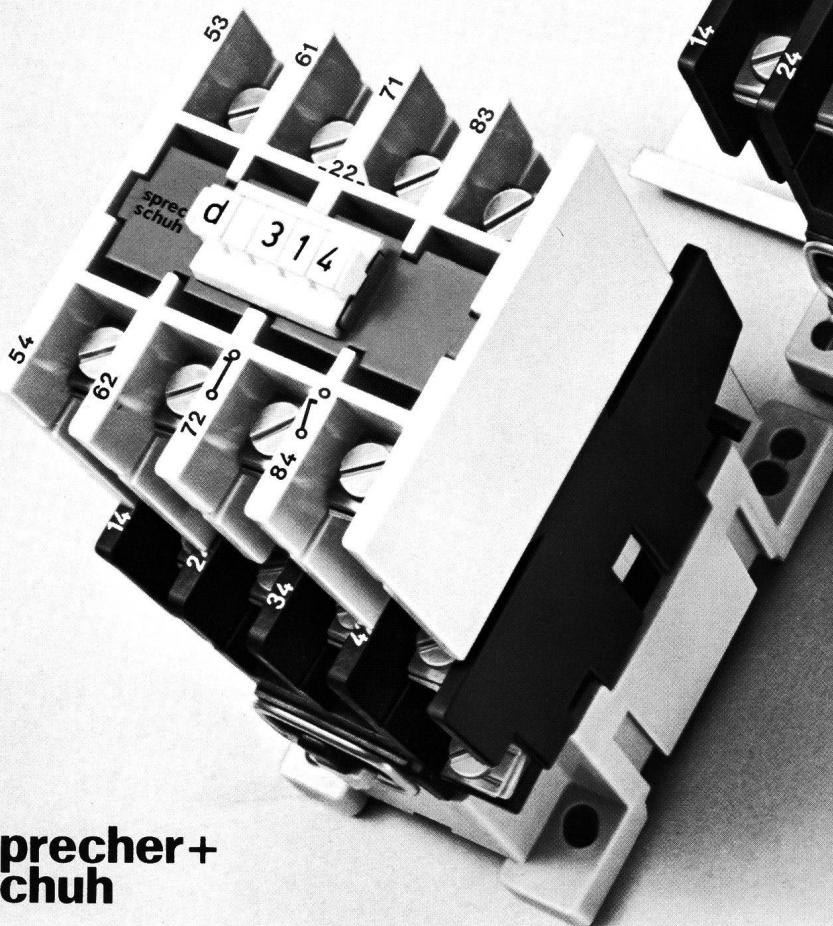
Schneller Spulenaustausch ohne Werkzeuge.

Selbstöffnende Klemmpratzen.

Norm

Befestigungsmasse, Anschluss-Bezeichnungen, Anzahl und Art der Hilfsschaltglieder nach Europanorm.

Alle massgebenden Vorschriften erfüllt.

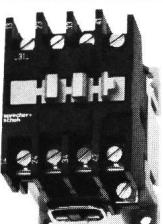


Qualität - Flexibilität - Norm ... vereinigt im neuen Hilfsschütz CS 3

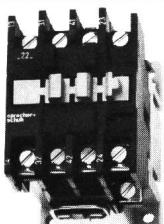
Hilfsschütz CS 3
Grundausführung



CS 3-40 E
A1
A2
13 23 33 43
14 24 34 44



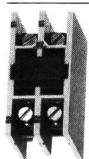
CS 3-31
A1
A2
13 23 33 41
14 24 34 42



CS 3-22
A1
A2
13 31 41 23
14 32 42 24

Brutto-
Preis 1977
Fr. 25.-

Hilfskontaktblock



CS 3-P-02
51 61
52 62

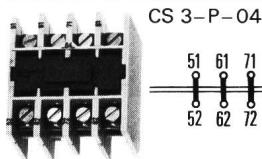
Hilfsschütz CS 3 mit Hilfskontaktblock

CS 3-42 E
A1
A2
13 23 33 43 51 61
14 24 34 44 52 62

CS 3-33
A1
A2
13 23 33 41 51 61
14 24 34 42 52 62

CS 3-24
A1
A2
13 31 41 23 51 61
14 32 42 24 52 62

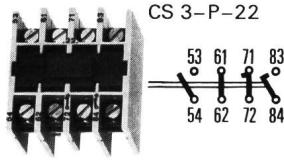
Brutto-
Preis 1977
Fr. 30.-



CS 3-P-04
51 61 71 81
52 62 72 82

CS 3-44 E
A1
A2
13 23 33 43 51 61 71 81
14 24 34 44 52 62 72 82

Brutto-
Preis 1977
Fr. 34.-

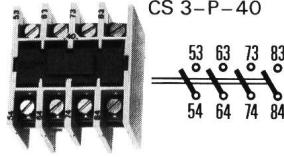


CS 3-P-22
53 61 71 83
54 62 72 84

CS 3-62 E
A1
A2
13 23 33 43 53 61 71 83
14 24 34 44 54 62 72 84

CS 3-53
A1
A2
13 23 33 41 53 61 71 83
14 24 34 42 54 62 72 84

CS 3-44
A1
A2
13 31 41 23 53 61 71 83
14 32 42 24 54 62 72 84



CS 3-P-40
53 63 73 83
54 64 74 84

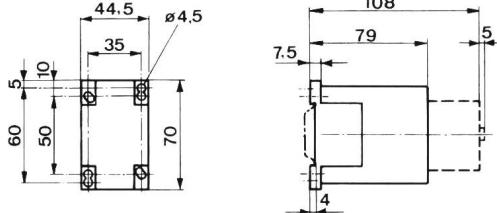
CS 3-80 E
A1
A2
13 23 33 43 53 63 73 83
14 24 34 44 54 64 74 84

CS 3-71
A1
A2
13 23 33 41 53 63 73 83
14 24 34 42 54 64 74 84

Technische Daten

| Betriebsspannung | V | 220 | 240 | 380 | 415 | 500 | 660 |
|-----------------------|---------------|-----------------------------|------|---------|-----|------|------|
| Thermischer Nennstrom | A | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| offen und AC-1 | kW | 9,5 | 10,5 | 16,5 | 18 | 21,5 | 28,5 |
| Schalten | A | 12 | 10 | 5 | 4 | 2,5 | 1,25 |
| AC-11 | Hilfsk. block | A | 6 | 5,5 | 3 | 2,5 | 1,7 |
| Approbation CSA | V a.c. | 600 | | | | | |
| | A | 16 (Heavy Pilot Duty a.-c.) | | | | | |
| Lebens- | 380/415 V | Mio. Sch. | 1,2 | (AC-11) | | | |
| dauer | Mechanische | Mio. Sch. | 15 | | | | |
| Anzahl Hilfskontakte | | 4 | 6 | 8 | | | |

Abmessungen / mm



Verlangen Sie unseren Katalog 22 02

sprecher+schuh

Sprecher+Schuh Verkauf AG
CH-5001 Aarau / Schweiz
Telefon: 064 - 25 21 21

Für Service und Beratung stehen Ihnen die Grossisten und unsere 14 Verkaufsstellen zur Verfügung:
Basel 061 - 39 53 31
Bern 031 - 24 11 11
Biel 032 - 23 41 21
Renens 021 - 34 02 44
Ebikon bei Luzern 041 - 36 80 38
Lugano 091 - 57 14 14

Olten 062 - 22 36 56
Rohr bei Aarau 064 - 24 19 19
Sargans 085 - 2 25 22
St. Gallen 071 - 24 00 80
Winterthur 052 - 29 20 21
Zürich 01 - 62 54 62
Genève 022 - 2113 12
Sion 027 - 22 16 92

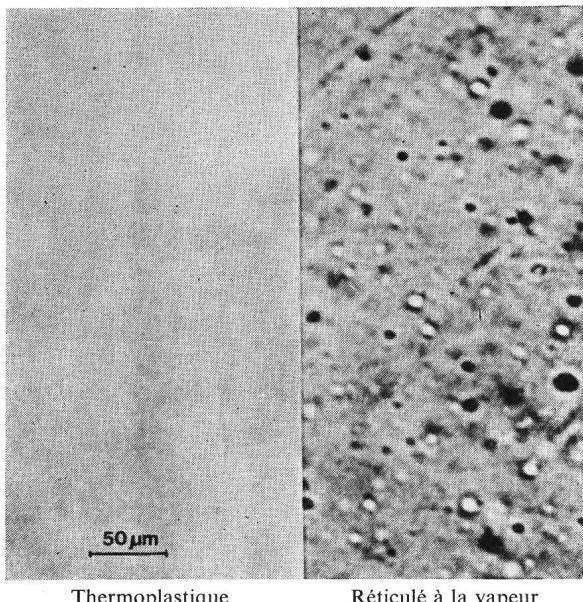


Fig. 9 Polyéthylène sans et avec des microvoids

En recouplement avec du polyéthylène, il présente jusqu'à 160 °C une résistance suffisante à la déformation dont on peut facilement tirer profit. Cependant au delà de cette température il devient aussi plastique que le P. E. lui-même.

En cas de court-circuit, c'est-à-dire aux températures au delà de 250 °C, le PRC seul conserve la résistance nécessaire à la déformation.

De manière générale, je voudrais préciser que notre économie énergétique sera bien guidée, lorsque l'on décidera la mise en œuvre de câbles pouvant être posés aisément et permettant d'obtenir un haut niveau de fiabilité, malgré les frais annuels réduits à leur consacrer. Le prix d'un câble en lui-même ne peut constituer le critère déterminant au cours du choix à faire.

Je pense encore, qu'il est préférable dans le domaine de la basse tension de choisir en temps voulu des sections de câbles plus grandes et de passer également à des tensions plus élevées, plutôt que de conserver des sections faibles en se fiant à des isolants qui supportent une charge thermique plus élevée.

Une telle attitude serait encore à recommander si l'on considère les prix de revient toujours plus élevés des travaux de terrassements.

3.3 Comportement électrique des isolants de câbles pour la moyenne et la haute tension

Dans les domaines de la moyenne et de la haute tension, les câbles isolés au papier imprégné occupent toujours une position prépondérante pour la quantité; toutefois les câbles à isolants synthétiques prennent une importance de plus en plus grande grâce à leurs avantages économiques et techniques.

Lors du passage aux câbles à isolation synthétique dans ce domaine, il est utile de savoir que l'on se trouve en présence d'un diélectrique homogène.

Dans les câbles à huile fluide les petits défauts dans le diélectrique, comme par exemple les vacuoles, sont à peine nuisibles. De tels défauts ont tout au plus la dimension de l'épaisseur d'un ruban de papier, mais ils sont remplis d'huile.

Une vacuole remplie de gaz dans un diélectrique solide constitue certainement un point faible qui, ainsi que le mail-

lon le moins résistant d'une chaîne, peut conduire à la mise hors service du câble.

Sur ces thèmes et les questions qui s'y rapportent, à savoir s'il fallait à l'avenir préférer le PE ou le PRC, des échanges de vues ont eu lieu au cours de la dernière conférence de la CIGRE à Paris. La conclusion de ces discussions peut être résumée en deux parties:

- Aucun des deux matériaux isolants ne possède des qualités si extraordinaires qui forcerait à porter le choix sur l'un d'eux.

- Le comportement au vieillissement des isolants polymères, le PE et le PRC, est étudié dans le monde entier à grands frais.

A ce moment, il me semble que quelques explications complémentaires sont utiles.

Les nouveaux matériaux isolants – et cela doit être dit ouvertement – laissent beaucoup des questions se rapportant à des phénomènes non encore expliqués sans réponse.

Les questions mises à l'examen actuellement au niveau international se rapportent principalement aux effets causés par les vacuoles, la vapeur d'eau et les impuretés sur la résistance électrique des isolations en matières synthétiques.

De très petites vacuoles de diamètre de 1 à 30 microns, appelées brièvement «microvoids» peuvent se produire au moment de l'extrusion d'une isolation synthétique. Leur influence sur la résistance au claquage et sur la durée de vie des câbles n'a pas encore pu être démontrée de façon indiscutable. La figure montre un polyéthylène réticulé à la vapeur et contenant des vacuoles, par rapport à un polyéthylène thermoplastique et exempt de vides. Lorsqu'il s'agit toutefois de vides plus grands, on peut dire que ceux-ci abaisse la durée de vie du câble.

Une influence similaire est aussi produite par les impuretés contenues dans l'isolant et par les tensions mécaniques internes sur la durée de vie du câble.

Les endroits défaillants de ce genre peuvent provoquer la formation d'arborescences et conduire à un claquage en longue durée. A côté des arborescences, créées électriquement par les décharges internes, on a encore découvert les dits «Watertrees», qui prennent naissance aux endroits de champ électrique élevé où l'eau se serait rassemblée. La figure 10

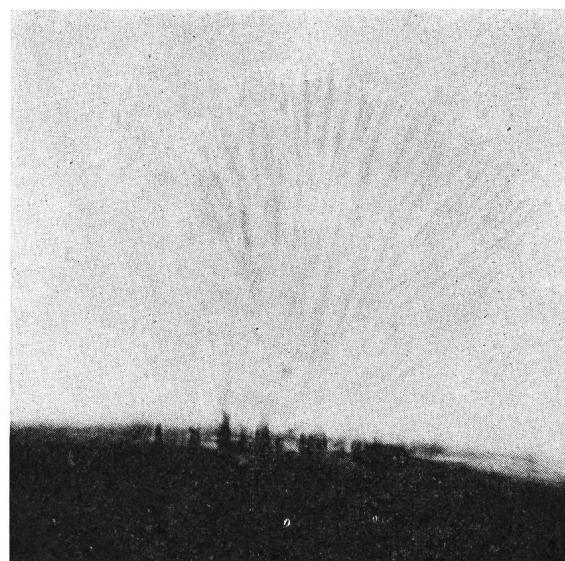
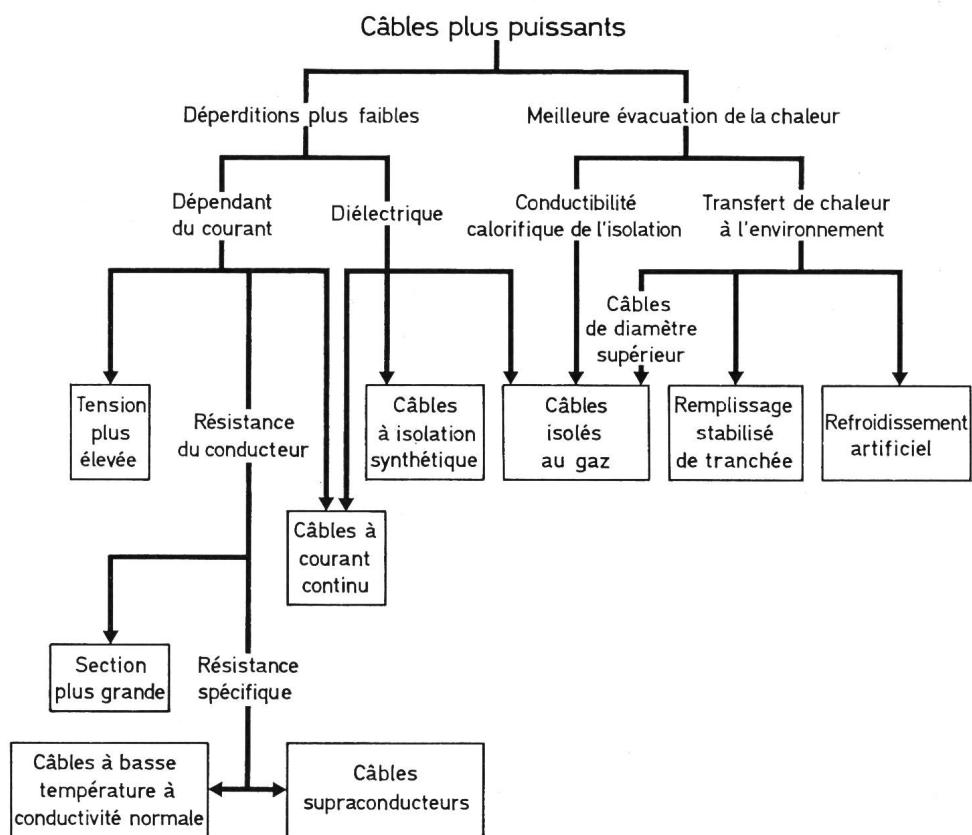


Fig. 10 Arborescences d'humidité dans un isolant

Fig. 11

Possibilités d'accroissement de la puissance



permet de reconnaître ces Watertrees dans du polyéthylène. Les causes de l'apparition et les effets de ces arborescences d'eau, tout comme les moyens à utiliser en vue de les éviter font l'objet de discussions animées.

En guise de protection du diélectrique de matière synthétique contre la pénétration d'eau dans les câbles à haute tension on a essayé et l'on recommande même la mise en œuvre de gainages métalliques fermés. Une telle barrière contre la diffusion de l'eau empêche, d'une part, la pénétration d'eau lorsque les câbles sont posés dans des terrains humides, d'autre part, elle empêche l'évaporation de certains

additifs importants, qui doivent assurer un comportement électrique en durée des matériaux isolants.

Parmi ces additifs importants il faut surtout compter les stabilisants de tension qui réduisent ou qui éliminent l'action destructrice des endroits défaillants.

Depuis quelque temps on étudie aussi l'introduction de stabilisants de tension dans le polyéthylène réticulé des câbles.

Mais les procédés de fabrication ont en fin de compte aussi une importance déterminante sur le comportement électrique en durée des câbles à isolation synthétique. C'est ainsi, qu'après avoir fait un choix minutieux des matières premières et en utilisant des conditions optimales de fabrication, il est possible d'éviter les endroits défaillants. On est également en mesure, grâce à des méthodes d'essais bien équilibrées et précises, de surveiller avec efficacité la fabrication des câbles isolés au PE et au PRC et de donner des prévisions quant à leur qualité.

L'un des essais les plus importants reste celui de la mesure des décharges partielles. On ne dispose cependant pas encore d'informations concrètes au sujet de la relation qui existe entre l'intensité des décharges partielles et leur action destructive. Pour des raisons de sécurité, il me paraît dès lors utile de fabriquer les câbles, de façon à situer le niveau d'extinction des décharges partielles, bien au delà de leur tension de service.

3.4 Les câbles de transport

Terminant les questions relatives aux câbles de distribution parlons maintenant des câbles de transport. Dans ce domaine également les solutions possibles que l'on pourrait prévoir en fonction des exigences toujours accrues, ne rendent pas les problèmes qui se posent moins complexes qu'ils

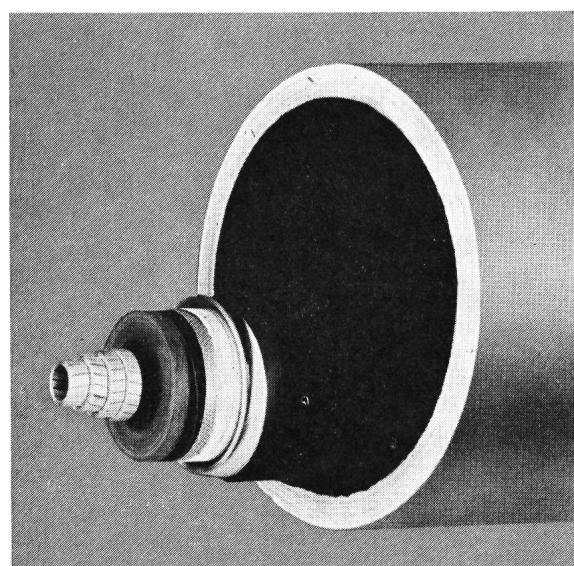


Fig. 12 Echantillon de câble à huile de 380 kV pour refroidissement direct de la surface (Siemens)

ne le furent avec les câbles de distribution. La fig. 11 montre l'ensemble des possibilités de principes applicables pour atteindre un accroissement de la puissance transportée à l'aide de câbles.

Il existe cinq alternatives déjà éprouvées et appliquées techniquement avec une partie se trouvant même en service et dont je voudrais vous entretenir.

Ce sont:

1. Les câbles à diélectrique solide
2. Les câbles à refroidissement forcé
3. Les câbles à isolation gazeuse
4. Les cryocâbles supraconducteurs
5. Les câbles de transport à haute tension continue

Les pertes diélectriques très faibles de certaines matières synthétiques utilisées aujourd'hui avec succès dans les domaines de la basse et de la moyenne tension, sont aussi recommandables pour une utilisation dans le domaine des très hautes tensions. Les avantages que l'on obtient par un montage plus simple de ces câbles sont, dans le cas présent, d'un véritable intérêt économique.

Des câbles isolés au PE pour 110 kV sont en service en Allemagne depuis 1967.

En France, le réseau de l'EDF comporte environ 100 km de câbles à 225 kV depuis 1969, dont 18 km sont constitués par des câbles isolés au polyéthylène réticulé. Sur base d'une information communiquée par l'EDF ces câbles sont sensiblement plus économiques que les câbles isolés à l'huile fluide.

Des câbles isolés au polyéthylène pour la tension de 380 kV sont au stade du développement en France. Ces câbles seront également mis en service dans le réseau français dans un proche avenir.

Même si – ainsi que cela vient d'être longuement expliqué – certains phénomènes du comportement des isolants en matière synthétique ne sont pas encore entièrement connus, on peut s'attendre à une poussée de ces types d'isolants jusqu'au domaine des très hautes tensions et tout au moins jusqu'à 400 kV.

Pour des câbles de plus hautes puissances on ne peut guère envisager actuellement que l'emploi du refroidissement forcé, des isolations à gaz et des supraconducteurs pour faire face au problème posé.

Le *refroidissement forcé* des câbles conventionnels au moyen des divers procédés connus, crée une certaine indé-

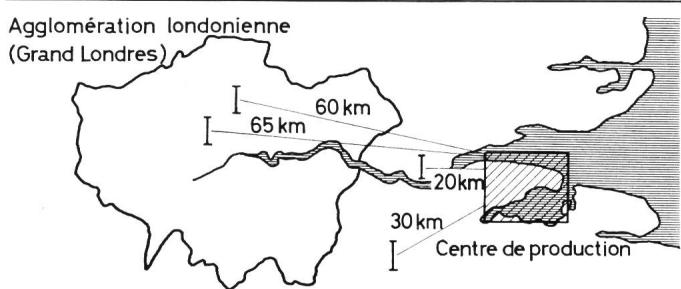


Fig. 14 Transport d'énergie par câbles cryogènes à supraconducteurs (selon Maddock et Male)

pendance de ces câbles vis-à-vis de la charge thermique du sol. Il en découle un accroissement considérable de la charge possible des câbles et l'on utilise cette possibilité depuis un certain temps déjà en Angleterre et même en Allemagne aussi.

L'avantage du refroidissement forcé externe provient du fait que les développements bien connus de la technique peuvent être combinés entre eux, de telle manière que les installations de ces câbles sont à considérer comme une réalisation technique finale. La figure 12 représente un échantillon de ce type de câble posé à Berlin.

L'emploi des *isolations gazeuses* devient effectivement avantageuse du fait que pour un diélectrique gazeux, même sous l'influence de champ électrique alternatif, il n'y a pratiquement pas de pertes diélectriques.

D'autre part, les gaz ont une rigidité diélectrique beaucoup plus faible que les matériaux isolants solides. Malgré cela, il a été démontré qu'il était possible de construire des câbles à haute tension à isolation gazeuse avec des dimensions très acceptables.

Le gaz isolant utilisé dans ce cas est également l'hexafluorure de soufre tout comme il est utilisé pour les postes blindés.

Du fait de la petite valeur de constante diélectrique les câbles à isolation gazeuse ont aussi une plus faible consommation de puissance réactive que les câbles du type conventionnel. Ils peuvent aisément servir à des raccordements sur des distances qui atteignent 500 km. Tout comme pour les lignes aériennes, l'exploitation de ces câbles est réalisable à la puissance normale, c'est-à-dire sans consommation de puissance réactive. De tels raccordements sont capables d'assurer le transport de puissances jusque 5000 MVA et plus.

Le câble flexible, isolé à SF₆, constitue un développement nouveau puisqu'il peut être enroulé sur tourets et permettre la pose de grandes longueurs de câbles en partant de tourets.

L'enveloppe extérieure du conducteur interne et le conducteur externe sont tous deux réalisés en forme d'une gaine ondulée soudée longitudinalement.

Après les premiers essais, on peut s'attendre, avec les moyens actuels de fabrication, à la construction de câbles flexibles pour des tensions de service atteignant 220 kV.

On disposera ainsi pour une pose de câble à l'air libre de puissance transportable de l'ordre de 1000 à 1300 MVA. Cette puissance correspond précisément à celle des centrales qu'il faudra construire dans les zones urbanisées.

Passons maintenant aux câbles à basses températures dits câbles cryogéniques. Si l'on refroidit les conducteurs de ces

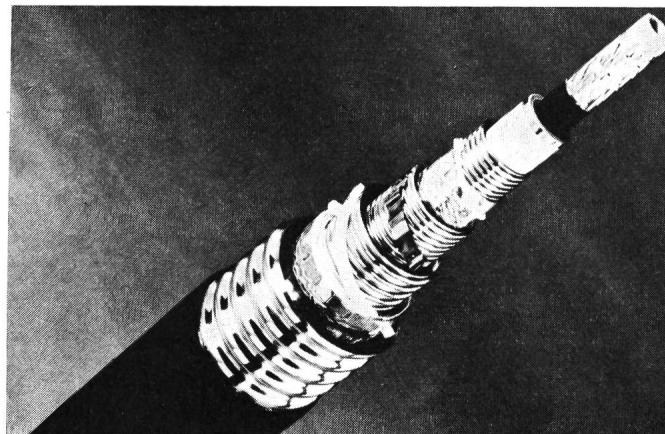


Fig. 13 Câble cryogène à supraconducteurs sous gaine ondulée (Kabelmetal)

câbles à de très basses températures, les pertes dans les conducteurs peuvent être sensiblement réduites voire même disparaître. La résistance électrique du conducteur métallique devient très faible et disparaît finalement pour quelques matériaux – les supraconducteurs.

Depuis plusieurs années déjà, différentes versions pour la réalisation de câbles supraconducteurs ont été envisagées. Avec l'aide du ministre pour la recherche et la technologie de la République Fédérale Allemande, on a développé en Allemagne deux systèmes de cryocâbles à supraconducteurs: un système pour le courant alternatif et un système pour le courant continu (fig. 13).

Le système pour le courant alternatif fut construit au moyen de tubes rigides tandis que le système à courant continu – représenté par la figure – fut constitué à l'aide de tubes ondulés flexibles.

L'emploi de tubes ondulés permet l'enroulement de tronçons de câbles à supraconducteurs en longueurs de 200 m sur tourets et de les transporter de cette manière.

De plus, ces derniers câbles ne nécessitent pas l'emploi d'éléments de compensation de dilatation calorifique, malgré les larges différences de températures mises en jeu.

Les nombreuses études entreprises et les recherches coûteuses qui furent faites ont montré qu'en principe il était possible de transporter des puissances de 3000 à 5000 MVA, sous une tension de ± 200 kV et dès lors, de satisfaire à des exigences qui ne seraient en fait pas réalisables avant l'an 2000.

Les firmes allemandes ayant participé à ce développement termineront leurs travaux pour arriver à une conclusion concrète permettant de reprendre et de continuer les travaux dans un avenir plus éloigné.

Un exemple d'application de transport d'énergie par cryocâbles à supraconducteurs est celui de l'alimentation de la ville de Londres qui est représenté à la fig. 14.

Afin d'être complet, il me reste à donner quelques renseignements relatifs au *transport d'énergie en courant continu*.

La première réalisation de ce genre fut installée et mise en service durant la guerre pour l'alimentation en courant de la ville Berlin.

A la fin de la guerre, le développement en Allemagne avait dû être interrompu.

Une étude plus récente permet d'arriver à la conclusion que la puissance de transport de 2000 MW, sur une longueur de ligne en câble de plus de 60 km devenait plus économique, en mettant en œuvre le système à courant continu au lieu du système en courant alternatif.

4. Les techniques des extrémités et des jonctions

En terminant, quelques mots seulement, au sujet de la technique des extrémités et des jonctions sans laquelle il n'est pas pensable de pouvoir exploiter les câbles d'énergie.

On peut affirmer sans exagération, que l'importance économique de la technique des extrémités et des jonctions ne

peut jamais être estimée à un niveau assez élevé, si l'on se réfère aux coûts sans cesse croissants des dépenses pour le personnel conjugués aux structures sans cesse en mutation des réseaux à basse et moyenne tension.

Nous devrions consacrer une attention sans cesse soutenue pour les recherches et les développements dans cette technique.

5. Résumé

La densité de population est en constante augmentation dans les zones urbanisées; le besoin croissant en énergie de chaque consommateur crée des problèmes au point de vue de l'alimentation en courant. Ceux-ci ont donc une influence directe sur les développements de la technique des câbles.

Au cours de ces dernières années, l'accroissement des puissances a conduit à l'emploi de tensions plus élevées – en Allemagne fédérale on a atteint le palier de 380 kV – *pour le transport de l'énergie* et a forcé l'application de mesures spéciales de refroidissement des câbles classiques à huile fluide.

Quand les possibilités techniques et économiques de la technique actuelle des câbles seront épuisées, on pourra compter sur l'introduction de techniques nouvelles et de constructions de câbles tels les câbles à isolation gazeuse et dans un avenir plus lointain les cryocâbles à supraconducteurs.

Or actuellement déjà, le câble à isolation gazeuse peut être considéré comme une solution alternative au câble à huile fluide.

Les problèmes de la *distribution de l'énergie* seront résolus avec succès, grâce à l'emploi de plus grandes sections pour les conducteurs et à l'élévation des niveaux de tensions. Les avantages qui découlent de l'utilisation de câbles isolés aux matières synthétiques sont également mis à contribution à grande échelle.

L'imposition d'une absence complète de décharges partielles, pour les câbles isolés aux matières synthétiques à tensions moyennes et plus élevées, constitue un critère de qualité qui s'impose de plus en plus à la technique des câbles. De nouveaux matériaux dans la gamme des polymères permettent d'introduire des accessoires pour câbles plus faciles à mettre en œuvre et meilleur marché. Dans ce domaine, le travail de développement se poursuit activement.

La technique des câbles s'est adaptée dès aujourd'hui aux problèmes auxquels il faut s'attendre demain.

Malgré cela – et c'est ce qui je voudrais souligner au cours de cette conférence – il reste un grand nombre de travaux à réaliser dans les domaines de la recherche, du développement et de la mise en service.

Essayons de trouver de bonnes solutions à la résolution de ces tâches.

Adresse de l'auteur

G. Wanser, Prof. Dr. Ing., Kabel und Metallwerke Gutehoffnungshütte AG, D-3000 Hanovre 1.