Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 59 (1968)
Heft: 14

Rubrik: Production et distribution d'énergie : les pages de l'UCS

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: 22.08.2025

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

Production et distribution d'énergie

Les pages de l'UCS

Expériences d'exploitation faites avec les câbles à isolation en matière synthétique

Rapport sur la 33e Assemblée de discussion du 14 décembre 1967 à Zurich et du 4 juillet 1968 à Lausanne

L'Assemblée de discussion sur les «Expériences faites avec les câbles à isolation en matière synthétique» eut lieu pour les participants de langue allemande le 14 décembre 1967 à Zurich et pour leurs collègues romands le 4 juillet 1968 à Lausanne.

M. E. Schaad, *Président de la Commission de l'UCS pour les journées de discussion sur les questions d'exploitation, dirigea l'assemblée de Zurich, à laquelle assistèrent 410 participants. La liste des orateurs comporta MM.* E. Homberger, *ingénieur en chef de l'Inspection fédérale des installations à courant fort, le Dr* G. Wanser, *directeur des câbleries et tréfileries de la Gute Hoffnungshütte S.A., professeur à l'Ecole polytechnique de Hannover, M.* E. Wernli, *chef-constructeur des lignes de l'AEW, et M.* E. Germann, *chef de division à l'EW Altdorf.*

L'Assemblée de Lausanne fut présidée par M. H. Ramseyer, *membre de la Commission de l'UCS pour les journées de discussion sur les questions d'exploitation, et vit affluer 110 participants. Les personnes suivantes y prirent la parole: M.* P. Treyvaud *du bureau de Lausanne de l'Inspection fédérale des installations à courant fort, M.* M. Besson, *directeur des Services Industriels de la commune de Bagnes. L'exposé tenu par M.* G. Wanser *à l'assemblée de Zurich fut lu en français par M. Ramseyer.*

Les conférences et la discussion seront publiées dans le présent numéro et les numéros suivants. *Br/AE*

Paroles d'introduction

de Monsieur *E. Schaad,* directeur, Interlaken

Messieurs,

Ainsi, nous réussissons, peu avant la fin de l'année, à tenir encore une de nos traditionnelles journées professionnelles. Certes, nous ne sommes pas du tout d'avis que le sujet mis en discussion n'aurait pu attendre l'an prochain pour être traité. Il est cependant certain que les exposés et les débats vont éclairer des questions et problèmes très actuels. Je dis bien «éclairer» et non pas «résoudre». Vous-mêmes pourrez constater et confirmer qu'il en est bien ainsi.

Le programme de la journée vous donne un bref aperçu des quatre exposés qui précèderont la discussion, en vous renseignant sur leur étendue et sur leur contenu. Je puis vous révéler aussi que notre forum de cet après-midi sera ouvert par une conférence de valeur, qui ne manquera pas de vous intéresser vivement. Les rapports eux-mêmes ne peuvent — comme toujours — embrasser tous les problèmes. Ainsi, ils susciteront nombre de questions annexes et de suggestions dont la discussion est réservée aux débats de cet après-midi.

Quant aux conférenciers, il convient de relever que, comme le veulent leurs fonctions, ils disposent de connaissances techniques et scientifiques remarquables et d'une grande expérience professionnelle. Nous leur savons donc gré d'avoir bien voulu accepter de nous en entretenir, et les remercions de s'être préparés dans le très court délai qu'il nous a fallu leur impartir.

Point n'est besoin, certes, de vous présenter encore nos conférenciers suisses. Monsieur *Homberger,* ingénieur en chef de l'Inspection fédérale des installations à courant fort, est en passe de devenir collaborateur permanent de nos assemblées de discussion; quant aux deux représentants des centrales, Messieurs *Wernli* et *Germann,* ce sont, vous le savez, deux collègues en activité. Nous sommes particulièrement heureux d'avoir pu obtenir pour cette séance le concours d'un éminent expert étranger. Il s'agit de Monsieur Dr *Wanser,* de Langenhagen, République fédérale d'Allemagne. Monsieur Wanser est directeur des câbleries et tréfileries de la Gutehoffnungshütte S.A. à Hanovre et, de surcroît, professeur à l'Université technique de cette ville. J'ai donc l'honneur de saluer cordialement la venue de Monsieur Wanser parmi nous et de lui dire, certain de m'exprimer au nom de toute l'assemblée, combien nous lui sommes reconnaissants de la coopération compétente et décisive qu'il apporte à la séance de ce jour.

Messieurs, nous avons devant nous un programme bien chargé. Je ne voudrais cependant pas manquer de vous remercier d'abord, au nom du comité de l'UCS et de la commission pour les assemblées de discussion sur les questions d'exploitation, d'être venus si nombreux à cette séance.

Nous pouvons maintenant aborder les objets à l'ordre du jour. Vous estimez sans doute comme moi qu'il n'est pas nécessaire d'en dire davantage.

E. Schaad,
Président de la Commission de l'UCS
pour les journées de discussion sur les questions
d'exploitation

Expériences faites en Allemagne avec les câbles à isolation synthétique

Par *G. Wanser*, Langenhagen

621.315.211.9.004(43)

1. Coup d'œil historique

La technique des câbles à courant fort est aussi vieille que la technique du courant fort elle-même. Avec la production et les applications de l'énergie électrique, il fallait créer aussi la possibilité de la transporter. En Allemagne, le premier câble à courant fort fut posé à Berlin en 1880. Il avait sept conducteurs et était isolé à la gutta-percha, une substance qui n'est presque plus connue aujourd'hui. Pour la confection de ce câble, les fabricants pouvaient profiter des expériences faites avec les câbles à courant faible; car vers 1850 déjà, des câbles télégraphiques isolés à la gutta-percha avaient été posés pour établir une communication entre l'Angleterre et la France (fig. 1).

En Allemagne aussi on s'était vite aperçu que pour transporter des courants plus forts, il fallait trouver d'autres types de câbles que pour les besoins des télécommunications. La gutta-percha qui s'amollit déjà à des températures relativement basses est impropre à servir d'isolant pour les câbles à courant fort aux fortes charges. En Angleterre et aux Etats-Unis, on remplaça la gutta-percha par du caoutchouc. En Allemagne on se montra plus économe, en essayant des fibres imprégnées, telles que le jute et le chanvre, que l'on protégeait alors contre l'humidité par une gaine de plomb.

Ferranti donna une impulsion décisive à la technique des câbles pour courant fort, en utilisant pour la première fois, en 1890 en Angleterre, du papier imprégné de bitume comme isolant d'un câble monophasé à 10 kV. Ce câble avec son diélectrique stratifié est l'ancêtre de la technique ultérieure des câbles à masse, et par conséquent aussi des formes actuelles des câbles à très haute tension, tels que câbles à huile, câbles à gaz sous pression interne et externe.

Ce sont des raisons techniques et économiques qui motivèrent dans les années trente l'emploi de matières synthétiques comme isolant des conducteurs et constituant de l'enveloppe. On en revenait ainsi aux formes que l'on avait empruntées déjà vers le milieu du siècle passé à la technique des télécommunications. Il est bien probable qu'on n'aurait pas passé alors du jute au papier, si l'on avait déjà disposé alors de matières synthétiques avec leurs propriétés d'aujourd'hui. Au lieu de cela, l'évolution a dû faire un long détour, pour revenir lentement à des procédés et à des conceptions qui étaient déjà presque tombés dans l'oubli.

Quand on parle de raisons techniques et économiques ayant accéléré l'avènement des câbles à isolation synthétique en Allemagne, il convient de nommer les avantages bien connus du câble à isolation synthétique sur le câble sous plomb isolé au papier: fabrication plus simple, pas de déplacement de la masse, ni sortie aux extrémités, poids moindre, pas de danger de corrosion, rayons de courbure admissibles plus faibles, technique simplifiée pour la pose et le montage. Comme exemples, la fig. 2 montre les boîtes terminales des deux types de câbles dans une installation à basse tension, la fig. 3 les boîtes terminales de câbles à isolation synthétique pour 10 kV, montage pour l'intérieur. En outre, n'ont pas été sans influence sur cette évolution, les efforts déployés alors en Allemagne pour se rendre le plus possible indépendant de l'étranger quant aux livraisons de matières premières. Ce fut surtout le cas pendant la guerre, lorsqu'intervint entre autres une forte pénurie d'huiles isolantes et de plomb.

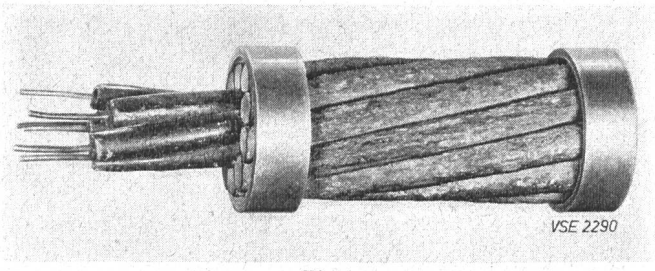


Fig. 1
Câble de télécommunication avec isolation en gutta-percha (probablement vers 1850)

Aujourd'hui, en Allemagne, on utilise en basse tension presque exclusivement des câbles à isolation synthétique, avec un isolant de chlorure de polyvinyle (PVC) ramolli. Dans ce domaine, le câble sous plomb isolé au papier a perdu son importance. Les câbles à isolation synthétique sont aussi de plus en plus utilisés dans les réseaux à 10 kV.

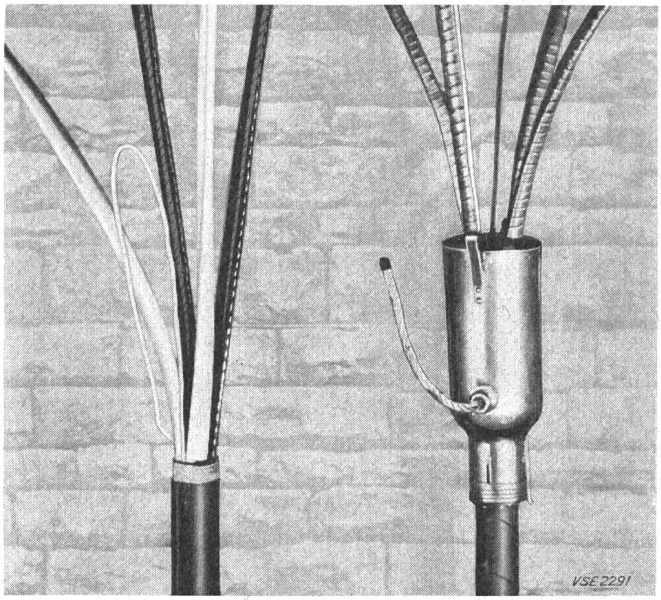


Fig. 2
Boîtes d'extrémité de câbles basse-tension isolés à la matière synthétique ou au papier

En revanche, c'est encore le câble à masse qui domine pour les tensions de 20 et 30 kV. Mais ici également, on s'attend à un changement, maintenant que les expériences faites dans quelques pays européens — comme ici en Suisse —, mais surtout aux Etats-Unis, laissent supposer que le polyéthylène (PE) est supérieur au diélectrique en papier comme isolant, tant au point de vue technique qu'économique.

2. Composition et propriétés des câbles à matière synthétique

Le fait qu'en Allemagne le chlorure de polyvinyle soit devenu *l'isolant* des câbles à isolation synthétique, plutôt que le caoutchouc butylique ou le polyéthylène, est dû à des raisons moins techniques que d'ordre historique et commercial. Contrairement au caoutchouc butylique et au polyéthylène,

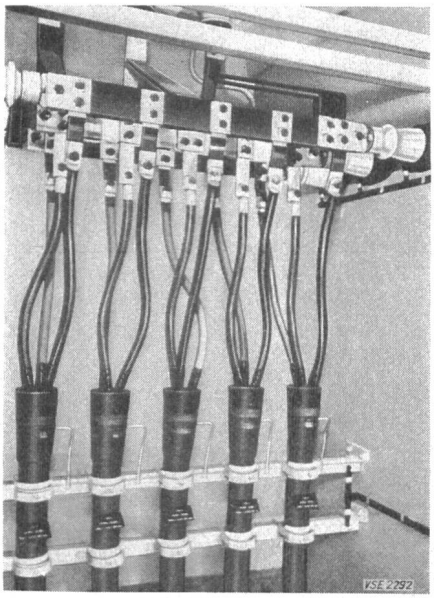


Fig. 3
Boîtes d'extrémité pour l'intérieur de câbles à isolation synthétique de 10 kV

le développement du chlorure de polyvinyle a été fortement influencé par l'Allemagne et poussé aussi durant la guerre dans ce pays. Par ailleurs, le caoutchouc butylique et le polyéthylène n'étaient pas disponibles en Allemagne dans les premières années d'après-guerre, aussi est-il compréhensible que là l'évolution ait continué à porter sur le chlorure de polyvinyle. Le chlorure de polyvinyle est une matière thermoplastique typique. Ses propriétés mécaniques dépendent fortement de la température, son amollissement étant une fonction constante de la température. On ne peut guère l'utiliser au-delà de 70 °C. La charge des câbles PVC doit donc être limitée de façon que cette température ne soit dépassée nulle part, si l'on veut conserver au chlorure de polyvinyle une durée de vie suffisante.

Pour l'emploi du chlorure de polyvinyle comme isolant, ses propriétés électriques, rigidité diélectrique, facteur de pertes diélectriques et constante diélectrique sont d'une importance capitale. La plus forte intensité de champ pour laquelle cette matière résiste encore juste «indéfiniment», c.-à-d. plus de 1000 heures, se situe aux environs de 10 kV/mm. En conséquence, pour le calcul des épaisseurs d'isolant de câbles PVC, on se base sur une intensité en service du champ à la surface du conducteur de 2 à 4 kV/mm. A cause du caractère de dipôle du chlorure de polyvinyle, le facteur diélectrique de pertes est relativement élevé et atteint $50...80/10^{-3}$. C'est aussi la raison pour laquelle le chlorure de polyvinyle ne peut être utilisé sans autre pour les câbles à haute tension.

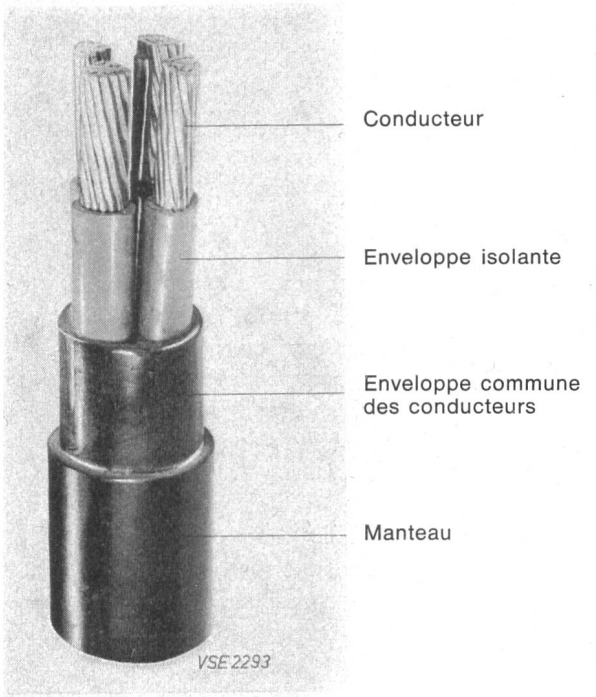


Fig. 4
Câble à isolation synthétique à 1 kV sans protection extérieure (NYY)

Les câbles à isolation synthétique en PVC sont admis aujourd'hui en Allmagne de l'Ouest, selon VDE 0271/10.63 pour des tensions de 0,6/1 kV à 5,8/10 kV. Les câbles répondant à cette prescription peuvent comporter un ou plusieurs conducteurs en cuivre ou en aluminium. Ils sont admis pour le montage fixe à l'intérieur des locaux, en plein air, enterrés et dans l'eau. Les câbles pour des tensions inférieures à 0,6 kV doivent, selon VDE, présenter comme protection mécanique un conducteur concentrique médian ou de protection, ou bien un écran ou une armure, si cela paraît nécessaire en égard aux sollicitations mécaniques spéciales lors de la pose, ou au danger d'endommagement ultérieur. Les câbles pour tensions supérieures à 0,6/1 kV doivent par contre toujours avoir une enveloppe métallique. Par opposition à la France, on exige en Allemagne que le conducteur

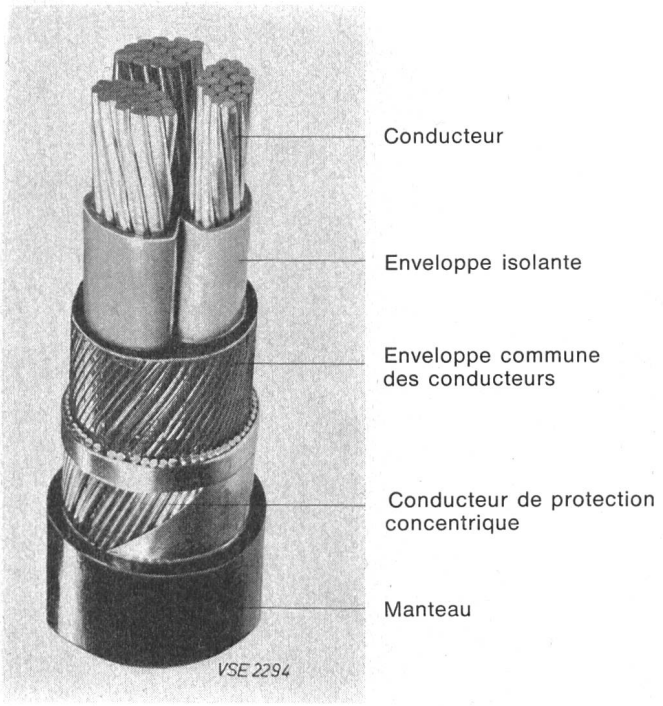


Fig. 5
Câble à isolation synthétique à 1 kV avec conducteur de protection concentrique (NYCY)

de protection concentrique soit toujours en cuivre, ceci pour des motifs de sécurité.

Les types de câbles préférés en Allemagne de l'Ouest sont les suivants:

a) le câble à plusieurs conducteurs sans protection extérieure (NYY) pour 0,6/1 kV (fig. 4);

b) le câble tripolaire avec conducteur de protection concentrique (NYCY) pour 0,6/1 kV (fig. 5);

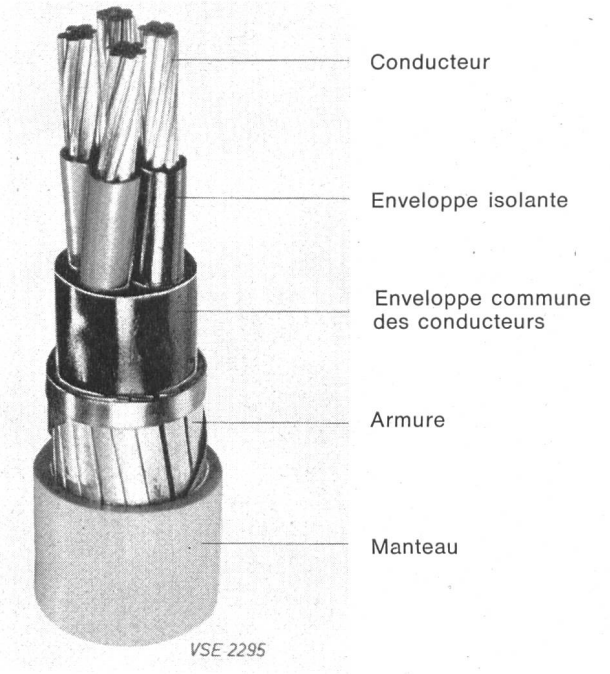


Fig. 6
Câble à isolation synthétique à 1 kV avec armure en fils méplats (NYFGbY)

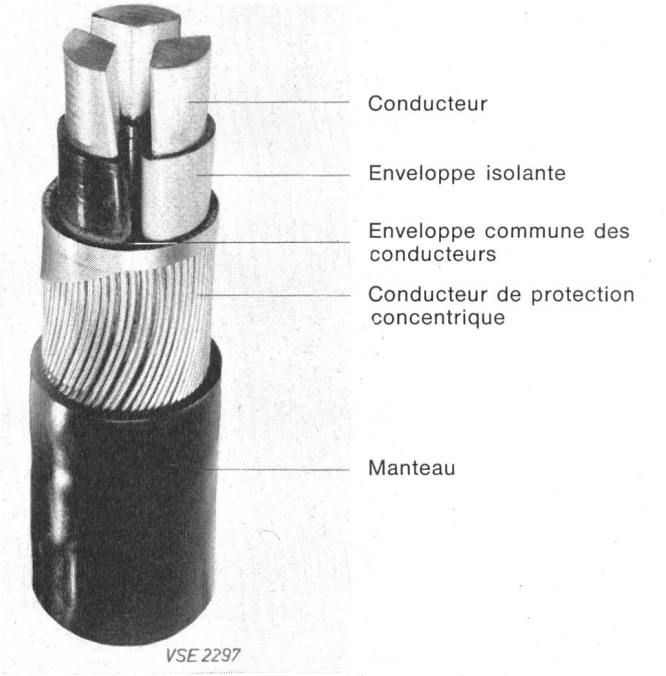


Fig. 8
Câble ceander avec conducteurs sectoraux massif en aluminium (NAYCWY)

c) le câble tripolaire avec armure en fils méplats sous manteau extérieur (NYFGbY) pour 0,6/1 et 3,5/6 kV (fig. 6);

d) le câble tripolaire avec écran de cuivre sur chaque conducteur individuel (NYCEY) pour tensions de 5,8/10 kV et davantage (fig. 7).

On utilise aussi des câbles unipolaires pour 10 kV du type NYCY, qui sont de plus en plus en vogue.

A la Foire d'Hanovre en 1962, on a vu pour la première fois deux types spéciaux d'un câble tripolaire à isolation synthétique avec conducteur de protection concentrique: le câble Ceander (fig. 8) et le câble Oka-Ce (fig. 9). Tous deux ont ceci de commun, c'est que le conducteur de protection concentrique n'est pas toronné, mais consiste en fils de cuivre disposés en sinusoïde ou en boucles parallèlement à l'axe du câble sur le manteau interne. Il en résulte le grand avantage, que, pour les dérivations, on peut soulever aisément et sans les couper les différents fils du conducteur de protection, pour les relier au conducteur de protection du câble de raccordement. Par ce moyen, on augmente la sécurité d'exploitation de l'installation, tout en réduisant sensiblement la durée du montage (fig. 10). Encore au cours de la même année, les deux fabricants des types spéciaux de

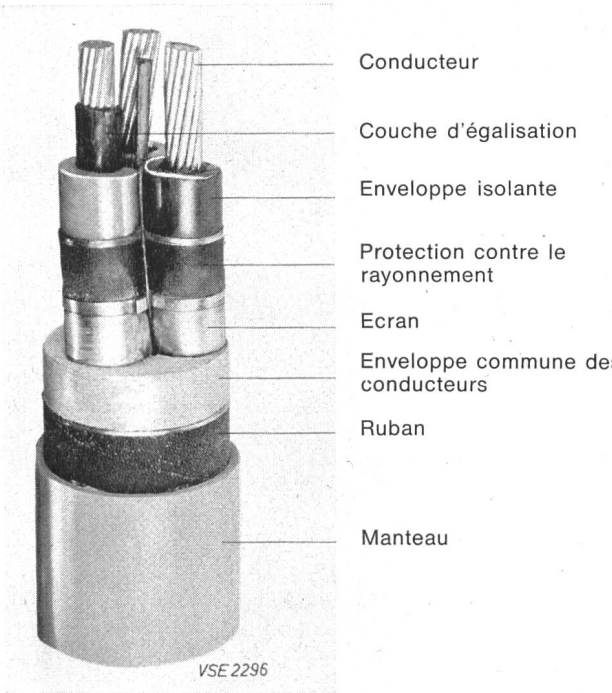


Fig. 7
Câble à isolation synthétique à 10 kV avec écrans individuels des conducteurs (NYCEY)

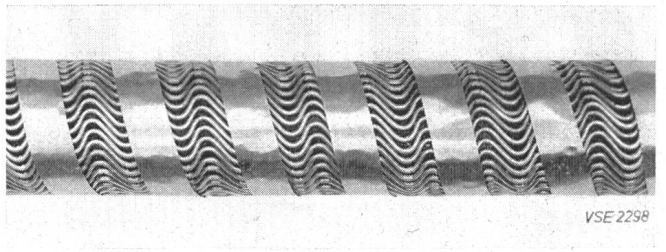


Fig. 9
Câble Oka-Ce

câbles susmentionnés tombèrent d'accord pour ne plus confectionner à l'avenir qu'un seul type. A la suite d'études approfondies, menées en commun avec quelques entreprises d'électricité, on donna la préférence au câble Ceander comme étant le meilleur. Les recherches avaient montré en effet que le câble Oka-Ce présente sur le premier toute une série d'inconvénients.

Dans le câble Oka-Ce les fils-écran sont posés en forme de Z sur le manteau intérieur. Cela nécessite des fils durs avec une multitude de coudes, qu'il faut de nouveau aplatir et redresser à la main lors du montage. Il est difficile en outre d'obtenir une couche régulière des fils-écran, d'où le danger de lacunes dans le revêtement. Enfin, le manteau interne en PVC affaiblit l'imperméabilité longitudinale et raidit le câble, ce qui rend le montage inutilement difficile.

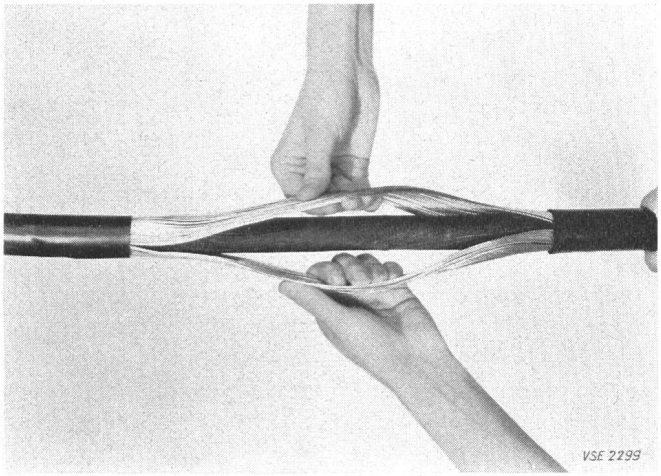


Fig. 10
Montage d'un câble ceander

Dans le câble Ceander, en revanche, les fils-écran peuvent être facilement soulevés du manteau intérieur, groupés sans déformation ni extension, puis montés simplement et sûrement. C'est surtout cet important avantage qui incita à renoncer à la fabrication et à la vente du câble Oka-Ce. Depuis lors, le câble Ceander est confectionné par tous les fabricants importants en Allemagne et, en tout, par 26 câbleries d'Europe sous licence.

3. Comportement en service des câbles isolés au papier et aux matières synthétiques

Quand on compare le comportement de différents câbles, il faut considérer en premier lieu les charges qu'un câble supporte en cas de perturbation et de sursollicitation électrique. A côté de cela, nombre d'autres propriétés présentent un intérêt, comme la sécurité contre les dommages mécaniques, la résistance à la corrosion, la qualité de la mise à terre et la combustibilité.

Capacité de charge

Le comportement des câbles isolés au papier aux températures élevées est caractérisé par une pression accrue de la masse dans l'isolation. Par contre, pour les câbles à isolation synthétique, c'est la déformation de l'isolant et du manteau à la chaleur qui est déterminante. La charge admissible des câbles à isolation synthétique dépend donc en grande partie de la modification de la résistance mécanique de son isolation. Quant aux changements chimiques aux températures élevées, ils fixent, tant pour les câbles isolés au papier que pour les câbles à isolation synthétique, une autre limite supérieure de la charge en fonction de la température et du temps.

L'amollissement du PVC est une fonction de la température. A 70 °C environ, cet isolant présente encore une bonne perspective de vie dans les conditions normales de l'ambiance. On sait par expérience que des mélanges de PVC soumis à une épreuve de pression à la chaleur selon VDE 0472 sont encore suffisamment raides jusqu'à 90 °C. Quant à leur comportement à basse température, les mélanges isolants de PVC sont prévus de telle sorte que les câbles correspondants peuvent encore être exploités à —40 °C. Bien entendu, pour des raisons mécaniques, il est recommandable de ne pas poser en principe les câbles PVC à des températures inférieures à 0 °C, à moins qu'il ne s'agisse de câbles dont l'isolant et le manteau consistent en d'autres mélanges spéciaux.

Le polyéthylène se comporte autrement. Comme le point d'amollissement se situe entre 110° et 135 °C selon le type de PE, ces câbles peuvent être chargés en permanence entre 75 et 85 °C. Même si la température du conducteur dépasse 135 °C pour peu de temps, il ne s'ensuit pas encore un déplacement du conducteur. Ceci tient essentiellement à la couche semi-conductrice qui est appliquée sur le conducteur dans les câbles à haute tension, ainsi qu'aux propriétés beaucoup plus favorables du polyéthylène en tant que transmetteur de chaleur, comparativement au papier et au chlorure de polyvinyle. Le polyéthylène réticulé, sans aucun doute le plus favorable quant à son comportement aux différentes températures, et qu'on utilise pour cette raison de plus en plus aux Etats-Unis par exemple pour les câbles à moyenne et basse tension, n'a pas encore fait son entrée en Allemagne jusqu'ici, pour des raisons économiques.

Les limites de charge des câbles à basse et moyenne tension sont à peu près égales pour les câbles isolés au papier et pour les câbles à isolation synthétique, selon les prescriptions du VDE. Les températures admissibles du conducteur sont de

65...70 °C pour les câbles avec U_0 jusqu'à 3,5 kV et de
55...60 °C pour les câbles avec U_0 jusqu'à 5,8 kV.

On table pour cela sur une résistance thermique de 550 grd · cm/W pour l'isolation au papier et de 500-650 grd · cm/W pour l'isolation synthétique.

Tandis que naguère, dans l'exploitation d'une entreprise d'électricité, on pouvait compter sur une pleine charge de 8 heures le jour, actuellement, les durées de refroidissement pour les câbles sont devenues beaucoup plus courtes, par suite de la demande accrue d'électricité, notamment pour le chauffage par accumulation pendant la nuit. L'échauffement intense et durable des câbles mène par là à un dessèchement du sol, autrement dit les conditions sont plus défavorables pour l'évacuation de la chaleur. Ceci est pris en considération dans la nouvelle disposition du VDE pour les câbles isolés au papier, qui entrera en vigueur le 1er janvier 1969. Dans ce texte, on indique pour la résistance calorifique spécifique du sol 100 grd · cm/W, au lieu de la valeur antérieure de 70 grd · cm/W, laquelle continue à être valable pour les câbles à isolation synthétique.

Quant à la limite de surcharge des câbles isolés au papier, en particulier en cas de court-circuit, on sait qu'elle est imposée davantage par les boîtes d'extrémité et les manchons que par le câble lui-même. Des isolants modernes papier-masse peuvent supporter brièvement des pointes de température allant jusqu'à 180 °C, sans qu'une perturbation se produise. Au-dessus de cette limite apparaît le danger d'une altération immédiate considérable de l'isolation. Il faut s'attendre en outre à une sortie de la masse aux boîtes d'extrémité et à une mise en danger des manchons de jonction.

Les câbles à isolation synthétique en PVC peuvent être sollicités sans dommage durant quelques heures à 120 °C. Même les courts-circuits multiples n'amènent pas la destruction immédiate du câble, si la température du conducteur ne dépasse pas 200 °C. La destruction intensive de l'isolant commence lors de surcharges de courte durée seulement à des températures du conducteur dépassant 250 °C, bien que le chlorure d'hydrogène se dissocie déjà à partir de 140 °C.

En tout cas, tant pour les câbles à masse que pour les câbles à isolation synthétique, les brèves surcharges ont une influence défavorable sur la stabilité thermique de l'isolation et par conséquent sur la durée de vie de ces câbles.

Ce qui est important pour les câbles à isolation synthétique de 10 kV, c'est leur comportement vis-à-vis de la tension après une surcharge due à un court-circuit. Des essais exécutés en 1962 par le service d'exploitation d'Essen des Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerke S. A. sur des câbles provenant de fournitures normales de fabricants allemands, et consistant en un cycle de charges en court-circuit de 400 MVA d'une durée de 1 s chacune, ont conduit à la constatation que le câble tripolaire avec écran de cuivre sur chaque conducteur est celui qui se comporte le plus favorablement, tant en ce qui concerne la montée du facteur de pertes que la tension d'amorçage des effluves. Avec les types actuels de câbles à isolation synthétique pour 10 kV, on atteint des tensions d'amorçage des effluves dépassant de beaucoup la tension de service.

L'écran des câbles à isolation synthétique est conçu de façon à pouvoir évacuer en permanence les courants de court-circuit à la terre les plus élevés survenant dans la pratique. En cas de double court-circuit à la terre, il peut toutefois naître théoriquement un échauffement inadmissible des écrans. C'est notamment le cas lorsque les deux points de court-circuit sont relativement rapprochés, c.-à-d. à moins de 1000 m l'un de l'autre. Mais jusqu'à présent on n'a pas eu connaissance de dommages consécutifs à un double court-circuit à la terre. En revanche, ce danger n'existe pas pour les câbles sous plomb isolés au papier.

Sécurité contre les détériorations mécaniques et résistance à la corrosion

L'expérience a montré que le câble à isolation synthétique se comporte mieux que le câble à enveloppe de plomb ou d'aluminium en cas d'endommagement venu du dehors (coups de pioche). On le doit surtout à la constitution élastique du câble à isolation synthétique, qui atténue grandement la possibilité d'endommager la gaine extérieure. La résistance à la corrosion est en relation directe avec la sécurité contre les dommages mécaniques. On sait que les ébranlements constants prédisposent la gaine de plomb à des ruptures par vibrations. La gaine de plomb ne reste pas indifférente non plus aux attaques chimiques. On a enregistré récemment en Allemagne de nouveau toute une série de cas où la gaine de plomb avait été détruite par aération différentielle. Les enveloppes en aluminium sont beaucoup plus vulnérables à la corrosion chimique que les gaines de plomb. C'est pourquoi une gaine d'aluminium a besoin dans chaque cas d'une enveloppe additionnelle anti-corrosion, adhérente et soigneusement appliquée. Ici aussi, le câble à isolation synthétique est supérieur. Grâce à leurs propriétés intrinsèques, le chlorure de polyvinyle et le polyéthylène sont en grande partie à l'abri des attaques chimiques.

Qualité de la mise-à-terre

Un facteur important à cet égard, c'est la résistance de passage à la terre qu'offrent les différents types de câbles. Les câbles sous gaine de plomb isolés au papier sans protection spéciale anti-corrosion de l'enveloppe présentent en général, déjà quelques semaines après la pose, un excellent contact avec la terre. Ce n'est pas le cas des câbles à isolation synthétique, étant donné que les gaines extérieures de ces câbles sont également isolantes. Pour cette raison, en Allemagne, on insère aussi dans les câbles à isolation synthétique des manchons de jonction en fonte, en usage dans la technique des câbles à masse. A chacun de ces manchons, la boîte en fonte est reliée au conducteur neutre. La valeur moyenne de la résistance de passage à la terre des manchons en fonte est de 60 ohms environ. On en déduit pour les réseaux à basse tension, avec une distance moyenne de 25 m entre manchons dans les quartiers populeux, une résistance approximative à la terre de 1,5 Ω/km. Cette valeur est suffisante dans la plupart des cas. Des essais pour améliorer la mise-à-terre au moyen de manteaux en matière synthétique semi-conducteurs n'ont pas encore abouti en Allemagne à un résultat satisfaisant. La question de la durée de ces manteaux, en particulier en présence de courants vagabonds, est encore loin d'être éclaircie.

Combustibilité

Pour les câbles isolés au papier, le jute asphalté est combustible; c'est pourquoi ces câbles sont posés sans enveloppe de jute à l'intérieur des locaux. Contrairement au polyéthylène, le chlorure de polyvinyle est connu comme étant difficilement inflammable. La flamme du PVC en feu ne s'alimente pas elle-même, de sorte qu'un incendie ne se propage pas. C'est la raison qui a fait hésiter longtemps la Poste fédérale allemande, à remplacer le chlorure de polyvinyle par le polyéthylène pour le manteau extérieur de ses câbles à gaine ondulée. Il faut ajouter cependant que, si le chlorure de polyvinyle arrive dans la flamme d'autres matières combustibles, il y a danger de dissociation de vapeurs de chlorure d'hydrogène, qui se déposent sous forme d'acide chlorhydrique. Ainsi qu'on a pu le constater récemment lors de l'incendie de grandes quantités de PVC en stock dans une câblerie berlinoise, ces vapeurs d'acide chlorhydrique attaquent non seulement la surface des métaux, mais pénètrent aussi relativement profondément dans ceux-ci. Ceci arrive même à la maçonnerie, spécialement au béton précontraint. Actuellement, en Allemagne, les effets des incendies de PVC sont en discussion. Il est vrai qu'on ne pourra se faire une opinion définitive sur le danger que font courir les câbles PVC et auquel ils sont exposés eux-mêmes, que lorsqu'on aura analysé la cause et les conséquences des sinistres arrivés jusqu'ici, et qu'on sera au clair aussi sur la fréquence de pareils sinistres.

L'aluminium, métal constitutif des conducteurs

Indépendamment de la comparaison des câbles isolés au papier aux câbles à isolation synthétique, nous allons examiner la question non moins intéressante: «cuivre ou aluminium?» Les prix très variables et relativement élevés du cuivre expliquent pourquoi, en Allemagne, le cuivre est remplacé de plus en plus par l'aluminium dans les câbles utilisés pour les réseaux de distribution. Alors qu'en 1961, dans la bande des sections de 50 à 120 mm² pour le cuivre et — correspondant à peu près à la même résistance — de 70 à 185 mm² pour l'aluminium, les câbles à conducteurs en aluminium ne constituaient encore avec 1800 km que le 26 % de l'étendue totale, ils ont presque triplé en 1966 avec 5250 km et atteint la moitié de tous les câbles isolés soit au papier soit aux matières synthétiques, livrés dans cette bande de sections.

L'aluminium est utilisé aussi toujours davantage pour les câbles à isolation synthétique. On hésite encore à introduire aussi dans les câbles à isolation synthétique non munis d'écrans le conducteur multifilaire en aluminium, comme conducteur de protection. Il est hors de doute que le câble à isolation synthétique, tripolaire aluminium, à écran en fils de cuivre, en ce qui concerne une interruption du fil de protection est plus sûr qu'un câble à isolation synthétique non protégé à quatre conducteurs en aluminium dont l'un assume la fonction du conducteur de protection. Si, par suite de dommage à l'isolation, de l'eau pénètre dans un conducteur de protection formé de plusieurs brins en aluminium, il en résulte alors à cet endroit, contrairement au cas du câble isolé au papier, un risque de corrosion inaperçue, qui peut mettre en danger des vies humaines si ce conducteur de protection arrive à être interrompu. Une vive discussion est engagée à ce sujet en Allemagne actuellement, motivée entre autres par le fait que le câble non protégé à quatre conducteurs en cordes d'aluminium est meilleur marché que le câble à trois conducteurs en aluminium à écran en fils de cuivre. Les deux types de câbles sont admis par le VDE. Jusqu'à présent, on n'a pas eu connaissance d'accidents avec le câble à quatre conducteurs, mais il faut préciser que ces câbles n'ont été introduits que tout récemment et dans un cadre restreint. Une estimation soigneuse des dangers possibles serait souhaitable, avant que l'on se décide à introduire un câble apparemment peu sûr, pour des motifs purement économiques.

4. Considérations de rentabilité

Les facteurs déterminants pour la rentabilité des installations en câbles sont le prix du câble, les frais de pose et de montage, ainsi que les pertes dans le câble durant l'exploitation. Le prix du câble dépend dans une grande mesure du coût des matières premières et des frais de fabrication. Si l'on fait abstraction des fluctuations de prix du cuivre, on peut constater que les prix du polyéthylène, du chlorure de polyvinyle et des émollients accusent ces dernières années une tendance à la baisse plus ou moins prononcée. Ceci n'est pas vrai pour le papier, du fait sans doute que dans ce secteur les possibilités de rationalisation des procédés de

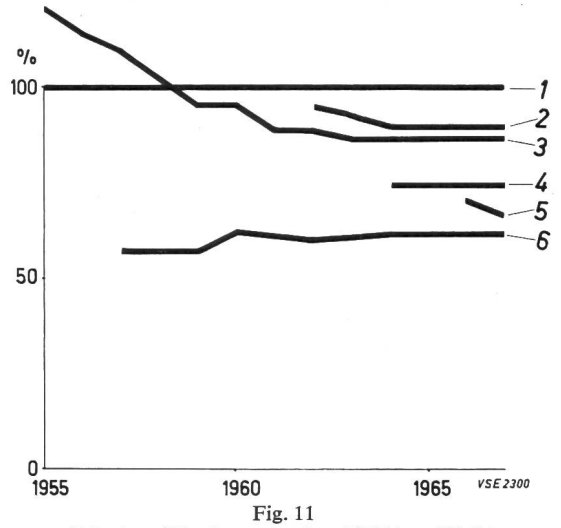


Fig. 11

Prix des câbles basses tension (NKBA = 100 %)

1 NKBA 4×120 mm² (PPba)
2 NYCWY 3×120/120 mm²
3 NYY 4×120 mm² (Tdc)
4 NAYCWY 3×185/185 mm²
5 NAYY 4×185 mm²
6 NAKLY 3×185/185 mm²

Prix de base Al 200 DM/100 kg
Cu 250 DM/100 kg

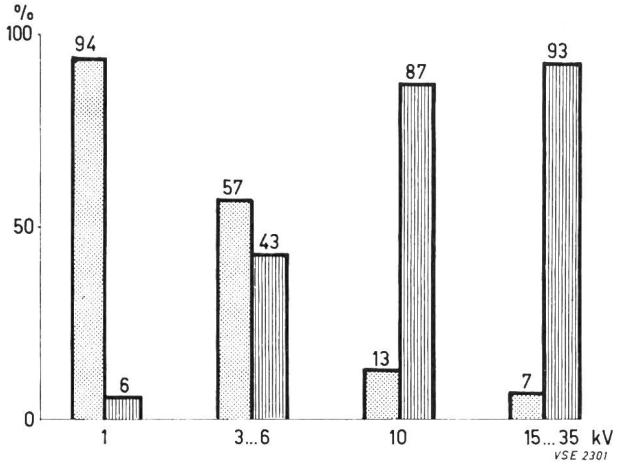


Fig. 12

Part des câbles à isolation synthétique et en papier en RF allemande au point de vue longueur (1966)

Câbles à isolation synthétique
Câbles à isolation en papier

fabrication sont quasi épuisées. En revanche, dans l'industrie des matières synthétiques, il semble possible d'abaisser encore davantage les frais de fabrication. Là aussi, l'appel à de nouvelles capacités et la concurrence plus serrée consécutive ont eu une influence sur les prix de vente.

Les salaires, élément essentiel des frais de fabrication, ont aussi fortement augmenté en Allemagne ces dernières années. Mais en comparaison du coût des matières premières, ils n'ont qu'une influence relativement faible sur les frais de fabrication d'un câble. C'est ainsi que les prix des câbles sous plomb isolés au papier ont été à peine influencés par la hausse des salaires, pour un coût inchangé des matières premières et n'ont augmenté que peu. Par contre, la baisse de prix des matières synthétiques et la demande accrue du câble à isolation synthétique — constatée en Allemagne mais non en Suisse — a déclenché une tendance à la baisse de la courbe des prix de ces câbles, en dépit de la hausse des salaires (fig. 11).

Comme nous le disions au début, en Allemagne on utilise aujourd'hui dans le domaine de la basse tension presque exclusivement des câbles à isolation synthétique. Leur présence prédomine aussi dans la marge de 3 à 6 kV, tandis que pour les tensions de 10 kV et plus, on leur préfère encore les câbles isolés au papier. Le développement de la part des câbles à isolation synthétique au marché allemand accuse toutefois pour toutes les tensions une tendance croissante (fig. 12 et 13).

Dans ce contexte, il est intéressant aussi de comparer le développement de la vente du câble Ceander à celle des autres câbles à isolation synthétique munis d'écrans. Comme le montre la fig. 14, ce type de câble a pratiquement devancé pour 1 kV les autres câbles à isolation synthétique. L'augmentation de 1 à 3 % du câble Ceander à conducteurs en aluminium est due à l'évolution du prix du cuivre; elle a incité un certain nombre de consommateurs importants à passer du cuivre à l'aluminium dans ce secteur. On préfère ici le conducteur massif en un seul fil.

La lente pénétration des câbles à isolation synthétique dans le domaine des tensions plus élevées a deux causes. D'une part, les tensions supérieures à 10 kV vont de pair avec des pertes diélectriques relativement élevées dans le PVC, ce qui défavorise la rentabilité. Les câbles à isolation syn-

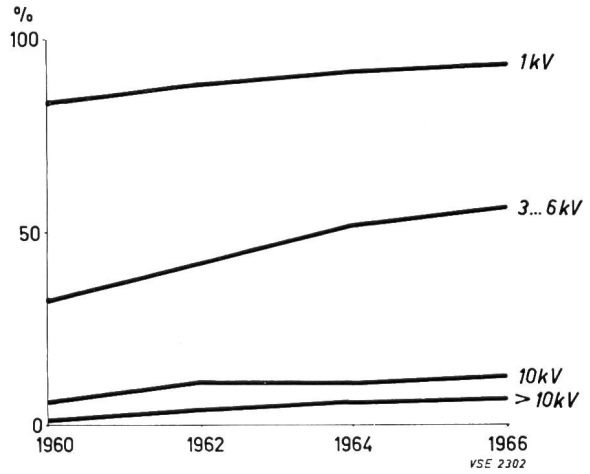


Fig. 13
Développement des câbles à isolation synthétique en RF allemande au point de vue longueur

thétique peuvent donc trouver accès à ce domaine seulement en courtes longueurs, pour rester économiques. D'autre part, le câble isolé au papier est encore à des prix avantageux pour ces tensions. Cependant, il ne faudrait pas exagérer l'importance des pertes dans les câbles PVC. *Wehn* [1]) à comparer sous ce rapport l'énergie perdue dans les câbles isolés au papier et dans les câbles à isolant synthétique. Le résultat vaut la peine d'être reproduit ici (fig. 15). Pour les câbles à 10 kV de 120 mm² de section, les pertes diélectriques atteignent 80 W/km dans un câble triplomb, et 60 W/km dans un câble ceinturé. Pour des câbles comparables à isolation synthétique, les pertes sont en revanche un multiple des précédentes et se situent respectivement vers 1760 W/km et 900 W/km. Il ne faut toutefois pas considérer seulement les pertes diélectriques. C'est la somme de toutes les pertes qui est décisive, c.-à-d. qu'il faut tenir compte aussi des pertes dans le conducteur, qui dépendent de la section et de la charge de celui-ci, ainsi que des pertes additionnelles, telles que celles dues à l'effet pelliculaire, les courants de Foucault dans la gaine de plomb et la magnétisation alternée dans l'armure en fer. Ces pertes sont dépendantes de la composition et de la charge du câble. On constate ici que le câble sous plomb isolé au papier du type NEKBA, pour une charge égale à 66 % de la charge nominale présente des pertes additionnelles de 1545 W/km, contre 105 W/km seulement avec le câble comparable à isolation synthétique du type NYCEY. On a basé le calcul des pertes totales sur la courbe de charge quotidienne du réseau d'une petite entreprise urbaine d'électricité et admis une charge maximum égale à 66 % de la charge nominale. Si l'on pose égale à 100 % la totalité des pertes du câble triplomb, en l'occurrence 107.541 kWh par an et km, on constate que les pertes totales du câble comparable à isolation synthétique se montent à 115.118 kWh par an et km; elles sont par conséquent d'environ 7 % plus élevées (fig. 16).

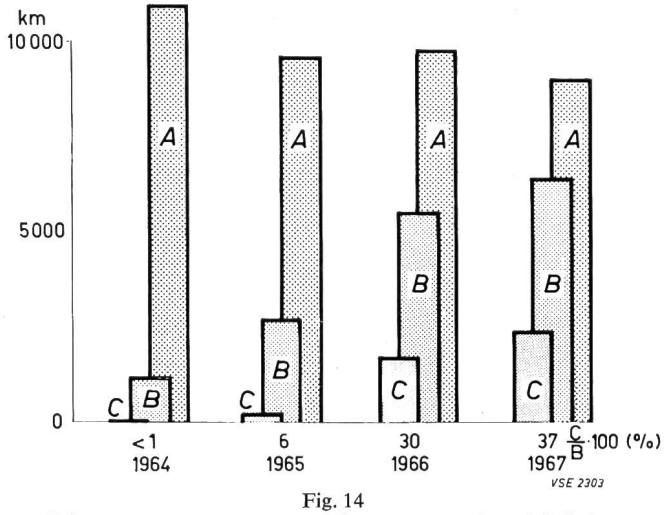


Fig. 14
Développement des longueurs posées en km des câbles à isolation synthétique avec armure en RF allemande
A NYCY (Part NAYCY < 1 %)
B NYCWY Câble ceander
C NAYCWY

[1]) R. Wehn — Expériences en service avec des câbles à courant fort, notamment des câbles à isolation synthétique jusqu'à 10 kV.

Il est évident que cette comparaison part d'hypothèses qui ne conviennent pas à n'importe quel réseau ni à n'importe quel cas d'exploitation. Mais elle montre clairement qu'il ne faut pas surestimer l'influence des pertes diélectriques sensiblement plus élevées des câbles à isolation synthétique pour

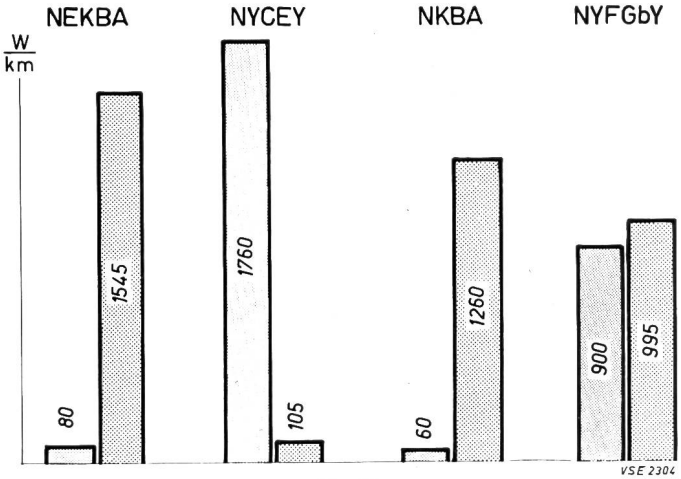


Fig. 15
Pertes et pertes additionnelles (d'après Wehn)
Pertes diélectriques — Pertes additionnelles

$C_B = 0{,}6 \frac{\mu F}{km}$	$C_B = 0{,}8 \frac{\mu F}{km}$	$C_B = 0{,}45 \frac{\mu F}{km}$	$C_B = 0{,}55 \frac{\mu F}{km}$
$tg\delta = 0{,}004$	$tg\delta = 0{,}07$	$tg\delta = 0{,}04$	$tg\delta = 0{,}05$
$R_{zus} = 0{,}012 \frac{\Omega}{km}$	$R_{zus} = 0{,}001 \frac{\Omega}{km}$	$R_{zus} = 0{,}0012 \frac{\Omega}{km}$	$R_{zus} = 0{,}0095 \frac{\Omega}{km}$

10 kV, sur la rentabilité de l'installation de câbles. L'énergie additionnelle sous forme de pertes devrait sûrement pouvoir être compensée par le service du capital, si les câbles à 10 kV eux aussi devenaient meilleur marché que les câbles isolés au papier. On peut prévoir que ce sera le cas avec le maintien de la tendance à la baisse des prix pour les matières synthétiques.

5. Câbles à isolation synthétique pour tensions plus élevées

Ainsi que nous l'avons vu, le chlorure de polyvinyle amolli peut être utilisé économiquement comme isolant des câbles, seulement jusqu'à 10 kV. Pour les tensions plus élevées, seules entrent en considération, pour des raisons techniques et économiques, des matériaux pauvres en pertes; c'est le polyéthylène qui a pour lui les meilleures chances actuellement.

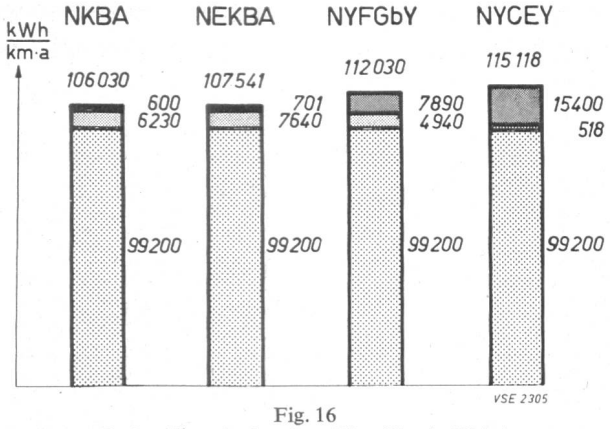


Fig. 16
Pertes d'énergie dans les câbles (d'après Wehn)
Pertes diélectriques Pertes additionnelles
Pertes dans le cuivre

Dans le même ordre d'idées, une propriété importante est la rigidité diélectrique du matériau, qui détermine l'intensité maximum du champ du câble en service. Les câbles à isolation synthétique avec isolant en chlorure de polyvinyle peuvent être sollicités à raison de 2 à 4 kV/mm. Ils deviennent ainsi un peu plus épais que les câbles isolés au papier, que l'on exploite avec des champs maximums de 3 à 5 kV/mm. Par contre, le polyéthylène est susceptible de se stabiliser vis-à-vis de la tension, c.-à-d. que sa rigidité diélectrique est considérablement accrue par addition de substances appropriées (fig. 17). On a construit à titre d'essai des câbles au polyéthylène stabilisé, qui peuvent être exploités sous des intensités maximums du champ sensiblement plus élevées et qui se rapprochent des valeurs admissibles pour les câbles à très haute tension isolés au papier.

Par opposition à la Suisse, il y a peu d'années seulement que des câbles à isolation en polyéthylène sont introduits dans les réseaux à 20 et 30 kV. En revanche, les câbles à isolation en polyéthylène réticulé ne sont pas encore en service pour ces tensions. Ils sont bien capables de supporter une charge thermique supérieure, mais reviennent beaucoup plus cher, conséquence du coût élevé des matériaux et des plus grandes dépenses de fabrication. Les expériences faites jusqu'ici en Allemagne avec les câbles à isolation

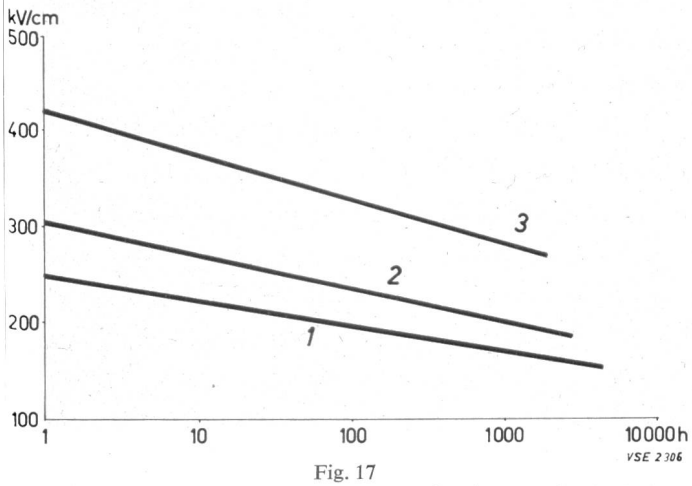


Fig. 17
Durée de vie des câbles avec isolation en polyéthylène (d'après Simplex)
1 Polyéthylène sans stabilisateur
2 Polyéthylène avec stabilisateur B
3 Polyéthylène avec stabilisateur C

synthétique pour des tensions de 20 et 30 kV ne permettent pas encore de se prononcer définitivement sur la question de la rentabilité. Mais les premiers résultats permettent cependant de s'attendre dans cette marge de tension également, à ce que le câble à isolation synthétique entrera en concurrence serrée avec le câble isolé au papier.

La question de la limite supérieure de tension pour les câbles à isolation synthétique est encore entièrement ouverte en Allemagne. Ce problème fait naturellement l'objet d'études intenses dans les câbleries importantes du pays. Un premier tronçon expérimental, équipé d'un câble à 110 kV muni d'une isolation en polyéthylène stabilisé à la tension, a été mis en service à Stuttgart voici quelques semaines. Si les câbles au polyéthylène pour une tension de 110 kV sont encore relativement chers aujourd'hui, c'est parce que seuls des matériaux spécialement choisis entrent dans leur composition et que les frais de fabrication sont incomparablement élevés. Mais les atouts en faveur de la rentabilité de ces

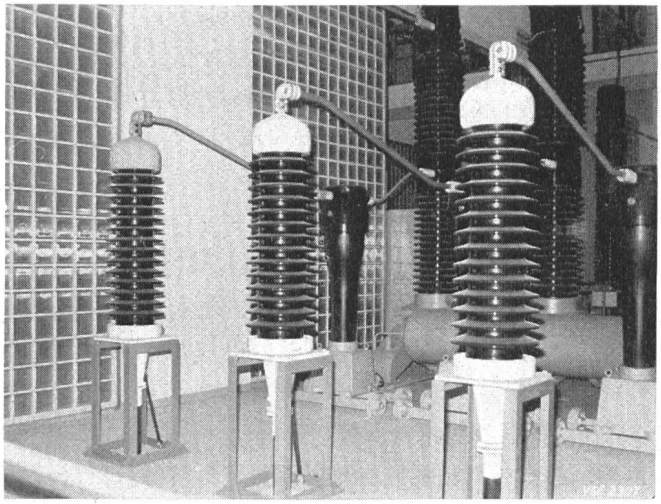


Fig. 18
Installation de câbles en polyéthylène à 110 kV

câbles ne sont pas à dédaigner: les pertes diélectriques, qui entrent fortement en ligne de compte aux tensions élevées, la dépense bien moindre pour les manchons et les boîtes d'extrémités comparativement aux câbles à huile ou autres câbles à très haute tension, enfin l'exploitation entièrement exempte de surveillance. Le domaine des câbles à isolation synthétique pour très hautes tensions est un domaine inexploré, qui ne manquera pas de poser toute une série de problèmes aux fabricants et aux exploitants, avant que ces câbles soient sûrs en service et d'un prix abordable.

6. Résumé

En Allemagne, les câbles à isolation synthétique se sont entièrement imposés en basse tension, à cause de leurs avantages techniques et économiques. Les câbles isolés au papier n'y sont pratiquement plus employés. En moyenne tension, l'intérêt pour les câbles à isolation synthétique augmente, malgré les prix plus avantageux des câbles isolés au papier. En très haute tension enfin, une installation d'essai pour 110 kV a été mise en service en 1967.

Adresse de l'auteur:
Dr ing. *G. Wanser*, directeur des Câbleries et Tréfileries Gutehoffnungshütte S. A., Vahrenwalder Strasse 271, D–3 Hannover.

Production et distribution d'énergie électrique par les entreprises suisses d'électricité livrant de l'énergie à des tiers

Communiqué par l'Office fédéral de l'économie énergétique et l'Union des Centrales Suisses d'électricité

La présente statistique concerne uniquement les entreprises d'électricité livrant de l'énergie à des tiers. Elle ne comprend donc pas la part de l'énergie produite par les entreprises ferroviaires et industrielles (autoproducteurs) qui est consommée directement par ces entreprises.

Mois	Production et achat d'énergie											Accumulation d'énergie				Exportation d'énergie	
	Production hydraulique		Production thermique		Energie achetée aux entreprises ferroviaires et industrielles		Energie importée		Energie fournie aux réseaux		Différence par rapport à l'année précédente	Energie emmagasinée dans les bassins d'accumulation à la fin du mois		Variations mensuelles – vidange + remplissage			
	1966/67	1967/68	1966/67	1967/68	1966/67	1967/68	1966/67	1967/68	1966/67	1967/68		1966/67	1967/68	1966/67	1967/68	1966/67	1967/68
	en millions de kWh										%	en millions de kWh					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Octobre	1863	1976	10	15	67	67	172	266	2112	2324	+10,0	5901	5918	– 109	– 344	366	486
Novembre . . .	1767	1818	62	117	64	67	254	432	2147	2434	+13,4	5245	5281	– 656	– 637	265	462
Décembre . . .	1782	1801	152	165	80	50	256	487	2270	2503	+10,3	4491	4326	– 754	– 955	308	476
Janvier	1886	1924	124	202	74	47	262	364	2346	2537	+ 8,1	3511	3297	– 980	–1029	370	470
Février	1818	1876	77	158	76	50	216	226	2187	2310	+ 5,6	2503	2220	–1008	–1077	406	384
Mars.	1945	1913	58	115	92	51	101	225	2196	2304	+ 4,9	1735	1222	– 768	– 998	346	347
Avril.	2149	2073	2	9	83	62	56	88	2290	2232	– 2,5	898	1020	– 837	– 202	507	406
Mai	2253		1		66		54		2374			1460		+ 562		603	
Juin	2515		1		70		41		2627			2716		+1256		792	
Juillet	2813		1		100		26		2940			5225		+2509		1071	
Août.	2894		2		95		23		3014			6209		+ 984		1151	
Septembre . . .	2402		1		71		70		2544			6262[4]		+ 53		729	
Année	26087		491		938		1531		29047							6914	
Oct. ... mars . .	11061	11308	483	772	453	332	1261	2000	13258	14412	+ 8,7			–4275	–5040	2061	2625

Mois	Répartition des fournitures dans le pays												Fournitures dans le pays y compris les pertes				
	Usages domestiques, artisanat et agriculture		Industrie en général		Electro- -chimie, -métallurgie et -thermie		Chaudières électriques[1]		Chemins de fer		Pertes et énergie de pompage[2]		sans les chaudières et le pompage		Différence %[3]	avec les chaudières et le pompage	
	1966/67	1967/68	1966/67	1967/68	1966/67	1967/68	1966/67	1967/68	1966/67	1967/68	1966/67	1967/68	1966/67	1967/68		1966/67	1967/68
	en millions de kWh																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Octobre	863	889	349	389	242	269	3	4	93	98	196	189	1720	1823	+ 6,0	1746	1838
Novembre . . .	924	944	366	406	289	312	3	3	108	111	192	196	1877	1962	+ 4,5	1882	1972
Décembre . . .	956	1028	364	388	295	292	5	2	139	121	203	196	1954	2021	+ 3,4	1962	2027
Janvier	972	1031	384	401	298	286	6	5	122	130	194	214	1967	2056	+ 4,5	1976	2067
Février	861	952	347	387	282	275	5	5	103	114	183	193	1773	1915	+ 8,0	1781	1926
Mars.	895	959	362	399	294	301	7	3	106	111	186	184	1839	1951	+ 6,1	1850	1957
Avril.	834	855	360	364	312	325	8	3	98	96	171 (3)	183 (21)	1772	1802	+ 1,7	1783	1826
Mai	804		358		244		23		93		249		1689			1771	
Juin	799		364		227		38		105		302		1690			1835	
Juillet	753		335		235		42		103		401		1622			1869	
Août.	793		342		232		51		118		327		1689			1863	
Septembre . . .	840		366		258		29		105		217		1753			1815	
Année	10294		4297		3208		220		1293		2821 (568)		21345			22133	
Oct. ... mars . .	5471	5803	2172	2370	1700	1735	29	22	671	685	1154 (38)	1172 (37)	11130	11728	+ 5,4	11197	11787

[1]) D'une puissance de 250 kW et plus et doublées d'une chaudière à combustible.
[2]) Les chiffres entre parenthèses représentent l'énergie employée au remplissage des bassins d'accumulation par pompage.
[3]) Colonne 15 par rapport à la colonne 14.
[4]) Capacité des réservoirs à fin septembre 1967: 6560 millions de kWh.

Production et consommation totales d'énergie électrique en Suisse

Communiqué par l'Office fédéral de l'économie énergétique

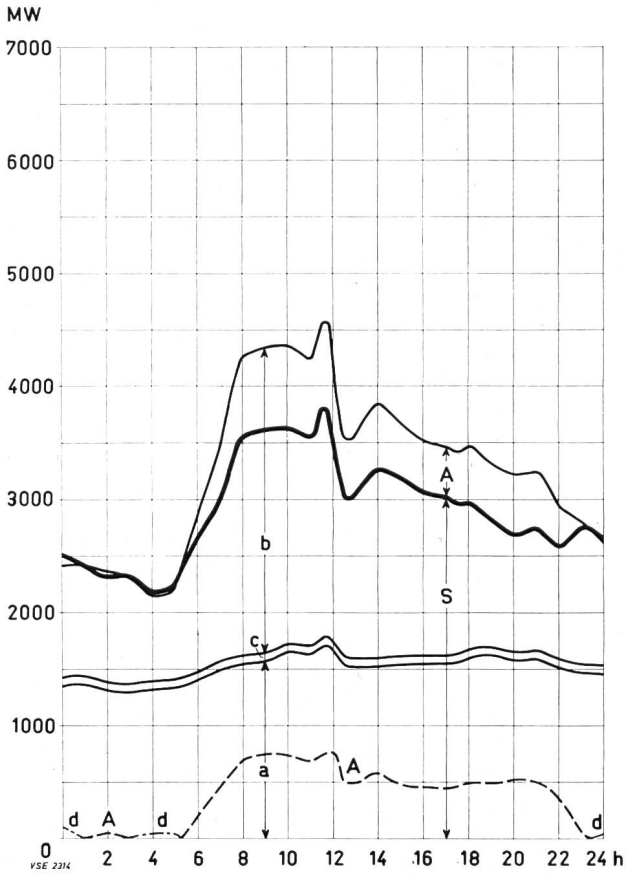
Les chiffres ci-dessous concernent à la fois les entreprises d'électricité livrant de l'énergie à des tiers et les entreprises ferroviaires et industrielles (autoproducteurs).

Mois	Production et importation d'énergie									Accumulation d'énergie				Exportation d'énergie		Consommation totale du pays	
	Production hydraulique		Production thermique		Energie importée		Total production et importation		Différence par rapport à l'année précédente	Energie emmagasinée dans les bassins d'accumulation à la fin du mois		Variations mensuelles – vidange + remplissage					
	1966/67	1967/68	1966/67	1967/68	1966/67	1967/68	1966/67	1967/68		1966/67	1967/68	1966/67	1967/68	1966/67	1967/68	1966/67	1967/68
	en millions de kWh								%	en millions de kWh							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Octobre	2185	2290	41	47	172	266	2398	2603	+ 8,5	6291	6310	– 115	– 353	417	552	1981	2051
Novembre . . .	1986	2039	98	152	254	432	2338	2623	+12,2	5600	5635	– 691	– 675	284	519	2054	2104
Décembre . . .	1989	1999	185	199	256	487	2430	2685	+10,5	4792	4614	– 808	–1021	328	520	2102	2165
Janvier	2073	2115	158	236	262	364	2493	2715	+ 8,9	3751	3516	–1041	–1098	392	510	2101	2205
Février	1997	2055	107	191	216	226	2320	2472	+ 6,6	2677	2368	–1074	–1148	428	414	1892	2058
Mars	2170	2105	88	149	101	225	2359	2479	+ 5,1	1855	1297	– 822	–1071	376	377	1983	2102
Avril	2408	2352	31	38	56	94	2495	2484	– 0,4	947	1080	– 908	– 217	582	515	1913	1969
Mai	2630		22		54		2706			1547		+ 600		700		2006	
Juin	2935		27		41		3003			2902		+1355		895		2108	
Juillet	3268		24		26		3318			5581		+2679		1179		2139	
Août	3322		20		24		3366			6607		+1026		1258		2108	
Septembre . . .	2767		22		70		2859			6663[2]		+ 56		808		2051	
Année	29730		823		1532		32085							7647		24438	
Oct. ... mars . .	12400	12603	677	974	1261	2000	14338	15577	+ 8,6			–4551	–5366	2225	2892	12113	12685

Mois	Répartition de la consommation totale du pays														Consommation du pays sans les chaudières et le pompage		Différence par rapport à l'année précédente
	Usages domestiques, artisanat et agriculture		Industrie en général		Electro- -chimie, -métallurgie et -thermie		Chaudières électriques[1]		Chemins de fer		Pertes		Energie de pompage				
	1966/67	1967/68	1966/67	1967/68	1966/67	1967/68	1966/67	1967/68	1966/67	1967/68	1966/67	1967/68	1966/67	1967/68	1966/67	1967/68	
	en millions de kWh																%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Octobre	880	906	395	425	345	359	5	5	140	145	193	199	23	12	1953	2034	+ 4,1
Novembre . . .	941	960	418	444	329	330	4	4	148	149	211	210	3	7	2047	2093	+ 2,2
Décembre . . .	974	1047	415	421	319	310	6	3	162	166	222	214	4	4	2092	2158	+ 3,2
Janvier	992	1052	421	439	308	303	6	6	157	169	213	230	4	6	2091	2193	+ 4,9
Février	878	971	381	424	285	291	6	6	138	152	200	208	4	6	1882	2046	+ 8,7
Mars	915	979	398	437	306	320	7	4	149	157	203	202	5	3	1971	2095	+ 6,3
Avril	850	871	397	400	325	346	9	6	138	142	190	183	4	21	1900	1942	+ 2,2
Mai	818		390		359		28		139		212		60		1918		
Juin	814		402		375		43		146		219		109		1956		
Juillet	769		366		376		51		147		220		210		1878		
Août	810		369		366		64		145		229		125		1919		
Septembre . . .	856		399		372		37		146		207		34		1980		
Année	10497		4751		4065		266		1755		2519		585		23587		
Oct. ... mars . .	5580	5915	2428	2590	1892	1913	34	28	894	938	1242	1263	43	38	12036	12619	+ 4,8

[1]) D'une puissance de 250 kW et plus et doublées d'une chaudière à combustible.
[2]) Capacité des réservoirs à fin septembre 1967: 6950 millions de kWh.

Production et consommation totales d'énergie électrique en Suisse



1. **Puissance disponible le mercredi 17 avril 1968**

	MW
Usines au fil de l'eau, moyenne des apports naturels	1520
Usines à accumulation saisonnière, 95 % de la puissance maximum possible	5840
Usines thermiques, puissance installée	530
Excédent d'importation au moment de la pointe	—
Total de la puissance disponible	7890

2. **Puissances maxima effectives du mercredi 17 avril 1968**

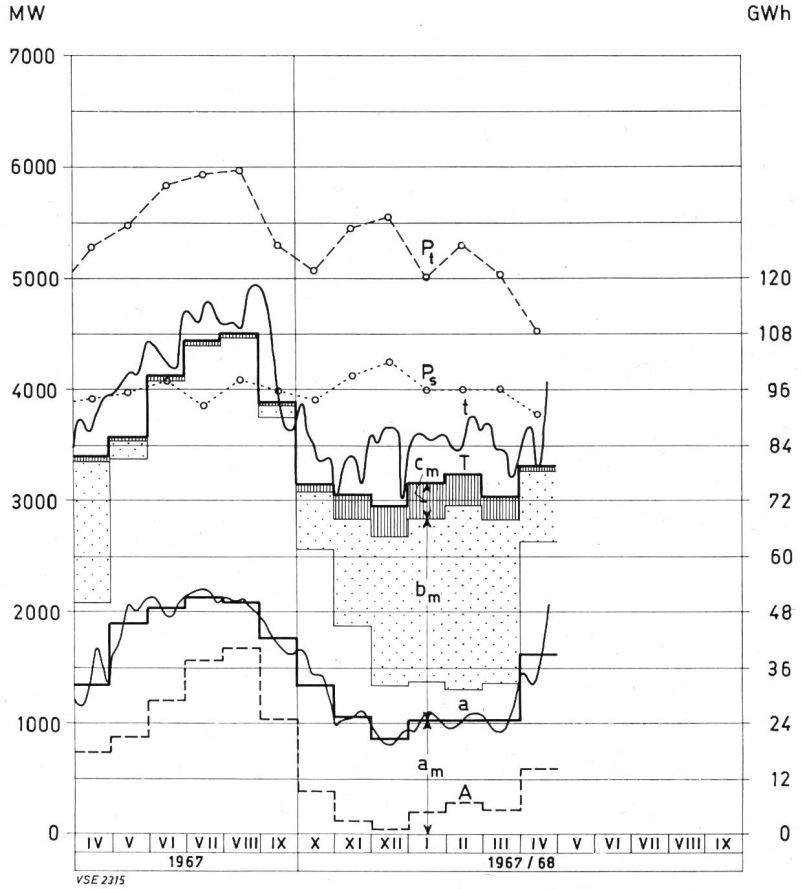
Fourniture totale	4530
Consommation du pays	3780
Excédent d'exportation	770

3. **Diagramme de charge du mercredi 17 avril 1968** (voir figure ci-contre)

a Usines au fil de l'eau (y compris usines à accumulation journalière et hebdomadaire)
b Usines à accumulation saisonnière
c Usines thermiques
d Excédent d'importation
S + A Fourniture totale
S Consommation du pays
A Excédent d'exportation

4. **Production et consommation**

	Mercredi 17 avril	Samedi 20 avril	Dimanche 21 avril
	GWh (millions de kWh)		
Usines au fil de l'eau	**36,3**	**44,2**	**44,8**
Usines à accumulation	**41,4**	**25,9**	**19,0**
Usines thermiques	**1,8**	**0,8**	**0,6**
Excédent d'importation	**—**	**—**	**—**
Fourniture totale	**79,5**	**70,9**	**64,4**
Consommation du pays	**70,7**	**60,6**	**49,3**
Excédent d'exportation	**8,8**	**10,3**	**15,1**



1. **Production des mercredis**

a Usines au fil de l'eau
t Production totale et excédent d'importation

2. **Moyenne journalière de la production mensuelle**

a_m Usines au fil de l'eau
b_m Usines à accumulation, partie pointillée provenant d'accumulation saisonnière
c_m Production des usines thermiques
d_m Excédent d'importation (aucun)

3. **Moyenne journalière de la consommation mensuelle**

T Fourniture totale
A Excédent d'exportation
T—A Consommation du pays

4. **Puissances maxima le troisième mercredi de chaque mois**

P_s Consommation du pays
P_t Charge totale

Rédaction des «Pages de l'UCS»: Secrétariat de l'Union des Centrales Suisses d'électricité, Bahnhofplatz 3, Zurich 1; adresse postale: Case postale 8023 Zurich; téléphone (051) 27 51 91; compte de chèques postaux 80 - 4355; adresse télégraphique: Electrunion Zurich. **Rédacteur:** *Ch. Morel,* ingénieur.
Des tirés à part de ces pages sont en vente au secrétariat de l'UCS, au numéro ou à l'abonnement.