Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 49 (1958)

Heft: 26

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

Le support en béton dans les réseaux de distribution à basse tension

par *J. Stösser*, Oberrieden

621.315.668.3 : 621.316.1.027.2

L'auteur examine quelques questions d'ordre technique en relation avec l'utilisation de supports en béton dans les réseaux de distribution à basse tension et compare les coûts d'une ligne sur supports en béton avec ceux d'une même ligne sur poteaux de bois.

Der Verfasser prüft die technischen Fragen im Zusammenhang mit der Verwendung von Betonmasten in Niederspannungsverteilnetzen und vergleicht die Kosten einer Betonmastenleitung mit denjenigen einer Holzmastenleitung.

Préambule

Une opinion très répandue est que le support en béton est surtout avantageux dans les réseaux à haute tension, parce qu'il permet de prévoir de plus grandes portées (120 à 150 m en moyenne) que le poteau en bois. Il ne s'agit donc pas d'avantages purement économiques. Bien que les interruptions de courant soient plus rares avec une ligne sur supports de béton, les frais annuels sont plus élevés que ceux d'une ligne ordinaire sur poteaux en bois. En effet, notamment les supports plus longs et par conséquent plus lourds, exigeant de solides fondations, provoquent des dépenses supplémentaires sensibles. Mais les supports des lignes à portées moyennes sont généralement choisis de telle sorte qu'ils permettent la pose ultérieure d'un second groupe de conducteurs. Ce motif et, le plus souvent aussi, le tracé plus court et amélioré qui en résulte, sont les raisons qui militent en faveur du support en béton pour les lignes à haute tension, même si cette solution n'est pas économique.

Or, si l'on veut mettre a profit les avantages précités du support en béton pour les réseaux de distribution à basse tension, et en pousser l'usage dans ces réseaux, il faut d'abord qu'il soit plus économique que les poteaux de bois. C'est pourquoi, depuis longtemps déjà, on a exprimé aux fabricants de supports en béton le vœu d'en obtenir de plus légers et meilleur marché, pour utilisation dans les réseaux de distribution à basse tension. Au printemps 1958 seulement, il fut possible d'exécuter divers essais et d'implanter aussi un certain nombre de ces supports dans les réseaux de distribution des Entreprises électriques du canton de Zurich (EKZ). Les essais comparatifs entre les poteaux en bois et ces supports en béton font l'objet du présent exposé.

Exigences posées aux supports en béton

Ainsi qu'il ressort des considérations précédentes, l'utilisation du support en béton dans les réseaux de distribution à basse tension ne se justifie que si elle procure aussi des avantages d'ordre financier. C'est pourquoi les exigences que nous posons aux supports en béton ne diffèrent pas essentiellement de celles auxquelles doivent satisfaire les poteaux en bois, telles qu'elles sont spécifiées dans l'ordonnance du 7 juillet 1933 sur l'établissement, l'exploitation et l'entretien des installations électriques à courant fort. Tous les articles cités ci-après se rapportent à cette ordonnance.

Les deux conditions principales, «*léger et bon marché*», supposent que les supports en béton, tout comme les poteaux en bois, ne sont utilisés que pour les lignes ordinaires dont les portées ne dépassent pas 50 m. Dans la règle, des portées plus grandes ne seraient d'ailleurs pas économiques, étant donné que la section la plus faible imposée aux conducteurs (art. 80) ne pourrait souvent plus être utilisée, ou alors qu'il serait nécessaire de recourir à des conducteurs plus gros. En outre, le support normal en béton doit suffire au maximum pour 4 fils en cuivre de 8 mm de diamètre, plus un fil d'éclairage public de 4 mm ⌀. Cette exigence découle de la *pression maximum du vent*, rapportée à la pointe du support, calculée selon l'art. 93 et donnée par la fig. 1. Ainsi sont déterminés les efforts de traction au sommet, comme le montre également la fig. 1.

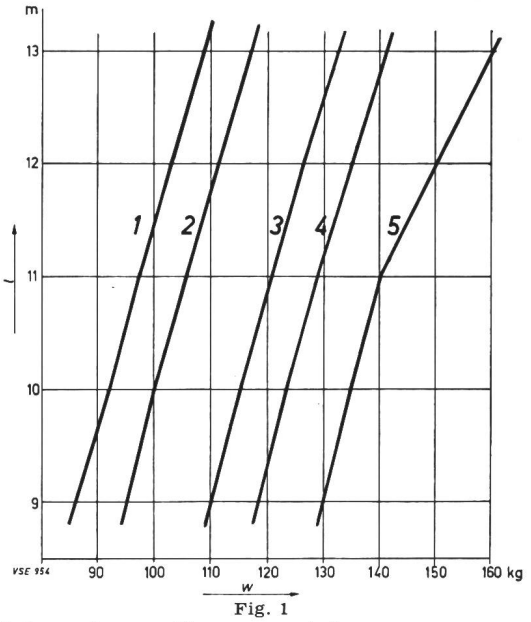


Fig. 1

Effort du vent rapporté au sommet des supports d'une ligne ordinaire de 50 m de portée en fonction de la hauteur des supports

1	4 × 5,5 mm ⌀	*4*	4 × 8 + 4 mm ⌀
2	4 × 5,5 + 4 mm ⌀	*5*	traction nominale au sommet des supports en béton
3	4 × 8 mm ⌀		
l	hauteur des supports	*W*	effort du vent

On doit exiger ensuite que tous les supports normaux en béton utilisés dans les réseaux de distribution à basse tension, de 9 à 13 m de longueur, accusent le même *diamètre au sommet* et la même *conicité*, ce qui permet de limiter en grande partie le choix des consoles d'isolateurs à un type de même longueur. Pour les supports en béton, les ferrures avec pas de vis à bois ne sont pas utilisables, aussi faut-il compter des frais supplémentaires. Toutefois ceux-ci sont modestes si l'on peut faire usage d'un type uniforme de console.

Les *haubans en câble* d'acier galvanisé seront utilisés aussi pour renforcer à peu de frais les supports en béton. Pour la *mise au neutre* ou la *mise à la terre* du réseau, on se servira des fers d'armature, munis de pièces de raccord au haut du support et au pied de celui-ci. Pour l'emploi universel des supports en béton, il est important de prévoir suffisamment de trous, pour éviter des travaux ultérieurs au sommet. Le type de support adopté par les EKZ est représenté à la fig. 2.

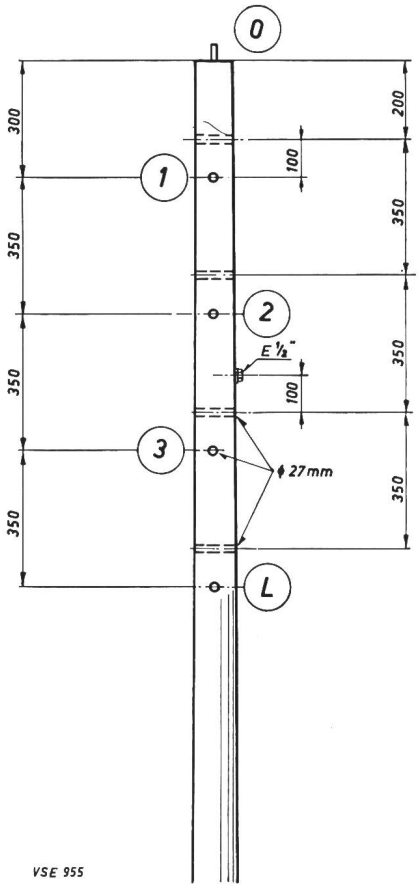


Fig. 2
Disposition normale des conducteurs adoptée par les EKZ pour les supports en béton des lignes à basse tension
O conducteur neutre *1, 2, 3* conducteurs de phase
L conducteur pour l'éclairage public

La Direction générale des PTT s'est déclarée prête à utiliser, pour la pose de ses lignes, les supports en béton des distributeurs d'électricité, au même titre qu'elle le faisait jusqu'à présent avec les poteaux de bois. Pour fixer les fils téléphoniques, on a créé des ferrures à brides, qui dispensent de percer des trous dans le support lui-même.

Jusqu'à présent, il était d'usage de monter le *fil neutre* des réseaux à 380 V sur des isolateurs identiques à ceux des conducteurs de phases. Or, un isolement est superflu, puisque le fil neutre devrait être mis à la terre en autant de points que possible. La mise au neutre est d'autant plus efficace que le nombre de ces mises à la terre est plus grand. C'est pourquoi le fil neutre est monté à la pointe des supports en béton, en laissant tomber un isolement superflu.

Il est avantageux de s'en tirer avec le moins possible de types de supports. Le pourcentage des poteaux de bois utilisés annuellement par les EKZ, selon leur longueur, est le suivant:

9 m de longueur	6 %
10 m de longueur	21 %
11 m de longueur	34 %
12 m de longueur	22 %
13 m de longueur	12 %

ce qui représente 95 % de la consommation totale. On obtiendrait davantage encore en ne tenant compte que du réseau à basse tension, aussi est-il indiqué de fabriquer des supports normaux en béton seulement pour les longueurs ci-dessus, de 9 à 13 m. Pour ces mêmes longueurs, on a prévu en outre un type renforcé, calculé pour supporter un effort au sommet environ quatre fois plus élevé que le support normal. Pour tous les supports plus longs, on fabriquera des modèles spéciaux, semblables à ceux des lignes à haute tension.

Les *supports renforcés* sont généralement des supports normaux équipés de haubans. S'il n'est pas possible de monter ces derniers, on utilisera un support en béton renforcé, ou même deux de ceux-ci accouplés. Il vaut mieux renoncer à des contre-fiches en béton, vu qu'il faudrait les prévoir relativement épaisses pour éviter une flexion trop forte sous l'effet du poids propre.

Le support en béton

Le nouveau support en béton pour réseaux de distribution à basse tension est armé avec un acier spécial (limite d'étirage 65...70 kg/mm², résistance à la rupture 95...105 kg/mm²). Jusqu'ici on avait utilisé un acier normal à surface lisse, de 40 kg/mm² pour la limite d'étirage. Le nouvel acier a, au contraire, une surface striée. Quant au béton, on a choisi après comme avant un mélange d'environ P 450, auquel on additionne 3,5 % d'oxyde de fer pour avoir une teinte sombre. Chaque livraison d'acier est examinée par la Station fédérale d'essai des matériaux quant aux exigences minimums requises. Pour cette raison et au vu d'épreuves exécutées déjà en 1948 par l'EMPA, en présence de représentants de l'Inspectorat fédéral des installations à courant fort, il suffit d'un coefficient de sécurité à la rupture de 2 pour les supports en béton armé, selon art. 96, chiffre 5. En l'absence de tels contrôles périodiques et de tous autres essais, le même article requiert au chiffre 2 un coefficient de sécurité à la rupture de 2¹/₄, ce qui nécessite un support un peu plus fort.

La conicité des supports en béton était jusqu'à présent de 1,5 cm/m. Elle a pu être réduite à 1 cm/m

pour les nouveaux supports. Ces supports élancés ne déparent pas plus le paysage que les poteaux de bois. Pour réduire leur poids autant que possible, la paroi ne doit pas être plus épaisse qu'il n'est strictement nécessaire. Alors qu'on exigeait précédemment un recouvrement de 2 cm sur l'armature, cette épaisseur a été réduite à presque 1 cm pour les nouveaux supports, ce qui nécessite plus d'exactitude dans la fabrication.

Les épreuves de flexion exécutées au printemps 1958 dans une fabrique suisse de supports en béton sur de nouveaux modèles ont montré que l'épaisseur de la paroi, pour autant qu'elle atteigne le minimum ci-dessus, n'a qu'une influence secondaire sur la charge de rupture. Il est possible aussi, grâce au recouvrement plus mince, d'utiliser à fond la charge de rupture de l'acier de meilleure qualité.

Tous les essais ont montré qu'en état de service la largeur maximum des fissures dues à la flexion était inférieure à la valeur admissible de 0,20 mm. Ceci est une conséquence de l'adhésion accrue de l'acier strié par rapport à l'acier lisse. Il était remarquable de constater la distance régulière et plus faible qu'auparavant entre fissures. En augmentant la charge (1,4 fois environ), on a observé que les fissures les plus larges ne se produisent pas dans la zône d'encastrement, mais au milieu du support, par suite du glissement des fers d'armature sans crochet et de la modification graduée du pourcentage d'armature. Après suppression d'une sollicitation égale à plus de 70 % de la charge de rupture, les fissures se refermèrent et n'étaient plus même reconnaissables à la loupe.

L'utilisation d'acier strié a donc une influence favorable sur la formation des fissures. Celles-ci sont peut-être plus nombreuses, mais plus petites, ce qui diminue les risques de corrosion.

Les nouveaux supports sont sensiblement plus élastiques que les anciens. Ceux de 10 m, avec une longueur libre de 8,5 m, accusent sous la charge nominale une flexion de 0,5 m au sommet.

Pour tous les types examinés, la rupture intervint sous un effort égal à un peu plus du double de la charge nominale (coefficient de sécurité requis: 2; donc bonne concordance entre le calcul et l'épreuve),

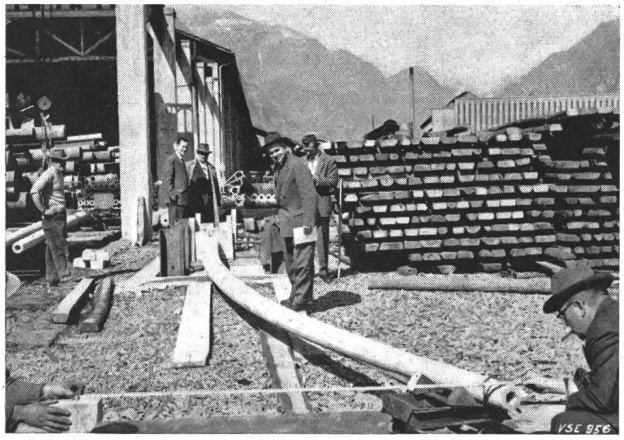


Fig. 3
Essai à la flexion d'un support en béton long de 10 m
(longueur libre 8,5 m)

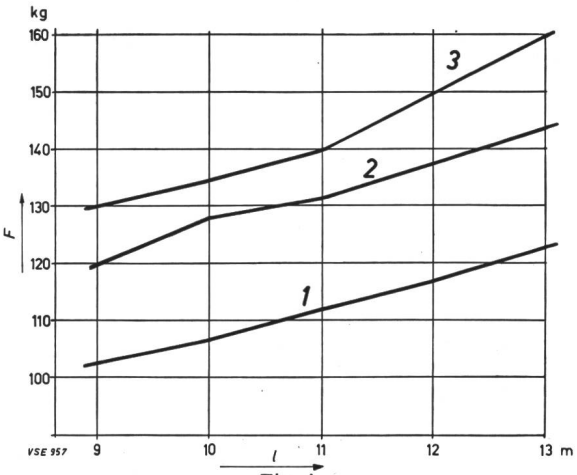


Fig. 4
Traction au sommet pour des supports en bois et en béton en fonction de la hauteur des supports

1 supports en bois selon l'art. 99
2 supports en bois selon l'art. 100
3 supports en béton

F traction au sommet
l hauteur des supports

la flèche atteignant environ le triple de celle sous charge nominale (donc plus de 1,5 m). La fig. 3 montre un essai à la flexion au voisinage de la limite de rupture.

Comparaison de la solidité, des poids et des prix

D'après l'art. 96 la *contrainte* admissible *à la flexion* est de 150 kg/cm² pour les poteaux de bois. Par conséquent, pour des poteaux de 10 m de longueur avec les dimensions minimums indiquées à l'art. 99, le moment de flexion à l'encastrement est le suivant:

$$M = \frac{\pi}{32} \cdot D^3 \cdot \frac{150}{100} = \frac{\pi}{32} \cdot 18{,}4^3 \cdot \frac{150}{100} = \underline{915 \text{ mkg}}$$

d'où résulte une traction au sommet de

$$P_s = \frac{M}{l} = \frac{915}{8{,}5} = 107 \text{ kg}$$

P_s ne correspond pas à la traction utile, car il faut en soustraire la part de la pression du vent sur le support. La traction utile au milieu de l'ensemble des conducteurs devient:

$$P_N = \frac{M - M_{W_M}}{l_L}$$

D'après l'art. 93 la pression du vent P_W sur un poteau de bois conforme aux dimensions de l'art. 99 se calcule comme suit:

$$P_{W_M} = 70 \cdot \frac{D_1 + D_2}{2} \cdot l \text{ kg}$$

$$= 70 \cdot \frac{0{,}12 + 0{,}184}{2} \cdot 8{,}5 = 90{,}4 \text{ kg}$$

Il en résulte pour le moment du vent

$$M_{W_M} = P_{W_M} = l_W = 90{,}4 \cdot 3{,}9 = \underline{352 \text{ mkg}}$$

l_W = distance du centre de gravité de la surface trapézoïdale à la surface du sol

l_L = distance du point d'attaque de la traction résultante des conducteurs au sol

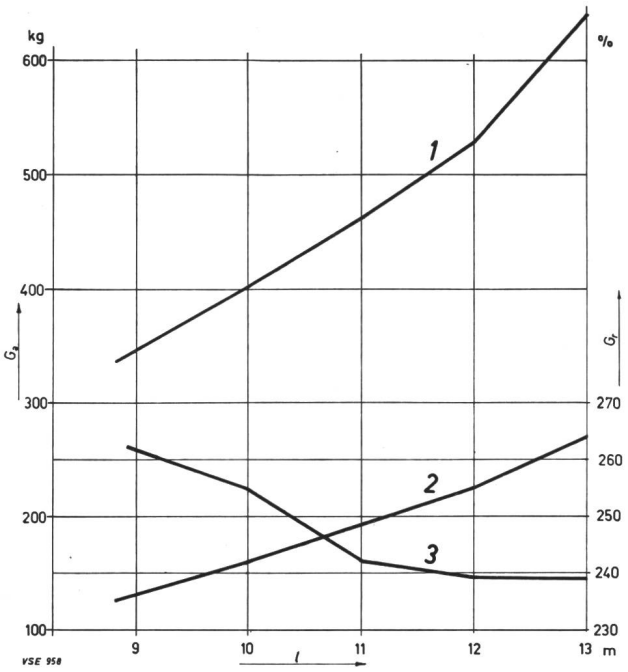


Fig. 5
Poids des supports en bois et en béton en fonction de leur hauteur

1 supports en béton
2 supports en bois
3 poids des supports en béton en % du poids des supports en bois

G_a poids absolu
G_r poids relatif
l hauteur des supports

par conséquent

$$P_N = \frac{915-352}{7{,}85} = \underline{72\ \text{kg}}$$

La pression du vent sur les conducteurs d'une ligne ordinaire de 50 m de portée, en fils de cuivre de 4×8 mm ⌀, se calcule selon l'art. 93 comme suit:

$$PW_L = 50\ \text{kg} \cdot a \cdot 4d = 50 \cdot 50 \cdot 4 \cdot 0{,}008 = \underline{80\ \text{kg}}$$

ce qui signifie que le poteau en bois ayant les dimensions minimums de l'art. 99 ne suffit plus pour une ligne de 50 m de portée comptant 4 fils de cuivre de 8 mm de diamètre; la sollicitation admissible est atteinte déjà pour une portée de 45 m. C'est une des raisons pour laquelle la plupart des entreprises suisses d'électricité choisissent des portées inférieures à 50 m (en moyenne 40 à 45 m) pour les lignes ordinaires. La fig. 4 indique l'effort de traction rapporté au sommet de supports en bois et en béton, en fonction de leur longueur; on a pris en considération non seulement les poteaux en bois de sections minimums conformes à l'art. 99, mais aussi ceux dont la section suffit juste encore pour la portée admissible de 50 m.

Les efforts de traction au sommet du support normal en béton ont été choisis plutôt légèrement au-dessus de ceux admis pour les poteaux en bois. De la sorte, les supports en béton suffisent pour recevoir non seulement 4 fils de cuivre de 8 mm ⌀, mais encore un fil de 4 mm ⌀ pour l'éclairage public.

L'art. 96 demande pour les supports en bois un coefficient de sécurité à la rupture de 3. Il en résulte une charge théorique de rupture un peu supérieure à celle qui résulte d'un effort double au sommet des supports en béton. Mais cette charge théorique de rupture plus élevée n'existe, pour les poteaux de bois, qu'au début de l'implantation. Elle diminue avec la putréfaction croissante du bois. Avec la grandeur admise des foyers de putréfaction, le moment de flexion se réduit jusqu'à 30 %, et l'avancement du processus au-delà de la limite en question exige le remplacement sans retard du poteau attaqué. Les supports en béton gardent par contre leur résistance à la rupture indéfiniment; au bout de quelques années elle est même supérieure à celle des poteaux de bois posés en même temps.

Le *poids* des poteaux de bois aux dimensions minima, comparativement à celui des supports en béton, ressort de la fig. 5. Ceux-ci sont 2,4 à 2,6 fois plus lourds. Mais il ne faut pas oublier qu'en comparaison avec de forts supports en bois, le rapport serait seulement de 2 environ.

Il est clair que les supports en béton sont plus chers que les poteaux de bois. Nous indiquons ci-après les prix de poteaux de bois imprégnés au sulfate de cuivre, franco gare, impôts compris, ainsi que la perte d'intérêt pour stockage d'une année, et ceux de supports en béton aux mêmes conditions, toutefois sans stockage pendant une année.

Longueur du support	Bois Fr.	Béton Fr.	Béton %
9 m	49.50	160.—	323
10 m	62.—	175.—	282
11 m	74.50	195.—	262
12 m	86.50	215.—	249
13 m	101.50	240.—	236

Si l'on utilise des poteaux de bois mieux imprégnés, il faut compter avec une majoration de 10 à 20 % sur ces prix. Ces calculs comparatifs, comme ceux relatifs aux considérations de rentabilité qui suivent, tablent uniquement sur des poteaux de bois imprégnés au sulfate de cuivre.

Exemple d'application

Entre Eglisau et Bülach l'Office d'amélioration foncière du canton de Zurich a édifié di-

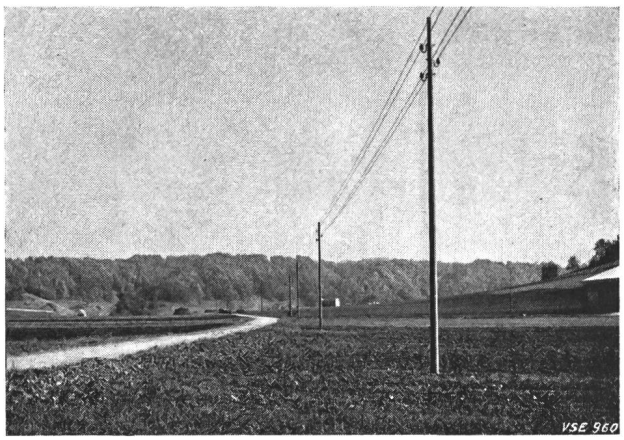


Fig. 6
Ligne de 380 V sur supports en béton avec portées de 50 m à Eglisau

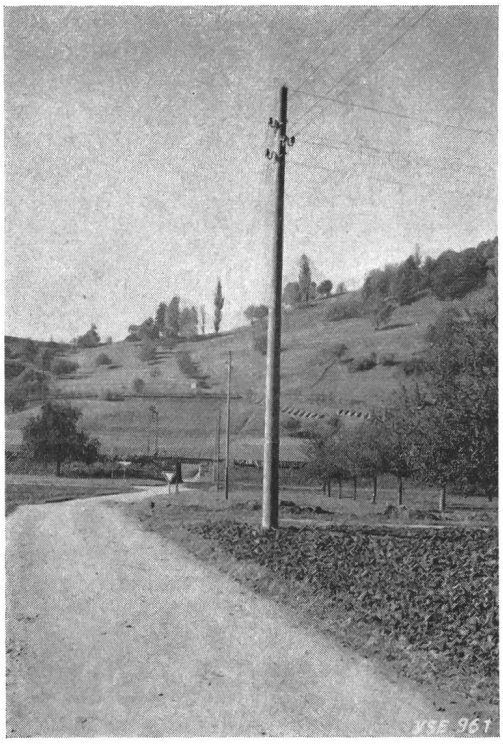


Fig. 7
Ligne de 380 V sur supports en béton à Eglisau. Support renforcé avec traction au sommet de 500 kg pour le raccordement d'un bâtiment

verses colonies agricoles, qui nécessitèrent de nouvelles installations électriques de distribution. Abstraction faite de petites installations à haute tension, il s'agissait en majorité de lignes à basse tension.

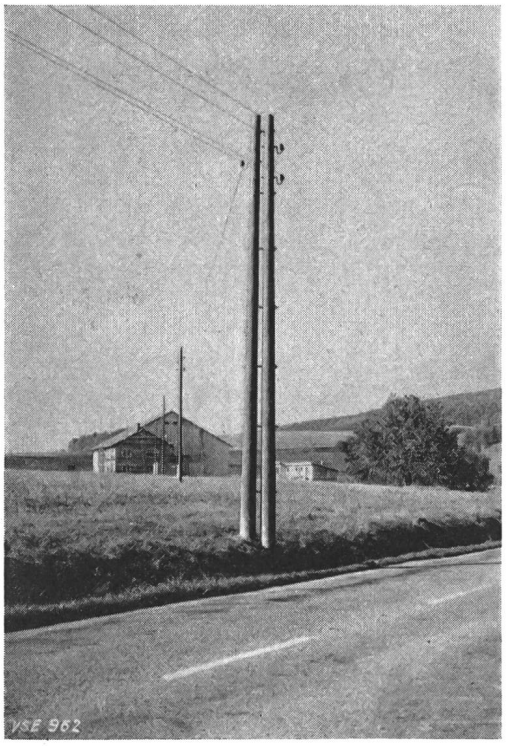


Fig. 8
Ligne de 380 V sur supports en béton à Eglisau. Support d'angle jumelé avec une traction au sommet de plus de 2000 kg dans la direction de l'effort

L'exemple suivant se rapporte à l'une de ces lignes, d'une longueur de 1,5 km.

Le tracé longe en grande partie des chemins vicinaux, mais pour ne pas gêner la circulation des véhicules agricoles, on a placé les supports à 1 m environ du bord de la route. Les portées sont presque toutes de 50 m. Une section d'un peu plus de 500 m de longueur est équipée de 4 cordes d'aldrey de 50 mm²; sur le reste de la ligne sont montés presque partout des fils de cuivre de 5,5 mm ϕ. Seulement pour les courts raccordements aux maisons, on a utilisé des conducteurs de phase en cuivre de 4 mm ϕ.

La ligne croise la voie des CFF par dessous; à cet endroit elle a été posée en câble. A la demande des habitants, on a posé en outre à proximité des domaines ruraux des prises de courant sur support pour les moteurs des batteuses mécaniques. La longueur des supports a été choisie de telle sorte qu'on puisse y monter ultérieurement une ligne téléphonique.

La fig. 6 montre que les lignes sur supports en béton s'harmonisent au moins aussi bien avec le

Fig. 9
Transport d'un support en béton sur le chantier

paysage que celles sur poteaux de bois. Les supports extrêmement élancés et la disposition esthétique des conducteurs font la meilleure impression.

Le fil neutre occupe la place techniquement la plus rationnelle, au sommet des supports, pouvant assumer ainsi également la protection contre les décharges atmosphériques.

La fig. 7 montre un support renforcé pour une traction de 500 kg au sommet, à la bifurcation vers une maison. En ce point, il n'était pas possible de fixer un hauban. La traction calculée au sommet, à 0° avec charge de neige, est un peu plus élevée que celle que le support peut assumer. Mais la pose de deux supports renforcés jumelés se serait difficilement justifiée. La grande élasticité des supports en béton ne manquera pas de se manifester distinctement ici. On a l'intention d'observer les mouvements du support au cours des saisons.

En accouplant deux supports renforcés en béton (fig. 8), on atteint théoriquement le quadruple de la traction au sommet (dans l'axe des deux supports). Plus il y a de points de jumelage et plus il est permis de mettre en pratique cette valeur théorique.

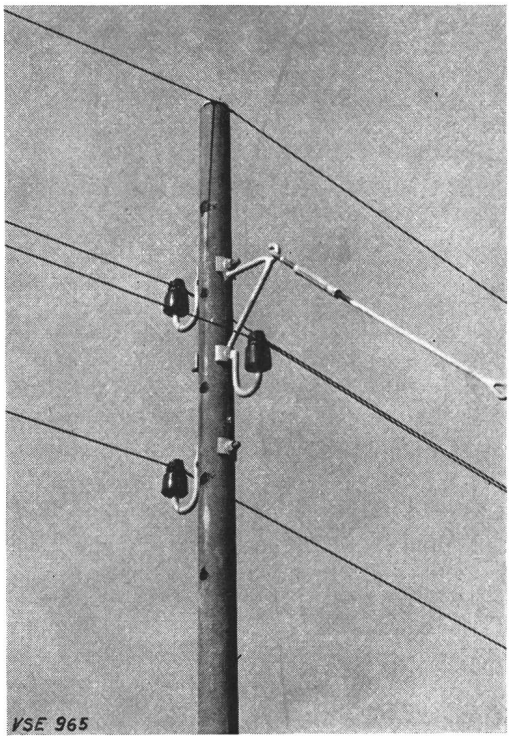


Fig. 10
Support avec haubannage en câble d'acier

On atteint ainsi une traction maximum au sommet de 2000 kg, qui peut même encore être majorée si les supports jumelés sont écartés l'un de l'autre au moyen de pièces en fer assez fortes; mais alors il faut veiller à ce que ces pièces aient des surfaces d'appui aussi grandes que possible.

Bien entendu, en un point d'angle du tracé on peut aussi combiner un hauban avec un support renforcé, ce qui représente le plus souvent une solution très économique. Les assemblages écartés, en forme de A, ancrés dans des fondations massives, tels qu'on les rencontre souvent à l'étranger aussi dans les réseaux à basse tension, sont non seulement coûteux mais difformes et déparent le paysage. C'est pourquoi il est préférable de les laisser de côté.

Détails de montage

L'adversaire des supports en béton cherche généralement à motiver son aversion par les difficultés de montage et de transport. Ces deux objections tombent d'elles-mêmes avec l'usage de supports de lignes à basse tension. Le transport à travers champ par remorque à un essieu (fig. 9), utilisé autrefois avec de plus grandes roues pour le transport des troncs d'arbres, est simple et bon marché. Le char est incliné jusqu'à ce que le timon de 3 m fasse à peu près un angle de 30° avec la verticale, sur quoi le support est accroché, le timon ramené à l'horizontale et le support maintenu en place par fixation à l'extrémité du timon. De cette façon le support est immobilisé pendant le transport et ne peut subir qu'une flexion insignifiante. Bien entendu, toutes les fixations doivent se faire avec interposition de matériel d'emballage pour protéger le béton en ces points.

Les supports sont mis en place à l'aide d'un trépied en métal léger, qui peut être monté sur une jeep. Il est dimensionné pour pouvoir dresser des supports en béton légers. L'une des tiges du trépied est fixée sur la jeep, tandis que les deux autres sont écartées pour soulever le support, de telle sorte qu'elles soient sollicitées à la pression par le poids du support, la tige solidaire de la jeep étant sollicitée à la traction. Le support est soulevé par le moteur de la jeep à l'aide d'une poulie. Pour le transport du trépied, ses trois tiges sont fixées verticalement au véhicule.

Comme pour les poteaux de bois, le hauban est accroché au haut du support (fig. 10). Des brides ne sont pas nécessaires pour cela, car le crochet est soudé aux plaques des ferrures d'isolateurs. Il s'ensuit non seulement un montage simple, mais aussi une solution économique.

Un câble sous plomb armé peut être fixé sans autre aux supports en béton, comme aux poteaux de bois. Pour fixer la console à laquelle est suspendue la boîte d'extrémité du câble, il suffit d'une simple bride en fer rond (fig. 11). Le câble et la ferrure de protection sont fixés au moyen de bandes de cuivre étamé (fig. 12) munies de guides.

Les prises de courant sont de plus en plus demandées dans les domaines ruraux écartés. Dans la règle elles sont montées sur le support le plus proche de la maison. Pour permettre la fixation de la prise, deux écrous sont fichés dans le béton sur place, au prix d'un travail insignifiant. Dans un seul cas il a fallu remettre après coup le béton en état.

Les plaquettes pour désigner les supports présentent de chaque côté des fentes longitudinales et sont fixées comme un câble.

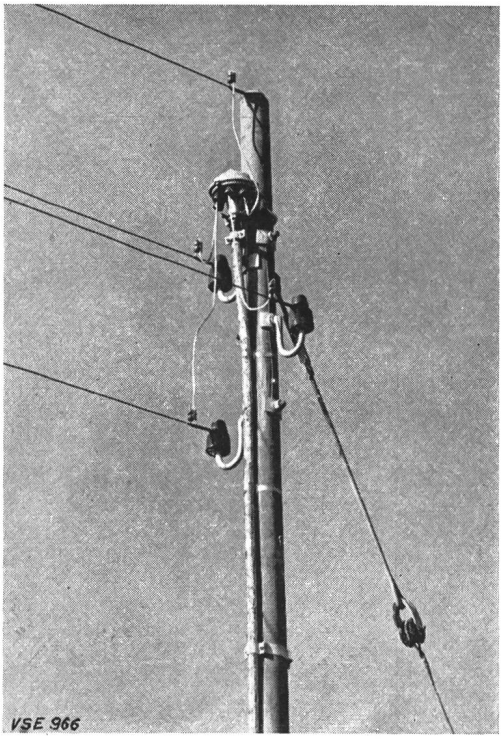


Fig. 11
Fixation d'un câble sous plomb à un support en béton

On vouera beaucoup de soin à la fixation du fil neutre au sommet du support. Pour le support ordinaire en ligne droite (porteur), il suffit d'une simple bride de serrage en fer galvanisé, placée déjà pendant la fabrication. Aux angles et dérivations du tracé, cette bride ne suffit plus. Il faut la remplacer par un disque à deux gorges (fig. 13). Le fil neutre ininterrompu est fixé dans l'une d'elles et le neutre dérivé dans l'autre, non sans avoir été préalablement relié par une épissure ordinaire au neutre principal. Les vis nécessaires pour fixer ce disque du neutre sont déjà bétonnées en fabrique et sont les mêmes que celles requises pour la plaque de serrage normale au sommet du porteur ordinaire.

Mentionnons encore que toutes les armatures à la tête du support doivent être mises directement à la terre ou reliées au neutre. La manière la plus simple d'y parvenir consiste à placer une boucle de fil (fig. 14) sous les plaques de serrage des ferrures d'isolateurs et aussi sous les autres armatures, boucle que l'on connecte à la vis de terre de l'ensemble.

Abstraction faite de la mise à terre à la station transformatrice, le neutre de chaque groupe de conducteurs doit être en outre mis directement à la terre au moins à l'extrémité de la ligne. Si celle-ci est très longue, les mises à la terre doivent être répétées tous les 300 à 500 m. A cet effet, le support en béton est muni d'une vis de prise de terre reliée à l'armature en fer et fixée à 30 cm au-dessus du sol.

Les supports en béton pour lignes à basse tension n'ont pas besoin de fondations; pour les supports ordinaires comme pour les poteaux de bois, on posera deux couronnes de pierres bien calées et, aux angles du tracé, on renforcera seulement ces couronnes en les liant avec du béton.

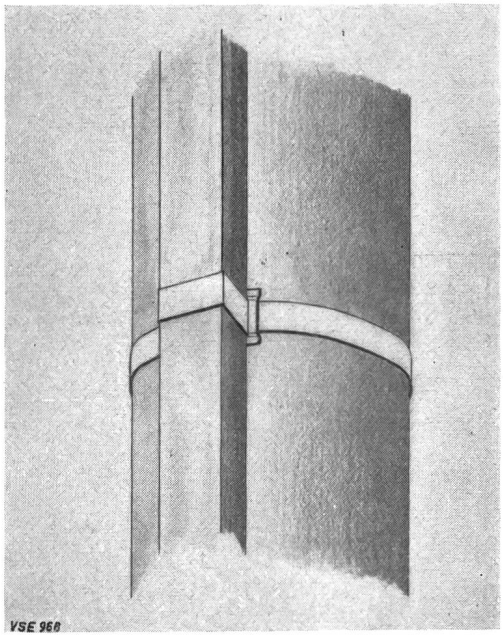


Fig. 12
Détail de la fixation d'un câble avec protection métallique

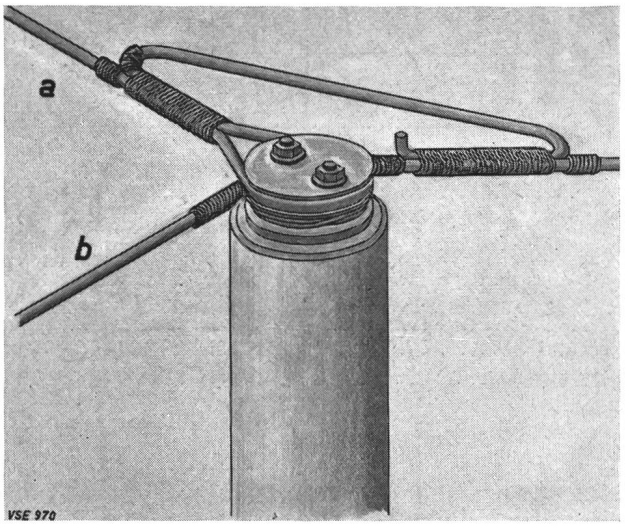


Fig. 13
Fixation des conducteurs neutres à un support de dérivation
a conducteur neutre de dérivation
b conducteur neutre principal

Considérations économiques

Comme nous l'avons dit, la ligne sur supports en béton décrite plus haut a 1,5 km de longueur et possède 29 supports, dont 5 renforcés. Les 4 raccordements aux maisons se firent directement par la façade. Les frais de construction globaux, sans la mise en câble au croisement des CFF ni les prises de courant, se sont montés à Fr. 18 200.— y compris les conducteurs. Cela fait Fr. 12 100.— par kilomètre. Si l'on avait construit cette ligne sur poteaux de bois, les dépenses auraient atteint seulement Fr. 13 850.— soit environ Fr. 9200.— par km. La ligne sur supports en béton est donc 31 % plus chère qu'une ligne correspondante sur poteaux de bois.

Le tableau I groupe les frais de construction pour ces deux genres de lignes. On voit que les chiffres pour les conducteurs sont pratiquement les mêmes dans les deux cas. En revanche, le montage des supports en béton entraîne un supplément de frais de 73 % par rapport aux poteaux de bois. Les isolateurs et ferrures sont aussi 10 % plus coûteux. Les rubriques «fils de terre», «petit matériel» et «transport» influencent si peu la somme globale, que leur différence n'a qu'un effet insignifiant sur la comparaison.

Pour calculer les *frais annuels*, on doit prendre en considération aussi bien la durée des supports que l'intérêt du capital. Dans le réseau des EKZ la durée moyenne des poteaux pourris remplacés, qui étaient pour la plupart imprégnés au sulfate de cuivre, comporte 22 ans, ce qui correspond à un amortissement annuel de 2,92 %. Au bout de ce laps de temps, le capital pour l'achat d'un poteau neuf serait donc de nouveau disponible, à condition toutefois qu'un renchérissement ne soit pas intervenu dans l'intervalle.

Supposons que l'intérêt moyen du capital soit de 4 % durant 22 ans. Le même taux sera admis aussi pour payer les intérêts du capital engagé. La durée

Frais de construction d'une ligne à 380 V de 1,5 km de longueur, avec supports en béton ou en bois

Tableau I

Position	Matériel		Montage		Total			
	Béton	Bois	Béton	Bois	Béton	Bois	Béton	Bois
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	%	%
Supports	6 754.60	3 425.25	2 380.80	1 857.20	9 135.40	5 282.45	173	100
Isolateurs et ferrures . . .	1 513.40	1 248.90	338.80	436.40	1 852.20	1 685.30	110	100
Conducteurs	4 542.80	4 542.80	1 185.40	1 158.70	5 728.20	5 701.50	101	100
Lignes de terre	264.50	322.—	487.—	262.—	751.50	584.—	129	100
Petit matériel et transport	324.70	411.05	408.—	185.70	732.70	596.75	123	100
Total	13 400.—	9 950.—	4 800.—	3 900.—	18 200.—	13 850.—	131	100

Béton: frais par km, conducteurs compris environ fr. 12 100.—, sans conducteur environ fr. 8 300.—
Bois: frais par km, conducteurs compris environ fr. 9 200.—, sans conducteur environ fr. 5 400.—

effective des supports en béton est évaluée à 50 ans, ce qui nécessite un amortissement annuel de 0,65 %.

Il est clair qu'on ne devra pas renouveler intégralement au bout de 22 ans tout le matériel d'une ligne sur poteaux de bois. Ainsi, pour les conducteurs, isolateurs et ferrures, il est permis également de compter sur une durée de 50 ans. Le tableau II groupe les facteurs déterminants pour le calcul des *frais annuels.*

Pourcentage des frais annuels pour lignes à basse tension avec supports en bois ou en béton

Tableau II

	Ligne à 380 V avec		
	Supports en béton 50 ans	Poteaux de bois 22 ans	Poteaux de bois 50 ans
	%	%	%
Amortissement	0,65	2,92	0,65
Intérêts	4,0	4,0	
Exploitation	0,3	1,0	
Entretien	0,5	1,0	
Part à l'administration . .	0,5	0,8	
Frais annuels en % des frais de construction	5,95	8,77 [1])	

[1]) 58 % des frais totaux de la ligne doivent être amortis à 2,92 %, le reste à 0,65 %.

Précisons à cette occasion la différence entre frais d'exploitation et travaux d'entretien. L'entretien comprend tous les travaux associés à la consommation de matériel, tandis qu'on attribue à l'exploitation tous ceux qui ne nécessitent le remplacement d'aucun matériel de ligne. Par conséquent, les travaux d'entretien embrassent la suppression des dommages causés par les orages, les hommes et les animaux, etc. Pour le calcul des frais annuels, il n'est pas question d'inclure dans les frais d'entretien le remplacement de poteaux pourris, vu que la part en question est comprise dans l'amortissement. Appartiennent aux travaux d'exploitation les contrôles, l'ébranchage, l'aide pour l'abattage d'arbres ou pour faire sauter des obstacles, le redressement de supports, etc.

Les frais d'exploitation d'une ligne sur supports en béton sont sensiblement moindres que ceux d'une ligne sur poteaux de bois, surtout du fait que les revisions annuelles prévues à l'art. 74 tombent. Comme les revisions imposées ne concernent que les isolateurs et les conducteurs, on peut les simplifier et les espacer davantage (tous les 3 ans environ). Les travaux d'entretien des lignes sur supports en béton sont aussi meilleur marché, étant donné qu'en cas de déplacement les supports enlevés peuvent de nouveau être utilisés intégralement, ce qui est rarement le cas avec les poteaux de bois.

Suivant les pourcentages figurant au tableau II, dans l'exemple d'Eglisau les frais annuels se montent à Fr. 1082.— pour la ligne à supports en béton, alors qu'ils reviendraient à Fr. 1216.— pour une ligne sur poteaux de bois présentant le même nombre de supports. On voit donc que les frais annuels sont 11 % plus faibles dans le premier cas.

Si l'on compare maintenant entre eux les frais des supports équipés de leurs isolateurs, c'est-à-dire avant le montage des conducteurs, on constate que les frais annuels se montent à Fr. 742.— pour les supports en béton et à Fr. 763.— pour les poteaux de bois. Même ainsi la meilleure rentabilité des supports en béton est pleinement démontrée.

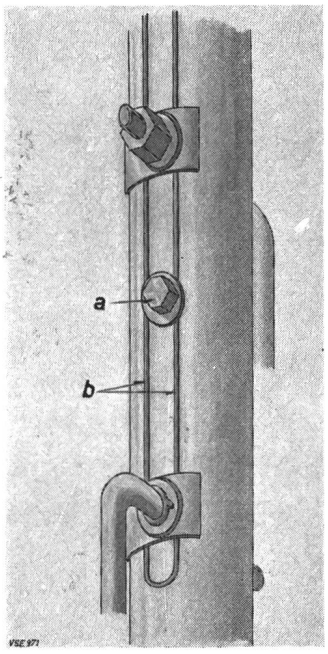


Fig. 14
Mise à la terre des ferrures d'isolateurs
a boulon de mise à terre; *b* ligne de terre 4 mm ⌀ Cu

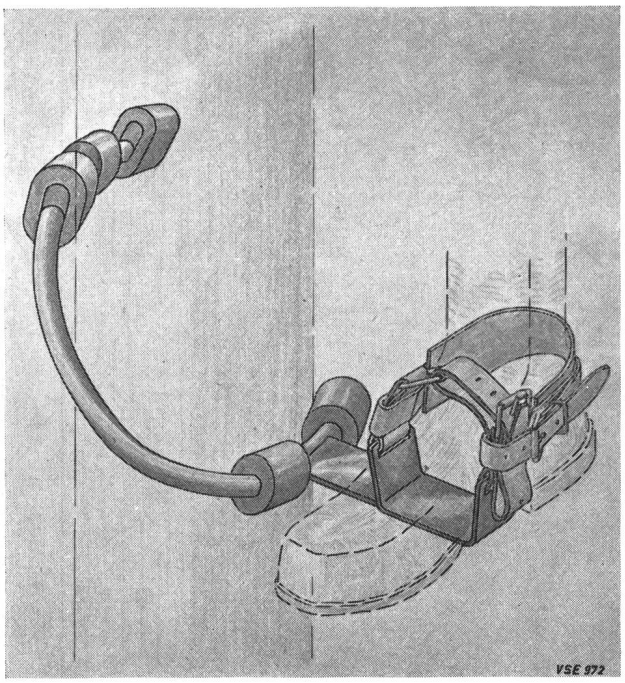


Fig. 15
Grimpette pour poteaux en béton de lignes à basse tension

Il faut dire encore, en faveur des supports en béton, que leur durée sera sensiblement plus longue que les 50 ans admis et qu'il faudrait sans doute davantage de poteaux de bois, à cause de la putréfaction. En outre, il n'a pas été tenu compte dans une mesure suffisante de la plus-value du béton et des frais moindres de stockage, eu égard aux déplacements toujours plus fréquents des lignes, dûs à la construction d'immeubles et de routes. Nous aurions ainsi démontré la supériorité économique d'une ligne à supports en béton sur une ligne équipée avec des poteaux de bois.

Nous renonçons ici à un calcul comparatif de rentabilité, puisque ses résultats dépendent directement des frais annuels.

Considérations relatives à l'exploitation

L'exploitation d'une ligne sur supports en béton se distingue de celle d'une ligne sur poteaux de bois, en ce sens que l'escalade des supports est un peu différente et qu'il n'y a plus d'isolation due aux poteaux de bois.

Il est presque aussi facile de *grimper* sur un support court et élancé en béton, tel qu'on l'utilise dans les réseaux à basse tension, que sur un poteau de bois. A cause de la faible conicité du support, il n'est pas nécessaire de munir les grimpettes d'un dispositif d'adaptation. Celles-ci peuvent être garnies de caoutchouc (fig. 15), ou aussi pourvues d'arêtes métalliques. En hiver, les grimpettes à arêtes métalliques seront probablement plus pratiques que celles garnies de caoutchouc. En aucun cas les grimpettes ne doivent être conçues pour escalader indifféremment les courts supports en béton des lignes à basse tension et les supports plus longs des lignes à haute tension, parce qu'un engin compliqué est la source de gros inconvénients en service.

La sécurité d'exploitation d'un réseau de distribution dépend, à côté de l'isolation, en grande partie de la qualité des dispositifs de mise au neutre ou à la terre. Or ceux-ci peuvent être au moins aussi bien adaptés aux supports en béton qu'aux poteaux de bois. Chaque support en béton est automatiquement mis au neutre, puisque le fil neutre à la tête du support est pris dans une bride, resp. dans une pièce guide aux angles du tracé, reliée elle-même aux fers d'armature. Et comme toutes les ferrures sont également solidaires des fers d'armature, elles sont ipso facto mises au neutre. L'isolation entre conducteurs, en tenant compte des pièces métalliques interposées, est évidemment beaucoup moindre sur les supports en béton que sur les poteaux de bois. Les défauts aux isolateurs conduisent le plus souvent à des courts-circuits unipolaires à la terre plus ou moins francs. Mais comme toutes les parties métalliques sont mises au neutre, aucune élévation sensible de tension ne peut se produire, ni par conséquent un danger quelconque pour l'homme ou les animaux. Seulement, il est important que le fil neutre et ses bornes de fixation soient massifs et résistent à la corrosion.

Ajoutons enfin que la sécurité du service dépend aussi en grande partie du nombre et de la qualité des mises à la terre dans le réseau. Leur nombre peut être restreint s'il est possible de relier quelques supports au réseau d'eau. En revanche un nombre plus grand sera de rigueur, si l'on doit se contenter d'électrodes de terre artificielles.

Conclusions

Les expériences acquises dans la construction des lignes avec des supports en béton «légers et bon marché» destinés aux réseaux à basse tension sont à même de dissiper nombre d'hésitations, notamment quant au montage et au transport. Il est vrai que de telles lignes reviennent environ 30 % plus cher que les lignes sur poteaux de bois, mais elles occasionnent des frais annuels de 10 à 12 % inférieurs. C'est pourquoi l'on peut s'attendre à ce que l'emploi de supports en béton dans les réseaux de distribution à basse tension aille en augmentant au cours des années prochaines. Leur économie subsistera, même si l'on arrive à prolonger la durée des poteaux de bois par de meilleurs procédés d'imprégnation, ou par des traitements ultérieurs périodiques plus fréquents.

Fr./Bq.

Adresse de l'auteur:

J. Stösser, chef du service de construction des lignes des Entreprises électriques du canton de Zurich, Oberrieden (ZH).

Vœux de fin d'année

La rédaction *des Pages de l'UCS* remercie tous ceux qui, au cours de l'année écoulée, lui ont envoyé des articles et des communiqués ou lui ont fait part de leurs critiques et suggestions. Elle souhaite à ses collaborateurs et à tous les lecteurs de joyeuses fêtes et une bonne et heureuse année.

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 électrique 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			
	1957/58	1958/59	1957/58	1958/59	1957/58	1958/59	1957/58	1958/59	1957/58	1958/59		1957/58	1958/59	1957/58	1958/59	1957/58	1958/59
	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	1035	1355	4	1	23	52	165	21	1227	1429	+16,5	2167	3094	— 202	— 32	112	235
Novembre ..	907		23		17		250		1197			1895		— 272		78	
Décembre ..	854		31		18		344		1247			1520		— 375		86	
Janvier	870		31		21		345		1267			1158		— 362		89	
Février	978		6		27		114		1125			974		— 184		83	
Mars	1168		2		23		56		1249			522		— 452		81	
Avril	1054		4		21		69		1148			327		— 195		75	
Mai	1322		1		67		12		1402			1043		+ 716		258	
Juin	1387		1		48		35		1471			1693		+ 650		338	
Juillet	1482		1		50		53		1586			2505		+ 812		402	
Août	1451		1		50		39		1541			3073		+ 568		406	
Septembre ..	1443		0		50		11		1504			3126[4]		+ 53		380	
Année	13951		105		415		1493		15964							2388	
Oct.-Mars ..	5812		97		129		1274		7312					-1847		529	
Avril-Sept...	8139		8		286		219		8652					+2604		1859	

Mois	Distribution d'énergie dans le pays																
	Usages domestiques et artisanat		Industrie		Electrochimie, métallurgie, thermie		Chaudières électriques[1]		Traction		Pertes et énergie de pompage[2]		Consommation en Suisse et pertes: sans les chaudières et le pompage		Différence % [3]	Consommation en Suisse et pertes: avec les chaudières et le pompage	
	1957/58	1958/59	1957/58	1958/59	1957/58	1958/59	1957/58	1958/59	1957/58	1958/59	1957/58	1958/89	1957/58	1958/59		1957/58	1958/59
	en millions de kWh																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Octobre	523	567	218	215	169	168	14	27	55	59	136 (2)	158 (14)	1099	1153	+ 4,9	1115	1194
Novembre ..	540		217		153		4		65		140		1110			1119	
Décembre ..	582		209		144		3		73		150		1151			1161	
Janvier	586		214		138		3		81		156		1164			1178	
Février	512		190		131		5		69		135		1025			1042	
Mars	570		208		170		6		76		138		1160			1168	
Avril	506		195		182		9		55		126		1060			1073	
Mai	484		191		180		60		55		174		1044			1144	
Juin	463		193		169		84		56		168		1017			1133	
Juillet	468		194		180		99		59		184		1057			1184	
Août	473		191		175		88		52		156		1029			1135	
Septembre ..	495		205		168		51		51		154		1062			1124	
Année	6202		2425		1959		426		747		1817 (172)		12978			13576	
Oct.-Mars ..	3313		1256		905		35		419		855 (39)		6709			6783	
Avril-Sept...	2889		1169		1054		391		328		962 (133)		6269			6793	

[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]) Energie accumulée à bassins remplis: Sept. 1958 = $3220 \cdot 10^6$ kWh.

Production et consommation totales d'énergie électrique en Suisse

Communiqué par l'Office fédéral de l'économie électrique

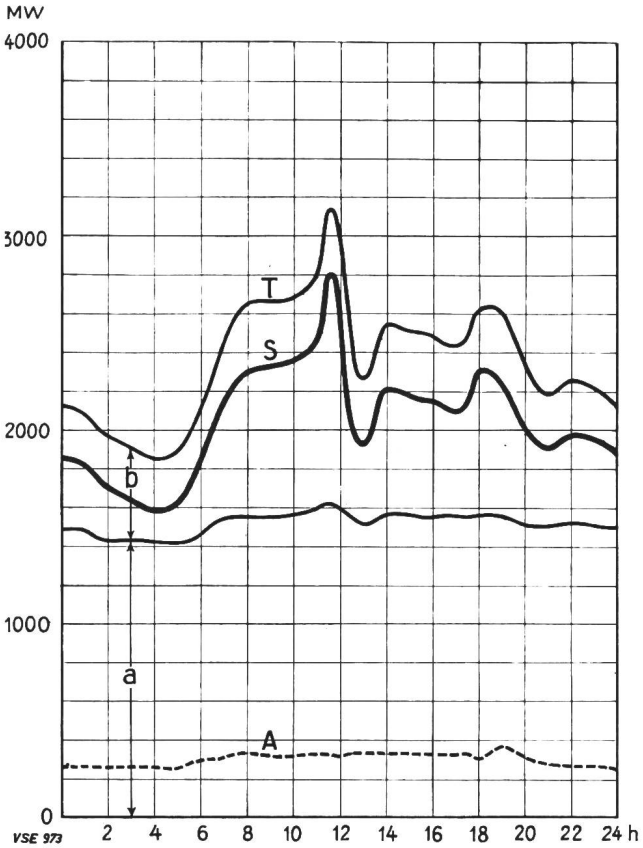
Les chiffres ci-dessous concernent à la fois les entreprises d'électricité livrant de l'énergie à des tiers et les entreprises ferroviaires et industrielles (autoproducteurs).

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					
	1957/58	1958/59	1957/58	1958/59	1957/58	1958/59	1957/58	1958/59		1957/58	1958/59	1957/58	1958/59	1957/58	1958/59	1957/58	1958/59
	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	1264	1639	11	7	165	21	1440	1667	+15,8	2332	3331	— 223	— 34	112	238	1328	1429
Novembre ..	1064		31		256		1351			2039		— 293		78		1273	
Décembre ..	980		38		356		1374			1639		— 400		86		1288	
Janvier	982		40		358		1380			1256		— 383		89		1291	
Février	1099		14		123		1236			1063		— 193		83		1153	
Mars	1307		10		60		1377			580		— 483		87		1290	
Avril	1222		10		73		1305			355		— 225		88		1217	
Mai	1647		5		12		1664			1125		+ 770		295		1369	
Juin	1725		4		35		1764			1850		+ 725		393		1371	
Juillet	1835		5		53		1893			2734		+ 884		460		1433	
Août	1808		3		39		1850			3311		+ 577		464		1386	
Septembre ..	1770		4		11		1785			3365[2])		+ 54		423		1362	
Année	16703		175		1541		18419							2658		15761	
Oct.-Mars ..	6696		144		1318		8158					–1975		535		7623	
Avril-Sept...	10007		31		223		10261					+2785		2123		8138	

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 et artisanat		Industrie		Electro-chimie, métallurgie, thermie		Chaudières électriques [1])		Traction		Pertes		Energie de pompage				
	1957/58	1958/59	1957/58	1958/59	1957/58	1958/59	1957/58	1958/59	1957/58	1958/59	1957/58	1958/59	1957/58	1958/59	1957/58	1958/59	
	en millions de kWh																%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Octobre	532	580	239	241	277	285	17	30	107	114	151	164	5	15	1306	1384	+ 6,0
Novembre ..	549		236		223		6		105		148		6		1261		
Décembre ..	592		225		189		4		112		158		8		1276		
Janvier	596		233		174		5		112		160		11		1275		
Février	520		211		165		9		100		135		13		1131		
Mars	581		232		203		8		112		152		2		1280		
Avril	515		218		223		13		105		138		5		1199		
Mai	493		215		295		69		102		152		43		1257		
Juin	473		214		299		91		104		155		35		1245		
Juillet	480		216		310		107		112		177		31		1295		
Août	485		211		305		97		110		158		20		1269		
Septembre ..	506		224		291		59		108		162		12		1291		
Année	6322		2674		2954		485		1289		1846		191		15085		
Oct.-Mars ..	3370		1376		1231		49		648		904		45		7529		
Avril-Sept...	2952		1298		1723		436		641		942		146		7556		

[1]) D'une puissance de 250 kW et plus et doublées d'une chaudière à combustible.
[2]) Energie accumulée à bassins remplis: Sept. 1958 = $3463 \cdot 10^6$ kWh.

Production et consommation totales d'énergie électrique en Suisse



1. **Puissance disponible le mercredi 15 octobre 1958**

	MW
Usines au fil de l'eau, moyenne des apports naturels	1520
Usines à accumulation saisonnière, 95 % de la puissance maximum possible	2510
Usines thermiques, puissance installée	160
Excédent d'importation au moment de la pointe	—
Total de la puissance disponible	4190

2. **Puissances maxima effectives du mercredi 15 octobre 1958**

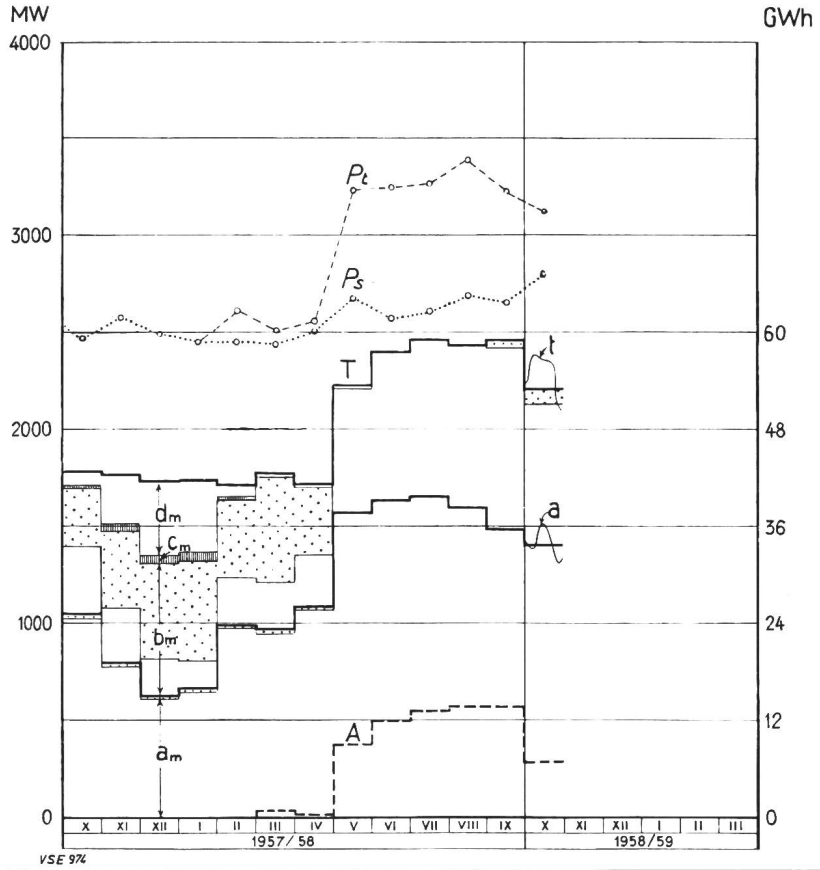
Fourniture totale	3150
Consommation du pays	2800
Excédent d'exportation	360

3. **Diagramme de charge du mercredi 15 octobre 1958** (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 (insignifiant)
d Excédent d'importation (nul)
T Fourniture totale
S Consommation du pays
A Excédent d'exportation

4. **Production et consommation**

	Mercredi 15 oct.	Samedi 18 oct.	Dimanche 19 oct.
	GWh (millions de kWh)		
Usines au fil de l'eau	36,3	34,0	30,8
Usines à accumulation	20,0	15,8	10,4
Usines thermiques	0,2	0,2	—
Excédent d'importation	—	—	—
Fourniture totale	56,5	50,0	41,2
Consommation du pays	49,2	42,5	33,4
Excédent d'exportation	7,3	7,5	7,8



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, partie pointillée, provenant d'accumulation saisonnière
b_m Usines à accumulation, partie pointillée, provenant d'accumulation saisonnière
c_m Production des usines thermiques
d_m Excédent d'importation

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'Electricité, Bahnhofplatz 3, Zurich 1; adresse postale: Case postale Zurich 23; téléphone (051) 27 51 91; compte de chèques postaux VIII 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.