Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 50 (1959)

Heft: 12

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: 08.08.2025

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

Production et distribution d'énergie

Les pages de l'UCS

Construction des lignes aériennes et souterraines

Rapport sur la 19e assemblée de discussion de l'UCS du 29 avril 1959 à Berne

Projet et construction de lignes aériennes

par *M. Ammann*, Altdorf

621.315.235 + 621.316.1

L'auteur décrit d'abord l'organisation et le champ d'action de la section pour la construction des lignes d'une entreprise régionale et mentionne brièvement les prescriptions légales à observer lors de la construction de lignes à haute et à basse tension. Il expose ensuite les questions concernant le projet et la construction d'installations électriques à basse tension, les systèmes de protection et la construction des introductions et termine par quelques considérations sur les lignes à haute tension.

Zunächst erläutert der Referent die Organisation und den Aufgabenbereich der Leitungsbauabteilung eines Überlandwerkes und erwähnt kurz die beim Bau von Hoch- und Niederspannungsleitungen zu beachtenden gesetzlichen Vorschriften. Anschliessend werden die Fragen im Zusammenhang mit der Projektierung und dem Bau von Niederspannungsverteilanlagen, die Schutzsysteme und das Erstellen der Hausanschlüsse behandelt. Zum Schluss folgen einige Ausführungen über die Hochspannungsleitungen.

Les considérations qui suivent sur l'organisation et l'exécution des travaux de montage de lignes aériennes reposent sur l'expérience acquise dans ce domaine par deux entreprises: les Forces Motrices de la Suisse centrale (CKW) à Lucerne et le Service électrique d'Altdorf (EWA). Il s'agit d'une grande entreprise interurbaine du Plateau suisse et d'une entreprise de moyenne importance en montagne.

A titre de comparaison, voici ce qui caractérise chacune d'elles:

CKW: Approvisionnement en électricité du canton de Lucerne (sans la ville), ainsi que de quelques communes des cantons de Zoug et Schwyz. Fourniture directe d'énergie électrique à quelque 40 000 abonnés. 690 postes de transformation. 3300 km de lignes (dont 1200 km à haute tension). 45 monteurs attachés à l'entreprise, répartis en 8 groupes, plus 5...8 groupes de monteurs de lignes d'entrepreneurs privés disponibles au besoin, donc 80 à 100 monteurs de lignes aériennes, suivant les nécessités.

EWA: Approvisionnement en électricité du canton d'Uri, ainsi que des communes de Morschach, Goldau et Emmetten. Fourniture directe d'énergie électrique à quelque 7000 abonnés. 200 postes de transformation. 700 km de lignes (dont 250 km à haute tension). 35 monteurs attachés à l'entreprise, répartis en 5 groupes.

Organisation générale

La section pour la construction des lignes des CKW et de l'EWA est organisée de la façon suivante:

Des techniciens sont chargés des projets et calculs. Des conducteurs de travaux et leurs assistants collaborent au projet, au piquetage et à la construction des lignes. Chaqune des équipes de 5...7 hommes, domiciliés à divers endroits du domaine de distribution, est motorisée, c'est-à-dire pourvue d'une jeep avec remorque. En outre, quatre camions sont à disposition pour le transport des matériaux lourds.

Quand il s'agit de projeter de grandes installations de distribution, on procède comme suit:

Le technicien projette et calcule les lignes; il est responsable des plans et autres pièces requises. Sur la base de ces données on prépare le projet à soumettre à l'Inspectorat fédéral des installations à courant fort, ainsi que le devis pour l'obtention du crédit.

Pour les petites extensions de réseau et les raccordements aux immeubles, la section de construction des lignes reçoit les ordres de la section des installations, ou bien les avis des installateurs. Adresse et données techniques sont reportées dans une formule séparée avec la mention «Ordre au service de construction des lignes». Tout d'abord, le conducteur des travaux ou le chef d'équipe reçoit le projet, inscrit dans une formule imprimée d'avance le matériel requis et établit un croquis du raccordement en question. Cette formule peut être utilisée aussi bien pour les raccordements aériens que pour ceux en câbles. Sur quoi on calcule les coûts et l'on soumet l'offre au propriétaire, ou bien on fixe une taxe de raccordement unique s'il s'agit d'une amenée par câble. Lorsque le raccordement aérien ne cause pas de trop grandes dépenses, il est exécuté gratuitement. Par contre, on prélève une contribution à fonds perdu pour les raccordements par câble, par exemple de fr. 300.— pour des longueurs de câbles jusqu'à 50 m.

Une fois que le propriétaire a passé la commande, le projet est considéré comme ordre d'exécution, le matériel commandé, les contrats de passage signés et le travail exécuté. Celui-ci achevé, l'ordre d'exécution passe au bureau technique, où le nouveau raccordement est reporté dans les plans du réseau. Enfin le service de comptabilité marque le coût effectif dans l'ordre d'exécution, pour permettre un contrôle ultérieur du calcul.

Dans les contrats de concession avec les cantons et les communes, des accords généraux ont été prévus pour l'utilisation du domaine public par les lignes aériennes. Un contrat de passage est conclu

pour chaque poteau, les directives de l'UCS étant déterminantes pour fixer l'indemnité. A la 16e assemblée de discussion de l'UCS, il y a deux ans, les droits de passage pour canalisations électriques et autorisations pour postes de transformation ont fait l'objet d'exposés détaillés (voir Bull. ASE, Pages de l'UCS, année 1957, nos 18...21).

Tant dans le canton de Lucerne (Entlebuch) que dans le canton d'Uri il existe un grand nombre de domaines très écartés en montagne. Le ravitaillement de ces régions en électricité revient très cher, aussi le propriétaire n'est-il pas en mesure de financer sa part à lui seul. On a commencé à électrifier ces contrées il y a une dizaine d'années et l'entreprise assume le 60 % des frais de ligne. Le solde est subventionné par moitié environ par la Confédération, le canton et les communes, de sorte que le paysan montagnard aux ressources modestes n'a plus qu'à payer une part assez réduite (environ 300... 1200 francs). En pareil cas les intéressés d'une région déterminée se groupent en communauté coopérative. Nous projetons les installations de distribution et soumettons au nom des intéressés le devis à l'office d'amélioration foncière, qui le transmet à qui de droit pour les subventions.

Depuis la guerre il a été raccordé au réseau de distribution environ 800 immeubles de montagne dans le canton de Lucerne, et dans le canton d'Uri environ 250 maisons d'habitation et 400 étables. Les dépenses totales s'élèvent à près de 5 millions de francs, dont 3 millions à la charge des entreprises électriques. Cela représente une aide substancielle à la population montagnarde, car des considérations purement commerciales n'auraient jamais conduit à de tels investissements. Dans trois ans environ tous les domaines en montagne seront raccordés au réseau électrique.

Prescriptions

La construction des lignes à haute et à basse tension est soumise aux dispositions légales et aux prescriptions suivantes:

1. La loi fédérale du 24 juin 1902 concernant les installations électriques à courant faible et à courant fort (loi sur les installations électriques).
2. L'ordonnance du 7 juillet 1933 sur l'établissement, l'exploitation et l'entretien des installations électriques à courant fort.
3. L'ordonnance du 7 juillet 1933 sur les parallélismes et les croisements de lignes électriques entre elles et avec les chemins de fer.
4. Les prescriptions de l'ASE relatives à l'établissement, à l'exploitation et à l'entretien des installations électriques intérieures (concernant les introductions).
5. Les prescriptions de l'entreprise électrique concernant la construction des lignes.

Les exigences requises dans la construction des lignes sont contenues dans ces ordonnances légales. Je ne m'y attarderai pas, car elles sont bien connues. Dans les prescriptions propres des CKW et de l'EWA figurent en outre, sous forme de dessins avec textes et tableaux explicatifs, les principes d'une construction uniforme de lignes aériennes. Des cours périodiques d'instruction sont destinés à familiariser chaque monteur de ligne avec ces prescriptions.

Installations de distribution à basse tension

Lorsqu'il s'agit de *projeter* de nouveau réseaux de distribution, on doit se poser les questions de principes suivantes:

1. Comment amener le feeder à haute tension?
2. Quelle sera l'extension du réseau secondaire de distribution?
3. Quelles seront les charges présumées?
4. Où se trouve le centre de gravité de la charge, qui convienne pour édifier le poste de transformation?
5. Comment faut-il exécuter le poste de transformation?
6. Quelles sections de conducteurs et quelle grandeur de coupe-circuit convient-il de choisir, pour que la chute de tension ne dépasse pas 5 %, ni la tension de défaut contre la terre 50 V? Sinon le coupe-circuit doit déclencher le courant de défaut en moins de 5 secondes.
7. Quel système de protection choisir? La mise à la terre ou bien la mise au neutre?

Dans les réseaux écartés avec charges inférieures à 160 kVA, nous choisissons les postes de transformation sur poteau, pour des raisons financières. Mais s'il s'agit d'une petite localité, éventuellement en voie de développement, nous optons pour une cabine ou pour un abri en éléments de béton préfabriqués, avec dispositifs de manœuvre à l'intérieur et susceptible d'être agrandi ultérieurement sans grands frais. Ces stations de plainpied supposent, il est vrai, l'accès et le départ par câbles. Elles offrent la possibilité de grouper les départs secondaires, au profit de l'exploitation et d'une solution plus esthétique. Cette solution mérite certainement la préférence au point de vue de la protection des sites, car ni la tourelle d'un poste de transformation, ni les nombreux fils ne contribuent à embellir le paysage. Au cours de ces dix dernières années, nous n'avons plus installé un seul de ces postes à tourelle.

Dans les *régions rurales* à réseaux de distribution étendus, nous utilisons pour les lignes partant du poste de transformation du fil de cuivre de 8 mm de diamètre au maximum. Ces lignes peuvent atteindre jusqu'à 1 km de longueur; elles ne sont pas bouclées.

Dans les *grandes localités* nous nous efforçons d'obtenir des bouclages, mais les lignes sont utilisées normalement comme lignes simples, grâce à des sectionneurs insérés dans les boucles. Dans les grandes localités très denses, nous adoptons une distance approximative de 500 m entre postes de transformation.

Avec les charges actuelles, même si l'on utilise du fil de cuivre de 8 mm ⌀ pour les lignes principales, la chute de tension sur de grandes distances donne lieu à des réclamations et les conditions de la mise au neutre ne peuvent plus être respectées. Aux cas où les lignes dépassent 1 km, il est nécessaire de monter des coupe-circuit de section, tout en restant prudent lorsque plusieurs immeubles sont encore raccordés après ce coupe-circuit. En effet, si un

court-circuit se produit par exemple dans l'un de ces immeubles et que le coupe-circuit principal de 20 A n'était pas chargé jusqu'alors, il n'est pas exclu que, pour le même degré d'inertie, le fusible de 40 A monté en amont fonde par suite de sa charge préalable.

Je viens d'aborder un problème qui donne souvent du fil à retordre au technicien de lignes. Dans les domaines agricoles, les charges ont atteint ces dernières années un multiple de leur valeur primitive avec l'acquisition d'appareils divers. Là où il n'y avait autrefois que quelques lampes, on rencontre aujourd'hui fréquemment la cuisine électrique, des chauffe-eau et des chaudrons pour préparer la nourriture du bétail, ainsi que de grands moteurs pour les pompes à purin, hache-paille, monte-charges, ventilateurs de foin, batteuses mécaniques, etc. Ceci entraîne un renforcement des coupe-circuit, et rend par contre-coup la mise au neutre illusoire dans la plupart des cas. Il faut absolument s'opposer à ce qu'on vende aux paysans des appareils d'une puissance exagérée, étant donné que l'augmentation des recettes provenant de la vente du courant n'est nullement en rapport avec le coût de renforcement des réseaux. Depuis quelques années nous avons souvent procédé à l'assainissement et au renforcement de réseaux. Si la ligne principale est déjà équipée en fil de cuivre de 8 mm ϕ, nous édifions de nouveaux postes de transformation, subdivisant ainsi les réseaux secondaires. Mais même lorsque les conducteurs des lignes consistent en fil de cuivre de 5...6 mm ϕ, il est souvent plus intéressant, au point de vue financier, de construire de nouveaux postes de transformation plutôt que de changer les fils, pour autant que cela n'exige pas une ligne primaire anormalement longue. Quand ces mesures permettent de réduire les longueurs de lignes à 1 km environ, il reste toujours en réserve le renforcement ultérieur de la section des conducteurs.

Systèmes de protection

Les deux systèmes en vigueur, la mise à la terre et la mise au neutre, ont pour but d'empêcher qu'en cas de défaut d'isolement, des parties d'appareils normalement inoffensives ne viennent à être sous tension. Il ne suffit pas, pour cela, de relier à la terre les coffrets d'appareils. Un calcul spécial des réseaux, leur exécution soigneuse et des contrôles périodiques sont indispensables.

Mise à la terre directe

D'après les prescriptions de l'ASE sur les installations intérieures, la mise à la terre directe doit, en cas de défaut d'isolement, assurer le déclenchement automatique de la fraction avariée de l'installation par le jeu d'un fusible dans l'espace de 5 secondes, à moins qu'aucune tension supérieure à 50 V ne puisse subsister sur la fraction avariée. Les mêmes dispositions sont valables selon l'art. 26, chiffre 4 de l'ordonnance fédérale sur les installations électriques à courant fort, pour les réseaux de distribution à basse tension où le conducteur neutre est introduit dans les installations intérieures pour mettre à la terre les carcasses d'appareils etc. Or, on sait qu'avec la mise à la terre directe le fusible ne fond que lorsque le point neutre du transformateur, aussi bien que les parties d'installations intérieures mises à la terre, sont reliés à un excellent réseau d'eau. S'il faut utiliser des électrodes de terre artificielles, telles que plaques, rubans ou tuyaux, il faut s'arranger pour qu'il ne soit pas possible d'entrer en contact avec une tension supérieure à 50 V. En principe, cela signifie qu'il faut accorder la mise à la terre du centre de l'étoile (en triphasé) avec celle des objets chez les abonnées; sauf dans des cas extrêmes, on peut en général pour cela négliger les impédances de lignes.

Il en va différemment lorsque des réseaux de distribution d'eau étendus, avec résistance à la terre de l'ordre de 0,5 à 2 ohms, sont à disposition pour y raccorder le point neutre du transformateur et les boîtiers d'appareils chez les abonnés. Avec des résistances à la terre aussi faibles, la résistance ohmique des lignes, c'est-à-dire leur section, joue aussi un certain rôle pour l'observance de la première condition (fusion du fusible).

Mise à la terre par le neutre

Avec la mise à la terre par le neutre également, il peut intervenir certaines tensions, qui ne doivent pas atteindre en permanence des valeurs dangereuses. Dans les installations mises au neutre, il faut donc veiller aussi à ce que la tension entre la carcasse d'un appareil défectueux et la terre ne dépasse pas 50 V, sinon l'objet en question doit être automatiquement séparé du réseau. Mais s'il y a plusieurs faisceaux de conducteurs dans un réseau de distribution et que le neutre de chacun d'eux soit mis à la terre au moins à son extrémité, en cas de court-circuit unipolaire toutes les terres des neutres du réseau sont alors en parallèle. Dans la plupart des cas la tension de contact va dépasser la limite de 50 V et mettre du même coup sous tension toutes les carcasses d'appareils mises au neutre. C'est pourquoi, en cas de défaut d'isolement, il est indispensable que le courant de défaut fasse fondre le fusible dans l'intervalle de 5 secondes.

Avec le système de mise à la terre directe, on se contentera en général de la fusion par le courant de défaut du fusible correspondant (ou aussi du fusible d'entrée) de l'installation intérieure dans le délai prescrit. En revanche, si un court-circuit se produit entre un conducteur actif et le neutre sur une ligne aérienne dans un réseau de distribution mis au neutre, le courant de court-circuit doit faire fondre les fusibles de sections, pratiquement de plus en plus largement dimensionnés, ou bien les fusibles de faisceaux dans les postes de transformation. L'intensité du courant de court-circuit dépend en premier lieu de l'impédance du circuit, qui comprend l'impédance du conducteur actif et l'impédance du neutre, et par conséquent des sections de conducteurs. Si le défaut se produit à proximité du poste de transformation, il convient, il est vrai, de tenir compte de l'impédance de phase du transformateur. En général, les courants de terre proprement dits qui s'écoulent entre les terres du neutre et le centre de l'étoile du transformateur, n'augmentent pas sensiblement l'intensité du courant à déclencher, à moins que des réseaux de distribution d'eau étendus ne servent au raccordement du neutre; dans ce cas, le courant de défaut est beaucoup plus intense.

Lorsque la résistance ohmique de la ligne jusqu'au défaut est telle que le courant n'atteint pas l'intensité voulue, on devra monter aux endroits appropriés des fusibles de section dans les conducteurs actifs des faisceaux de lignes, lesquels seront dimensionnés, par rapport aux fusibles de stations, de façon à fondre en cas de court-circuit.

Pour le calcul des réseaux de distribution mis au neutre, diverses entreprises ont adopté avec succès la méthode décrite par H. Ludwig, Berne, au Bulletin ASE n° 5, année 1935, sous le titre «Beitrag zur Untersuchung von Normalspannungsnetzen in bezug auf Fehlerströme und Berührungsspannungen beim Auftreten von Erdschlüssen». Lorsqu'on projette de nouveaux réseaux de distribution, il est cependant recommandable de traiter chaque faisceau pour lui-même et de négliger les courants à la terre en calculant la section des conducteurs actifs et du neutre, si toutefois l'on ne dispose pas de réseaux de distribution d'eau étendus pour le raccordement des terres du neutre. On détermine le plus souvent les impédances à l'aide de tableaux et de courbes, où cette grandeur est indiquée en fonction de la section des conducteurs et de la longueur de la ligne, pour une disposition donnée des conducteurs. La détermination de l'impédance de phase d'un transformateur par la formule simple $\frac{8}{\text{kVA}}$, pour la tension normale de 220/380 V, se base sur l'hypothèse d'une tension de court-circuit de 5 %. Cette valeur est plutôt un peu trop élevée avec les transformateurs usuels actuels. Mais elle offre une certaine marge de sécurité dans le calcul, où elle joue en quelque sorte un rôle analogue au supplément de 10 % sur l'impédance de la boucle (conducteur actif + neutre), pour tenir compte de la résistance de passage à l'endroit du court-circuit, ainsi que d'inexactitudes éventuelles dans la détermination des résistances de conducteurs. Pour un réseau calculé d'après cette méthode, on obtient bien dans certains cas des sections de conducteurs un peu trop fortes, mais on a l'assurance que les conditions de la mise au neutre sont remplies, et le réseau en question satisfait en outre à toutes les exigences concernant la chute de tension.

Pour dimensionner les coupe-circuit à fusibles ordinaires, il faut diviser le courant de court-circuit par 2,75, c'est-à-dire que le courant de défaut doit atteindre (avec les fusibles normaux des systèmes D) au moins 2,75 fois la valeur du courant nominal du fusible, pour que le déclenchement se fasse à coup sûr. Les coupe-circuit NH à degré d'inertie nul, que les CKW utilisent depuis quelques années dans les réseaux de distribution mis au neutre, ont une caractéristique un peu plus favorable, en ce sens que pour ces types de fusibles il suffit en moyenne déjà une intensité 2,3 fois supérieure au courant nominal pour faire fondre le fusible dans le temps voulu. En utilisant des disjoncteurs automatiques, où l'on peut régler indépendamment l'un de l'autre le courant et le temps de déclenchement, il est possible de charger les lignes au maximum.

En résumé, on peut dire que dans les réseaux de distribution mis à la terre par le neutre et spécialement dans ceux qui comprennent de longues lignes extérieures, il convient de dimensionner largement la section des conducteurs de phases et du neutre. A elle seule, la résistance mécanique du fil neutre requise aux chiffres 6 et 7 de l'art. 26 de l'ordonnance sur les installations à courant fort limite la section minimum de ce conducteur, qui doit être au moins égale à celle des conducteurs de phase correspondants. En effet, si le neutre se rompt entre deux points de mise à la terre, en cas de court-circuit à la terre sur un appareil mis au neutre, le courant de défaut ne retourne plus au centre de l'étoile du transformateur par le fil neutre, mais par les points à la terre. Mais alors, les tensions de défaut acquièrent des valeurs dangereuses non seulement sur l'appareil défectueux, mais sur tous les appareils mis au neutre et peuvent monter jusqu'à la tension étoilée; elles dépendent du rapport des résistances des terres individuelles.

Construction des lignes

En plaine et dans les régions mamelonnées préalpines, il est d'usage que les réseaux aériens soient formés de lignes ordinaires de portées variant entre 35 et 50 m. Les conducteurs sont en fils de cuivre demi-dur ou en cordes d'aldrey; les supports consistent en poteaux de bois imprégnés, traités préalablement au dépôt par une double injection du pied. Il arrive aussi que les poteaux en bois soient munis en cours de montage d'un bandage de 40 cm de largeur environ à la hauteur du sol. Ici la plus grande circonspection s'impose, du fait que le bétail au pâturage montre une prédilection pour ces bandages! Les substances vénéneuses du coussin salin doivent donc être bien recouvertes d'une enveloppe en aluminium, montée en manchette autour du poteau.

Les conducteurs sont montés à 40 cm l'un de l'autre, avec le neutre sur l'isolateur du haut, puis les trois fils de phase en-dessous et tout en bas le fil pour l'éclairage public. Lorsqu'on utilise l'aldrey, la distance entre conducteurs est portée à 50 cm. Comme isolateur nous employons l'isolateur à cloche brune, type RM, article n° 69/57, pour une tension de service de 3 kV. Pour les attaches, qu'il s'agisse de fils de cuivre ou de cordes en aldrey jusqu'à 50 mm² de section, on utilise les attaches ordinaires avec fil de ligature de 1,5...2 mm ϕ. Dans le réseau de l'EWA les conducteurs sont tous attachés au moyen de ligature dites «Bögli», qui ont fait leurs preuves comme attaches-arrêt durant les tempêtes de fœhn. La flèche des conducteurs en fil de cuivre demi-dur est calculée pour un tirage à 10 °C et une charge de 3,5 kg/mm²; elle est indiquée dans les prescriptions de l'entreprise pour différentes portées. Pour les joints on utilise des manchons concentriques et pour les dérivations des bornes appropriées. Comme électrodes de terre on donne la préférence aux réseaux de distribution d'eau étendues; lorsqu'il n'y en a pas, on utilise des rubans de cuivre.

En terrain de montagne tourmenté, nous sommes obligés de recourir aux lignes à grandes portées aussi pour les réseaux secondaires, utilisant les poteaux en bois principalement à cause des difficultés de transport. Nous renforçons les poetaux jumelés ou ceux pour grandes portées par des pièces métalliques, et la traction des conducteurs est assu-

mée par des haubans en acier, fixés dans le rocher par des pitons munis d'anneau ou au moyen de croix en fer enterrées à 1,50 m de profondeur au minimum et alourdies de pierres. Chaque hauban est isolé à 50 cm au moins en-dessous du conducteur le plus bas par une boule isolante. La distance entre conducteurs dépend de la longueur de la portée et doit être accrue le plus possible dans les régions où souffle le fœhn. Surtout avec ce genre de construction il est souvent désirable d'avoir des flèches plus faibles, de sorte que la corde aluminium-acier peut avoir éventuellement la préférence ici. Il est vrai que là où la ligne est exposée aux chutes de pierres, ce métal léger peut être gravement endommagé.

Lorsqu'on projette de nouvelles installations de distribution dans des régions typiques de montagne, il est indispensable d'étudier soigneusement le tracé des lignes. C'est ainsi qu'à des saisons différentes on photographie le terrain en question depuis l'autre côté de la vallée, ce qui permet, sous un éclairage convenable, de déceler très nettement les glissements éventuels de neige, les couloirs de pierres et les descentes d'avalanches. On interroge aussi les vieilles personnes sur les avalanches, de sorte que l'on est documenté pour choisir les endroits les moins exposés comme points d'implantation des supports de la ligne. Sans parler des avalanches, il suffit déjà de mouvements de neige de moindre importance, de glissements superficiels, pour araser les poteaux au niveau du sol. (En pareil cas, on peut aussi dresser des protections en amont.) Les avalanches poudreuses accompagnées d'une grande pression d'air non seulement brisent les poteaux en bois et rompent les conducteurs, mais attentent aussi à la sécurité des pylônes métalliques.

Pour s'écarter des avalanches et des chutes de pierres, il faut éviter pareilles régions, ou bien passer au-dessus avec les conducteurs. Là où ce n'est pas possible, il ne reste plus que la pose en câbles. Une situation intéressante se présente à un endroit près de Bristen, où la ligne aérienne longe une pente et où l'avalanche poudreuse a dévalé déjà souvent à grande vitesse par dessus la ligne. Il va de soi que ces poteaux doivent être solidement amarrés de tous côtés.

En été, ce sont les décharges atmosphériques, très fréquentes et très violentes surtout dans la plaine lucernoise, qui sont le grand ennemi des lignes aériennes. Pour s'en protéger efficacement, on installe des appareils parasurtensions dans les réseaux de distribution à basse tension, de préférence avant l'introduction dans l'immeuble, sur le dernier poteau. Nous n'avons pas monté de tels appareils dans les coffrets des coupe-circuit principaux.

Quant aux questions techniques en rapport avec l'emploi de supports en béton dans les réseaux de distribution à basse tension, je me permets de renvoyer à l'article paru au Bulletin ASE 1958, nº 26 (Pages de l'UCS), sous le titre «Le support en béton dans les réseaux de distribution à basse tension». L'auteur, M. J. Stösser, chef du service de construction des lignes des Entreprises électriques du canton de Zurich, compare le coût d'une ligne sur supports en béton avec celui d'une même ligne sur poteaux de bois et arrive à la conclusion suivante:

«Les expériences acquises dans la construction des lignes avec des supports en bétons ‚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...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.»

Introduction dans les maisons

Les lignes de raccordement sont construites par les entreprises électriques. Normalement, chaque immeuble ne devrait être raccordé au réseau qu'en un seul point, choisi de telle sorte que l'entrée de la ligne aérienne et les coupe-circuit principaux puissent être aménagés selon les prescriptions. Les entrées aériennes peuvent se faire soit directement par la façade, soit par potelets. On veillera toutefois à ce que les fils nus ne puissent être touchés sans accessoires spéciaux ni du sol, ni d'une partie du bâtiment accessible à chacun. En outre, les fils d'amenée doivent être aussi éloignés que possible des parties métalliques extérieures du bâtiment (tôles de faîtes et d'angle, chéneaux, gouttières, etc.), ainsi que des installations de protection contre la foudre.

Les branchements extérieurs aériens doivent se trouver à 5,5 m au moins au-dessus du sol. On évitera autant que possible de faire passer les fils par-dessus les balcons, ravancements et toits plats, ou alors on respectera une distance de plus de 4 m. A moins qu'il n'existe aucune autre possibilité, les introductions ne devront pas s'effectuer dans des locaux présentant des dangers d'incendie, ni dans des locaux poussiéreux, mouillés ou saturés de vapeurs corrosives. S'il n'est pas possible d'éviter des introductions dans de tels locaux, on enfermera les coupe-circuit d'entrée dans des coffrets réfractaires et de grande résistance mécanique. Les granges sont considérées comme des locaux présentant des dangers d'incendie et les coupe-circuit principaux ne doivent pas y être installés, ni au voisinage des crèches et des réserves de foin, où ne doivent pas passer non plus les conduites électriques destinées à d'autres locaux. En outre, on apposera des mises-en-garde.

Potelets

Pour ne pas compromettre le degré d'isolement de la ligne aérienne, il convient d'accorder la plus grande attention au tirage des fils dans le potelet et au coupe-circuit d'entrée. Les conducteurs isolés sont très exposés aux variations de température et d'humidité; ils sont en contact étroit entre eux et avec le tube du potelet. En outre, il est très difficile de contrôler périodiquement l'isolement à l'intérieur de ce tube. Les surtensions atmosphériques

peuvent provoquer des claquages à l'intérieur du potelet, ce qui peut entraîner sous certaines conditions un arc alimenté par le réseau, avec ses suites fatales.

Nous avons mis au point une introduction par potelet, qui permet un passage isolé des conducteurs à l'intérieur et jusqu'au coffret du coupe-circuit. D'autres entreprises utilisent un tube à plusieurs canaux en matière isolante, où chaque conducteur est tiré séparément dans son canal. Au Bulletin ASE 1954, n° 12, a paru un rapport sur des essais de la FKH (commission pour l'étude des questions relatives à la haute tension) concernant des introductions par potelet à tube isolant «Isodur-MK». Voici quelques indications sur les précautions à prendre avec les potelets:

Etant donné les sollicitations mécaniques auxquelles ils sont soumis, les potelets doivent consister en tubes galvanisés d'au moins 2,5″. Ils seront munis d'un chapeau protecteur pour empêcher la pluie d'entrer et seront assez longs pour que la hauteur des fils aériens (fil d'éclairage public compris) au-dessus du toit ne soit nulle part inférieure à 1,80 m. Si possible, le potelet ne devrait pas dépasser le faîte de toit ni, dans la règle, constituer un point de distribution. Son emplacement sera choisi de manière que l'extrémité inférieure débouche en un endroit bien ventilé (pas dans un local chauffable, à cause de l'eau de condensation!). Si ce montage n'est pas possible, on fixera le potelet avec le coffret des coupe-circuit sur la façade extérieure et l'on introduira la ligne à l'intérieur sous câble thermoplastique. Les tubes de potelets ne doivent pas déboucher au-dessus de tas de foin, ni les traverser; ils seront montés de telle sorte que la liaison entre potelet et coffret de coupe-circuit puisse se faire sans solution de continuité, au moyen d'une pièce d'introduction en stéatite.

A l'intérieur du potelet on ne tirera plus que des fils thermoplastiques à isolation renforcée, réfractaires à la chaleur, type Tvw; ces fils seront sans soudures ni raccords par serre-fil. Lorsque les potelets sont placés sur le sol, la tôle de fixation doit être prise dans le socle en fonte.

Les potelets qui ne reposent pas sur le plancher doivent être assurés contre tout glissement ou torsion par une vis de support, introduite dans une fente au bas du tube, et obturés par une pièce de fermeture. On évitera les raccordements à trois fils, à cause de la torsion du potelet.

Autant que faire se peut, les potelets ne devraient pas être installés à proximité immédiate des paratonnerres ou des parties métalliques du bâtiment en liaison avec la terre (distance minimum 1 m). Dans ce cas il ne faut *pas* les relier au neutre, ni au système de protection contre la foudre. Si cette distance minimum ne peut pas être respectée, ou s'il s'agit d'une toiture en tôle, alors on mettra le potelet à la terre, soit directement, soit par le neutre, et on le reliera en se servant d'une bride à l'installation de paratonnerre; dans les réseaux mis au neutre, on se servira de la même bride pour le relier au neutre. Par là, l'installation de paratonnerre sert également de fil de terre, respectivement de terre du neutre et doit par conséquent être isolée, ou montée à distance des parties combustibles du bâtiment qu'elle peut être appelée à longer.

Tout potelet qui peut être touché d'un emplacement non isolant et accessible à chacun doit être mis à la terre ou au neutre.

Introductions par la façade

Pour des motifs esthétiques, l'introduction doit se faire si possible par la façade postérieure. Les raccordements ne doivent pas se trouver sous les fenêtres; s'ils sont au-dessus ou à côté, il ne faut pas qu'on puisse toucher les fils sans autre depuis les fenêtres. Les isolateurs doivent être distants d'au moins de 70 cm dans le sens vertical et 50 cm dans le sens horizontal, et présenter si possible la même disposition que sur le poteau.

Pour traverser la maçonnerie et les parois de bois, nous utilisons des tubes en porcelaine ou en «Novodur», légèrement inclinés vers l'extérieur pour empêcher l'eau d'entrer (d'autres entreprises utilisent le tube à plusieurs canaux). Chaque conducteur est tiré séparément dans un tube ou un canal, qui aboutit directement par derrière au coffret de coupe-circuit. Les conducteurs sont groupés en faisceau.

Les introductions aériennes par la façade doivent être banies sous les toits très inclinés, afin d'éviter les perturbations provenant des glissements de neige. S'il n'est pas possible de faire autrement, on placera des pare-neige au-dessus des introductions. Exceptionnellement, nous avons aussi exécuté des introductions par câble «Isoport». Aux raccordements par la façade, il faut faire spécialement attention que les gouttes de pluie longeant les fils ne puissent pas pénétrer dans la maison. Ce risque se présente surtout avec les fils très inclinés, où il convient si possible de placer le tube d'entrée au-dessus de l'isolateur; sinon il faut prévoir des égouttoirs.

Introductions par câbles

Ce type d'introduction est de plus en plus répandu aussi dans les régions campagnardes, par exemple pour raccorder de grands bâtiments, tels que maisons locatives, exploitations artisanales et agricoles, ou bien dans les localités aux constructions serrées. La conférence de M. Strehler s'est suffisamment étendue là-dessus.

Lignes à haute tension

Ce que j'ai à dire de la construction des lignes à haute tension se borne aux tensions moyennes de 12, 16 et 50 kV. Le projet de telles lignes doit ménager autant que possible le paysage. Le tracé sera rectiligne sur les plus grandes distances possible et l'on évitera les angles brusques. Pour les tensions mentionnées, ces artères peuvent être édifiées en lignes ordinaires ou en lignes à grandes portées. Pour des raisons d'exploitation, on donne la préférence au systême en boucle fermée. Comme supports, jusqu'à 20 kV ce sont surtout les poteaux de bois ou de béton, pour des tensions supérieures les pylônes en bois, en béton ou en fer qui entrent en ligne de compte. Les poteaux de bois sont fixés aussi en partie sur un socle en fonte ou en béton, lorsque la nature du terrain le commande pour éviter la pour-

riture du bois, ou bien là où les prescriptions l'exigent, comme par exemple aux croisements de chemins de fer. En maint endroit on emploie des supports en béton centrifugé pour des portées de 80... 120 m. Lorsque les portées peuvent être fixées à 120 m et qu'il est possible de se contenter de quelques rares supports d'angle, une ligne sur supports en béton est plus avantageuse qu'une ligne ordinaire sur poteaux de bois, non seulement au point de vue financier, mais aussi à cause de la plus grande sécurité d'exploitation. Toutefois, en montagne, les possibilités et les frais de transport des supports en béton jouent un rôle prépondérant.

Pour les lignes ordinaires, nous avons adopté une disposition uniforme des conducteurs, distants de 70 cm l'un de l'autre, quelle que soit la tension (12, 16 ou 50 kV). Les conducteurs sont fixés aux isolateurs par ligatures «Bögli». Comme isolateurs nous utilisons le type Beznau pour 12 et 16 kV, et le type Delta à large chapeau pour 50 kV. Les lignes à grandes portées sont équipées de chaînes d'isolateurs de suspension ou d'amarrage, avec emploi de l'élément à double chapeau type Motor et de l'élément simple Ohio Brass. Pour 16 kV il suffit d'un seul isolateur Motor ou de deux isolateurs Ohio Brass, pour 50 kV de deux et quatre éléments de ces types respectifs. La profondeur des trous pour les poteaux varie suivant la longueur de ceux-ci, par exemple entre 1,5 et 2 m pour des poteaux de 10...15 m; les poteaux sont consolidés par deux ou trois couronnes de pierres. Les poteaux jumelés en bois sont montés le plus souvent sur socle spécial et maintenus à distance convenable par des pièces réglables vissées. Pour ne pas être obligés de faire sauter des trous dans le rocher, nous avons étudié un socle en fer, ancré sur le roc par quatre vis appropriées. Dans des régions écartées du canton d'Uri se trouvent en outre quelques exécutions spéciales pour des portées de l'ordre de 500...1000 m, avec grandes dénivellations. Pour réaliser de grandes distances entre phases ou entre conducteurs, ce qui nécessite des supports individuels pour chacun d'eux, nous avons amarré directement les cordes métalliques au rocher, en interposant une chaîne d'isolateurs quelques mètres avant le point d'ancrage. Ce type d'amarrage a trouvé une application au point de départ d'une ligne destinée à alimenter un poste temporaire de transformation sur le chantier de Göscheneralp.

Pour les lignes à haute tension très chargées, nous utilisons comme disjoncteur de section le type monté sur poteau et muni de compartiments d'extinction d'arc, d'une puissance de rupture de 8500 kVA.

Pour les départs de câbles, par exemple vers un poste de transformation à partir d'une ligne aérienne à haute tension ininterrompue, nous montons sur un support en béton, au-dessous des conducteurs, un sectionneur de dérivation avant la boîte d'extrémité du câble. Quand des interrupteurs de lignes aériennes sont montés sur poteaux en bois, nous mettons le plus souvent le mécanisme de commande isolé de l'interrupteur à la terre par un ruban de cuivre séparé. Lorsqu'il s'agit de supports métalliques ou en béton, c'est tout l'ensemble, support et mécanisme, qui doit être bien mis à la terre.

Pour les lignes sur poteaux de bois, nous n'avons tiré une corde de terre qu'aux endroits très exposés aux coups de foudre. En revanche, les supports en béton et en fer sont normalement reliés entre eux par une corde de terre, de sorte qu'il est toujours possible d'obtenir de bonnes terres à quelques endroits. Au sommet du Fronalpstock, à 2000 m d'altitude, en plus des parafoudres sur le support en bois où la ligne aérienne passe en câble, nous avons fixé sur une assez grande longueur, des tiges de fer à chaque poteau en guise de paratonnerres; mais ces tiges ne se sont révélées entièrement efficaces qu'après qu'on les eût toutes reliées entre elles par un fil de cuivre enterré dans le sol et longeant le tracé de la ligne.

En montant un très grand nombre de parafoudres dans nos réseaux à haute tension, nous avons pu réduire sensiblement les déclenchements et les dégâts par décharges atmosphériques. En outre, on évite les détériorations importantes dues aux arcs permanents qui suivent les décharges, grâce à des temps de déclenchement très brefs. A cet égard, la protection sélective rapide à distance s'est avérée très précieuse dans le réseau à 50 kV.

Fr.: Bq.

Adresse de l'auteur:
M. Ammann, chef d'exploitation du Service électrique d'Altdorf, Altdorf.

Communications de nature économique

Le rôle des différents agents énergétiques dans la production d'énergie électrique aux Etats-Unis

620 9: 621.311.1(73)

Dans un article paru récemment sous le titre «King Coal to Reign through 1975» dans «Electrical World»[1]), figurent quelques estimations sur la part qui reviendra ces 15 prochaines années aux différents agents énergétiques dans la production d'énergie électrique aux Etats-Unis. Comme on sait, la production d'électricité aux USA repose pratiquement sur tous les agents énergétiques bruts qui existent et dont ce pays dispose lui-même en grande quantité, soit le charbon, le mazout, le gaz naturel, la force hydraulique et l'uranium. En nous appuyant sur cette étude et sur un résumé publié au numéro 16 d'«Economie électrique», le bulletin trimestriel de l'UNIPEDE, nous donnons ci-après quelques chiffres d'intérêt général.

La production des entreprises livrant l'énergie à des tiers s'est élevée à 631,4 TWh aux Etats-Unis en 1957. Pour l'année 1965, «Electrical World» compte sur une production de 1175 TWh et pour 1975 sur 2400 TWh. Les agents énergétiques bruts ont participé en 1957 dans les proportions suivantes à la production d'électricité:

charbon	55%
force hydraulique	20%
gaz naturel	18%
huile minérale	7%

Quelle évolution doit-on attendre à l'avenir?

La part des forces hydrauliques, qui atteignait 20% en chiffre rond en 1957, diminuera relativement vite. Même en admettant que la moitié des sites enregistrés par la Federal Power Commission soient mis en valeur jusqu'en 1975, l'énergie électrique d'origine hydraulique ne représenterait plus alors que 11% environ de la production totale. Mais il ne faut pas perdre de vue que, pour des raisons politiques et vu l'accroissement relativement rapide du coût de construction des usines hydrauliques, il

[1]) «Electrical World», tome 149, 1958, n° 21, p. 101...104.

convient de compter plutôt avec une tendance régressive dans l'aménagement futur des cours d'eau.

Bien qu'en 1975 les réserves d'huile minérale seront encore considérables (au 31 décembre 1956 on les estimait à 4,8 milliards de mètres cubes, ce qui correspond à la consommation d'une douzaine d'années; jusqu'ici l'expérience a montré que les gisements de pétrole découverts annuellement correspondent à une augmentation de la capacité de production supérieure à l'augmentation de la production réelle), la part de l'huile lourde à la production d'énergie électrique va probablement reculer. A l'heure qu'il est, l'huile lourde ne représente que 15% environ des produits de raffinage du pétrole et il est probable que ce pourcentage diminuera encore, par suite des efforts constants déployés pour obtenir des produits de plus en plus précieux. D'autre part, l'huile lourde devrait être réservée au profit de ceux des consommateurs qui tirent de cette matière première un parti plus économique que les entreprises électriques. Il est à prévoir que son prix montera de nouveau ces années prochaines et qu'en 1975 il dépassera peut-être de 40% celui de 1957.

On peut faire les mêmes réflexions quant à l'usage de gaz naturel pour produire de l'énergie électrique, car son prix renchérit également. Si l'évolution actuelle se poursuit, le gaz naturel reviendra deux fois plus cher en 1975 qu'en 1957. La part du gaz naturel à la production d'électricité atteignit son maximum en 1954 avec 25,7%. Mais elle est déjà tombé à 18% et dépassera à peine 12% en 1975, à moins qu'on découvre entre temps de grosses réserves de gaz naturel. On estime actuellement à 6700 milliards de mètres cubes les réserves de gaz naturel.

Contrairement aux trois agents énergétiques précités, il est à prévoir que la part du charbon à la production globale d'énergie électrique passera de 55% en 1957 à 66% au moins en 1975, c'est-à-dire à 1600 TWh environ. Les gisements de charbon sont encore très étendus; on les estime à 943 milliards de tonnes de houille et à 525 milliards de tonnes de lignite.

Quant aux réserves de combustibles nucléaires, elles sont très considérables aux Etats-Unis.

Exprimés en kcal, les gisements économiquement exploitables de combustibles classiques et nucléaires se répartissent comme suit:

charbon (tourbe comprise)	$15{,}6 \times 10^{17}$ kcal
huile minérale	$1{,}5 \times 10^{17}$ kcal
gaz naturel	$0{,}5 \times 10^{17}$ kcal
combustibles nucléaires	$37{,}0 \times 10^{17}$ kcal

Pour évaluer la part relative que les différents agents énergétiques prendront ces prochaines années à la production d'électricité, «Electrical World» a tenu compte des facteurs suivants: réserves, dépenses, besoins de capitaux, concurrence de l'électricité avec d'autres formes d'énergie, climat politique. Il résulte des considérations ci-dessus qu'on peut s'attendre à ce que le charbon maintienne sa prédominance dans la production d'électricité ces 20 prochaines années. Même si le coût de l'énergie électrique produite dans les usines atomiques vient à baisser, il est peu probable que l'énergie nucléaire joue déjà un rôle déterminant comme agent énergétique en 1975. Sa part dépassera alors à peine 4%. Dans la plupart des régions des USA le prix de revient de l'énergie électrique dans les usines hydrauliques et dans les usines thermiques classiques sera inférieur à celui de l'électricité dans les usines atomiques.

Il ne faut pas oublier, il est vrai, que les pronostics sur l'évolution future de l'économie électrique demeurent incertains, comme d'une façon générale dans le domaine de l'économie. Ceci est d'ailleurs valable aussi lorsqu'il s'agit de prédire le développement des besoins d'énergie en général et d'énergie électrique en particulier. Fl./Bq.

Prix moyens (sans garantie)

le 20 du mois

Métaux

		Mai	Mois précédent	Année précédente
Cuivre (fils, barres) [1].	fr.s./100 kg	295.—	295.—	230.—
Etain (Banka, Billiton) [2]	fr.s./100 kg	980.—	980.—	900.—
Plomb [1]	fr.s./100 kg	93.—	93.—	92.—
Zinc [1]	fr.s./100 kg	97.—	94.—	84.—
Fer (barres, profilés) [3]	fr.s./100 kg	49.50	49.50	56.50
Tôles de 5 mm [3] . .	fr.s./100 kg	47.—	47.—	61.—

[1]) Prix franco Bâle, marchandise dédouanée, chargée sur wagon, par quantité d'au moins 50 t
[2]) Prix franco Bâle, marchandise dédouanée, chargée sur wagon, par quantité d'au moins 5 t
[3]) Prix franco frontière, marchandise dédouanée, par quantité d'au moins 20 t

Combustibles et carburants liquides

		Mai	Mois précédent	Année précédente
Benzine pure / Benzine éthylée [1]	fr.s./100 kg	37.—	37.—	40.—
Carburant Diesel pour véhicules à moteur [2]	fr.s./100 kg	35.20	35.20	36.15
Huile combustible spéciale [2]	fr.s./100 kg	16.15	16.15	15.50
Huile combustible légère [2]	fr.s./100 kg	15.45	15.45	14.70
Huile combustible industrielle moyenne (III) [2]	fr.s./100 kg	12.10	12.10	11.50
Huile combustible industrielle lourde (V) [2]	fr.s./100 kg	10.90	10.90	10.30

[1]) Prix-citerne pour consommateurs, franco frontière suisse Bâle, dédouané, ICHA y compris, par commande d'au moins 1 wagon-citerne d'environ 15 t.
[2]) Prix-citerne pour consommateurs (industrie), franco frontière suisse Buchs, St-Margrethen, Bâle, Genève, dédouané, ICHA non compris, par commande d'au moins 1 wagon-citerne d'environ 15 t. Pour livraisons à Chiasso, Pino et Iselle: réduction de fr.s. 1.—/100 kg.

Charbons

		Mai	Mois précédent	Année précédente
Coke de la Ruhr I/II [1]	fr.s./t	105.—	105.—	136.—
Charbons gras belges pour l'industrie				
Noix II [1]	fr.s./t	81.—	81.—	99.50
Noix III [1]	fr.s./t	78.—	78.—	99.—
Noix IV [1]	fr.s./t	76.—	76.—	97.—
Fines flambantes de la Sarre [1]	fr.s./t	72.—	72.—	87.50
Coke français, Loire [1]	fr.s./t	124.50	124.50	144.50
Coke français, nord [1] .	fr.s./t	119.—	119.—	136.—
Charbons flambants polonais				
Noix I/II [2]	fr.s./t	88.50	88.50	101.—
Noix III [2]	fr.s./t	82.—	82.—	100.—
Noix IV [2]	fr.s./t	82.—	82.—	100.—

[1]) Tous les prix s'entendent franco Bâle, marchandise dédouanée, pour livraison par wagons entiers à l'industrie.
[2]) Tous les prix s'entendent franco St-Margrethen, marchandise dédouanée, pour livraison par wagons entiers à l'industrie.

Rédaction des «Pages de l'UCS»: Secrétariat de l'Union des Centrales Suisses d'électricité, 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.