

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 47 (1956)
Heft: 26

Artikel: La pose de câbles à 50 kV à travers le lac de Zurich
Autor: Schilling, E. / Wüger, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1058242>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 25.12.2024

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

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

ORGANE COMMUN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS (ASE) ET
DE L'UNION DES CENTRALES SUISSES D'ELECTRICITE (UCS)

La pose de câbles à 50 kV à travers le lac de Zurich

Par Ed. Schilling, Bienne, et H. Wüger, Zurich

621.315.28(494.34)

Résultats des études préliminaires détaillées en vue de la pose peu ordinaire de deux câbles à travers le lac de Zurich et description des dispositifs de pose. Les auteurs donnent également des indications sur la construction et les dimensions des câbles, le procédé de pose, les postes de couplage et les dispositifs de protection.

Die Ergebnisse der ausführlichen Vorstudien für die nicht alltägliche Kabelverlegung durch den Zürichsee werden mitgeteilt und die Verlegungseinrichtungen beschrieben. Besondere Abschnitte befassen sich mit dem Aufbau des Kabels und seinen Abmessungen, sowie mit dem Verlegungsvorgang, den Übergangsstationen und den Schutzeinrichtungen.

1. Historique et raisons qui ont motivé la pose des câbles

Le lac de Zurich, d'une longueur de plus de 40 km, a toujours été un obstacle pour l'extension des réseaux de distribution, bien que sa largeur ne soit que d'environ 2 km à son extrémité aval. C'est en 1928 que fut réalisée la première liaison entre les communes de Thalwil et d'Erlenbach par deux câbles prévus pour 15 kV¹⁾. Ces câbles massifs à trois conducteurs, d'une longueur de 1,9 km et capables de transporter une puissance de 4400 kVA chacun, sont demeurés en service sous 8 kV durant 25 ans, puis sous 16 kV sans interruption depuis 1953. Au cours de 28 années d'exploitation, ces câbles immergés n'ont donné lieu à aucune perturbation.

Une deuxième liaison analogue par câbles fut installée en 1940 entre Wädenswil et Männedorf, avec une longueur simple de 3,4 km. Cette installation fonctionne également sans incidents²⁾.

Le rapide développement des faubourgs de Zurich a naturellement provoqué une forte augmentation de la demande d'énergie électrique, ce qui obligea les Entreprises Electriques du Canton de Zurich (EKZ) et leurs revendeurs d'étendre et de renforcer activement leurs réseaux de distribution. En outre, les fabricants, les artisans et même les ménagères sont devenus beaucoup plus sensibles aux pannes de courant qu'autrefois. Il fallait donc prendre toutes dispositions utiles pour assurer une distribution constante de l'énergie électrique, avec le minimum d'incidents d'exploitation.

La sous-station de Herrliberg, mise en service comme provisoire en 1945 et définitivement en 1954, n'était alimentée que par une unique ligne aérienne de 50 kV, d'une longueur de 11 km. Depuis plusieurs années déjà, on songeait à établir une

liaison entre les sous-stations à 50 kV de Herrliberg et de Thalwil.

2. Investigations préalables

a) Choix du tracé

Les premiers projets prévoyaient une ligne aérienne à 50 kV partant de la sous-station de Herrliberg jusque dans la région de la Kittenmühle et de ne poser un câble que depuis là. Il a fallu toutefois renoncer à cette solution, car il en serait résulté un trop grand nombre de lignes aériennes dans ce secteur, où à côté de lignes à 16 kV d'autres lignes de cette tension sont prévues. En raison de la densité des constructions du côté de Thalwil, il fallait également renoncer à l'établissement d'une ligne aérienne sur cette rive. Un tracé quasi rectiligne ayant pu être déterminé, cela permettait un raccourcissement de 0,8 km. Les frais de cette plus courte liaison par câbles n'étaient estimés qu'à 18 000 francs, soit 1 % supérieurs à ceux d'une solution combinée avec lignes aériennes et câbles selon un tracé nécessairement plus long. Ce fait a grandement facilité la décision d'établir toute la liaison avec des câbles. Les figures 1 et 2 représentent le tracé adopté, ainsi que le profil en long, qui indique les longueurs des câbles, les distances horizontales et les dénivellations qui devaient être franchies.

b) Genre de câbles

La S. A. des Forces Motrices du Nord-Est de la Suisse (NOK), qui avait installé et exploité les lignes à 50 kV alimentant le réseau des EKZ, s'est également chargée des premières études de la liaison Thalwil—Herrliberg. Conformément à un rapport d'expertise du professeur J. van Stavernen de la KEMA, à Arnheim (Pays-Bas), elle a finalement décidé qu'un câble triphasé à huile convenait le mieux pour la traversée du lac. L'aménagement plus intensif des réseaux à 150 kV de la NOK avait

¹⁾ cf. Bull. ASE t. 19(1928), n° 23, p. 756...761.

²⁾ cf. Bull. ASE t. 31(1940), n° 9, p. 214, et t. 32(1941), n° 12, p. 267...271.

montré entre temps que les lignes à 50 kV ont maintenant moins d'importance pour les transports à grandes distances, de sorte que les lignes de cette tension ne peuvent désormais avoir qu'un caractère régional. Au début de 1954, la NOK et les EKZ convinrent donc que la ligne à 50 kV entre Herrliberg et Thalwil serait installée par les EKZ et exploitée dès le début par celles-ci.

Afin d'obtenir une liaison sûre, il fut décidé que la partie immergée du câble serait d'un seul tenant, c'est-à-dire sans manchon. Vu le poids considérable que cela exigeait, les câbleries suisses renoncèrent à faire une offre. Les câbleries anglaises, hollandaises et italiennes étant surchargées de travail, seuls des fournisseurs français et allemands entraient

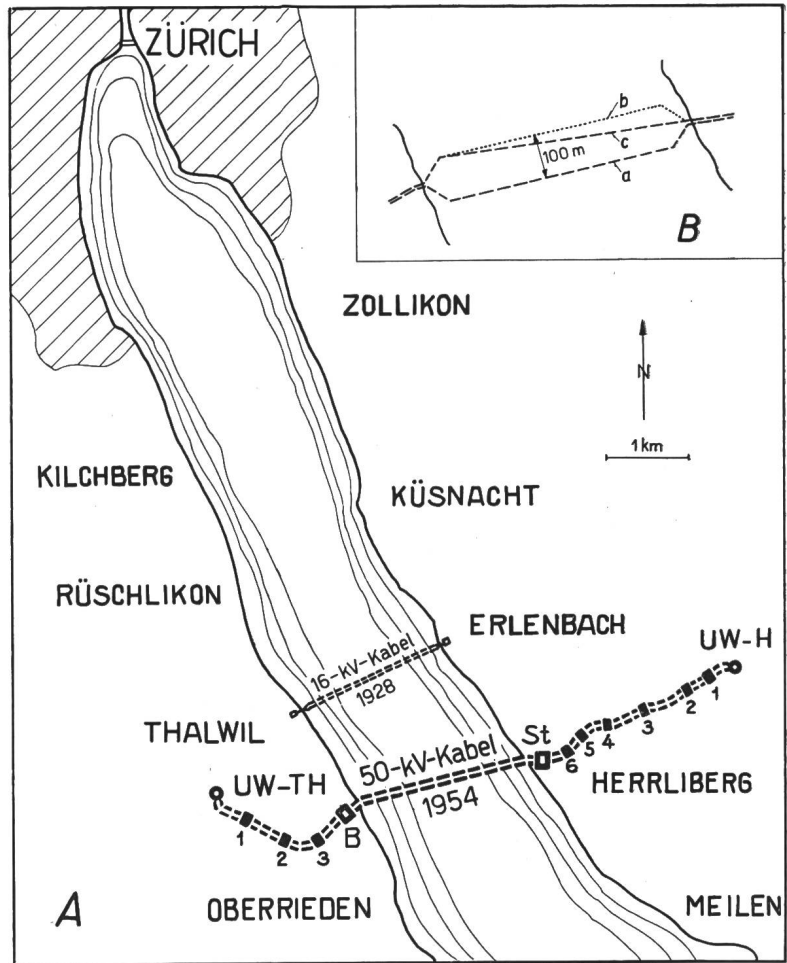


Fig. 1

Tracé de la liaison par câbles à 50 kV

- A Plan de situation
UW-TH Sous-station de Thalwil; UW-H Sous-station de Herrliberg; B Poste de transition de Bürger; St Station de coupure de Steinrad; 1...6 Chambres souterraines pour les manchons de retenue
- B Tracés des câbles dans le lac
a Tracé du câble «sud»; b Tracé prévu pour le câble «nord»; c Tracé modifié du câble «nord»

SEV25021

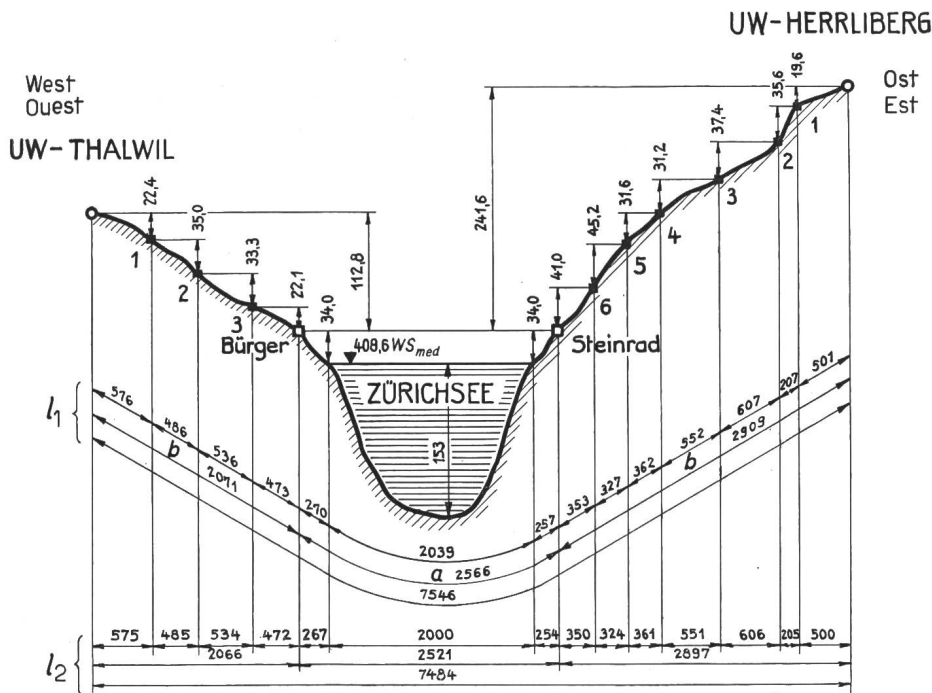


Fig. 2

Profil en long de la liaison par câbles

Hauteurs dessinées à une échelle environ 10 fois plus grande
Mesures en m

1...6 Chambres souterraines pour les manchons de retenue; a Câbles immergés; b Câbles enterrés; l_1 Longueurs des câbles; l_2 Longueurs mesurées à l'horizontale; WS_{med} Niveau moyen du lac

en ligne de compte. La commande des câbles à immerger fut finalement passée aux Câbles de Lyon, entreprise qui était à l'origine la filiale française de la Société d'exploitation des câbles élec-

triques, système Borel, à Cortaillod. Des investigations détaillées pour les tracés des câbles enterrés montrèrent que, parmi les genres de câbles susceptibles d'entrer en ligne de compte (câbles à matière visqueuse, câbles à huile et câbles à gaz comprimé), il y avait lieu de préférer les câbles à huile. La comparaison des prix montra en outre qu'il fallait renoncer, du moins pour l'instant, aux câbles à huile à haute pression. Cette décision

SEV25022

nécessita une subdivision du tracé souterrain, afin que la pression statique de l'huile ne dépasse nulle part 5 kg/cm². En raison des dénivellations à franchir, il fallait prévoir 4 et 7 tronçons, respectivement, chacun d'eux étant fermé par rapport au tronçon suivant par un manchon de retenue.

Etant donné l'importance de la liaison, on décida la pose de deux lignes parallèles, afin qu'en cas de perturbation on puisse encore disposer de la moitié de la capacité de transport de 50 000 kVA.

Dans les stations de couplage de Bürger (côté Thalwil) et de Steinrad (côté Herrliberg), on a en outre la possibilité d'établir des liaisons transversales entre les tronçons partiels des deux lignes.

3. Caractéristiques des câbles

Les principales caractéristiques des câbles sont indiquées au tableau I. En outre, les figures 3 et 4 montrent les sections.

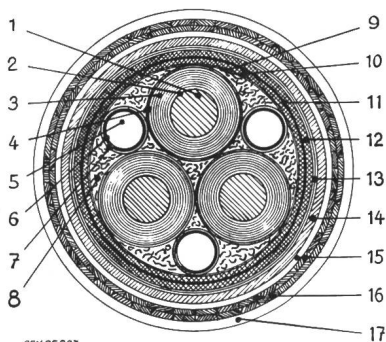


Fig. 3
Section des câbles immergés
Diamètre 84 mm (Lyon)

- 1 Conducteurs de cuivre; 2 Couche semi-conductrice; 3 Isolation des âmes (papier); 4 Protection Höchstädter; 5 Canal d'huile; 6 Spirale supportant le canal d'huile; 7 Papier; 8 Bourrage; 9 Ruban de coton métallisé; 10 Première gaine de plomb; 11 Masse compound; 12 Deuxième gaine de plomb; 13 Ruban de coton métallisé; 14 Protection contre la corrosion; 15 Jute; 16 Armure de fils méplats; 17 Jute extérieur

Les trois conducteurs en cuivre sont entourés de papier spécialement traité. Pour assurer une bonne circulation de l'huile d'imprégnation, trois canaux sont ménagés dans les bourrages entre les conducteurs isolés (fig. 3). Les câbles immergés possèdent

deux gaines de plomb, tandis que les câbles enterrés n'en possèdent qu'une seule, mais plus épaisse. Les câbles immergés sont protégés de la corrosion par une gaine sans soudure en polyéthylène et les câbles enterrés le sont par une couche de rubans de caoutchouc à recouvrement. L'armure longitudinale en feuillard d'acier de tous les câbles (fig. 3 et 4) absorbe les efforts de traction durant la pose et sert également de protection contre les endommagements.

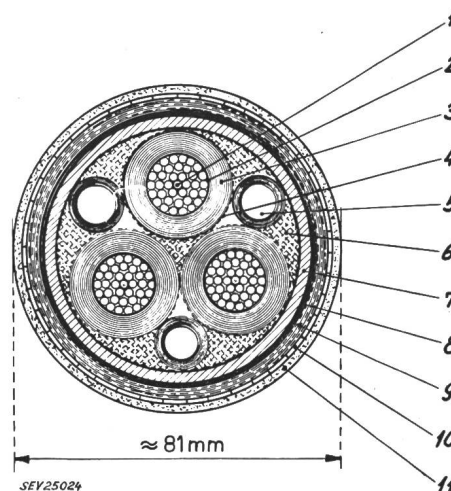


Fig. 4
Section des câbles enterrés
(Brougg et Cortaillod)

- 1 Conducteurs de cuivre; 2 Couche semi-conductrice; 3 Isolation des âmes (papier); 4 Protection Höchstädter; 5 Canal d'huile; 6 Bourrage (ficelle de papier); 7 Gaine de plomb; 8 Armure de pression (ruban d'acier); 9 Protection contre la corrosion (sandwich de caoutchouc); 10 Armure de traction (fils méplats); 11 Jute bitumé

4. Préparatifs et exécution de la pose des câbles immergés

a) Relevés du profil transversal du lac

Pour déterminer exactement les longueurs des câbles à immerger, le profil transversal du lac a été mesuré par sondages. Près des rives abruptes, les points de mesure étaient distants d'environ 10 m, ailleurs d'environ 20 m. Afin d'éviter avec certitude une superposition des deux câbles parallèles, on a prévu de poser ceux-ci dans le lac à 100 m l'un de

Tracé de la ligne et caractéristiques des câbles

Tableau I

	Dimension	Câbles immergés (par ligne)	Câbles enterrés (par ligne)	
			Côté Thalwil	Côté Herrliberg
Longueur, commandée ...	m	2700	2140	2920
Longueur moyenne du tracé ...	m	2572	2065	2910
Distance horizontale moyenne ...	m	2526	2060	2900
Dénivellation ...	m	0	112,8	241,6
Nombre de manchons de retenue ...		0	3	6
Sections de cuivre ...	mm ²	3 × 102,6	3 × 120	3 × 120
Épaisseur de l'isolation des conducteurs ...	mm	6,0	6,5	6,5
Épaisseur de la gaine de plomb ...	mm	2 × 1,6	3,0	3,0
Armures de pression ...	mm	20 × 0,5	2 (15 × 0,5)	2 (15 × 0,5)
Protection contre la corrosion ...	Genre	Polyéthylène sans soudure	Ruban de caoutchouc	Ruban de caoutchouc
Épaisseur ...	mm	2,5	2,3	2,3
Armures de traction ...	mm	40 (6 × 1,7)	42 (5 × 1,7)	40 (5 × 1,7)
Diamètre sur enveloppe de jute ...	mm	84	81	81
Poids du câble ...	kg/m	19,9	18	18
Fabrication ...		Lyon	Brougg	Cortaillod

l'autre. Vers les rives, ils se rapprochent et, à partir d'une profondeur d'environ 10 m d'eau, ils sont logés directement l'un à côté de l'autre dans la même tranchée. La traversée du lac par deux lignes dans des tracés séparés exigeait le relevé de deux profils transversaux. Les longueurs des deux lignes sont pratiquement les mêmes, à savoir 2064 et 2067 m.

Les relevés se firent depuis une barque de sondage, dont la distance par rapport à la rive était déterminée par visées latérales à l'aide d'un théodolite. Ce travail fut grandement facilité par une liaison téléphonique à haute fréquence entre les postes de théodolite sur les rives et la barque de sondage. Pour tenir compte des erreurs de mesure et des imprécisions éventuelles lors de la pose des câbles, on avait admis un supplément de 3 % sur les longueurs des câbles à immerger.

b) Choix du procédé de pose

Grâce à l'amabilité des câbleries suisses participantes et aux expériences faites par celles-ci lors de la pose de câbles dans d'autres lacs suisses, il fut convenu avec les Câbles de Lyon, agissant en qualité d'entreprise responsable de la pose, que celle-ci aurait lieu selon le procédé décrit ci-après.

Le câble, amené de Lyon par chemin de fer, devait être transbordé sur le bateau de pose. Du fait qu'aux faibles vitesses convenant à la pose la commande était très difficile pour la traversée du lac, en raison des variations des courants d'eau et des vents, le mouvement de déplacement du bateau a été assuré par un câble de traction de 14 mm d'épaisseur et de 2300 m de longueur. Ce câble d'acier était fixé du côté de Thalwil à une batterie de pieux et conduit à travers le lac jusqu'au bateau de pose situé à la rive de Herrliberg. A l'aide d'un treuil qui enroulait ce câble d'acier sur le bateau, celui-ci était tiré sur le lac, tandis que le câble électrique se déroulait à la poupe.

c) La flottille de pose

La fig. 5 montre l'équipement du bateau de pose, qui était la barque KIBAG n° 6, de 43,2 m de longueur et 6,25 m de largeur, capable de supporter une charge utile de 300 t. Il est intéressant de noter que ce même bateau avait déjà servi aux deux poses de câbles des EKZ dans le lac de Zurich, en 1928 et 1940, mais il était alors plus court et avait une coque en bois.

Dans la proue se trouvait le treuil entraîné par un moteur de 25 ch, tandis que le grand touret du câble d'environ 11 tonnes était placé transversalement au centre de la barque. Ce touret pouvait être entraîné par un moteur électrique et freiné à la main à l'aide d'un frein à mâchoires. Plus en arrière était montée la machine de pose prête par les Câbles de Lyon. Ce «transporteur» entraîné électriquement et dans lequel le câble se déplaçait au moyen de deux bandes à chenilles permettait de régler la vitesse du câble, aussi bien au déroulement qu'à l'enroulement (fig. 6). A la poupe se trouvait la grande roue de pose, sur laquelle le câble glissait dans le lac. Un indicateur servait à

contrôler la traction exercée sur le câble. L'énergie électrique nécessaire au fonctionnement des moteurs du touret et du transporteur, ainsi qu'à l'éclairage, était produite par un alternateur de 55 kW (75 ch) entraîné par moteur Diesel installé

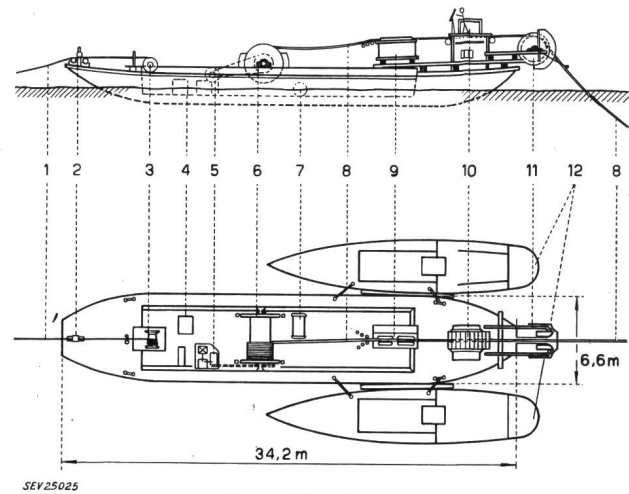


Fig. 5

Equipement du bateau de pose des câbles

- 1 Câble métallique de traction; 2 Dynamomètre; 3 Treuil à moteur 4 Alternateur de 75 ch, entraîné par moteur Diesel; 5 Entraînement du touret; 6 Touret avec freins à mâchoires; 7 Réservoir d'huile sous haute pression; 8 Câble à huile; 9 Entraînement à chenille, réversible; 10 Poste de commande avec appareil radiotéléphonique et télémètre; 11 Dispositif dérouleur (roue de 2 m de diamètre); 12 Bateaux à moteur d'accompagnement

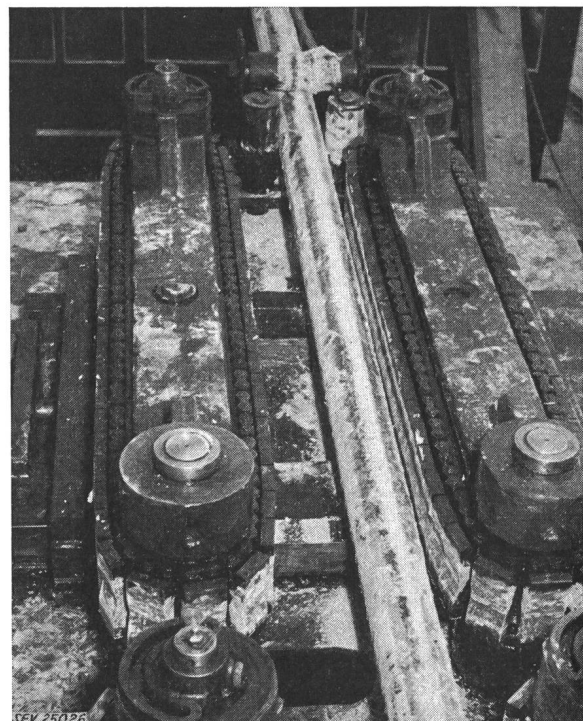


Fig. 6

Dispositif dérouleur («transporteur») ouvert

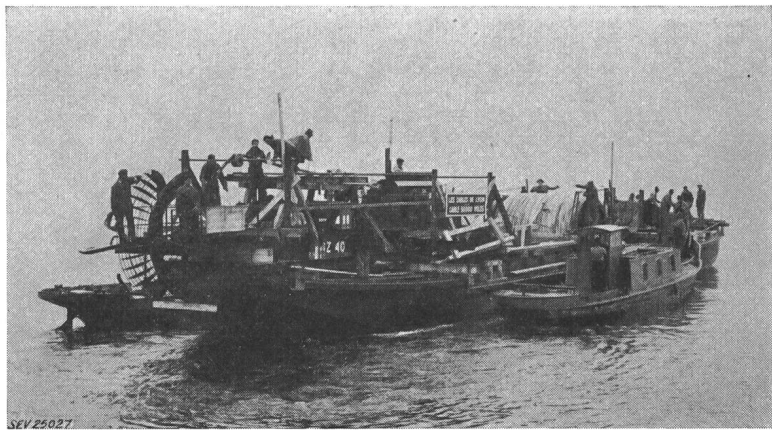
sur le bateau. Des radiotéléphones portatifs étaient utilisés pour communiquer avec les deux rives, comme lors des relevés des profils.

Pour le déplacement du bateau, on disposait non seulement du câble de traction en acier, mais aussi d'un moteur de 40 ch. L'action du gouvernail étant peu sûre à la faible vitesse de déplacement, des bateaux à moteur Diesel de 40 ch chacun furent amarrés rigidement à bâbord et à tribord, pour corriger la dérive (fig. 5 et 7).

Dans le but de s'exercer à la manœuvre du bateau, le câble de traction fut posé quelques jours avant les opérations. Le bateau était fixé à la rive de Herrliberg par l'intermédiaire d'un dynamomètre. On a pu de la sorte mesurer les efforts exercés par les moteurs du bateau et par le treuil. A la puissance maximum du moteur du bateau, le dynamomètre indiquait une traction de 2,5 t, force qui aurait suffi pour parer sans difficulté à une défaillance du câble de traction durant le processus de pose. Pour le rapport de transmission adopté, le treuil à moteur exerçait une traction de 5 t, de sorte que l'on disposait au total de 7,5 t. En outre, en cas de perturbations, on avait en réserve un bateau à moteur de 250 ch, qui aurait pu être amené sur place en moins d'une demi-heure.

Fig. 7

Bateau de pose des câbles, avec les deux bateaux à moteur d'accompagnement



A la profondeur maximum du lac d'environ 150 m, le poids de la partie suspendue du câble était de l'ordre de 2 t, déduction faite de la force ascensionnelle. Pour le déplacement de la flottille et le tirage du câble, on tablait sur une force de

l'on ne prévît pas de forces supérieures à 4 t, l'ancrage du câble d'acier fut renforcé.

Le montage de l'équipement de pose sur la barque demanda 9 jours, y compris la course d'essai.

d) Amenée des câbles à immerger

Les câbles à immerger furent transportés par train de Lyon à Horgen, seul endroit où le truck surbaissé pesant quelque 106 t pouvait être rapproché le plus de la rive du lac. Comme on ne disposait pas d'une grue d'une capacité suffisante, le transbordement dut se faire par renvidage sur un touret vide, installé préalablement dans la barque (fig. 8). Pour cela, le touret du truck et celui du bateau furent tournés chacun par un moteur élec-

trique, ce qui a permis de réenrouler le câble avec le maximum de ménagement. Ce travail demanda 3 à 4 heures, après quoi le bateau se dirigea par ses propres moyens vers Herrliberg, où le premier des câbles parvint le 2 novembre 1954.

e) La pose des câbles dans le lac

Les conditions des vents et la forme des rives (rive abrupte à Herrliberg) obligeaient de commencer la pose à partir de l'est (Herrliberg) en direction ouest (Thalwil). La pose du premier câble eut lieu les 3 et 4 novembre 1954, celle de l'autre câble le 8 novembre.

Les câbles à huile doivent être maintenus constamment sous pression, même durant leur pose, afin que l'isolation des conducteurs imprégnés

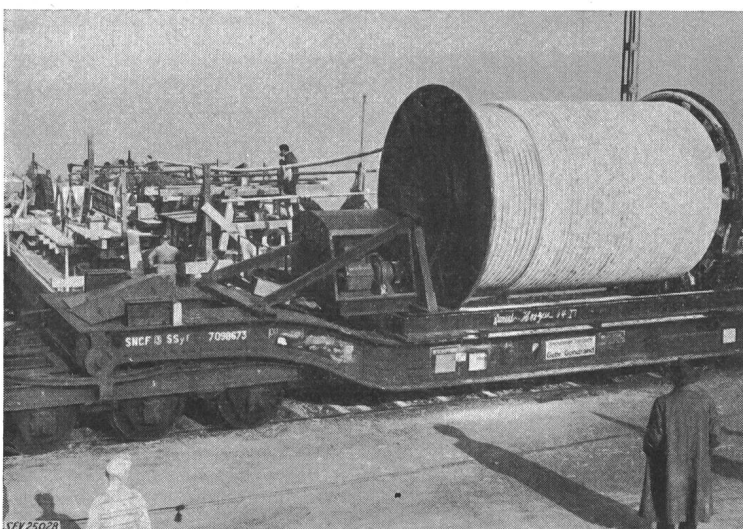


Fig. 8

Renvidage du câble à immerger, à Horgen, du truck surbaissé au bateau de pose. A gauche du touret, son dispositif d'entraînement à moteur

traction de 4 t au maximum. A l'effort de traction le plus élevé, de 5 t, exercé à titre d'essai sur le câble d'acier, l'ancrage à Thalwil avait cédé par suite d'une trop forte pression sur le sol. Bien que

sous vide élevé ne soit pas endommagée. Dans ce but, des réservoirs d'huile sont en communication avec la partie active du câble. Ces réservoirs sont eux-mêmes maintenus constamment sous pression par

des boîtes fermées, remplies de gaz (principe de l'anéroïde), agissant comme des poumons élastiques. On est ainsi assuré que le câble demeure toujours rempli d'huile, qu'il ne peut pas s'y former d'espaces vides et que l'huile n'est néanmoins pas directement en contact avec le gaz. On n'a dû renoncer à cette protection que durant le tirage du commencement du câble entre la rive du lac à Herrliberg et la station de couplage de Steinrad, ce qui fut fait à l'aide d'une cinquantaine d'hommes. Le raccordement de ces réservoirs d'huile à l'extrémité intérieure sur le touret du bateau aurait exigé des dispositifs très compliqués et coûteux. D'autre part, le montage d'un réservoir au commencement du câble, qui devait être déplacé durant la pose de la partie enterrée, n'était pas possible, car il fallait passer dans un tuyau sous la route du lac et à travers quelques murs. Cette partie

1972 m entre les rives, la traversée demanda 2 heures pour les deux poses, tandis que le tirage du câble d'acier, monté sur des canots, fut achevé chaque fois en 20 minutes (fig. 9).

La variation de la force de traction moyenne exercée sur le bateau de pose par le treuil à moteur est indiquée par la fig. 10. La force mesurée au

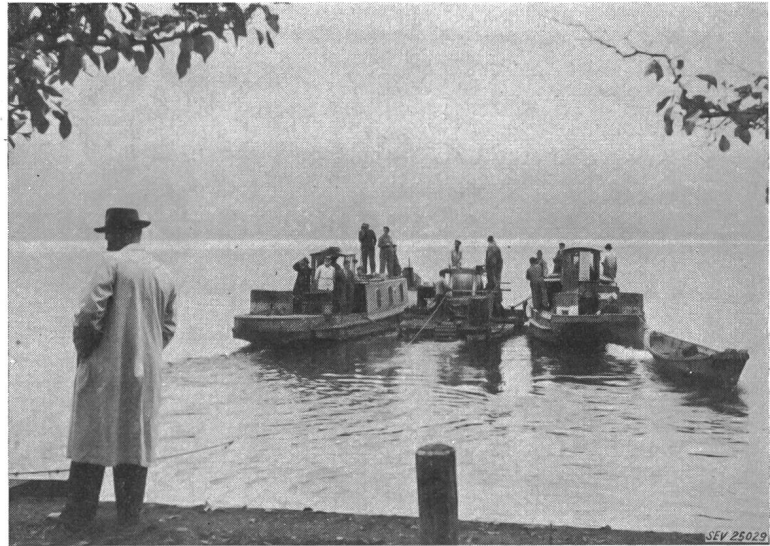


Fig. 9
Pose du câble métallique de traction

de la pose pouvant être exécutée en une heure environ, on s'est borné à exercer une pression un peu plus élevée sur le câble, avant de démonter le réservoir d'huile, ce qui suffisait pour ce laps de temps relativement court.

A partir du moment où le commencement du câble fut introduit dans la station de couplage de

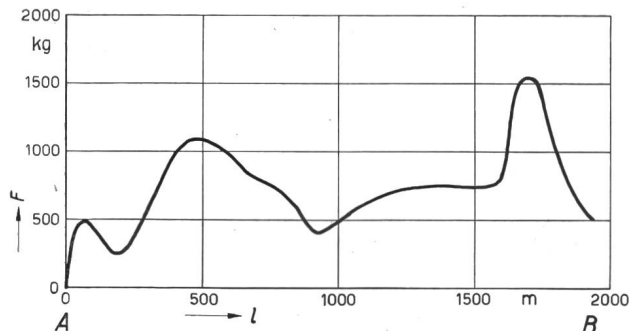


Fig. 10
Variation de la force de traction dans le câble métallique durant la pose
F Force de traction; l Distance jusqu'à Herrliberg
A Herrliberg; B Thalwil

Steinrad, c'est-à-dire durant toute la traversée du lac, le câble demeura relié à tous les 10 réservoirs d'huile en parallèle, d'une contenance effective d'huile d'environ 45 litres chacun, installés provisoirement. A l'état définitif, chaque station de couplage comporte 5 réservoirs de ce genre (fig. 16).

La traction du bateau de pose par le câble d'acier fonctionna impeccablement. Au total, il fallut transporter pour chaque pose une charge d'environ 200 t à travers le lac, les hélices ne jouant qu'un rôle tout à fait secondaire. Pour une distance de

dynamomètre subissait cependant des variations beaucoup plus grandes et par à-coups que celles indiquées sur le diagramme; les valeurs limites furent de 0 et 2600 kg. L'inertie dynamique de la flottille avait une action compensatrice sur la traction du câble.

Les poses ont montré que de multiples dispositifs de sécurité sont absolument indispensables pour le déroulement des câbles, afin d'éviter des dégâts ou même de graves pertes. Des perturbations d'ordre mécanique survenues à la commande à chenilles et un glissement du câble entre les mâchoires du «transporteur» fortement graissées par le suif et le jute nécessitèrent à quelques reprises l'intervention du frein mécanique du touret. Là où la profondeur du lac était uniforme, l'angle entre la verticale et le câble sortant du bateau était une indication directe de la sollicitation à la traction. La vitesse du bateau fut surtout réglée en tenant compte de l'observation de cet angle.

L'emplacement exact du bateau durant la traversée fut constamment déterminé depuis la rive, par triangulation, et communiqué au chef de pose sur le bateau par radiotéléphonie à haute fréquence. Pour la détermination de l'emplacement, on disposait en outre de télémètres, ainsi que de marques de contrôle fixées au câble de traction. Enfin, des dérouleurs munis de compteurs permettaient de mesurer constamment les longueurs du câble de traction et du câble électrique. Grâce aux soins préparatifs, ainsi qu'à des conditions atmosphériques favorables durant la pose, les différences de longueurs des câbles immergés furent minimes par rapport aux longueurs calculées.

Pour le câble «nord», il a fallu renoncer au coulage du tracé du côté de Herrliberg, à cause de la

raideur de la rive (fig. 1b). En outre, les arrondis des coudes du tracé donnèrent lieu à un léger raccourcissement. Les sondages du profil du lac avaient indiqué un tracé d'une longueur de 2064 et 2067 m respectivement. Avec le câble de traction posé à plusieurs reprises, on avait déterminé une longueur de 2059 m. En réalité, les câbles posés atteignirent une longueur de 2039 m (câble «nord») et de 2052 m (câble «sud»), comme le montre la fig. 2.

Les manœuvres sur la rive de Thalwil prirent chaque fois passablement de temps, car il fallait tout d'abord dérouler le restant du câble d'environ 270 m et le tirer sur terre ferme, où il fut entreposé en forme de huit par couches successives (fig. 11). Le lendemain de la pose, le câble fut tiré dans la station de couplage de Bürger, en partie à la main et en partie à l'aide d'un cabestan. Ces travaux exigèrent l'emploi d'une centaine d'hommes.

Les câbles immergés au fond du lac sont suffisamment protégés par leurs gaines contre les endommage-

5 m de longueur, 2 m de largeur et 2,5 m de profondeur, le plafond se trouvant à environ 60 cm de la surface du sol. On y accède par un puits de 60 cm de diamètre, fermé par un couvercle.

Tandis que les câbles immergés et les stations de couplage étaient aménagés à la fin de décembre 1954, l'exécution des chambres pour les manchons subit de longs retards, car les entrepreneurs étaient surchargés de travail. La pose des premiers tron-

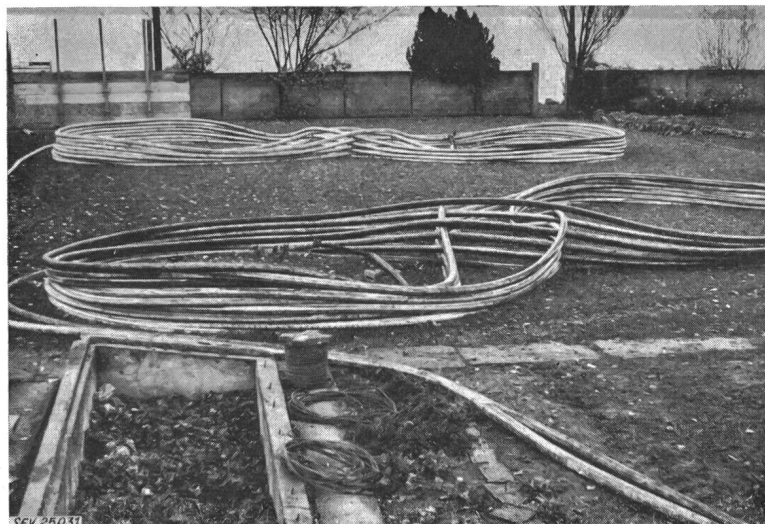


Fig. 11
Extrémités des câbles reposant à Thalwil en forme de huit

ments. Aux rives, on avait toutefois considéré qu'il était indispensable de prévoir une protection supplémentaire contre les dégâts qui pourraient être provoqués par des ancrages et des gaffes. Les câbles posés bien parallèlement dans la tranchée excavée et contrôlés par un scaphandrier furent donc recouverts de sacs de ciment pleins avant de refermer la tranchée. Pour éviter qu'ils ne glissent trop fortement, les câbles sont conduits, directement à leur sortie de l'eau, par dessus de lourds blocs de béton, auxquels ils sont fixés par des brides, ceci pour les deux rives. Après la pose, ces brides ont été périodiquement dégagées. Au total, il a fallu céder environ 50 cm de câble, à chacune des rives, au cours des trois premières semaines, afin de compenser l'allongement des câbles entre leurs points de fixation, par suite de leur enfoncement progressif dans le fond boueux du lac.

5. Les tronçons de câbles enterrés

En ce qui concerne le tracé et le genre de câbles, on peut se reporter à ce qui a été dit aux chapitres précédents. Il avait été prévu de commencer immédiatement la pose des câbles enterrés. L'octroi des droits de passage demanda toutefois beaucoup de temps, de sorte que les commandes pour les câbles enterrés ne purent être passées qu'en juillet 1954.

Afin de pouvoir procéder rapidement à des mesures électriques dans le cas de perturbations, il fut décidé de loger les manchons de retenue à des endroits où ils puissent être accessibles en tout temps. Pour ne pas avoir à établir un trop grand nombre de constructions en pleine campagne et pour être plus libre de choisir les distances limites, on a adopté le système de chambres souterraines de

cons de câbles put commencer en mai 1955 à Thalwil et en juin à Herrliberg. A la fin de septembre 1955, tous les câbles étaient posés et les travaux de montage dans les chambres achevés.



Fig. 12
Tête de câble déformée par suite d'un tirage à l'aide d'un filet

Dans la tranchée du tronçon supérieur de Thalwil, on a posé également un autre câble à huile à 50 kV pour la connection de Thalwil à Wädenswil, ainsi que trois câbles à masse à 16 kV pour le réseau de distribution à moyenne tension.

Les longueurs les plus grandes, par exemple celle de 607 m à Herrliberg, ont été posées en plusieurs étapes. Ce faisant, on a constaté que, pour les tracés compliqués comportant de nombreuses courbes, on n'obtient pas de bons résultats par un tirage simultané à la main et avec treuil à moteur. Il est préférable de procéder en deux étapes. Le tirage s'opère tout d'abord à la main, le second tronçon formant une boucle de réserve. On poursuit alors le tirage avec le treuil à moteur et câble de traction.

Quelques difficultés se produisirent également du fait que l'armure de traction d'une seule couche n'avait pas été d'emblée conduite au-delà de la

tête de fermeture du câble, de manière à former une boucle de traction. Les filets avec boucle de traction, placés sur la tête du câble, ne conviennent pas pour la pose des câbles à huile, car il en résulte souvent un étirage de la gaine de plomb à la tête

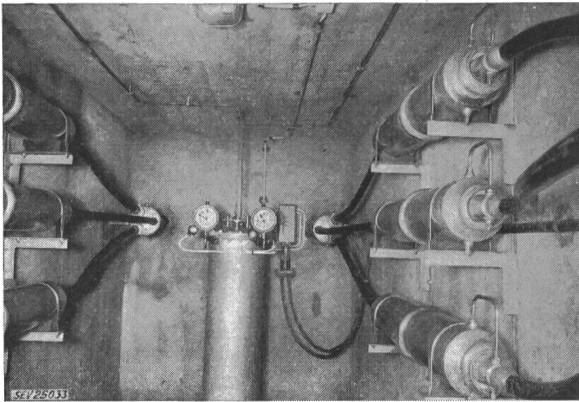


Fig. 13

Intérieur d'une chambre souterraine pour les manchons de retenue

En arrière, deux manchons de séparation, à gauche et à droite six manchons de retenue, réservoirs à huile avec manomètres à contact, au centre boîtes de jonction pour le câble de signalisation

du câble (fig. 12) et de petites pertes d'huile. Une double armure, comme celle des câbles immergés, est préférable (fig. 3).

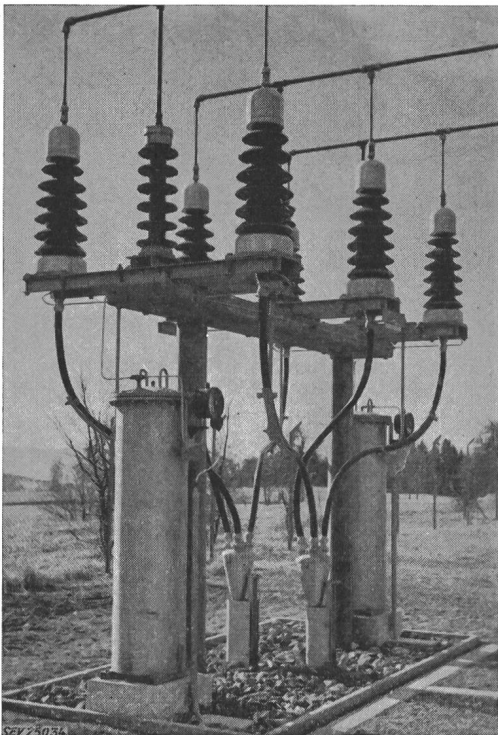


Fig. 14

Boîtes d'extrémité des câbles à 50 kV dans le poste en plein air de Herrliberg

La fig. 13 montre l'intérieur d'une chambre à manchons de raccordement. On voit trois manchons de retenue contre chacune des deux parois latérales. Du côté de Thalwil, la chambre devait offrir de la place pour 9 manchons de retenue des câbles à

50 kV et 6 manchons de séparation des câbles à 16 kV. Au côté frontal visible sur la figure se trouvent 2 réservoirs à huile, ainsi que les boîtes de jonction pour le câble de signalisation. Durant l'exécution des soudures, il fut nécessaire d'aérer artificiellement les chambres, au moyen d'un ventilateur et d'un tuyau souple de 25 cm de diamètre, par lequel de l'air frais était soufflé.



Fig. 15

Station de couplage de Bürger, à Thalwil

Dans la sous-station de Thalwil, les câbles à 50 kV aboutissent à une installation intérieure, tandis qu'à Herrliberg il s'agit d'un poste en plein air. La fig. 14 montre l'exécution des boîtes d'extrémité de câbles à Herrliberg.

6. Les stations de couplage

Les deux stations de couplage sont disposées à la même hauteur, à environ 34 m au-dessus du niveau moyen du lac. La profondeur maximum du lac est de 153 m. Cette disposition a été adoptée afin que,

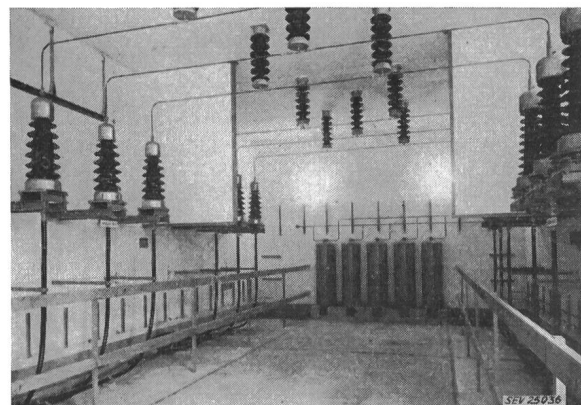


Fig. 16

Intérieur de la station de couplage de Steinrad
A droite les câbles immergés, à gauche les câbles enterrés
A l'arrière-plan les réservoirs de pression

dans le cas d'une avarie du câble, la pression de l'huile à l'intérieur de celui-ci soit toujours un peu plus élevée que la pression exercée par l'eau.

Pour la station de couplage de Thalwil (fig. 15), un assez grand terrain a dû être acquis. Cela permettra d'y construire ultérieurement un poste de

transformation pour le réseau local. Les plans ont été d'ailleurs établis de manière que le terrain puisse être rationnellement utilisé pour la construction d'un immeuble locatif. A Herrliberg, la station de couplage a pu être logée dans une berge. La fig. 16 montre l'intérieur d'un de ces postes, qui sont en principe tous aménagés de la même façon.

7. Dispositifs de protection et de signalisation

Les câbles à 50 kV sont protégés par disjoncteurs à jets d'huile avec relais de distance.

Entre la sous-station de Thalwil et la station de couplage de Bürger, d'une part, et la sous-station de Herrliberg et la station de couplage de Steinrad, d'autre part, des câbles de signalisation ont été posés et introduits dans les chambres souterraines. Du côté de Thalwil, ils comportent 26 conducteurs, dont 12 de 2,5 mm² servent à des fonctions normales, tandis que les quatorze autres conducteurs de 1 mm² de section contrôlent la pression de l'huile des câbles immergés et des différents tronçons des câbles enterrés. Du côté de Herrliberg, où des câbles de signalisation ne sont pas nécessaires (secteur de revendeurs), on a posé un câble de 16 × 1 mm² + 2 × 2,5 mm², dont les gros conducteurs servent d'aménages à 220 V aux chambres à manchons de raccordement, pour l'éclairage et les prises de courant pour petits outils. La fig. 17 indique le schéma de l'installation de signalisation.

8. Coût de l'installation

Le devis n'a pas pu être complètement maintenu, car les travaux de pose des câbles enterrés durent être exécutés dans de très mauvaises conditions météorologiques, les tranchées et les chambres souterraines exigèrent d'importantes installations de drainage, malgré leur position dans les berges, et parce que les administrations communales stipulèrent que les tranchées devaient être remplies de gravier. Y compris le dépassement d'environ 10% motivé aussi par 300 m de câbles de réserve et autre matériel de rechange, le coût des deux lignes de câbles d'une longueur d'environ 7,5 km et du câble à 50 kV d'environ 1 km de la ligne Thalwil—Wädenswil s'est élevé à environ 2,5 millions de francs.

9. Mesures, mise en service et expériences d'exploitation

Les essais de réception effectués avec des câbles terminés aussi bien avant qu'après la pose ont donné des résultats pleinement satisfaisants. Les câbles ont été mis en service le 5 décembre 1955, après que l'on eut également constaté par des mesures oscillographiques que les disjoncteurs à 50 kV fonctionnaient correctement pour toutes les conditions de charge, notamment pour les couplages à vide.

Les expériences d'exploitation faites jusqu'ici montrent que l'entretien des câbles peut se limiter à quelques contrôles chaque année. Aucun incident ne s'est produit jusqu'à présent.

10. Remerciements

Toute l'installation des câbles a pu être exécutée sans importants écarts du programme et sans acci-

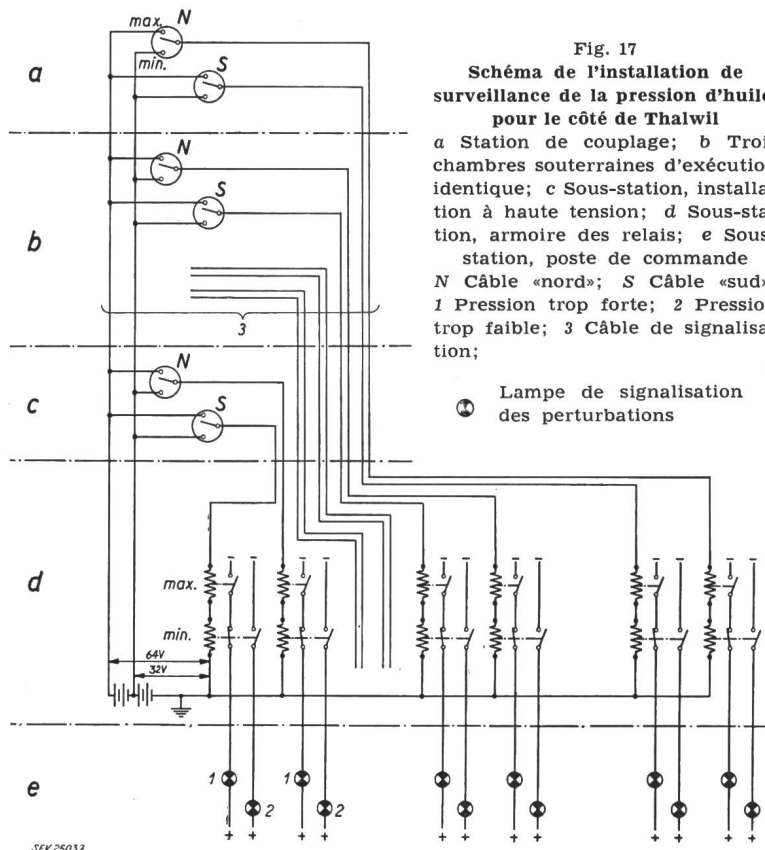


Fig. 17
Schéma de l'installation de surveillance de la pression d'huile, pour le côté de Thalwil
a Station de couplage; b Trois chambres souterraines d'exécution identique; c Sous-station, installation à haute tension; d Sous-station, armoire des relais; e Sous-station, poste de commande
N Câble «nord»; S Câble «sud»; 1 Pression trop forte; 2 Pression trop faible; 3 Câble de signalisation;

⊙ Lampe de signalisation des perturbations

dents. Cela est d'autant plus remarquable que les travaux, notamment ceux de la pose des câbles, exigeaient une étroite collaboration entre des groupes de travail de branches différentes, tels que monteurs de câbles, bateliers, maçons, etc., qui ne parlaient même pas tous la même langue. Grâce à la bonne volonté et à l'énergie de tous les participants, cette œuvre a pu être menée à bonne fin. Les Entreprises Electriques du Canton de Zurich leur réitérent ici leurs vifs remerciements.

Bibliographie

- [1] Leuch, H.: Die 50-kV-Kabelleitungen des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich. Bull. ASE t. 18(1927), n° 9, p. 551...563.
- [2] Elektrizitätswerk des Kantons Zürich: Hochspannungskabel im Zürichsee. Bull. ASE t. 19(1928), n° 23, p. 756...761.
- [3] Schneeberger, P. E.: Die Hochspannungsanlage der Kraftwerke Oberhasli A.-G. Bull. ASE t. 20(1929), n° 22, p. 753...767.
- [4] Grob, E.: Die 50-kV-Kabelleitung Manegg—Selnau des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich. Bull. ASE t. 21(1930), n° 6, p. 193...197.
- [5] Grob, E.: Das 50-kV-Drehstromölkabel Drahtzug—Selnau des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich. Bull. ASE t. 23(1932), n° 9, p. 197...206, et n° 16, p. 425.
- [6] Ein zweites Seekabel im Zürichsee. Bull. ASE t. 31(1940), n° 9, p. 214.
- [7] Leimgruber, W.: Hochspannungskabel durch den Zürichsee. Bull. ASE t. 32(1941), n° 12, p. 267...271.
- [8] Neue 50-kV-Kabel in Zürich. Bull. ASE t. 34(1943), n° 21, p. 656.
- [9] Hochspannungskabel durch den Thunersee. Bull. ASE t. 38(1947), n° 21, p. 668.
- [10] Verlegung eines Öldruckkabels in Atlanta (USA). Bull. ASE t. 39(1943), n° 7, p. 245 et 246.

Adresse des auteurs:

E. Schilling, ing. dipl., directeur du Service de l'électricité de la Ville de Bienne, Bienne (BE); H. Wüger, ing. dipl., directeur des Entreprises Electriques du Canton de Zurich, case postale Zurich 1.