

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 47 (1956)  
**Heft:** 12

**Artikel:** Les pylônes de la ligne du Saint-Gothard après vingt ans de service  
**Autor:** Dreier, M.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1058210>

### **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)

## Les pylônes de la ligne du Saint-Gothard après vingt ans de service

Par M. Dreier, Baden

*La ligne à 150/225/380 kV franchissant le massif du Gotthard a été terminée avant la fin de 1932. Ses pylônes ont été contrôlés en détail en 1953. L'auteur décrit leur état après vingt ans de service, indique comment les diverses insuffisances ont été éliminées et en tire des conclusions générales valables pour la construction des pylônes des lignes en haute montagne.*

*Die 150/225/380-kV-Gotthardleitung war Ende 1932 fertiggestellt. Ihre Masten wurden 1953 eingehend kontrolliert. Der Verfasser beschreibt deren Zustand nach zwanzigjähriger Betriebszeit, gibt an, wie einzelne Mängel behoben wurden, und zieht daraus Schlüsse, die für die Konstruktion von Masten für Hochgebirgsleitungen allgemeine Gültigkeit haben.*

### A. Indications générales

La ligne qui franchit le col du Saint-Gothard (altitude 2120 m) commence à Lavorgo et se termine à Amsteg. Cette ligne d'une longueur de 56 km, dont les pylônes ont été prévus d'emblée pour une tension de 380 kV, a été mise en service au début de janvier 1933 sous une tension de 150 kV [1; 2]<sup>1)</sup>. Le 5 octobre 1955, la tension a été portée à 225 kV. Dans ce but, les conducteurs de cuivre de 230 mm<sup>2</sup> avaient été remplacés, en 1953, par des câbles d'aldrey de 550 mm<sup>2</sup> et le niveau d'isolement fut relevé. A cette occasion, les montants de quelques-uns des pylônes ont été renforcés, de manière à accroître la résistance à la torsion, car, conformément aux prescriptions suisses<sup>2)</sup>, ces pylônes n'avaient pas été dimensionnés en tenant compte de la rupture de conducteurs. Les sommets des pylônes d'arrêt portant le câble de terre furent également surélevés, pour obtenir une meilleure protection contre les coups de foudre.

### B. Le contrôle des pylônes

Afin de déterminer l'état de cette ligne en service depuis plus de vingt ans, tous les pylônes situés entre Airolo et Göschenen ont été contrôlés durant l'été 1953, en vue de procéder, au besoin, à des réparations ou renforcements et d'obtenir de nouveaux renseignements sur le comportement des pylônes installés en haute montagne. Dans ce but, deux surveillants de la ligne montèrent sur ces 60 pylônes et contrôlèrent systématiquement chaque barre et chaque point d'attache. Un procès-verbal fut établi pour chaque pylône, en y notant les défauts constatés, notamment les déformations des barres. Dans ce qui suit, nous examinerons les résultats de ce contrôle.

### 1. Barres de contre-flambage

La forme et le mode de construction des pylônes de la ligne du Saint-Gothard, qui sont du type portique en fers cornières, avec traverses horizontales de 18 à 25 m de longueur — pour des écartements entre conducteurs de 9 à 12,5 m — et avec une surface de base de 9 × 6 m en moyenne, exigent de nombreuses barres de contre-flambage (fig. 1),

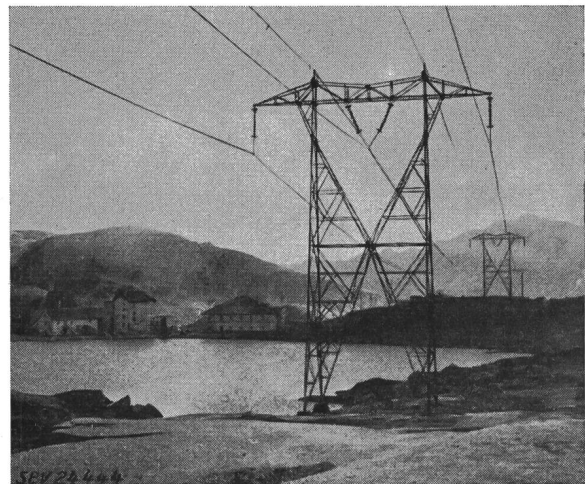


Fig. 1

Pylône près de l'Hospice du Saint-Gothard

qui normalement n'ont pas à transmettre d'efforts, mais servent uniquement à renforcer les barres principales en subdivisant leur longueur de flambage. C'est à ces barres de contre-flambage qu'ont été constatées les principales déformations.

La fig. 2 montre une telle barre profilée de 80 × 80 × 8 mm, qui présentait une flèche de 11 cm. Sa position dans le pylône est visible sur la fig. 6. Pour plus de la moitié des pylônes contrôlés, ces barres de contre-flambage présentaient des

<sup>1)</sup> voir la Bibliographie à la fin de l'article.

<sup>2)</sup> Chapitre VI, Lignes électriques, de l'Ordonnance sur l'établissement, l'exploitation et l'entretien des installations électriques à fort courant, du 7 juillet 1933.

flèches analogues, qui n'étaient pas toutes aussi importantes, mais étaient toujours dirigées vers le bas. La flèche était d'autant plus grande que les pieds des pylônes sont plus courts, c'est-à-dire que ces barres sont plus rapprochées du sol. Elle était également



Fig. 2  
Barre de contre-flambage infléchie  
Moitié de la figure

plus grande aux endroits où il y a généralement de fortes couches de neige, qu'aux endroits moins exposés. Ces flèches sont donc dues à la charge de neige. Pour qu'il se produise des déformations permanentes dans ces barres, il faut une charge d'au moins 500 kg à leur milieu ou une charge d'environ 200 kg/m répartie sur toute la longueur de la barre. Des quantités de neige considérables sont par conséquent nécessaires pour provoquer ces déformations. Mais, en haute montagne, il n'est pas rare que la couche de neige atteigne jusqu'à 4 m à certains endroits particulièrement exposés. Cette neige humide demeure accrochée au pylône, lorsque au printemps le sol se réchauffe et fait fondre la couche inférieure.

Les conditions sont en outre plus défavorables, du fait qu'au milieu de cette barre de contre-flambage viennent se fixer deux autres barres destinées à maintenir la première dans un plan, mais qui favorisent le fléchissement dans l'autre plan. Elles contribuent à l'accumulation d'une plus grande quantité de neige compacte, ce qui augmente la charge.

Des barres de contre-flambage simples, non tenues dans un plan, ne présentaient pas de flèches systématiques, ceci pour les raisons suivantes:

a) De grandes quantités de neige ne peuvent pas s'y accumuler.

b) Ces barres simples résistent mieux à la flexion que les autres, lorsqu'elles sont dimensionnées

pour un élanement maximum. En effet, si l'on admet que, pour le dimensionnement, seul le rapport entre la longueur de flambage et le rayon d'inertie  $\lambda \leq 200$  est déterminant, c'est donc  $\lambda_\eta$  qui intervient pour les barres de contre-flambage simples et  $\lambda_x$  pour celles qui sont tenues dans un plan. Mais, si l'on choisit deux barres de manière que, pour l'une  $\lambda_\eta = 200$  et pour l'autre  $\lambda_x = 200$ , on constate que le moment résistant minimum  $W_\eta$  de la première des barres est presque trois fois plus grand que le moment  $W_x$  rapporté à l'axe  $x$  de l'autre barre.

Dans de nombreux pylônes, on a également constaté, dans la face perpendiculaire au sens de la ligne, des fléchissements des barres principales de la ceinture. Au milieu de la longueur libre de ces barres se trouvent des barres horizontales, mais pas de barres verticales (fig. 1 et 8). Il faut donc admettre que, là également, une charge additionnelle s'est déposée en quantité telle, qu'il en est résulté un fléchissement de ces barres. Il fallait une charge uniformément répartie d'environ 150 kg/m ou une charge concentrée de 300 kg appliquée au milieu.

## 2. Joints

Les diagonales principales des pylônes porteurs sont, dans les faces larges, constituées de deux éléments assemblés par un joint. La fig. 3 montre que

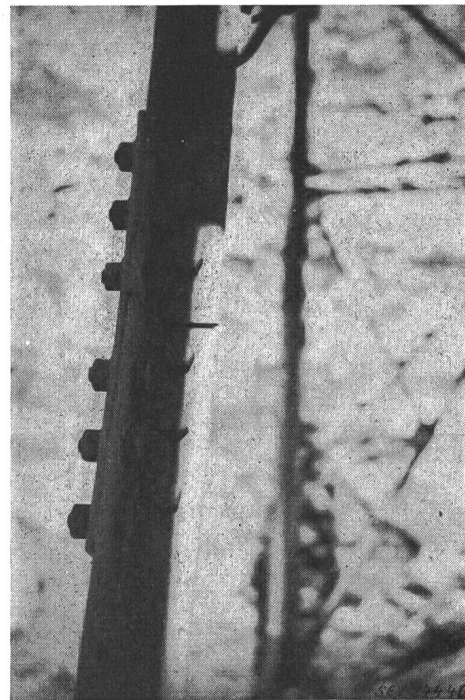


Fig. 3  
Joint des diagonales principales  
(L'incurvation peut être constatée en plaçant une règle)

ces joints n'avaient que des couvre-joints extérieurs. L'absence des couvre-joints intérieurs donnait lieu à une transmission excentrique des efforts, de sorte que ces joints présentaient également presque tous des déformations plus ou moins accentuées, surtout ceux des diagonales comprimées des pylônes d'angle. C'est ainsi que, dans un cas, on a

mesuré sur le dos de la cornière un écart de 3,5 mm entre les deux profils assemblés et de 7,5 mm à l'extrémité des ailes. Des flèches de 3 à 4 cm n'étaient pas rares à l'endroit de ces joints.

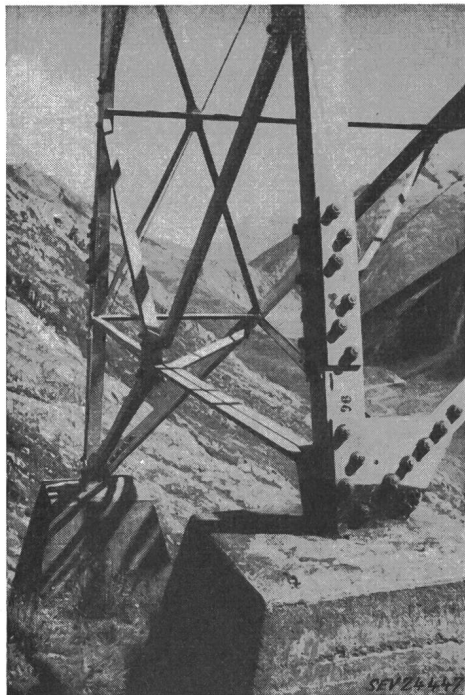


Fig. 4

Pieds courts d'un pylône installé sur un versant à forte pente

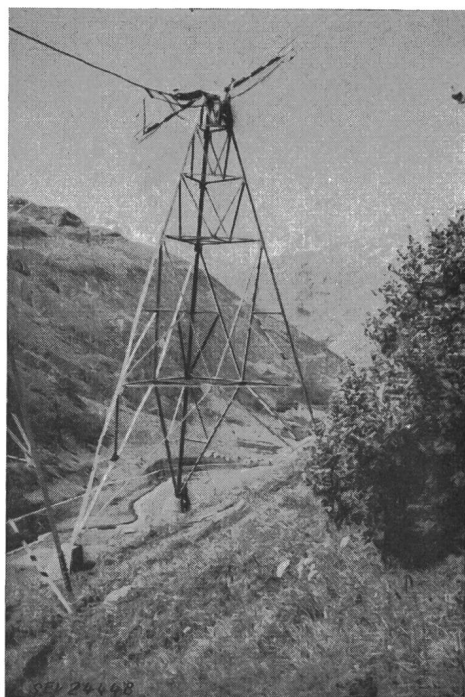


Fig. 5

Pylône de la traversée du Val d'Urseren  
Portée de 1037 m

### 3. Constitution des pieds des pylônes

Les deux pieds côté montagne de quelques-uns des pylônes installés sur des versants à forte pente étaient construits comme l'indique la fig. 4. Le

point de croisement des diagonales inférieures dans la face étroite était disposé tout près du sol, de sorte que non seulement les barres de contre-flambage décrites au chapitre 1, mais aussi des barres principales étaient soumises à la poussée exercée par la neige. Les effets de ces forces se reconnaissent d'une part à des fléchissements de barres et, d'autre part, au fait que le nœud était déplacé vers l'intérieur.

Les diagonales des deux pieds, côté vallée, des pylônes de la traversée du Val d'Urseren étaient également infléchies jusqu'à 5 cm (fig. 5). Ces barres étaient des profils en U trop élancés ( $\lambda$  jusqu'à 240) et en outre fixés excentriquement, par une seule aile, et tenus uniquement dans le plan perpendiculaire à l'axe  $i_{min}$ . Ce mode d'entretoisement est correct pour des charges de flambage pur, mais ne permet pas d'assurer la barre contre des fléchissements provoqués par une poussée de la neige (voir les diagonales côté vallée sur la fig. 5).

### 4. Zingage

Tous les pylônes de la ligne du Saint-Gothard, dont le poids total est d'environ 2000 t, sont entièrement galvanisés à chaud. Le zingage est partout demeuré en parfait état, à part quelques légers endommagements de la couche de zinc, dus à des manipulations incorrectes lors du transport et du montage.

### C. Réparation des dégâts

Bien que les dégâts constatés ne fussent guère alarmants, la propriétaire de la ligne, la S. A. Aar-

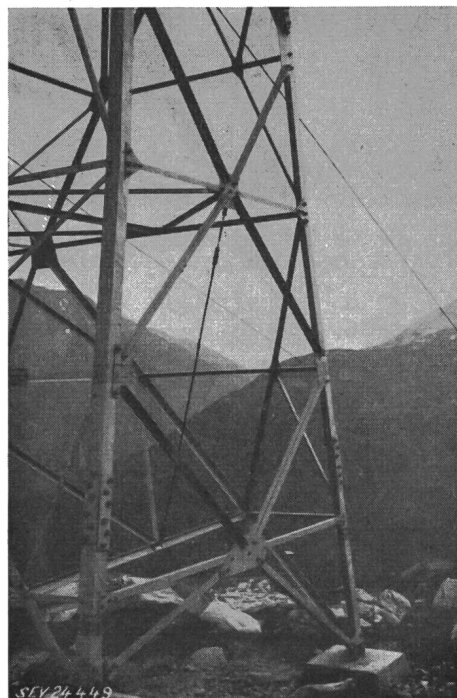


Fig. 6

Câble monté avec tendeur

Tessin, Olten et Bodio, a tenu à les réparer, surtout en raison de l'accroissement des charges dû à l'élévation de la tension à 225 kV.



### 1. Barres de contre-flambage

Les fléchissements des barres de contre-flambage provoquent des contraintes et des fléchissements dans les barres principales, c'est-à-dire une réduction de leur résistance au flambage. Un remplacement des barres infléchies (fig. 2) par des barres d'un profil plus fort aurait permis d'accroître la résistance à la flexion. On a toutefois adopté une autre mesure plus simple et également plus efficace, et relié par un câble tendeur le milieu de la barre infléchie au croisement des diagonales de la face étroite, à la hauteur de la ceinture horizontale principale (fig. 6). Les brides d'extrémité de ce câble étaient fixées à l'aide des boulons existants, pendant que le câble était détendu, puis le tendeur était actionné jusqu'à ce que la barre soit

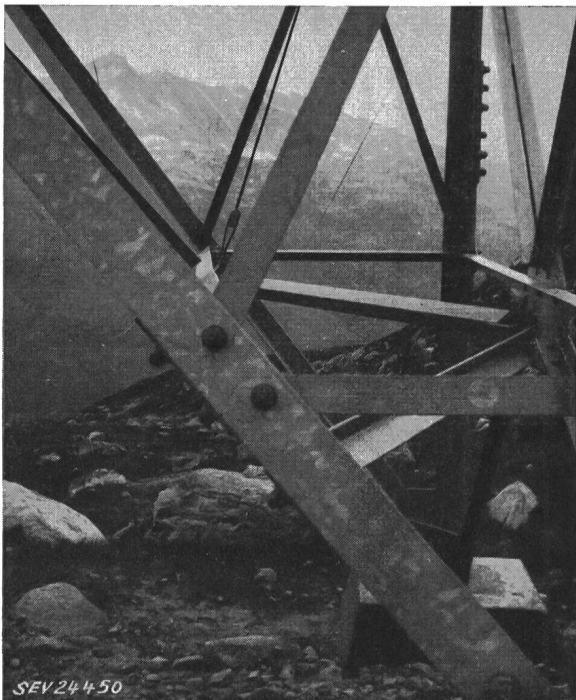


Fig. 7

La même barre de contre-flambage que sur la fig. 2 mais après le montage du câble tendeur

presque redressée (fig. 7). Ce système a permis de procéder au redressement des barres sans avoir à les démonter. En outre, le câble subissait ainsi la précontrainte nécessaire. La barre de contre-flambage est donc maintenue parfaitement en son milieu.

Pour les pylônes dont la ceinture horizontale était infléchie, le trapèze situé au-dessus a été entretoisé par deux autres barres de contre-flambage, de manière à renforcer les barres infléchies à l'endroit critique, après qu'elles aient été redressées sur le pylône.

### 2. Joints

La constitution des joints a une grande influence sur la résistance au flambage de la barre [3]. Les joints en question ont donc été renforcés par des couvre-joints intérieurs.

### 3. Pieds des pylônes

Les pieds extrêmement courts de trois pylônes situés sur des versants en forte pente ont été re-

construits comme le montre la fig. 9. Il n'a pas été nécessaire de modifier les montants, ce qui était important car ceux-ci sont galvanisés à chaud. Pour le raccordement des nouvelles barres, on a pu utiliser les perçages existants. Le remplacement des barres pendant que la ligne demeurait sous tension n'a pas donné lieu à des difficultés.

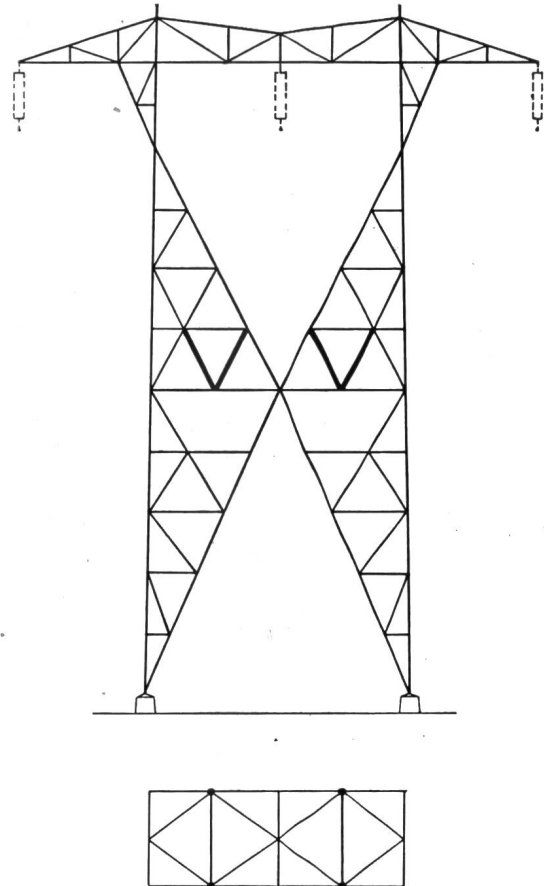


Fig. 8

Entretoisage supplémentaire destiné à la fixation de la ceinture horizontale  
— Nouvelles barres

Les pieds des pylônes triangulaires de la traversée du Val d'Urseren ont été renforcés par des croisillons supplémentaires.

### D. Conclusions

Les pylônes de lignes de haute montagne sont soumis à des conditions de charge particulièrement sévères. Les charges effectives se rapprochent des valeurs admises lors du calcul statique des pylônes et peuvent même parfois les dépasser, ce qui n'est guère le cas pour les lignes de plaine. Les renseignements fournis sur le comportement de pylônes soumis durant plus de vingt ans à de très dures conditions météorologiques sont donc d'autant plus précieux.

Les principales exigences qui résultent de ces observations et dont il y a lieu de tenir compte pour la construction de pylônes en treillis en haute montagne sont les suivantes:

1. Il faut autant que possible éviter des barres de contre-flambage, surtout dans la partie inférieure des pylônes.

2. L'élanement des barres, même de celles de contre-flambage, ne doit en aucun cas dépasser 200.
3. Chaque barre doit être capable de supporter, avec un coefficient de sécurité normal, une charge de neige d'environ 150 kg/m, agissant verticalement. Cette valeur doit être portée à 200 kg/m pour les barres qui seront prises dans la nappe de neige.
4. Il faut vouer une attention particulière à la construction des pieds

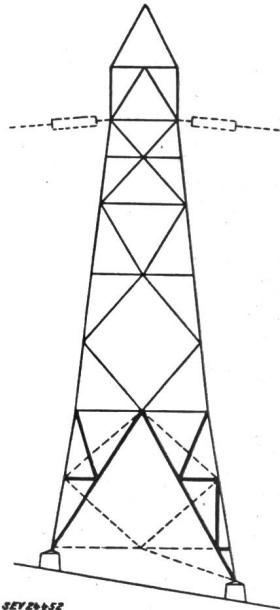


Fig. 9  
Relèvement du point de croisement des diagonales inférieures dans le cas de pylônes avec pieds extrêmement courts

--- Construction primitive  
— Nouvelles barres

des pylônes dans la zone de poussée de la neige. Il est indiqué de prévoir dans ce cas des constructions à l'aide de profils de forme avantageuse, du point de vue aérodynamique et ne comportant que les barres principales strictement nécessaires.

5. Les points d'attache, les raccords de barres et les jointures doivent être établis avec beaucoup de soin et autant que possible ne pas transmettre excentriquement les efforts.
6. Le zingage à chaud peut être considéré, même en montagne, comme une protection antirouille efficace et durable.

La fig. 10 montre un pylône qui répond aux exigences ci-dessus. Des pylônes analogues ont été prévus pour la seconde ligne des Alpes de la S. A. Aar-Tessin à 225/380 kV franchissant le col du Lucmanier [4]. Les montants de ces pylônes sont en tubes d'acier remplis de béton après le montage du pylône; les diagonales principales sont des câbles d'acier et les autres barres des tubes vides. A l'exception de 5 barres de la ceinture horizontale, le pylône ne comporte aucune barre de contre-flambage. A l'exception des câbles la neige ne rencontre aucune surface d'attaque et sa poussée ne peut s'exercer que contre les robustes montants cylindriques, qui du point de vue aérodynamique sont particulièrement favorables. De même, les surfaces d'attaque du vent sont réduites au minimum. Tous les raccordements des barres sont exactement centrés et les joints des montants sont également exempts d'efforts excentriques.

Les expériences faites avec les pylônes de la ligne du Saint-Gothard prouvent donc notamment qu'outre les charges prescrites dans l'Ordonnance

sur les installations à fort courant d'autres influences entrent en ligne de compte, surtout en haute montagne, et sont susceptibles de réduire la sécurité des pylônes. Pour contrecarrer ces influences, il serait toutefois incorrect d'augmenter encore le coefficient de sécurité — qui est déjà amplement suffisant et est même trop grand pour

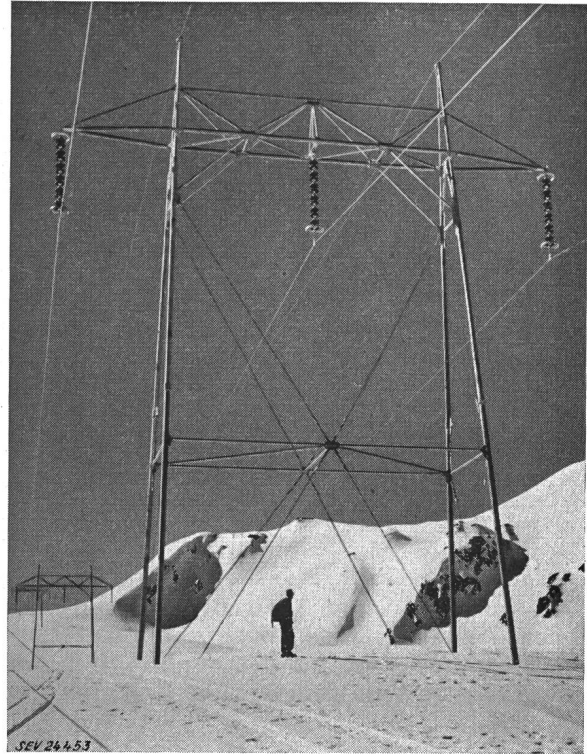


Fig. 10  
Pylône de la ligne à 225 kV au col San Giacomo

la charge de torsion des pylônes d'arrêt — ou les charges admises jusqu'à présent. Il est préférable, lors de l'établissement des plans, de considérer soigneusement toutes les sollicitations possibles et de tenir compte de leur action réelle lors des calculs des pylônes et non pas en introduisant, par crainte, un fort coefficient de sécurité pour un autre genre de charge. Un tel coefficient ne doit être que juste suffisant pour couvrir les incertitudes qui demeurent en ce qui concerne les charges et le matériau utilisé. Ce n'est qu'en procédant de la sorte que l'on peut réaliser des pylônes à la fois économiques et répondant à toutes les exigences du service.

#### Bibliographie

- [1] Niesz, H.: La ligne à haute tension du Gothard et sa construction. Mém. Soc. Ing. civ. France t. 89(1936), n° 2, p. 207...237.
- [2] Motor-Columbus S. A.: Von der Gotthardleitung und ihrem Bau. NZZ année 1933, 24 octobre, n° 1924.
- [3] Dreier, M.: Essais de pylônes d'Erlinsbach, Contribution à l'étude du degré d'encastrement des membrures principales des pylônes en treillis. CIGRE, Paris 1956, Rapport n° 212.
- [4] Vögeli, R. et R. Leresche: La nouvelle ligne transalpine de l'Atel. Bull. ASE t. 42(1951), n° 3, p. 77...81.

Adresse de l'auteur:

M. Dreier, ingénieur à la S. A. Motor-Columbus, Baden (AG).