

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens

**Herausgeber:** Association suisse des électriciens

**Band:** 14 (1923)

**Heft:** 10

**Artikel:** Influence de la déviation des chaînes d'isolateurs sur la variation de flèche des lignes aériennes suspendues

**Autor:** Bourquin, H.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1057597>

### **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>**

# SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

# BULLETIN

## ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Erscheint monatlich,  
im Januar dazu die Beilage „Jahresheft“.

Alle den Inhalt des „Bulletin“ betreffenden Zuschriften  
sind zu richten an das

**Generalsekretariat**  
**des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins**  
Seefeldstrasse 301, Zürich 8 — Telephon: Hottingen 7320,  
welches die Redaktion besorgt.

Alle Zuschriften betreffend **Abonnement, Expedition**  
und **Inserate** sind zu richten an den Verlag:

**Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G.**  
Stauffacherquai 36/38 Zürich 4 Telephon Selnau 7016

Ce bulletin paraît mensuellement. — „L'Annuaire“ est  
distribué comme supplément dans le courant de janvier.

Prière d'adresser toutes les communications concernant  
la matière du „Bulletin“ au

**Secrétariat général**  
**de l'Association Suisse des Electriciens**  
Seefeldstrasse 301, Zurich 8 — Telephon: Hottingen 7320  
qui s'occupe de la rédaction.

Toutes les correspondances concernant les **abonnements**,  
l'**expédition** et les **annonces**, doivent être adressées à l'éditeur

**Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S. A.**  
Stauffacherquai 36/38 Zurich 4 Telephon Selnau 7016

Abonnementspreis (für Mitglieder des S. E. V. gratis)  
für Nichtmitglieder inklusive Jahresheft:  
Schweiz Fr. 20.—, Ausland Fr. 25.—  
Einzelne Nummern vom Verlage Fr. 2.— plus Porto.

Prix de l'abonnement annuel (gratuit pour les membres de  
l'A. S. E.), y compris l'Annuaire Fr. 20.—  
pour la Suisse, Fr. 25.— pour l'étranger.  
L'éditeur fournit des numéros isolés à Fr. 2.—, port en plus.

XIV. Jahrgang  
XIV<sup>e</sup> Année

**Bulletin No. 10**

Oktober 1923  
Octobre 1923

### Influence de la déviation des chaînes d'isolateurs sur la variation de flèche des lignes aériennes suspendues.

Par H. Bourquin, ingénieur à la „Schweizerische Kraftübertragung A.-G.“ à Berne.

*Der Verfasser beschreibt eine Methode, nach welcher der Einfluss der Beweglichkeit der Drahtaufhängepunkte einer Freileitung mit Hängeisolatoren auf den Durchhang des Leiters berechnet werden kann. Die zuerst angegebene Art der Berechnung, welcher verschiedene vereinfachende Annahmen zugrunde liegen, gibt die bei einem praktischen Versuch ermittelten beobachteten Grössen nicht mit genügender Genauigkeit wieder. Die darauf entwickelte zweite, genauere Methode, tut dies in wesentlich besserer Masse, so dass die Folgen einer Entlastung oder eines Drahtbruches auf die Aenderung des Durchhangs in benachbarten Spannweiten vorausberechnet werden können. Endlich wird diese Berechnungsart auf den Fall ungleichmässiger Verteilung der Zusatzlasten auf verschiedene Spannweiten zwischen zwei Fixpunkten der Leitung angewandt, um daraus bestimmte Angaben über die zu beobachtenden Mindestabstände in Kreuzungen abzuleiten.*

*L'auteur esquisse une méthode permettant d'exprimer numériquement l'influence de la mobilité des points d'attache d'une ligne aérienne, suspendue à des chaînes d'isolateurs, sur la flèche du conducteur. Une première théorie sommaire, partant d'hypothèses simplificatrices, ne rend pas fidèlement compte des faits observés au cours d'essais sur une ligne à haute tension, actuellement en service. Une seconde méthode, plus complète, concorde sensiblement mieux avec la réalité et laisse prévoir avec certitude la conséquence d'une rupture ou d'une détente du câble sur la variation de flèche dans les portées voisines. Enfin l'auteur applique la théorie en question au cas de lignes alourdies par un manchon de neige inégalement réparti le long des portées d'un même canton, pour en déduire des indications précises sur les distances minima à observer dans les croisements, afin d'éviter tout contact accidentel.*

Dans le Bulletin de juillet 1920, sous le titre „Der einseitige Zug bei Freileitungen“, M. Egg, ingénieur à Berne, a traité de façon très détaillée le problème suivant: déterminer la traction unilatérale des lignes aériennes

- 1<sup>o</sup> en cas de rupture de conducteurs,
- 2<sup>o</sup> pour des surcharges accidentelles irrégulièrement réparties,
- 3<sup>o</sup> en cas de variation de température dans un canton formé de portées inégales.

L'auteur étudie dans quelle mesure la traction unilatérale dépend de la longueur de la portée, du nombre et de la hauteur des conducteurs au-dessus du sol, ainsi

que du moment d'inertie des supports. Le problème examiné dans l'article mentionné se borne aux lignes aériennes montées sur *poteaux* ou *pylônes flexibles*, par l'intermédiaire d'*isolateurs fixes*.

Dans ce qui suit nous nous sommes posé en quelque sorte la question inverse: déterminer la traction unilatérale et par conséquent la nouvelle flèche dans le cas de lignes aériennes suspendues à des *poteaux* ou *pylônes rigides* par l'intermédiaire de *chaînes d'isolateurs*.

Si nous désignons par  $a$  la portée horizontale,  $p$  la tension spécifique,  $\gamma$  le poids spécifique,  $E$  le module d'élasticité et  $\alpha$  le coefficient de dilatation du conducteur considéré, la longueur de celui-ci varie entre les valeurs  $L_0$  et  $L_1$  si la tension passe de  $p_0$  à  $p_1$ , le poids de  $\gamma_0$  à  $\gamma_1$  et la température de  $t_0$  à  $t_1$ ; et l'on a la relation suivante:

$$\frac{L_1}{L_0} = \frac{E + p_1}{E + p_0} [1 + \alpha (t_1 - t_0)] = \frac{\frac{p_1}{\gamma_1} \left( e^{\frac{\gamma_1 a_1}{2p_1}} - e^{-\frac{\gamma_1 a_1}{2p_1}} \right)}{\frac{p_0}{\gamma_0} \left( e^{\frac{\gamma_0 a_0}{2p_0}} - e^{-\frac{\gamma_0 a_0}{2p_0}} \right)} \quad (1)$$

En s'arrêtant — ce qui suffit amplement — au quatrième terme de la série dans l'expression de  $e$ , on obtient la relation simplifiée:

$$\frac{L_1}{L_0} = \frac{E + p_1}{E + p_0} [1 + \alpha (t_1 - t_0)] = \frac{a_1}{a_0} \cdot \frac{1 + \frac{1}{24} \left( \frac{\gamma_1 a_1}{p_1} \right)^2}{1 + \frac{1}{24} \left( \frac{\gamma_0 a_0}{p_0} \right)^2} \quad (2)$$

Dans le cas particulier qui nous occupe, où il s'agit de déterminer seulement les variations de flèches produites par une déviation des chaînes d'isolateurs, la température et le poids spécifique restent constants, de sorte qu'on obtient en définitive:

$$\frac{L_1}{L_0} = \frac{E + p_1}{E + p_0} = \frac{a_1}{a_0} \cdot \frac{1 + \frac{1}{24} \left( \frac{\gamma_0 a_1}{p_1} \right)^2}{1 + \frac{1}{24} \left( \frac{\gamma_0 a_0}{p_0} \right)^2} \quad (3)$$

M. Egg fait remarquer dans l'article cité que cette formule se prête mal au calcul et qu'il est nécessaire de la transformer pour obtenir des résultats précis. Ordonnée par rapport à  $a_1$ , la formule (3) conduit à l'équation:

$$a_1^3 \left( \frac{\gamma_0}{p_1} \right)^2 \cdot \frac{1}{24} + a_1 - \frac{E + p_1}{E + p_0} a_0 \left[ 1 + \frac{1}{24} \left( \frac{a_0 \gamma_0}{p_0} \right)^2 \right] = 0 \quad (4)$$

L'indice 0, désigne l'état initial, et l'indice 1 l'état final. Si l'on part d'un état initial 0 donné et qu'on veuille déterminer la fonction  $a = f(p)$  pour toute une série de valeurs de  $p$ , l'indice 1 n'a plus sa raison d'être et l'équation (4) s'écrira:

$$a^3 \left( \frac{\gamma_0}{p_1} \right)^2 \cdot \frac{1}{24} + a - \frac{E + p_1}{E + p_0} a_0 \left[ 1 + \frac{1}{24} \left( \frac{a_0 \gamma_0}{p_0} \right)^2 \right] = 0 \quad (4a)$$

où  $p$  est la variable indépendante et  $a$  sa fonction.

D'après la méthode d'approximation de Newton, rappelée dans l'étude de M. Egg, si l'on pose pour  $p$  un chiffre déterminé  $p_1$ , on peut donner à  $a$  une valeur approchée  $a_1$  et calculer par la formule  $\delta = -\frac{f(a)}{f'(a)}$ , où  $f(a)$  est le premier membre de l'équation (4a), la correction  $\delta$  qu'il faudrait ajouter à  $a_1$  pour s'approcher de la vraie valeur de  $a$  correspondant à  $p_1$ . La valeur de  $a$  à laquelle conduit une variation

de la tension de  $p_0$  à  $p_1$  est très voisine de  $a_0$ , de sorte qu'on peut introduire cette valeur approchée dans la formule de Newton; celle-ci donne ainsi directement la variation de portée  $\delta$  qui correspond à un changement donné de la tension spécifique  $p$ :

$$\delta = - \frac{f(a)}{f'(a)} = \frac{\frac{E+p}{E+p_0} a_0 \left[ 1 + \frac{1}{6} \left( \frac{a_0 \gamma_0}{2 p_0} \right)^2 \right] - a_0 \left[ 1 + \frac{1}{6} \left( \frac{a_0 \gamma_0}{2 p} \right)^2 \right]}{1 + \frac{1}{2} \left( \frac{a_0 p_0}{2 p} \right)^2}$$

ou

$$\delta = a_0 \cdot \frac{\left( \frac{E+p}{E+p_0} - 1 \right) + \frac{1}{6} \left[ \frac{E+p}{E+p_0} \left( \frac{a_0 \gamma_0}{2 p_0} \right)^2 - \left( \frac{a_0 \gamma_0}{2 p} \right)^2 \right]}{1 + \frac{1}{2} \left( \frac{a_0 \gamma_0}{2 p} \right)^2} \tag{5}$$

L'erreur commise en adoptant cette méthode d'approximation est inférieure à 1%.

A l'aide de la formule (5) il est facile de calculer la fonction  $\delta = f(p)$ ; en portant  $\delta$  en abscisse et  $p$  en ordonnée, on obtient une famille de courbes, avec  $a$  comme paramètre, qui permet de résoudre rapidement tout problème relatif à une variation de tension sous température constante, dans un canton formé de portées quelconques.

**1<sup>er</sup> problème:** Soit à déterminer, dans un canton limité par deux pylônes tenseurs, l'influence de la rupture d'un conducteur suspendu à des chaînes d'isolateurs sur la flèche des portées voisines.

Lors du montage de la ligne, le câble a été tendu par une température déterminée, et de telle façon que les chaînes d'isolateurs des pylônes porteurs soient verticales. Une fois serré aux différents points d'attache, dans la pince qui l'empêche de glisser, le câble obéit aux variations de température et de surcharge dans chaque portée considérée pour elle-même et comme l'influence de ces deux facteurs dépend de la longueur de la portée, la traction qui s'établirait aux points de suspension du conducteur, si ces points étaient fixes, ne serait pas égale de part et d'autre du point de rencontre de deux portées inégales. Dans le cas de chaînes d'isolateurs, libres de jouer autour de leur point de suspension, cette différence de traction produit une déviation de la chaîne d'isolateurs, jusqu'à ce que le nouvel état d'équilibre soit rétabli. Pour simplifier, nous admettrons que toutes les chaînes porteuses du canton considéré étaient verticales au moment de la rupture du câble, ce qui est pratiquement le cas si la température n'est pas très différente de la température de pose et en outre si les portées ne sont pas de longueur très inégale. La rupture ou la détente d'un câble produit une décharge brusque d'un seul côté de la chaîne porteuse la plus proche, laquelle dévie, ainsi que les chaînes sui-

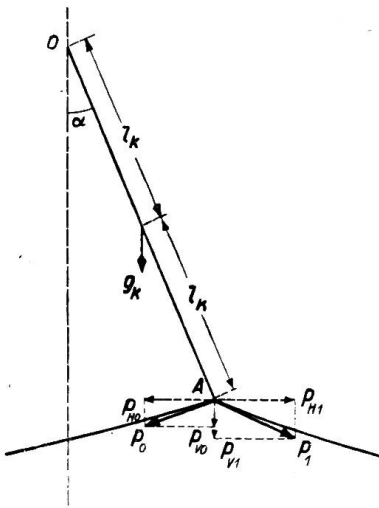


Fig. 1

vantes jusqu'au prochain point fixe (pylône tenseur). Si l'on suppose le conducteur parfaitement flexible et son point d'attache dans la pince de l'isolateur capable d'osciller sans contrainte, en suivant fidèlement les déplacements de la chaîne, on peut établir d'une manière générale en chaque point de fixation du câble l'équation d'équilibre suivante (fig. 1):

$$\begin{aligned} (p_{v_0} + p_{v_1}) 2 l_k \sin a + g_k \cdot l_k \sin a &= (p_{H_1} - p_{H_0}) \cdot 2 l_k \cos a \\ \text{tg } a &= \frac{2 (p_{H_1} - p_{H_0})}{2 (p_{v_1} + p_{v_0}) + g_k} \end{aligned} \tag{6}$$



$p_o$  et  $p_1$  désignent la traction totale dans le câble de part et d'autre du point d'attache  $A$ ,  $p_H$  et  $p_v$  ses composantes,  $g_k$  le poids, et  $2l_k$  la longueur de la chaîne d'isolateurs; on admet en outre que celle-ci reste rectiligne en s'écartant de la verticale, ce qui est presque rigoureusement le cas en réalité. Lors d'une rupture de câble près du point d'attache, la traction  $p_o$  s'annule et l'on a:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2 p_H}{2 p_v + g_k}$$

En remarquant que  $p_v$  est le poids de la moitié du câble compris entre deux supports au même niveau, on obtient finalement, en désignant par  $g_s$  le poids total du câble d'une portée entière:

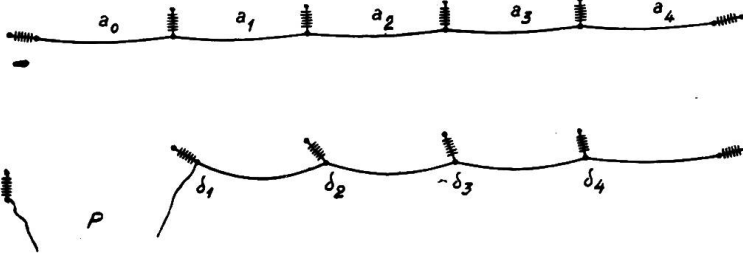


Fig. 2

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2 p \cdot q}{g_s + g_k} \quad (6a)$$

où  $p$  représente la tension spécifique au sommet de la parabole et  $q$  la section du conducteur.

Quand une rupture de câble se produit en un point

quelconque d'un canton formé d'un certain nombre de portées suspendues et limité par deux pylônes tenseurs, en  $P$  par exemple (fig. 2), les chaînes porteuses 1, 2, 3 . . . dévient respectivement de  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$  . . . sous l'effet de la traction unilatérale subsistant après la rupture du conducteur. L'amplitude de ces déviations dépend de la longueur et du nombre des portées, de la longueur des chaînes d'isolateurs et de la tension nouvelle qui tend à s'établir dans le canton. Pour déterminer cette déviation dans un cas particulier donné, on commencera par porter graphiquement dans le système de coordonnées rectangulaires  $p O - \delta$  (fig. 3):

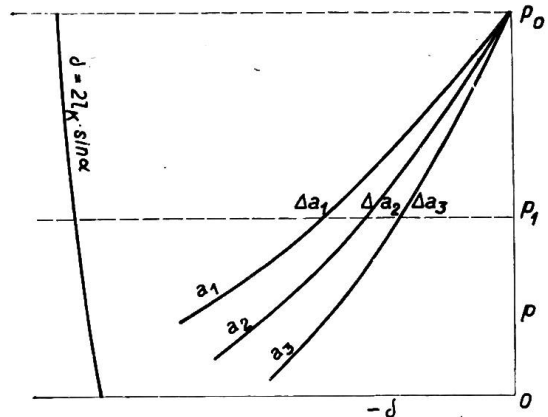


Fig. 3

1° Les courbes  $a_1, a_2, a_3$  . . . calculées par la formule (5) en posant pour  $p_o$  la valeur de la tension spécifique commune à toutes les portées avant la rupture du câble.

2° La courbe  $\delta = 2 l_k \cdot \sin \alpha$  qui représente la déviation de la chaîne la plus proche du point de rupture et où l'angle  $\alpha$  est défini par la relation (6a).

*Méthode simplifiée:* Si l'on admet en première approximation qu'il se produit après rupture ou détente du câble un nouvel état d'équilibre tel que la tension prenne une seule et même valeur dans tout le canton, après comme avant la perturbation, ce qui revient à négliger l'effet de contre-poids des chaînes et du câble aux points d'attache intermédiaires, on arrivera très vite au résultat de la façon suivante:

On cherche par tâtonnements l'ordonnée  $p_1$  pour laquelle la somme des abscisses  $\Delta a_1 \Delta a_2 \Delta a_3$  . . . des points d'intersection de l'horizontale  $p = p_1$  avec les courbes  $a_1 a_2 a_3$  . . . coïncide avec la déviation correspondante  $\delta_1$  de la première chaîne. La déviation  $\delta_3$  est alors égale à l'abscisse  $\Delta a_3$ ,  $\delta_2$  à la somme  $(\Delta a_3 + \Delta a_2)$ ,  $\delta_1$  enfin à la somme  $(\Delta a_3 + \Delta a_2 + \Delta a_1)$ .  $\Delta a_1 \Delta a_2 \Delta a_3$  . . . sont les raccourcissements respectifs des portées  $a_1 a_2 a_3$  . . . et  $\delta_1 \delta_2 \delta_3$  . . . les déviations des chaînes.

Ainsi, par suite de la rupture du câble, la tension spécifique dans le reste du canton aurait diminué de la valeur  $p_o$  à la valeur  $p_1$  et la flèche correspondante dans les portées  $a_1 a_2 a_3$  . . . serait devenue respectivement:

$$f_1 = \frac{\gamma a_1^2}{8 p_1}; \quad f_2 = \frac{\gamma a_2^2}{8 p_1}; \quad f_3 = \frac{\gamma a_3^2}{8 p_1}; \dots$$

Mais les chaînes d'isolateurs ont une tendance d'autant plus forte à revenir à leur position verticale que leur inclinaison est plus accentuée. Comme on ne peut négliger ni le poids de la chaîne ni surtout celui du câble, la formule (6) montre immédiatement que l'angle  $\alpha$  serait toujours nul sans une différence de traction horizontale dans les deux portées adjacentes. A mesure qu'on s'éloigne du point de rupture, la tension spécifique va donc en croissant et se rapproche de plus en plus de la valeur constante qui régnait avant la perturbation.

*Méthode complétée:* On serrera la réalité de beaucoup plus près en procédant comme suit: Dans la formule (6)

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2(p_{H_1} - p_{H_0})}{2(p_{v_1} + p_{v_0}) + g_k}$$

on posera pour  $p_{H_1}$  une valeur arbitrairement choisie, mais inférieure à  $p_0$  (fig. 3); les autres grandeurs étant connues, l'angle  $\alpha$  sera bien déterminé et l'on pourra déduire la déviation  $\delta_1 = 2l_K \sin \alpha_1$ . La famille de courbes tracée à l'aide de la formule (5) permettra de lire sans autre la diminution  $\Delta a_1$  de la portée  $a_1$  correspondant à un passage de la tension de  $p_0$  à  $p_{H_1}$ ; par conséquent la déviation de la deuxième chaîne vaudra  $\delta_2 = \delta_1 - \Delta a_1$ . On pourra dès lors déduire l'angle  $\alpha_2$  de la déviation  $\delta_2$  et calculer  $p_{H_2}$  au moyen de la formule (6) appliquée au second point d'attache du câble. De  $p_{H_2}$  on déduira  $\Delta a_2$  sur le graphique, d'où  $\delta_3 = \delta_2 - \Delta a_2$ , et ainsi de suite. En fixant alternativement la déviation, l'angle et la tension, on arrivera de proche en proche à déterminer la tension dans la dernière portée du canton; et cette tension  $p_{H_n}$  devra correspondre sur le graphique à un raccourcissement  $\Delta a_n$  de la dernière portée  $a_n$  précisément égal à la déviation  $\delta_n$  de la dernière chaîne de suspension. La coïncidence entre  $\Delta a_n$  et  $\delta_n$  ne sera pas atteinte au premier essai, mais avec un peu d'habitude on trouvera la solution sans trop de tâtonnements. L'avantage de ce procédé est qu'il conduit à des valeurs de la nouvelle tension définies sans ambiguïté: La moindre variation de  $p$  produit immédiatement un gros écart entre les grandeurs  $\Delta a_n$  et  $\delta_n$ , de sorte qu'on peut estimer avoir atteint la valeur exacte de  $p$ , même si  $\Delta a_n$  et  $\delta_n$  diffèrent de quelques centimètres l'un de l'autre.

Le problème qui vient d'être traité peut se poser quand il s'agit de prévoir la plus petite distance au sol d'une ligne aérienne suspendue ainsi que dans les croisements avec d'autres lignes.

Le groupe de la „Commission pour la révision des prescriptions fédérales“ qui s'occupe des lignes aériennes et au sein duquel nous avons présenté un résumé de l'exposé ci-dessus, jugea utile de contrôler par mesure directe dans un cas particulier jusqu'où la théorie concorde avec la réalité. La Société suisse pour le transport et la distribution d'électricité (S. K.) à Berne ayant mis à la disposition de la dite Commission sa ligne à haute tension Gösigen-Deitingen, l'auteur de cet article fut chargé de l'exécution des essais (les résultats figurent au tableau I).

*Mesures effectuées sur la ligne à haute tension Gösigen-Deitingen, à Deitingen:*

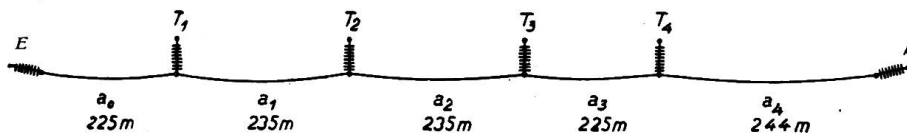


Fig. 4

Il s'agit d'un canton de 5 portées horizontales de 225, 235, 235, 225 et 244 m de longueur, limité par un pylône terminal  $E$  et par un pylône tenseur  $A$ , comprenant donc 4 pylônes porteurs intermédiaires  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  et  $T_4$ . La conduite triphasée, à 6 câbles d'aluminium de  $191 \text{ mm}^2$ , comprend une ligne isolée pour la

tension définitive de 135 kV (chaînes d'isolateurs de 8 éléments) et une ligne équipée provisoirement pour une tension inférieure (chaînes de 4 éléments). Les essais avaient pour but de déterminer l'influence d'une rupture de conducteur sur l'augmentation de flèche dans les portées voisines.

A cet effet on détacha le câble au pylône terminal en séparant la chaîne d'ancrage entre deux éléments d'isolateurs consécutifs. Pour des raisons d'ordre pratique (longueur insuffisante de la corde du palan) il n'était pas possible de détendre suffisamment le câble au pylône terminal pour obtenir artificiellement l'effet d'une rupture complète du conducteur; on s'est contenté d'augmenter la flèche le plus possible, jusqu'à ce que le câble touche à peu près le sol dans la première portée. On détermina l'augmentation de flèche dans les quatre portées restantes en mesurant à l'aide de perches de bambou graduées, avant et après détente du câble, la hauteur de ce dernier au-dessus d'un piquet fiché en terre au milieu de chaque portée et préalablement repéré par rapport aux pylônes au moyen d'un instrument de nivellement.

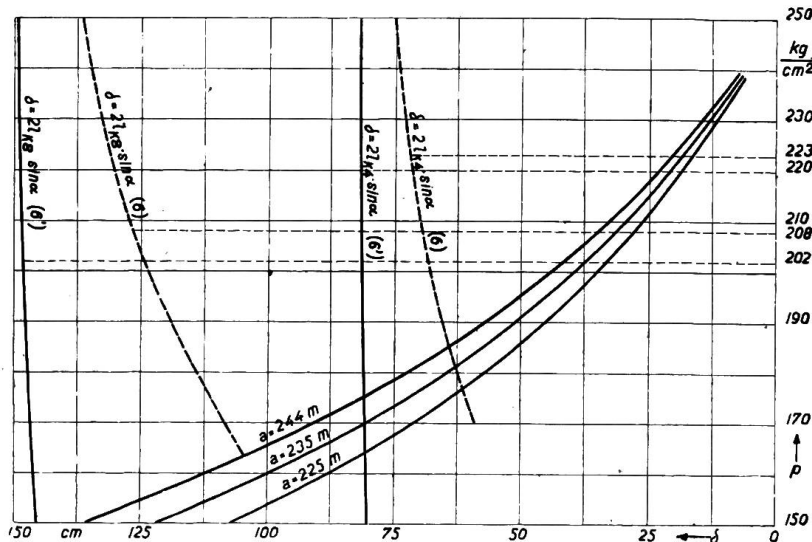


Fig. 5

portée et préalablement repéré par rapport aux pylônes au moyen d'un instrument de nivellement.

La déviation des chaînes d'isolateurs était obtenue directement aussi par la distance horizontale (mesurée avec un mètre coudé) entre le milieu de la pince de fixation du conducteur et un fil à plomb suspendu dans l'axe de la console.

Avant de détendre le câble, on a pu se rendre compte que toutes les chaînes porteuses étaient rigoureusement verticales. La température ambiante au cours des essais, qui durèrent deux jours, était de 25 à 30 degrés.

Tableau I.

Désignation	Dimension	$T_1$	$a_1 = 235$ m	$T_2$	$a_2 = 235$ m	$T_3$	$a_3 = 225$ m	$T_4$	$a_4 = 244$ m	
$f$	m		7,35		7,40		6,99		8,69	chaînes de 4 éléments
$f'$	m		9,34		8,22		7,37		8,95	
$\Delta f$	m		1,99		0,82		0,38		0,26	
$\Delta f$	%		27,1		11,1		5,44		3,00	
$\delta$	cm	59		25		11		5		chaînes de 8 éléments
$a$	$\Delta^\circ$	$45^\circ 15'$		$17^\circ 30'$		$7^\circ 40'$		$3^\circ 30'$		
$\Delta a$	cm	6,77	34		14		6		5	
$f$	m		7,55		7,57		7,14		8,69	
$f'$	m		10,15		8,58		7,64		9,09	
$\Delta f$	m		2,60		1,01		0,50		0,40	
$\Delta f$	%		34,50		13,35		7,00		4,60	
$\delta$	cm	96		42		21		11		
$a$	$\Delta^\circ$	$39^\circ 10'$		$16^\circ$		$8^\circ$		$4^\circ 10'$		
$\Delta a$	cm	6,65	54		21		10		11	

Nous donnons dans le tableau I le résultat des mesures effectuées. Pour éviter toute répétition inutile, nous désignerons toujours dans la suite les portées par  $a$ , les points d'attache aux pylônes porteurs par  $T$ , la flèche à l'état normal par  $f$ , la tension correspondante par  $p$ , la flèche du câble détendu par  $f'$ , la tension correspondante par  $p'$ ;  $\Delta f$  désignera l'augmentation de flèche en valeur absolue,  $\Delta f\%$  la même grandeur en %,  $\delta$  la déviation de la chaîne en cm,  $\alpha$  l'angle de cette déviation,  $\Delta a$  enfin la diminution de portée en cm.

Tableau II.

Dési- gnation	Dimen- sion	$T_1$	$a_1 = 235$ m	$T_2$	$a_2 = 235$ m	$T_3$	$a_3 = 225$ m	$T_4$	$a_4 = 244$ m	
$f$	m		7,73		7,73		7,09		8,34	chaînes de 4 éléments
$f'$	m		8,78		8,78		8,05		9,48	
$\Delta f$	m		1,05		1,05		0,96		1,14	
$\Delta f$	%		~ 13,6		~ 13,6		~ 13,6		~ 13,6	
$\delta$	cm	82		61,5		41		23		chaînes de 8 éléments
$a$	$\sphericalangle^0$	$81^0 10'$		$47^0 50'$		$29^0 40'$		$16^0 10'$		
$\Delta a$	cm		20,5		20,5		18		23	
$f$	m		7,73		7,73		7,09		8,34	
$f'$	m		9,57		9,57		8,77		10,32	chaînes de 8 éléments
$\Delta f$	m		1,84		1,84		1,68		1,98	
$\Delta f$	%		~ 23,8		~ 23,8		~ 23,8		~ 23,8	
$\delta$	cm	148		111		74		42		
$a$	$\sphericalangle^0$	$76^0 55'$		$46^0 50'$		$29^0 10'$		$16^0$		
$\Delta a$	cm		37		37		32		42	

Pour permettre la comparaison entre résultats théoriques et mesures directes, nous donnons dans un tableau semblable les valeurs auxquelles conduit, dans le cas particulier, la méthode indiquée plus haut. Si nous supposons une rupture du conducteur et non pas seulement une détente partielle, nous employons la formule (6a) pour tracer la courbe  $\delta = 2l_k \sin \alpha$  (fig. 5); les trois courbes  $\delta = f(p)$  pour  $a = 225, 235$  et  $244$  m sont calculées au moyen de la formule (5). Nous avons admis pour  $p_0$  la valeur  $250 \text{ kg/cm}^2$  qui correspond à la flèche moyenne observée avant de détendre le câble. La section de ce dernier est de  $191 \text{ mm}^2$  et son poids spécifique de  $2,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$ ; il pèse donc  $0,535 \text{ kg}$  par mètre courant. Les chaînes d'isolateurs de 4 et de 8 éléments pèsent respectivement  $\sim 25$  et  $\sim 50 \text{ kg}$ , leur longueur mesure  $83$ , resp.  $152 \text{ cm}$ . Le tableau II a été obtenu par la première méthode d'approximation décrite.

En réalité, comme nous le disions plus haut, le câble n'a pas été complètement détaché mais détendu seulement le plus possible. Dans la première portée nous avons une flèche approximative de  $18 \text{ m}$  pour le câble suspendu aux courtes chaînes et de  $19,50 \text{ m}$  pour le câble suspendu aux longues chaînes d'isolateurs. La déviation de la première chaîne, en  $T_1$ , doit donc être déterminée au moyen de la formule (6) où l'on introduit pour  $p_{H_0}$  la tension horizontale résiduelle correspondant à la flèche de  $18$  resp.  $19,50 \text{ m}$ . On obtient ainsi deux nouvelles courbes  $\delta = 2l_k \sin \alpha$  indiquées en pointillé dans la fig. 5, qui conduisent à de nouvelles valeurs de la traction résultante dans le canton après détente du câble. Le tableau III contient les résultats théoriques relatifs à ce cas (méthode simplifiée).

La comparaison des tableaux I et III montre immédiatement l'écart entre la réalité et la théorie simplifiée. D'après celle-ci l'augmentation de flèche devrait être indépendante de l'éloignement qui sépare la portée considérée du point de rupture

Tableau III.

Désignation	Dimension	$T_1$	$a_1 = 235$ m	$T_2$	$a_2 = 235$ m	$T_3$	$a_3 = 225$ m	$T_4$	$a_4 = 244$ m	
$f$	m		7,73		7,73		7,09		8,34	} chaînes de 4 éléments
$f'$	m		8,66		8,66		7,94		9,35	
$\Delta f$	m		0,93		0,93		0,85		1,01	
$\Delta f$	%		~ 12		~ 12		~ 12		~ 12	
$\delta$	cm	72,5		54,5		36,5		20,5		} chaînes de 8 éléments
$a$	°	60° 50'		41°		26° 10'		14° 20'		
$\Delta a$	cm		18		18		16		20,5	
$f$	m		7,73		7,73		7,09		8,34	
$f'$	m		9,28		9,28		8,52		10,0	} chaînes de 8 éléments
$\Delta f$	m		1,55		1,55		1,43		1,66	
$\Delta f$	%		~ 20		~ 20		~ 20		~ 20	
$\delta$	cm	126,5		95,0		63,5		35,5		
$a$	°	56° 20'		38° 40'		24° 40'		13° 30'		} chaînes de 8 éléments
$\Delta a$	cm		31,5		31,5		28,0		35,5	

du câble; or on constate au contraire que l'effet d'une rupture de conducteur se fait sentir surtout sur les portées voisines, mais que l'augmentation de flèche s'atténue rapidement avec la distance. Le fait qu'il ne s'établit pas dans tout le canton une tension horizontale moyenne unique provient, comme nous l'avons indiqué dans la méthode complétée, de ce que toute déviation d'une chaîne d'isolateurs entraîne une réaction du câble, dont le centre de gravité tend à revenir au milieu de la portée, ce qui a pour effet d'augmenter la tension dans le conducteur à chaque passage d'une portée à la suivante, dès qu'on s'éloigne du point de rupture. Le tableau IV indique les chiffres auxquels conduit la méthode complétée.

Tableau IV.

Désignation	Dimension	$T_1$	$a_1 = 235$ m	$T_2$	$a_2 = 235$ m	$T_3$	$a_3 = 225$ m	$T_4$	$a_4 = 244$ m	
$f$	m		7,73		7,73		7,09		8,34	} chaînes de 4 éléments
$f'$	m		9,66		8,55		7,49		8,68	
$\Delta f$	m		1,93		0,82		0,40		0,34	
$\Delta f$	%		25		10,6		5,64		4,08	
$\delta$	cm	68		28		12		4,5		} chaînes de 8 éléments
$a$	°	55°		19° 40'		8° 20'		3° 10'		
$\Delta a$	cm		40		16		7,5		4,5	
$f$	m		7,73		7,73		7,09		8,34	
$f'$	m		10,60		9,12		7,84		8,98	} chaînes de 8 éléments
$\Delta f$	m		2,87		1,39		0,75		0,64	
$\Delta f$	%		37,1		18		10,57		7,67	
$\delta$	cm	115,7		53,7		26		12		
$a$	°	49° 40'		20° 40'		9° 50'		4° 30'		} chaînes de 8 éléments
$\Delta a$	cm		62		27,7		14		12	

En confrontant les tableaux I et IV, on remarquera que la coïncidence entre valeurs théoriques et valeurs observées est pratiquement réalisée, pour autant toute-



fois qu'il s'agit de l'augmentation des flèches, ce qui est essentiel. En revanche, la déviation des chaînes d'isolateurs est un peu plus petite que la valeur prévue par la théorie, notamment dans la première portée. Cet écart est dû sans aucun doute à la résistance au déplacement que présente un câble *rigide* ne pouvant, contrairement à l'hypothèse de départ, se mouvoir librement autour de son „point“ de suspension, à la pince de l'isolateur. En réalité le câble n'est pas attaché en un „point“, mais serré dans une „gorge“ sur une vingtaine de centimètres, ce qui contrarie les déplacements latéraux dans le sens de la ligne.

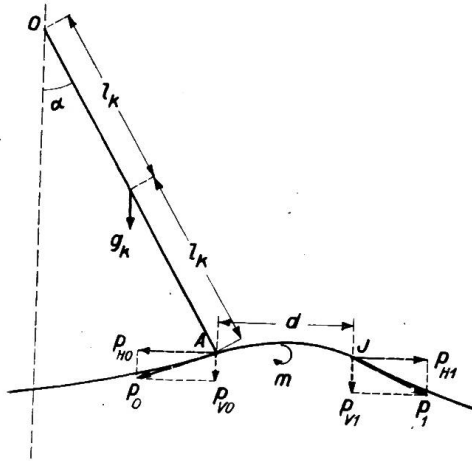


Fig. 6

Lors des essais on a pu constater facilement à faible distance de la chaîne d'isolateurs du premier pylône porteur ( $T_1$ ) un point d'inflexion du câble; ce dernier sortait de la gorge obliquement vers le haut, s'infléchissait vers le bas et, à partir du point d'inflexion, prenait la forme de la chaînette. Ceci prouve que la rigidité du câble produit au point de suspension un moment tendant à ramener la chaîne d'isolateurs dans sa position verticale, dès qu'elle s'en écarte par suite d'une différence de traction dans les deux portées adjacentes.

On peut calculer ce moment  $m$  de la façon suivante (fig. 6): la flèche mesurée dans la portée  $a_1$  correspond à une tension  $p_1$  s'exerçant au point d'inflexion  $J$  et non pas au point d'attache  $A$ . Les composantes  $p_{H_1}$  et  $p_{v_1}$ , de  $p_1$  peuvent être déplacées parallèlement à elles-mêmes de  $J$  en  $A$  à condition d'ajouter un moment  $m = p_{v_1} \cdot d$ , en remarquant que  $J$  est sensiblement au même niveau que  $A$ . La condition d'équilibre d'où découle la formule (6) doit donc être complétée comme suit:

$$(p_{v_1} + p_{v_0}) 2 l_k \sin \alpha + g_k l_k \sin \alpha + m = (p_{H_1} - p_{H_0}) 2 l_k \cos \alpha$$

c'est-à-dire 
$$m = (p_{H_1} - p_{H_0}) 2 l_k \cos \alpha - (p_{v_1} + p_{v_0}) 2 l_k \sin \alpha - g_k l_k \sin \alpha. \quad (7)$$

Si l'on introduit dans la formule (7) les valeurs de  $p$  qui correspondent aux flèches mesurées et l'angle  $\alpha$  réellement observé, on obtient en chacun des quatre points de suspension  $T_1, T_2, T_3$  et  $T_4$  le moment dû à la rigidité du câble. Les valeurs données ci-après pour le bras de levier  $d$  sont déduites de la formule (7), à la petite modification près suivante: Au lieu de prendre pour  $p_{H_1}$  les valeurs déduites immédiatement de l'expression  $\frac{\gamma a^2}{8 f'}$  où  $f'$  est tiré du tableau I, nous avons préféré calculer le  $\Delta p$  correspondant au  $\Delta f$  du tableau I et le soustraire de la valeur fixe  $p = 250 \text{ kg/cm}^2$ . Les valeurs de  $p_{H_1}$  ainsi obtenues se prêtent mieux à la comparaison que dans le premier cas, parce que les flèches  $f$  mesurées avant détente du câble ne correspondent pas à une tension spécifique rigoureusement égale dans tout le canton.

	chaînes de 4 éléments				chaînes de 8 éléments			
Point d'attache:	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$
Bras de levier:	~ 42	~ 18	~ 8	~ 0 cm	~ 107	~ 57	~ 16	~ 0 cm

La distance entre point d'inflexion et point d'attache du câble, remarquée au pylône  $T_1$ , était bien de cet ordre de grandeur.

*En résumé on voit que pour une ligne montée sur supports rigides par l'intermédiaire d'isolateurs suspendus, l'effet de la rupture d'un conducteur se fait sentir surtout sur les portées immédiatement voisines, mais que l'augmentation de flèche devient rapidement négligeable, ou du moins inoffensive à mesure qu'on s'éloigne du point de rupture.*



Ajoutons en terminant que les chaînes d'amarrage du pylône tenseur  $A$  n'ont pas bougé pendant les essais, ce qui justifie le fait de n'en pas avoir tenu compte dans la variation de la portée  $a_4$ . Enfin nous avons prévu de mesurer la déformation élastique des pylônes porteurs sous l'effet de la traction unilatérale; des mètres avaient été fixés aux extrémités des consoles et un théodolite, dressé à quelque distance du pied du mât, permettait la lecture au millimètre près. Mais les supports de la ligne Gösigen-Deitingen sont très rigides, de sorte que l'effet de torsion est négligeable, puisque le fléchissement de l'extrémité de la console du premier pylône porteur n'était que de 4 cm environ, pour une longueur en porte-à-faux de 2,70 m.

**2<sup>me</sup> problème:** En cas de répartition irrégulière de la surcharge de neige sur les différentes portées d'un canton déterminé (câble suspendu librement à des chaînes d'isolateurs et amarré aux extrémités du canton), avec quelle majoration de la flèche faut-il compter dans les portées encore chargées, si l'une d'elles perd subitement sa surcharge?

Nous nous bornerons à un exemple: Soit un câble d'aluminium de  $191 \text{ mm}^2$  de section, de poids spécifique  $\gamma = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$  et dont le module d'élasticité  $E$  vaut  $0,6 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$ . Considérons successivement une portée de 100, 150, 200 et 250 m. D'après les tables de montage d'un tel câble, la tension spécifique à  $0^\circ$  sans surcharge atteindra 256, 286, 300 et 310  $\text{kg/cm}^2$  pour les 4 portées correspondantes ci-dessus. L'équation d'état bien connue:

$$p^3 + p^2 \left[ \frac{\gamma^2 a^2 E}{24 p_0^2} + (t - t_0) a \cdot E - p_0 \right] = \frac{\gamma^2 a^2 E}{24} \quad (8)$$

permet de déduire les valeurs de la tension spécifique à  $0^\circ$  avec surcharge de neige; il suffit pour cela d'introduire le poids spécifique „virtuel“, par ex  $\gamma_v = 13,3 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$  correspondant à une surcharge de 2  $\text{kg/m}$ . On obtient ainsi les quatre valeurs suivantes:  $p_0$  neige = 748, 921, 1046 et 1145  $\text{kg/cm}^2$ .

A l'aide de la formule (5), développée en tête de cet article, il est dès lors facile de tracer les courbes  $\delta = f(p)$  donnant la variation de la portée en fonction de la variation de tension dans le câble.

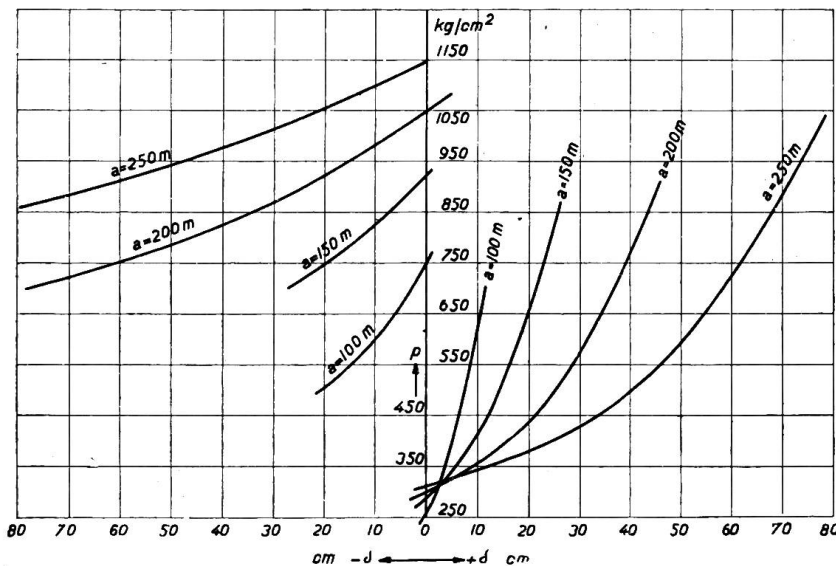


Fig. 7

Nous supposons d'abord toutes les portées du canton considéré uniformément chargées d'un manchon de neige de 2  $\text{kg/m}$ . Si ce manchon tombe à terre sur une certaine longueur, la portée déchargée sera soumise subitement – mais pour un instant seulement – à la fatigue correspondant à la température de  $0^\circ$  sans neige; les portées encore chargées, où règne une tension beaucoup plus élevée, tireront à la manière de contre-poids

et les chaînes d'isolateurs dévieront. La fatigue du câble diminuera dans les portées surchargées et augmentera dans les portées déchargées. On peut donc se contenter de tracer la portion négative ( $-\delta$ ) de la courbe  $\delta = f(p)$  dans le premier cas et la portion positive ( $+\delta$ ) dans le second cas (fig.7).

Comme dans le problème précédent, on peut distinguer entre une méthode approchée et une méthode plus exacte. La première conduira très vite au résultat de la façon suivante:

S'il s'agit de définir le nouvel état d'équilibre dans un canton de deux portées seulement, dont l'une est déchargée et l'autre pas, on cherchera l'ordonnée  $p$  qui corresponde sur l'une et l'autre courbe à deux valeurs de  $\delta$  égales et de signes contraires. Si le canton comprend trois portées dont la première seule est déchargée, l'ordonnée cherchée sera celle pour laquelle le double de l'abscisse interceptée sur la courbe  $(-\delta)$  sera égale à l'abscisse de la courbe  $(+\delta)$ ; s'il y a 4 portées, il faudra que l'abscisse positive soit le triple de l'abscisse négative, et ainsi de suite. Nous avons tracé les courbes  $\delta = f(p)$  pour des portées de 100, 150, 200 et 250 mètres, d'abord sans surcharge  $(+\delta)$ , puis supposées alourdis par 2 kg de neige par m  $(-\delta)$ . Le tableau V résume quelques résultats obtenus à l'aide de ces courbes nous n'avons considéré ici que des cantons formés de portées égales, mais rien n'empêche de généraliser la solution.

Tableau V.

Longueur de la portée considérée . . . . .	$a$	=	100	150	200	250 m
Tension spécifique du câble à 0°, sans neige	$p_0$	=	256	286	300	310 kg/cm <sup>2</sup>
Tension spécifique du câble à 0°, avec neige (2 kg/m)	$p_n$	=	748	921	1046	1145 kg/cm <sup>2</sup>
Flèche du câble déchargé ( $\gamma = 2,8 \cdot 10^{-3}$ kg/cm <sup>3</sup> )	$f_0$	=	1,37	2,75	4,67	7,05 m
Flèche du câble chargé ( $\gamma_v = 13,3 \cdot 10^{-3}$ kg/cm <sup>3</sup> )	$f_n$	=	2,22	4,06	6,36	9,08 m

*Canton de deux portées, l'une déchargée, l'autre chargée:*

Tension spécifique résultante . . . . .	$p_{1,2}$	=	600	725	815	880 kg/cm <sup>2</sup>
Déviations de la chaîne intermédiaire . . . . .	$\delta$	=	10	22,5	42	70 cm
Flèche dans la portée déchargée . . . . .	$f_1$	=	0,585	1,085	1,72	2,49 m
Diminution de la flèche dans la portée déchargée	$\Delta f_1$	=	-1,635	-2,975	-4,64	-6,59 m
Diminution de la flèche en % . . . . .	$\Delta f_1 \%$	=	-73,7	-73,3	-73	-72,6 %
Flèche dans la portée chargée . . . . .	$f_2$	=	2,77	5,15	8,16	11,80 m
Augmentation de la flèche dans la portée chargée	$\Delta f_2$	=	+0,55	+1,09	+1,80	+2,72 m
Augmentation de la flèche en % . . . . .	$\Delta f_2 \%$	=	+24,8	+26,9	+28,3	+30 %

*Canton de trois portées, la première déchargée, les deux autres chargées:*

Tension spécifique résultante . . . . .	$p_{1,2,3}$	=	660	800	900	985 kg/cm <sup>2</sup>
Flèche dans la portée déchargée . . . . .	$f_1$	=	0,53	0,985	1,56	2,22 m
Diminution de la flèche dans la portée déchargée	$\Delta f_1$	=	-1,69	-3,075	-4,80	-6,86 m
Diminution de la flèche en % . . . . .	$\Delta f_1 \%$	=	-76,2	-75,7	-75,5	-75,5 %
Flèche dans les deux portées chargées . . . . .	$f_{2,3}$	=	2,52	4,67	7,39	10,55 m
Augmentation de la flèche dans les deux portées chargées	$f_{2,3}$	=	+0,30	+0,61	+1,03	+1,47 m
Augmentation de la flèche en % . . . . .	$\Delta f_{2,3} \%$	=	+13,5	+15	+16,2	+16,2 %

*Canton de quatre portées, la première déchargée, les trois autres chargées:*

Tension spécifique résultante . . . . .	$p_{1,2,3,4}$	=	680	835	938	1025 kg/cm <sup>2</sup>
Flèche dans la portée déchargée . . . . .	$f_1$	=	0,515	0,935	1,49	2,13 m
Diminution de la flèche dans la portée déchargée	$\Delta f_1$	=	-1,705	-3,125	-4,87	-6,95 m
Diminution de la flèche en % . . . . .	$\Delta f_1 \%$	=	-77,0	-77,0	-76,5	-76,5 %
Flèche dans les trois portées chargées . . . . .	$f_{2,3,4}$	=	2,45	4,48	7,10	10,15 m
Augmentation de la flèche dans les trois portées chargées	$\Delta f_{2,3,4}$	=	+0,23	+0,42	+0,74	+1,07 m
Augmentation de la flèche en % . . . . .	$\Delta f_{2,3,4} \%$	=	+10,35	+10,35	+11,6	+11,8 %

Au lieu de supposer dans chaque canton une seule portée déchargée, on pourrait envisager une combinaison quelconque de portées chargées et de portées déchargées. Mais il est préférable de ne pas pousser la généralisation trop loin, car les essais relatés précédemment ainsi que la théorie complétée ont montré que dans un canton d'une certaine longueur il ne s'établit pas une tension résultante unique.

*Méthode exacte:* Supposons comme ci-dessus un canton de deux portées, l'une chargée de neige et l'autre pas. Au point de suspension intermédiaire, la

chaîne d'isolateurs déviara du côté de la portée chargée et l'angle  $\alpha$  sera défini par la relation (6) développée plus haut, soit

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2(p_{H_1} - p_{H_0})}{2(p_{v_1} + p_{v_0}) + g_k} \quad \text{ou} \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{2 \Delta p \cdot q}{g_{s_0} + g_{s_1} + g_k} \quad (9)$$

si  $\Delta p$  désigne la différence des tensions spécifiques,  $q$  la section du conducteur,  $g_{s_0}$  et  $g_{s_1}$  les poids respectifs de la première et de la deuxième portée,  $g_k$  celui de la chaîne. On introduira alors l'angle  $\alpha$  défini par la formule (9) dans l'expression

$\delta = 2l_k \sin \alpha$  qui donne la déviation horizontale de la chaîne d'isolateurs, puis on tracera la famille de courbes  $\delta = f(\Delta p)$  pour différentes portées et différentes longueurs de chaînes. D'autre part on choisira une série de valeurs de  $\Delta p = (p_n - p)$  qu'on promènera sur l'axe vertical du graphique dans la figure (7) jusqu'à ce qu'on obtienne pour chacune d'elle une déviation  $+\delta$  de la courbe de droite égale à la

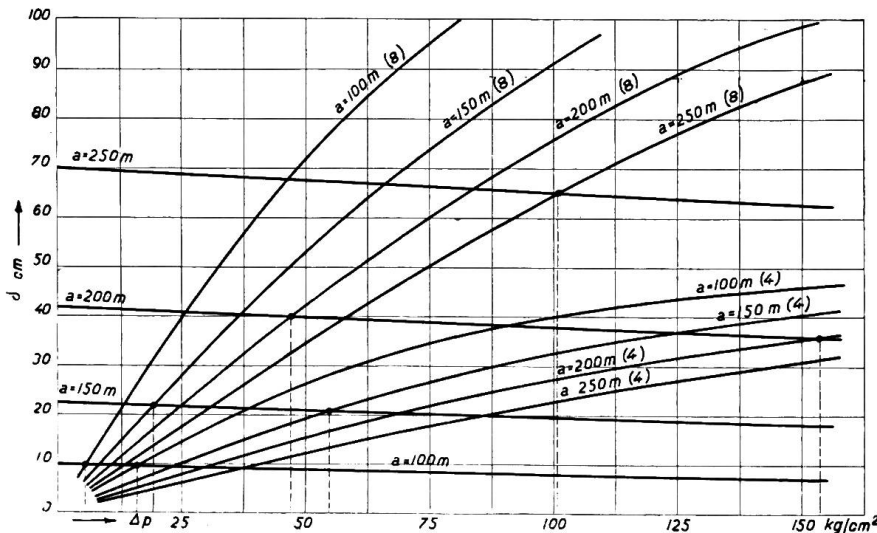


Fig. 8

déviation  $-\delta$  de celle de gauche, puis on portera graphiquement la fonction  $\delta = f(\Delta p)$ .

Le point d'intersection des courbes affectées du même indice (longueur de la portée) correspond alors à la valeur cherchée de la déviation  $\delta$  et de la différence de tensions  $\Delta p$  (figure 8); un simple coup d'œil sur la figure (7) donnera finalement  $p_n$  et  $p$  en valeur absolue. Le tableau VI résume les résultats ainsi obtenus;  $p_n$  désigne la tension spécifique dans le câble chargé de neige,  $p$  la tension dans le câble nu, à  $0^\circ$ ,  $f_n$  et  $f$ ,  $\Delta f_n$  et  $\Delta f$  les flèches, respectivement les variations de flèches correspondantes.

Tableau VI.

	chaînes de 4 éléments				chaînes de 8 éléments				
$\alpha$	=	100	150	200	250	100	150	200	250 m
$p_n$	=	605	738	840	950	602	732	822	897 $\text{kg/cm}^2$
$f_n$	=	2,75	5,06	7,92	10,94	2,76	5,11	8,08	11,60 m
$\Delta f_n$	=	0,53	1,00	1,56	1,86	0,54	1,05	1,72	2,52 m
$\Delta f_n \%$	=	+ 23,9	+ 24,6	+ 24,5	+ 20,5	+ 24,3	+ 25,9	+ 27,1	+ 27,7 %
$p$	=	589	684	687	560	596	713	774,5	796 $\text{kg/cm}^2$
$f$	=	0,595	1,15	2,04	3,91	0,587	1,105	1,81	2,75 m
$\Delta f$	=	- 1,625	- 2,91	- 4,32	- 5,17	- 1,633	- 2,955	- 4,55	- 6,33 m
$\Delta f \%$	=	- 73,2	- 71,7	- 67,8	- 57	- 73,7	- 72,8	- 71,5	- 69,7 %

En comparant les tableaux V et VI on voit que les deux méthodes ne donnent pas des valeurs très différentes pour la variation de la flèche; la méthode approchée conduit en tout cas à des résultats plus défavorables que l'autre, ce qui revient à dire qu'en réalité la distance du câble au sol ou à d'autres lignes restera toujours supérieure

des chiffres fournis par la théorie simplifiée. Par conséquent nous nous dispensons d'étendre la théorie exacte au cas général d'un canton formé de plusieurs portées quelconques. D'après le tableau V on voit d'ailleurs que l'augmentation de flèche devient de moins en moins sensible à mesure que le nombre de portées entre points fixes croît; le cas le plus défavorable, partant le plus intéressant, est donc celui de deux portées seulement: Le tableau précédent montre qu'il faut compter avec une augmentation de flèche de 25% environ dans la portée où subsiste la surcharge. La longueur des chaînes d'isolateurs a une légère influence, en ce sens que les longues chaînes permettent une déviation plus grande, donc une variation de flèche un peu plus importante que les petites, surtout dans les grandes portées.

En appliquant le mode de calcul ci-dessus à un câble de bronze de 50 mm<sup>2</sup> de section et en supposant aussi une surcharge de neige de 2 kg/m, nous avons obtenu une augmentation de flèche comprise entre 20 et 30 % pour des portées allant de 100 à 300 m. En revanche un câble de 134 mm<sup>2</sup> de section n'est plus sujet à d'aussi fortes variations de flèche; toutes choses égales d'ailleurs, l'écart atteint ici 12 à 18 % seulement. Un câble de 262 mm<sup>2</sup> enfin apparaît moins sensible encore à une répartition inégale de la surcharge, puisque sa flèche n'augmente que de 7 à 13 % dans les mêmes conditions.

Bien qu'une surcharge accidentelle influence d'autant moins la tension et par suite la flèche d'un câble aérien que la section de celui-ci est plus grande et qu'il est soumis à une sollicitation plus forte, il n'en demeure pas moins que les lignes de faible section ou en métal tendre (aluminium) courent le risque de subir d'importantes variations de flèche en cas de répartition inégale d'une surcharge de neige ou de verglas. A l'usage de ces dernières lignes — et quitte à se montrer moins sévère vis-à-vis des gros câbles de bronze et d'aluminium-acier — il semble donc justifié de tirer la conclusion pratique suivante des constatations qui précèdent:

*Dans les croisements aériens, si la ligne croisante est suspendue à des chaînes d'isolateurs, il faudrait autant que possible la tendre assez loin de la ligne croisée pour que sa distance à celle-ci ne descende pas au dessous du minimum prescrit, même si la flèche prévue à 0° et avec surcharge de neige est majorée d'un quart de sa valeur.*

## L'azote et l'énergie électrique en Suisse.

Par R. A. Jaques, ingénieur, Lausanne.

*Der Autor bespricht verschiedene Methoden der Herstellung von Stickstoffdüngemitteln unter Anwendung von elektrischer Energie. Er errechnet an dem Beispiel einer Fabrik, die jährlich 3500 Tonnen Stickstoff verarbeitet, die ungefähren Herstellungskosten der verschiedenen Stickstoffverbindungen und kommt zu dem Schluss, dass in der Schweiz solche Verbindungen nur mit Aussicht auf Erfolg hergestellt werden können, wenn die elektrische Energie zu höchstens Fr. 150.— pro kW Jahr erhältlich ist. Der Strom kann dabei nicht reiner Abfallstrom sein.*

*L'auteur donne un aperçu des différentes méthodes pour la fabrication des engrais nitriques nécessitant une grande quantité d'énergie électrique. Il compare les prix de revient qu'on peut réaliser avec les différents procédés en prenant comme base une usine fixant 3500 tonnes d'azote par an et conclut qu'une industrie de ce genre ne pourrait avoir chance de réussir en Suisse qu'à condition que le kW an ne coûte pas plus de fr. 150.— et que l'énergie soit fournie d'une manière régulière.*

Quiconque en Suisse a suivi les progrès de l'industrie électrochimique et spécialement ceux de l'industrie des produits nitrés doit se demander:

- 1<sup>o</sup> Est-il possible de faire de notre pays un gros producteur de synthétiques nitrés ou nitriques?
- 2<sup>o</sup> Celui qui se lance dans cette voie peut-il s'attendre à voir son entreprise couronnée de succès?

Possible, la chose l'est sans aucun doute. Les dizaines de mille kW que nous exportons au-delà de nos frontières pour motifs de force majeure suffiraient à eux