Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 14 (1923)

Heft: 5

Artikel: Nouvelle base de calcul des conducteurs aériens au point de vue mécanique

Autor: Jobin, Abel

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057581

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.08.2025

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
XIVe Année

Bulletin No. 5

Mai
Mai 1923

Nouvelle base de calcul des conducteurs aériens au point de vue mécanique.

Par *Abel Jobin,* ingénieur à Berne.

Der Autor unterbreitet und begründet, im Auftrage der Kommission des S. E. V. und V. S. E., welche Vorschläge für die Revision der bundesrätlichen Starkstromvorschriften von 1908 ausarbeitet, einen Vorschlag, der die Freileitungsvorschriften behandelnden Kommissionsgruppe für die Abänderung des frühern Art. 49 (betr. Durchgangsbestimmung) dieser Vorschriften.

L'auteur expose et justifie le nouveau texte proposé en remplacement de l'ancien art. 49 (concernant la tension de pose des conducteurs aériens) des prescriptions fédérales de 1908, par la sous-commission instituée par l'A. S. E. et l'U. C. S. pour la revision de la partie de ces prescriptions qui concerne spécialement les lignes aériennes à fort courant.

La sous-commission instituée par l'A. S. E. et l'U. C. S. pour la révision de la partie des prescriptions fédérales qui traite spécialement des lignes aériennes à fort courant, proposant de déterminer la tension de pose des conducteurs aériens sur des bases essentiellement différentes des bases de calcul en vigueur jusqu'ici, nous avons été chargés d'exposer, dans le Bulletin, les raisons qui ont motivé cette proposition, dans l'idée que des milieux plus étendus pourraient y trouver intérêt.

D'une manière générale, il est bien évident que les prescriptions concernant la tension de pose des conducteurs aériens répondent avant tout à la nécessité d'assurer la sécurité des personnes et des choses. Pour être *suffisantes,* les prescriptions doivent donc rendre tous les conducteurs aériens réellement capables de résister, sans qu'ils soient soumis à des efforts exagérés, aussi bien aux effets des plus grands froids qui sont surtout dangereux pour les petites portées qu'aux effets des plus grandes surcharges accidentelles de neige ou de glace qui ont une influence prépondérente sur les grandes portées. [1])

Pour être utilisables, les prescriptions ne doivent toutefois pas être seulement suffisantes, il faut qu'elles soient aussi *équitables.* En d'autres termes, elles doivent

[1]) Voir: Die Berechnung der Freileitungen mit Rücksicht auf die mechanischen Verhältnisse der Leiter, par A. Jobin, Ing., Bulletin de l'A. S. E. de juin 1919, page 169.

non seulement rendre tous les conducteurs capables de résister aux effets du froid et à ceux des surcharges maxima, mais elles doivent encore leur procurer un même degré de sécurité. Pour remplir cette condition, les prescriptions doivent être formulées de telle sorte qu'elles procurent *autant que possible à tous les conducteurs. petits ou gros, dans toutes les portées, courtes ou longues, soit une même capacité de résister au froid* (pour les portées plus petites que les portées limites) [2]), *soit une même capacité de surcharge* (pour les portées plus grandes que les portées limites) [2]). Il n'y a, en effet, aucune raison d'admettre pour les conducteurs à faible section et pour les petites portées une sécurité différente de celle admise pour les gros conducteurs et pour les grandes portées, du moment que les risques d'accident (risques de mort, d'incendie, d'explosion, etc.) pouvant résulter d'une défectuosité de ligne à haute tension sont, d'une manière générale, indépendants de la section des conducteurs et de leur portée. Ceci étant, il ne serait pas justifié non plus de donner aux conducteurs à faible section et aux petites portées une capacité de surcharge différente de celle qu'on juge utile de donner aux gros conducteurs et aux grands portées, du moment que d'après *toutes les observations faites en Suisse, par les usines électriques sous les auspices de l'Inspectorat des installations à fort courant et par les organes du Département de Chemins de fer et de la Direction générale des Télégraphes, il paraît certain que l'importance des surcharges est pratiquement indépendendante de la grosseur des conducteurs et de la logueur de leurs portées.*

Par *„Capacité de surcharge"*, nous entendons ici la surcharge maximum qu'un conducteur donné, dans une portée donnée, peut supporter sans subir de déformation permanente, c'est-à-dire la surcharge qui provoque dans le conducteur un effort correspondant à sa limite d'élasticité. Cette surcharge est, au fond, la seule qu'il importe de connaître, du moment qu'elle fixe la limite qu'il ne faut, en tout cas, pas dépasser. En effet, dès qu'on charge un conducteur aérien au delà de sa limite d'élasticité, il subit plus ou moins brusquement, des allongements permanents plus ou moins forts et sa flèche peut, dans certaines conditions, devenir dangereusement grande et même provoquer, *notamment dans les croisements,* de graves perturbations. En outre, dès qu'un conducteur est fatigué au delà de sa limite d'élasticité, il peut subir aussi des rétrécissements locaux permanents qui l'affaiblissent pour toujours.

Sous l'influence des prescriptions en vigueur jusqu'ici qui toutes, fixent la sécurité en fonction de la résistance de rupture, nous avions tout d'abord envisagé, comme échelle de la capacité de surcharge d'un conducteur donné, dans une portée donnée, la surcharge nécessaire pour le faire rompre. Par la suite, nous avons été rendus attentifs au fait que cette manière de faire était inadmissible, vu qu'il ne saurait être question d'introduire dans les calculs des efforts supérieurs à la limite d'élasticité, du moment que les formules couramment en usage pour le calcul de la solidité mécanique des conducteurs aériens sont toutes basées sur l'hypothèse d'un module d'élasticité constant. Elles ne sont, par conséquent, justes que pour autant qu'il s'agit d'efforts ne dépassant pas la limite d'élasticité.[3])

Dans le chapitre qui va suivre nous allons voir dans quelle mesure les prescriptions en vigueur jusqu'ici en Suisse, remplissent les conditions énumérées plus haut.

I.

A. *L'art. 49 des prescriptions fédérales de 1908 concernant l'établissement et l'entretien des installations électriques à fort courant* se contente, comme on sait [4]),

[2]) Voir Bulletin de juin 1919 déjà cité, page 168.

[3]) La nécessité de substituer la limite d'élasticité à la résistance de rupture a été, au sein de la sous-commission, démontrée spécialement par M. G. Sulzberger, ingénieur de contrôle au Département des Chemins de fer à l'aide d'un grand nombre de résultats d'essais des matériaux divers.

[4]) L'art. 49 en question est ainsi conçu: La flèche des lignes aériennes doit être telle, qu'aux températures les plus bases de l'endroit et en tenant compte de leur poids propre seulement, la sécurité à la rupture soit au moins égale à 5.

d'exiger comme point de départ pour la détermination de la tension de pose d'un conducteur quelconque, une sécurité à la rupture d'au moins 5 à la température la plus basse de l'endroit, sans limiter spécialement l'effort maximum admissible en cas de surcharge de neige ou de glace. Cette manière de faire rend bien tous les conducteurs également résistants (sécurité 5) vis-à-vis du froid, mais très inégalement résistants par rapport aux surcharges accidentelles de neige ou de glace, comme le montre clairement le graphique fig. 1 ci-après.

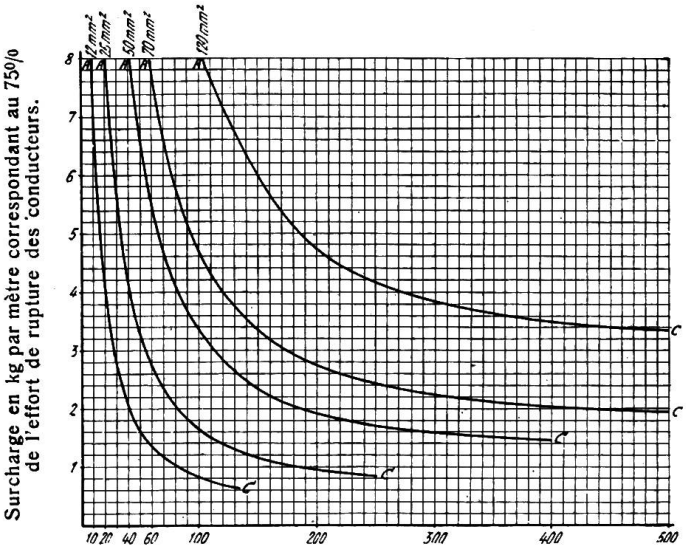

fig. 1[5])

Capacité de surcharge à 0° C[6]) de divers conducteurs aériens, tendus à la sécurité 5 à — 25° C suivant l'art. 49 des prescriptions fédérales de 1908.

Matériel: Cuivre dur d'une résistance à la rupture de 40 kg/mm².

Module d'élasticité: $E = 1\,320\,000$ kg/cm².

Explication: Les courbes de la fig. 1 donnent, en kg par mètre courant de conducteur les surcharges maxima que chaque conducteur peut supporter sans être fatigué au-delà de sa limite d'élasticité, cette limite étant, dans le cas présent, égale au 75 % de la résistance à la rupture.

Toutes les courbes de capacité de surcharge des gros conducteurs étant, dans la fig. 1, situées au-dessus des courbes correspondant aux conducteurs à section plus faible, cela signifie que les gros conducteurs tendus d'après les prescriptions fédérales de 1908 ont tous une capacité de surcharge plus grande que les conducteurs à section plus faible. Or ceci n'a pas sa raison d'être, puisque, comme nous l'avons relevé plus haut, l'importance des surcharges est indépendante de la section des conducteurs.

En outre, toutes les courbes en question tombant de gauche à droite, cela signifie que la capacité de surcharge de tous les conducteurs tendus d'après les prescriptions fédérales de 1908 est moins grande dans les grandes portées que dans les petites, ce qui n'est pas justifié non plus, puisque l'importance des surcharges est aussi indépendante de la portée.

S'il est vrai, comme le montre la fig. 1, que les prescriptions fédérales de 1908 garantissent très différemment la sécurité des lignes aériennes par rapport aux surcharges accidentelles de neige ou de glace, suivant la grosseur des conducteurs et suivant leurs portées, on doit, par contre, reconnaître qu'elles ont au moins l'avantage de garantir en tout cas, *suffisamment* la solidité mécanique de tous les conducteurs dans les *petites portées,* et dans ce sens, elles remplissaient pratiquement assez bien leur but à l'époque où elles ont été édictées, vu que les portées des lignes aériennes ne dépassaient guère alors les 50 mètres. Elles ne suffisent, par contre, plus aujourd'hui, du fait qu'elles ne procurent pas une capacité de surcharge suffisante dans les grandes portées qui atteignent souvent des longueurs considérables et deviennent de plus en plus nombreuses.

B. L'art. 49 des prescriptions fédérales de 1909 et la prescription additionnelle provisoire de l'Inspectorat des installations à fort courant. Pour parer à l'insuffisance de l'art. 49 des prescriptions fédérales de 1908 dans les grandes portées, l'Inspectorat des installations à fort courant s'est vu, il y a quelques années déjà, dans l'obligation *d'ajouter à l'exigeance d'une sécurité de 5 à la rupture aux tempéra-*

[5]) Nous avons, dans tout cet exposé, remplacé la chaînette des conducteurs par une parabole et n'avons considéré, par simplification, partout que l'effort existant au sommet de la parabole. Comme plus basse température nous avons admis — 25° C.

[6]) A 0° C parce que, d'après les observations faites en Suisse, c'est à cette température que se produisent les plus grandes surcharges.

tures les plus basses, sans surcharge, l'exigeance d'une sécurité de 2,5 à la rupture à 0° C avec une surcharge de neige de 800 gr. par mètre courant de conducteur. Cette prescription additionnelle provisoire de l'Inspectorat correspond, comme le montre le graphique fig. 2 ci-dessous, à un relèvement en *BD* de toutes les courbes de capacité de surcharge. En d'autres termes, cette prescription procure à tous les conducteurs, dans toutes les portées supérieures aux portées-limites, une capacité de surcharge plus grande que celle qui correspond aux prescriptions fédérales de 1908 et dans ce sens, elle a rendu certainement jusqu'ici de grands services à tous nos constructeurs de lignes aériennes.

En *principe* cependant, la prescription additionnelle provisoire de l'Inspectorat ne change rien à l'état de choses crée par les prescriptions fédérales de 1908, comme le montre une simple comparaison des graphiques fig. 1 et fig. 2. En effet, dans la fig. 2 comme dans la fig. 1 toutes les courbes de capacité de surcharge des gros conducteurs sont situées au dessus de celles des conducteurs à section plus faible et toutes les courbes s'abaissent à mesure que la portée augmente[7]). Cela signifie que la base de calcul donnée provisoirement par l'Inspectorat procure aussi une capacité de surcharge plus grande aux gros conducteurs qu'aux conducteurs à plus faible section et une plus grande capacité de surcharge aux petites qu'aux grandes portées, ce qui n'est pas justifiée, pour les raisons que nous avons déjà dites.

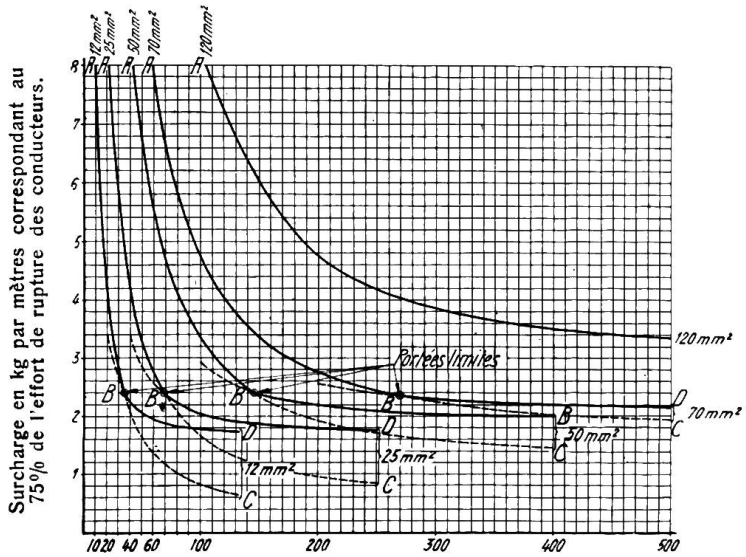

fig. 2

Capacité de surcharge de divers conducteurs aériens, tendus à la sécurité 5 à la rupture à — 25° C, sans surcharge et à la sécurité 2,5 à la rupture à 0° C avec 800 g de surcharge.

Matériel: Cuivre dur d'une résistance à la rupture de 40 kg/mm².

Module d'élasticité: $E = 1\,320\,000$ kg/cm².

Explication: Les courbes de la fig. 2 donnent en kg par mètre courant de conducteur, les surcharges maxima que chaque conducteur peut supporter sans être fatigué au-delà de sa limite d'élasticité, cette limite étant, dans le présent cas, égale au 75% de la résistance à la rupture.

Autrement dit, l'exigeance d'une sécurité uniforme de 2,5 à la rupture, à 0° C, avec 800 gr. de surcharge par mètre — *qui n'est pas la plus grande surcharge prévue* — ne correspond pas, comme on pourrait le croire à première vue, à une sécurité uniforme des conducteurs aériens par rapport aux surcharges maxima qui peuvent se présenter, mais à une sécurité plus grande des gros conducteurs que des conducteurs à faible section et à une plus grande sécurité des petites portées que des grandes. Or, qui dit sécurité, dit flèche et qui dit flèche, dit hauteur des supports. Les prescriptions actuellement en vigueur exigent donc du constructeur qui utilise de gros câbles (qui sont d'eux mêmes déjà plus sûrs) dans une portée donnée, des supports relativement trop élevés et par conséquent trop chers, par rapport à ceux qu'elles exigent du constructeur qui, dans une portée de même longueur, utilise des conducteurs à section plus faible. De même, elles exigent dans les petites portées, des supports relativement trop élevés et par conséquent trop chers, par rapport à ceux qu'elles exigent, pour le même conducteur, dans des portées plus longues.

[7]) Il n'est question ici, bien entendu, que de la partie des courbes qui concerne les portées supérieures aux portées limites, du moment que la partie des courbes concernant les portées plus petites correspond à la sécurité 5 à — 25° C.

Or toutes ces inégalités de traitement ne sont évidemment pas *équitables* puisqu'elles entraînent, sans raison, des dépenses plus élevées pour certains constructeurs que pour d'autres. On voit donc qu'il ne s'agit pas ici d'une simple question de forme de valeur purement académique, mais bien d'une question de fond très importante au point de vue économique.

II.

Nouvelle base de calcul des conducteurs aériens au point de vue mécanique.

On a vu dans le chapitre précédent que la prescription additionnelle de l'Inspectorat concernant la sécurité de 2,5 à la rupture à 0° C avec 800 gr de neige par mètre de conducteur, atténue mais n'élimine pas les imperfections inhérentes à l'art. 49 des prescriptions fédérales de 1908. Cela provient tout simplement du fait qu'il est théoriquement impossible de donner à des conducteurs de différentes sections et dans différentes portées, une même capacité de surcharge en se servant comme point de départ d'une surcharge fictive qui n'est pas la surcharge maximum que doivent pouvoir supporter les conducteurs envisagés. Ainsi, en exigeant une sécurité de 2,5 avec une surcharge de 0,8 kg par mètre, cela ne veut pas du tout dire que la surcharge pourra être 2,5 fois plus grande (c'est-à-dire égale à 2 kg par mètre) pour tous les conducteurs dans toutes les portées.

Si la sécurité est la même pour tous les conducteurs et toutes les portées avec une surcharge de 0,8 kg par mètre, elle sera nécessairement toute différente avec une surcharge supérieure, vu que toute augmentation de surcharge a une influence moindre sur les gros conducteurs que sur les petits et dans les petites portées que dans les grandes. Les prescriptions exigeront donc toujours automatiquement des gros conducteurs et des petites portées une capacité de surcharge différente de celle des petits conducteurs et des grandes portées, et dans ce sens elles ne seront jamais équitables, tant qu'elles ne se borneront pas à prescrire formellement que l'effort dans les conducteurs ne doit pas dépasser *telle limite maximum fixée avec telle surcharge maximum qui peut se présenter.*

Dans le sens des remarques faites au début de cet exposé, l'effort maximum admissible avec le maximum de surcharge que les conducteurs doivent pouvoir supporter sans subir de déformation permanente ne peut pas être supérieur à la limite d'élasticité des matériaux employés. La limite d'élasticité est d'ailleurs la seule base de calcul des conducteurs aériens qui permette de tenir compte de la qualité des matériaux utilisés, quisqu'une sécurité donnée de „X" à la rupture, protège différemment un conducteur contre les déformations permanentes suivant que la limite d'élasticité du métal en question est plus ou moins élevée.

Naturellement, la fixation de l'effort maximum admissible à 0° C avec la surcharge maximum, ne donne qu'une des deux limites d'effort que les prescriptions ont à prescrire. Les petites portées réagissant plus fortement sous l'effet du froid que sous l'effet des surcharges, il est indispensable de prescrire aussi une limite pour l'effort maximum admissible par les températures les plus basses. Logiquement cette limite doit être fixée en fonction de la limite d'élasticité pour pouvoir, ici aussi bien qu'à 0° C avec surcharge, tenir compte de la qualité des matériaux utilisés. Comme effort maximum aux températures les plus basses, la sous-commission a décidé de proposer un effort correspondant à une sécurité de 2 par rapport à la limite d'élasticité. On s'étonnera peut-être qu'on ait adopté la limite d'élasticité elle-même, à 0° C avec la surcharge maximum et la limite d'élasticité divisée par deux au froid maximum. Cette différence de sécurité nous paraît cependant pleinement justifiée. En effet les surcharges maxima ne se présentent que très rarement et quand, par hasard, elles se présentent, c'est toujours dans des cas tous à fait isolés qui n'intéressent tout au plus que quelques conducteurs d'une région. Les froids intenses, par contre, se présentent presque chaque année, durent des jours entiers et agissent sur toutes les lignes aériennes de la région.

En résumé, la sous-commission propose de remplacer l'ancien art. 49 des prescriptions fédérales de 1908 par un nouvel article formulé, en principe, comme suit:

La flèche des lignes aériennes doit être telle d'une part: qu'aux températures les plus basses de l'endroit et en tenant compte de leur poids propre seulement, l'effort dans les conducteurs corresponde au moins à une sécurité de 2 par rapport à la limite d'élasticité des matériaux utilisés;

d'autre part: qu'à 0° C avec un maximum de surcharge de x kg[8]) *de neige par mètre courant, l'effort dans les conducteurs ne dépasse pas l'effort correspondant à la limite d'élasticité des matériaux utilisés.*

Comme surcharge maximum, la sous-commission a cru pouvoir adopter, après examen de tous les résultats connus d'observations faites dans notre pays, 1,5 kg par mètre de conducteur pour les fils et 2,0 kg par mètre pour les câbles dans l'idée que les câbles plus rugueux offrent plus de prise à la neige que les fils lisses.

La sous-commission a cru, en outre, qu'il serait utile d'autoriser les offices de contrôle à diminuer ou à augmenter la charge maximum adoptée pour la règle générale, suivant les expériences spéciales qu'on pourra faire dans telle ou telle région[9]).

La fig. 3 ci-dessous donne, de façon analogue aux fig. 1 et 2 les capacités des surcharges à 0° C, qui correspondent à la nouvelle formule adoptée en remplacement de l'ancien art. 49 des prescriptions fédérales de 1908. Par les courbes du graphique fig. 3 on voit que la capacité de surcharge à 0° C est la même pour tous les conducteurs dans toutes les portées supérieures aux portées limites et qu'ainsi est atteint un des buts des prescriptions, l'autre but, la garantie d'une même résistance au froid, étant atteint, dans les portées inférieures aux portées limites (c'est-à-dire autant que possible) du fait de la sécurité exigée de 2 aux températures les plus basses.

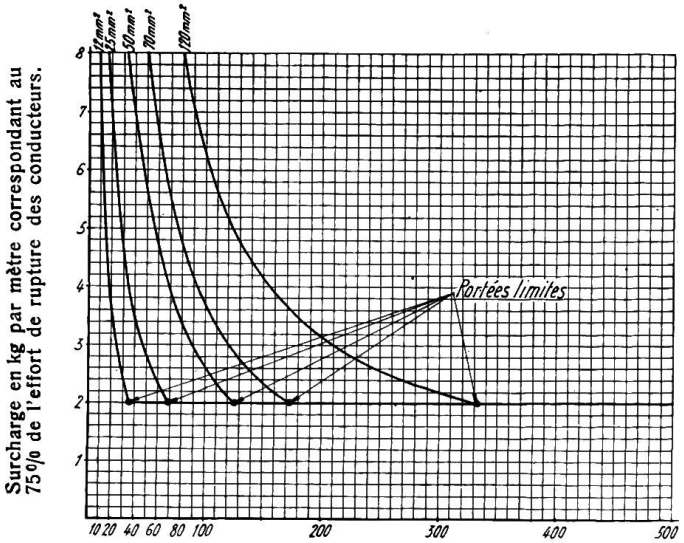

fig. 3.

Capacité de surcharge de divers conducteurs aériens, tendus à la moitié de la limite d'élasticité à —25° C, sans surcharge et à la limite d'élasticité à 0° C avec 2 kg de neige par mètre courant.

Matériel: Cuivre dur d'une résistance à rupture de 40 kg/mm².

Module d'élasticité: $E = 1\,320\,000$ kg/cm².

Explication: Les courbes de la fig. 3 donnent en kg par mètre courant de conducteur, les surcharges maxima que chaque conducteur peut supporter sans être fatigué au-delà de sa limite d'élasticité, cette limite apparente d'élasticité étant, dans le cas présent, égale au 75% de la résistance de rupture.

III.

Discussion. Dans les fig. 4 et 5 qui suivent, nous avons reporté graphiquement les efforts auxquels sont soumis divers conducteurs aériens, au froid maximum de − 25° C et à 0° C avec une surcharge maximum de 2 kg par mètre de conducteur, suivant l'art. 49 seul des prescriptions fédérales de 1908, suivant cet art. 49 complété par la prescription provisoire de l'Inspectorat et suivant la nouvelle formule.

[8]) Nous tenons à rappeler ici, que M. A. Pillonel, actuellement Directeur des télégraphes et des téléphones du 1er Arrt. à Lausanne, à déjà préconisé, en 1917, l'adoption de la surcharge maximum avec un effort maximum ne dépassant pas la limite d'élasticité. Voir l'étude: La revision des prescriptions fédérales suisses concernant la construction des lignes électriques, parue dans le Bulletin de l'A. S. E. de mars 1917.

[9]) Lors des chutes de neige du 30/31 décembre 1922, dans le sud du Tessin, on à constaté sur diverses lignes aériennes des manchons réguliers de neige humide d'un diamètre de 20 à 25 cm, dont le poids allait jusqu'à 8 kg par mètre.

Comme on le voit par la fig. 4, la sécurité uniforme de 5 à la rupture à -25^0 C exigée par *l'art. 49 des prescriptions fédérales de 1908,* tension représentée à -25^0 C par les trois lignes superposées *CD, EF, GH* ne garantit les conducteurs contre les déformations permanentes que dans des portées relativement petites *a, b, c* puisque les courbes $C_0 D_0$, $E_0 F_0$, $G_0 H_0$ qui donnent les efforts correspondants à 0^0 C avec la surcharge maximum de 2 kg par mètre coupent la limite d'élasticité en a_0, b_0, c_0.

Avec les prescriptions de l'Inspectorat, la tension des conducteurs à -25^0 C ne correspond à une sécurité de 5 à la rupture que dans les portées plus courtes que les portées-limites *d, e, f.* Cette tension est donnée dans la fig. 4, à -25^0 C par les trois lignes superposées *Cd, Ee, Gf* qui correspondent, à 0^0 avec 2 kg de surcharge par mètre, au courbes $C_0 d_0$, $E_0 e_0$, $G_0 f_0$ qui sont parties des courbes $C_0 D_0$, $E_0 F_0$, $G_0 H_0$. Dans les portées plus grandes que les portées-limites, l'effort à -25^0 C doit rester plus faible que dans les portées plus petites, suivant les courbes *dJ, eK, fL* pour que la sécurité fixée de 2,5 à la rupture, à 0^0 C avec 800 gr. de neige par mètre, soit observée. Les efforts *dJ, eK, fL* à -25^0 C correspondent à 0^0 C avec la surcharge maximum de 2 kg par mètre, aux efforts donnés par les courbes $d_0 J_0$, $e_0 K_0$, $f_0 L_0$. Comme les courbes $C_0 d_0 J_0$ et $E_0 e_0 K_0$ coupent la ligne de la limite d'élasticité en g_0 et h_0, on voit que la prescription additionnelle provisoire de l'Inspectorat ne garantit pas non plus tous les conducteurs contre les déformations permanentes, avec la surcharge maximum de 2 kg par mètre. Le conducteur de 70 mm² serait, lui, il est vrai, suffisamment protégé contre les déformations permanentes puisque

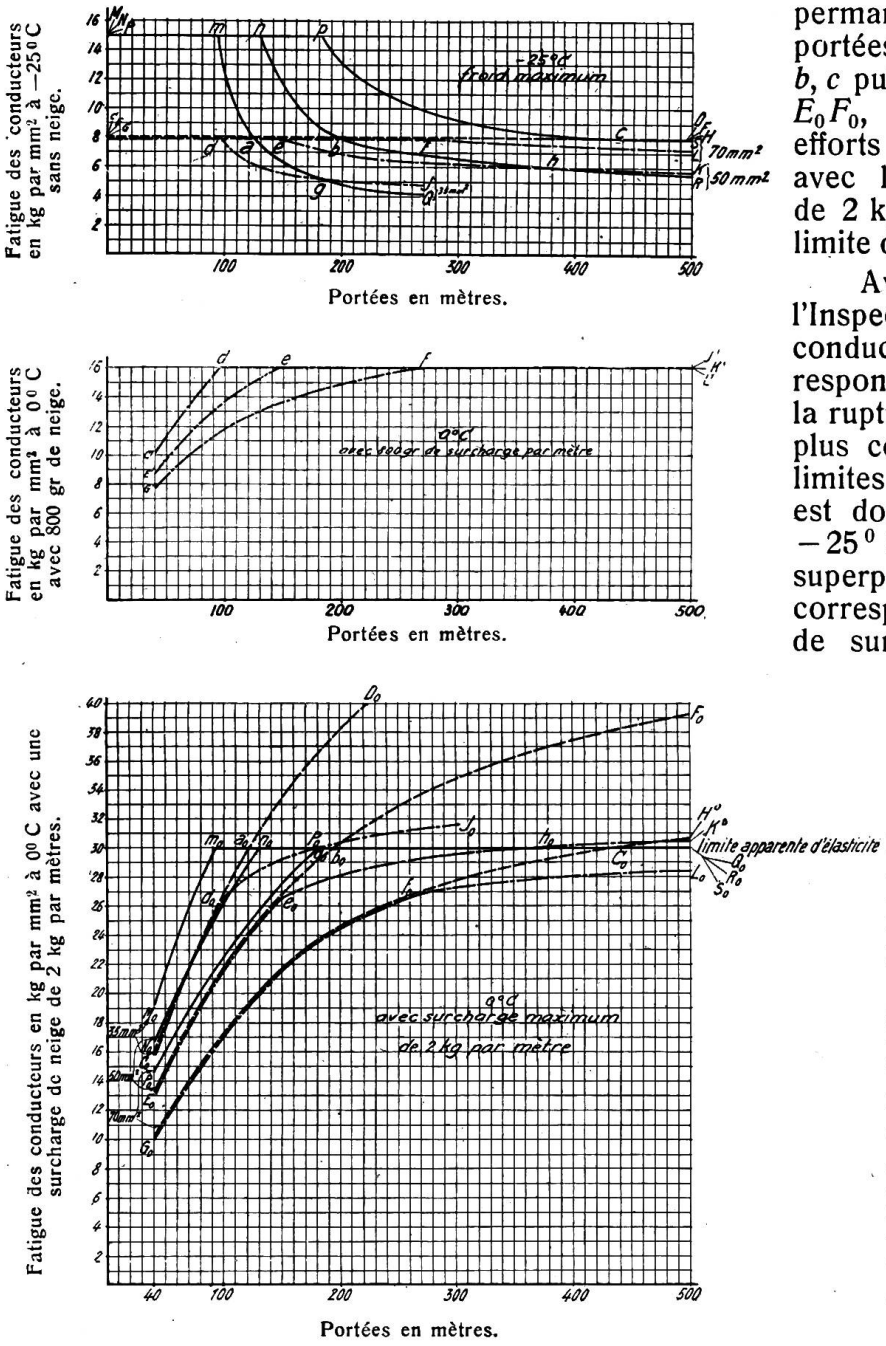

fig. 4

Fatigue des conducteurs aériens en cuivre dur d'une résistance à la rupture de 40 kg/mm² et d'une limite d'élasticité égale au 75 % de l'effort de rupture.

---------- suivant les prescriptions fédérales de 1908 seules.

-.-.-.-.-.- suivant les prescriptions fédérales de 1908 et la prescription additionnelle provisoire de l'Inspectorat des installations à fort courant.

——— suivant la nouvelle base du calcul.

la courbe $f_0 L_0$ reste au-dessous de la ligne de la limite d'élasticité. En effet, mais c'est justement assez curieux de constater qu'on exige du constructeur qui emploie des câbles de 70 mm² une sécurité plus grande (c'est-à-dire des efforts plus faibles et par conséquent des supports plus élevés et plus chers) que celle dont on se contente du constructeur qui utilise des conducteurs de sections plus petites. Pourquoi les conducteurs de 70 mm² ne pourraient-ils pas dans toutes les portées plus grandes que f_0 être tendus suivant la courbe $f_0 c_0$ qui correspond à la sécurité requise de 5 à -25^0 et à partir de la portée c_0, suivant la ligne horizontale de la limite d'élasticité, puisque tous les efforts correspondants sont toujours encore plus faibles que les efforts $e_0 K_0$ exigés pour des câbles de 50 mm²? Et pourquoi exige-t-on du constructeur qui utilise des câbles de 50 mm², qu'il tende ses conducteurs suivant la courbe d'efforts $e_0 h_0$, alors qu'il pourrait s'en tirer à meilleur marché (supports plus courts!) en les tendant suivant $e_0 b_0 h_0$ sans dépasser d'aucune façon les efforts qu'on accepte sans autre pour des câbles plus faibles?

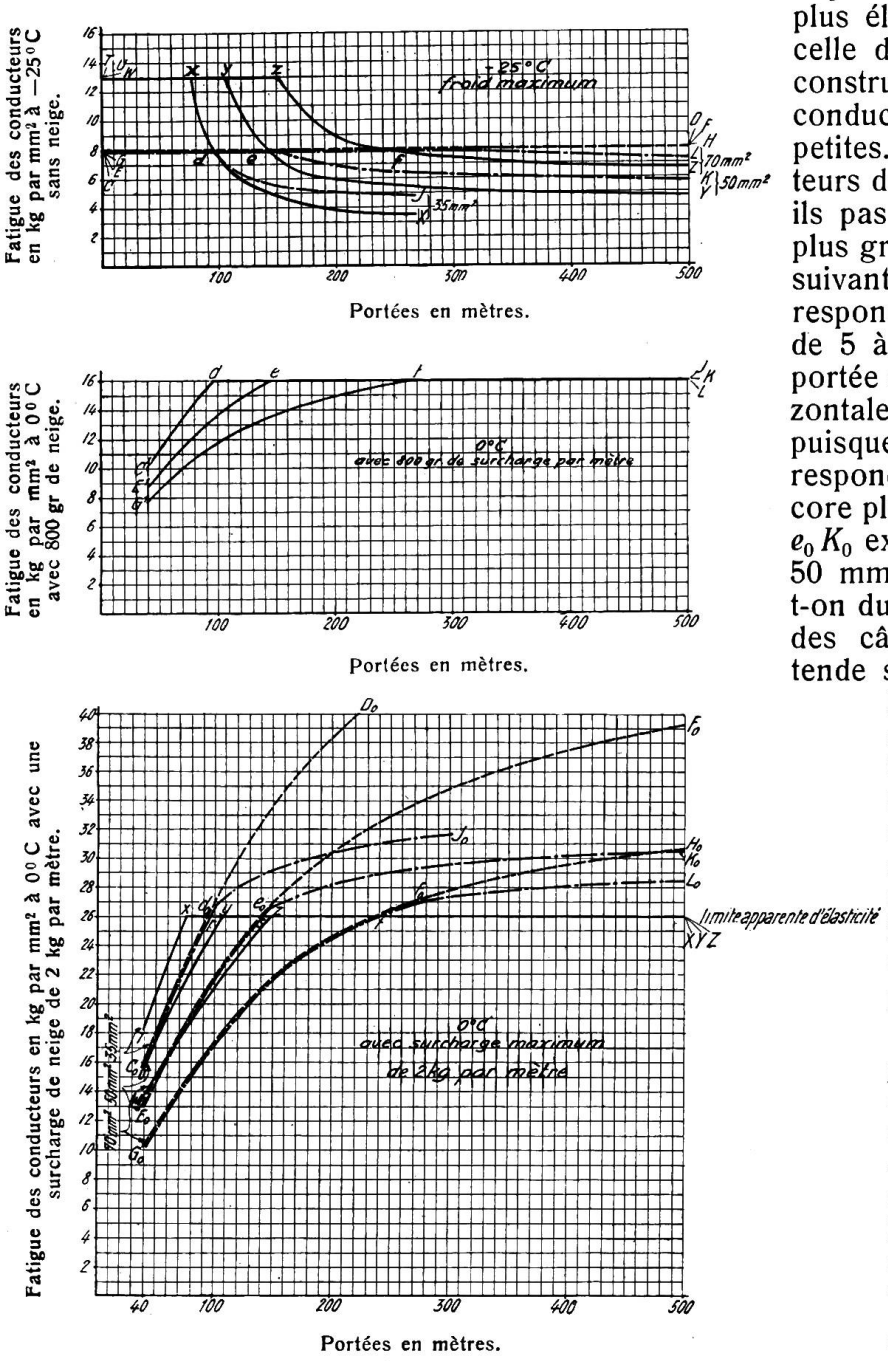

fig. 5

Fatigue des conducteurs aériens en cuivre dur d'une résistance à la rupture de 40 kg/mm² et d'une limite d'élasticité égale au 65% de l'effort de rupture.

---------- suivant les prescriptions fédérales de 1908 seules.

---------- suivant les prescriptions fédérales de 1908 et la prescription additionnelle provisoire de l'Inspectorat.

———— suivant la nouvelle base du calcul.

La nouvelle formule proposée par la sous-commission en remplacement de l'ancien art. 49 des prescriptions fédérales a précisément l'avantage de permettre que tous ces conducteurs soient tendus, *en principe*, suivant les courbes $C_0 a_0$, $E_0 b_0$, $G_0 c_0$ et à partir des points a_0, b_0 et c_0 suivant la limite d'élasticité. La seule différence est qu'on a, en outre, abandonné la sécurité de 5 à la rupture qui nous est restée des prescriptions fédérales de 1908, pour nous en tenir à une sécurité de 2 par rapport à la limite d'élasticité, à la température la plus basse. Du fait de ce changement,

les conducteurs peuvent être tendus à -25^0 C suivant les courbes d'efforts MmQ, NnR, PpS qui correspondent à 0^0 C, avec surcharge de 2 kg par mètre aux efforts donnés par les courbes $M_0 m_0 Q_0$, $N_0 n_0 R_0$, $P_0 p_0 S_0$.

La fig. 5 qui concerne des conducteurs de cuivre dur dont la limite apparente d'élasticité a été intentionnellement admise très bas (65 % de l'effort de rupture) est particulièrement intéressant du fait qu'elle montre l'importance qu'il y a d'avoir des prescriptions permettant de tenir compte de la qualité des matériaux employés.

Les prescriptions en vigueur jusqu'ici ne tenant compte que de la résistance à la rupture et ne faisant aucun cas de la limite d'élasticité, toutes les courbes d'efforts CD, EF, GH et CdJ, EeK, GfL à -25^0 C et les courbes correspondantes C_0D_0, E_0F_0, G_0H_0 et $C_0d_0J_0$, $E_0e_0K_0$, $G_0f_0L_0$ à 0^0 C avec surcharge de 2 kg/mètre, sont dans la fig. 5 exactement les mêmes que dans la fig. 4. Les courbes d'efforts correspondant aux nouvelles prescriptions sont, par contre, différentes dans la fig. 4 et dans la fig. 5; en particulier, l'horizontale donnant la limite d'élasticité se trouve dans la fig. 5 plus bas (65 % de 40 kg/mm² = 26 kg/mm²) que dans la fig. 4 (75 % de 40 kg/mm² = 30 kg/mm²). Ceci a pour conséquence qu'à 0^0 C avec la surcharge maximum de 2 kg par mètre, les courbes C_0D_0 et $C_0d_0J_0$, E_0F_0 et $E_0e_0K_0$, G_0H_0 et $G_0f_0L_0$ coupent dans la fig. 5 la nouvelle ligne de limite d'élasticité en trois points seulement r_0, s_0, t_0; en d'autres termes, les prescriptions fédérales de 1908 aussi bien que les prescriptions de l'Inspectorat ne garantissent les conducteurs cités contre les déformations permanentes à 0^0 C, avec la surcharge maximum de 2 kg par mètre, que dans les portées plus courtes que les portées r, s, t.

Il convient, en outre, de noter que la sécurité de cinq à la rupture ne représente q'une sécurité de 3,75 contre les déformations permanentes, quand il s'agit de matériaux dont la limite apparente d'élasticité est égale au 75 % de l'effort de rupture et qu'une sécurité de 3,25 pour des matériaux dont la limite apparente d'élasticité est égale au 65 % de l'effort de rupture.

D'après tout ce qui précède la nouvelle formule proposée en principe par la sous-commission de l'A. S. E. et de l'U. C. S., chargée spécialement de la revision des prescriptions concernant la tension de pose des conducteurs aériens, paraît devoir remplacer très avantageusement l'ancien art. 49 des prescriptions fédérales de 1908. A l'encontre des prescriptions en vigueur jusqu'ici en Suisse, cette formule permet de donner à tous les conducteurs aériens, petits et gros, dans toutes les portées, courtes et longues et pour n'importe qu'elle qualité des matériaux employés, une égale sécurité contre les déformations permanentes, aussi bien par les froids les plus intenses qu'avec les surcharges les plus fortes.

Si à la suite des observations qu'ils auront faites, les autres pays devaient trouver, comme nous, que les surcharges accidentelles de neige ou de glace sur les conducteurs sont pratiquement indépendantes de la section des conducteurs et de leurs portées, ne serait-il pas possible d'arriver, pour la fixation de la tension de pose des conducteurs aériens, à une entente internationale sur la base du principe développé dans cette exposé: sécurité de x par rapport à la limite d'élasticité au froid maximum et limite d'élasticité avec surcharge maximum de y kg par mètre courant de conducteur? Même si, comme il est probable, les coefficients x et y devaient varier pour chaque pays, l'adoption du principe seul simplifierait déjà beaucoup la tâche des constructeurs de lignes internationales.

Kurzschlusskräfte an Transformatoren.

Von *J. Biermanns*, Chefelektriker der AEG, Transformatorenfabrik, Berlin.

(Fortsetzung und Schluss.)

Nachdem der Autor im Bulletin No. 4 die Grundgleichungen zur Berechnung der Kräfte des kurzgeschlossenen Transformators abgeleitet hat,

L'auteur ayant établi au Bulletin No. 4 les équations fondamentales permettant de calculer les efforts dans le transformateur courtcircuité,