

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 12 (1921)
Heft: 7

Artikel: Essais pratiques concernant la vérification de la formule Colard
Autor: Pillonel, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060422>

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: 03.04.2025

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

mit derartigen Neuerungen an einen Betrieb heranzutreten. Ich weiss mit Ihnen, dass wir in einer ernsten Zeit stehen, dass wir unser volles Interesse den heutigen Verhältnissen in unserer Industrie zuwenden müssen, um durch die gegenwärtige Zeit und vielleicht noch schwerere Zukunft hindurchzukommen. Allein welcher weitsichtige Betriebsmann liesse sich davon abhalten, auch in Zeiten der Krisis auf die Verbesserung seines Betriebes hinzuarbeiten und eine solche Verbesserung bedeutet die Institution, die wir im Begriffe sind, mit einander zu schaffen. Denn neben Kapital und einer gut geschulten Arbeiterschaft ist ein tüchtiger Technikerstand der wichtigste Faktor für die Leistungsfähigkeit einer Industrie, und deren Höchstmass zu erreichen, muss unser Ziel sein. — Um unser Land herum werden alle Anstrengungen gemacht, um sich für die kommenden Zeiten schwerster Konkurrenz zu rüsten. Wir wollen auch den kleinsten Faktor, der unsere Industrie konkurrenzfähig macht, nicht aus dem Auge lassen und die tüchtige Ausbildung unserer Techniker gehört doch wohl zu den eminentesten Fragen, die mit diesem Problem im Zusammenhang stehen.

So darf ich Sie wohl bitten, unserer Anregung eine wohlwollende Prüfung ange-deihen zu lassen. Helfen Sie uns, das Problem zu lösen, sei es in der Form, wie wir sie Ihnen vorschlagen, sei es in einer anderen. Die Hauptsache ist, dass etwas in der Sache geschieht und sie in raschester Zeit einer praktischen und zweckmässigen Lösung entgegengeführt wird“.

Essais pratiques concernant la vérification de la formule Colard.

Par A. Pillonel.

M. Colard, ingénieur belge, a établi une formule¹⁾ qui doit donner le rapport exact de la traction unilatérale résiduelle à la traction primitive, dans chaque portée, en cas de rupture.

Supposons une ligne aérienne, dont $m, n, o, p, q \dots$ sont des supports intermédiaires et T la somme des tensions des fils dans chaque portée, à l'instant

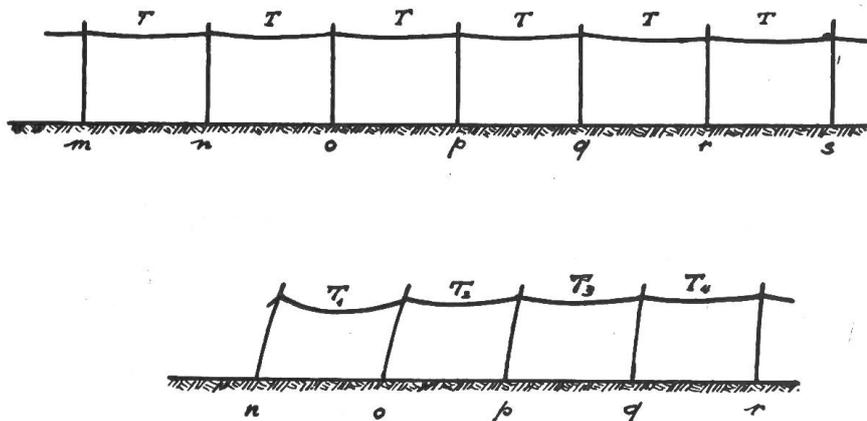


Fig. 1 und 2

précédant immédiatement une rupture entre les supports m et n (voir fig. 1). Lorsque la rupture de la ligne survient, il se produit un nouvel équilibre des forces qu'il s'agit d'établir. On fait cependant abstraction de tout effort cinétique, c'est-à-dire qu'on ne considère que des forces statiques. Le premier support n (fig. 2) est très fortement sollicité par la traction unilatérale T_1 , laquelle est inférieure à la traction primitive T de la portée $n-o$. Le support n , en admettant

¹⁾ Note sur la flexion des poteaux d'une ligne aérienne. La Lumière électrique No. 25 du 23 juin 1894, pag. 557.

naturellement qu'il est capable d'y résister, subit un effort de flexion plane dans la direction de la ligne. Le support intermédiaire o est soumis à l'action des deux forces T_1 et T_2 , la seconde étant un peu plus forte que la première. La flexion du support o dépend donc de la différence $T_2 - T_1$. Le support p sera sollicité par la différence des forces $T_3 - T_2$, et ainsi de suite. Ainsi le premier poteau, vers l'endroit de rupture, est fortement fléchi, le second un peu moins, le troisième encore moins et il en est de même jusqu'à ce que la différence de tension entre deux portées consécutives devient nulle. A ce moment-là, les tensions de part et d'autre

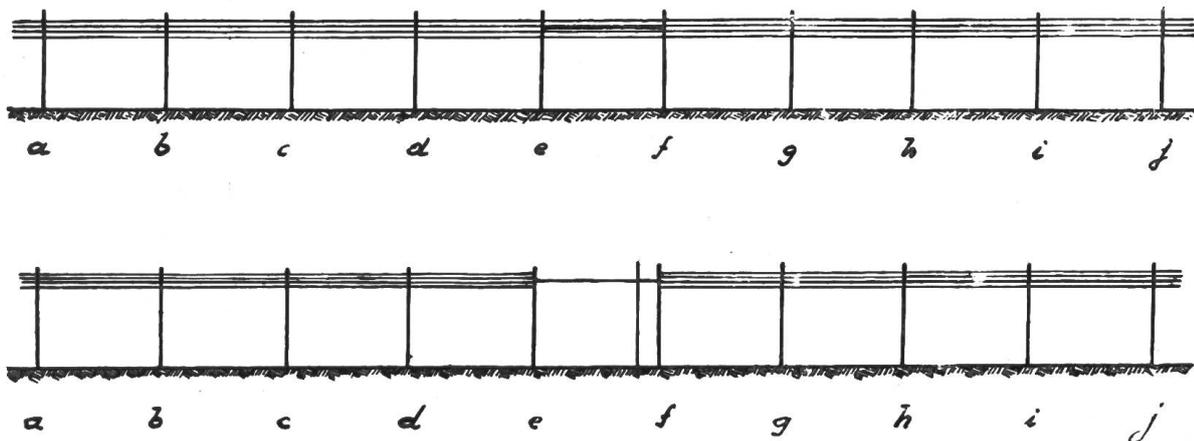


Fig. 3 und 4

d'un support se sont maintenues à la valeur de la traction originelle T . Théoriquement, l'influence de la rupture doit se faire sentir jusqu'à l'infini, en diminuant constamment de valeur, pour devenir nulle.

Toutefois, en pratique, l'effet de la rupture ne se fait guère remarquer au-delà des cinquième ou sixième points d'appui car la différence entre deux tractions

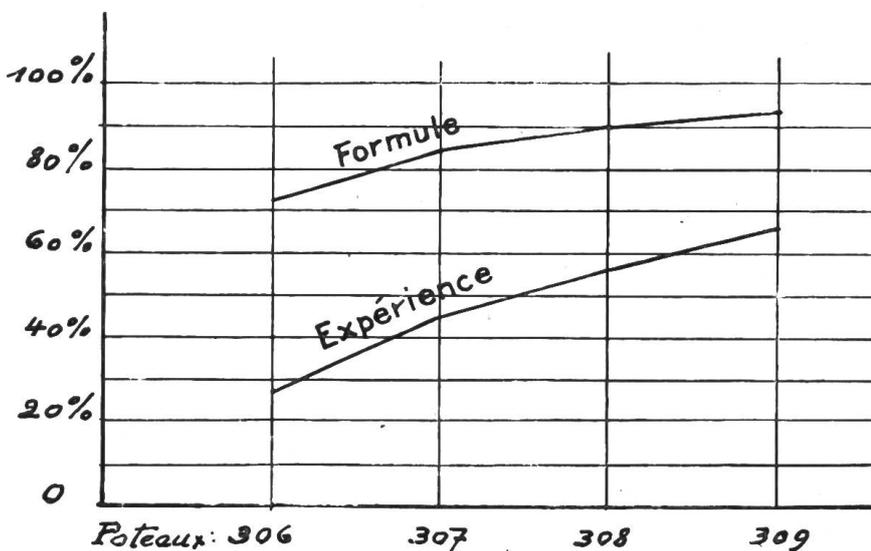


Fig. 5

consécutives diminue rapidement en suivant une courbe exponentielle décroissante dont une branche se rapproche asymptotiquement de l'axe T (voir fig. 5 et 6).

M. Colard, à l'aide de fonctions hyperboliques, est parvenu à donner le rapport des tensions $T_1, T_2, T_3 \dots T_n$ à la traction originelle T , au moyen de la formule suivante :

$$T_n = T \left[1 - \left(1 + \frac{\varepsilon a}{2nK} - \sqrt{\frac{\varepsilon a}{nK} + \frac{\varepsilon^2 a^2}{4n^2 K^2}} \right)^n \right]$$

dans laquelle T_n désigne la tension cherchée dans la n^{me} portée, T la tension originelle, ε l'allongement en mètres d'un mètre de fil par kilogramme de traction (pour le bronze = $78 \cdot 10^{-6}$ et pour le cuivre dur = $83 \cdot 10^{-6}$), a la portée et K la flèche prise par le poteau pour un kilogramme de traction, le tout exprimé en kg ou en cm.

La formule Colard présente un haut intérêt, car elle permettrait d'établir les prescriptions fédérales sur les lignes aériennes d'une manière plus rationnelle comportant une distribution plus judicieuse du matériel le long de la ligne (voir notre étude: La révision des prescriptions fédérales suisses concernant la construction des lignes électriques.¹⁾ Une vérification expérimentale de la formule Colard avait donc son utilité.

Appelé à faire démolir une ligne téléphonique longeant la voie ferrée, nous avons voulu saisir cette occasion pour nous livrer à quelques constatations.

Voici comment nous avons procédé:

Nous avons jeté notre dévolu, chaque fois, sur un tronçon de ligne droite d'au moins dix portées, comme par exemple le tronçon $a-j$ ci-dessous, sur lequel il se trouve un certain nombre de fils (fig. 3). Nous avons mesuré les flèches des

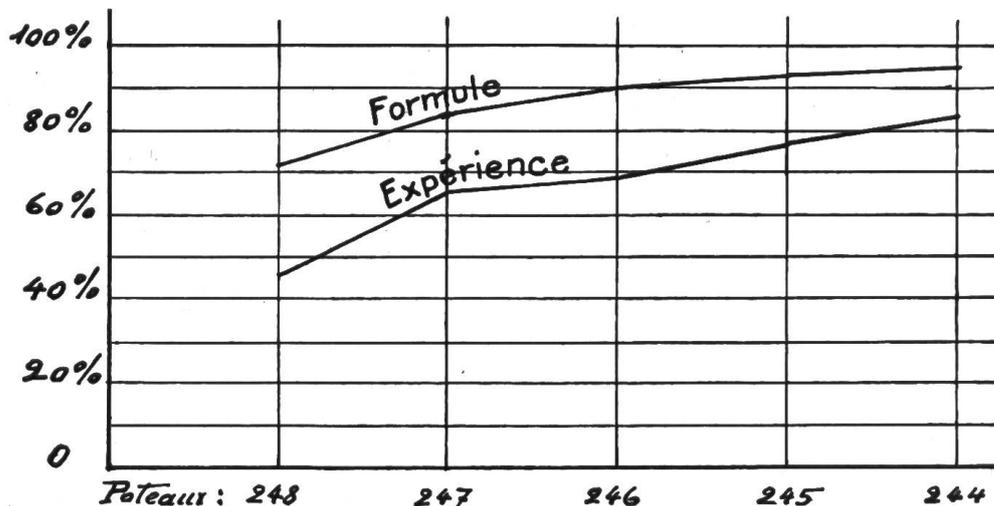


Fig. 6

trois portées $d-e$, $e-f$ et $f-g$, puis fait tendre un hauban avec une vis de tension dans la portée $e-f$. Ce hauban avait une section suffisante pour pouvoir supporter une tension égale à la somme des tensions de tous les fils de la portée $e-f$. Ensuite nous avons fait couper et arrêter tous les fils de la portée $e-f$ et régler le hauban au moyen de la vis de tension jusqu'à ce que les fils des portées adjacentes $d-e$ et $f-g$ possédassent la même flèche qu'avant la pose du hauban. (Voir fig. 4.)

Dans le but d'éviter tout accident et pour pouvoir couper le hauban nous avons fait planter un poteau supplémentaire près de la vis de tension. Un ouvrier posté sur ce poteau provisoire fut chargé alors de cisailer le hauban. La ligne, brusquement interrompue de cette façon, prit alors la position de la figure 2.

Un nouveau contrôle des flèches fut entrepris dans les portées $f-g$, $g-h$, $h-i$, $i-j$.

L'expérience fut exécutée sur une ligne à poteaux accouplés entre Sion et St-Léonard, sur laquelle il y avait 2 fils de bronze de 5 mm et 18 fils de bronze de 3 mm. Le hauban fut établi entre les poteaux No. 305 et 306.

¹⁾ Bulletin No. 3 de 1917 de l'Association suisse des électriciens.

Avant et après la rupture du hauban, les tensions des fils étaient les suivantes:

Avant la rupture du hauban:

Après la rupture du hauban:

Portée No. 306 - 307, longueur 40,25 mètres

	flèche en m	tension en kg/mm ²	tension totale du fil	kg		flèche en m	tension en kg/mm ²	tension totale du fil	kg
2 fils B ₅ chacun	0,50	3,6	2 × 70,6	= 141,2	2 fils B ₅ chacun	1,84	0,98	2 × 19,2	= 38,4
4 " B ₃ "	0,50	3,6	4 × 25,45	= 101,8	4 " B ₃ "	1,93	0,935	4 × 6,6	= 26,4
8 " B ₃ "	0,47	3,8	8 × 26,9	= 215,2	4 " B ₃ "	1,83	0,97	4 × 7,1	= 28,4
4 " B ₃ "	0,49	3,65	4 × 25,8	= 103,2	4 " B ₃ "	1,73	1,04	4 × 7,4	= 29,6
Total des tractions de la portée = 561,4					Total des tractions de la portée = 153,2				

Portée No. 307 - 308, de 40,30 m de longueur

2 fils B ₅ chacun	0,49	3,68	2 × 62	= 124	2 fils B ₅ chacun	1,06	1,7	2 × 33,4	= 66,8
4 " B ₃ "	0,45	4,0	4 × 28,3	= 113	4 " B ₃ "	1,0	1,8	4 × 12,7	= 50,8
4 " B ₃ "	0,42	4,3	4 × 30,4	= 121	4 " B ₃ "	1,0	1,8	4 × 12,7	= 50,8
4 " B ₃ "	0,42	4,3	4 × 30,4	= 121	4 " B ₃ "	0,94	1,92	4 × 13,6	= 54,1
4 " B ₃ "	0,44	4,1	4 × 29,0	= 116	4 " B ₃ "	1,07	1,69	4 × 11,9	= 47,8
Total des tractions de la portée = 595					Total des tractions de la portée = 270,3				

Portée No. 308 - 309, 40,10 m de longueur

2 fils B ₅ chacun	0,44	4,07	2 × 79,9	= 159,8	2 fils B ₅ chacun	0,84	2,13	2 × 41,8	= 83,6
4 " B ₃ "	0,41	4,36	4 × 30,8	= 123,2	4 " B ₃ "	0,71	2,52	4 × 17,3	= 71,2
4 " B ₃ "	0,39	4,59	4 × 32,4	= 129,6	4 " B ₃ "	0,72	2,485	4 × 17,6	= 70,1
4 " B ₃ "	0,43	4,16	4 × 29,4	= 117,6	4 " B ₃ "	0,68	2,63	4 × 18,3	= 74,4
4 " B ₃ "	0,41	4,30	4 × 30,1	= 120,4	4 " B ₃ "	0,75	2,385	4 × 16,88	= 67,5
Total des tractions de la portée = 650,6					Total des tensions de la portée = 366,8				

Portée No. 309 - 310, 40,6 m de longueur

2 fils B ₅ chacun	0,50	3,68	2 × 72	= 144	2 fils B ₅ chacun	0,73	2,51	2 × 49,3	= 98,6
4 " B ₃ "	0,44	4,17	4 × 29,4	= 117,6	4 " B ₃ "	0,68	2,695	4 × 19,06	= 76,2
4 " B ₃ "	0,50	3,68	4 × 25,9	= 103,6	4 " B ₃ "	0,74	2,476	4 × 17,47	= 70,0
4 " B ₃ "	0,30	4,59	4 × 32,4	= 129,5	4 " B ₃ "	0,66	2,775	4 × 19,61	= 78,4
4 " B ₃ "	0,42	4,33	4 × 30,9	= 123,6	4 " B ₃ "	0,62	2,955	4 × 20,9	= 83,6
Total des tensions de la portée = 618,3					Total des tensions de la portée = 406,8				

Récapitulation de ces résultats:

Portée No.	Tension avant la rupture	Tension après la rupture	Rapport des tensions avant et après rupture
306 - 307	561,4	153,2	27,3 %
307 - 308	595	270,3	45,4 %
308 - 309	650,6	366,8	56,4 %
309 - 310	618,3	406,8	66,0 %

Voici d'autre part les sections au niveau de l'encastrement, des poteaux No. 306 à 310.

No. 306 a	222,5 cm ²	No. 308 a	249 cm ²	310 a	267,4 cm ²
" 306 b	215 "	" 308 b	240,5 "	310 b	226,5 "
" 307 a	227 "	" 309 a	199 "		
" 307 b	222,5 "	" 309 b	208 "		

La seconde expérience a été faite entre Sion et Ardon sur une ligne à poteaux simples. Nous avons, cette fois, fait renforcer les calages des poteaux fortement sollicités.

Récapitulation des résultats de la seconde expérience.

Portée	Tension avant rupture	Tension après rupture	Rapport %
248 - 247	284,1	133,3	46,9
247 - 246	358,5	237,0	66,1
246 - 245	376,2	256,2	68,1
245 - 244	367,4	284,4	77,4
244 - 243	364,4	303,2	83,1

Section des poteaux à la base.

No. 248 = 336 cm², 247 = 389 cm², 246 = 248,8 cm², 245 = 572 cm², 244 = 240,5 cm².

Remarques. Malgré un calage, renforcé par une énorme pierre, du poteau No. 248, l'encastrement a encore cédé d'environ un centimètre à fleur du sol.

Discussion des résultats.

Sur le premier tronçon de ligne expérimenté, il y avait, avons-nous dit, des poteaux accouplés. Les fils étaient à une hauteur moyenne de 600 cm au-dessus de l'encastrement.

La flèche K prise par le premier support accouplé No. 306 sous l'effort d'un kilogramme a la valeur approximative suivante, en assimilant les poteaux à des prismes de section invariable mais en prenant la moyenne des sections des poteaux, ce qui simplifie notablement les calculs:

$$K = \frac{1 \cdot 600^3}{100\,000 \cdot 2110 \cdot 3} \cdot \frac{1}{2} = 0,17 \text{ cm}$$

Si maintenant nous établissons pour la première expérience le calcul des tractions dans les différentes portées contrôlées, en admettant $\varepsilon = 0,000078$ nous obtenons pour la première portée, en faisant

$$T_1 = 561,4 \left[1 - \left(1 + \frac{1,8467}{2,1} - \sqrt{\frac{1,8467}{1} + (1,8467)^2 \cdot \frac{1}{4,1^2}} \right)^1 \right] = 0,719 \cdot 561,4.$$

Les portées ne variant que d'une façon minime, de même que le diamètre des poteaux, nous adoptons les mêmes chiffres et obtenons: Pour la seconde portée,

$$T_2 = 561,4 \left[1 - \left(1 + \frac{1,8467}{2,2} - \sqrt{\frac{1,8467}{2} + 1,8467^2 \cdot \frac{1}{4,2^2}} \right)^2 \right] = 0,84 \cdot 561,4;$$

pour la troisième portée,

$$T_3 = 561,4 \left[1 - \left(1 + \frac{1,8467}{2,3} - \sqrt{\frac{1,8467}{3} + 3,41 \cdot \frac{1}{4,9}} \right)^3 \right] = 0,90 \cdot 561,4;$$

pour la quatrième portée, il vient

$$T_4 = 561,4 \left[1 - \left(1 + \frac{1,8467}{2,4} - \sqrt{\frac{1,8467}{4} + 3,41 \cdot \frac{1}{4,16}} \right)^4 \right] = 0,932 \cdot 561,4;$$

Voici un tableau comparatif des résultats de l'expérience et des données de la formule:

Rapport des tensions des fils avant et après rupture.

Portée	D'après l'expérience	D'après la formule
306-307	27,3 ‰	71,9 ‰
307-308	45,4 ‰	84 ‰
308-309	56,4 ‰	90 ‰
309-310	66,0 ‰	93,2 ‰

Passons maintenant aux calculs des tensions, selon la formule Colard, pour les différentes portées de la seconde expérience.

La ligne était montée sur poteaux simples de 8 m.

$$K a \text{ pour valeur } \frac{1 \cdot 595^3}{100\,000 \cdot 3217 \cdot 3} = 0,218$$

$$\frac{\varepsilon a}{K} = \frac{0,000078 \cdot 5000}{0,218} = 1,79; \quad \frac{(\varepsilon a)^2}{K} = 3,2$$

$$T_1 = 284,1 \left[1 - \left(1 + \frac{1,79}{2,1} - \sqrt{\frac{1,79}{1} + 3,2 \cdot \frac{1}{4,1^2}} \right)^1 \right] = 0,715 \cdot 284,1$$

Pour la seconde portée il vient:

$$T_2 = 284,1 \left[1 - \left(1 + \frac{1,79}{2,2} - \sqrt{\frac{1,79}{2} + 3,2 \cdot \frac{1}{4,2^2}} \right)^2 \right] = 0,84 \cdot 284,1$$

Pour la troisième portée, il vient

$$T_3 = 284,1 \left[1 - \left(1 + \frac{1,79}{2,3} - \sqrt{\frac{1,79}{3} + 3,2 \cdot \frac{1}{4,9}} \right)^3 \right] = 0,90 \cdot 284,1$$

Pour la quatrième portée, il vient

$$T_4 = 284,1 \left[1 - \left(1 + \frac{1,79}{2,4} - \sqrt{\frac{1,79}{4} + 3,2 \cdot \frac{1}{4,16}} \right)^4 \right] = 0,925 \cdot 284,1$$

Pour la cinquième portée, il vient

$$T_5 = 284,1 \left[1 - \left(1 + \frac{1,79}{2,5} - \sqrt{\frac{1,79}{5} + 3,2 \cdot \frac{1}{4,25}} \right)^5 \right] = 0,947 \cdot 284,1$$

Voici le tableau comparatif des résultats de la seconde expérience et des données de la formule:

	Expérience	Formule
248-247	46,9 ‰	71,5 ‰
247-246	66,1 ‰	84 ‰
246-245 (245 très épais)	68,1 ‰	90 ‰
245-244	77,4 ‰	92,5 ‰
244-243	83,1 ‰	94,7 ‰

Nous devons signaler que le poteau No. 245 était très épais, comparativement aux autres. Voici leurs circonférence en cm:

No. 248 = 0,65; 247 = 0,70; 246 = 0,56; 245 = 0,85; 244 = 0,55; 243 = 0,58.

En reproduisant graphiquement ces résultats, nous obtenons les deux diagrammes suivants:

Ces deux graphiques montrent que l'encastrement des poteaux joue un grand rôle dans la répercussion des tensions dans les portées voisines d'un point de rupture. Dans la première expérience, l'encastrement ayant cédé notablement, les résultats obtenus divergent sensiblement de ceux déterminés par la formule Colard. Lors de la seconde épreuve, l'encastrement du poteau No. 248 ayant été préalablement consolidé, les résultats trouvés diffèrent déjà beaucoup moins des calculs. Si l'on tient compte que l'encastrement s'est quand même modifié quelque peu et si l'on se rappelle qu'il suffit de quelques centimètres de raccourcissement de la portée pour diminuer notablement la tension des fils de la première portée, on peut admettre que la formule Colard est exacte lorsque toutes les conditions qui sont à sa base sont remplies (portées de même longueur, poteaux rigoureusement pareils, encastrement parfait, tension de pose des fils uniforme). L'allure des courbes est, dans tous les cas, identique.

Il est inutile de faire remarquer l'influence avantageuse que peut exercer l'encastrement lorsqu'il n'est pas absolument parfait. Une faible dislocation amortit considérablement les effets d'une brusque rupture, à condition, cela va sans dire, que le sol ne cède pas entièrement.

De ces résultats, on peut tirer la conclusion que la résistance des appuis de passage dans le sens de la ligne ne doit pas dépasser (pour les poteaux en bois) le 75 % de la tension maximum de pose des fils.

Une autre question est celle de savoir si c'est nécessaire d'assurer une certaine résistance aux appuis de *passage* pour le cas d'une rupture, lorsque, en prévision de celle-ci, des appuis *renforcés* sont construits de distance en distance le long de la ligne.

Ce serait sortir du cadre de ce rapport que de discuter ce point.

Note de l'auteur. M. H. Egg, ingénieur à Berne, a publié dans le *Bulletin de l'Association Suisse des électriciens* No. 7 de 1920 un article relatif à la traction unilatérale des lignes aériennes. M. Egg, sans aboutir exactement à la formule Colard, parvient néanmoins à des résultats pour ainsi dire identiques. Nous avons remarqué que la théorie de l'ingénieur bernois suppose également des encastremements parfaits. Or nous venons de voir que cette condition n'est presque jamais remplie pour les poteaux en bois fichés directement dans le sol.

Die Elektrizitätsindustrie an der fünften schweizerischen Mustermesse in Basel.

(Vom Generalsekretariat.)

Die diesjährige Mustermesse ist wie gewohnt auf dem Areal des alten badischen Bahnhofes in Basel vom 16. bis 26. April abgehalten worden. Die Dauer der Messe wurde auf Wunsch der Aussteller von 14 Tagen auf 10 abgekürzt. Im übrigen waren sowohl die Organisation wie auch die Gruppeneinteilung im wesentlichen dieselbe wie letztes Jahr.

In der Gruppe Elektrizitätsindustrie, wie auch in anderen Abteilungen, machte sich die für die Industrie gegenwärtig schwere Zeit durch eine etwas geringere Teilnehmerzahl bemerkbar. Es fehlten in dieser Gruppe ca. 60 letztjährige Aussteller; an ihre Stelle rückten nur etwa 20 neue. Aber auch in bezug auf die zur Schau geführten Gegenstände waren im Vergleich zu anderen Jahren wenig Neuheiten zu sehen. Auch das mag z. T. in der gegenwärtigen Zeit der Unsicherheit des Absatzes begründet sein, z. T. allerdings ist der Grund wohl auch darin zu suchen, dass die durch den Krieg und seine unmittelbaren Folgen bedingte Umstellung vieler Betriebe vom direkten oder indirekten Gebrauch von Kohle auf denjenigen von aus Wasserkraften erzeugter elektrischer Energie in der Schweiz bereits einen gewissen Abschluss erreicht hat, und der Export aus bekannten Gründen gegenwärtig nur in sehr beschränktem Masse möglich ist.

Zu bedauern ist es, aus bereits mehrmals in unseren früheren Berichten über die Mustermesse erwähnten Gründen, dass die Grossfirmen Brown, Boveri & Cie., Gebrüder Sulzer, Maschinenfabrik Oerlikon u. a. m. diesmal der Messe ganz fern geblieben sind, nachdem die beiden erstgenannten wenigstens noch letztes Jahr vertreten waren. Auch sonst vermissten wir dieses Jahr mehrere bekannte Firmen, wie beispielsweise die *B. A. G. Turgi*; *Baumann-Kölliker, Zürich*; *Bachmann & Kleiner, Oerlikon*, die gemeinsam mit *Ganz-Embrach* und *Lang-Zürich* ausgestellt hatten; *Calora-Zug*; *Schindler-Luzern*; *Tribelhorn-Altstetten* u. a. m.

Wir gehen nun an die Besprechung der ausgestellten Gegenstände und werden das Hauptgewicht auf Neuerungen legen auf Kosten einer vollständigen Aufzählung, die nicht beabsichtigt und in dem zur Verfügung stehenden Raum nicht möglich ist. Wir verweisen diesbezüglich vielmehr auf den offiziellen Katalog der Schweizerischen Mustermesse.

Schalttafeln, Schaltapparate und Zubehör, Installationsmaterial.

Auch dieses Jahr stellte *Sprecher & Schuh, Aarau*, ein Schaltfeld aus, in welchem die Gerüste aus gewöhnlichen Gasrohren zusammengestellt waren, und die seine normalen Apparate und Apparatenantriebe enthielten. Die Gasrohrgerüste haben im Vergleich zu denjenigen mit Winkeleisen den Vorteil, dass zu ihrer Aufstellung keine Löcher gebohrt werden müssen, da sie mit normalisierten Klemmstücken ohne weiteres zusammengesetzt werden können.