

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 10 (1919)  
**Heft:** 5  
  
**Artikel:** Etude comparative, technique et économique, d'une ligne aérienne et d'une ligne souterraine à courant triphasé 50 000 volts 50~  
**Autor:** Yersin, P.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1061061>

### **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:** 13.01.2026

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

Lichtnetze für Läutwerke u. dgl. aus; letztere Firma verwendet solche in Verbindung mit Gleichrichtern auch zur Aufladung von Akkumulatoren etc. *Meyer-Schlatter-Thalwil* führte seine elektrischen Widerstandsschweissmaschinen für Punkt-, Stumpf- und Nahtschweissung vor, die ein allgemeines Interesse erweckten. Erwähnt seien ferner noch die Lackierapparate von *C. Eichenberger-Neukirch*, sowie der elektrisch geheizte Bücher-Rückenrundapparat von *Gubler & Cie.-Zürich*.

### Verschiedenes.

Die *A.-G. Kummler & Matter* hatte verschiedenes Oberleitungsmaterial für elektrische Bahntraktion, u. a. Fahrdrahtausleger, Streckenschalter, Aufhänge- und Verbindungsklemmen usw. ausgestellt. Die *Draht- und Gummiwerke Altorf* und die *Metall- und Kabelwerke Cossonay-Gare* brachten Isolierrohre, Isolierdrähte und Kabel, *Camille Bauer-Basel* Stahlpanzerrohre zur Musterschau. Auch die *Schweizerischen Glühlampenfabriken* hatten ihre Produkte in reicher Auswahl ausgestellt. Auf dem Gebiete der *Kleinbeleuchtung*, wären noch *Leclanché S.-A.-Yverdon*, *Fabrique des Piles-Sonceboz* und *Sport A.G.-Biel* mit ihren Trocken-Elementen, Taschenlampen, tragbaren Akkumulatoren zu nennen; auf demjenigen der *Schwachstromtechnik* *Zellweger-Uster* (Tisch- und Wandtelephone, Zentralstationen u. dgl.) und *Hasler A.-G.* (Halle V); auf demjenigen der *Elektro-medicinischen Apparate Klingelfuss-Basel (Röntgentechnik)*. — Schliesslich erwähnen wir noch die Firma *Elektro-Automat-Zürich*, die wieder ihre batterielosen durch Handdruck betätigte, sowie zur Montage am Vorderrad eines Fahrrades ausgeführten Magnetlampen zur Musterschau brachten.

## Etude comparative, technique et économique, d'une ligne aérienne et d'une ligne souterraine à courant triphasé 50 000 volts 50 ~

Par *P. Yersin*, Ingénieur.

Il est aujourd'hui possible d'exécuter des câbles isolés au papier imprégné capables de supporter entre âme et plomb une tension de régime de 50 000 volts, courant alternatif, et présentant, sous ce régime, un coefficient de sécurité suffisamment élevé pour répondre aux conditions d'exploitation d'un grand réseau.

Il nous a, par conséquent, paru digne d'intérêt d'examiner ici, pour les lecteurs du bulletin à titre comparatif les conditions de propagation de l'énergie électrique sur une ligne aérienne et sur une ligne souterraine de même poids de cuivre chacune, dont nous envisagerons en terminant, brièvement les conditions d'établissement au point de vue économique.

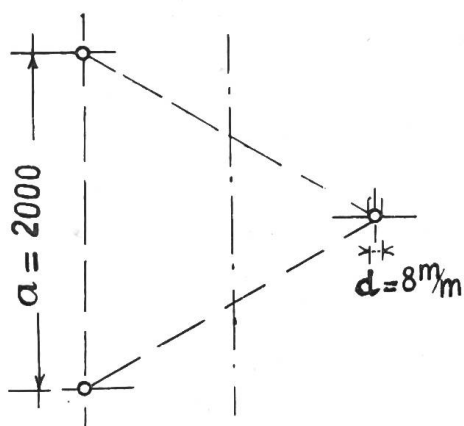


Fig. 1.

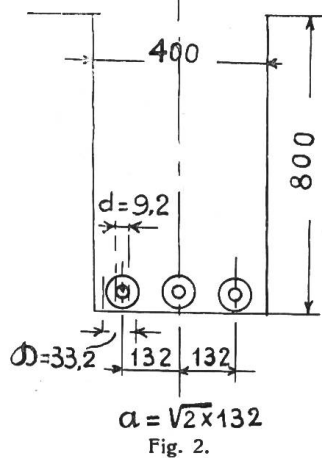
Supposons que l'on dispose de courant triphasé 50 000 volts, 50 périodes et comparons des deux cas suivants:

- 1<sup>o</sup> cas: Le transport a lieu par ligne aérienne à 3 fils de 50 mm<sup>2</sup> chacun, disposés suivant fig. 1.
- 2<sup>o</sup> cas: Le transport a lieu par ligne souterraine à conducteurs de 50 mm<sup>2</sup> chacun, disposés suivant fig. 2.

### A. Etude de la propagation de la tension et du courant le long de la ligne.

Nous n'étudions que l'état de régime permanent et voulons déterminer, en grandeur et en phase, les vecteurs de la tension et du courant efficace que l'usine génératrice départ doit fournir à la ligne pour obtenir le régime voulu à la station réceptrice (arrivée).

Ces données sont, en effet, nécessaires et suffisantes, comme on le verra plus loin, en les associant directement dans chaque cas considéré aux caractéristiques intérieures supposées connues des génératrices, pour définir les conditions de fonctionnement du circuit de transport.



Appelons :

- $E_a$  la tension de phase à l'arrivée,  
 $J_a$  le courant par fil de ligne à l'arrivée,  
 $\cos \varphi_a$  le facteur de puissance à l'arrivée,  
 $E_x$  la tension de phase au départ c.a.d. à la distance  $x$  de la station de réception,  
 $J_x$  le courant par fil de ligne au départ,  
 $\cos \varphi_x$  le facteur de puissance au départ,  
 $f$  la fréquence,  
 $\omega = 2 \pi f$ ,  
 $c$  la capacité kilométrique,  
 $l$  la self induction kilométrique,  
 $r$  la résistance ohmique kilométrique,  
 $g$  la perdite,

et appliquons les formules classiques de la propagation sur les longs câbles<sup>1)</sup> en utilisant conjointement la méthode graphique indiquée par Mr. Blondel pour déterminer les valeurs qui nous intéressent.

<sup>1)</sup> Bulletin de l'association internationale des électriciens, août 1905, pages 311 à 326 et l'Eclairage électrique, octobre 1906, pages 121 à 130. L'exposé complet de la méthode sort évidemment du cadre de ce travail. Nous croyons cependant utile d'en donner le résumé adapté suivant :

L'intégrale générale de l'équation différentielle de la propagation de la tension sur une ligne peut être mise sous la forme :

$$1) \quad E_x = C_1 e^{(a+bj)x} + C_2 e^{-(a+bj)x}$$

qui signifie physiquement, que la tension en chaque point de la ligne résulte de deux ondes, ou de deux oscillations qui se superposent en tenant compte de leurs phases, et qui ont pour vecteurs représentatifs de leurs amplitudes en ce point :

$$A_x = C_1 e^{(a+bj)x} \text{ et } B_x = C_2 e^{(a+bj)x},$$

les valeurs de  $a$  et de  $b$  pouvant être explicites par les expressions classiques :

$$a = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{-\omega^2 cl + gr + \sqrt{(\omega^2 cl - gr)^2 + (\omega cr + \omega lg)^2}}$$

$$b = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\omega^2 cl - gr + \sqrt{(\omega^2 cl - gr)^2 + (\omega cr + \omega lg)^2}}$$

Dans la pratique on admet souvent que le terme dû à la condition des pertes  $gr$ , est petit en comparaison au second dû à la capacité  $\omega^2 cl$  et l'on se contente des expressions :

$$a = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\omega c (z - \omega l)} \quad b = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\omega c (z + \omega l)}$$

en désignant par  $z$  l'impédance linéique :

$$z = \sqrt{r^2 + \omega^2 l^2} \quad \text{d'où} \quad a^2 + b^2 = \omega c z$$

Chacune de ces deux oscillations subit une loi de décroissance  $e^{-ax}$  le long du câble, comme si elle se propageait en éprouvant une certaine perte due à la résistance en même temps que sa phase varie progressivement d'un angle  $bx$  dans les sens des angles croissant, avance pour  $A_x$ , décroissant pour  $B_x$  (retard). L'affaiblissement a lieu dans le sens positif pour  $B$  ( $B$  diminue quand  $x$  croît) et négatif pour  $A$  (augmente quand  $x$  croît).

Le vecteur représentatif de la tension  $E_x$  pourra donc être obtenue en traçant un vecteur représentant la somme géométrique des deux vecteurs  $A_x$  et  $B_x$  que l'on fera tourner convenablement d'un angle  $bx$  (en avant pour  $A_x$  en arrière pour  $B_x$ ).

Nous avons :

1<sup>o</sup> pour la ligne aérienne Fig. 1.

$$c = 0,0241 \cdot \frac{1}{\log\left(\frac{2a}{d}\right)} = 0,0241 \cdot \frac{1}{\log\frac{2 \cdot 200}{0,8}} = 0,0089 \text{ MF/km.}$$

$$l = 2 \cdot 10^{-4} \left[ \ln \frac{2a}{d} + 25 \right] = 2 \cdot 10^{-4} \left[ \ln \frac{2 \cdot 200}{0,8} + 0,25 \right] = 12,94 \cdot 10^{-4} \text{ Henry/km.}$$

Ce qui vient d'être dit pour les oscillations de la tension s'applique également aux oscillations du courant. Si en effet, l'on détermine les constantes de l'oscillation du courant en fonction des constantes de la tension on obtient l'équation :

$$2) \quad J_x = \frac{g + j\omega c}{a + jb} (C_1 e^{(a+jb)x} - C_2 e^{-(a+jb)x})$$

qui montre maintenant, que le courant est la différence de deux fonctions dont la somme donne la tension mais multipliée par  $\frac{(g+j\omega c)}{(a+jb)}$ . Cela signifie que le vecteur représentatif du courant s'obtiendra en traçant un vecteur représentant la différence géométrique des vecteurs  $A_x$  et  $B_x$ , que l'on multipliera par le facteur  $\frac{l}{m} = \frac{g^2 + \omega^2 c^2}{a^2 + b^2}$  et en le décalant de l'angle  $\theta$  en avant et de l'angle  $\theta'$

en arrière, les angles  $\theta$  et  $\theta'$  étant définis par les formules :

$$\text{tang } \theta = \frac{\omega c}{g};$$

$$\text{tang } \theta' = \frac{b}{a}$$

ou, ce qui revient au même, d'un seul coup en avance de l'angle  $\gamma = \theta - \theta'$ . Ceci posé, voici la traduction vectorielle des équations 1) et 2):

Les vecteurs initiaux  $A_a$  et  $B_a$  s'obtiennent en formant les deux demi-résultantes additives et soustractives de la tension à l'arrivée  $E_a$  et du courant  $J_a$  débité au même point en tournant après ce qui précède le vecteur d'un angle  $\gamma$  dans le sens des retards (fig. 3).

Calculant  $A_x = A_a e^{ax}$  et  $B_x = B_a e^{-ax}$ , décalant le premier vecteur de l'angle  $bx$  en avant, le second de même angle en arrière, puis additionnant géométriquement on obtient  $E_x$ , soustrayant on

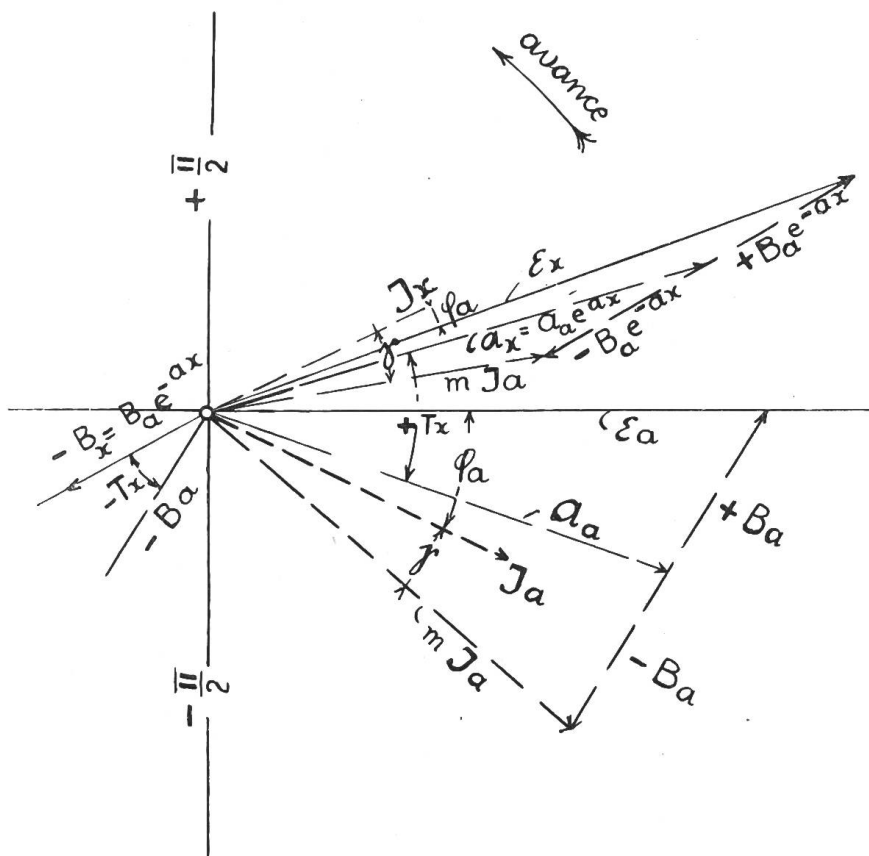


Fig. 3.

obtient  $m J_x$ . Pour obtenir  $J_x$  on multiplie ce dernier vecteur par  $\frac{l}{m}$  et le fait tourner de l'angle  $\gamma$  en avant. Dans la marche à vide on a simplement  $J_a = 0$  et par suite

$$\frac{E_a}{Z} = A_a = B_a$$

$$r = 21,22 \frac{1}{d^2} = 21,22 \cdot \frac{1}{64} = 0,332 \text{ Ohm/km.}$$

Posons :

$$z = \sqrt{r^2 + \omega^2 l^2} = \sqrt{0,11 + 0,165} = 0,525$$

On aura :

$$a = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\omega c (z - \omega l)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{2,8 \cdot 10^{-6} (0,525 - 0,407)} = 0,408 \cdot 10^{-3}$$

$$b = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\omega c (z + \omega l)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{2,8 \cdot 10^{-3} (0,525 + 0,407)} = 1,14 \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{l}{m} = \sqrt{\frac{\omega c}{z}} = \sqrt{\frac{38}{0,525}} \cdot 10^{-3} = 0,00232$$

$$\text{tang} \cdot \Theta = \frac{\omega c}{g} = \infty \text{ pour } g = 0 \text{ d'où } \text{arc } \Theta = \frac{\pi}{2}; \quad \angle \Theta = 90^\circ$$

$$\text{tang} \cdot \Theta' = \frac{b}{a} = \frac{1,14}{0,408} = 2,8; \quad \angle \Theta' = 70^\circ 40'; \quad \gamma = \Theta - \Theta' = 19^\circ 20'$$

2° pour la ligne souterraine, Fig. 2.

$$c = \varepsilon \cdot 0,0241 \frac{1}{\log\left(\frac{D}{d}\right)} = 3,3 \cdot 0,0241 \frac{1}{\log\left(\frac{33,2}{9,2}\right)} = 0,141 \text{ MF/km.}$$

$$l = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \left[ \ln \frac{2 \cdot 186}{9,2} + 0,25 \right] = 7,9 \cdot 10^{-4} \text{ Henry/km.}$$

$$r = 0,332 \text{ Ohm/km.}$$

$$z = \sqrt{r^2 + \omega^2 l^2} = \sqrt{0,11 + 0,0616} = 0,414$$

$$a = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\omega c (z - \omega l)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{44,2 \cdot 10^{-6} (0,414 - 0,2480)} = 1,9 \cdot 10^{-3}$$

$$b = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\omega c (z + \omega l)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{44,2 \cdot 10^{-6} (0,414 + 0,2480)} = 3,8 \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{l}{m} = \sqrt{\frac{\omega c}{z}} = \sqrt{\frac{44,2 \cdot 10^{-6}}{0,414}} = 0,0103$$

$$\text{tang} \cdot \Theta = \frac{\omega c}{g} = \infty; \quad \Theta = \frac{\pi}{2}; \quad \angle \Theta = 90^\circ \text{ pour } g = 0.$$

$$\text{tang} \cdot \Theta' = \frac{b}{a} = \frac{3,8}{1,9} = 2,0; \quad \angle \Theta' = 62^\circ 26'; \quad \gamma = \Theta - \Theta' \cong 26^\circ$$

Ces calculs suffisent pour tracer les épures fig. 4 à 11.

La fig. 4 indique les valeurs de la tension  $E_x$  du courant  $J_x$  et leur angle de phase  $\varphi_x$  pour  $x = 25, 50, 100$  et  $200$  km sur la ligne aérienne, pendant la marche à vide, en supposant  $E_a = \frac{50\,000}{\sqrt{3}} = 29\,000$  volts.

La fig. 5 donne les mêmes valeurs pour la ligne souterraine. Les fig. 6 ligne aérienne et 7 ligne souterraine donnent les valeurs de la tension  $E_x$  et du courant  $J_x$  et leur angle de phase  $\varphi_x$  pour  $x = 25, 50, 100$  et  $200$  km, pour un courant  $J_a = 50$  Amp. sous une tension  $E_a = 29\,000$  volts,  $\cos \varphi_a = 0,8$  à l'arrivée.

Enfin les epures fig. 8 et 9 sont établies pour  $J_a = 100$  Amp.

fig. 10 et 11 sont établies pour  $J_a = 150$  Amp.

Chaque épure est accompagnée d'un tableau sur lequel sont relevés les données qui lui correspondent. Ces tableaux comportent en outre une rubrique donnant la „chute de voltage“,  $\Delta E$ , positive ou négative en % et une rubrique donnant la valeur du rapport :

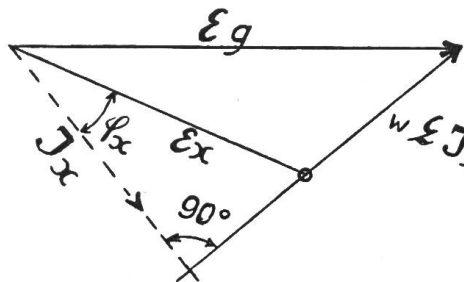


Fig. 12.

$$\eta = \frac{E_a J_a \cos \varphi_a}{E_x J_x \cos \varphi_x}$$

ou le rendement de la ligne en % aux distances 25, 50, 100 ou 200 km.

La fig. 12 montre de quelle manière on peut, sommairement tout au moins, apprécier l'influence sur les génératrices de l'un ou l'autre système de ligne. On relèvera à cet effet dans les tableaux la tension  $E_x$ , le courant  $J_x$  et l'angle de phase  $\varphi_x$  pour une puissance et une distance de transport donnés. Comme on connaît généralement la réactance intérieure  $\omega L$  des alternateurs, on obtiendra la valeur correspondante de la force électromotrice induite  $E_g$  nécessaire en traçant le diagramme fig. 12.

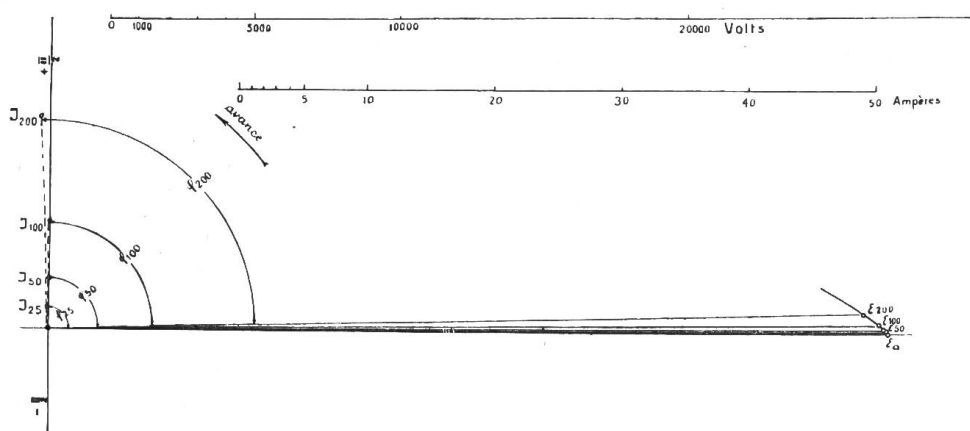


Fig. 4.

### Ligne aérienne à vide.

voir Fig. 4.

Distance  $x$ en km	Tension de Phase		$\Delta E$  %	Courant		Facteur de puissance		Rendement  %
	Départ  $E_x$	Arrivée  $E_a$		Départ  $J_x$	Arrivée  $J_a$	Départ  $\cos \varphi_x$	Arrivée  $\cos \varphi_a$	
	Volt			Ampère				
25	28 950	29 000	0,17	2,05	0	~ 0	—	0
50	28 850	29 000	0,52	4,1	0	~ 0	—	0
100	28 700	29 000	1,03	8,2	0	~ 0	—	0
200	28 200	29 000	2,76	16,8	0	~ 0	—	0

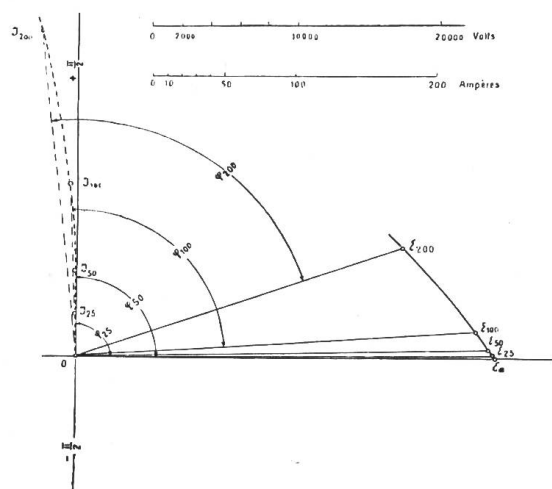


Fig. 5.

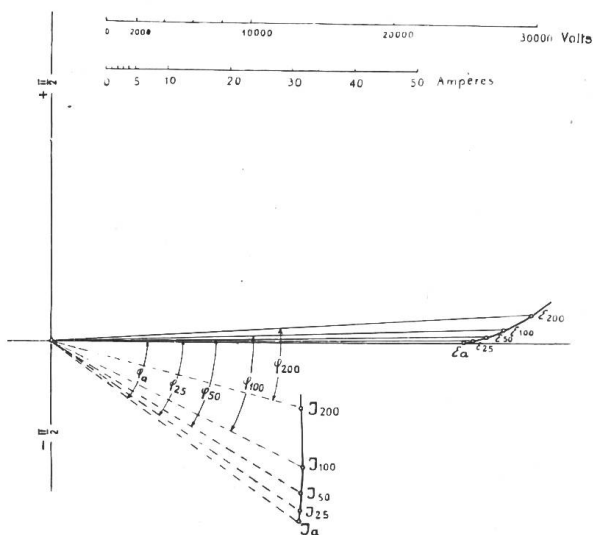


Fig. 6.

## Ligne souterraine à vide.

voir Fig. 5.

Distance x en km	Tension de Phase		$\Delta E$	Courant		Facteur de puissance		Rendement
	Départ	Arrivée		Départ	Arrivée	Départ	Arrivée	
	$E_x$	$E_a$		$J_x$	$J_a$	$\cos \varphi_x$	$\cos \varphi_a$	
	Volt		%	Ampère				%
25	28 800	29 000	— 0,69	31	0	avance 0,008	—	0
50	28 700	29 000	— 1,03	62	0	„ 0,0174	—	0
100	27 800	29 000	— 4,14	123	0	„ 0,034	—	0
200	24 000	29 000	— 17,20	233	0	„ 0,216	—	0

## Ligne aérienne en charge de 50 Amp.

voir Fig. 6.

Distance x en km	Tension de Phase		$\Delta E$	Courant		Facteur de puissance		Rendement
	Départ	Arrivée		Départ	Arrivée	Départ	Arrivée	
	$E_x$	$E_a$		$J_x$	$J_a$	$\cos \varphi_x$	$\cos \varphi_a$	
	Volt		%	Ampère				%
25	29 600	29 000	+ 2,07	49	50	0,82	0,8	97
50	30 500	29 000	+ 5,2	47	50	0,85	0,8	96
100	31 800	29 000	+ 7,2	45	50	0,89	0,8	91
200	33 600	29 000	+ 15,8	41,8	50	0,97	0,8	85

## Ligne souterraine en charge de 50 Amp.

voir Fig. 7.

Distance x en km	Tension de Phase		$\Delta E$	Courant		Facteur de puissance		Rendement
	Départ	Arrivée		Départ	Arrivée	Départ	Arrivée	
	$E_x$	$E_a$		$J_x$	$J_a$	$\cos \varphi_x$	$\cos \varphi_a$	
	Volt		%	Ampère				%
25	29 200	29 000	+ 0,69	42	50	avance 0,99	0,8	95
50	29 500	29 000	+ 1,73	53	50	„ 0,79	0,8	93,5
100	29 600	29 000	+ 2,07	104	50	„ 0,45	0,8	84
200	27 600	29 000	+ 4,83	222	50	„ 0,36	0,8	54

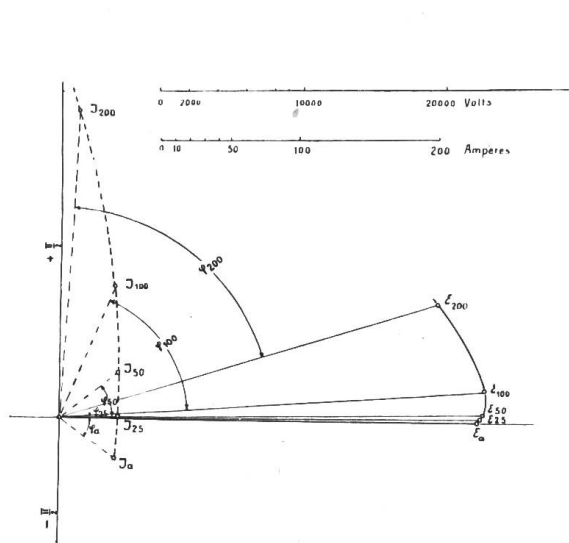


Fig. 7.

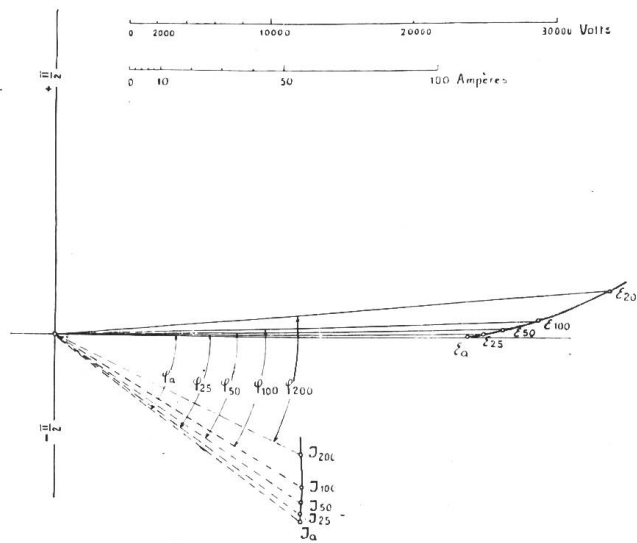


Fig. 8.

**Ligne aérienne en charge de 100 Amp.**

voir Fig. 8.

Distance	Tension de Phase		$\Delta E$	Courant		Facteur de puissance		Rendement
	Départ	Arrivée		Départ	Arrivée	Départ	Arrivée	
x en km	$E_x$	$E_a$	%	$J_x$	$J_a$	$\cos \varphi_x$	$\cos \varphi_a$	%
	Volt			Ampère				
25	30 200	29 000	+ 4,17	99	100	0,83	0,8	94,5
50	31 600	29 000	+ 8,95	98	100	0,84	0,8	89,5
100	34 000	29 000	+ 17,25	94	100	0,86	0,8	84,5
200	39 200	29 000	+ 35,3	89	100	0,90	0,8	73,5

**Ligne souterraine en charge de 100 Amp.**

voir Fig. 9.

Distance	Tension de Phase		$\Delta E$	Courant		Facteur de puissance		Rendement
	Départ	Arrivée		Départ	Arrivée	Départ	Arrivée	
x en km	$E_x$	$E_a$	%	$J_x$	$J_a$	$\cos \varphi_x$	$\cos \varphi_a$	%
	Volt			Ampère				
25	29 900	29 000	+ 3,1	87	100	0,94	0,8	94,5
50	30 600	29 000	+ 5,5	82	100	0,99	0,8	93,5
100	31 600	29 000	+ 8,85	110	100	avance 0,77	0,8	87,0
200	31 300	29 000	+ 7,95	214	100	„ 0,57	0,8	61,0

**Ligne aérienne en charge de 150 Amp.**

voir Fig. 10.

Distance	Tension de Phase		$\Delta E$	Courant		Facteur de puissance		Rendement
	Départ	Arrivée		Départ	Arrivée	Départ	Arrivée	
x en km	$E_x$	$E_a$	%	$J_x$	$J_a$	$\cos \varphi_x$	$\cos \varphi_a$	%
	Volt			Ampère				
25	31 000	29 000	+ 6,9	148,5	150	0,802	0,8	94,5
50	33 200	29 000	+ 14,5	146,5	150	0,805	0,8	88,5
100	36 800	29 000	+ 26,8	141,0	150	0,810	0,8	82,5
200	44 600	29 000	+ 54,0	134,0	150	0,819	0,8	71,0



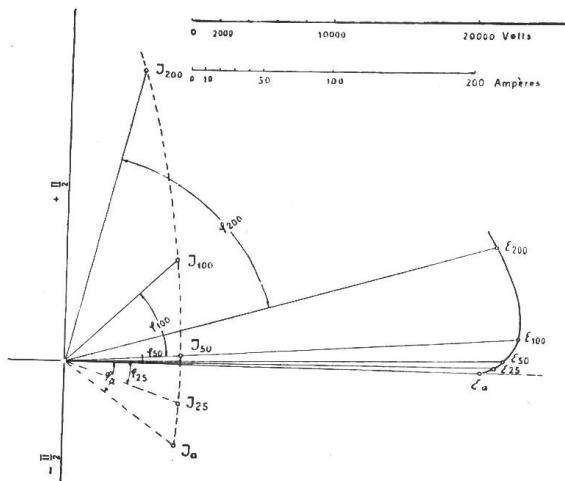


Fig. 9.

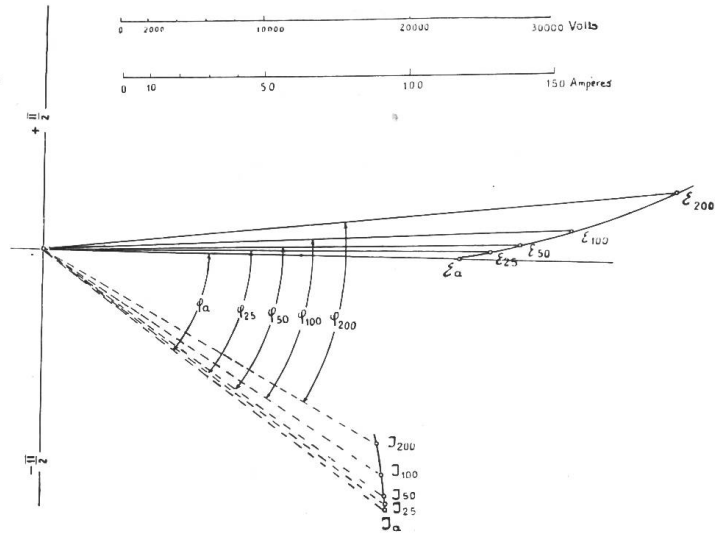


Fig. 10.

## Ligne souterraine en charge de 150 Amp.

voir Fig. 11.

Distance x en km	Tension de Phase		$\Delta E$ %	Courant		Facteur de puissance		Rendement %
	Départ $E_x$	Arrivée $E_a$		Départ $J_x$	Arrivée $J_a$	Départ $\cos \varphi_x$	Arrivée $\cos \varphi_a$	
	Volt			Ampère				
25	30 600	29 000	+ 5,5	133	150	0,89	0,8	96,0
50	31 900	29 000	+ 10,0	122	150	0,97	0,8	92,5
100	33 300	29 000	+ 14,8	130	150	avance 0,94	0,8	85,5
200	34 300	29 000	+ 18,3	218	150	„ 0,64	0,8	72,5

Le lecteur pourra d'ailleurs aisément se rendre compte immédiatement en comparant les épreuves à vue, des caractères propres à chaque système de ligne. Il constatera, comme il fallait s'y attendre, que pour une même

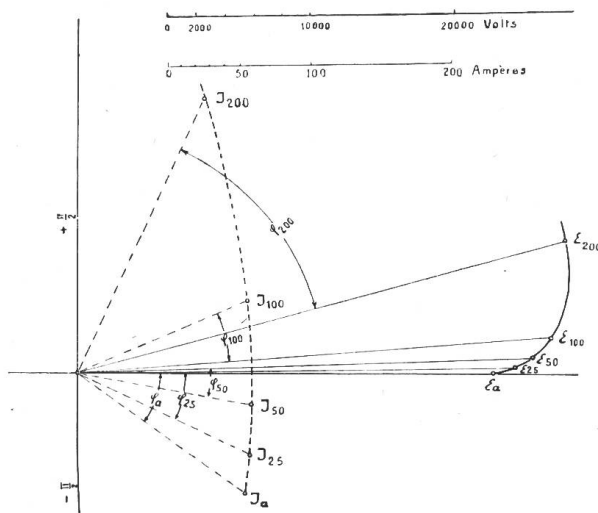


Fig. 11.

résistance ohmique la self induction joue un rôle prépondérant sur la ligne aérienne en provoquant une forte chute de tension, tout en maintenant le  $\cos \varphi$  au départ à peu près constant et voisin du  $\cos \varphi$  à l'arrivée, du moins pour les distances de transport considérées ici. Sur la ligne souterraine, par contre, la capacité produit un effet compensateur, et tend jusqu'aux environs de 100 km à réduire le courant en améliorant très sensiblement le facteur de puissance aux bornes de la source de courant ce qui implique une utilisation très rationnelle des génératrices. La fig. 5 montre toutefois que la valeur du courant de charge statique limite ici la portée du transport souterrain aux environs de 100 km.

Si maintenant, faisant abstraction de la perte d'énergie en ligne dont le degré d'importance est généralement fixé par le prix de revient de kilowattheure, l'on se donne comme

limite supérieure une chute de tension en ligne d'environ 15%, on remarque encore que, pour une distance de transport de 100 km par exemple, le débit correspondant de la ligne aérienne est limité à 100 ampères alors que, celui de la ligne souterraine peut atteindre

150 ampères, charge encore admissible pour le câble. Le cuivre serait donc, dans le second cas également, mieux utilisé que dans le premier.

Tels sont, à grands traits il est vrai, les caractères techniques respectifs de la propagation en régime permanent sur les deux systèmes de transport étudiés ici.

Remarquons en passant que, en cas de décharge brusque de la ligne, (fonctionnement, d'un disjoncteur) la surtension de rupture sera ici, toutes choses égales d'ailleurs,

$$\frac{\sqrt{\frac{I_a}{c_a}}}{\sqrt{\frac{I_s}{c_s}}} \approx \frac{380}{75} \text{ soit environ 5 fois plus grande sur la ligne aérienne.}$$

On pourrait cependant craindre, que la ligne souterraine n'exerce un rôle défavorable au point de vue des effets de résonance, celle-ci ayant plus de chance, à cause de sa capacité élevée de renforcer certaines harmoniques de rangs peu élevés que pourrait présenter la courbe de force électromotrice de la source. Mais ce danger n'est guère à redouter aujourd'hui, la technique moderne disposant de moyens éprouvés permettant d'obtenir des alternateurs à courbe de force électromotrice pratiquement sinusoidale. Il est d'ailleurs probable, à ce point de vue, que l'armure des câbles souterrains tendra elle aussi à étouffer les harmoniques de la courbe fondamentale.

#### B. Comparaison économique.

Bien qu'il soit aujourd'hui fort difficile de trouver des bases sûres pour établir le coût de lignes du genre de celles qui nous occupent ici, il est possible néanmoins d'évaluer grosso-modo comme suit le prix d'établissement par kilomètre de chaque système de ligne:

Ligne aérienne frs. 35 000.— le km, ligne souterraine frs. 75 000.— le km.

Ces chiffres envisagés seuls seraient nettement en faveur de la ligne aérienne. Ils ne tiennent cependant aucun compte des avantages aujourd'hui bien établis de la ligne souterraine sur la ligne aérienne lesquels peuvent se résumer comme suit:

Indifférence complète aux actions extérieures atmosphériques ou autres tels que chute d'arbres, court-circuits dus à la malveillance, etc. Suppression presque complète des frais d'entretien, sécurité du personnel et du public, sauvegarde de l'esthétique.

L'expérience montre en effet, qu'aux abords des agglomérations urbaines, les lignes aériennes à très haute tension sont un danger permanent pour le public et pour l'exploitation. En rase campagne d'autre part, et quel que soit le souci qu'on prenne à l'éviter, elles enlaidissent toujours les paysages. Enfin il n'est pas exagéré de prétendre que sur de longs parcours très accidentés ou boisés, il y aurait mainte fois avantage à recourir au tracé souterrain plutôt qu'aux fondations de pylônes souvent importantes et coûteuses de même que pour éviter de fâcheux déboisements.

### Berichtigungen zum Artikel:

#### Technische elektrostatische Apparate zur Messung sehr hoher Spannungen.

Bulletin No. 3, 1919, Seiten 50 und 51.

In Fig. 4 auf Seite 50 des Bulletins No. 3 ist als Bezeichnung der Abszisse die Grösse  $\lambda = \frac{V_1}{V_2}$  einzusetzen anstatt wie irrtümlicherweise angegeben:  $\frac{R_1}{R_2}$ . Ferner ist auch die Zahl  $10^6$  des Ordinatenmasstabes derselben Figur in den Schnitt mit der Abszissenaxe zu verlegen. Ausserdem sind die Bezeichnungen Fig. 6 und Fig. 7 auf Seite 51 zu vertauschen. Wir bitten unsere Leser, von diesen kleinen Korrekturen Notiz nehmen zu wollen.

Im Artikel von A. Kesselring, Bulletin No. 3, Seite 47 letzter Absatz, 5. Zeile sollte es heissen: 220/380 und nicht 250/380 Volt.  
Die Redaktion.