

de *Calypso*, appartenant à la Compagnie des Produits Chimiques d'Alais et de la Camargue (ancienne Société Péchiney et Cie).

Chutes de 134<sup>m</sup> et de 595<sup>m</sup> de hauteur ; débit dérivé : 2 m. cubes.

A 6 h. 22, départ de Saint-Michel-de-Maurienne (gare P.-L.-M.). — A 8 h., dîner à Saint-Pierre d'Albigny. — A 8 h. 54, départ pour Albertville. — Coucher.

Coût approximatif de la journée, repas compris : 25 à 30 fr.

### 5<sup>e</sup> JOURNÉE : Jeudi, 11 Septembre.

Pour le GROUPE A ayant couché la veille à Grenoble.

Matin. — 6 h. 48, départ de Grenoble, gare P.-L.-M.  
Entre 8 h. et 8 h. 30, arrivée à Albertville. — Jonction avec le groupe B, ayant couché la veille à Albertville.

GROUPES A et B réunis.

A 8 h. 30, départ d'Albertville.

A 9 h. 18, arrivée à Moutiers. — *Visite de la chute* (rivière l'Isère) et des usines de la Société « La Volta » Lyonnaise.

Chute de 75<sup>m</sup> ; débit dérivé : 17 m. cubes.

Force utilisée sur place à la fabrication de produits électro chimiques.

Déjeuner individuel à Moutiers.

Après-midi. — Vers 3 h., départ de Moutiers, gare P.-L.-M. (Train spécial).

4 h. 45, arrivée à Doussard. — *Traversée du Lac d'Annecy en bateau à vapeur.*

6 h., arrivée à Annecy. — A 7 h., dîner individuel.

A 8 h. 1/2, *Conférence.*

Coût approximatif de la journée, repas compris. Groupe A. : 25 fr.  
— — — — — Groupe B. : 20 fr.

### 6<sup>e</sup> JOURNÉE : Vendredi, 12 Septembre.

Matin. — A 8 h. 5, départ d'Annecy, gare P.-L.-M.

A 11 h. 12, arrivée au Fayet-Saint-Gervais. — Déjeuner individuel.

A 1 h., départ en train électrique P.-L.-M. — *Visite de la chute* (torrent de l'Arve) et des usines de la Société des Forces Motrices et Usines de l'Arve, à Chedde.

Chute de 140<sup>m</sup> de hauteur ; débit dérivé : 8 m. cubes.

Force utilisée sur place à la fabrication de produits électro-chimiques.

*Visite de la chute* (torrent de l'Arve) et des usines Hydro-Électriques de la Cie P.-L.-M., servant à actionner les trains du Fayet à Chamonix.

Hauteur de chute : 35<sup>m</sup> ; débit dérivé : 8 m. cubes.

A 6 h., arrivée à Chamonix.

Coût approximatif de la course, déjeuner compris : 8 à 10 fr.

### 7<sup>e</sup> JOURNÉE : Samedi, 13 Septembre.

#### CHAMONIX

Matin. — 8 h. 1/2, *Conférences.* — Résumé des travaux du Congrès.

**Dislocation du Congrès.**

Le Conseil d'Administration du Syndicat, désireux de faciliter aux membres du Congrès, à qui leurs loisirs permettraient de prolonger leur séjour dans cette admirable région, a organisé pour ceux-ci le court, mais à tous les points de vue instructif et intéressant voyage, dont suit l'itinéraire :

**EXCURSION de Chamonix (Salvan-Vernayaz) ou Tête-Noire-Martigny. — Brigue** (travaux du Simplon). — **Saint-Maurice. — Vouvry. — Aigle. — Leysin. — Lausanne et Genève.**

**1<sup>er</sup> JOUR. — Chamonix**, départ à 7 h. 1/2 matin. — Lunch au Châtelard ou à Tête-Noire.

**Vernayaz** (ou **Martigny**), arrivée à 4 h. soir. — Départ à 4 h. 34 soir.

**Brigue**, arrivée à 7 h. 18 soir. — Dîner et logement.

**2<sup>e</sup> JOUR. — Déjeuner.** — Visite aux travaux du Simplon dans la matinée. — Lunch.

**Brigue**, départ à 2 h. 10 soir.

**Saint-Maurice**, arrivée à 4 h. 15 soir. — Visite de l'usine du Bois-Noir. — Dîner et logement.

**3<sup>e</sup> JOUR. — Déjeuner.**

**Saint-Maurice**, départ 7 h. 12 matin.

**Vouvry**, arrivée à 7 h. 40 matin. — Visite des usines de la Grande-Eau.

**Vouvry**, départ en breaks à 10 h. 1/2 matin.

**Aigle**, arrivée à 11 h. 1/2. — Lunch. — L'après-midi, course à Leysin par train spécial.

**Aigle**, départ à 6 h. 5 soir.

**Lausanne**, arrivée à 7 h. 50 soir. — Dîner et logement.

**4<sup>e</sup> JOUR. — Déjeuner.** — Visite des installations de Lausanne. — Lunch.

**Lausanne**, départ à midi 20.

**Genève**, arrivée à 1 h. 25 soir. — Visite de l'usine de Chèvres. — Dîner et logement.

Le coût approximatif pour ces quatre journées, tous frais compris, serait de 95 francs ; il ne dépasserait pas 80 francs, si le nombre des congressistes effectuant ce trajet, atteignait au minimum 25 personnes.

## TRACTION ÉLECTRIQUE AUX GRANDES VITESSES ET AUX GRANDES DISTANCES

Dans une série d'études auxquelles la « Houille Blanche » veut bien donner l'hospitalité, nous nous proposons d'étudier très succinctement, dans son état actuel et dans son avenir, le problème de la traction électrique à grandes distances et à grande vitesse. Il est inutile d'insister sur le caractère d'actualité d'une telle question, à une époque où l'utilisation méthodique des chutes d'eau semble proche, et où cette éventualité laisse déjà pressentir une formidable révolution économique, tout à l'avantage des régions montagneuses du Dauphiné et de la Savoie.

Sous le titre ci-dessus proposé, nous entendons étudier les conditions d'emploi de la puissance hydro-électrique à la propulsion des trains de grande ligne, voire des rapides, à des distances considérables des centres de production de l'énergie électrique.

Un certain nombre de lignes de chemins de fer électriques à parcours assez étendus existent déjà. Nous aurons l'occasion, au cours de notre travail, d'en étudier les caractères les plus intéressants. Mais ces lignes isolées ne peuvent être

considérées que comme des essais préliminaires à l'éventualité d'une transformation intégrale des réseaux.

L'application en grand de l'électricité à la traction des chemins de fer, suppose la réalisation de plusieurs conditions, parmi lesquelles :

1° La possibilité de transmettre industriellement l'énergie, produite à bas prix par les chutes, à des distances sensiblement supérieures à celles aujourd'hui réalisées.

2° La possibilité financière de remplacer ou de modifier le matériel existant, autrement dit, de pouvoir compenser ces dépenses par une diminution des frais d'exploitation ou une augmentation de recettes.

C'est chacun de ces deux points que nous allons examiner successivement. Nous étudierons enfin très sommairement les lignes de chemins électriques existantes, rentrant dans notre cadre et aussi les essais tous récents de traction par courants alternatifs à haute tension effectués en Allemagne, au moins en ce que ces essais comportent d'enseignements en vue d'une transformation des modes de traction actuels.

### **Sur les moyens d'accroître les distances auxquelles peuvent être industriellement transmises les puissances électriques engendrées par les chutes.**

Dans cet ordre d'idées, un grand nombre de travaux dûs à d'éminents spécialistes, semblent aboutir à cette conclusion pessimiste, à savoir que la distance de 150 kilomètres, constituerait le rayon maximum, que permettraient industriellement d'atteindre les plus hautes tensions adoptées.

D'autre part, une publication récente, celle de M. Léon Mähl, préconisant un transport d'énergie électrique de Grenoble à Paris, sous une tension de 50.000 volts, a provoqué dans le monde industriel une certaine émotion. Quelque opinion qu'on puisse professer sur la portée économique du projet, dont l'avenir nous fournira le meilleur critérium, il semble que l'emploi d'une tension extrêmement élevée, jusque sans exemple, considérée comme imposée en quelque sorte par les données du problème, ne soit même pas nécessaire. Dans l'état actuel de l'industrie électrique, la tension de 27.000 volts a été atteinte : ce serait faire injure aux directeurs des deux Sociétés Dauphinoises dont les lignes de transmission d'énergie fonctionnent déjà sous cette tension, que de ne pas être convaincu qu'un plein succès industriel sanctionnera leurs audacieuses tentatives.

Admettons donc, comme industriellement acquise, la possibilité d'une transmission d'énergie sous 30.000 volts entre fils. Cherchons à montrer qu'avec cette tension, au moyen d'artifices simples, on peut, dans certains cas, accroître le rayon de distribution dans des limites comparables à celui d'une distribution à 50.000 volts.

Il est bien évident que ce qui limite le rayon de transmission d'une puissance hydro-électrique donnée, c'est, d'une part, le coût de la ligne, d'autre part, la plus ou moins grande fraction de la puissance disponible à l'usine qui est perdue en échauffement stérile des conducteurs.

Si le cheval-an aux bornes de l'usine est surabondant et y revient particulièrement bon marché, la deuxième considération serait la moins importante. Ce serait le cas de

nombre d'usines hydro-électriques, si elles n'avaient été grevées par des charges énormes et improductives (achat de chutes, de droits de riveraineté, travaux préliminaires mal dirigés, transformation de matériel en cours de marche, etc.).

Admettons, par exemple, que le prix du cheval-an aux bornes de l'usine vienne à ne pas dépasser 50 francs. S'il y a pléthore de chevaux et qu'il s'agisse d'alimenter un centre éloigné, on peut consentir, au moins provisoirement (en attendant que les recettes permettent d'augmenter la section de la ligne par l'adjonction de conducteurs nouveaux couplés en parallèle avec les anciens), une perte en ligne assez considérable, 50 %, 60 %, voire même 75 %. Dans ce dernier, le cheval utile coûterait au départ de l'usine 200 francs.

Il est évident que, dans ce cas, le facteur principal qui limite le rayon de la transmission d'énergie à distance est constitué par les dépenses afférentes à la ligne. Si le cheval-an, mesuré au bout de celle-ci, n'entraîne pas, par exemple, une dépense afférente à la ligne proprement dite (intérêt et amortissement du capital engagé, entretien, etc.), supérieure à 200 francs, le cheval-an reviendra donc, en bout de ligne, à 400 francs, et ce prix lui permettra encore de concurrencer très avantageusement la puissance, soit offerte par les stations génératrices à vapeur, soit produite même chez les particuliers.

Il est également évident que pour un même poids de cuivre, le coût d'établissement d'une ligne à 50.000 volts est beaucoup plus élevé que celui d'une ligne à 30.000 volts, eu égard aux difficultés d'isolement considérables dans le second cas. Nous considérerons également pour mémoire la majoration des frais d'entretien de la ligne, également plus élevés avec une tension de 50.000 volts.

Soit  $W$  la puissance électrique à transmettre disponible aux bornes de l'usine,  $L$  la longueur de la ligne.

Nous supposerons la distribution monophasée pour simplifier nos calculs, mais il est bien évident que nos conclusions seraient les mêmes pour une distribution triphasée.

Soit  $aW$  la fraction de la puissance  $W$  que nous nous astreignons à perdre en ligne, quand la distribution est effectuée sous 50.000 volts.

Supposons maintenant que la tension au sortir de l'usine soit abaissée à 30.000 volts, mais que la ligne soit partagée en  $n$  sections raccordées par  $(n-1)$  postes de transformateurs élévateurs. Ces appareils comprennent deux enroulements, le primaire, alimenté par le courant provenant de la section précédente, et dont la tension est égale à la tension de départ diminuée de la chute de tension en ligne, le secondaire restituant à la section suivante la tension de départ.

La présence de transformateurs entraînera, dans le cas de la distribution à 30.000 volts, une dépense supplémentaire, mais si ces postes ne sont pas trop nombreux, on peut, en première approximation négliger cette dépense, eu égard aux deux sources d'économie spécifiées plus haut.

Soit donc d'une manière générale :  $E_{\text{eff}}$  la tension efficace primitive ;  $e_{\text{eff}}$  la tension efficace modifiée, ces deux tensions étant mesurées au départ de l'usine, la première dans le cas où il n'existe pas de transformateurs survol-

teurs, la seconde dans le cas de  $(n-1)$  postes survolteurs. Nous aurons en appelant  $I_{eff}$  et  $i_{eff}$ , les courants en ligne et en supposant que le décalage soit le même dans les deux cas.

$$W = E_{eff} I_{eff} \cos \varphi = e_{eff} i_{eff} \cos \varphi.$$

On peut supposer le décalage identique dans les deux cas; en réalité, il est certainement moindre dans le cas où l'on emploie des postes de transformateurs, dont le décalage propre est évidemment inférieur à celui des lignes.

Admettons enfin, toujours en première approximation, que le rendement des transformateurs soit égal à l'unité. On construit aujourd'hui des transformateurs dont le rendement à pleine charge dépasse 97,5 o/o.

**Cas d'une égale perte en ligne dans les deux cas.**

Soit, dans le second cas, c'est-à-dire pour une tension  $e_{eff}$ ,  $bW$  la perte de puissance dans la première section  $bW(1-b)$  la perte dans la seconde,  $bW(1-b)^{n-2}$  la perte dans la  $n^{ième}$ .

Nous aurons comme perte totale  $P_e$  dans le second cas :

$$P_e = bW + b(1-b)W + \dots + b(1-b)^{n-1}W.$$

ou 
$$P_e = bW \left[ \frac{(1-b)^n - 1}{(1-b) - 1} \right].$$

Nous avons, en somme, supposé que la perte relative de puissance était la même dans chaque section. Admettons enfin que les pertes de puissance soient les mêmes dans le premier cas et dans le second. Nous pouvons écrire :

$$aW = bW \left[ \frac{(1-b)^n - 1}{(1-b) - 1} \right].$$

Ou simplement :

$$a = b \left[ \frac{(1-b)^n - 1}{(1-b) - 1} \right] \quad (1)$$

Cette équation nous donne  $b$ , fraction de la puissance perdue dans la première section.

La racine  $b_0$  de cette équation qui y satisfait peut être construite graphiquement. Remarquons que l'équation (1) peut aussi s'écrire :

$$a = b \left[ (1-b)^{n-1} + (1-b)^{n-2} + \dots + (1-b) + 1 \right] \quad (1')$$

Considérons la fonction

$$Y = -a + b \left[ (1-b)^{n-1} + (1-b)^{n-2} + \dots + (1-b) + 1 \right]$$

Les ordonnées de la courbe qu'elle représente peuvent être considérées comme la différence  $Y_1 - Y_2$  des ordonnées de la droite  $Y_2 = a$  parallèle aux abscisses  $b$ , et de la courbe

$$Y_1 = b \left[ (1-b)^{n-1} + (1-b)^{n-2} + \dots + (1-b) + 1 \right]$$

Pour différentes valeurs de  $n$ , ces courbes représentées fig. 1 seront les suivantes :

Courbe  $C_2$   $n = 2$   $Y_2 = b \left[ (1-b) + 1 \right]$

Courbe  $C_3$   $n = 3$   $Y_2 = b \left[ (1-b)^2 + (1-b) + 1 \right]$

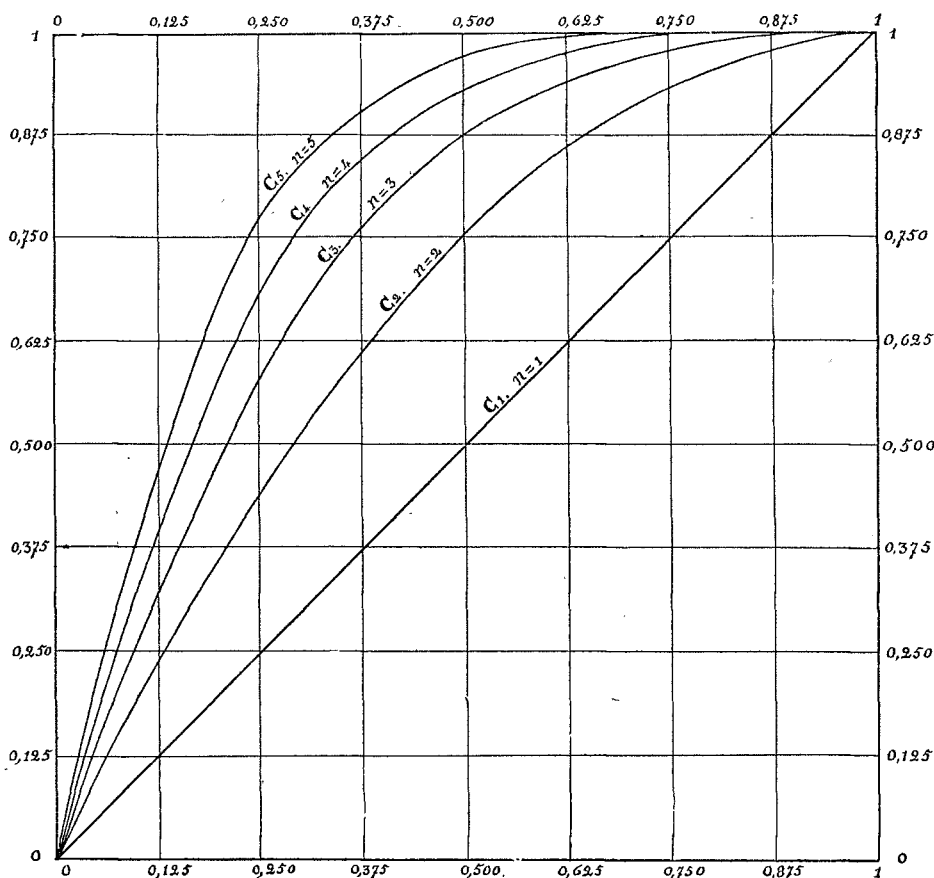
Courbe  $C_4$   $n = 4$   $Y_2 = b \left[ (1-b)^3 + (1-b)^2 + (1-b) + 1 \right]$

Courbe  $C_5$   $n = 5$   $Y_2 = b \left[ (1-b)^4 + (1-b)^3 + (1-b)^2 + (1-b) + 1 \right]$

Les valeurs cherchées de  $b_0$  seront celles correspondant à chacune de ces courbes  $C$  avec la droite  $Y_1 = a$ .

Le tableau ci-dessous résume les valeurs de  $b_0$  pour les trois valeurs de  $a$

$a = 0,25$                        $a = 0,50$                        $a = 0,75$



Graphique de résolution de l'équation (1)

TABLEAU I. — Valeurs de  $b_0$ .

	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$	$n = 5$
$a = 0.25$	0.25	0.125	0.095	0.077	0.060
$a = 0.50$	0.50	0.292	0.207	0.165	0.137
$a = 0.75$	0.75	0.495	0.367	0.286	0.237

**Comparaison des poids de cuivre employés dans les deux cas.**

Cherchons toujours dans notre hypothèse d'une même perte de puissance dans ces deux cas, le rapport des volumes de cuivre employés. La résolution de l'équation (1) nous a fourni la racine  $b_0$ .

**a. Les sections sont supposées d'égales longueurs.**

Appelons  $L$ , la longueur d'un fil de ligne;  $S$ , la section du fil employé pour la tension de 50.000 volts,  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ , les sections des fils des diverses sections, pour la tension de 30.000 volts,  $\rho$  la résistance spécifique du cuivre ou du métal conducteur employé, nous aurons si  $R = \rho \frac{L}{S}$  est la résistance d'un fil de ligne

$$aW = 2 R. I_{\text{eff}}^2 = 2 \rho \frac{L}{S} \left( \frac{W^2}{E_{\text{eff}}^2 \cos^2 \varphi} \right)$$

d'où 
$$a = \frac{2 \rho L W}{\cos^2 \varphi} \cdot \frac{1}{S E_{\text{eff}}^2} = \frac{A}{S E_{\text{eff}}^2}$$

en posant 
$$A = \frac{2 \rho L W}{W^2}$$

d'où 
$$S = \frac{a E_{\text{eff}}^2}{A}$$

Nous aurons de même, chaque section ayant la longueur  $\frac{L}{n}$ , pour chacune d'elle.

$$b_0 W = \frac{2 \rho L}{n S_1} \left( \frac{W^2}{e_{\text{eff}}^2 \cos^2 \varphi} \right) = \frac{A}{e_{\text{eff}}^2 n S_1}$$

$$b_0 (1 - b_0) W = \frac{2 \rho L}{n S_2} \left( \frac{W^2 (1 - b_0)^2}{e_{\text{eff}}^2 \cos^2 \varphi} \right) = \frac{A (1 - b_0)^2}{e_{\text{eff}}^2 n S_2}$$

De même :

$$b_0 (1 - b_0)^{n-1} W = \frac{2 \rho L}{n S_n} \left[ \frac{W^2 (1 - b_0)^{2(n-1)}}{e_{\text{eff}}^2 \cos^2 \varphi} \right] = \frac{A (1 - b_0)^{2(n-1)}}{e_{\text{eff}}^2 n S_n}$$

Ou encore :

$$S_1 = \frac{A}{b_0 e_{\text{eff}}^2 n} \quad S_2 = \frac{A (1 - b_0)}{b_0 e_{\text{eff}}^2 n} \dots S_n = \frac{A (1 - b_0)^{n-1}}{b_0 e_{\text{eff}}^2 n}$$

Le volume de cuivre sera dans le premier cas :

$$V_e = LS = \frac{LA}{a E_{\text{eff}}^2}$$

Le volume de cuivre sera dans le second cas :

$$V_e = \frac{L}{n} (S_1 + S_2 + \dots + S_n)$$

puisque chaque section a la longueur  $\frac{L}{n}$ .

d'où 
$$V_e = \frac{LA}{n^2 b_0 e_{\text{eff}}^2} \left[ \frac{(1 - b_0)^n - 1}{(1 - b_0) - 1} \right] = \frac{LA}{n^2 b_0 e_{\text{eff}}^2} \cdot \frac{a}{b}$$

d'après l'équation (1)

Le rapport des volumes est donc :

$$\Lambda = \frac{V_e}{V_e} = \frac{a^2}{b_0^2 n^2} \left( \frac{E_{\text{eff}}}{e_{\text{eff}}} \right)^2 \quad (2)$$

S'il n'y avait pas de postes de transformateurs survolteurs, c'est-à-dire pour une ligne devant transmettre une même puissance  $W$  avec une même perte  $aW$ , les volumes de cuivre à employer  $V_e$  et  $V_e$ , respectivement dans les hypothèses d'une transmission à 50.000 volts et à 30.000 volts, seraient reliés par l'équation.

$$\Lambda = \frac{V_e}{V_e} = \left( \frac{E_{\text{eff}}}{e_{\text{eff}}} \right)^2 \quad (2')$$

Cherchons donc à établir l'économie réalisée avec notre disposition, c'est-à-dire la valeur du facteur  $\frac{b_0^2 n^2}{a^2}$ .

Le tableau suivant résume les diverses valeurs de  $\frac{b_0 n}{a}$ , les valeurs correspondantes de  $b_0$  étant tirées du graphique de la figure 1.

TABEAU II. — Valeurs de  $\frac{b_0 n}{a}$ .

	n = 1	n = 2	n = 3	n = 4	n = 5
a = 0.25	1	1.00	1.140	1.232	1.200
a = 0.50	1	1.168	1.242	1.320	1.370
a = 0.75	1	1.320	1.467	1.524	1.580

Comme, d'autre part,  $\frac{E_{\text{eff}}}{e_{\text{eff}}} = \frac{5}{3} = 1,66$ , il est facile, connaissant une des valeurs  $\frac{b_0 n}{a}$  du tableau, de calculer le rapport  $\frac{V_e}{V_e}$ .

Le tableau suivant résume les valeurs de  $\frac{a}{b_0 n}$ , quantité également utile dans les calculs,

TABEAU III. — Valeurs de  $\frac{a}{b_0 n}$ .

	n = 1	n = 2	n = 3	n = 4	n = 5
a = 0.25	1	1	0.8771	0.8116	0.8533
a = 0.50	1	0.8561	0.8051	0.7575	0.7299
a = 0.75	1	0.7575	0.6816	0.6561	0.6329

Nous obtenons ainsi la valeur de  $\lambda$ , dans le cas particulier de  $n = 5$  et de  $a = 0,75$  :

$$\Lambda = 1,102$$

**b. Cas où l'on suppose que les sections ne sont pas toutes d'égales longueurs.**

On peut être amené, sinon pour améliorer le rendement de l'installation, du moins pour économiser une certaine quantité de cuivre, à voir s'il n'est pas avantageux de donner aux sections séparant les postes de transformateurs survolteurs des longueurs différentes.

Soient donc :

$$L_1 = \alpha_1 L \quad L_2 = \alpha_2 L \quad L_n = \alpha_n L$$

la longueur de ces sections.

Nous aurons toujours pour déterminer les sections des fils  $S_1, S_2, \dots$ , les équations :

$$\begin{cases} b_0 W = \frac{2 \rho L \alpha_1}{S_1} \left[ \frac{W^2}{e_{\text{eff}}^2 \cos^2 \varphi} \right] \\ \dots \dots \dots \\ b_0 (1 - b_0)^{n-1} = \frac{2 \rho L \alpha_n}{S_n} \left[ \frac{W^2 (1 - b_0)^{2(n-1)}}{e_{\text{eff}}^2 \cos^2 \varphi} \right] \end{cases}$$

d'où

$$S_1 = \frac{A \alpha_1}{b_0 e_{\text{eff}}^2} \dots \dots \dots S_n = \frac{A \alpha_n (1 - b_0)^{n-1}}{b_0 e_{\text{eff}}^2}$$

$b_0$  étant toujours donné par la racine utile de l'équation :

$$a = b_0 \left[ \frac{(1-b_0)^n - 1}{(1b_0) - 1} \right]$$

Nous aurons donc pour volume total de cuivre, dans le second cas :

$$V_e = L_1 S_1 + L_2 S_2 + \dots + L_n S_n$$

$$\text{ou } V_e = \frac{L A}{b_0 e^2_{\text{eff}}} \left[ \alpha_1^2 + \alpha_2^2 (1-b_0) + \alpha_3^2 (1-b_0)^2 + \dots + \alpha_n^2 (1-b_0)^{n-1} \right]$$

d'où, puisque  $V_E = LS = \frac{LA}{a E^2_{\text{eff}}}$ , pour le rapport  $\frac{V_e}{V_E}$

l'expression :

$$\Lambda = \frac{V_e}{V_E} = \frac{E^2_{\text{eff}} a}{b_0 e^2_{\text{eff}}} \left[ \alpha_1^2 + \alpha_2^2 (1-b_0) + \alpha_3^2 (1-b_0)^2 + \dots + \alpha_n^2 (1-b_0)^{n-1} \right] \quad (2')$$

Cherchons à rendre minimum cette fonction de  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ , ces quantités étant reliées par la relation :

$$1 = \alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n \quad (3)$$

Les valeurs de  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ , rendant maximum ou minimum cette fonction, sont données par le système d'équations.

$$\frac{1}{\alpha_1} = \frac{1}{\alpha_2 (1-b_0)} = \dots = \frac{1}{\alpha_n (1-b_0)^{n-1}} \quad (4)$$

Nous aurons la valeur de  $\alpha_1$  en substituant  $\alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ , tirées de ces équations dans l'équation (3); nous obtenons

$$1 = \alpha_1 \left[ 1 + (1-b_0)^{-1} + \dots + (1-b_0)^{-(n-1)} \right]$$

$$\text{d'où } 1 = \alpha_1 \frac{\frac{1}{(1-b_0)^n} - 1}{\frac{1}{(1-b_0)} - 1} = \alpha_1 \frac{\Sigma}{(1-b_0)^{n-1}}$$

$$\text{en posant } \Sigma = \frac{(1-b_0)^n - 1}{(1-b_0) - 1}$$

Nous en déduisons donc :

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_1 = \frac{1}{\Sigma} (1-b_0)^{n-1} \\ \alpha_2 = \frac{1}{\Sigma} (1-b_0)^{n-1} \frac{1}{(1-b_0)} \\ \dots \\ \alpha_n = \frac{1}{\Sigma} (1-b_0)^{n-1} \frac{1}{(1-b_0)^{n-1}} \end{array} \right.$$

Formons la somme :

$$\alpha_1^2 + \alpha_2^2 (1-b_0) + \alpha_n^2 (1-b_0)^{n-1}$$

et portons cette valeur dans l'expression de  $\Lambda$

Nous avons ainsi, tous calculs faits :

$$\frac{V_e}{V_E} = \frac{\Sigma}{\Sigma^2} (1-b_0)^{2(n-1)} \frac{1}{(1-b_0)^{n-1}} \cdot \frac{E^2_{\text{eff}} a}{e^2_{\text{eff}} b_0}$$

Ou enfin :

$$\frac{V_e}{V_E} = \frac{(1-b_0)^{n-1}}{\Sigma} \cdot \frac{a}{b_0} \cdot \frac{E^2_{\text{eff}}}{e^2_{\text{eff}}}$$

Or on a trouvé :  $\frac{a}{b_0} = \Sigma$

$$\text{d'où : } \frac{V_e}{V_E} = (1-b_0)^{n-1} \cdot \frac{E^2_{\text{eff}}}{e^2_{\text{eff}}} \quad (5)$$

**Economie réalisée sur le poids de cuivre employé en adoptant des sections de longueur différentes déterminées comme ci-dessus.**

Il est assez aisé de constater l'économie réalisée avec la dernière disposition préconisée.

Nous avons trouvé pour des sections d'égale longueur  $\frac{L}{n}$

$$\frac{V_E}{V_e} = \frac{b_0^2 n^2}{a^2} \left( \frac{E^2_{\text{eff}}}{e^2_{\text{eff}}} \right)$$

$$\text{ou } \frac{V_e}{V_E} = \frac{a^2}{b_0^2 n^2} \cdot \frac{E^2_{\text{eff}}}{e^2_{\text{eff}}} \quad (2)$$

Montrons donc, pour vérifier notre proposition, que

$$\frac{a^2}{b_0^2 n^2} > (1-b_0)^{n-1}$$

Nous avons toujours pour définir  $b_0$  dans tous les cas l'équation (1)

$$\frac{a}{b_0} = \frac{(1-b_0)^n - 1}{(1-b_0) - 1} \quad (1)$$

Nous devons donc démontrer que

$$\frac{(1-b_0)^n - 1}{(1-b_0) - 1} > n (1-b_0)^{\frac{n-1}{2}} \quad (6)$$

Ce qui peut s'écrire

$$(1-b_0)^{n-1} + \dots + (1-b_0) + 1 > n (1-b_0)^{\frac{n-1}{2}}$$

Or, on peut réunir deux à deux les termes du premier membre équidistants des termes du milieu : pour simplifier notre démonstration, nous supposons, par exemple,  $n$  pair.

On aura successivement :

$$1 + (1-b_0)^{n-1} > 2 \sqrt{(1-b_0)^{n-1}}$$

$$(1-b_0) \left[ 1 + (1-b_0)^{n-2-1} \right] > 2 (1-b_0) \sqrt{(1-b_0)^{n-2-1}}$$

$$(1-b_0)^2 \left[ 1 + (1-b_0)^{n-1-2} \right] > 2 (1-b_0)^2 \sqrt{(1-b_0)^{n-1-2}}$$

$$(1-b_0)^{\frac{n}{2} - 1} \left[ 1 + (1-b_0)^{n-1-2 \left( \frac{n}{2} - 1 \right)} \right] > 2 (1-b_0)^{\frac{n}{2} - 1}$$

$$\sqrt{(1-b_0)^{n-1-2 \left( \frac{n}{2} - 1 \right)}}$$

Car ces inégalités peuvent s'écrire

$$\left[ 1 - (1-b_0)^{\frac{n-1}{2}} \right]^2 > 0$$

$$(1-b_0) \left[ 1 - (1-b_0)^{\frac{n-1-2}{2}} \right]^2 > 0$$

$$(1-b)^1 \left[ 1 - (1-b)^{\frac{n-1-2i}{2}} \right]^2 > 0$$

$$(1-b)^{\frac{n-1}{2}} \left[ 1 - (1-b)^{\frac{n-1-2\frac{n}{2}-1}{2}} \right]^2 > 0$$

On aurait pu, de même, constater par substitution des valeurs numériques trouvées pour  $b_0$ , la légitimité de cette inégalité.

Les tableaux suivants résument les valeurs de  $(1 - b_0)$  et  $(1 - b_0)^{\frac{n-1}{2}}$ .

TABLEAU IV. — Valeurs de  $(1 - b_0)$ .

	n = 1	n = 2	n = 3	n = 4	n = 5
a = 0.25	0.750	0.875	0.905	0.923	0.940
n = 0.50	0.500	0.708	0.793	0.835	0.860
a = 0.75	0.250	0.505	0.633	0.714	0.763

TABLEAU V. — Valeurs de  $(1 - b_0)^{\frac{n-1}{2}}$ .

	n = 2	n = 3	n = 4	n = 5
a = 0.25	0.935	0.905	0.888	0.883
a = 0.50	0.841	0.793	0.763	0.744
a = 0.75	0.710	0.633	0.603	0.577

En particulier, pour  $n = 5$  et  $a = 0,75$ , nous aurons  $\Lambda = 1,096$

Il en résulte que le rapport  $\Lambda = \frac{V_e}{V_E}$  deviendrait donc bien, dans ce cas, plus petit que dans celui où toutes les sections ont une même longueur.

Le tableau suivant résume nos résultats au point de vue de la comparaison des volumes de cuivre nécessaires.

HYPOTHÈSE. Cas d'une égale perte de puissance pour les tensions  $E_{eff}$  et  $e_{eff}$  à la tête de chaque section.

TABLEAU VI. — Equation définissant  $b_0$ .  $\left\{ \frac{a}{b\Sigma} = 1. \right.$

	Valeurs de $\Lambda$	Economie en % par rapport à la tension $e_{eff}$ sans survoltage.
Sections de grandeur égale	$\Lambda = \frac{a^2 E_{eff}^2}{b_0^2 n^2 e_{eff}^2}$	$\frac{a^2}{b_0^2 n^2}$
Sections de longueurs $L_{\alpha_1} - L_{\alpha_n}$	$\Lambda = (1 - b_0)^{n-1} \frac{E_{eff}^2}{e_{eff}^2}$	$(s - b_0)^{n-1}$
A la tension $e_{eff}$ sans survoltage	$\Lambda = \frac{E_{eff}^2}{e_{eff}^2}$	1

(A suivre).

BARBILLION,  
Ingénieur-Electricien,  
Maître de Conférences à l'Institut  
Electrotechnique de Grenoble.

## Le transport de l'énergie par courants alternatifs à intensité constante

Systeme usité aux Etats-Unis pour l'éclairage public

Dans le premier numéro de *La Houille Blanche*, M. Rigolot, qui professe avec tant d'autorité le Cours de Physique industrielle à l'Université de Lyon, nous exposait le système de distribution de l'énergie par courants continus à intensité constante et qui a reçu des applications très réussies dans de nombreux transports de force, grâce à l'habileté de mécanicien parfait de M. Thury, le sympathique directeur de la Compagnie de l'Industrie Electrique de Genève.

Quoique la mode n'en soit guère maintenant aux transports de force par courants continus, les courants polyphasés offrant des avantages incontestables, il n'en est pas moins vrai que lorsque les frais de premier établissement et les dépenses d'exploitation doivent avant tout être réduits, le système continu série, peut lutter avantageusement et même l'emporter sur le terrain économique.

Dans un ordre d'idées analogues, nous allons parler aujourd'hui, d'un système de distribution de l'énergie par courants alternatifs mono ou polyphasés à intensité constante. Ce système, dont nous ne connaissons pas d'applications en Europe, est par contre généralement usité aux Etats-Unis pour l'éclairage public par lampes à arc en vase clos: nous l'avons vu très souvent fonctionner et, disons le tout de suite, donner d'excellents résultats.

Dans ce mode de distribution à courants alternatifs, il s'agit, comme dans le cas des courants continus, de maintenir constante l'intensité en modifiant le voltage. On y arrive très simplement au moyen d'un transformateur spécial qui maintient constante l'intensité du courant alternatif, dans le circuit sur lequel il est branché, tout en permettant, si on le désire, d'élever ou d'abaisser la tension du courant fourni par le circuit d'alimentation. Cet appareil joue donc un rôle absolument analogue au régulateur de M. Thury agissant sur le rhéostat d'excitation ou sur le calage des balais de la dynamo génératrice; il est d'un usage constant dans les secteurs d'éclairage des villes où l'on emploie des lampes à arc en vase clos branchées en série sur un courant alternatif d'intensité constante.

Le primaire du transformateur est connecté directement sur la ligne monophasée ou polyphasée. Les lampes d'utilisation sont placées sur le secondaire soit toutes en série sur un seul circuit, soit sur deux circuits, ainsi que le montre le schéma ci-joint qui indique en même temps le montage du transformateur.

Le principe de l'appareil lui-même est des plus simples (1). Il se compose d'un circuit magnétique à trois

(1) La plupart des renseignements que nous publions aujourd'hui nous ont été communiqués avec beaucoup d'amabilité par M. C. P. Steinmetz, l'éminent savant américain, au cours de la visite faite en août dernier, aux ateliers de construction de la Général Electric Co à Schenectady, par la mission française de la Société Internationale des électriciens.