

# LA HOUILLE BLANCHE

ÉDITIONS J. REY-B. ARTHAUD, Éditeur, GRENOBLE

Abonnement pour une Année { France..... 40 francs } Le Numéro : 7 francs  
 { Étranger... 50 francs }

Compte Chèques Postaux LYON 5-84

## SOMMAIRE

**LES FORCES HYDRAULIQUES : Transport de force.** — Essais et description de la ligne à 120.000 volts de Jeanne-Rose (S.-et-L.) à Somberson (Côte-d'Or), de la Compagnie Bourguignonne de Transports d'Énergie, par M. BARRÈRE, ingénieur aux Etablissements Schneider, chef de Travaux électrotechniques à l'École Centrale des Arts et Manufactures. — Aménagement du Rhin de Bâle à Strasbourg et à Lauterbourg.

**HYDRAULIQUE.** — Etude analytique du fonctionnement, au cours d'une perturbation, d'un Groupe électrogène pourvu d'un régulateur à pression d'huile, par M. BARBILLON, directeur de l'Institut polytechnique de Grenoble. — La solution générale

du problème de la Détermination des Dimensions économiques maximum d'une conduite forcée en métal et son application aux calculs pratiques, par Paul P. SANTO-RINI, ingénieur E. P. Z., directeur de la « Société anonyme d'Etudes et d'Entreprises », à Athènes.

**ÉLECTRICITÉ.** — Compensateurs de phase pour moteurs asynchrones (*suite*).

**LÉGISLATION.** — La Taxe de mainmorte et les Entreprises concédées. — Principes de la taxation et de l'exonération. — Tarifs, par Paul BOUGAULT, avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

**DOCUMENTATION.** — **INFORMATIONS.** — **BIBLIOGRAPHIE.**

## LES FORCES HYDRAULIQUES

### TRANSPORT DE FORCE

#### Essais et description de la ligne à 120.000 volts de Jeanne-Rose (Saône-et-Loire) à Somberson (Côte-d'Or) de la C<sup>ie</sup> Bourguignonne de Transport d'Énergie

Par M. BARRÈRE, *Ingénieur aux Etablissements Schneider*  
*Chef des Travaux Electrotechniques à l'École Centrale des Arts et Manufactures*

*Ces essais effectués fin août 1926 par les Ingénieurs des Etablissements Schneider & Cie, ont montré la concordance satisfaisante des prévisions de calcul avec les résultats d'essais.*

*Cette ligne sert à transporter une partie de l'énergie produite par l'Usine hydroélectrique de Chancy-Pouigny dont la description a déjà paru dans diverses revues, pour la livrer au groupe Gaz et Eau, à Souberson, à 20 kilomètres de Dijon.*

#### I. — DISPOSITIONS GÉNÉRALES DE LA LIGNE.

Sa longueur est de 65 kilomètres. On a adopté une ligne simple triphasée à nappe de conducteurs horizontale.

La disposition générale des conducteurs et de leurs permuta-tions est indiquée sur la figure 1.

La ligne passe à son point le plus haut à 538 mètres d'altitude et à son point le plus bas à 270 mètres; elle traverse les départements de Saône-et-Loire et de la Côte-d'Or. La figure 2 indique succinctement le tracé de cette ligne.

#### II. — PYLÔNES ET CONDUCTEURS.

Le pylône normal est représenté sur les figures 3, 4 et 5; la portée moyenne est de 275 mètres. La portée maximum est de 471 mètres.

Le type de pylône adopté est caractérisé par un fût parallé-lépédique et disposition des 3 conducteurs dans un plan hori-zontal; au lieu du type pyramidal à consoles pour éviter la superposition de conducteurs dans les plans sensiblement voi-sins et verticaux, et aussi pour réaliser un ouvrage capable de

résister à la rupture de un ou plusieurs conducteurs, sans cependant augmenter le poids de métal ni la surface du terrain occupé.

La première raison, de ne pas placer les conducteurs dans des plans verticaux voisins, a pour but d'éviter des contacts entre conducteurs en cas de surcharges inégales de givre; la deuxième raison permet d'avoir un pylône moins haut.

Il a été prévu deux types de pylônes : le type « A » calculé

Le câble des 3 conducteurs est en aluminium avec une âme d'acier; le diamètre étant supérieur à celui d'un conducteur de cuivre de même résistance électrique permet d'éviter plus facilement les effluves.

Il est composé de 30 fils d'aluminium de 2,55  $\frac{m}{m}$  de diamètre; son diamètre total est de 17,8  $\frac{m}{m}$  et sa section totale de 188,7  $\frac{m^2}{m}$ . La section utile d'aluminium est de 153  $\frac{m^2}{m}$ .

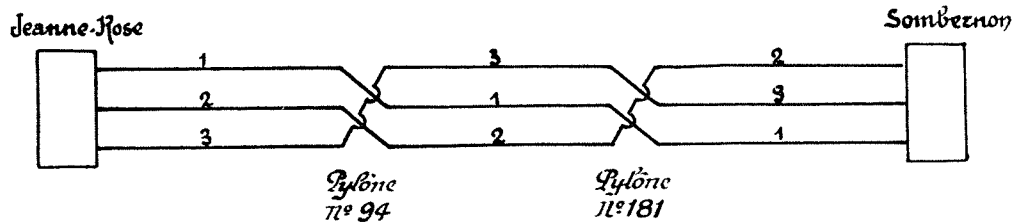


Fig. 1

au coefficient 3 aux efforts de vent de 120 kg. pour la portée normale de 300 mètres; le type « B » pour coefficient 5 à un vent de 120 kg. pour portée normale 300 mètres et dans le sens de la ligne au coefficient 1,75 en cas de rupture des trois conducteurs.

De plus, un pylône spécial a été établi pour portées supérieures à 300 mètres avec coefficient 5 et pour les petits angles.

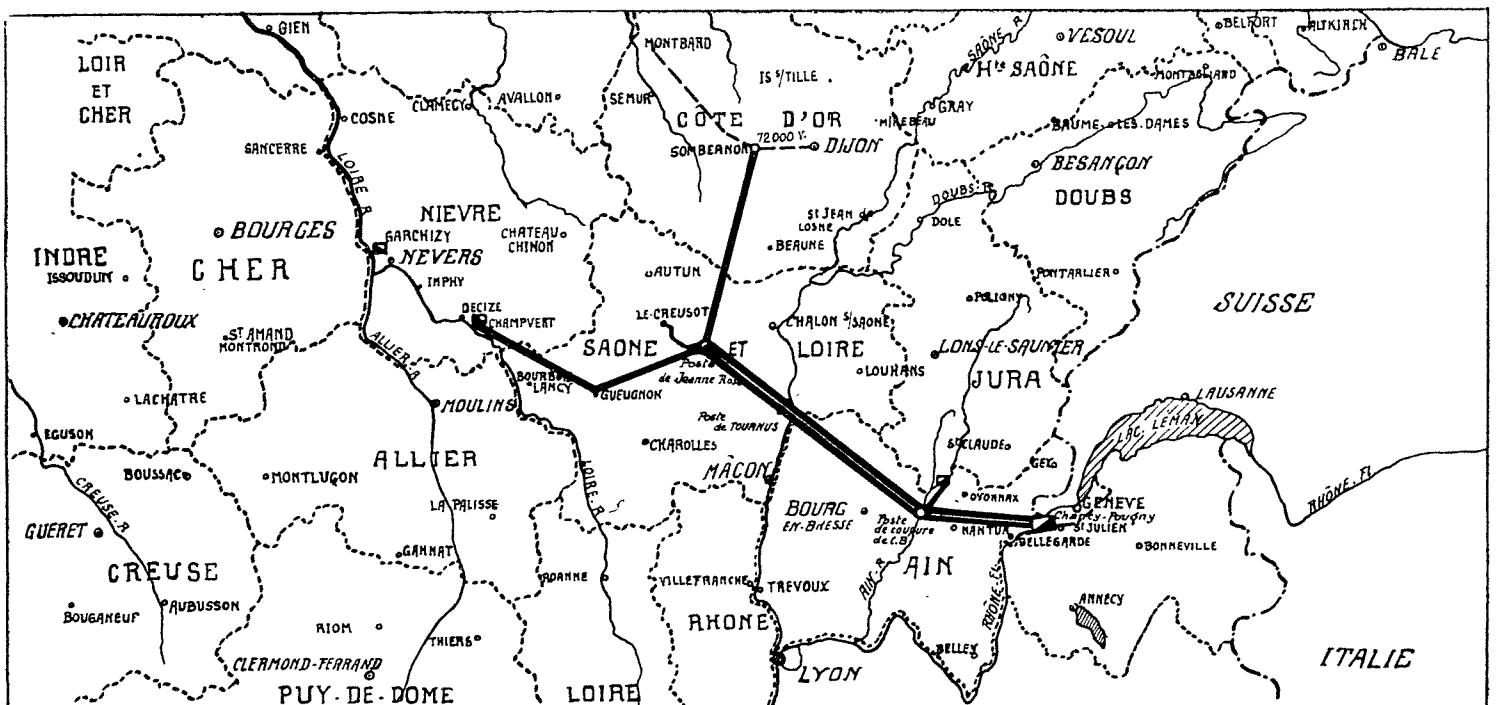
Les conducteurs subissent une rotation complète pour éviter

La charge de rupture est de 32 kg.  $\frac{m^2}{m}$  et la limite d'élasticité de 18 kg.  $\frac{m^2}{m}$ .

Le poids spécifique sans surcharge est de  $3,85 \times 10^{-3} \text{ g } \frac{c}{m^3}$  et le coefficient d'allongement de  $1,15 \times 10^{-4}$ .

L'âme d'acier est formée de 7 fils de 2,55  $\frac{m}{m}$  de diamètre; le câble aluminium acier est jonctionné par des manchons spéciaux.

Au-dessus du pylône se trouve un câble de terre en acier gal-



*Réseau à 120.000 volts.  
 de la Cie Boucquignonne de Transport d'Énergie  
 et de la Sté L'Énergie Électrique Rhône-Jura*

Fig. 2

des déséquilibres de tension et de courant pouvant influencer les lignes téléphoniques et télégraphiques voisins.

Les isolateurs sont du type à chaîne à 8 éléments avec cape et tige et ont été commandés à la Société Nouvelle de Manufacture de Porcelaine de Sainte-Foy-l'Argentière. Les câbles sont fixés aux chaînes par des pinces spéciales.

vanisé, de 50  $\frac{m^2}{m}$  de section totale : sa contrainte de rupture est de 80 kg.  $\frac{m^2}{m}$ ; son diamètre extérieur de 9,5  $\frac{m}{m}$  et sa densité de  $8,52 \times 10^{-3} \text{ g } \frac{c}{m^3}$ .

Les fondations sont du type à dalle de béton, déjà employé pour la ligne de Chancy-Pougny à Jeanne-Rose avec cependant quelques modifications aux précédentes (figure 6).

## III. — PYLÔNES DE ROTATION.

Il y en a deux situés aux tiers de longueur de la ligne, mais sans sectionneurs. La ligne ne comporte ni poste de coupure par disjoncteurs, ni par sectionneurs, à cause de sa longueur relativement faible.

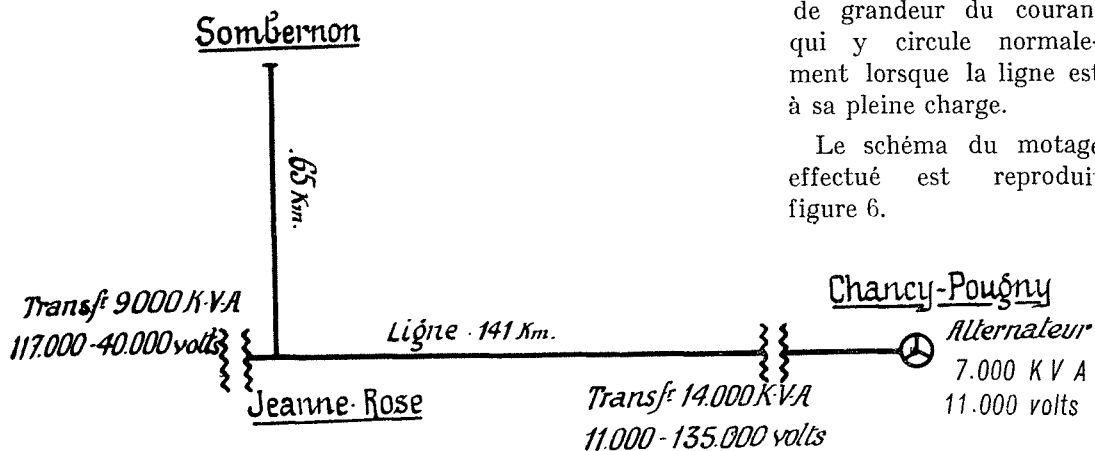


Fig. 2 bis

La ligne part de la charpente métallique du poste de Jeanne-Rose sous un petit angle.

## IV. — ESSAIS EFFECTUÉS

1° Essais d'isolement. — Ils ont été faits avec un appareil Mogger donnant 2.500 volts et gradué de 0 à 10.000 mégohms et avec l'ohmmètre universel Geoffroy Delore, les résultats ont été sensiblement les mêmes.

Par temps sec le 1<sup>er</sup> septembre, on a trouvé 250 mégohms entre phases et terre.

2° Mesure de la résistance des conducteurs. — On a procédé à cette mesure de trois façons différentes :

En courant continu 110 volts, en courant alternatif 220 et 5.500 volts et par l'ohmmètre Geoffroy-Delore.

On a employé dans les trois cas la méthode de la boucle, c'est à-dire qu'on a alimenté la ligne entre 2 phases à Jeanne-Rose, ces deux phases étant réunies ensemble à l'arrivée à Sombornon.

Les appareils utilisés étaient des appareils de contrôle et les conditions atmosphériques celles désignées dans le tableau ci-dessous.

Les phases sont repérées par leurs couleurs : brun, vert, jaune.

28 août : 9 heures. Temp. 18° ; press., 735 ; degré hygrométrique : 59.

## MESURE EN COURANT CONTINU.

Phases verte ÷ brune				Phases jaune ÷ brune				Phases jaune ÷ verte			
U	I	W	R	U	I	W	R	U	I	W	R
volts	amp.	watts	ohms	volts	amp.	watts	ohms	volts	amp.	watts	ohms
114,8	4,75	538	23,8	114,9	4,77	540	23,65	115,5	4,75	540	23,65

La résistance a été obtenue par  $R = W/I^2$ .

Il en résulte qu'en courant continu la résistance par phase à 18° est de 11,9 ohms.

## MESURE A L'OHMMÈTRE GEOFFROY DELORE.

Elle a donné : phase brune, 11,65 ohms ; phase jaune, 12,15 ohms ; phase verte, 11,65 ohms, ceci à 21°, soit en moyenne à 0° et par kil. 0,167 ohms.

## MESURES EN COURANT ALTERNATIF

Elles ont été faites à 220 volts et à 5.500 volts ; nous ne donnerons pas les résultats des premières qui sont sensiblement les mêmes que ceux des secondes. La tension de 5.500 volts a été utilisée pour avoir dans les conducteurs un courant de l'ordre de grandeur du courant qui y circule normalement lorsque la ligne est à sa pleine charge.

Le schéma du montage effectué est reproduit figure 6.

## Suspension centrale

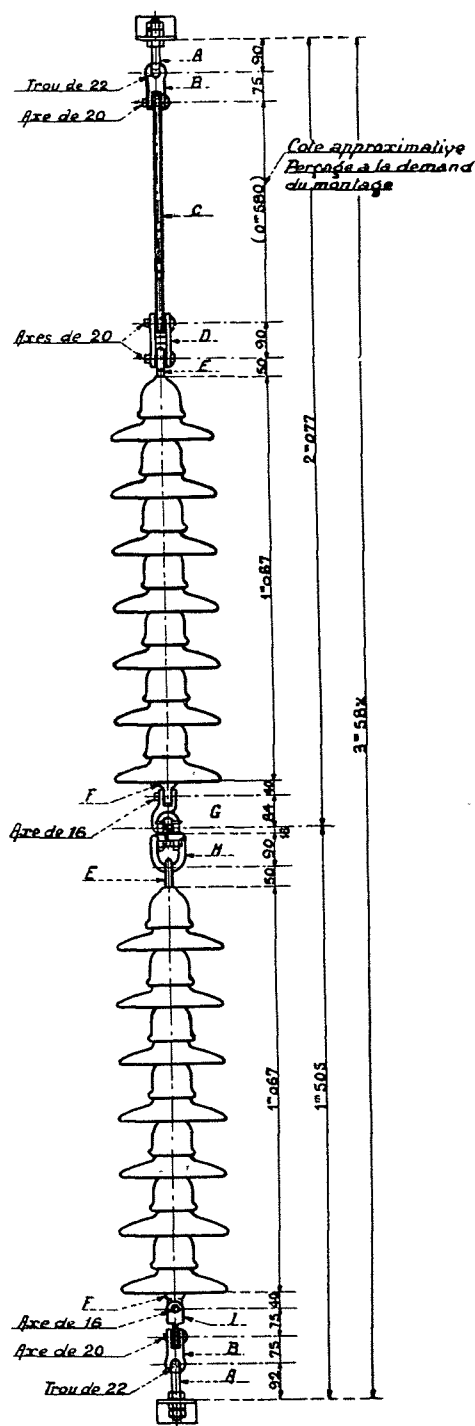
Echelle 1/10<sup>5</sup>

Fig. 4

## ESSAIS A 5.500 VOLTS, 50 PÉRIODES.

Phases jaune ÷ verte				
U	I	W	Z	R
volts	amp.	kws	ohms	
4060	63	110	64	27,5
4900	75	149	65	26,5
5515	86	204	64,1	27,4
5850	91	226	64,2	27,5

Phases brun ÷ jaune				
U	I	W	Z	R
volts	amp.	kws	ohms	
4625	72	143	64	27,5
5485	83	187	65	26,8
5550	86	204	64,4	27,5
6000	93	234	64,1	27,1

Phases brun ÷ vert				
U	I	W	Z	R
volts	amp.	kws	ohms	
4400	63,3	126,5	64	27
4100	64,1	110	74	26,6
5080	79	174	64,1	28
5710	89	220	64,1	27

Lors de ces essais, les conditions atmosphériques étaient : temp. 30° ; press., 734 ; degré hygrométrique 38.

On conclut des essais ci-dessus : Résistance par phase à 0° : 12,2 ohms Z (impédance) par phase, donnée par  $U/I$  : 32,1 ohms.

$L \omega$  réactance par phase à 0° donnée par  $L \omega =$

$$= \sqrt{Z^2 - R^2} : 29,83 \text{ ohms.}$$

Il est à remarquer la très faible différence de réactance entre les trois phases qui montrent l'équilibrage satisfaisant des trois phases au point de vue électrique.

On obtient pour la self en henrys par phase et par km. :  $14,55 \times 10^{-4}$ . Le rapport des résistances trouvées en courant alternatif et continu est de 1,12 (dans les calculs, on avait pris 1,10), ceci à cause de l'effet pelliculaire.

3° Mesure de capacité. — Pour pouvoir mesurer la capacité de service d'une phase avec quelque précision, il faut avoir recours à la méthode de mesure de capacités partielles. Dans les équations connues de Maxwell, on distingue les coefficients d'influence propre des conducteurs de la forme  $C_{11}$ , et les coefficients d'influence mutuelle de la forme  $C_{12}$ . Ces coefficients assimilés à des capacités ont été mesurés par la méthode de comparaison en déchargeant successivement dans le galvanomètre balistique de l'ohmmètre universel Geoffroy - Delore, les capacités à mesurer et un condensateur étalon.

Si  $C_{nn}$  est la valeur moyenne des trois capacités mesurées entre chaque conducteur et la terre et  $C'$  celle des capacités entre conducteurs pris 2 à 2 (dans chaque mesure, les conducteurs non utilisés sont mis à la terre), on a :

$$C_{nm} = C_{nn} - 2 C'$$

Capacité partielle par rapport à la terre :  $C_e = C_{nn} + 2 C_{nm}$

Capacité partielle entre phases :  $C_p = - C_{nm} = - C_{nn} + 2 C'$

Capacité de service :  $C = C_e + 3 C_p = 2 C'$

Ligne 120.000 volts Jeanne-Hose.  
Sylône type B.

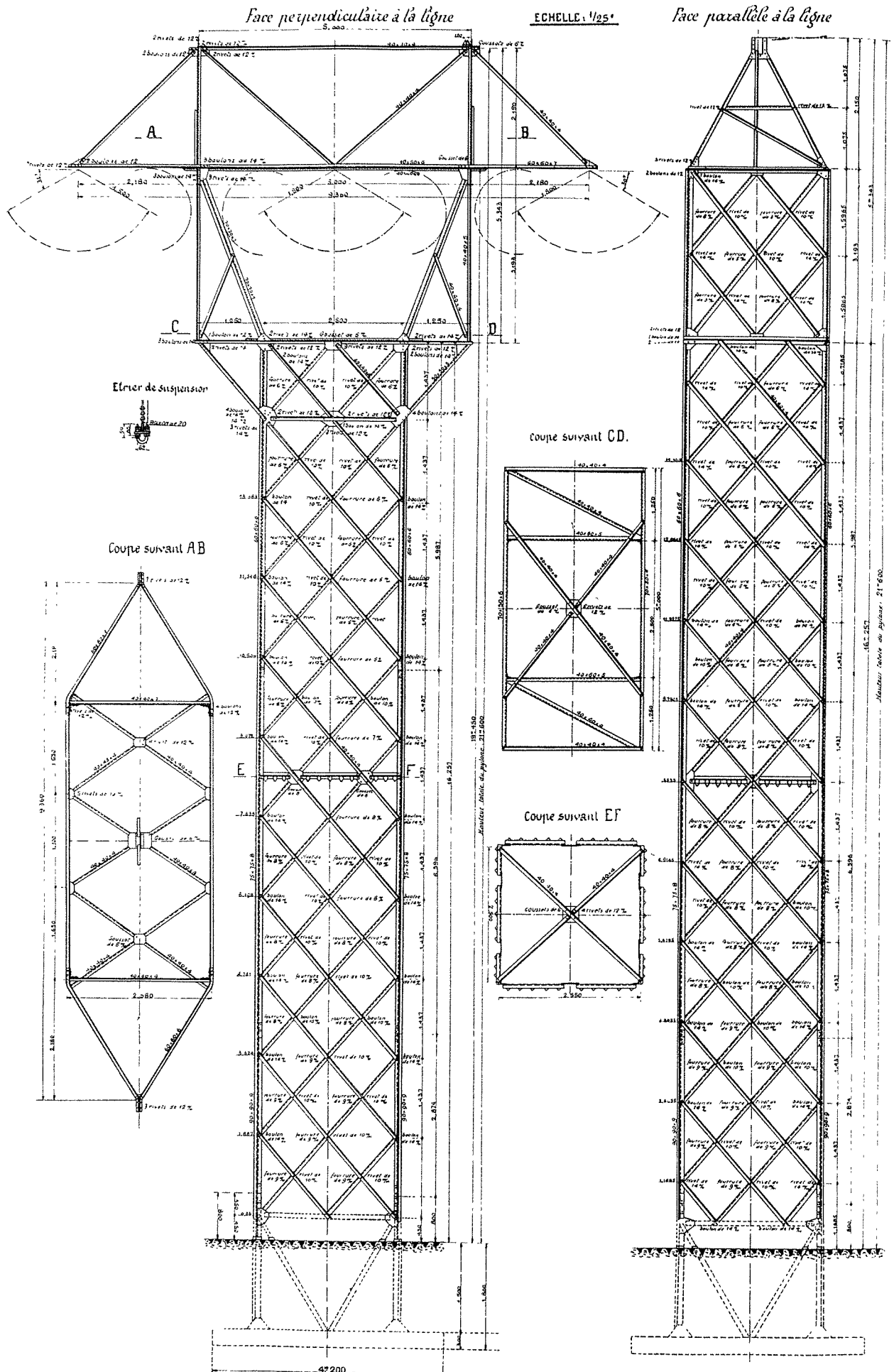


Fig. 3

On a trouvé :

Entre phase brune et terre :  $C_{11} = 0,45 \mu F.$   
 Entre phase jaune et terre :  $C_{22} = 0,48 \mu F.$   
 Entre phase verte et terre :  $C_{33} = 0,42 \mu F.$   
 Entre phase brun-jaune :  $C_{12} = 0,30 \mu F.$   
 Entre phases jaune-vert :  $C_{23} = 0,28 \mu F.$   
 Entre phases brun-vert :  $C_{13} = 0,28 \mu F.$

$C_{nn} = 0,45 \mu F.$   
 $C' = 0,286 \mu F.$

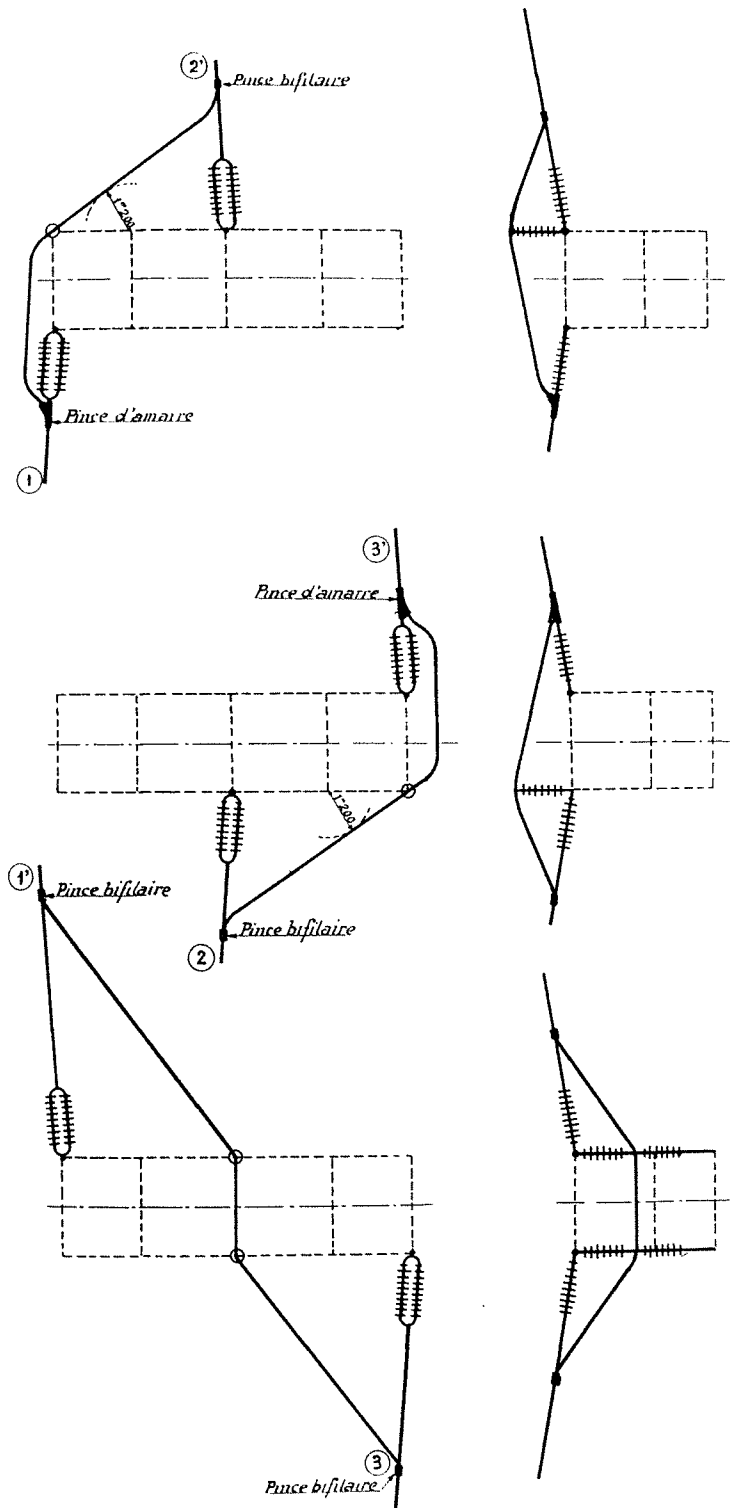


Fig. 5

On a finalement :

Capacité partielle par rapport à la terre  $C_e = 0,206 \mu F.$   
 Capacité partielle entre phases :  $C_p = 0,122 \mu F.$   
 Capacité totale de service :  $C = 0,572 \mu F.$

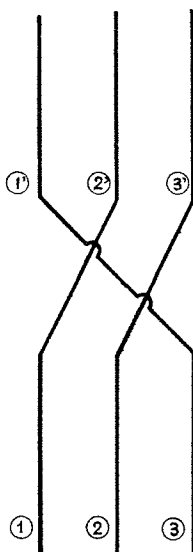
La capacité kilométrique moyenne est donc de :

$$C = \frac{0,572}{65} = 0,0088 \mu F / Km.$$

4° Mise sous tension. Mesure de la perditance et du courant de capacité. — Comme le montre le schéma de la fig. 9, la mise sous tension a été effectuée par un alternateur de l'usine hydroélectrique de Chancy-Pougny de 7.000 KVA.-11.000 volts et par l'intermédiaire d'un groupe de transformateurs monophasés de cette usine, 14.000 KVA. et de rapport à transformation à vide, 11.000 /135.200 volts, d'une ligne Chancy-Pougny à Jeanne-Rose de 141 km. de longueur, d'un groupe de transformateurs monophasés de 9.000 KVA., 117.000 /47.200 volts simplement branchés pour permettre de lire la tension au poste de départ Jeanne-Rose de la ligne à essayer par l'intermédiaire de transformateurs de tension 45.000 /100 V.

N'ayant pas de transformateurs de mesure sur le 120.000 V. à Jeanne-Rose, pour pouvoir relever les caractéristiques de départ : tension, courant, facteur de puissance et puissance, il a été nécessaire de faire ces relevés sur la tension de l'alternateur de Chancy au moyen de transformateurs de mesure et d'appareils de mesure de précision; une première série de lectures a été faite avec le réseau mentionné plus haut mais sans la ligne de Sombernon, une deuxième série avec ligne de Sombernon enclenchée à Jeanne-Rose et par différence en ramenant les deux séries de relevés à une même tension à Jeanne-Rose, on en a déduit les valeurs relatives à la ligne Jeanne-Rose à Sombernon seule.

Côté Sombernon



Côté Jeanne-Rose

Pour ceci, il a été nécessaire de calculer chaque fois la valeur exacte de la tension cotée 120.000 volts à Jeanne-Rose et à Pougny, non par la seule valeur du rapport des transformateurs à vide, mais en tenant compte du courant qui les traverse avec son facteur de puissance, ainsi que du courant à vide de ces transformateurs; nous ne détaillerons pas ces calculs ici, un exemple en ayant été donné lors des essais de la ligne de Chancy-Pougny à Jeanne-Rose (*Revue Générale d'Electricité* du 16 janvier 1926). Nous mentionnons simplement l'influence sensible des transformateurs à vide de Jeanne-Rose pour diminuer l'effet de capacité des lignes et permettre ainsi avec un seul alternateur de 7.000 KVA. la mise sous tension d'une ligne de 206 km. de longueur totale, à 120.000 volts.

Le tableau suivant donne les valeurs de la tension au départ

TABLEAU I

Tension JRose volts	Courant JRose ampères	Cos φ	Pertes totales KWS	Pertes ohm. 3 cond KWS	Pertes par conductance par Km et par cond. watts	Perditance par Km et par conducteur mhos × 10 <sup>-8</sup>
100.000	8	0,0034	4,7	1,6	16	0,48
106.000	9	0,01	15,3	2,10	68	1,82
119.000	11	0,014	30,4	3,15	140	2,05
130.000	12,4	0,021	66	4,00	320	5,7
148.000	16	0,037	150	6,6	740	10,2

de Jeanne-Rose, du courant dû à la seule ligne Jeanne-Rose à Sombornon, du facteur de puissance et de la puissance, calculées ainsi que nous l'avons indiqué plus haut ; pour obtenir les pertes par conductance, il faut retrancher de la puissance les pertes ohmiques du courant de capacité dans la ligne.

La perte par conductance est donc la perte totale diminuée de la perte ohmique en ligne ; pour calculer cette dernière, si I

La *perditance* exprimée en mhos par km. est donnée par  $g = \frac{P}{U^2}$ , où P est la perte en watts par km. de conducteur et U la tension simple.

CONCLUSIONS.

1° La tension a été portée au départ à 148.000 volts durant une demi-heure sans incident.

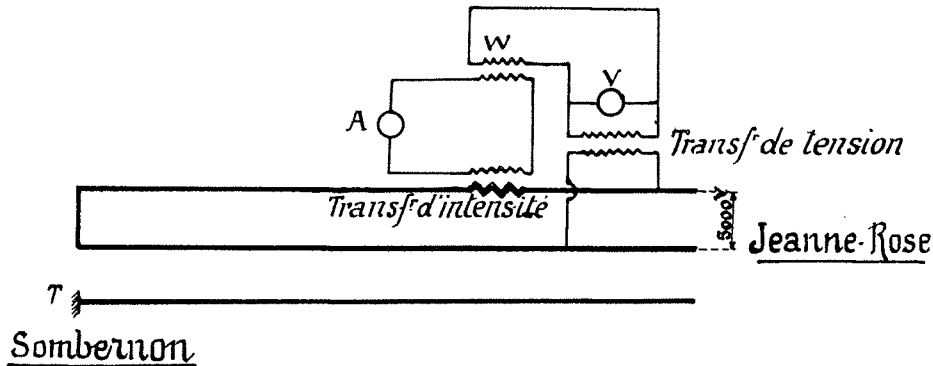


Fig. 6

est le courant au départ de Jeanne-Rose (donné par le tableau ci-dessous), r la résistance par unité de longueur d'un conducteur, L la longueur totale d'un conducteur et x la distance à Jeanne-Rose d'un élément de conducteur : dx, on peut écrire pour la perte

2° *Courant de capacité.* — On constate qu'il varie proportionnellement à la tension ; pour la tension de service de 120.000 V., il est de 11,5 ampères par phase. Si nous reprenons la valeur de la capacité de service d'une phase mesurée plus haut et qui est

*Courant de capacité et pertes*

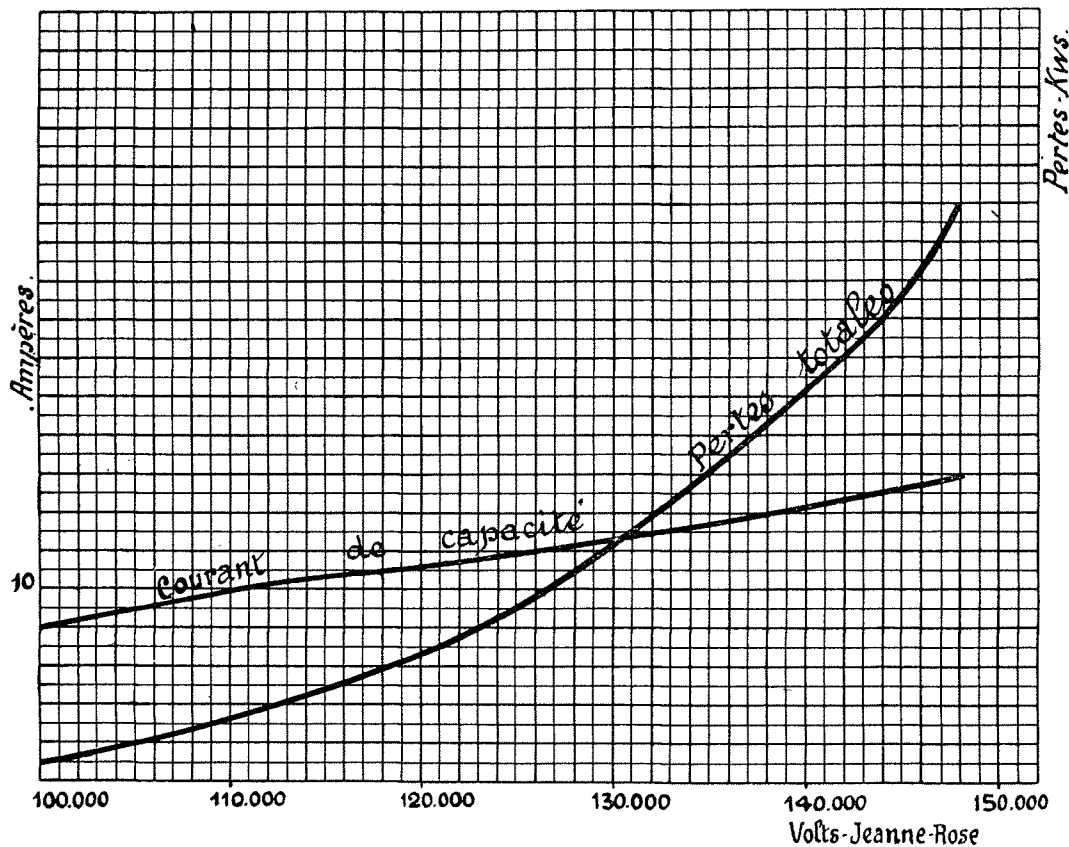


Fig. 7

par effet Joule dans l'élément dx :  $dp = r \cdot I_x^2 \cdot dx$ , or le courant  $I_x$  est égal à  $I \left(1 - \frac{x}{L}\right)$  ; on a donc pour toute la longueur d'un conducteur :

$$P_L = r \cdot I^2 \cdot \int_0^L \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 dx = \frac{2}{3} \cdot r \cdot I^2 \cdot L$$

et pour les 3 phases :  $2 \cdot r \cdot I^2 \cdot L$ .

de 0,0088 microfarads /km., on aurait pour le courant de capacité calculé :

$$I = 8,8 \times 10^{-9} \times 314,16 \times 65 \times \frac{120.000}{\sqrt{3}} = 12,4 \text{ A}$$

au lieu de 11,5 trouvés effectivement.

A noter que les prévisions de calcul donnaient 0,09 microfarads /km. pour la capacité de service d'une phase.

3° *Facteur de puissance.* — Le courant est presque décalé de 90° en avant de la tension, les pertes étant très faibles par rapport à la puissance apparente; le facteur de puissance croît avec la tension car les pertes croissent plus que proportionnellement à la tension.

4° *Pertes.* — Les pertes par conductance croissent très vite avec la tension et dépendent d'ailleurs énormément des conditions atmosphériques; le temps était beau et sec lors des essais.

5° *Détermination d'apparition d'effluves.* — La formule connue de Peek donne :

$$e_0 = g_0 \cdot m_0 \cdot r \cdot d \cdot \log_e \frac{s}{r};$$

où  $e_0$  est la tension simple;  $g_0$  le gradient de rupture de l'air par centimètre de circonférence du conducteur, soit 21,1 KV. /%<sub>m</sub>;  $m_0$  un facteur dépendant de l'état de la surface du conducteur;  $r$  le rayon du conducteur en centimètres,  $d$  le coefficient de densité de l'air, soit :  $\frac{3,926 \times H}{273 + t}$  où  $H$  est la pression atmosphérique en centimètre de colonne de mercure et  $t$  la température de l'air en degrés centésimaux;  $s$  la distance entre conducteurs en centimètres.

On obtient ainsi pour les conditions atmosphériques des essais, 102.000 volts par phase, soit 176.000 volts entre phases. Par mauvais temps, il faut réduire cette valeur de 20 % environ, ce qui donne 140.000 volts; lors des essais; il n'a en effet, pas été constaté d'effluves visibles, même de nuit.

Une pointe de tension a été poussée à 154.000 volts sans rien constater.

6° Un fait intéressant à signaler, quoique normal, est que en coupant l'excitation de l'excitatrice de l'alternateur servant aux essais, la capacité du système en service depuis Chancy-Pougny jusqu'à Sombornon, suffit à donner une tension de 8.600 volts aux bornes de l'alternateur par auto-excitation et 114.500 volts à Jeanne-Rose. Pour baisser la tension, on a inversé le sens de l'excitation de l'excitatrice et on a pu atteindre ainsi 5.200 volts à l'alternateur et 71.000 volts à Jeanne-Rose.

Cette ligne est en service depuis ces essais sans incident, le neutre haute tension est mis directement à la terre au départ et à l'arrivée.

Ajoutons que sa capacité de transport est de 29.000 KVA. pour un facteur de puissance à l'arrivée de 0,90 avec une chute de tension de 5 % et un rendement de 0,95 %.

## Aménagement du Rhin de Bâle à Strasbourg et à Lauterbourg au moyen d'une Méthode nouvelle de canalisation des Fleuves

A la suite de la publication dans La Houille Blanche, de l'étude de M. MAHL sur l'Aménagement du Rhin, nous recevons de la Société Régionale d'Etudes du Rhin, une lettre que nous publions ci-après in-extenso.

Nancy, le 16 septembre 1926.

Monsieur le Rédacteur en chef,

Votre revue a publié dans ses numéros 109-110 et suivants, sous la signature de M. Mähl, ingénieur, un projet d'aménagement du Rhin de Bâle à Strasbourg et à Lauterbourg, contenant des affirmations, tout au moins inexacts, sur le projet du grand canal d'Alsace.

En raison de l'autorité de votre publication, j'ai l'honneur de vous donner, ci-dessous, notre réponse aux critiques de M. Mähl, et je me permets de compter sur votre haut esprit d'équité et d'impartialité pour l'insérer dans le prochain numéro de la *Houille Blanche* à la place où ont paru les articles de M. Mähl.

La Société Régionale d'Etudes du Rhin, constituée en 1922, à Nancy, par l'ensemble des intéressés pour l'étude et la mise à exécution immédiate du meilleur mode d'aménagement du fleuve, ne veut pas ouvrir aujourd'hui avec M. Mähl une polémique qui n'a pas de raison d'être, la cause étant depuis longtemps entendue et la discussion close,

Elle se borne à remarquer que le projet du grand canal d'Alsace si âprement critiqué par M. Mähl, n'a été adopté par elle qu'après de longues recherches et études comparées, et sur l'avis parfaitement unanime et désintéressé tant de ses propres conseillers techniques que des plus hautes compétences françaises en matière de travaux publics; les divers plans d'aménagement du fleuve ont notamment été examinés à fond et comparés par le Conseil supérieur des Travaux publics qui a définitivement adopté le projet du canal d'Alsace. Or, ce Conseil comprend, à côté des membres les plus qualifiés et les plus éminents de l'Administration des Travaux publics, des parlementaires, des Conseillers d'Etat, des représentants qualifiés de tous nos grands intérêts régionaux :

Présidents de Chambres de commerce, Directeurs de Compagnies de chemins de fer, de Sociétés de transports et de navigation, Entrepreneurs, Electriciens, Inspecteurs des finances....

Depuis, le projet a été soumis et examiné dans tous ses détails par la Commission centrale du Rhin, *organisme international* qui a charge de veiller sur tous les grands intérêts *internationaux* auxquels peut toucher le fleuve. Cet organisme comprend autant d'Allemands que de Français, il comprend en outre des Suisses, des Belges, des Hollandais et encore des Anglais et des Italiens; c'est dire qu'il présente toute garantie d'indépendance et que ses décisions offrent toute sécurité pour conserver au Rhin son caractère international qui est maintenant mieux défini et plus jalousement gardé qu'il ne l'a jamais été. Or, la Commission centrale