44e Année. Novembre 1925. REVUE GÉNÉRALE DES CHEMINS DE FER 2me Semestre. — N° 5.

ÉLECTRIFICATION PARTIELLE DU RÉSEAU DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS

Par M. PARODI,

INGÉNIEUR EN CHEF-ADJOINT DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS.

(Pl. IV).

La Compagnie d'Orléans a réalisé, en 1900, l'électrification du raccordement souterrain à double voie reliant la gare d'Austerlitz à celle du Quai d'Orsay et elle a étendu, en 1904, l'emploi de l'électricité à la remorque des trains de banlieue de la section d'Austerlitz à Juvisy. Ces installations en courant continu 600 volts ont donné entière satisfaction, comme celles du Métropolitain de Paris et de l'Ouest-État (ligne des Invalides à Versailles) exécutées presque en même temps dans des conditions techniques analogues.

18 locomotives électriques de 1.000 à 2.000 *ch* et 7 automotrices de 700 *ch* assurent ce service de banlieue qui représente un trafic déjà assez important puisqu'il dépasse 10 millions de t*k* remorquées par kilomètre de ligne à double voie. Le parcours annuel des tracteurs électriques sur cette section de faible longueur (23 kilomètres) atteint 45.000 k*m* pour les locomotives, 75.000 k*m* pour les automotrices.

Malgré les excellents résultats obtenus par cette première application de la traction électrique, aucun des nombreux projets d'extension préparés avant n'a pu aboutir.

En 1910 notamment, nous avions étudié, indépendamment l'une de l'autre, d'une part, l'électrification de la ligne de Paris à Orléans au moyen de centrales thermiques et, d'autre part, celle des lignes du Massif Central, au moyen d'usines hydrauliques.

Mais cette étude n'avait pas été poussée à fond en raison des craintes qu'inspirait alors l'électricité. Le prix de combustible pratiqué à cette époque ne rendait pas, d'ailleurs, bien attrayante l'opération financière que constitue l'électrification.

L'étude des chutes du Massif Central, reprise vers 1916, a été poussée activement avec le concours du Ministère et un premier projet d'électrification partielle du réseau d'Orléans a été présenté en 1918. C'est ce projet qui a été résumé dans la plupart des documents officiels

Source gallica.bnf.fr / Ecole nationale des Ponts et chaussées

actuellement publiés. Il comportait l'équipement électrique de la presque totalité des lignes voisines des chutes de la Haute-Dordogne.

En 1919, une étude plus complète a été faite et le projet primitif a été complètement remanié dans le but de transformer une électrification partielle et locale en une entreprise plus vaste, d'envergure beaucoup plus grande, dont la réalisation aura des conséquences beaucoup plus importantes que la simple substitution de la traction électrique à la traction à vapeur sur quelques lignes de chemins de fer. Il permettra, en effet, de constituer immédiatement une des artères les plus importantes de notre réseau national de transport d'énergie, l'artère sud-nord reliant Paris au Massif Central.

L'électricité permettant de transporter économiquement l'énergie à grande distance, l'électrification d'un réseau de chemin de fer n'est pas nécessairement localisée au voisinage des usines génératrices ; on doit donc tout d'abord rechercher quelles sont les lignes dont l'électrification est la plus intéressante en soi, quitte à examiner ensuite si l'éloignement des centrales hydrauliques ou thermiques constitue ou non un obstacle insurmontable à leur équipement.

Tant au point de vue de l'exploitation proprement dite du chemin de fer qu'au point de vue national, il paraît raisonnable de substituer d'abord la traction électrique à la traction à vapeur sur les lignes où la consommation de charbon est la plus grande par unité de longueur de ligne équipée.

La carte (Fig. 1) donne, pour la partie est du réseau d'Orléans, une représentation claire de cette « densité de consommation » ; chaque ligne est figurée par un rectangle dont la surface est proportionnelle à la consommation annuelle de combustible, la hauteur étant ainsi proportionnelle à la dépense moyenne de charbon par kilomètre. Il apparaît immédiatement que la ligne Paris-Toulouse procurera, à longueur de ligne équipée égale, une économie de charbon plus grande que les lignes à profil difficile du Massif Central (1).

Les lignes de montagne ne sont pas nécessairement les plus intéressantes au point de vue de l'électrification et la difficulté du profil n'est qu'un des éléments du problème.

Il est clair que la densité de consommation de charbon ne donne qu'une indication ; pour avoir une vision nette et complète des choses, il faudrait pouvoir comparer les dépenses d'exploitation de la traction électrique et de la traction à vapeur en fonction du *profil* et du *trafic* ; les éléments statistiques manquent encore à ce sujet, aussi bien pour la traction électrique que pour la traction à vapeur et ce que l'on peut dire à ce sujet ne peut encore être précisé en détail.

Nous allons cependant indiquer ici sommairement quelle est l'allure générale des variations des dépenses d'exploitation par tonne remorquée en fonction de la pente fondamentale et du trafic.

(1) A titre de comparaison, on a tracé à la même échelle deux cercles représentant : le plus grand, la consommation de charbon dans la région parisienne pour les besoins autres que les chemins de fer ; le plus petit, la consommation de combustible des seules usines d'électricité de Paris et de la banlieue.

Fig. 1.

Cie DU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS.
MATÉRIEL ET TRACTION
SERVICES ÉLECTRIQUES.
GRAPHIQUE REPRESENTATIF
DE LA CONSOMMATION MOYENNE ANNUELLE
DE CHARBON PAR KILOMÈTRE DE LIGNE
AMIENS
MÉZIÈRES
BEAUVAIS
ÉVREUX
PARIS
CHALONS-S-MARNE
CHARTRES
MELUN
TROYES
ALENCON
LAVAL
LE MANS
BLOIS
TOURS
AUXERRE
CHAUMONT
NANTES
ANGERS
BOURGES
NEVERS
LA ROCHE-S-YON
POITIERS
CHATEAUROUX
MOULINS
NIORT
LA ROCHELLE
MACON
ANGOULEME
LYON
CLERMONT-FERT
ST ETIENNE
PÉRIGUEUX
BRIVE
LE PUY
BORDEAUX
PRIVAS
MENDE
AGEN
MONTAUBAN
ALBI
NIMES
AVIGNON
MONT-DE-MARSAN
MONTPELLIER
TOULOUSE
PAU
TARBES
CARCASSONNE
NOTA.
LA SURFACE DE CHAQUE RECTANGLE EST PROPORTIONNELLE À LA CONSOMMATION GLOBALE DE CHARBON POUR LA SECTION CONSIDÉRÉE EN 1913
LA LARGEUR DE CHAQUE RECTANGLE REPRÉSENTE LA CONSOMMATION MOYENNE PAR KILOMÈTRE DE LIGNE.

Prix de revient de la traction à vapeur et de la traction électrique

Le prix de revient d'une exploitation de traction quelconque comprend toujours deux éléments distincts correspondant :

Le premier, aux charges fixes, financières ou autres, que l'on peut, en première approximation, considérer comme proportionnelles à la longueur de la ligne considérée.

Le second, aux dépenses d'exploitation proprement dites que l'on peut, en première approximation, considérer comme proportionnelles au trafic de la ligne considérée.

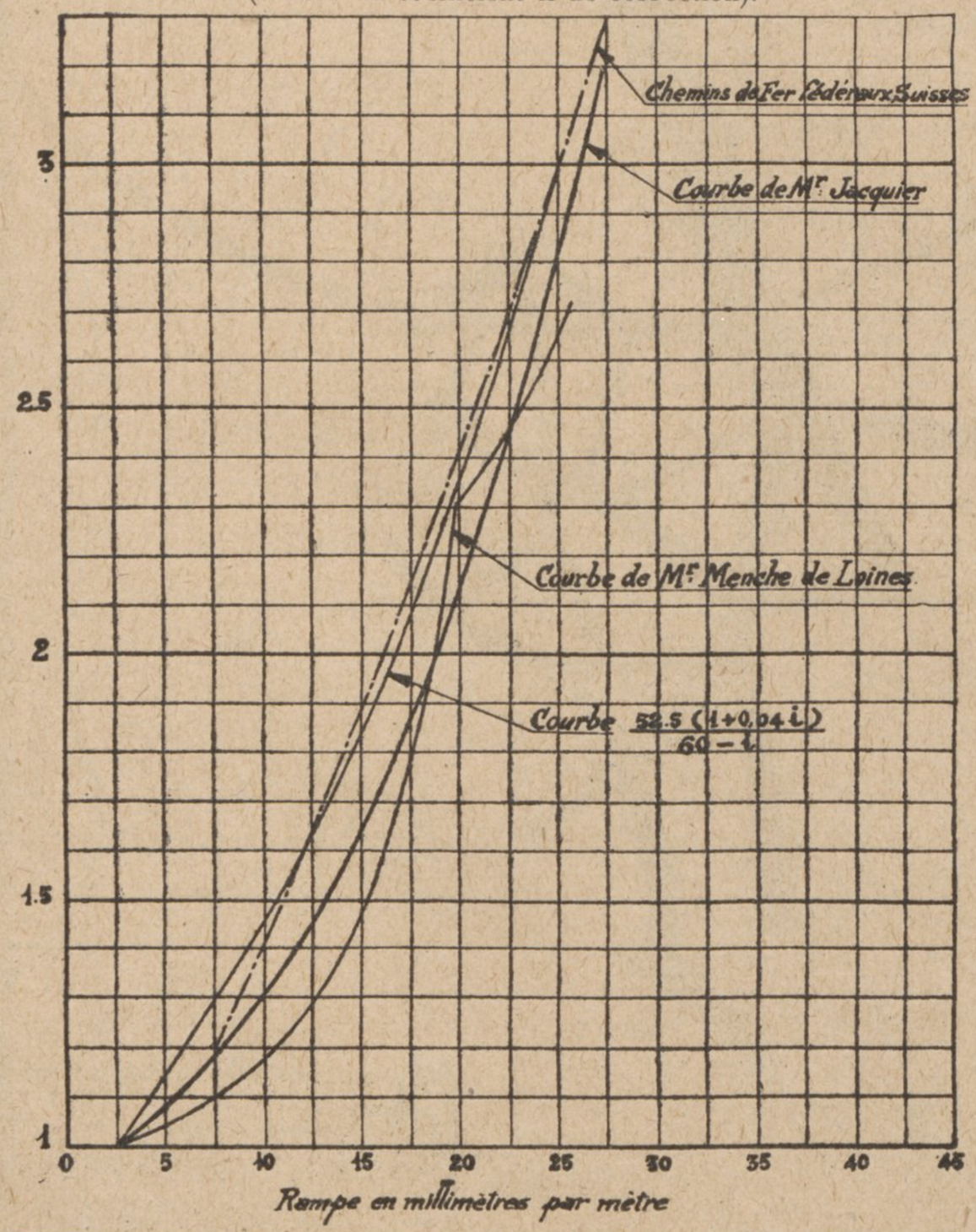
Ceci revient à dire que la dépense moyenne par kilomètre de ligne serait de la forme :

$$d = a + b\,T$$

T représentant le trafic moyen par kilomètre exprimé par exemple en tonnes-kilomètres remorquées par kilomètre. MM. Baume, Ricour, Amyot, Picard ont montré, en partant des statistiques générales des réseaux de chemins de fer, que cette formule était à peu près exacte (1) ; ces auteurs ont trouvé en effet que les dépenses d'exploitation pouvaient être représentées par une fonction linéaire de la recette qui, elle-même, varie à peu près proportionnellement au trafic.

D'autres auteurs, MM. Baume, Noblemaire, Menche de Loynes, Jacquier, etc.. en étudiant la variation des dépenses d'exploitation quand on passe d'une ligne à une autre, d'une ligne plate à une ligne accidentée, ont trouvé que ces dépenses d pouvaient être représentées approximativement par une courbe à allure hyperbolique.

Fig. 2. — Diagramme des variations du prix de revient de la traction a vapeur en fonction de la rampe.
(Valeur du coefficient K de correction).



Les courbes tracées sur la Fig. 2 représentent, en fonction de la pente fondamentale, le rapport des dépenses d'exploitation d'un kilomètre de ligne de pente fondamentale i, aux dépenses correspondantes pour un kilomètre de ligne pratiquement en palier (ligne pour laquelle la pente fondamentale est d'environ 2,5 m*m* par mètre).

Ces graphiques ont été déduits des statistiques d'avant-guerre des réseaux français ; nous y avons fait figurer également une courbe relative aux dépenses d'avant-guerre de chemins de fer suisses.

(1) Dans les travaux de ces Ingénieurs, on prenait comme paramètre la recette de la ligne par kilomètre au lieu du trafic en tonnes remorquées.

Ces courbes sont voisines l'une de l'autre et elles diffèrent peu de l'hyberbole ayant comme équation

$$K = \frac{52{,}5\ (1 + 0{,}04\ i)}{60 - i}$$

Cette hyperbole, qui est représentée sur la Fig. 2, est très voisine de la courbe empirique indiquée par les chemins de fer fédéraux suisses (1).

Pour la traction à vapeur, la surface représentant les variations des dépenses totales d'exploitation par kilomètre de ligne peut donc être représentée en première approximation par une expression de la forme.

$$d = (a + b\ T)\ \left(1 + \frac{\lambda + \mu i}{i_0 - i}\right)$$

i_0 représentant la pente limite.

Dans le cas des exploitations électriques, on ne dispose pas de renseignements suffisants pour déduire une formule empirique de l'étude des statistiques ; mais il est possible, en généralisant la méthode des longueurs virtuelles, utilisée par les chemins de fer de l'Etat italien et la méthode des tonnages fictifs, employée par les chemins de fer américains, de démontrer que l'expression donnée ci-dessus, légèrement modifiée, est valable, en première approximation, quel que soit le système de traction considéré.

L'exposé de cette théorie sortirait entièrement des cadres de la présente note. Nous nous bornerons à indiquer ici que, pour la traction par adhérence simple, si on veut se rendre compte du rendement d'une machine électrique ou à vapeur en tant « qu'organe de traction », il faut faire apparaître, dès l'origine, dans la définition du travail utile de traction exprimé en tonnes-kilomètres virtuelles remorquées, le facteur d'adhérence (rapport du poids adhérent au poids total du train). Pour une ligne donnée et un train donné, le tonnage kilométrique virtuel est différent suivant que la traction est effectuée par la locomotive unique ou par automotrices réparties tout le long du train.

Avec la traction électrique, il est possible de constituer des trains automoteurs à adhérence totale ; tel est le cas de la ligne du Fayet à Chamonix avec pente de 60 m*m*, des tramways de Boulogne, de Laon, etc.. pour lesquels la pente fondamentable atteint 115 et même 122 m*m* par mètre.

Avec la traction électrique, il est également possible, grâce à la récupération, de réduire la consommation d'énergie totale en permettant aux locomotives qui descendent une pente, de fournir une partie de la puissance nécessaire à la remorque d'autres trains circulant en palier ou en rampe.

La théorie des longueurs virtuelles généralisées, qui permet de faire une comparaison rationnelle entre systèmes à traction simple ou multiple met en évidence l'influence capitale des pentes limites :

environ 60 ‰ dans la traction à vapeur,
— 140 ‰ — électrique.

---

(1) Il n'existe pas de ligne rigoureusement plate ($i = o$) ; on peut admettre que pour une ligne pratiquement plate $i = 2{,}5$. La formule donne $K = 1$ pour $i = 2{,}5$.

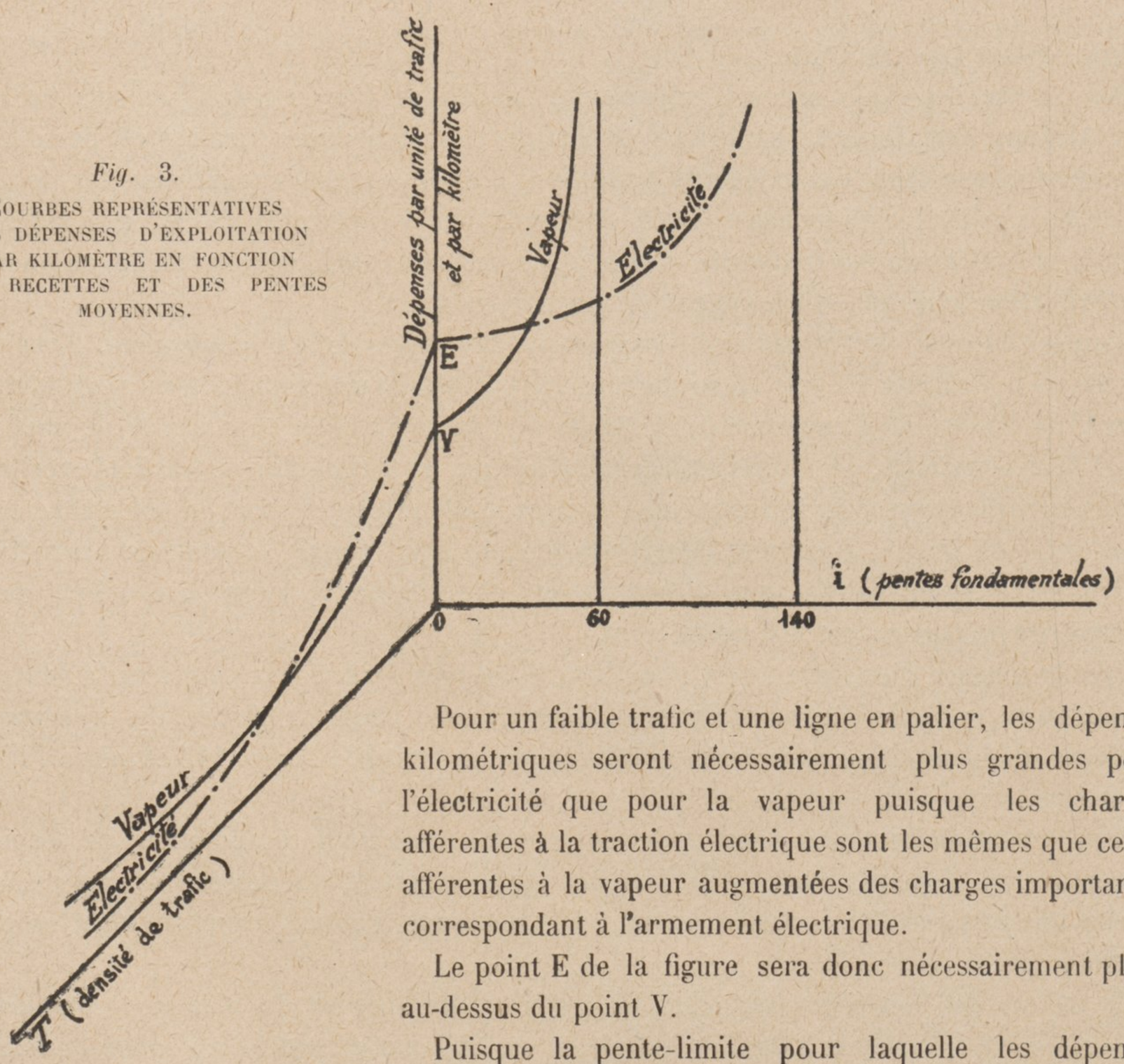
On retrouve alors, sous une forme différente, les résultats qui ont été indiqués sommairement plus haut en partant de renseignements statistiques étudiés par différents ingénieurs.

Ces résultats, si incomplets soient-ils et dont nous ne faisons qu'esquisser la démonstration, sont suffisants pour faire comprendre comment, pour les lignes à forte déclivité comme pour les lignes à gros trafic, il existe un trafic-limite ou une pente-limite à partir desquels l'exploitation électrique est nécessairement plus économique que celle assurée par la vapeur.

Sur la figure 3 sont représentées, par leurs traces sur les plans coordonnés T = 0 et $i = 0$, les surfaces représentant les dépenses d'exploitation électrique et à vapeur en fonction de la densité du trafic T (trafic en tonnes km par km) et de la pente fondamentale i.

Fig. 3.

COURBES REPRÉSENTATIVES DES DÉPENSES D'EXPLOITATION PAR KILOMÈTRE EN FONCTION DES RECETTES ET DES PENTES MOYENNES.



Pour un faible trafic et une ligne en palier, les dépenses kilométriques seront nécessairement plus grandes pour l'électricité que pour la vapeur puisque les charges afférentes à la traction électrique sont les mêmes que celles afférentes à la vapeur augmentées des charges importantes correspondant à l'armement électrique.

Le point E de la figure sera donc nécessairement placé au-dessus du point V.

Puisque la pente-limite pour laquelle les dépenses d'exploitation deviennent prohibitives est, pour l'électricité (140 mm) très supérieure à celle afférente à la traction à vapeur par locomotive, les surfaces devront se couper et il existera une pente à partir de laquelle, à trafic égal, l'exploitation électrique sera moins coûteuse que l'exploitation à vapeur.

L'expérience ayant par ailleurs montré que les dépenses d'exploitation proprement dites étaient plus faibles avec l'électricité qu'avec la vapeur, il existe un trafic à partir duquel, à déclivité égale, la traction électrique sera moins coûteuse que l'exploitation à vapeur.

Il apparaît donc comme indiscutable qu'à partir d'un certain trafic, l'électrification d'une ligne de pente fondamentale quelconque constituera une opération financière intéressante.

Le problème économique revient donc à déterminer pour chaque valeur de la pente fondamentale une limite inférieure du trafic à partir de laquelle la balance penche certainement en faveur de l'électrification. Bien entendu, on devra tenir compte, dans l'établissement de cette balance, des accroissements de trafic et de l'augmentation de capacité de service des lignes que procurera l'emploi de l'électricité.

Bilan de l'électrification

Faute de pouvoir faire un calcul exact et complet, nous allons essayer d'établir le bilan de l'électrification en faisant des hypothèses simplificatrices.

Nous essayerons de nous rendre compte des conséquences financières de l'électrification en mettant en balance :

Pour la traction à vapeur :

a) Les frais d'achat de combustible,

b) L'économie moyenne réalisée dans les dépôts et ateliers sur la conduite, l'entretien et la réparation des tracteurs.

Pour la traction électrique :

a) Les charges annuelles d'intérêt et d'amortissement, les dépenses d'installation du matériel fixe (lignes de transmission d'énergie, postes de transformation, sous-stations, lignes de contact, etc..) ;

b) Les dépenses d'énergie électrique correspondant à un service de traction identique à celui réalisé avec la traction à vapeur ;

c) Les frais de conduite et d'entretien des sous-stations, les dépenses d'entretien et de réparation des lignes de contact.

Nous ne ferons pas état des dépenses d'achat du matériel roulant, non pas seulement pour simplifier la comparaison, mais parce que l'expérience acquise dans les électrifications déjà réalisées montre que les dépenses afférentes à la constitution d'un parc de tracteurs électriques sont en général peu différentes de celles correspondant à l'achat des locomotives à vapeur susceptibles d'assurer le même service ; nous reviendrons sur ce point plus en détail un peu plus loin.

Si donc on appelle Q la consommation de combustible exprimée en tonnes par kilomètre de ligne et C le prix de la tonne de charbon rendue sur tender, les charges d'achat de combustible seront, par kilomètre de ligne : $Q \times C$.

L'économie moyenne, réalisée dans les dépôts et ateliers sur l'entretien et la réparation des machines, ne peut être évaluée qu'empiriquement en comparant les résultats obtenus à ce sujet dans les dépôts à vapeur et dans les dépôts électriques existants.

Dans le cas particulier de la Compagnie d'Orléans, le rapprochement des résultats d'exploitation de la ligne à traction électrique de Paris à Juvisy et de la ligne à traction à vapeur de Luxembourg à Sceaux et Limours, fait ressortir une économie par train-kilomètre, de l'ordre de 1 franc dans les conditions actuelles, de 0 *fr*,30 dans les conditions de service d'avant-guerre.

En faisant l'hypothèse que ces économies varient linéairement avec le cours du charbon, nous pourrons représenter l'économie réalisé par train-kilomètre, par l'expression :

$$0\,fr,10 + 0{,}009\ C$$

Cette représentation est évidemment très discutable, mais étant donné qu'elle ne sera utilisée que pour de faibles variations du cours du charbon, autour de 100 *fr*, les erreurs que nous pourrons commettre n'auront pas très grande influence sur le résultat.

Pour les lignes à fortes déclivités, où les locomotives à vapeur travaillent dans des conditions souvent difficiles, il faudra admettre une majoration de l'ordre de ε % qui pourra être prise égale à 25 % pour les déclivités de l'ordre de 15 m*m* par mètre comme le prouvent les résultats d'exploitation des chemins de fer de l'État italien pour des lignes de montagne. L'économie réalisée par train-kilomètre se mettrait ainsi sous la forme :

$$(0{,}10 + 0{,}009\ C)\ (1 + \varepsilon)$$

Comme d'ailleurs, le nombre de trains-kilomètre est approximativement égal à :

$$\frac{1000\ Q}{28}$$

en admettant que la dépense de charbon par locomotive-kilomètre soit de l'ordre de 28 k*g* on voit que l'économie réalisée par kilomètres de ligne électrifiée sera :

$$\frac{1000\ Q}{28}\ (0{,}10 + 0.009\ C) \times (1 + \varepsilon)$$

Pour la traction électrique, en appelant :

P, le capital engagé par kilomètre de ligne pour l'installation du matériel fixe,

r, le taux d'intérêt et d'amortissement majoré de 1 % pour tenir compte des dépenses d'entretien et de réparation du matériel fixe ainsi que de la conduite des sous-stations,

les charges annuelles d'intérêt et d'amortissement du matériel fixe : lignes de contact, sous-stations, etc... sont :

$$\frac{Pr}{100}$$

La quantité d'énergie électrique consommée pour réaliser un service de traction identique à celui réalisé avec la traction-vapeur sera, d'autre part, par kilomètre :

$$\frac{1000\ Q}{\lambda}$$

en appelant λ le nombre de k*g* de charbon qui peuvent être remplacés par 1 k*wh* aux bornes des sous-stations. La valeur du coefficient λ dépend du rendement de la traction à vapeur et des conditions de service de la ligne ; elle semble être comprise entre 2,5 k*g* et 3,5 k*g* d'après les essais qui ont été faits aux États-Unis et en France. Pour des trains de banlieue, nous avons trouvé une valeur plus voisine de 4 que de 3,5.

En appelant enfin *p* le prix de l'énergie à l'entrée des sous-stations, la dépense correspondante de courant serait :

$$\frac{1000\ Q\,p}{\lambda}$$

La formule représentant le bilan de l'électrification serait, dans ces conditions, la suivante :

$$QC + \frac{1000}{28}\ Q\ (0{,}10 + 0{,}009\ C) \times (1 + \varepsilon) = \frac{1000\ Qp}{\lambda} + \frac{Pr}{100}$$

d'où :

$$Q = \frac{\dfrac{Pr}{100}}{C\ [1 + 0{,}32\ (1 + \varepsilon)] + 3{,}57\ (1 + \varepsilon) - \dfrac{1000\ p}{\lambda}}$$

ou, pour des lignes plates, avec $1 + \varepsilon = 1$,

$$Q = \frac{\frac{Pr}{100}}{1{,}32\ C + 3{,}57 - \frac{1000\ p}{\lambda}}$$

Nous allons appliquer ces formules au cas des lignes à faible déclivité, à 1, 2, 3 et 4 voies et au cas des lignes de montagne à simple et double voie. Nous adopterons, pour les divers coefficients figurant dans les formules en question des valeurs correspondant aux conditions économiques de 1920, époque à laquelle notre étude a été faite. Des modifications devraient être apportées aux résultats indiqués ci-après si on vôulait tenir compte des changements qui se sont produits depuis 1920, notamment en ce qui concerne le loyer de l'argent, mais en raison même de l'instabilité des cours, il paraît inutile de donner des chiffres autres que ceux qui ont été utilisés au moment de l'établissement des projets d'exécution.

Valeurs adoptées dans les calculs :

Dépenses d'établissement par kilomètre de ligne P :
- 800.000 fr. pour les lignes à voie quadruple ;
- 650.000 fr. pour les lignes à voie triple ;
- 470.000 fr. pour les lignes à voie double ;
- 250.000 fr. pour les lignes à voie simple ;

	lignes plates	lignes de montagnes
λ	3	3,3
p	0 *fr*,10	0 *fr*,09 (1)
r	8,5 %	8,5 %
ε	—	25 %

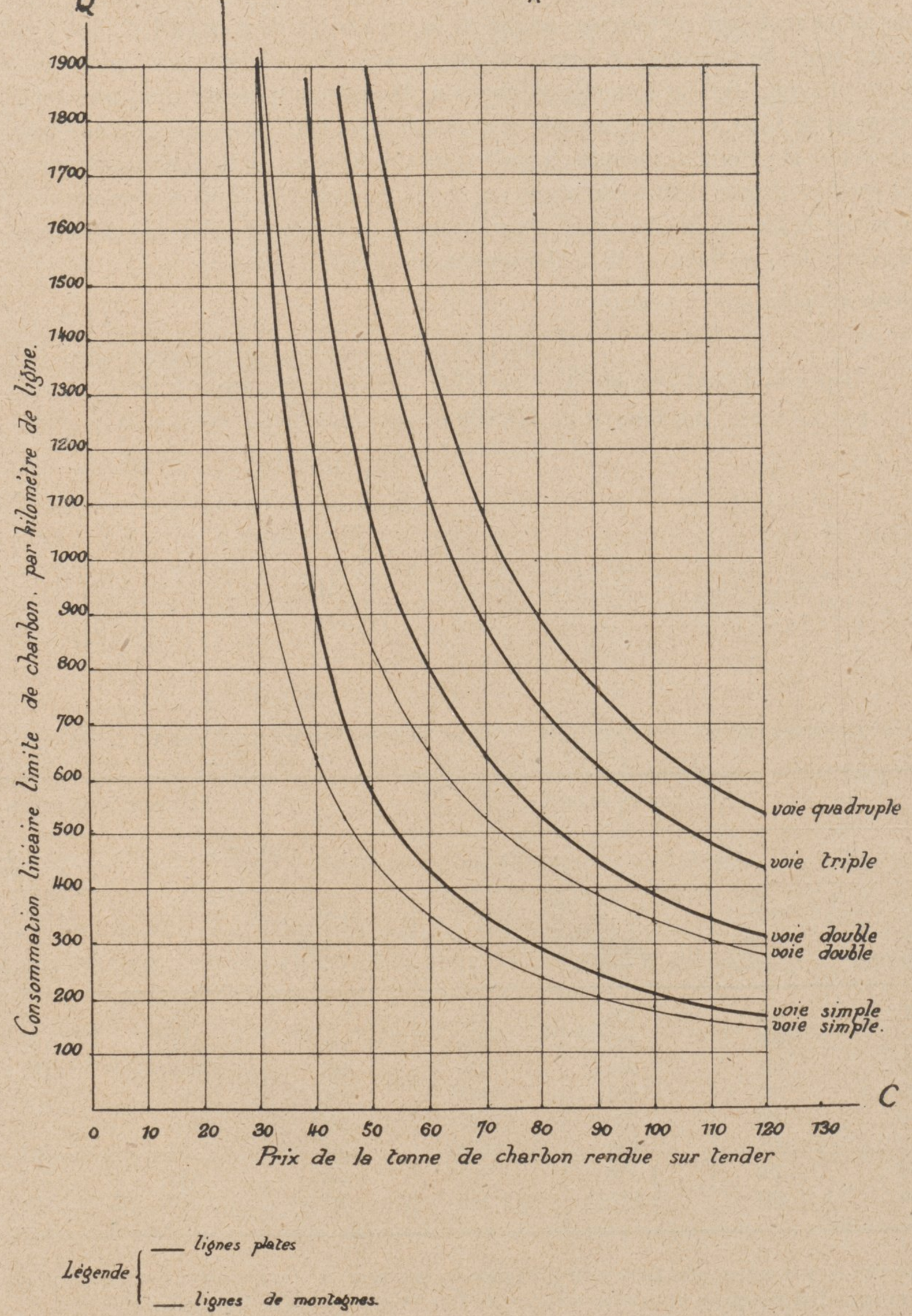
Consommations linéaires limites Q de charbon par kilomètre de ligne

LIGNES PLATES					LIGNES DE MONTAGNES	
$1 + \varepsilon = 1$ $\lambda = 3$ $r = 8,5$ $p = 0\,fr,10$					$1 + \varepsilon = 1,25$ $r = 8,5$ $\lambda = 3,3$ $p = 0,09$	
Voie.....	quadruple	triple	double	simple	double	simple
Prix du charbon C	$Q = \frac{51.500}{C - 22.6}$	$Q = \frac{41.800}{C - 22,6}$	$Q = \frac{30.200}{C - 22,6}$	$Q = \frac{16.100}{C - 22,6}$	$Q = \frac{28.500}{C - 16,3}$	$Q = \frac{15.150}{C - 16,3}$
120...	530	430	310	165	275	146
110...	590	480	348	184	304	162
100...	665	540	390	207	340	181
90...	765	620	448	239	387	206
80...	900	730	527	281	448	238
70...	1.085	880	638	340	530	282
60...	1.380	1.120	808	430	652	347
50...	1.880	1.525	1.100	588	846	450

(1) Le prix du courant est plus faible pour les lignes de montagne car ces dernières se trouvent placées au voisinage immédiat des chutes et ne correspondent qu'à de l'énergie d'origine hydraulique.

Fig. 4. — COURBES RELIANT LA CONSOMMATION LINÉAIRE LIMITE DE COMBUSTIBLE PAR KILOMÈTRE DE LIGNE Q AU PRIX DU COMBUSTIBLE C.

$$Q = \frac{\frac{Pr}{100}}{C\left[1+0{,}32(1+\varepsilon)\right]+3{,}57(1+\varepsilon)-\frac{1000\,p}{\lambda}}$$



Légende { — lignes plates
— lignes de montagnes.

Ces chiffres ne sont donnés qu'à titre de simple indication car, dans les conditions économiques actuelles, ils varient énormément d'un moment à l'autre, sans que le prix du

Fig. 5. — PARIS-ORLÉANS L = 125 K*m*
Ligne à quadruple voie de Paris à Étampes.
Ligne à double voie d'Étampes à Orléans.

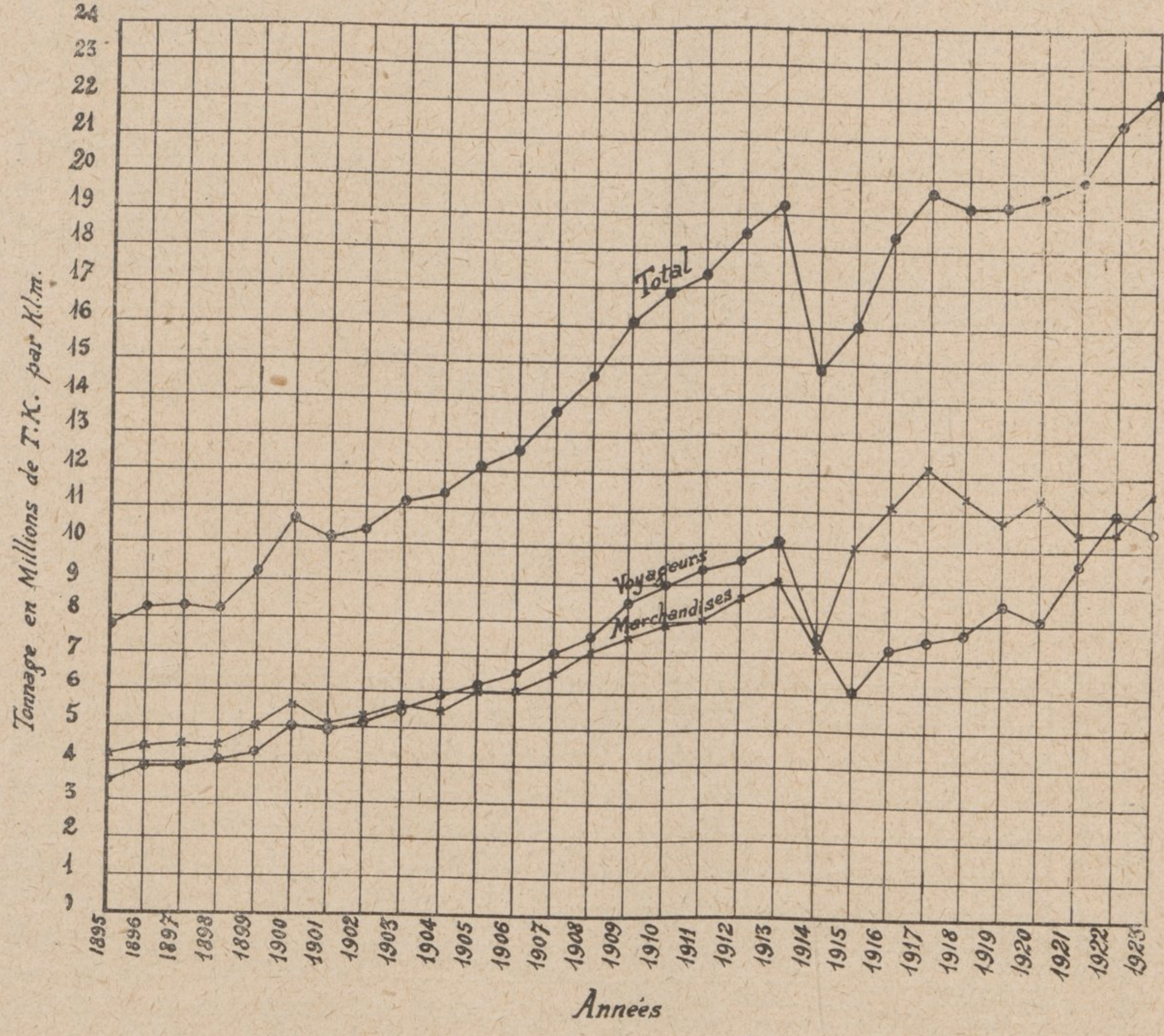
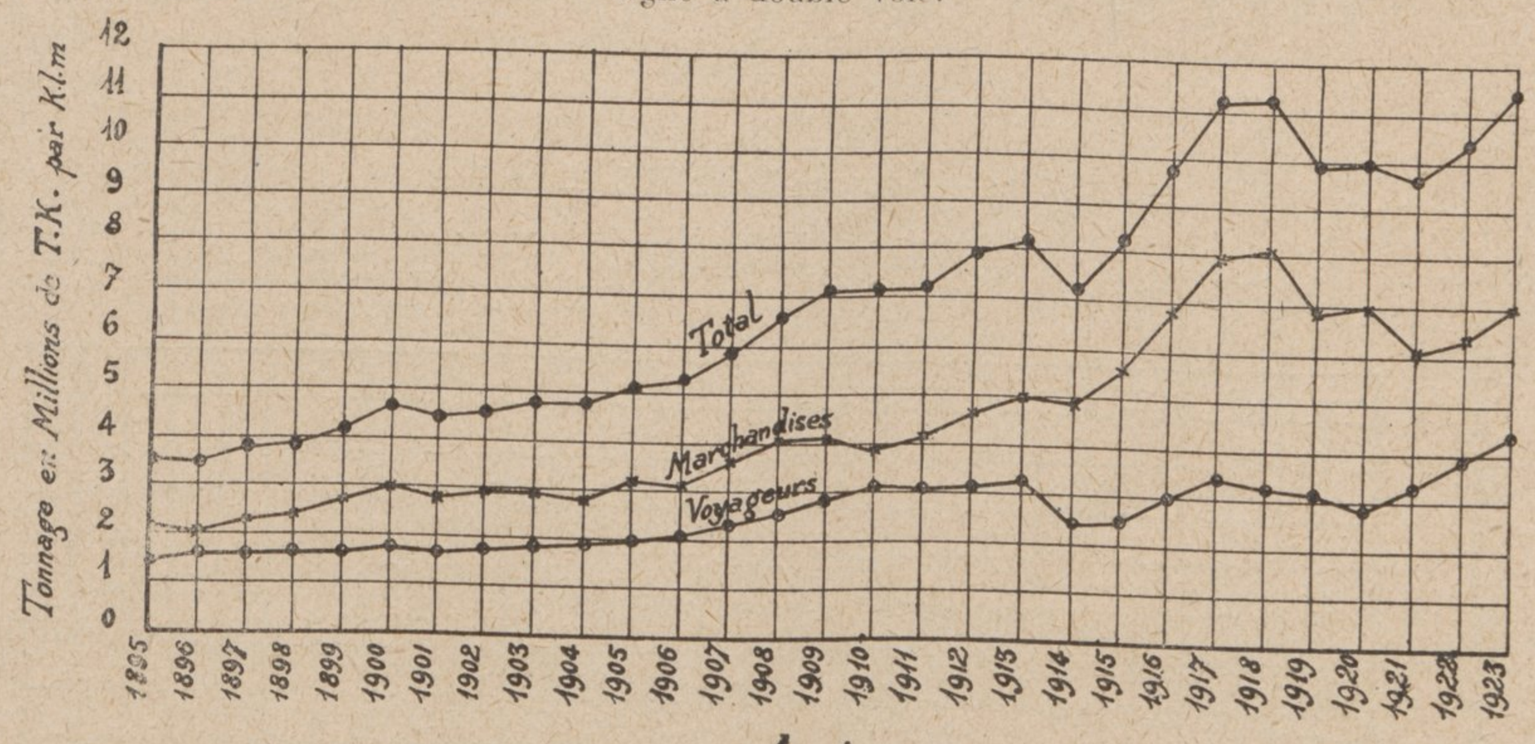


Fig. 6. — ORLÉANS-VIERZON L = 82 K*m*
Ligne à double voie.



charbon puisse constituer à lui seul un index économique satisfaisant pour le coût de l'électrification ou des dépenses d'exploitation électrique ou à vapeur.

Fig. 7. — VIERZON-CHATEAUROUX L = 63 K*m*

Ligne à double voie.

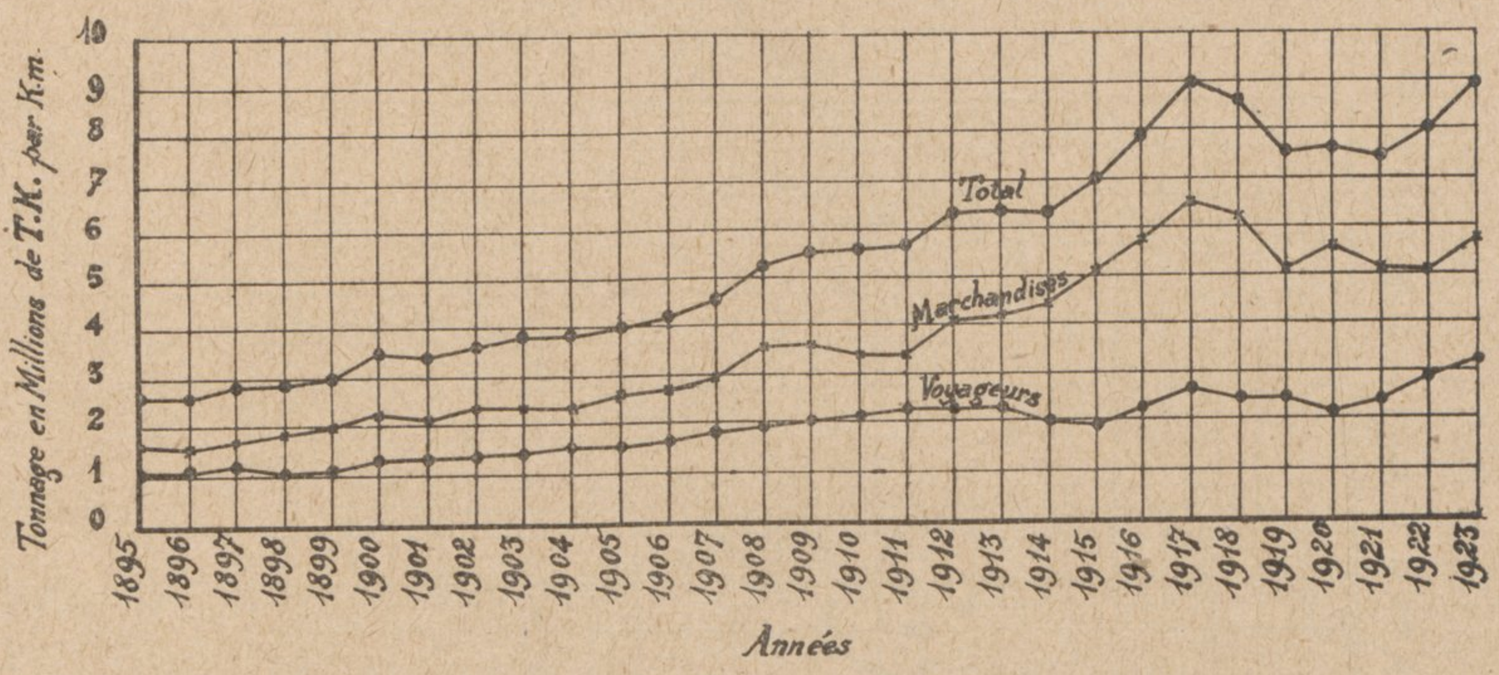


Fig. 8. — CHATEAUROUX-LIMOGES L = 137 K*m*

Ligne à double voie.

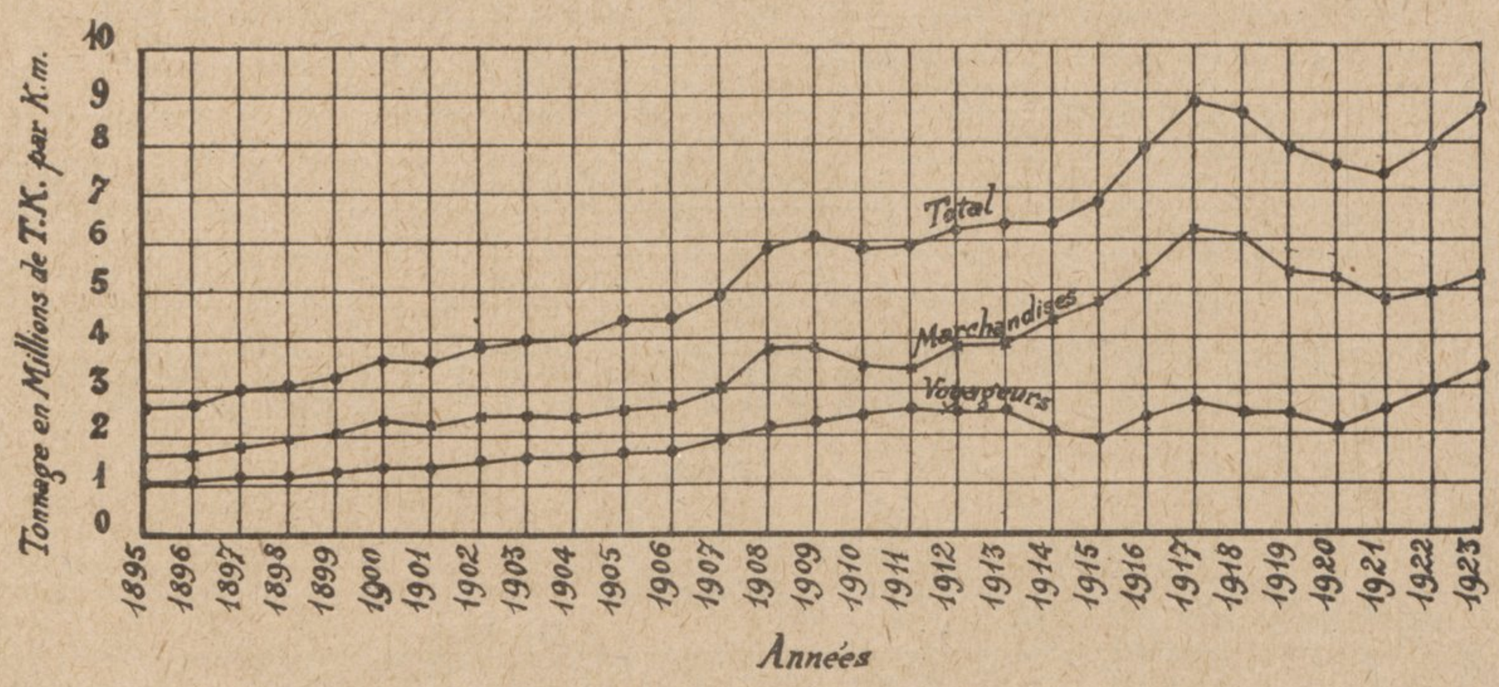


Fig. 9. — LIMOGES-BRIVE L = 99 K*m*

Ligne à double voie.

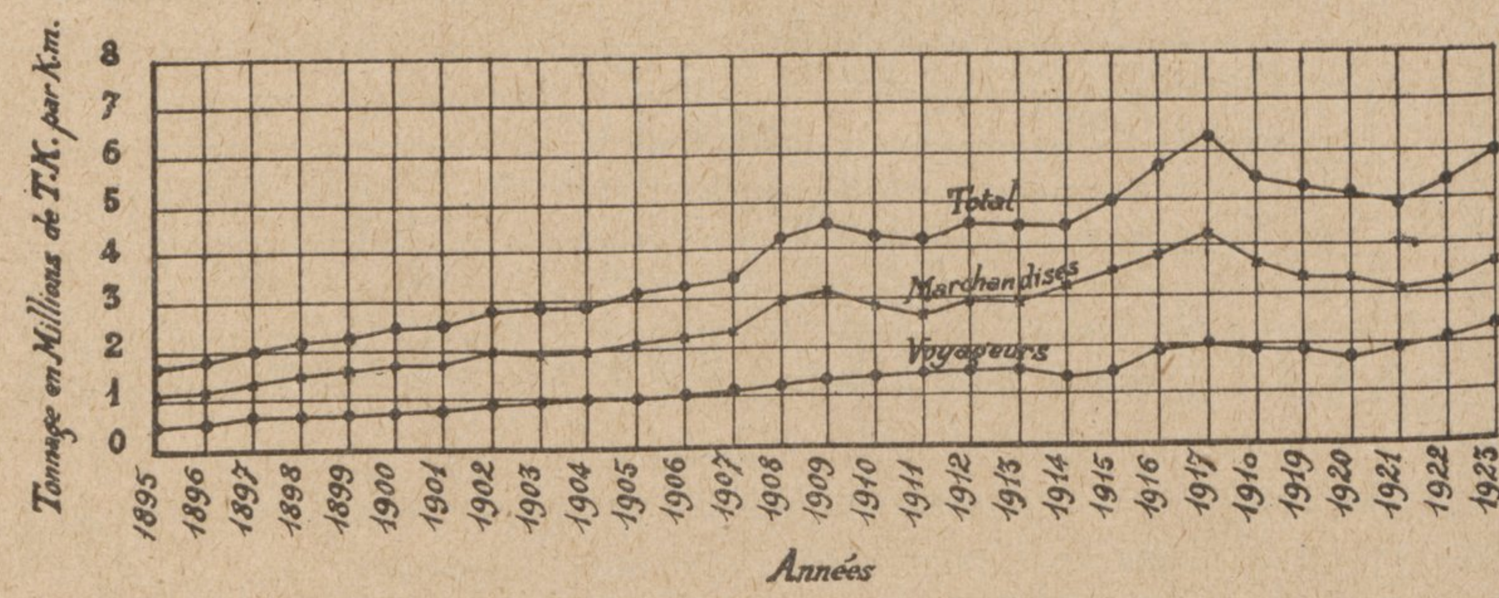


Fig. 10. — Bretigny-Tours L = 214 K*m*

Ligne à double voie.

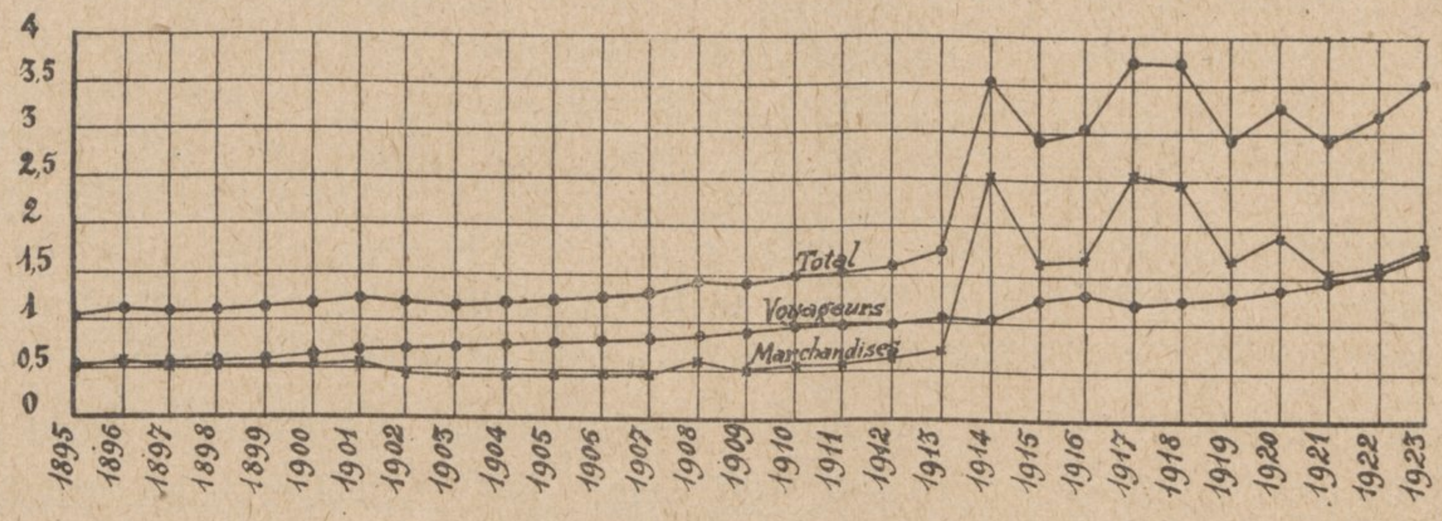


Fig. 11. — St-Sulpice-Montluçon L = 122 K*m*

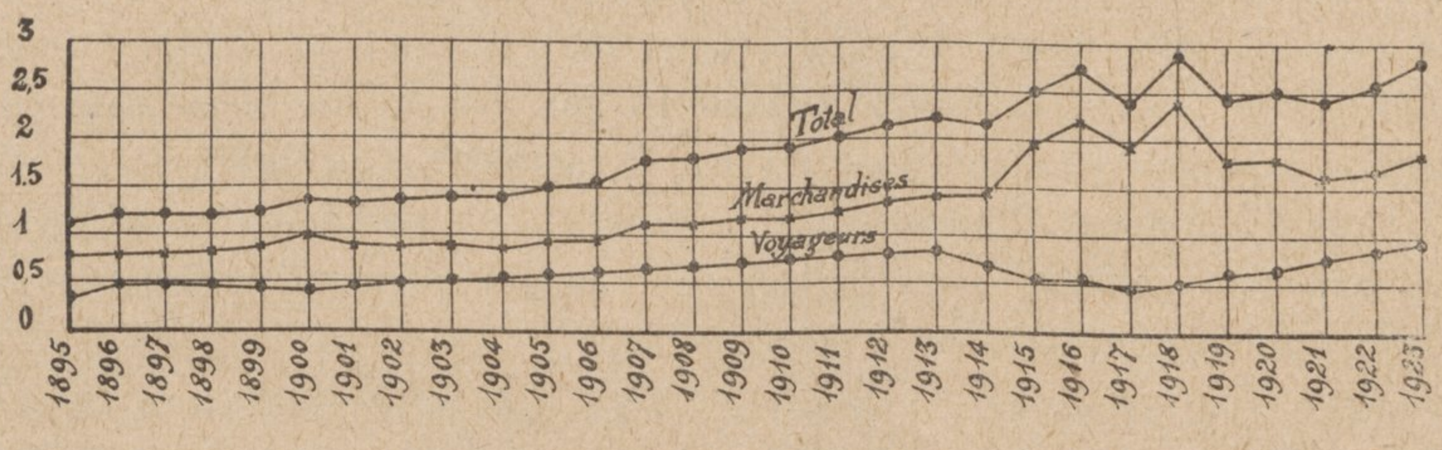


Fig. 12. — Brive-Tulle L = 26 K*m*

Tonnage en Millions de T. K par K*m*.

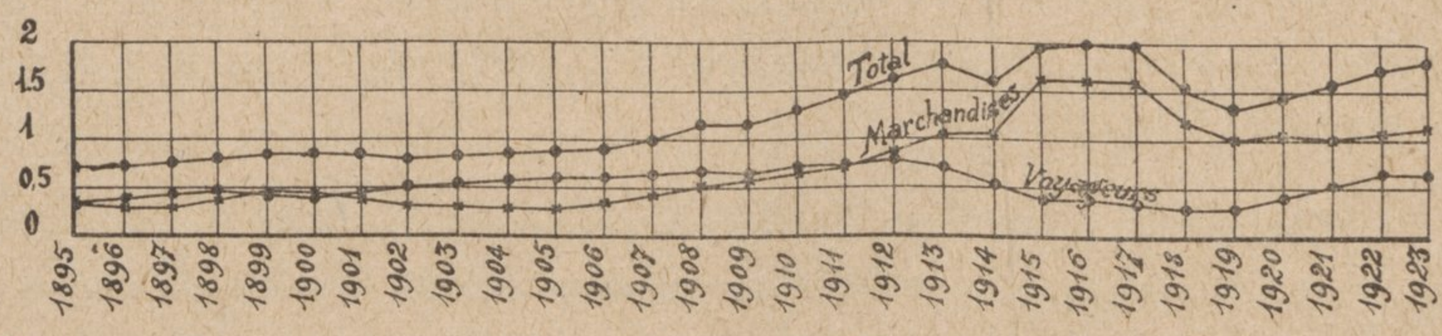


Fig. 13. — Tulle-Ussel L = 66 K*m*

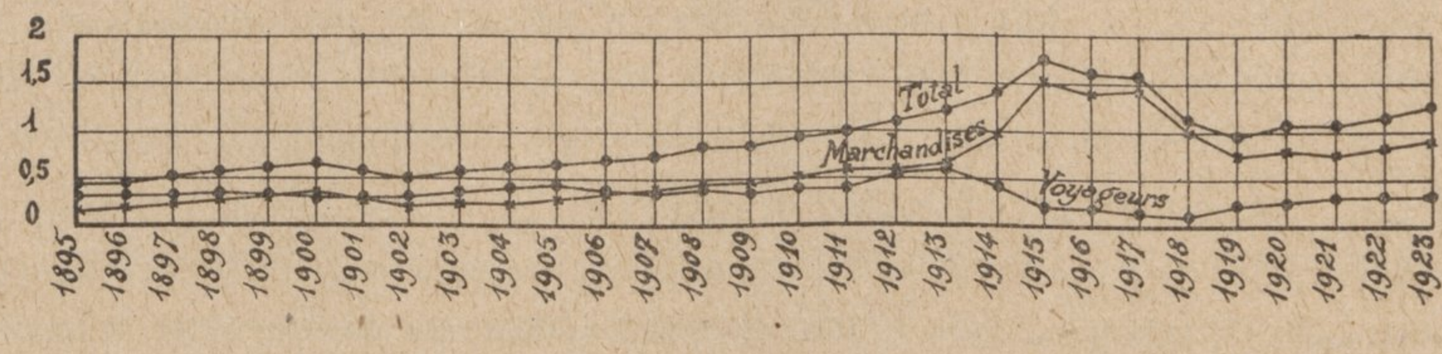
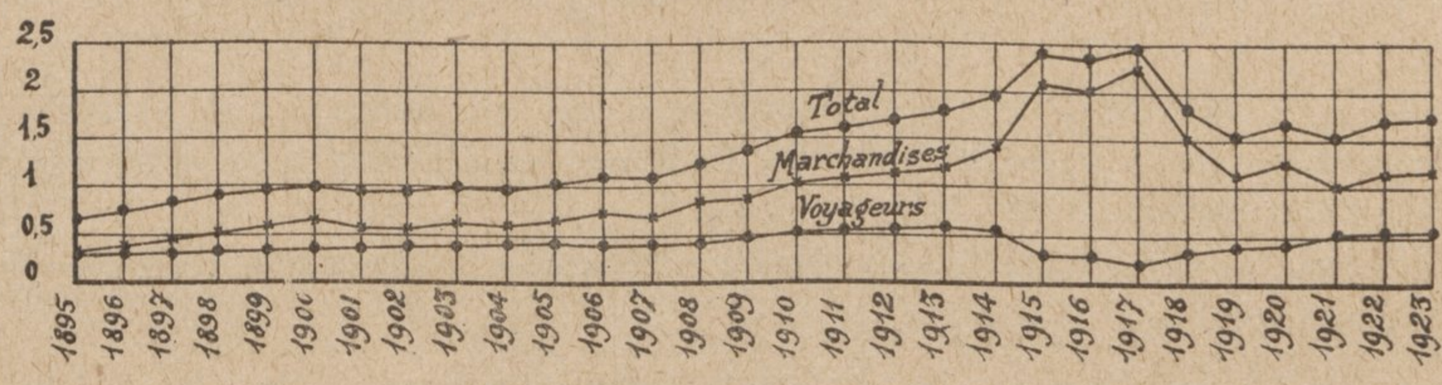


Fig. 14. — Ussel-Clermont L = 106 K*m*



Tout ce que l'on peut espérer tirer de considérations aussi simples et aussi générales, c'est l'ordre de grandeur du « trafic critique » qui doit exister au *minimum* pour que l'opération financière que constitue l'électrification puisse être payante.

Les courbes de variation de densité de trafic relatives aux divers éléments de ligne dont l'électrification est en cours sur le réseau d'Orléans sont reproduites sur les figures 5 à 14 ; ces courbes indiquent la densité de trafic en millions de tonnes-kilomètres par kilomètre pour la période comprise de 1895 à 1923 inclus ; de la comparaison de ces courbes et de celles reproduites sur la Fig. 4, il est facile de se rendre compte de la valeur du trafic critique (1).

Pour une ligne plate, comme celle de Paris à Brive, qui avait en 1913 une densité moyenne de consommation de charbon d'environ 700 tonnes par kilomètre et qui rentre dans la catégorie des voies triples, on voit que l'électrification est largement justifiée au cours actuel des combustibles. Mais si on remarque que, sur une pareille ligne, l'accroissement du trafic se produisait avant-guerre au taux d'environ 3,5 % par an, il apparaît que, lorsque l'électrification sera complètement réalisée et lorsque le matériel des sous-stations sera utilisé en plein, l'électrification sera encore payante pour des prix de combustible de l'ordre d'une soixantaine de francs. Cette remarque est d'autant plus intéressante que le taux annuel d'accroissement de trafic a notablement augmenté dans ces dernières années, particulièrement dans la section Vierzon-Brive où il a atteint près de 10 %.

Pour des lignes de montagne à voie simple, telles que celles de Brive à Clermont et de Saint-Sulpice à Montluçon dont les densités de consommation atteignent respectivement 240 et 200 *t.* de combustible, on voit que la substitution de l'électricité à la vapeur sera justifiée avec le trafic actuel : elle le sera encore davantage si on tient compte de l'augmention de capacité de trafic que procurera l'électrification.

Études particulières de lignes comprises dans la première étape d'électrification du réseau d'Orléans. — Un service de traction est défini quand on connaît le profil de la ligne, l'horaire et le poids des trains en circulation. Le poids des trains étant variable avec le trafic, on ne peut définir avec précision que le poids maximum admissible correspondant au mode d'exploitation adopté ; quand il s'agit de lignes déjà exploitées à vapeur, on peut prendre, en première approximation, comme poids maximum des trains, ceux définis dans les tableaux de charge des locomotives à vapeur pour les vitesses nominales *minimum* réellement utilisées (2).

Le nombre maximum des trains fourni par l'horaire (trains facultatifs compris) et le poids maximum de chacun d'eux déterminent un trafic en tonnes-kilomètres réelles, que nous appellerons trafic *maximum*. C'est pour ce trafic maximum que les calculs d'établissement de

---

(1) Cette comparaison peut se faire assez aisément en passant de la densité de trafic en tonnes-kilomètres par *km* à la densité de consommation de charbon par *km* de ligne en utilisant la notion de longueur virtuelle et de trafic virtuel (tonnes-kilomètres virtuelles).

On peut admettre, en première approximation, que la consommation de charbon par tonne-kilomètre virtuelle est de l'ordre de 60 *gr.*

(2) Afin d'avoir l'effort de traction soutenu maximum, comme nous le montrerons plus en détail dans une prochaine partie de la présente note.

toutes les installations fixes et mobiles ont été faits, pour toutes les lignes prévues dans la première étape d'électrification.

La Planche IV donne, pour chacune des lignes Paris-Brive, Brétigny-Dourdan, Saint-Sulpice-Gannat, Brive-Clermont, les caractéristiques principales du service de traction, savoir : le profil avec indication des emplacements des sous-stations et de la longueur virtuelle entre sous-stations pour les deux sens de circulation, la fréquentation des différents éléments de la ligne, etc..

Pour la section Paris-Vierzon, actuellement en cours d'électrification, les horaires de trains de 1914 correspondent aux trafics électriques maximum indiqués ci-après en tonnes-kilomètres remorquées et en tonnes-kilomètres totales (1).

	Tonnes-Kilomètres Totales en millions de *tkm*			Densité de trafic en millions de *tkm* totales par *km*	Tonnes Kilomètres Remorquées en millions de *tkm*			Densité de trafic en millions de *tkm* remorquées par *km*
	Voyageurs	Marchandises	Totales		Voyageurs	Marchandises	Totales	
Quai d'Orsay (125 *km*) Les Aubrais (80 *km*) Vierzon	3.091	2.706	5.807	46.5	2.683	2.420	5.103	41
	772	1.073	1.845	23	653	982	1.635	20.5
Brétigny (24,2 *km*) Dourdan	139	165	304	12.5	128	152	280	11.6

Si on compare les densités de trafic indiquées dans ce tableau aux courbes de variation de densité de trafic données dans la première partie de cette note, Fig. 5, 6 et 10, on voit qu'elles sont environ doubles des trafics moyens de l'année 1923 qui ont atteint respectivement :

22. 10^6 *tkm* remorquées par *km* pour la section Paris-Orléans,
11,7. 10^6 d° d° Orléans-Vierzon,
3,5. 10^6 d° d° Brétigny-Dourdan.

Comme tous les calculs de charge moyenne et maximum des sous-stations ont été effectués en partant du trafic maximum en question, on voit qu'au taux normal d'accroissement du

---

(1) Ces calculs ont été faits en admettant, comme poids maximum des trains dans la section considérée, ceux indiqués ci-dessous :

	Tonnage remorqué	Machine	Total		Tonnage remorqué	Machine	Total
Train rapide	530	112	642	Train denrées-messageries.	500	65	565
express	650	112	762	marchandises	1000	65	1065
direct	350	65	415	marchandises W	1100	130	1230
léger	295	65	360	matériel vide	400	65	465
automoteur 2 unités	—	—	296	H.L.P. voyageurs	—	112	112
» 3 unités	—	—	444	H.L.P. marchandises	—	65	65

trafic (1) les installations prévues pourront suffire pendant au moins une dizaine d'années, compte tenu de l'utilisation, au fur et à mesure des besoins des emplacements réservés pour l'installation de machines supplémentaires.

Le tableau ci-dessous indique les puissances prévues et installées dans chaque sous-station, ainsi que les charges approximatives, moyenne et maximum, calculées correspondant au trafic maximum. Les figures 15 et 16 représentent les variations de la charge de traction dans les diverses sous-stations correspondant à un trafic maximum environ double du trafic actuel. Ces charges ont été calculées de quart d'heure en quart d'heure.

NOMS DES SOUS-STATIONS	TRAFIC MAXIMUM		PUISSANCE NOMINALE	
	Puissance moyenne calculée approximativement	Pointe calculée approximativement	Prévue	Installée
Paris	5.500	18.000	8.000	6.000
Ablon	5.000	15.000	8.000	6.000
Saint-Michel	6.000	14.000	8.000	6.000
Etréchy	4.500	9.000	8.000	6.000
Monnerville	3.500	6.500	6.000	4.000
Château-Gaillard	3.500	6.000	6.000	4.000
Les Aubrais	3.500	12.000	8.000	6.000
La Ferté	2.300	6.000	6.000	4.000
Nouan-Salbris	2.300	6.000	6.000	4.000
Theillay	2.300	6.000	6.000	4.000
Saint-Chéron	1.600	6.000	6.000	4.000
			76.000	54.000

Il est probable que, dans les conditions actuelles du trafic, la puissance en marche de 32.000 k*w* sera plus que suffisante et que le facteur moyen de charge des sous-stations sera de l'ordre de 30 %.

Comme nous le préciserons plus loin, dans les conditions de marche correspondant

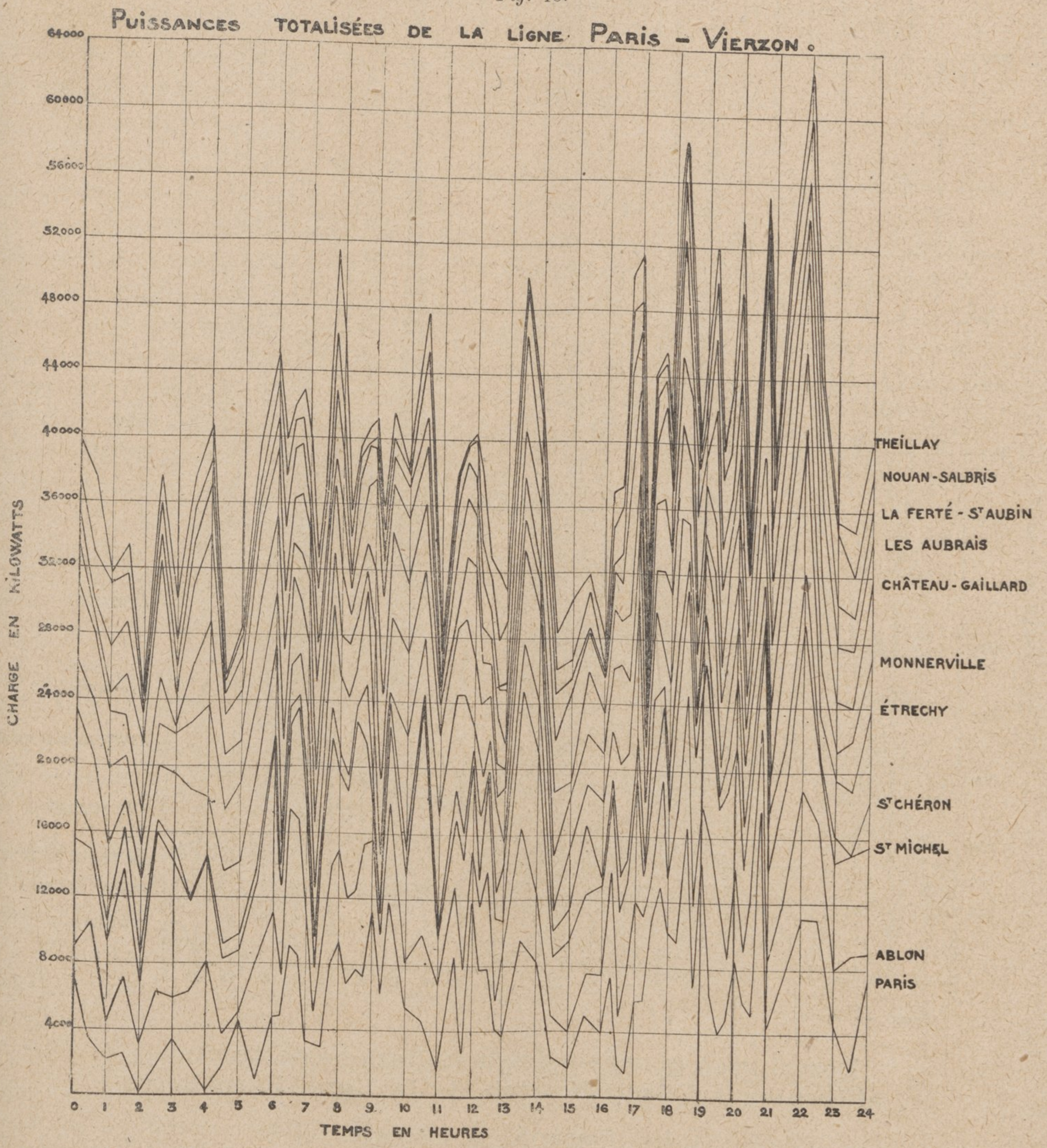
---

(1) Les taux moyens d'accroissement annuel du trafic, en trains-kilomètres et en tonnes-kilomètres, pour la période comprise entre 1903 et 1913, sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

SECTIONS	TRAINS-KILOMÈTRES			TONNES-KILOMÈTRES		
	Voyageurs	Marchandises	Moyenne	Voyageurs	Marchandises	Moyenne
Paris-Orléans	3.56 %	0.41 %	2.70 %	6.3 %	4.93 %	5.63 %
Brétigny-Vendôme	3.34	4.03	3.49	3.78	5.26	4.35
Orléans-Vierzon	2.69	0.35	1.58	5.8	5.16	5.27
Vierzon-Châteauroux	3.96	4.90	4.34	5.48	5.69	5.61
Châteauroux-Limoges	2.91	2.74	2.84	5.59	4.85	5.11
Limoges-Brive	3.80	0.35	1.90	5.50	4.18	4.61
Brive-Tulle	2.53	8.72	3.90	3.24	13.73	8.11
Tulle-Ussel	0.82	8.75	3.94	5.33	11.11	7.95
Ussel-Clermont	1.82	3.73	2.86	4.97	6.57	6
Saint-Sulpice-Montluçon	3.94	0.23	2.29	5.84	4.62	5.06

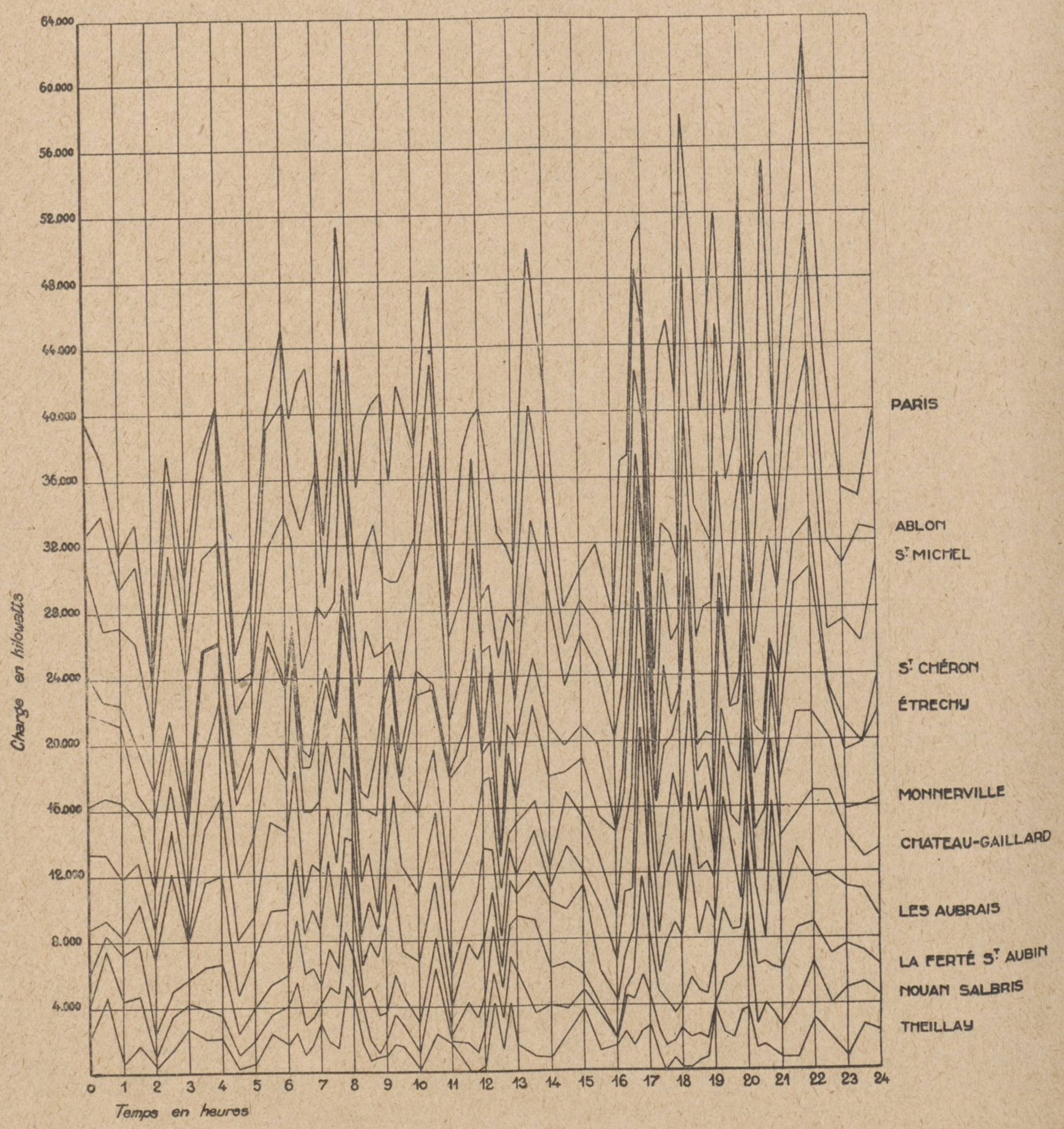
au trafic maximum, les variations de tension en % aux barres-omnibus continues des sous-stations ne dépasseront pas normalement de plus de 3 % les variations admises aux barres-omnibus des usines génératrices quand toutes les lignes prévues seront en service.

Fig. 15.



Dans les conditions actuelles de marche, les variations normales de tension seront plus faibles encore, étant entendu toutefois qu'en cas de surcharge instantanée des sous-stations, la tension continue sera automatiquement réduite.

Fig. 16.



Description générale des installations de traction afférentes à l'électrification de la ligne Paris-Brive

I. — Production de l'Énergie.

L'énergie électrique sera produite sous forme de courant alternatif triphasé 50 périodes dans un système d'usines comprenant dès maintenant :

1° Les centrales thermiques de la Société l'Union d'Électricité et plus particulièrement les usines à vapeur de Gennevilliers et de Vitry ;

2° La Centrale hydraulique d'Eguzon appartenant à la Société l'Union hydroélectrique constituée avec le concours de la Compagnie d'Orléans ;

3° Les centrales hydrauliques de la Haute-Dordogne et plus spécialement celles de Coindre, du Chavanon et de Vernéjoux, concédées à la Compagnie d'Orléans.

L'unité de direction dans l'exploitation de cet ensemble d'usines sera réalisée par un organisme central assurant le « dispatching » de l'énergie.

Le débit de l'énergie produite dans ces dernières centrales sera régularisé par échange du courant avec les usines des Alpes déjà reliées à la Société Loire et Centre.

L'énergie sera amenée :

A la tension de 13.500 V aux barres basse tension de l'usine de Vitry de l'Union d'Électricité pour l'alimentation des sous-stations de traction de Paris et d'Ablon.

Ces barres-omnibus seront alimentées par les alternateurs de l'usine de Vitry dont la puissance globale est de 80.000 k*w* et par des transformateurs 60/13, 5 k*v* dont la puissance globale est de 70.000 k*w*.

La tension sera maintenue constante sur ces barres à 13.500 $\pm$ 2,5 % pendant les heures de forte charge et à 12.850 $\pm$ 2,5 % pendant les heures de faible charge.

A la tension de 60 k*v* aux barres haute tension des sous-stations de Vitry et de Billancourt de l'Union d'Électricité, cette énergie étant produite par les soins de l'Union d'Électricité, soit à l'usine de Vitry, soit à l'usine de Gennevilliers.

La tension sera maintenue constante à 60 k*v* $\pm$ 2,5 % pendant les heures de forte charge et 57,5 k*v* $\pm$ 2,5 % pendant les heures de faible charge.

A la tension de 90 k*v* aux barres-omnibus à haute tension des usines de Coindre, de la Cellette et de Vernéjoux.

II. — Transport de l'Énergie.

L'énergie produite dans les diverses usines hydrauliques et thermiques indiquées ci-dessous sera transportée :

A 13,5 k*v*, par trois câbles triphasés de 125 m*m*² de section par phase, des barres à 13,5 k*v* de l'usine de Vitry aux sous-stations de Paris (puissance continue de chacune de ces sous-stations : 6.000/8.000 k*w*).

A 60 k*v*, par deux groupes de trois câbles monophasés de 150 m*m*² de section par phase, à 35 k*v* entre phase et terre, des barres-omnibus de l'usine de Vitry aux barres omnibus du poste de Chevilly.

A 60 k*v*, par un groupe de trois câbles monophasés de 150 m*m*² de section par phase, à 35 k*v* entre phase et terre, des barres omnibus de la sous-station de Billancourt aux barres omnibus du poste de Chevilly.

A 90 k*v*, par deux lignes aériennes triphasées de 238 m*m*² de section (aluminium âme d'acier) des barres-omnibus à 90 k*v* de l'usine d'Eguzon à celles du poste de Chevilly en passant par les 15 sous-stations de traction de la ligne Paris-Eguzon : St-Michel, St-Chéron, Monnerville, Château-Gaillard, Les Aubrais, la Ferté-St-Aubin, Nouan, Theillay, Chery-Lury, Issoudun, Châteauroux, Chabenet. Ces lignes seront prolongées jusqu'à Souillac pour alimenter les 7 sous-stations de : Eguzon, La Souterraine, St-Sulpice-Laurière, Les Bardys, Solignac, St-Germains-les-Belles, Vigeois, Ussac et pour se joindre aux lignes à 90 k*v* venant

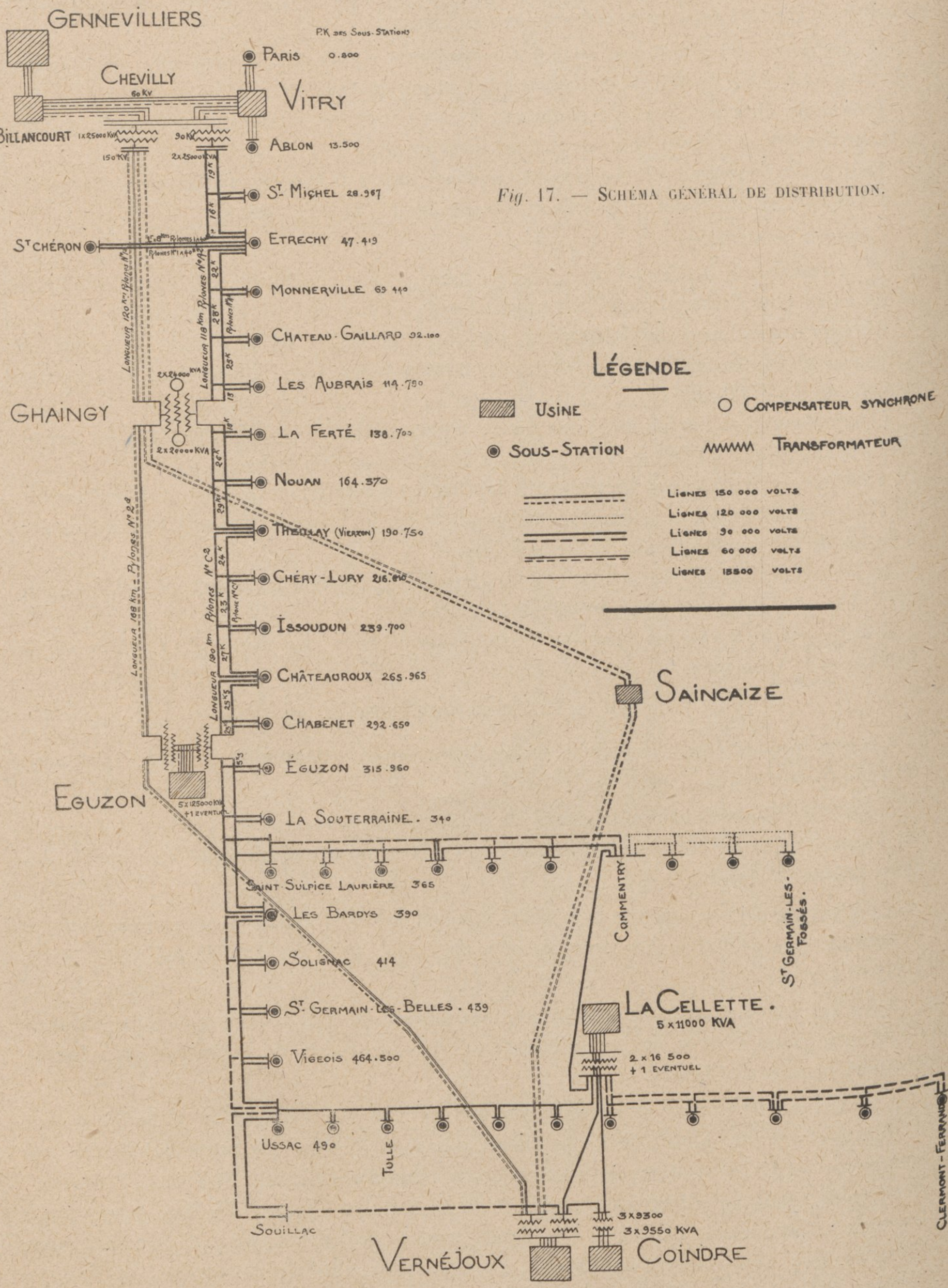


Fig. 17. — Schéma général de distribution.

des usines du Massif Central et qui suivront sensiblement le tracé de chemin de fer de Montluçon à St-Sulpice-Laurière, de Montluçon à Eygurande et de Brive à Clermont.

A 150 k*v* (220 k*v* plus tard) par une ligne aérienne pouvant être doublée dans l'avenir, reliant les postes de Chevilly, de Chaingy, d'Eguzon et de Vernéjoux.

La fig. 17, qui représente le schéma général de la distribution, montre nettement les liaisons qui sont ou seront établies entre les diverses sources d'énergie et les principaux centres de consommation.

La jonction entre les usines du Massif Central de la Compagnie d'Orléans et celles de la Société Loire et Centre sera effectuée par une ligne à 120 k*v* suivant sensiblement le tracé de la ligne projetée de Commentry à St-Germain-des-Fossés (Élément nouveau de la ligne Bordeaux-Lyon).

III. — Transformation de l'Énergie.

A. — *Postes de transformateurs statiques et de compensateurs synchrones.*

Les réseaux à 60, 90, 120 et 150/220 k*v* seront reliés entre eux par 5 postes de transformation situés respectivement à Chevilly, Chaingy, Eguzon, Vernéjoux et Commentry.

Poste de Chevilly. — Le poste de Chevilly reliera les lignes à 150/220 k*v* venant de Chaingy aux deux lignes à 90 k*v* du réseau d'alimentation des sous-stations de traction et aux câbles à 60 k*v* allant à Vitry et à Gennevilliers. Il comportera :

1 groupe transformateurs 150/60 k*v* d'une puissance de 25.000 kv*a*
2 groupes transformateurs 90/60 k*v* ayant chacun une puissance de 25.000 kv*a*.

Les transformateurs 150/60 pourront servir indifféremment de transformateurs abaisseurs quand l'énergie ira de Chaingy vers Chevilly en provenance d'Eguzon ou du Massif Central, ou de transformateurs élévateurs quand l'énergie provenant des usines de l'Union d'Électricité ira de Chevilly vers Chaingy.

Le poste de Chevilly est étudié de manière à pouvoir recevoir ultérieurement 3 lignes supplémentaires à 150/220 k*v* et pour permettre l'installation de groupes transformateurs de puissance correspondant à la capacité de transport d'énergie de ces lignes.

Poste de Chaingy. — Ce poste reliera le réseau de 150/220 k*v* au réseau d'alimentation des sous-stations de traction de 90 k*v*, il servira en outre à la régulation de la tension du réseau de traction. Il comportera :

Deux groupes transformateurs 150/90 k*v*, ayant chacun une puissance de 20.000 kv*a* dont un de réserve.

Ces transformateurs seront à 3 enroulements : un primaire à 150 k*v*, un secondaire à 90 k*v*, un tertiaire à 6.000 *V*, ce dernier enroulement servant à alimenter des compensateurs synchrones de régulation ayant chacun une puissance de 10.000 kv*a*.

Deux compensateurs de 10.000 kv*a* sont suffisants pour obtenir le réglage de la tension ; un emplacement a été cependant prévu pour permettre l'installation ultérieure d'un troisième groupe de compensateurs.

Ce poste est construit de manière à former poste de sectionnement automatique pour les lignes à 150 k*v* et 90 k*v* ; il est prévu pour recevoir ultérieurement deux lignes

supplémentaires à 90 k*v* allant vers Tours et pour permettre l'installation de 7 départs supplémentaires à 150/220 k*v* :

3 dans la direction de Paris,
1 » » d'Eguzon,
2 » » de Montluçon,
1 » » de Tours.

Poste d'Eguzon. — Ce poste reliera les réseaux à 150 et 90 k*v* de la Compagnie d'Orléans par l'intermédiaire de barres-omnibus à 10.000 *V* de l'usine d'Eguzon. Il comprendra :

1 groupe transformateurs 150/10 k*v* d'une puissance de 21.000 k*va*
2 groupes transformateurs 90/10 k*v* ayant chacun une puissance de 24.000 k*va*.

Poste de Commentry. — Ce poste reliera les réseaux à 90 k*v* de la Compagnie d'Orléans au réseau à 120 k*v* de la Société des transports électriques du Centre et à 30 k*v* de la Société Loire et Centre. Il comprendra essentiellement :

1 groupe transformateurs 120/90 k*v* d'une puissance de 25.000 k*va*,
2 groupes transformateurs 120/30 k*v* ayant chacun une puissance de 15.000 k*va*.

Ce poste sera installé à frais communs par la Compagnie d'Orléans et par la Société Loire et Centre.

Poste de Vernéjoux. — C'est dans ce poste que sera concentrée l'énergie à 90 k*v* produite par les diverses usines de la concession de la Compagnie d'Orléans et qui doit être transformée de 90 à 150/220 k*v*. chacune de ces usines devant, par ailleurs, fournir directement, sous forme de courant à 90 k*v*, l'énergie nécessaire à l'alimentation des sous-stations de traction des lignes voisines.

II. — Sous-stations rotatives de transformation.

Le courant triphasé 50 périodes à 13,5 k*v* et 90 k*v* amené aux sous-stations de traction sera transformé en courant continu 1.500 volts dans les 22 sous-stations énumérées précédemment.

Les 11 sous-stations correspondant aux sections de Paris à Vierzon (200 k*m*) et de Brétigny à Dourdan (24 k*m*) comportent chacune un certain nombre de groupes de deux commutatrices hexaphasées à 750 volts chacune, placées par deux en série.

Ces groupes avertisseurs sont répartis dans les différentes sous-stations, comme il est indiqué dans le tableau ci-après :

SOUS-STATIONS	TENSION d'alimentation en kilov.	PUISSANCE installée en kilowatts (puissance continue)	PUISSANCE en service en k*w* (puissance continue)	PUISSANCE maximum admissible en pointes
Paris	13,5	3 × 2.000 = 6.000	4.000	12.000
Ablon	13,5	3 × 2.000 = 6.000	4.000	12.000
St-Michel	90	3 × 2.000 = 6.000	4.000	12.000
Etrechy	90	3 × 2.000 = 6.000	4.000	12.000
Monnerville	90	2 × 2.000 = 4.000	2.000	6.000
Chateau-Gaillard	90	2 × 2.000 = 4.000	2.000	6.000
Les Aubrais	90	3 × 2.000 = 6.000	4.000	12.000
La Ferté	90	2 × 2.000 = 4.000	2.000	6.000
Nouan	90	2 × 2.000 = 4.000	2.000	6.000
Theillay	90	2 × 2.000 = 4.000	2.000	6.000
St-Chéron	90	2 × 2.000 = 4.000	2.000	6.000
		27 × 2.000 = 54.000	32.000	

La puissance globale, normalement en service, sera de l'ordre de 30.000 k*w*, soit environ 135 k*w* par kilomètre.

III. — Distribution de l'Énergie.

L'énergie sera distribuée tout le long des lignes électrifiées au moyen de lignes de contact constituées par des lignes aériennes caténaires à double fil de contact doublées elles-mêmes, dans certaines sections à quatre voies (Paris-Brétigny), par deux troisièmes rails servant de feeder installés le long des voies centrales.

Tout le long des voies seront installés des feeders de section appropriée à l'intensité du trafic.

IV. — Utilisation de l'Énergie.

La traction des trains sera assurée par trois types différents de tracteurs : automotrices, locomotives à moyenne vitesse, locomotives à grande vitesse.

Le matériel roulant actuellement en service ou en construction comprend :

Pour les services de voyageurs de banlieue et grande banlieue :

80 automotrices de 63 *t* environ, de 20 *m* de longueur, d'une puissance unihoraire de 1.000 *ch* environ et continue de 800 *ch*.

Pour les services de marchandises et de voyageurs de grande ligne (trains express et omnibus) :

200 locomotives de 72 *t* environ, du type BB à deux bogies moteurs chacun à deux moteurs, d'une puissance unihoraire de 1.500 *ch* (1.500 à 1.900 *ch* suivant les séries) et d'une puissance continue de 1.200 *ch* (1.200 à 1.560 suivant les séries).

Pour les services rapides de voyageurs, les trains de denrées, etc.. le type de locomotives n'a pas encore été fixé et des expériences méthodiques vont être entreprises sur 5 machines d'essai :

1 machine du type 2C + C2 gearless de 2.700 *ch* de puissance unihoraire et 2.100 *ch* de puissance continue,

2 machines, du type 2D2, à commande par bielles de 3.600 *ch* de puissance unihoraire et 3.000 *ch* de puissance continue ; l'une à bielles hyperstatiques et moteurs ordinaires, l'autre à bielles isostatiques et à moteurs entièrement compensés.

2 machines du type 2D2, à commande par engrenages extérieurs et biellettes articulées, d'une puissance unihoraire de 3.600 *ch* et continue de 3.000 *ch*, l'une à trains roulants normaux et moteurs ordinaires, l'autre à trains roulants à articulation réglable et moteurs entièrement compensés.

Nous allons exposer en détail, dans la suite de la présente note, en suivant l'ordre de la description générale, les conditions dans lesquelles seront réalisées :

2e Partie. — La production de l'énergie (centrales hydrauliques),

3e Partie. — La transmission de l'énergie (réseaux de transport de force),

4e Partie. — La transformation de l'énergie (postes et sous-stations de transformation),

5e Partie. — La distribution de l'énergie (lignes de contact),

6e Partie. — L'utilisation de l'énergie (locomotives et automotrices).

ANNEXE

On peut, par une généralisation de la méthode des longueurs virtuelles, utilisées par les Chemins de fer italiens et de celle des tonnages fictifs, employée en Amérique, justifier rationnellement les conclusions auxquelles nous avait conduit l'étude des statistiques.

On définit la longueur virtuelle d'une ligne de longueur réelle S comme la longueur L d'une ligne en palier et alignement droit dont le parcours correspondrait à un travail mécanique égal à celui effectué dans le parcours de la ligne réelle. Dans ces conditions, le trafic d'une ligne, exprimé en tonnes-kilomètres virtuelles, correspond à la même consommation d'énergie que le trafic en tonnes-kilomètres de la ligne réelle. La consommation de charbon par tonne-kilomètre virtuelle doit donc être sensiblement la même sur toutes les lignes, quel que soit leur profil, si on suppose que le rendement moyen des locomotives, en tant que transformateurs d'énergie, est sensiblement le même quelles que soient les lignes exploitées.

La notion de longueur virtuelle permet donc, dans cette hypothèse, de prédéterminer la consommation de charbon d'une ligne donnée. L'approximation obtenue semble être de l'ordre de 10 $^0/_{00}$.

La consommation d'énergie d'un train circulant le long d'une ligne de profil donné peut d'ailleurs être calculée avec une exactitude aussi grande que l'on veut quand on se donne les lois de variation avec la vitesse de l'effort de traction et de la résistance due à l'air et au roulement.

On doit résoudre le système d'équations suivant :

$$\begin{cases} \text{(1)} \quad M' \dfrac{dv}{dt} = F_1(v) - F_3(v) - F_3(S) \\ \text{(2)} \quad v = \dfrac{ds}{dt}, \\ \text{(3)} \quad v\, F_1(v) = \dfrac{dE}{dt}, \end{cases}$$

dans lesquelles :

M' représente la masse apparente du train en tenant compte de l'inertie des pièces ayant un mouvement de rotation.

v, la vitesse,
S, l'espace,
E, l'énergie,
$F_1(v)$, l'effort de traction,
$F_2(v)$, la résistance au roulement,
$F_3(S)$, la résistance locale due aux pentes, rampes ou courbes.

En éliminant $F_1(v)$ entre les équations (1) et (3), on obtient :

$$M' v \frac{dv}{dt} = \frac{dE}{dt} - v F_2(v) - v F_3(S)$$

ou $$E = \frac{1}{2} M' v^2 + \int_o^t \left[F_2(v) + F_3(s)\right] v\, dt = \frac{1}{2} M' v^2 + \int_o^S R(v,S)\, ds.$$

La longueur virtuelle L étant, par définition, donnée par la relation :

$$E = \frac{1}{2} M' v_1^2 + \int_o^L R(v)\, dS$$

(en appelant R (v) la résistance due à l'air et au roulement en palier et alignement droit), on devra avoir :

$$\frac{1}{2}\,M'\,v^2 + \int^S R\,(v,S)\,ds = \frac{1}{2}\,M'\,v_1^{\,2} + \int_o^L R\,(v)\,dS$$

En appelant r une valeur moyenne de la résistance telle que :

$$\int^S R\,(v)\,ds = rL,$$

nous pourrons écrire :

$$(4) \qquad \frac{1}{2}\,M'\,v^2 + \int_o^S R\,(v,S)\,ds = \frac{1}{2}\,M'\,v_1^{\,2} + rL.$$

Cette équation (4) donne la longueur virtuelle L répondant à la définition donnée précédemment. On se rend compte que cette définition fait dépendre la longueur virtuelle, non seulement du profil de la ligne, mais encore de la composition et de la vitesse des trains, de la fréquence des arrêts, de la température, du vent, etc.. Pour que la longueur virtuelle soit une quantité définie géométriquement par le seul profil de la ligne, il faut faire un certain nombre d'hypothèses simplificatrices qui constituent la base même de la méthode dite des longueurs virtuelles.

Nous admettrons :

1° — Que la résistance r est la même quelle que soit la ligne considérée ;

2° — Que la fonction R (v,S) dépend uniquement de la distance S et qu'elle se réduit à r en palier et alignement droit ;

3° — Que les vitesses v et v_1 sont égales,

L'équation (4) devient alors :

$$(5) \qquad \int^S R\,(S)\,dS = rL$$

Le calcul de L, longueur virtuelle se réduit donc au calcul de l'intégrale $\int_o^S R\,(S)\,ds$ qui s'effectue aisément en remarquant que :

$$\int_o^S R\,(S)\,ds = -E_p + E_r + E_c + rS$$

E_p travail effectué par la pesanteur pendant la descente des pentes,

E_r travail effectué par la pesanteur pendant la montée des rampes,

E_c travail effectué pendant le passage en courbes par les frottements accidentels,

finalement :

$$(6) \qquad L = S + \frac{-E_p + E_r + E_c}{r}$$

Cette formule définit une longueur virtuelle théorique qui ne tient pas compte des conditions pratiques de fonctionnement des locomotives électriques et à vapeur. Si on essaie de préciser les valeurs E_p E_r E_c, on est amené à envisager trois sortes de longueurs virtuelles correspondant aux trois cas suivants :

1° — traction à vapeur ;

2° — traction électrique sans récupération ;

3° — traction électrique avec récupération.

On peut alors écrire, en distinguant pour chaque sens de marche les pentes des rampes (indices i et j) et pour chaque nature de déclivité, celles qui sont inférieures à r °/₀₀ (indices ′ et ″) :

Traction à vapeur :

$$\overrightarrow{L} = S + \frac{\Sigma \lambda' i' + \Sigma \lambda'' i'' - (r - 1) \Sigma \mu'' - \Sigma \mu' j'}{r} + \frac{\Sigma \frac{800\ l}{\rho}}{r}$$

$$\overleftarrow{L} = S + \frac{\Sigma \mu' j' + \Sigma \mu'' j'' - (r - 1) \Sigma \lambda'' - \Sigma \lambda' i'}{r} + \frac{\Sigma \frac{800\ l}{\rho}}{r}$$

Traction électrique sans récupération :

$$\overrightarrow{L} = S + \frac{\Sigma \lambda' i' + \Sigma \lambda'' i'' - r \Sigma \mu'' - \Sigma \mu' j'}{r} + \frac{\Sigma \frac{800\ l}{\rho}}{r}$$

$$\overleftarrow{L} = S + \frac{\Sigma \mu' j' + \Sigma \mu'' j'' - r \Sigma \lambda'' - \Sigma \lambda' j'}{r} + \frac{\Sigma \frac{800\ l}{\rho}}{r}$$

Traction électrique avec récupération :

$$\overrightarrow{L} = S + \frac{\Sigma \lambda' i' + \Sigma \lambda'' i'' - \Sigma \mu' j' - \Sigma \mu'' [\eta\eta' j'' + r (1 - \eta\eta')]}{r} + \frac{\Sigma \frac{800\ l}{\rho}}{r}$$

$$\overleftarrow{L} = S + \frac{\Sigma \mu' j' + \Sigma \mu'' j'' - \Sigma \lambda' i' - \Sigma \lambda'' [\eta\eta' i'' + r (1 - \eta\eta')]}{r} + \frac{\Sigma \frac{800\ l}{\rho}}{r}$$

Dans ces deux dernières formules, les symboles η, η' représentent le rendement de la locomotive ; η dans la marche en moteur, η' dans la marche en récupération.

Généralisation de la méthode :

Soit P le poids adhérent des tracteurs.

$(1 + \omega_0)$ P le poids total des tracteurs (locomotive et tender, dans le cas de la traction à vapeur),

ω P, le poids remorqué,

r, la résistance au roulement des essieux-moteurs par tonne remorquée,

kr, la résistance des essieux moteurs par tonne de charge.

La résistance au roulement sera :

locomotive	k Pr + ω_0 Pr,
charge remorquée	ω Pr,
charge totale	Pr $(k\ r + \omega_0 + \omega)$.

La résistance moyenne par tonne de charge totale sera :

$$r'' = \frac{Pr\ (k + \omega_0 + \omega)}{P\ (1 + \omega_0 + \omega)} = r\ \frac{k + \omega_0 + \omega}{1 + \omega_0 + \omega}.$$

La résistance moyenne par tonne de charge remorquée sera :

$$r' = Pr\ \frac{(k + \omega_0 + \omega)}{P\ \omega} = r\ (1 + \frac{k + \omega_0}{\omega}).$$

Supposons maintenant qu'un train de composition donnée circule sur une ligne en palier et alignement droit et sur une ligne de profil donné.

Si L est la longueur virtuelle, on aura : (1)

$$\frac{1}{2}\left(1{,}4\ \frac{P}{g} + 1{,}10\ (\omega_0 + \omega)\ \frac{P}{g}\right) v^2 + (k\ r\ P + (\omega_0 + \omega)\ P\ r)\ L =$$

$$\frac{1}{2}\left(1{,}4\ \frac{P}{g} + 1{,}10\ (\omega_0 + \omega)\ \frac{P}{g}\right) v^2 + (k\ r\ P + (\omega_0 + \omega)\ P\ r)\ S +$$

$$P\ (1 + \omega_0 + \omega)\ [\Sigma\ \lambda'\ i' + \Sigma\ \lambda''\ i'' - \Sigma\ \mu'\ j' - \Sigma\ \chi\ \mu'']$$

$$+ P\ (1 + \omega_0).\ \Sigma\ \frac{800\ k'\ l}{\rho} + P\ \omega\ \Sigma\ \frac{800\ l}{\rho}$$

$$\text{d'où } L = S + \frac{1 + \omega_0 + \omega}{k + \omega_0 + \omega}\left[\frac{\Sigma\ \lambda'\ i' + \Sigma\ \lambda''\ i'' - \Sigma\ \mu'\ j' - \Sigma\ \chi\ \mu''}{r}\right]$$

$$+ \Sigma\ \frac{800\ l}{\rho}\left[\frac{k' + \omega_0\ k' + \omega}{r\ (k + \omega_0 + \omega}\right]$$

Ayant la longueur virtuelle, pour en déduire la consommation d'énergie, il faudra multiplier L par la résistance moyenne du train :

$$P\ (k + \omega_0 + \omega)\ r$$

qui, si tout est rapporté au tonnage remorqué ω P, correspondra à une résistance moyenne r' telle que :

$$P\ \omega\ r' = Pr\ (k + \omega_0 + \omega)$$

$$r' = r\left(1 + \frac{\omega_0 + k}{\omega}\right)$$

Valeurs de k déduites des expériences :

Locomotives à 2 ou 3 essieux. — *Locomotive Pacific* :

Poids adhérent..... P = 54 *t*
Poids de la locomotive..... 90 *t* } 130 *t*
Poids du tender..... 40 *t* }

$$1 + \omega_0 = \frac{130}{54} = 2{,}4$$

Résistance à 70 km

locomotive.....	90 × 11,5 =	1.035
tender.....	40 × 4,4 =	270
		1.205
par tonne de poids adhérent.....		22

$$k = \frac{22}{4{,}4} = 5$$

(1) En supposant que la masse d'inertie dépasse la masse poids de 40 % pour les tracteurs et de 10 % pour les remorques.

Locomotives à 4 essieux. — *Locomotive Mikado :*

Poids adhérent.....P = 68 *t*
Poids de la locomotive ..... 90 *t* } 130 *t*
Poids du tender..... 40 *t* }

$$1 + \omega_0 = \frac{130}{68} = 1{,}9$$

Résistance à 55 km :

locomotive.....	90 × 17,2 =	1.548
tender.....	40 × 3,5 =	140
		1.688
par tonne de poids adhérent...	$\frac{1.688}{68}$ =	25

$$k = \frac{25}{3{,}5} = 7$$

Locomotives à 5 essieux. — *Locomotive ten wheels ;*

$$kr = 24 \qquad k = \frac{24}{3} = 8$$
$$r = 3$$

Valeur approximative moyenne de $\frac{r'}{r} = 1 + \frac{\omega_0 + k}{\omega}$

Voyageurs : $\omega_0 = 1{,}5$
$k = 4$

ω P = 300 *t* env. $\qquad \omega = \frac{300}{54} = 5.5$

$$\frac{r'}{r} = 1 + \frac{1{,}5 + 4}{5{,}5} \qquad \text{pour } r = 4{,}5 \qquad r' = 9$$

Marchandises (montagne) :

$\omega_0 = 0{,}5$
$k = 8$

ω P = 650 *t* $\qquad \omega = \frac{650}{72} = 9$

$$\frac{r'}{r} = 1 + \frac{0{,}5 + 8}{9} = 2, \text{ pour } r = 3 \qquad r' = 6$$

Remarque. — Pour les charges moyennes de train employées aux États-Unis, de 2.000 à 6.000 *t* suivant les réseaux et les lignes, les valeurs de $\frac{r'}{r}$ sont beaucoup plus faibles.

Calcul de la charge limite correspondant à une pente fondamentale i_f. — La charge remorquée ω P dépend de la pente fondamentale i_f de la ligne considérée et non du profil proprement dit, la pente fondamentale d'une ligne étant celle qui est trop longue pour être franchie par élan. Dans le cas des fortes rampes, en appelant γ l'accélération minimum que l'on doit pouvoir imprimer au train pour démarrer, on devra avoir, si f désigne le coefficient d'adhérence du train :

$$1.000\ \mathrm{P}f \geqslant \underbrace{\left[1{,}20\ \frac{1.000\ \mathrm{P}}{g} + 1{,}10\ (\omega_0 + \omega)\ \frac{1.000\ \mathrm{P}}{g}\right]\gamma}_{\text{effort d'accélération}} + \underbrace{kr\mathrm{P} + (\omega_0 + \omega)\ \mathrm{P}r}_{\text{effort résistant (air + roulement)}} \ldots\ldots$$

$$\ldots\ldots + \underbrace{(1 + \omega_0 + \omega)\ \mathrm{P}i_f}_{\text{effort dû à la pesanteur}}$$

Le coefficient ω qui correspond à la charge limite remorquable pratiquement sur une ligne de pente i_f est donc :

$$\omega = \frac{1.000\,f - \frac{1.000\,\gamma}{g}\,(1{,}20 + 1{,}10\,\omega_0) - r\,(k + \omega_0) - i_f\,(1 + \omega_0)}{i_f + r + \frac{1.100\,\gamma}{g}}$$

Inversement, si on exprime i_f en fonction de ω on aura :

$$i_f = \frac{1.000\,f - \frac{1.000\,\gamma}{g}\,(1{,}20 + 1{,}10\,\omega_0) - r\,(k + \omega_0)}{1 + \omega_0} - \frac{\omega\left(r + \frac{1.100\,\gamma}{g}\right)}{\omega}$$

Pente limite. — La pente limite est celle pour laquelle la locomotive ne peut rien remorquer et qui correspond à $\omega = 0$.

Nous appellerons cette limite i_0 ; elle sera définie par l'équation :

$$i_0 = \frac{1.000\,f - \frac{1.000\,\gamma}{g}\,(1{,}20 + 1{,}10\,\omega_0) - r\,(k + \omega_0)}{1 + \omega_0}$$

Les coefficients 1,20 et 1,10 représentent les augmentations d'inertie dues aux pièces animées de mouvement de rotation. Avec la traction électrique, il faudrait prendre 1,40 et 1,10, l'inertie des moteurs électriques étant beaucoup plus grande que celle des contrepoids, bielles et pistons des machines à vapeur.

La valeur de i_0 est approximativement de 60 ‰ ; elle est fournie par l'équation quand on y fait :

$$\frac{1000\,\gamma}{g} = 6$$

$$\omega_0 = 0{,}6$$

$$r = 3$$

$$k = 8$$

$$1000\,f = 1000 \times \frac{1}{7{,}5} = 133$$

Variation des dépenses de combustibles ou des dépenses d'exploitation en général avec la pente. — Quelle que soit la nature de dépense considérée, on pourra admettre qu'elle sera la même que celle que l'on trouverait en palier, mais elle sera rapportée à un tonnage remorqué plus faible, c'est-à-dire que la dépense par train-kilomètre serait sensiblement la même (à vitesse égale) que celle réalisée en palier, mais la dépense par tonne-kilomètre remorquée sera beaucoup plus grande.

Ceci revient à dire que les dépenses par tonne-kilomètre remorquée varieront comme le rapport de poids total du train au poids remorquée :

$$\frac{\omega + \omega_o + k}{\omega}$$

$$1 + \frac{\omega_o + k}{\omega} = \frac{(1 + \omega_o)(i_o - i_f) + (\omega_o + k)(i_f + r + \frac{1100\ \gamma}{g})}{(1 + \omega_o)\, i_o - i_f)}$$

$$= \frac{i_f (k - 1) + i_o (1 + \omega_o) + (\omega_o + k)(r + \frac{1100\ \gamma}{g})}{(1 + \omega_o)(i_o - i_f)}$$

c'est-à-dire en remplaçant les symboles par les nombres :

$$\left.\begin{array}{rcl} \frac{1000\ \gamma}{g} & = & 6 \\ \omega_o & = & 0{,}6 \\ r & = & 3 \\ k & = & 8 \\ i_o & = & 60 \end{array}\right\} \qquad \frac{i_f + 7 + 60 \times 1{,}6 + 8{,}6 \times 9}{1{,}6\,(60 - i_f)} = 108 \times \frac{1 + 0{,}04\ i_f}{60 - i_f}$$

Comparaison avec la dépense en palier. — Une ligne pratiquement en palier a une pente fondamentale d'environ 2,5 °/₀₀. Le rapport $1 + \frac{\omega_o + k}{\omega}$ a, pour la ligne en palier, une certaine valeur telle que :

$$108 \times \frac{1{,}1}{57{,}5} = 2{,}02$$

La courbe représentant le rapport des dépenses en palier et en pente aura donc comme équation approximative :

$$\rho = 52{,}3\, \frac{1 + 0{,}04\ i}{60 - i}$$

pour $i = 2{,}5$ $\quad \rho = 1$

(à suivre).

ÉLECTRIFICATION PARTIELLE DU RÉSEAU DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS

Par M. PARODI,

INGÉNIEUR EN CHEF-ADJOINT DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION
DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS.

[Suite] (1).

Production de l'énergie.

L'énergie électrique nécessaire à l'alimentation des lignes que la Compagnie d'Orléans se propose d'électrifier en première étape sera fournie par deux groupes d'usines distincts :

Pour la section de Paris à Châteauroux, par les centrales thermiques de l'*Union d'Electricité* (Gennevilliers, Vitry, etc.) et par la centrale hydraulique de la *Société Union Hydro-Electrique* (Eguzon sur la Creuse) ;

Pour le reste des lignes, par les centrales hydrauliques que la Compagnie d'Orléans aménage dans le Massif Central (Coindre sur les deux Rhue, la Cellette sur le Chavanon, Vernéjoux sur la Dordogne). La carte ci-après (Fig. 1) précise la situation géographique des usines en question.

Les caractéristiques de ces différentes centrales hydrauliques sont résumées dans le tableau ci-dessous :

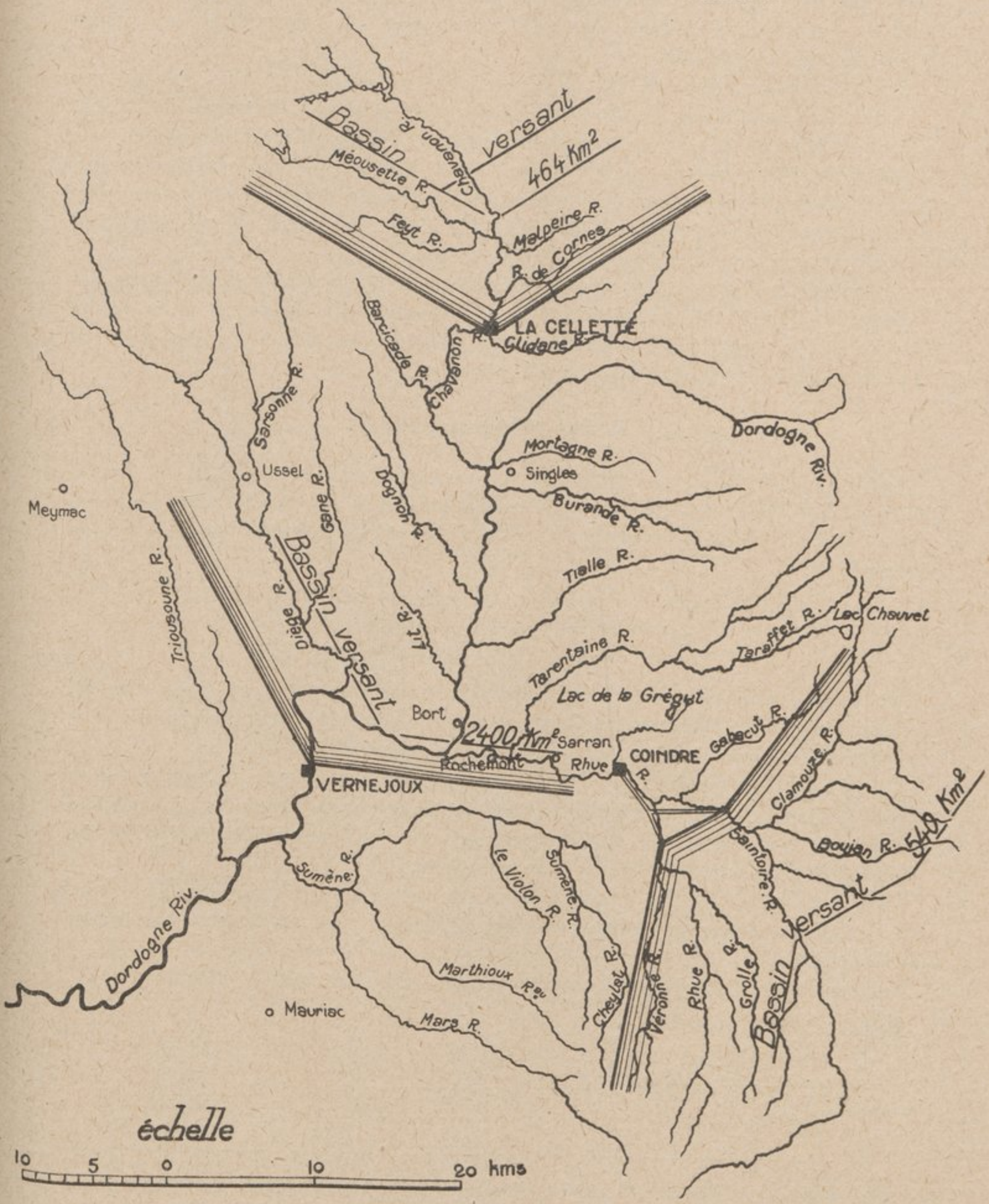
	HAUTEUR de chute en mètres	BASSIN versant en km^2	DÉBITS moyen annuel en m^3 par seconde (période 1912-1921)	PRODUCTION moyenne annuelle en millions de kwh (1912-1921)	PUISSANCE approximative installée en kilowatts
	m	km^2	m^3	mil.	kw
Eguzon	58	2.400	35,2	120	50.000
Coindre	120	540	14,5	104	25.000
La Cellette	42 à 80	464	12,2	48	25.000
Vernéjoux (Marèges)	60	2.400	63,2	227	60.000

Les travaux d'installation sont commencés pour trois de ces usines et il est probable qu'entre 1926 et 1927 nous disposerons des centrales d'Eguzon et de Coindre (2).

(1) Voir *Revue Générale*, N° de Novembre 1925, p. 361.

(2) Nous ne donnerons ici de description détaillée que des Usines d'Eguzon et de Coindre, seules usines pour lesquelles tous les marchés ont été passés pour l'exécution des travaux.

Fig. 1. — Bassins de la Dordogne, de la Rhue et du Chavanon.



L'aménagement de l'usine d'Eguzon et son exploitation en parallèle avec les usines thermiques de la région parisienne, ont été étudiés de manière que tout se passe comme si la Centrale hydraulique constituait, pour la supercentrale de Gennevilliers, un groupe supplémentaire de 40.000 k*w*.

Étant donnée l'irrégularité du débit de la Creuse, il ne pouvait être question d'alimenter nos installations de traction avec la seule usine d'Eguzon. C'est pourquoi la Compagnie d'Orléans et l'Union d'Électricité ont fondé en commun la Société Union Hydro-Électrique en vue d'exploiter également en commun, la centrale d'Eguzon et les centrales de la région parisienne. L'interconnexion de ces usines permettra aux centrales thermiques de réduire leur consommation de combustible, tout en assurant à l'Union Hydro-Électrique, dès l'origine de son exploitation, l'utilisation intégrale de l'énergie disponible dans la Creuse.

Les études d'aménagement des usines hydrauliques, concédées à la Compagnie d'Orléans par le décret du 11 Mars 1921, sont faites par le Service spécial d'aménagement de la Haute-Dordogne, en collaboration étroite avec le Service Électrique de la Compagnie d'Orléans, sous la direction générale du Comité de la Haute-Dordogne.

Usine d'Eguzon.

Conditions hydrologiques. — Cette usine (1) est située sur la Creuse à 1.200 *m* environ en amont du Pont des Piles, non loin du canton d'Eguzon. Ainsi placée, elle utilise un bassin versant de 2.400 km^2 auquel correspondent, d'après les relevés hydrométriques effectués de 1912 à 1921 :

un débit moyen de 35,2 m^3-sec. en année moyenne (1917 à 1921)
— — 25,35 — en année sèche (1918),
— — 10,09 — en année très sèche (1921).

Cependant, ainsi que le montre le diagramme représentatif d'une année moyenne (Fig. 2), l'irrégularité du débit de la Creuse ne pourrait permettre de subordonner l'alimentation des installations de traction dans la section intéressée, à la seule usine d'Eguzon.

Celle-ci a donc été étudiée en vue de son interconnexion aux centrales thermiques de la région parisienne, avec le double avantage d'utiliser intégralement les disponibilités hydrauliques de la rivière et de contribuer normalement à l'économie de combustible des stations thermiques appelées à fournir un secours éventuel.

Par ailleurs, a été prévue, à l'amont de l'Usine, une réserve d'eau d'environ 50 millions de m^3, par la création d'un barrage curviligne de 60 *m* de hauteur dont on trouvera ci-après les données essentielles.

Finalement, les caractéristiques hydro-électriques de cette usine, sont les suivantes :

Hauteur de chute, en mètres :

	m
Réservoir plein	58,40
A la base de la tranche d'eau utile	50,70
Moyenne	56,00

(1) Une description détaillée de cette usine a été publiée par M. Laporte, Directeur de l'Union Hydro-Electrique dans la *Revue Industrielle* (numéros de Janvier, Mars, Mai, Juin et Août 1925).

Puissance brute en k*w* (rend. global 70 %) :

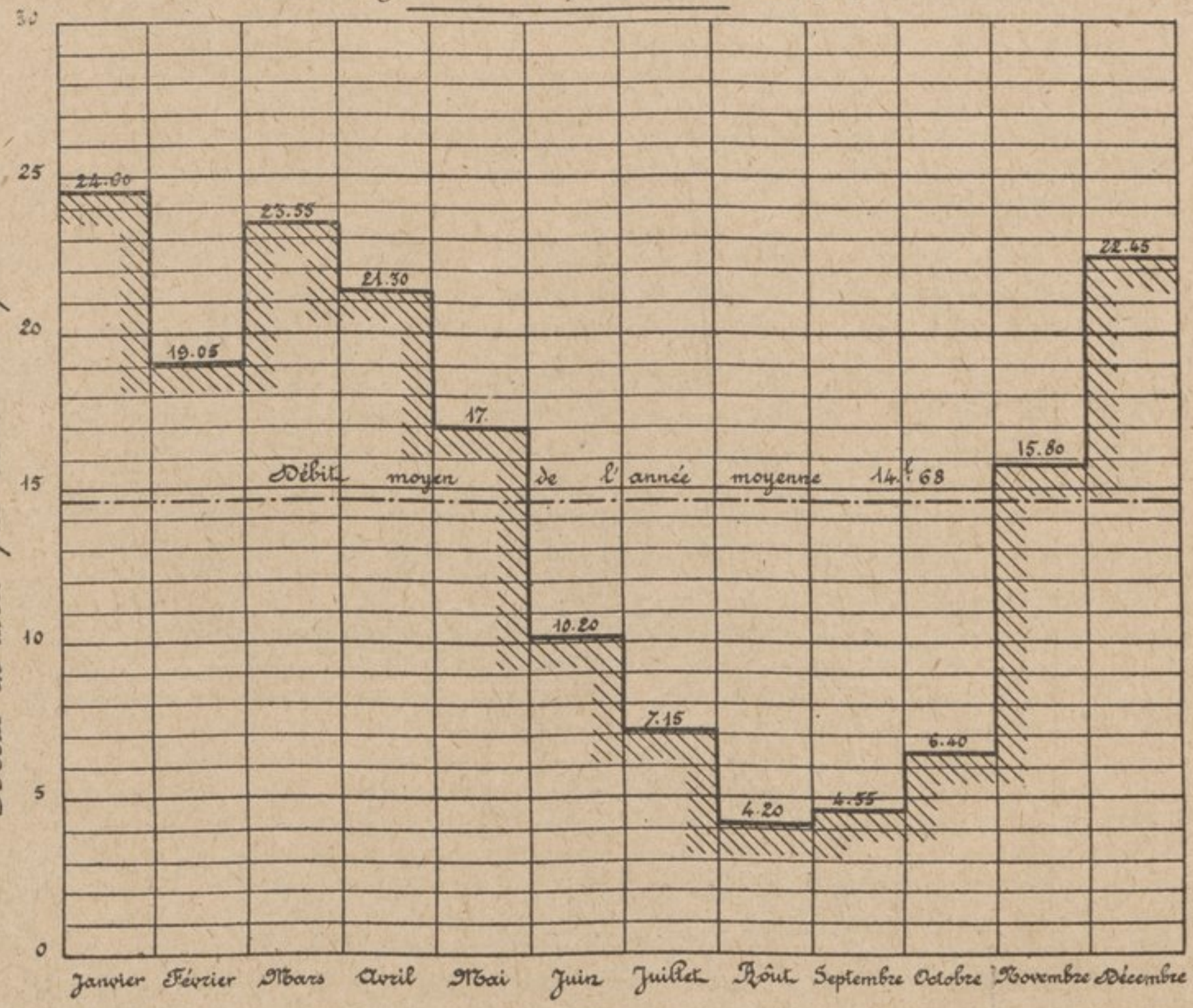
Année moyenne 1912-1921	13.600
— sèche 1918	9.760
— très sèche 1921	3.880

Energie totale brute (k*wh*) :

Année moyenne 1912-1921	120.10^6
— sèche 1918	$85{,}5.10^6$
— très sèche 1921	44.10^6

Dispositions générales de l'usine. — L'usine est disposée au pied du barrage que nous venons de mentionner, sa grande dimension orientée parallèlement à la corde de l'ouvrage, ses pignons reposant sur le sol ferme des deux rives. Ses dimensions lui permettent de recevoir

Fig. 2. — La Creuse au pont du Chambon (5 k*m* à l'amont d'Éguzon), Bassin versant 2.400 km^2,
Courbe représentative des débits moyens mensuels
en litres par seconde et par kilomètre carré de bassin versant.



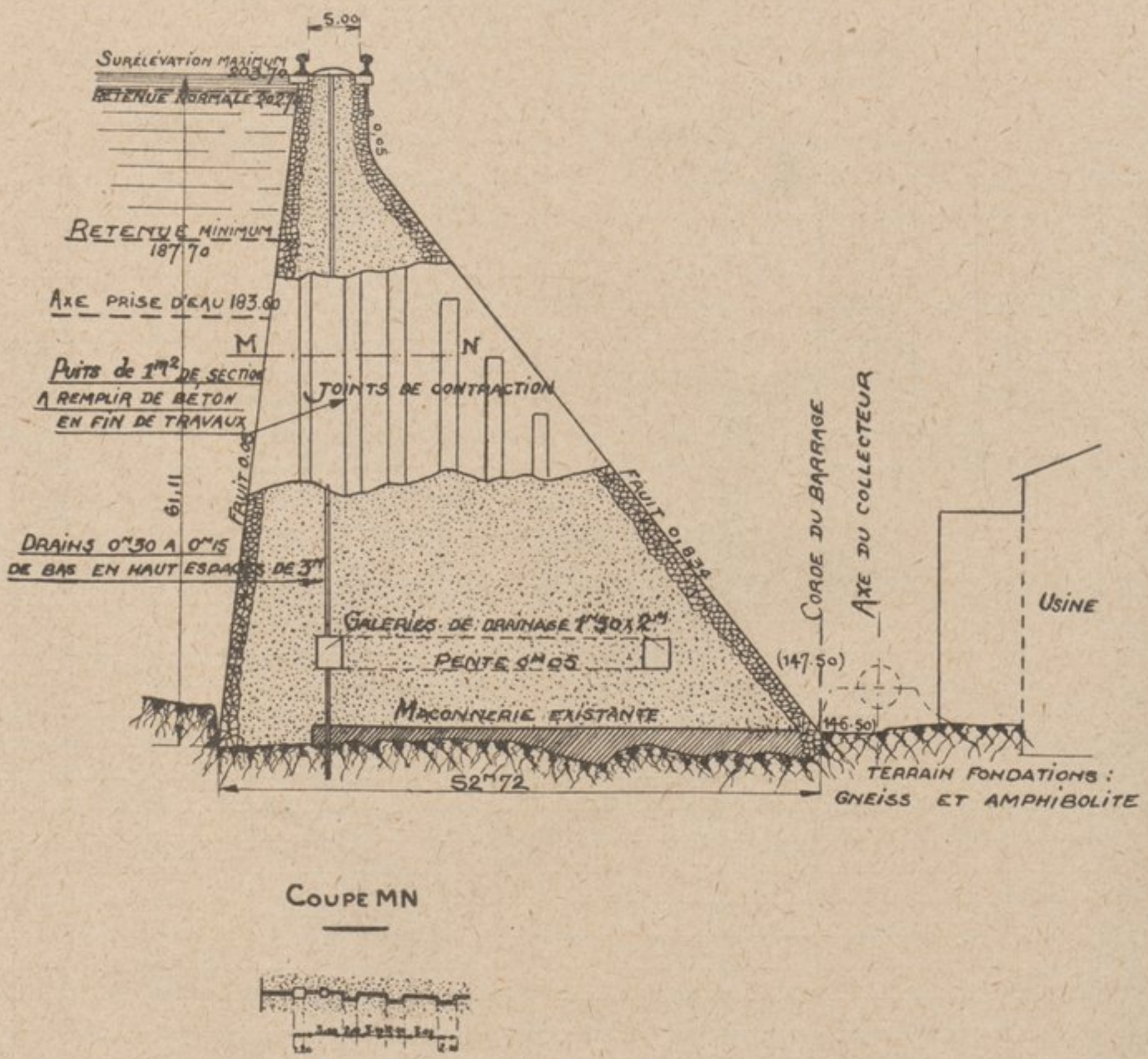
six groupes hydro-électriques verticaux de 15.000 *ch*, alimentés par un système de conduites forcées formé, en principal, de deux collecteurs symétriques traversant le barrage.

Un bâtiment jointif, accolé sur la grande dimension de l'usine, est réservé à l'appareillage électrique de commande et de contrôle ainsi qu'aux services annexes de l'exploitation, à l'exclusion cependant des appareils élévateurs de tension de l'énergie, qui sont groupés en un poste extérieur situé sur la crête rive droite, à environ 300 *m* de l'usine.

Barrage. — Ainsi qu'il a été dit, le barrage retient environ 50 millions de m^3 d'eau parmi lesquels un volume utile de 30 millions de m^3 représentant 2,14 millions de *kwh*.

Cet ouvrage, du type gravité, non déversant, présente un profil sensiblement triangulaire de 61 *m*, 11 de hauteur au-dessus des fondations, et de 52 *m*, 72 d'épaisseur à la base. Il est développé en arc au rayon de 250 *m* en sorte que sa longueur est de 355 *m* en crête et de 80 *m* à la base (Fig. 3 et 4).

Fig. 3. — Barrage d'Eguzon (Coupe transversale).



Coupe MN

Sa structure est formée d'un béton cyclopéen composé de blocs de pierre et de moellons noyés dans un béton de ciment de laitier, au dosage de 3 parties de pierres cassées pour

2 parties de mortier à 350 kg de ciment de laitier. Elle est revêtue, sur les parements, d'une maçonnerie hourdée, au mortier de ciment de laitier. Le parement amont est, en outre, recouvert d'un enduit de 0,04 d'épaisseur.

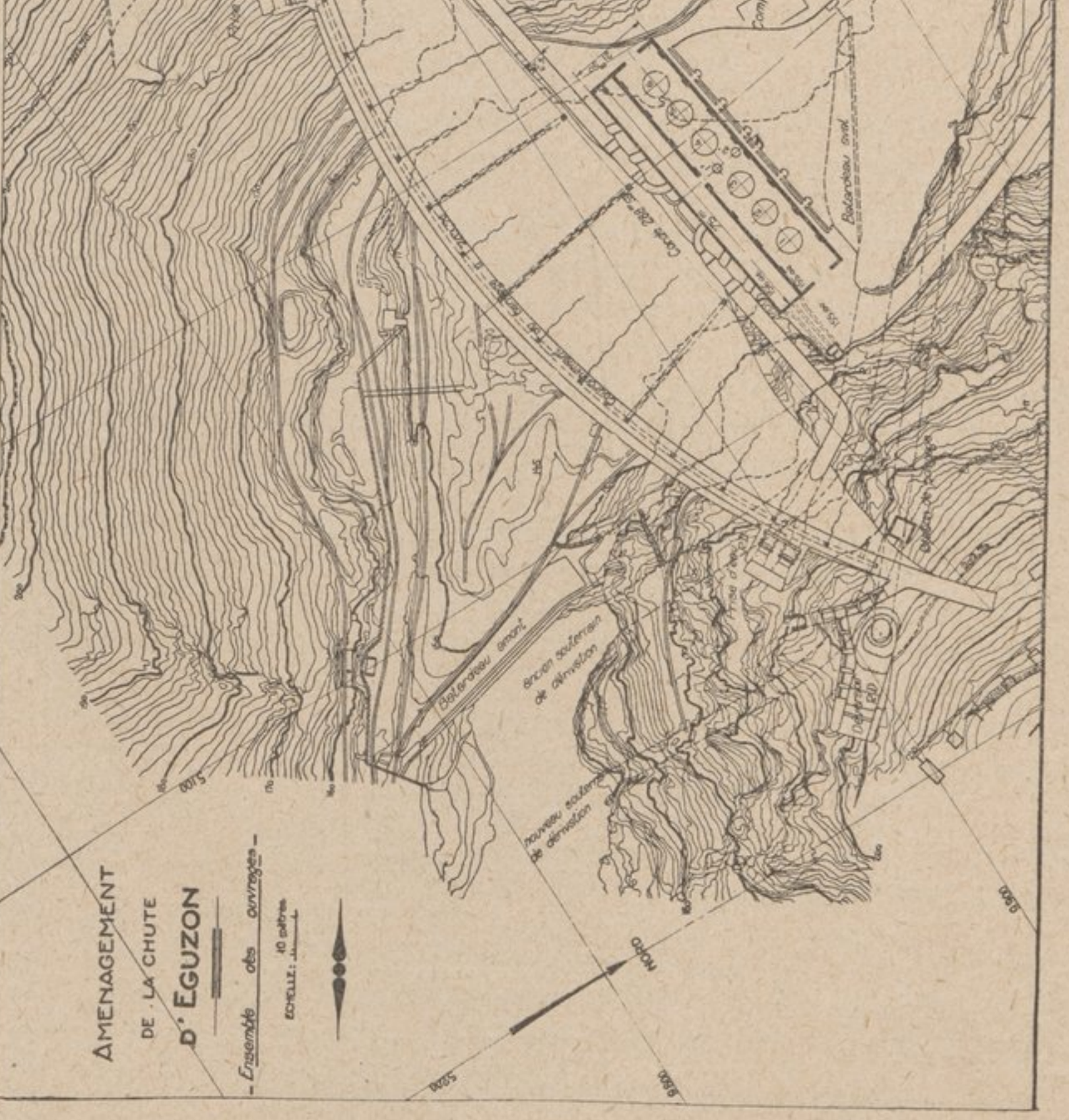


Fig. 4.

Afin d'éviter les fissures pouvant résulter de l'élévation de température occasionnée par la prise du mortier pendant la construction, des joints de contraction ont été prévus, divisant l'ouvrage en tranches complètement distinctes. A proximité immédiate de la paroi amont, une feuille de métal noyée entre les deux blocs voisins et enrobée de béton, assure l'étanchéité de chaque joint. On prévoit que, lorsqu'après quelques années, la température du corps du barrage sera descendue à la normale, les vides de $1\,m \times 1\,m$, ménagés au voisinage de la face amont (Fig. 3, coupe MN), pourront être remplis de béton, afin d'aveugler les joints devenus sans effet utile.

De même, pour éviter la circulation, dans les maçonneries, de l'eau sous pression qui pourrait provenir d'infiltrations à travers l'enduit de la paroi amont, des drains de $0\,m,30$ distants de $3\,m$ ont été prévus au voisinage de cette paroi. Ces drains aboutissent à une galerie longitudinale de drainage établie aussi près que possible du sol de fondation et déversant les eaux d'écoulement dans le bief aval, à travers trois galeries transversales servant à la fois au drainage de la base du barrage.

Ouvrages d'évacuation des crues. — Les ouvrages d'évacuation des crues comprennent: un dèversoir rive droite et un déversoir rive gauche (Fig. 4).

Le déversoir rive droite comporte une vanne automatique de $7\,m,50$ de largeur et de $103\,m^3$-sec. de débit et un déversoir de superficie composé de 8 pertuis de $3\,m$, capable d'écouler $115\,m^3$ par seconde. Les eaux provenant de ces deux ouvrages, sont captées par un puits incliné de $5\,m$ de diamètre et de $46\,m$ de profondeur, débouchant dans une galerie souterraine de $80\,m$ de longueur restituant les eaux dans le bief inférieur à environ $35\,m$ à l'aval de l'usine.

Le puits dont il vient d'être parlé reçoit en outre les eaux d'écoulement d'une galerie ayant servi de dérivation provisoire pendant la période de construction, et dont l'orifice normalement fermé débouche dans le bief d'amont.

Le déversoir rive gauche comprend quatre vannes de $7\,m.50$ d'ouverture et un déversoir latéral de $25\,m$ de longueur, établi dans la paroi côté rivière, du canal d'amenée aux vannes. Quant à celles-ci, trois d'entre elles sont du genre Stoney, à manœuvre à main et électrique; la quatrième est automatique. L'ensemble de ces quatres vannes est capable d'un débit de $970\,m^3$-sec.

Le déversoir latéral présente les mèmes caractéristiques que l'ouvrage similaire construit sur la rive droite. Il présente, par suite, un débit de $115\,m^3$-sec. susceptible d'atteindre $214\,m^3$ par surélévation du plan d'eau de un mètre.

En résumé, la capacité d'écoulement de l'ensemble des ouvrages d'évacuation se compose comme suit :

	m^3-sec.	
Ouvrages d'évacuation R. D. :		
Débit par la vanne automatique	103	
» le déversoir de superficie	115	
» la vidange dans le puits	90	
Débit total par déversoir R. D.	300	300
Ouvrages d'évacuation R. G. :		
Débit par les trois vannes Stoney	728	
» la vanne automatique	242	
» le dévers. de superficie	115	
Débit total par déversoir R. G.	1.085	1.085
Capacité totale des ouvrages d'évacuation		1.385

Ce chiffre s'accuse supérieur de plus de 50 % au débit de 900 m^3-sec. indiqué par le Service des Forces Hydrauliques, pour la crue maxima dans la région considérée.

Prises d'eau. — Le volume d'eau susceptible d'être utilisé, pouvant atteindre 100 m^3-sec. on a prévu deux prises d'eau identiques et symétriquement disposées de chaque côté du barrage (Fig. 4).

Chaque prise comporte une tour percée d'ouvertures avec grilles et divisée en son milieu par une pile à batardeau. L'entonnoir de prise formant orifice supérieur de chacune des collectrices, présente sa génératrice supérieure à 15 m au-dessous du plan d'eau normal de la retenue, de manière à réserver un volume d'eau utile de 30 millions de m^3.

Enfin, chacune des collectrices peut être isolée du réservoir au moyen d'une vanne établie contre le parement amont du barrage et manœuvrable à partir de la plateforme supérieure.

Conduites forcées. — Ainsi qu'il a été dit, le système des conduites forcées comprend deux collectrices symétriques de 4 m,20 de diamètre sur l'extrémité inférieure desquelles sont également répartis les branchements des six turbines à alimenter (Fig. 4). A cet effet, chacune d'elles est prolongée par un tronc de cône ayant comme diamètres de bases 4 m,20 et 3 m,70 et un tronçon de canalisation de 3 m, 70 jusqu'à la seconde turbine, puis par un tronc de cône ayant comme diamètres de bases 3 m, 70 et 3 m, 20 desservant le branchement d'alimentation de la dernière unité. Chacun des branchements présente d'ailleurs un diamètre uniforme de 3 m, 20 sauf celui des unités auxiliaires qui n'est que de 0 m, 70.

Ce système de canalisations est composé de viroles rivées en acier doux S. M. pour chaudières, les rivures longitudinales étant prévues avec double clouure.

Les épaisseurs de métal varient de 10 à 32 mm. Elles ont été calculées pour un travail maximum de 7 kg-mm^2 et une pression intérieure de 150 % de la pression statique maximum (55 m) afin de tenir compte des coups de bélier à provenir des variations brusques de débit, ainsi que de toutes les causes de nature à augmenter la fatigue du métal (flexions, variations de température, vide intérieur, etc...).

Le poids global de l'ensemble des conduites et de leurs accessoires est d'environ 600 tonnes.

Bâtiments de la station. — Ainsi qu'il a été dit, les bâtiments de la station comprennent:

Le bâtiment de la salle des machines, de 75 × 15 m entre nus extérieurs des murs et surmonté d'une couverture à deux versants ;

Le bâtiment de l'appareillage et des bureaux, de 75 × 6 m,50, accolé au précédent et surmonté d'une couverture en terrasse.

Comme l'indiquent les figures 5 à 8, le bâtiment de la salle des machines comporte deux étages : l'un qui constitue l'étage des turbines, des vannes de sectionnement et des régulateurs de pression ; l'autre qui constitue la salle des alternateurs proprement dite.

La disposition des groupes est figurée sur les vues en plan (Fig. 7 et 8). Ainsi qu'on l'observera, les unités principales, disposées dans le plan de symétrie de la salle des machines, présentent une distance interaxiale de 9 m, 50.

L'air de ventilation est aspiré dans la chambre des turbines. A la sortie de chaque alternateur, il peut être refoulé à volonté soit à l'intérieur, dans la galerie des branchements, soit à l'extérieur, à travers le mur de façade aval de l'usine, par le jeu d'une double canalisation transversale disposée au droit de chaque groupe.

Fig. 5. — COUPE TRANSVERSALE DE L'USINE AU DROIT D'UNE TURBINE N. 6

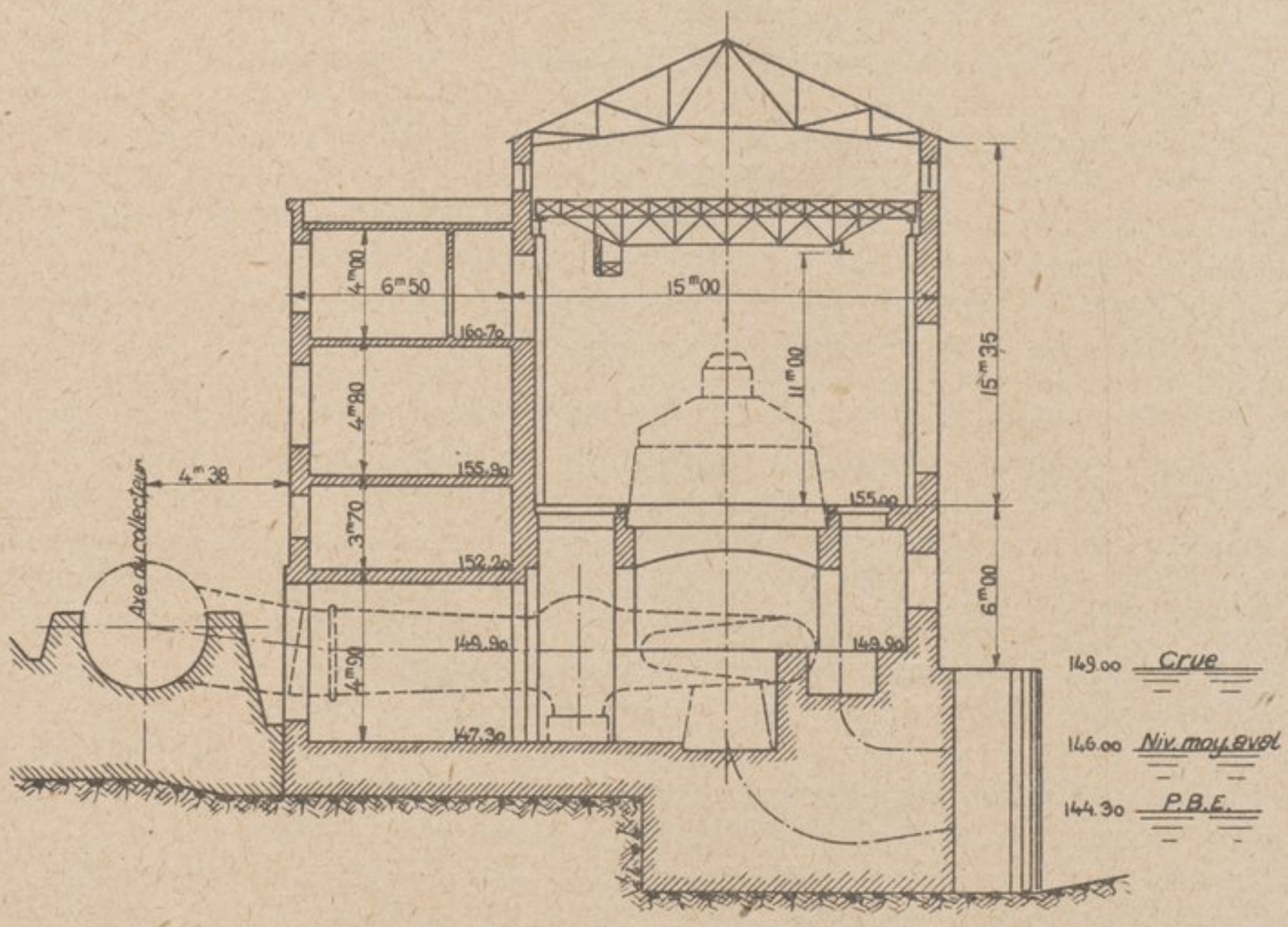
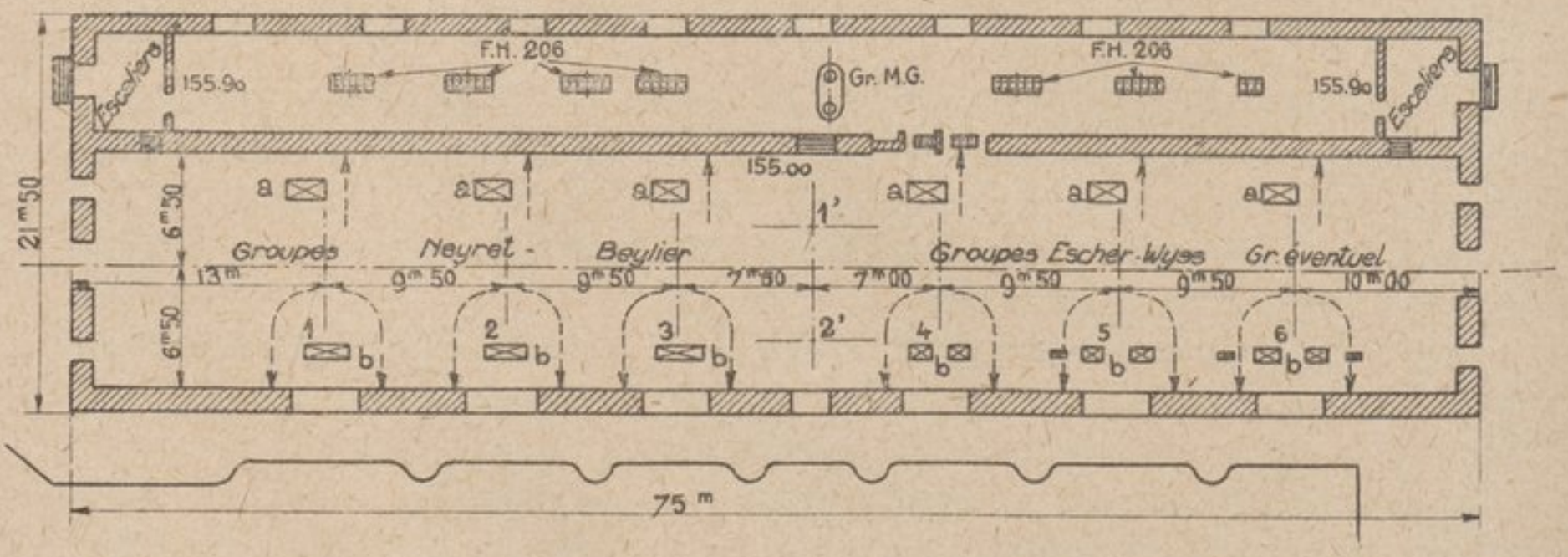


Fig. 6. — COUPE HORIZONTALE DE L'USINE A (155.00).



1, 2, 3 Groupes Neyret Beylier
4, 5 " Escher Wyss
1', 2' " auxiliaires Pelton
a Trappes de dégagement des vannes
b " " " " régulateurs de pression

---► Circuits de refoulement de l'air de ventilation des alternateurs

Fig. 7. — COUPE HORIZONTALE A (156.00).

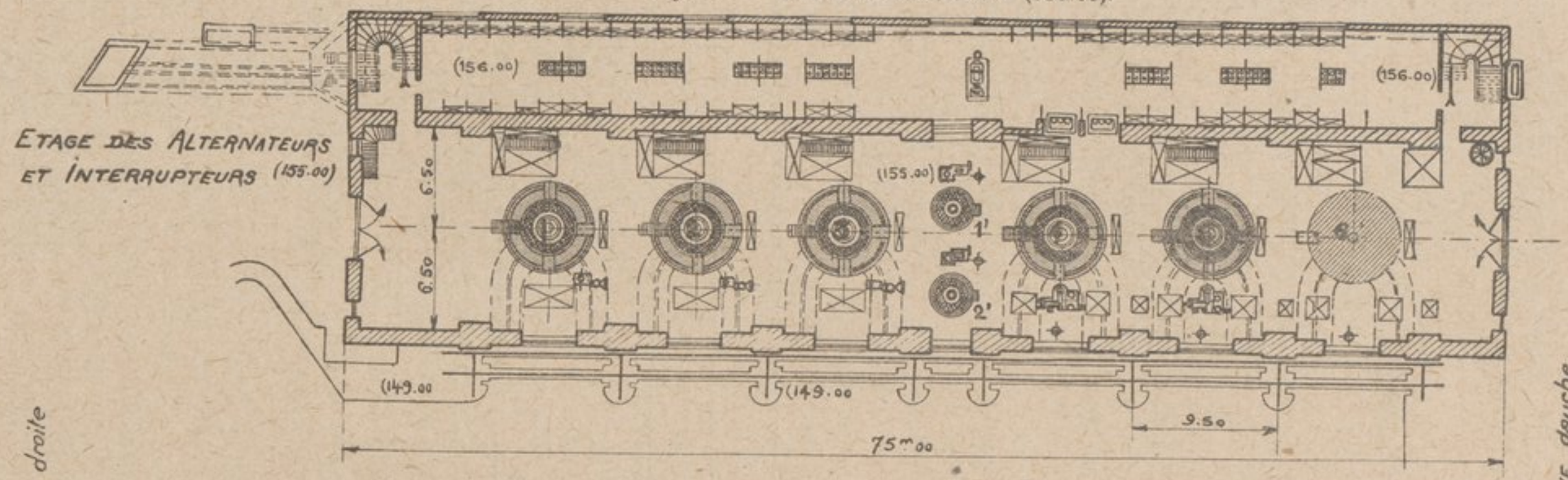
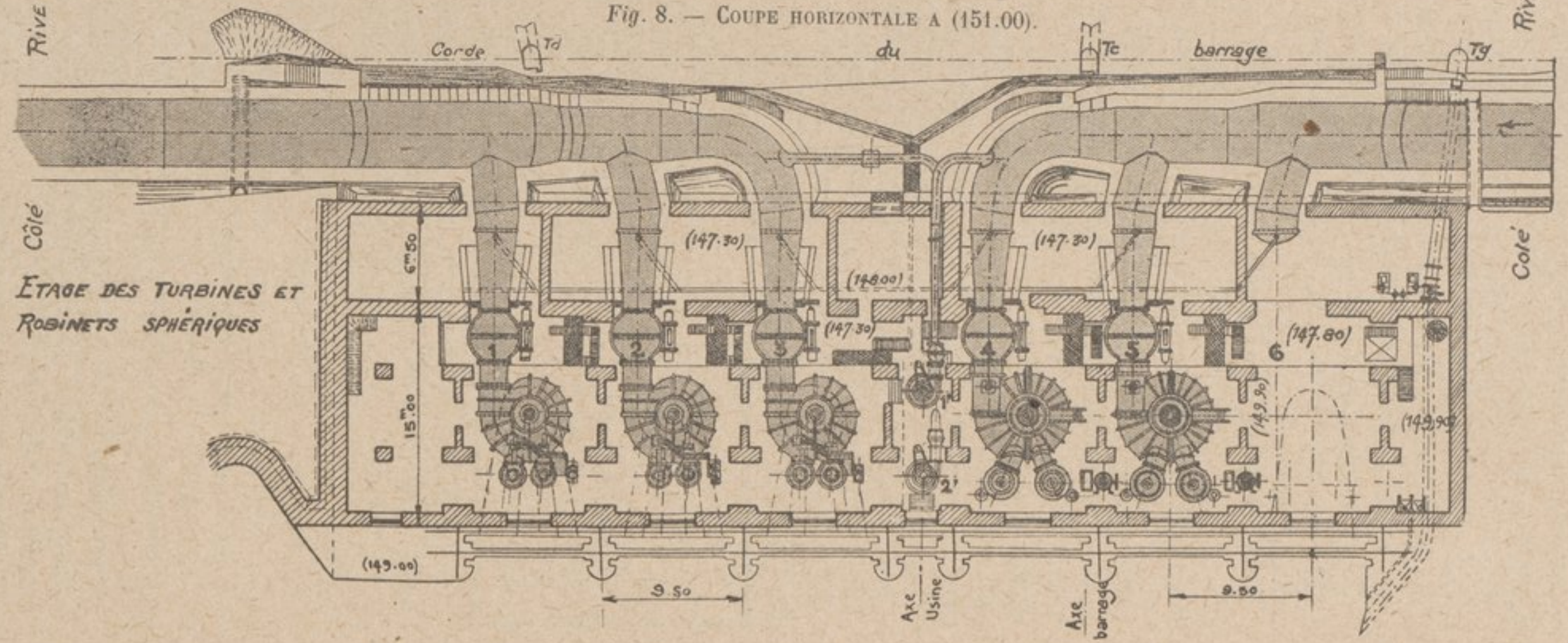


Fig. 8. — COUPE HORIZONTALE A (151.00).



Un pont roulant de 80 *t* avec crochet auxiliaire de 5 *t*, dessert la salle des machines. Des trappes convenablement disposées permettent de l'utiliser à la manutention des vannes et des régulateurs de pression placés à l'étage des chambres de turbines.

Le bâtiment de l'appareillage et des bureaux comporte quatre étages qui se succèdent comme suit :

Un étage inférieur formant galerie de branchement,

Un étage intermédiaire formant galerie des câbles,

Un second étage intermédiaire formant galerie de l'appareillage à 10.000 volts,

Un étage supérieur formant galerie des tableaux de contrôle, des bureaux, des magasins, vestiaires, etc...

Ce dernier étage est en communication visuelle avec la salle des machines, par des baies percées dans le mur mitoyen des deux bâtiments. Il est desservi par un double escalier symétrique prenant pied dans la salle des machines.

Équipement hydraulique. — L'usine est prévue pour recevoir six turbines principales. Cinq d'entre elles seront installées immédiatement. L'exécution en a été confiée aux Etablissements Neyret-Beylier et à la Société Escher-Wyss, dans la proportion de trois pour la première firme, et deux pour la seconde.

Elles seront du type Francis, à roue unique et axe vertical. Leur capacité unitaire, à pleine ouverture, sera de 15.000 *ch* pour une hauteur de 55 *m* et un débit de 25 m^3 sec. Toutefois elles présenteront leur rendement maximum sous la chute de 53 *m*.

Leur vitesse de rotation sera de 250 *t/m* correspondant à une vitesse spécifique de 200 (unités métriques), légèrement supérieure à la moyenne Vœtsh (*Power* 1921).

Par ailleurs, les rendements garantis pour différentes fractions de la charge et sous diverses dénivellations comprises entre 40 et 53 *m* sont les suivants :

Dénivellation.....	53 *m*		50 *m*		45 *m*		40 *m*	
	EWC	ENB	EWC	ENB	EWC	ENB	EWC	ENB
Rendement en % :								
à 4/4 de la charge nominale...	84,0	82,0	83,5	82,0	82,5	81,0	78,0	80,0
3/4 d° ...	85,0	84,0	84,0	84,0	83,0	82,0	77,0	80,5
2/4 d° ...	79,0	80,0	78,0	77,5	77,0	77,5	70,0	74,0

Chacune de ces turbines sera munie de deux régulateurs de pression et d'un régulateur de vitesse à pression d'huile. Les garanties de régulation correspondantes, basées sur un PD^2 total de 600.000 $kg\text{-}m^2$ sont résumées, pour chacun des types de machines, dans le tableau ci-après :

Garanties de régulation fournies par.....	Société Escher-Wyss & Cie	Etablissts Neyret-Beylier
En cas de suppression brusque de la pleine charge :	—	—
Temps de fermeture du régulateur en secondes.....	2	3
Augmentation de vitesse en %.....	8	11
Augmentation de pression en mètres d'eau.....	+ 7	+ 4,5
En cas d'application brusque de la pleine charge :		
Temps d'ouverture du régulateur en secondes.....	6	6
Diminution de vitesse en %.....	31	17
Diminution de pression en mètres d'eau.....	— 11,5	— 4,5

Quant aux particularités de leur construction, on notera que ces turbines seront pourvues : les unes d'une bâche spirale en tôle rivée en deux parties et d'une roue motrice en acier coulé (E.W.C.) ; les autres d'une bâche spirale en fonte en quatre pièces et d'une roue motrice en fonte (E.N.B.).

Par ailleurs, l'arbre est, dans les deux types, en acier carbone S.M. et le palier de suspension, supporté par le croisillon de l'alternateur, du genre Kingsbury. Le tube d'aspiration est en quart de cercle moulé dans le béton, avec naissance en tôle. Toutefois, dans le projet Escher-Wyss, celle-ci est télescopable, permettant d'éviter le démontage de l'alternateur pour dégager la roue motrice de la turbine.

Le sectionnement de chaque unité sera pratiqué, selon le type, au moyen d'une vanne sphérique de 2 *m*,200 (E.W.C.) ou d'un robinet sphérique de 1 *m*,900 (E.N.B.).

Générateurs. — Les cinq générateurs immédiatement installés seront construits par la Compagnie Electro-Mécanique. Ils seront à inducteurs tournants à 24 pôles et développeront une puissance continue triphasée de 12.500 k*va* à cos $\varphi = 0{,}85$, sous la tension de 10.500 volts, en tournant à la vitesse de 250 *t/m*. Leurs excitatrices, montées en bout d'arbre, fourniront, sous 250 volts, une puissance de 125 k*ws* nécessaire à l'excitation d'une seule unité génératrice.

Les rendements garantis pour ces alternateurs sont les suivants :

Charge	4/4	3/4	1/2
Rendements pour cos $\varphi = 1$	96,5	96	94,5
Rendements pour cos $\varphi = 0{,}85$	96,0	95,5	94,0

Quant aux variations de tension, entre la marche à vide et la pleine charge, elles seront de 18 % pour cos $\varphi = 1$ et de 35 % pour cos $\varphi = 0{,}85$.

Ces générateurs seront calculés pour fournir une tension de réactance de 18 %, en sorte que leur courant de court-circuit instantané symétrique sera de 5,5 fois le courant normal.

Par ailleurs, leur courant de court-circuit permament sera de 1,2 fois le courant normal avec l'excitation donnant la tension normale à vide et 2,2 fois ce courant, avec l'excitation donnant la tension normale en charge.

L'enroulement d'armature consistera en bobines interchangeables, confectionnées sur formes, fortement isolées et essayées à chaud, entre conducteur et masse, à la tension de 23.000 volts pendant une minute. Les deux extrémités de chaque phase seront sorties pour former les six prises nécessaires à l'établissement d'une protection différentielle.

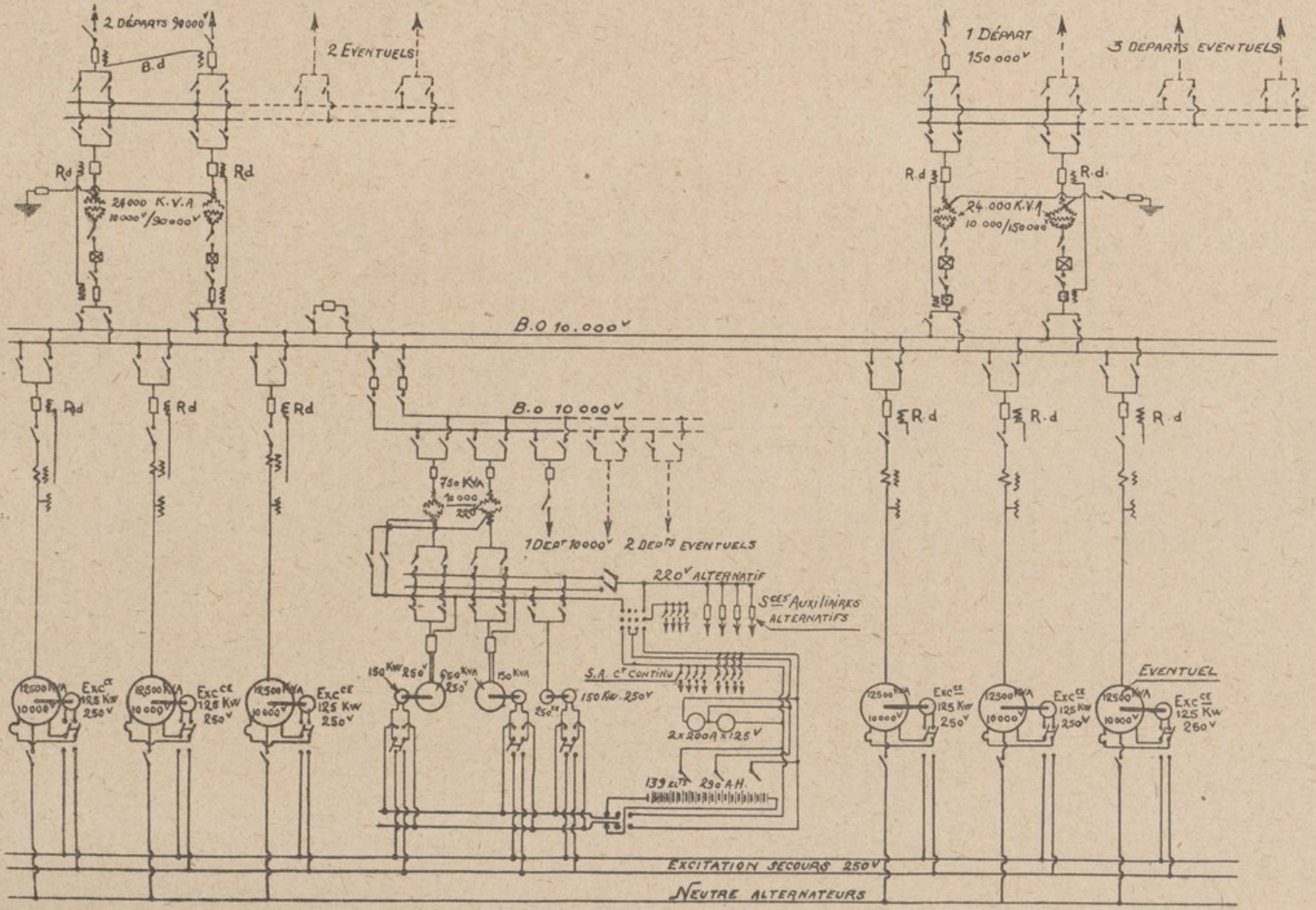
La partie tournante de chacun des alternateurs, d'environ 65 *t*, fournira un PD^2 de 600.000 k*g-m*^{2}. Elle sera construite pour supporter, pendant 5 minutes, une vitesse d'emballement égale à 2,2 fois la vitesse normale.

Excitation de secours et services auxiliaires. — Les services auxiliaires se composeront de services à courant continu et de services à courants alternatifs.

Les services à courants alternatifs seront normalement assurés au moyen de deux transformateurs triphasés à huile et refroidissement naturel, de 750 k*va*, bobinés en étoile au primaire et au secondaire, et abaissant à 220 volts la tension des barres à 10.500 volts.

Ils présenteront une perte à vide de 3.850 watts et un rendement à pleine charge de 98,2 % à cos $\varphi = 1$; de 97,7 % à cos $\varphi = 0{,}75$.

Fig. 9 — SCHÉMA GÉNÉRAL DE L'USINE D'ÉGUZON



Les services à courant continu (y compris le secours d'excitation et la recharge de la batterie d'accumulateurs) seront normalement assurés au moyen d'un groupe-moteur asynchrone de 250 *ch* à 1.000 *t/m* dynamo à courant continu de 150 *kws* à 250 volts, alimenté sous 220 volts par les transformateurs précédents.

Afin de parer aux défaillances d'alimentation de ces divers services, deux groupes hydro-électriques Pelton sont prévus pour former sources d'énergie indépendante.

Chacun de ces groupes, à axe vertical, comportera sur un arbre commun : une turbine Escher-Wyss-Pelton de 750 *ch* à 500 tours ; un alternateur de 650 *kva* pour cos $\varphi = 0{,}75$, à 220 volts et une dynamo à courant continu de 150 *kws* sous 250 volts.

Est également prévue, comme secours instantané, une batterie d'accumulateurs de 139 éléments de 290 *Ah*, au régime de décharge en 10 heures et susceptible de débiter 200 ampères pendant 15 minutes.

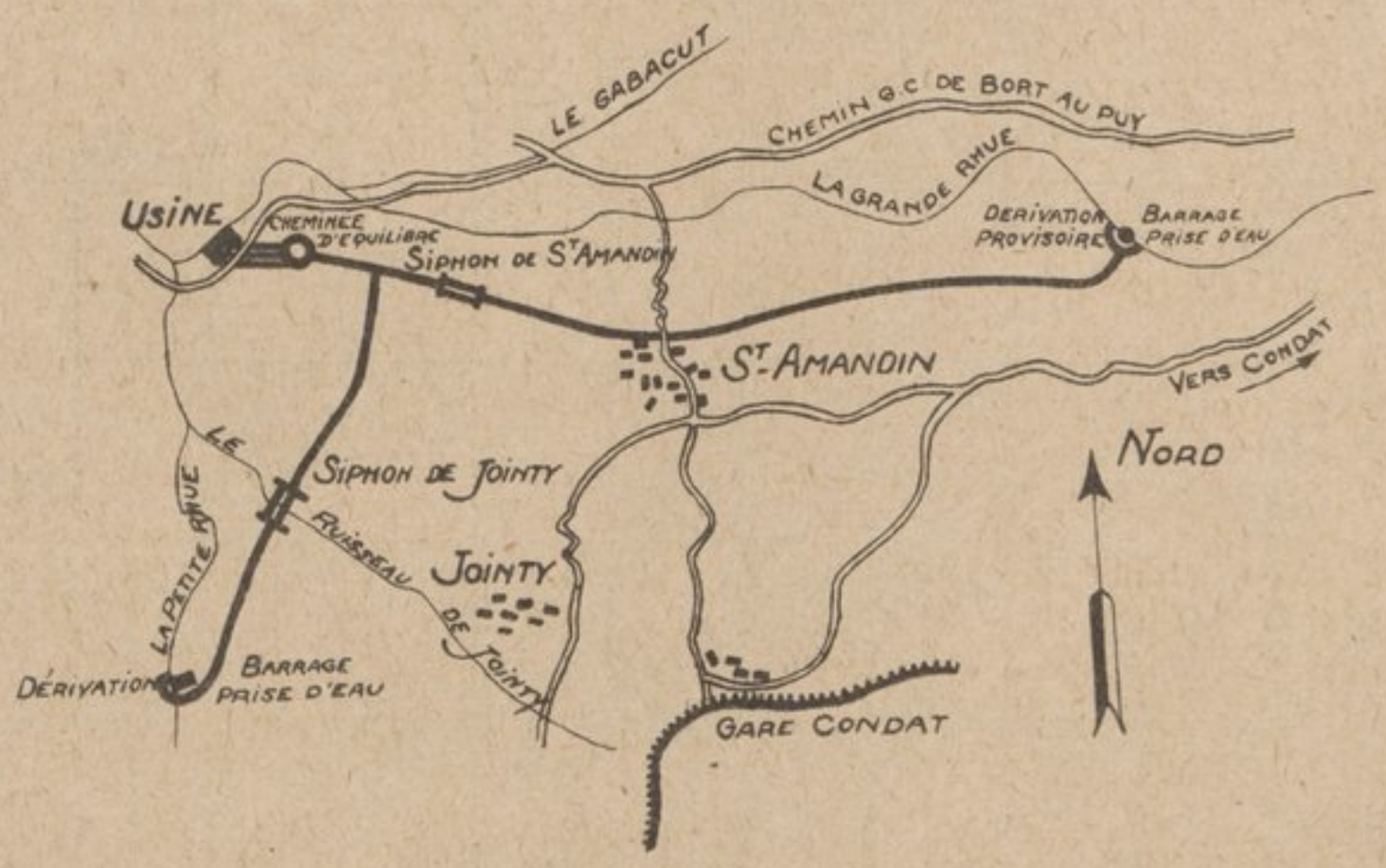
Incidemment, nous signalerons qu'une partie des services auxiliaires à courant continu étant desservie à la tension de 125 volts, un groupe d'égalisatrices 200 $A \times 125$ *V* sera prévu sur les barres communes à 250 volts. Les connexions de l'ensemble sont représentées sur le schéma unifilaire (Fig. 9).

Usine de Coindre

Conditions hydrologiques. — L'Usine de Coindre est située sur la Grande Rhue (affluent R.G. de la Haute Dordogne) en amont et à 300 *m* environ de son intersection avec la Petite Rhue.

L'emplacement des barrages étant tel que figuré sur le plan de situation ci-dessous (Fig. 10),

Fig. 10.



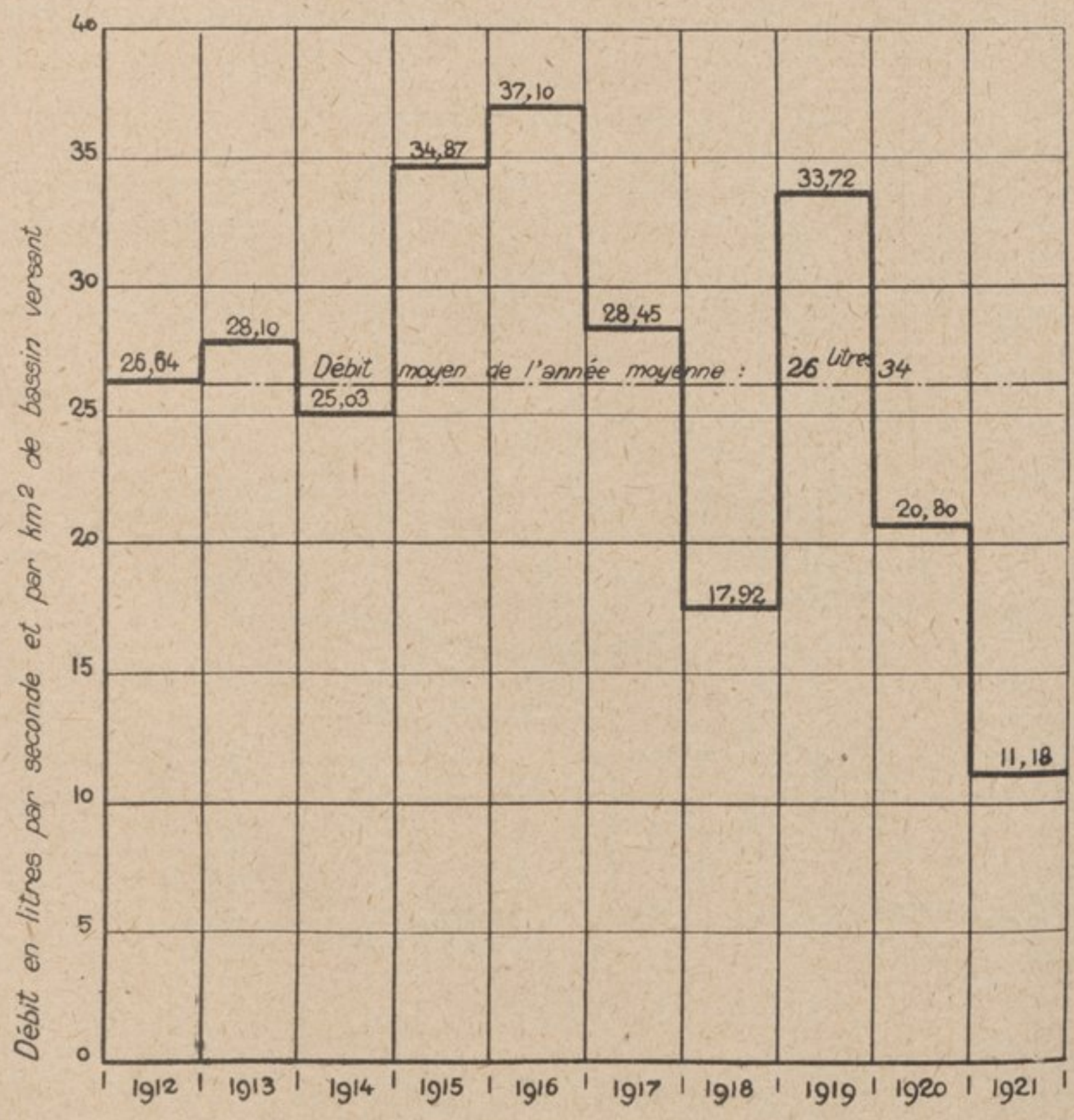
le bassin versant ainsi capté est globalement de 540 km^2, dont 360 pour la Grande Rhue et 180 pour la Petite Rhue.

Les relevés hydrologiques effectués dans la région de 1912 à 1921 et rapportés au km^2 de bassin versant permettent, dès lors, de fixer comme suit les débits moyens utilisables (Fig. 11 et 12) :

En année moyenne (1912-1921).....	14,48 m^3-sec.
» sèche (1918).....	9,47
» très sèche (1921).....	5,48

L'aménagement d'ensemble comporte l'édification d'un barrage sur chacune des deux Rhue, créant une réserve globale d'environ 2 millions de m^3 d'eau (460.000 kwh) et une dénivellation totale de 125 m jusqu'au point de restitution.

Fig. 11. — La Dordogne au Chambon et a Vernejoux (Bassins versants 2.450 et 4.060 km^2).
Courbe représentative des débits moyens annuels,
en litres par seconde et par km^2 de bassin versant de 1912 à 1921.



Les caractéristiques hydro-électriques de l'usine peuvent, dès lors, être résumées de la manière suivante :

Hauteur de chute en mètres :

Réservoir plein	125
A la base de la tranche d'eau utile	115
Moyenne	120

Puissance brute en k*w* (rendement global 70 %) :

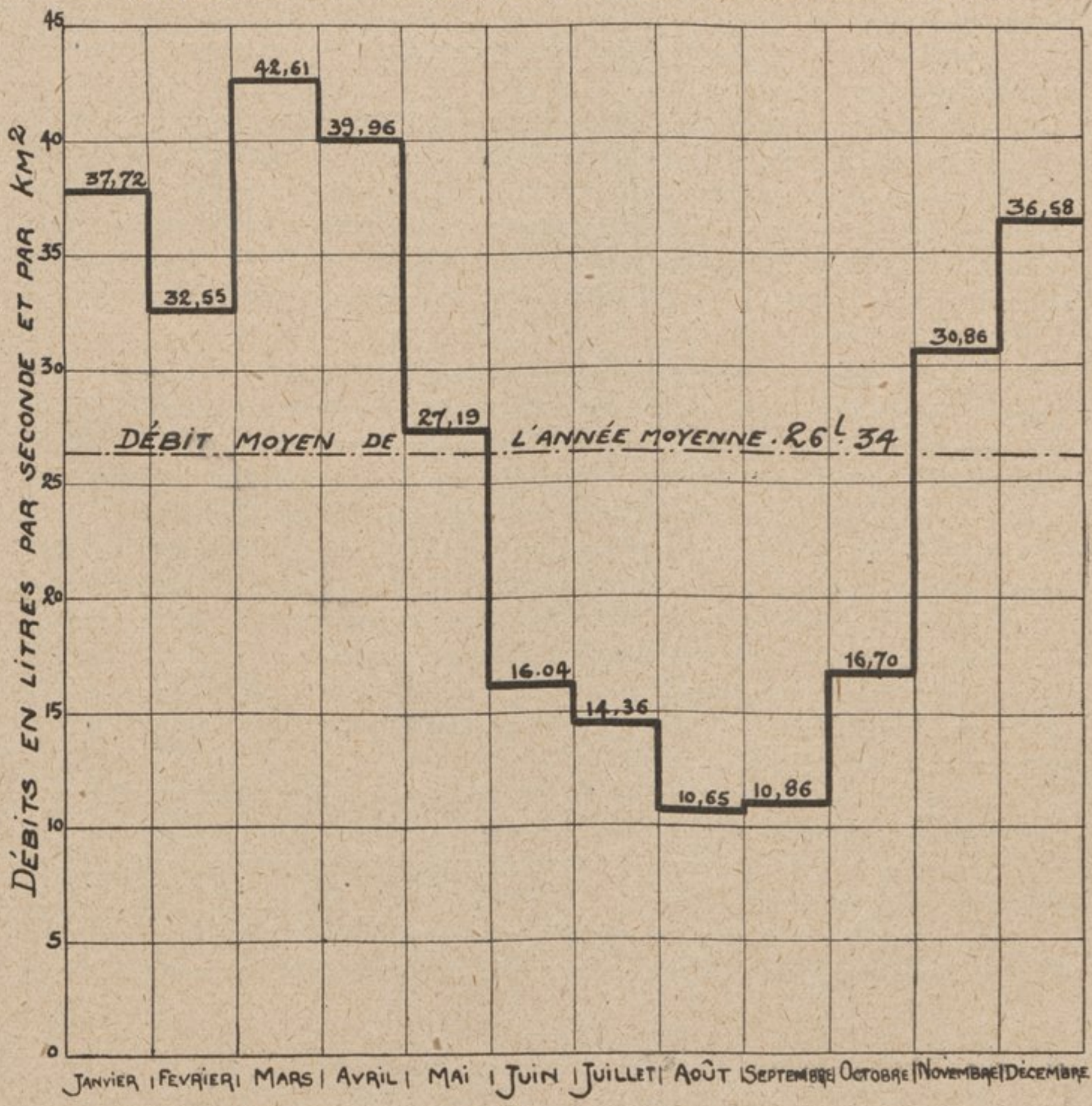
Année moyenne (1912-1921)	11.900
» sèche (1918)	17.800
» très sèche (1921)	4·510

Energie totale brute, k*wh* :

Année moyenne (1912-1921)	$98,7.10^6$
» sèche (1918)	$66,9.10^6$
« très sèche (1921)	$42.6.10^6$

Fig. 12. — La moyenne Dordogne au Chambon et a Vernejoux (Bassins versants 2.450 et 4.062 km^2).

Couche représentative des débits moyens mensuels,
en litres par seconde et par km^2 de bassin versant (Année moyenne de la période 1912-1921).



Dispositions générales. — L'usine est alimentée par les eaux de la Grande Rhue et de la Petite Rhue au moyen de deux galeries de dérivation souterraine ayant leur origine respective dans la retenue créée par le barrage qui leur correspond sur chacune des deux Rhue.

A peu de distance de l'usine (environ 1 k*m*) ces galeries se réunissent en un tronçon commun sur le parcours duquel est creusée une cheminée d'équilibre précédant le système des conduites forcées.

Celui-ci est constitué par trois conduites d'égal diamètre, munies de vannes à leurs deux extrémités et destinées à alimenter respectivement un groupe-générateur à axe vertical, de 11.000 *ch* à 5.500 *V*.

Le bâtiment de l'usine, dont les dimensions permettent de recevoir ces trois groupes principaux et leurs auxiliaires, est placé parallèlement à la rivière et sur sa rive gauche. Il comporte en principal trois étages : un étage inférieur recevant les turbines, leurs régulateurs de pression et leurs vannes de vidange ; un étage intermédiaire recevant en extrémité le groupe générateur auxiliaire et un étage supérieur formant sol de la salle des alternateurs et des machines accessoires.

Ce dernier étage sera desservi par un pont roulant à commande électrique de 40 *t*, avec crochet auxiliaire de 10 *t*.

Un second bâtiment, accolé au premier sur sa grande dimension, est réservé au matériel d'appareillage et aux services annexes.

Le poste élévateur de tension est situé à l'extérieur, à 100 mètres environ de l'usine à laquelle il est relié par une galerie souterraine destinée à recevoir les canalisations de jonction entre les générateurs et le matériel transformateur. Celui-ci comporte, outre les appareils de disjonction et de sectionnement nécessaires, trois groupes de transformation élevant à la tension de 90.000 volts l'énergie produite à 5.500 volts par l'usine. L'ensemble sera disposé selon le type outdoor avec double jeu de barres omnibus H.T. superposées et trois départs de lignes à 90.000 volts, dont un de réserve.

Barrages. — Ainsi qu'il vient d'être dit, un barrage a été établi sur chacune des deux Rhue ; le barrage « *Grande Rhue* » est situé à 3 k*m* environ en aval de Condat-en-Féniers.

Il est constitué à la base, par un massif rectangulaire dont l'épaisseur a été choisie sensiblement égale à la largeur moyenne de la gorge et qui forme le socle d'un couronnement à profil triangulaire terminé en crête par un chemin de 2 *m*,20 de largeur (Fig. 13).

La partie centrale de ce barrage est incurvée au rayon de 137 *m*, ses prolongements latéraux étant orientés suivant la direction des tangentes.

L'ensemble est protégé contre les infiltrations d'eau par un réseau de drains verticaux comportant des drains visitables de 0 *m*,75 de diamètre, espacés de 7 *m* et dans l'intervalle desquels sont disposés deux drains de 0 *m*,25. Ces drains aboutissent à deux galeries de visite dont l'une, placée à la base du socle, rassemble les eaux d'infiltration et les évacue par un collecteur débouchant à l'aval du barrage.

Cet ouvrage dont le volume est évalué à 14.000 m^3 est constitué par un béton cyclopéen à 75 % de béton de ciment de laitier et 25 % de blocs.

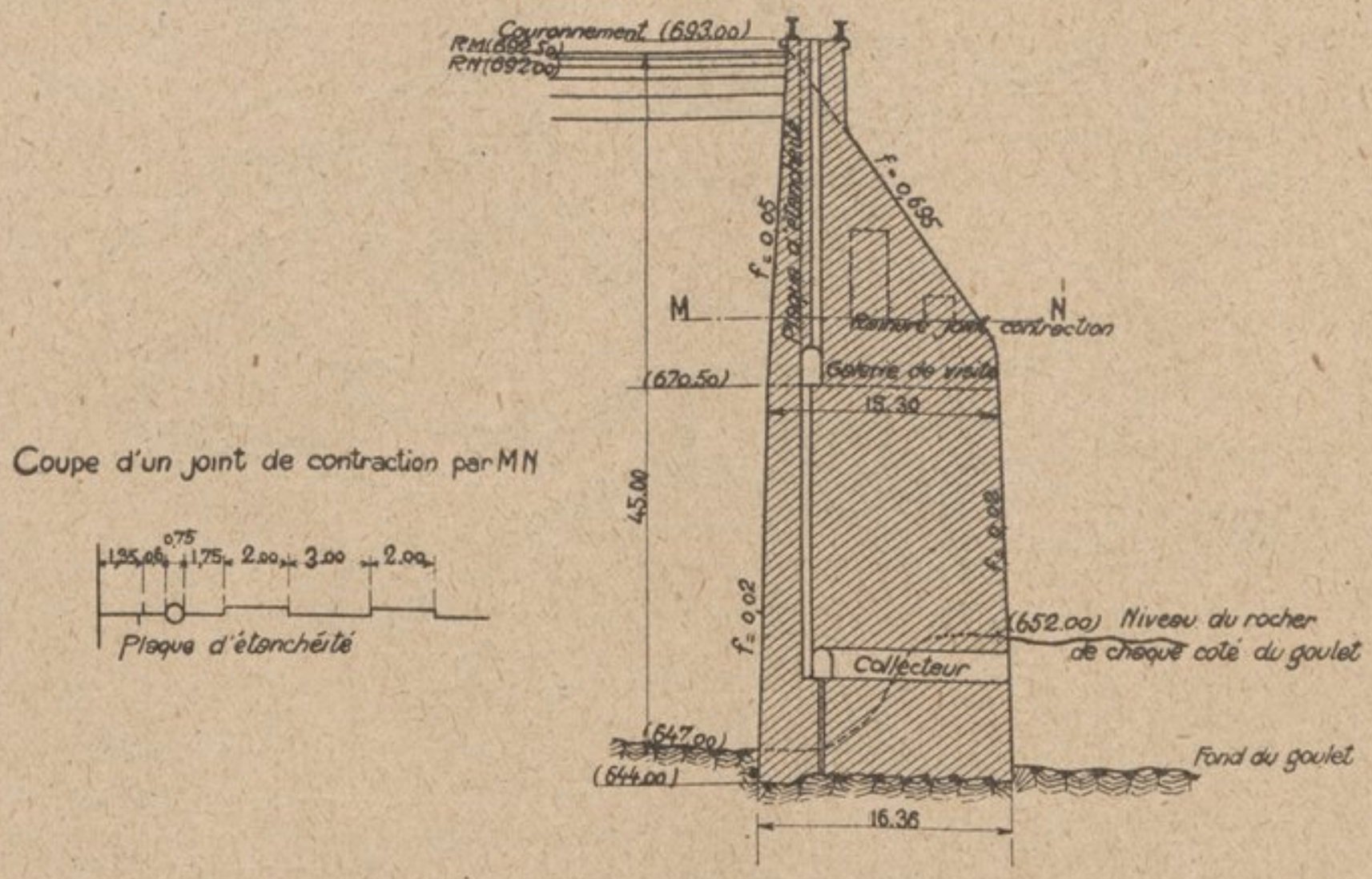
Le barrage *Petite Rhue* a été construit à travers une gorge étroite, particulièrement adaptée à l'établissement d'un ouvrage de retenue

Il est, comme le précédent, composé d'un socle sensiblement rectangulaire, d'environ 14 *m*,50 d'épaisseur, surmonté d'un couronnement à profil trapézoïdal dont la crête forme un

chemin de 2 *m* de largeur entre parapets (Fig. 14). Il est protégé contre les surpressions par un réseau de drains verticaux en tous points semblable au réseau du barrage *Grande Rhue* et par un enduit au mortier de ciment Portland.

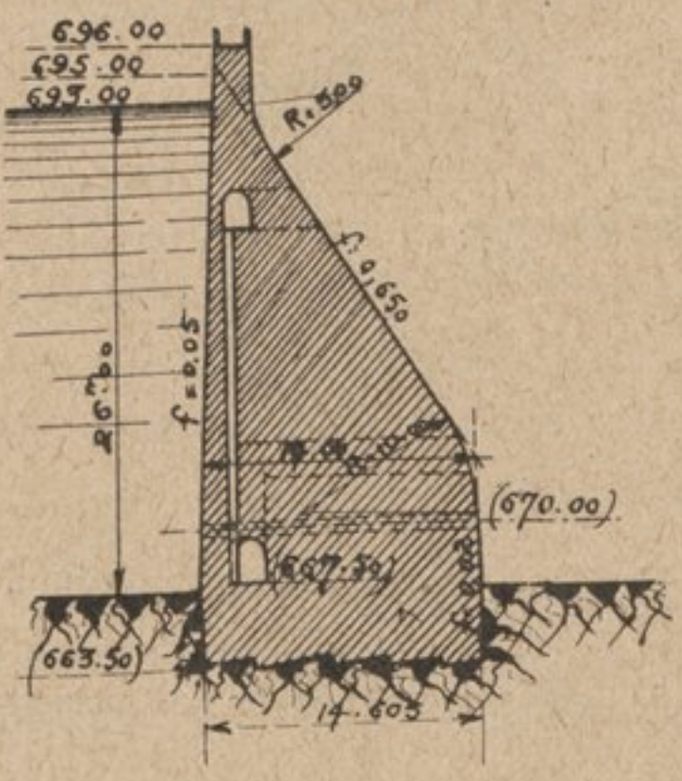
L'ouvrage est constitué par un béton cyclopéen de même composition que précédemment : son volume est évalué approximativement à 6.800 m^3.

Fig. 13. — Coupe en travers du barrage Grande Rhue (Usine de Coindre).



Ouvrages d'évacuation de crues. — Comme le montre la vue en plan (Fig. 15) le *déversoir Grande Rhue* est prévu sur la rive gauche de la rivière, perpendiculairement au barrage. Il est constitué par deux pertuis de 16 *m* de largeur, capables de débiter, dans leur ensemble, sous niveau normal, plus de 360 m^3-sec. et sous niveau maximum, plus de 460 m^3-sec. Ces pertuis seront obturés par des vannes automatiques, permettant de maintenir le plan d'eau de la retenue à un niveau sensiblement constant : l'eau d'écoulement étant dirigée vers l'aval, par un canal de décharge creusé dans le terrain.

Fig. 14. — Coupe en travers du barrage Petite Rhue (Usine de Coindre).



La vidange du réservoir sera pratiquée au moyen de la galerie de dérivation provisoire. Dans ce but, cette galerie sera obturée par un massif en béton de 8 *m* d'épaisseur, à l'intérieur duquel passeront deux conduites métalliques de 1 *m* de diamètre, pourvues chacune d'un robinet-vanne d'égale ouverture

Sur *la Petite Rhue*, l'ouvrage d'évacuation des

crues est constitué par un déversoir de superficie de 35 *m* de longueur, situé sur la rive gauche et orienté perpendiculairement au barrage (Fig. 16).

Fig. 15. — Plan du barrage Grande Rhue et des ouvrages annexes (Usine de Coindre).

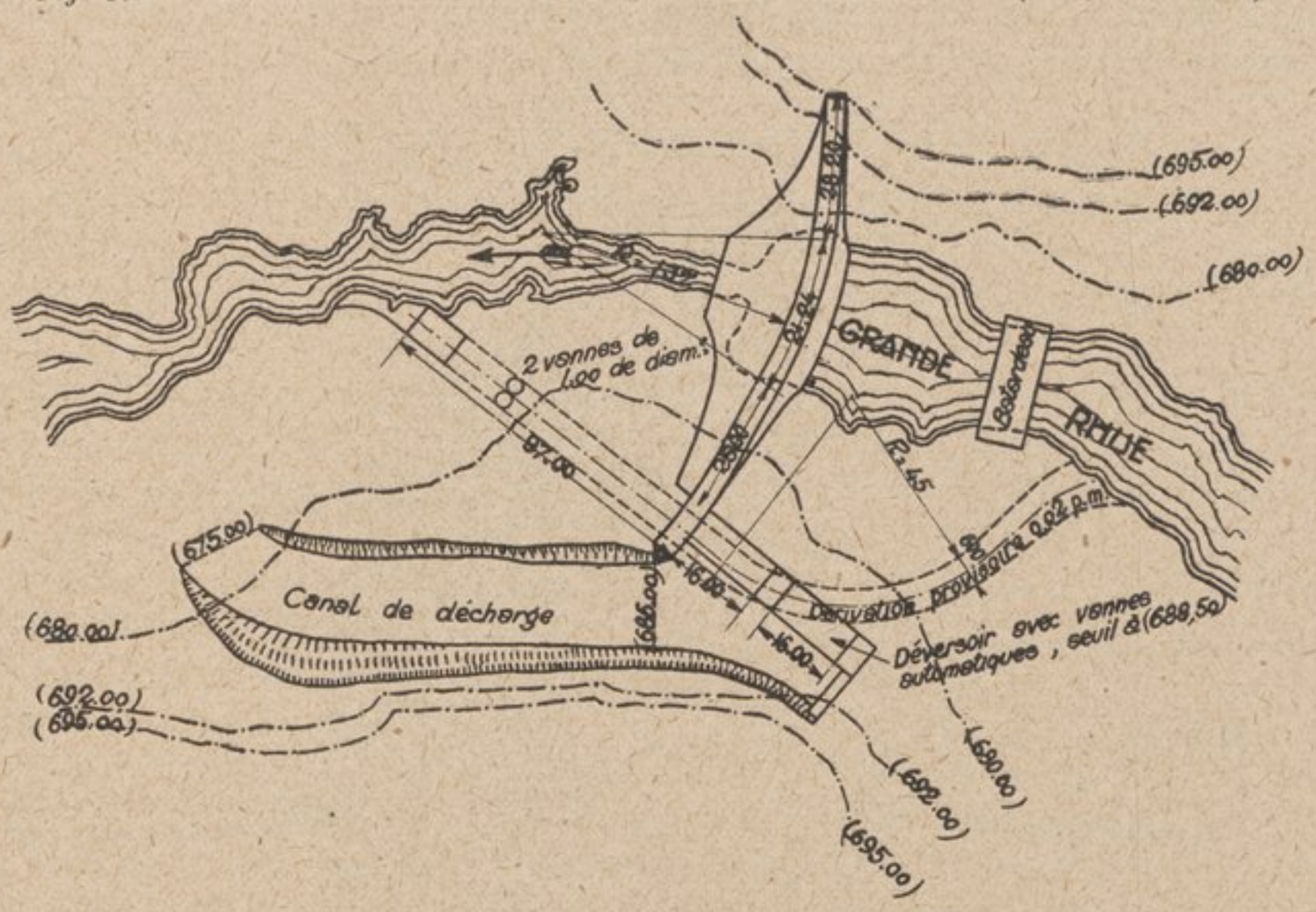
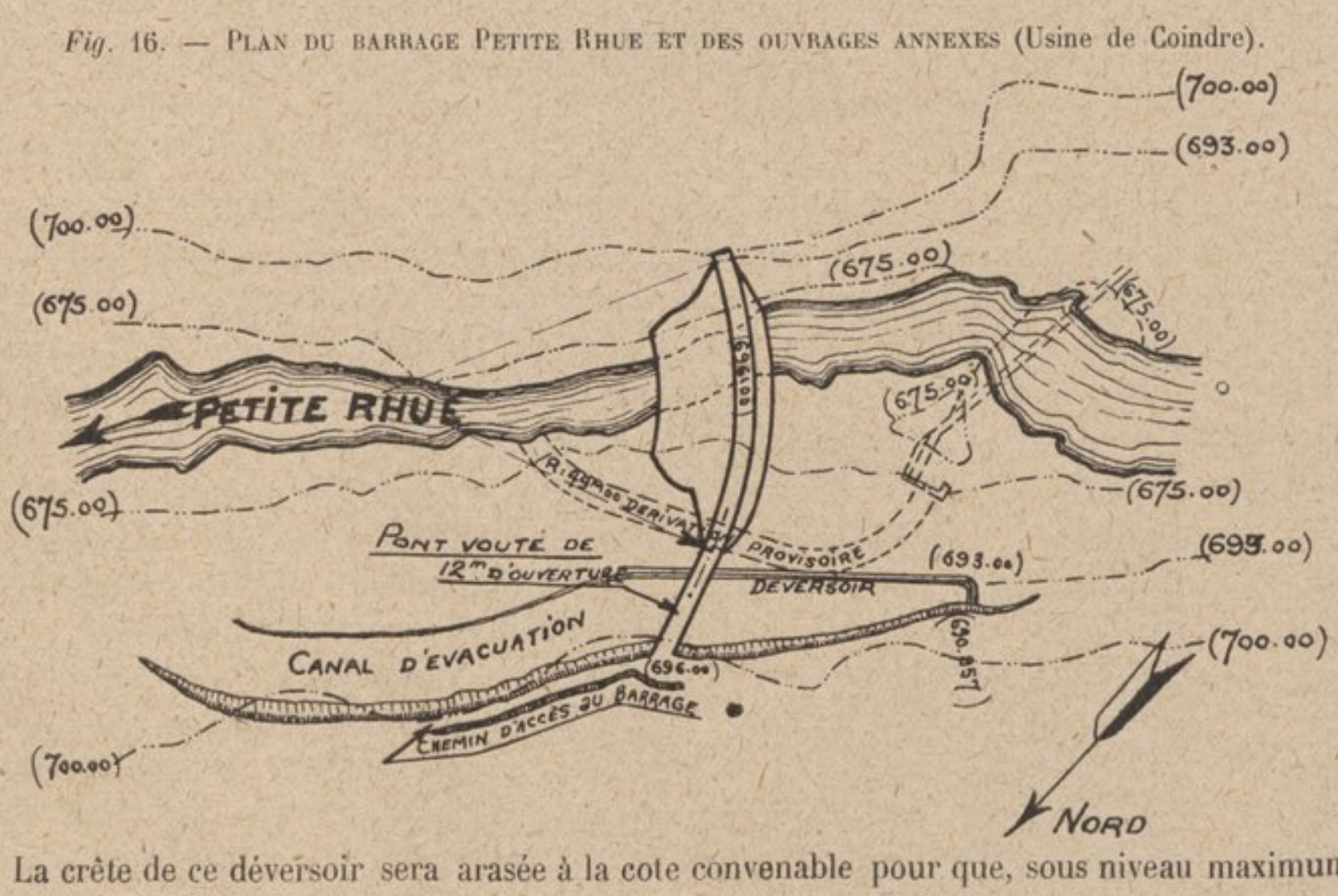


Fig. 16. — Plan du barrage Petite Rhue et des ouvrages annexes (Usine de Coindre).



La crête de ce déversoir sera arasée à la cote convenable pour que, sous niveau maximum, le débit d'écoulement atteigne 270 m^3-sec.

Les eaux déversées seront conduites jusqu'à l'aval des ouvrages par un canal en partie creusé dans le sol.

Galeries et cheminée d'équilibre. — Le régime de l'usine sera de 25,5 m^3-sec. Ce débit sera prélevé sur la réserve de la Grande Rhue, pour une part de 16,400 m^3, à travers une galerie d'environ 4 km de longueur et sur la réserve de la Petite Rhue, à travers une seconde galerie d'environ 3 km pour une part de 9.100 m^3. Ainsi que le montre le plan de situation précédent (Fig. 10), les deux galeries d'amenée se joignent à environ 1 km de l'usine, pour former une galerie unique sur le parcours de laquelle est installée la cheminée d'équilibre.

Ces galeries ont été creusées dans un terrain très résistant, en sorte que leur section est à peu près uniformément du type « fer à cheval » avec simple revêtement en béton de ciment. Toutefois, dans la traversée de certains terrains de consistance moins sûre, pour les traversées de routes et, d'une manière générale, pour les points de passage réclamant un consolidation des galeries, on a fait choix d'un profil circulaire avec revêtement en béton armé.

Les données caractéristiques de ces différentes galeries sont résumées dans le tableau ci-après :

GALERIES	GRANDE RHUE	PETITE RHUE	TRONÇON COMMUN
Longueur (m)	4089	3020	746
Diamètre (m)	3,15	2,30	3,50
Section (m^2)	7,79	4,15	9,62
Débit (m^3/sec)	16,4	9,10	25,50
Vitesse moyenne (m/s.)	2,10	2,20	2,65
Perte de charge totale (m)	4,78	5,78	1,22

La galerie commune est prolongée jusqu'aux trois vannes de tête des conduites forcées auxquelles elle est reliée par un raccordement métallique à triple tubulure.

La cheminée d'équilibre est installée sur le parcours de la galerie commune, à environ 130 m en avant des vannes de tête des conduites.

Cette cheminée cylindrique présente un diamètre de 4 m,50 et une hauteur de 34 m. Elle comporte une chambre d'épanouissement inférieure de 360 m^3 et une chambre supérieure de 1.460 m^3. L'ensemble est creusé dans le roc vif et garni d'un revêtement en béton armé.

Conduites forcées. — Les vannes de tête mentionnées ci-dessus sont à manœuvre à main et fermeture automatique en cas de rupture des conduites qu'elles servent à commander. Quant à ces conduites elles-mêmes, au nombre de trois (une conduite indépendante par groupe générateur), elles présentent un diamètre intérieur de 1 m,55 et une longueur moyenne de 150 m pour une dénivellation d'environ 100 m. Elles portent, en tête, une ventouse à double effet de 0 m,70 de diamètre et leur épaisseur à la base a été calculée pour une pression statique maximun de 13 kg/cm^2 et une pression dynamique maximun de 18 kg/cm^2.

Ces canalisations seront constituées par des tôles d'acier doux S.M., qualité chaudière, rivées à recouvrement et divisées en tronçons d'environ 6 m de longueur.

Le poids de l'ensemble des trois conduites et de leurs accessoires est estimé à 530 tonnes.

Bâtiment de l'usine. — Le bâtiment de l'usine est constitué, partie en gros béton (infrastructure), partie en maçonnerie de moellons tout venant. Le corps principal, qui recevra trois groupes générateurs, distants de 8 m,50, mesure 11 m,20 $\times$ 42 m,70 entre murs.

Ainsi qu'il a été expliqué (dispositions générales), ce bâtiment est divisé en trois étages et comporte un comble métallique à deux rampants supportant une couverture en tuiles.

Le bâtiment annexe, qui mesure 6 $m \times 42\,m,70$ entre murs, est divivé en :

Un étage inférieur réservé aux vannes de sectionnement et aux by-pass ;

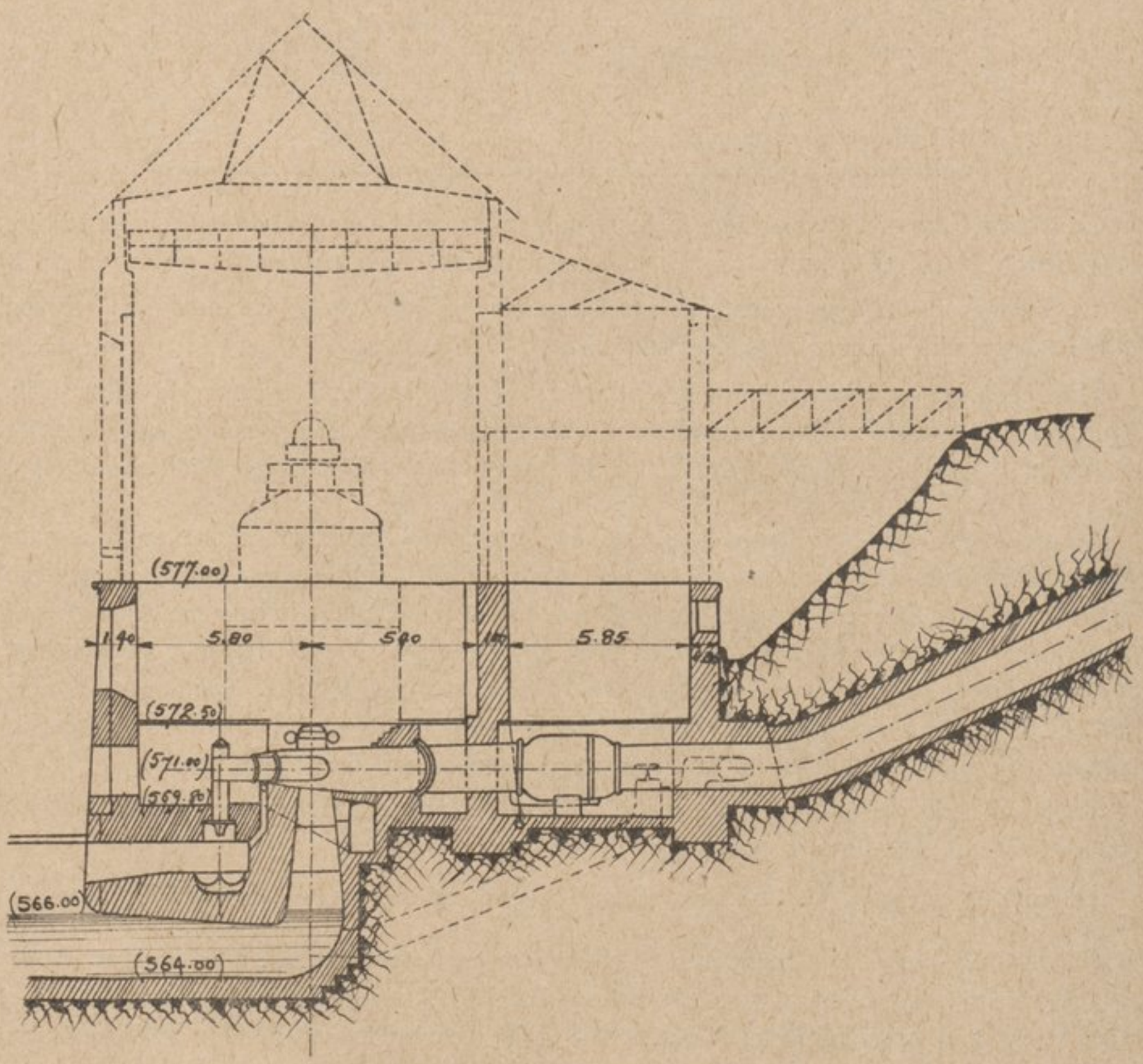
Un premier étage intermédiaire réservé à la manœuvre des vannes et desservi par un pont roulant à manœuvre à main ;

Un second étage intermédiaire, en communication directe avec la salle des machines et réservé à l'appareillage à 5.500 volts de l'usine ;

Un étage supérieur, réservé aux panneaux de contrôle et aux services annexes (bureaux, magasins, etc..).

Ce bâtiment est surmonté d'un comble en appentis, couvert en tuiles. Il porte, à hauteur convenable, une passerelle donnant accès sur la route (Fig. 17).

Fig. 17. — Coupe transversale de l'usine de Coindre.



Equipement hydraulique. — Les trois turbines principales, du type Francis, à réaction et axe vertical, fonctionneront sous des hauteurs de chute variables entre 117 *m* et 124 *m*,50. Dans ces conditions, elles tourneront à 428 t/*m* et développeront sur leur arbre, à pleine ouverture (débit de 8.500 l/sec.) :

Une puissance de 11.500 chevaux sous la dénivellation de 124 *m*,50 ;
Une puissance de 10.950 chevaux sous la dénivellation de 120 *m* ;
Une puissance de 10.520 chevaux sous la dénivellation de 117 *m*.

Toutefois, ainsi qu'il ressort du tableau des rendements ci-après, elles présenteront leur efficacité maximum pour la chute de 120 *m*.

Dénivellation de.....	124.50 *m*	120 *m*	117 *m*
Rendement en % à 4/4 de charge...	80	81	81
— — 3/4 — ...	85,5	86	86
— — 2/4 — ...	81,7	81,7	81,5

Leur vitesse d'emballement ne sera pas supérieure à 175 % de la vitesse normale.

Ces turbines comporteront une enveloppe spéciale en acier coulé en deux pièces, d'environ 20 *t* éprouvée à 20 k*g*/c*m*². La roue motrice d'environ 3 *t* sera en bronze et fondue en une seule pièce. Sa vitesse spécifique, pour la dénivellation de 120 *m*, sera de 110 (unités métriques).

Les aubes distributrices, du type " wicket " équilibré, seront en acier forgé, d'une seule pièce, avec la tige. Elles seront reliées à la couronne d'entraînement par l'intermédiaire de biellettes de sécurité en fonte, qui doivent se rompre en cas d'obstruction des aubes. Quant à la couronne d'entraînement, elle sera actionnée diamétralement, par deux cylindres à huile asservis par le régulateur de vitesse.

Celui-ci sera du type Woodward à pression à huile et commande par courroie. Il contrôlera, pour chaque groupe, l'admission d'huile aux deux cylindres de commande du système de vannage, de manière à assurer son ouverture complète depuis la marche à vide, en 8 secondes au moins ; sa fermeture complète, depuis la pleine charge, en 2,5 secondes au moins.

L'action de chacun des régulateurs de vitesse sera complétée par celle d'un régulateur de pression en acier coulé, de 650 m*m* d'orifice d'entrée, asservi par bielles, au mouvement des aubes distributrices.

Le fonctionnement conjugé de ces deux appareils fournira, en cas de suppression brusque de la pleine charge, une augmentation de vitesse de la turbine de 22 % ($PD^2 = 130.000$ kg/m^2) et une augmentation de pression dans l'enveloppe de 20 % ; inversement, en cas d'application brusque de la pleine charge, la diminution de vitesse consécutive sera, dans les mêmes conditions, de 38 % et la diminution de pression de 20 %.

La vanne de sectionnement de chacune des turbines sera du type Wellman à tiroir cylindrique en fonte de 1 *m*, 400 de diamètre et fonctionnera, à la demande, sous l'effet de la pression de l'eau, dans la conduite d'amenée. Elle sera éprouvée à 20 kg/cm^2 et son poids sera voisin de 20 *t*.

L'ensemble de l'équipement hydraulique sera construit par la Société des Établissements Schneider et Cie, d'après les procédés de la Wellman Seaver Morgan Co.

Générateurs. — Les trois générateurs principaux, à axe vertical, seront directement accouplés aux turbines précédentes. Du type autoventilé, à inducteurs tournants, chacun d'eux sera capable de fournir une puissance triphasée continue apparente de 9.500 kv*a* avec $\varphi = 0,85$, à la vitesse de 428 t*m* sous 5.500 volts, 50 périodes.

Le circuit du stator sera bobiné en étoile : les six extrémités des enroulements seront rendues accessibles pour recevoir un système de protection différentielle.

Le rotor portera un enroulement inducteur en barres de cuivre rouge enroulées sur champ. Son PD² sera de 130.000 k*g*/*m*². L'ensemble de la masse mobile, y compris celle de la turbine, sera supporté par un palier du type Mitchell monté sur le croisillon de l'alternateur.

La tension de réactance de chacun des générateurs sera d'environ 18 %, en sorte que le courant de court-circuit instantané symétrique sera égal à 5, 5 fois le courant normal. Quant au courant de court-circuit permanent, il sera de 1, 75 fois le courant normal pour l'excitation donnant la tension normale à vide et de 2,8 fois le courant normal pour l'excitation donnant la tension normale à pleine charge, sous $\cos \varphi = 0,85$. Par ailleurs, les rendements fournis par ces alternateurs sous diverses charges, seront les suivants :

Rendements en % à	4/4	3/4	2/4	de charge.
Avec $\cos \varphi = 1$	96,1	95,6	94,3	
Avec $\cos \varphi = 0,85$	95,6	95,2	93,4	

De même, les variations de tension entre la marche à vide et la pleine charge seront de :

20 % ..... avec $\cos \varphi = 1$
30 % ..... avec $\cos \varphi = 0,85$

L'excitatrice de chaque groupe sera calée en bout d'arbre des alternateurs. Elle sera capable de développer à 230 volts, une puissance de 70 k*ws*, nécessaire à l'excitation d'un seul générateur à pleine charge, sous $\cos \varphi = 0,85$.

Le réglage de la tension sera effectué automatiquement au moyen d'un régulateur système Brown-Boveri connecté à chacun des alternateurs.

Services auxiliaires et excitation de secours. — L'alimentation des services auxiliaires sera normalement prélevée sur le circuit secondaire de deux transformateurs triphasés à refroidissement naturel, respectivement capables de transformer, sous $\cos \varphi = 0,80$, une puissance de 170 k*va*, 5.500 *V*, à la tension de 220 volts. Ces transformateurs qui seront bobinés en étoile au primaire et au secondaire, présenteront, à pleine charge, un rendement de 97,6 % pour $\cos \varphi = 1$ et 97 % pour $\cos \varphi = 0,8$. Leurs pertes à vide seront d'environ 1.300 watts.

En période de chômage de l'usine, les services auxiliaires pourront être desservis par une source d'énergie indépendante, constituée par une turbine Pelton de 350 HP entraînant, par accouplement direct, à la vitesse de 750 t/*m* un alternateur triphasé de 300 k*va*, à 220 volts et $\cos \varphi = 0,8$.

Ce groupe générateur sera branché en parallèle avec les deux transformateurs précédents sur un jeu de barres à 220 *V* desservant, outre les services auxiliaires, deux groupes convertisseurs formant secours d'excitation des générateurs principaux.

Chacun des groupes convertisseurs comprendra un moteur asynchrone triphasé à bagues de 115 HP à 1.100 t/*m* et 220 *V* accouplé directement à une génératrice à courant continu de 75 k*ws* sous 220 volts. Il présentera un rendement de 82 % à pleine charge et un rendement de 78 % à demi-charge.

Poste de transformation. — Le poste de transformation sera placé à flanc de coteau à environ 100 mètres de l'usine.

Il sera du type out-door et comprendra 3 groupes de transformation triphasés de 9.300 k*va*, 5.500/90.000 volts, chacun d'eux constitué par trois transformateurs monophasés à bain d'huile et à refroidissement naturel de 3.100 k*va*, connectés en triangle par leurs enroulements basse tension et en étoile par leurs enroulements haute tension.

Les rendements présentés par ces transformateurs à diverses charges seront les suivants :

Rendements en % à	4/4	3/4	2/4 de charge.
Pour cos $\varphi = 1$	98,28	98,39	98,29
Pour cos $\varphi = 0{,}80$	97,86	97,99	97,87

Quant à la chute de tension correspondant à pleine charge, elle sera de 1,2 % pour cos $\varphi = 1$ et de 8 % pour cos $\varphi = 0{,}80$.

Il est enfin indiqué que chacun de ces transformateurs présentera une perte à vide de 18 k*w* et un poids, huile comprise, de 20 *t*, 5.

Les interrupteurs à l'huile à 90.000 volts entrant dans l'équipement du poste seront du type Brown-Boveri, à 10 ruptures par phase, avec résistances de réchauffage et transformateurs de courant disposés dans les porcelaines de traversée (bushings). Spécifiés avec une intensité nominale de 300 ampères, ils présenteront une capacité de rupture de 800.000 k*va* à 90.000 volts. Les connexions, en tubes et câbles de cuivre, seront suspendues par des chaînes d'isolateurs Hewlett à une charpente métallique étudiée pour recevoir un double jeu de barres omnibus superposées et desservir trois départs de lignes à 90.000 volts.

Le traitement des huiles sera effectué dans un bâtiment voisin de la plateforme du poste et relié à ces derniers par des voies de transbordement longeant le matériel interrupteur et transformateur.

On accédera à ce bâtiment par une chaussée carrossable prenant origine de la route. Par ailleurs, une galerie souterraine visitable partant du bâtiment annexe de l'usine (étage de l'appareil à 5.500 *v*) conduira, jusqu'aux agrès du poste, les canalisations de jonction en cuivre nu, destinées à relier les barres-omnibus de l'usine aux groupes de transformation.

(*A suivre*).

ÉLECTRIFICATION PARTIELLE DU RÉSEAU

DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS

Par M. PARODI,

INGÉNIEUR EN CHEF-ADJOINT DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION
DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS.

[Suite] (1).

III

Transport de l'énergie.

Le réseau de lignes H. T. de la Compagnie d'Orléans a été étudié de manière à permettre, d'une part, le transport à grande distance (300 à 500 k*m*) de grandes quantités d'énergie (50 à 100.000 k*w*) et, d'autre part, d'assurer l'alimentation continue des sous-stations de traction à tension pratiquement constante.

Pour atteindre ce but, il était nécessaire de constituer un réseau double, l'un à tension aussi élevée que possible que nous appellerons réseau *primaire*, l'autre, réseau secondaire, à tension suffisamment élevée pour que le nombre des points de jonction avec le réseau primaire, autre que les usines génératrices, puisse être réduit au minimum.

Une étude préliminaire a été faite pour des distances de 100 et 200 k*m* entre points de jonction des réseaux primaire et secondaire, la tension en ces points étant supposée rendue constante par réglage automatique de l'excitation, soit des alternateurs des usines génératrices, soit des compensateurs synchrones des postes de transformation.

Les graphiques (Fig. 1 et 2) relatifs, le premier, à la distance de 100 k*m*, le second, à celle de 200, ont été établis en supposant la charge également répartie, entre une, deux ou trois sous-stations équidistantes ou enfin uniformément répartie, tout le long de la ligne, en un nombre infini de sous-stations.

Les chutes de tension en % sont données pour chaque mode de répartition de la charge en

(1) Voir *Revue Générale*, N^os^ de Novembre et Décembre 1925.

fonction du rapport $M = \frac{kw}{(kv)^2}$ de la puissance en kilowatts (kw) au carré de la tension en kilovolts (kv) (1).

Fig. 1.

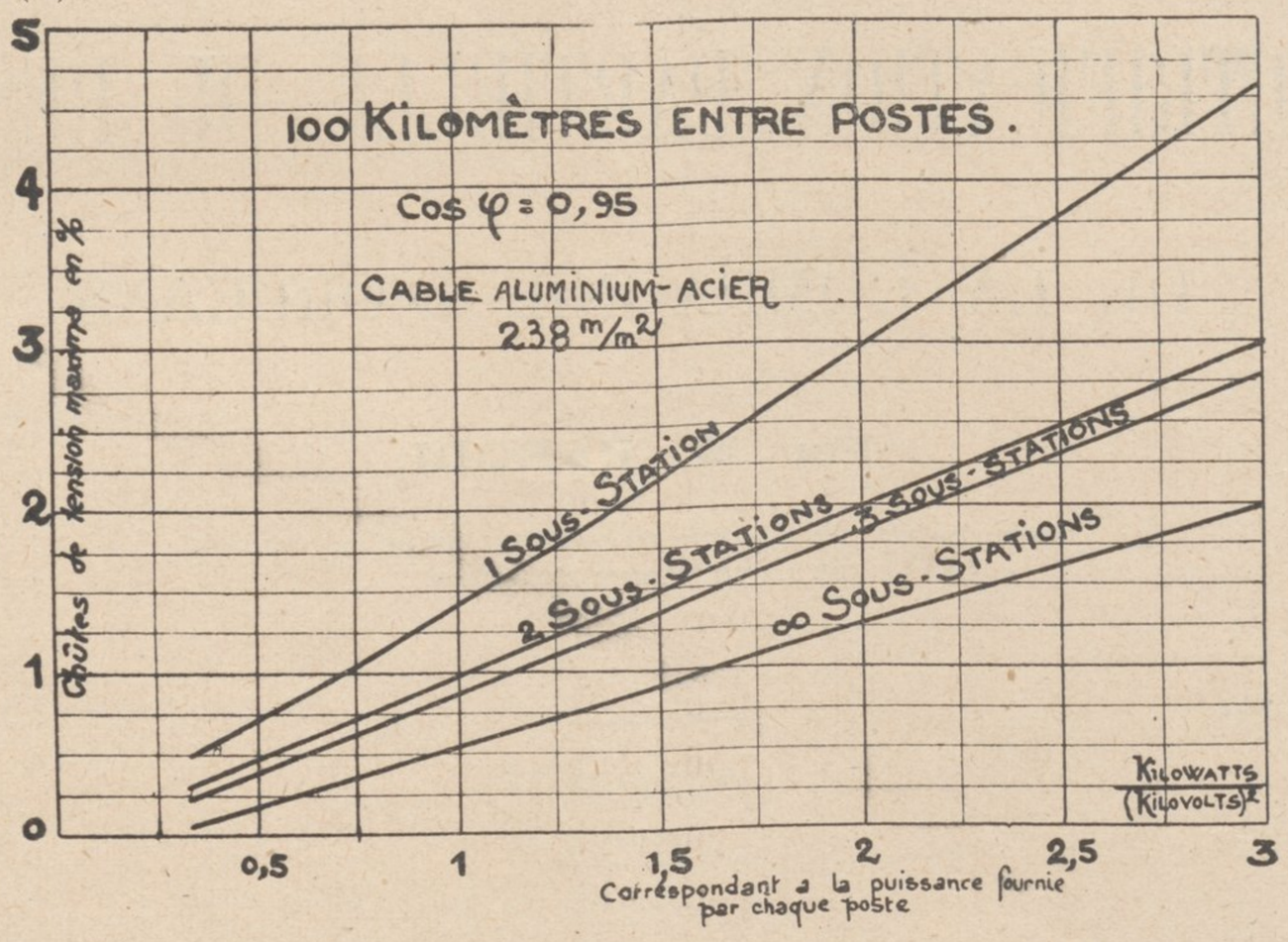
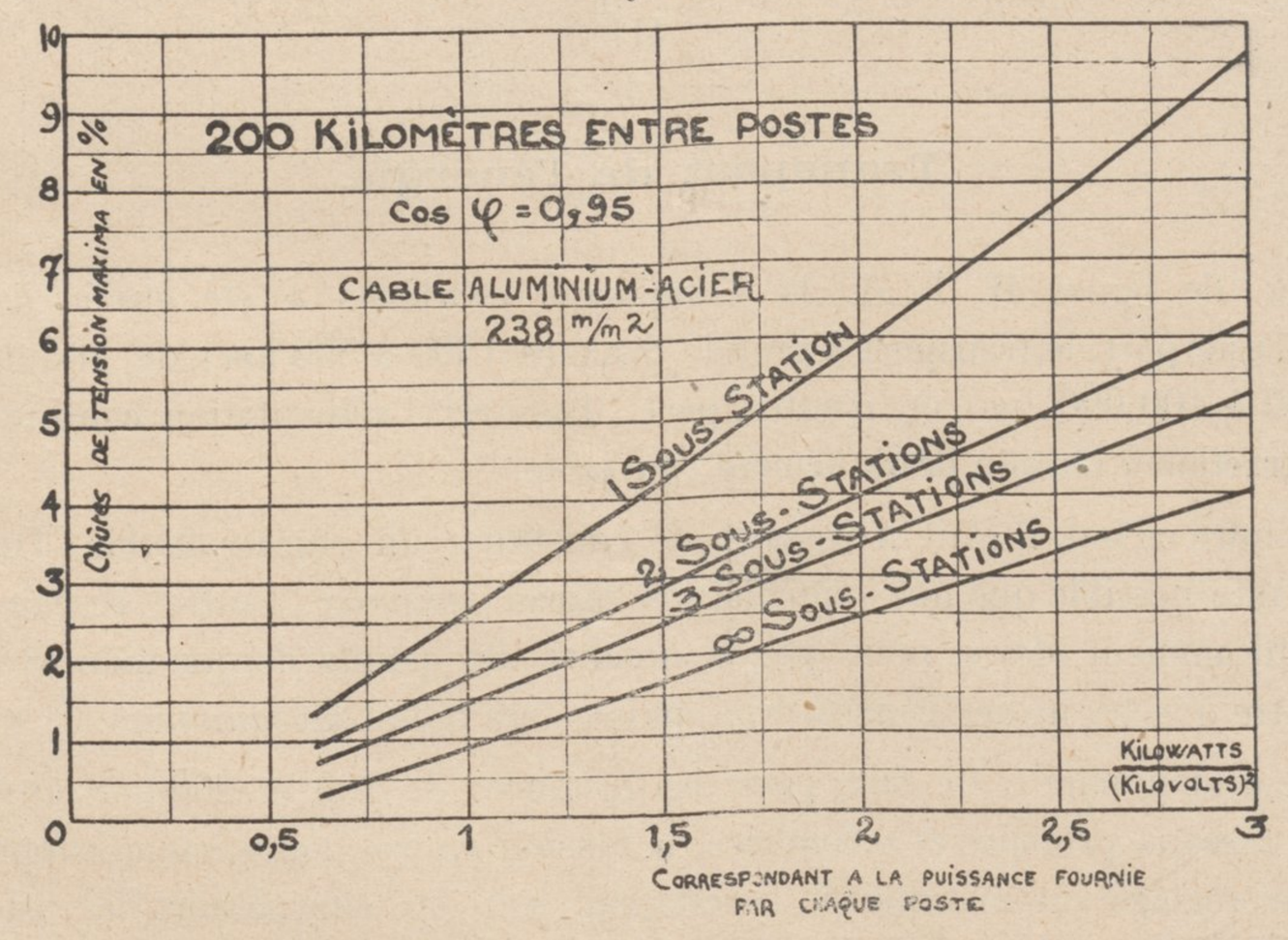


Fig. 2.



(1) Valeurs du rapport $M = \frac{\text{kilowatts}}{\text{kilovolts}^2}$

Tension en kv / Puissance en kw	60 kv	90 kv	Tension en kv / Puissance en kw	60 kv	90 kv	Tension en kv / Puissance en kw	60 kv	90 kv
3.000	0,833	0,370	11.000	»	1,358	19.000	»	2,345
4.000	1,111	0,494	12.000	»	1,481	20.000	»	2,470
5.000	1,389	0,617	13.000	»	1,605	21.000	»	2,592
6.000	1,667	0,740	14.000	»	1,728	22.000	»	2,716
7.000	1,944	0,864	15.000	»	1,851	23.000	»	2,84
8.000	2,222	0,987	16.000	»	1,975	24.000	»	2,962
9.000	2,500	1,111	17.000	»	2,098	25.000	»	3,086
10.000	2,778	1,234	18.000	»	2,222			

L'examen de ces graphiques et du tableau donnant les valeurs de $M = \frac{kw}{(kv)^2}$ montre que, pour une chute de tension de l'ordre de 2 % et pour un nombre de sous-stations assez grand, la valeur de M est d'environ 1,6 pour une distance de 200 k*m* entre postes et de 2,7 pour 100 k*m*. Les puissances admissibles par poste de transformation seraient ainsi de l'ordre :

de 6.000 k*w* à 60 k*v* } pour 200 k*m*.
ou de 13.000 k*w* à 90 k*v* }

et de 10.000 k*w* à 60 k*v* } pour 100 k*m*.
ou de 22.000 k*w* à 90 k*v* }

Les sous-stations étant écartées de 15 à 25 k*m*, on peut compter que, sur une section de 200 k*m*, il y en aurait 8 à 12 et sur une section de 100 k*m*, de 4 à 6 ; dans ces conditions, la puissance par sous-station ne pourrait guère dépasser :

800 à 1.200 k*w* pour 60 k*v* } pour 200 k*m*.
1.800 à 2.600 k*w* pour 90 k*v* }

3.000 à 4.000 k*w* pour 60 k*v* } pour 100 k*m*.
6.500 à 9.000 k*w* pour 90 k*v* }

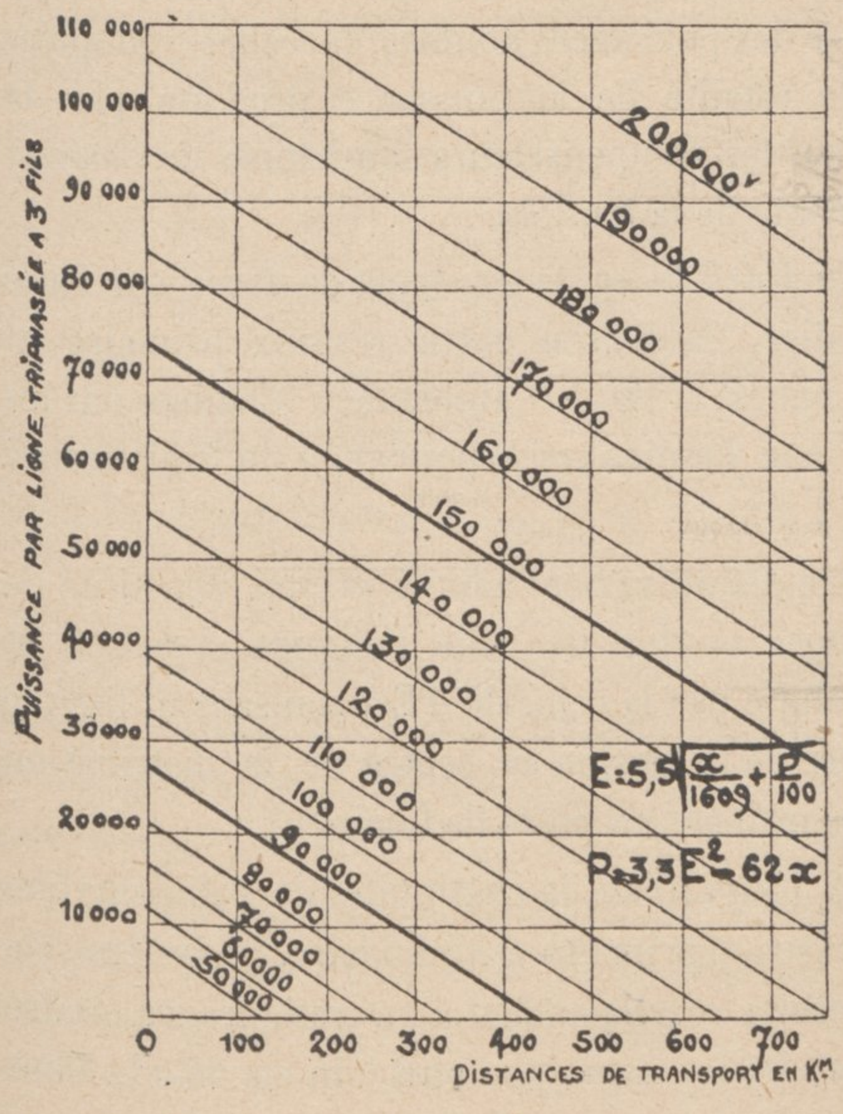
On voit qu'à moins de multiplier d'une façon exagérée le nombre de points de liaison entre réseaux primaire et secondaire, on ne peut adopter une tension de 60 k*v* dans le cas qui nous intéresse et que celle de 90 k*v* paraît bien adaptée.

On peut retrouver ce même résultat en appliquant la formule empirique que M. Still a déduite de l'étude comparative d'un certain nombre de réseaux de transport de force américains, formule donnant la tension E la plus économique pour le transport à une distance X de la puissance P.

$$E = 5{,}5 \sqrt{\frac{X}{1{,}609} + \frac{P}{100}} \quad (1)$$

Si on remarque que la puissance nécessaire pour alimenter la ligne de traction est fonction du trafic, on voit que, pour une ligne où la consommation de charbon est de C tonnes par

Fig. 3. — Abaque pour le calcul graphique de la formule de M. A. Still.



---

(1) Pour X = 500 k*m* { P = 100.000 k*w* E = 200 k*v* ; P = 50.000 k*w* E = 155 k*v*

Pour X = 125 k*m* { P = 20.000 k*w* E = 91 k*v* ; P = 10.000 k*w* E = 73 k*v*

La figure 3 reproduit un abaque permettant le calcul graphique de la formule de M. A. Still.

kilomètre et où l'utilisation de la puissance dans les sous-stations sera de l'ordre de 2.500 heures, la puissance par k*m* de ligne sera :

$$\frac{1000\ C}{3 \times 2.500} = \frac{C}{7,5}$$

en admettant comme précédemment qu'un kilowatt-heure remplace 3 k*g* de charbon.

La formule de Still s'écrira alors :

$$E = 5,5 \sqrt{X \left(\frac{1}{1,609} + \frac{C}{750}\right)}$$

La tension à adopter pour un écartement de X entre postes sera donc :

pour C = 1.200 tonnes par k*m*, X = 125 k*m* } ligne de Paris-Orléans E = 92.000

pour C = 600 tonnes par k*m*, X = 200 k*m* } lignes au sud d'Orléans E = 92.000

L'application que nous venons de faire de la formule de Still n'est pas absolument correcte puisque nous avons affaire ici à des charges réparties et non à des charges concentrées en bout de ligne ; toutefois, pour trouver l'ordre de grandeur d'une tension, la méthode est encore acceptable.

En installant un poste de régulation de tension à Chaingy à peu près au centre de gravité de la charge répartie entre la centrale hydraulique d'Eguzon et Paris, nous assurerons la liaison rationnelle entre le réseau primaire joignant le Massif Central à Paris et le réseau secondaire alimentant la sous-station en quatre points : trois points correspondant à des centrales régulatrices de tension : Paris-Eguzon et Vernéjoux, un point correspondant à un poste spécial de régulation : Chaingy.

Remarquons d'ailleurs qu'avec le système de deux lignes à 90 k*v* qui a été installé et qui constitue le réseau secondaire, on peut transporter des puissances doubles de celles indiquées ci-dessous dans différents cas et amener à Paris la totalité de la puissance produite par la centrale d'Eguson, *sans utiliser le réseau primaire,* les compensateurs synchrones de Chaingy suffisant pour assurer une régulation presque parfaite de la tension.

Quand, par suite du développement du réseau à 150/220 k*v*, le transport de force sur Paris de l'énergie du Massif Central étant supposé réalisé, la liaison entre réseaux primaire et secondaire sera effective, le système de deux lignes à 90 k*v* alimenté à Chaingy par les lignes à 150/220 k*v* permettra de répondre aux besoins correspondant à un trafic trois à quatre fois plus grand.

Avec le système de deux lignes à 90 k*v* qui a été définitivement adopté et qui constitue le réseau secondaire, on peut transporter une puissance double de celle indiquée ci-dessus et amener à Paris la totalité de la puissance produite par la centrale d'Eguzon sans utiliser le réseau primaire, en assurant d'ailleurs la constance de la tension au centre de la distribution (Orléans) au moyen de compensateurs synchrones installés au poste de Chaingy.

Quand, par suite du développement du réseau à 150/220 k*v*, la continuité de l'alimentation sera assurée en tous les points de jonctions des réseaux primaire et secondaire, le système de deux lignes à 90 k*v* permettra de répondre aux besoins correspondant à un trafic trois à quatre fois plus grand que le trafic actuel comme nous le vérifierons un peu plus loin en détail. Dans

ce cas, la distance pratique de transport sera en effet réduite de moitié et pour chacune des sections considérées, on aurait

$$\left.\begin{array}{l}\text{pour X} = \quad 60\ km \\ \text{C} = 2.400\ \text{tonnes par}\ km\end{array}\right\} \text{E} = 83.000\ V \quad \text{(Paris-Orléans)}$$

$$\left.\begin{array}{l}\text{pour X} = \quad 100\ km \\ \text{C} = 1.200\ \text{tonnes par}\ km\end{array}\right\} \text{E} = 82.500\ V \quad \text{(Orléans-Eguzon)}$$

Le schéma (Fig. 17 première partie (1)) donne la disposition d'ensemble du réseau de distribution primaire et secondaire destiné à relier entre eux les centres de production et de consommation.

Il y a lieu de remarquer toutefois que, dans un but de simplification, nous avons admis que les lignes à haute tension destinées à assurer les échanges de courant entre le Massif Central et les Alpes, n'étant en réalité que le prolongement du réseau de la S.T.E.C. (Société des Transports Electriques du Centre), seraient établies pour la tension de 120 k*v*. Les sous-stations de la ligne de Montluçon à Saint-Germain-des-Fossés seront branchées directement sur les lignes à 120 k*v* construites par la Compagnie d'Orléans, de Commentry à Saint-Germain-des-Fossés et par la S.T.E.C. de Saint-Germain-des-Fossés à Roanne, Saint-Etienne et Beaumont-Monteux.

* * *

L'énergie disponible sur les réseaux primaires à 150 k*v* et secondaires à 90 k*v* de la Compagnie d'Orléans est fournie :

A Chevilly, par les Usines de l'Union d'Electricité sous forme de courant triphasé, 50 périodes, 60 k*v* amené par câbles souterrains des usines de Gennevilliers et Vitry ;

A Eguzon, par la centrale de l'Union Hydroélectrique, sous forme de courant triphasé, 50 périodes à 10,5 k*v*.

La transformation est effectuée :

A Chevilly, par :

2 groupes de transformateurs t_1 et t_2 de 25.000 k*w* 60/90 k*v* ;
1 — — T_1 de 25.000 k*w* 60/150 k*v*.

A Eguzon, par :

2 groupes de transformateurs t'_1 et t'_2 de 21.000 k*va* 10,5/90 k*v* ;
1 — — T'_1 de 21.000 k*va* 10,5/90 k*v*.

La liaison entre réseaux primaires et secondaires ainsi que la régulation de la tension sont effectuées à Chaingy par : deux transformateurs à trois enroulements 150/90/6 k*v* ayant chacun une puissance de 25.000 k*va*.

Les deux enroulements à 90 et 150 k*v* sont connectés chacun en étoile, le troisième à 6 k*v* est connecté en triangle afin d'éliminer l'influence de l'harmonique 3. Ce troisième enroulement alimente les deux compensateurs synchrones de 10.000 k*va* dont l'excitation est réglée automatiquement par un régulateur Tirill.

(1) Voir *Revue Générale*, N° de Novembre 1925, p. 380.

Les caractéristiques principales des différents transformateurs et compensateurs sont rassemblées dans le tableau ci-après :

	Tensions	Puissance nominale	RI en %	XI en %	Pertes dans le fer	Courant magnétisant en %
Chevilly — t_1 ou t_2	60 — 90,2 kv	8.333 × 3 = 25.000 kw	0,94	10,7	34,3 kw 0,41 %	4 %
T_1	65 — 154	8.333 × 3 = 25.000 kw	0,96	13,6	55 kw 0,66 %	4 %
Éguzon — t'_1 ou t'_2	10,5 — 90,2 kv	7.000 × 3 = 21.000 kw	1,12	9,5	0,33 %	3,3 %
T'_1	10,5 — 154 kv	7.000 × 3 = 21.000 kw	1,2	13,8	0,49 %	4,6 %
Chaingy — E_1 ou E_2		7.500 × 3 = 22.500 kw				
Enroulement 1	90,2 kv					
Enroulement 2	6,6 kv					
Enroulement 3	154 kv					

Valeurs des caractéristiques électriques des lignes reliant les différents postes :

Z = impédance par kilomètre

Y = admittance par kilomètre

Ligne à 90 kv $\begin{cases} Z = 0{,}160 + j\ 0{,}400 \text{ ohms} \\ Y = \quad + j\ 2{,}85\ 10^{-6} \text{ mhos} \end{cases}$

Ligne à 150 kv $\begin{cases} Z = 0{,}124 + j\ 0{,}427 \text{ ohms} \\ Y = \quad + j\ 2{,}665\ 10^{-6} \text{ mhos} \end{cases}$

Avec ces données, il est possible de calculer la répartition de la chargé entre les différents éléments du système quand on se donne la valeur instantanée des puissances absolues pour chaque sous-station.

Les calculs ont été effectués, en supposant :

a/ Que la charge de traction sur la section Paris-Vierzon atteindra 44.000 kw (1) répartie entre les douze sous-stations ;

---

(1) Nous avons indiqué, dans la 4e partie de la présente note que le calcul du réseau de distribution a été fait en supposant que l'horaire des trains était celui de 1914, la charge de chaque train correspondant au tonnage maximum admissible dans les conditions normales d'exploitation à vapeur. Le trafic correspondant à ces hypothèses est, en tk remorquées, environ double de celui de 1920.

Nous rappelons dans le tableau ci-dessous les comparaisons faites entre le trafic maximum correspondant aux horaires de 1914 et le trafic réel de 1920.

	Trafic en tonnes-kilomètre remorquées	
	hypothétique	réel de 1923
Section Paris-Orléans	40 10^6	22 10^6
— Brétigny-Dourdan	11,7 »	3,5 »
— Orléans-Vierzon	19,5 »	11,5 »

b/ Que la charge correspondant aux services autres que ceux de traction (clientèle de l'U. D. E. notamment) atteindra 16.000 k*w*.

Les 16 schémas représentés sur les figures 4 à 8 indiquent approximativement le mode de

Fig. 4.

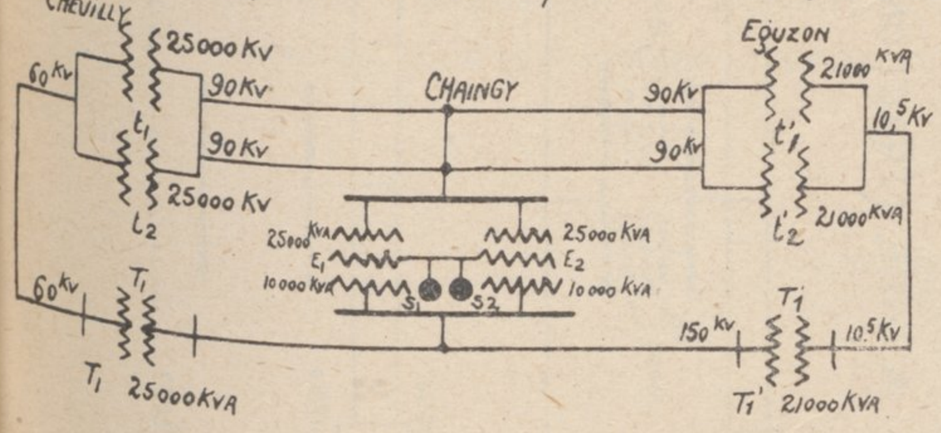
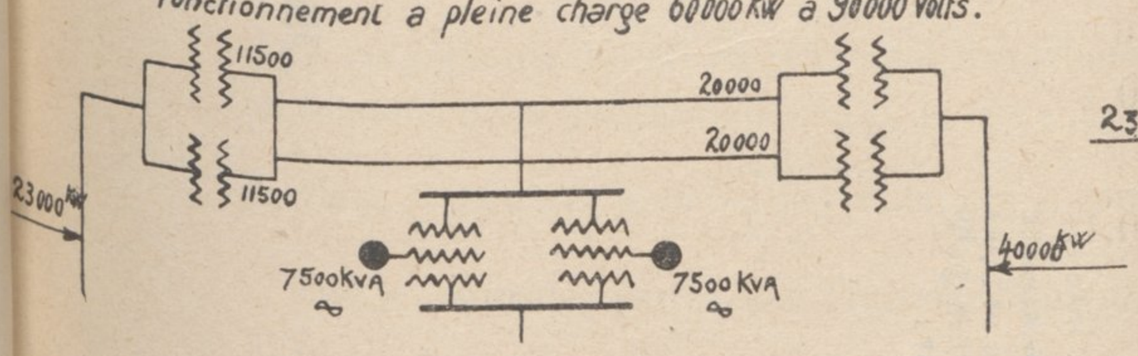


Fig. 5,



circulation de l'énergie dans le réseau considéré dans différentes hypothèses, les appareils de réglage entrant automatiquement en action pour maintenir constante à $\pm$ 3 % la tension continue aux bornes des commutatrices.

(Il s'agit, bien entendu, de la variation de tension due au fonctionnement du réseau lui-même et des commutatrices, abstraction faite des variations de tension aux usines génératrices).

La puissance réactive est réduite de 15.000 à 10.000 k*va* si on utilise une ligne à 150 k*v* pour transporter l'énergie à 90 k*v* et il est inutile de fournir de l'énergie réactive au réseau si les deux lignes à 90 k*v* et la ligne à 150 k*v* marchent en parallèle d'Eguzon à Chaingy.

Fig. 6,

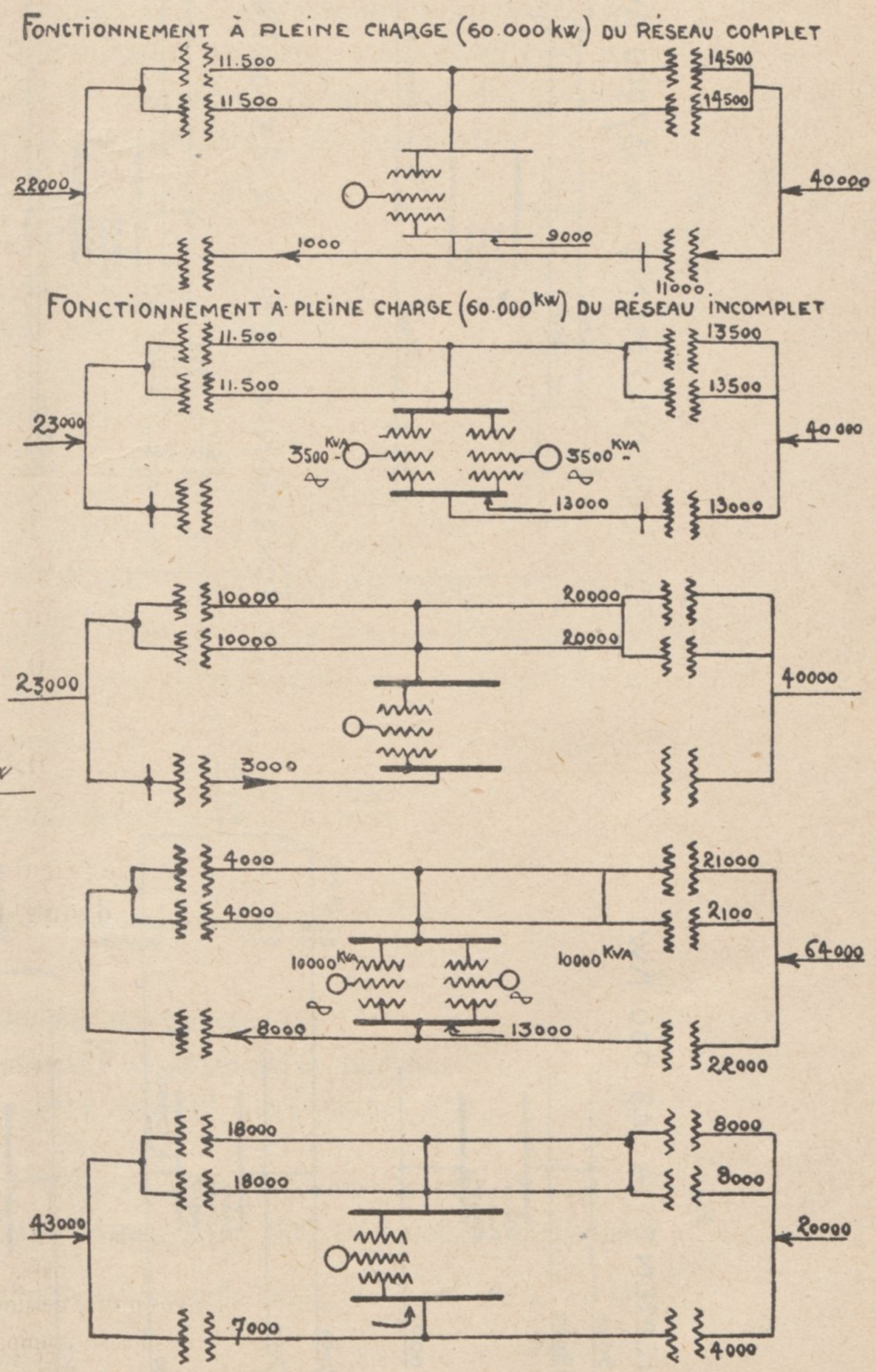
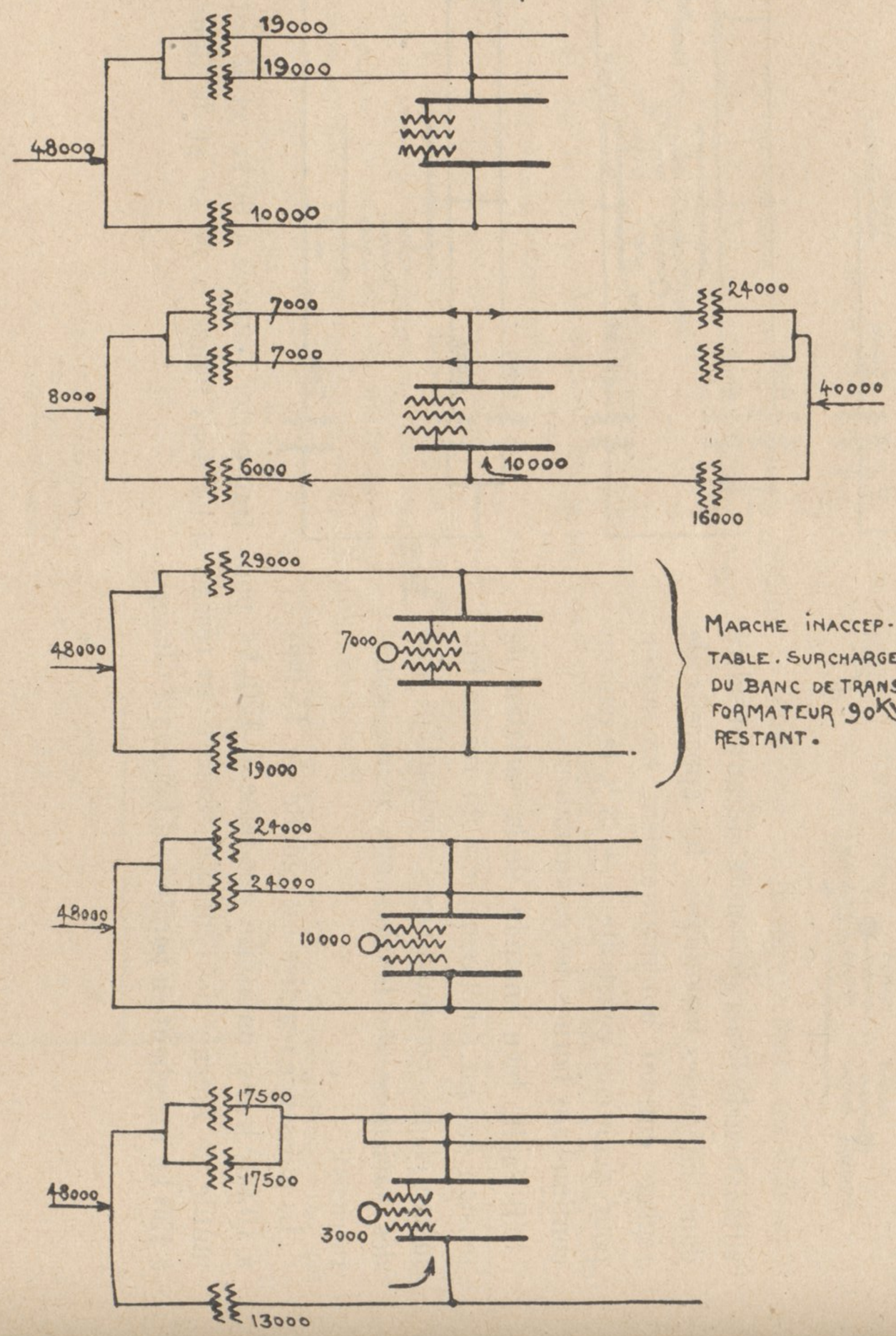


Fig. 7.

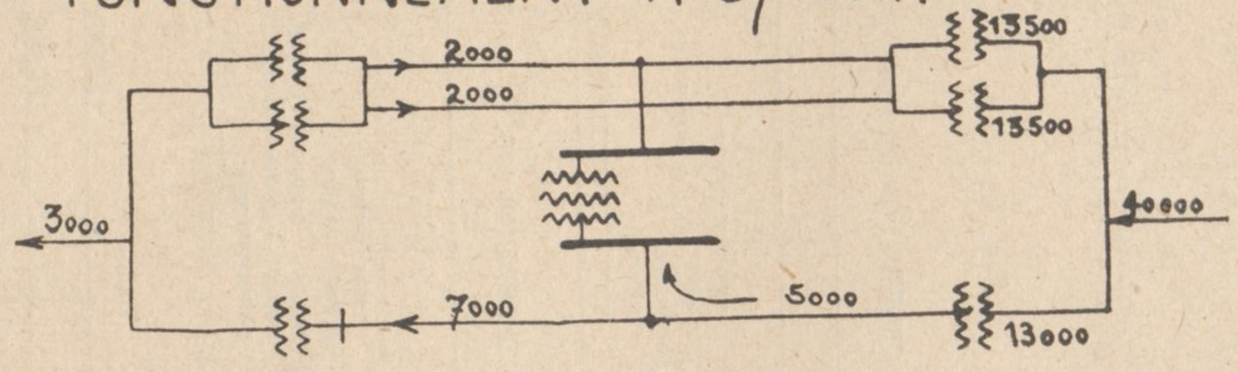
FONCTIONNEMENT À 48.000 Kw



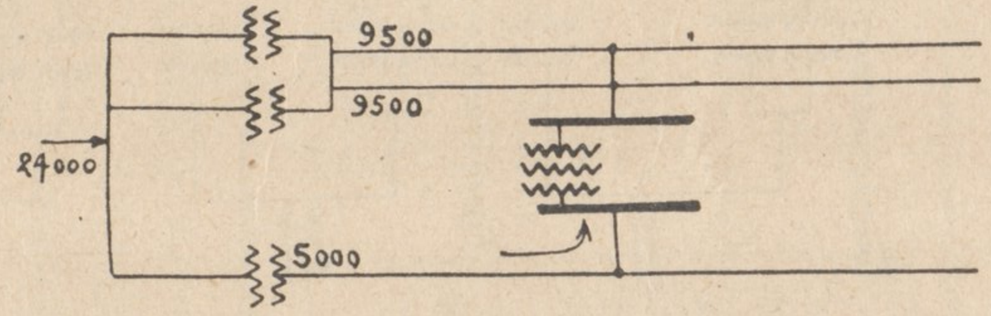
MARCHE INACCEPTABLE. SURCHARGE DU BANC DE TRANSFORMATEUR 90 Kv RESTANT.

Fig. 8.

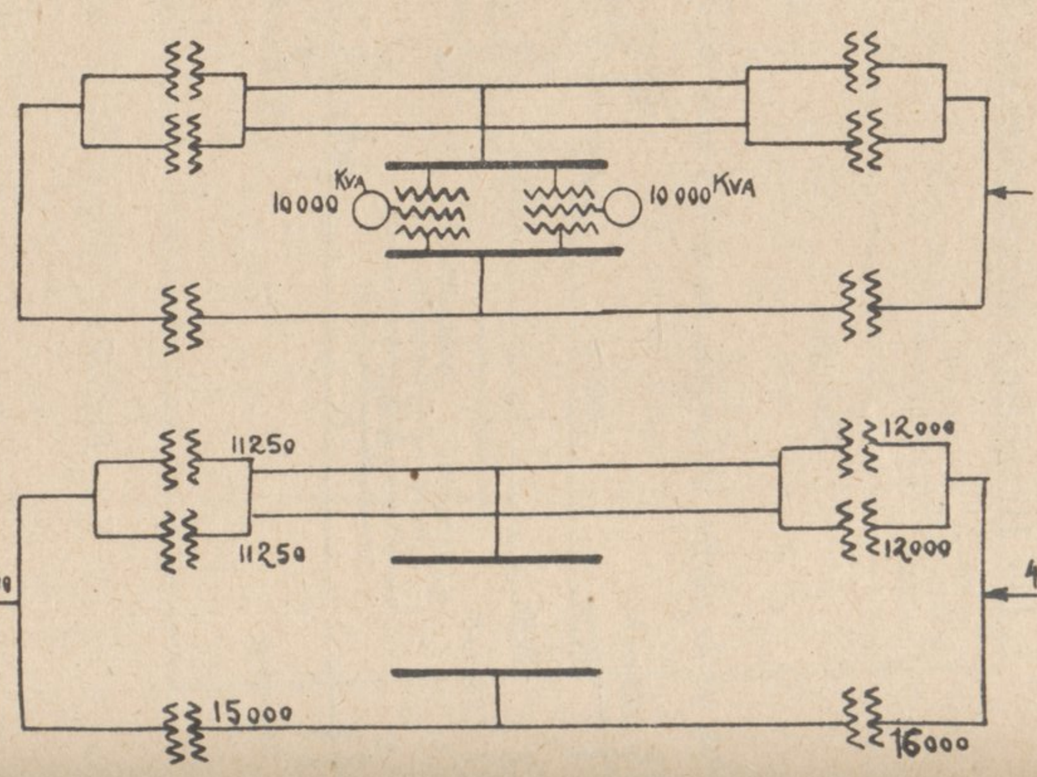
FONCTIONNEMENT À 37000 Kw



FONCTIONNEMENT À 23000 Kw



MARCHE A VIDE (TRACTION)



Fonctionnement d'une ligne de 475 km de longueur ayant les caractéristiques de la ligne de transport de force a 150/220 kv de la Compagnie d'Orléans

Le diagramme représenté sur les figures 9 et 9 *bis* ci-après donne, sous une forme très simple, les conditions de variation des divers éléments du transport pour la distance de 475 kilomètres (distance approximative de Vernéjoux à Paris). Ce diagramme, qui n'est autre qu'un diagramme Blondel complété d'après les travaux de MM. Thielemans et Darrieus, a été établi dans nos services d'études par M. Lachaise. Pour rendre ce diagramme indépendant des tensions absolues, on a pris comme variables auxiliaires, au départ et à l'arrivée, les rapports

$$\frac{\text{puissance en k}w}{(\text{tension en k}v)^2}$$

$$\frac{\text{puissance réactive en k}va}{(\text{tension en k}v)^2}$$

$$\frac{\text{pertes en k}w}{(\text{tension en k}v)^2}$$

Les valeurs des caractéristiques de la ligne sont, pour la fréquence 50 périodes :

Impédance kilométrique : $Z = 0{,}124 + j\ 0{,}427$ ohms

Admittance — $Y = 0 + j\ 2{,}665\ 10^{-6}$ mhos

Ce diagramme, qui est constitué par des familles de cercles, permet de trouver, par exemple en fonction de la puissance active et du cos φ à l'arrivée, correspondant à une tension kv_z l'arrivée (valeurs de $\mu = \frac{kw}{(kv_z)^2}$ et du cos φ_r connus) :

a) La valeur des pertes par l'intermédiaire du rapport $\frac{\text{pertes en k}w}{(kv_z)^2}$

b) La valeur du cos φ au départ : cos φ_g.

c) La valeur de la tension kv_g au départ, par l'intermédiaire du rapport $\frac{kv_g}{kv_z}$

Valeurs des Éléments du fonctionnement des lignes 150/220 kv correspondant a différentes distances de transport et a différentes charges a l'arrivée

Les figures 10 à 12 donnent, pour des distances de transport variant de 50 en 50 km, depuis la distance X = 100 jusqu'à la distance X = 600 en fonction du rapport $M = \frac{kw}{(kv_r)^2}$ et du cos φ à l'arrivée, cos φ_r (pour les valeurs de cos $\varphi_r = 1$ et cos $\varphi_r = 0{,}9$ avance et retard, cos $\varphi_r = 0{,}8$, avance et retard),

Les valeurs du rapport $\frac{I_g}{I_r}$ (Fig. 10)

» » » » $\frac{E_g}{E_r}$ (Fig. 11)

» » » » cos φ_g (Fig. 12)

Fig. 9. — Diagramme Blondel

Complété d'après MM. Thielmans et Barrieuset mis sous forme indépendante des tensions

Ligne de 475 Km. Conducteur aluminium-acier de 293 mm² 8

Ecartement 7 m. 80.

Table donnant les valeurs de $M = \frac{Kw \text{ reçus}}{(Kv_r)^2}$ pour différentes tensions et différentes puissances

Kw \ Kv	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
10.000	0,549	0,541	0,533	0,525	0,517	0,510	0,503	0,496	0,489	0,482	0,476	0,469	0,463	0,457	0,451	0,445
20 000	1,098	1,082	1,066	1,050	1,035	1,020	1,006	0,992	0,978	0,965	0,952	0,939	0,926	0,914	0,902	0,890
30 000	1,647	1,622	1,598	1,575	1,552	1,530	1,509	1,488	1,467	1,447	1,428	1,408	1,389	1,371	1,353	1,335
40 000	2,196	2,163	2,131	2,100	2,070	2,040	2,012	1,984	1,956	1,930	1,904	1,878	1,852	1,828	1,804	1,780
50 000	2,745	2,704	2,664	2,625	2,587	2,550	2,515	2,480	2,445	2,412	2,380	2,347	2,315	2,285	2,255	2,225
60 000	3,294	3,245	3,197	3,150	3,105	3,061	3,019	2,976	2,935	2,895	2,856	2,817	2,779	2,742	2,706	2,670

	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230
20000	0,433	0,429	0,425	0,421	0,417	0,413	0,409	0,406	0,402	0,398	0,395	0,391	0,388	0,385	0,381	0,378
30000	0,649	0,643	0,637	0,631	0,625	0,620	0,614	0,609	0,603	0,598	0,592	0,587	0,582	0,577	0,572	0,567
40 000	0,865	0,858	0,849	0,842	0,834	0,626	0,819	0,812	0,804	0,797	0,790	0,782	0,776	0,770	0,762	0,756
50000	1,082	1,072	1,062	1,052	1,042	1,033	1,024	1,014	1,01	0,996	0,987	0,979	0,970	0,962	0,953	0,945
60 000	1,297	1,286	1,274	1,262	1,251	1,240	1,228	1,218	1,206	1,195	1,185	1,173	1,164	1,155	1,143	1,134
80 000	1,730	1,714	1,699	1,683	1,668	1,653	1,637	1,623	1,608	1,594	1,580	1,564	1,552	1,540	1,524	1,512
100 000	2,163	2,143	2,124	2,104	2,085	2,066	2,047	2,030	2,011	1,992	1,975	1,955	1,940	1,925	1,905	1,890
120 000	2,596	2,572	2,548	2,525	2,502	2,479	2,455	2,435	2,413	2,390	2,370	2,346	2,328	2,310	2,286	2,268

Exemple de détermination d'un régime de fonctionnement

Conditions à l'arrivée $\begin{cases} Kw_r = 50.000 \\ Kv_r = 144. \\ \text{Cos } \varphi = 0,970 \text{ ar} \end{cases}$

Sans compensateur synchrone.

Le tableau ci-dessus donne

$$M = \frac{Kw_r}{(Kv_r)^2} = 2,412$$

d'où le point P à l'intersection de la parallèle à l'axe des KVA réactifs menée par M = 2,412, avec la droite Cos φ = 0,970 ar

On lit sur le diagramme :

$$\frac{Kv_g}{Kv_r} = 1,206 \quad \text{d'où } Kv_g = 175 Kv$$

$$\text{Cos } \varphi_g = 0,996 \text{ ar}$$

$$m = \frac{\text{Pertes en Kw}}{(Kv_r)^2} = 0,305$$

D'où le rendement

$$\frac{M}{M+m} = \frac{2,412}{2,717} = 0,89$$

Avec compensateur synchrone.

Supposons qu'on veuille avoir 156 Kv au départ.

Il faut amener P en P' sur le cercle des tensions côté

$$\frac{Kv_g}{Kv_r} = \frac{156}{144} = 1,083$$

Au point P' on lit :

$$\text{Cos } \varphi_r = 0,994 \text{ av}$$

$$\text{Cos } \varphi_g = 0,9955 \text{ av}$$

$$m = \frac{\text{Pertes en Kw}}{(Kv_r)^2} = 0,345$$

d'où le rendement

$$\frac{M}{M+m} = \frac{2,412}{2,757} = 0,875$$

Puissance de compensateur synchrone nécessaire

$$\overline{PP'} \times (Kv_r)^2 =$$

PP' étant mesuré à l'échelle $\frac{\text{KVA réactifs}}{(Kv_r)^2}$

On trouve :

$$0,875 \times \overline{144}^2 = 18000 \text{ KVA}$$

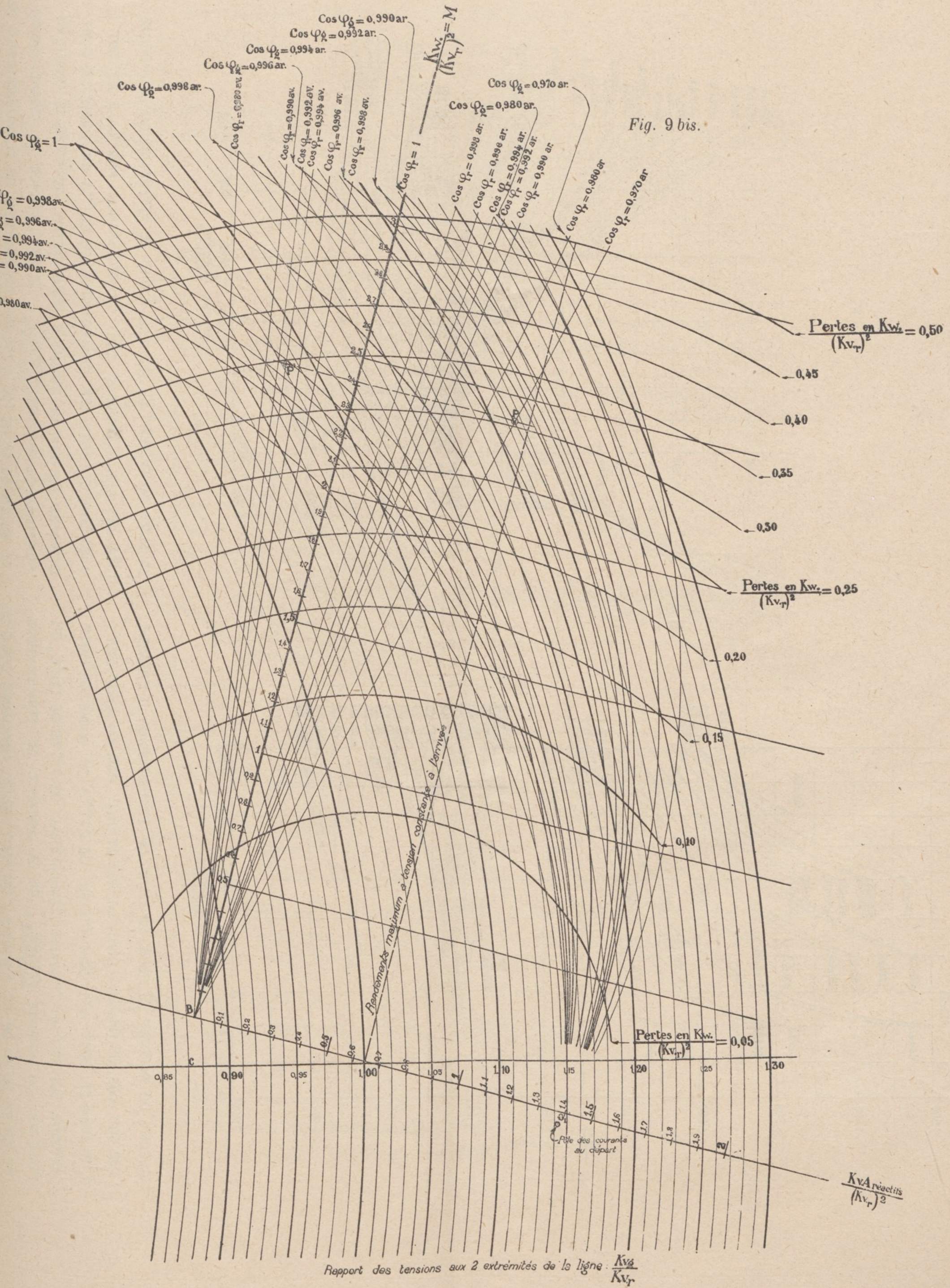
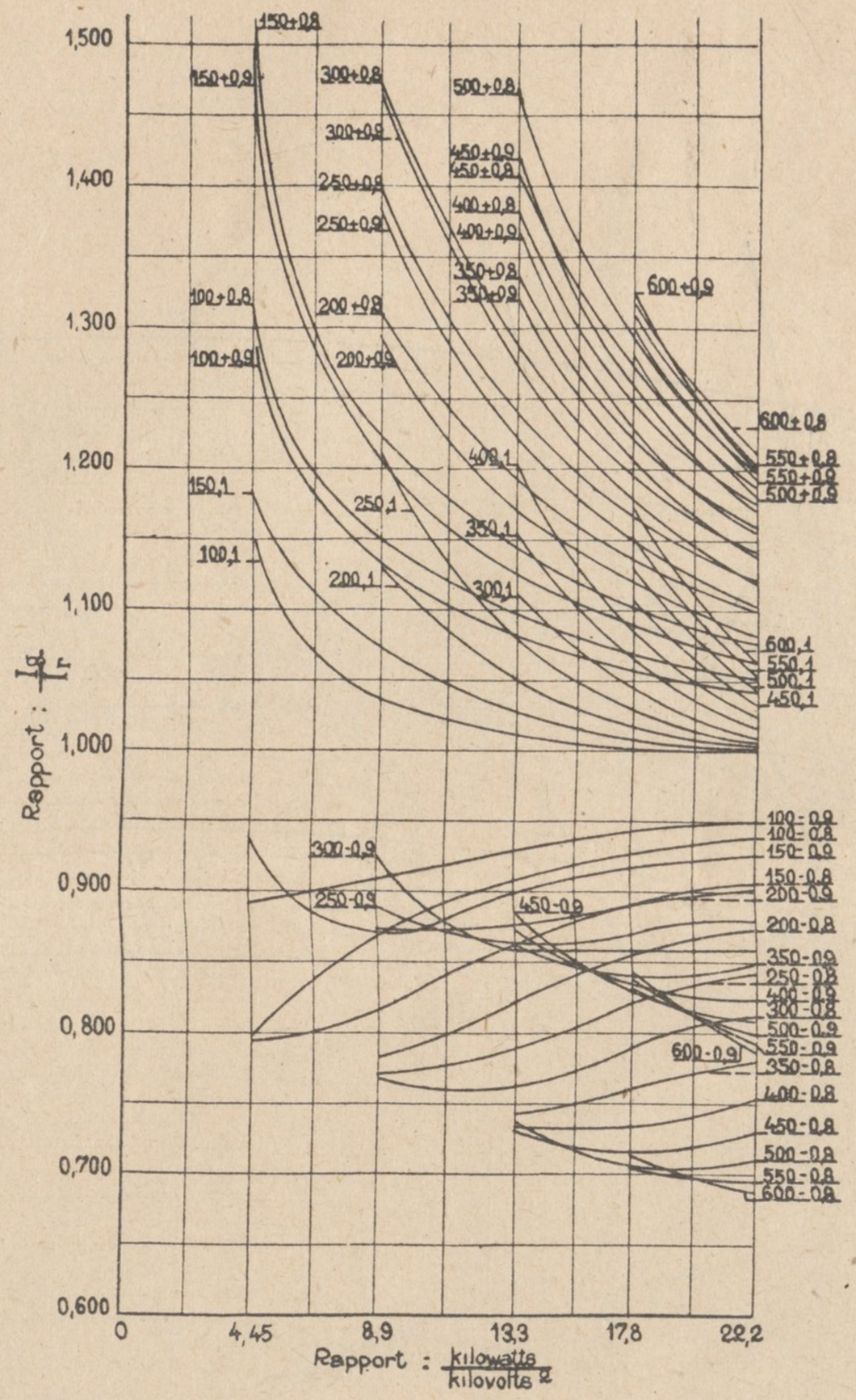

Cos φ₂ = 1
Cos φ₂ = 0,998 av.
Cos φ₂ = 0,996 av.
Cos φ₂ = 0,994 av.
Cos φ₂ = 0,992 av.
Cos φ₂ = 0,990 av.
Cos φ₂ = 0,980 av.
Cos φ₂ = 0,998 ar.
Cos φ₂ = 0,996 ar.
Cos φ₂ = 0,994 ar.
Cos φ₂ = 0,992 ar.
Cos φ₂ = 0,990 ar.
Cos φ₂ = 0,980 ar.
Cos φ₂ = 0,970 ar.
Cos φ₁ = 1
Cos φ₁ = 0,998 av.
Cos φ₁ = 0,996 av.
Cos φ₁ = 0,994 av.
Cos φ₁ = 0,992 av.
Cos φ₁ = 0,990 av.
Cos φ₁ = 0,980 av.
Cos φ₁ = 0,998 ar.
Cos φ₁ = 0,996 ar.
Cos φ₁ = 0,994 ar.
Cos φ₁ = 0,992 ar.
Cos φ₁ = 0,990 ar.
Cos φ₁ = 0,980 ar.
Cos φ₁ = 0,970 ar.
Pertes en Kw. / (Kv.r)² = 0,50
0,45
0,40
0,35
0,30
Pertes en Kw. / (Kv.r)² = 0,25
0,20
0,15
0,10
Pertes en Kw. / (Kv.r)² = 0,05
Rendements maximum à tension constante à l'arrivée
Pôle des courants au départ
B
C
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
1,20
1,25
1,30
Kv.A réactifs / (Kv.r)²
Rapport des tensions aux 2 extrémités de la ligne : Kv2 / Kv1

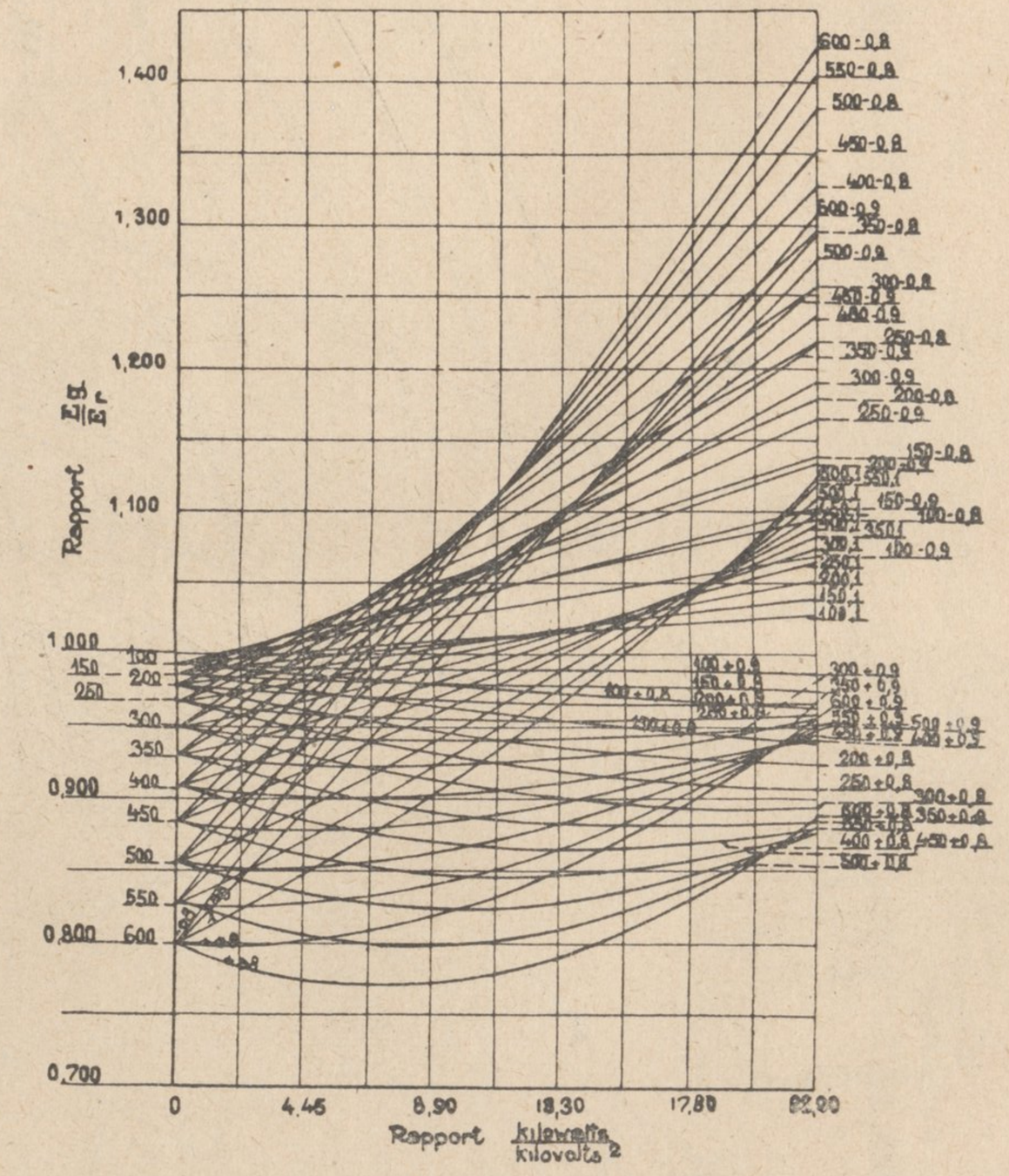
Fig. 9 bis.

Fig. 10.



VALEURS DU RAPPORT $\frac{Ig}{Ir}$ POUR LA LIGNE DE TRANSMISSION D'ENERGIE (150.000 volts, 50 périodes) DONT LA RÉSISTANCE PAR km A 20° EST 0,131 Ohms ET DONT LES CONDUCTEURS DE 22^{mm}3 DE DIAMÈTRE SONT DISPOSÉS SUIVANT UN TRIANGLE ÉQUILATÉRAL DE 7^{m}79 DE CÔTÉ ; EN FONCTION : DU RAPPORT $\frac{\text{kilowatts}}{\text{kilovolts}^2}$, DE LA DISTANCE DE TRANSMISSION DE 50 EN 50 km DE 100 A 600 km, DU FACTEUR DE PUISSANCE COS φ DE LA CHARGE A L'ARRIVÉE POUR LES VALEURS 1, 0,8 ET 0,9 EN AVANCE, 0,9 ET 0,8 EN RETARD

Fig. 11.



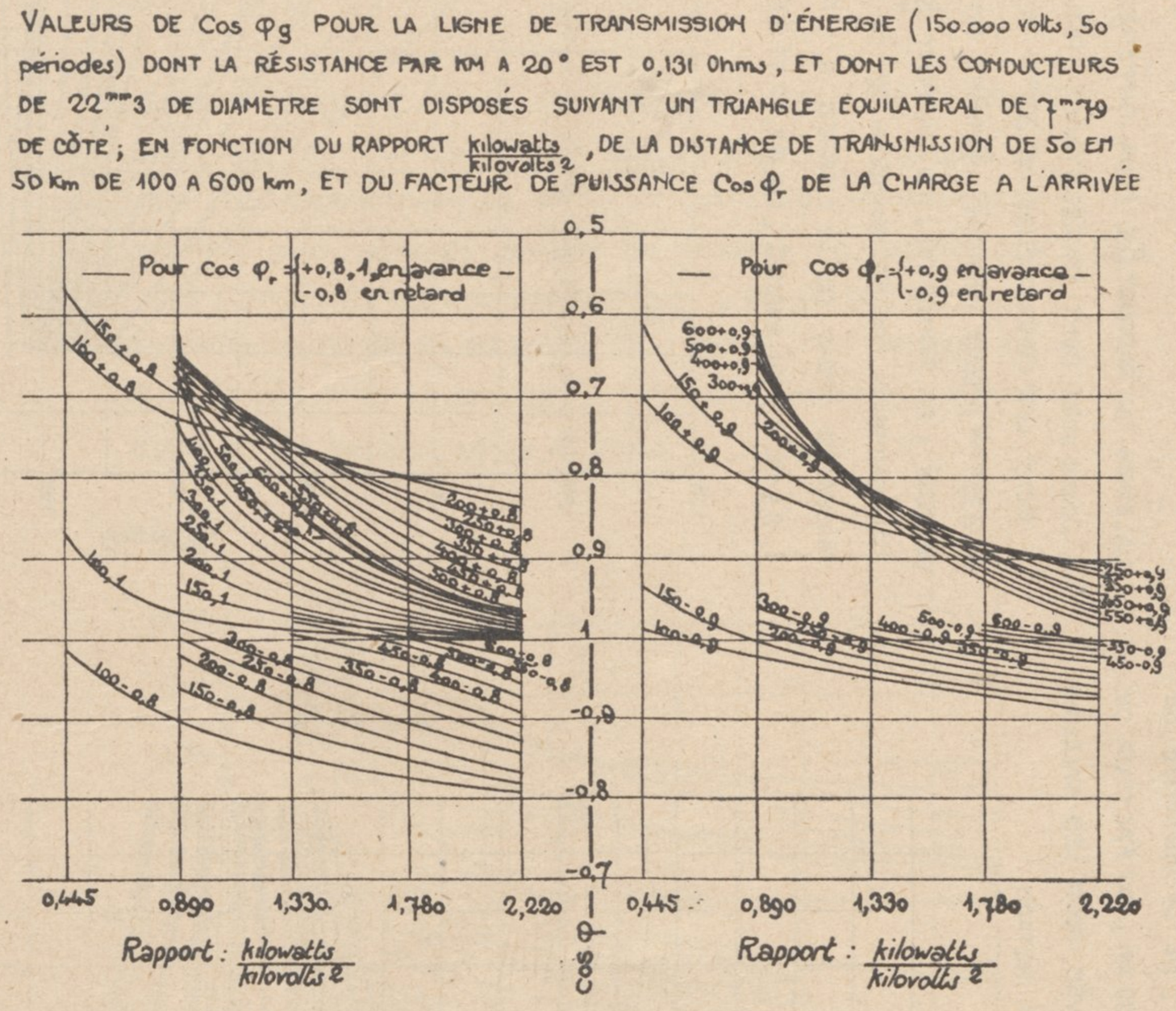
VALEURS DU RAPPORT $\frac{Eg}{Er}$ POUR LA LIGNE DE TRANSMISSION D'ENERGIE (150.000 volts, 50 périodes) DONT LA RÉSISTANCE PAR km A 20° EST 0,131 Ohms ET DONT LES CONDUCTEURS DE 22^{mm}3 DE DIAMÈTRE SONT DISPOSÉS SUIVANT UN TRIANGLE ÉQUILATÉRAL DE 7^{m}79 DE CÔTÉ ; EN FONCTION : DU RAPPORT $\frac{\text{kilowatts}}{\text{kilovolts}^2}$, DE LA DISTANCE DE TRANSMISSION DE 50 EN 50 km DE 100 A 600 km, DU FACTEUR DE PUISSANCE COS φ DE LA CHARGE A L'ARRIVÉE POUR LES VALEURS 1, 0,8 ET 0,9 EN AVANCE, 0,9 ET 0,8 EN RETARD

Ces lignes sont supposées avoir comme caractéristiques :

Impédance kilométrique : $Z = 0{,}131 + j\ 0{,}42$ ohms.
Admittance » : $Y = 0 \quad + j\ 2{,}66\ 10^{-6}$ mhos.

Ces graphiques ont été tracés en déterminant les valeurs des éléments du transport pour différentes valeurs de M, cos φ_r et X au moyen du « Calculateur de Miss Clarke ».

Fig. 12.



Valeurs des Éléments du fonctionnement des lignes 90 k*v* correspondant a différentes distances de transport X et a différentes charges a l'arrivée

Les figures 13 à 15 donnent :

a) Pour la distance de transport X = 50, 100, 150 et 200 k*m*

b) Pour les déphasages φ_r à l'arrivée

Cos $\varphi_r = 1$,
Cos $\varphi_r = 0{,}9$ en avant et en retard,
Cos $\varphi_r = 0{,}8$ en avant et en retard.

Fig. 13.

VALEURS DU RAPPORT $\frac{Ig}{Ir}$ POUR DIFFÉRENTES LONGUEURS DE LIGNES A 90.000 volts DONT LA RÉSISTANCE PAR km A 20° EST 0,131 Ohms ET DONT LES CONDUCTEURS DE 20^{mm}1 DE DIAMÈTRE (aluminium - acier de 238^{mm2}) SONT DISPOSÉS SUIVANT UN TRIANGLE ÉQUILATÉRAL DE 4^{m}51 DE CÔTÉ ; EN FONCTION : DU RAPPORT $\frac{kW}{kV^2}$, DE LA DISTANCE DE TRANSMISSION DE 50 EN 50 km DE 50 A 200 km, DU FACTEUR DE PUISSANCE COS φ DE LA CHARGE A L'ARRIVÉE POUR LES VALEURS 1, 0,8 ET 0,9 EN AVANCE, 0,9, 0,8, 0,7 ET 0,6 EN RETARD

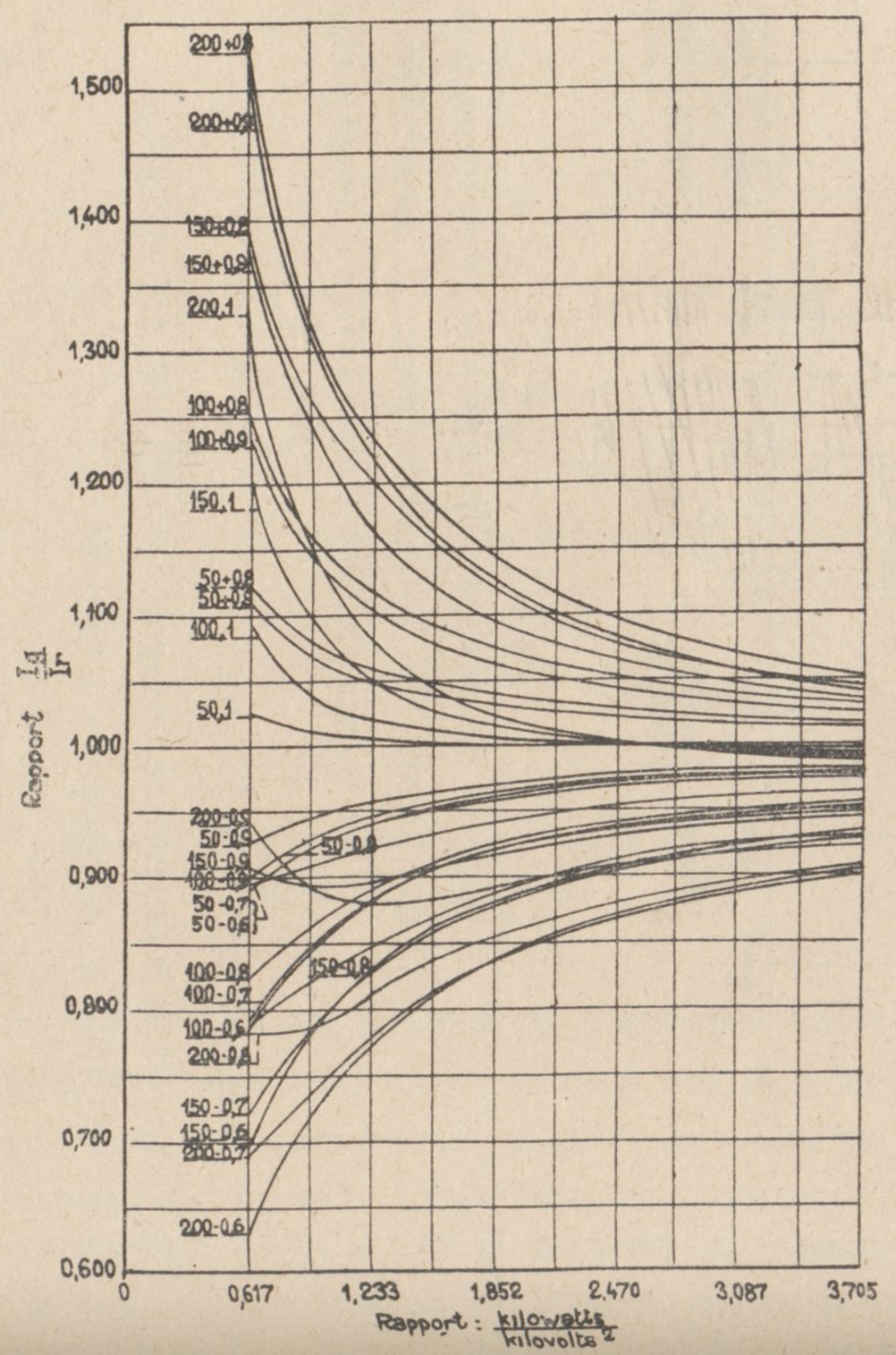
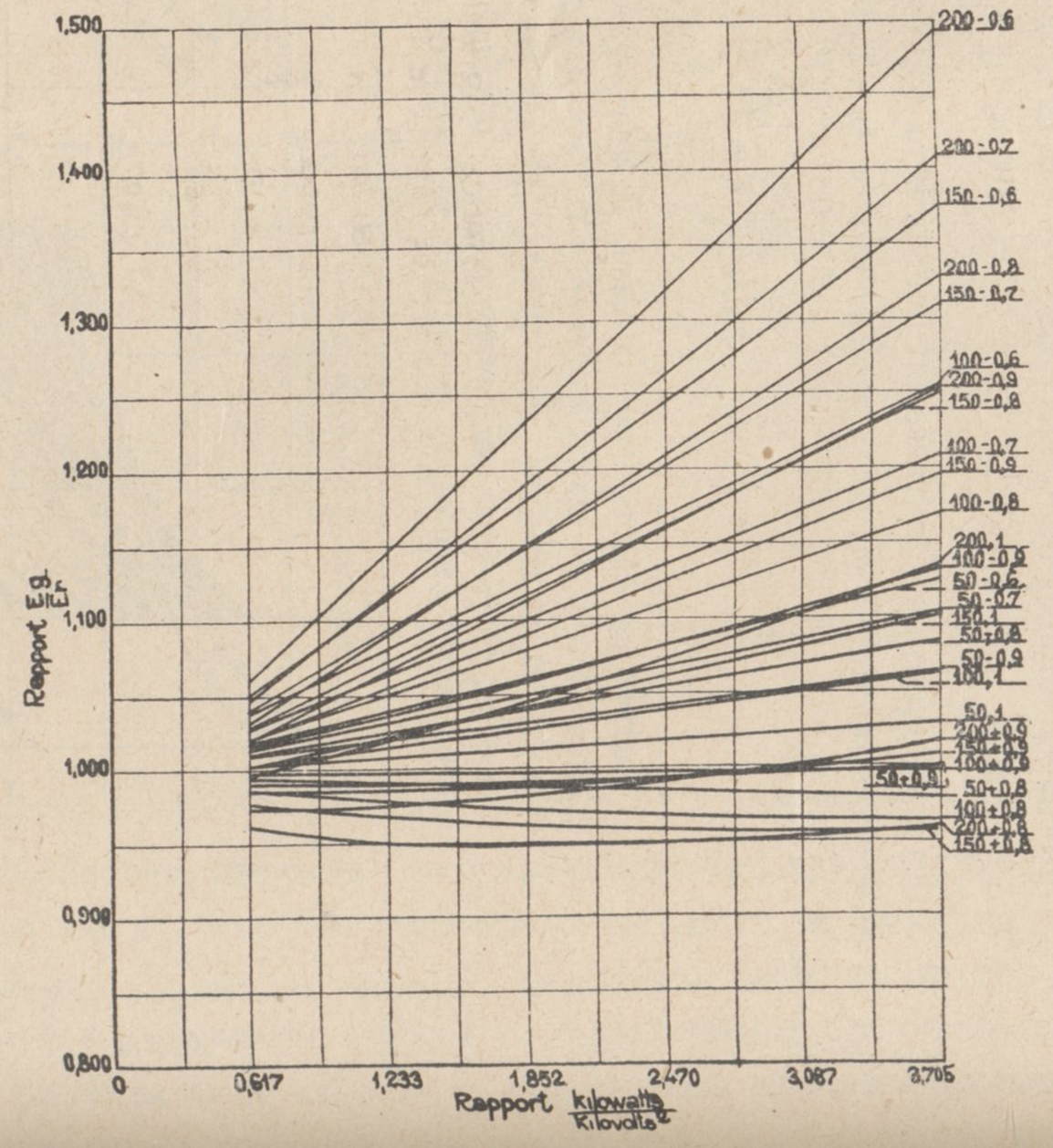


Fig. 14.

VALEURS DU RAPPORT $\frac{Eg}{Er}$ POUR DIFFÉRENTES LONGUEURS DE LIGNES A 90.000 volts DONT LA RÉSISTANCE PAR km A 20° EST 0,131 Ohms ET DONT LES CONDUCTEURS DE 20^{mm}1 DE DIAMÈTRE (aluminium - acier de 238^{mm2}) SONT DISPOSÉS SUIVANT UN TRIANGLE ÉQUILATÉRAL DE 4^{m}51 DE COTÉ ; EN FONCTION : DU RAPPORT $\frac{kW}{kV^2}$, DE LA DISTANCE DE TRANSMISSION DE 50 EN 50 km DE 50 A 200 km, DU FACTEUR DE PUISSANCE COS φ DE LA CHARGE A L'ARRIVÉE POUR LES VALEURS 1, 0,8 ET 0,9 EN AVANCE, 0,9, 0,8, 0,7 ET 0,6 EN RETARD



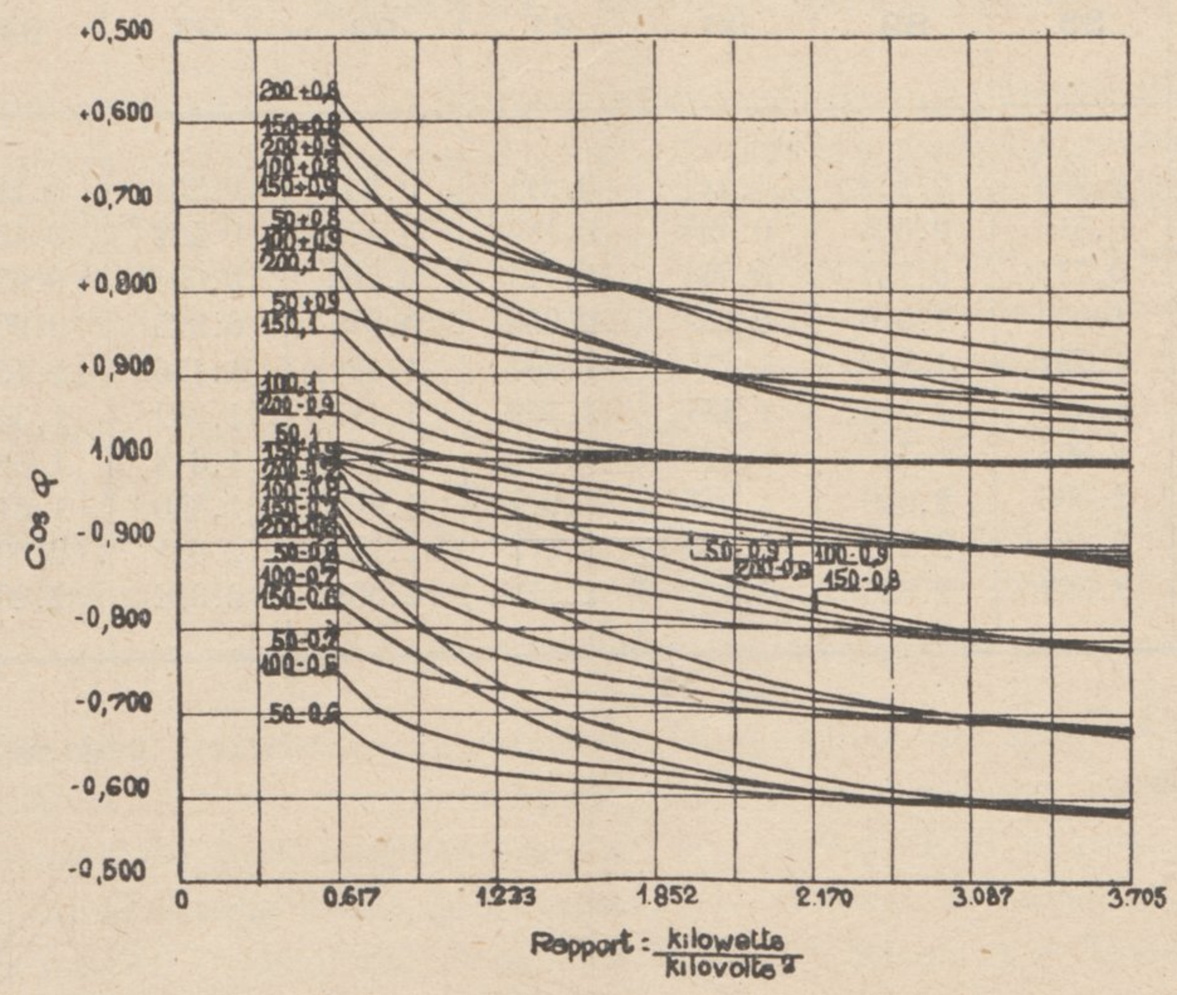
c) Et pour toutes les valeurs du rapport $\mu = \frac{kw}{(kv_r)^2}$ comprises entre 0,61 et 3,70, les valeurs des éléments de fonctionnement suivants :

1° Valeur du rapport $\frac{I_g}{I_r}$ des intensités des courants au départ et à l'arrivée (Fig. 13).

2° Valeur du rapport $\frac{E_g}{E_r}$ des tensions au départ et à l'arrivée (Fig. 14).

3° Valeur de cos φ_g déphasage du courant au départ (Fig. 15).

Fig. 15.



Les calculs de ces éléments ont été effectués au moyen du « calculateur de Miss Clarke », en prenant comme caractéristiques des lignes des valeurs suivantes :

Ecartement des conducteurs $d = 4$; $d' = 4{,}62$; $d'' = 5{,}08$.

Ecartement équivalent $\sqrt[3]{d\ d'\ d''} = 4{,}51$

Impédance kilométrique $Z = 0{,}16 + j\ 0{,}40$ ohms.

Admittance kilométrique $Y = 0 \quad + j\ 2{,}857\ 10^{-6}$ mhos.

Le tableau ci-après permet de trouver rapidement, par interpolation, les valeurs de μ correspondant à différentes charges kw et différentes tensions voisines de 90 kv.

VALEURS DU RAPPORT $\mu = \frac{kw}{(kv)^2}$

Puissance en kw \ Tension en kv	80	81	82	83	84	85	86	87
2.000	0.312	0.305	0.297	0.290	0.283	0.277	0.270	0.264
4.000	0.625	0.610	0.595	0.581	0.567	0.554	0.541	0.528
6.000	0.937	0.914	0.892	0.871	0.850	0.830	0.811	0.793
8.000	1.250	1.219	1.190	1.161	1.134	1.107	1.082	1.057
10.000	1.562	1.524	1.487	1.451	1.417	1.384	1.352	1.321
12.000	1.875	1.829	1.784	1.742	1.700	1.661	1.622	1.585
14.000	2.187	2.135	2.082	2.032	1.984	1.938	1.893	1.849
16.000	2.500	2.439	2.379	2.322	2.267	2.214	2.163	2.114
18.000	2.812	2.745	2.677	2.613	2.551	2.491	2.434	2.378
20.000	3.125	3.048	2.974	2.903	2.834	2.770	2.704	2.642

Puissance en kw \ Tension en kv	88	89	90	91	92	93	94	95
2.000	0.258	0.252	0.247	0.241	0.236	0.231	0.226	0.222
4.000	0.516	0.505	0.494	0.483	0.472	0.462	0.453	0.443
6.000	0.775	0.757	0.741	0.724	0.709	0.694	0.679	0.665
8.000	1.033	1.010	0.989	0.966	0.945	0.925	0.905	0.886
10.000	1.291	1.262	1.235	1.207	1.181	1.156	1.131	1.108
12.000	1.549	1.515	1.481	1.449	1.417	1.387	1.358	1.339
14.000	1.807	1.767	1.728	1.690	1.653	1.618	1.584	1.551
16.000	2.066	2.020	1.975	1.932	1.890	1.850	1.810	1.773
18.000	2.324	2.272	2.222	2.173	2.126	2.081	2.037	1.994
20.000	2.582	2.525	2.469	2.415	2.362	2.312	2.263	2.216

(*à suivre*).

45e Année. Mars 1926. REVUE GÉNÉRALE DES CHEMINS DE FER 1er Semestre. — N° 3.

ELECTRIFICATION PARTIELLE DU RÉSEAU DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS

Par M. PARODI,

INGÉNIEUR EN CHEF-ADJOINT DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS.

(Suite) (1)

Description des lignes de transports de force

1° Ligne a 150/220 kv Eguzon — Paris

Cette ligne est constituée essentiellement par trois câbles d'aluminium avec âme acier d'une section de 293,8 mm^2 supportés par l'intermédiaire de chaînes d'isolateurs du type Hewlett à une hauteur minimum de 11 mètres au-dessus du sol, la longueur maximum des chaînes d'isolateurs en alignement étant, pour la tension de fonctionnement de 220 KV, de 2 *m*,25 (13 éléments).

Tous les supports sont constitués par des pylônes métalliques disposés de manière que les points d'attache des trois conducteurs d'énergie forment un triangle équilatéral de 7 *m*,79 de côté. Dans les conditions les plus favorables du tracé et sous l'action d'un vent de 72 k*g* par m^2 de surface diamétrale agissant horizontalement sur les conducteurs et les isolateurs, la distance entre chacun des conducteurs et la partie la plus rapprochée des pylônes ne sera pas inférieure à 1 *m*,80.

Les conducteurs d'énergie sont surmontés par deux câbles en acier de 60 mm^2 formant câbles de terre, reliés électriquement à la masse de chaque pylône. Dans l'hypothèse la plus défavorable, la distance entre câbles de terre et conducteurs sera de 3 mètres au minimum.

Les conducteurs sont disposés de manière que chacun d'eux effectue six rotations complètes d'Eguzon à Chaingy et quatre de Chaingy à Chevilly comme il est indiqué sur la figure 16 ci-après qui montre en outre qu'entre Eguzon et Paris, il existe trois points de sectionnement autres que ceux correspondant à la Centrale (Eguzon) et aux postes de transformation (Chevilly, Chaingy).

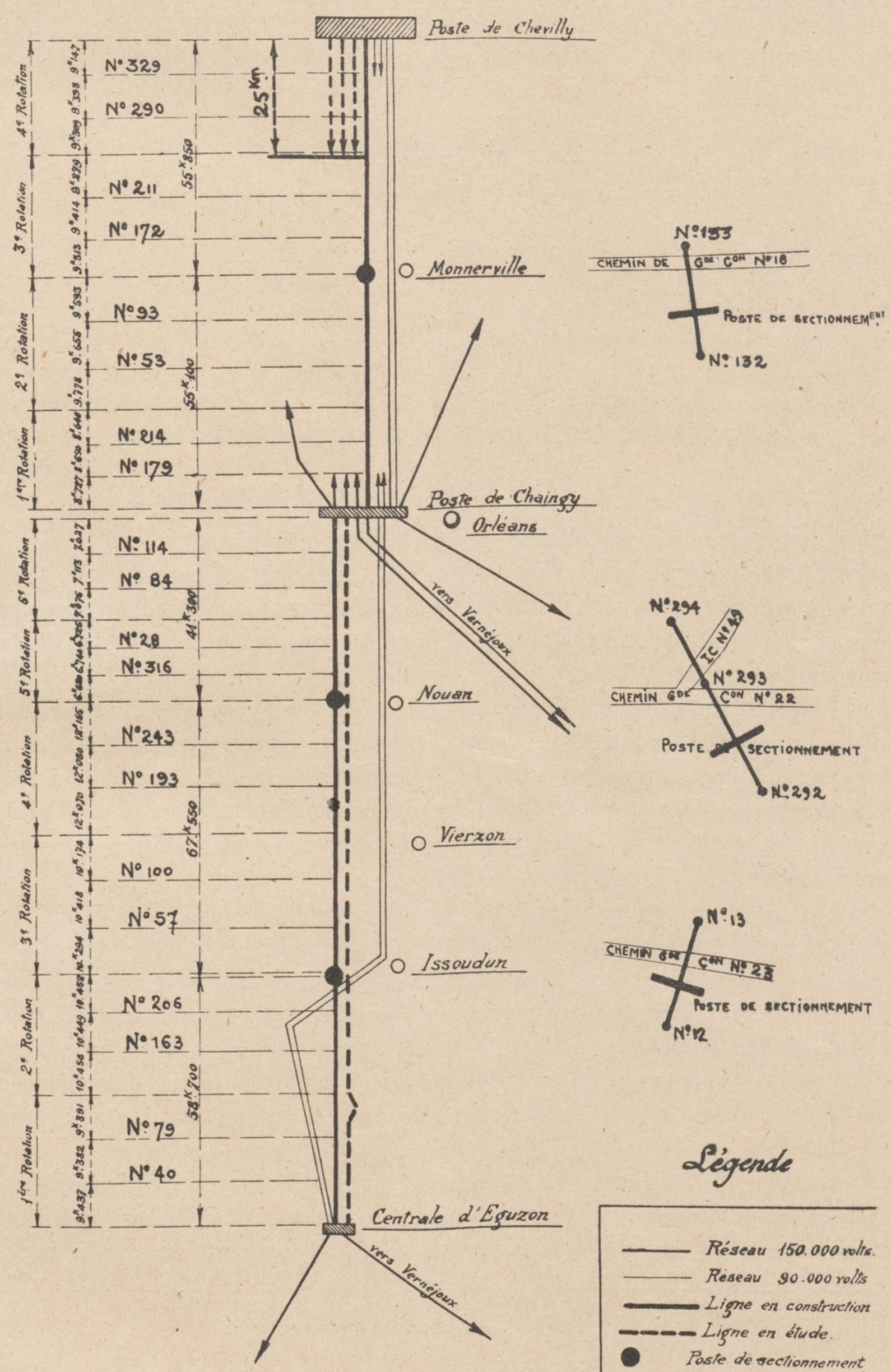
Pour l'installation de l'ensemble du système de lignes H.T., on s'est conformé, en vertu d'un accord spécial intervenu avec l'Administration des Postes et Télégraphes, aux prescriptions édictées par la « Railroad Commission » de Californie à la suite des très importantes

(1) Voir *Revue Générale*, N° de Novembre, Décembre 1925 et Février 1926.

Source gallica.bnf.fr / Ecole nationale des Ponts et chaussées

expériences effectuées par l'« Interference Committee ». Dans ces conditions, il est à peu près certain qu'aucun effet gênant d'induction ne sera constaté sur les lignes à courant faible les plus voisines du réseau haute tension, la distance minimum entre parallélismes étant de l'ordre de 375 mètres.

Fig. 16.



Spécifications des conducteurs. — Les lignes 150/220 KV sont constituées par des câbles aluminium-acier ayant une section totale de 293,8 mm^2 et deux câbles de terre en acier galvanisé de 60 mm^2 de section.

Câble aluminium-acier :	
Section totale	293,8 mm^2
Section d'aluminium	238
Section d'acier	55
Aluminium :	
Nombre de brins	30
Section de chaque brin	7,94 mm^2
Diamètre de chaque brin	318/100
Acier :	
Nombre de brins	7
Section de chaque brin	7,9 mm^2
Diamètre de chaque brin	318/100
Diamètre extérieur	22,3 mm
Poids au mètre courant :	
Total	1,13 kg
Aluminium	0,675
Acier	0,455

Câble de terre	
Section totale	60 mm^2
Nombre de brins	19
Section de chaque brin	3,14 mm^2
Diamètre de chaque brin	200/100
Diamètre extérieur	10,01 mm
Poids au mètre courant	0,468 kg

Conditions mécaniques de fonctionnement :

Câble aluminium-acier :	
Résistance à la rupture	8.500 kg
Limite d'élasticité	4.600
Module d'élasticité (kg/mm^2)	8.680
Coefficient de dilatation linéaire.	17,25 10^6
Portée moyenne	250 m

	tensions	flèches
— 20° C sans vent	1.958 k	4,50
+ 15° C » »	1.580 k	5,60
+ 45° C » »	1.377 k	6,44
+ 15° vent 72 k/m^2	2.440 k	6,25
— 20° vent 18 »	2.040 k	4,59

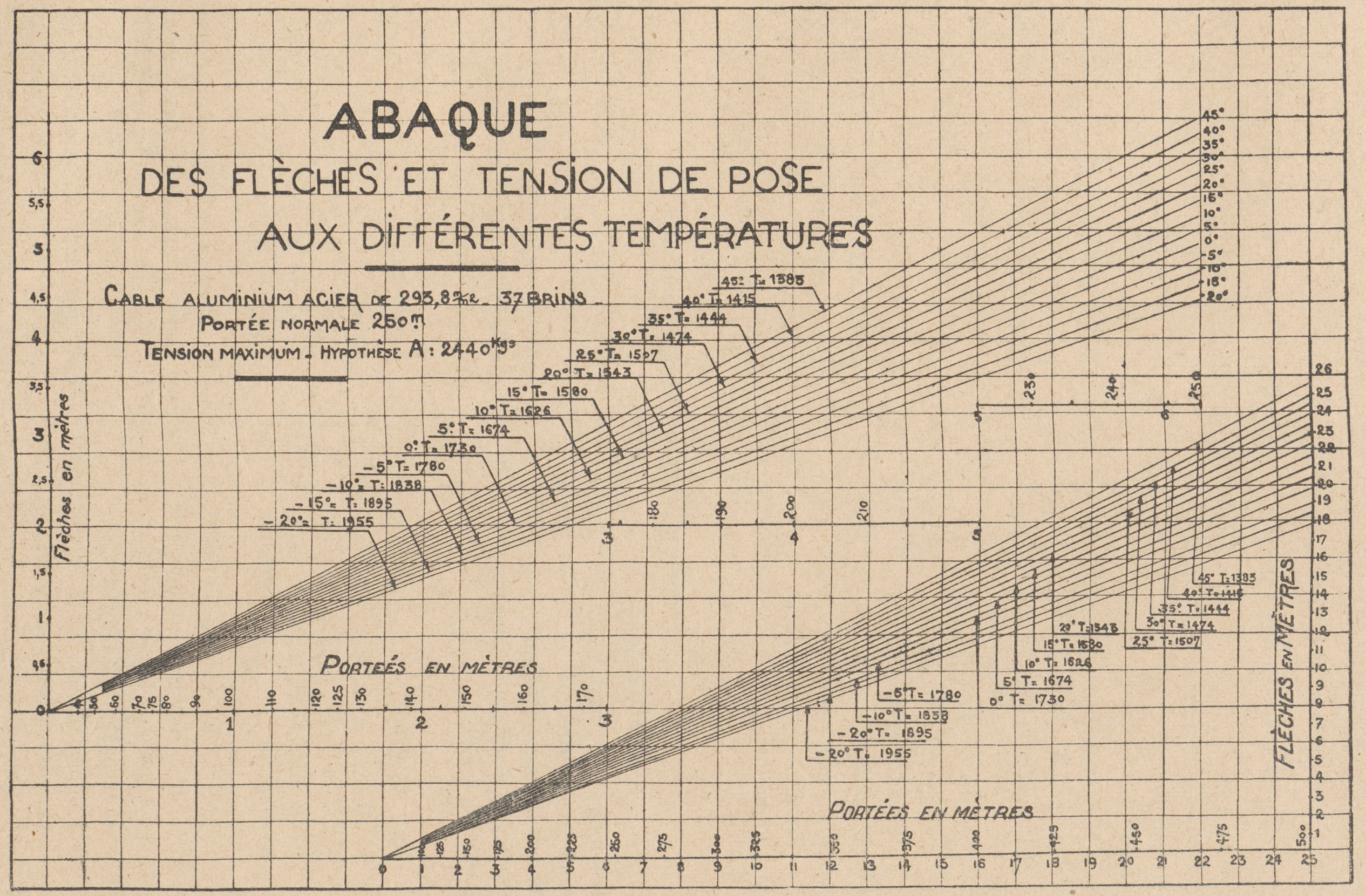
Câble de terre	
Résistance à la rupture	4.800 à 5.400 kg
Module d'élasticité (kg/mm^2)	22.800
Coefficient de dilatation linéaire.	11 10^6
Portée moyenne	250 m

	tensions	flèches
— 20° C sans vent	845 k	4,90
+ 15° C » »	720 k	5,60
+ 45° C » »	650 k	6,20
+ 15° vent 72 k/m^2	1.120 k	6,15
— 20° vent 18 »	865 k	4,93

La figure 17 donne, pour les câbles en question, les valeurs des flèches et des tensions en fonction de la portée pour différentes températures dans le cas où le câble a été tendu de manière à donner à 15° et sous l'action d'un vent de 72 kg/m^2, une tension de 2.440 kg pour la portée normale de 250 mètres.

L'aluminium employé est de l'aluminium dit à 99 % ; il ne contient aucune trace de sodium et la somme des teneurs en fer et en silicium ne dépasse pas 1 % avec tolérance de 0,2 %. L'acier employé pour constituer les câbles de terre est de l'acier galvanisé ayant une résistance à la rupture de 100 kg/mm^2.

Fig. 17.


ABAQUE
DES FLÈCHES ET TENSION DE POSE
AUX DIFFÉRENTES TEMPÉRATURES
CABLE ALUMINIUM ACIER DE 295,8 m/m 37 BRINS
PORTÉE NORMALE 250 m
TENSION MAXIMUM - HYPOTHESE A : 2440 Kgs
Flèches en mètres
PORTÉES EN MÈTRES
FLÈCHES EN MÈTRES
45° T= 1383
40° T= 1415
35° T= 1444
30° T= 1474
25° T= 1507
20° T= 1543
15° T= 1580
10° T= 1626
5° T= 1674
0° T= 1730
-5° T= 1780
-10° T= 1838
-15° T= 1895
-20° T= 1955

Essais des câbles. — Ces câbles ont été soumis aux essais et vérifications ci-dessous précisées :

1° *Câbles d'énergie.*

a/ Mesure du diamètre des brins constituants, tolérance $\pm$ 2 % ;

b/ Essais de traction jusqu'à la rupture, tolérance de $\pm$ 2,5 % sur la charge de rupture ;

c/ Mesure de résistivité de l'aluminium ; un échantillon recuit doit présenter à 20° C une résistivité au plus égale à 2,89 microhms/*cm*, avec tolérance de 1 % ;

d/ Vérification de la pureté de l'aluminium ; la résistance mécanique à la rupture d'un échantillon recuit ne doit pas dépasser 9 k*g* par m*m*^{2}.

e/ L'âme d'acier peut, en ce qui concerne la galvanisation, être soumise à l'essai suivant :

Le brin galvanisé, nettoyé au sulfure de carbone, à la benzine ou à l'essence de térébenthine, puis rincé à l'eau claire est ensuite plongé dans une solution de sulfate de cuivre pur, pendant une minute, à quatre reprises différentes. Après chaque immersion, la couche noire est enlevée à l'eau et à la brosse, puis le fil est essuyé avec un chiffon de coton. La galvanisation est considérée comme insuffisante si, après la quatrième immersion, brossage et essayage, le fil présente une couche brillante de cuivre, couleur saumon. La solution de sulfate utilisée pour cet essai comprend 200 grammes de sulfate par litre d'eau ; sa densité, après neutralisation par un excès d'oxyde de cuivre et après filtrage, est ramenée à 1,1354 à 18° C avant chaque essai.

En outre, chaque brin peut s'enrouler sur un cylindre d'un diamètre quadruple du sien, sans que la couche de zinc se fendille ou se détache.

2° *Câble de terre.* — Ces câbles ont été soumis aux essais suivants :

a/ Vérification du diamètre des brins, tolérance 2 % ;

b/ Vérification de la résistance mécanique à la rupture, tolérance 2 % ;

c/ Vérification de la bonne galvanisation dans les mêmes conditions que pour l'âme d'acier des conducteurs d'énergie.

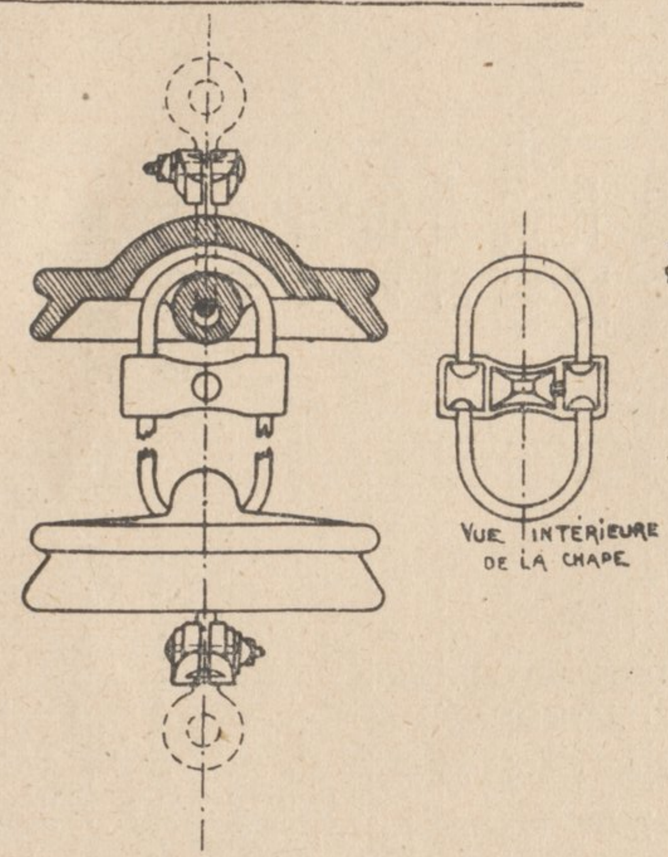
Isolateurs. — Les conducteurs aluminium-acier sont suspendus aux pylônes par des isolateurs en porcelaine du type Hewlett répondant aux spécifications générales suivantes :

Spécifications des isolateurs :

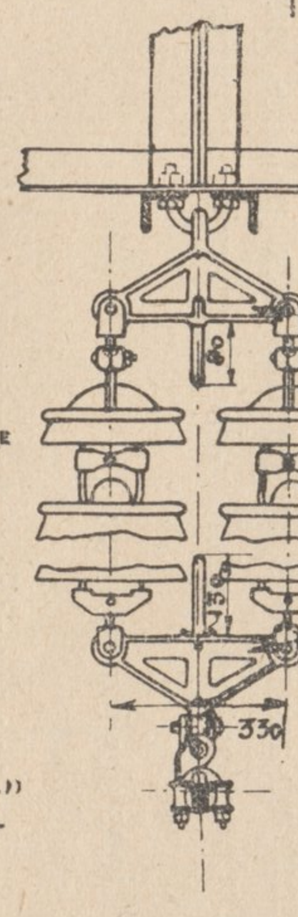
Diamètre de l'isolateur	267 m*m*
Hauteur de la porcelaine	105 m*m*
Distance entre deux éléments successifs	152,5 m*m*
Épaisseur de porcelaine entre attaches	22 m*m*
Tension d'amorçage à sec	90 k*v*
Tension d'amorçage sous pluie	70 k*v*
Tension de perçage dans un bain d'huile	100 k*v*
Résistance mécanique à la rupture	4.080 k*g*
Résistance limite sous tension	3.000 k*g*

Fig. 18. — APPAREILLAGE DE LA LIGNE A 150.000 VOLTS.

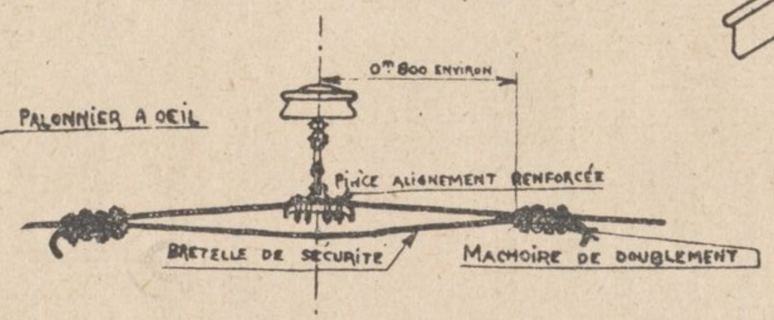
ASSEMBLAGE DES ÉLÉMENTS "HEWLETT".



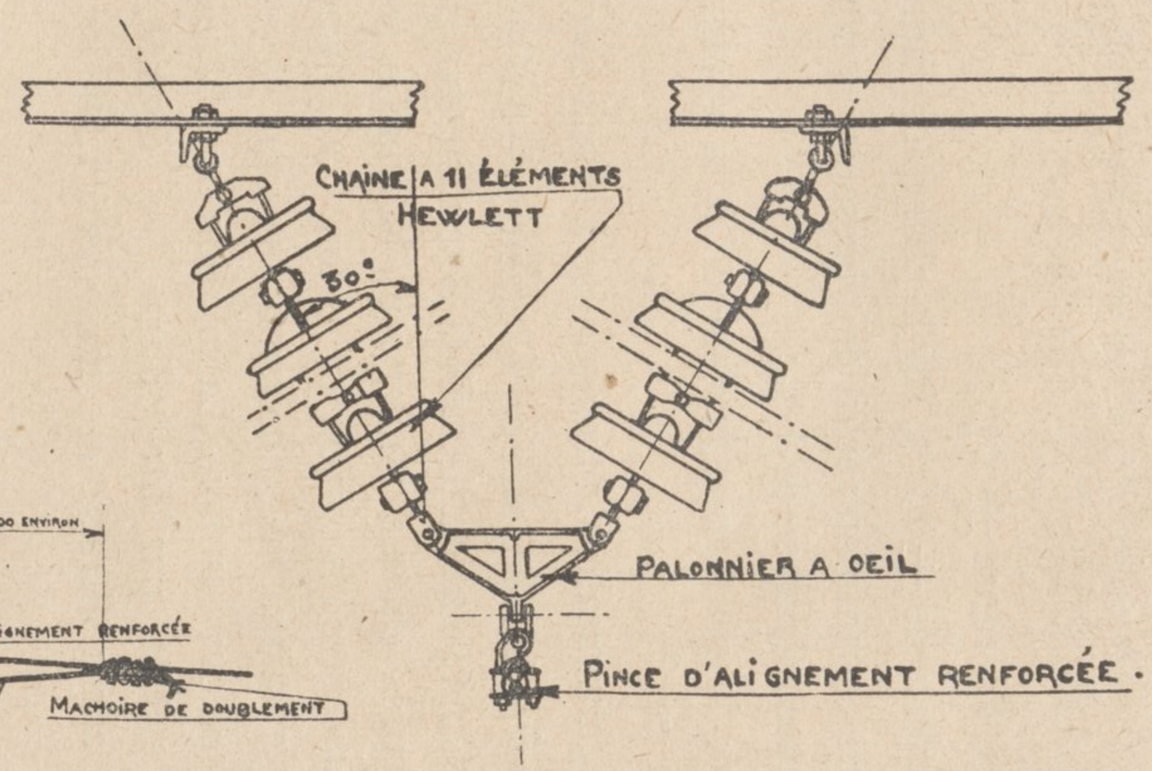
EQUIPEMENT DU PYLONE TYPE "ALIGNEMENT"



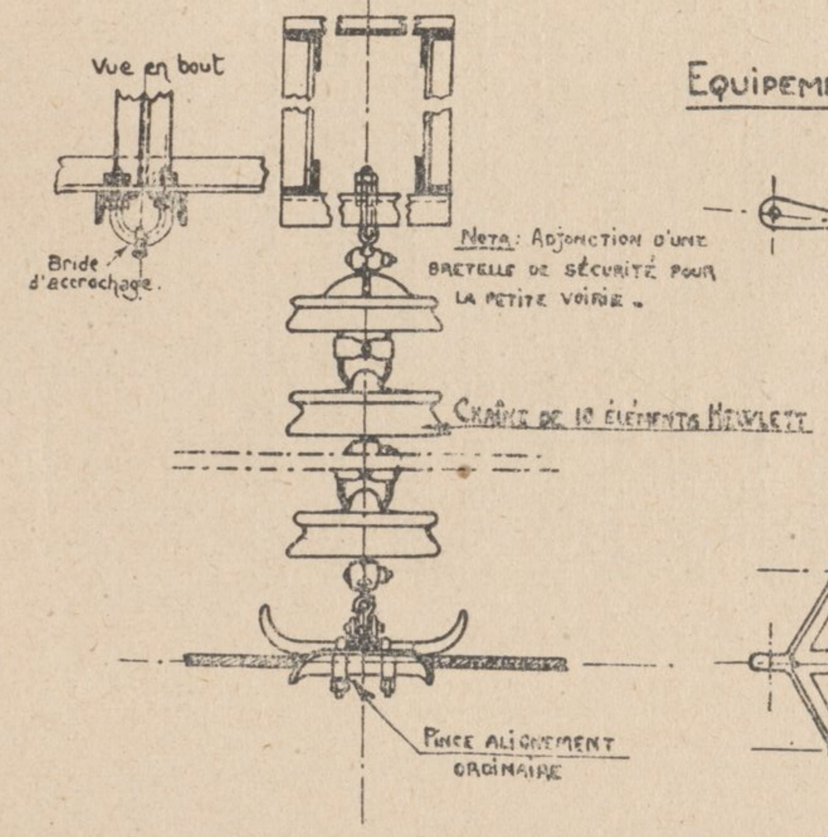
EQUIPEMENT DU PYLONE TYPE "ALIGNEMENT"
TRAVERSÉE DE ROUTE



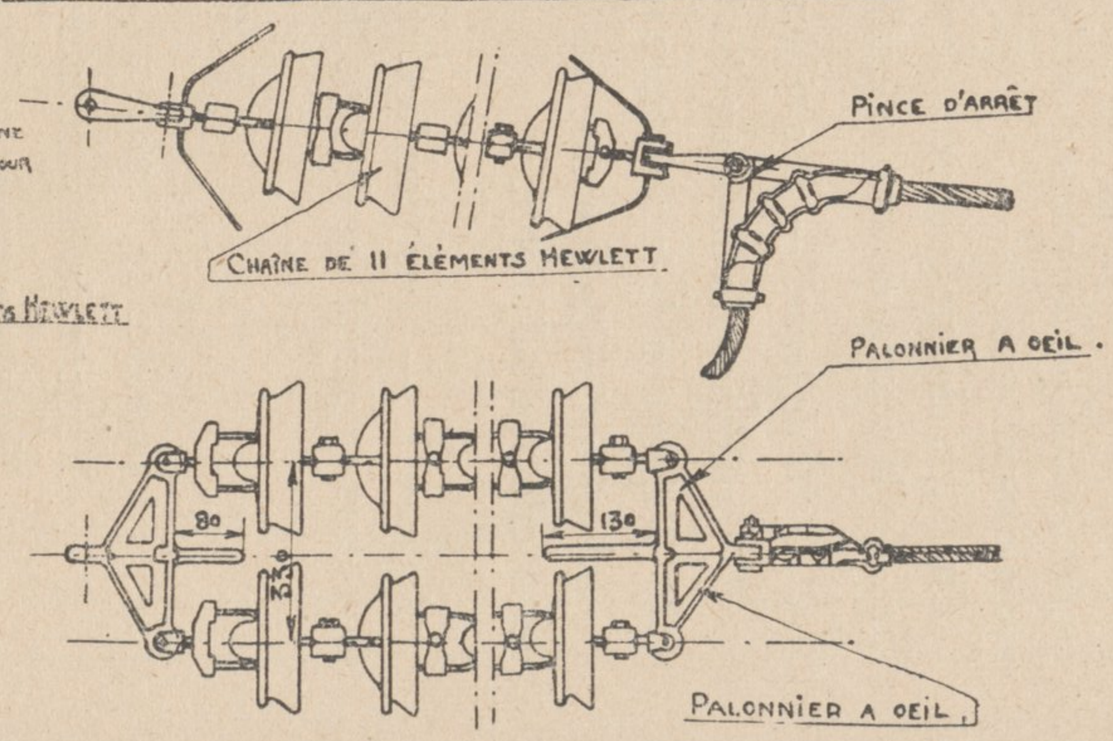
CHAÎNES DE SUSPENSION A 30° POUR PORTÉES ANORMALES.



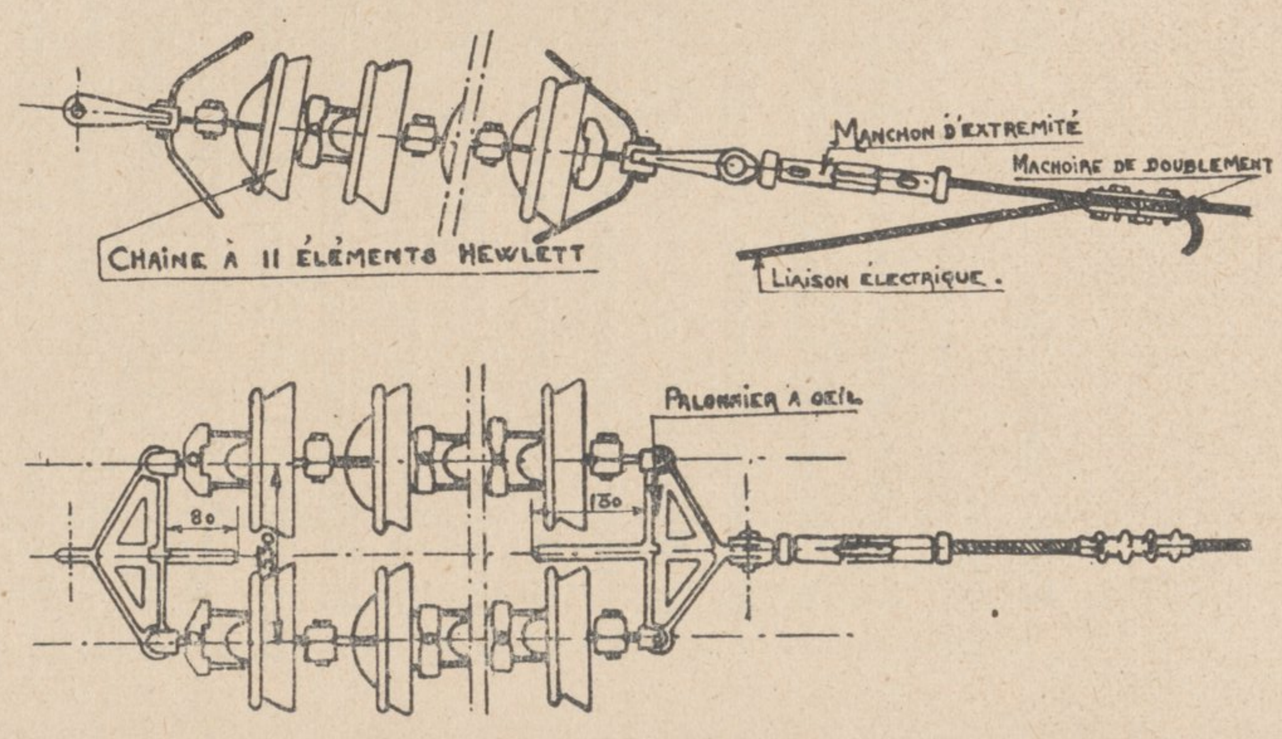
EQUIPEMENT DU PYLONE TYPE "ALIGNEMENT"



EQUIPEMENT DU PYLÔNE TYPE "AMARRE" EN ALIGNEMENT



EQUIPEMENT DU PYLONE TYPE "AMARRE" EN ANGLE ET ARRÊT.

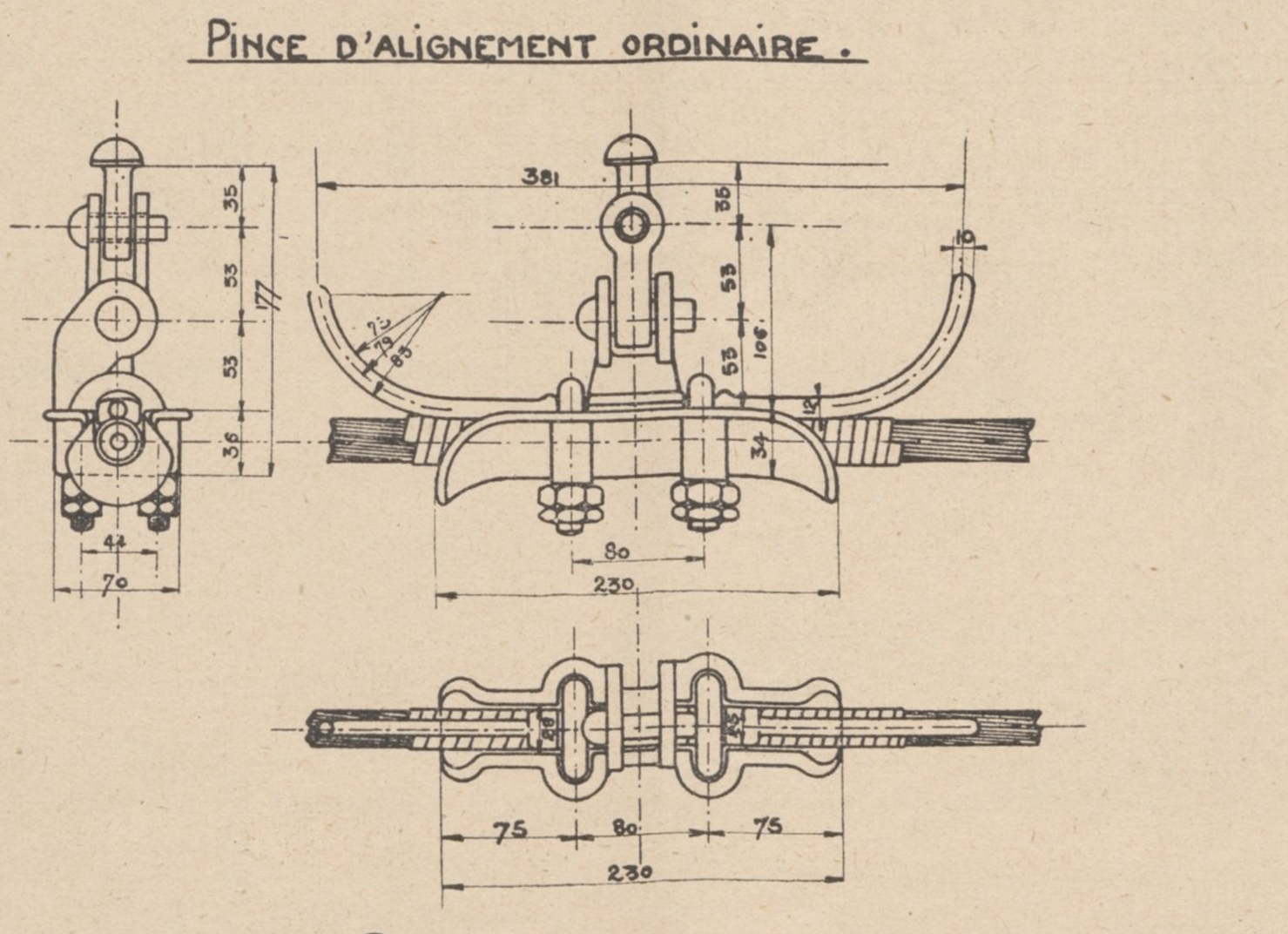


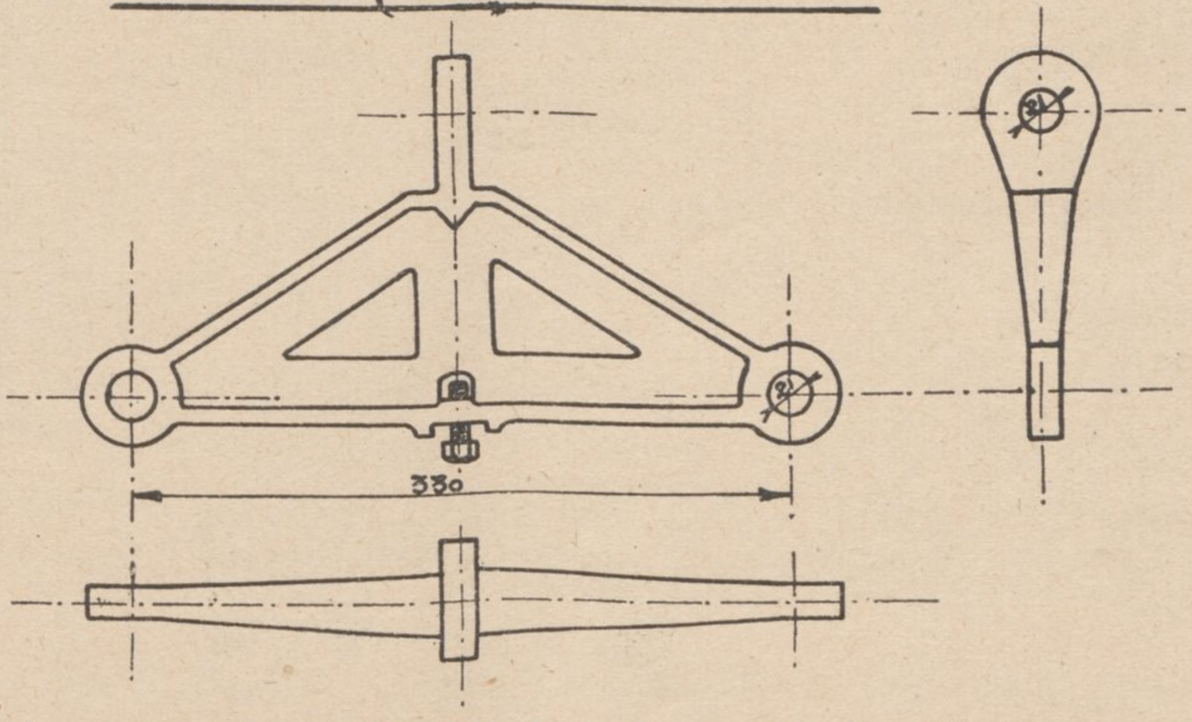
La répartition de la tension entre isolateurs faisant partie d'une même chaîne de 10 éléments est, à sec, sensiblement la suivante :

1er	disque (côté ligne).....	30 %		6e	disque (côté ligne).....	5 %
2e	» »	20 %		7e	» »	4 %
3e	» »	12 %		8e	» »	4 %
4e	» »	10 %		9e	» »	5 %
5e	» »	5 %		10e	» (côté terre).....	5 %

Appareillage de la ligne. — Les trois figures 18, 18 *bis*, 18 *ter*, représentent les principaux éléments de l'équipement électrique des lignes :

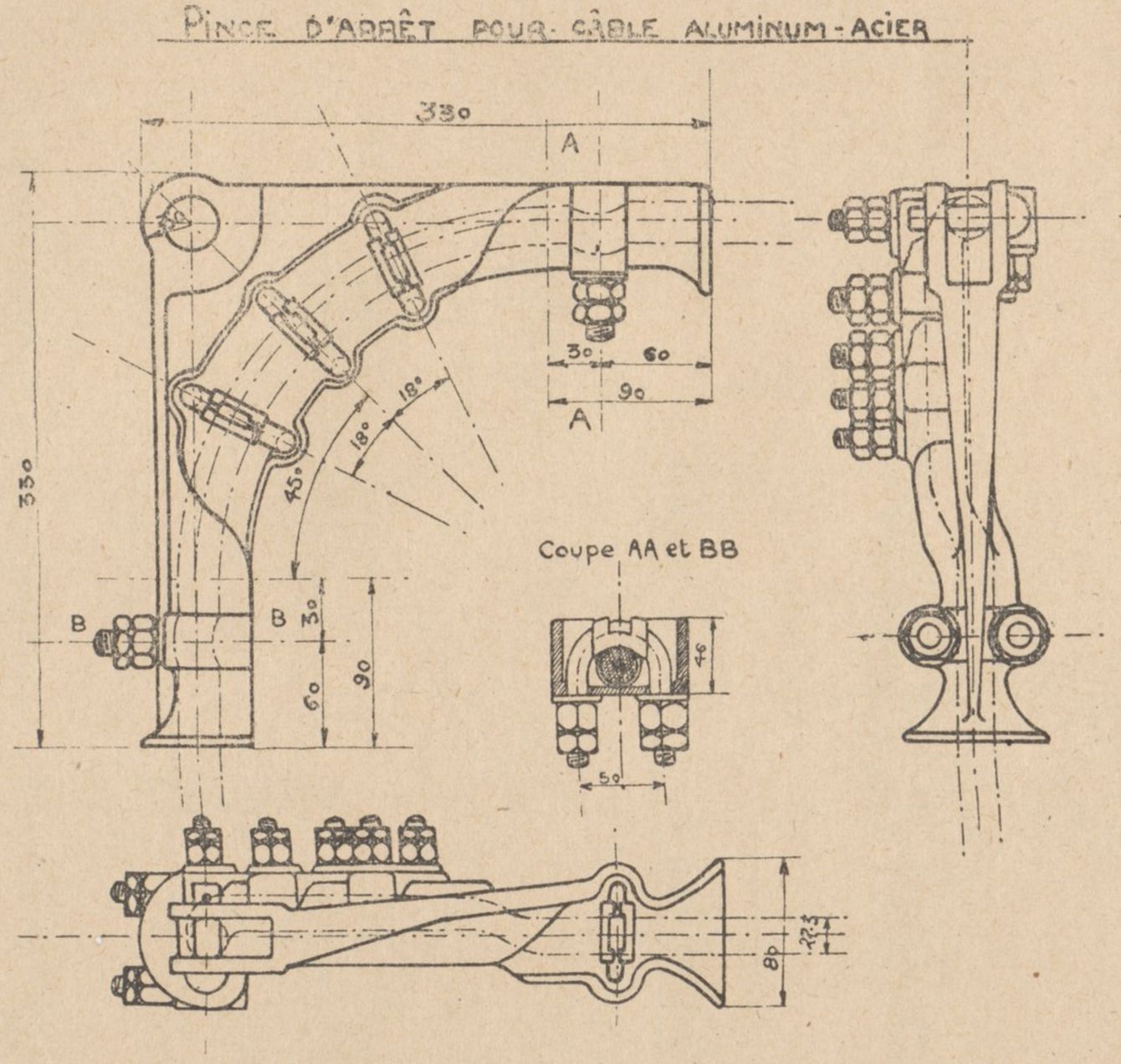
Fig. 18 *bis.* — Appareillage de la ligne a 150.000 volts (suite).

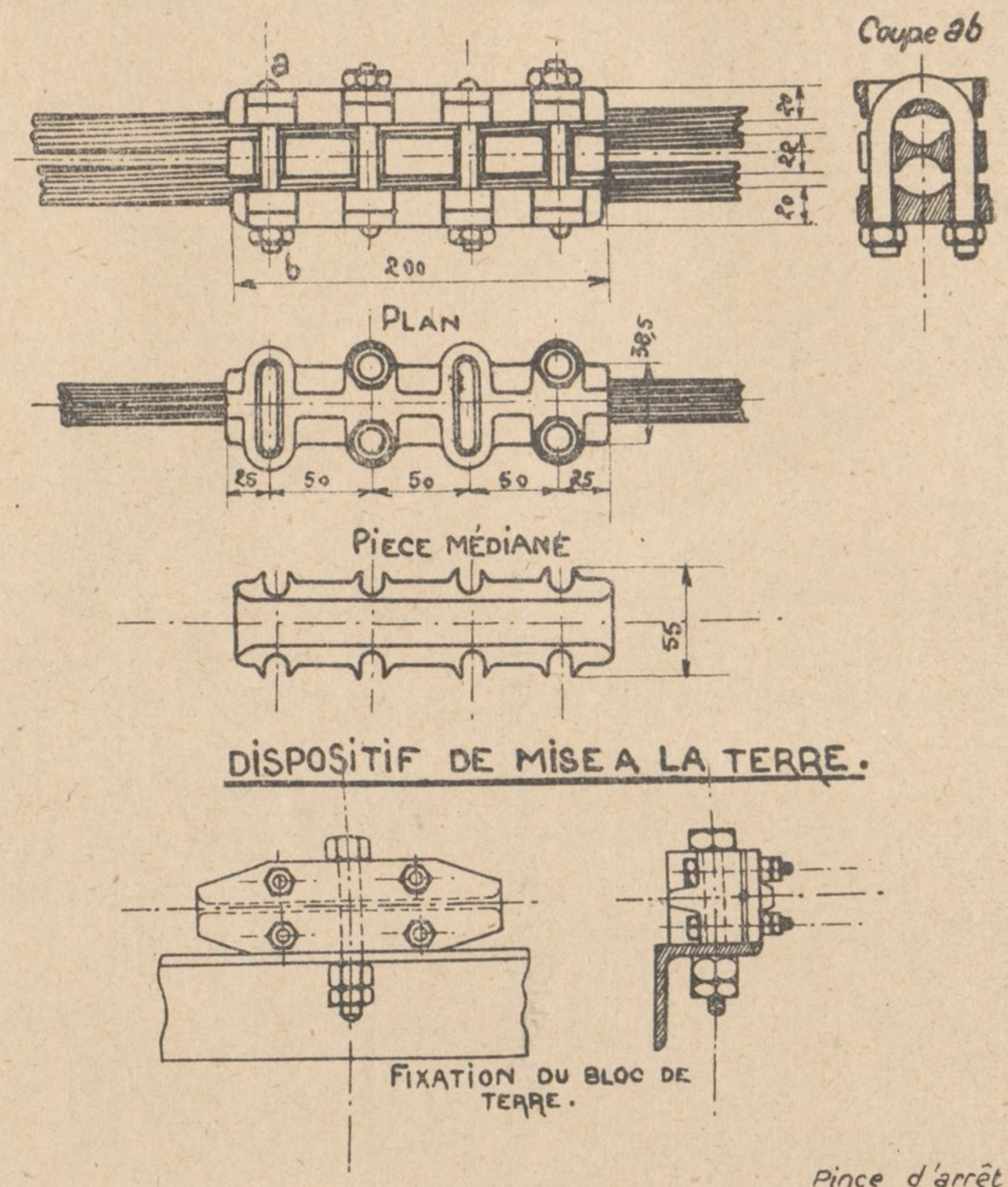


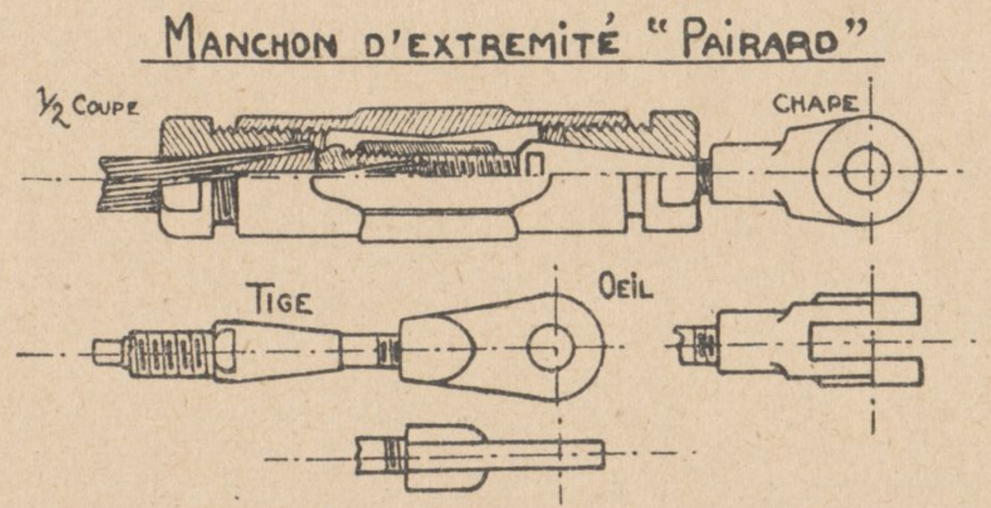


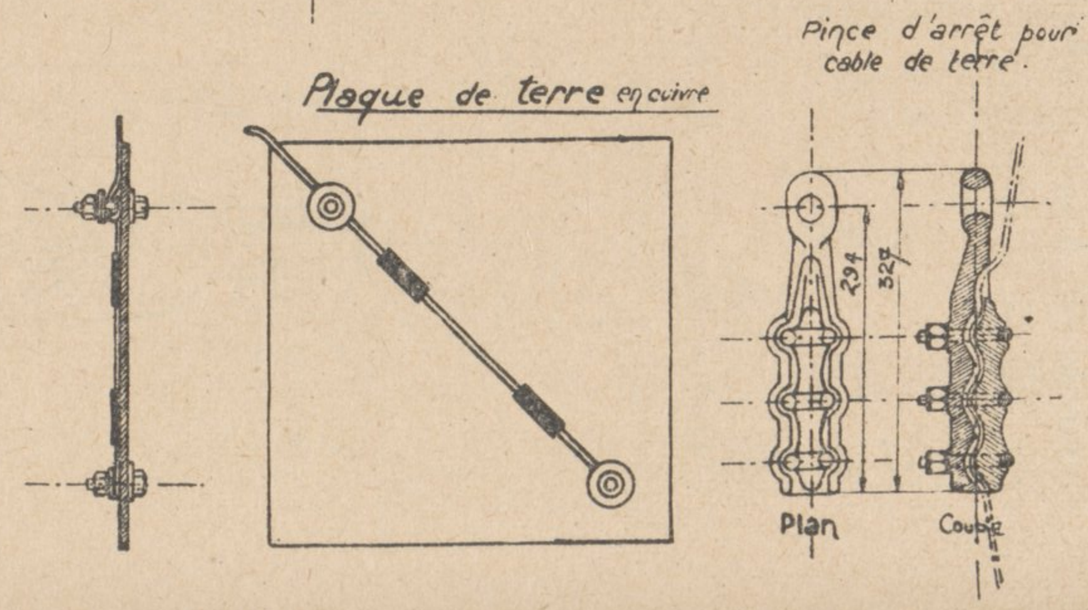
Brides d'accrochage des chaînes d'isolateurs sur les pylônes, attaches d'isolateurs, palonnier pour chaîne double, pince d'alignement ordinaire et renforcée, pince d'arrêt pour câble aluminium-acier, pince d'arrêt pour câble de terre, manchon d'extrémité, système « Pairard », bloc et plaque de terre, etc..,

Fig. 18 ter. — APPAREILLAGE DE LA LIGNE A 150.000 VOLTS (suite et fin).









Pylônes supports de ligne

La ligne triphasée 150/220 k*v* d'Eguzon-Chevilly est supportée uniquement par des pylônes métalliques, les uns normaux, les autres spéciaux, répondant chacun à un emploi déterminé.

Les pylônes normaux sont de trois types :

P_1 — Les pylônes d'alignement pour angle ne dépassant pas 2° ;

P_2 — Les pylônes d'arrêt pouvant également être utilisés comme pylônes d'angle pour des angles inférieurs à 15° ;

P_3 — Les pylônes d'angle pour des changements d'orientation compris entre 15 et 31°.

Des pylônes ou portiques spéciaux ont été prévus pour différents usages particuliers :

P_4 — 1° Des pylônes de « rotation de phase » permettant de permuter entre eux les différents conducteurs ;

P_5 — 2° Les portiques de sectionnement ;

P_6 — 3° Des pylônes d'ancrage complet pour l'accès aux postes de transformation ;

P_7 — 4° Des pylônes de traversée de route ;

P_8 — 5° Des pylônes de traversée de voie ferrée — pylône d'arrêt ;

P_9 — 6° Des pylônes de traversée de voie ferrée — pylône spécial ;

P_{10} — 7° Des pylônes de traversée de ligne 90 k*v* ;

P_{11} — 8° Des pylônes spéciaux pour traversée de la Loire.

Le tableau ci-après donne les caractérisques principales de construction des divers types de pylônes énumérés ci-dessus.

La figure 19 représente le pylône P_1.

La figure 20 donne la répartition d'efforts des pylônes en question calculés de manière à présenter un coefficient de sécurité d'au moins 3, les efforts appliqués étant les suivants :

a/ Vent de 120 k*g* par m^2 de surface plane agissant sur toutes les surfaces frappées du pylône normalement à la ligne ;

b/ Vent de 72 k*g* par m^2 de surface diamétrale agissant normalement à la ligne sur chacun des câbles et sur les chaînes d'isolateurs ;

c/ Tension maximum des câbles dans l'hypothèse la plus défavorable pour ceux-ci (avec coefficient de sécurité égal à 3), agissant horizontalement, l'angle de la ligne étant de 2° ;

d/ Poids propre des câbles, isolateurs et éléments constituant du pylône.

La figure 21 représente différents types de massifs de fondation établis de manière à obtenir les coefficients de sécurité prescrits par les circulaires ministérielles en vigueur en admettant de plus que le coefficient de stabilité calculé sans tenir compte de la butée des terres est égal au moins à : 1 en terrain rocheux, 1,2 en terrain de consistance ordinaire, 1,5 en terrain marécageux.

Tous ces massifs sont évidés de manière à réduire le cube de béton, l'évidement en question étant rempli de terre.

Les figures 22, 23 et 24 donnent, pour le pylône d'arrêt P_2, les mêmes indications que celles données précédemment pour le pylône P_1.

150.000 VOLTS

DIVERS TYPES DE PYLONES	ANGLES de 0 à 2°	ARRÊTS et angles de 15°	ANGLES de 15 à 31°	TRAVERSÉES de routes	TRAVERSÉE DE VOIES FERRÉES		PYLONE pour rotation	TRAVERSÉE de la Loire	TRAVERSÉE des lignes 90.000 volts	PORTIQUE de sectionnement	ANCRAGE complet (sous-stations)
					Arrêt	Spécial V.F.					
Poids du pylône — Hors sol	3.220 kg	6.000 kg	6.990 kg	4.390 kg	6.000 kg	6.470 kg	2.690 kg	20.000 kg	6.600 kg	5.300 kg	6.270 kg
Poids du pylône — Poids total y compris le socle	3.650 kg	6.750 kg	7.760 kg	4.900 kg	6.750 kg	7.560 kg	3.120 kg	21.000 kg	7.560 kg	6.650 kg	7.100 kg
Hauteur totale hors sol	26 m, 70	25 m	25 m	26 m, 70	25 m	27 m, 30	27 m	54 m	40 m	19 m	26 m, 55
Hauteur au point d'attache des isolateurs — Phase 1	26 m, 30	24 m, 05	24 m, 05	26 m, 30	24 m, 05	26 m, 30	2 m, 60	54 m	39 m, 55	17 m, 30	24 m, 05
Hauteur au point d'attache des isolateurs — Phase 2	19 m, 55	17 m, 30	17 m, 30	19 m, 55	17 m, 30	19 m, 55	21 m, 20	45 m	33 m, 10	17 m, 30	17 m, 30
Hauteur au point d'attache des isolateurs — Phase 3	19 m, 55	17 m, 30	17 m, 30	19 m, 55	17 m, 30	19 m, 55	17 m, 30	45 m	33 m, 10	17 m, 30	17 m, 30
Encombrement du pylône au sol	1,7 × 2,15 m	2,20 × 3 m	2,20 × 3 m	1,70 × 2,15 m	2,20 × 3 m	2,20 × 3 m	1,70 × 2,15 m	12 × 12 m	2,20 × 3 m	1,70 × 2,15 m	2,20 × 3 m
Fondations — Volume du béton	13,7 à 17,2 m³	31 à 47 m³	38 m³, 5	16,6 à 21,6 m³	31 à 47 m³	31 à 48 m³	13,7 à 17,2 m³	4 × 18,3 m³	31 m³	13,7 à 17 m³	—
Fondations — Volume de l'excavation	1,85 à 7,9 m³	2,9 à 16,4 m³	9 m³, 5	1,85 m³	2,9 à 16,4 m³	2,9 à 16,4 m³	1,85 à 7,9 m³	—	2,9 à 16,4 m³	1,85 à 7,9 m³	2,90 à 16,4 m³
Effort transversal sur les pylônes. — Vent de 120 kg/m²	1.446 kg	2.329 kg	2.910 kg	1.666 kg	2.329 kg	2.536 kg	1.390 kg	—	2.850 kg	3.600 kg	3.076 kg
Effort transversal sur chaque câble conducteur. — Vent de 72 kg/m²	378 kg	378 kg	378 kg	378 kg	378 kg	378 kg	378 kg	430 kg	378 kg	378 kg	190 kg
Coefficient de sécurité du pylône — Etat normal	3	3	3	5	5	5	5	5	5	5	—
Coefficient de sécurité du pylône — Câbles rompus	—	2	—	—	2	1,75	—	1,75	—	1,75	3
Distance entre conducteurs — Phase 1-2	7 m, 79	7 m, 79	7 m, 79	7 m, 79	7 m, 79	7 m, 79	8 m. 50	13 m, 50	7 m, 79	4 m, 60	7 m, 79
Distance entre conducteurs — Phase 2-3	7 m, 79	7 m, 79	7 m, 79	7 m, 79	7 m, 79	7 m, 79	8 m, 50	20 m	7 m, 79	9 m, 20	7 m, 79
Distance entre conducteurs — Phase 3-1	7 m, 79	7 m, 79	7 m, 79	7 m, 79	7 m, 79	7 m, 79	8 m, 50	13 m, 50	7 m, 79	4 m, 60	7 m, 79
Longueur de la chaîne d'isolateurs	1 m, 82	1 m, 98	1 m, 98	1 m, 82	1 m, 82	1 m, 82	1 m, 82	1 m, 98	1 m, 82	1 m, 98	1 m, 98
Nombre d'éléments	10	2 × 11	2 × 11	2 × 10	2 × 10	2 × 10	10	2 × 11	10	2 × 11	2 × 11
Distance à la masse du pylône — Du point d'attache de la chaîne	3 m, 25	3 m, 25	3 m, 25	3 m, 25	3 m, 25	3 m, 25	3 m, 20	—	3 m, 25	—	3 m, 25
Distance à la masse du pylône — Du point d'attache du conducteur avec 40 éléments — Chaîne verticale	3 m, 15	3 m, 15	3 m, 15	3 m, 15	3 m, 15	3 m, 15	3 m, 20	—	3 m, 15	—	3 m, 15
Distance à la masse du pylône — Du point d'attache du conducteur avec 40 éléments — Inclinée à 30°	1 m, 75	1 m, 75	1 m, 75	1 m, 75	1 m, 75	1 m, 75	2 m, 20	—	1 m, 75	—	1 m, 75
Distance à la masse du pylône — Du point d'attache du conducteur avec 40 éléments — Inclinée à 45°	1 m, 27	1 m, 27	1 m, 27	1 m, 27	1 m, 27	1 m, 27	1 m, 85	—	1 m, 27	—	1 m, 27
Hauteur minimum du câble au-dessus du sol	11 m	11 m	11 m	11 m	11 m	11 m	11 m	21 m	11 m	11 m	11 m
Portée maximum correspondante	250 m	250 m	250 m	250 m	250 m	250 m	250 m	490 m	220 m	200 m	220 m

Fig. 19. — Pylône d'alignement et 2° P_1 (Ligne a 150.000 et 220.000 volts).

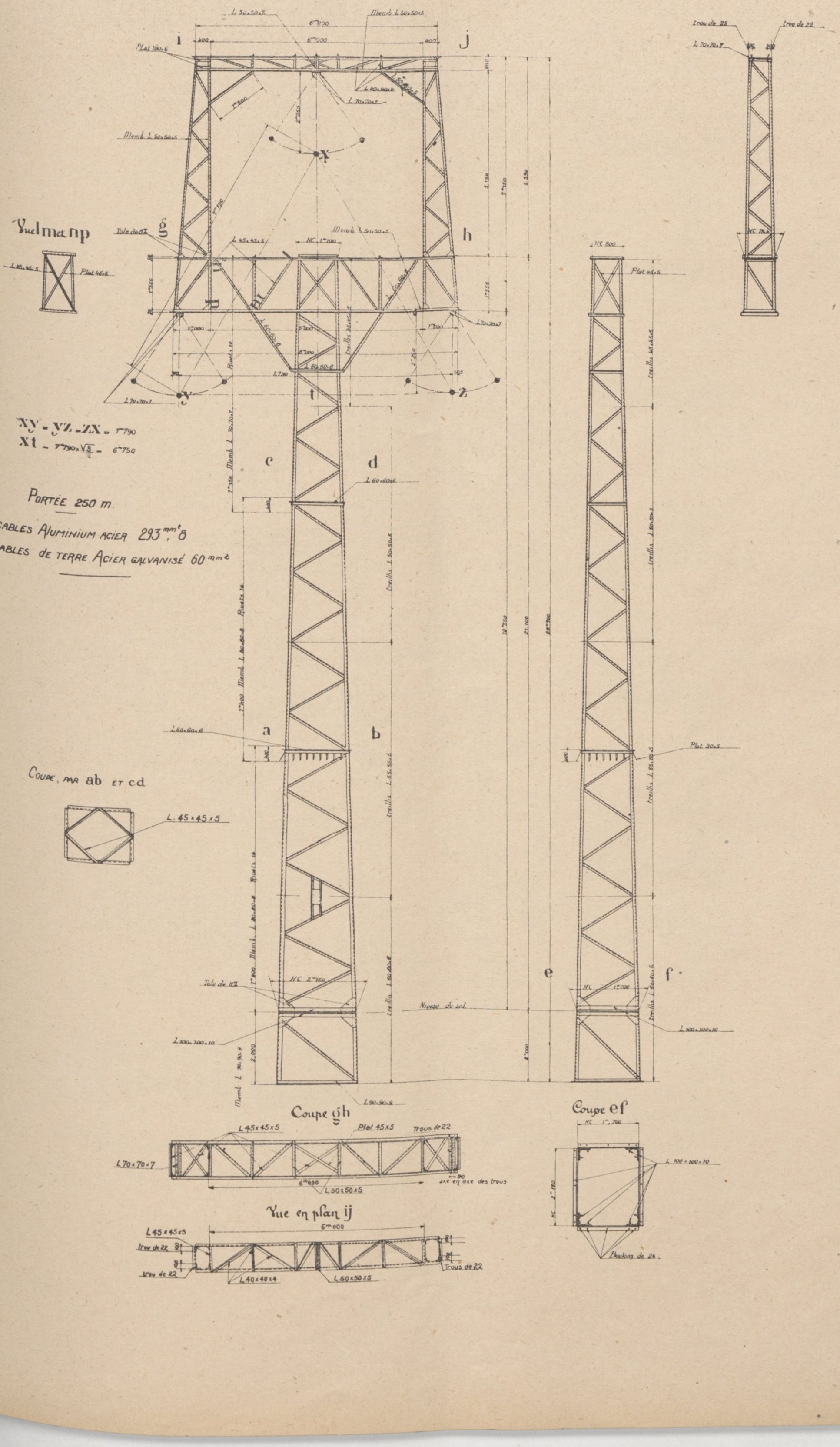

Vue en plan
Tole de 8/7
Plat 45x5
L 45x45x5
XY - YZ - ZX = 7m790
Xt = 7m790 x √8/4 = 6m750
Portée 250 m.
3 cables Aluminium acier 293 mm² 8
2 cables de terre Acier galvanisé 60 mm²
Coupe ab et cd
L. 45 x 45 x 5
Coupe gh
L 45x45x5
Plat 45x5
Trous de 22
L 70x70x7
6m000
L 50x50x5
Vue en plan ij
L 45x45x5
Trou de 22
6m000
L 40x40x4
L 50x50x5
Trous de 22
Coupe ef
HC 1m700
L 100x100x10
HC 2m150
Boulons de 24
Trou de 22
Trou de 22
L 70x70x7
HC 800
Plat 45x5
Treillis L 45x45x5
Treillis L 50x50x5
Plat 30x5
Treillis L 80x80x8
HC 2m150
Tole de 8/7
HC 1m700
Niveau du sol
L 100x100x10
L 60x60x8
L 90x90x9
Membr L 80x80x8 Rivets 18
Membr L 50x50x5
Membr L 70x70x7
Treillis L 60x60x6
L 60x60x6
L 70x70x7
L 80x80x8
Treillis L 55x55x6
Treillis L 45x45x5
Treillis L 50x50x5
HC 1m100
HC 1m700
HC 1m700
HC 2m150
1m790
1m790
1m790

Fig. 20. — Pylône d'alignement P_1 — Répartition des efforts.
(Ligne a 150.000 et 220.000 volts).

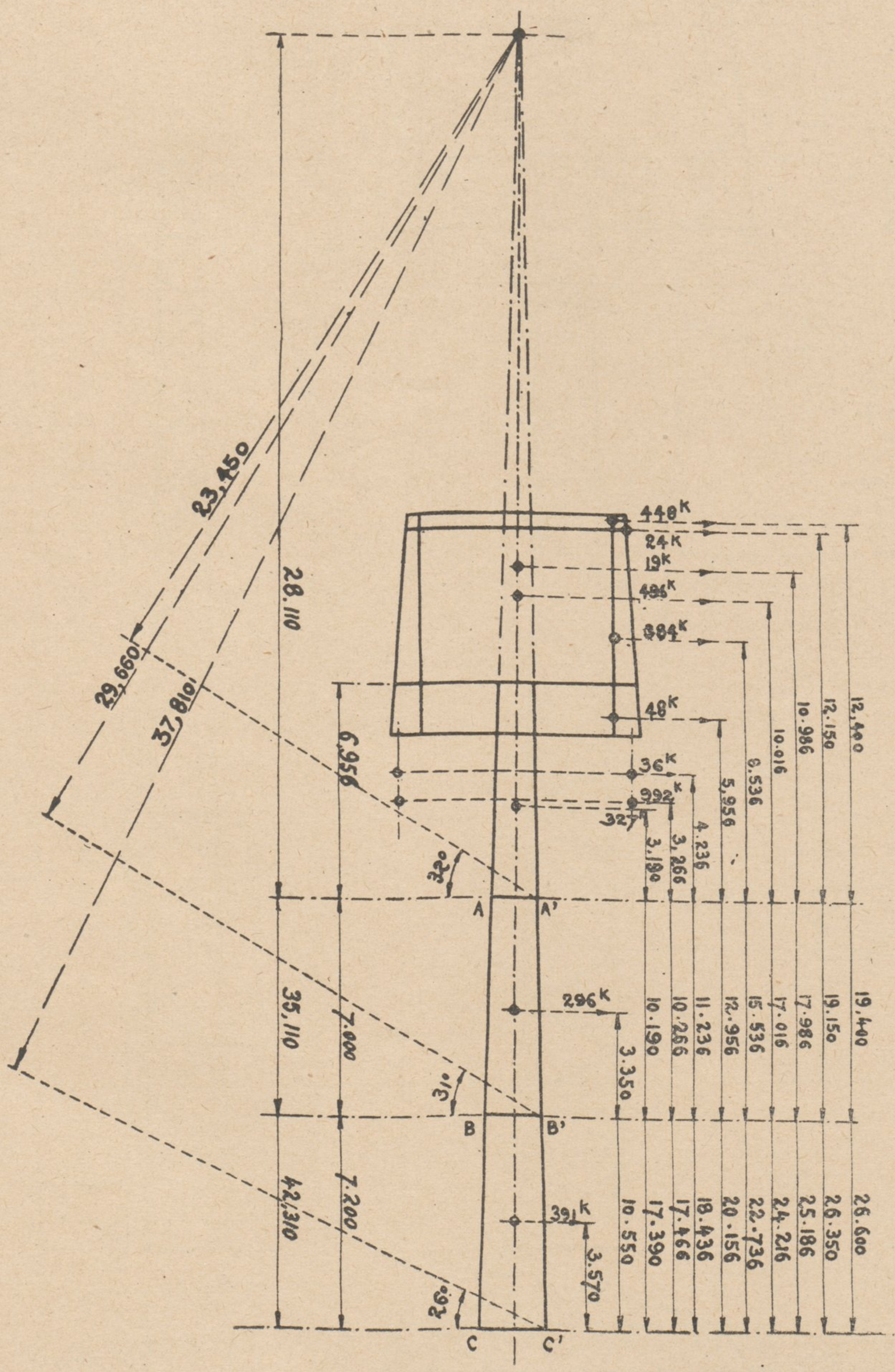
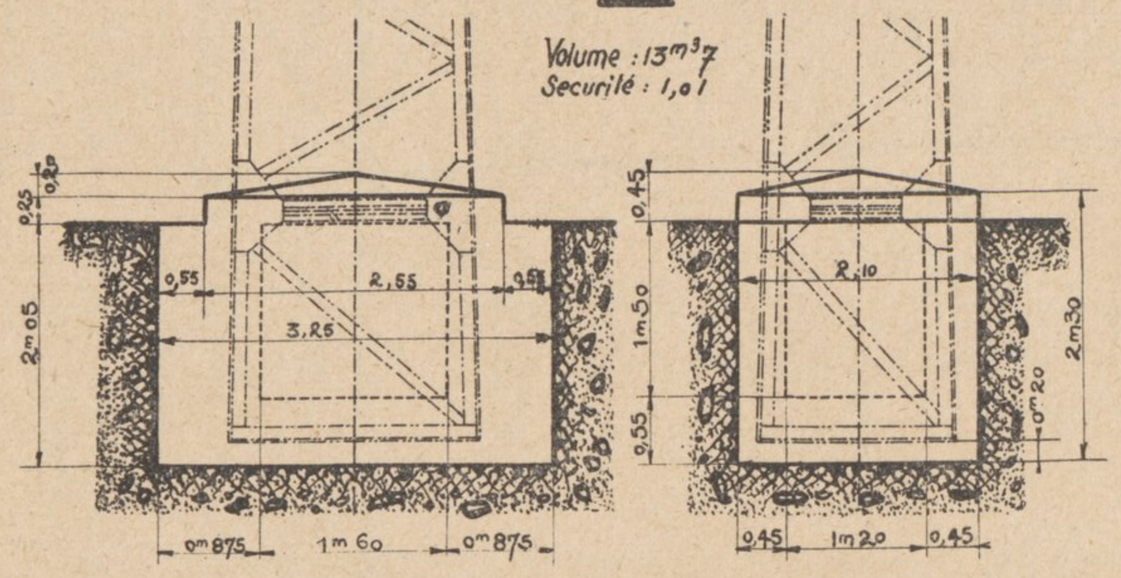
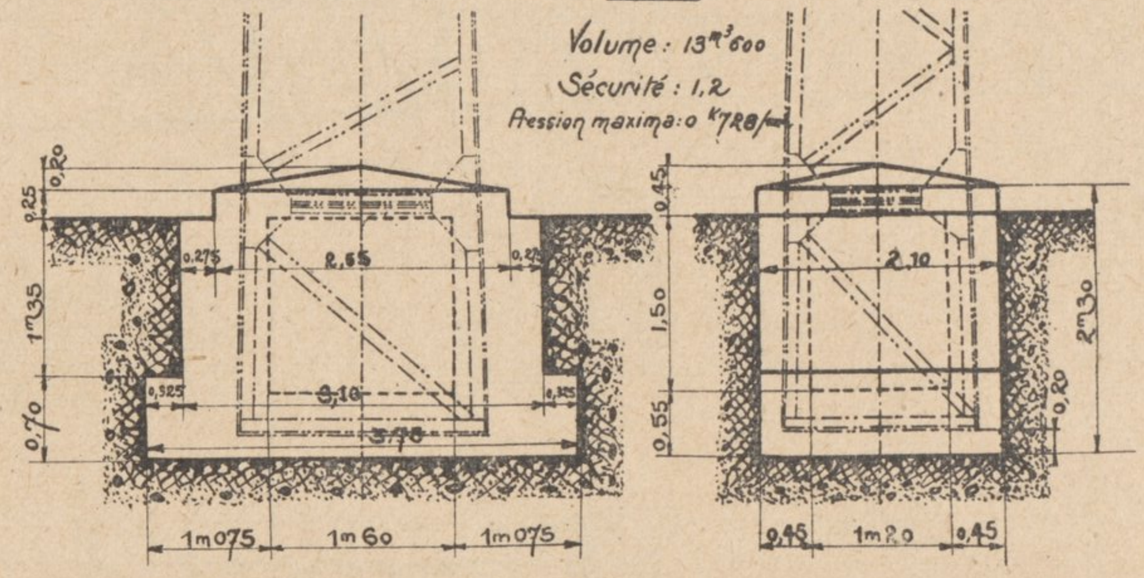


Fig. 21. — MASSIFS POUR PYLÔNES D'ALIGNEMENT P_1 (LIGNE A 150.000 ET 220.000 VOLTS).

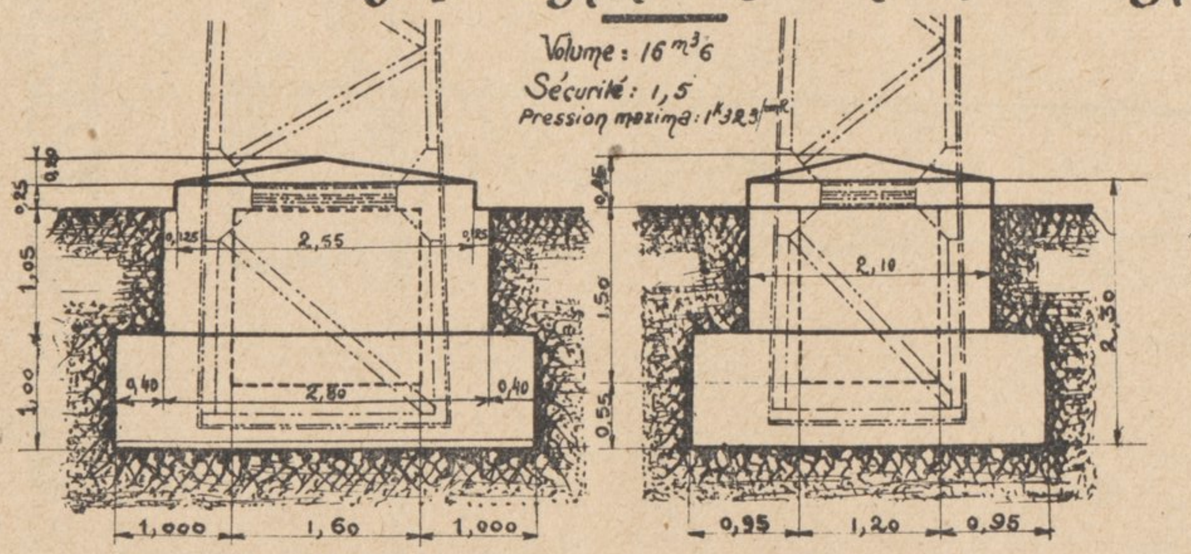
Type N°1
Pylône d'alignement en terrain rocheux



Type N°2
Pylône d'alignement en bon terrain



Type N°3
Pylône d'alignement en terrain humide de Sologne



Type N°4
Pylône d'alignement en terrain marécageux

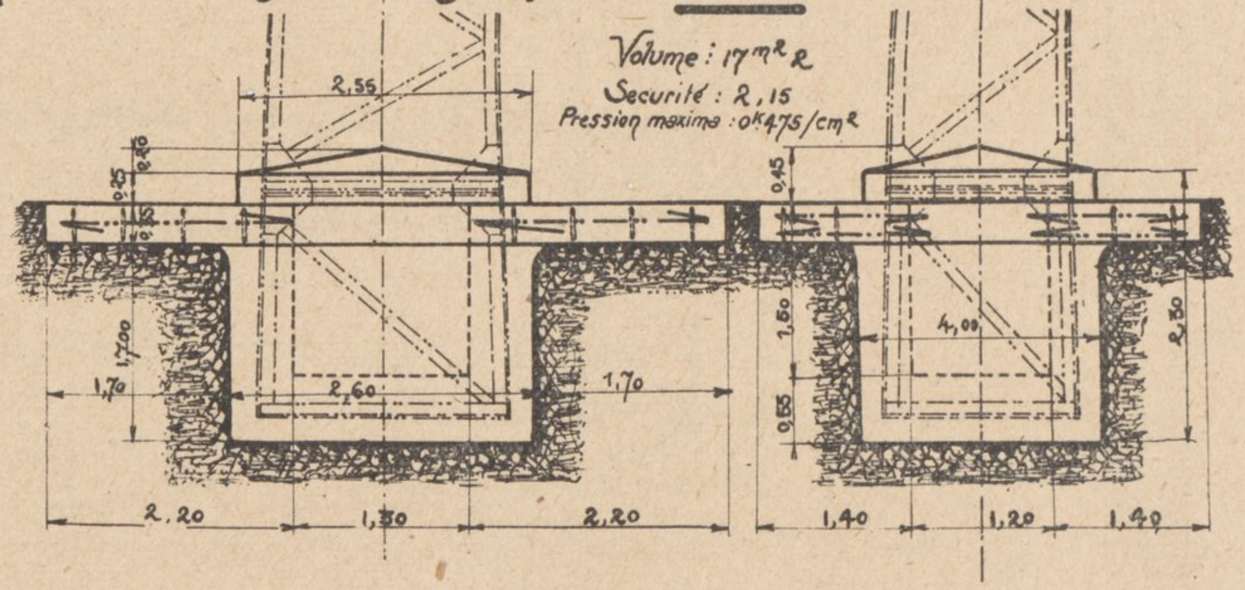
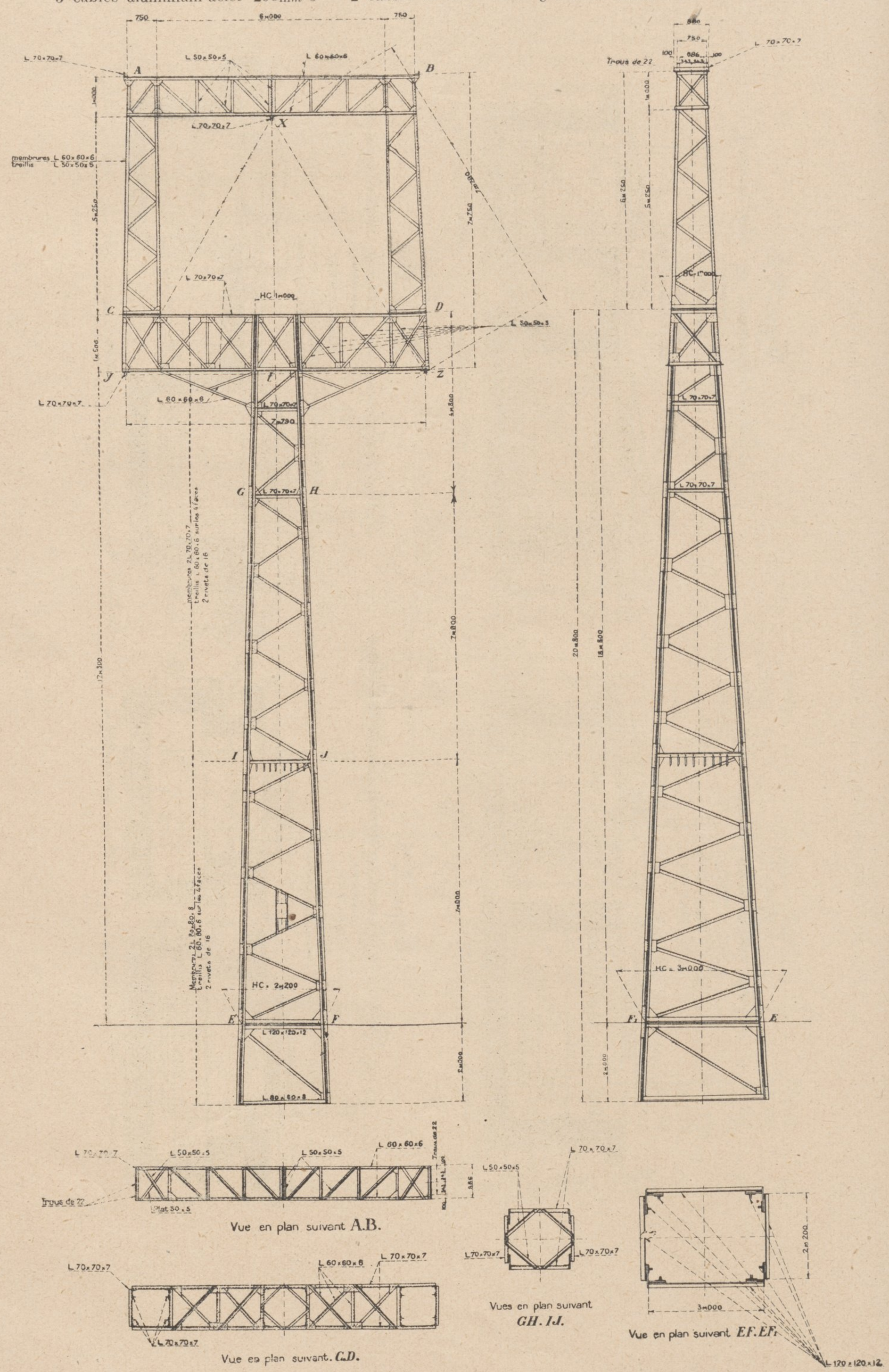


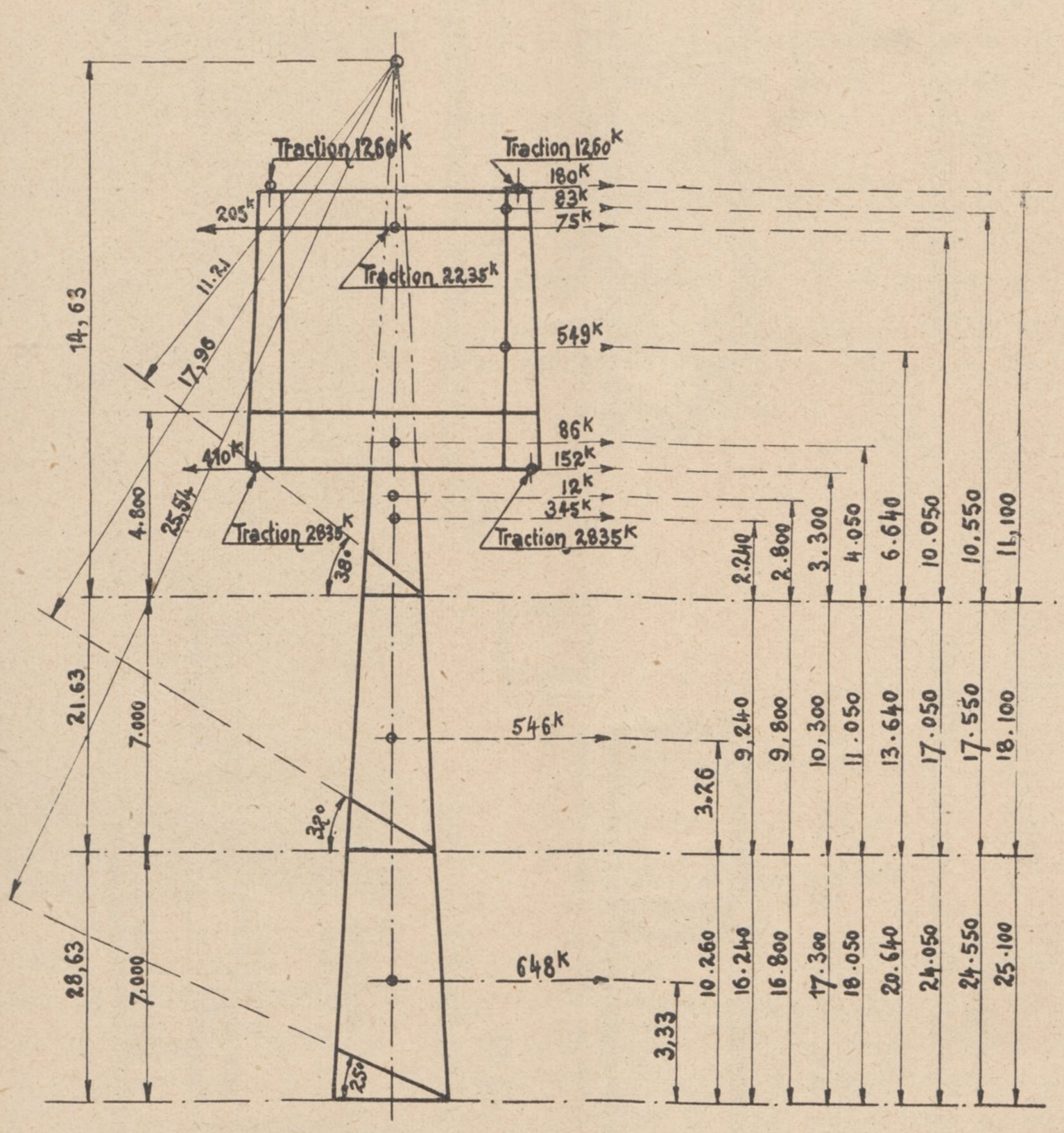
Fig. 22. — Pylône d'arrêt P_2 (Ligne a 150.000 et 220.000 vlts) Portée 250 m.
3 câbles aluminium-acier 293 mm²8 — 2 câbles de terre acier galvanisé 60 mm². Poids total 6.750 kg.



Considéré comme pylône d'amarrage, ou d'arrêt, le P_2 est supposé soumis aux efforts suivants :

a/ Vent de 120 k*g* par m^2 de surface plane, agissant sur toutes les surfaces frappées du pylône, soit normalement, soit parallèlement à la ligne ;

Fig. 23. — Pylône d'arrêt P_2 — Répartition des efforts (Ligne a 150.000 et 220.000 volts).



b/ Vent de 72 k*g* par m^2 de surface diamétrale agissant normalement à la ligne sur chacun des câbles et dans une portée de 250 *m* et sur les chaînes d'isolateurs ;

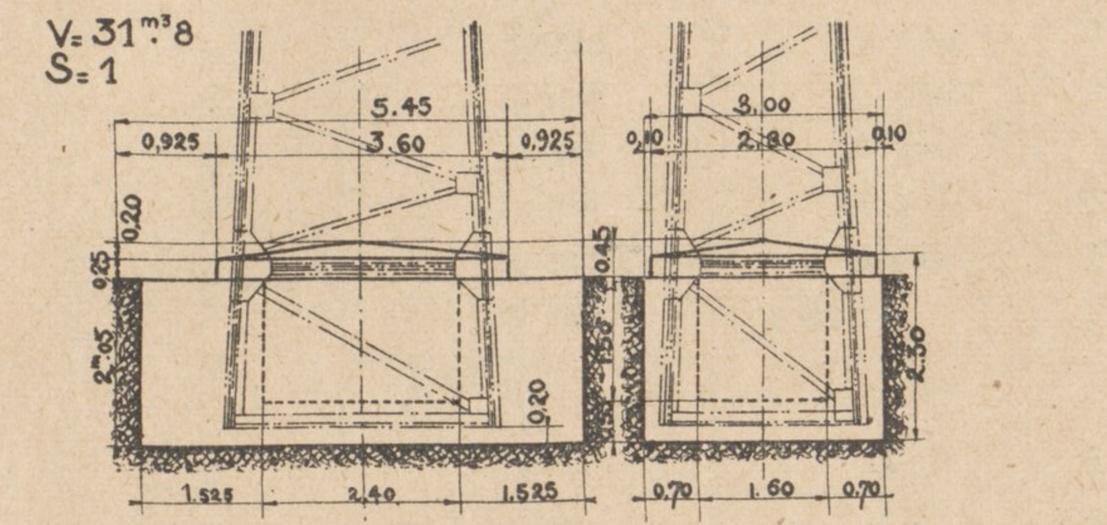
c/ Tension maximum des câbles correspondant à un coefficient de sécurité de 3 pour la plus défavorable des trois hypothèses suivantes :

h_1 Vent de 72 k*g* par m^2 et température de 15° C
h_2 Vent de 18 k*g* » » » de 20° C
h_3 Vent de 18 k*g* » » » de 15° C

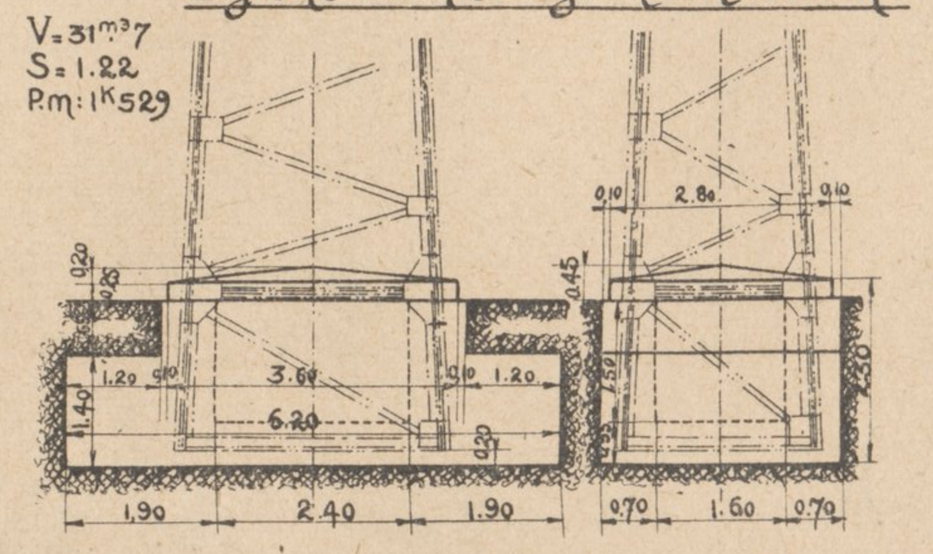
et surcharge de verglas triplant le volume des câbles.

Fig. 24. — MASSIFS POUR PYLÔNES D'ARRÊT P_2 (LIGNES A 150.000 ET 220.000 VOLTS).

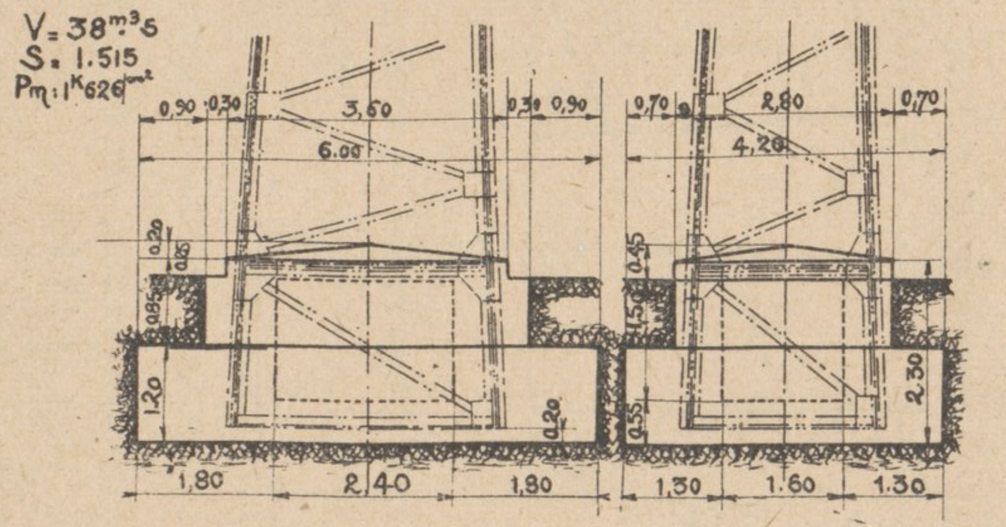
— Type V —
Pylône d'amarrage en terrain rocheux.



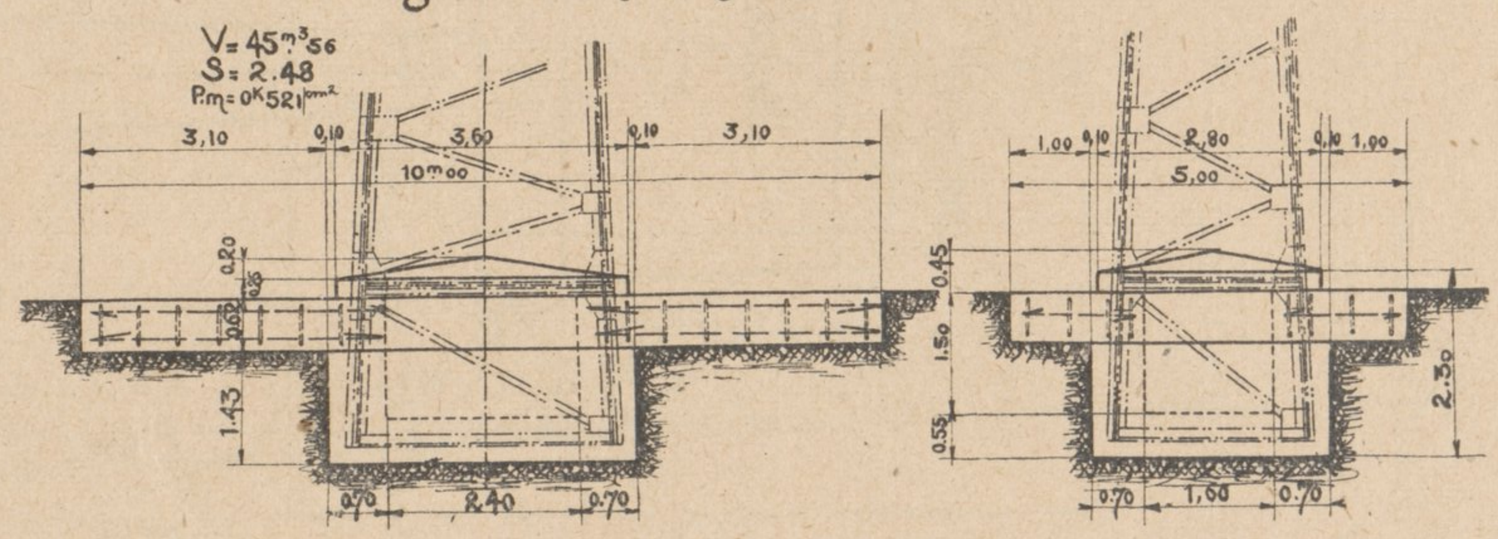
— Type VI —
Pylône d'amarrage en bon terrain.



— Type VII —
Pylône d'amarrage en terrain humide de Sologne



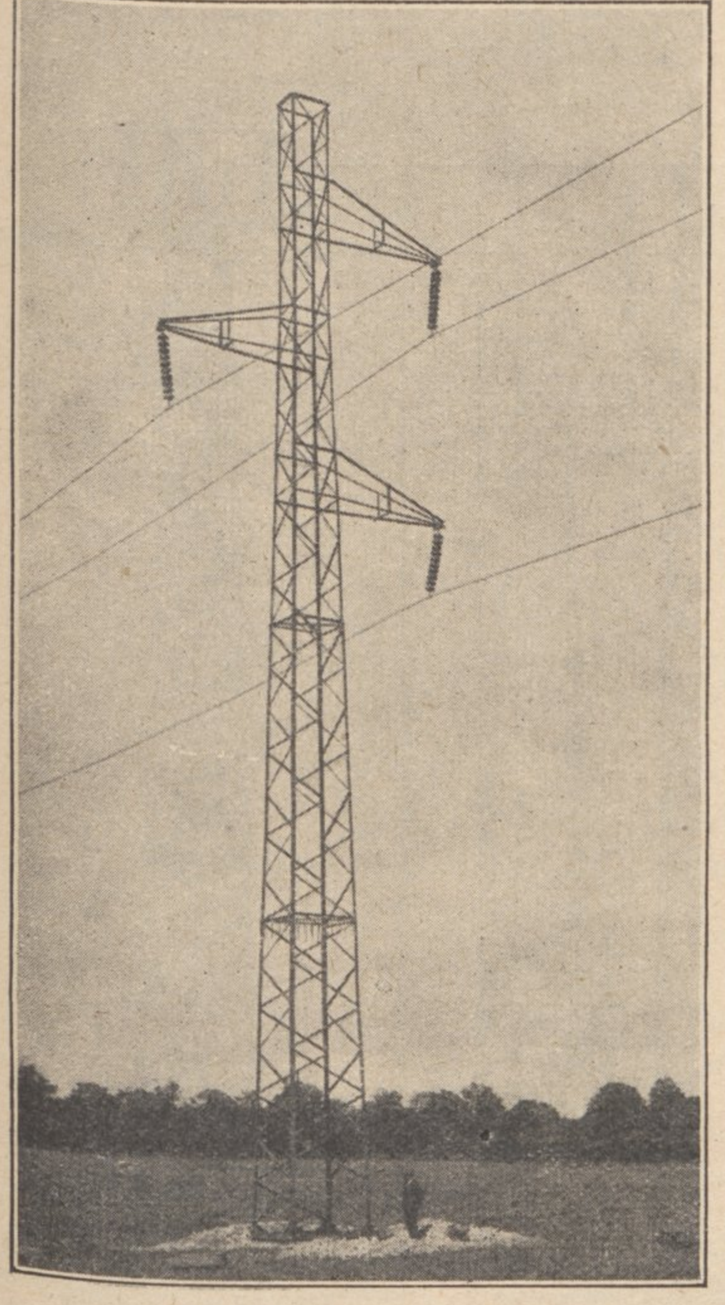
— Type VIII —
Pylône d'amarrage en terrain marécageux.



Dans les calculs, la température maximum de la région est supposée de 45° C ; le câble de terre étant établi de manière qu'à 15° C sa flèche, par temps calme, soit égale à celle des conducteurs d'énergie.

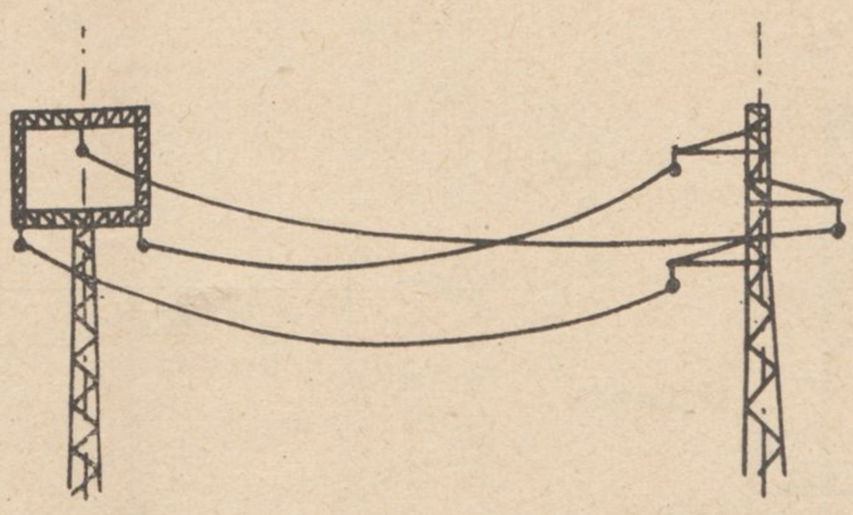
La figure 25 représente le pylône spécial pour rotation P_4. La figure 25 *bis* représente le schéma de rotation.

Fig. 25. — Pylône pour rotation P_4.



La figure 26 représente le portique de sectionnement P_5 pour la ligne 150 k*v* et les figures 27 et 28, le pylône d'ancrage renforcé pour l'arrivée au poste d'Eguzon. La figure 29 représente la tour spéciale de 54 *m* hors sol supportant les câbles à la traversée de la Loire (portée de 490 mètres). Ces tours ont été calculées de manière à ce que le point le plus bas des câbles se trouve, à la température de 15°, à 21 mètres au-dessus des plus hautes eaux navigables qui se trouvent sensiblement au même niveau que le pied des tours.

Fig. 25 *bis*.



Les câbles inférieurs sont écartés de 20 mètres et le câble supérieur est fixé à une hauteur de 9 mètres au-dessus de l'horizontale des points d'attache des câbles inférieurs.

Pour le cas d'un vent de 120 k*g* par m^2 normal à la ligne et la température de 15°, le coefficient de sécurité est de 5. Dans le cas de la rupture de tous les câbles d'une même portée dans les mêmes conditions de température et de pression de vent, le coefficient de sécurité serait réduit à 1,75.

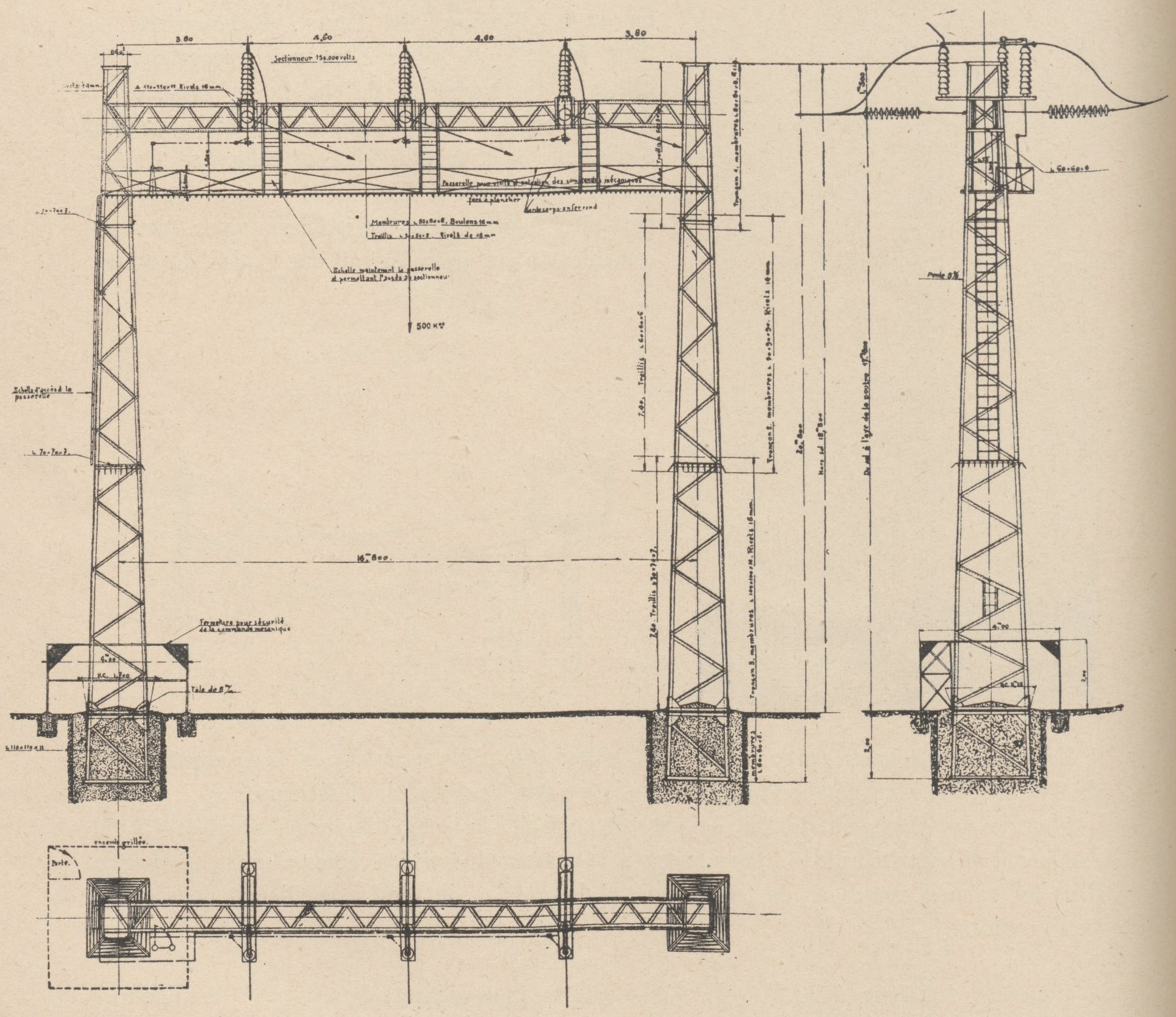
Traversée des lignes à 90.000 V. — La figure 30 représente la traversée des lignes à 90.000 *V* par la ligne à 150.000 *V*.

Montage des pylônes — Organisation des chantiers. — Les pylônes sont expédiés par les constructeurs en tronçons séparés, facilement transportables à pied-d'œuvre où ils sont assemblés dans la position même du levage par une équipe spécialisée dans ce travail.

Les massifs sont exécutés pendant la belle saison.

Une équipe de terrassiers fait les fouilles. Elle est suivie à quelque distance par les équipes de bétonnage qui trouvent sable et gravier approvisionnés à l'avance au voisinage immédiat de la fouille. La figure 31 représente un chantier de bétonnage en action.

Fig. 26. — PORTIQUE DE SECTIONNEMENT P_5 (LIGNE A 150.000 VOLTS).



Lorsque le béton fait prise, les pylônes sont levés au treuil (Fig. 32) par pivotement autour d'une des cornières du cadre faisant partie du socle, par une troisième équipe de levage. Cette équipe comprend une quinzaine d'hommes et elle peut lever de 6 à 10 pylônes par jour.

Fig. 27. — Pylône d'ancrage (Ligne a 150.000 et 220.000 volts). Poids total 9.300 k*g*.

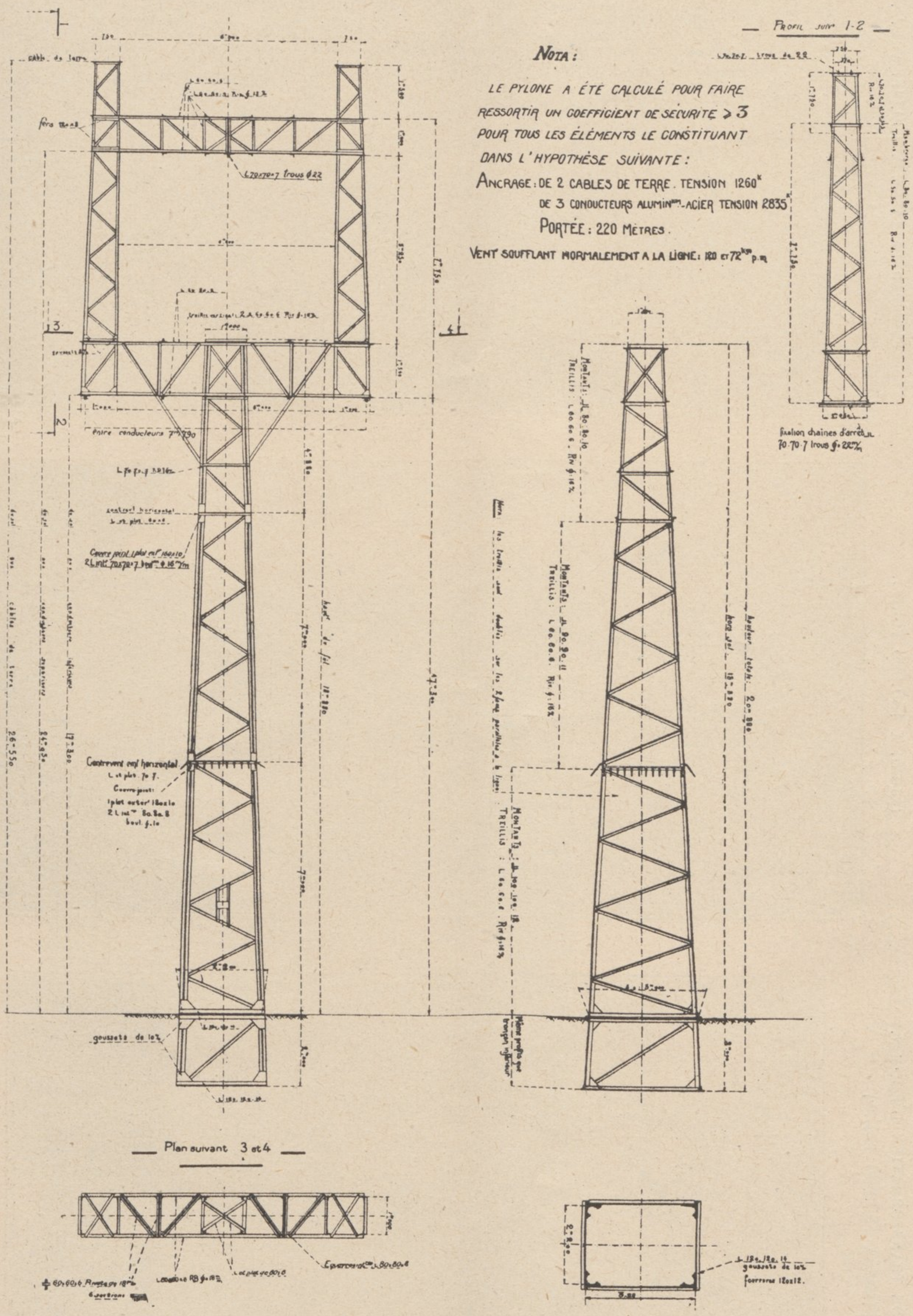


Fig. 28. — Pylône d'ancrage a l'arrivée au poste de transformation d'Eguzon. (Ligne a 150.000 volts)

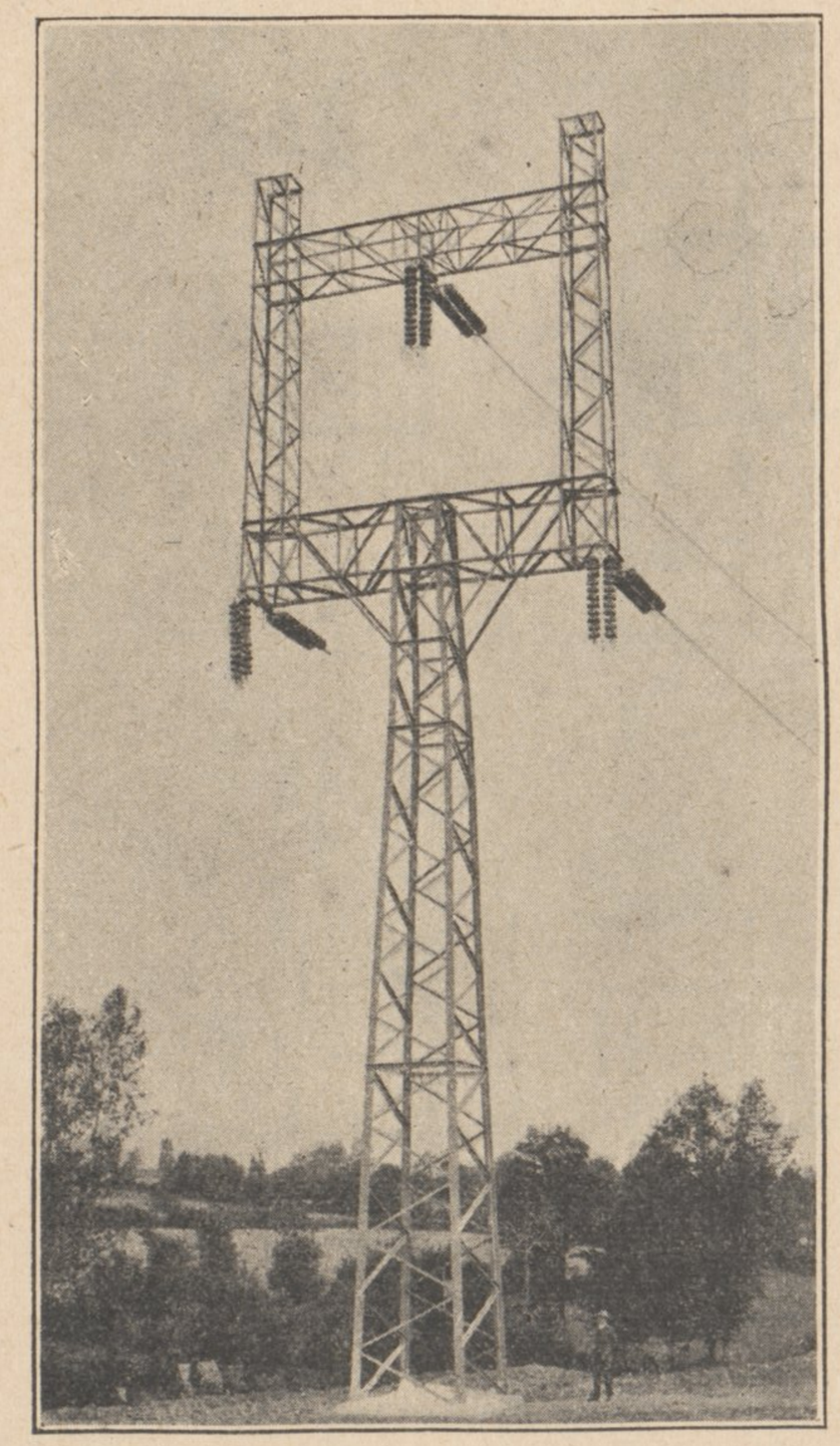


Fig. 29. — Pylône de traversée de la Loire (Ligne a 150.000 volts).

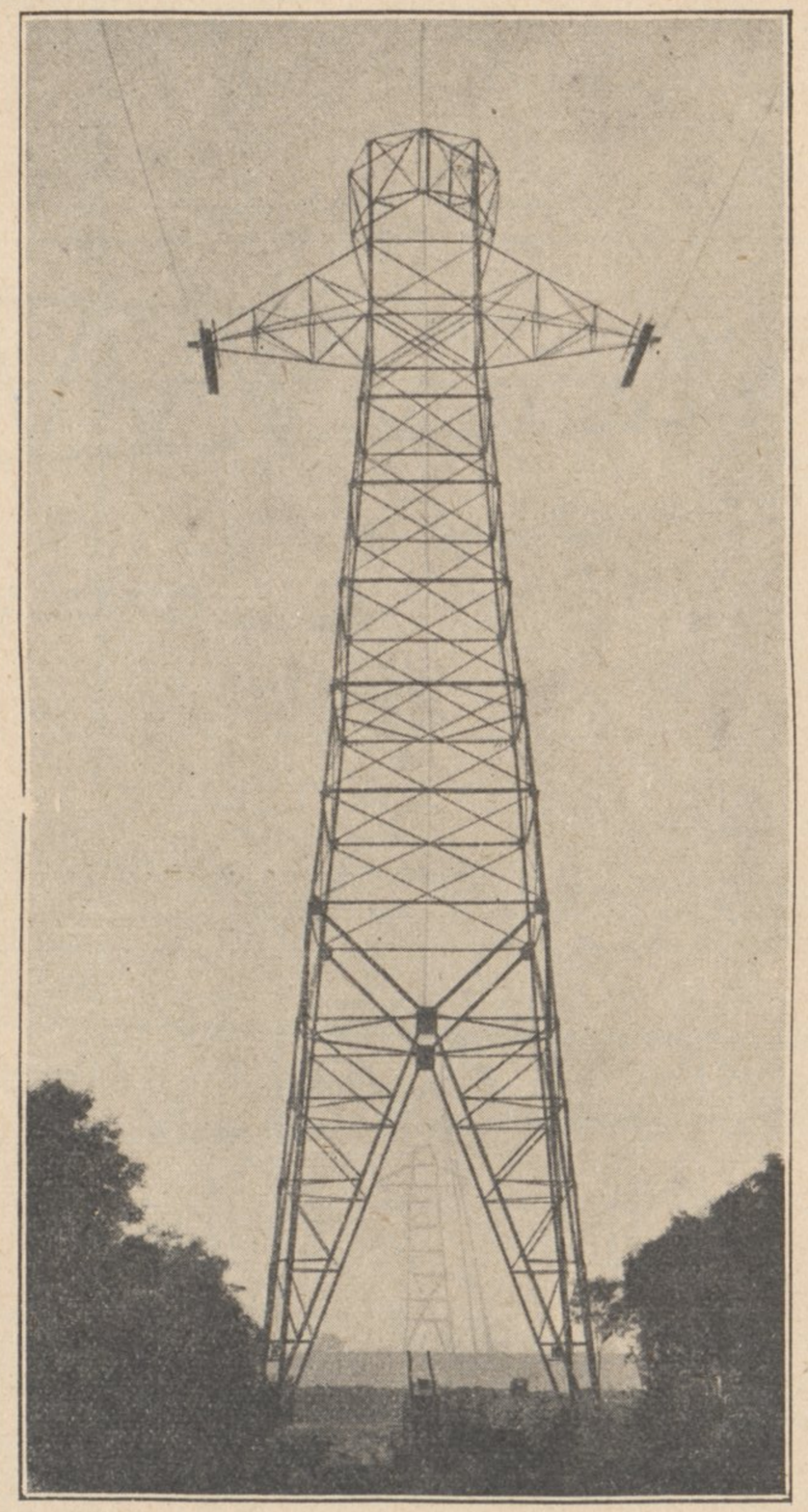
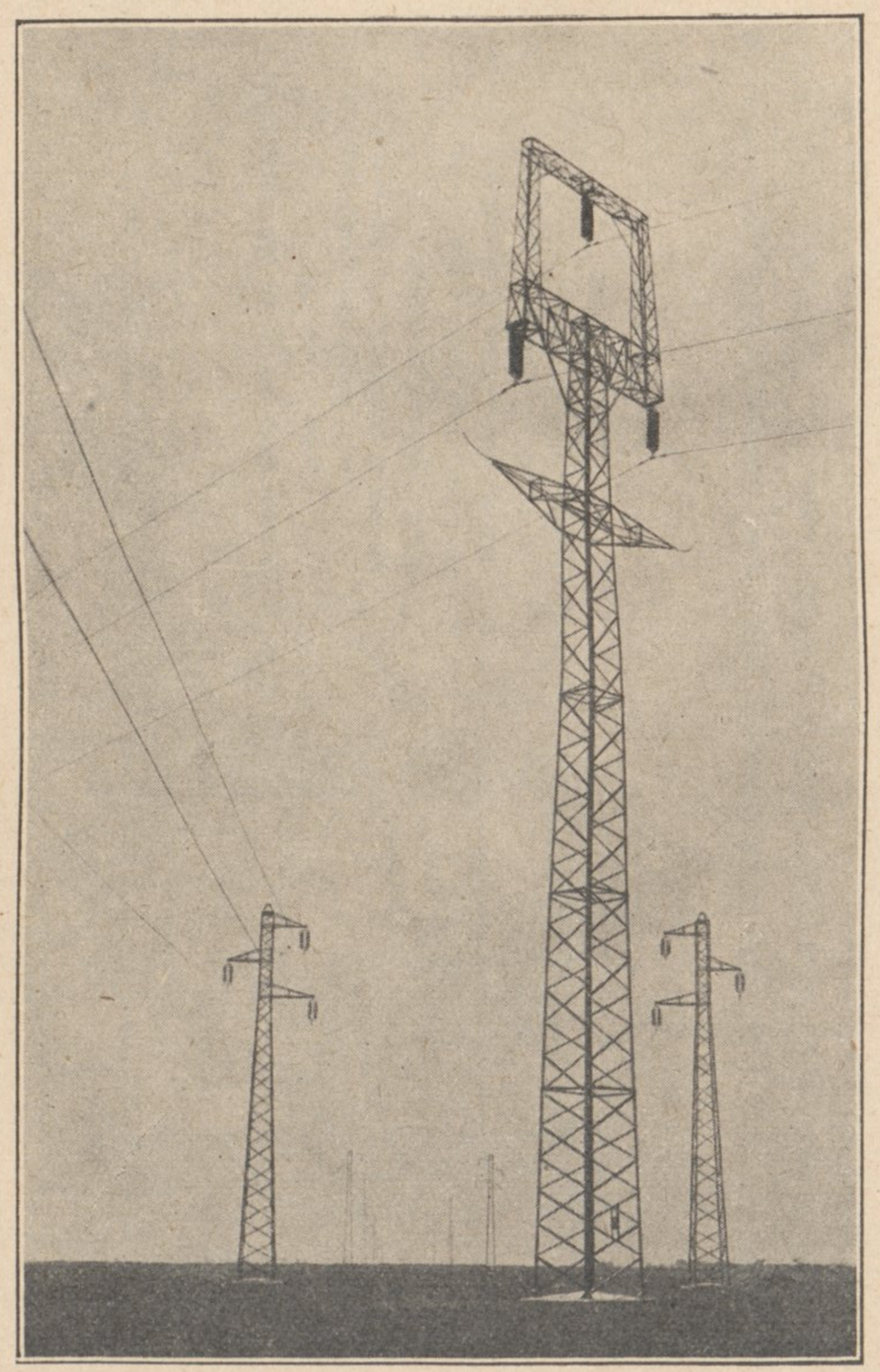


Fig. 30. — Traversée des lignes a 90.000 volts par la ligne a 150.000 volts.



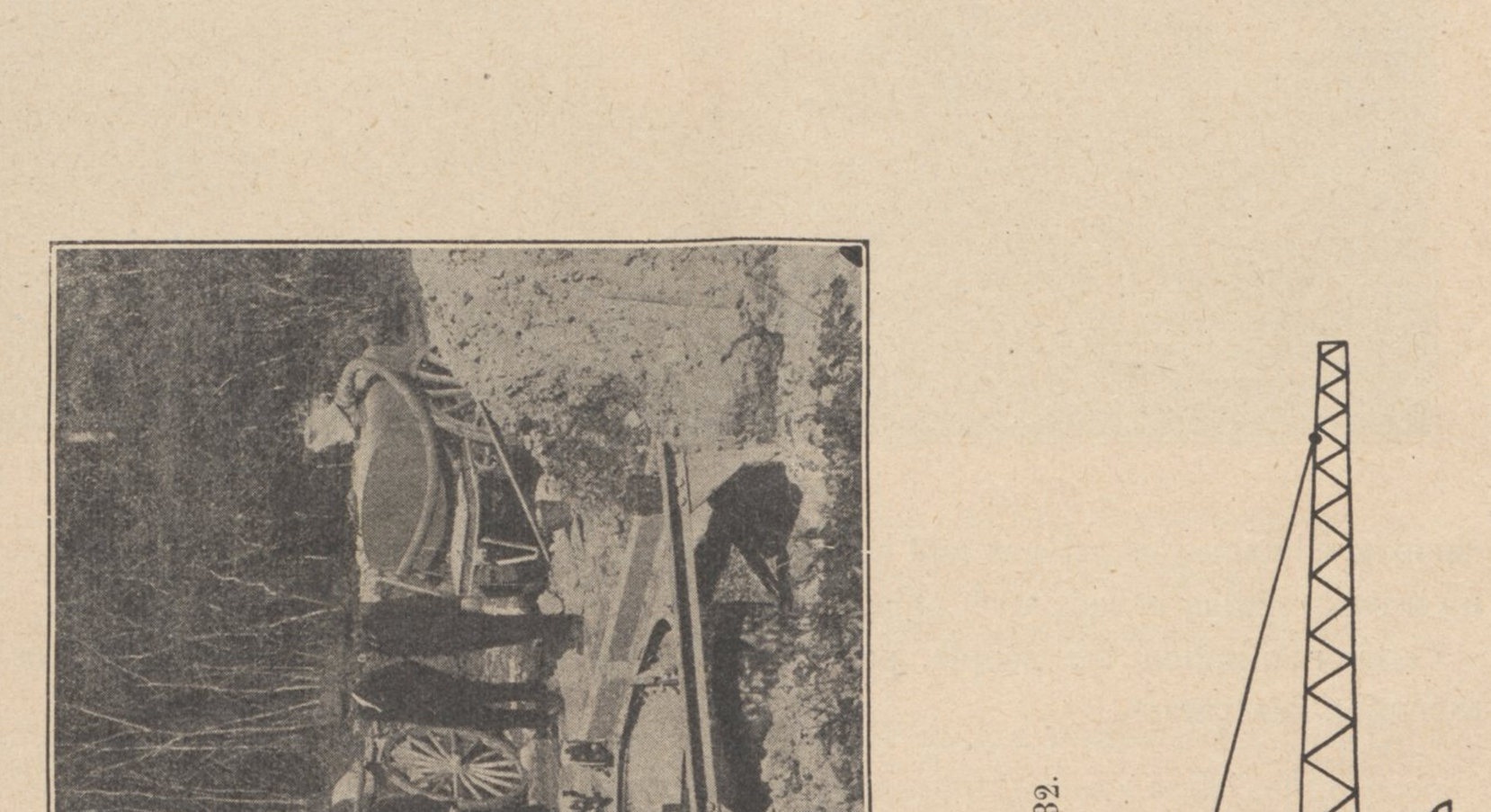


Fig. 33.

Fig. 31.

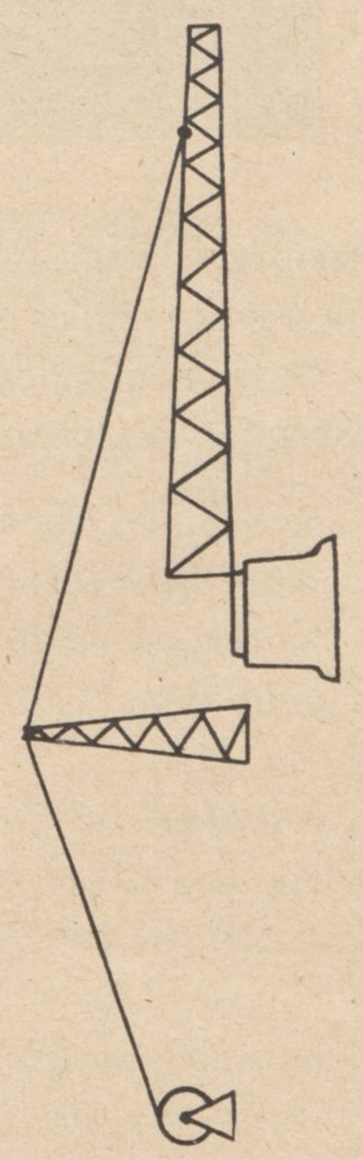


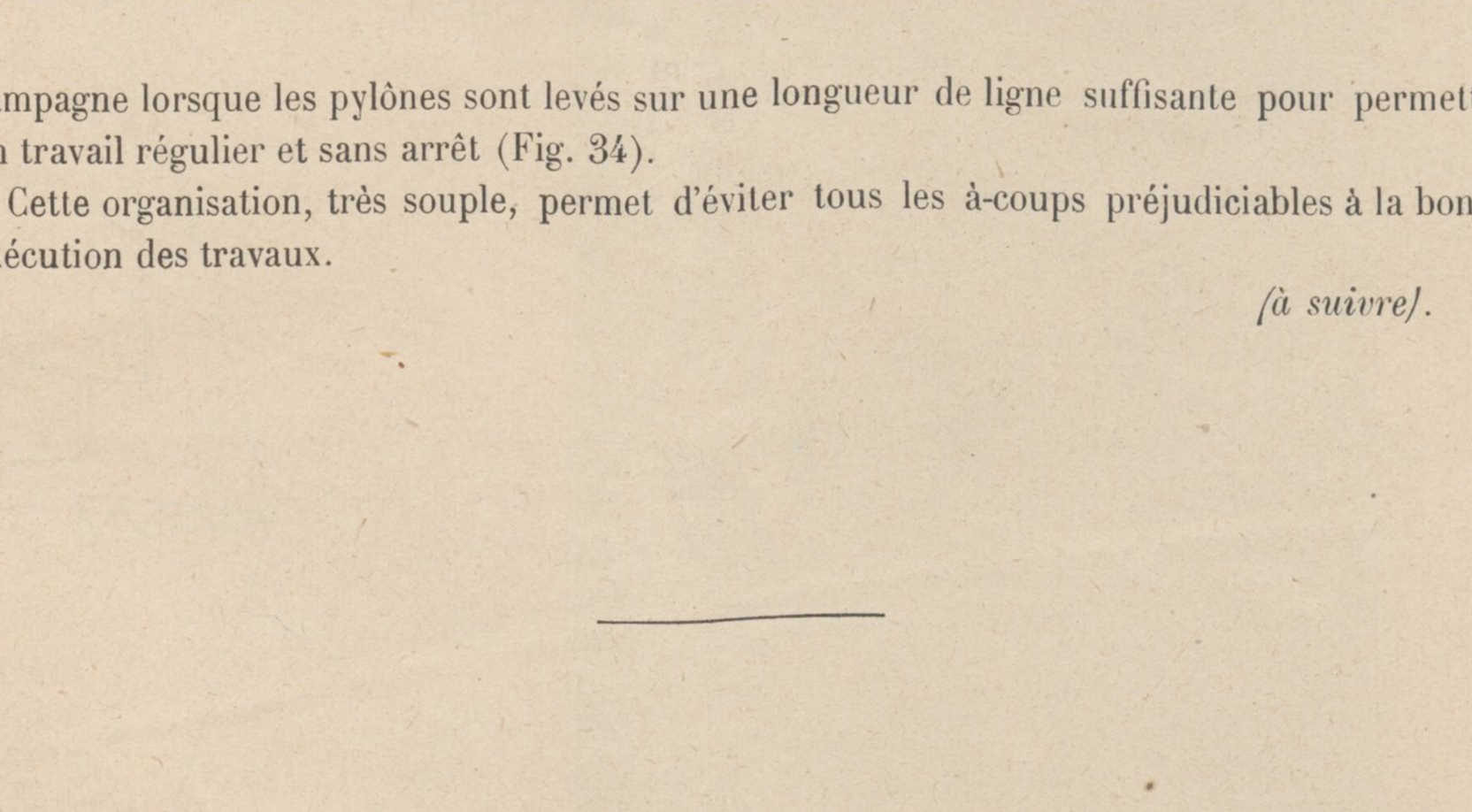
Fig. 32.

Les pylônes sont levés complètement équipés, le levage pouvant s'effectuer même par mauvais temps, un vent violent pouvant seul gêner la manœuvre.

La figure 33 représente un levage de pylône au treuil.

Le déroulage et le réglage de la ligne sont effectués par une quatrième équipe qui entre en

Fig. 34.



campagne lorsque les pylônes sont levés sur une longueur de ligne suffisante pour permettre un travail régulier et sans arrêt (Fig. 34).

Cette organisation, très souple, permet d'éviter tous les à-coups préjudiciables à la bonne exécution des travaux.

(à suivre).

ÉLECTRIFICATION PARTIELLE DU RÉSEAU
DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS

Par M. PARODI,

INGÉNIEUR EN CHEF-ADJOINT DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION
DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS

Pl. III

III

Transport de l'Énergie *(Suite)* (1)

IIe Ligne a 90 kv Eguzon - Paris

Cette ligne double de 300 kilomètres de longueur comporte 3 câbles d'aluminium avec âme acier d'une section totale de 238 mm^2 chacun, supportés par l'intermédiaire de chaînes d'isolateurs du type Hewlett à une hauteur minimum au-dessus du sol de 9 m en plein champ et de 10 m aux traversées de route. La longueur maximum des chaînes de 6 isolateurs (alignement) est de 0 m,952.

Tous les supports sont constitués par des pylônes métalliques disposés de manière que les points d'attache des 3 conducteurs d'énergie forment un triangle d'environ 4 m, 50 de côté (les distances entre conducteurs sont en réalité de 4 m, 4 m,50 et 5 m). Dans les conditions les plus défavorables du tracé et sous l'action d'un vent de 72 kg par m^2 de surface diamétrale, agissant horizontalement sur les conducteurs et isolateurs, la distance, entre un conducteur et la partie la plus voisine des pylônes, ne sera pas inférieure à 0 m,90.

Les conducteurs d'énergie sont surmontés par un câble de terre en acier de 60 mm^2 de section, relié électriquement à la masse de chaque pylône. Dans l'hypothèse la plus défavorable la distance entre câbles de terre et conducteur sous tension sera de 2 m au moins.

Les conducteurs sont disposés de manière que chacun d'eux fasse au moins deux rotations complètes dans l'intervalle compris entre deux sous-stations consécutives ; la rotation s'effectue sur deux portées avec pylônes du type normal dont l'un a ses bras renversés, la disposition des phases par rapport à l'ensemble du poste out-door devant être la même dans toutes les

(1) Voir *Revue Générale* Nos de Novembre et Décembre 1925, de Février et Mars 1926.

sous-stations. Le plan (PL. III) précise le nombre et l'emplacement des transpositions en question, les conducteurs étant amarrés à des pylônes d'arrêt écartés de 3 k*m* au maximum. Toutes les sous-stations constituent des points de sectionnement et en trois sous-stations, il est possible de faire des groupements de ligne en cas d'accident en utilisant le double jeu de barres omnibus prévu dans ces sous-stations.

Pour l'étude de ce réseau secondaire, comme pour le réseau primaire, notre Compagnie s'est conformée, après accord avec l'Administration des Postes et Télégraphes, aux prescriptions édictées par la « Railroad Commission de Californie ».

Spécification des conducteurs. — Les lignes 90 k*v* sont constituées par des câbles aluminium-acier ayant une section totale de 238 mm^2 et un câble de terre en acier galvanisé de 60 mm^2 de section.

Câble aluminium-acier :			*Câble de terre en acier :*		
Section totale	238	mm^2	Section totale	60	mm^2
Section d'aluminium	193	»			
Section d'acier	45	»			
Aluminium :					
Nombre de brins	30		Nombre de brins	7	
Section de chaque brin..	6,42	mm^2	Section de chaque brin	8,55	mm^2
Acier :					
Nombre de brins	7				
Section de chaque brin..	6,42	mm^2			
Diamètre de chaque brin.	286/100		Diamètre de chaque brin....	330/100	m*m*
Diamètre extérieur	20,1	m*m*	Diamètre extérieur.....	10,01	m*m*
Poids au mètre courant :					
Aluminium.....	0,544	k*g*			
Acier	0,372	»			
Total.....	0,916	»	Poids au mètre courant.....	0,468	k*g*

Conditions mécaniques de fonctionnement :

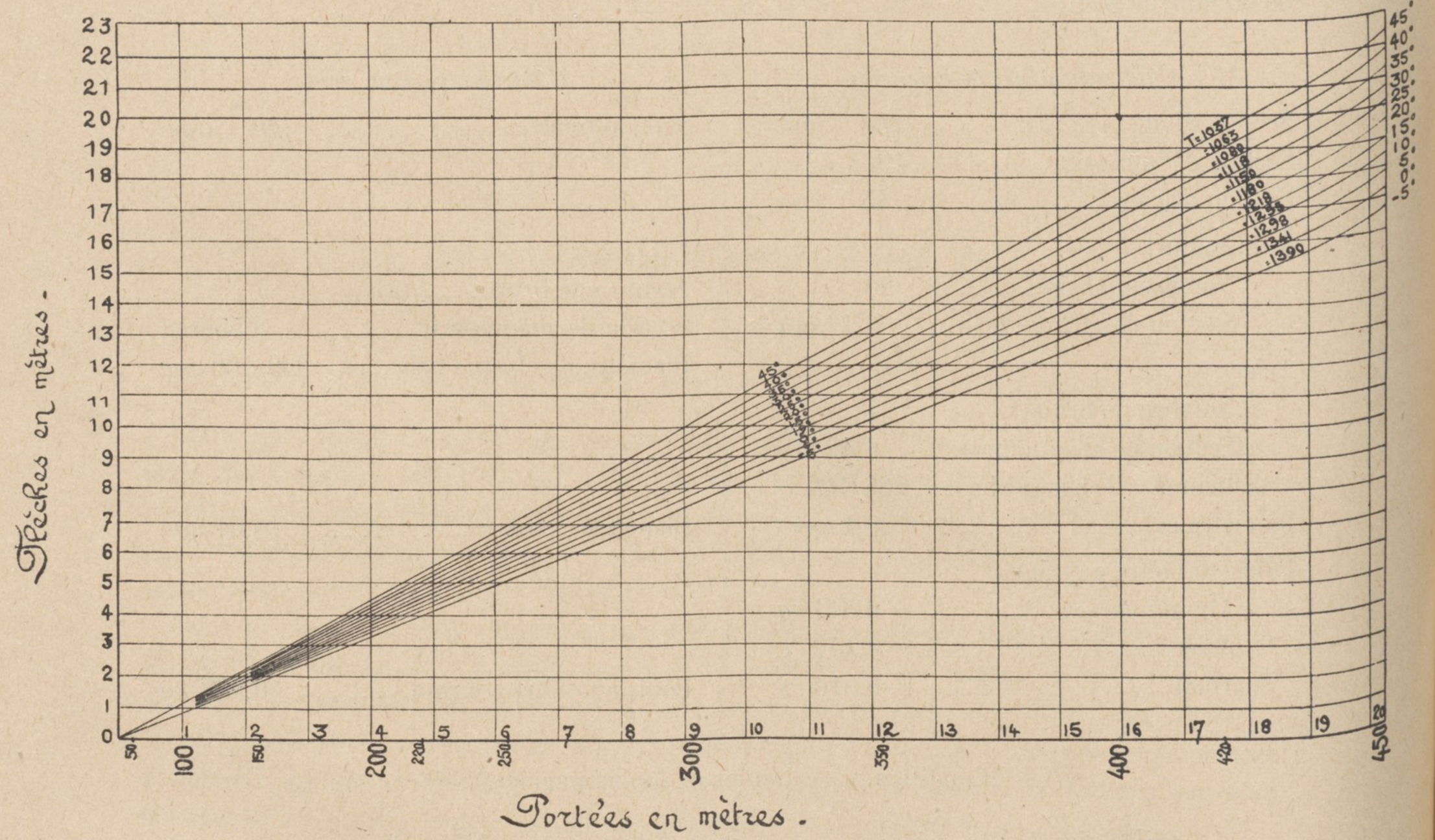
Câble aluminium-acier :			*Câble acier :*		
Résistance à la rupture	6.850	k*g*	Résistance à la rupture..	4.800 à 5.400	k*g*
Coefficient de dilatation linéaire.	17,2510-^{6}		Coefficient de dilatation linéaire.	11 10-^{6}	
Module d'élasticité (k*g*/mm^2)	8.680	k*g*	Module d'élasticité (k*g*/mm^2) ...	22.000	k*g*
Portée 200 *m.*	tensions —	flèches —	Portée 200 *m.*	tensions —	flèches —
— 20° sans vent	1.550 *k*	2,90	— 20° sans vent	700	3,30
+ 15° »	1.177 *k*	3,90	+ 15° »	600	3,90
+ 45° »	1.015 *k*	4,50	+ 45° »	515	4,55
+ 15° vent 72 *k*/*m*^{2}.....	1.940	4,40	+ 15° vent 72 *k*/*m*^{2}.....	950	4,50
— 20° vent 18 »	1.690	2,90	— 20° vent 18 »	716	3,50

Portée : 225 *m*.	tensions	flèches
— 20° sans vent.....	1.525	3,75
+ 15° »	1.225	4,75
+ 45° »	1.050	5,50
+ 15° vent de 72 *k/m²*	1.990	5,45
— 20° vent de 18 »	1.620	3,90

Portée 225 *m*.	tensions	flèches
— 20° sans vent.....	720	4,15
+ 15° »	625	4,75
+ 45° »	540	5,50
+ 15° vent de 72 *k/m²*	978	5,60
— 20° vent de 18 »	750	4,20

La figure 35 donne, pour les câbles en question, les valeurs des flèches et des tensions en fonction de la portée pour différentes températures, dans le cas où le câble est tendu de

Fig. 35. — Abaque des flèches et tensions de pose aux différentes températures.
Cable aluminium-acier de 238 mm². — 37 brins. — Portée normale 225 m.
Tension maximum. — Hypothèse A = 1990 kg.



manière à donner à + 15° C sous l'action d'un vent de 72 k*g* par *m²* de conducteur rond, une tension de 1990 k*g* pour la portée normale de 225.

Isolateurs. — Les conducteurs aluminium-acier sont suspendus aux pylônes par des isolateurs Hewlett de même type que ceux de la ligne à 150 k*v*.

Les spécifications de ces isolateurs sont les mêmes.

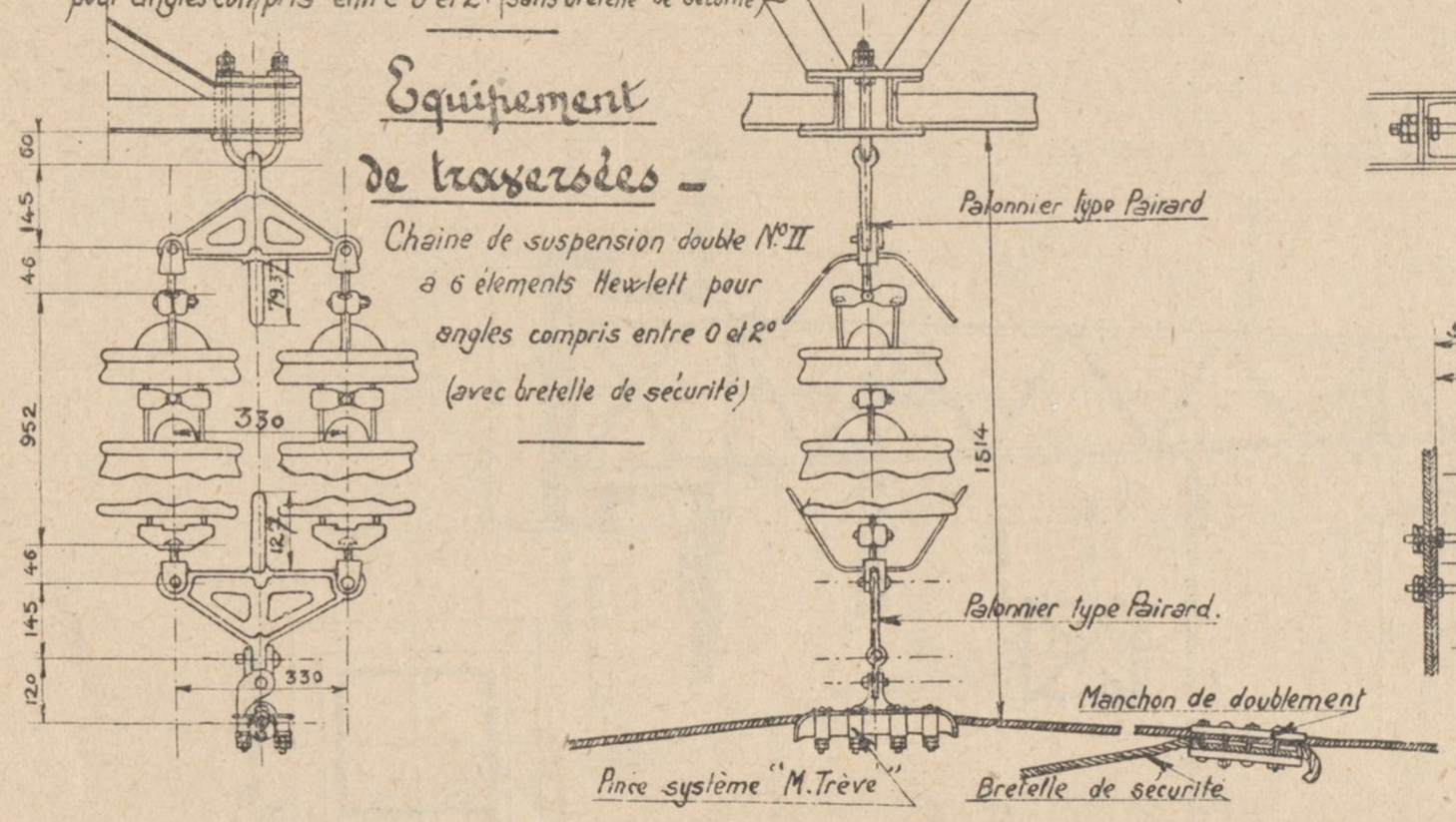
La répartition de tension électrique entre isolateurs faisant partie d'une chaîne de 6 éléments est, à sec, sensiblement la suivante :

1° disque (côté ligne)	32 %	4° disque	11 %
2° » »	26 %	5° »	10 %
3° » »	17 %	6° »	10 %

Fig. 36. — Appareillage de la ligne a 90.000 volts

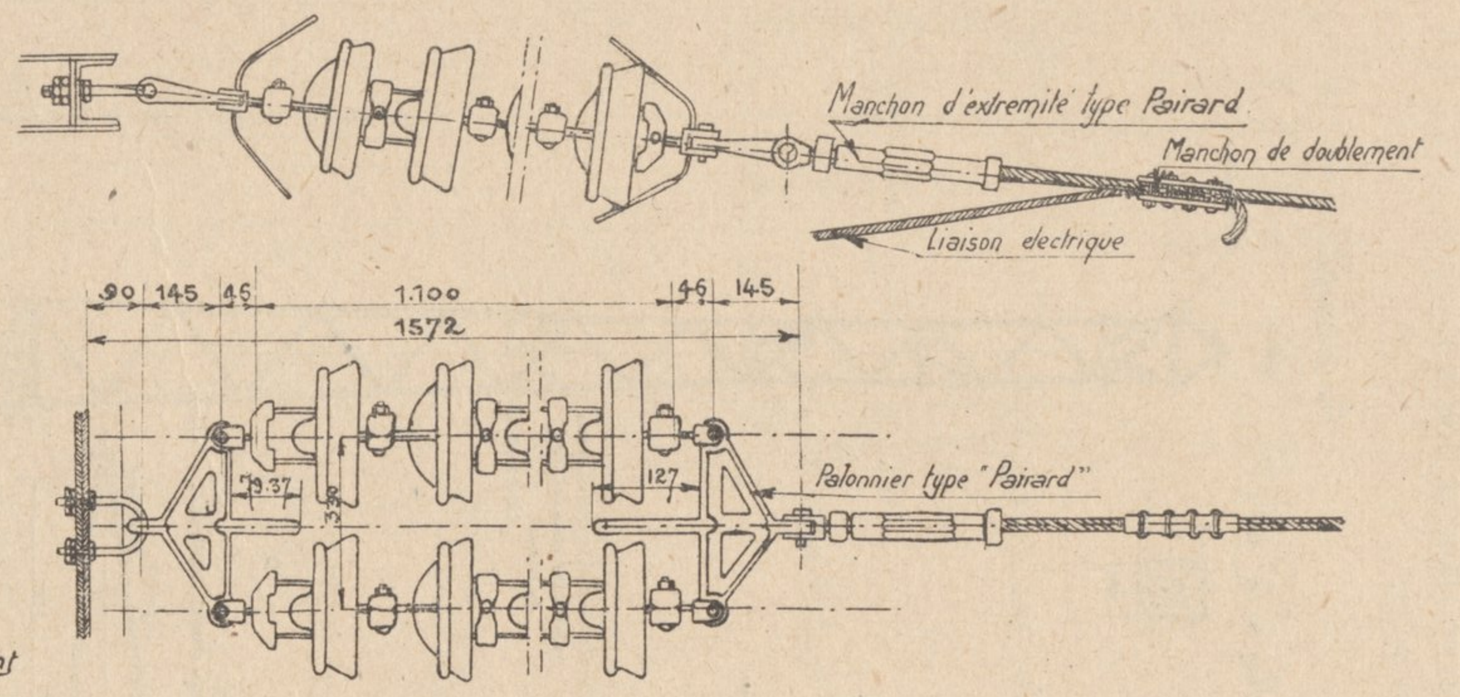
Equipement des pylônes types Semi-Arrêt et Arrêt

Chaine de suspension double N°II a 6 éléments "Hewlett" pour angles compris entre 0 et 2° (sans bretelle de sécurité)



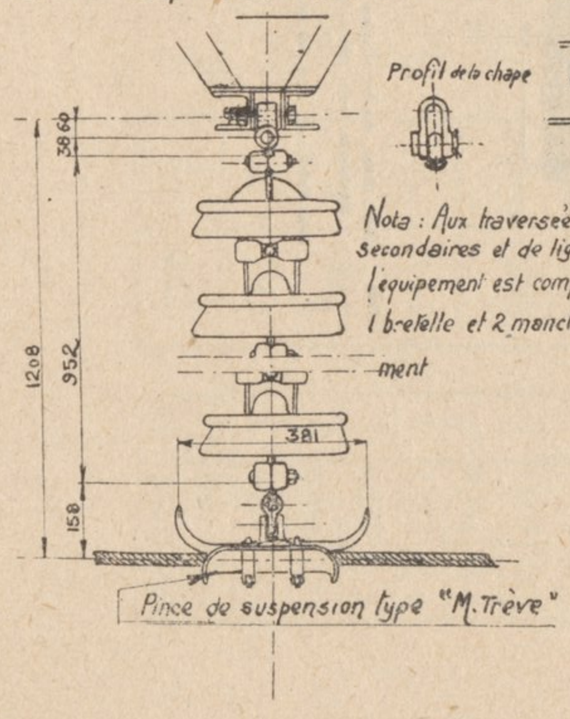
Equipement des pylônes types Semi-Arrêt et Arrêt.

Chaine double N° V a 7 éléments "Hewlett" pour angles supérieurs à 15°



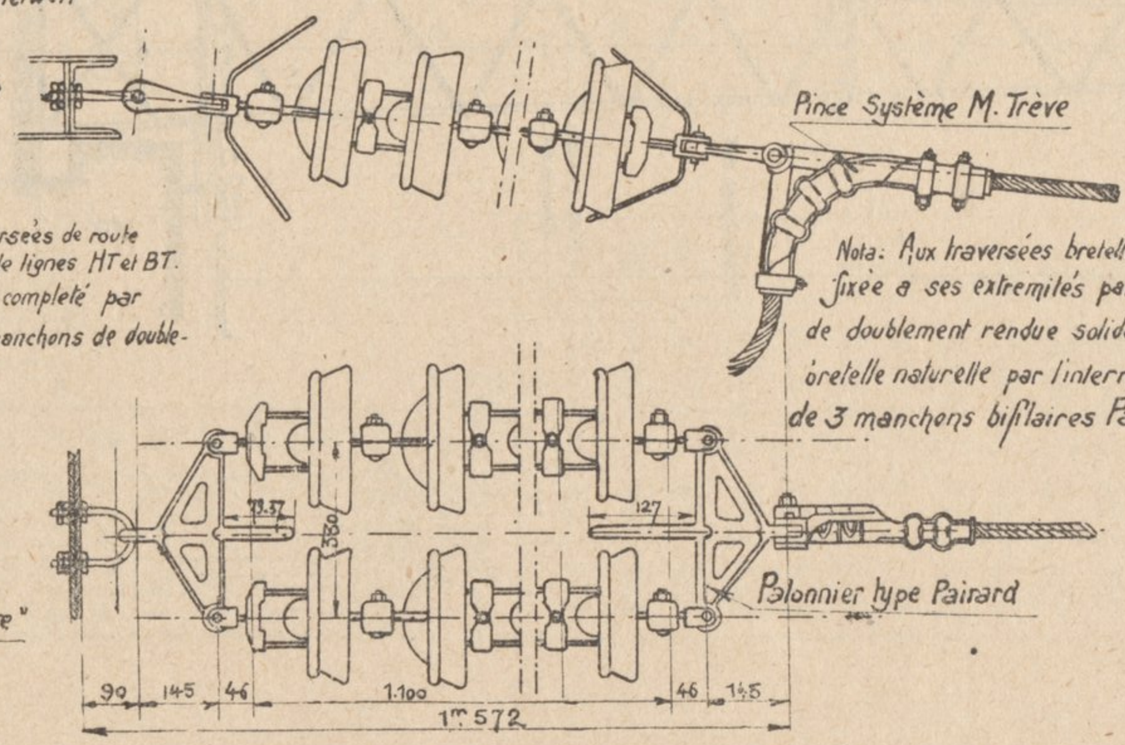
Equipement des pylônes type "Alignement"

Chaine de suspension N° I A à 6 éléments Helwett



Equipement des pylones types Semi-Arrêt et Arrêt

Chaine double N° IV a 7 éléments Hewlett pour angles supérieurs à 2°



Détails de mise à la terre des pylones.

Cas du pylone d'arrêt.

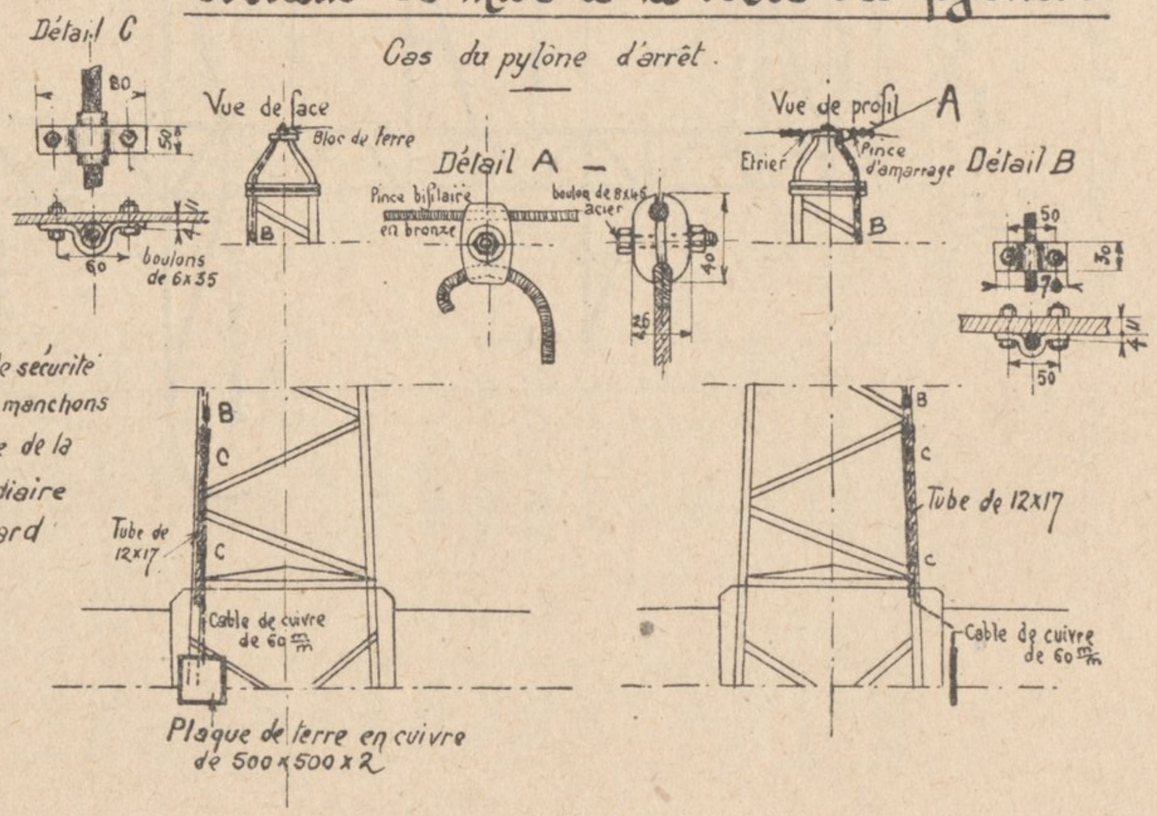


Fig. 37. — Pylône d'alignement (Portée 150 m.).
Ligne à 90.000 volts.

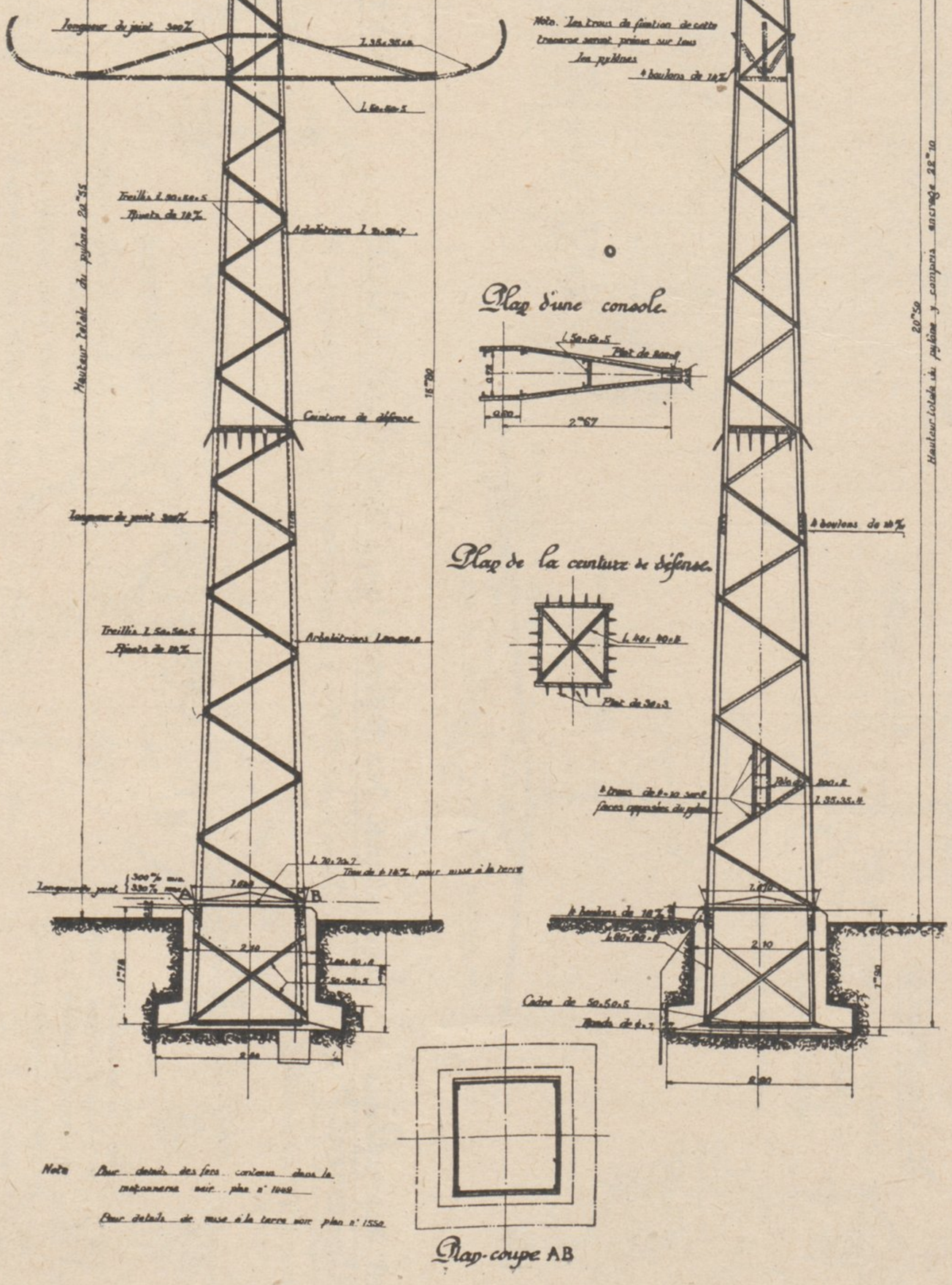
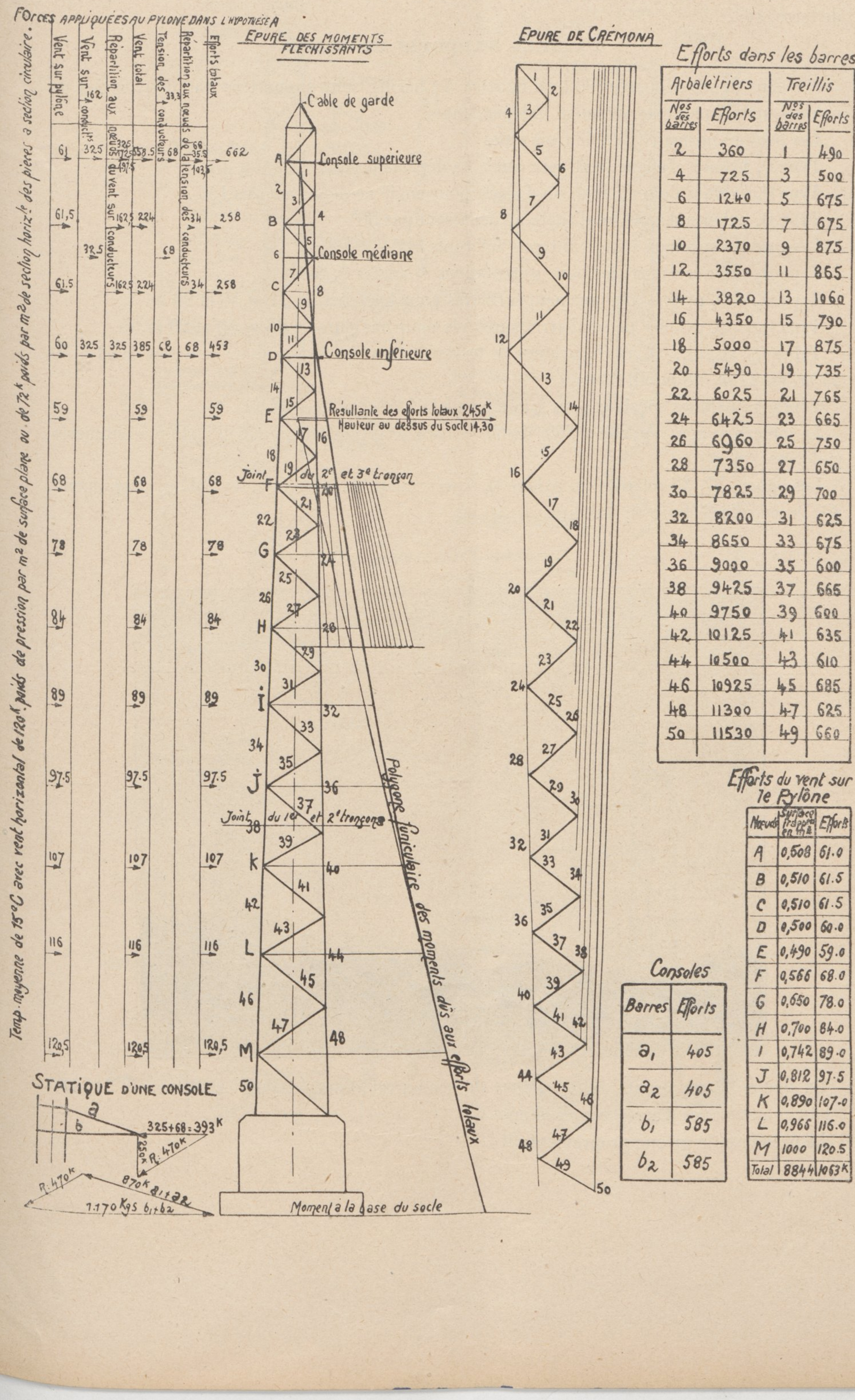


Fig. 38. — Pylône type alignement utilisable jusqu'à l'angle de 2° (Portée 225 m.)
Ligne à 90.000 volts.



Efforts dans les barres

Arbalétriers		Treillis	
Nos des barres	Efforts	Nos des barres	Efforts
2	360	1	490
4	725	3	500
6	1240	5	675
8	1725	7	675
10	2370	9	875
12	3550	11	865
14	3820	13	1060
16	4350	15	790
18	5000	17	875
20	5490	19	735
22	6025	21	765
24	6425	23	665
26	6960	25	750
28	7350	27	650
30	7825	29	700
32	8200	31	625
34	8650	33	675
36	9000	35	600
38	9425	37	665
40	9750	39	600
42	10125	41	635
44	10500	43	610
46	10925	45	685
48	11300	47	625
50	11530	49	660

Efforts du vent sur le Pylône

Nœuds	Surface frappée en m²	Efforts
A	0,508	61.0
B	0,510	61.5
C	0,510	61.5
D	0,500	60.0
E	0,490	59.0
F	0,566	68.0
G	0,650	78.0
H	0,700	84.0
I	0,742	89.0
J	0,812	97.5
K	0,890	107.0
L	0,965	116.0
M	1000	120.5
Total	8844	1063k

Consoles

Barres	Efforts
a_1	405
a_2	405
b_1	585
b_2	585

Appareillage de la ligne. — La figure 36 représente les principaux éléments de l'équipement des lignes : chaînes de suspension simples, chaînes de suspension doubles, plaques de terre, etc...

Pylônes supports de ligne.

Les deux lignes triphasées 90 k*v* d'Eguzon à Chevilly sont supportées par deux séries de pylônes métalliques complètement indépendantes.

Les pylônes normaux sont de trois types :

Type Q_1 pylônes d'alignement pour angle ne dépassant pas 2°.

Type Q_2 pylônes de semi-arrêt ou d'angle pour angle ne dépassant pas 15°.

Type Q_3 pylônes d'arrêt ou d'angle ne dépassant pas 30°.

Les pylônes spéciaux sont de 5 types différents :

Type Q_4 pylônes d'ancrages pour sous-stations et angles de 30°.

Type Q_5 et Q_6 pylônes d'alignement surélevés pour hauteurs de 24 *m*,55 et 26 *m*.

Type Q_7 et Q_8 pylônes de semi-arrêt surélevés pour hauteurs de 23 *m*,50 et 26 *m*,55.

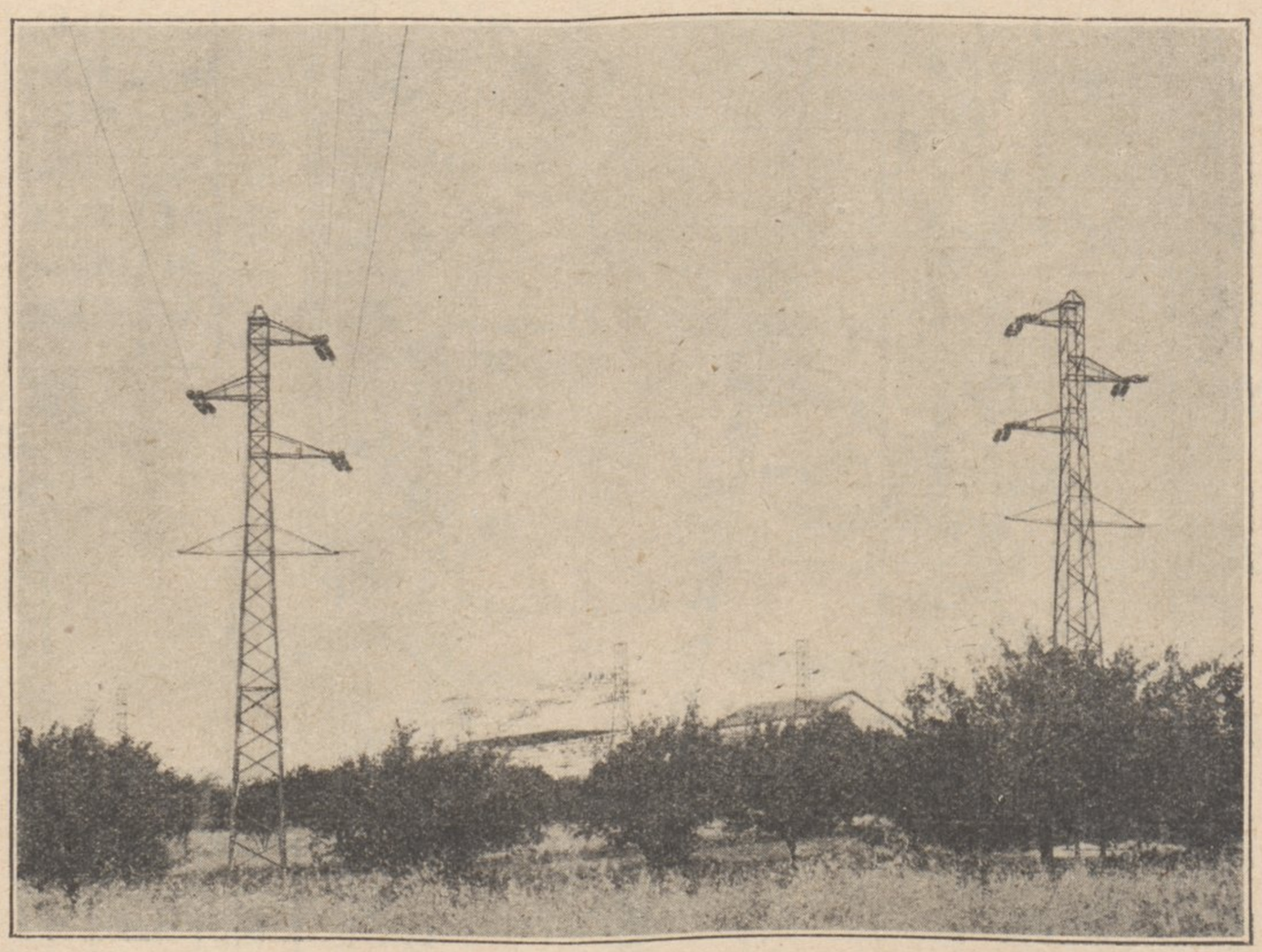
Types Q_9, Q_{10}, Q_{11}, Q_{12} et Q_{13} pylônes de traversée de voies ferrées pour hauteurs de 23 *m*,50 24 *m*,50, 27 *m*, 28 *m*,50, 30 *m*.

Types Q_{14} pylônes spéciaux pour traversée de la Loire (portée 341 *m*).

Le tableau ci-après (p. 268 et 269) donne les caractérisques principales des pylônes énumérés ci-dessus.

Les figures 37, 38 relatives au pylône Q_1 représentent, la première, le pylône proprement dit, la seconde, l'épure de stabilité.

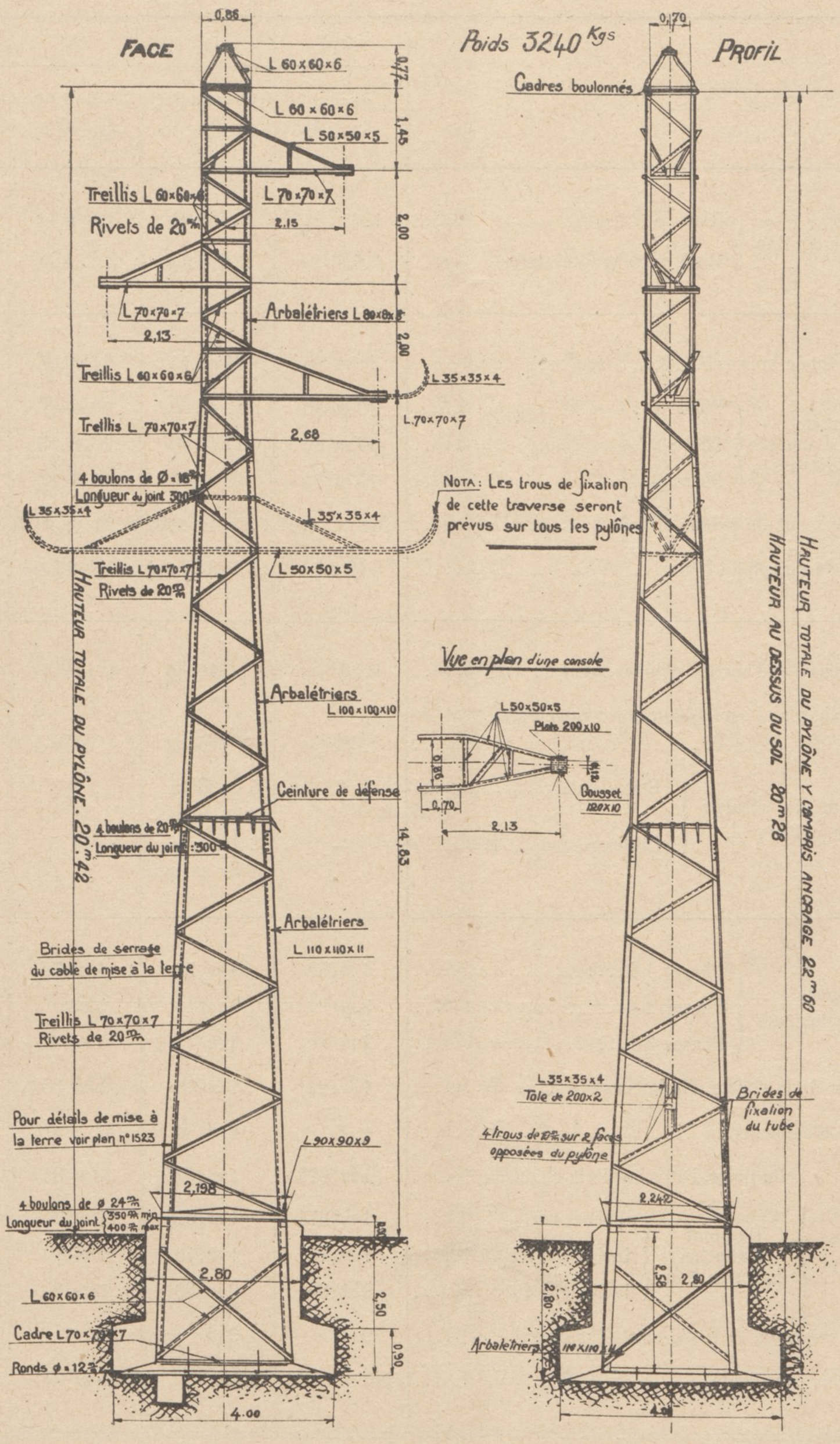
Fig. 39. — Pylônes semi-arrêt.



La figure 39 représente deux pylônes de semi-arrêt de type Q^2 et les figures 40, 41, 42, relatives au pylônes d'arrêt, représentent :

La première, le pylône proprement dit ;

Fig. 40. — Pylône d'arrêt. (Ligne à 90.000 volts).



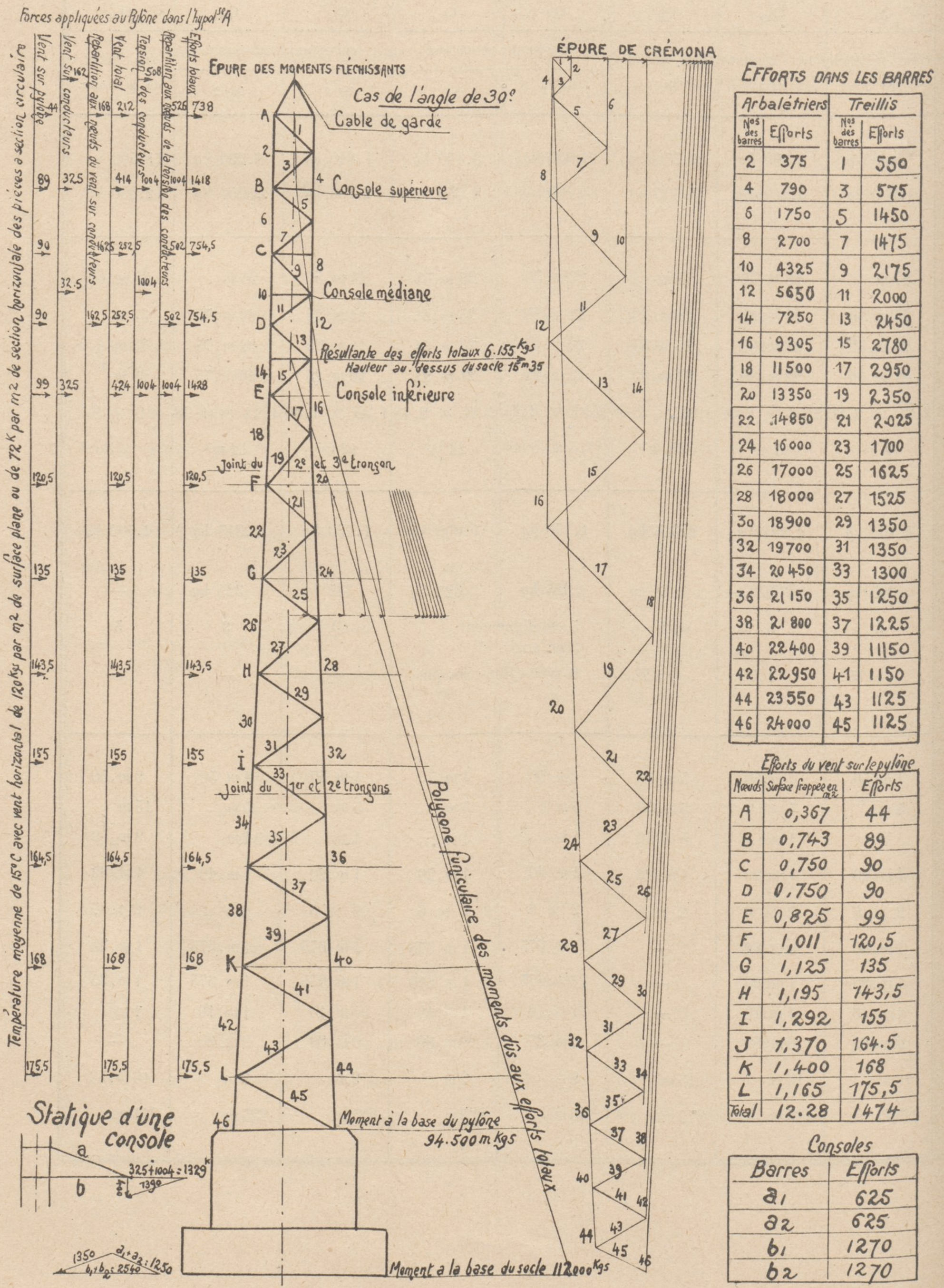
NOTA : Les trous de fixation de cette traverse seront prévus sur tous les pylônes

DIVERS TYPES DE PYLONES UTILISÉS		Q_1 ANGLES de 0 à 2°	Q_2 SEMI-ARRÊT angle de 15°	Q_3 ARRÊT angle de 30°	Q_4 ANCRAGE Sous-Stations angle de 30°	Q_9 VOIES FERRÉES N° 1	90.000
Poids du pylône	Hors sol	1.670 kg	2.380 kg	2.800 kg	4.250 kg	3.650 kg	
	Total, y compris le socle	1.720 kg	2.720 kg	3.250 kg	5.100 kg	4.300 kg	
Hauteur totale hors sol		21 m,05	21 m,05	21 m,05	21 m,05	23 m,50	
Hauteur au point d'attache des isolateurs	Phase 1	19 m,80	19 m,80	18 m,83	18 m,83	22 m	
	Phase 2	17 m,80	17 m,80	16 m,83	16 m,83	20 m	
	Phase 3	15 m,80	15 m,80	14 m,83	14 m,83	18 m	
Encombrement du pylône au sol		1,64 × 1,67	1,98 × 2,02	2,20 × 2,25	3,32 × 3,37	2,49 × 2,54	
Volume du massif de béton		10 m³	17,5 à 35 m³	27 à 45 m³	37 m³	37 m³	
Effort transversal sur les pylônes, vent de 120 kg/m²		1.063 kg	1.316 kg	1.474 kg	1.944 kg	1.666 kg	
Effort transversal sur chacun des conducteurs, vent de 72 kg/m²		325 kg	325 kg	325 kg	216 kg	216 kg	
Coefficient de sécurité du pylône.	Etat normal	3	5 en align. 3 en angles	3	3	5	
	Câbles rompus	—	2 avec deux câbles rompus	1,5	—	1,75	
Distance entre conducteurs	Phases 1-2	4 m,50	4 m,50	4 m,50	5 m,76	4 m,50	
	Phases 2-3	5 m	5 m	5 m	5 m,65	5 m	
	Phases 3-1	4 m	4 m	4 m	4 m	4 m	
Longueur de la chaîne d'isolateurs		1 m,20	1 m,20	1 m,38	1 m,35	1 m,20	
Nombre d'éléments		6	2 × 6	2 × 7	2 × 7	2 × 6	
Distance à la masse du pylône	Du point d'attache de la chaîne	1 m,675	1 m,675	1 m,35	1 m,35	1 m,80	
	Du point d'attache du conducteur — Chaîne verticale	1 m,675	1 m,675	1 m,35	1 m,35	1 m,80	
	Du point d'attache du conducteur — Inclinée à 30°	1 m,10	1 m,10	1 m,10	1 m,10	1 m,10	
	Du point d'attache du conducteur — Inclinée à 40°	0 m,80	0 m,80	0 m,80	0 m,80	0 m,80	
Hauteur minimum du câble au-dessus du sol		9 m	9 m	9 m	9 m	13 m	
Portée correspondante		225 m	225 m	225 m	225/75 m	225 m	

VOLTS

Q_{10}	Q_{11}	Q_{12}	Q_{13}	Q_7	Q_8	Q_5	Q_6	Q_{14}
VOIES FERRÉES N° 2	VOIES FERRÉES N° 3	VOIES FERRÉES N° 4	VOIES FERRÉES N° 5	SEMI-ARRÊT SURÉLEVÉ N° 1	SEMI-ARRÊT SURÉLEVÉ N° 2	ALIGNEMENT SURÉLEVÉ N° 1	ALIGNEMENT SURÉLEVÉ N° 2	TRAVERSÉE de la Loire
3.800 kg 4.500 kg	4.200 kg 4.900 kg	4.400 kg 5.200 kg	4.750 kg 5.600 kg	2.630 kg 3.100 kg	3.170 kg 3.650 kg	1.840 kg 2.100 kg	1.930 kg 2.250 kg	11.500 kg 12.000 kg
24 m,50 23 m,10 21 m,10 19 m,10 2,59 × 2,64 39 m³	27 m 25 m,50 23 m,50 21 m,50 2,81 × 2,86 43 m³	28 m,50 26 m,80 24 m,80 22 m,80 2,93 × 2,98 45 m³	30 m 28 m,30 25 m,55 22 m,80 2,93 × 2,98 48 m³	23 m,50 22 m,24 20 m,24 18 m,24 2,17 × 2,24 17,5 à 35 m³	25 m,55 25 m,24 23 m,24 21 m,24 2,41 × 2,48 22 m³	24 m,55 23 m,25 21 m,25 19 m,25 1,85 × 1,89 12 m³	26 m 24 m,75 22 m,75 20 m,75 1,94 × 1,98 12 m³	38 m,60 34 m 28 m 28 m 9 × 9 4 × 8 m³
1.879 kg	2.102 kg	2.224 kg	2.315 kg	1.470 kg	1.650 kg	1.230 kg	1.315 kg	2.502 kg
325 kg 5 1,75	325 kg 5 1,75	325 kg 5 1,75	438 kg 5 1,75	325 kg 5 en alignement 3 en angle 15° 2 avec câbles rompus	325 kg	325 kg 3 —	325 kg 3 —	— 5 —
4 m,50 5 m 4 m 1 m,20 2 × 6 1 m,80 1 m,80 1 m,10 0 m,80 13 m 225 m	4 m,50 5 m 4 m 1 m,20 2 × 6 1 m,80 1 m,80 1 m,10 0 m,80 13 m 225 m	4 m,50 5 m 4 m 1 m,20 2 × 6 1 m,80 1 m,80 1 m,10 0 m,80 13 m 225 m	5 m,10 5 m,50 5 m,50 1 m,20 2 × 6 — — — — 13 m 375 m	4 m,50 5 m 4 m 1 m,20 2 × 6 1 m,675 1 m,675 1 m,10 0 m,80 9 m 225 m	4 m,50 5 m 4 m 1 m,20 2 × 6 1 m,675 1 m,675 1 m,10 0 m,80 9 m 225 m	4 m,50 5 m 4 m 1 m,20 2 × 6 1 m,675 1 m,675 1 m,10 0 m,80 9 m 225 m	4 m,50 5 m 4 m 1 m,20 2 × 6 1 m,675 1 m,675 1 m,10 0 m,80 9 m 225 m	9 m,50 15 m 9 m,50 1 m,35 2 × 7 1 m,35 1 m,35 1 m — 16 m,50 341 m

Fig. 41. — Pylône d'arrêt utilisable jusqu'a l'angle de 30°.
Ligne à 90.000 volts.



Efforts dans les barres

Arbalétriers		Treillis	
Nos des barres	Efforts	Nos des barres	Efforts
2	375	1	550
4	790	3	575
6	1750	5	1450
8	2700	7	1475
10	4325	9	2175
12	5650	11	2000
14	7250	13	2450
16	9305	15	2780
18	11500	17	2950
20	13350	19	2350
22	14850	21	2025
24	16000	23	1700
26	17000	25	1625
28	18000	27	1525
30	18900	29	1350
32	19700	31	1350
34	20450	33	1300
36	21150	35	1250
38	21800	37	1225
40	22400	39	11150
42	22950	41	1150
44	23550	43	1125
46	24000	45	1125

Efforts du vent sur le pylône

Nœuds	Surface frappée en m2	Efforts
A	0,367	44
B	0,743	89
C	0,750	90
D	0,750	90
E	0,825	99
F	1,011	120,5
G	1,125	135
H	1,195	143,5
I	1,292	155
J	1,370	164.5
K	1,400	168
L	1,165	175,5
Total	12.28	1474

Consoles

Barres	Efforts
a1	625
a2	625
b1	1270
b2	1270

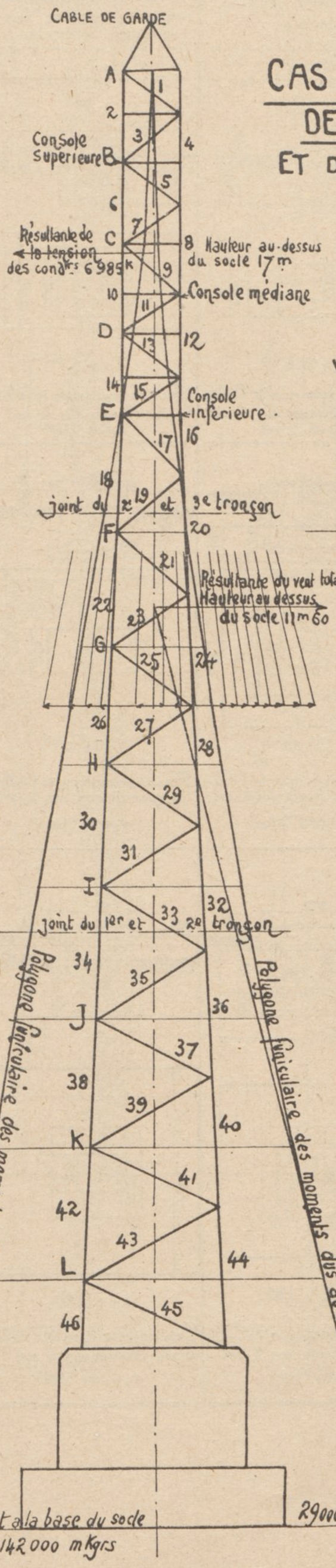
Fig. 42. — Pylône d'arrêt utilisable jusqu'a l'angle de 30°.
Ligne à 90.000 volts.

Forces appliquees au pylone dans l'hyp. A

		Repartition aux 15 nœuds de la tension des cond.				
		Tension 978				
		Vent total 1284				
		Repartition 81 aux nœuds du vent sur cond.				
		Vent sur Arbl. 81				
89	162.5	162.5	2515	1990	1990	
90		81	171		995	
	1625			1990		
90		81	171		995	
99	162.5		261.5	1990	1990	
	120.5		120.5			
135			135			
143.5			143.5			
155			155			
164.5			164.5			
168			168			
175.5			175.5			

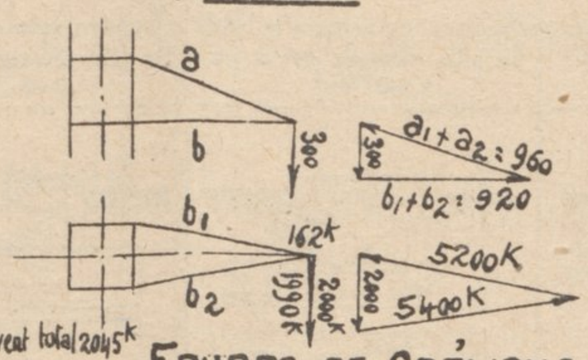
Pression du vent par m2 de surface plane ou de 72k poids par m2 de section horizontale des cables avec vent horizontal de 120k poids de pression par m2

Température 15°C avec vent

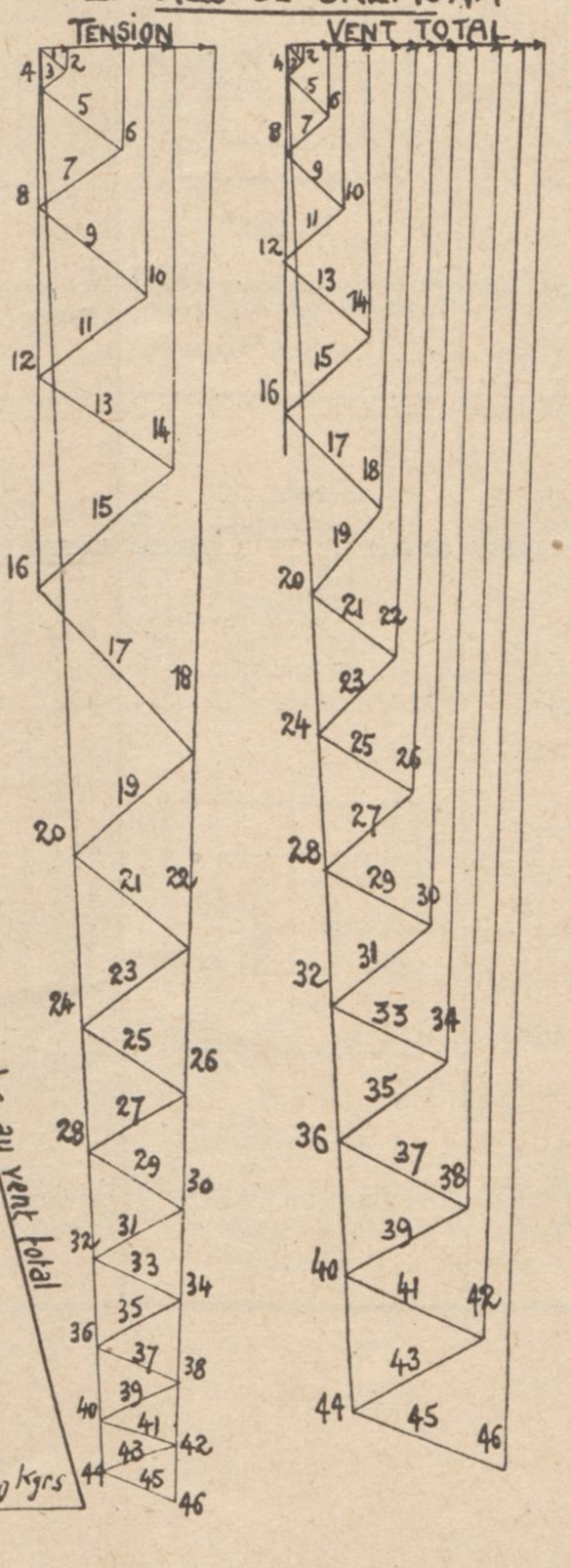


CAS DE LA RUPTURE DES 3 CONDUCTEURS ET DU CABLE DE GARDE

Statique d'une console



Epures de Crémona



Efforts dans les barres

Arbalétriers				Treillis		
Nos des barres	Vent sur le pylône	Tension des conducteurs	TOTAL	Nos des barres	Efforts soustraits à la tension	Efforts ajoutés à la tension
2	60	400	460	1	80	600
4	100	850	950	3	80	650
6	260	1950	2210	5	240	1850
8	390	3050	3440	7	230	1850
10	630	4800	5430	9	360	2600
12	820	6250	7070	11	330	2450
14	1100	8100	9200	13	440	3050
16	1400	10200	11600	15	470	3200
16	1800	13450	15250	17	590	4300
20	2100	15350	17150	19	400	2850
22	2400	17100	19500	21	440	2650
24	2640	18550	21190	23	400	2350
26	2900	19850	22750	25	440	2100
28	3140	20900	24040	27	420	2000
30	3410	22000	25410	29	470	1850
32	3650	22900	26550	31	440	1700
34	3910	23850	27760	33	490	1600
36	4150	24550	28700	35	460	1450
38	4420	25300	29720	37	520	1400
40	4650	25850	30500	39	500	1300
42	4910	26450	31660	41	560	1200
44	5150	27000	32150	43	530	1200
46	5450	27450	32900	45	600	1100

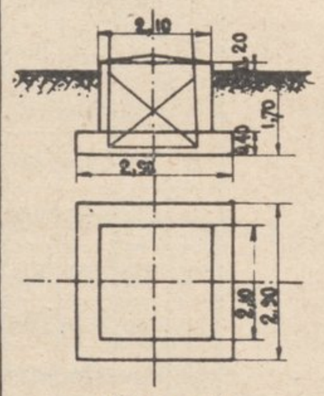
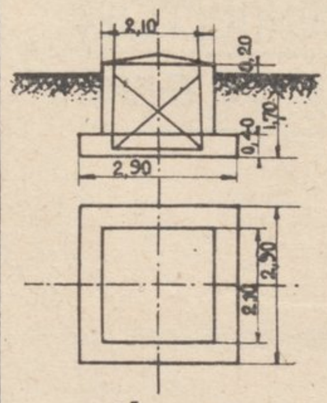
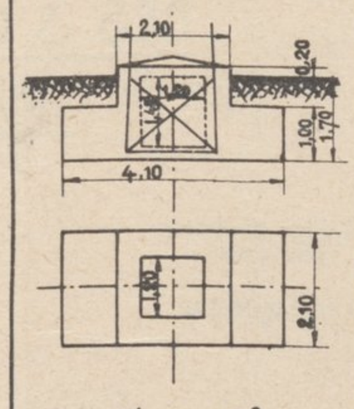
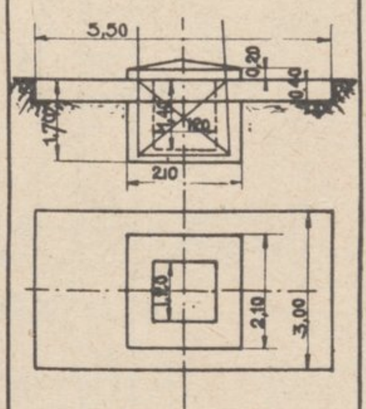
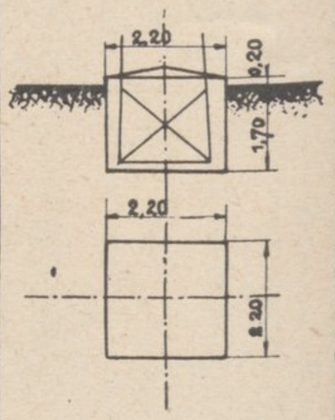
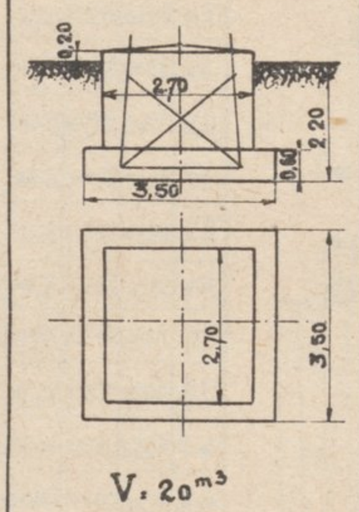
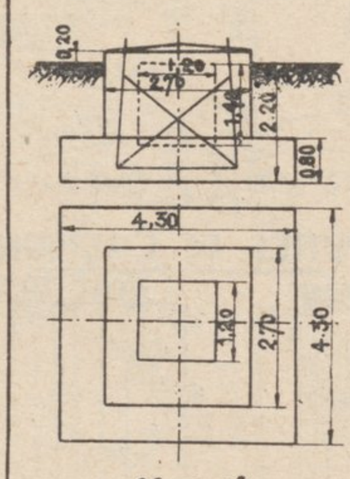
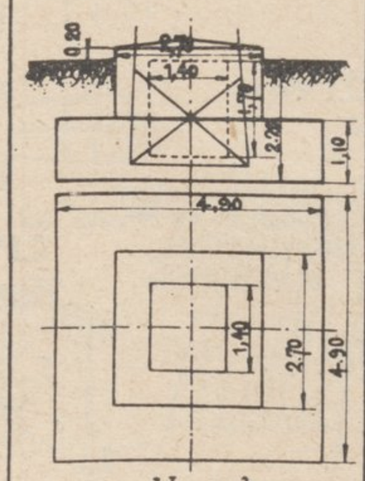
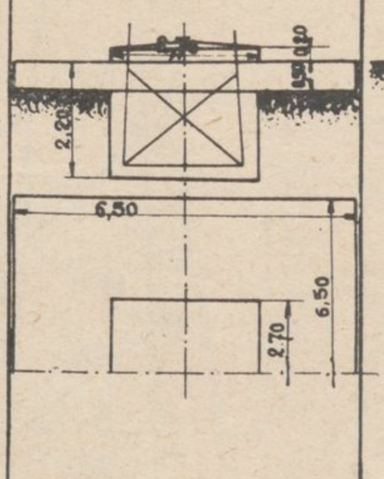
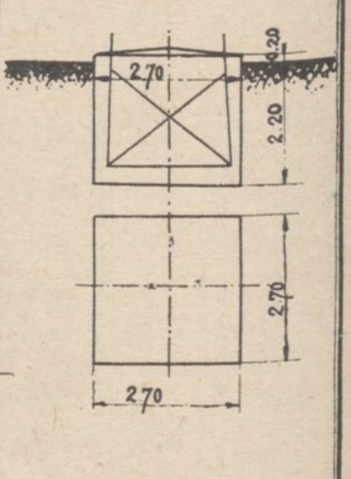
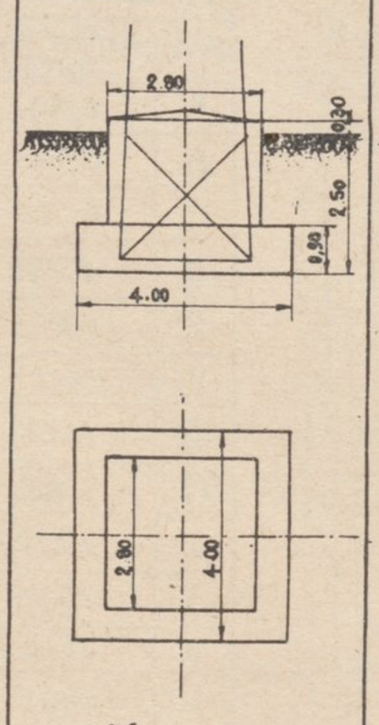
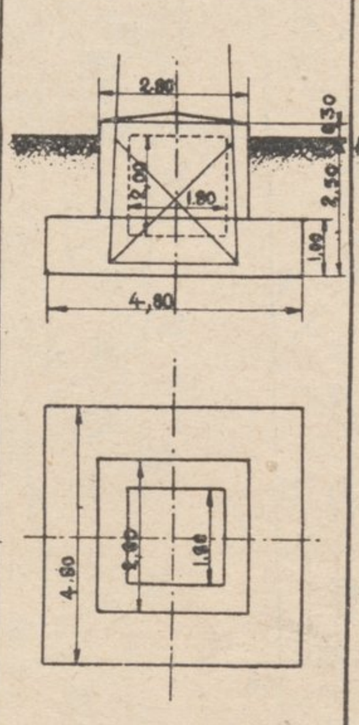
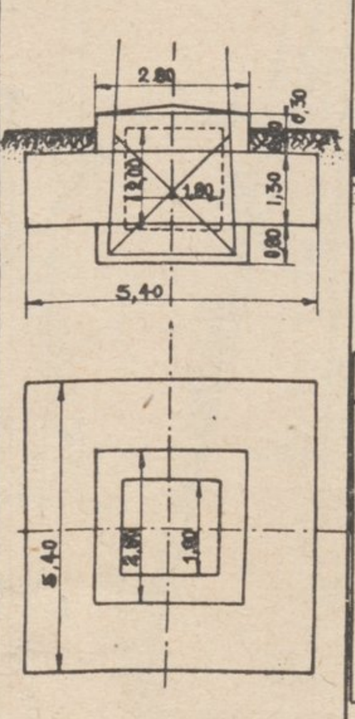
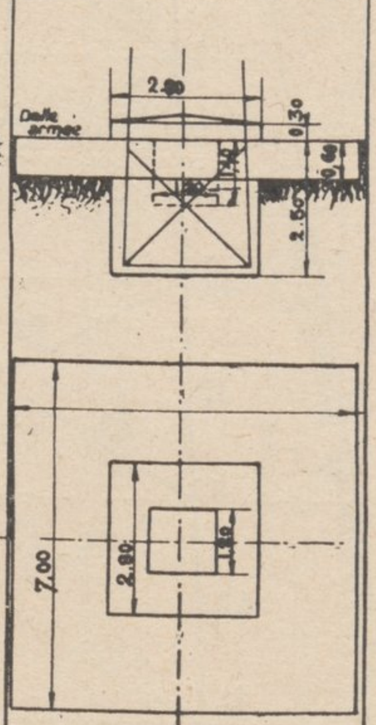
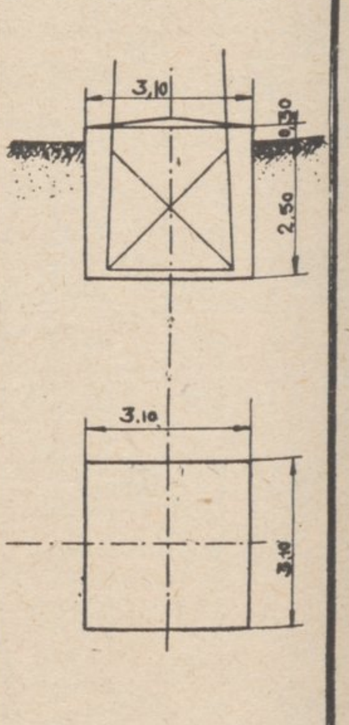
Efforts du vent sur le pylône

Nœuds	Surface frappée en m2	Efforts
A	0,36	44
B	0,743	89
C	0.750	90
D	0,750	90
E	0,825	99
F	1001	120,5
G	1125	135
H	1195	143.5
I	1292	155
J	1370	164.5
K	1400	168
L	1465	175.5
Total		1474

Consoles

Barres	Efforts
a1	480
a2	480
b1	5660
b2	5860

Fig. 43. — FONDATIONS DES PYLÔNES
POUR DIVERSES NATURES DE TERRAIN (LA PROFONDEUR D'ENCASTREMENT ÉTANT CONSTANTE).
Ligne à 90.000 volts.

Utilisation des pylônes	Terrain meuble	Terrains de consistances diverses pouvant supporter les charges suivantes.		Terrains marécageux pouvant supporter les charges suivantes.	Terrains rocheux pour stabilité 1 sauf exception accordées par la Compagnie P.O.
		1,5 Kg/cm²	1 Kg/cm²	0K5/cm²	
Alignement droit.	 V = 10 m³ Pression maximum de l'arête la plus chargée sur le sol 1,58 K/cm²	 V = 10 m³ Pression maximum de l'arête la plus chargée sur le sol 1,58 K/cm²	 V = 10,6 m³ Pression maximum de l'arête la plus chargée sur le sol 1,045 K/cm²	 V = 11,5 m³ Pression maximum de l'arête la plus chargée sur le sol 0,415 K/cm²	 V = 9,2 m³ Pression maximum de l'arête la plus chargée sur le sol Stab : 1,04
Semi-Arrêt de répartition - Résistant à la rupture de 2 conducteurs et du câble de terre.	 V = 20 m³ Pression maximum de l'arête la plus chargée sur le sol 2,70 Kg/cm²	 V = 25 m³ Pression maximum de l'arête la plus chargée sur le sol 1,405 Kg/cm²	 V = 33 m³ Pression maximum de l'arête la plus chargée sur le sol 1,085 Kg/cm²	 V = 34,5 m³ Pression maximum de l'arête la plus chargée sur le sol 0,450 Kg/cm²	 V = 17,5 m³ Pression maximum de l'arête la plus chargée sur le sol Stab. 1
Arrêt. Résistant à la rupture de tous les conducteurs.	 V = 30 m³ Pression maximum de l'arête la plus chargée sur le sol 2,800 K/cm²	 V = 34 m³ Pression maximum de l'arête la plus chargée sur le sol 1,550 K/cm²	 V = 44 m³ Pression maximum de l'arête la plus chargée sur le sol 1,110 K/cm²	 V = 45 m³ Pression maximum de l'arête la plus chargée sur le sol. 0,535 K/cm²	 V = 27 m³ Pression maximum de l'arête la plus chargée sur le sol. Stab. 1.03

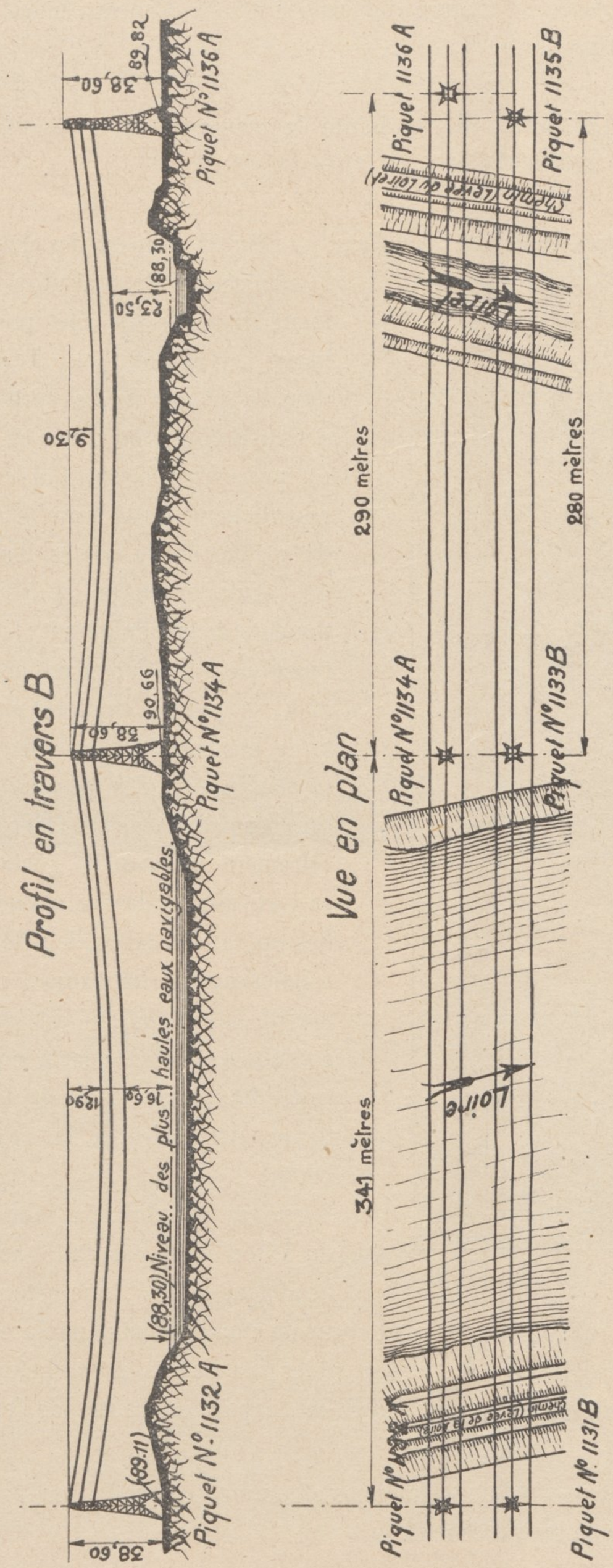


Fig. 44. — Traversée de la Loire et du Loiret aux pts km. 104,540 et 104,570.
Ligne à 90.000 volts.

La seconde, l'épure de stabilité en cas d'emploi, comme pylône d'angle correspondant à un changement d'orientation de 15°;

La troisième, l'épure de stabilité en cas d'emploi comme pylône de semi-arrêt, dans l'hypothèse de la rupture des deux conducteurs supérieurs.

La figure 43 représente les fondations des divers types de pylônes pour natures de terrain.

Traversée de la Loire et du Loiret. — La figure 44 donne la disposition générale de cette traversée et la figure 45 une vue d'ensemble des tours de fixation employées. Cette traversée est faite en deux portées, l'une de 341 *m*, l'autre de 290 *m*, au moyen de câbles normaux dont l'écartement a été porté à 15 *m* dans le plan horizontal et 9 *m*,50 dans le plan vertical. Trois tours spéciales de 38 *m*,60 au-dessus du sol sont installées, la première sur la rive droite de la Loire, la seconde dans la presqu'île du Loiret, la troisième, sur la rive gauche du Loiret. La hauteur de ces pylônes a été calculée de manière à réserver une distance de 16 *m*,50 entre les conducteurs les plus bas et le niveau de la rivière au moment des hautes eaux.

Ces tours sont montées chacune sur quatre massifs de fondation de 8 *m* pouvant résister à l'arrachement grâce à la présence de fer d'ancrage.

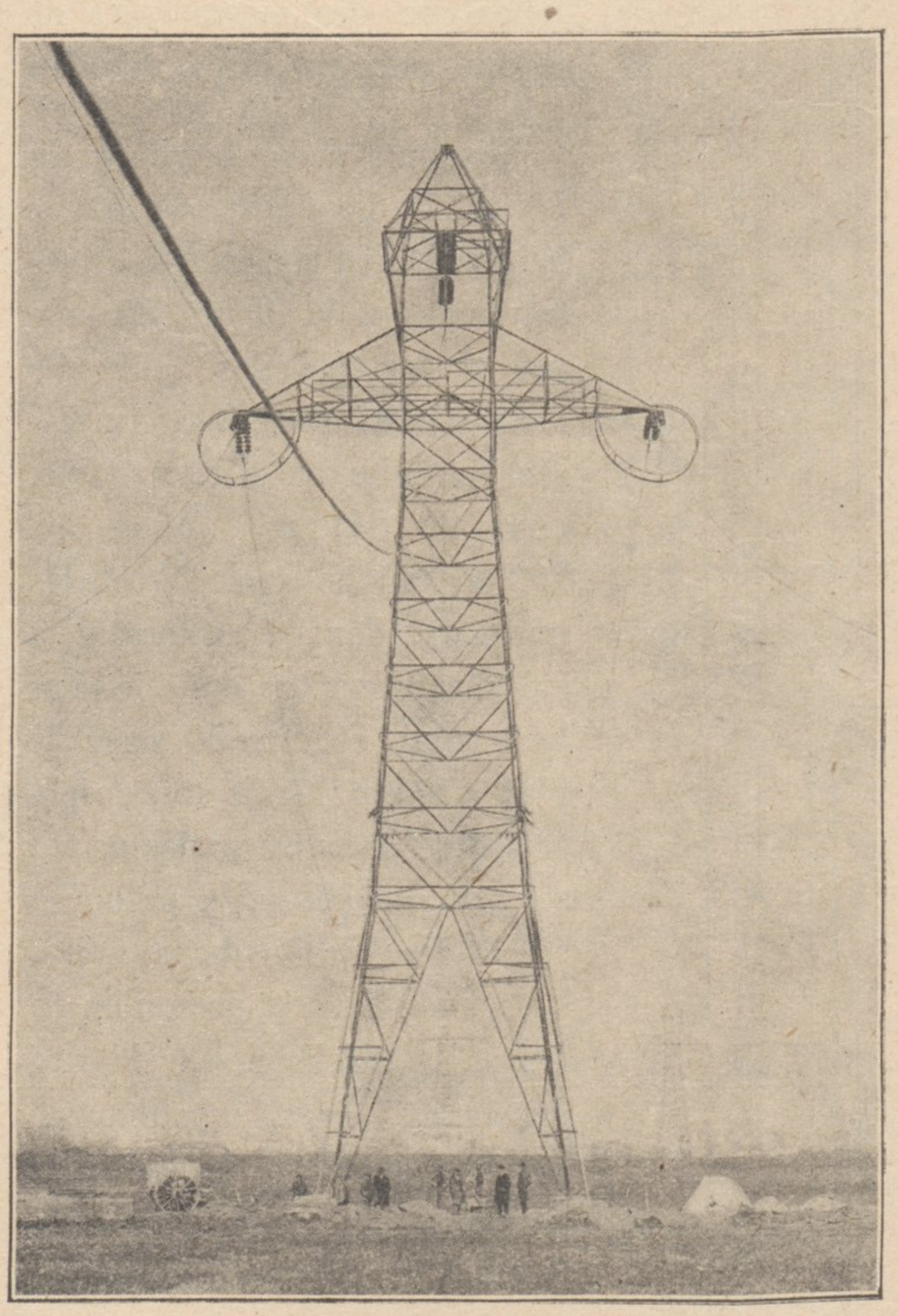
Le poids de ces tours est,

pour la partie hors sol, de 11 *t.* 5, la charge verticale totale à l'encastrement étant d'environ 13 *t.*

Traversée de voie ferrée. — La figure 46 représente la traversée de la voie ferrée à La Bretonnière par les deux lignes à 90.000 volts.

Montage des pylônes. — Organisation des chantiers. — Sur la plupart des chantiers, l'organisation du travail est analogue à celle décrite pour les lignes à 150.000 vols. Toutefois, dans le secteur de La Ferté-Saint-Aubin-Theillay, on a mis en œuvre un procédé différent qui consiste essentiellement à faire le levage du pylône et de son embase en une seule opération et à confectionner, le pylône étant levé, le massif de fondation en entier. A cet effet, le pylône, soulevé par une grue, est placé verticalement dans la fouille sur des dés en béton qui permettent de le caler provisoirement pendant le réglage de sa verticalité et de son alignement. Ces opérations faites, le pylône est soigneusement haubanné, puis le massif de fondation est aussitôt exécuté. Après bétonnage, le pylône reste haubanné pendant tout le temps nécessaire à la prise du béton.

Fig. 45.



Sur ce chantier, la fabrication du béton n'est pas faite au pied de chaque massif ; une bétonnière, installée dans l'axe de la ligne, est reliée par une voie Decauville aux différents emplacements de pylônes ; le béton est apporté à pied-d'œuvre par des wagonnets et la bétonnière peut alimenter tous les massifs situés à 1.000 ou 1.500 *m* de part et d'autre de l'endroit où elle est installée.

Une telle organisation nécessite une vingtaine d'hommes et permet de mettre en place et de bétonner 2 à 3 pylônes par jour de travail effectif.

Les figures 47, 48, 49 montrent, la première, comment la grue démontable peut être amenée à pied-d'œuvre par tracteur caterpilar, les deux autres, comment la grue est montée au-dessus de l'excavation pour la mise en place du pylône.

Fig. 46. — Traversée de la voie ferrée à la bretonnière.
Ligne à 90.000 volts.

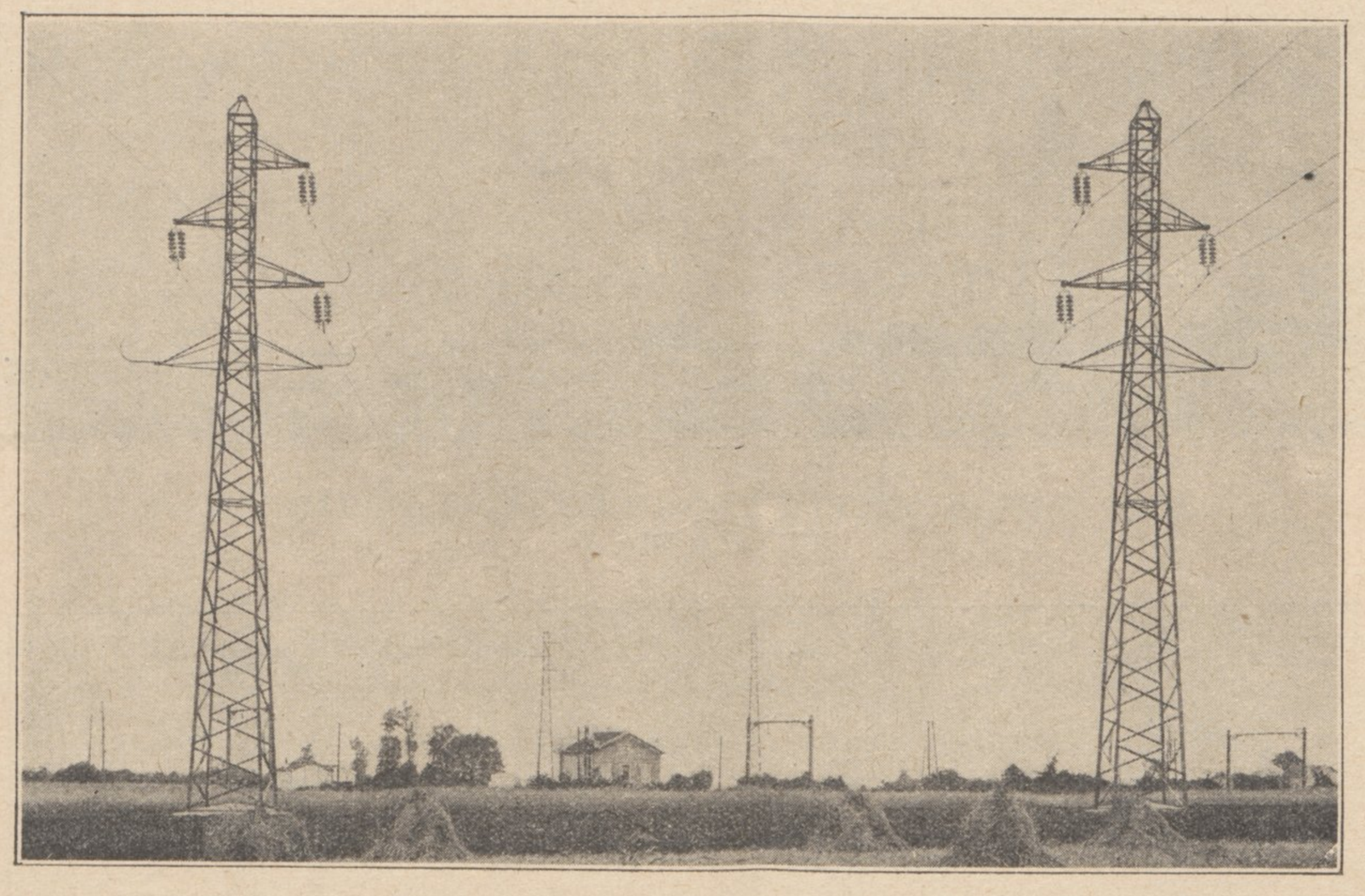


Fig. 47.

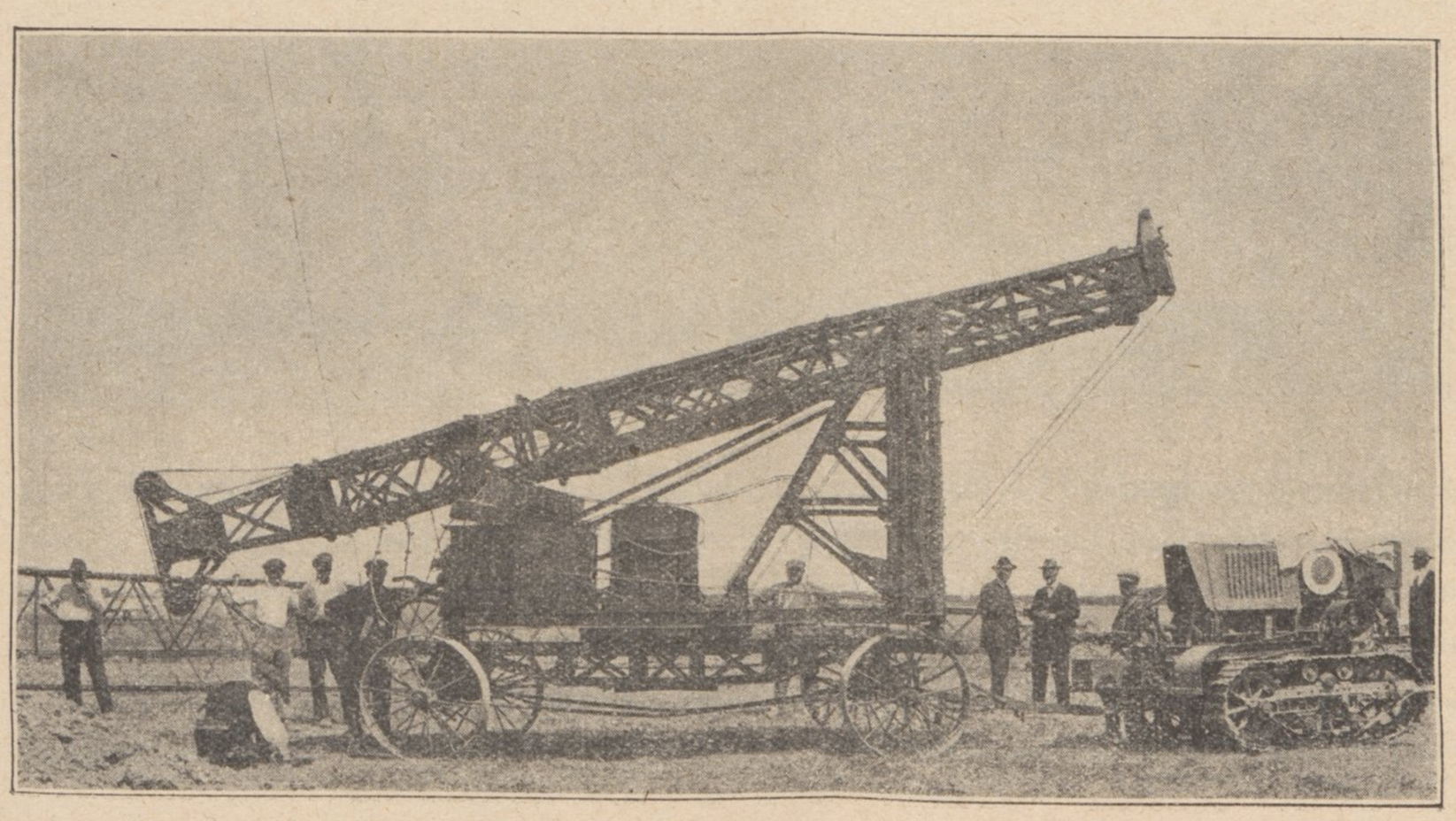


Fig. 48.

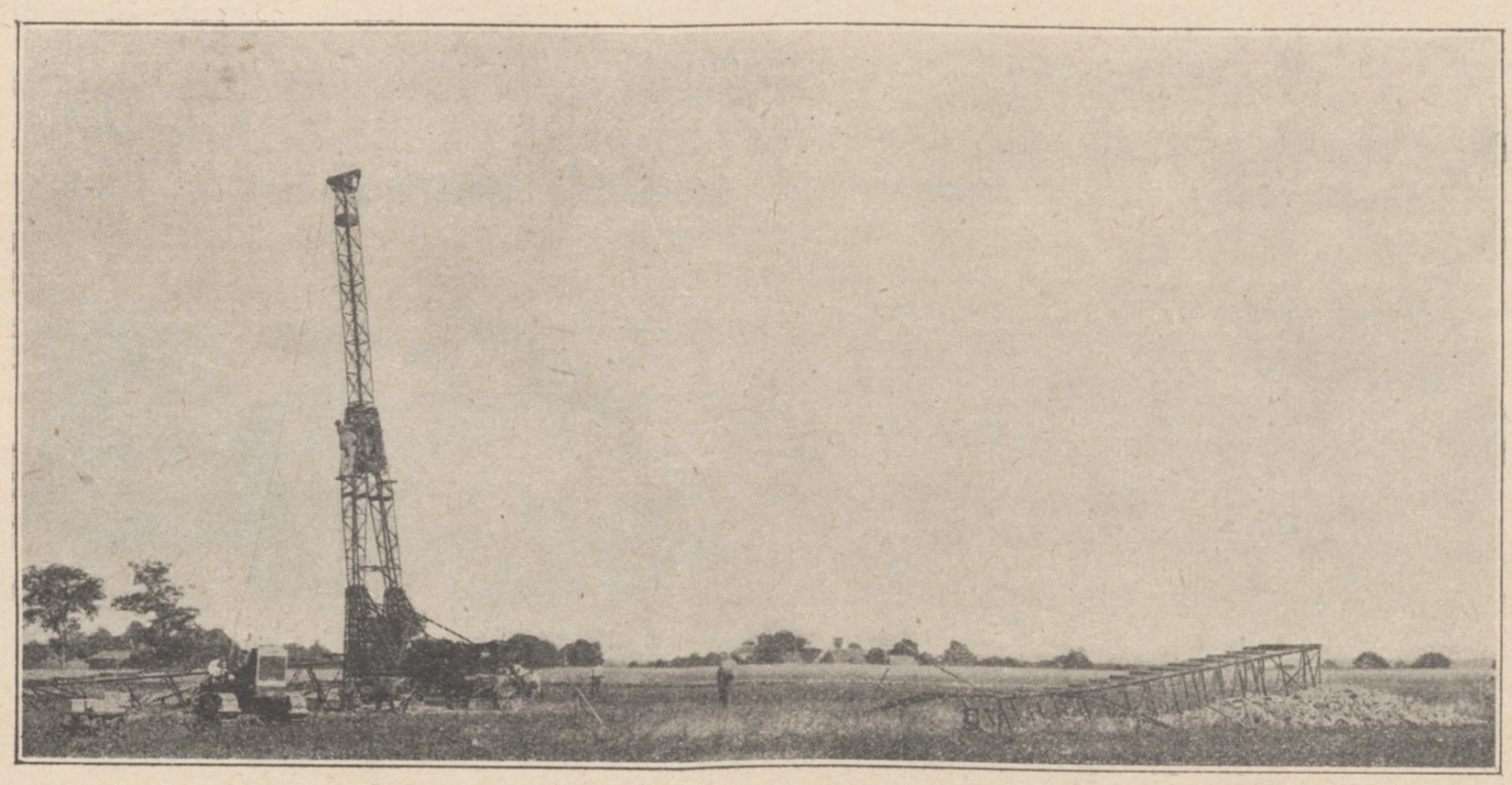
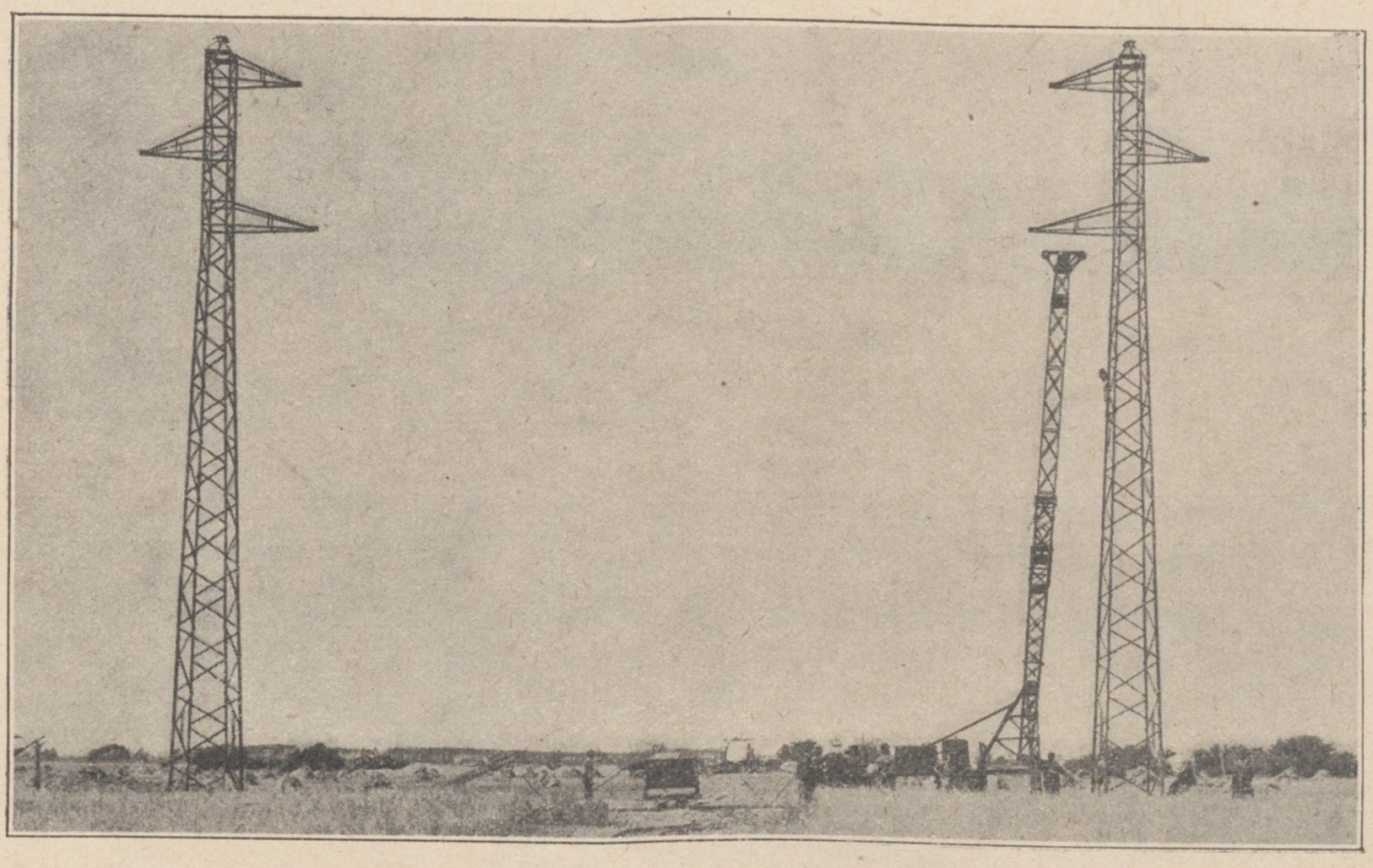


Fig. 49.



Les 640 k*m* de ligne 90 k*v* installés entre Chevilly et Eguzon sont complètement achevés : le premier tronçon, de Chevilly aux Aubrais, comportant 210 k*m* de ligne, est en service depuis Novembre 1924 et la Ville d'Orléans reçoit, depuis cette époque, du courant produit dans les usines thermiques de la région parisienne (Gennevilliers et Vitry).

Le second tronçon, des Aubrais à Eguzon, de 430 k*m* de développement, a été mis sous tension en Novembre 1925 et il sera mis en service normal dès achèvement de l'usine d'Eguzon.

(A suivre).

45e Année. Août 1926. REVUE GÉNÉRALE DES CHEMINS DE FER 2e Semestre. — N° 2.

ELECTRIFICATION PARTIELLE DU RESEAU
DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS

Par M. PARODI,

INGÉNIEUR EN CHEF-ADJOINT DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION
DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS.

(Suite) (1)

Pl. IV à VII.

Transformation de l'Énergie.

I. — Postes de Transformation a Haute Tension : Section Paris-Éguzon.

Nous avons indiqué précédemment que l'énergie électrique produite dans les usines thermiques de l'Union d'Électricité dans la région parisienne et dans les usines hydrauliques de la Compagnie d'Orléans et de l'Union Hydro-Électrique était transportée par un double réseau de lignes haute tension : une ligne à 150/220 k*v* et deux lignes à 90 k*v*, ces dernières suivant sensiblement le tracé du chemin de fer pour alimenter les sous-stations de transformation. Ce réseau part du poste de Chevilly pour aboutir à celui d'Éguzon en passant par le poste de régulation et de sectionnement de Chaingy. Nous allons décrire sommairement ces trois postes dont les deux premiers, Chevilly et Chaingy, sont en service (partie à 90 k*v*) : l'un depuis Octobre 1924 et le second depuis Juillet 1925.

A. — Poste de Chevilly.

Dans ce poste s'effectue la transformation de tension directe ou inverse de l'énergie électrique amenée en ce point sous forme de courants triphasés 50 périodes :

Énergie à 90 k*v* ou 150/220 k*v* provenant des usines hydrauliques de la Compagnie d'Orléans ou de l'Union Hydro-Électrique ;

Énergie à 60 k*v* provenant des usines thermiques de l'Union d'Électricité.

Provisoirement, en attendant la mise en service des usines hydrauliques en construction sur la Creuse et la Dordogne, le poste fonctionne comme élévateur de tension de 60 à 90 k*v*, les usines thermiques de l'Union d'Électricité alimentant seules les sous-stations de traction de la

(1) Voir *Revue Générale*, Nos de Novembre, Décembre 1925, Février et Mars 1926.

Source gallica.bnf.fr / Ecole nationale des Ponts et chaussées

Compagnie d'Orléans et les réseaux de distribution déjà branchés sur les lignes à 90 k*v* de la Compagnie d'Orléans.

La jonction entre le poste de Chevilly et le réseau souterrain à 60 k*v* de l'Union d'Électricité est effectuée au moyen de trois groupes de trois câbles monophasés de 150 m*m*² de section (35 k*v* entre phases et terre, 60 k*v* entre phases) ; deux de ces groupes aboutissent à l'usine de Vitry, le troisième au poste de sectionnement de Billancourt.

La figure 1 donne le schéma général des connexions du poste en question.

Ce poste comprend six parties principales :

1° Un système de deux jeux de barres-omnibus à 60 k*v* occupant toute la partie Nord du poste avec arrivées des câbles à 60 k*v*, postes de comptage d'énergie et départs aux transformateurs 90 et 150 k*v* ;

2° Un système de deux jeux de barres omnibus à 90 k*v* occupant la partie Est du poste avec transformateurs 60/90 k*v*, sectionneurs et interrupteurs à huile correspondants ;

3° Deux arrivées de lignes à 90 k*v* (lignes venant de la sous-station de Saint-Michel) avec sectionneurs, interrupteurs à huile, parafoudres à oxyde de plomb ;

4° Un système de deux jeux de barres-omnibus à 150 k*v* occupant actuellement la partie centrale du poste avec un groupe de transformateurs 60/150 k*v*, sectionneurs et interrupteurs à huile correspondants ;

5° Une arrivée de ligne à 150 k*v* venant d'Éguzon et Chaingy (la partie Chaingy-Chevilly ne sera installée qu'ultérieurement) avec sectionneurs, interrupteurs à huile, parafoudres à oxyde de plomb ;

6° Des services auxiliaires comprenant essentiellement :

a) Un poste de contrôle et de commande de l'ensemble de l'appareil renfermant le tableau de distribution et une station de transformation de courant alternatif en courant continu basse tension avec batterie d'accumulateurs et groupe de charge pour la commande à distance des appareils et l'éclairage de secours ; cette station est alimentée par un branchement effectué sur le réseau à 15.000 volts du Sud-Lumière pour l'alimentation des appareils auxiliaires (éclairage, pompage, filtrage, etc...) ;

b) Une station de pompage avec bassin réfrigérant et réservoir accumulateur assurant la circulation de l'eau de refroidissement des transformateurs ;

c) Un poste de décuvage avec atelier de séchage et de réparation, portant à sa partie supérieure le réservoir accumulateur d'eau de circulation.

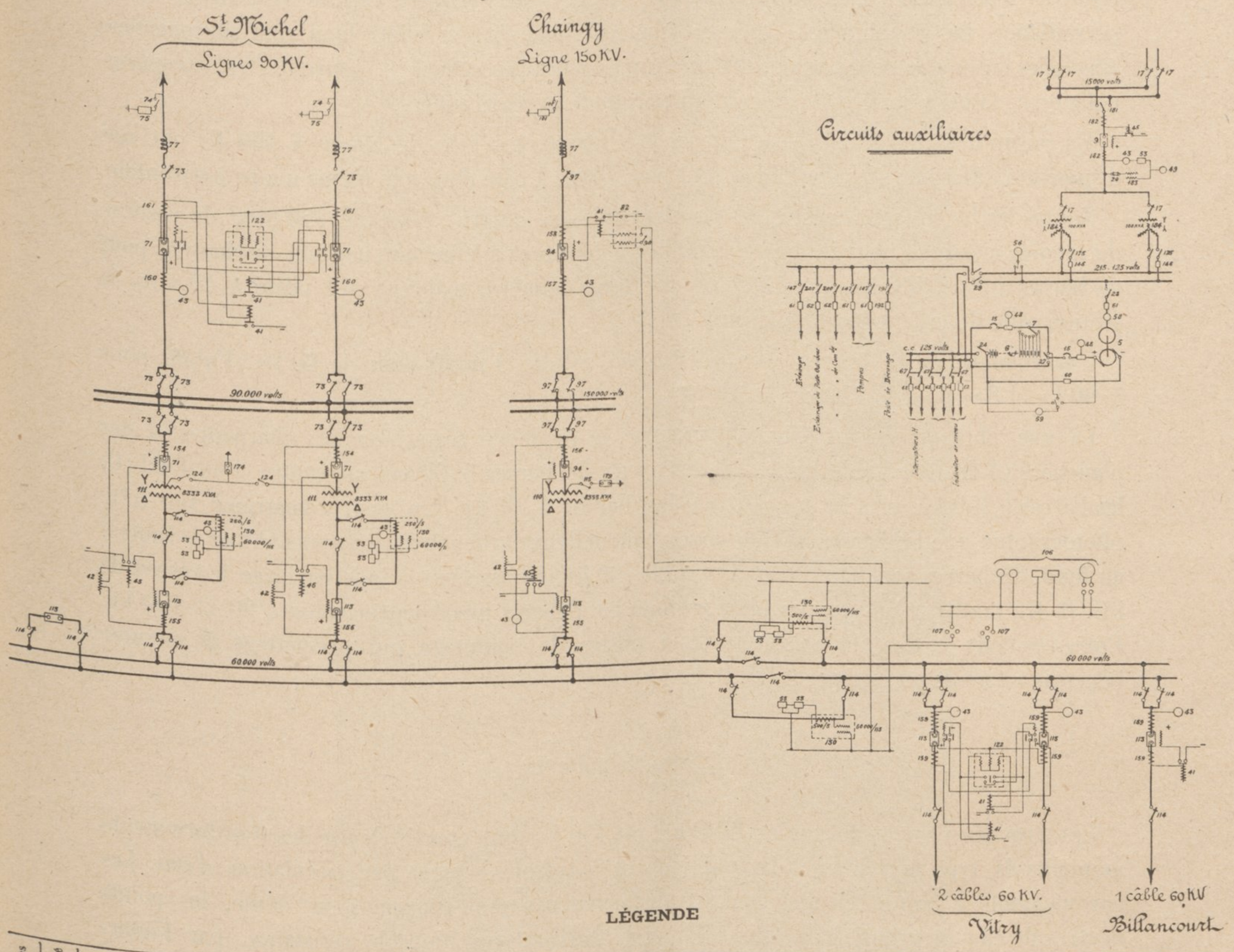
La planche IV donne un plan du poste en question sur lequel apparaissent nettement les différents éléments constitutifs du poste.

Nous examinerons successivement les jeux de barres, les transformateurs, leur appareillage, leur protection, la protection des circuits à 90 et à 150 k*v* et enfin les différents services auxiliaires.

Système de jeux de barres.

Chaque système de barres à 60 et 90 k*v* comprend deux jeux placés en deux étages superposés et séparés par un plancher à claire voie, ce qui permet non seulement de

Fig. 1. — Poste de Chevilly.



LÉGENDE

Repères	Quantité	DÉSIGNATION
5	1	Groupe moteur générateur pour charge de la batterie.
6	1	Batterie d'accumulateurs 110 v., 120 A. H.
7	1	Réducteur de décharge.
9	1	Interrupteur F. H. 206 - 15.000 v. - 350 a. - T. P.
15	2	Disjoncteurs commande à main 150 a. - 600 v.
17	6	Sectionneurs T. P. - S. D. 15.000 v. - 200 a.
20	3	prises *N*. - commande mécanique.
24	1	Coupe-circuits à expulsion 15.000 v. - type E forme T.
27	1	Interrupteur à couteaux S P - SD - 110 a.
28	1	» » SP - DD - »
29	3	» » T.P - SD - »
41	6	Commutateurs automatiques tétrapolaires.
42	3	Relais T. P. nº 151 (Cie des Compteurs).
43	26	Auto-transformateurs triphasés pour protection différentielle.
45	4	Ampéremètres électromagnétiques O - 5 A - Graduation fictive.
48	2	Relais T. P. nº 51 (Cie des Compteurs).
49	1	Ampèremètres à aimant 0 - 150 A.
53	9	Voltmètre 0 - 150 v. - Graduation fictive.
56	2	Compteurs triphasés 115 v. 5 a. pour circuit déséquilibré.
59	1	Voltmètres 150 v. avec commut^{r} à 3 directions.
60	1	Voltmètre à aimant 0 - 250 v. avec commutateurs à 3 directions.
61	3	Relais à retour de courant.
62	6	Fusibles 200 a. S. P.
67	3	» 50 a. S. P.
71	4	Interrupteurs B. P. S. D. 60 a.
73	10	» FKO 136 B. 95.000 v. 400 a. T. P.
		Sectionneurs T. P - SD. 95.000 v., 300 a., commande mécanique.
74	6	Sectionneurs SP - SD 95.000 v. 300 a., commande par perche.
75	2	Parafoudres T. P. à oxyde 95.000 v. type extérieur.
77	9	Spires de self, type suspendu 300 a.
82	1	Relais de retour de puissance type IK 105.
90	1	Interrupteur B P. DD 60 a.
94	2	» F.K.O. 136 B 155.000 v. 400 a. T.P.
97	5	Sectionneurs T. P. SD. 150.000 v. 300 a., commande mécanique.
100	1	Sectionneurs T. P. SD. 150.000 v. 300 a., commande par perche.
101	1	Parafoudre T. P. à oxyde 150.000 v. type extérieur.
106	1	Dispositif de synchronisation comprenant : 2 voltmètres, 2 fréquencemètres, 1 synchronioscope.
107	2	Plots de synchronisation.
110	4	Transformateurs monophasés 8333 K. V. A. 60.000/150.000 v.
111	7	Transformateurs monophasés 8333 K. V. A. 60.000/90.000 v.
113	7	Interrupteurs F.K.O 36 c. 73.000 v. 550 a T. P.
114	29	Sectionneurs TP. SD. 60.000 v. - type extérieur - commande mécanique.
115	1	Sectionneurs SP. SD. 155.000 v.
122	3	Relais différentiels type P. D. 3.
124	2	Sectionneurs SP. SD. 90.000 v., commande mécanique.
128	5	Interrupteurs T. P. SD. 110 a. avec fusibles.
130	4	Postes de comptage 60.000 v. - type extérieur.
146	6	Coupe-circuits à expulsion 7.500 v. 550 a. S.P.
147	6	Interrupteurs tétrapolaires 200 a. avec fusibles.
154	6	Bushings transformers 160/291 sur traversée 95.000 v.
155	9	Bushings transformers 240/5 sur traversée 73.000 v.
156	3	Bushings transformers 99/3 sur traversée 155.000 v.
157	3	Bushings transformers 100/5 sur traversée 155.000 v.
158	3	Bushings transformers 200/5 sur traversée 155.000 v.
159	18	Bushings transformers 300/5 sur traversée 73.000 v.
160	6	Bushings transformers 150/5 sur traversée 95.000 v.
161	6	Bushings transformers 350/5 sur traversée 95.000 v.
174	1	Interrupteur F. K. O. 136 B. 95.000 v. 400 a. monophasé.
175	2	Interrupteurs tétrapolaires 350 a.
179	1	» F. K. O. 136 B. 155.000 v. 400 a. monophasé.
181	1	Sectionneur T.P. DD. 15.000 v. 200 a. prises *N* mâchoire *R*, articulation et commande mécanique.
182	5	Transformateurs d'intensité 5/5 isolés 15.000 v.
183	2	» de potentiel 15.000/110 v. monophasés.
184	2	Transformateurs triphasés 100 KVA. 15.000/215/125 v.
191	2	Interrupteurs tétrapolaires 350 a. avec fusibles S. D.
192	3	Fusibles 350 a. type cartouche.
260	5	Interrupteurs tétrapolaires S. D. 110 a. avec fusibles.

réduire sensiblement l'encombrement du poste, mais encore facilite l'exécution ou la surveillance des manœuvres de sectionneurs. Celles-ci, en effet, bien que normalement effectuées au moyen de commandes mécaniques par tiges et leviers, peuvent être, exceptionnellement, faites assez commodément au moyen de perches isolées.

En raison des plus grands écartements à réserver, les jeux de barres à 150 k*v* ont une disposition différente ; les deux jeux sont placés côte à côte dans une même nappe horizontale.

Toutes les barres sont constituées par des câbles en cuivre : câble de 750 m*m*² de section, du modèle classique pour les barres à 60 k*v* ; câble creux comportant une âme en chanvre, pour les barres à 90 et 150 k*v*, de telle sorte que leur diamètre extérieur est porté à 20 m*m*, la section utile du cuivre étant de 92 m*m*².

L'écartement entre barres d'un même jeu est de 1 *m*,20 pour le 60 k*v*, 1 *m*,80 pour le 90 k*v* et 3 *m* pour le 150 k*v*.

La vue photographique (Fig. 2) montre le mode de réalisation des charpentes et des planchers ; à droite on voit, en A, les deux jeux de barres à 60 k*v*, au centre et au fond (B) les barres à 150 k*v*, vers la gauche (C) les barres à 90 k*v*. On peut remarquer sur cette photographie que les barres à 60 k*v* comprennent deux parties en prolongement l'une de l'autre: au fond, les barres sont raccordées aux câbles 60 k*v* qui assurent la jonction avec le réseau de l'U. D. E., tandis qu'au premier plan partent les départs aux transformateurs 90 et 150 k*v*. Entre ces deux parties, on a installé deux postes de comptage qui permettent de mesurer l'énergie reçue de ou envoyée à l'U. D. E.

Transformateurs.

Les groupes de transformation 60/90 et 60/150 k*v* sont constitués par des transformateurs monophasés, type extérieur, à bain d'huile et à refroidissement par circulation d'eau. Les enroulements à haute tension de ces transformateurs sont connectés en étoile, les points neutres de chaque groupe étant mis à la terre sans interposition de résistance, par l'intermédiaire de sectionneurs et d'un interrupteur à huile.

Chaque transformateur est muni d'un commutateur manœuvrable de l'extérieur de la cuve et permettant de faire varier le rapport de transformation en modifiant le nombre de tours des enroulements à haute tension. On peut ainsi utiliser un nombre de spires variables correspondant à la tension nominale de 90 ou de 150 k*v*, ou seulement 97,5 %, 95 %, 92,5 % et 90 % de cette tension.

Un conservateur d'huile avec sécheur au chlorure de calcium assure le complet remplissage des cuves, un diaphragme de sécurité permet l'évacuation de l'huile en cas de surpression à l'intérieur de la cuve. Un thermomètre à cadran avec tube capillaire à contacts actionnant une sonnerie d'alarme placée dans le poste de commande, attire l'attention des électriciens de service en cas de fonctionnement anormal. Enfin des témoins intercalés dans la tuyauterie permettent de contrôler la circulation de l'eau.

Les caractéristiques principales de ces transformateurs sont données par le tableau page 118.

Chaque transformateur monophasé 60/90 k*v* ou 90/150 k*v* a une puissance normale de 8.333 k*va* et les surcharges admissibles sont naturellement fonction de la température initiale

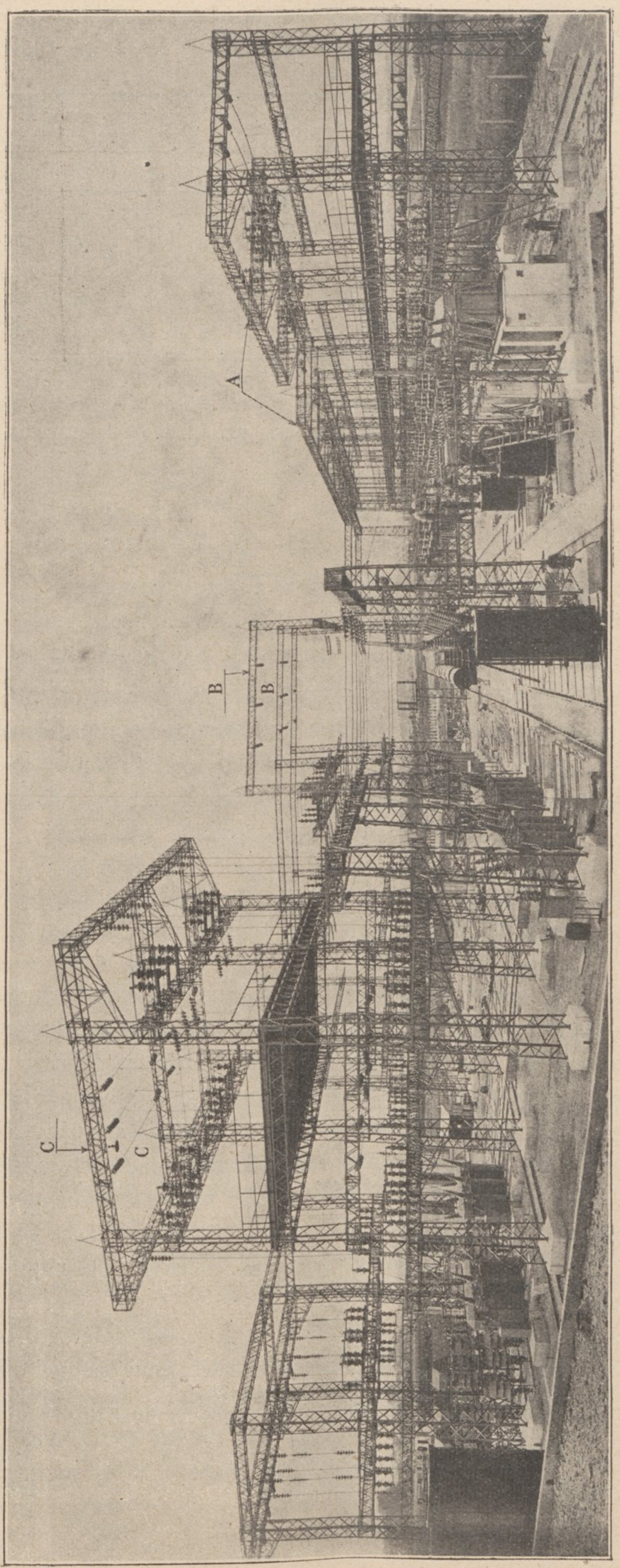


Fig. 2.

de l'huile au début de la surcharge. Le tableau ci-dessous donne la valeur des surcharges admissibles qui sont les mêmes pour les transformateurs 60/90 k*v* et 60/150 k*v*.

TEMPÉRATURE DE L'HUILE AU DÉBUT DE LA SURCHARGE		DURÉE DE SURCHARGE ADMISSIBLE (en minutes)		
		44° C	48° C	53° C
Surcharge admissible en % de la charge normale	10 %.....	120	90	60
	15 %.....	60	45	25
	20 %.....	40	30	12
	35 %	15	8	4
	50 %.....	5	3	1

L'isolement des enroulements permet aux transformateurs de résister pendant une minute à l'application des tensions d'essais suivantes à la fréquence de 50 périodes.

	Type des transformateurs	
	60/90 k*v*	60/154 k*v*
Entre enroulements H. T. et enroulements B.T. reliés au noyau..	181 k*v*	309 k*v*
Entre enroulements B. T. et noyau.....	121 k*v*	121 k*v*

L'isolement entre spires d'un même enroulement est vérifié à une tension double de la normale appliquée pendant au moins 15 secondes. L'essai est effectué avec du courant de fréquence 400 périodes par seconde environ. Les bornes des transformateurs et interrupteurs ont été essayées séparément, avant montage, aux tensions suivantes appliquées pendant une minute entre bornes et pièces de fixation au couvercle :

Traverses à 154 k*v*..... 420 k*v*.
» 90 k*v*..... 300 k*v*.
» 60 k*v*..... 210 k*v*.

à la fréquence de 50 périodes par seconde.

Appareillage des transformateurs. — Chaque groupe de transformateurs est compris entre deux jeux d'interrupteurs et de sectionneurs permettant de relier chaque enroulement à 60 k*v* et, suivant le cas, chaque enroulement à 90 ou 150 k*v* à un quelconque des deux jeux de barres correspondants. La disposition générale des appareils est donnée par la planche V

Les interrupteurs à huile sont tous du type à commande par solénoïde alimenté par le courant continu à 125 *v* des services auxiliaires. Chaque phase est placée dans une cuve à huile indépendante. Pour les appareils à 90 et à 150 k*v*, les cuves reposent directement sur des massifs en béton ; pour les appareils à 60 k*v*, au contraire, les cuves sont maintenues par leur partie supérieure entre des dés en maçonnerie ; les cuves peuvent être ainsi descendues sur place ce qui facilite la visite des contacts.

Le tableau ci-dessous donne la capacité de rupture des différents types d'interrupteurs à haute tension utilisés, ainsi que les intensités normales, pour lesquelles ils ont été établis.

Interrupteurs à 60 k*v*, courant normal 400 *a*, capacité de rupture 580.000 k*va* sous 73 k*v*.

90 k*v*	»	400	»	400.000	»	95 k*v*.
150 k*v*	»	400	»	600.000	»	155 k*v*.

Protection des transformateurs. — Tous les transformateurs 90 et 150 k*v* sont protégés par des relais à action différentielle ; en marche normale, les actions des courants des divers enroulements sont équilibrés par l'intermédiaire de transformateurs d'intensité de rapports appropriés, ces transformateurs du type « bushing » étant placés dans les bornes des interrupteurs correspondants. Dès que, par suite d'un accident, les courants dans les divers enroulements ne sont plus équilibrés, le courant résiduel provoque, par l'intermédiaire de relais appropriés, le déclanchement immédiat des interrupteurs et la mise hors-circuit du transformateur correspondant.

Protection des lignes contre les surtensions. — Terres. — Une batterie de parafoudres à oxyde de plomb est placée en dérivation sur chaque ligne, par l'intermédiaire d'un éclateur à boules. Chacun de ces parafoudres peut être séparé de la ligne correspondante au moyen d'un sectionneur. Des bobines de self sont intercalées entre ces sectionneurs et les barres-omnibus à 90 k*v* et 150 k*v*.

Le poste de Chevilly comprend 13 prises de terre reliées électriquement entre elles et constituées chacune par quatre tubes de fer galvanisé de 60 m*m* de diamètre et de 5 m*m* d'épaisseur, enfoncés au mouton jusqu'à la nappe d'eau qui, à Chevilly, est à moins de 6 *m* de profondeur.

Autour de chaque tube et après fonçage on a placé, sur une hauteur d'environ 2 *m* et une surface de 1 m^2, un mélange de mâchefer et de coke.

Les quatre tubes constituant chaque prise de terre sont reliés entre eux par deux barres de fer étamé de 250 mm^2 de section, sur lesquelles les circuits de terre viennent se raccorder.

Protection des lignes contre les courts-circuits. — Elimination des sections de lignes présentant un défaut.

1° *Protection des lignes à 90* k*v.* — Ramené à ses éléments essentiels, le problème consiste à réaliser la protection d'un système de deux lignes en parallèles L_1 et L_2, joignant les barres omnibus de deux postes P_1 et P_2 connectés à des sources d'énergie d'ailleurs quelconques et alimentant, comme il est indiqué schématiquement sur la figure 3, d'une part des sous-stations S formant poste de sectionnement, d'autre part des sous-stations s_1, s_2, s_3 placées en dérivation sur les lignes L_1 et L_2.

Pour assurer la protection du système ainsi défini, on utilise les relais suivants :

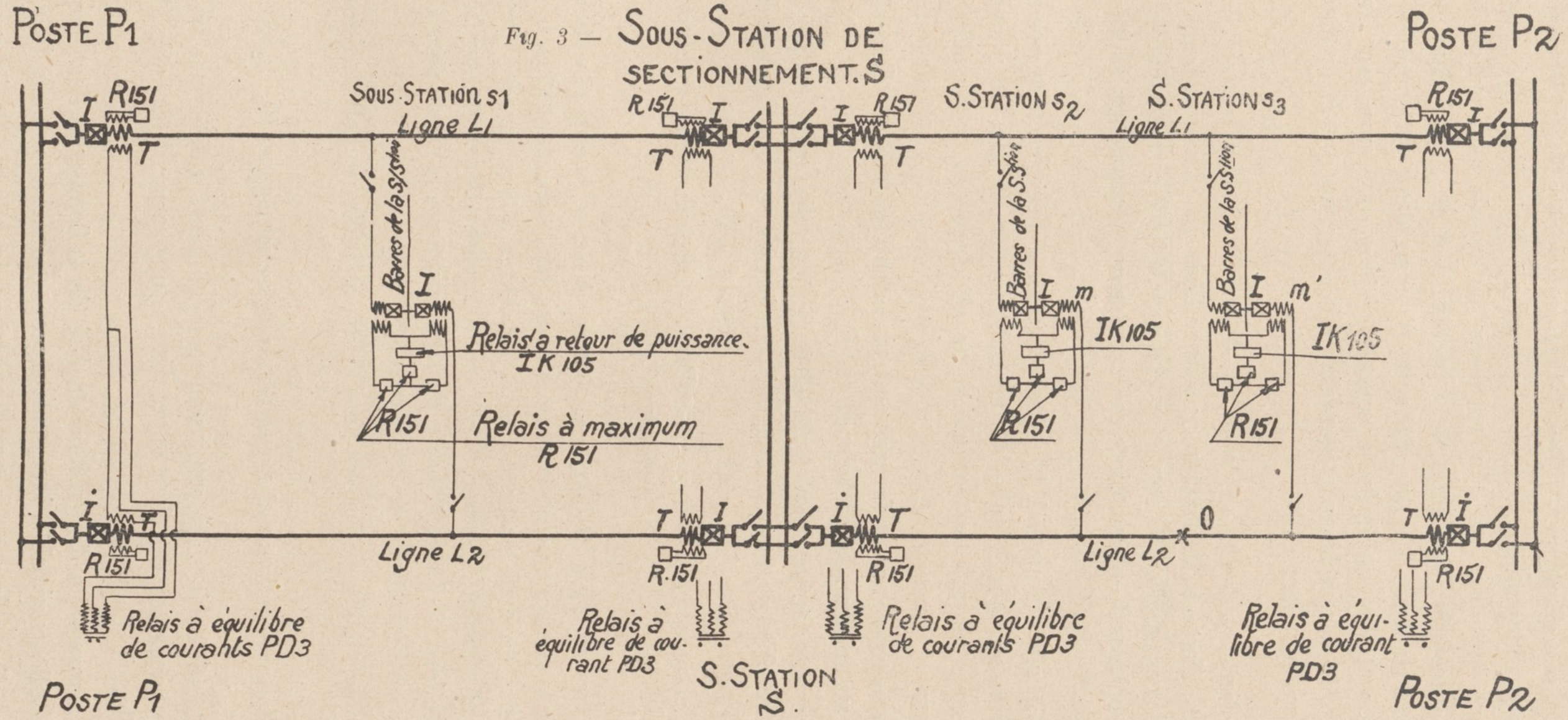
Postes principaux et sous-stations de sectionnement (P_1, P_2, S),

a) Des relais à trois bobines agissant instantanément quand la différence des intensités dans les phases correspondantes des deux lignes dépasse une valeur déterminée (Relai type P D 3 de la General Electric Company).

b) Des relais à maximum d'intensité (type 151 de la Compagnie des Compteurs), agissant avec un retard, d'ailleurs réglable, inversement proportionnel à la valeur de la surcharge..

Tous ces relais, alimentés par les transformateurs de bornes des interrupteurs, peuvent exciter avec du courant continu à 125 volts les bobines de déclenchement des interrupteurs.

Fig. 3 — SOUS-STATION DE SECTIONNEMENT S



Sous-stations montées en dérivation s_1, s_2, s_3.

a) Des relais à retour d'énergie (type I K 105 de la General Electric Company) dont les enroulements ampèremétriques sont alimentés par les transformateurs d'intensité T placés dans les bornes des interrupteurs et les enroulements de tension, par les transformateurs de commutatrices.

b) Des relais à maximum d'intensité, (type 151 de la Cie des Compteurs), identiques à ceux employés dans les postes.

Ces différents relais, comme ceux des postes principaux, provoquent l'excitation des bobines de déclenchement des interrupteurs correspondants.

On remarquera (Fig. 3) que chaque sous-station s_1, s_2.... comprend trois relais 151, le troisième relais ayant pour objet le réglage de l'intensité pour laquelle le relais à retour d'énergie fait déclancher l'interrupteur correspondant.

Nous examinerons sommairement le fonctionnement des divers relais, dans quelques cas particuliers :

A. — *Court-circuit sur une ligne lorsque les sous-stations* S, s_1, s_2, s_3.... *sont alimentées en parallèle par les deux lignes* L_1 *et* L_2 (*fonctionnement normalement réalisé*). — Supposons qu'il se produise un court-circuit sur l'une des lignes (L_2) en un point quelconque O, par exemple.

Le courant de court-circuit se répartit alors également sur les deux lignes L_1 et L_2 en passant, dans le cas le plus général, si on suppose que les postes P_1 et P_2 sont connectés tous deux à des sources d'énergie, par les barres-omnibus de chacune des sous-stations encadrantes s_2, s_3. Par suite, le sens de circulation de l'énergie en m et m' se trouve inversé ; les relais à retour d'énergie (I K 105) entrent en action et font déclencher les interrupteurs I correspondants. Les sous-stations s_2 et s_3 sont donc déconnectées de la ligne avariée (L_2), mais leur alimentation se continue par la ligne saine (L_1).

Après cette première phase, le défaut O est toujours alimenté par la ligne L^2 et les barres générales des postes P_1, P_2, mais il y a déséquilibre des courants aussi bien au poste P_2 qu'à la sous-station de sectionnement S. En ces deux points, les relais de ($P D_3$) fonctionneront donc immédiatement et, feront déclencher les interrupteurs correspondants, en assurant le complet isolement de la section de ligne P_2, S avariée.

B. — *Court-circuit sur les barres d'une sous-station de sectionnement* S. — Dans ce cas, les courants se partagent également sur les deux lignes L_1, L_2 et les relais à déséquilibre sont inopérants aussi bien aux postes P_1, P_2 qu'à la sous-station S. Mais, en ce dernier point, les quatre relais à maxima R 151 provoqueront l'ouverture des interrupteurs correspondants et l'isolement de la sous-station avariée S sera automatiquement réalisé.

C. — *Court-circuit dans une sous-station montée en dérivation, s_1 par exemple.* — Ce sont également les relais d'intensité R 151 qui provoqueront l'ouverture des deux interrupteurs reliant le jeu de barres de la sous-station à chacune des deux lignes.

D. — *Alimentation des sous-stations par une seule ligne. Court-circuit sur cette ligne.* — Les relais à déséquilibre installés en P_1, P_2 et S sont alors inopérants. La protection est assurée

par les relais d'intensité R 151 qui feront déclencher les interrupteurs de ligne les plus voisins du défaut.

Si le défaut est localisé dans une sous-station alimentée en dérivation, telle que s_1, s_2, s_3, le déclenchement sera limité à l'interrupteur de cette sous-station, les relais d'intensité des sous-stations en dérivation étant réglés pour fonctionner plus rapidement que ceux placés dans les postes P_1, P_2 et les sous-stations de sectionnement S.

II. — Protection de la ligne a 150 kv.

La ligne unique à 150 k*v* est protégée aux postes de Chevilly, Chaingy et Éguzon, par des relais à maximum d'intensité, type 151, dont la temporisation est réglée de manière à ce que les relais fonctionnent dans un ordre inverse de celui correspondant à leur numération à partir de la source d'énergie (Paris ou Eguzon).

En prévision de l'installation ultérieure d'une seconde ligne à 150 k*v*., des relais à retour d'énergie type 1 K 105 ont été installés dès maintenant. Les enroulements ampèremétriques de ces appareils sont alimentés par les transformateurs d'intensité placés dans les bornes des interrupteurs, les enroulements de tension étant alimentés par les transformateurs de potentiel des « metering outfit » dont il est parlé plus loin.

Services auxiliaires.

Tous les appareils de commande et de contrôle tant des arrivées des câbles 60 k*v* de l'U.D.E. que des départs aériens des lignes 90 et 150 k*v* et des groupes de transformation sont disposés dans un bâtiment central renfermant un tableau en forme d'arc de cercle.

Le schéma de l'installation est reproduit sur les différents panneaux du tableau qui portent à chaque emplacement des interrupteurs H T, les tirettes de commande à distance et les signaux répétiteurs des manœuvres.

Nous examinerons successivement le comptage de l'énergie, l'alimentation en courant alternatif et en courant continu des appareils de manœuvre, les services d'eau et d'huile et les appareils de manutention.

Comptage de l'énergie. — Le comptage de l'énergie se fait, d'une part, sur chacun des jeux de barres à 60.000 volts, les appareils de comptage étant intercalés sur chaque jeu entre la partie des barres réservée aux arrivées de câbles à 60.000 volts et la partie réservée aux départs qui alimentent les groupes de transformation ; d'autre part, sur chacun des groupes de transformation 60/90 k*v*.

On utilise, à cet effet, des transformateurs spéciaux (Metering outfit) groupés dans une même cuve, chaque groupe de comptage comprenant deux transformateurs de potentiel 60.000/110 et trois transformateurs d'intensité ; l'un de ces derniers alimente un ampèremètre.

Chaque « Metering outfit » correspond à deux compteurs à rotation inversée, de manière à enregistrer séparément l'énergie reçue et l'énergie fournie par le poste.

Alimentation des services auxiliaires en courant alternatif. — Afin d'éviter l'installation de transformateurs à haute tension de faible puissance, on a utilisé le courant à 15.000 volts,

50 périodes, distribué dans la région de Chevilly par la Société Sud-Lumière. A cet effet, deux feeders de cette Société, passent en coupure dans le sous-sol du bâtiment central du poste de Chevilly, et alimentent deux groupes de transformateurs triphasés 15.000/215/125 volts, d'une puissance unitaire de 100 kv*a*.

L'énergie ainsi transformée est utilisée pour l'éclairage, le poste de pompage, etc.

Alimentation en courant continu des appareils de manœuvre.

Pour la commande des solénoïdes des interrupteurs à l'huile, on a besoin de courant continu à 125 volts. L'alimentation des circuits correspondants est assurée :

Par un petit groupe moteur-générateur de charge de batterie comprenant un moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil à quatre pôles, d'une puissance de 16 *ch.* et une génératrice à courant continu, type shunt, à tension réglable de 120 à 160 *v.*

Par une batterie d'accumulateurs au plomb, comprenant 69 éléments d'une capacité de 180 ampères-heures au régime de décharge de 5 heures.

La charge de la batterie est effectuée en réglant l'excitation de la génératrice ; la tension, à la décharge, est réglée au moyen d'un réducteur à commande à main.

Service d'eau. — L'eau est fournie par un branchement effectué sur les conduites principales de la Compagnie Générale des Eaux de la ville de Paris passant le long de la route de Fontainebleau.

L'eau amenée dans un bassin A, d'une capacité d'environ 1.000 m^3, est élevée par un système de pompes à démarrage et arrêt automatiques, dans un réservoir de 240 m^3 de capacité placé au-dessus du poste de « décuvage ». Ce réservoir qui est placé à une hauteur de 19 mètres au-dessus du niveau inférieur du bassin et à 14 *m*,25 au-dessus des orifices d'alimentation des transformateurs a une capacité suffisante pour alimenter, pendant deux heures, les transformateurs actuellement installés (75.000 k*va*) sans remplissage nouveau.

En fait, les appareils automatiques entrent en action dès que le niveau de l'eau dans le réservoir est passé de la cote supérieure 111 *m*,45 à la cote de 110 *m*,95. Si bien qu'en cas d'avarie aux pompes, de manque de courant, etc..., on dispose d'une marge de deux heures pour parer à des incidents.

L'eau chaude sortant des transformateurs retourne au bassin A où elle se refroidit. Cette disposition sera complétée ultérieurement par une série de gicleurs alimentés par l'eau du bassin et disposés au-dessus de ce dernier. De la sorte, l'eau à l'état divisé subira un refroidissement énergique au contact de l'air.

La circulation d'eau est actuellement assurée par deux pompes centrifuges, système Rateau, accouplées directement à des moteurs asynchrones à quatre pôles, 215 volts entre phases, d'une puissance de 13,5 *ch.*

Ces groupes sont installés dans la station de pompage prévue pour recevoir trois autres groupes identiques.

Ces pompes peuvent débiter chacune 100 m^3 à l'heure pour une hauteur d'élévation de 21 mètres dont 1 *m*,50 en aspiration.

Service d'huile. — Au voisinage du poste de décuvage, sont installés quatre réservoirs d'huile.

Deux réservoirs, d'une capacité de 25 m^3 chacun, destinés à recevoir l'huile de rechange des transformateurs,

Deux réservoirs, d'une capacité de 12 m^3,5 chacun, destinés à recevoir l'huile de rechange des interrupteurs.

Un système de tuyaux permet d'amener l'huile propre provenant d'un réservoir au voisinage immédiat d'un quelconque des interrupteurs à l'huile ou des transformateurs, la circulation étant assurée par un groupe moto-pompe placé au fond d'une des fosses de l'atelier de décuvage et, le remplissage d'un transformateur ou d'un interrupteur se faisant au moyen d'un filtre-presse portatif, d'un débit de 114 litres par minute, amené près de l'appareil à remplir.

La salle de décuvage comporte deux fosses, l'une pour recevoir la partie active d'un transformateur à visiter ou réparer, l'autre formant étuve pour en opérer le séchage. A cet effet, une circulation d'air chaud est assurée à l'intérieur de la fosse au moyen de deux groupes moteurs-ventilateurs qui soufflent de l'air sur des résistances chauffées électriquement ce qui l'amène à une température d'environ 100° au moment où il pénètre dans la fosse.

La soufflerie et le dispositif de chauffage sont disposés dans une pièce contiguë à la salle de décuvage et qui contient un dispositif d'essai de rigidité diélectrique des huiles.

Ce dernier est constitué par un transformateur de 1 k*va* avec régulateur d'induction permettant de graduer progressivement la tension de 0 à 30 k*v* aux bornes d'un éclateur à disques contenu dans une chambre sphérique isolante.

Dans cette même salle se trouve l'étuve de séchage des papiers buvard du filtre-presse.

Appareils de manutention. — L'atelier de décuvage est muni d'un pont roulant de 30 *t* et de 7 *m*,50 de portée, permettant de placer n'importe quel transformateur du poste dans la fosse de décuvage et d'enlever les enroulements.

La translation du pont le long du chemin de roulement ainsi que le mouvement du chariot-treuil le long des poutres du pont est effectué au moyen de galets en fonte commandés à main par chaînes pendantes agissant sur des roues à empreintes.

Le mécanisme de levage est seul à commande électrique, la vitesse de levage en charge est de 1 *m*,10 par minute.

Tout le long des bancs des massifs portant les interrupteurs et les transformateurs, courent des voies ayant, les unes l'écartement normal de 1 *m*,44, les autres l'écartement de 2 *m*,10, suivant la direction de circulation du matériel ; sur ces voies circule un chariot transbordeur, d'un type spécial, disposé de manière à pouvoir rouler, soit sur la voie de 2 *m*,10, soit sur la voie de 1 *m*,44. A cet effet, le châssis du chariots est monté sur quatre galets en fonte pouvant pivoter autour d'un axe vertical et orientable dans deux directions seulement, l'une parallèle à l'axe longitudinale du chariot, l'autre perpendiculaire.

Afin de permettre le changement de direction de ces galets, le chariot est muni d'un système de quatre vérins commandés deux par deux au moyen d'un levier. En agissant sur un levier, on dégage donc simultanément les deux galets situés d'un même côté du chariot. Un dispositif d'arrêt permet d'immobiliser l'axe des galets dans l'une ou l'autre des deux positions de marche. L'utilisation de ce système de chariot permet d'éviter l'emploi de plaques tournantes et réduit au minimum les chances de renversement de la charge pendant les manœuvres.

* * *

B. — Poste de Chaingy.

Le poste de Chaingy constituera le point de concentration des lignes à haute tension du réseau de la Compagnie d'Orléans ; ainsi qu'il a été indiqué précédemment, en ce point aboutiront dans l'avenir huit ou neuf lignes à 150/220 k*v* (arrivées et départs) et six à huit lignes à 90 k*v* (arrivées et départs). Ce point étant à peu près situé au centre de gravité de la charge de la section Eguzon-Paris, il était naturel d'y placer les appareils destinés à fournir l'énergie réactive d'appoint nécessaire pour maintenir pratiquement constante la tension des lignes à 90 k*v* au milieu de leur parcours ; la tension aux extrémités étant réglée par les alternateurs des usines de Gennevilliers et Vitry, du côté Nord, et d'Eguzon, du côté Sud.

Le poste de Chaingy constituera en même temps un poste de sectionnement automatique pour les lignes à 90 et 150 k*v* ; la figure 4 montre le schéma de l'installation.

Dans son état actuel, le poste de Chaingy comprend six parties principales :

1° Un poste de sectionnement automatique pour un système de quatre lignes à 90 k*v* (deux arrivées et deux départs) permettant de placer une quelconque de ces lignes sur un quelconque des deux jeux de barres à 90 k*v* du poste. Ce sectionnement occupe la partie Ouest du poste.

2° Un poste de sectionnement automatique pour un système de deux lignes à 150 k*v* (une arrivée, un départ) permettant de placer une quelconque des deux lignes sur un quelconque des deux jeux de barres omnibus à 150 k*v* du poste. Ces sectionnements occupent la partie Est du poste.

3° Un système de deux jeux de barres omnibus à 90 k*v* sur lequel pourront être éventuellement placées les lignes à 90 k*v* allant vers Tours et sur lesquelles sont, dès maintenant, branchés avec leurs postes de comptage à 90 k*v* les deux groupes de transformateurs d'échange et de réglage à trois enroulements 150, 90 et 6,6 k*v* ayant chacun une puissance d'environ 20.000 k*w*.

Un interrupteur est prévu pour le couplage en parallèle des deux jeux de barres 90.000 *v*.

4° Un système de deux jeux de barres-omnibus à 150 k*v* sur lequel sont branchés les transformateurs d'échange et de régulation 150/90/6,6 k*v*.

5° Un bâtiment de 35 *m* de longueur sur 16 *m* de largeur contenant :

a) Une salle des machines avec pont roulant de 30 *t* pouvant recevoir trois compensateurs synchrones de 10.000 k*va* dont deux seulement sont installés ;

b) Une salle de décuvage et un atelier de réparation des transformateurs, desservis par le même pont roulant que la salle des compensateurs synchrones ;

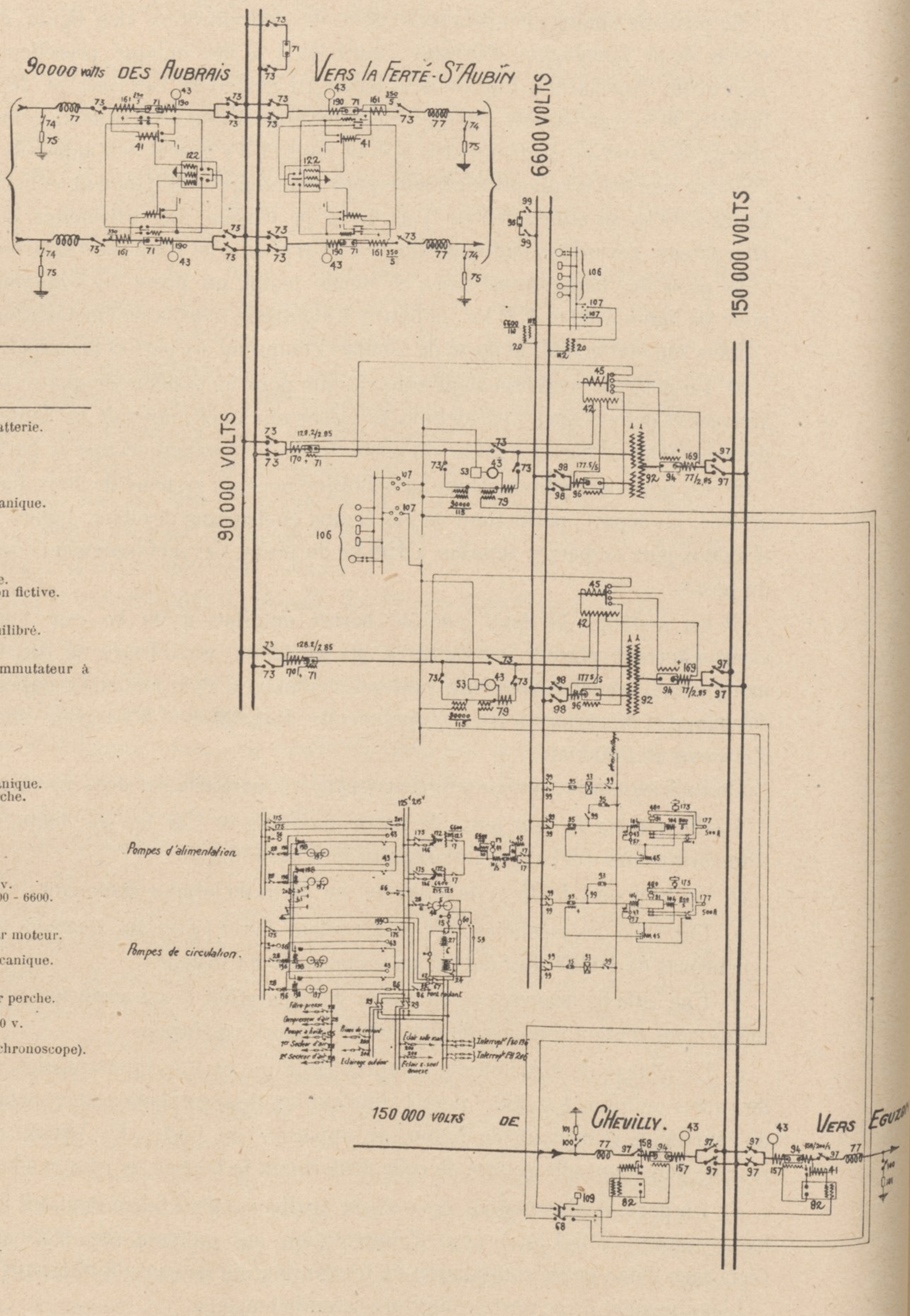
c) Un tableau de distribution, comprenant d'une part les interrupteurs, sectionneurs et jeux de barres-omnibus à 6.600 *v* pour l'alimentation des compensateurs synchrones et le tableau de commande et de contrôle de tous les appareils du poste. Le bureau du dispatching est installé dans une salle voisine de celle renfermant le tableau de commande ;

d) Un poste d'alimentation des services auxiliaires de 6,6 k*va* donnant du courant alternatif basse tension 215/125 *v* pour l'alimentation des moteurs des stations de pompage et l'éclairage d'une petite sous-station de transformation de courant alternatif en courant continu.

L'équipement de ce poste comprend essentiellement :

Deux transformateurs statiques 6.600 *v* 215-125 *v* de 100 k*va* à bain d'huile et refroidissement naturel.

Fig. 4. — Schéma du poste de Chaingy



LÉGENDE

Repères	Quantité	DÉSIGNATION
5	1	Groupe moteur-générateur pour la charge de la batterie.
6	1	Batterie d'accumulateurs 110 volts - 120 AH.
7	1	Réducteur de décharge.
8	1	Groupe compresseur d'air.
9	1	Interrupteur FH 206 15.000 v. 350 A.
15	2	Disjoncteurs, commande à main 150 A 600 v.
17	4	Sectionneurs TP SD 15.000 v. 200 A commande mécanique.
24	1	Interrupteurs à couteaux SP SD 110 A.
27	1	» » SP DD 110 A.
28	3	» » TP SD 110 A.
29	1	Appareil automatique pour éclairage de secours.
41	6	Relais TP nº 151 (Cie des Compteurs).
42	2	Auto-transformateurs pour protection différentielle.
43	23	Ampèremètres électro-magnétiques 5 A. Graduation fictive.
45	5	Relais TP nº 51 (Compagnie des Compteurs).
48	2	Ampèremètres à aimant 0.150 A.
53	3	Compteurs triphasés 115 v. 5 A pour circuit déséquilibré.
56	1	Voltmètre 150 v. avec commutateur à 3 directions.
57	2	Phasemètres.
59	1	Voltmètre électro-magnétique 0.250 v. avec commutateur à 3 directions.
60	1	Relais à retour de courant.
61	3	Fusibles 200 A. SP.
62	7	» 50 A. SP.
63	10	» 25 A. SP.
67	4	Interrupteurs BP SD 110 A.
68	1	» TP DD 60 A.
71	7	Interrupteurs FKO 136 B 95000 v. 900 A.
73	24	Sectionneurs TP SD 95000 v. 300 A commande mécanique.
74	12	» SP SD » » à perche.
75	4	Parafoudres TP à oxyde 95000 v. type extérieur.
77	18	Spires de self type suspendu 300 A.
79	2	Postes de comptage 90000 v. type extérieur.
80	5	Transformateurs d'intensité 10/5 isolés 7500 v.
82	2	Relais à retour de puissance type IK 105.
86	2	Interrupteurs TP. SD 200 A avec fusibles.
91	2	Compensateurs synchrones 10000 KVA 600 t/m 6600 v.
92	7	Transformateurs monophasés 6666 KVA 15000 - 90000 - 6600.
93	2	Auto-transformateurs de démarrage 6600 - 3300.
94	4	Interrupteurs FKO 36 B 155000 v. 400 A.
95	7	» FH 206 150000 v. 1100 A commande par moteur.
96	2	» » » 1500 A »
97	10	Sectionneurs TP SD 150000 v. 300 A commande mécanique.
98	4	» » 15000 v. 2000 A.
99	14	» » » 1100 A.
100	6	» SP SD 154000 v. 300 A commande par perche.
101	2	Parafoudres à oxyde 150000 v. type extérieur.
102	6	Transformateurs de potentiel monophasés 6600 - 110 v.
104	12	» d'intensité 800/5 isolés à 7500 v.
106	2	Dispositifs de synchronisation (2 voltm. 2 amp. 1 synchronoscope).
107	4	Plots de synchronisation.
109	1	Régulateur de voltage. Système Tyrrill.
122	6	Relais différentiels type PD 3.
146	6	Coupe-circuits à expulsion 7500 v. 550 A SP.
150	2	Interrupteurs TP SD RB 60 A.
157	6	Bushings transformers 100/5 sur traversée 150000 v.
158	6	» » 200/5.
161	12	» » 350/5.
169	6	» » 77/2,85.
170	6	» » 128,2/2,85.
171	6	Transformateurs d'intensité 1775/5.
172	2	» » 100 KVA 6600/215-125.
173	2	Rhéostat de champ avec commande par moteur.
175	2	Interrupteurs tétrapolaires SD 350 A.
177	2	Ampèremètres c. continu 0.500 A avec shunt 500 A.
178	2	Interrupteurs d'excitation.
190	12	Bushings transformers 100/5 sur traversée 95000 jv.
193	3	Fusibles 75 A. SP.
196	4	Transformateurs d'intensité 100/5.
197	4	Groupes moto-pompes.
198	4	Contacteurs TP pour démarrage pompes.
199	1	Indicateur de niveau d'eau.
200	4	Interrupteurs tétrapolaires SD 110 A avec fusibles.
201	1	» » DD 350 A.
202	2	» BP. DD type Tyrrill.
195	1	» TP. DD 110 A.

Un groupe moteur-générateur comprenant un moteur asynchrone triphasé de 16 *ch* à 1.400 t/m et une génératrice à courant continu 120 à 160 *v* pouvant charger une batterie d'accumulateurs.

Une batterie d'accumulateurs de 69 éléments de 180 AH de capacité en régime de décharge de 5 *h* avec réducteur simple à vingt plots.

6° Des services auxiliaires assurant la circulation de l'eau de refroidissement dans les transformateurs et paliers de compensateurs synchrones et permettant de changer rapidement l'huile des transformateurs et interrupteurs.

Ces installations comprennent essentiellement :

a) Un poste de pompage installé au-dessus de la prise d'eau aménagée près du ruisseau le Rollin prévu pour fonctionner quand le plan d'eau varie entre les cotes 80,30 et 88,21 ces différences de cotes devant être envisagées en raison des crues de la Loire.

Ce poste comprend deux groupes motopompes Rateau de 14 *ch* à 2850 t/m pouvant élever chacun 42 m^3 d'eau à l'heure à une hauteur de 42 *m* dont 6 *m* 50 à l'aspiration. Le plancher de la salle des pompes est à la cote 83,50.

Le fonctionnement des groupes est commandé à distance à partir du tableau de contrôle situé dans le bâtiment du tableau.

b) Un bassin réfrigérant de 750 m^3 de capacité et 750 m^2 de surface recevant, d'une part, l'eau échauffée par circulation dans les serpentins des transformateurs, d'autre part, l'eau froide pompée dans le Rollin. Le radier de ce bassin est au niveau 99.

c) Un château d'eau d'une capacité de 140 m^3 placé à environ 24 *m* au-dessus du bassin réfrigérant dans lequel l'eau puisée dans ce bassin est élevée par deux groupes motopompes, système Rateau de 15,5 *ch* pouvant débiter 84 m^3 d'eau par heure sous une charge de 23 *m*. Le fond du réservoir est au niveau 120,70, le plan d'eau maximum étant à trois mètres au-dessus.

d) Les tuyauteries d'eau allant de la prise d'eau au bassin, aux pompes du château d'eau, aux transformateurs et compensateurs synchrones.

e) Quatre réservoirs d'huile :

Deux ayant chacun une capacité de 25 m^3 pour les transformateurs ;

Deux ayant chacun une capacité de 12 m^3 pour les interrupteurs.

f) Les tuyauteries d'huile allant des réservoirs aux postes de décuvage et à des prises situées au voisinage immédiat des transformateurs et interrupteurs.

Un groupe motopompe de 5 *ch* à 750 t/m permettant de débiter 84 m^3 d'huile à l'heure sous une charge de 3 *m* assure la circulation de l'huile entre réservoirs et appareils.

Le filtrage et séchage des appareils se font comme à Chevilly dans une chambre à travers laquelle circule un courant d'air soufflé par un ventilateur et chauffé à 100° au moyen de résistances électriques. Cette chambre est disposée au rez-de-chaussée à la hauteur du plancher de la salle des machines, ce qui permet de se servir du pont roulant de cette dernière pour manutentionner le matériel à sécher.

La planche VI donne une vue d'ensemble en plan et la planche VII une coupe transversale du poste en question.

La disposition générale des arrivées de lignes et des barres-omnibus étant exactement la même qu'à Chevilly, nous nous bornerons ici à décrire, avec quelques détails, les installations de réglage de tension.

Réglage de la tension de 90 kv. — Entre les deux réseaux à 90 k*v* et 150 k*v* sont placés deux groupes de transformateurs comprenant chacun 3 transformateurs monophasés de 6.666 k*va* à trois enroulements. Les primaires à 89 k*v* et les secondaires à 52 k*v* sont connectés en étoile (154 k*v* et 90 k*v* entre phases) ; les enroulements tertiaires 6.600 *v* par phase, connectés en triangle servant à l'alimentation des compensateurs synchrones de réglage.

La présence de cet enroulement en triangle dans les circuits à 90 et 150 k*v* permet d'étouffer entièrement, par mise en court-circuit, des harmoniques trois, qui peuvent exister dans les ondes de tension ou de courant.

La jonction entre les enroulements à 6,6 k*v* des transformateurs extérieurs et les compensateurs synchrones placés à l'intérieur du bâtiment principal est effectuée par une série de barres de cuivre nu passant à l'intérieur d'une galerie souterraine d'environ 70 mètres de longueur.

La puissance continue admissible dans chaque groupe de transformateurs est de 20.000 k*va* pour les enroulements à 150 et 6,6 k*v* et de 22.500 k*va* pour l'enroulement à 90 k*v*.

Les caractéristiques principales de construction et de fonctionnement de ces transformateurs sont rassemblés dans le tableau page 118.

Les transformateurs sont protégés par des relais à action différentielle : en marche normale, les actions des courants des divers enroulements sont équilibrés grâce à l'emploi de transformateurs d'intensité appropriés. En cas d'accident, les courants correspondants dans les divers enroulements précités ne sont plus équilibrés et cette irrégularité d'action provoque le déclenchement simultané et instantané de tous les interrupteurs connectés aux transformateurs de manière à isoler ceux-ci aussi rapidement que possible.

Compensateurs synchrones. — La puissance réactive nécessaire pour assurer le réglage de la tension dans les conditions normales de fonctionnement du réseau au moment de la mise en service de l'usine d'Eguzon ne dépassera pas 10.000 k*va*. Toutefois, pour assurer le réglage dans certains cas exceptionnels, on pourra être amené à fournir au réseau une puissance réactive un peu supérieure. C'est pour cette raison que le poste de régulation de Chaingy a été équipé avec deux compensateurs synchrones à réglage automatique de 10.000 k*va*, l'emplacement nécessaire à l'installation d'un troisième groupe étant réservé en vue d'extensions ultérieures.

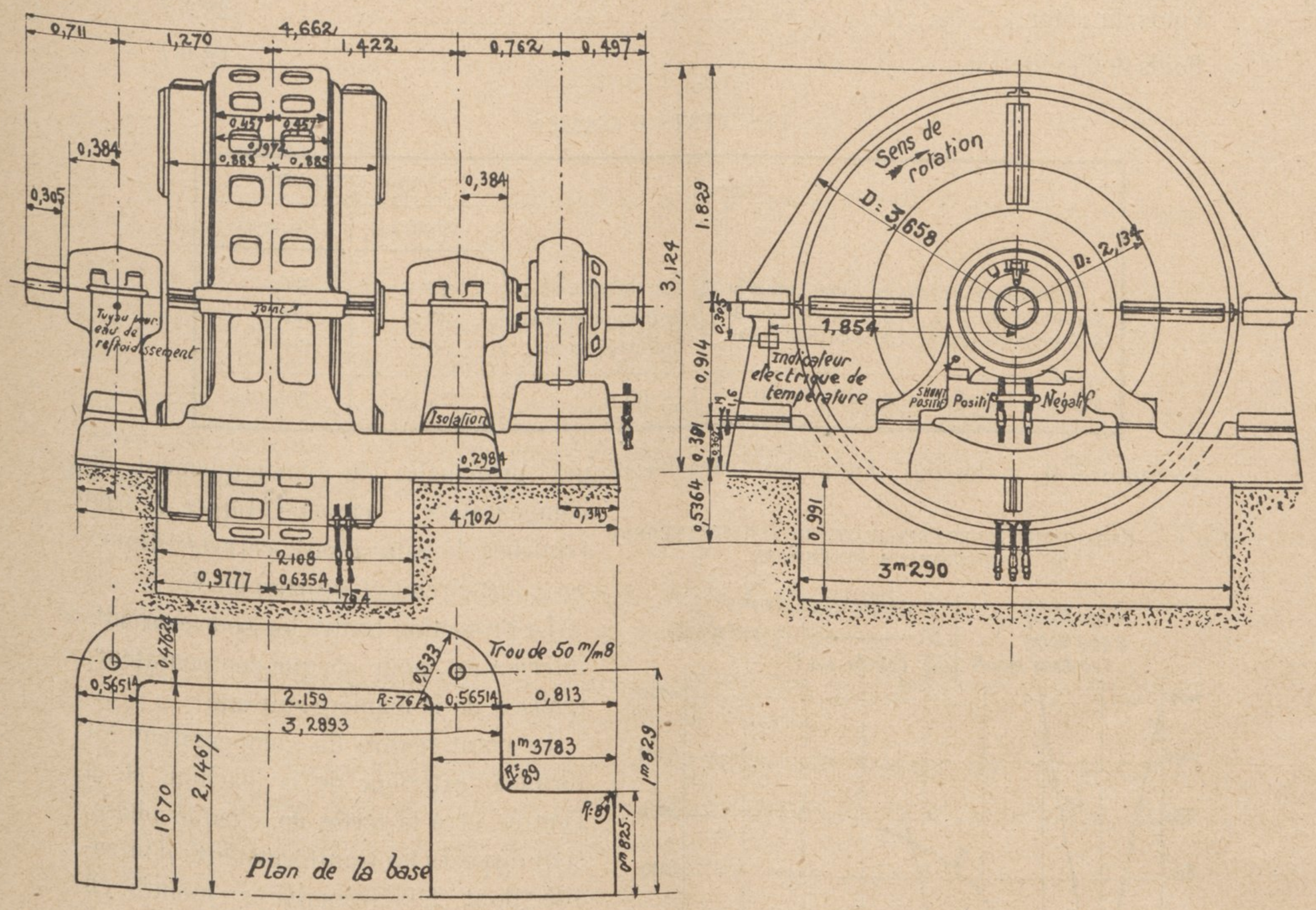
Ces compensateurs sont alimentés soit isolément, soit par groupe de deux, par l'enroulement 6.600 *v* des groupes de transformation 150/90/6,6 k*v*. Chaque machine peut fournir une puissance réactive de 10.000 k*va* aussi bien avec déphasage en avant qu'avec déphasage en arrière, la tension dans un cas étant d'environ 7.000 *v* et 6.400 *v* dans l'autre. Le réglage de la puissance réactive est obtenu par variation automatique du courant d'excitation obtenue au moyen d'un régulateur Tirill branché de manière à maintenir pratiquement constante la tension du réseau à 90 k*v*.

Le démarrage des compensateurs est fait « en asynchrone ». A cet effet les inducteurs (rotor de la machine) sont munis d'amortisseurs constitués par des barres de cuivre logées

dans les pièces polaires et le stator peut être alimenté à tension réduite (1.990 *v*) au moyen d'auto-transformateurs. La puissance absorbée pendant le démarrage ne dépasse pas 3.500 k*va*.

Les caractéristiques principales de construction des compensateurs du poste de Chaingy sont données par la figure 5 et le tableau ci-après.

Fig. 5. — Compensateur synchrone 10.000 kva, 6.600 v, 600 tours-minute, 50 périodes.



Puissance normale continue	10.000 k*va*
Intensité du courant par phase	877 *a*
Puissance de l'excitatrice	60 k*w*
Intensité du courant d'excitation	480 *a*
Vitesse de rotation	600 t/m
Entrefer	25,4 m*m*
Stator : Longueur utile	760 m*m*
Nombre d'encoches	180
Nombre de conducteurs par encoche	60
Section du conducteur (6 en parallèle)	4,07 × 2,03 m*m*

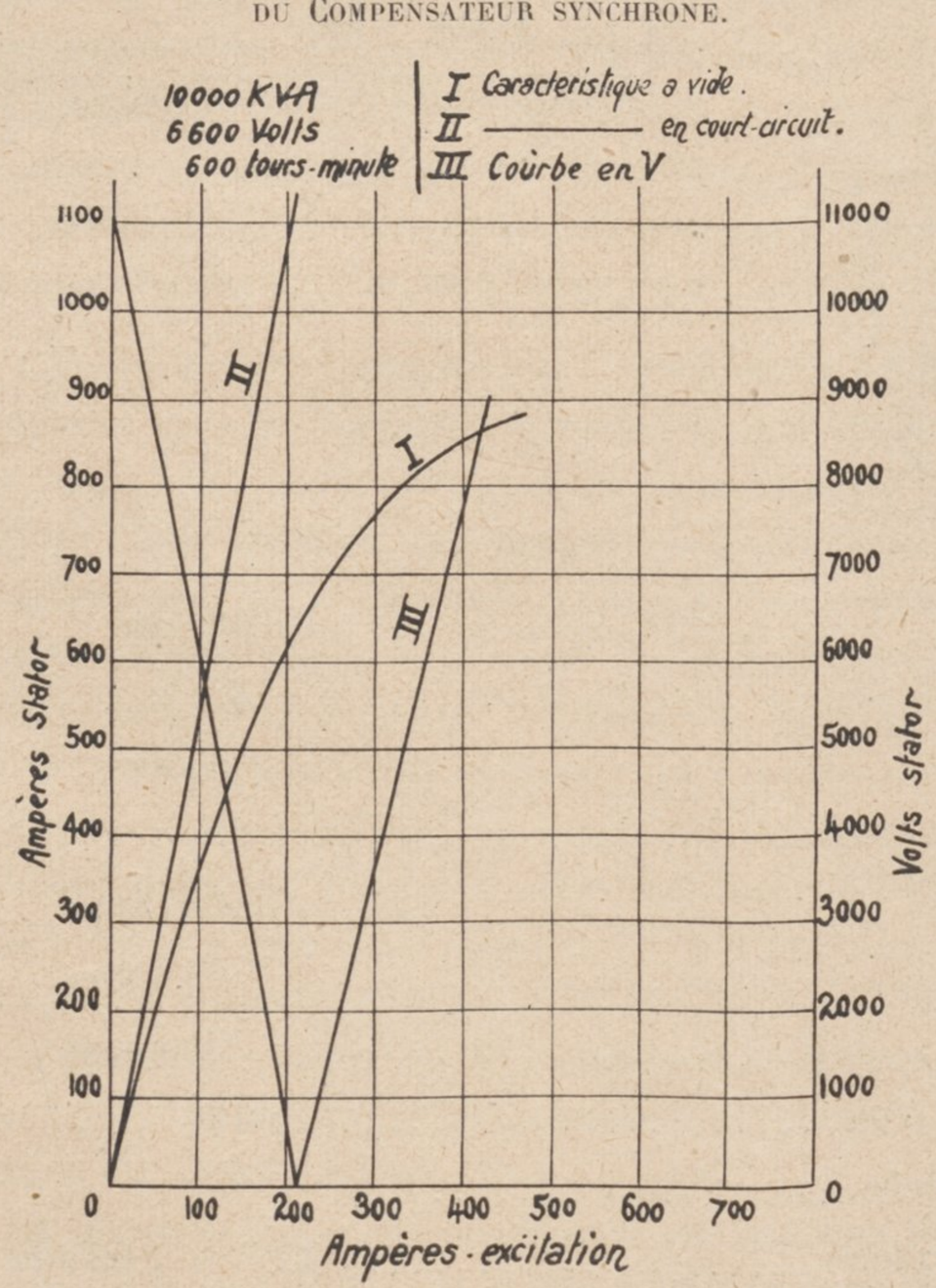
Rotor :	Nombre de pôles	10
	Diamètre du rotor	2,130
	Nombre de tours par pôle	74,5
	Section du conducteur	3,05 × 50,8
Encombrement		4.500 × 4.090
Poids total		75 *t*
Poids du rotor		28,5 *t*
Poids de l'excitatrice		13,6 *t*

RÉSULTATS D'ESSAIS :

		ECHAUFFEMENTS	
		Mesurés	Garantis
Echauffement après une marche soutenue de 3 *h* 1/2 à la charge de 875 *a* dans le stator, 420 *a* dans le rotor.	Fer du stator....	29°	50°
	Bobinage stator..	38,5	60°
	Bobinage rotor ..	56°	60°
Puissance absorbée à vide : 6 600 *v* I = 60 *a*.		275 k*w*	305 k*w*

La figure 6 ci-dessous donne les caractéristiques principales du fonctionnement du compensateur : caractéristiques à vide (courbes de saturation), caractéristiques en court-circuit et courbes en V.

Fig. 6.— CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DU FONCTIONNEMENT DU COMPENSATEUR SYNCHRONE.



La protection contre les courts-circuits internes est, pour chaque compensateur, réalisée de la manière suivante :

Le point neutre du compensateur est formé à l'extérieur de la machine et, à l'entrée et à la sortie de chaque phase, sont disposés les transformateurs d'intensité dont les secondaires montés en opposition alimentent des relais différentiels.

En cas d'un défaut interne, le déséquilibre des courants dans les transformateurs d'intensité provoque le déclenchement du disjoncteur de la machine. Mais, pour éviter que celle-ci, en vertu de son énergie cinétique, ne continue à alimenter le défaut et par conséquent à l'aggraver, les relais provoquent en outre l'ouverture du circuit d'excitation.

A cet effet, il existe sur chaque compensateur un commutateur automatique qui

coupe le circuit d'excitation en insérant simultanément une résistance de décharge aux bornes de l'enroulement inducteur.

L'ouverture et la fermeture de ce commutateur peuvent être commandés à partir du tableau de contrôle afin de réaliser après le démarrage de la machine le passage de la marche asynchrone à la marche synchrone.

* * *

C. — Poste d'Eguzon.

Le poste d'Eguzon constitue :

1° Un poste de sectionnement automatique pour un départ à 150 k*v* et pour quatre lignes à 90 k*v* (deux départs et deux arrivées) ;

2° Un poste élévateur de tension permettant de transformer l'énergie électrique produite dans l'Usine d'Eguzon sous forme de courant triphasé 50 périodes à 10,5 k*v* en courant de même forme mais aux tensions de 90 ou de 150 k*v*.

La nature et la disposition générale des appareils à 90 et 150 k*v* étant exactement les mêmes qu'à Chevilly et à Chaingy, nous ne les décrirons pas à nouveau ici ; quant à la transformation de l'énergie, elle est assurée :

a) *Pour la tension de 90 kv :*

Par deux groupes de trois transformateurs monophasés ayant chacun une puissance soutenue de 8.000 k*va* ; un septième transformateur sert de réserve.

Les primaires de ces transformateurs, connectés en triangle, sont bobinés pour la tension de 10,5 k*v* ; ils sont alimentés par les barres-omnibus de l'usine.

Les secondaires des transformateurs connectés en étoile sont bobinés pour la tension de 52 k*v* et ils peuvent être branchés au moyen d'interrupteurs et de sectionneurs à 90 k*v* sur le double jeu de barres-omnibus 90 k*v* du poste.

b) *Pour la tension de150 kv :*

Par un groupe de trois transformateurs monophasés ayant chacun une puissance de 7.000 k*va*, un quatrième transformateur servant de réserve.

Les primaires de ces transformateurs connectés en *triangle* sont bobinés pour la tension de 10,5 k*v* alors que les secondaires, connectés en *étoile* sont bobinés pour la tension de 89 k*v*.

Tous ces transformateurs sont du type extérieur, à bain d'huile, avec conservateur d'huile et refroidissement par circulation d'eau ; leurs caractéristiques principales de construction et de fonctionnement sont rassemblées dans le tableau page 118.

Les services auxiliaires d'eau et d'huile du poste sont assurés d'une manière tout à fait analogue à ceux des postes de Chevilly et de Chaingy ; leurs dispositions particulières ont été indiquées à la seconde partie de la présente note dans la description générale de l'Usine d'Eguzon.

CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES des Transformateurs monophasés Type "Extérieur"
A bain d'huile et a circulation d'eau des Postes de Transformation et Montage de ces Transformateurs

		CHEVILLY		CHAINGY	EGUZON	
Groupe de trois transformateurs monophasés.						
Tensions composées...	Primaire	90.200	150.000	154.000	90.000	150.000
	Secondaire	60.000	60.000	90.200	10.000	10.500
	Tertiaire	—	—	6.600	—	—
Puissance....	Primaire	25.000 kva	25.000	20.000	24.000	21.000
	Secondaire	25.000	25.000	22.500	24.000	21.000
	Tertiaire	—	—	20.000	—	—
Couplage des enroulements.	Primaire	étoile	étoile	étoile	étoile	étoile
	Secondaire	triangle	triangle	étoile	triangle	triangle
	Tertiaire	—	—	triangle	—	—
Transformateurs monophasés.						
Tension	Primaire	52.000	86.700	89.000	52.100	89.000
	Secondaire	60.000	60.000	52.000	10.500	10.500
	Tertiaire	—	—	6.600	—	—
Puissance....	Primaire	8.333 kva	8.333	6.666	8.000	7.000
	Secondaire	—	—	7.500	—	—
	Tertiaire	—	—	6.666	—	—
Tension primaire correspondant aux différentes prises		50.700	84.532	86.775	52.100	93.450
		49.400	82.365	84.550	50.850	91.225
		48.100	80.197	82.325	49.600	86.775
		46.800	78.030	80.100	48.300	84.500
		—	—	—	47.000	—
Induction noyau		15.300	15.400	14.900	15.000	14.400
Induction culasse		15.200	14.000	14.950	13.000	12.650
Nombre de spires....	Primaire	926	1.280	1.616	1.121	2.114
	Secondaire	1.068	886	946	113	238
	Tertiaire	—	—	120	—	-
Section du cuivre....	Primaire	2 enr. 44 mm²	25,72 mm²	20,4 mm²	18,4 mm²	18,63 mm²
	Secondaire	35,6	34,83	35,8	202,4	174
	Tertiaire	—	—	258 (entre primaire et tertiaire 1,89 %)	—	—
Régulation à pleine charge	Cos ø = 1	1,3%	1,33%		1,44%	2,03%
	Cos ø = 0,95	4,27	4,51	—	—	—
	Cos ø = 0,8	—	—	—	7,5 %	—
Courant magnétisant		3,43%	6,01%	7% (sur/tert.)	1,93%	4,75%
Pertes dans le fer		32,60 kva	45,5 kvs	38,1 kws	17,650	28,23 kws
Impédance		9,98%	10,69%	Pr/sec. 13,7%	10,9%	13,78%
Résistance à 75° C.....	Primaire	1,273	3,50	5,76	1,52	6,1 ohms
	Secondaire	1,338	1,24	1,31	0,0426	0,0488
	Tertiaire	—	—	0,0186	—	—
Débit d'eau de circulation à 25° C.		140 l/m	148 l/m	154 l/m	—	135 l/m
Echauffement au régime continu.....	Primaire	44°2	49°	51°7	—	42°9
	Secondaire	43°2	45°3	55°1	—	47°2
	Tertiaire	—	—	54°1	—	—
	Huile	31°7	32°6	30°7	—	29°3
	Eau	10°	10°7	—	—	—
Rendements à Cos ø = 1	Charge 4/4	98,8	98,7	sans tertiaire 98,51	98,93	98,50
	Charge 3/4	98,85	98,7	sans tertiaire 98,56	99	98,74
	Charge 1/2	98,8	98,5	sans tertiaire 98,41	99,1	98,75
Poids	Sans huile	17.320 kg	26.800 kg	25.300 kg	16.670 kg	17.300 kg
	Avec huile	27.828 kg	20.200 kg	45.700 kg	23.380 kg	13.100 kg
Encombrement (cuve de section elliptique	Largeur	1 m,60	1 m,86	2 m	1 m,34	1 m,78
	Longueur	2 m,51	3 m,14	3 m,36	2 m,24	—
	Hauteur Cuve	3 m,93	5 m,71	5 m,43	4 m,515	5 m,02
	Hauteur Borne	5 m,70	7 m,10	7 m,53	6 m,165	7 m,40

45e Année. Septembre 1926. REVUE GÉNÉRALE DES CHEMINS DE FER 2e Semestre. — N° 3.

ÉLECTRIFICATION PARTIELLE DU RÉSEAU DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS

Par M. PARODI,

INGÉNIEUR EN CHEF-ADJOINT DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS.

(Suite) (1).

IV.

II. — Sous-stations de transformation.

Nous avons indiqué dans la première partie de la présente note que, dans la section de Paris à Vierzon, seraient installées onze sous-stations de transformation. Les deux premières : celles de Paris et d'Ablon, encore comprises dans l'agglomération parisienne, sont alimentées à la tension de 13.200 *V* par trois câbles souterrains de 150 mm^2 de section par phase.

Six câbles partent de l'Usine de Vitry (Société "Union d'Electricité"), trois de ces câbles se dirigent vers le Nord pour aboutir à la sous-station de Paris, les trois autres se dirigent vers le sud pour aboutir à la sous-station d'Ablon après avoir traversé le poste de sectionnement et de transformation de Vitry destiné à alimenter les Ateliers d'entretien et de réparation du matériel électrique fixe et roulant.

Les neuf autres sous-stations sont alimentées en courant triphasé 90 k*v* par les deux lignes 90 k*v* suivant sensiblement le tracé du chemin de fer et réunissant les postes de Chevilly et d'Eguzon en passant par le poste de régulation et de transformation de Chaingy.

Les emplacements de ces sous-stations et leur consistance sont indiqués dans le tableau ci-après qui comprend également les indications correspondantes relatives aux sous-stations de la section Eguzon-Brive.

Dispositions générales des sous-stations.

Chaque sous-station comporte un bâtiment contenant les machines tournantes et les tableaux de distribution constituant la sous-station proprement dite et un poste de transformation installé, soit dans un bâtiment attenant à la salle des machines dans les sous-stations alimentées par câbles souterrains à 13.200 *V*, soit à l'extérieur dans les sous-stations alimentées par les lignes aériennes de transport de force à 90.000 *V*.

(1) Voir *Revue Générale*, Nos de Novembre et Décembre 1925, de Février, Mars, Avril et Août 1926.

Source gallica.bnf.fr / Ecole nationale des Ponts et chaussées

DÉSIGNATION DES SOUS-STATIONS		DISTANCE KILOMÉTRIQUE comptée depuis la gare d'Austertlitz	PUISSANCE NOMINALE prévue	PUISSANCE NOMINALE installée	TENSION D'ALIMENTATION
LOCALITÉS	NOM DES SOUS-STATIONS				
Section Paris-Eguzon					
		km	*kw*	*kw*	*kv*
Paris	Quai de la Gare	0,80	8.000	6.000	13,2
Ablon	La Plaine	13,500	8.000	6.000	13,2
Saint-Michel	Les Saugées	28,967	8.000	6.000	90
Etréchy	Bellevue	47,419	8.000	6.000	—
Monnerville	Thionville	69,440	6.000	4.000	—
Château-Gaillard	Thivernon	92.100	6.000	4.000	—
Les Aubrais	Saran	114,790	8.000	6.000	—
La Ferté-Saint-Aubin	Les Relais	138,800	6.000	4.000	—
Nouan	Cordy	164,900	6.000	4.000	—
Theillay	Le Bourg	190,750	6.000	4.000	—
Chéry-Lury	.....	215,900	6.000	4.000	—
Issoudun	.....	239,700	6.000	4.000	—
Châteauroux	.....	265.900	6.000	4.000	—
Chabenet	.....	292,600	6.000	4.000	—
Saint-Chéron	Saint-Ernoult	47,350	6.000	4.000	—
	TOTAL.....		100.000	70.000	
Section Eguzon-Brive					
Eguzon	.....	316	6.000	4.000	90
La Souterraine	.....	340	6.000	4.000	—
Saint-Sulpice	.....	365	6.000	4.000	—
Les Bardys	.....	390	6.000	4.000	—
Soligna	.....	414	6.000	4.000	—
Saint-Germain-les-Belles	.....	439	6.000	4.000	—
Vigeois	.....	464,5	6.000	4.000	—
Ussae	.....	490	6.000	4.000	—
	TOTAL.....		48.000	32.000	
	TOTAUX GÉNÉRAUX.....		148.000	102.000	

I. BATIMENTS DES MACHINES.

Tous les bâtiments des sous-stations sont du même type ; leur longueur seule diffère suivant qu'il s'agit de sous-stations prévues pour trois ou quatre groupes de machines.

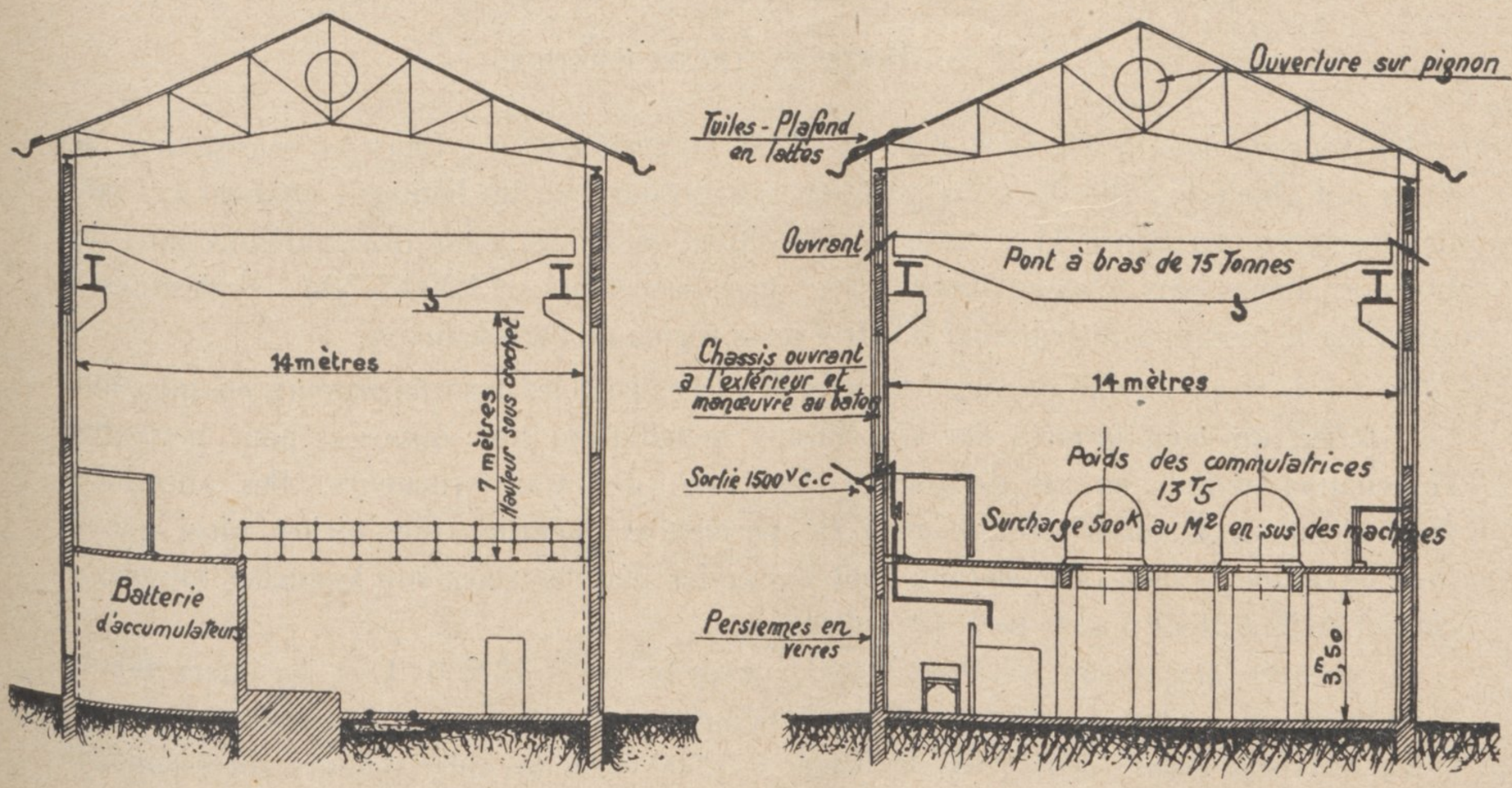
Ils comportent deux étages et sont constitués par une ossature en ciment armé avec remplissage en moellons agglomérés de ciment et de gravillon jusqu'au premier étage, en brique silico-calcaire au-dessus.

La disposition générale de ces bâtiments est indiquée sur la figure 10.

Au rez-de-chaussée, se trouvent les barres reliant les transformateurs aux machines, les barres de liaison entre les machines et les barres générales à courant continu 1.500 *V*, les départs souterrains à 1.500 *V* reliant la sous-station aux lignes de contact, les circuits de retour, les disjoncteurs ultra-rapides de protection des groupes et des feeders à 1.500 *V*, les parafoudres, les sectionneurs de ces derniers.

Au même étage se trouvent la plupart des appareils auxiliaires de la sous-station, tels que : compresseurs pour le nettoyage des machines, transformateurs destinés à fournir le courant basse tension (215/125 *V*) nécessaire pour assurer les divers services de la sous-station, ainsi que les batteries d'accumulateurs servant à l'alimentation des circuits de commande à distance

Fig. 10. — Coupes transversales types du batiment des sous-stations.



et de contrôle de l'appareillage basse tension de la sous-station elle-même et des sous-stations adjacentes. Ces batteries sont toutefois complètement séparées du reste de l'installation. Une porte spéciale ouverte dans la façade côté voie de la sous-station donne accès au local les renfermant.

Le premier étage est entièrement réservé à l'installation des machines et des différents tableaux de commande.

Les panneaux de commande et de contrôle des appareils sont disposés le long des parois de la sous-station.

A chaque groupe de machines est affecté un panneau sur lequel sont disposés les appareils de mesure, de comptage et les tirettes de commande des interrupteurs. Ce panneau porte également les volants de manœuvre des rhéostats de champ, lesquels sont disposés au rez-de-chaussée devant des persiennages qui assurent leur ventilation.

Le comptage de l'énergie électrique triphasée est effectué sur la basse tension de chaque machine ; il est prévu en outre un double comptage général en courant continu sur les barres 1.500 *V*. Ces dernières desservent également un voltmètre et un ampèremètre enregistreurs.

Les groupes moteurs générateurs de charge de la batterie et les groupes moteurs générateurs 600 *V* pour la commande des disjoncteurs de mise en parallèle et de sectionnement des voies sont également installés à ce même étage en bout des tableaux de distribution.

Un pont roulant d'une force de 15 *t* dessert le plancher des commutatrices.

Le plancher des commutatrices est interrompu dans un des angles de la sous-station sur une surface de 4×9 *m* et la partie correspondante du rez-de-chaussée qui peut ainsi être également desservie par le pont est réservée pour le décuvage des transformateurs et la visite des interrupteurs.

Ces appareils peuvent y être amenés à l'aide d'un chariot de 25 *t*, d'une construction analogue à celle du chariot de 50 *t*, utilisé dans les postes de Chevilly et Chaingy.

II. — Poste de transformation.

1°) *Sous-stations de Paris et d'Ablon* (13,5 k*v* triphasé). — Dans les sous-stations de Paris et d'Ablon, le poste de transformation est installé dans un bâtiment attenant à la salle des machines. La figure 11 montre la disposition de ce bâtiment qui contient, outre les transformateurs des commutatrices, les transformateurs 13.200/5.500 *V* destinés à alimenter le réseau de distribution 5.500 *V* de la région de Paris à Juvisy.

Au rez-de-chaussée sont prévues une série de niches pour les transformateurs en question. Ces niches, qui sont fermées par des rideaux métalliques, sont disposées pour permettre l'évacuation d'huile en cas d'explosion des cuves des transformateurs. Des cheminées débouchant sur la toiture du bâtiment en permettent l'aération. Ces niches, ainsi que la fosse de décuvage de la sous-station, sont desservies par des voies sur lesquelles circule le chariot de 25 *t*, dont il a été parlé précédemment.

Au premier étage, sont disposés deux jeux de barres à 13.200 *V* et les interrupteurs correspondant aux groupes de commutatrices et aux transformateurs auxiliaires.

Au deuxième étage, deux jeux de barres à 5.500 *V* et les interrupteurs correspondant aux transformateurs auxiliaires et aux différents départs à 5.500 *V*.

2° *Sous-stations de St-Michel et au delà* (90 k*v* triphasé). — Ces sous-stations sont de deux types différents suivant qu'elles constituent un poste de *sectionnement automatique* pour les lignes à 90.000 *V*, comme c'est le cas pour celles d'Etréchy et de Theillay ou qu'elles sont simplement branchées en dérivation sur ces lignes comme c'est le cas pour les sept autres sous-stations de la ligne de Paris-Vierzon.

a) *Sous-stations, postes de sectionnement automatique.* — Sous-stations de Theillay et d'Etréchy (1).

La sous-station d'Etréchy sera seule décrite, celle de Theillay étant analogue, mais ne comportant toutefois que quatre arrivées de lignes à 90 k*v* et deux transformateurs 90.000/555 *V*.

Le poste de transformation et de sectionnement proprement dit comprend trois parties principales :

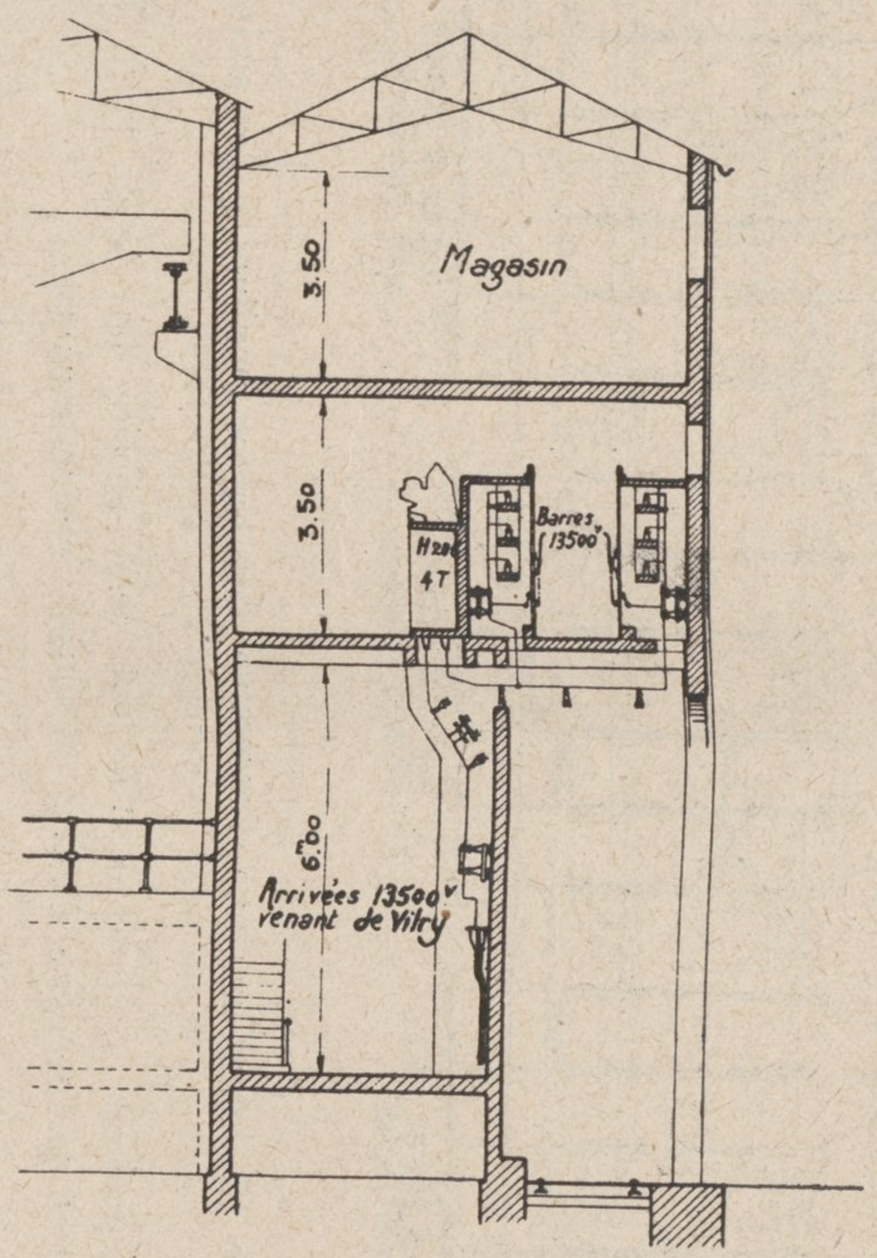
1° Six arrivées de lignes à 90 k*v* (deux lignes venant de la sous-station de St-Michel, deux lignes allant vers la sous-station de St-Chéron, deux lignes allant vers celle de Monnerville) avec sectionneurs, interrupteurs à huile, parafoudres à oxyde de plomb ;

---

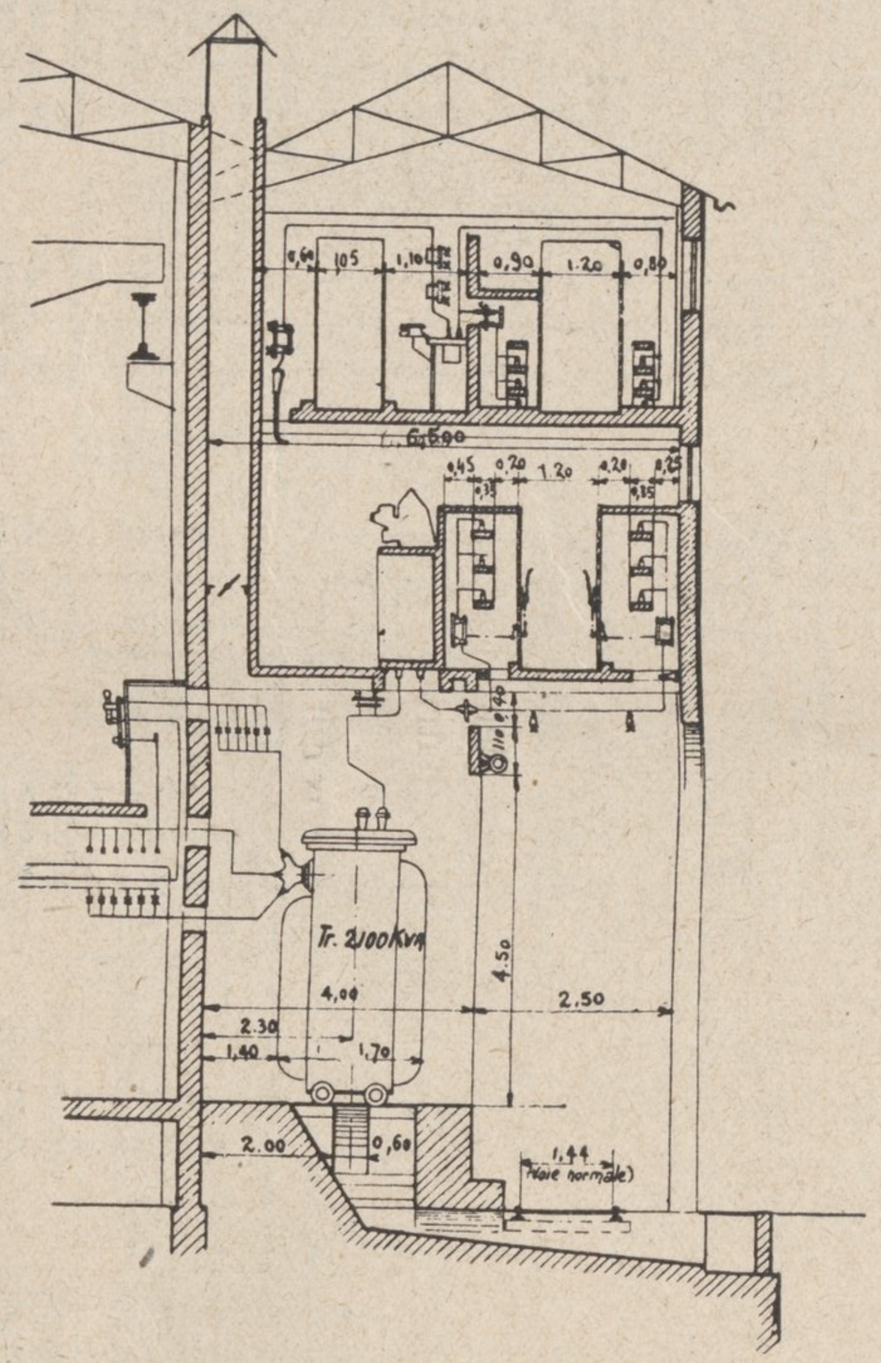
(1) Le poste de sectionnement automatique supplémentaire est prévu à Châteauroux sur le tronçon de ligne Theillay-Eguzon. — Les barres 90 k*v* de cette sous-station et les sectionneurs correspondants étant déjà installés, on dispose ainsi en ce point d'un poste de sectionnement à main.

Fig. 11. — Poste de transformation de la sous-station d'Ablon.

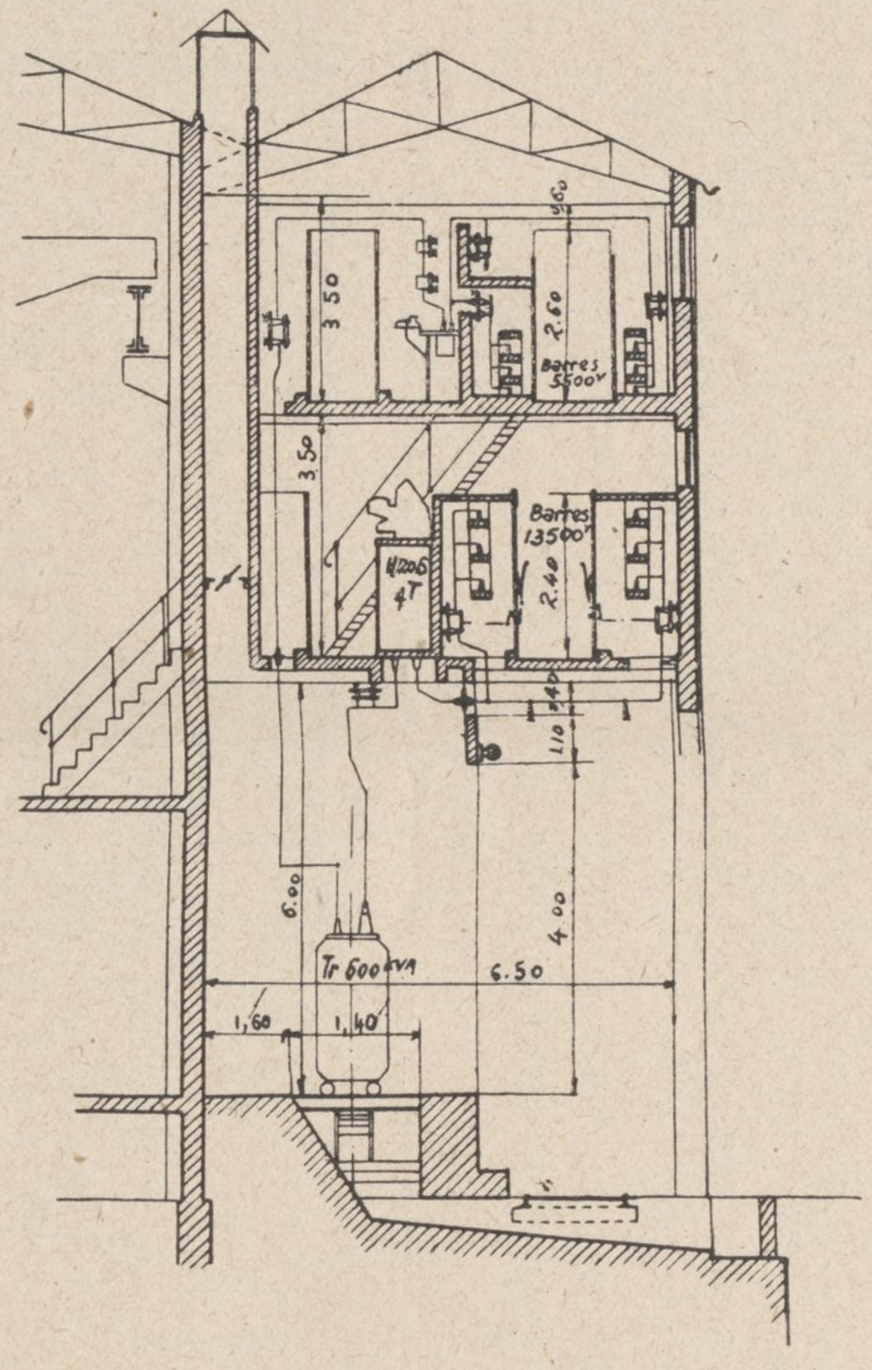
Coupe par les arrivées (13.500 v).



Coupe par les transformateurs (2100 KvA).



Coupe par les transformateurs (600 KvA).

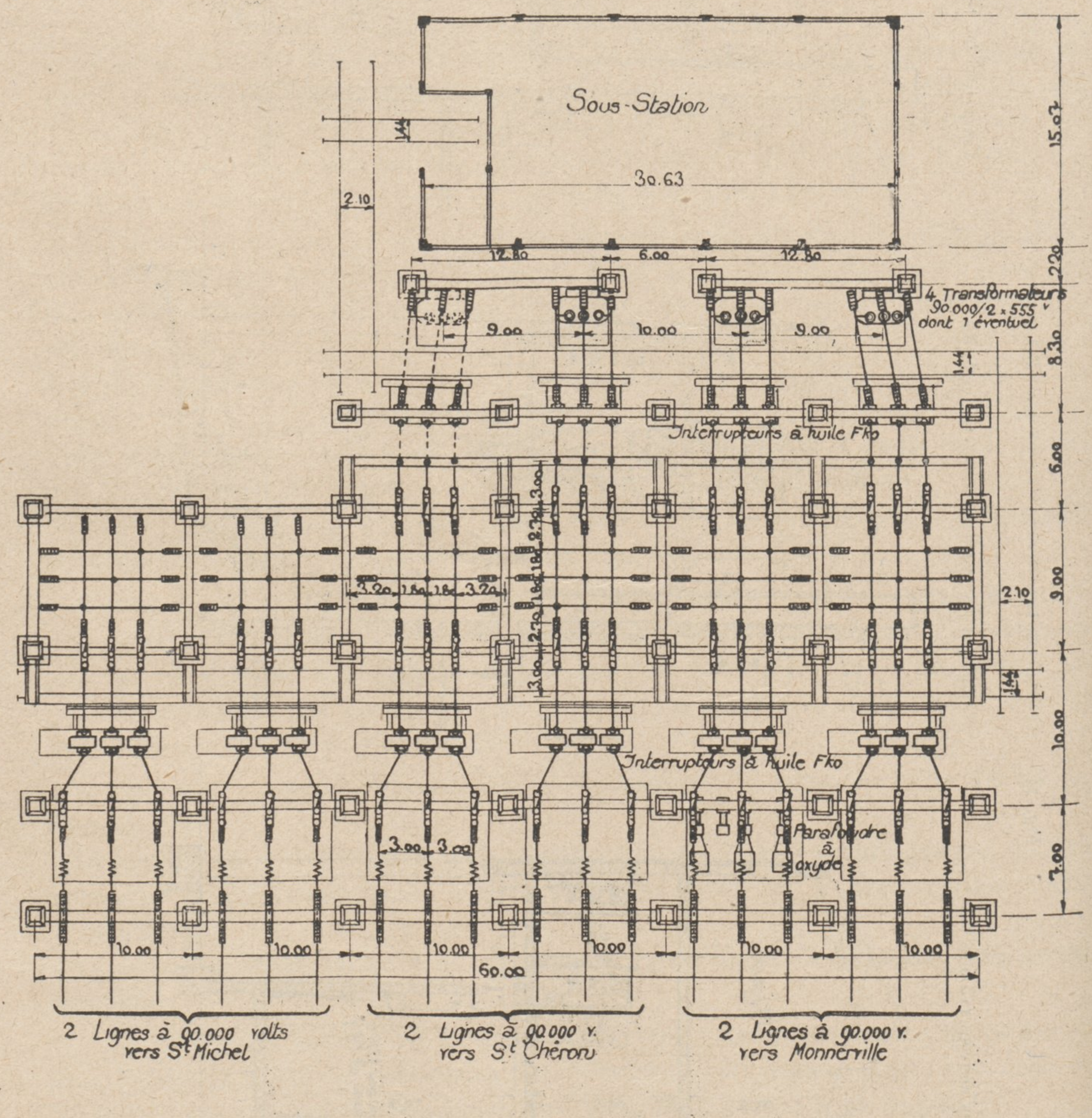


2° Deux jeux de barres omnibus à 90 k*v* occupant la partie médiane du poste ;

3° Les trois transformateurs doubles hexaphasés à 90.000/555 *V* alimentant les groupes de commutatrices avec les sectionneurs et interrupteurs H.T. correspondants.

La figure 12 qui donne une vue en plan du poste en question permet de se rendre compte de la disposition des éléments constitutifs de ce poste.

Fig. 12. — Plan du poste " out door " de la sous-station d'Etréchy.



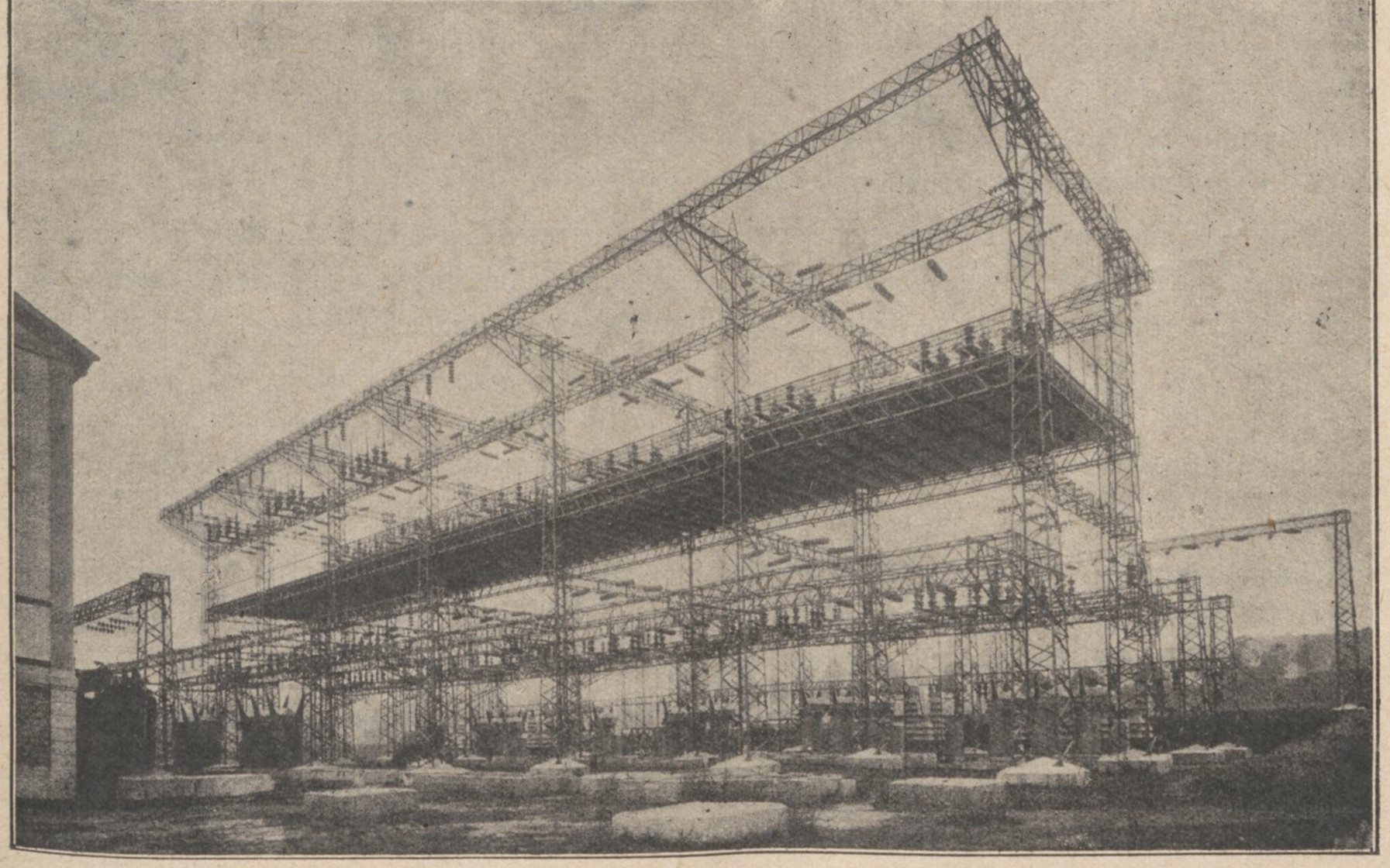
La figure 13 donne une vue d'ensemble des barres-omnibus et des arrivées des lignes 90 k*v*.

Cette disposition rappelle exactement celle décrite en détail pour les postes de transformation de Chevilly et Chaingy et nous n'y reviendrons pas.

Les différentes arrivées de lignes sont protégées au moyen de relais différentiels instantanés et de relais à maxima à action différée comme dans ces postes.

Les groupes de commutatrices sont protégés par des relais à maxima à action différée, type 18 de la Compagnie des compteurs.

Fig. 13. — Vue d'ensemble des barres-omnibus et des arrivées des lignes a 90 Kv de la sous-station d'Etréchy.



b) *Sous-stations branchées en dérivation.* — Sous-stations de St-Michel-Monnerville-Château Gaillard-Les-Aubrais-La Ferté-Nouan et Saint-Chéron (1)

Toutes ces sous-stations ne différant entre elles que par le nombre de transformateurs 90.000/555 *V* qu'elles comportent, nous ne décrirons que la sous-station de Saint-Michel.

Le poste de transformation proprement dit qui constitue également un poste de sectionnement à main des lignes à 90.000 *V* comprend quatre parties principales :

1° Deux jeux de barres 90.000 *V* remplacant les lignes à l'intérieur de la sous-station et sur chacun desquels sont branchées, par l'intermédiaire de sectionneurs, une ligne venant du poste de Chevilly et une ligne allant à la sous-station d'Etréchy ;

(1) Les barres 90 kv des sous-stations Chery-Lury-Issoudun et Chabenet et leurs sectionneurs sont déjà installés. On dispose ainsi en ces points de postes de sectionneurs à main sur chacune des lignes à 90 kv entre Theillay et Eguzon.

2° Les deux alimentations de la sous-station comprenant les sectionneurs, selfs, parafoudres à oxyde de plomb, interrupteurs nécessaires ;

3° Les barres 90.000 *V* de la sous-station ;

4° Les trois transformateurs double hexaphasé 90.000/555 *V* alimentant les groupes de commutatrices avec les sectionneurs et interrupteurs H.T. correspondants.

La figure 14 représente une coupe transversale du poste permettant de se rendre compte de la disposition des divers éléments constitutifs de la sous-station.

Les deux circuits d'alimentation des barres de la sous-station sont protégés au moyen de relais à retour de puissance et de relais à maxima à action différée. Normalement, les deux circuits sont branchés, l'un sur une ligne, l'autre sur l'autre ligne de telle sorte que, si un défaut se produit sur une de ces lignes, le relais à retour de puissance fait déclencher l'interrupteur du circuit d'alimentation des barres de la sous-station branché sur cette ligne et cette sous-station reste alimentée par la ligne saine.

On a vu d'autre part que la protection différentielle prévue dans les postes de sectionnement permettait d'isoler automatiquement toute section de ligne sur laquelle s'était produit un défaut. L'ensemble du système de protection prévu permet donc cet isolement sans arrêt des installations.

Dans le cas où sur une section une seule ligne 90.000 *V* est en service, la protection des installations est assurée uniquement à l'aide des relais à maxima à action différée dont il a été question plus haut.

Commutatrices. — L'étude faite pour l'ensemble de la ligne Paris-Brive et dont nous n'avons résumé les résultats que pour la section Paris-Vierzon conduisait à employer des unités d'une puissance de 3.000 k*w* dans le voisinage de Paris et de 2 000 k*w* au delà.

On ne peut guère admettre une puissance inférieure, deux trains pouvant être appelés à démarrer en même temps au voisinage d'une sous-station, ce qui entraîne une pointe de l'ordre de 5 à 6.000 k*w* si on utilise la pleine puissance des tracteurs prévus.

Dans le but de rendre aussi homogène que possible l'installation de transformation, nous avons décidé d'employer des convertisseurs identiques dans toutes les sous-stations et nous pensons que nous n'aurons pas à le regretter, étant donné les difficultés de mise au point complète de ce genre de machines.

Dans l'état de la technique en 1922, aucun constructeur n'étant en mesure de construire, en donnant des garanties sérieuses de fonctionnement, ni commutatrices, ni redresseurs à vapeur de mercure à 1.500 *V* directs pour une puissance nominale de 2.000 k*w* par machine, nous n'avions donc le choix qu'entre l'installation d'un même nombre de machines de 1.000 k*w* connectées, dans un cas, en parallèle (redresseurs ou commutatrices à 1.500 *V* directs), dans l'autre, en série par deux (commutatrices à 750 *V* par collecteur). Cette dernière disposition a été préférée comme étant beaucoup moins coûteuse du fait de la réduction de l'appareillage haute et basse tension et en raison aussi de sa plus grande sécurité de fonctionnement.

Dispositions générales des commutatrices. — Les commutatrices sont à 10 pôles (100 k*w* par pôle) avec pôles auxiliaires de commutation et circuit amortisseur. Les encoches des induits, au lieu d'être parallèles à l'axe, sont inclinées d'un angle de 3°,23′. Dans ces conditions, le

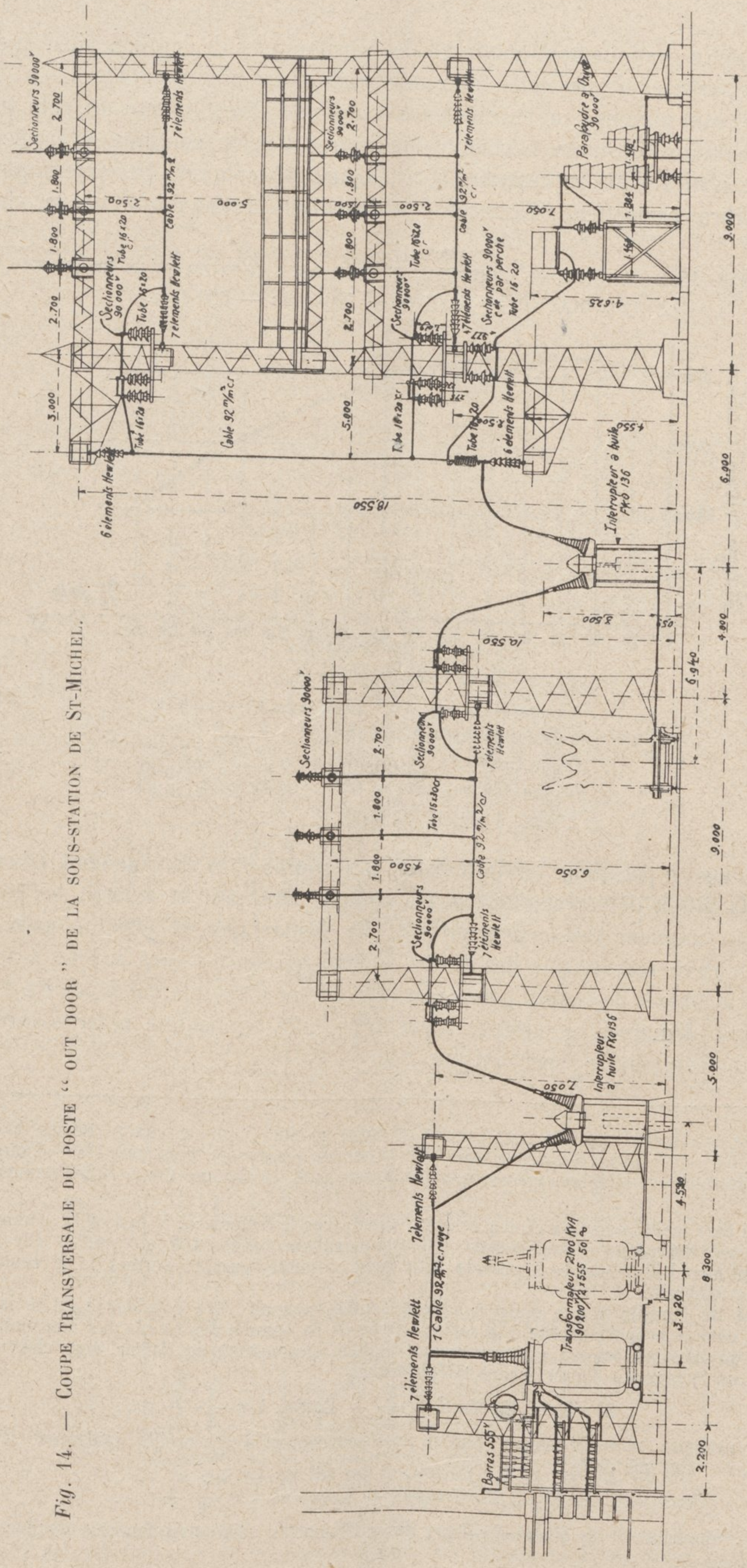
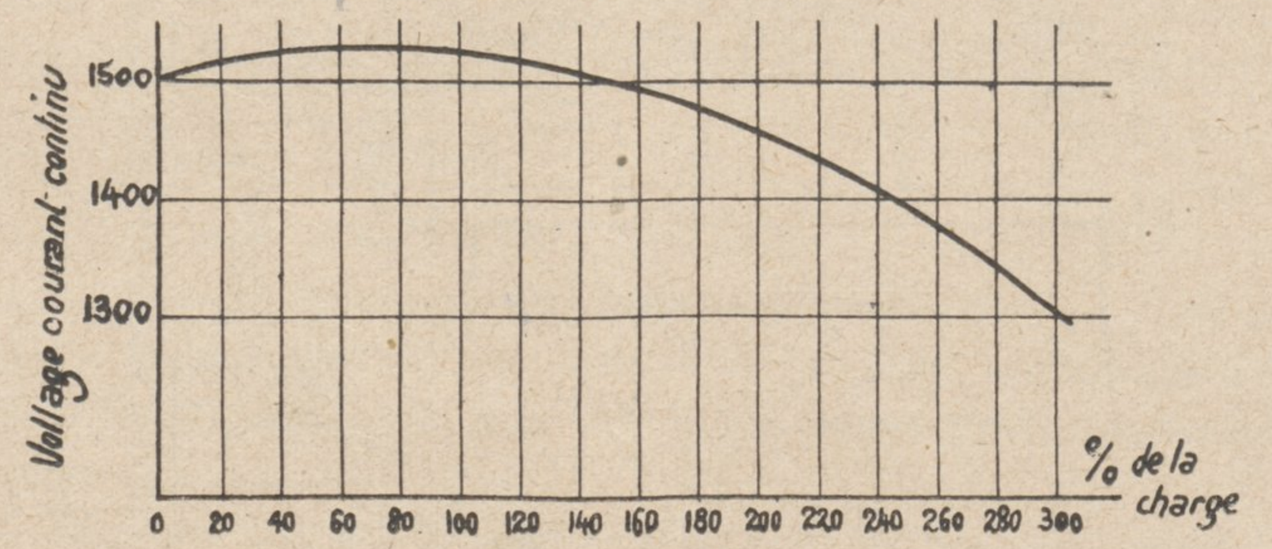


Fig. 14. — Coupe transversale du poste “ out door ” de la sous-station de St-Michel.

courant redressé est pratiquement continu et les harmoniques de denture, ainsi que ceux dus aux connections avec les bagues collectrices, sont réduits au minimum (1).

Ces machines sont munies d'un enroulement compound direct monté du côté terre qui, à tension d'alimentation constante, permet d'obtenir une tension continue légèrement variable avec la charge, ayant l'allure représentée sur la figure 15 ci-après. Des interrupteurs et des barres d'équilibre permettent d'assurer la répartition automatique de la charge entre

Fig. 15. — COURBE DE COMPOUNDAGE POUR DEUX COMMUTATRICES EN SÉRIE (type HCC. 10 — 1000 *kw* — 750 volts — 600 *t. m.*).



ÉTABLIE AVEC :

Amp/tours série = 55 % amp/tours induit.
Transformateur : X = 15 %, *r* = 1 %
Connexions : X = 2 %, *r* = 5 %
Commutatrice : X = 2 %, *r* = 2 %
Voltage primaire constant.

diverses machines en parallèle. Les inducteurs sont munis d'un enroulement amortisseur très puissant qui facilite le démarrage normal par courant alternatif et amortit les oscillations de la machine au moment des courts-circuits. Le démarrage est effectué avec du courant alternatif à tension réduite par des prises à demi-tension prévues sur les transformateurs statiques ; un inverseur de champ permet de faire glisser d'un intervalle polaire l'induit de la machine quand, démarrée en moteur asynchrone, elle donne une polarité inverse de celle désirée quand elle atteint le synchronisme.

---

(1) *Remarque.* — L'étude oscillographique du courant produit à pleine charge révèle la présence d'un harmonique de fréquence 300 d'amplitude 0,66 % et d'un harmonique de fréquence 1.800 d'amplitude 0,2 %. Le facteur d'interférence téléphonique correspondant est 7,29, ce facteur étant défini comme il est expliqué ci-après :

La sensibilité de l'oreille humaine croît très rapidement avec la fréquence, à peu près comme le carré de celle-ci jusque vers 800 périodes par seconde ; elle est maximum pour 1.100 environ et elle décroît ensuite progressivement quand la fréquence augmente. La courbe ci-jointe figure 16 permet de se rendre compte des variations de cette sensibilité.

La sensibilité de l'oreille à une onde complexe semble pouvoir être considérée au moins en première approximation, comme proportionnelle à la racine carrée de la somme des carrés des vibrations élémentaires. Cette relation, qui n'est pas encore rigoureusement établie, permettrait de définir, pour chaque forme d'onde ou de courant, un facteur dit d'interférence téléphonique.

$$\text{Si : } E = E_1 \sin 2\pi \frac{t}{T} + E_2 \sin 4\pi \frac{t}{T} + \ldots.$$

représente par exemple l'onde de tension, tout se passerait comme si une oreille, également sensible à toutes les fréquences, recevait une onde :

$$E' = E_1 \mu_1 \sin 2\pi \frac{t}{T} + E_2 \mu_2 \sin 4\pi \frac{t}{T} + \ldots.$$

où μ_1, μ_2 ..... représentent les diverses valeurs du coefficient ou poids qu'il faudrait donner à chaque onde

Un dispositif de relevage des balais permet d'éviter la détérioration du collecteur pendant la période de démarrage : seuls, deux balais pilotes de faible section restent appuyés sur le collecteur pour fournir l'excitation.

Chaque ligne de porte-balais est entourée d'écrans en carton d'amiante affleurant à une très faible distance du collecteur et formant ainsi pare-flash. Ce dispositif est complété par des

---

pure composante pour représenter la perturbation perçue au téléphone. Le facteur d'influence téléphonique serait alors défini par le rapport des tensions efficaces E′ et E.

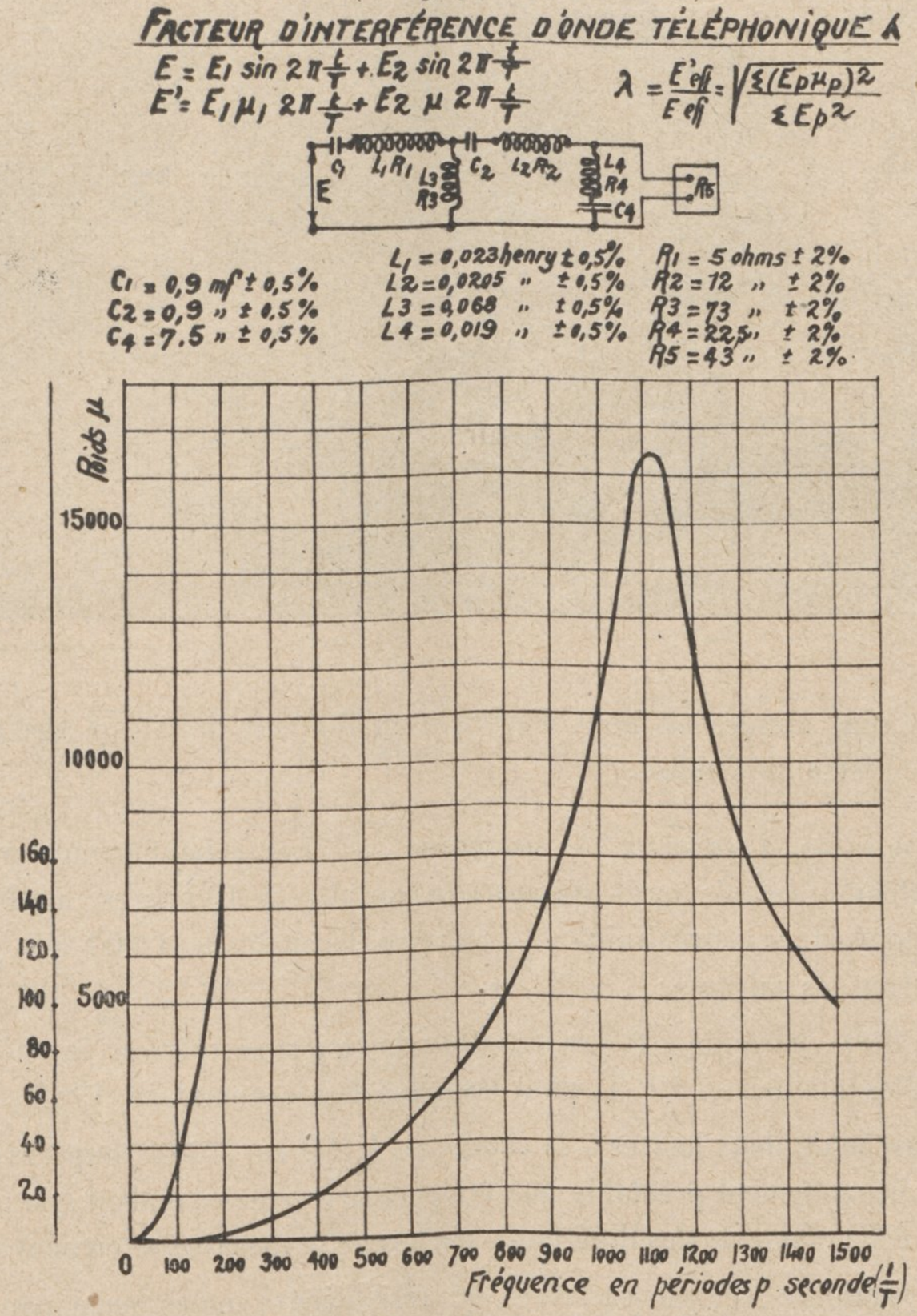
$$\lambda = \frac{E' \text{ eff.}}{E \text{ eff.}} = \sqrt{\frac{\Sigma\ (E_n\ \mu_n)^2}{\Sigma\ E^2_n}}$$

Dans le cas présent, on aura :

$$\lambda = \sqrt{\frac{(750 \times 0{,}0066 \times 500)^2 + (750 \times 0{,}002 \times 3.250)^2}{\overline{750^2} + \overline{750 \times 0{,}0066^2} + \overline{750 \times 0{,}002^2}}} = 7{,}29$$

Au lieu de procéder à l'analyse harmonique de l'onde E et d'effectuer les calculs compliqués correspondant à la définition même de λ, on peut procéder expérimentalement en mesurant l'intensité qui circule dans l'ampèremètre thermique de résistance R_5, quand on applique aux bornes du système de circuits représenté

Fig. 16. — STANDARDS DE L'AMERICAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS (Paragraphes 3278 et 4352).

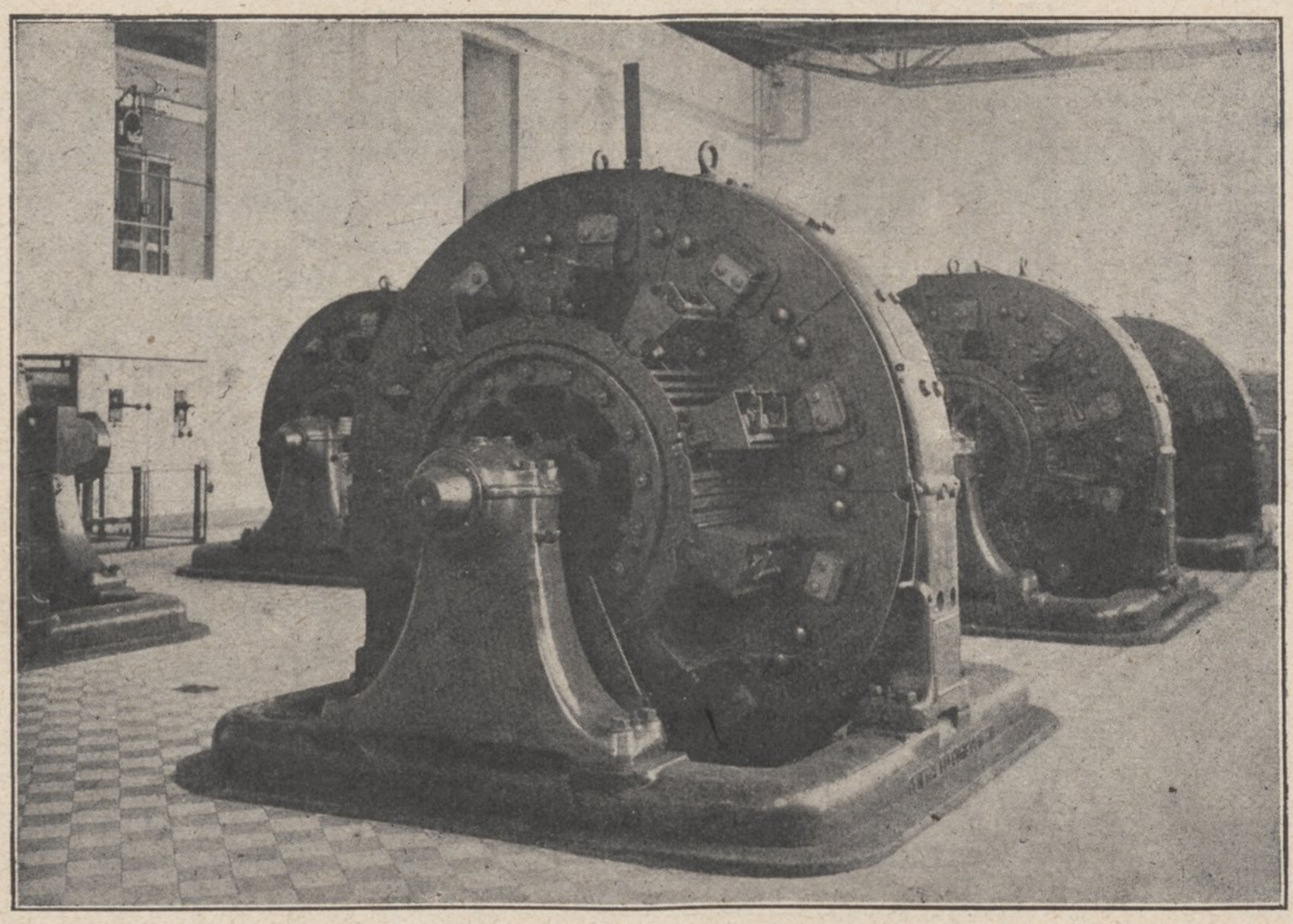


sur la figure 16 la force électro-motrice E. Les valeurs des capacités de réactances et des résistances indiquées sur cette figure ont été calculées de manière à obtenir aux bornes de la résistance R_5, la force électro-motrice E′.

lames isolantes disposées axialement sur la surface du collecteur entre deux lignes de balais consécutives. Ces lames sont inclinées de manière à provoquer l'extinction d'un arc partant d'une ligne de balais.

Des écrans en carton d'amiante de forme annulaire sont placés autour du collecteur contre la carcasse de la machine, afin qu'un arc amorcé aux balais ne puisse sauter sur les connexions voisines ou à la masse (Fig. 17).

Fig. 17. — Vue d'ensemble des commutatrices de traction.



Les machines sont munies en bout d'arbre d'un limiteur de vitesse et d'un dispositif de déplacement transversal de l'induit.

Puissance nominale et capacité de surcharge. — Les échauffements au-dessus de la température ambiante, relevés après une marche continue de 10 heures, au bout de laquelle l'équilibre de température est réalisé pour la charge normale de 1.000 k*w* (1.333 ampères sous 750 volts) sont les suivants :

Pour l'induit, 31° C (garantie 40°, par variation de résistance) ; pour les pôles principaux, 24° ; pour les pôles auxiliaires, 19°,5 ; pour les pôles de compoundage, 19°,5.

Après une marche de deux heures à la charge de 1.500 k*w* (2.000 ampères sous 750 volts) effectuée après échauffement préalable aux températures correspondant à la marche continue à 1.000 k*w*, les échauffements des différentes parties de la machine atteignent :

Induit, 51° C (garantie 55°, par variation de résistance) ; pôles principaux, enroulement shunt, 21°, enroulement compound, 39°,5 ; pôles auxiliaires, 39°,5.

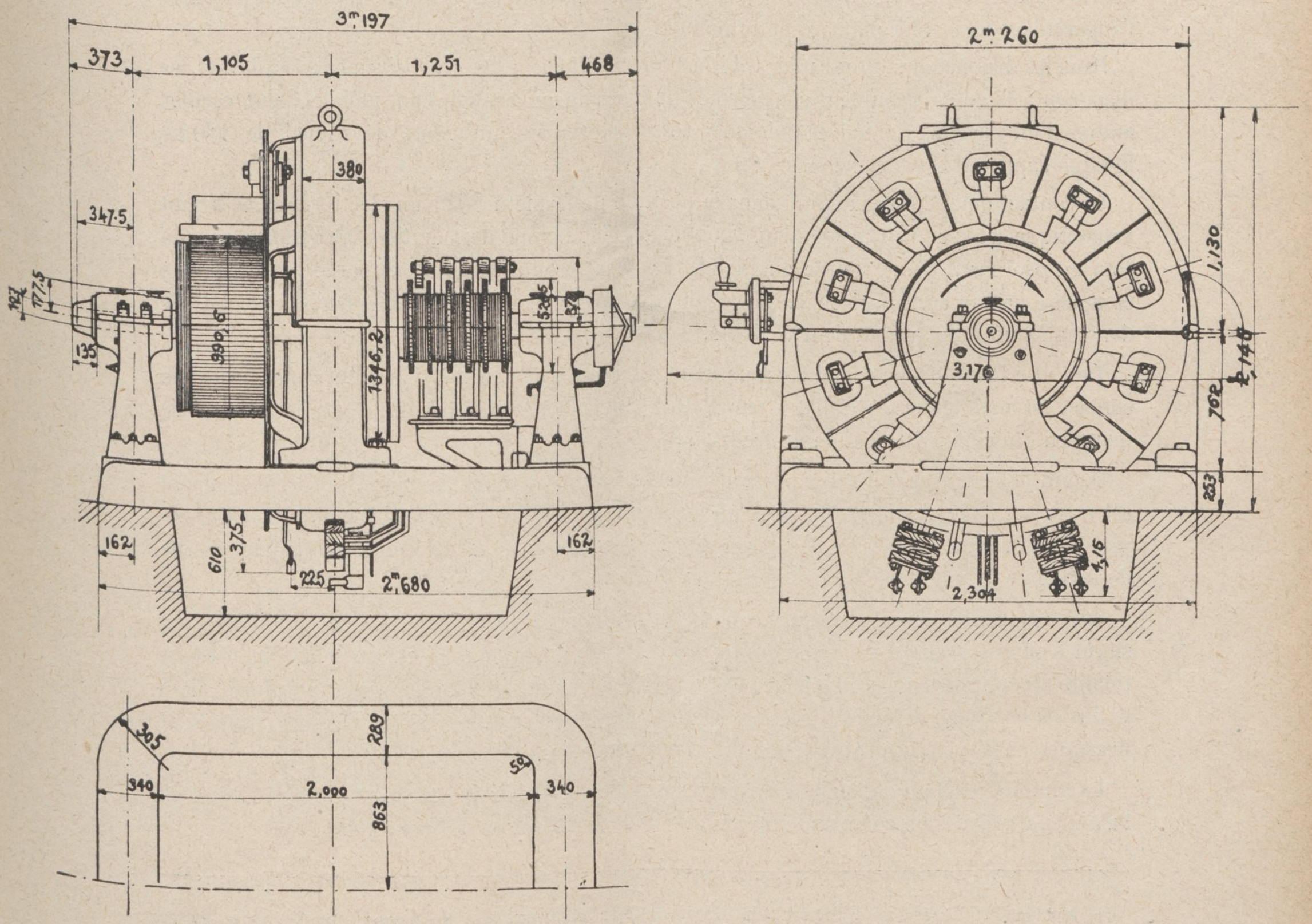
Les machines peuvent, d'ailleurs, fournir sans fatigue une charge de 3.000 k*w* pendant cinq minutes consécutives.

Les pertes et rendements des machines, à différentes charges, sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

Charge.....	0	500 k*w*	750 k*w*	1.000 k*w*	1.250 k*w*	1.500 k*w*
Pertes en k*w*	32	35,2	38,7	43,5	49,5	56,8
Rendements.....	0	93%	95%	95,8%	96,2%	96,3%

La figure 18 donne un schéma des machines ainsi que leurs dimensions principales.

Fig. 18. — Commutatrice de traction (1000 KvA — 600 tours-minute — 750 volts).



Protection des machines et des feeders. — Disjoncteurs ultra-rapides. — Bien qu'il existe (1) en Angleterre, en Australie, en Californie, en France même, des installations à courant continu haute tension fonctionnant parfaitement bien, dans lesquelles on n'a utilisé qu'un appareillage tout à fait analogue à celui employé pour la tension de 600 volts, nous avons eu recours, eu égard aux puissances considérables mises en jeu, aux dispositifs de protection spécialement étudiés pour les installations américaines à 3.000 volts en les renforçant même.

Chaque groupe de commutatrices est, en effet, protégé par deux disjoncteurs ultra-rapides ; le premier, placé sur le négatif, déclenche d'abord, en insérant 0,007 à 0,008 secondes après le début du court-circuit, une résistance de $0,^{\Omega}75$, le second déclenche ensuite et coupe entièrement le courant au bout d'un temps total d'environ 1/50 de seconde. Avec une pareille protection, les groupes de commutatrices de 2.000 k*w* ont pu supporter sans fatigue un essai d'endurance comportant 30 mises en court-circuit consécutives, effectuées aux bornes mêmes des groupes à 1.500 volts à une minute d'intervalle.

Depuis leur installation, ces machines ont supporté. sans aucune fatigue, de très nombreux courts-circuits dont quelques-uns, absolument francs, ont été effectués pour essayer l'appareillage de nos locomotives et automotrices.

Dans les disjoncteurs ultra-rapides de la General Electric C°, exclusivement employés, les deux contacts de l'interrupteur sont formés de blocs de cuivre dont l'un, mobile, peut osciller autour d'un axe sous l'action de puissants ressorts exerçant un effort de rappel de 130 k*g* lorsque l'appareil est enclenché.

Le contact mobile est maintenu dans la position de fermeture par un électro dont le circuit magnétique est excité au moyen d'une bobine appelée bobine de maintien, parcourue par un courant provenant d'une source auxiliaire. Le flux produit par cette bobine tend à être compensé par un autre flux engendré par le courant principal dont une partie est dérivée dans un shunt inductif de valeur réglable.

Tant que le circuit principal n'est parcouru par aucun courant, l'armature du levier de contact est maintenue au collage par l'attraction magnétique produite par la bobine de maintien qui compense l'action des ressorts.

Quand le circuit principal est parcouru par le courant normal, la spire de déclenchement est traversée par un courant qui crée un flux antagoniste à celui de la bobine de maintien, mais dont l'action est trop faible, même ajoutée à celle des ressorts, pour contrebalancer celle de la bobine de maintien.

Supposons maintenant qu'il survienne un afflux brusque de courant. La self induction du shunt s'opposera au passage du courant dans son circuit propre de telle sorte que la presque totalité du courant passera dans la spire de déclenchement. Le flux antagoniste réduira alors le flux de la bobine de maintien à une valeur assez faible pour que les ressorts rappellent brusquement l'armature provoquant ainsi l'ouverture des contacts.

La rapidité d'action de l'appareil est favorisée par la faible inertie des pièces mobiles et l'absence d'organes de commande mécanique pour la libération des contacts.

---

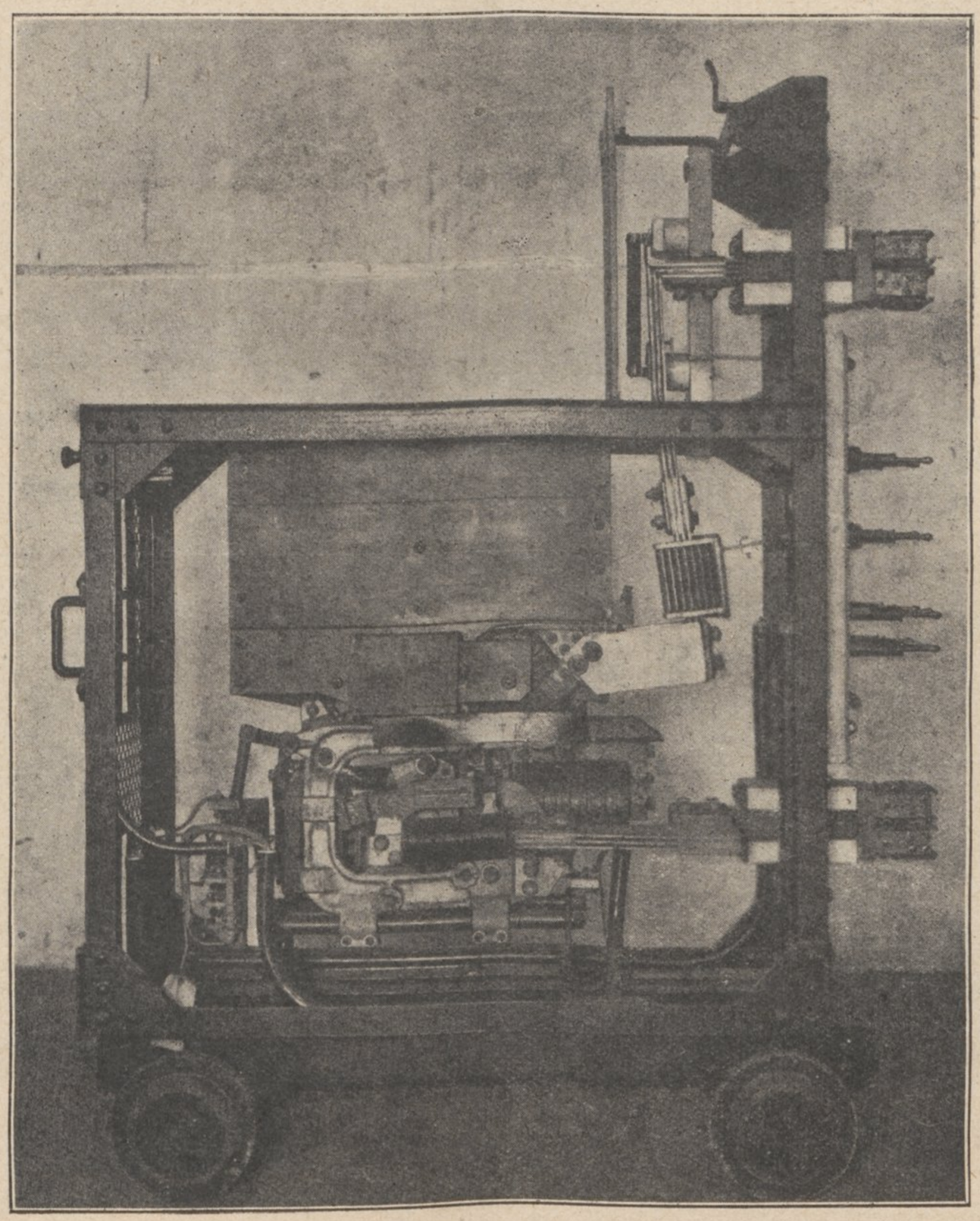
(1) Installations de Shildon-Newport, du Great Eastern Railway, de Melbourne, du Southern Pacific Railway, du Nord-Sud, et de la Mure à Gap.

L'alimentation des bobines de maintien des disjoncteurs des groupes est prise aux bornes d'une des commutatrices. Ainsi, toute baisse exagérée de tension a pour résultat de provoquer l'ouverture du disjoncteur.

Au contraire, l'alimentation des bobines de maintien des disjoncteurs placés sur les feeders est effectuée à 125 volts par la batterie d'accumulateurs. De la sorte, on rend le fonctionnement de ces disjoncteurs indépendant de la tension de service pour le cas où une surintensité passagère et admissible provoquerait une baisse de tension aux abords de la sous-station.

Tous ces disjoncteurs (à l'exception des négatifs des groupes de commutatrices) sont montés sur des chariots représentés sur la figure 19.

Fig. 19.

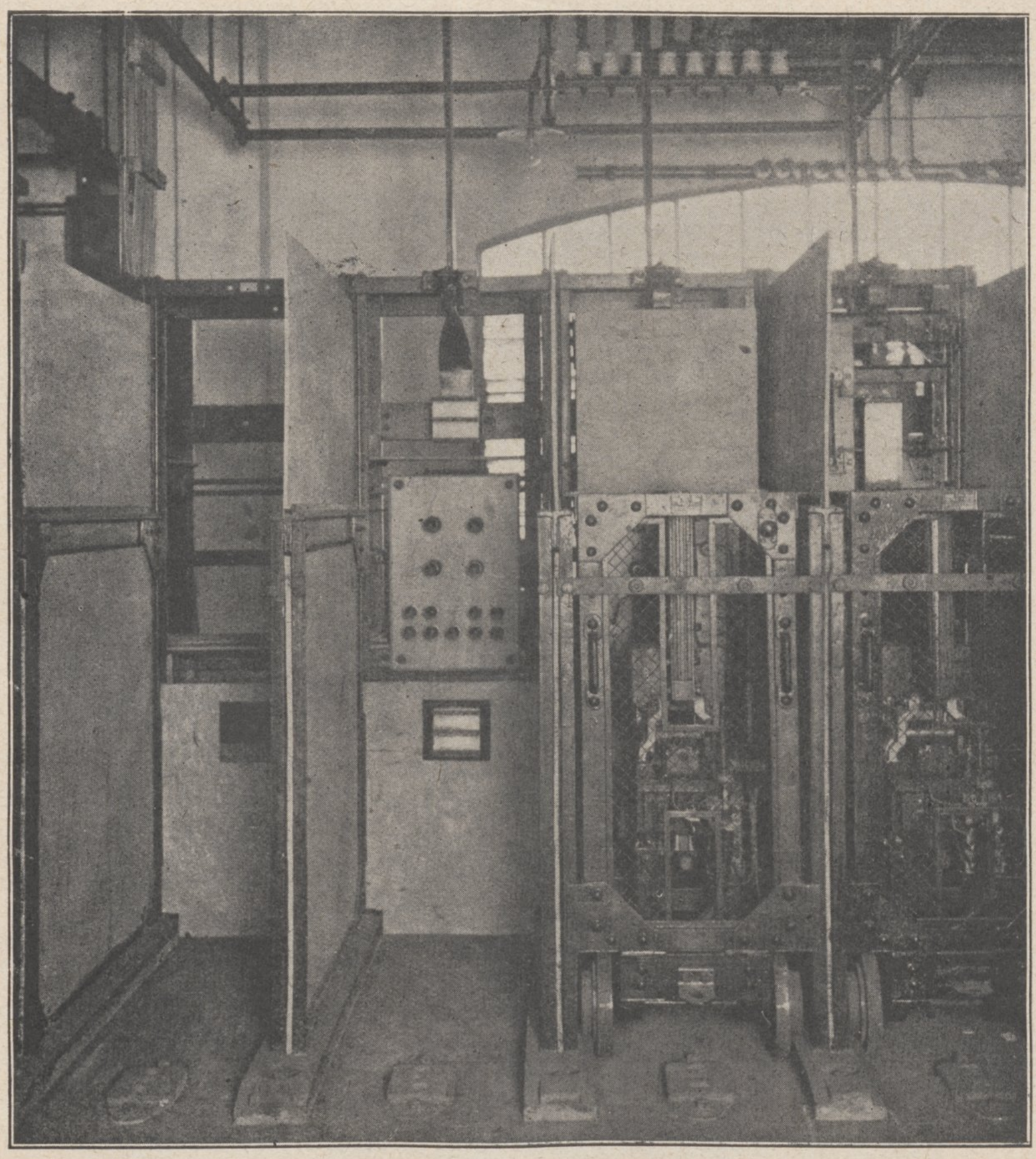


Ces chariots portent, sur leur face avant, deux contacts principaux pour grande intensité (2.000 ampères pendant deux heures) et une série de contacts auxiliaires correspondant à des prises de courant placées à poste fixe dans les niches qui doivent recevoir les chariots.

La figure 20 montre la disposition de ces niches faisant corps avec les armatures-supports de barres omnibus à courant continu des sous-stations. Sur la partie gauche de la figure 20 on aperçoit nettement les contacts fixes correspondant au contact mobile des chariots. Sur la partie droite on voit les chariots en place.

Bien qu'en principe un chariot mobile ne doive être déplacé que quand le courant est coupé sur le circuit correspondant, la disposition des contacts auxiliaires des chariots est telle qu'en

Fig. 20,



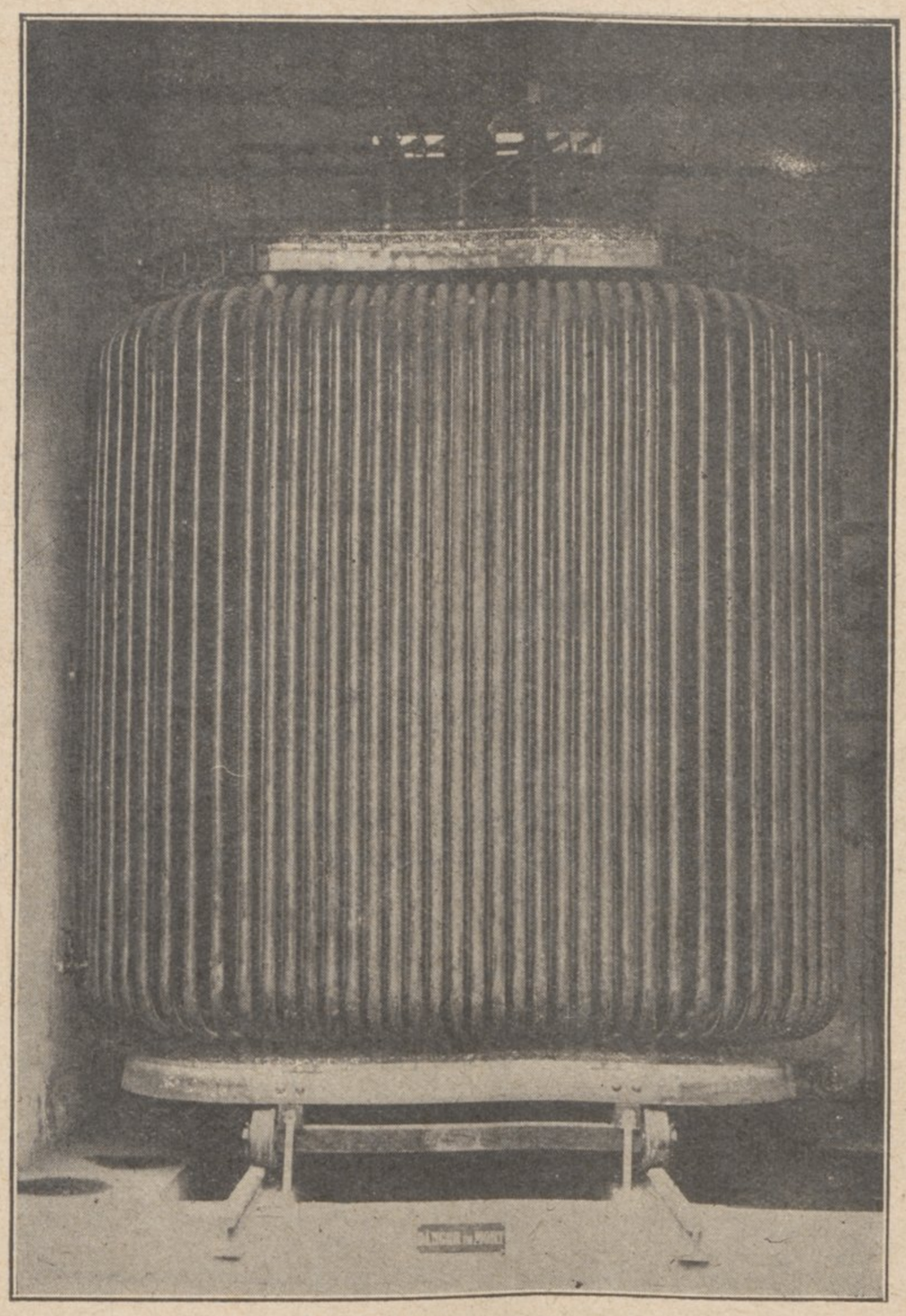
cas de fausse manœuvre, le disjoncteur porté par le chariot s'ouvre automatiquement quand on essaie de le retirer de sa niche. Chaque chariot-disjoncteur sert donc à la fois de disjoncteur ultra-rapide et de sectionneur. Tous ces chariots-disjoncteurs étant interchangeables, en cas d'incident on peut remplacer un appareil par un autre très rapidement après simple mise au point des vis de réglage de l'intensité de disjonction.

La protection des machines contre les surtensions est assurée par des batteries de parafoudres à plaques d'aluminium.

Transformateurs de commutatrices. — Les commutatrices sont alimentées par des transformateurs de 2.100 k*ws* de puissance continue, de deux types différents, l'un à 90.000 *V*, l'autre à 13.200 *V* suivant le mode d'alimentation.

La figure 21 donne une vue d'ensemble de ces transformateurs qui sont tous deux du type à bain d'huile, à refroidissement naturel. Les transformateurs à 13.200 *V*, du type intérieur,

Fig. 21.



ainsi que les transformateurs à 90.000 *V* du type extérieur sont munis de cuves d'acier très résistantes pourvues de tubes assurant la circulation de l'huile et son refroidissement par thermosiphon ; de plus, les transformateurs à 90.000 volts sont munis d'un conservateur d'huile et d'un ajusteur de tension manœuvrable de l'extérieur permettant d'obtenir des variations de $\pm 2{,}5 \pm 5$ % sur le rapport de transformation. Les transformateurs à 13.200 *V* sont munis sur leur couvercle de deux trous d'homme à travers lesquels on peut facilement effectuer les changements de prises pour obtenir les variations de tension précitées.

Le tableau ci-après donne les caractéristiques principales de ces transformateurs ainsi que les résultats généraux des essais de réception.

TRANSFORMATEURS TRIPHASÉS DE 2100 KW A DOUBLE ENROULEMENT SECONDAIRE POUR COMMUTATRICES

	TRANSFORMATEUR à 13.200 *v.*	TRANSFORMATEUR à 90.000 *v.*
Puissance nominale	2.100 k*w*	2.100 k*w*
Fréquence	50 périodes	50 périodes
Tensions normales. primaire	13.200 volts	90.200 volts
Tensions normales. secondaire	555 — 555 volts	555 — 555 volts
Réglage de la tension secondaire par variation du nombre de tours primaires	— 5 % — 2,5 %	— 5 % + 2,5 %
	+ 5 % + 2,5 %	+ 5 % + 2,5 %
Connexions des enroulements. primaires	étoile à neutre isolé	étoile
Connexions des enroulements. secondaires	diamétral — diamétral	diamétral — diamétral
Résistance des enroulements 75° par phase. primaires	0,230 ohm.	20,26 ohms
Résistance des enroulements 75° par phase. secondaires	0,002816 ohm.	0,000291 ohm
Pertes dans le fer	8.900 watts	10.900 watts
Courant magnétisant	2,38 %	2,79 %
Réactance	13,62 %	14,66 %
Induction... noyau	11.700	13.800
Induction... culasse	10.600	12.400
Poids sans huile	13.800	11,5 T.
Poids avec huile	20.200 k*g*	20 T.
Echauffement correspondant à la marche continue à 2100 k*w*... huile	35°5 garantie	44° C garantie
Echauffement correspondant à la marche continue à 2100 k*w*... primaire	36°5 55°	44° C 55°
Echauffement correspondant à la marche continue à 2100 k*w*... secondaire	50°5	43° C
Puissance en surcharge de 50 %	3.150 KVA	3.150 KVA
Echauffement correspondant à une marche de 2 h. suivant une marche de régime à la charge nominale...	43° garantie	49° C garantie
Echauffement correspondant à une marche de 2 h. suivant une marche de régime à la charge nominale... primaire	51°5 60°	55° C 60°
Echauffement correspondant à une marche de 2 h. suivant une marche de régime à la charge nominale... secondaire	70°5	55° C
Rendement aux charges de... 1050 k*w*	98,7 %	98,4 %
Rendement aux charges de... 1575 k*w*	98,8 %	98,4 %
Rendement aux charges de... 2100 k*w*	98,7 %	98,2 %
Rendement aux charges de... 3150 k*w*	98,6 %	97,8 %
Nombre de tours .. primaire	307, 316, 324, 332, 341 324, 333, 341, 349, 358	2.814
Nombre de tours .. secondaire	24 — 24 22 — 22	30
Section du conducteur. primaire	2 (6,3 × 2,3) = 29 m*m*²	7,62 × 0,762 m*m* = 5,8 m*m*
Section du conducteur. secondaire	23 (5,4 × 3,2) = 397 m*m*²	13 (8,89 × 2,794) = 322,89
Courant normal.... primaire	92 *A.*	13,45 *A*
Courant normal.... secondaire	631 *A.*	631 *A.*
Densité à charge normale. primaire	3,17 *A*/m*m*²	2,32 *A*/m*m*²
Densité à charge normale. secondaire	1,585 *A*/m*m*²	1,95 *A*/m*m*²
Essais de rigidité diélectrique. entre primaire et B.T. masse	28.700 *v.* 1′	181.400 *v.* 1′
Essais de rigidité diélectrique. entre B.T. et H.T. masse	4.000 *v.* 1′	4.000 *v.* 1′
Essais de rigidité diélectrique. entre enroulements B.T.	4.000 *v.* 1′	4.000 *v.* 1′
Refroidissement	naturel — cuve à tubes	naturel — cuve à tubes
Dispositifs spéciaux	thermomètre à contact	thermomètre à contact conservateur d'huile Commutateur de réglage du rapport de transformation

46e Année. Janvier 1927. REVUE GÉNÉRALE DES CHEMINS DE FER 1er Semestre. — No 1.

ÉLECTRIFICATION PARTIELLE DU RÉSEAU DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS

Par M. PARODI,

INGÉNIEUR EN CHEF-ADJOINT DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS.

(Suite) (1)

DISTRIBUTION DE L'ENERGIE

Principes généraux

Mode général d'alimentation. — Le courant continu à 1.500 volts produit dans les sous-stations espacées en moyenne de 15 k*m* entre Paris et Etampes et de 25 k*m* entre Etampes et Vierzon, est distribué aux tracteurs par ligne aérienne dans les sections Paris-Vierzon et Brétigny-Dourdan. Cependant, tous les tracteurs peuvent prendre provisoirement du courant sur le troisième rail installé sur les quatre voies entre Paris et Juvisy et sur les deux voies centrales entre Juvisy et Brétigny.

Le courant est capté par les tracteurs : sur les *lignes aériennes,* au moyen de pantographes pouvant être manœuvrés en marche, de la cabine du mécanicien et, *sur les troisièmes rails*, au moyen de frotteurs latéraux manœuvrables à main seulement à l'arrêt, ou à l'air comprimé partout où il n'y a pas de protection.

Les circuits d'alimentation des tracteurs comprennent deux parties :

a) Les circuits constitués par les voies de roulement, circuits négatifs ou de retour, reliés tous les uns aux autres en parallèle ;

b) Les circuits constitués par les lignes aériennes et, dans certains cas, par les troisièmes rails (circuits positifs), isolés les uns des autres de manière à ce que chaque voie puisse être alimentée, le cas échéant, indépendamment des voisines.

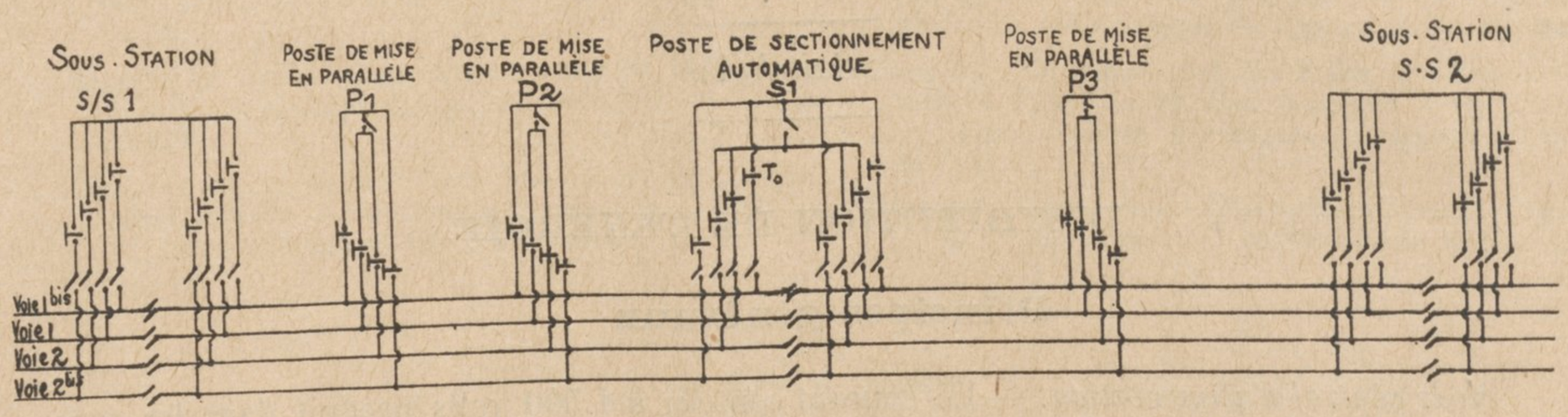
Postes de sectionnement et de mise en parallèle. — Le circuit positif de chaque voie est divisé, au moyen de postes de sectionnement, en éléments distincts ayant environ 7 k*m* de longueur dans la région parisienne et 11 k*m* au delà. Ces postes de sectionnement sont placés au droit de chaque sous-station et en au moins un point intermédiaire entre sous-stations.

(1) Voir *Revue Générale*, Nos de Novembre et Décembre 1925, Février, Mars, Avril, Août et Septembre 1926.

Toutefois, pour permettre aux divers conducteurs, feeders, lignes caténaires et troisièmes rails de participer normalement à la conductibilité du circuit positif, les éléments positifs des voies contiguës sont mis en parallèle en moyenne tous les quatre k*m*. Ces mises en parallèle sont effectuées dans tous les postes de sectionnement et en au moins un poste intermédiaire entre postes de sectionnement et sous-stations.

Dans ces conditions, les chutes de tension totales au point milieu de l'intervalle de deux postes de mise en parallèle successifs ne diffèrent pas de plus de 2% de celles que l'on obtiendrait par une mise en parallèle continue des divers éléments voisins du circuit positif.

Fig. 1. — ALIMENTATION ET SECTIONNEMENT DES LIGNES DE CONTACT DES VOIES PRINCIPALES. DISPOSITION GÉNÉRALE DES SOUS-STATIONS, POSTES DE SECTIONNEMENT ET DE MISE EN PARALLÈLE ET DE LEURS CONNEXIONS AVEC LES LIGNES.



La figure 1 représente schématiquement la disposition des circuits positifs d'alimentation à 1.500 volts dans l'intervalle de deux sous-stations consécutives pour une ligne à quatre voies.

Le sectionnement du troisième rail est toujours exécuté en prévoyant une section neutre de 25 *m* de longueur environ, supérieure à l'écartement des frotteurs de troisième rail installés sur les locomotives les plus longues.

Le sectionnement des lignes aériennes est du type dit à lame d'air. Toutefois, pour les cinq sous-stations de la banlieue parisienne, les sectionnements ont été prévus avec section neutre pour diminuer les risques d'incidents.

Les postes de sectionnement et de mise en parallèle sont, en principe, placés auprès des postes sémaphoriques ; les sectionnements proprement dits de lignes aériennes étant installés immédiatement après les sémaphores intéressés dans le sens de marche des trains, de façon à couvrir ceux-ci par le sémaphore correspondant et aussi à éviter qu'une machine ayant son pantographe en prise et passant d'une section saine dans une section avariée ne fasse déclencher le disjoncteur de la section sous courant. Des signaux spéciaux indiquent d'ailleurs aux mécaniciens les points où, pour une raison quelconque, ils doivent baisser leur pantographe.

Les disjoncteurs automatiques de ces différents postes peuvent être classés en deux catégories :

a) Les disjoncteurs, dits de première catégorie, qui alimentent les voies de circulation générale des trains, sont enclenchés et déclenchés à distance par des électriciens des sous-stations correspondantes ;

b) Les disjoncteurs, dits de deuxième catégorie, qui alimentent les voies n'intéressant que le service intérieur des gares sont enclenchés et déclenchés par les agents des postes d'aiguillage.

Tous ces disjoncteurs sont du même type ultra rapide et polarisés que ceux assurant dans les sous-stations la protection des commutatrices. Dans les postes de sectionnement et de mise en parallèle, les bobines d'enclenchement et de maintien des disjoncteurs sont alimentées à 1.500 et 600 *v* respectivement. Un circuit spécial à 600 *v*, alimenté lui-même par des transformateurs rotatifs placés dans les sous-stations, court tout le long des voies.

Commande à distance (ouverture ou fermeture) des disjoncteurs de première catégorie par les sous-stations. — Pour éviter l'installation de la multitude de conducteurs qu'aurait entraînée la commande individuelle de chaque disjoncteur, on a eu recours à des appareils sélecteurs analogues à ceux employés en téléphonie automatique. Chaque disjoncteur joue le rôle d'un « abonné » ; au lieu d'appeler et de couper l'abonné N° 15, on ferme ou on ouvre le disjoncteur N° 15. Dans ces conditions, avec les sélecteurs prévus, on peut assurer, des sous-stations, la commande à distance de 49 disjoncteurs de chaque côté d'une sous-station, soit de 98 appareils par sous-station avec quatre fils seulement. Chacun de ces quatre fils a une fonction spéciale :

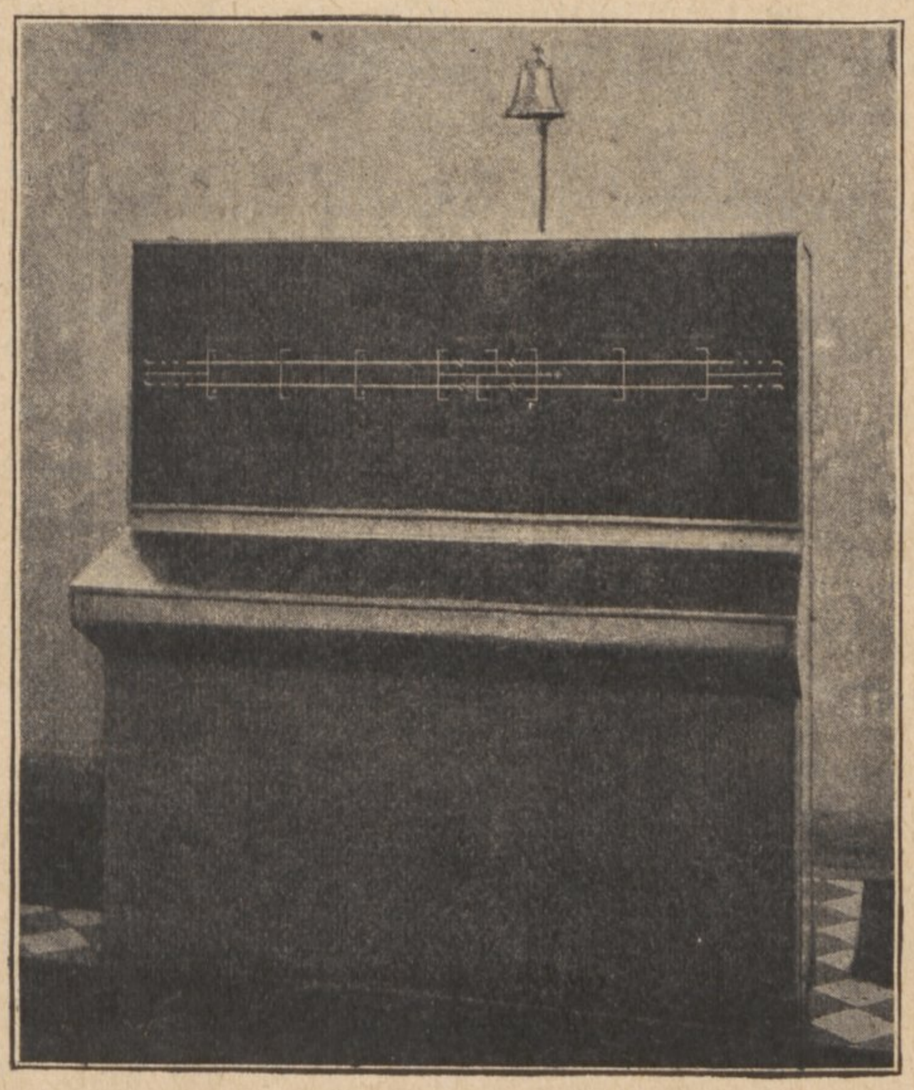
Le premier assure la rotation synchrone des sélecteurs de commande ;

Le second permet d'amener dans le poste « commandé » le courant de commande au moment précis où des sélecteurs viennent occuper la position correspondant au disjoncteur que l'on veut manœuvrer ; les sélecteurs sont alors arrêtés tous dans leur mouvement de rotation jusqu'à ce que la manœuvre complète de l'interrupteur ait été effectuée. A ce moment, les sélecteurs se remettent tous en marche pour revenir au zéro ; ils sont alors disponibles pour une nouvelle manœuvre ;

Le troisième fil sert à faire passer dans le poste de commande un courant de « contrôle » indicateur d'*ordre exécuté* dès que le disjoncteur a fonctionné ;

Le quatrième fil sert de retour commun aux trois circuits de synchronisme, de manœuvre et de contrôle correspondant aux trois fils précédents.

Fig. 2. — Sous-Station de St-Cheron.
Pupitre de commande des disjoncteurs de voies.



Dans chaque sous-station existe un pupitre de manœuvre des sélecteurs comprenant un panneau vertical de signalisation et une table légèrement inclinée portant les manettes de commande et de contrôle des disjoncteurs à raison de deux par appareil : la première manette commande la manœuvre proprement dite, la seconde assure le contrôle. Le panneau de signalisation reproduit le schéma complet des circuits positifs à 1.500 *v* alimentés par la sous-station. Les emplacements des disjoncteurs des postes de sectionnement et de mise en parallèle sont indiqués par un transparent circulaire. Chacun de ces transparents est éclairé en rouge ou en vert suivant que

le disjoncteur correspondant est fermé ou ouvert. Le clignotement des feux rouge ou vert indique qu'une manœuvre de disjoncteur vient d'être exécutée et les feux ne deviennent fixes que lorsque l'électricien de sous-station a marqué la réception de l'avis de manœuvre du disjoncteur en agissant sur la manette de contrôle correspondante.

La figure 2 représente le pupitre de commande des sélecteurs de la sous-station de Saint-Chéron.

Déclenchement à distance des disjoncteurs de première catégorie par les coffrets de voie en cas d'incident. — Des coffrets spéciaux de déclenchement à main en cas d'accident sont répartis le long des voies, tous les 300 *m* environ, à raison de un par voie. Ces coffrets contiennent chacun un petit interrupteur inséré dans le circuit de contrôle des disjoncteurs alimentant l'élément de circuit positif correspondant à la section de voie considérée. En cas de danger, le mécanicien ou le chef de train peuvent, après avoir brisé les scellés de fermeture et ouvert le couvercle du coffret, agir sur l'interrupteur de secours. La manœuvre de cet interrupteur provoque l'isolement instantané de la section de ligne de contact par déclenchement d'abord des disjoncteurs de mise en parallèle des voies, puis des disjoncteurs placés aux deux extrémités de la section.

On voit donc qu'en plus des quatre fils de commande des sélecteurs (un câble à quatre conducteurs) existent le long des voies des conducteurs de commande de déclenchement par « coffret ». Le nombre de ces derniers conducteurs étant égal au nombre des voies.

Les coffrets de déclenchement contiennent également un réceptacle permettant de brancher, au moyen d'un jack, un appareil téléphonique portatif sur une ligne téléphonique omnibus passant par toutes les sous-stations et postes de sectionnement ou de mise en parallèle.

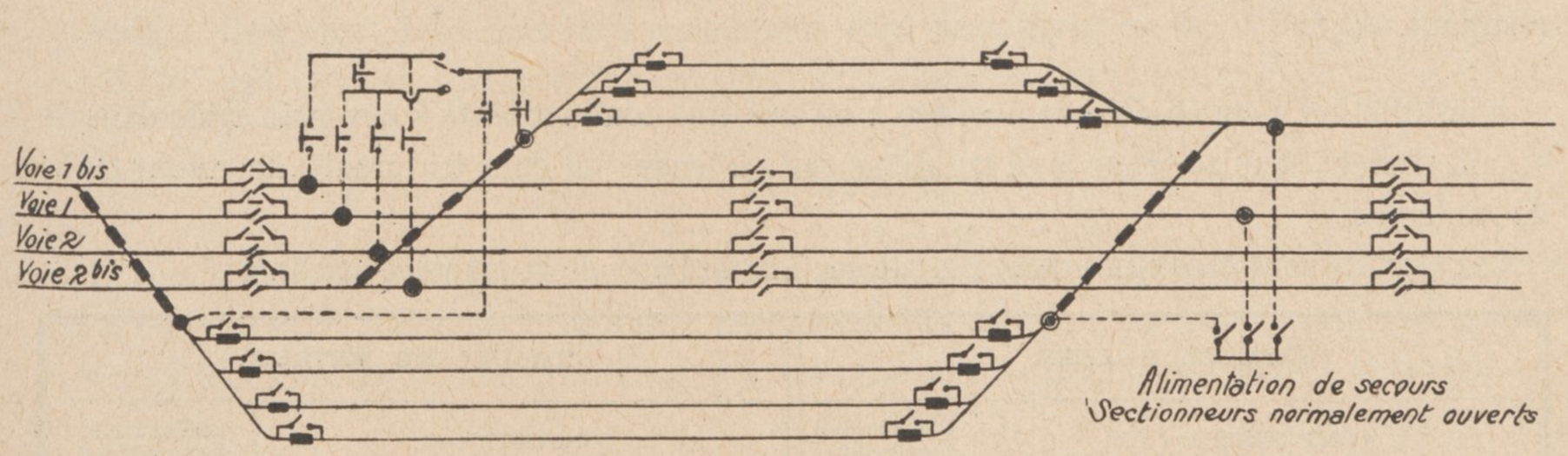
Fonctionnement général de la protection, isolement automatique des sections en court-circuit. — Cette installation permet d'assurer l'isolement automatique d'un élément de ligne de contact, en cas de court-circuit, par fonctionnement sélectif des disjoncteurs ultra-rapides alimentant cet élément.

La polarisation des disjoncteurs empêche le déclenchement des appareils alimentant les sections voisines en parallèle avec celle qui est avariée ; le réglage de l'intensité de déclenchement, fonction de la valeur du courant de court-circuit (I) et de la vitesse de croissance de ce courant $\left(\frac{dI}{dt}\right)$, permet de faire déclencher les disjoncteurs placés aux deux extrémités de la section avant ceux qui alimentent les sections en série avec celle qui est avariée.

Des enclenchements électriques entraînent d'ailleurs l'ouverture de tous les disjoncteurs de la section quand l'un d'eux (disjoncteurs de sous-station, de poste de sectionnement ou de mise en parallèle) vient à déclencher par surcharge.

Alimentation des voies accessoires des gares. — Dans les grandes gares, les lignes de contact des voies accessoires sont alimentées par des feeders branchés par l'intermédiaire de disjoncteurs ultrarapides sur la barre omnibus des postes de mise en parallèle ou de sectionnement voisins (Fig. 3).

Fig. 3. — ALIMENTATION ET SECTIONNEMENT DES LIGNES DE CONTACT DES VOIES ACCESSOIRES.
DISPOSITION GÉNÉRALE.



Lignes de contact.

Pour la tension de 1500 *v*, il est possible d'employer comme conducteur d'alimentation soit le troisième rail, soit la ligne aérienne.

Il résulte toutefois d'essais systématiques que nous avons fait faire sur une voie d'essai de la General-Electric Cº à Erié, que, pour de faibles vitesses comme pour de fortes intensités, l'arc produit au moment de la rupture du courant sur une interruption de troisième rail, peut en amorcer un autre entre troisième rail et masse de la voiture (boîte à graisse du châssis des bogies) en produisant un court-circuit franc et un déclenchement général.

On peut supprimer l'arc de coupure du courant par les frotteurs au passage d'une coupure de troisième rail en employant des tracteurs assez longs pour que l'écartement des frotteurs d'une même machine ou de deux machines jumelées soit supérieur à la longueur de la coupure. On pourrait arriver au même résultat en faisant couper automatiquement le circuit de puissance du train à l'intérieur de la locomotive un peu avant chaque coupure en utilisant des frotteurs auxiliaires.

Sur les lignes électrifiées de la Compagnie d'Orléans, l'alimentation normale est faite par la ligne aérienne et le troisième rail n'a été prévu sur certaines parties de l'installation (voies centrales) que pour faciliter la transformation de la tension d'alimentation sur les lignes de banlieue déjà exploitées électriquement depuis plus de 20 ans avec du matériel à 600 *v*.

L'emploi simultané du troisième rail à 600 *v* et des lignes aériennes à 1.500 *v* sur la section à quatre voies de Paris à Brétigny devait permettre de juxtaposer, sans aucun mélange possible, les deux installations de traction électrique ancienne et nouvelle et de les utiliser : la première avec le vieux matériel roulant à 600 *v* et quelques automotrices spécialement aménagées à cet effet ; la seconde avec le matériel roulant nouveau à 1500 *v*.

Dans la partie en souterrain de Paris-Quai d'Orsay à Paris-Austerlitz, ou coexistent depuis 1900 un troisième rail et une ligne aérienne, l'alimentation à la tension unique de 600 *v* devait être conservée provisoirement pour l'ancien comme pour le nouveau matériel, la durée de trajet dans cette section étant pour le matériel à 1.500 *v* sensiblement la même à la tension d'alimentation de 600 *v* qu'à celle de 1.500 *v* en raison de la fréquence des démarrages et des limitations de vitesse.

Pour des raisons indépendantes de notre volonté, ce programme de transformation n'a pu être rigoureusement suivi, notamment du fait de retards apportés à la mise en service de la ligne aérienne entre Paris, Quai d'Orsay et Juvisy, et nous avons été forcés de faire marcher à 600 *v* du matériel à 1.500 *v* malgré les pertes de temps et les inconvénients multiples qui en résultent.

L'installation a été étudiée de manière à assurer une conductibilité à peu près égale dans le circuit d'aller (ligne aérienne avec troisième rail ou feeder) et dans le circuit de retour (rails de roulement).

Ces circuits sont constitués dans chaque section de ligne de la manière suivante :

CIRCUIT D'ALLER		CIRCUIT DE RETOUR	
CONSTITUTION	Résistance kilométrique	CONSTITUTION	Résistance kilométrique
Section à quatre voies Paris-Austerlitz - Brétigny.			
4 lignes caténaires comprenant chacune :			
2 fils contact de 107 mm^2 (cuivre)....			
1 porteur auxiliaire de 104 mm^2 (cuivre)			
1 porteur principal de 116 mm^2 (bronze téléphonique de 70 % de conductibilité par rapport au cuivre).....	0,011	*8 files de rails* de 42 k*g*, éclissés par railbonds	0,005
2 *troisièmes rails* de 42 k*g*, éclissés par soudure aluminothermique....	0,011		
	0,0055		
Résistance kilométrique globale..... 0,0105 ohms			
Section à quatre voies Brétigny - Étampes.			
4 lignes caténaires comprenant chacune :			
2 fils de contact.....			
1 porteur auxiliaire.....	0,011		
1 porteur principal.....			
4 feeders en cuivre ayant chacun une section de 262 mm^2.....	0,017	*8 files de rails* de 42 k*g*, éclissés par railbonds.....	0,005
	0,0066		
Résistance kilométrique globale..... 0,0118			
Section à deux voies Étampes - Orléans et Orléans - Vierzon.			
2 lignes caténaires comprenant chacune :			
2 fils de contact.....			
1 porteur auxiliaire.....	0,022		
1 porteur principal.....		*4 files de rails* de 42 k*g*, éclissés par railbonds.....	0,010
2 feeders en cuivre ayant chacun une section de 262 mm^2.....	0,034		
	0,0133		
Résistance kilométrique globale..... 0,0233			

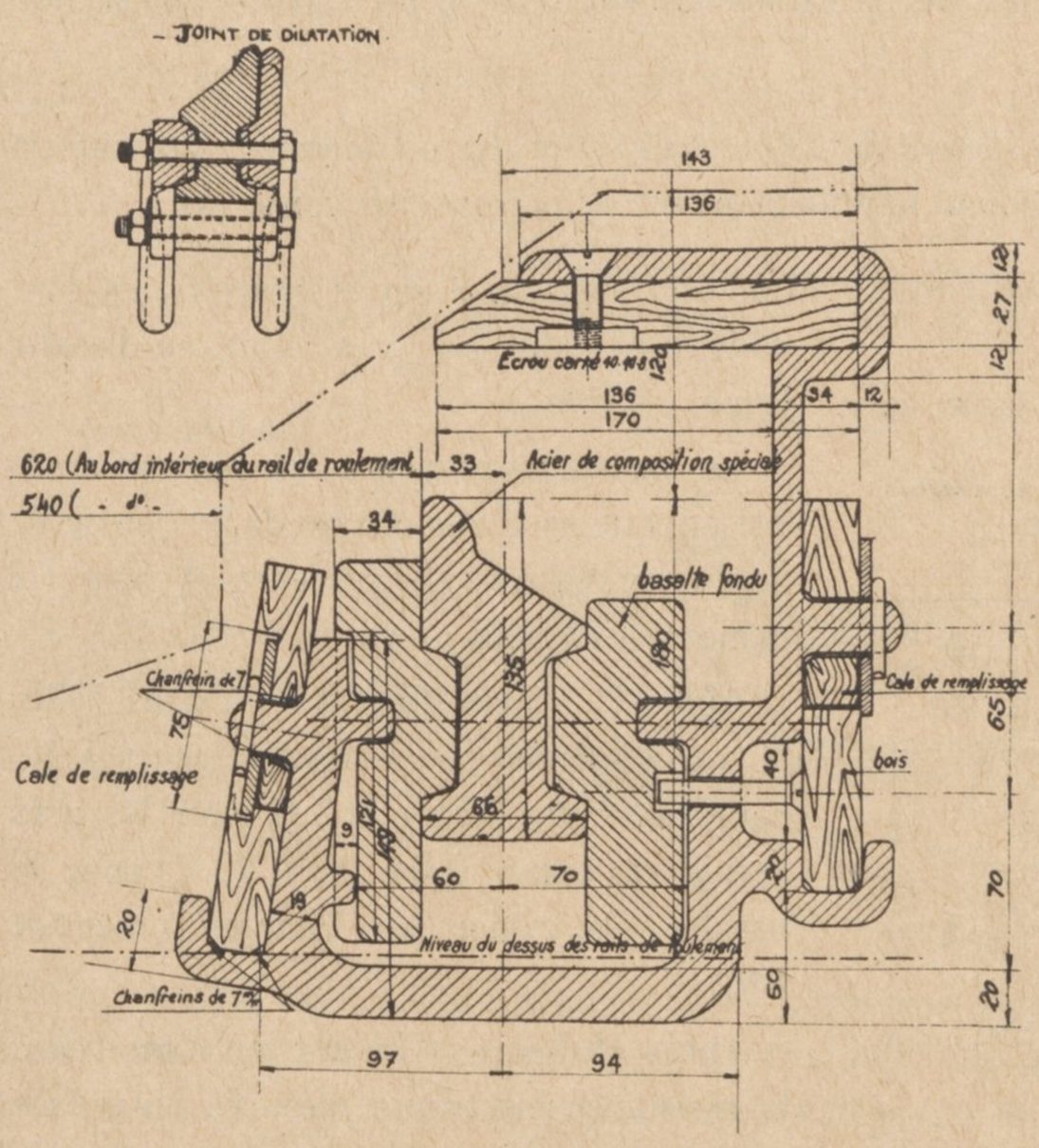
Dans ces conditions, la chute de tension ne dépasse pas, dans les sections à fort trafic à l'heure la plus chargée, 18 % en moyenne et 25 % au maximum.

Il est à remarquer que les chutes de tension les plus élevées ont été trouvées sur la section d'Orléans à Vierzon, bien que le trafic y soit moins important que sur celle de Paris à Orleans. Cela tient à ce que les sous-stations sont plus espacées entre Orléans et Vierzon (25 k*m* en moyenne) qu'entre Paris et Orléans (18 k*m* en moyenne).

I. — Troisième Rail.

Caractéristiques principales. — Le troisième rail, qui est installé sur les voies centrales de Paris-Austerlitz à Brétigny, a la forme représentée sur la figure 4 ; cette forme a été spécialement étudiée en vue d'améliorer la captation du courant au moyen de contacts glissants.

Fig. 4. — Rail de prise de courant.



Alors que dans tous les troisièmes rails actuellement en service la prise de courant s'effectue par contact d'une surface contre une autre surface, dans le troisième rail actuel on veut réaliser un contact ligne contre surface, le frotteur à palettes multiples glissant sur la partie supérieure d'un conducteur mince et arrondi.

Il est facile de constater que, dans le cas du glissement de deux surfaces l'une sur l'autre, du fait des irrégularités de ces surfaces, le contact a lieu par un ensemble de petites régions dont le nombre et la position par rapport au frotteur varient constamment. Il en résulte une production continue d'arcs plus ou moins violents entre frotteurs et rail.

Le contact obtenu avec le rail nouveau est bien meilleur qu'avec le troisième rail ancien également à prise par dessus et l'amélioration obtenue est très apparente la nuit où la comparaison entre le mode de captation du courant sur les voies latérales munies de troisième rail de type ancien et sur les voies centrales munies de troisième rail nouveau se fait aisément.

Pendant l'hiver, au moment où la captation du courant est quelquefois gênée par des dépôts de verglas très isolant et en général très adhérent, le grattage du rail est pratiquement inutile et fût-il nécessaire, il pourra se faire beaucoup plus facilement qu'avec les rails de forme ordinaire, la forme effilée de la surface supérieure rendant le dépôt plus fragile.

Le troisième rail nouveau a une section de 54, 24 cm^2 et un poids au mètre courant de 42 kg.

Ce rail est en acier doux ayant des teneurs en manganèse et en phoshore inférieures à 0,3 % et à 0,6 % respectivement, sa résistivité varie suivant les échantillons de 10,5 à 12,1 microhms centimètres ; elle est donc 6,5 à 7,5 fois celle du cuivre.

La longueur de chaque coupon de rail est de 18 mètres (pour 90 % de la longueur totale), toutefois, en des points spéciaux, on emploie des coupons plus petits.

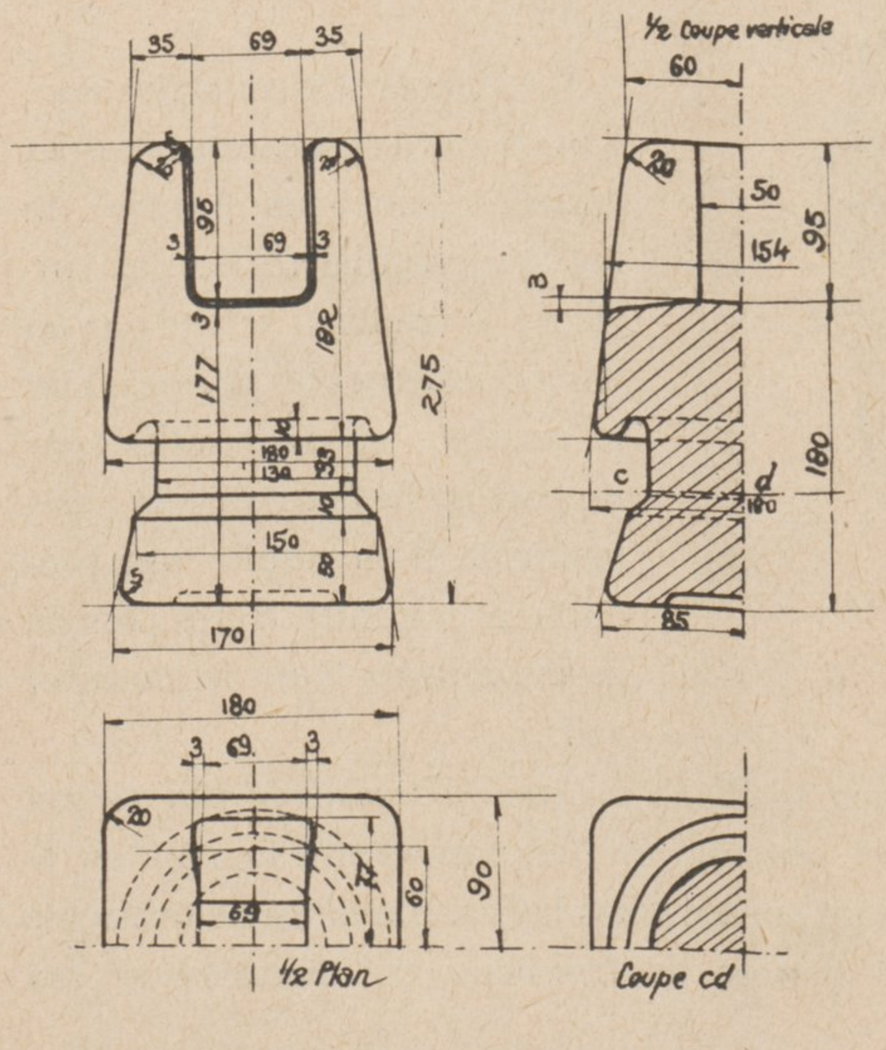
Les tronçons successifs de troisième rail sont soudés les uns aux autres par le procédé aluminothermique. La résistance électrique correspondante par kilomètre est d'environ 0,022 ohm.

Joints de dilatation. — Tous les 250 mètres sont ménagés des joints de dilatation disposés comme il est indiqué à gauche de la figure 4, une éclisse plate fixée à un seul des bouts de rail empêchant les frotteurs de tomber dans l'interruption. La liaison entre rails, de part et d'autre du joint, est assurée par quatre connexions en câble souple de cuivre de 250 mm^2 de section chacune.

Ancrage. — Au milieu de chaque section de 250 mètres est prévu un ancrage. Le rail est serré entre deux mâchoires qui s'appuient latéralement sur deux isolateurs consécutifs.

Isolateurs. — Tous les isolateurs employés sont du type représenté sur la figure 5 ; ils sont constitués soit en grès, soit en basalte armé.

Fig. 5. — Type de blochet et basalte ou en grès.



Les isolateurs essayés à l'écrasement ne se brisent que sous une charge de 50 t environ, appliquée entre face supérieure et base (le cahier des charges prévoyait 10 t).

Après 48 heures d'immersion dans l'eau, la variation de poids des isolateurs a été comprise entre 0,25 % et 1 % pour les grès vernis et entre 0,04 et 0,23 % pour le basalte (le cahier des charges prévoyait 1 %).

Après 48 heures d'immersion dans l'eau, la résistance électrique mesurée entre face supérieure et base sous une tension de 200 $V.$ continue a été trouvée comprise entre 1 à 3 mégohms pour le grès, 0,8 à 2,5 mégohms pour le basalte (le cahier des charges prévoyait au moins 1 mégohm).

Soumis ensuite à sec à une tension alternative croissante à 50 périodes appliquée entre face d'appui du rail et base, on a constaté l'apparition d'effluves

à 50.000 $V.$ pour les isolateurs en grès,

à 12.000 $V.$ pour les isolateurs en basalte.

Protection. — La figure 4 représentant le rail monté avec la protection constituée par trois planches de bois fixées sur une armature métallique au moyen de coins en basalte et de taquets montre nettement la disposition adoptée.

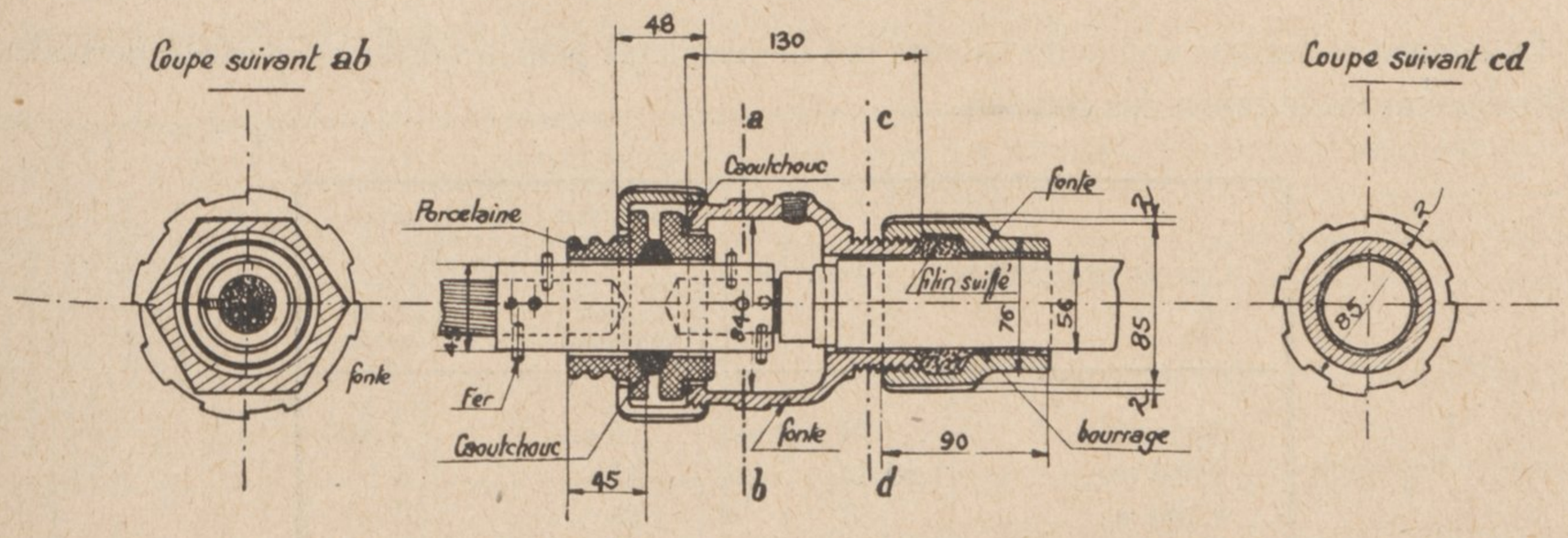
Coupures et plans inclinés. — Au droit de certaines gares ainsi qu'aux passages à niveau, le rail conducteur doit être interrompu pour permettre la circulation dans un cas du personnel et et des chariots à bagages, dans l'autre cas des passants et véhicules de toutes natures. Aux coupures en question, le troisième rail se termine par des parties inclinées ayant de 2 à 5 mètres de longueur suivant les cas pour une dénivellation constante de 70 m*m*.

Câbles de jonction. — Les deux coupons de rail situés de part et d'autre d'une coupure sont réunis par deux câbles en cuivre de haute conductibilité, de 500 m*m*² de section. Ces câbles sont des câbles armés isolés au papier. Les boîtes d'extrémité de ces câbles et leur tête de jonction avec le rail correspondant sont représentées sur la figure 5 *bis*. Ces câbles peuvent supporter sans détérioration l'application :

d'une tension de 4.500 *V*. pendant 30 minutes,

d'une tension de 10.000 *V*. pendant 1 minute.

Fig. 5 *bis.* — Boite d'extrémité de cable de jonction entre 3e rail.
(Raccordement de câble armé avec câble nu de 500 m*m*²).



Eclissage électrique des voies de roulement. — L'éclissage électrique des coupons successifs des rails de roulement est effectué au moyen d'un railbond en câble de cuivre de 180 m*m*² de section (37 fils de 25/10). Ces railbonds sont fixés à l'âme du rail de la manière normale par goupille en acier forcée dans la tête du railbond.

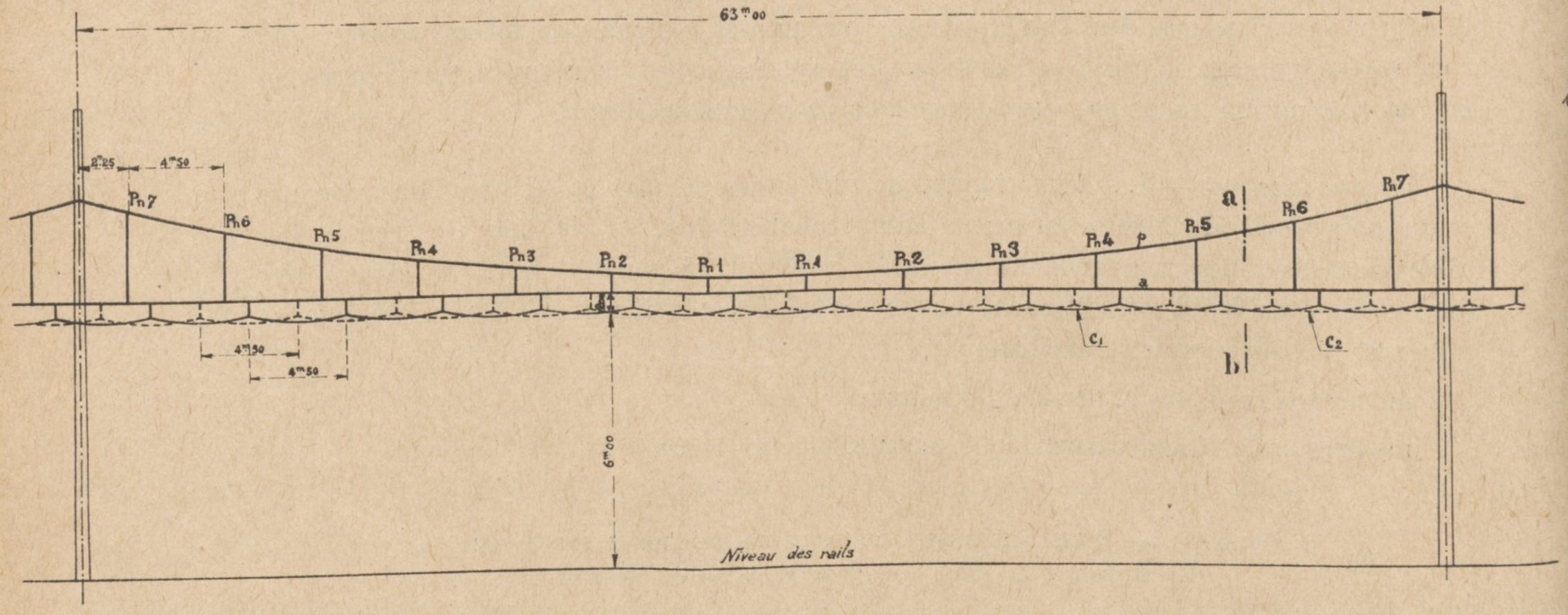
II. — Ligne Aérienne.

§ I. — *Ligne caténaire normale.*

Caractéristiques principales. — La ligne aérienne employée normalement sur les voies principales est du type à suspension caténaire compound à double fil de contact à pendules alternés. La nature et la section des différents conducteurs la constituant ont été indiquées précédemment.

La portée normale qui est de 63 mètres en alignement décroît en même temps que le rayon de courbure de la ligne pour éviter un désaxement exagéré des conducteurs au milieu de la portée. La figure 6 représente une portée normale.

Fig. 6. — Lignes caténaires. Disposition normale (Grandes lignes).



Le tableau ci-dessous donne les valeurs des désaxements pour les diverses portées normales utilisées suivant le rayon des courbes.

RAYONS DES COURBES	PORTÉE	Désaxement du fil de travail suivant la normale à l'axe de la voie	
		au droit de l'appui	au milieu de la portée
Alignement.....	63 mètres	± 10 *cm*	± 5 *cm*
2.000 *m*.....	63 »	17	8
1.400 *m*.....	63 »	25	10
1.200 *m*.....	54 »	20	10
1.000 *m*.....	45 »	17,5	8
800 *m*.....	45 »	21,5	10
700 *m*.....	36 »	15	8
600 *m*.....	36 »	18	9
500 *m*.....	36 »	22,5	10
400 *m*.....	27 »	15	8

Le tableau ci-après donne, pour les portées normales, les caractéristiques de la suspension caténaire, les distances entre conducteurs étant calculées pour les tensions suivantes :

Porteur.....	1760 kg.,	soit	15,18 kg/mm^2
Porteur auxiliaire.....	554 »	soit	5,17 »
Fils de contact.....	975 »	soit	9,1 »

La disposition d'une portée normale est représentée sur la figure 7.

Les caractéristiques des différents conducteurs sont rassemblées dans le tableau ci-dessous :

	CABLE PORTEUR principal	PORTEUR auxiliaire	FILS de contact	FEEDER (1)
Nature du conducteur	Câble de bronze Cu : 99 % Cd : 1 %	fil cuivre	fil cuivre	câble cuivre
Constitution du conducteur	37 brins 20/10	fil rond	fil rainuré	37 brins 30/10
Section	116 mm²	104 mm²	107 mm²	262 mm²
Résistivité à 0°	2,28 micr/cm	1,64 micr/cm	1,64 micr/cm	1,64 micr/cm
Coefficient de température	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039
Diamètre apparent	14 mm	11,5 mm	12,2 mm	21 mm
Poids du mètre courant	1 kg096	0 kg923	0 kg950	2 kg46
Charge de rupture	63 kg/mm²	36 kg/mm²	36 kg/mm²	38 kg/mm²
Limite d'élasticité	57 kg/mm²	29 kg/mm²	29 kg/mm²	
Coefficient d'élasticité	$8,47.10^3$	11.10^3	11.10^3	11.10^3
Coefficient de dilatation	$1,8.10^{-5}$	$1,7.10^{-5}$	$1,7.10^{-5}$	$1,7.10^{-5}$
Coefficient de sécurité, minimum	3	3	2	

(1) Ce feeder est suspendu, dans la section de Brétigny à Vierzon, aux mêmes chaines de suspension que la caténaire normale.

Les pendules reliant le porteur principal au porteur auxiliaire sont de longueur invariable, à la dilatation près, quand ils ont moins de 50 *cm*, les longs pendules sont en deux parties pouvant se déplacer l'une par rapport à l'autre. Deux modèles sont utilisés suivant les sections de ligne considérées, le type Paris-Brétigny et le type Brétigny-Orléans

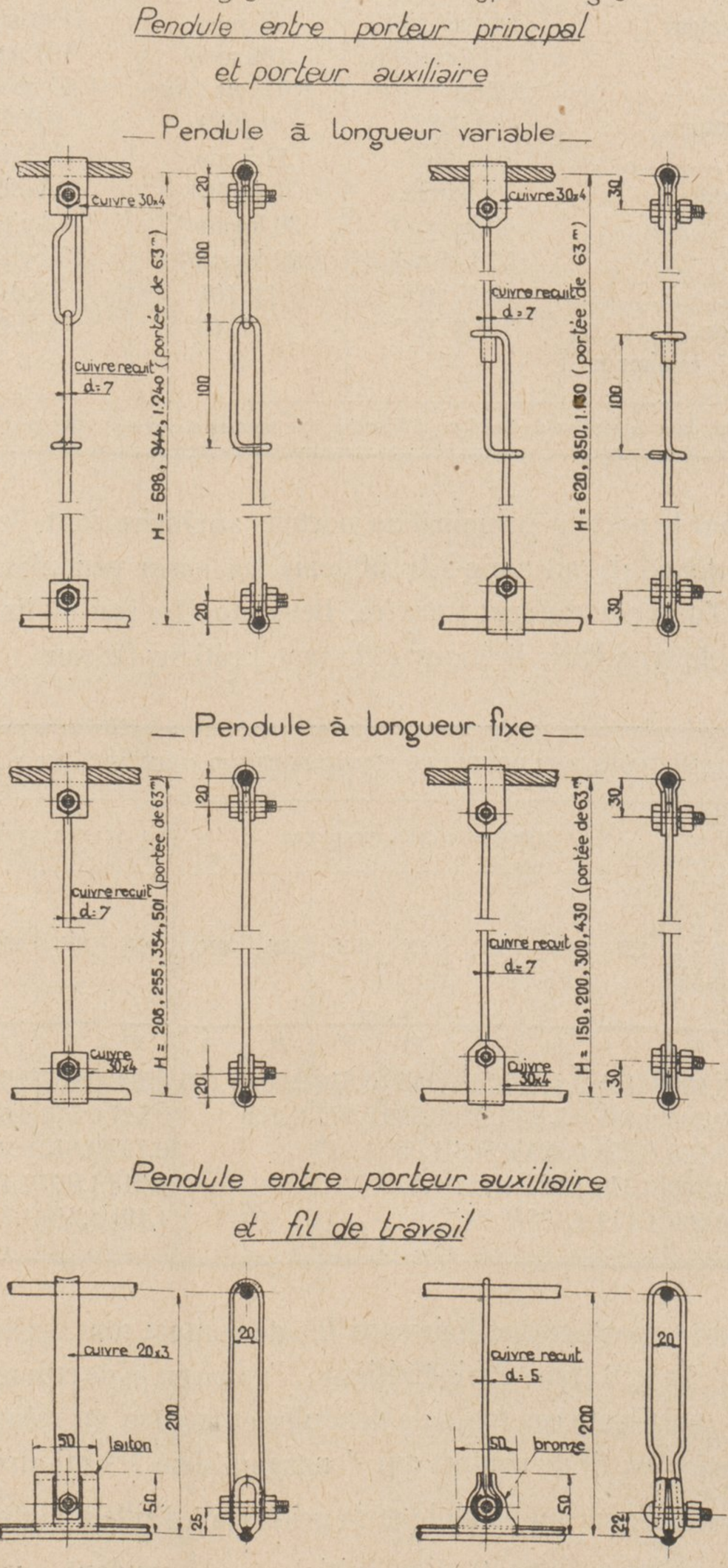
PORTÉES	Hauteur de l'axe de la console au-dessus du rail	Nombre de pendules entre fils de travail et porteurs auxres	Plus courte distance entre porteur principal et porteur auxiliaire	Nombre de pendules entre porteur principal et porteur auxiliaire	LONGUEURS DES PENDULES ENTRE PORTEUR PRINCIPAL ET PORTEUR AUXILIAIRE															Poids de la caténaire isolateurs compris
					Entre fils de travail et porteur auxre		LONGUEUR DES PENDULES							DISTANCE ENTRE AXES DES CONDUCTEURS							
					Longueur des pendules	Distance entre axes des conducteurs	PN_1	PN_2	PN_3	PN_4	PN_5	PN_6	PN_7	PN_1	PN_2	PN_3	PN_4	PN_5	PN_6	PN_7	
m	*m*		*m*		*m*	*m*		*m*	*m*	*m*	*m*	*m*	*m*	*m*	*m*	*m*	*m*	*m*	*m*	*m*	kg
63	8,2	28	0,200	14	0,181	0,200	0,164	0,213	0,312	0459	0,656	0,902	1,198	0,206	0,255	0,354	0,501	0,698	0,914	1,240	275
54	8,2	24	0,521	12	0,181	0,200	0,485	0,534	0,633	0,780	0,977	1,223		0,527	0,576	0,675	0,822	1,019	1,265		237
45	8,2	20	0,791	10	0,181	0,200	0,755	0,804	0,903	1.050	1,247			0,797	0,846	0,945	1,092	1,289			197
36	8,2	16	1,012	8	0,181	0,200	0,976	1,025	1,124	1,271				1,018	1.067	1,166	1,313				159
27	8,2	12	1,185	6	0,181	0,200	1,149	1,198	1,297					1,191	1,240	1.339					120

Les pendules reliant le porteur auxiliaire aux fils de contact sont également de deux types, l'un en cuivre plat de 20×3 (type Paris-Brétigny), l'autre en fil de cuivre de 5 mm (type Paris-Orléans. La figure 7 représente ces types de pendules et montre en même temps la dispositiou des griffes de suspension du fil de contact qui s'engagent dans les rainures de ce dernier.

Les ensembles constitués par un pendule et sa griffe sont d'ailleurs interchangeables.

La caténaire est montée avec une tension initiale correspondant à une flèche de 1 *m*, 206 pour le porteur principal à la température de 15° pour la portée de 63 *m*. Quand la température

Fig. 7 — DÈTAILS DE LA CATÉNAIRE NORMALE



varie, la flèche et la tension des câbles porteurs et auxiliaires varient entre les limites indiquées ci-dessous :

PORTÉES	PORTEUR PRINCIPAL						PORTEUR AUXILIAIRE					
	FLÈCHES ENTRE 2 SUPPORTS CONSÉCUTIFS			TENSION			FLÈCHES ENTRE 2 PENDULES CONSÉCUTIFS			TENSION		
	— 20°	+ 15°	+ 50°	— 20°	+ 15°	+ 50°	— 20°	+ 15°	+ 50°	— 20°	+ 15°	+ 50°
	m	*m*	*m*	kg	kg	kg	*m*	*m*	*m*	kg	kg	kg
63 *m*.....	0,997	1,206	1,454	2.097	1.760	1.500	0,0064	0,014	0,0465	1.210	554	165
54 *m*.....	0,725	0,885	1,068	2.147	1.760	1.458	0,0064	0,014	0,0465	1.210	554	165
45 *m*.....	0,504	0,615	0,741	2.201	1.760	1.410	0,0064	0,014	0,0465	1.210	554	165
36 *m*.....	0,322	0,394	0,475	2.255	1.760	1.354	0,0064	0,014	0,0465	1.210	554	165
27 *m*.....	0,154	0,221	0,267	2.305	1.760	1.300	0,0064	0,014	0,0465	1.210	554	165

La tension des fils de contact peut être réglée en utilisant des dispositifs de règlage saisonnier constitués essentiellement par des tendeurs à vis ayant une course de 40 c*m* placés tous les 1.200 *m* environ ($\pm$ 600 *m*).

Mode de fixation de la caténaire. — La caténaire est suspendue aux consoles ou portiques constituant les supports de la ligne par l'intermédiaire d'étriers supportant une chaîne de deux isolateurs genre Hewlett de 220 m*m* de diamètre, comme il est indiqué sur la figure 8.

Ces isolateurs étant essayés sous une tension alternative croissante, l'amorçage de l'arc se produit aux tensions approximatives indiquées ci-dessous :

	TENSION D'AMORÇAGE sous pluie	à sec
	—	—
Un isolateur « Hewlett » de 220 m*m* (type des lignes caténaires).....	20.000 *v.*	55.000 *v.*
Une chaîne de deux isolateurs de 220 m*m*....	40.000	100.000

Le montage est tel qu'en alignement, il y ait un désaxement normal de $\pm$ 10 c*m* toutes les 3 portées, cela dans le but de régulariser l'usure des bandes de contact des pantographes.

Antibalançants. — Le balancement de la caténaire est empêché au droit de chaque support par un câble transversal qui est relié directement au porteur auxiliaire et qui est relié au support par l'intermédiaire d'isolateurs.

Dans les courbes, la verticalité de la caténaire est assurée en outre par des « antibalançants » à griffes reliés d'une part aux fils de travail, d'autre part au câble transversal isolé ou au support.

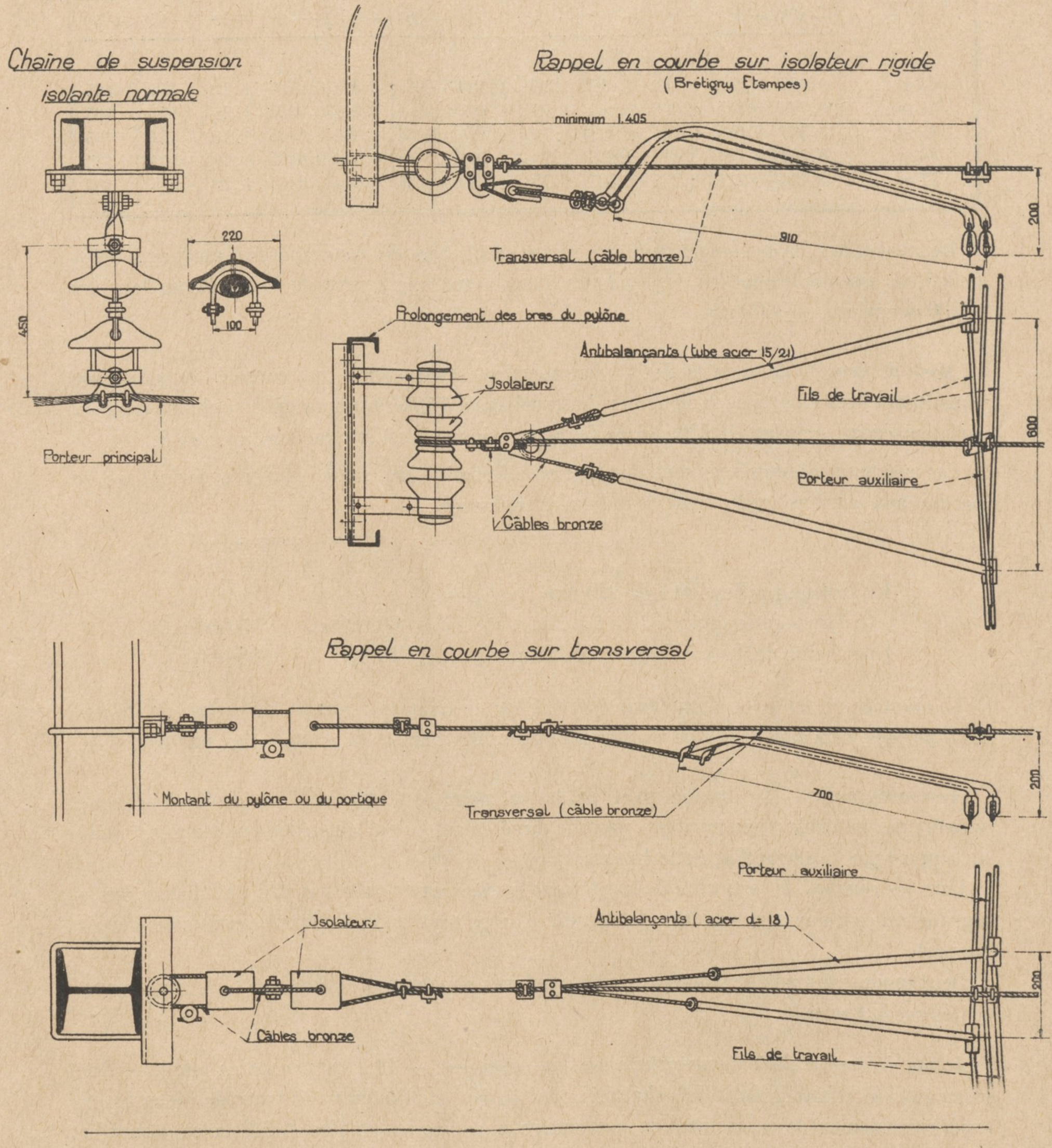
Deux modes de montage principaux sont employés pour ces antibalançants ; ils sont représentés sur la figure 8.

Action du vent et de la température sur la caténaire. — 1° *Désaxement en plan.* — Des essais ont été effectués dans les chantiers de Juvisy et Brétigny en vue de déterminer expérimentalement le désaxement de la caténaire pour diverses portées et différentes valeurs du vent transversal et de la température. Ces essais ont montré que, pour la portée de 90 *m* avec

la tension de 14 kg/mm^2, le désaxement correspondant à un vent de 120 kg par m^2 était supérieur à la course possible sur les pantographes les plus larges (1).

C'est pour cette raison que nous avons limité à 63 m la portée maximum en alignement, nous réservant toutefois d'utiliser des portées de 90 m dans les parties de ligne abritées.

Fig. 8. — Détails de la Caténaire normale.



(1) La course admissible sur l'archet d'un pantographe est d'environ + 55 cm.

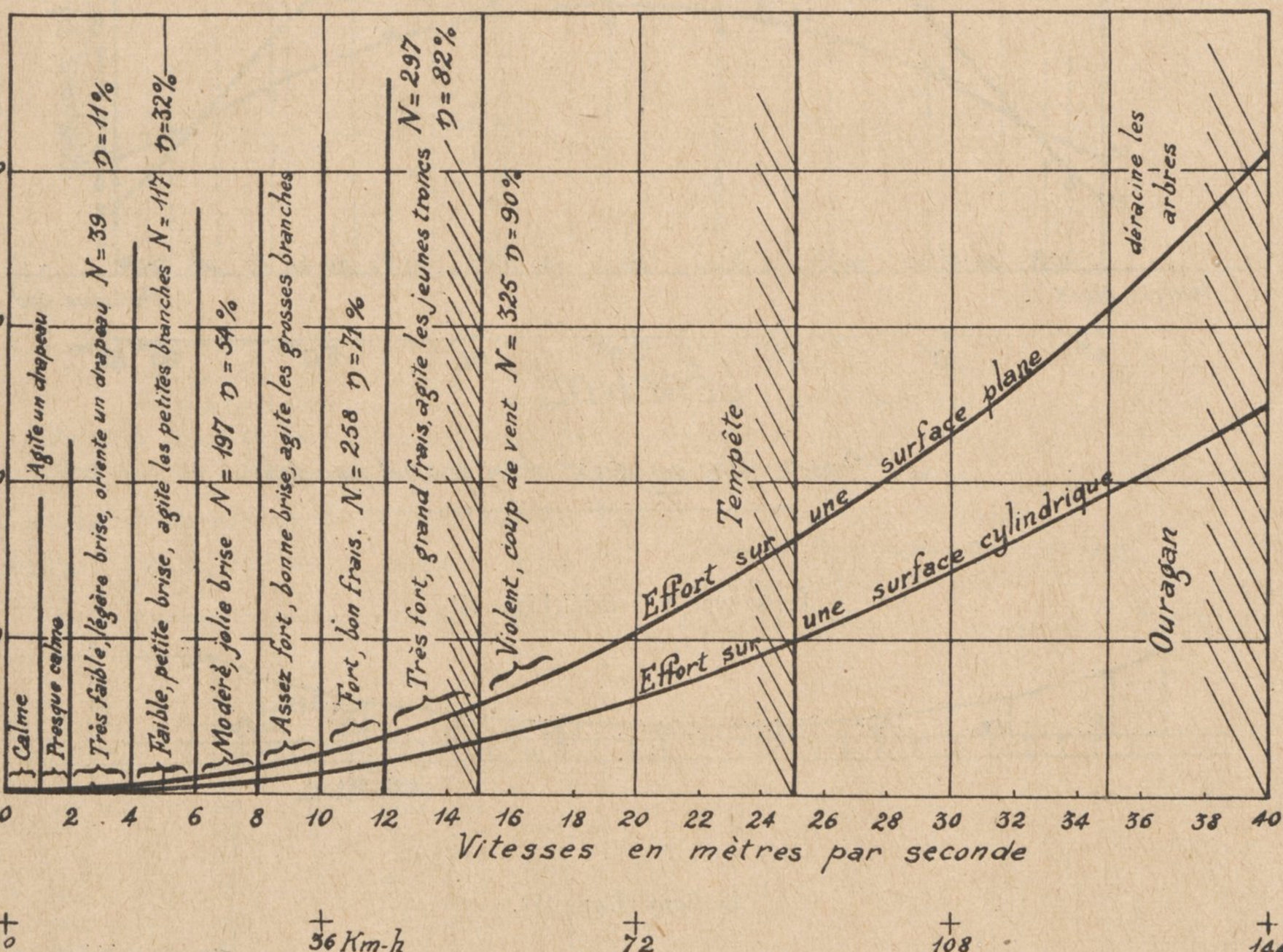
Le tableau ci-après indique les résultats des essais pour des portées de 63 *m* et un vent de 120 kg par m^2.

TYPE DE LIGNE	TEMPÉRATURE	TENSION DES CABLES			DÉSAXEMENT MOYEN DES FILS DE CONTACT	
		Porteurs principaux	Porteurs auxiliaires	Fils de contact	aux portiques	au milieu de la portée
		kg	kg	kg	cm	cm
P_1	+ 50°	1.350	230	2 × 720	11	99
	+ 15°	1.590	850	2 × 1.000	7	56
	— 20°	1.850	1.350	2 × 1.700	4	28
$G.R_3$	+ 50°	1.790	800	2 × 775	4,2	55,5
	+ 15°	2.120	1.160	2 × 1.030	4,2	42,5
	— 20°	2.540	1.690	2 × 1.600	3,5	30,5

Il y a lieu de remarquer que les vents de 120 kg ne se produisent pas dans nos climats quand la température est très élevée.

Le figure 9 donne pour nos régions la répartition moyenne des vents dans le courant de

Fig. 9. — PRESSION DES VENTS.



N = Nombre de jours par an pour lesquels il y a des chances d'avoir un vent plus faible.

η = Probabilité d'avoir un vent de force plus faible que celui considéré.

l'année, nombre de jours par an pour lesquels il y a des chances d'avoir un vent plus faible que celui défini en abscisses par sa vitesse.

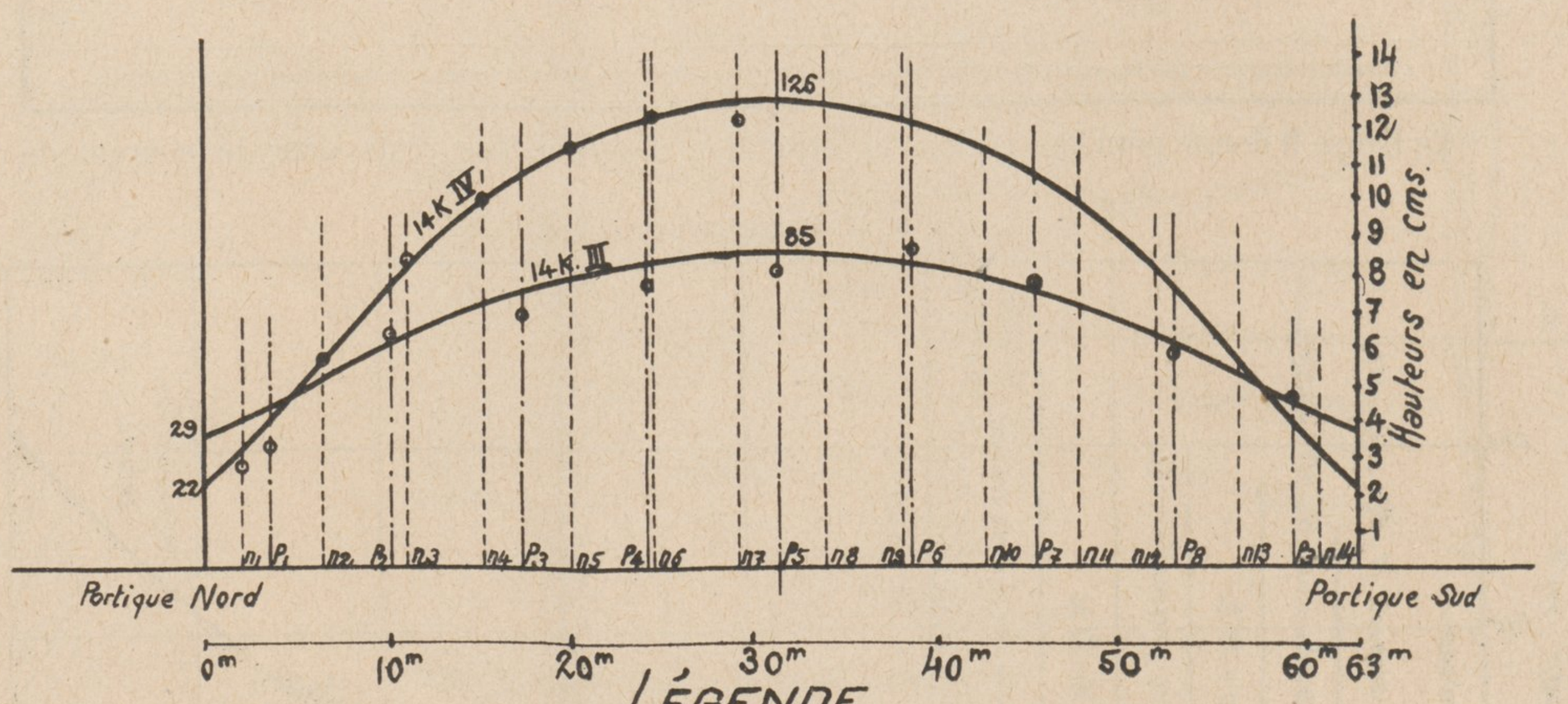
2° *Flexibilité.* — Des essais de flexibilité ont eté effectués en vue de déterminer le soulèvement « statique » de la ligne (vitesse de déplacement du pantographe faible) pour différents types de ligne, diverses portées et des tensions variables.

Ces essais ont été effectués pour des efforts verticaux de 14 et 28 kg.

La figure 10 donne le résultat des essais effectués sur les lignes type III et IV pour un effort vertical de 14 kg.

Fig. 10. — Lignes catenaires. Comparaison de la flexibilité a + 50°

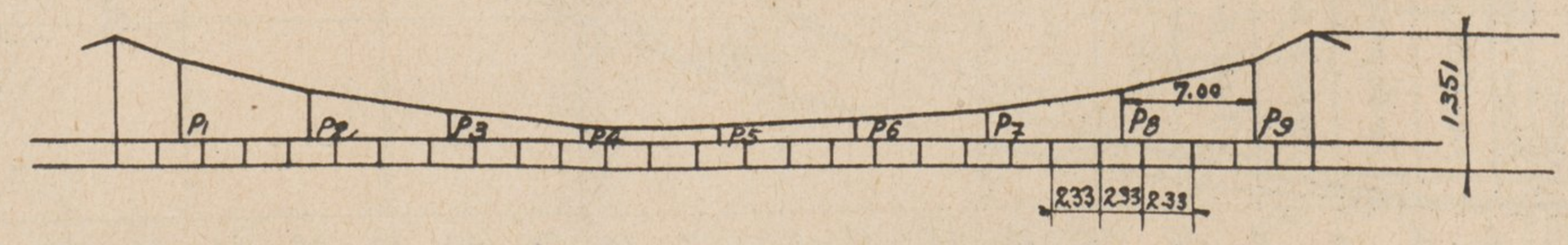
entre les essais du { 16-1-23 à Juvisy ligne III (Sté des Grands Réseaux).
23-1-23 à Bretigny ligne IV (Sté Parisienne).



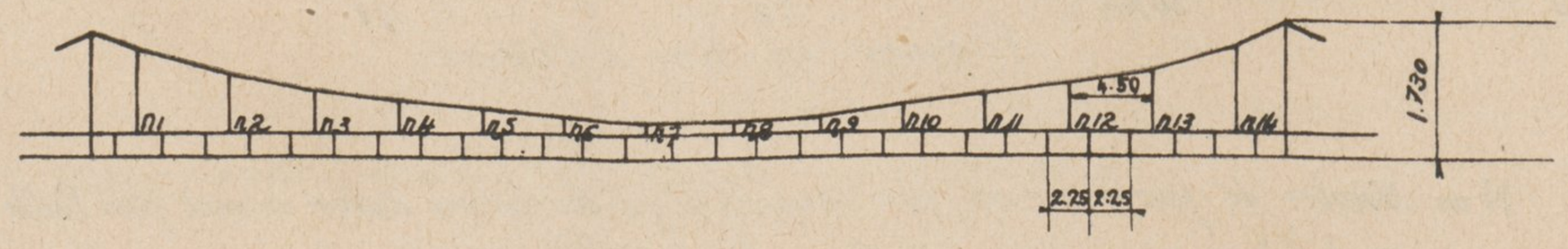
LÉGENDE

o Mesure faite au droit d'un grand pendule.

Juvisy type A modifié (Ligne III).



Brétigny (Ligne IV).



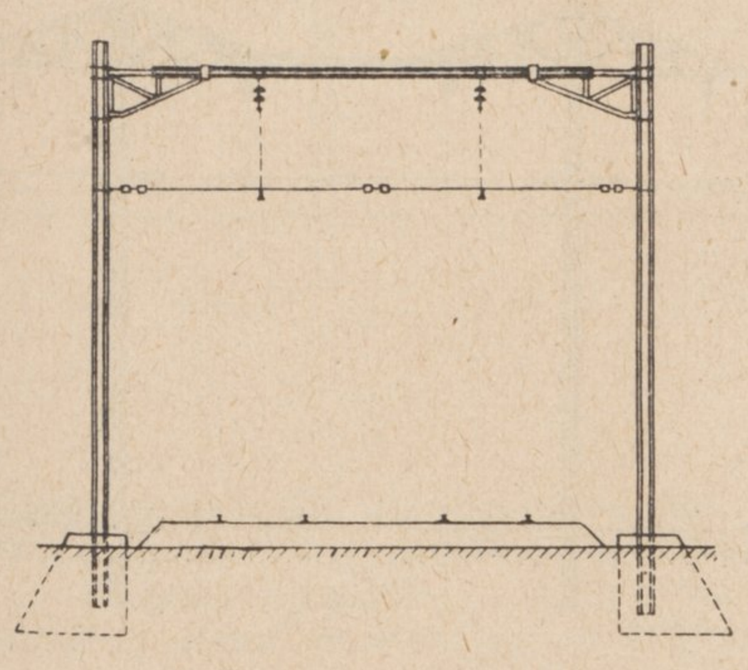
§ 2. *Supports de la ligne caténaire normale.*

Le type de support varie avec les circonstances locales ; nous ne donnerons ici d'indications précises que sur les pylônes et portiques normaux.

Les tableaux des figures 11 *bis* et 11 *ter* donnent les caractéristiques principales des supports

Fig. 11. — SUPPORTS NORMAUX DE LIGNES CATENAIRES. (Lignes à 2 voies).

Portique normal



H Montants _ en poutrelle de 200 à 260
hauteur hors massif 9m000
hauteur encastrée 1m500
Volume du massif de béton ..... 2,m3750 à 3,m3750
Ecartement des montants, variable ..... 8,m400 à 11.m200

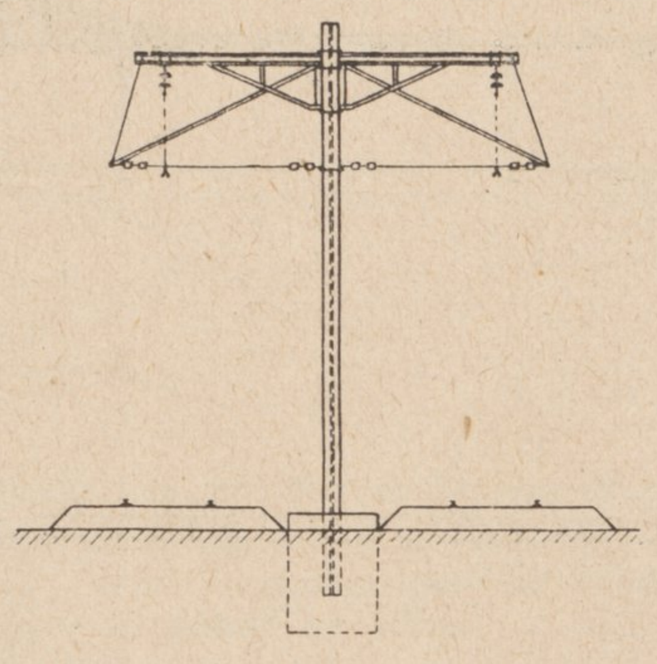
Consoles _ en cornières de 50 x 50, longueur ... 7m850

Poutre _ ɔc en fers U de 120x55, longueur 7m960

Poids du portique en poutrelles de 200 ..... 1669 kgs

Rayon des courbes	Portée de la caténaire	Profil correspondant des poutrelles des montants
∞	63 m	200 x 200
2000 m	63 .	220 x 220
1400 .	63 .	220 x 220
1200 .	54 .	220 x 220
1000 .	45 .	220 x 220
800 .	45 .	220 x 220
700 .	36 .	220 x 220
600 .	36 .	220 x 220
500 .	36 .	220 x 220
400 .	27 .	220 x 220

Pylône à double console



I Montant _ en poutrelle de 280
hauteur hors massif 9m000
hauteur encastrée 1m500
Volume du massif de béton 6 m3000

Consoles _ ɔc en fers U de 120x55, longueur 3m400x2
et cornières de 50x50

Jambes de force en tube acier de 40/49

Haubans en fil acier rond de 12

Poids du pylône ..... 1700 kgs

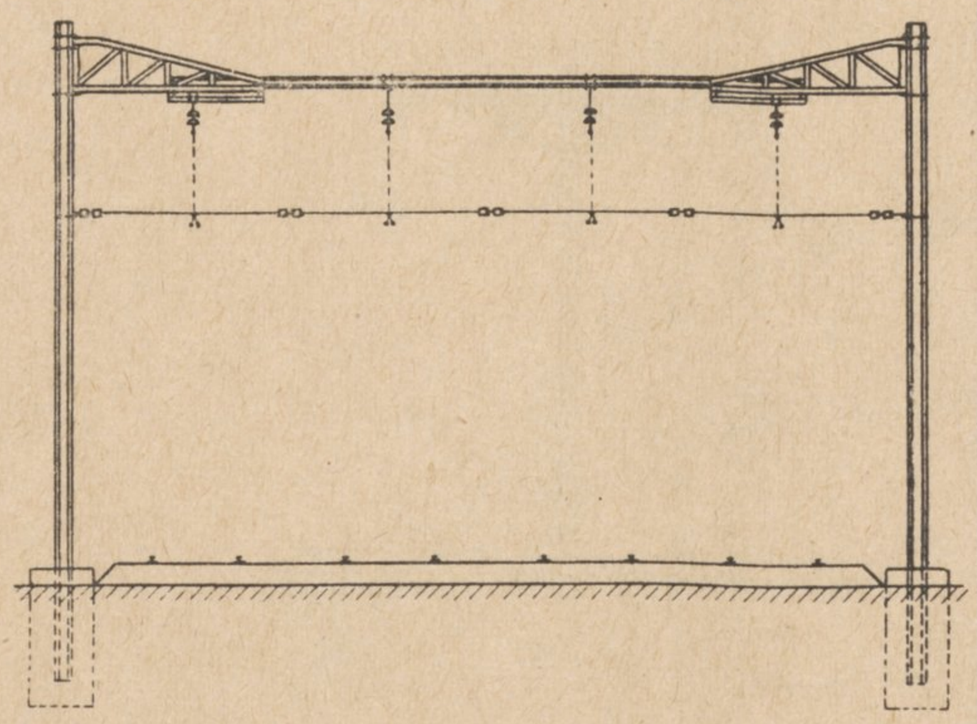
employés normalement sur les voies principales. Ils sont représentés sur ce tableau ainsi que sur les photographies (Fig. 12, 12 *bis* et 12 *ter*).

Dans certaines grandes gares on a réalisé des portiques spéciaux de grande portée qui supportent à la fois les lignes de contact des voies principales et celles de plusieurs voies accessoires équipées en caténaire simple. Ces portiques spéciaux se rattachent à deux types principaux représentés sur les figures 13 et 14.

Fig. 11 bis. — SUPPORTS NORMAUX DES LIGNES CATENAIRES. (Lignes à 4 voies).

Portique normal

(Paris - Brétigny)



H Montants en fers U entretoisés de 260 à 300

hauteur hors massif 10m000

hauteur encastrée 2m000

Volume du massif de béton 4m3820

Ecartement des montants, variable .. 15m280 à 18m280

Consoles en cornières de 60 x 60, longueur ... 3m400

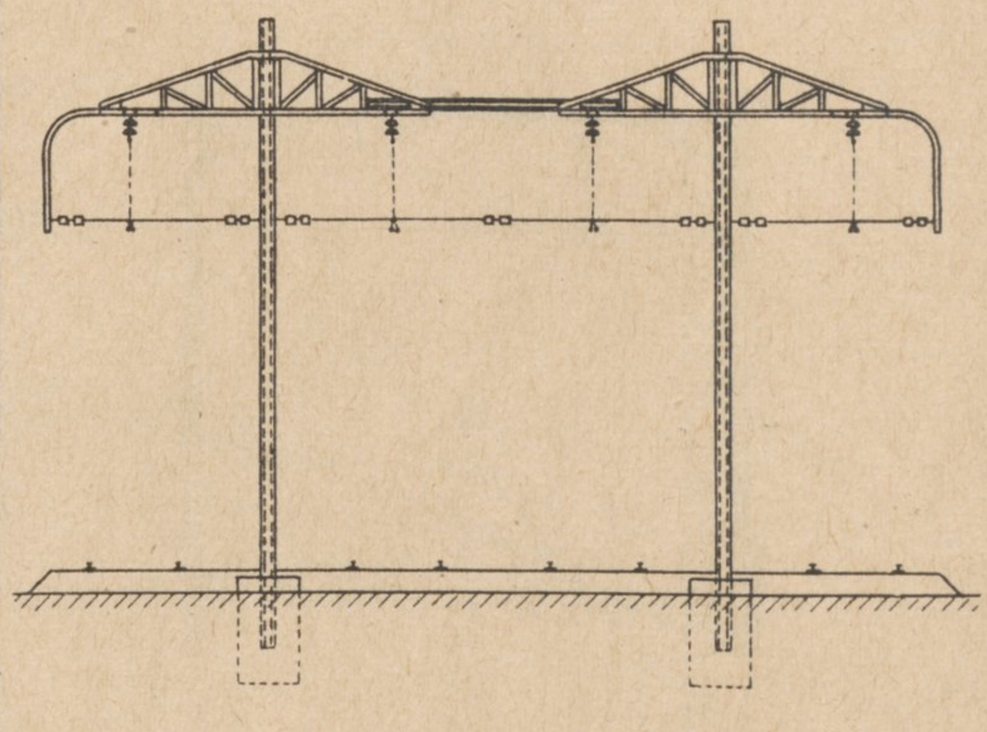
Poutre ⊐ en fers U de 160 x 65, longueur 11m800

Poids du portique ..... 3.400 kgs

Rayon des courbes	Portée de la caténaire	Profil correspondant des fers U des montants
∞	63m	260 x 90 x 10
3000 m	63.	280 x 95 x 10
2500 .	63.	280 x 95 x 10
2000 .	63.	300 x 100 x 10
1400 .	63.	300 x 100 x 10
1200 .	54.	300 x 100 x 10
1000 .	45.	280 x 95 x 10
900 .	45.	300 x 100 x 10
800 .	45.	300 x 100 x 10
700 .	36.	280 x 95 x 10
600 .	36.	300 x 100 x 10
500 .	36.	300 x 100 x 10
400 .	27.	280 x 95 x 10

Pylônes jumelés à doubles consoles

(Brétigny - Etampes)



□ Montants en fers U entretoisés de 240 à 300

hauteur hors massif 10m200

hauteur encastrée 1m350

Volume du massif de béton 2m3640

Ecartement des montants, variable ..... 7m500 à 9m000

Consoles treillis en cornières de 50 x 50

bras en cornières de 70 x 70, longueur ... 2m870 x 2

prolongements en fers U de 80 x 45

Poutre ⊐ en fers U de 120 x 55, longueur 4m600

Poids de 2 pylônes avec poutre ..... 2925 kgs

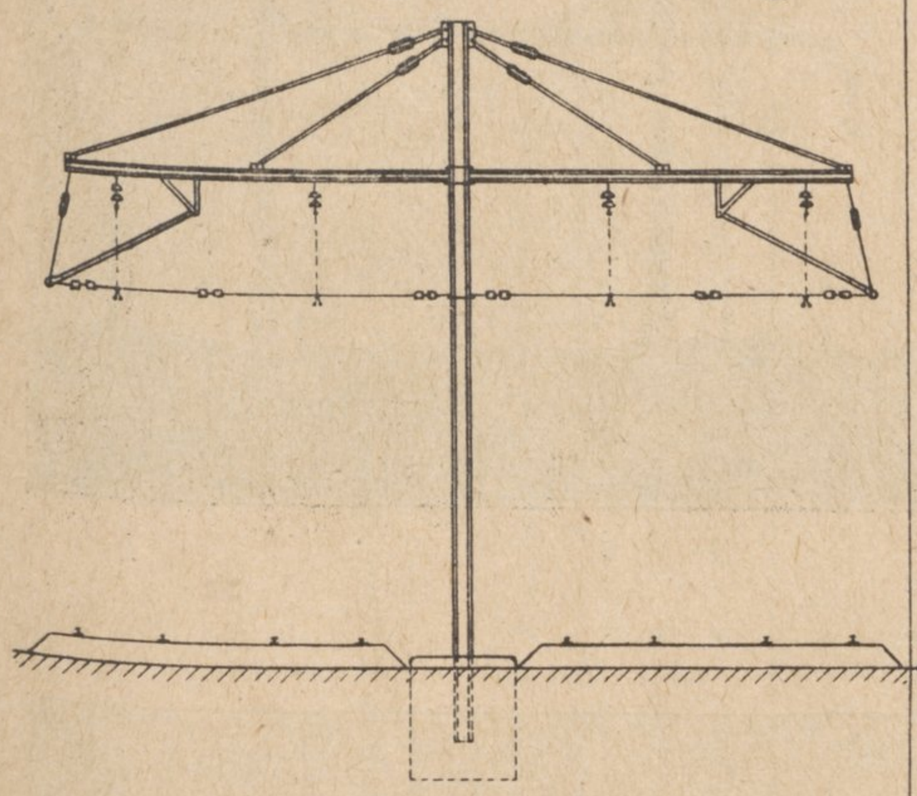
Poids d'un pylône seul ..... 917 kgs

Rayon des courbes	Portée de la caténaire	Profil correspondant des fers U des montants
∞	63 m	240 x 85 x 9,5
2900 m	63 .	260 x 90 x 10
2000 .	63 .	280 x 95 x 10
1200 .	54 .	280 x 95 x 10
1000 .	45 .	280 x 95 x 10
900 .	45 .	280 x 95 x 10
800 .	45 .	300 x 100 x 10

Leurs caractéristiques principales sont indiquées sur les tableaux de la figure 13.

Fig. 11 ter. — SUPPORTS NORMAUX DE LIGNES CATENAIRES. (Lignes à 4 voies).

Pylône à double console allongée

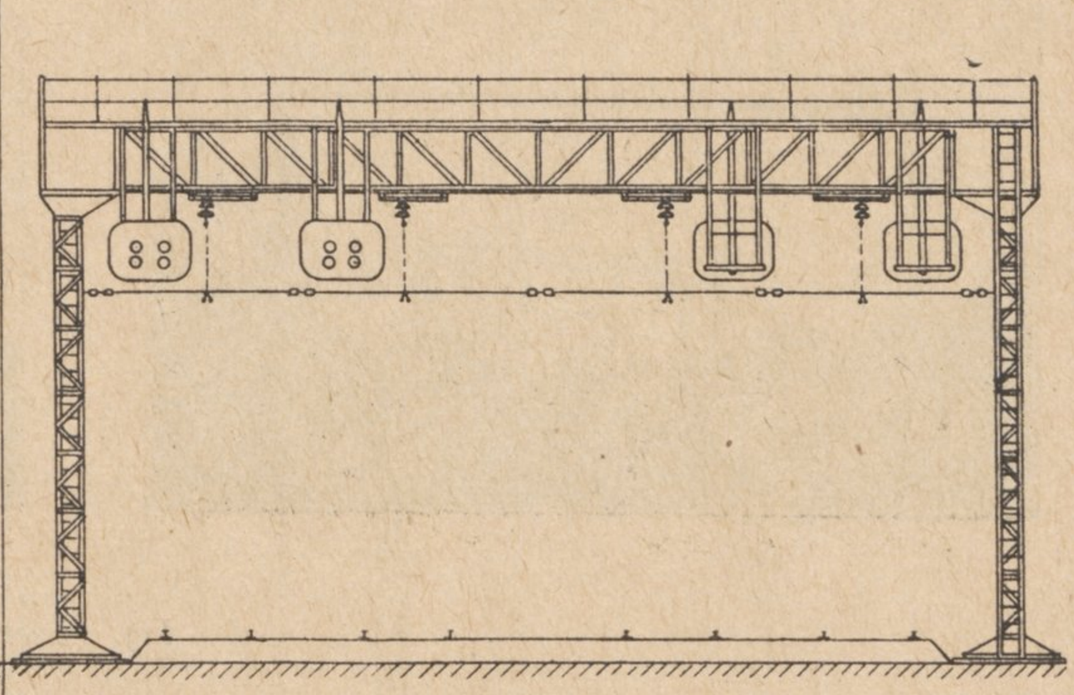


H Montants en poutrelles entretoisées de 280
hauteur hors massif 11m300
hauteur encastrée 1m700
Volume du massif de béton 8m3800

Consoles ⊥ en fers U de 100 x 50, longr. 7m080 x 2
haubans en acier rond de 22 m/m
Jambe de force en tube acier de 40/49

Poids du pylône ..... 3.500 kgs

Portique de signaux

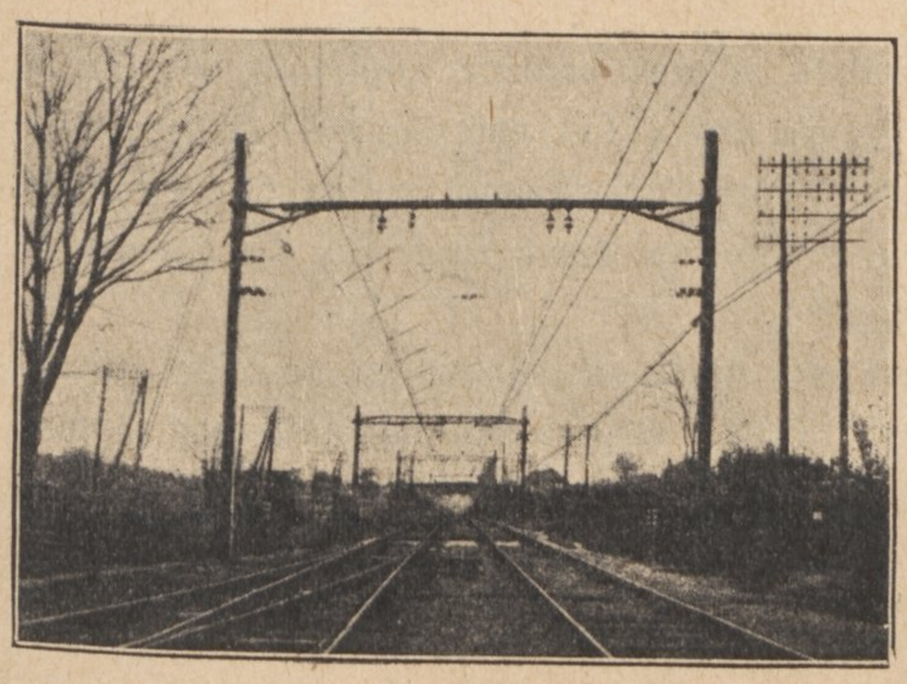


□ Montants en cornières de 100 x 100 x 16, avec
treillis en cornières de 60 x 60.
dimensions d'un montant 0m500 x 1m000 x 8m590
Volume du massif de béton 10m3600

Passerelle hauteur 1m200, largeur 1m000, longr. 18m078
membrure en cornières de 90 x 90, avec
treillis en cornières de 60 x 60 et
2 échelles d'accès métalliques

Cages d'accès aux signaux en cornières de 60 x 60
avec échelles métalliques

Fig. 12.



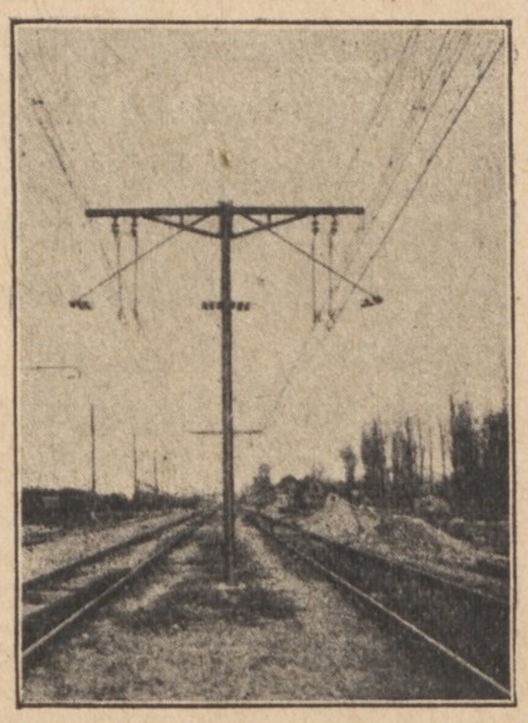


Fig. 12 *bis.*

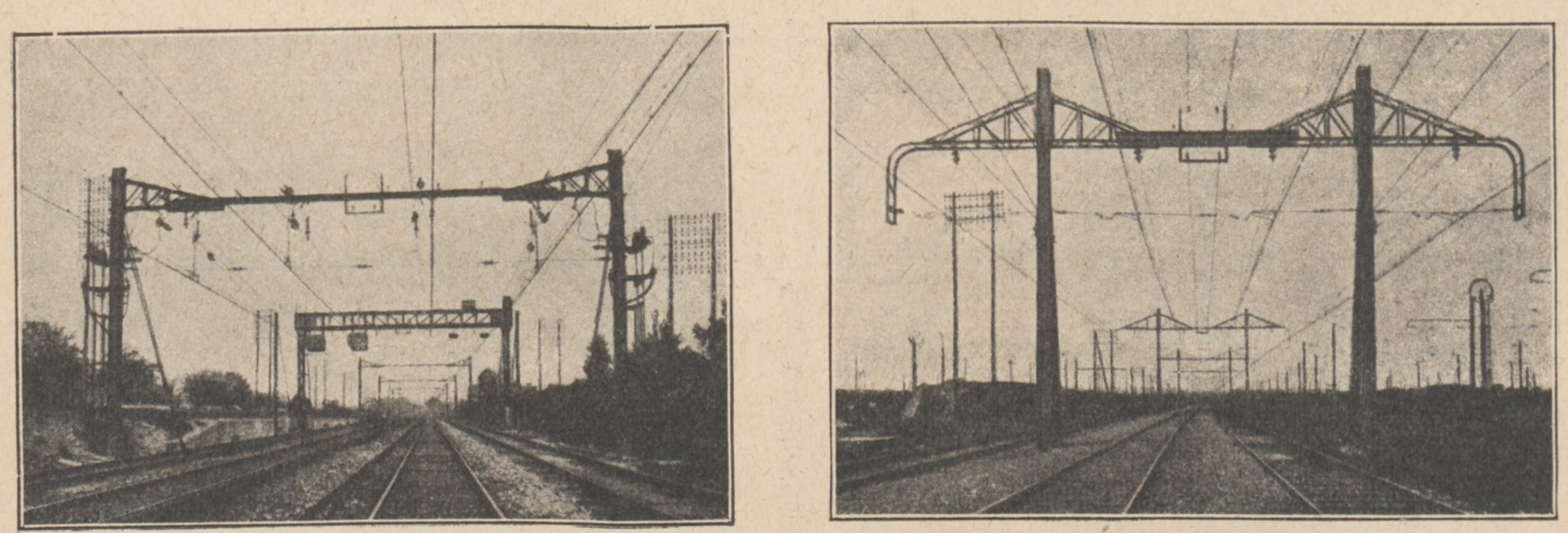
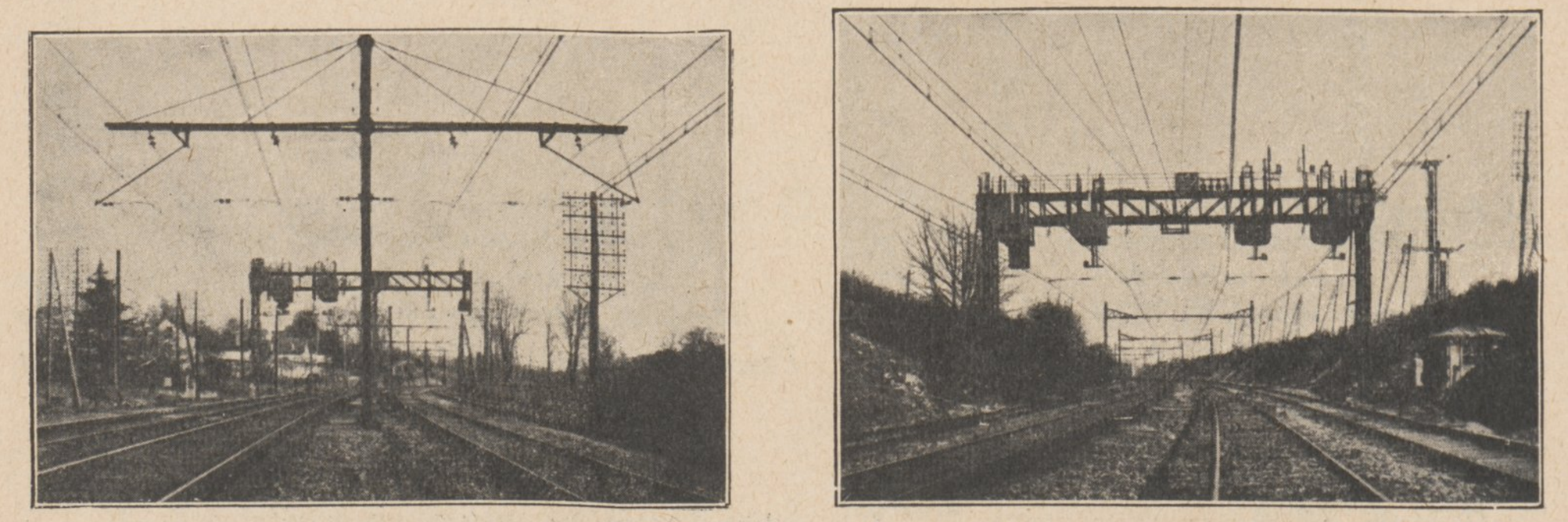


Fig. 12 *ter.*



§ 3. — *Équipements spéciaux.*

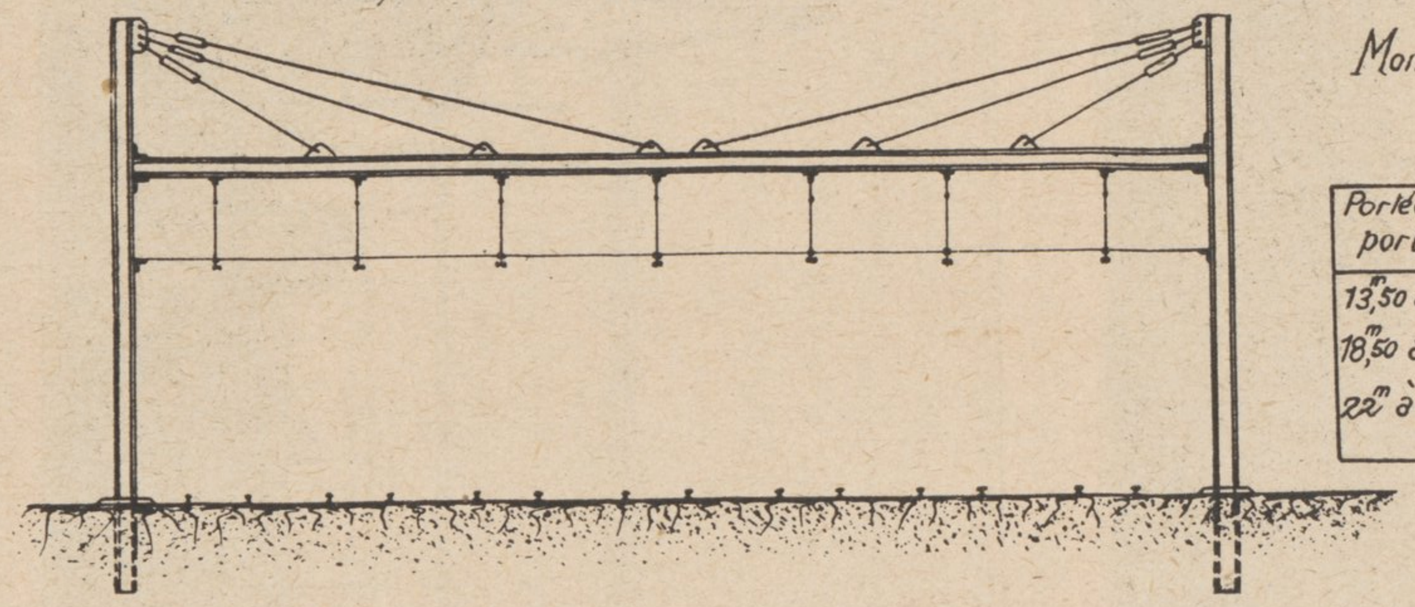
1° *Passage des caténaires sous les ponts supérieurs.* — *a/* Abaissement des conducteurs. — Les axes des fils de travail de la caténaire normale sont placés, en principe, à 6 *m* au-dessus du niveau supérieur des rails de roulement.

Au passage sous les ponts supérieurs, on a adopté, comme hauteur minimum des fils de contact au-dessus des rails, 4 *m*, 60. Dans certains cas tout à fait exceptionnels (par exemple les souterrains entre les gares de Paris-Austerlitz et Paris-Quai d'Orsay), cette limite a dû être abaissée à 4 *m*,435 ne laissant qu'un jeu de 0 *m*,035 seulement au-dessus du gabarit de chargement.

L'abaissement des fils de contact au droit d'un pont supérieur se fait en principe suivant une courbe formée de deux arcs de parabole AB et BC symétriques l'un de l'autre par rapport à leur point de raccordement B et ayant pour tangentes, en leurs sommets A et B, les directions horizontales des fils de travail en ces points (Voir le schéma de la figure 15). Ceci permet aux pantographes de prendre entre les points A et C un mouvement vertical d'accélération

Fig. 13. — PORTIQUES.

A) à consoles haubannées.

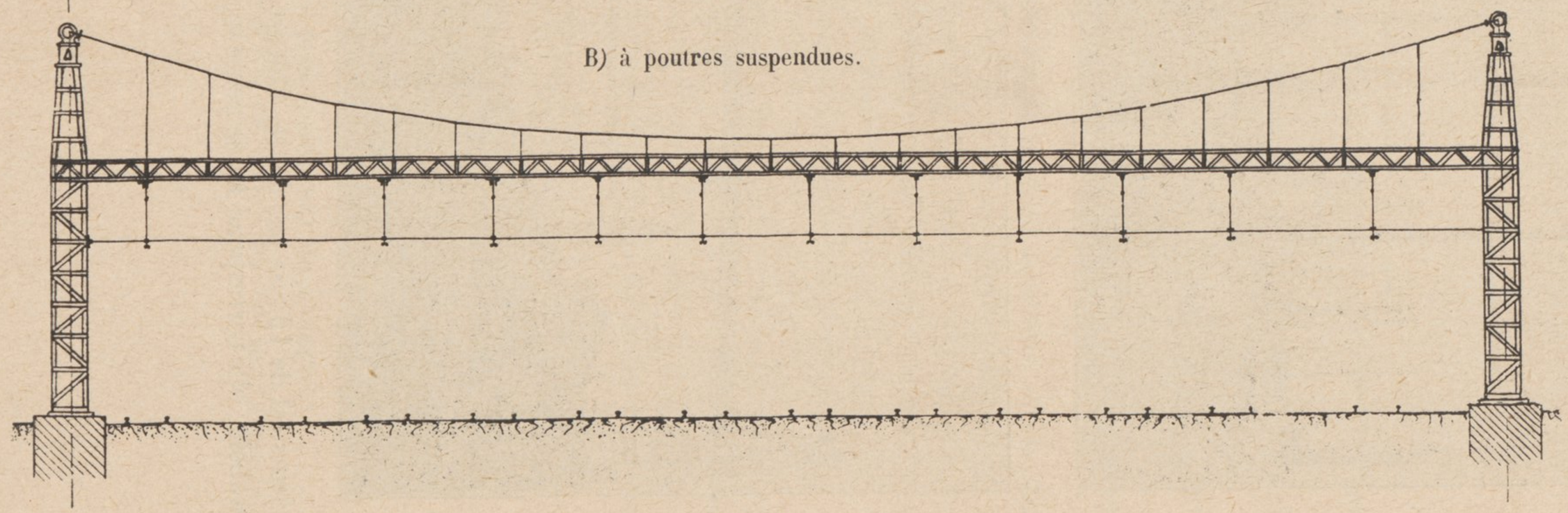


Montants II Leurs dimensions sont calculées à la demande

Consoles

Portées du portique	Membrures des poutres	Haubans
13m,50 à 19m	I de 120	2x2 haubans ϕ : 22mm
18m,50 à 22m,50	I de 140	2x2 haubans ϕ : 22mm
22m à 30m	I de 140	3x2 haubans ϕ : 22mm

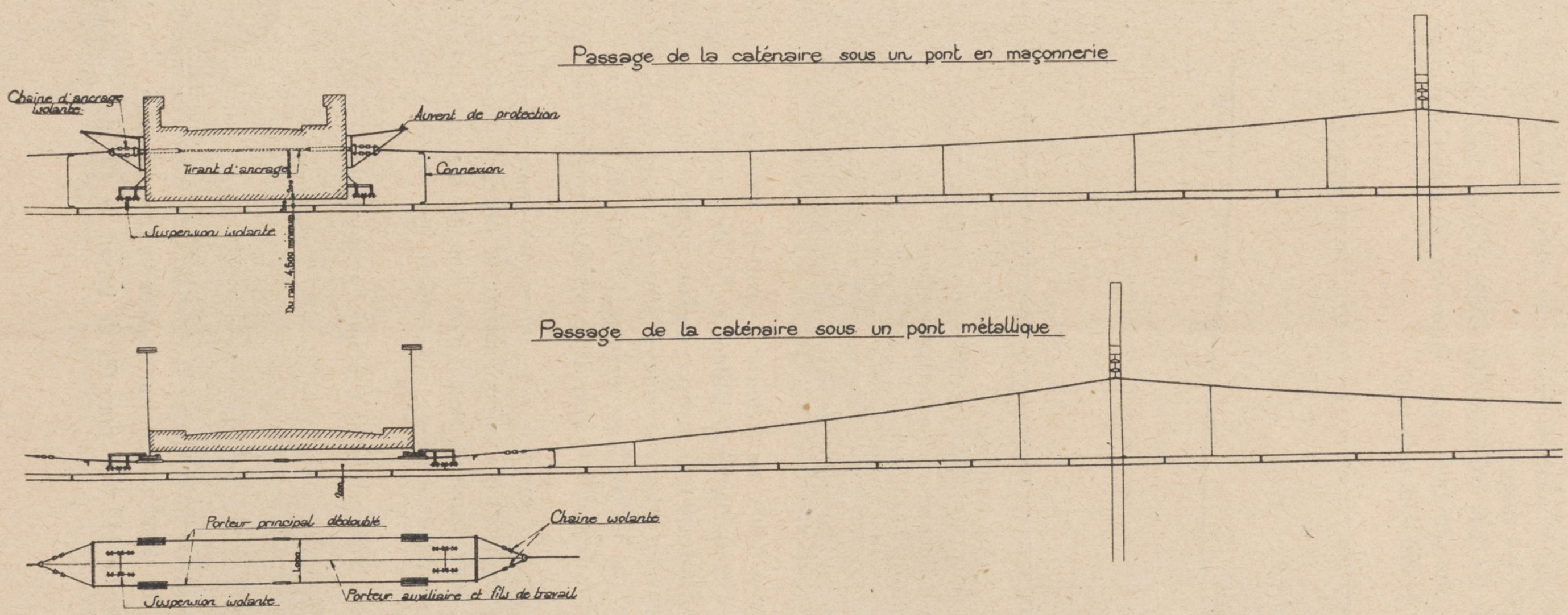
B) à poutres suspendues.



Serie de 30 à 40m de portée	Série de 40 à 50m de portée
Poteau de 0,70 x 1m de côté	Poteau de 1,50 x 1,50
Membrures en L de 120mm	Membrures en L de 150
Treillis en L de 70	Treillis en L de 80
Poutre . hauteur 0,50	Poutre . Hauteur 0.80
Membrures L 100 . 100 . 10	Membrures L 120 . 120 . 12
Treillis L 50, Fer plat 450x8	Treillis L 70 . Fer plat 60x10

Ces 2 types sont suspendus par des câbles d'acier à 120kgs et de 550 m/m2 composés de 37 fils de 4m/m4

Fig. 16. — PASSAGE DE LA CATENAIRE SOUS LES PONTS SUPÉRIEURS.



2e type : un porteur en bronze de 116 mm^2, deux fils de travail de 107 mm^2, pendules en cuivre rond de 7 mm,

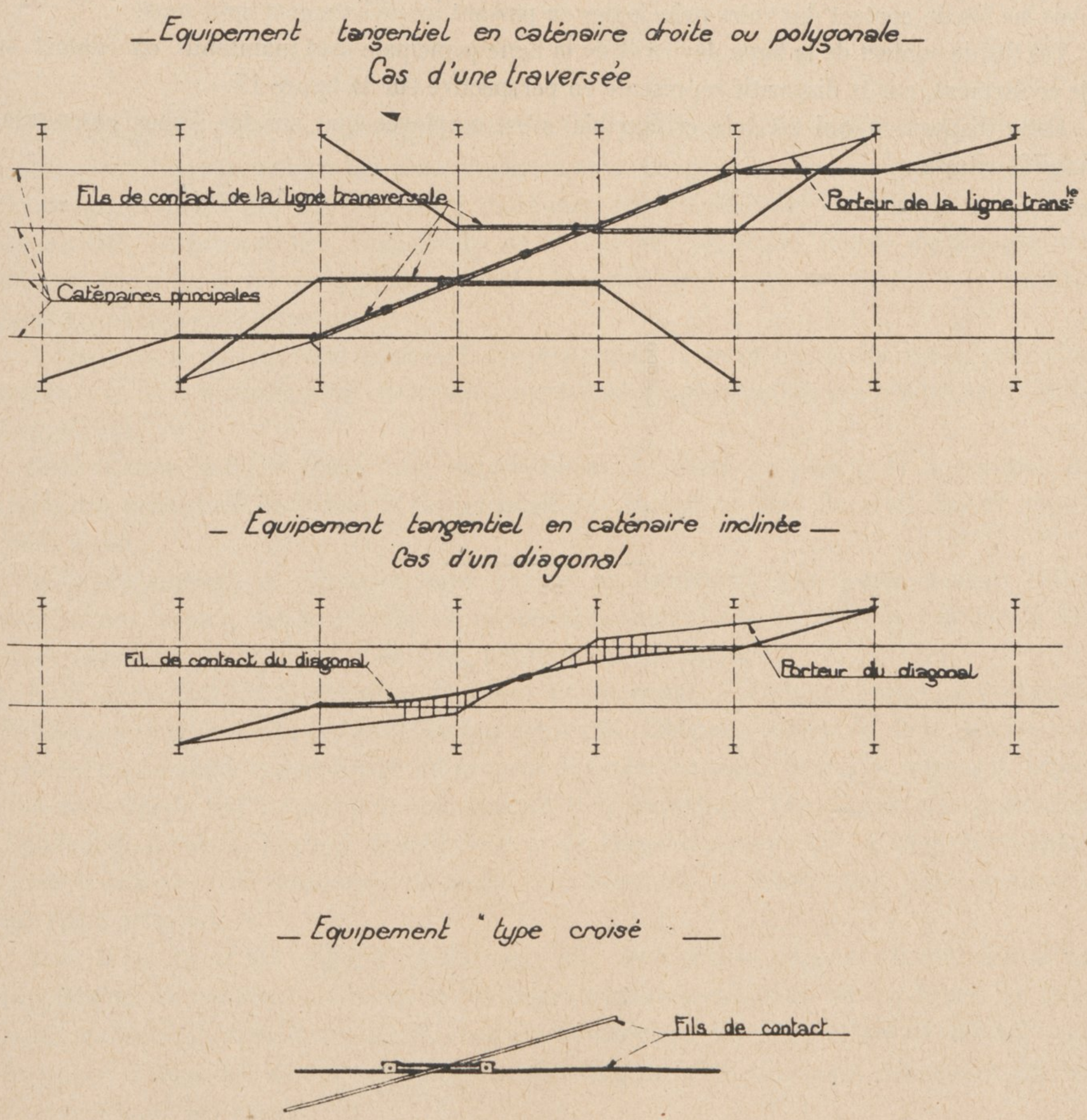
3e type : un porteur en acier de 72 mm^2, deux fils de travail en cuivre de 107 mm^2, pendules en acier plat de 20×6.

Dans toutes ces caténaires, les pendules sont espacés de 4m,50 sur chaque fil de travail, soit de 2m,25 sur le porteur.

La caténaire simple *à un seul fil de contact* comporte : un câble porteur en acier de 48 mm^2, un fil de travail de 107 mm^2 et des pendules en acier plat de 20×6 espacés de 4m,50.

Lignes à suspension simple. — Les lignes à suspension simple sont généralement montées sur transversaux en acier. Le montage est analogue à celui des lignes de tramway avec double isolement et griffes fixées dans les isolatenrs en basalte.

Fig. 17. — Équipement des aiguillages.



3° *Equipement des aiguillages.* — Le montage des lignes de raccordement de voies principales entre elles et avec les voies déviées peut se ramener à trois types principaux d'équipements :

1° l'équipement tangentiel en caténaire droite ou polygonale,

2° l'équipement tangentiel en caténaire inclinée,

3° l'équipement croisé.

Dans les *équipements tangentiels*, les fils de contact de la voie déviée ne croisent jamais ceux des voies principales, ils s'en rapprochent au voisinage du point de raccordement jusqu'à une distance de 5 à 10 *cm*, leur sont alors parallèles sur une certaine distance, puis se relèvent pour aller à leur point d'ancrage.

La figure 17 ci-dessus donne schématiquement la disposition des équipements tangentiels droits ou inclinés dans le cas d'une traversée de voies principales et d'un diagonal.

Dans l'équipement d'aiguillage du type croisé, le fil de contact de la ligne déviée croise en biais les fils de contact des voies principales en passant immédiatement au-dessus.

Les fils de contact de la ligne déviée et de la ligne principale sont maintenus en contact au de croisement, par le dispositif représenté en perspective sur la figure 17.

Cette disposition qui est très critiquable, n'est employée que sur les lignes parcourues à faible vitesse.

(A suivre)

46e Année. Mars 1927. REVUE GÉNÉRALE DES CHEMINS DE FER 1er Semestre. — N° 3.

ÉLECTRIFICATION PARTIELLE DU RÉSEAU DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS

Par M. PARODI,

DIRECTEUR HONORAIRE DES SERVICES D'ÉLECTRIFICATION,
INGÉNIEUR CONSEIL DE LA COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS.

(Suite) (1).

UTILISATION DE L'ÉNERGIE

1° Considérations Générales sur la Constitution des Parcs de Locomotives et Automotrices

Dans les comparaisons qui ont été faites, au début de la présente étude (1), entre la traction électriqne et la traction à vapeur, nous avons fait systématiquement abstraction des dépenses de constitution des parcs de locomotives. Nous avons voulu ainsi éviter de commettre une erreur que l'on trouve fréquemment dans des études par ailleurs très fouillées et consistant à mettre en balance des dépenses correspondant à l'acquisition de parcs de locomotives ayant des capacités de service très différentes.

Pour faire une comparaison équitable, il faudrait supposer que chaque série de locomotives à vapeur du parc de machines à vapeur est remplacée par une série de locomotives électriques telle qu'une unité de la série électrique fût susceptible de remorquer sur une ligne de profil donné, à une vitesse commerciale identique, le mème poids de train que l'unité de la série vapeur correspondante.

Dans cette hypothèse, il est facile de montrer tout d'abord que le poids de la locomotive électrique de remplacement est toujours inférieur à celui de la machine à vapeur (tender non compris).

Le poids des machines électriques dépendant beaucoup plus de la disposition des trains roulants et du nombre des moteurs que de la nature du courant utilisé, nous désavantageons la traction électrique en prenant, pour cette dernière, comme terme de comparaison des machines à moteurs multiples ayant chacun un petit nombre de pôles et un petit diamètre d'induit comme les locomotives des types B + B ou C + C à deux bogies, à 4 ou 6 essieux moteurs à commande individuelle.

(1) Voir *Revue Générale*, Nos de Novembre et Décembre 1925, de Février, Mars, Avril, Août et Septembre 1926, Janvier 1927.

Source gallica.bnf.fr / Ecole nationale des Ponts et chaussées

Même dans ce cas, on peut réaliser avec le courant continu à 1.500 volts des machines ne pesant pas plus de 50 k*g* par cheval de puissance *continue ;* tel est le cas des machines de la série BB 101-180, que nous décrirons plus loin, qui pèsent environ 75 tonnes et qui ont une puissance continue de 1.500 *ch* à la jante des roues motrices.

Avec des machines comprenant des moteurs à huit ou dix pôles entièrement suspendus, on peut obtenir des puissances beaucoup plus grandes ; tel est le cas des locomotives à grande vitesse du type 2D2 de la Compagnie d'Orléans qui ont une puissance continue d'environ 3.000 *ch* pour un poids d'environ 131 tonnes (soit 34 k*g* par *ch* de puissance continue).

Si nous considérions au lieu du poids par cheval de puissance continue le poids par cheval de puissance unihoraire nous arriverions pour les machines de type BB à 43 k*g* par *ch* et pour les machines type 2D2 à 30 k*g* par *ch*.

Les machines à vapeur modernes à surchauffe de construction européenne pèsent, elles aussi, environ 50 k*g* par cheval de puissance soutenue à la jante des roues motrices. Mais il y a une grande différence entre ce que les électriciens appellent puissance continue ; puissance pouvant être maintenue *indéfiniment* pendant plusieurs jours consécutifs et ce que les Ingénieurs des chemins de fer appellent puissance *soutenue*. Notre expérience des deux types de machines nous permet d'indiquer qu'avec le chargement à main la puissance soutenue vapeur est à peine comparable à la puissance unihoraire électrique. Nous désavantagerons donc nettement la traction électrique en nous plaçant dans l'hypothèse *de l'égalité du poids (tender non compris) pour les puissances soutenues égales.*

La figure 1 donne pour une locomotive du type Mikado de 4,31 m^2 de surface de grille pesant, tender non compris, 82 *t* à vide et 91 *t*,6 en charge la caractéristique efforts de traction en k*g* **au crochet**, vitesses en k*mh*, correspondant à la puissance maximum soutenue : cette caractéristique est, comme on sait, l'enveloppe des courbes de fonctionnement à admission constante. Sur le même graphique sont représentés, pour les trois couplages série, série parallèle et parallèle, pour une tension moyenne d'alimentation de 1.350 volts et pour les valeurs du champ de 100 %, 75 % et 50 %, les caractéristiques de fonctionnement des locomotives électriques BB série 101-180 les efforts de traction étant toujours comptés au crochet d'attelage.

L'examen de ce graphique montre, d'une part, que les caractéristiques électriques à champ de 50 % et 100 % encadrent la caractéristique vapeur dans l'intervalle de vitesse 50-70 k*mh* et, d'autre part, que la courbe limite d'échauffement en puissance continue C_∞ passe par le point A d'intersection des caractéristiques vapeur et électrique (couplage parallèle, champ 100 %).

Ceci veut dire que, pour des vitesses comprises entre 50 et 70 k*mh*, une machine électrique pesant 10 % de moins environ qu'une machine Mikado vapeur pourra développer *indéfiniment* des efforts de traction au crochet supérieurs à ceux réalisables d'une façon *soutenue* par la machine à vapeur.

Au démarrage, la machine électrique qui est à adhérence totale pourrait, à poids total égal, développer un effort de traction supérieur à celui de la machine à vapeur qui, pour des raisons constructives, possède des essieux porteurs.

Nous avons donc le droit de dire qu'à poids total égal et dans le cas le plus défavorable, une machine électrique à courant continu à 1.500 volts peut remplacer une locomotive à vapeur,

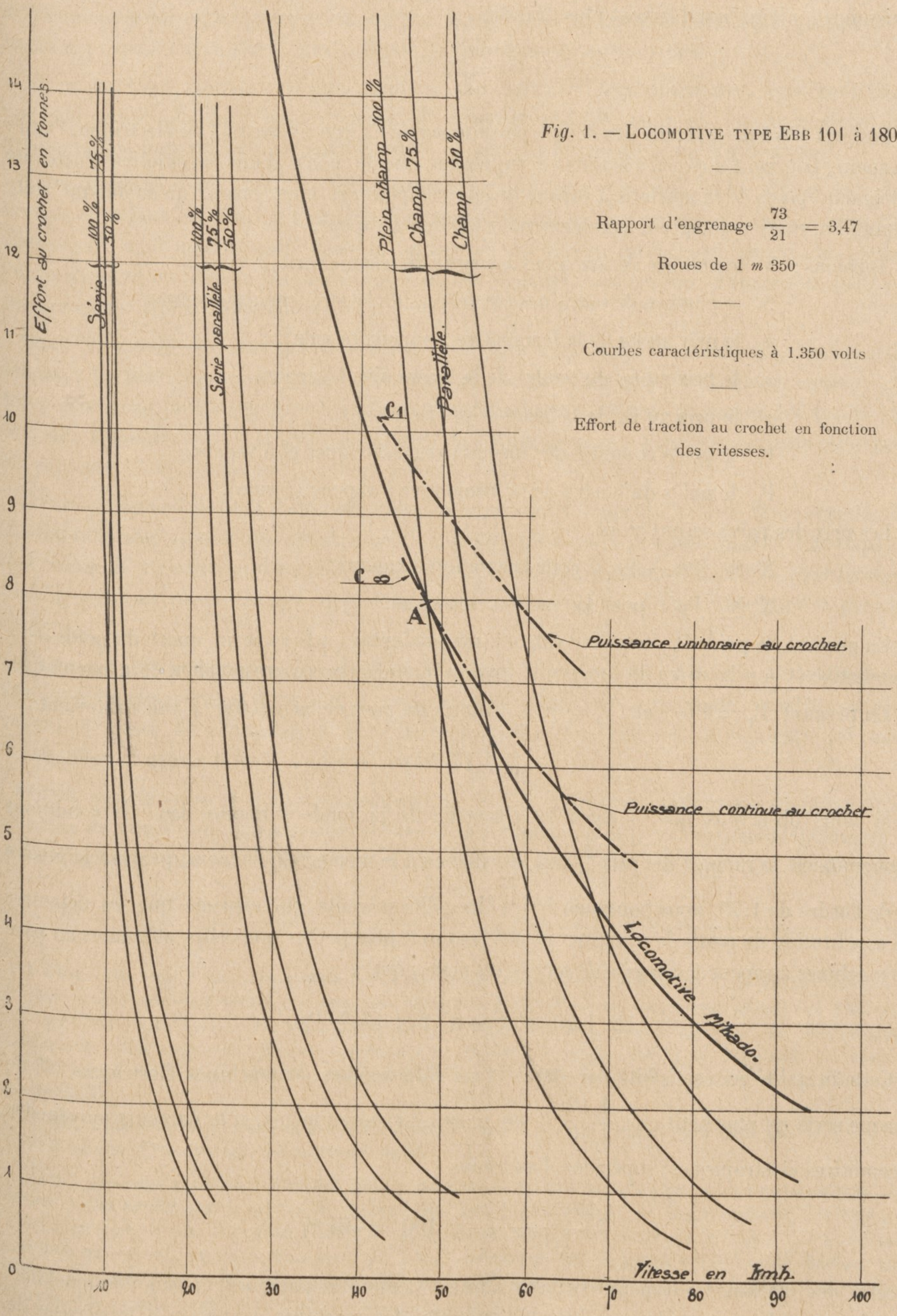


Fig. 1. — Locomotive type Ebb 101 à 180.

Rapport d'engrenage $\frac{73}{21} = 3{,}47$

Roues de 1 *m* 350

Courbes caractéristiques à 1.350 volts

Effort de traction au crochet en fonction des vitesses.

son poids adhérent étant à peu près égal à celui de la machine à vapeur en charge et sa puissance toujours notablement plus grande.

* * *

Les prix d'achat respectifs des deux « *parcs équivalents* » de tracteurs, l'un électrique, l'autre à vapeur, pourront donc être établis en supposant que le poids d'une locomotive électrique est égal au poids de la machine à vapeur qu'elle remplace et nous savons qu'en faisant cette hypothèse, nous avantageons notablement la traction à vapeur.

Appelons : N le nombre de machines à vapeur de chaque série,

N′ le nombre de machines électriques de la série correspondante,

p le prix au kg de la locomotive à vapeur (à vide),

p_1 le prix au kg du tender de la locomotive à vapeur,

p' le prix au kg de la locomotive électrique,

P le poids commun des locomotives électriques et à vapeur,

P_1 le poids du tender de la locomotive à vapeur (à vide).

Les prix des parcs seront alors :

Σ N $(Pp + Pp_1)$ pour la traction à vapeur ;

Σ N′ (Pp') pour la traction électrique.

En général, le poids P_1 du tender vide est compris entre un tiers et un quart du poids de la locomotive et le prix au kg du tender est environ moitié du prix correspondant de la locomotive.

En prenant $P_1 = P/3$ et $p_1 = p/2$, le prix du parc de locomotives à vapeur devient :

$$\Sigma\ 1{,}17\ NPp$$

Si nous observons que, malgré les changements profonds survenus dans les conditions économiques, le rapport des prix $\frac{p'}{P}$ est sensiblement le même actuellement qu'avant la guerre et de l'ordre de 1,70, nous pourrons écrire l'inégalité suivante qui exprime que les dépenses de constitution de parcs de machines électriques sont plns petites que celles afférentes au parc de machines à rapeur à *capacité de service au moins égale*.

$$\Sigma\ 1{,}70\ N'\ Pp \leqslant \Sigma\ 1{,}17\ N\ Pp$$

Cette inégalité sera satisfaite dans tous les cas si le nombre de machines électriques N′ de chaque série est plus petit que $\frac{1{,}17}{1{,}70}$ N ou ce qui revient au même, si le parcours moyen des locomotives électriques est supérieur d'au moins

$$\frac{1{,}70 - 1{,}17}{1{,}17} \times 100 = 45\ \%$$

à celui des machines à vapeur correspondantes. Comme le parcours moyen des machines électriques est beaucoup plus considérable que celui des machines à vapeur et le dépasse de

70 à 150 % suivant les installations (1), il apparaît que les dépenses de constitution des parcs de locomotives seront toujours beaucoup plus faibles pour la traction électrique que pour la traction à vapeur si ces parcs ont des *capacités de service du même ordre*.

Si ces parcs ont, comme c'est le cas général, des capacités très différentes, comment faire une comparaison équitable entre dépenses de premier établissement en tenant compte des avantages que procureront une augmentation de puissance, de vitesse ou d'utilisation ?

Cette question ne me paraît pas comporter de réponse générale applicable à tous les cas. En fait, dans tous les réseaux, à chaque commande de machines à vapeur nouvelles, on essaie d'introduire une amélioration dans le service et on ne se préoccupe guère de mettre impartialement en balance les augmentations de dépense, d'achat ou d'entretien avec les améliorations de service obtenues.

Dans l'industrie des transports, comme dans beaucoup d'autres industries, les progrès généraux les plus importants sont réalisés dans le seul but d'assurer un meilleur service sans que personne ait jamais sérieusement pensé qu'à un accroissement de la vitesse des trains (2) ou à une augmentation de la tare des voitures de voyageurs puisse correspondre une réduction des dépenses d'exploitation.

Comment, quand il s'agit d'électrification, pourrait-on évaluer la valeur commerciale de telle ou telle amélioration du service quand pour la vapeur on a renoncé, depuis lontemps, à tout calcul de ce genre qui n'a d'ailleurs pas grand sens pour une industrie où la concurrence n'existe pas, au moins en ce qui concerne les transports de marchandises à grande distance ?.

C'est pour cette raison que, quand on veut faire une comparaison équitable entre dépenses d'exploitation électrique et à vapeur, il faut, croyons-nous, séparer complètement le matériel roulant du reste de l'installation afin de bien mettre en évidence les éléments qui sont comparables et ceux qui ne le sont pas.

Quand, pour assurer le service de banlieue de la Cie d'Orléans, nous avons constitué une trentaine de rames automotrices susceptibles de démarrer avec des accélérations de 0,60 m/sec^2 et d'atteindre des vitesses de 90 kmh nous n'aurions pu justifier économiquement les dépenses

---

(1) L'expérience que nous avons acquise dans l'exploitation électrique de la ligne de Paris à Juvisy démontre que, dans un cas aussi défavorable que celui d'un service de banlieue, le parcours moyen annuel des tracteurs électriques était en 1913 de 58.000 km (52.000 km pour les locomotives, 70.000 km pour les automotrices) tandis que la même année, le parcours moyen des locomotives à vapeur était pour l'ensemble du réseau d'Orléans de 37.000 km (43.000 km pour les machines de voyageurs, 28.000 km pour les machines de marchandises).

En 1920, le parcours moyen annuel des locomotives à vapeur était de 22.667 km alors que le parcours moyen des locomotives électriques était encore de 43.000 km.

(2) On a très souvent comparé dans des études que nous avons eues entre les mains les consommations de charbon et d'électricité dans le service de banlieue sans tenir aucun compte de l'accroissement de dépense d'énergie qu'entraîne pour la traction électrique l'augmentation de vitesse moyenne de marche. A vitesse égale dans un service de banlieue à un arrêt par 2 km. environ, un kwh remplace 4 à 5 kg. de charbon. On indique, en général, des chiffres beaucoup plus bas car la comparaison a été faite pour des vitesses commerciales beaucoup plus grandes pour l'électricité que pour la vapeur.

correspondantes qu'en faisant intervenir des considérations d'augmentation de capacité de débit de gares ou de lignes, beaucoup plus générales et plus complexes que celles comportant seulement la comparaison de prix de deux parcs de tracteurs.

La considération d'un parc fictif de locomotives électriques équivalent au parc réel de locomotives à vapeur permettrait seul, croyons-nous, d'établir uu bilan équitable et de distinguer dans la transformation du matériel roulant ce qui doit être considéré comme répondant à un besoin immédiat et comparé au matériel à vapeur actuel, de ce qui doit être considéré comme répondant à une amélioration générale du service.

*
* *

Dans l'étude d'ensemble d'une électrification, on ne s'attache pas uniquement à réaliser électriquement un service déjà assuré à vapeur et comme dans toute entreprise de grande envergure, on doit préparer l'avenir. Il faut, en effet, tenir compte de l'évolution progressive des méthodes d'exploitation des réseaux de chemin de fer, afin de pouvoir s'y adapter tout en la dirigeant dans la mesure où cette évolution peut être influencée par la substitution de l'électricité à la vapeur.

On pourrait discuter longtemps sur l'ampleur et la rapidité de ces transformations, mais il ne paraît pas très audacieux de penser que les progrès qui seront réalisés dans l'avenir correspondront à une augmentation de la charge et de la vitesse moyenne des trains. Partout on procède en Europe suivant un programme plus ou moins explicitement établi au renforcement des voies et des ouvrages d'art en vue de permettre une augmentation de la charge par essieu moteur et de la vitesse moyenne sans qu'il paraisse d'ailleurs utile nulle part de dépasser la vitesse maximum dès maintenant réalisée à vapeur de 120 à 130 k*mh*.

L'emploi de la traction électrique permettra d'obtenir aisément en raison de la forme même des caractéristiques de fonctionnement des moteurs série un accroissement important de vitesse commerciale *sans lui faire correspondre un accroissement proportionnel de la vitesse maximum de marche.*

En Suisse, et sur certaines lignes françaises, celle de Paris-Brive notamment, la charge limite par essieu moteur des locomotives électriques a été portée de 18 à 20 *t.* et il serait désirable de reculer encore cette limite jusque 22 ou 23 *t*, au moins pour les machines munies de systèmes de transmission naturellement équilibrés, comme les systèmes à engrenages.

Tous les réseaux européens effectuant le renforcement des attelages des voitures et des wagons, il est probable qu'à bref délai certains réseaux ne possèderont plus que des véhicules munis de l'attelage unifié de 70 *t.*

L'application aux trains de marchandises du frein continu et automatique, déjà presque entièrement réalisée dans certains pays d'Europe, permettra seule la pleine utilisation de ces attelages qui correspond, pour un coefficient de sécurité de 3,5, à un effort *soutenu* de traction de 20.000 k*g*.

Déjà dans les pays scandinaves, avec du matériel spécialisé muni du frein continu et automatique, on utilise normalement des locomotives électriques pouvant développer des efforts soutenus de 27.000 k*g*. au crochet.

Il résulte de ce qui précède qu'en ce qui concerne *le service de marchandises* la plus grande puissance dont on puisse avoir besoin d'une façon soutenue dans un avenir assez rapproché

CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DU PARC DE MACHINES ÉLECTRIQUES
ACTUELLEMENT COMMANDÉ PAR LA COMPAGNIE D'ORLÉANS (Ligne de Paris-Vierzon-Brive).

		Machines à grande vitesse			Automotrices	Machines à marchandises				
Nombre de machines de chaque série		2	2	1	80	80	80	24		16
		$2D2$ 401 et 402	$2D_2$ 501 et 502	$2CC_2$ 601	ZC⁹ Eyp 2311 à 130	E_{BB} 1 à 80	E_{BB} 101 à 180	E_{BB} 201 à 224		E_{BB} 224 à 240
		401 | 402	501 | 502					201 à 208	209 à 224	
Régime unihoraire 2A 120° 1350 v.	Champ max. Puissance (cv)	4200	4400	3600	3600	2710	820	1640	1720	1420	(1680)	(1500)
	Champ max. Efforts de traction kgs	17200	17600	14800	15200	8940	6140	10320	9880	8870	(10320)	(9500)
	Champ max. Vitesse Km/h	65,5	68	65,5	63,7	82	36	43	47	43,8	(44)	42,5
	Champ max. Intensité (ampères)	2500	2600	2160	2160	1710	500	1000	1060	900	(1040)	950
	Champ moyen Puissance (cv)	4300	4400	3680	3680	3000	——	1560	1720	1440	(1680)	(1520)
	Champ moyen Efforts de traction kgs	16800	16800	14000	14200	9300	——	8350	8780	8200	(9400)	(8800)
	Champ moyen Vitesse Km/h	69	71	71	70,5	87	——	50,5	58	47	(49)	(46,5)
	Champ moyen Intensité (ampères)	2600	2600	2200	2200	1850	——	944	1060	900	1040	(940
	Champ minim. Puissance (cv)	4300	4400	3720	3720	——	990	1520	1720	1464	(1680)	(1540)
	Champ minim. Efforts de traction kgs	13240	15200	12560	12800	——	5920	7440	7680	7740	(8080)	(8200)
	Champ minim. Vitesse Km/h	88	78	80	78,5	——	45	55	60,5	51	(56)	(50,5)
	Champ minim. Intensité (ampères)	2600	2600	2240	2240	——	604	920	1060	920	(1040)	(930)
Régime continu 2A 120°. 1350 v.	Champ maxim. Puissance (cv)	3380	3600	3200	3200	2040	608	1320	1500	1240	(1320)	1240
	Champ maxim. Efforts de traction kgs	13000	13600	12720	13000	6060	4080	7760	8400	7200	(7520)	7200
	Champ maxim. Vitesse Km/h	70	71,4	68	66,5	91,5	40	46	48,5	46,5	(47,5)	46,5
	Champ maxim. Intensité (ampères)	2020	2100	1920	1920	1275	372	800	940	780	(816)	780
	Champ moyen Puissance (cv)	3450	3550	3280	3280	2280	——	1280	1460	1260	(1320)	1260
	Champ moyen Efforts de traction kgs	12400	12600	12000	12000	6342	——	6450	7050	7040	(6720)	7040
	Champ moyen Vitesse Km/h.	75	76,5	75	74	97	——	53,5	56	49	(54,5)	49
	Champ moyen Intensité (ampères)	2040	2100	1960	1960	1380	——	784	900	800	(816)	800
	Champ minim. Puissance (cv)	3440	3520	3340	3340	——	760	1280	1460	1260	(1320)	1260
	Champ minim. Efforts de traction kgs	9800	11040	10640	10800	——	3980	5840	6240	6240	(5600)	6240
	Champ minim. Vitesse Km/h	95	86	85	83,5	——	51,5	59	64	54,5	(63,5)	54,5
	Champ minim. Intensité (ampères)	2040	2100	2000	2000	——	474	780	900	792	(816)	792
Effort de traction soutenu 100 km/h	Champ maxim.	3200	4000	4400	4000	4300	——	——	——	——	——	——
	" moyen	4600	4800	5400	5600	5800	——	——	——	——	——	——
	" minimum	7840	7200	7200	7000	——	——	——	——	——	——	——
Effort de traction soutenu 70 km/h	Champ maxim	——	——	——	——	——	1200	1900	2000	1720	2200	1720
	" moyen	——	——	——	——	——		2900	2800	2320	3200	2320
	" minimum	——	——	——	——	——	1800	3440	4400	3100	4400	3100
Longueur entre tampons		16m 040		17,780	19m 140	21m 100	12m 700	12m 580		13m 100		12m 754
Empattement total		13m 160		14,150	15m 938	16m 300	8m 800	8m 740		8m 500		8m 500
dº rigide, trucks ppx		5m 550		5,750	2m 850	"						
dº dº bogies directr		2m 200		2,400	2m 440	2m 600	2m 700	2m 800		2m 800		2m 800
Diamètre des roues motrices		1m 750		1,750	1m 200	1m 100	1m 250	1m 350		1m 350		1m 350
Diamètre des roues porteuses		970 m/m		970	915 m/m		"					
Diamètre des fusées	Essieu moteur	220 m/m		210	140	160 m/m	160 m/m	160 m/m		150 m/m		160 m/m
	Essieu porteur	170 m/m		160	140	"						
Longueur des fusées	essieu moteur	330 m/m		250	268	280 m/m	280 m/m	280 m/m		280 m/m		280 m/m
	essieu porteur	280 m/m		250	268							
Nombre de moteurs		4		4	6	4	4	4		4		4
Encombrement des moteurs	Hauteur	1,800		1m 360	0m 865	0m 747	0m 886	1m 120		0m 950	1m 03	0m 950
	Largeur	1,540		1,280	1,250	0,766	0m 870	1m 048		0,976	1,010	0,976
	Longueur	1,800		1,360	1,425	1,063	1,000	0,910		0,965	0,940	0,965
Poids d'un moteur		13T 500	13T 500	7T 540	5T 320 avec essieu monté	3T 115	4T 100	5T 020		4T 465	4T 765	4T 465
Poids total		129T 950	131T 730	121T 000	125T 000	113T 000	65T 150	69T 200	76T 700	77T 400	78T 000	73T 200
Poids adhérent		72T 000		72T 000	78T 000	65T 150	69T 200	76T 700		77T 400	78T 000	73T 200
Poids par essieu moteur		18T 000		18T 000	13T 000	16T 300	17T 300	19T 175		19T 350	19T 500	18T 300
Poids par essieu de bogie	1er essieu	14T 490	14T 930	11T 000	12T 000	8T 160	——	——	——	——	——	——
	2e essieu	14T 490	14T 930	13T 500	14T 500	9T 250	——	——	——	——	——	——
Poids non suspendu par essieu moteur		4T 190	4T 190	3T 500		4T 170	——	——	——	——	——	——
Poids par cheval de puissance unihoraire		31k 000	30k 000	33k 600	34k 700	39k 000	65k 800	42k 200	44k 500	54k 5	46k 4	51k 5
Puissance unihoraire globale de chaque série		8600 cv		7200 cv	3000 cv	79200 cv	131200 cv	137600 cv		38240 cv		24000 cv
Puissance unihoraire globale du parc		429040 . cv.										
Nombre de machines commandées ;		285 machines .										

est de l'ordre de 3.500 *ch*, cette puissance correspondant sensiblement à un effort unihoraire à la jante de 21 à 22.000 k*g*. à une vitesse d'environ 40 k*mh* ; la puissance continue correspondante, pour des moteurs à ventilation forcée, pourrait atteindre atteindre 2.800 *ch*.

Cette condition de puissance nous conduit à envisager un poids de machine de 140 à 155 *t*. (50 à 55 k*g* par *ch* de puissance continue, y compris récupération ou freinage rhéostatique).

Si on veut, d'autre part, que l'effort de 21 à 22.000 k*g* corresponde, suivant la pratique habituelle à une utilisation de l'adhérence de 15 à 16 %, il faudra que le poids adhérent de la machine soit de l'ordre de 140 à 150 *t*. Les deux conditions de puissance et d'adhérence nous conduisent donc au même poids de 150 *t*. environ pour les machines de marchandises à adhérence totale susceptibles de répondre aux conditions de service futures. Une vitesse maximum de l'ordre de 60 k*mh* correspondant à une vitesse soutenue de 40 k*mh* n'imposant d'ailleurs aucunement l'emploi de bogies ou de bissels directeurs, il apparaît nettement que le type de machines à prévoir pour répondre aux besoins futurs probables est une machine à 8 essieux moteurs pouvant être chargés chacun à 20 *t*.

Ces considérations sont celles qui nous ont guidés dans le choix du type de machine à adopter.

Dans tous nos projets, nous avons toujours supposé que la locomotive de marchandises normale serait constituée par deux locomotives type BB accouplées électriquement et conduites par une seule équipe d'un poste unique de commande.

L'amélioration de service qui résultera de l'emploi de trains de marchandises de plus en plus lourds sera considérable, bien qu'avec les poids de trains de 2.000 *t* que l'on pourra envisager au départ ou à l'arrivée à Paris, on soit encore bien loin des conditions de service américaines que l'on peut, au moins à ce point de vue, prendre comme modèle (1).

L'économie de temps et d'argent que permettra l'augmentation de la charge de trains que nous avons prévue compensera très largement le supplément de dépense qui semble devoir résulter de l'accroissement de vitesse commerciale moyenne qui sera réalisé sans doute en même temps, au moins dans la section de ligne très chargée de Paris-Etampes.

Pour le moment, avec une seule machine BB il est possible de remorquer sur la section de Paris-Vierzon des trains de marchandises d'un millier de tonnes:

à la vitesse nominale de 30 k*mh* (V max. = 45 k*mh*) en utilisant le couplage série parallèle champ shunté,

à la vitesse nominale de 40 k*mh* (V max. = 60 k*mh*) en utilisant le couplage parallèle champ maximum.

Service des trains de Voyageurs a grande vitesse

En ce qui concerne la remorque des trains de voyageurs à grande vitesse, le but que nous avons poursuivi est d'accroître notablement la vitesse commerciale de marche des trains express et rapides même les plus lourds *sans augmentation de la vitesse maximum admise actuellement dans les différentes parties du parcours.*

---

(1) Sur le Virginian Railway on utilise normalement des trains de marchandises de 9.000 *t* et des essais ont été effectués sur ce même réseau avec des trains chargés à 11 ou 12.000 *t*.

La marche du train rapide d'inauguration de la ligne de Vierzon à Paris a été tracée sans modifier en rien les règlements en vigueur sur le réseau et applicables aux trains remorqués à vapeur, la vitesse limite restant fixée à 120/125 k*mh* ; c'est ainsi que la distance de 200 k*m* séparant Vierzon de Paris a été franchie en 1 *h* 57 *m*, la vitesse étant restée constamment comprise entre 100 et 125 k*mh*, sauf au passage de certains points spéciaux, tels que la gare des Aubrais où la vitesse a été réduite à 40 k*mh* sur environ 2 kilomètres.

Les essais faits avec un train de 650 *t* montrent qu'il est possible de franchir la même distance de Vierzon à Paris ou inversement en 2 *h*, 5 *m* environ, les machines électriques pouvant remorquer 650 *t* en palier et alignement droit à la vitesse de 110 k*mh*.

En rampe de 8 % la vitesse soutenue est de 75/80 k*mh* alors que, dans les mêmes conditions, une Pacific de 54 *t* d'adhérence ne pourrait remorquer, en essai, que 580 *t* à 50 k*mh* ; en pratique, avec cette charge, la vitesse du train vapeur serait de l'ordre de 45 k*mh*.

La figure 2 ci-après reproduit le relevé de l'appareil enregistreur de vitesse et donne quelques indications générales sur les conditions de marche correspondantes.

Ces résultats sont atteints en utilisant la propriété caractéristique des locomotives électriques munies de moteurs de type série, de développer une puissance d'autant plus grande que l'effort résistant est plus grand ; avec la machine à vapeur, la puissance à la jante qui dépend presque uniquement de la capacité de vaporisation de la chaudière, demeure à peu près constante dans un long intervalle de vitesse.

La figure 3 ci-après donne en fonction de la vitesse l'effort maximum de traction au crochet du tender d'une machine à vapeur du type Pacific de 4 *m*, 27 de surface de grille et l'effort au crochet d'une machine électrique du type 2 D 2 à champ maximum 100 % et champ réduit à 60 %.

L'examen de cette figure montre que, si vers 110 k*mh* les efforts utiles de traction sont les mêmes pour la machine à vapeur et la machine électrique marchant à champ maximum, en rampe de 10 %, un train de 530 *t* ne pourra être remorqué qu'à la vitesse soutenue de 52 k*mh* environ, tandis qu'il pourra l'être par la machine électrique à 78 k*mh* (champ maximum) ou à 88 k*mh*, (champ minimum).

Il y a lieu de remarquer d'ailleurs qu'à 100 k*mh* l'effort de traction au crochet qui est de l'ordre de 2.200 k*g* pour la machine Pacific, dépasse 5.300 k*g* avec la machine électrique, la puissance utile étant ainsi près de 2,5 fois plus grande pour cette dernière.

Pour pouvoir tirer de cette « aptitude au travail » des locomotives électriques tout le parti possible, il faut donner aux machines ;

a) Une puissance soutenue assez grande pour que les vitesses correspondant aux caractéristiques puissent être maintenues sans échauffement exagéré des moteurs pendant la montée des rampes les plus longues ;

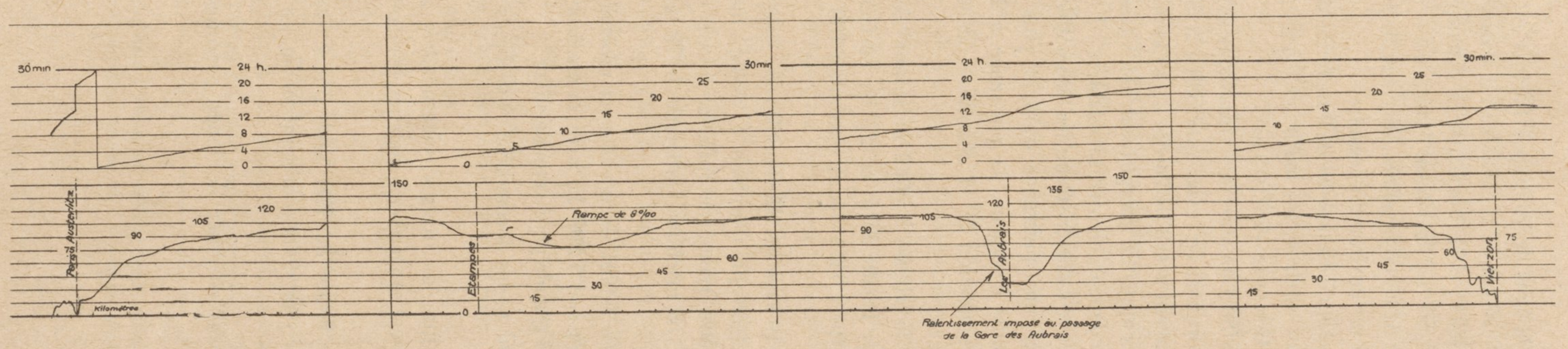
b) Une stabilité de marche telle que la vitesse limite de 120 k*mh* puisse être soutenue normalement partout où cela est possible, compte tenu de la configuration ou de l'état de la voie.

c) Une capacité de service suffisante pour pouvoir effectuer de longs parcours de 600 à 700 k*m* sans arrêt pour visite et entretien.

* * *

Fig. 2. — EXTRAITS DU RELEVÉ DU CHRONOTACHYMÈTRE ENREGISTREUR SUR PARIS-VIERZON ET RETOUR.

Locomotive E_2 D_2 502. Train de 650 *t* (18 voitures). Tension moyenne d'alimentation 1350 volts..



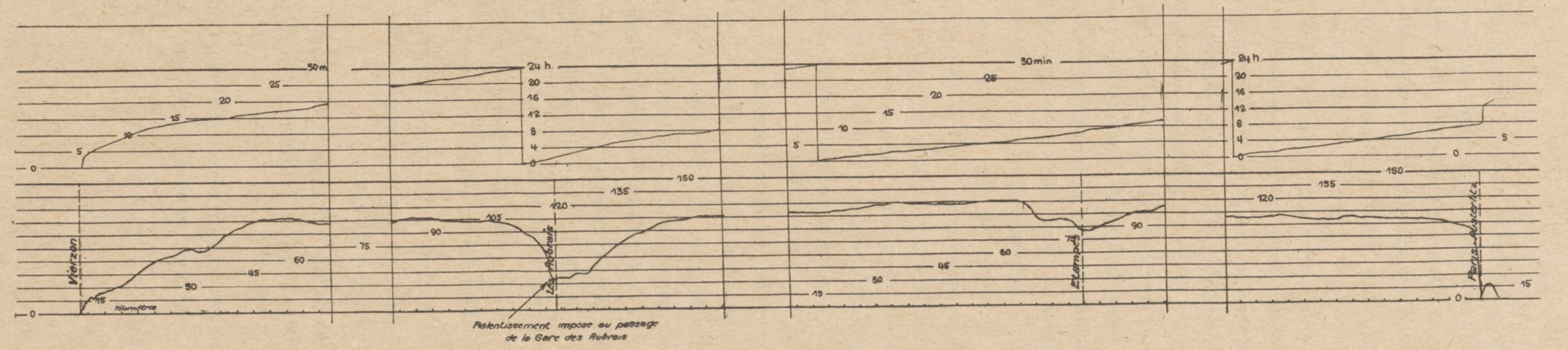
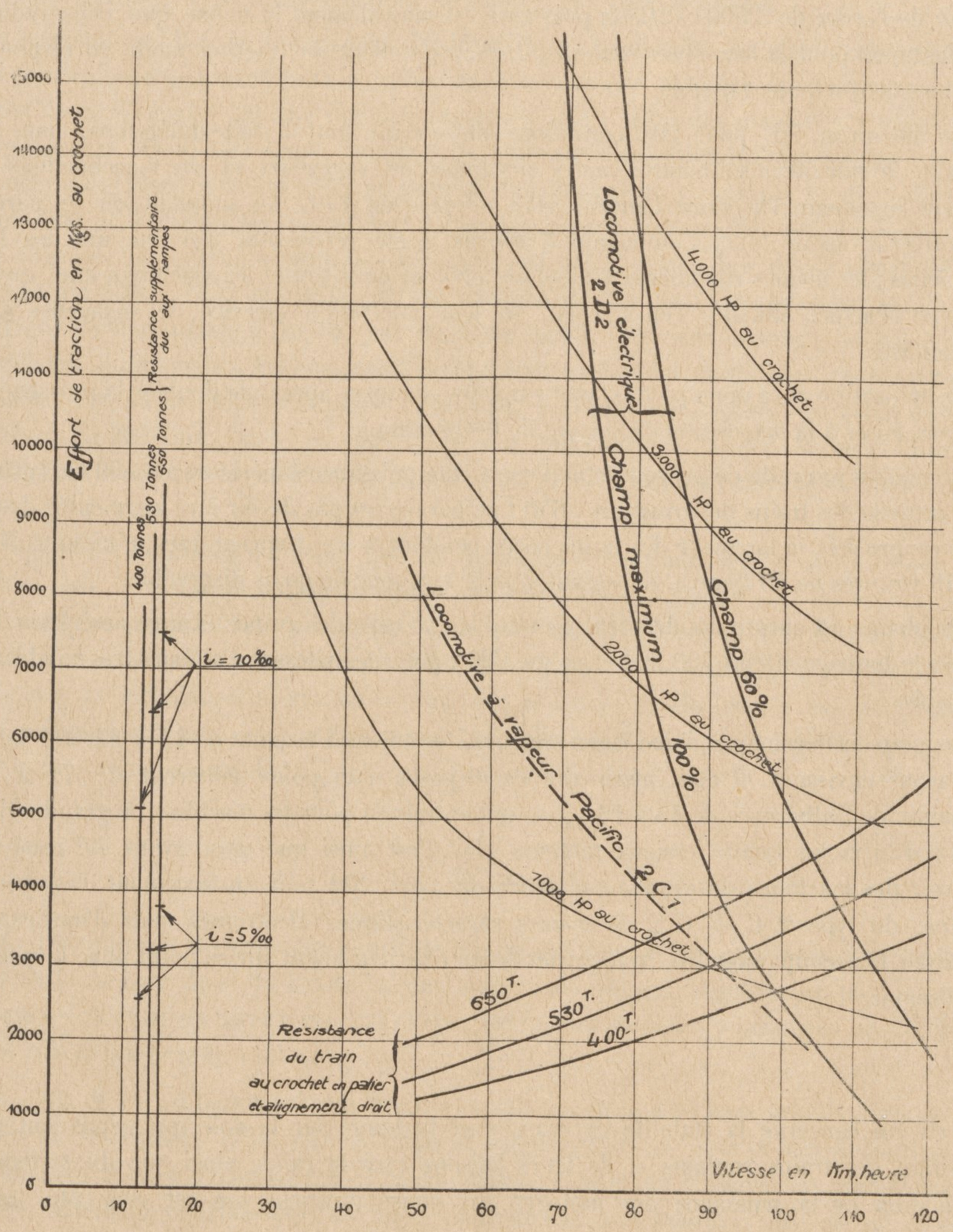


Fig. 3. — Efforts de traction au crochet des locomotives a vapeur et électriques a grande vitesse.



Pour répondre à la première condition on doit, au moins sur le réseau d'Orléans et pour la ligne de Paris à Toulouse, déterminer la puissance soutenue des machines de manière que le train de poids maximum (650 *t*) puisse être remorqué sur la déclivité maximum (10 %) à une vitesse réelle au moins égale à la vitesse nominale des trains express (environ 75 k*mh*). L'effort de traction atteignant alors environ 10.000 k*g* au crochet d'attelage et 12 à 13.080 k*g* à la jante des roues motrices la puissance comptée aux essieux moteurs devra être à 75 k*mh* de l'ordre de 3.500 *ch*. Cette puissance est sensiblement la même que celle indiquée précédemment pour la locomotive-marchandises, à un effort de traction moité correspondant une vitesse sensiblement double.

Nous retrouvons ici, pour des conditions de service tout à fait différentes, une règle « d'égalité de puissance soutenue » entre machines de voyageurs et de marchandises que l'éminent ingénieur Théodore Laurent avait adoptée en 1907 au moment où le parc de locomotives à vapeur de la Compagnie d'Orléans a été reconstitué par lui sur des bases rationnelles ; les mêmes chaudières avaient été prévues pour toutes les machines quel que fut leur type (Pacific, Mikado, Ten wheels), ou leur affectation (service de voyageurs et de marchandises).

L'électrification aura donc permis, une vingtaine d'années après, de doubler la puissance des machines mises à la disposition du service de l'exploitation.

Il ne semble pas utile de prévoir actuellement une puissance supérieure à 3.500 *ch*, la charge limite actuelle des trains de voyageurs : 650 *t* ne paraissant pas devoir être augmentée dans un avenir rapproché ; la longueur des trains correspondant à ce tonnage (au minimum 300 *m* pour 16 voitures de 40 *t* env.), dépassant déjà la longueur de quais disponible.

Cette charge est encore notablement plus faible que celle des grands express américains pour lesquels le tonnage atteint 700,800 et même 900 *t* pour des vitesses d'ailleurs très notablement plus faibles.

Pour pouvoir développer d'une façon soutenue les efforts à la jante de 12 à 13.000 k*g* que nous avons envisagés, il était nécessaire de disposer d'un poids adhérent de 72 à 80 *t* (utilisation de l'adhérence de 15 à 16 %) ce qui entraînait pour les machines à grande vitesse l'emploi d'au moins quatre essieux moteurs (1). C'est ainsi que nous avons été conduits à concevoir des machines de grande puissance du type 2D2 tout en acceptant d'essayer des machines du type 2 C + C 2 de mêmes caractéristiques électriques mais d'une capacité thermique beaucoup moindre. Nous reviendrons ultérieurement sur ce point pour le préciser et le discuter.

*
* *

En ce qui concerne la stabilité de marche et la tenue sur la voie qui dépendent de la disposition des trains roulants et de leurs liaisons avec la caisse ainsi que du système de transmission de la puissance des moteurs aux roues motrices, on est gêné plus par la

---

(1) On sait combien il est difficile de réaliser des machines à vapeur à grande vitesse à quatre essieux moteurs ; c'est cette difficulté qui donne un intérêt tout particulier à l'étude qui a été faite à la Compagnie d'Orléans des machines électriques de type 2D2 à bielles.

multiplicité que par le manque de solutions. On peut employer des transmissions directes sans engrenages, des transmissions par bielles, des transmissions par engrenages intérieurs ou extérieurs aux longerons ; tous ces dispositifs paraissent susceptibles de donner des résultats satisfaisants s'ils sont bien étudiés. Il ne faut pas oublier en effet que même les dispositifs simples avec moteurs à suspension par le nez, tels qu'ils sont utilisés dans les automotrices ou les locomotives de type BB, permettent de réaliser des vitesses élevées.

Les locomotives BB de la Compagnie d'Orléans, aussi bien celles construites en 1899 que celles construites récemment pour le service de marchandises et celui de voyageurs à faible vitesse ($Vn = 65$ kmh), ont une stabilité très supérieure à celles des machines à vapeur pour des vitesses de 90 à 100 kmh ; nombre de tramways interurbains américains circulent également à des vitesses de cet ordre en prenant du courant sur un simple fil de trolley. Les automotrices de l'Ouest-État descendent la longue pente de Versailles aux Invalides à des vitesses qui ont pu atteindre sans inconvénient 110 à 120 kmh. Les essais restés célèbres effectuées en 1901, 1902 et 1903 par les chemins de fer de l'État prussien sur la ligne stratégique de Marienfelde à Zossen, ont d'ailleurs montré qu'avec le mode de construction classique des automotrices, les bogies à 3 essieux étant seulement munis d'un rappel ordinaire par ressort à lames, on pouvait atteindre, sans danger et sans mouvements parasites excessifs, des vitesses de 200 kmh. Dans ces essais, une des automotrices, celle de la Société Siemens, était équipée avec quatre moteurs triphasés dont les rotors étaient calés directement sur les essieux.

Ces quelques exemples montrent que le problème de la construction des locomotives à grande vitesse ne présente pas de difficultés insurmontables au point de vue mécanique et les résultats extrêmement satisfaisants que nous avons obtenus à des vitesses de 120/130 kmh, résultats sur lesquels nous reviendrons plus loin, prouvent maintenant d'une façon indiscutable que la circulation à grande vitesse des locomotives électriques est un problème résolu pratiquement *quel que soit le système de transmission utilisé,* par bielles, par engrenages ou par accouplement direct.

* * *

En ce qui concerne la capacité pratique de service qui dépend presque exclusivement de la simplicité du mécanisme et du fini de la construction, on ne peut en juger que par des essais d'endurance effectués en service courant et comportant des parcours journaliers de l'ordre de 700 km effectués à grande vitesse.

A ce point de vue, il paraît difficile de tirer aucune conclusion sérieuse des résultats obtenus dans les électrifications déjà en exploitation depuis plusieurs années en Europe ou en Amérique, car aucune d'elles ne comporte de service régulier de voyageurs à grande vitesse. En Italie, en Suisse, en Amérique, on fait circuler de temps en temps, à titre d'essai, certains trains à des vitesses de l'ordre de 100 kmh, mais il s'agit là de parcours exceptionnels et non d'exploitation normale. C'est pour cette raison qu'avant de commander en série des locomotives à grandes vitesse, la Compagnie d'Orléans a crû devoir procéder à des essais comparatifs prolongés avec un certain nombre de machines de types aussi différents que possible en vue

de déterminer quels sont les dispositifs les plus satisfaisants au point de la robustesse et de l'endurance. Ces essais commencés depuis plusieurs mois sur des lignes électrifiées de faible longueur, vont maintenant pouvoir se poursuivre entre Paris et Vierzon et porter sur des parcours mensuels de l'ordre de 12.000 k*m*.

Dès maintenant, certains types de machines ont pu parcourir plus de 11.000 k*m* par mois sans qu'aucun incident ait nécessité la sortie du roulement de la machine correspondante.

Le parcours global des quatre machines à grande vitesse en essai (la cinquième machine n'a pas encore été mise en service) dépassait au 31 Décembre 1926 : 170.000 k*m*. Ce n'est que vers le milieu de 1927 que nous possèderons les éléments voulus pour faire un choix motivé du type de machine à commander en série.

Dans la détermination des types de machines à essayer, nous avons été guidés, non seulement par l'étude des résultats déjà obtenus en Europe et en Amérique, mais encore et surtout par le désir de pouvoir tirer de nos essais des renseignements généraux susceptibles de faire progresser la construction électro-mécanique.

Nous préciserons, en décrivant chaque type de machine, les diverses questions techniques à l'étude desquelles nous avons essayé de contribuer et nous compléterons ces quelques indications générales sur les machines électriques en établissant nettement la distinction qu'il faut faire entre la caractéristique de fonctionnement effort-vitesse de nature purement mécanique et la caractéristique de capacité de travail ou d'échauffement de nature électrothermique.

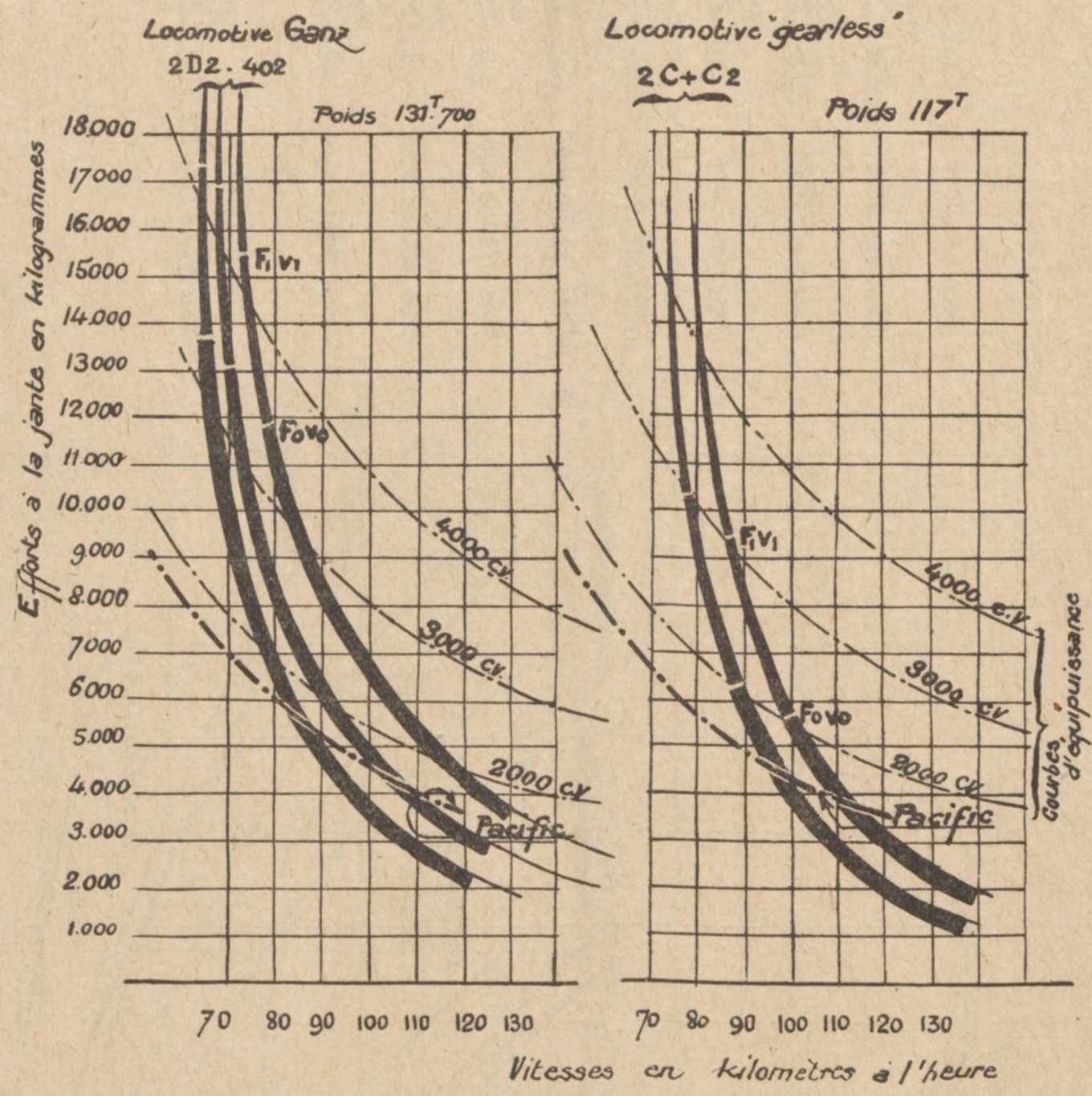
Observation sur les Caractéristiques de Fonctionnement des Machines electriques.

La puissance d'une locomotive électrique bien construite n'est limitée que par l'échauffement des moteurs de traction qui continuent à fonctionner en apparence d'une façon satisfaisante même quand on dépasse notablement la charge pour laquelle ils sont construits. Il y a une différence essentielle entre le moteur à vapeur qui « cale » quand l'effort à développer est trop grand et le moteur électrique qui risque de « brûler » quand l'effort exagéré qui lui est demandé est maintenu trop longtemps.

On pourrait, je dirai même on devrait, coter les caractéristiques efforts de traction-vitesse en « temps » par l'inscription de la durée nécessaire pour qu'un échauffement limite, 120° par exemple, soit atteint au régime effort-vitesse (F,V) considéré (Fig. 4). Pour toute la partie de la courbe située à droite du point F_0 V_0 dit de puissance continue, le régime F.V correspondant peut être maintenu indéfiniment. Pour la partie de la courbe située entre le point $F_0 V_0$ et le point $F_1 V_1$ dit de puissance unihoraire, un régime F_1 V quelconque peut être soutenu pendant un temps progressivement décroissant de l'infini à une heure. Enfin pour la partie de la courbe située au-dessus de F_1, V_1, le régime F, V correspondant à un point quelconque peut être maintenu pendant un temps d'autant moins long que l'on s'éloigne du point F_1 V_1 et que l'on se rapproche de la charge de patinage (adhérence 25 à 30 %) qui peut être soutenue pendant quelques minutes seulement.

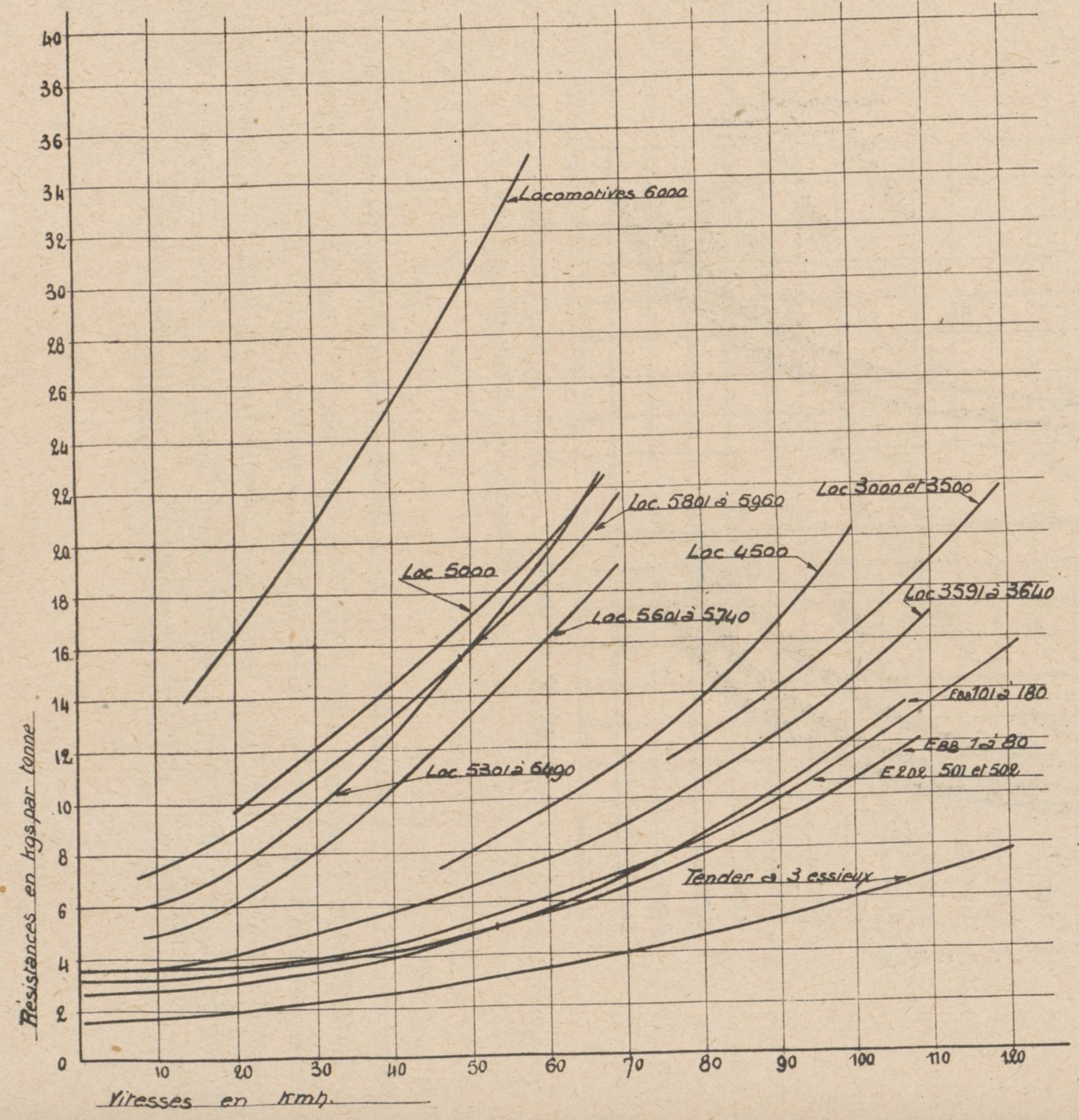
Pour mieux faire ressortir cette différence, nous avons accolé à chaque caractéristique une bande ombrée de largeur constante dans toutes les parties où la charge peut être supportée indéfiniment et de largeur décroissante dans les parties où la charge n'est acceptable que pendant une durée limitée, la bande étant d'autant moins large que la durée est plus courte. Cette représentation rend évidente la différence qui existe entre la machine type 2D2 N° 402

Fig. 4.



et la machine 2 C + C 2 N° 601 dont les puissances continues sont respectivement de 3.600 et de 2.100 chevaux. Il apparaît que puisqu'il est possible de construire des machines qui, sans dépasser le poids total d'une machine à vapeur tender compris, peuvent développer des puissances dont on est loin d'avoir besoin normalement dans une exploitation européenne de chemin de fer, les échauffements en service courant seront très faibles et avec des moteurs entièrement suspendus les conditions de conservation seront particulièrement favorables.

Fig. 5. — Courbes de résistance au roulement des principaux types de locomotives électriques et a vapeur en service sur le réseau du chemin de fer de Paris a Orléans.



		Poids en ordre de marche. Machine	Tender.
Machines 3000	Roues de 2m	74 000 K.	46 350 K.
Machines 3500	Roues de 1m900	92 800 K.	46 350 K.
Machines 4500	Roues de 1m800	90 000 K.	46 350 K.
Machines 5000	Roues de 1m500	74 600 K.	31 150 K.
Machines 6000	Roues de 1m350	85 200 K.	31 150 K.
Mnes 3591 à 3640	Roues de 1m900	93 300 K.	54 900 K.
Mnes 5301 à 5490	Roues de 1m350	92 700 K.	
Mnes 5601 à 5740	Roues de 1m600	99 500 K.	
Mnes 5801 à 5960	Roues de 1m600	92 000 K.	46 950 K.
Mnes E2D2 501 et 502	Roues de 1m750	Poids { E2D2 501 : 121 T. E2D2 502 : 125 T.	
Loc. E88 1 à 80	Roues de 1m250	69 T. 200	
Loc. E88 101 à 180	Roues de 1m350	75 T.	

PARC DE MACHINES ÉLECTRIQUES PRÉVU POUR L'ÉLECTRIFICATION DES LIGNES

PARC DE MACHINES ÉLECTRIQUES PRÉVU POUR L'ÉLECTRIFICATION DES LIGNES

	de PARIS à BRIVE	de BRIVE à CLERMONT (2)	de St-SULPICE à GANNAT (2)
Nombre de locomotives électriques prévues	Automotrices ..... 80 Locomotives type BB ..... 143 Locomotives GV 50 273	Locomotives BB + BB ..... 35 avec récupération	Locomotives BB + BB ..... 30 avec récupération
Nombre fictif (1) de tracteurs	$50 + 143 + \frac{80}{3} = 219$		
Poids total Σ P	Automotrices ..... 80 × 65 = 5.200 Locomotives BB ... 143 × 72 = 10.300 Locomotives GV ... 50 × 120 = 6.000 21.500	Locomotives BB + BB : 35 × 160 t = 5.600	Locomotives BB + BB : 30 × 160 = 4.800
Poids moyen par unité fictive	97 t	160 t	160 t
Poids adhérent Σ Pa	Automotrices ..... 80 × 65 = 5.200 Locomotives BB ... 143 × 72 = 10.300 Locomotives GV .... 50 × 72 = 3.600 19.100	Locomotives BB + BB : 35 × 160 t = 5.600	Locomotives BB + BB : 30 × 160 = 4.800
Poids adhérent moyen par unité fictive	87 t	160 t	160 t
Rapport $\frac{\Sigma P}{\Sigma Pa}$	1. 11	1.	1.
Puissance approximative unihor.	Automotrices ..... 80 × 990 = 79.200 Locomotives BB 143 × 1.700 = 243.100 Locomotives GV. 50 × 3.500 = 175.000 497.300	Locomotives BB + BB : 35 × 3.400 = 119.000	Locomotives BB + BB : 30 × 3.400 = 102.000
Puissance approximative moyenne par unité fictive	2.275 ch	3.400 ch	3.400 ch

(1) Chaque rame automotrice comprenant 3 automotrices et 6 remorques nous devons, pour la comparaison, ne compter qu'une unité dans le nombre fictif de machines pour 3 automotrices.

(2) Dans le cas des lignes de montagne on pourrait envisager l'emploi de machines C+C de 96 t d'adhérence mais nous serions d'avis de recourir dès l'origine à l'emploi de machines BB doubles pour pouvoir utiliser la puissance totale des attelages. La décision à prendre dépendra largement de celle qui aura été prise au sujet de l'emploi du frein continu au moment de la commande des machines de montage avec récupération.

PARC DE LOCOMOTIVES A VAPEUR EN SERVICE SUR LES LIGNES

	de PARIS à BRIVE			de BRIVE à CLERMONT			de SAINT-SULPICE à GANNAT		
Longueur de la ligne	502 km			492 km			323 km		
Longueur virtuelle ⟶	567 km	moyenne 589		434 km	moyenne 463		337 km	moyenne 330	
Longueur virtuelle ⟵	612 km								
Coefficient moyen de virtualité	= 1,17			198 km = 2,34			190 km = 1,74		
	VOYAGEURS	MARCHANDISES	TOTAL	VOYAGEURS	MARCHANDISES	TOTAL	VOYAGEURS	MARCHANDISES	TOTAL
Nombre approximatif de locomotives à vapeur	234	207	441	27	42	69	26	34	60
Poids total en tonnes Σ (P + P1)	27.526	22.045	49.571	2.310	4.168	6.478	3.041	3.397	6.438
Poids moyen machine et tender	117	106	112	85.5	99	94	118	99	107
Poids adhérent total Σ Pa	11.079	12.366	23.445	1.497	2.832	4.329	1.662	2.124	3.786
Poids adhérent moyen	47.4	59.6	53	55.5	67.5	63	64	62	63
Rapport $\frac{\Sigma (P + P_1)}{\Sigma Pa}$	2.5	1.8	2.12	1.54	1.47	1.52	1.83	1.59	1.70
Surface de grille moyenne	3,4	2,86	3,16	2,42	2,95		3,6	2,85	
Surface de grille totale Σ G	798	592	1.390	655	123	188	94	97	191
Puissance approximative en chevaux .... moyenne	1.360	1.140	1.260	965	1.180	1.100	1.440	1.140	1.270
Puissance approximative en chevaux .... totale	320.000	236.000	556.000	26.000	50.000	76.000	37.500	37.500	76.500

46e Année. Avril 1927. REVUE GÉNÉRALE DES CHEMINS DE FER 1er Semestre. — N° 4.

ÉLECTRIFICATION PARTIELLE DU RÉSEAU DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS

Par M. PARODI,

DIRECTEUR HONORAIRE DES SERVICES D'ÉLECTRIFICATION,
INGÉNIEUR CONSEIL DE LA COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS.

(Suite) (1)

(Pl. II)

UTILISATION DE L'ÉNERGIE (*Suite*)

2° Locomotives a Grande Vitesse

Les locomotives à grande vitesse d'essais commandées par la Compagnie d'Orléans sont de cinq types différents :

Une machine N° 401 type 2D2 (Pl. II) d'une puissance unihoraire de 4.200 *ch* à quatre moteurs multipolaires de construction normale, formant deux groupes, chaque groupe entraînant les deux essieurs moteurs correspondants par deux jeux de bielles du système hyperstatique de M. de Kando.

Une machine N° 402 type 2D2 d'une puissance unihoraire de 4.400 *ch* à quatre moteurs multipolaires avec enroulement de compensation sur le stator, et entraînement élastique sur le rotor formant deux groupes de deux moteurs, chaque groupe entraînant les deux essieux moteurs correspondants par un jeu de bielles du système de Kando modifié suivant les indications de l'auteur de manière à le transformer en système isostatique à élasticité réglable.

Ces deux machines ont été construites par la Société Ganz de Budapest.

Une machine N° 501 type 2D2, d'une puissance unihoraire de 3.600 *ch* à quatre moteurs multipolaires de construction normale, entraînant chacun l'essieu moteur correspondant par l'intermédiaire de deux jeux d'engrenages extérieurs et de biellettes système Buchli.

Une machine N° 502 type 2D2 d'une puissance unihoraire de 3.600 *ch* avec bogies guides d'un modèle spécial, à quatre moteurs multipolaires pouvant travailler en traction et en

(1) Voir *Revue Générale*, N°s de Novembre et Décembre 1925, de Février, Mars, Avril, Août, Septembre 1926, de Janvier et Mars 1927.

Source gallica.bnf.fr / Ecole nationale des Ponts et chaussées

récupération, munis d'un enroulement de compensation sur le stator ; chacun de ces moteurs entraîne l'essieu correspondant par l'intermédiaire de deux jeux d'engrenages extérieurs et de biellettes système Buchli.

Ces deux machines ont été étudiées, en collaboration étroite avec le Service Electrique de la Compagnie d'Orléans, par la Société Brown Boveri pour la partie électrique et par la Société Winterthur pour la partie mécanique.

Une machine N° 601 type 2C+C2 d'une puissance unihoraire 3.000 *ch* avec bogies guides de type normal (1), à six moteurs bipolaires de type Batchelder à inducteurs suspendus et induits calés directement sur les essieux moteurs correspondants.

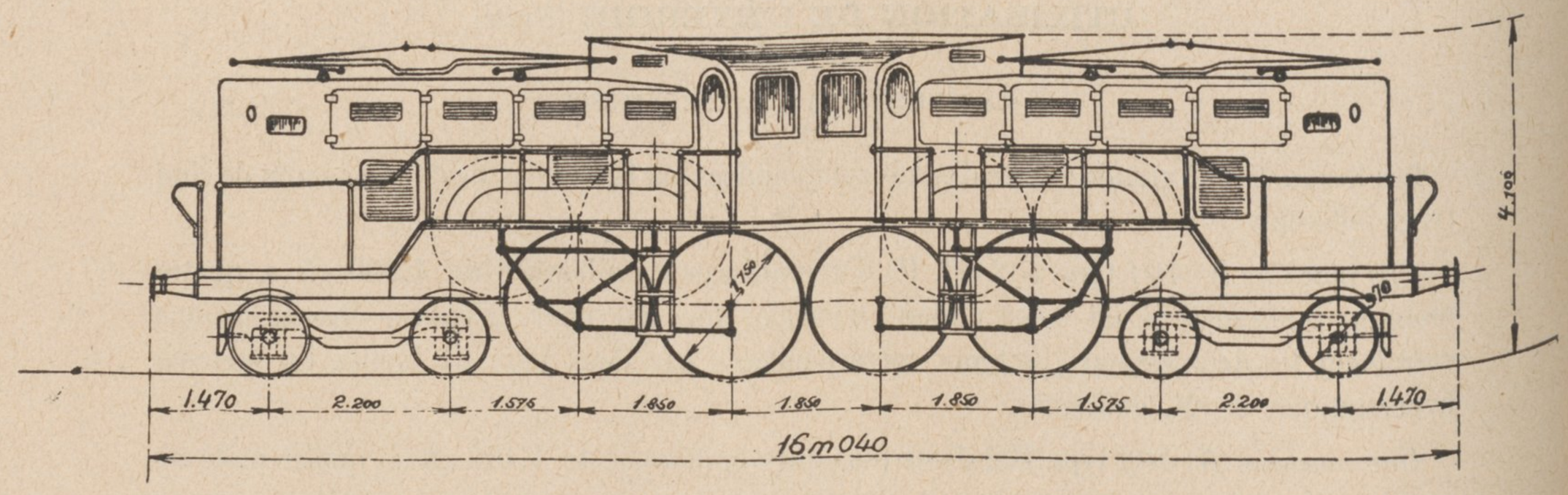
Cette locomotive a été construite, la partie électrique par la Général Electric Co et la partie mécanique par l'American Locomotive Co ;

Les bogies guides ont été modifiés en France par la Société Franco-Belge.

A. — Locomotives n° 401 et 402 Type 2D2 a bielles

Description générale des machines. — La figure 1 montre la disposition des trains roulants et du châssis.

Fig. 1.



La caisse qui fait corps avec le châssis principal, repose sur les quatre essieux moteurs par l'intermédiaire de ressorts ayant une flexibilité de 6, m*m* 29 par tonne et par ressort ; elle repose également sur les bogies directeurs par l'intermédiaire de quatre semelles S, S' (Fig. 2).

La répartition de la charge sur les divers essieux, y compris ceux du bogie, est assurée par un système de balanciers de modèle normal pour les essieux moteurs, d'un type spécial représenté sur la figure 2 pour les essieux porteurs (bogie).

Le mode d'articulation des trains roulants (Fig 3) est tout à fait différent de celui ordinairement employé dans les machines à vapeur ; il dérive de celui déjà utilisé par les Chemins de fer italiens de l'Etat sur certaines locomotives à grande vitesse étudiées par M. de Kando.

---

(1) Le bogie à rappel par plans inclinés prévu par le Constructeur a été remplacé, sur la demande de l'auteur de la présente note, par un bogie à rappel par ressorts.

Fig. 1 *bis.* — Locomotive électrique E 2 D 2 401.

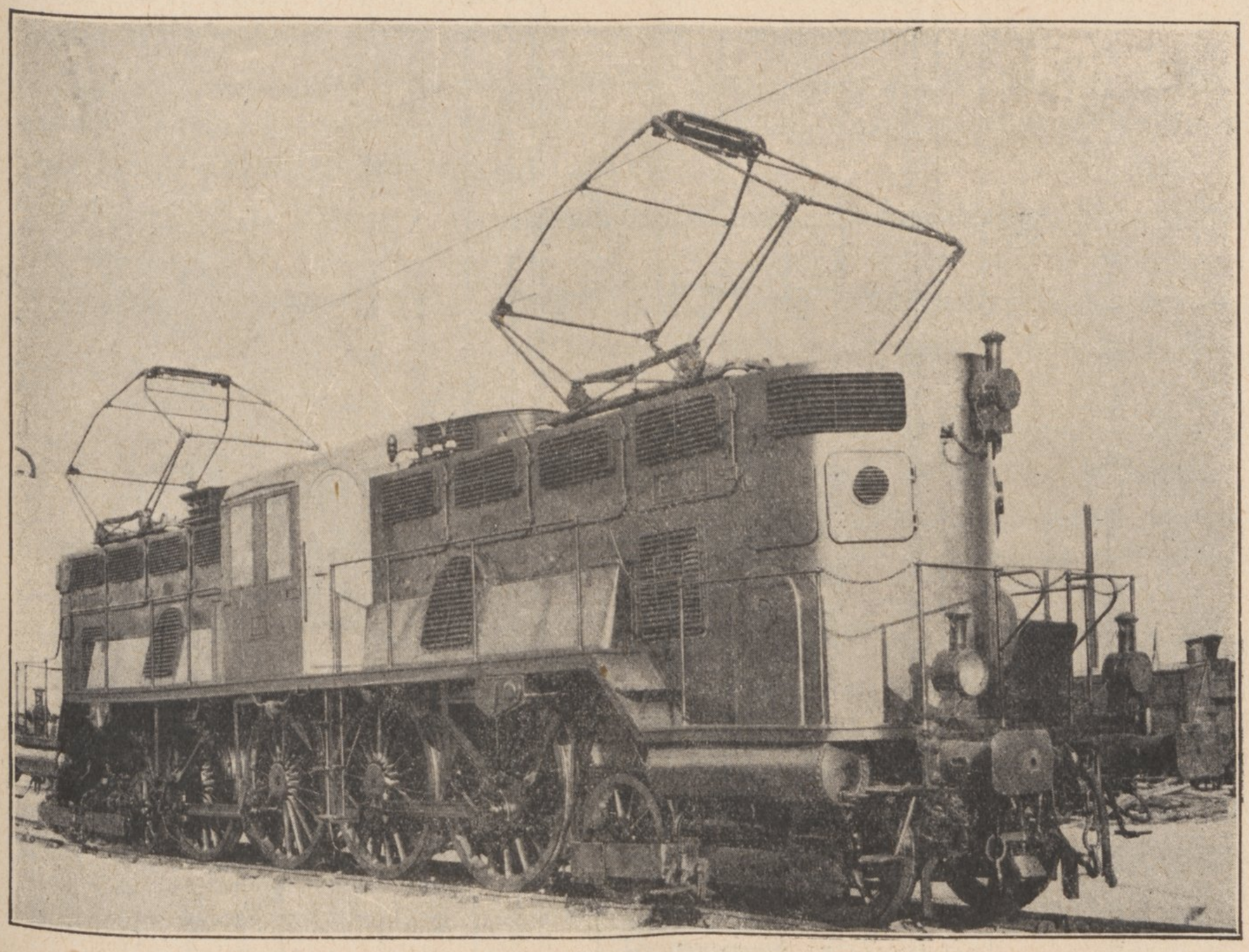
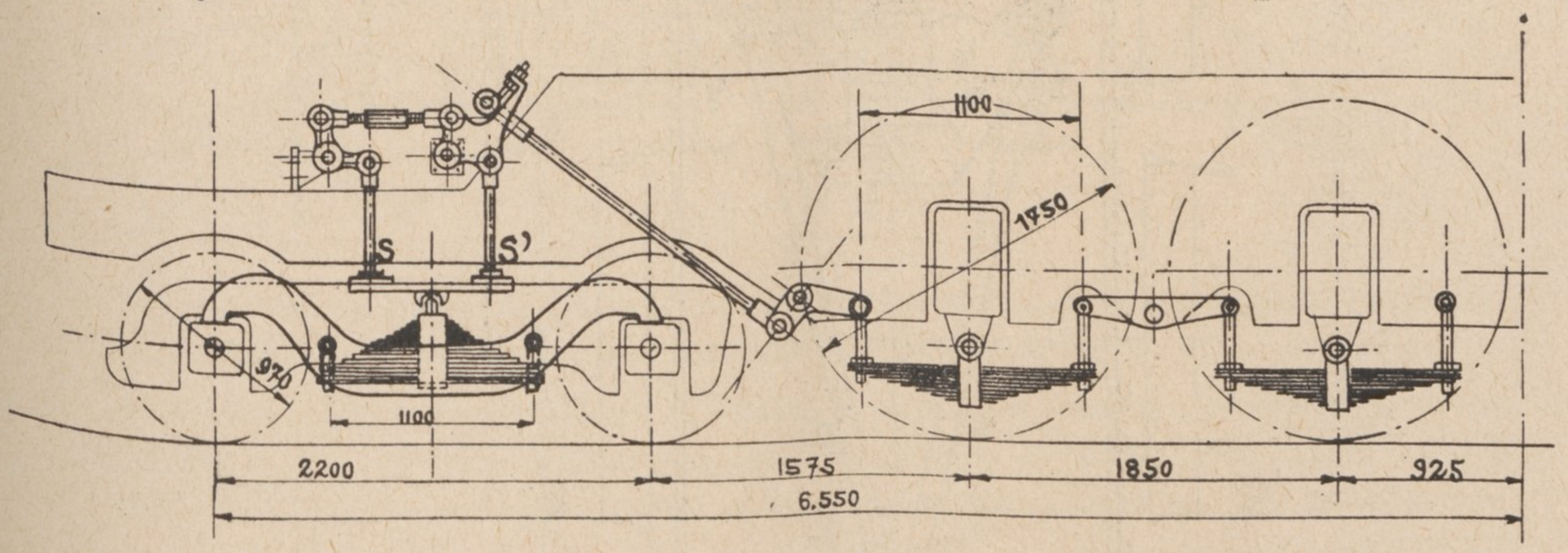


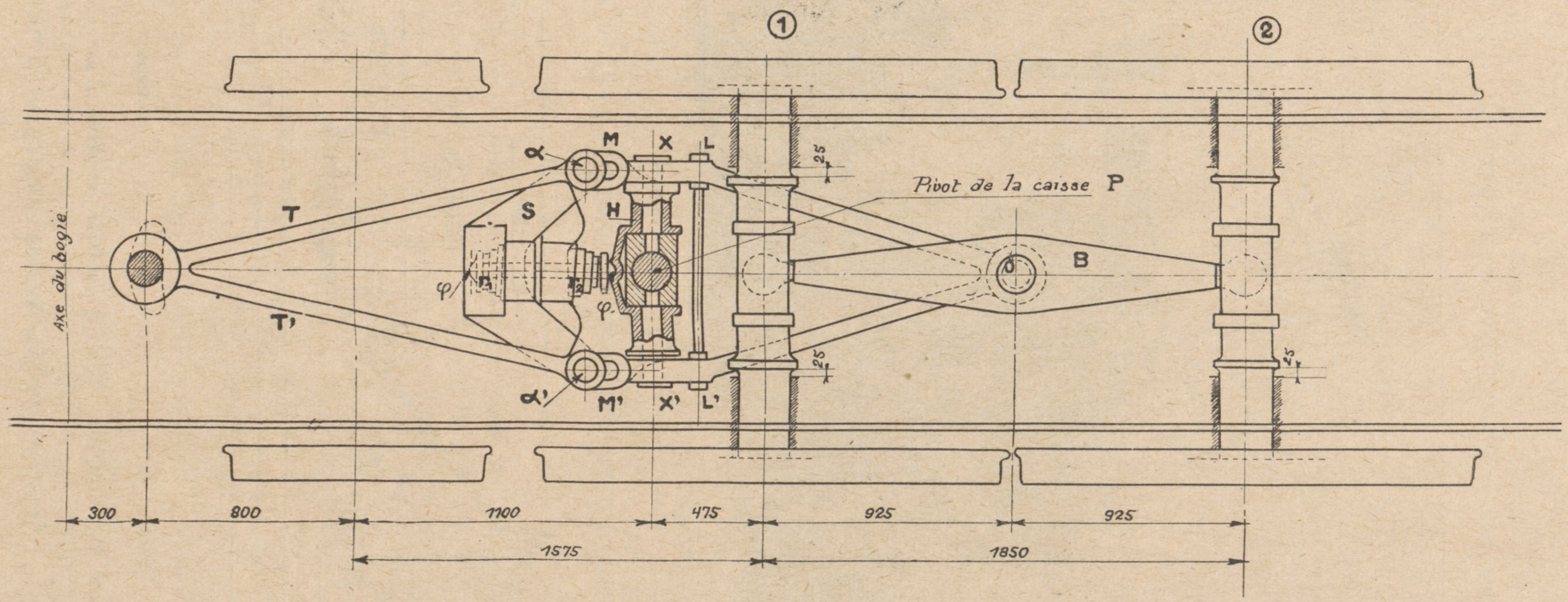
Fig. 2. — Schéma de la suspension des locomotives électriques E 2 D 2 401 et 402.



BOGIE		CHASSIS	
Flexibilité par tonne et par ressort	4mm 25	Flexibilité par tonne et par ressort	6mm 29

Flexibilité par tonne pour l'ensemble de la machine · 0mm 45

Fig. 3. — Dispositif de rappel du bogie guide de la locomotive " Ganz " E 2 D 2 401 et 402.



Caractéristiques des ressorts de rappel (Section 15 × 200).

Pour chaque ressort... { à l'état libre = Hauteur 273 m*m*
— — = Hauteur 215 m*m* charge 17.450 k*g*
à bloc = Hauteur 200 m*m* charge 22.000 k*g*

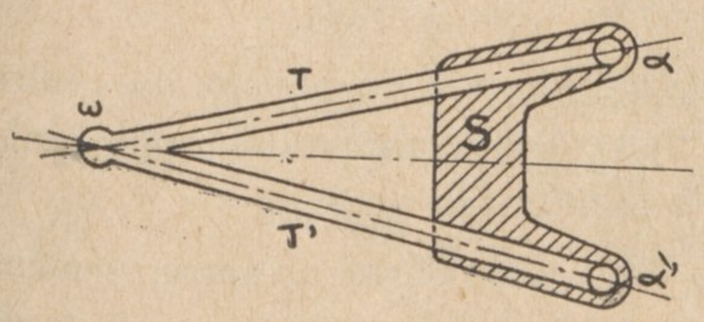
Les essieux moteurs (1) et (2) portent chacun un palier médian dans lequel sont ménagées des butées sphériques pour les genouillères du balancier horizontal B dont le centre O se déplace latéralement en suivant les mouvements latéraux des essieux (1) et (2).

La caisse porte un pivot vertical P autour duquel peut pivoter la pièce hachurée H. Cette pièce H est reliée au centre O du balancier B par le triangle OLL′ qui peut pivoter autour de l'axe vertical O et autour de l'axe horizontal XX′.

La pièce H est prolongée vers la gauche par deux oreilles doubles MM′ formant glissières.

Le pivot ω du bogie (Fig 4) est commandé par un timon indéformable, comprenant deux barres TT′ reliées par une entretoise S en forme de V.

Fig. 4.



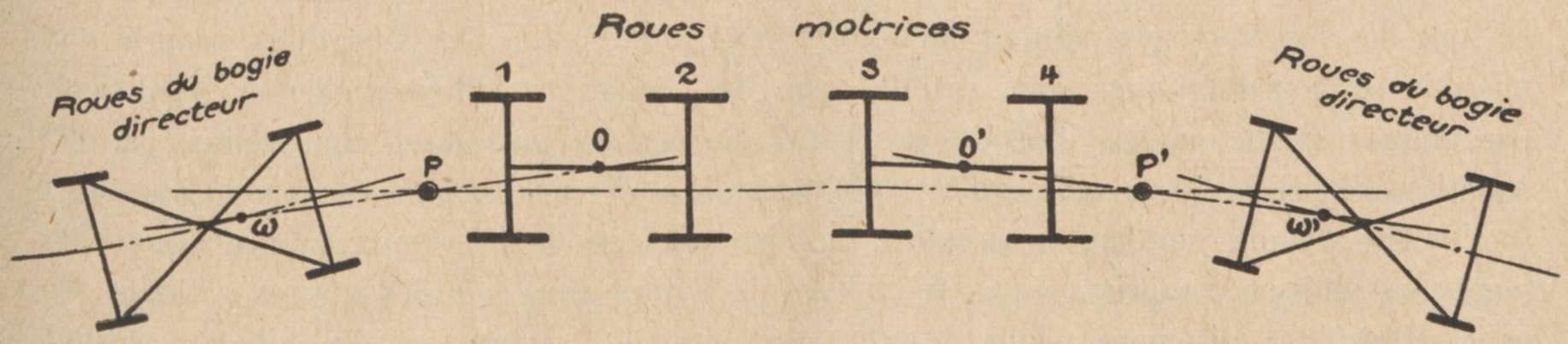
Les axes α et α′ du timon TT′ peuvent se déplacer dans les glissières MM′ de la pièce H (Fig 3).

Deux ressorts en spirale r_1 r_2 reposant sur deux butées φ et φ′ tendent à écarter l'entretoise S de la pièce H.

Remarquons tout d'abord que le châssis principal n'étant lié aux trains roulants que par les deux pivots P, une fois ceux-ci mis en place, pour les courbes de rayon supérieur à 200 *m*, il ne se produit plus aucun effort de rappel.

A ce moment, les trois points de chacun des deux groupes de points ω P O et ω′ P′ O′ (Fig. 5) étant respectivement en ligne droite, les ressorts de rappel r_1 r_2 n'interviennent plus.

Fig. 5.



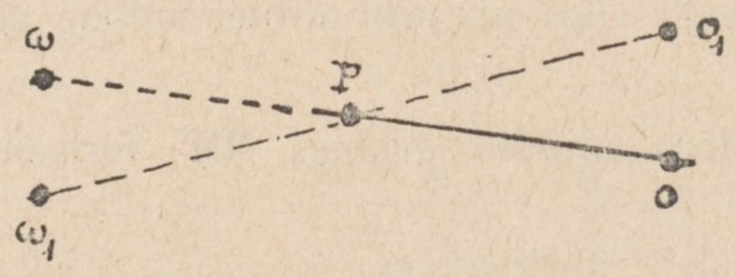
Supposons au contraire que l'on examine ce qui se passe quand le régime n'étant pas établi, on passe d'une partie de voie en alignement à une partie en courbe.

Au moment où le bogie avant entre en courbe, le pivot ω est entraîné à gauche de la droite 00′. L'axe α vient buter sur l'extrémité gauche de la glissière M pendant que l'axe α′ tend à coulisser vers la droite de la glissière M′ en comprimant les ressorts r_1 r_2 et en attirant le pivot P et par suite le châssis tout entier vers la gauche. En prenant appui sur le centre O du balancier B, le triangle LL′O pousse le balancier B vers la droite et par suite l'essieu (1) puis l'essieu (2) tendent à appuyer vers le rail extérieur.

Pendant la circulation en courbe, l'appui latéral que les roues doivent prendre sur les rails pour réaliser l'orientation de l'ensemble de la machine, est réparti sur le plus grand nombre d'essieux possible. Une différence capitale existe donc entre ce dispositif de rappel et ceux

habituellement employés ; le rappel, au lieu d'être fonction du déplacement linéaire $\omega\,\omega_1$ du pivot du bogie par rapport à l'axe longitudinal du châssis, dépend de l'angle $\omega_1 P O$ qui s'annule dès que le bogie et les essieux moteurs ont pris leur position d'inscription.

Fig. 6.



Autrement dit, le rappel n'agit qu'à l'entrée en courbe ; pendant la marche soutenue en courbe de rayon constant, mais supérieur à 200 *m*, le rappel est nul. Tout se passe donc dans ce cas comme dans une automobile où, une fois le volant mis en place pour décrire une courbe de rayon donné, on n'a aucun effort à faire pour continuer à décrire la même courbe ; le rappel normal agit, par contre, comme si un ressort tendait à ramener le volant de l'automobile dans une position correspondant à la marche en alignement (parallélisme des deux essieux).

Il y a lieu de noter que le pivot du bogie ω est placé un peu en arrière du centre géométrique du bogie, toujours dans le but d'obtenir pratiquement une répartition plus égale de la pression latérale des roues sur les rails, entre les deux essieux de bogie.

Le mode d'appui de la caisse sur les bogies permet d'ailleurs d'introduire un amortissement important entre caisse et bogie qui fait disparaître toute tendance de mouvement de lacet de la machine et d'obtenir une stabilité tout à fait remarquable aux grandes vitesses.

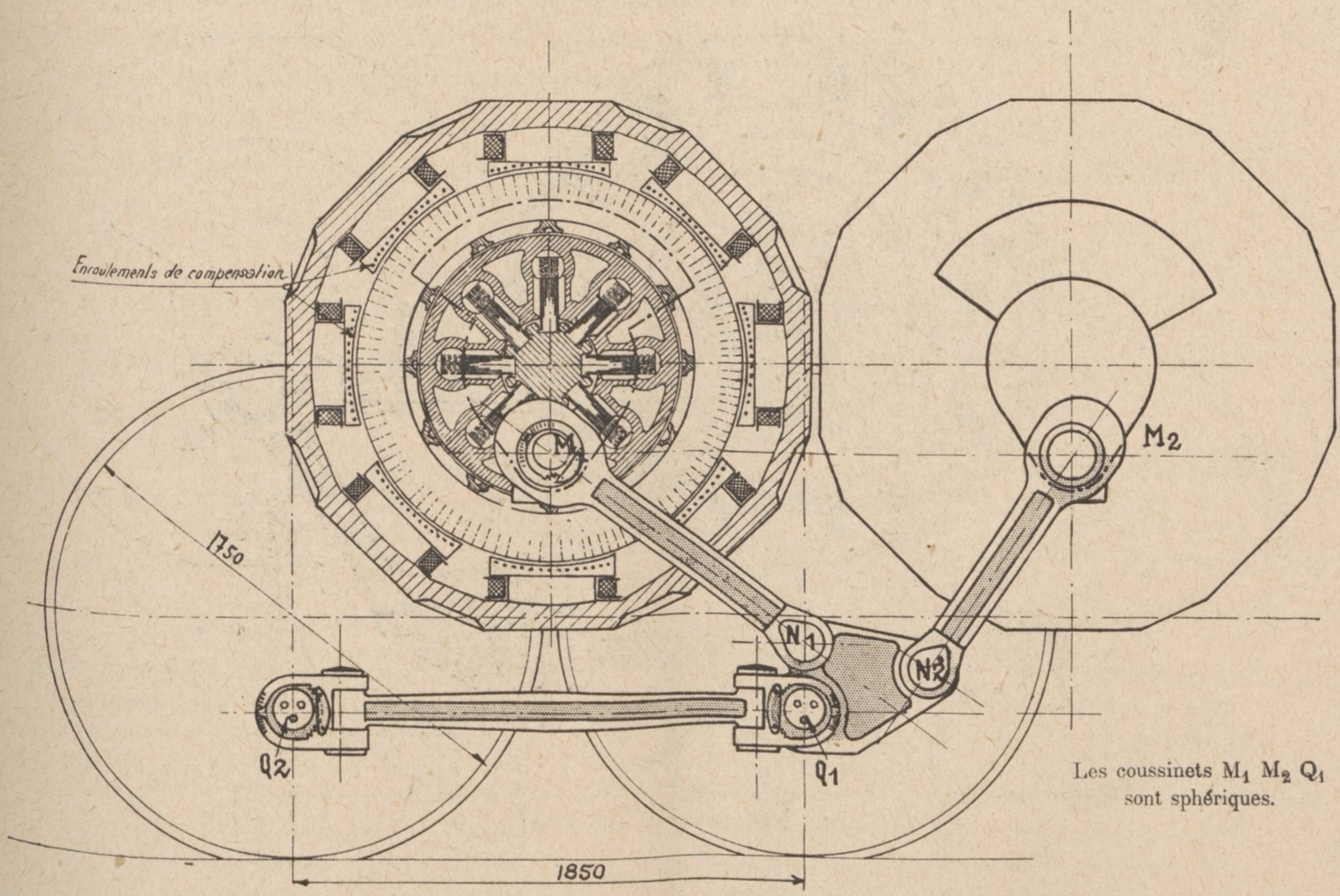
Systèmes de transmission par bielles. — J'ai indiqué dès 1912, au moment où la Compagnie d'Orléans a étudié la construction de machines de banlieue puissantes (1), quelles étaient les différences essentielles qui existaient entre les deux modes de transmission par bielles hyperstatiques et isostatiques. Du fait de la dissymétrie du châssis autour des arbres moteurs, les déformations et par suite les forces de réaction du châssis varient dans un tour et sont des fonctions périodiques du temps. Il en résulte que les vibrations propres des mécanismes hyperstatiques sont définies par des équations différentielles à coefficients périodiques, tandis que les vibrations propres du mécanisme isostatique sont définis par des équations différentielles à coefficients constants. Dans ce derniers cas, les vitesses de résonance sont *isolées*, tandis que dans le premier, il existe des *zones* de résonance pour lesquelles toutes les vitesses comprises entre les limites de chaque zone sont des vitesses critiques. On peut déterminer aisément, dans le cas de systèmes isostatiques, la vitesse critique fondamentale en fonction de l'inertie des masses tournantes et de l'élasticité du mécanisme. Si on introduit une élasticité réglable entre l'induit et son arbre, on peut, par expérience directe effectuée sur la partie mécanique seule de la locomotive, donner à la vitesse critique fondamentale, telle valeur que l'on désire, celle correspondant par exemple à la saturation du circuit magnétique pour le couplage série parallèle (environ 40 k*mh* pour la machine N° 402).

---

(1) Ces machines à 600 *V* décrites dans le N° de Mars 1922 de la *Revue Générale* viennent d'être retirées du service pour transformation à 1.500 *V* après avoir parcouru en moyenne chacune 140.000 k*m*. Aucune rupture ou déformation de bielle n'a été signalée depuis leur mise en marche, malgré la fréquence des arrêts et des démarrages inhérents à un service de banlieue.

Le mode de montage des ressorts à lames du moyeu élastique de chaque moteur est montré sur la figure 7.

Fig. 7. — Mécanisme moteur isostatique de la locomotive électrique E 2D 2 402.



Les coussinets M_1 M_2 Q_1 sont sphériques.

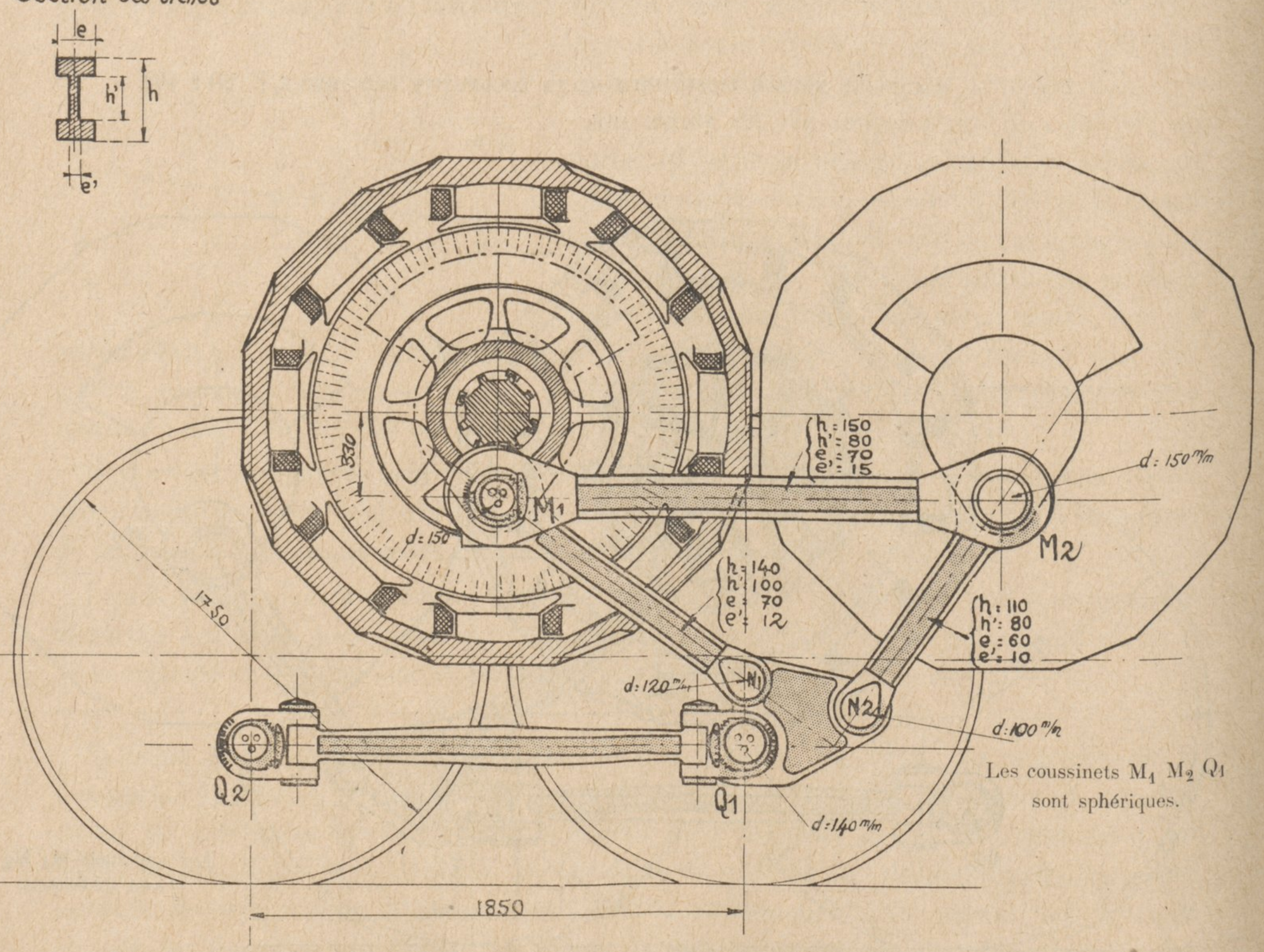
Dans le cas des bielles hyperstatiques, les dimensions des organes de transmission sont déterminées de manière à placer la zone de vitesse critique au delà de l'intervalle de vitesse utilisable en service courant (140 k*mh* environ pour la locomotive N° 401) (Fig. 8).

Pour que le système de transmission hyperstatique puisse fonctionner correctement, il faut que les longueurs des bielles et les paliers des moteurs soient très exactement réglés. La figure 8 montre comment les coussinets sphériques des têtes de bielles M_1 Q_1 Q_2 peuvent être déplacés au moyen d'excentriques à position repérée par un curseur tournant devant une graduation fixe. La figure 9 montre la disposition des paliers des moteurs à centrage réglable par variation du serrage d'un système de trois jeux de coins.

Les vis de serrage des coins sont manœuvrées au moyen d'une clef spéciale et des curseurs permettent de repérer la position de chaque jeu de coins par rapport à une graduation fixe portée sur le palier.

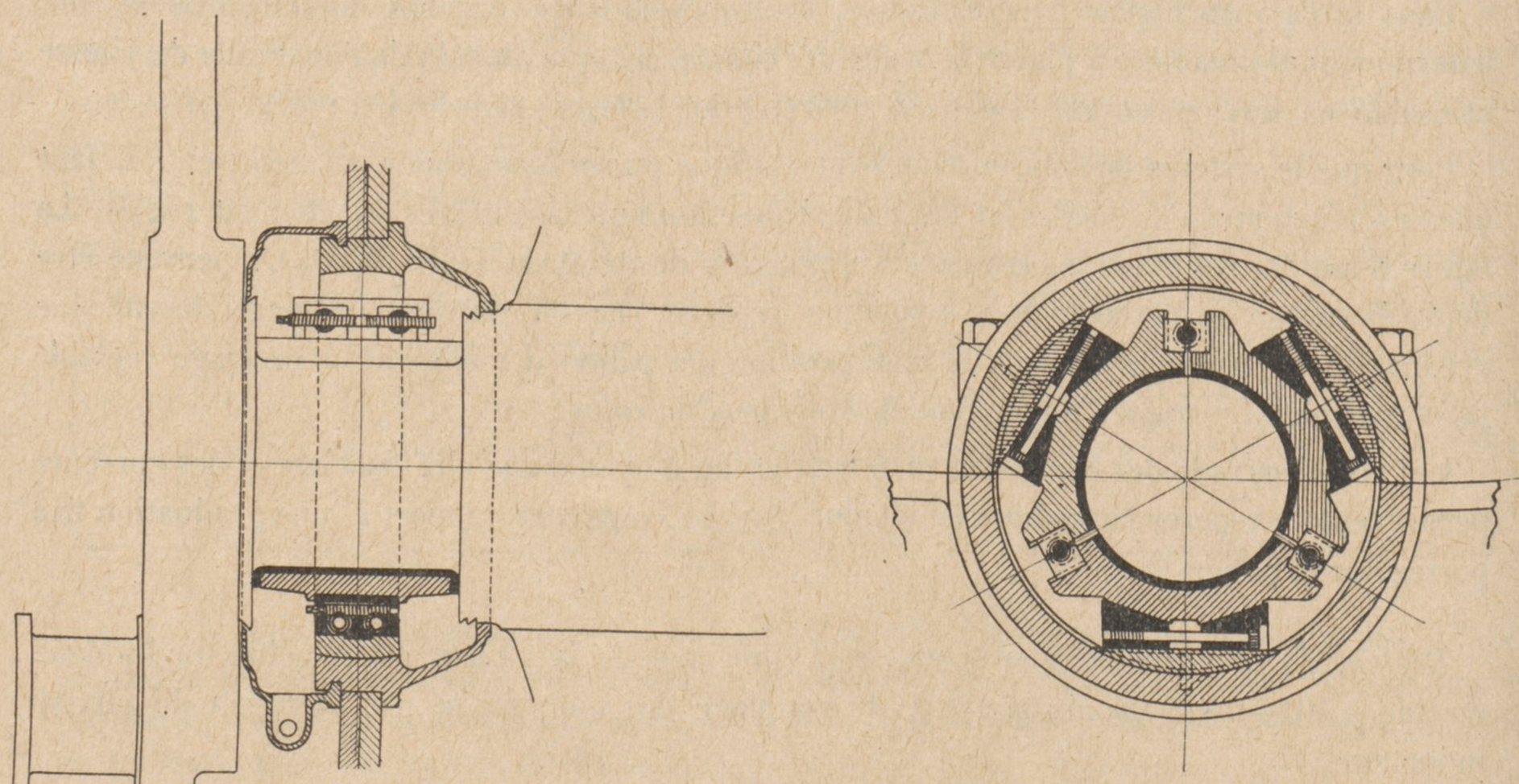
Réglage de la vitesse des moteurs.. — Le réglage de la vitesse est effectué sur les deux machines 401 et 402 par changement de couplage des moteurs et par variation du champ inducteur.

Fig. 8. — Mécanisme moteur hyperstatique de la locomotive électrique E 2 D 2 401.



Les coussinets M_1 M_2 Q_1 sont sphériques.

Fig. 9. — Palier des moteurs des locomotives électriques E 2 D 2 401 et 402.



Dans la machine 401, il y a neuf régimes de marche économiques correspondant à la combinaison des trois couplages série, série-parallèle et parallèle avec trois valeurs du champ inducteur : 100 %, 80 % et 60 %.

Dans la machine 402, qui est munie de moteurs compensés, le nombre de régimes de marche est de treize, correspondant aux combinaisons des trois modes de couplages avec cinq valeurs du champ inducteur : 100 %, 79 %, 59 %, 37 %, 25 %, les champs réduits à 37 et 25 % n'étant pas utilisés au couplage parallèle.

Les figures 10 et 11 représentent les caractéristiques de marche, effort de traction en fonction des vitesses des machines 401 et 402 ; à tous les efforts inférieurs à 6.000 kg

Fig. 10.

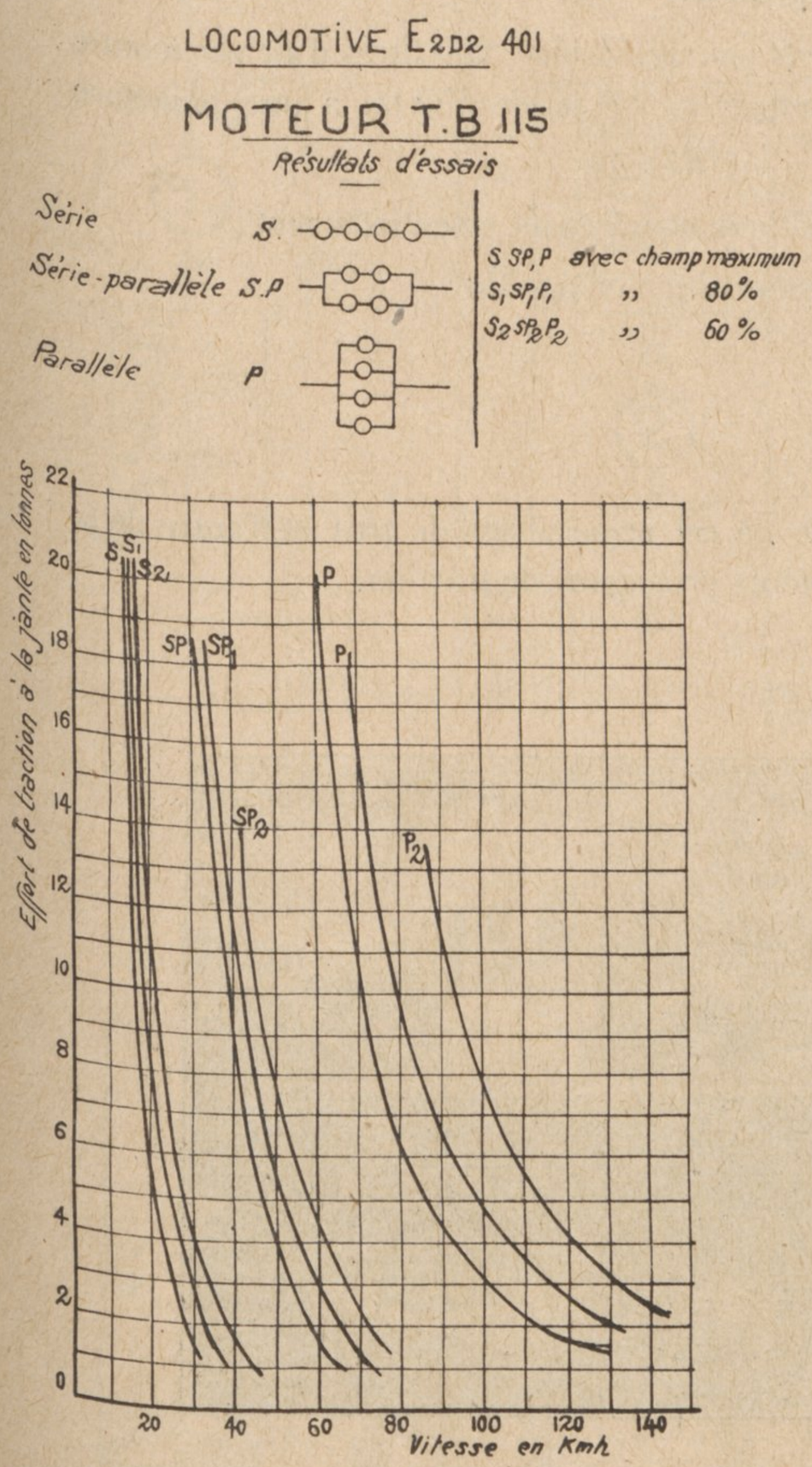
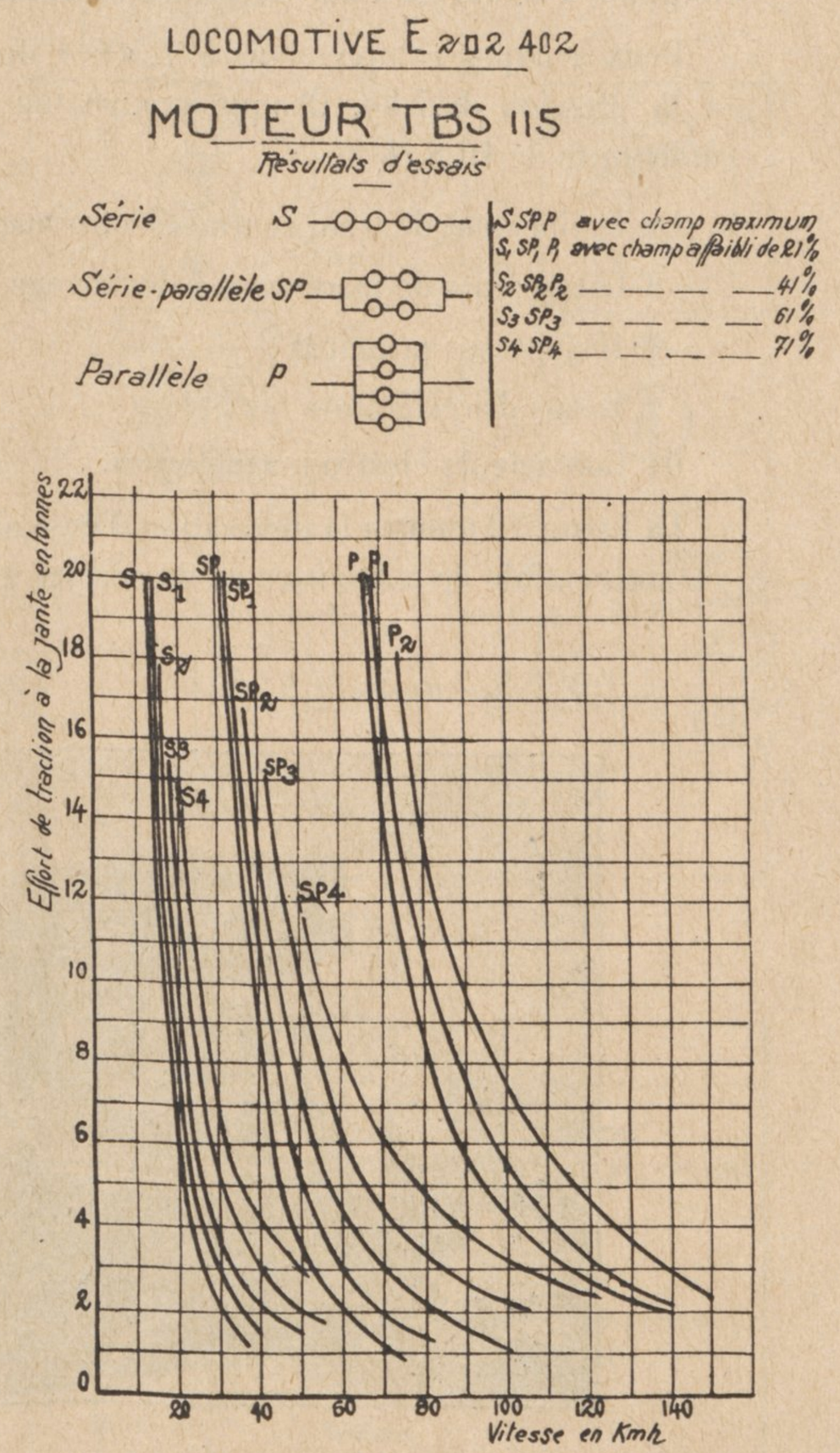


Fig. 11.



on pourra faire correspondre sur la machine 402, treize vitesses de marche économiques, à peu près régulièrement réparties de 20 à 120 *kmh*. Avec la machine 401, il y a une lacune d'une trentaine de kilomètres entre les caractéristiques série-parallèle, parallèle.

Appareillage électrique. — La partie électrique de ces machines comprend essentiellement :

Quatre moteurs à courant continu 1.500 *V* par collecteur, à ventilation forcée, d'une puissance unihoraire d'environ 1.000 *ch* chacun. Ces moteurs à huit pôles sont du type ordinaire à pôles saillants avec enroulements de compensation pour la machine 402 ;

Deux groupes moteurs générateurs, transformant le courant de traction à 1.500 *V* en courant continu 110 *V* pour l'alimentation des circuits de contrôle, d'éclairage, de ventilation. Chaque groupe, tournant à 1.200 t*m* environ comprend un moteur de 50 *ch* et une génératrice de 30 k*w* à 110 *V* ;

Deux groupes moteurs ventilateurs pouvant débiter 250 m^3 d'air par minute, à la pression de 80 m*m* assurent chacun la ventilation d'un couple de moteurs de traction. Chaque groupe tournant à 1.500 t*m* a une puissance continue de 20 *ch* ;

Deux groupes compresseurs à 1.500 *V* directs pouvant débiter 200 litres d'air par minute à la pression de 7 k*g*. Chaque groupe tournant à la vitesse de 450 t*m* a une puissance unihoraire de 10,8 *ch* ;

Un équipement de train control-électro-magnétique comprenant essentiellement :

2 Contrôleurs de manœuvre à démarrage automatique ou à main ;

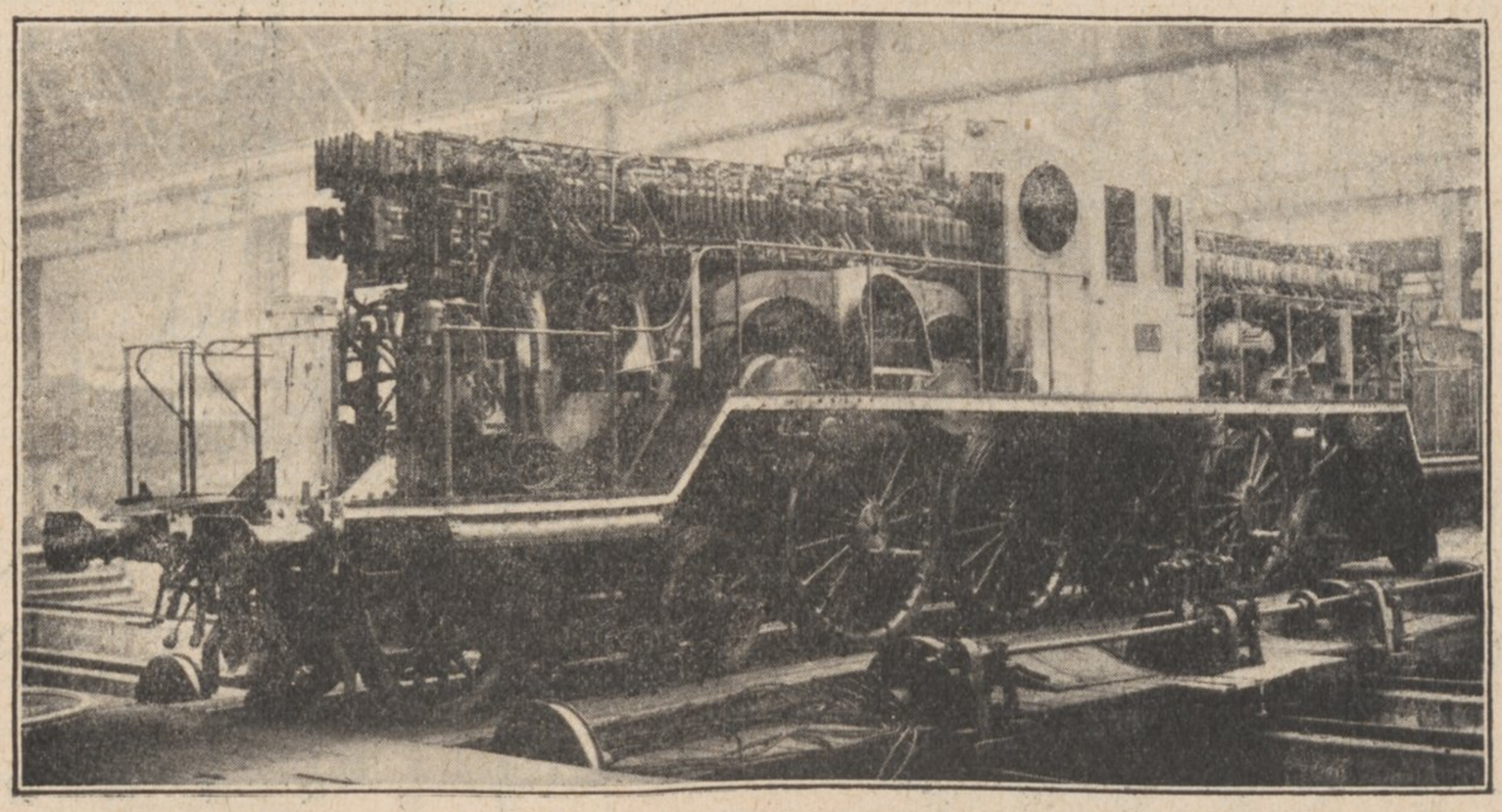
1 Disjoncteur principal ;

1 Relais d'accélération réglable ;

61 Contacteurs électro-magnétiques.

La figure 12 montre la disposition d'ensemble de cet appareillage de part et d'autre de la cabine centrale de manœuvre au-dessus des moteurs principaux de traction.

Fig. 12.

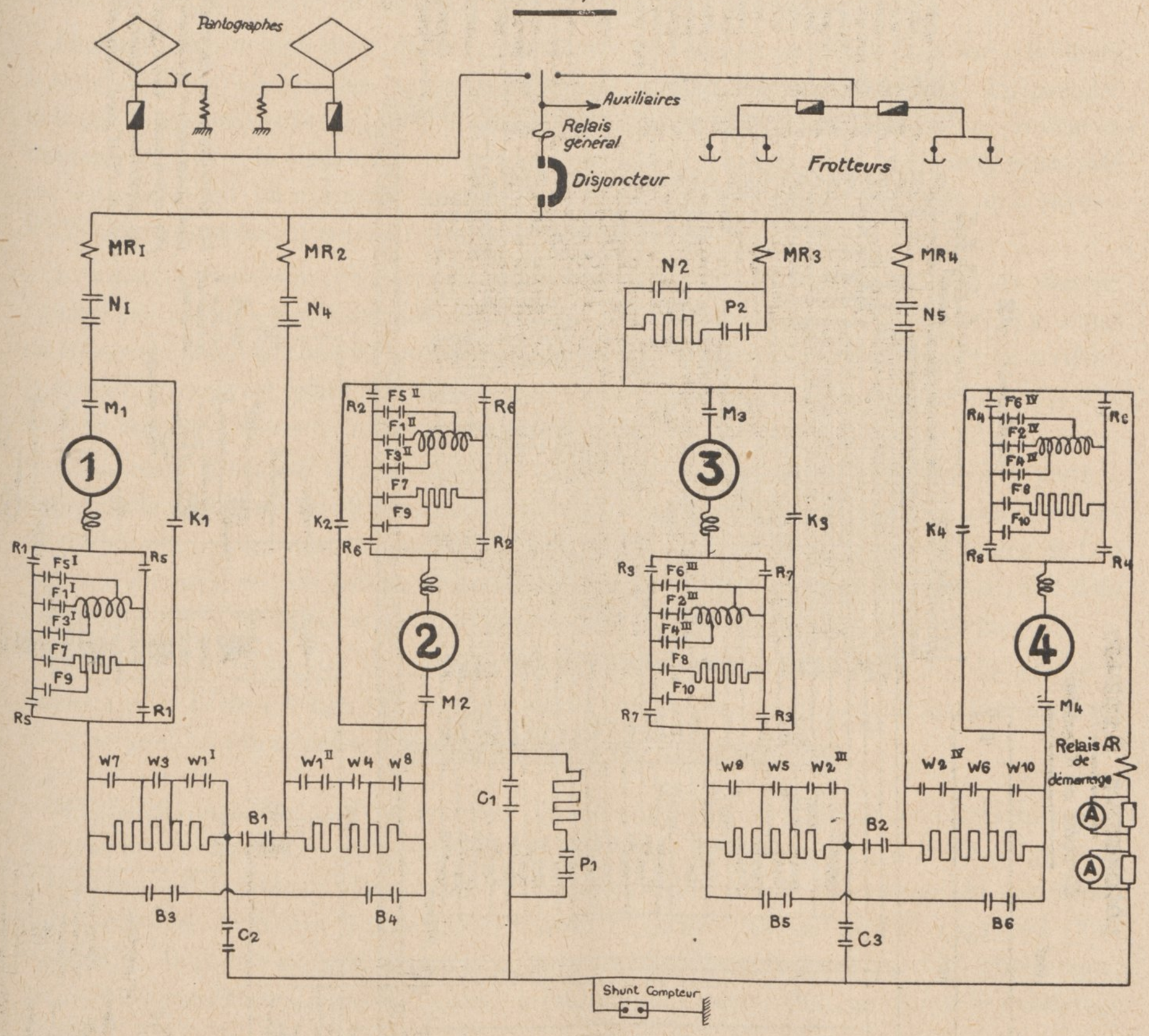


La figure 13 donne le schéma général de connexions du circuit de puissance et indique la position de chacun des appareils de commande correspondant pour les différentes positions du contrôleur principal.

Fig. 13.

LOCOMOTIVE E2D2 402

Circuits de puissance



Fermeture des Contacteurs

	x	M1-4	K1-4	N1	N2	N4-5	C1	C2-3	P1-2	B1-2	B3-6	B7-8	F1.3'.2'	F3.4.3'.4'	F5-6	F7.8	F9-10	W1-1'	W2-2'	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	M2.3.5	R1.6.7.8	contacteurs enclenchés
Série	1	●	○	●						●		●																○		15
	2	●	○	●						●		●																○		17
	3	●	○	●						●		●																○		19
	4	●	○	●						●		●																○		20
	5	●	○	●						●		●																○		21
	6	●	○	●						●		●																○		22
	7	●	○	●						●		●																○		23
	8	●	○	●						●		●																○		24
	9	●	○	●						●		●																○		25
	10	●	○	●						●		●																○		26
	S	●	○	●						●		●																○		31
	I	●	○	●						●		●																○		25
	II	●	○	●						●		●																○		25
	III	●	○	●						●		●																○		23/25
	IV	●	○	●						●		●																○		25/29
Passage	x	●	○	●						●		●																○		25
	xx	●	○	●						●		●																○		27
	xxx	●	○	●						●		●																○		29
Série-Parallèle	1	●	○	●						●		●																○		27
	2	●	○	●						●		●																○		27
	3	●	○	●						●		●																○		23
	4	●	○	●						●		●																○		25
	SP	●	○	●						●		●																○		31
	I	●	○	●						●		●																○		29
	II	●	○	●						●		●																○		29
	III	●	○	●						●		●																○		17/19
	IV	●	○	●						●		●																○		19/23
Passage	x	●	○	●						●		●																○		29
	xx	●	○	●						●		●																○		27
Parallèle	1	●	○	●						●		●																○		17
	2	●	○	●						●		●																○		27
	3	●	○	●						●		●																○		25
	P	●	○	●						●		●																○		29
	I	●	○	●						●		●																○		31
	II	●	○	●						●		●																○		31

Pos.	Nombre	Contacteurs				
P1.2	2	Contacteur unipolaire à interruption double				
B1.2.7	3	–	–	–	–	avec verrouillage
B3.6.8	5	–	–	–	–	–
F1.6	12	–	–	–	–	
F7.10	4	–	bipolaire	–	unique	
C1.2.3	3	–	unipolaire	–	double	avec verrouillage
K1.4	4	–	–	–	unique	–
M1.4	4	–	–	–	–	–
R1.8	8	–	bipolaire	–	–	–
N1.2.4.5	4	–	unipolaire	–	double	
W3.10	8	–	–	–	unique	
W1.2	4					
	61	Nombre de contacteurs				

Sont verrouillés

R1-4	avec	R5-8	M1	avec	K1
B7	"	C1	M2	"	K2
B1	"	C2	M3	"	K3
B2	"	C3	M4	"	K4

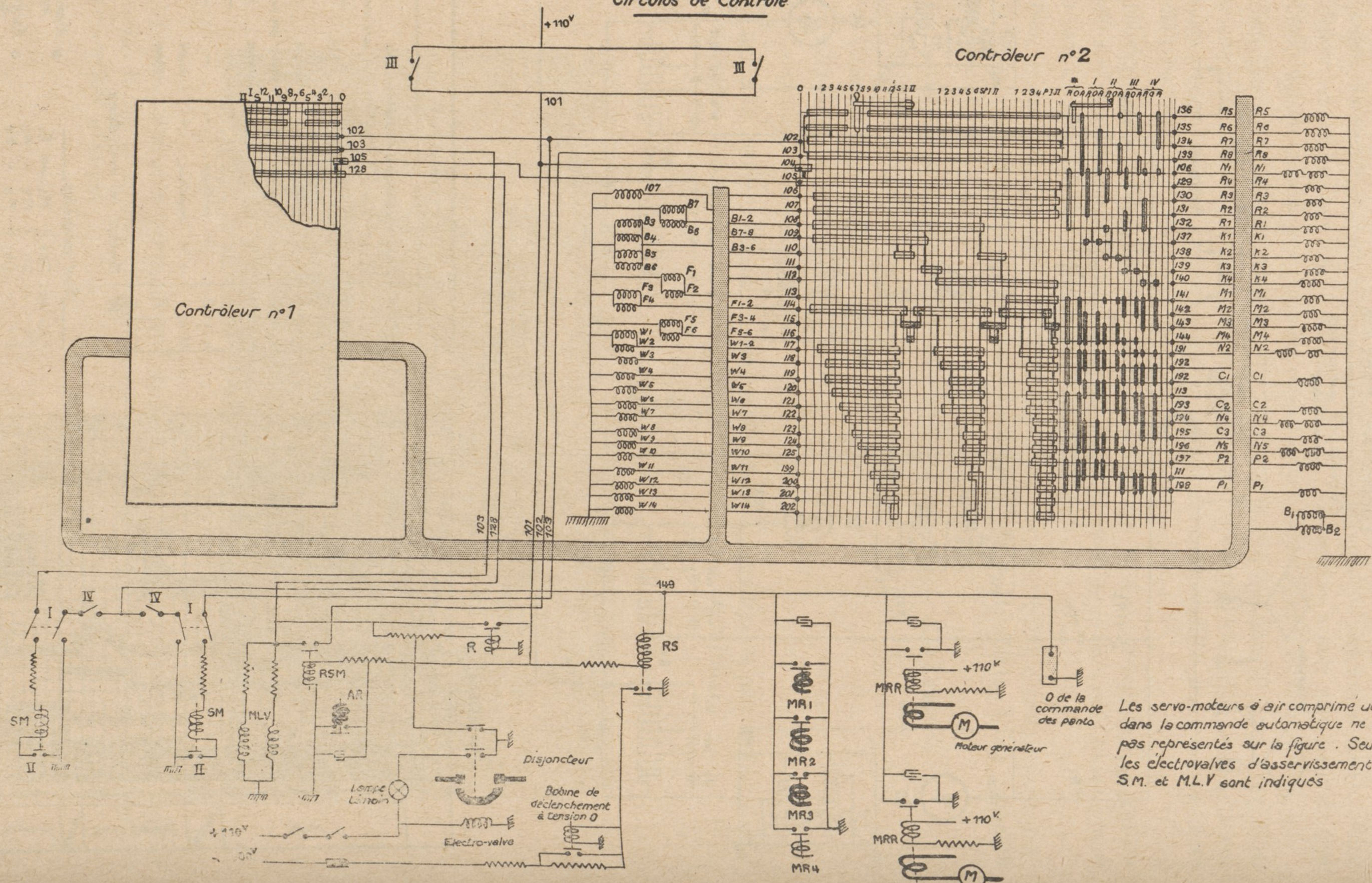
● *Enclenchement régulier*

o *Enclenchement facultatif*

Fig. 14.

LOCOMOTIVE E 2D2 401

Circuits de Contrôle



Les servo-moteurs à air comprimé utilisés dans la commande automatique ne sont pas représentés sur la figure. Seuls les électrovalves d'asservissement S.M. et M.L.V sont indiqués

Fonctionnement du contrôleur. — Les contrôleurs (Fig. 14) qui permettent, soit la commande automatique soit la commande à main, sont munis d'une part d'une manette principale pour le réglage de la vitesse et d'autre part d'une manette amovible permettant d'effectuer le changement de sens de marche et l'isolement des moteurs.

Pour actionner le contrôleur, dans la commande automatique, on utilise deux servo-moteurs à air comprimé, commandés respectivement par les électro-valves SM et MLV. Le premier entraîne le tambour principal pour la manœuvre avant du contrôleur, le deuxième ramène ce tambour au 0 dans la manœuvre rétrograde. Pour la commande à main, la manette principale est actionnée soit directement, soit par l'intermédiaire d'un levier auxiliaire qui permet d'effectuer très aisément la manœuvre cran par cran du contrôleur.

La manette d'inversion de marche commande les contacteurs de changement de marche (quatre par moteur), par l'intermédiaire d'un tambour à quinze positions portant cinq groupes de touches. Chaque groupe de touches correspond à trois positions avant, neutre ou arrière ; le premier groupe est relatif à la marche avec quatre moteurs, les quatre autres groupes à la marche avec trois moteurs, moteur un, ou deux, ou trois, ou quatre isolé.

En montant la manette d'inversion dans sa position retournée, on peut mettre en prise la dent qu'elle porte avec une des encoches aménagées sur l'arbre du tambour à cinq groupes de position et, en tournant la manette, on peut placer le tambour à la position neutre de l'un des cinq groupes, soit du groupe de position normale (quatre moteurs en service), soit d'un des quatre autres groupes de positions correspondant à l'isolement d'un des moteurs.

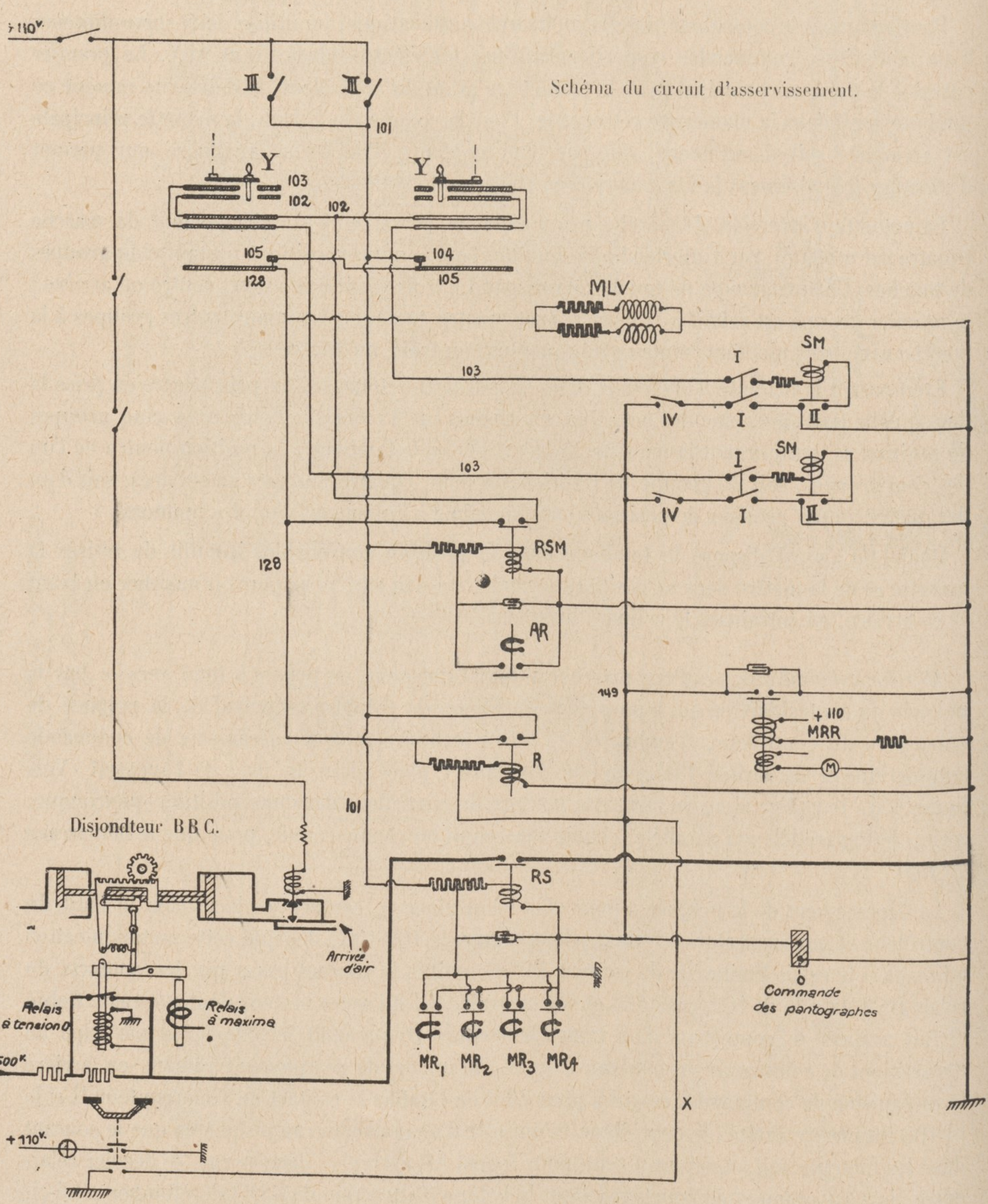
Quand on a ainsi disposé le tambour dans la position convenable, il suffit de retirer la manette et de la mettre dans sa position normale, sur son axe, pour pouvoir marcher en avant et en arrière, en entraînant le cylindre inverseur.

Marche automatique. — Pour marcher automatiquement, on pousse à fond vers le bas la poignée du contrôleur, ce qui a pour effet de libérer le cylindre principal de la poignée de manœuvre du contrôleur, d'embrayer ce même cylindre avec le mécanisme de commande automatique et de fermer l'interrupteur bipolaire I placé dans le pied de l'appareil (Voir figure 15). Il suffira alors de mettre la poignée du contrôleur dans une position quelconque, série, série-parallèle ou parallèle, champ maximum ou champ réduit, pour que le démarrage ait lieu.

Le déplacement de la poignée a pour effet d'entraîner le contact *y* placé dans le haut du contrôleur et qui vient alors réunir les deux segments 102-103 ; dès que cette communication a lieu et si le relais limitateur de courant AR est tombé, le courant passe par les contacts du relais RSM dans le fil 102, puis 103 et l'électrovalve SM du servo-moteur de démarrage. Celui-ci fait avancer le contrôleur d'un cran ; le contact II qui était fermé et qui participe au mouvement de commande du tambour s'ouvre : le ressort de réarmement ramène en arrière le mécanisme de commande, ce qui a pour effet de rétablir le contact de l'interrupteur II si le fil 103 est encore excité ; le contrôleur va avancer d'un nouveau cran jusqu'à ce que le courant dans les moteurs soit supérieur à celui pour lequel AR est réglé ; dans ce cas, ce dernier relais entre alors en action et en court-circuitant la bobine d'attraction de RSM fait retomber celui-ci, ce qui a pour effet de couper le courant dans SM et par suite d'arrêter le contrôleur. Celui-ci ne reprendra sa marche que lorsque le relais AR sera retombé et ainsi de suite.

Fig. 15. — Locomotive a voyageurs Ganz E 2 D 2 401 et 402.

Schéma du circuit d'asservissement.



Quand le cylindre du contrôleur sera arrivé à la position correspondante à celle de la manivelle de commande, le doigt *y* n'étant plus en contact avec les secteurs 102 et 103, le contrôleur s'arrêtera.

Il suffira de pousser la manivelle pour qu'aussitôt l'électro SM entre de nouveau en action.

Si maintenant on ramène la poignée en arrière, l'interrupteur IV est immédiatement fermé, le relais RS est excité et court-circuite le relais à tension O ce qui déclenche le disjoncteur ; ce déclenchement provoque l'ouverture du relais principal R qui interrompt le courant sur le fil 128 et coupe tous les contacteurs. Le contrôleur ne recevant plus de courant, les deux électrovalves sont désexcitées et le servomoteur correspondant ramène le tambour au 0.

Marche à main. — En tirant la poignée du contrôleur vers le haut, on libère le mécanisme de commande automatique et on solidarise le cylindre principal avec la poignée de commande du contrôleur ; l'interrupteur I s'ouvre ; on peut alors manœuvrer le contrôleur cran par cran suivant le mode habituel ; en ramenant la poignée du contrôleur en arrière, on ferme l'interrupteur IV comme dans la marche automatique, mais cette manœuvre n'a plus dans ce cas aucun effet, l'interrupteur I étant ouvert.

Asservissement du contrôleur (Fig. 15). — Le courant de « control » est fourni à 110 *V* par l'un des groupes moteur-générateur ; il est amené tout d'abord au fil omnibus positif du circuit de « control » ; la terre des appareils est faite par le fil omnibus de terre.

Un contrôleur étant au 0, dès que le tambour est manœuvré, l'interrupteur III correspondant se ferme, les plots 104, 105, 128 étant encore réunis, le courant arrive au fil 128 et de là va alimenter le relais R qui se ferme. En continuant à tourner le contrôleur, on arrive au cran 1 pour lequel le courant est interrompu en 104, 105, mais le relais R se maintient levé de lui-même, le courant trouvant un passage par le fil 101 à l'interlock de R.

On voit donc que le courant de contrôle ne peut s'établir que si le contrôleur inutilisé est au 0 (fil 104-105).

Quand le relais R tombera il faudra ramener le contrôleur au 0 pour alimenter le circuit de contrôle à nouveau. Le déclenchement du relais R est obtenu par l'ouverture du disjoncteur principal dont un interlock court-circuite la bobine.

Le déclenchement du disjoncteur s'effectue soit *directement* par le fonctionnement des relais à maxima, du relais à tension nulle ou d'une commande mécanique manœuvrée de la cabine de manœuvre, soit *indirectement* par le fonctionnement du relais R.S. qui court-circuite lorsqu'il est excité le relais à tension nulle. Le fonctionnement de ce relais R.S. peut être lui même obtenu :

1° Par la fermeture d'un des interrupteurs IV ;

2° Par fonctionnement d'un des quatre relais à maxima des moteurs MR1.... MR4 ;

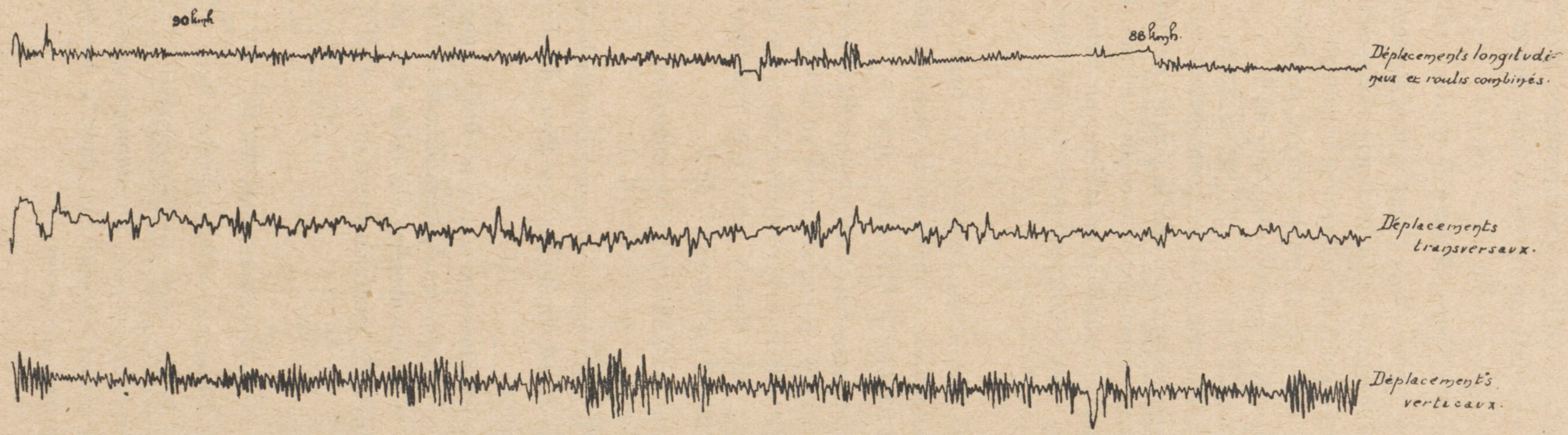
3° Par fonctionnement du relais MRR en cas d'interruption du courant de ligne ;

4° Par le retour à 0 de la poignée du robinet de commande des pantographes.

Les interrupteurs IV se ferment dans la commande à main ou automatique dès que l'on ramène la manivelle en arrière. Toutefois leur action est sans effet dans la marche à main puisque les interrupteurs 1 placés en série avec eux sont ouverts.

Fig. 16.

Voiture de 1ère Classe à bogies à 2 essieux type ATs N° 1322.



Locomotive E 2D2 401.

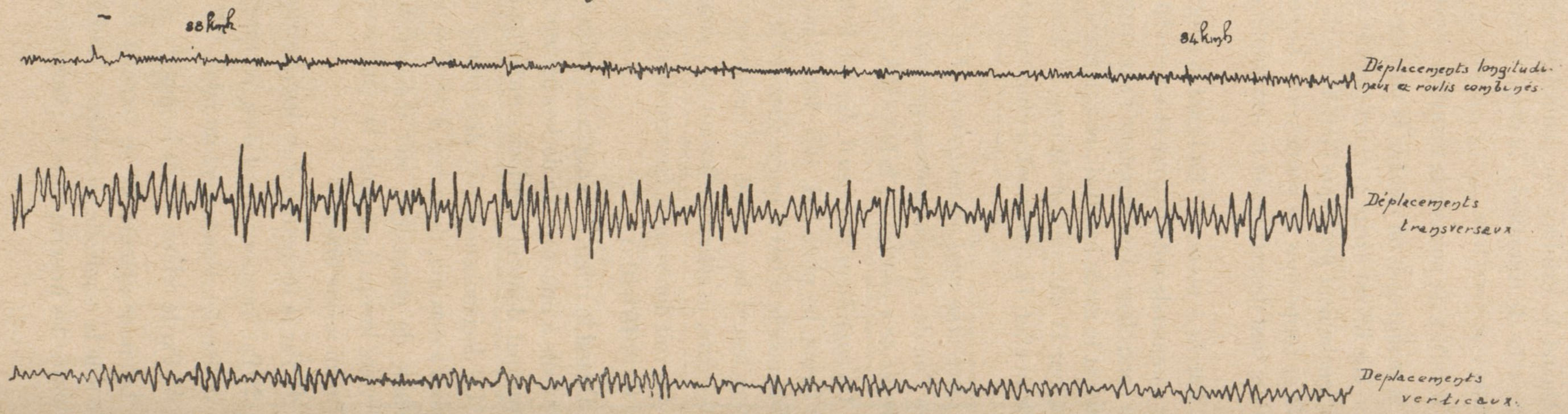
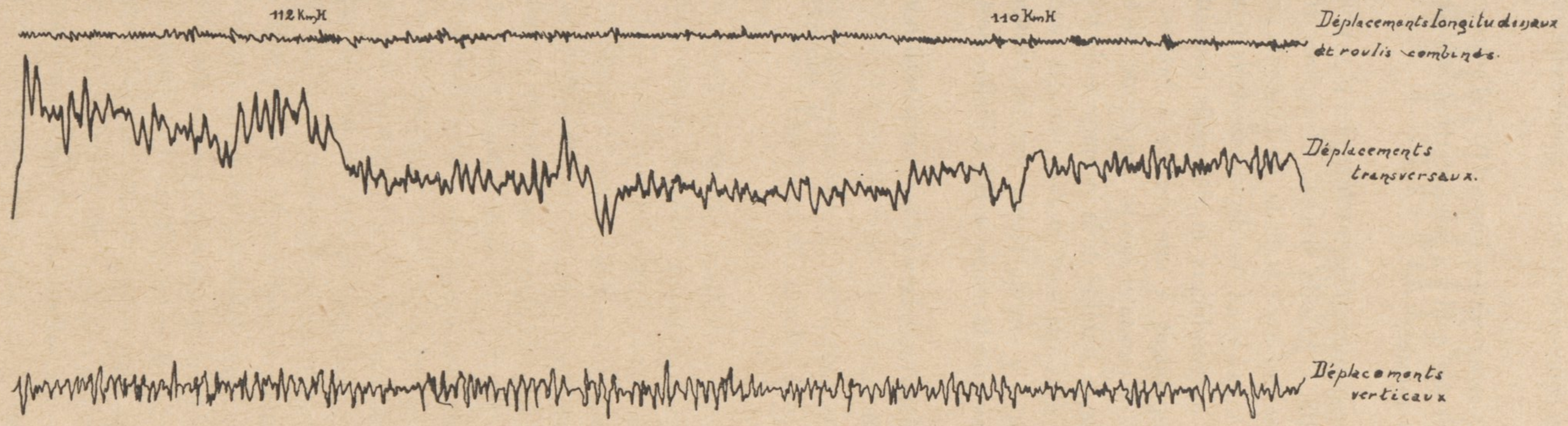
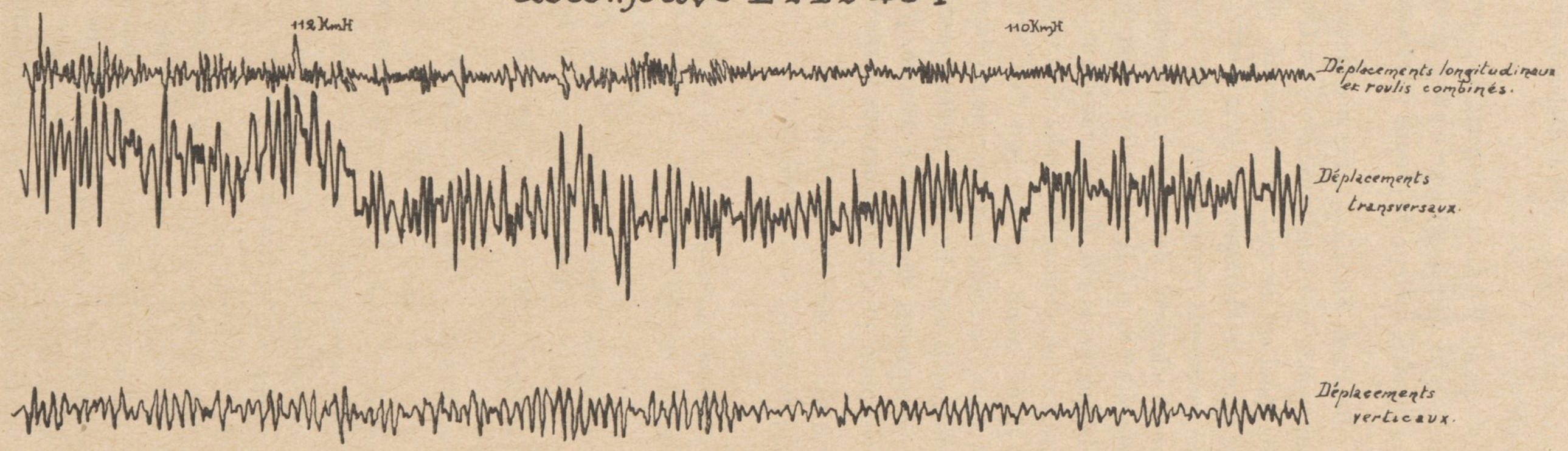


Fig. 17.

Voiture à bogies à 2 essieux de 1ère Classe type AT⁸ N° 1337.



Locomotive E 2 D 2 401.



Les relais MR1....MR4 déclenchent en cas de court-circuit ou de surintensité dans un moteur.

Le relais MRR qui comporte deux enroulements antagonistes, l'un à 110 *V*, l'autre en série avec le moteur du groupe moteur générateur, agit dès qu'il y a une interruption de courant en ligne, le moteur du groupe ne recevant plus de courant.

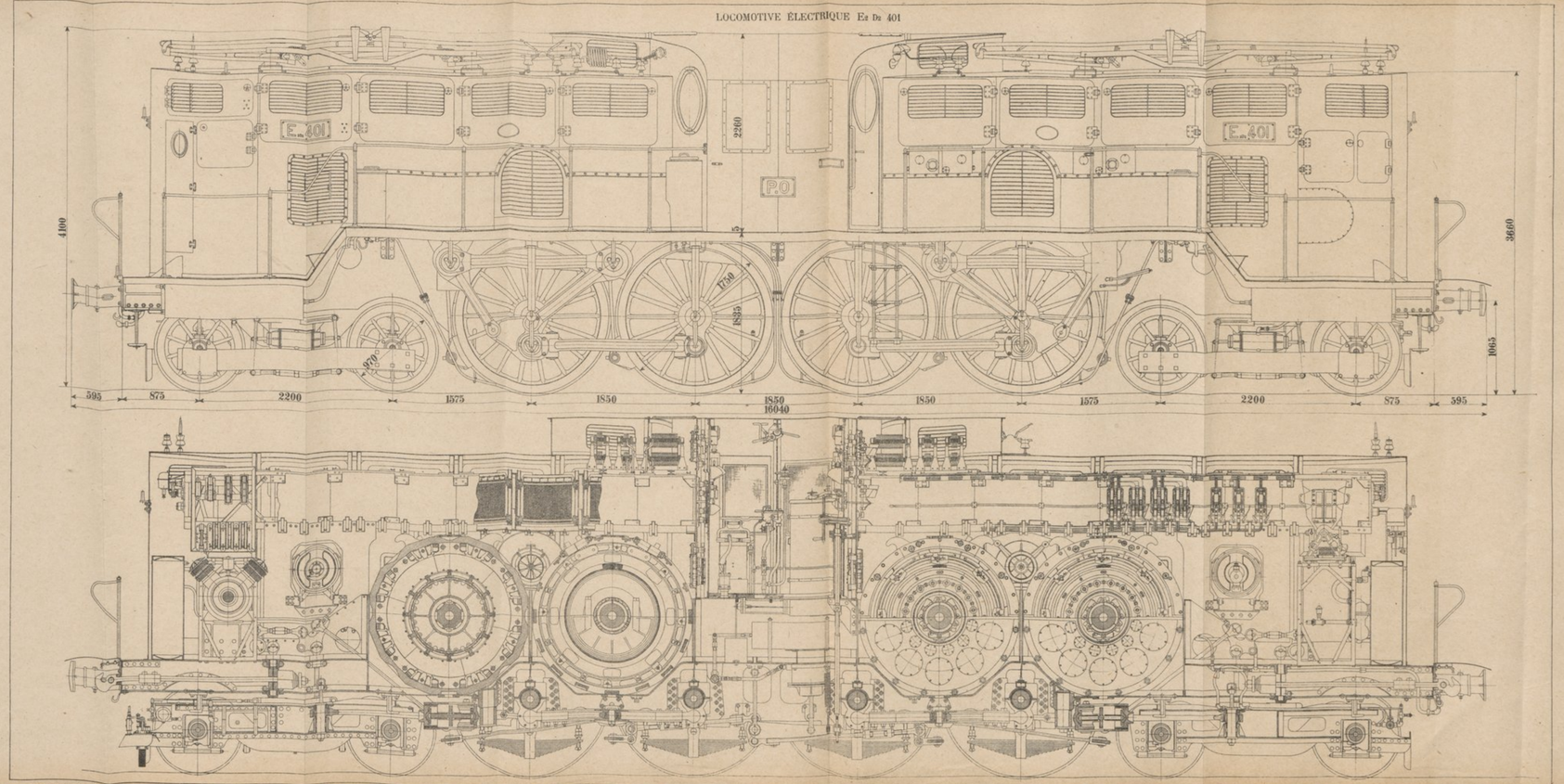
Résultats d'essais. — Ces machines qui sont de beaucoup les machines les plus puissantes du monde ont une marche particulièrement stable à grande vitesse. Les figures 16 et 17 reproduisent des relevés comparatifs effectués avec l'appareil Hallade, en différents points de la ligne ; les sismographes Hallade enregistrent, comme on sait, les déplacements verticaux, les déplacements transversaux et les déplacements longitudinaux et de roulis combinés. Le rapprochement des tracés d'enregistreurs correspondant à une voiture à bogies témoin (type AT8) et à la locomotive électrique, permet de constater que les amplitudes de tous ces déplacements sont du même ordre et que, par suite, la stabilité de la locomotive électrique est tout à fait comparable à celle de la voiture. Tous ceux qui sont montés sur des machines à vapeur savent qu'il est loin d'en être ainsi surtout à grande vitesse sur les locomotives à vapeur. La stabilité de marche est encore meilleure avec la machine 402 à bielles isostatiques qu'avec la machine 401 à bielles hyperstatiques.

Au passage de la vitesse critique, pendant le démarrage, vers 40 k*m*, on perçoit une légère vibration qui disparaît dès que la vitesse augmente.

(à suivre).

ELECTRIFICATION PARTIELLE DU RÉSEAU DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS (Note par M. PARODI)

LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE E_2 D_2 401



DUNOD, Éditeur, 92, Rue Bonaparte, Paris VIe

SCIP. Paris

ÉLECTRIFICATION PARTIELLE DU RÉSEAU

DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS

Par M. PARODI,

DIRECTEUR HONORAIRE DES SERVICES D'ÉLECTRIFICATION,
INGÉNIEUR CONSEIL DE LA COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS.

(Suite) (1).

UTILISATION DE L'ENERGIE (*suite*)

LOCOMOTIVE N° 601 DE TYPE 2C + C2 A INDUITS MOTEURS CALÉS DIRECTEMENT SUR LES ESSIEUX.

Cette locomotive est du type articulé, les deux demi-machines qui la composent comprenant chacune une caisse faisant corps avec le châssis rigide à trois essieux moteurs correspondants et un bogie guide (Fig. 1).

Ce bogie à longerons extérieurs est muni d'un dispositif de rappel par ressorts à lames conjugués donnant un effort initial de 2.150 k*g* et un effort maximum de 3.100 k*g* pour un déplacement de 40 m*m*.

Le pivot P du bogie est excentré de 250 m*m* vers l'intérieur de la locomotive de manière à répartir plus également les réactions sur les boudins des roues guides au moment du passage en courbe.

Disposition générale de la partie motrice. — Cette machine, du type Gearless, comprend six moteurs bipolaires : les inducteurs des moteurs, fixés rigidement au châssis sont suspendus tandis que l'induit qui fait corps avec l'essieu monté correspondant se déplace verticalement, tout en tournant, en suivant toutes les irrégularités de la voie ; les porte-balais fixés aux inducteurs frottent sur l'induit en des points qui ne correspondent donc pas au calage optimum ; la commutation demeure cependant satisfaisante malgré cette variation perpétuelle du calage des balais grâce à l'emploi d'inducteurs à petit arc polaire et à grand entrefer créant dans l'induit une zone neutre de commutation très large.

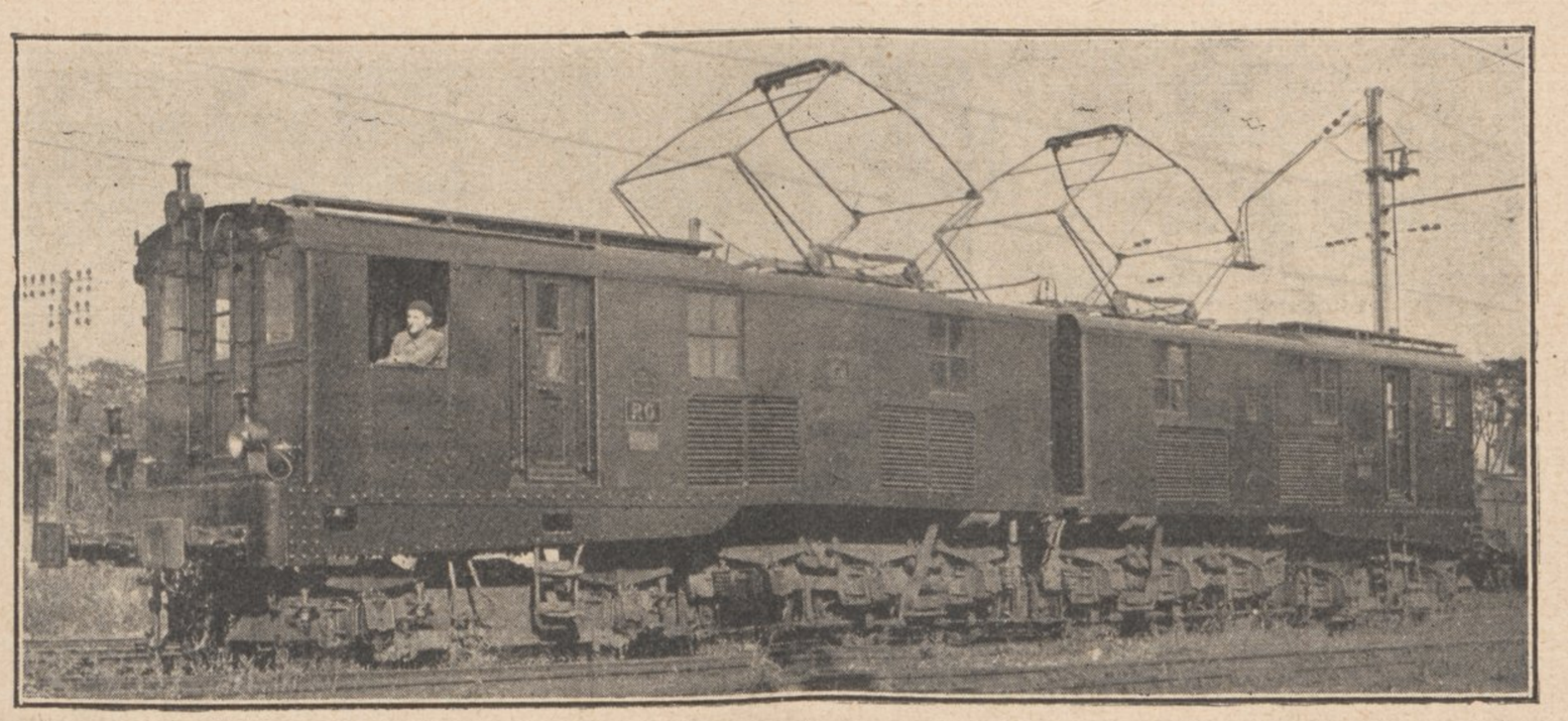
Les circuits magnétiques des trois moteurs de chaque demi-machine sont reliés les uns aux autres par les entretoises de châssis sur lesquelles sont fixés les noyaux des bobines inductrices

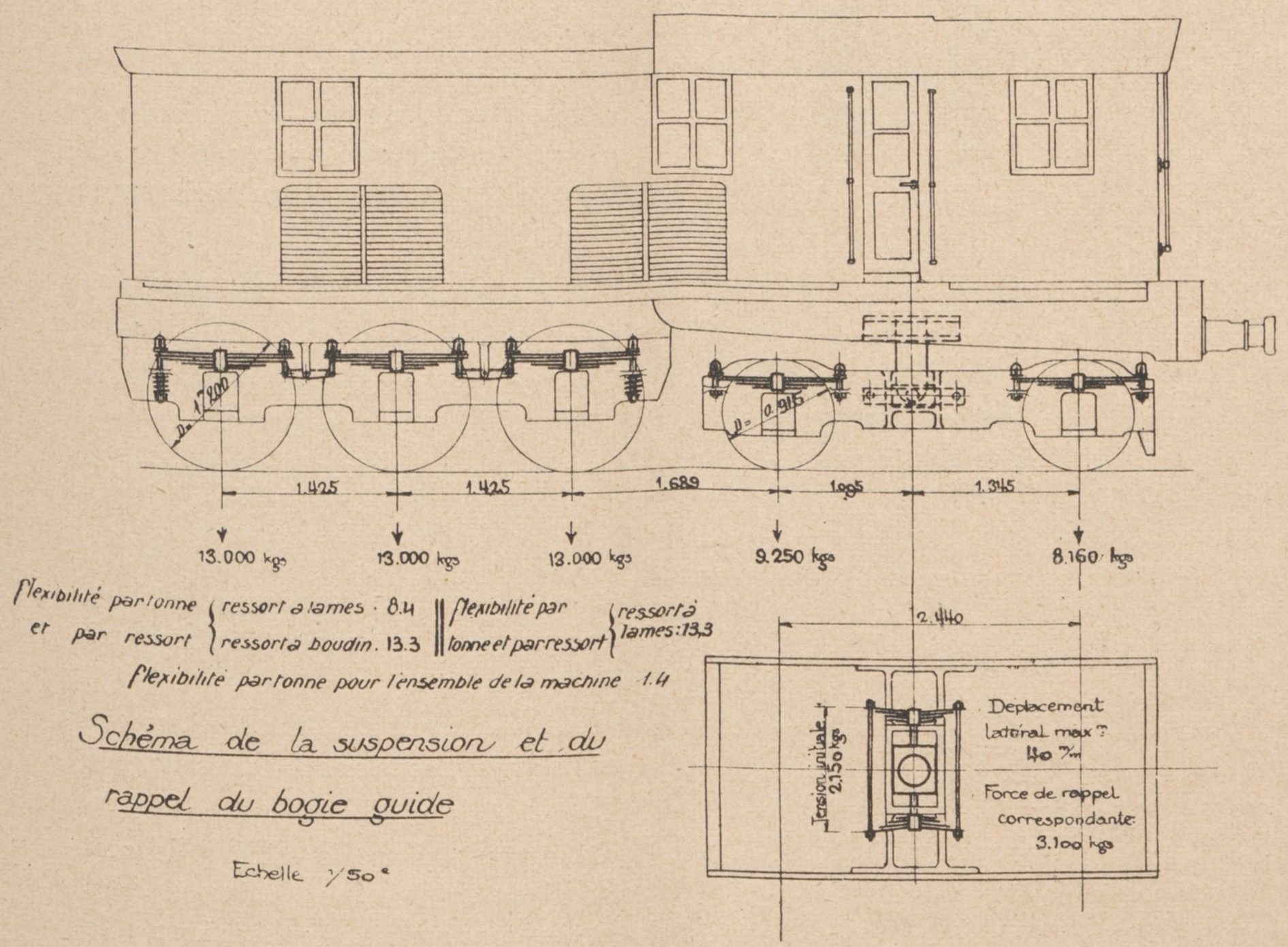
(1) Voir *Revue Générale*, N^os^ de Novembre et Décembre 1925, Février, Mars, Avril, Août et Septembre 1926, Janvier, Mars, Avril et Juillet 1927.

et par une traverse en acier de grande section qui donne au châssis principal une grande rigidité.

Les liaisons entre demi-machines sont de deux sortes : l'une mécanique constituée par des bielles très courtes pouvant se déplacer autour d'axes horizontaux munis de bagues sphériques,

Fig. 1. — Locomotive d'essai a grande vitesse, type " Gearless ".





Flexibilité par tonne et par ressort { ressort a lames · 8.4 ; ressort a boudin. 13.3 } Flexibilité par tonne et par ressort { ressort à lames: 13,3 }

Flexibilité par tonne pour l'ensemble de la machine 1.4

Schéma de la suspension et du rappel du bogie guide

Echelle 1/50e

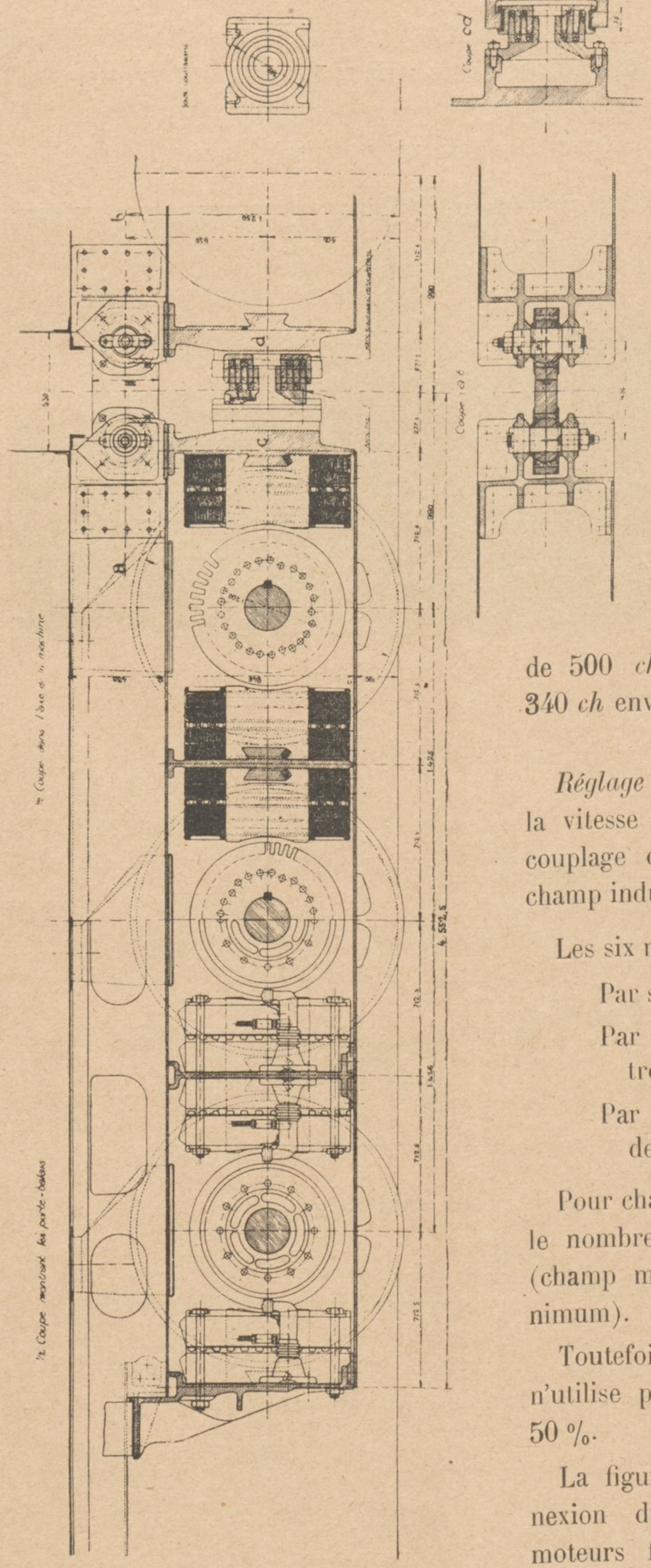


Fig. 2. — Truck moteur (Coupe longitudinale).

l'autre magnétique constituée par deux gros coupleurs cylindro-coniques pénétrant l'un dans l'autre et disposés comme il est indiqué sur la figure 2.

Moteurs. — Les six moteurs sont du type GE. 101 ; ils sont bobinés chacun pour la tension de 750 volts et isolés pour 1.500. Malgré la mauvaise utilisation des matériaux, tenant au petit nombre de pôles (2), au grand entrefer (25 m*m*) et à la faible vitesse de rotation de l'induit (450 tours à 100 k*mh*), la puissance unihoraire est de 500 *ch* et la puissance continue de 340 *ch* environ.

Réglage de la vitesse. — Le réglage de la vitesse est effectué par changement de couplage des moteurs et par variation du champ inducteur.

Les six moteurs peuvent être couplés :

Par six en série ;

Par trois en série (deux groupes de trois moteurs en parallèle) ;

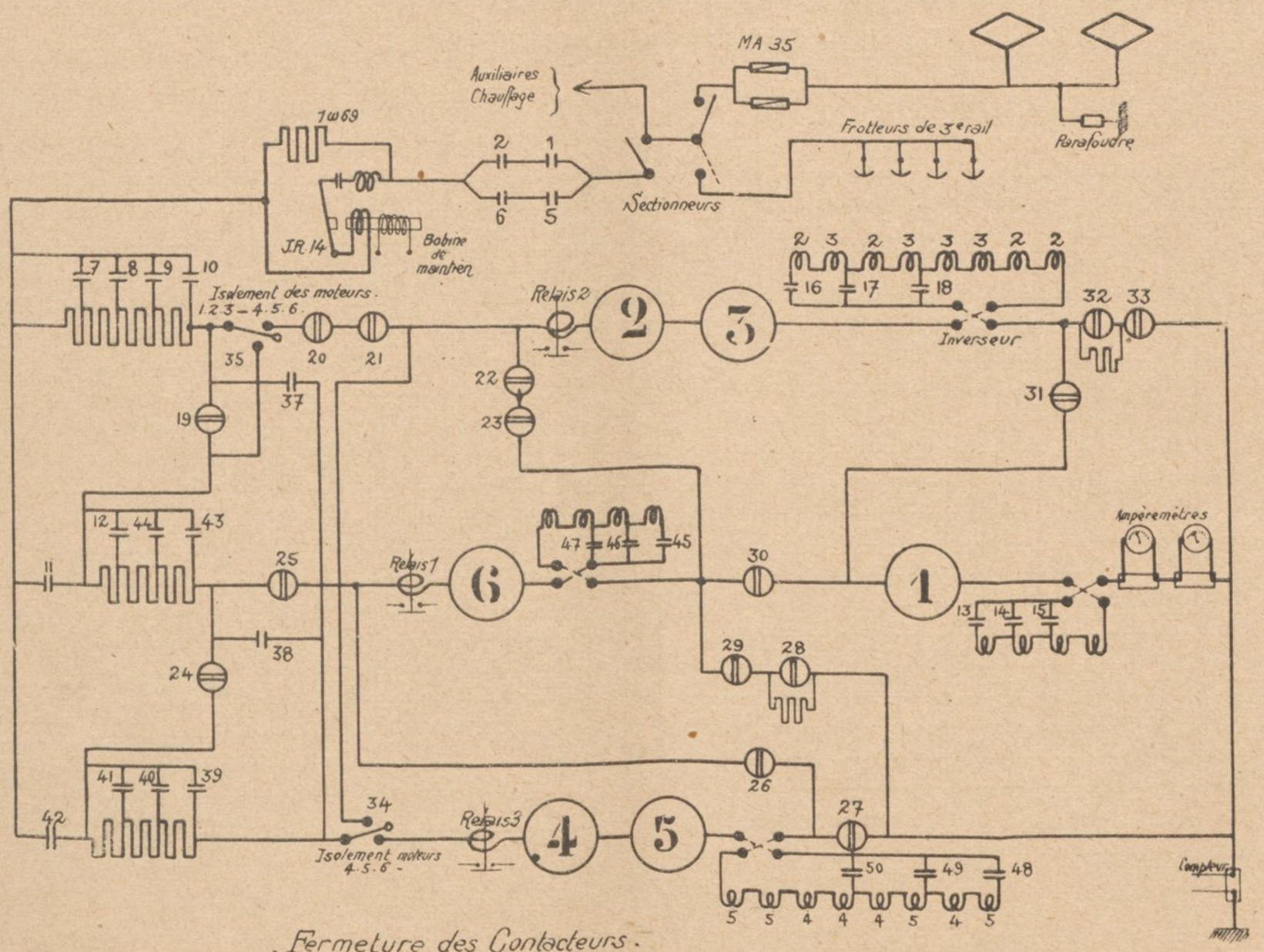
Par deux en série (trois groupes de deux moteurs en parallèle).

Pour chacun de ces couplages, on réduit le nombre de tours inducteurs de 25 % (champ moyen) et de 50 % (champ minimum).

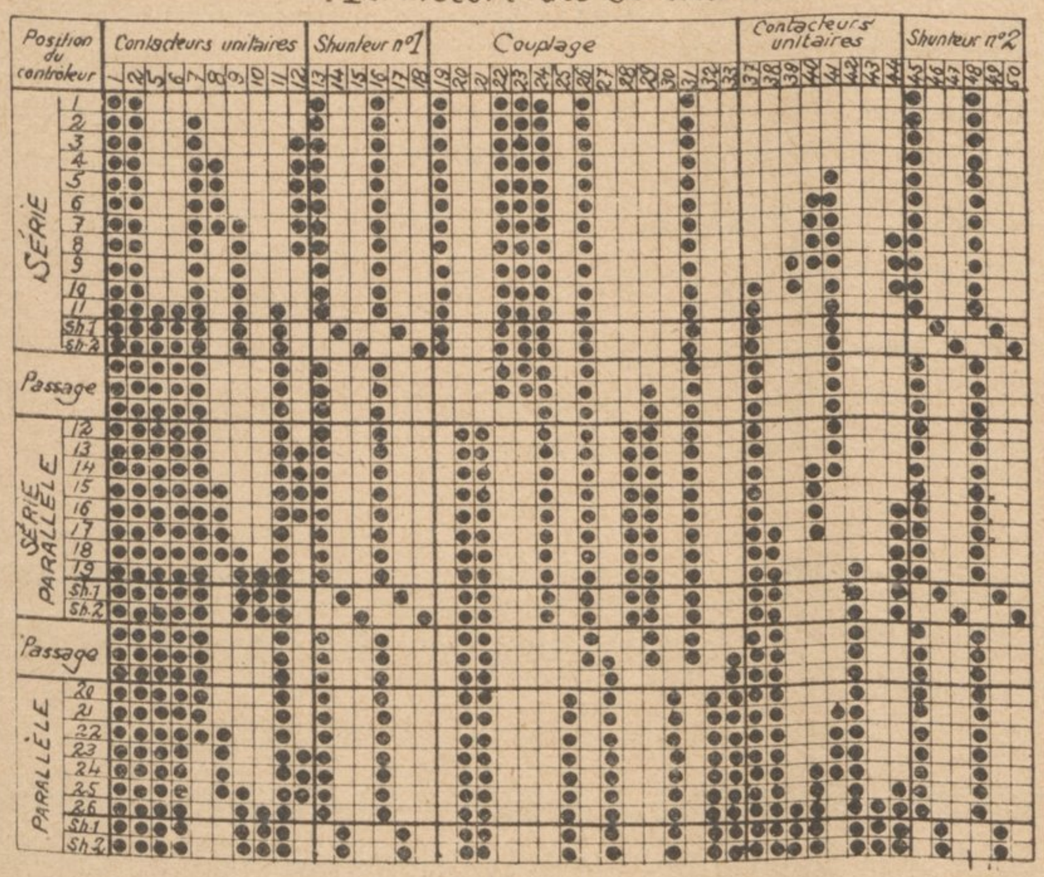
Toutefois à la marche à grande vitesse, on n'utilise pas normalement le shuntage à 50 %.

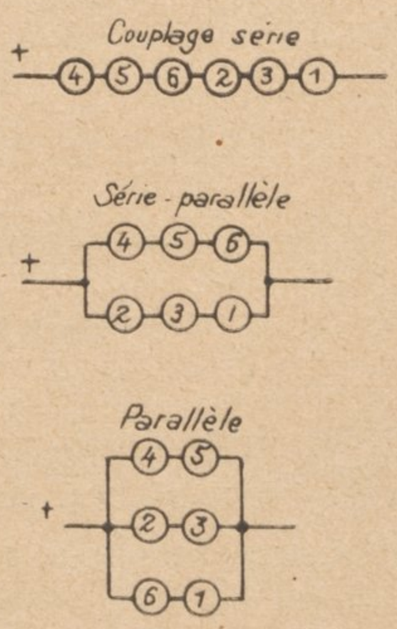
La figure 3 donne le schéma de connexion du circuit de puissance des moteurs fonctionnant « en traction » ; la

Fig. 3. — CIRCUITS DE PUISSANCE.



Fermeture des Contacteurs.





Développement de l'arbre à cames de couplage.

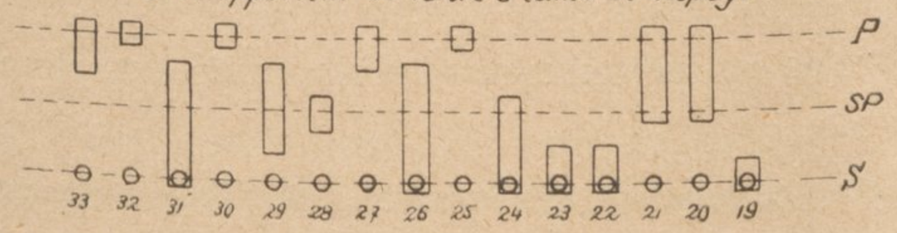
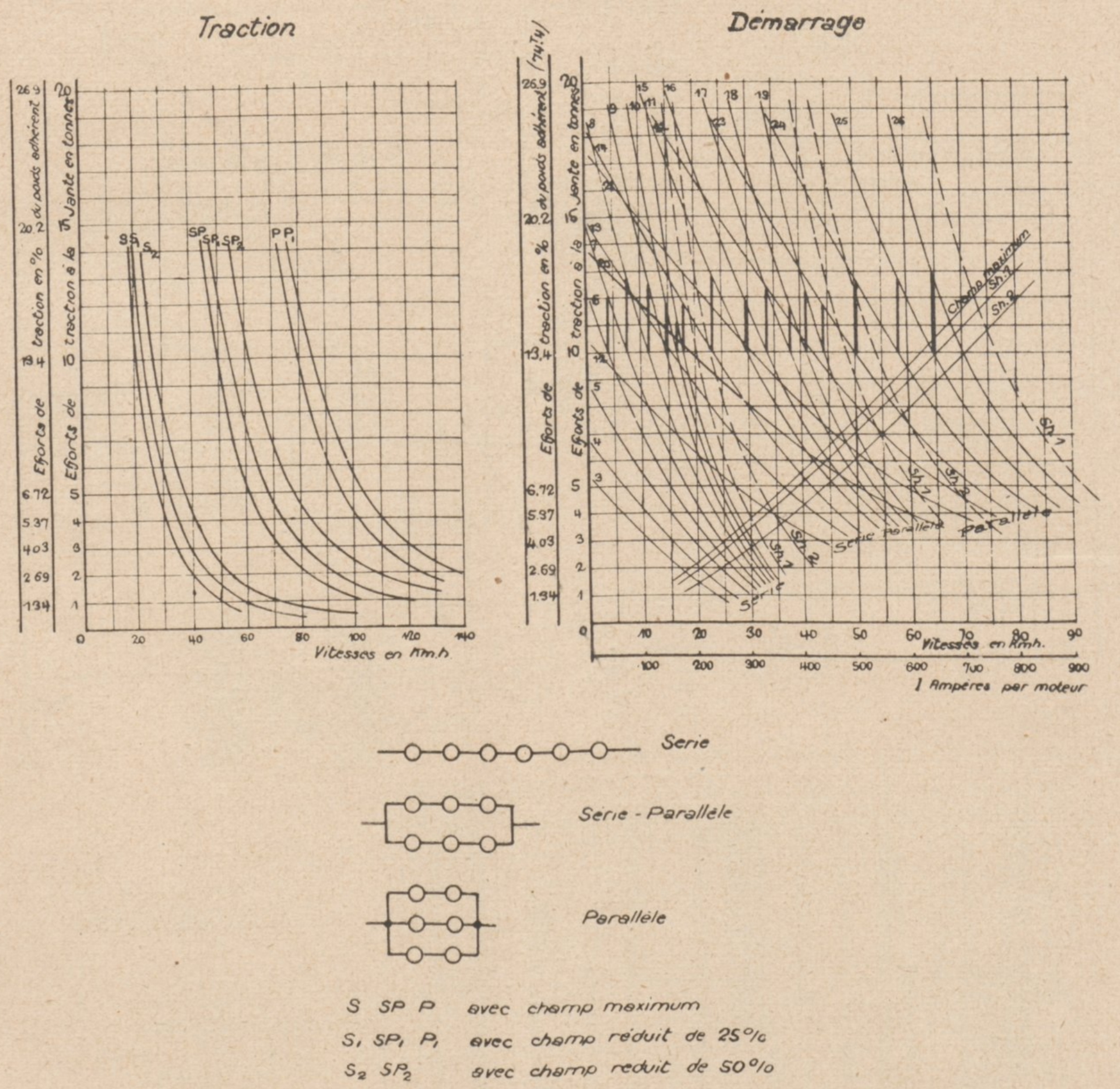


figure 4 donne les caractéristiques, effort de traction, vitesse, pour les différents couplages et les diverses valeurs du nombre de tours inducteurs.

Fig. 4. — Moteur tye G E 101 (Résultats d'essais).



Appareils auxiliaires. — La figure 5 montre la disposition des appareils auxiliaires à 1.500 volts, ventilateurs, compresseurs, radiateurs, ainsi que celle des appareils de mesure voltmètres, ampèremètres, compteurs, etc...

Commande des appareils de manœuvre électro-pneumatique. — Le contrôleur principal envoie le courant de contrôle à 72 *V* aux différentes électrovalves commandant des servo-moteurs pneumatiques.

L'air comprimé nécessaire à la manœuvre de ces servo-moteurs est emprunté aux réservoirs principaux des freins Westinghouse.

L'alimentation du circuit de contrôle et la commande des appareils auxiliaires est assurée au moyen d'une batterie d'accumulateurs au plomb de 36 éléments d'une capacité de 60 *AH*.

Cette batterie de 72 volts est maintenue chargée en service normal par le courant traversant les deux compresseurs d'air et un des ventilateurs.

Un ampèremètre indique à chaque instant l'intensité de charge ou de décharge de la batterie.

Un ampèreheuremètre indique également à tout moment l'état de charge de la batterie ; une aiguille qui se déplace sur un cadran gradué de 0 à 60 *AH* indique ce qui manque dans la batterie pour que la charge soit complète.

Lorque la batterie est chargée, l'aiguille de l'ampèreheuremètre ferme un circuit qui, par l'intermédiaire du relais by-pass DB 595 (Fig. 5) met une résistance en parallèle avec la batterie, ce qui diminue l'intensité du courant traversant la batterie et évite une charge exagérée. Un

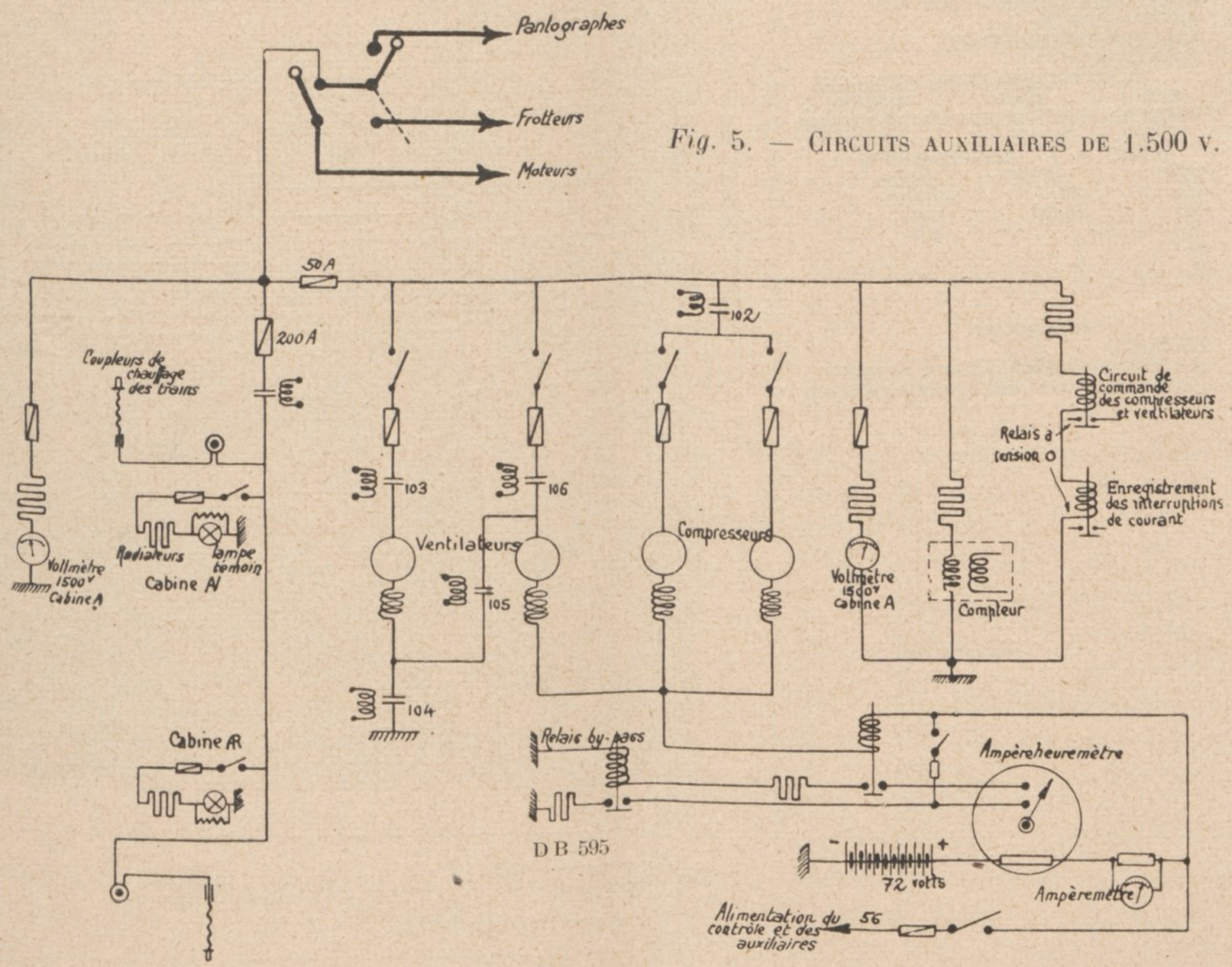


Fig. 5. — Circuits auxiliaires de 1.500 v.

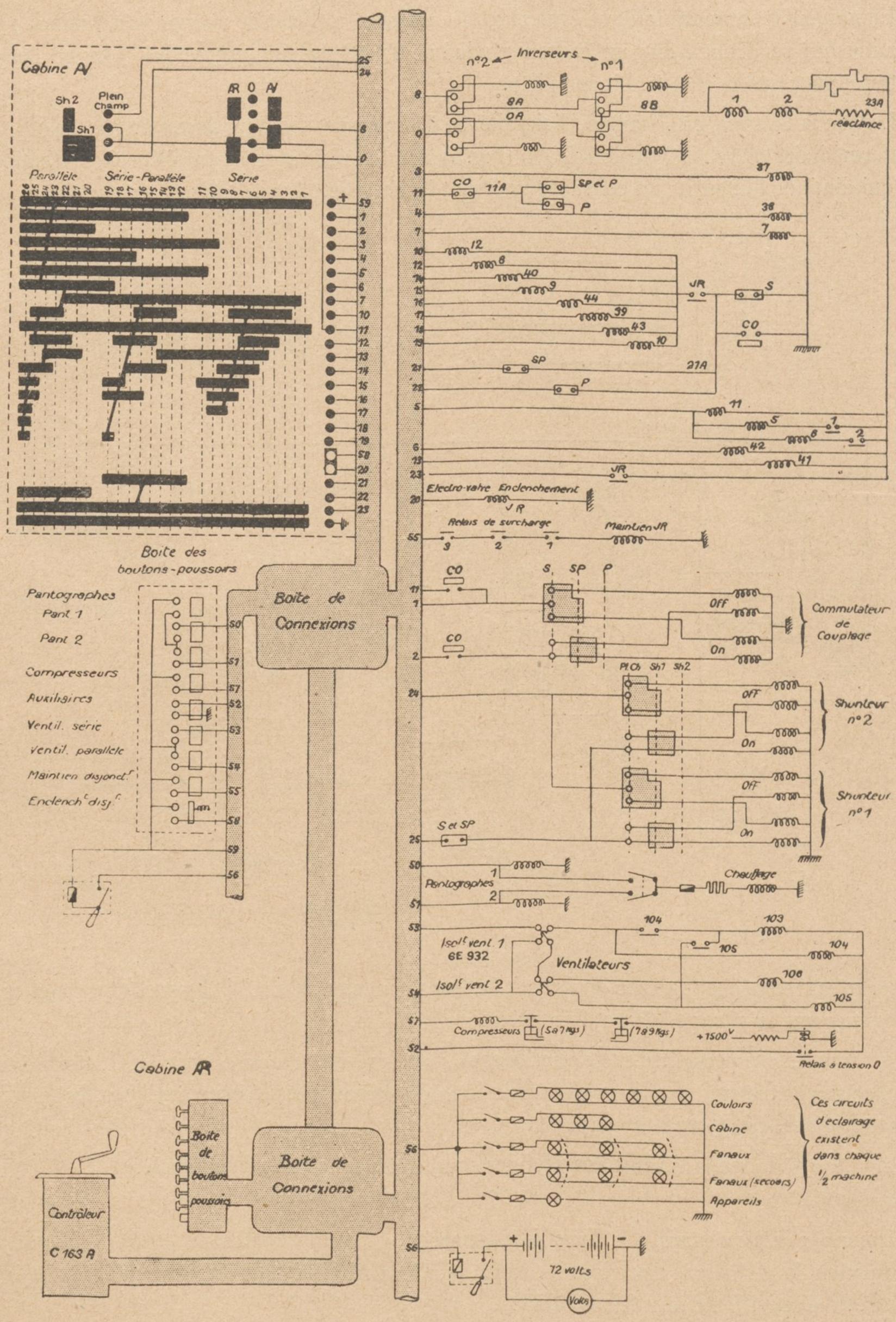
interrupteur empêche, par son ouverture, le fonctionnement du relais by-pass et permet ainsi de donner une surcharge à la batterie quand on le désire.

Lorsque les compresseurs et les ventilateurs sont arrêtés, le relais série de batterie laisse tomber son armature, ce qui coupe l'excitation du relais by-pass et évite ainsi la décharge de la batterie sur la résistance by-pass.

La figure 6 donne le schéma complet des connexions du circuit de contrôle.

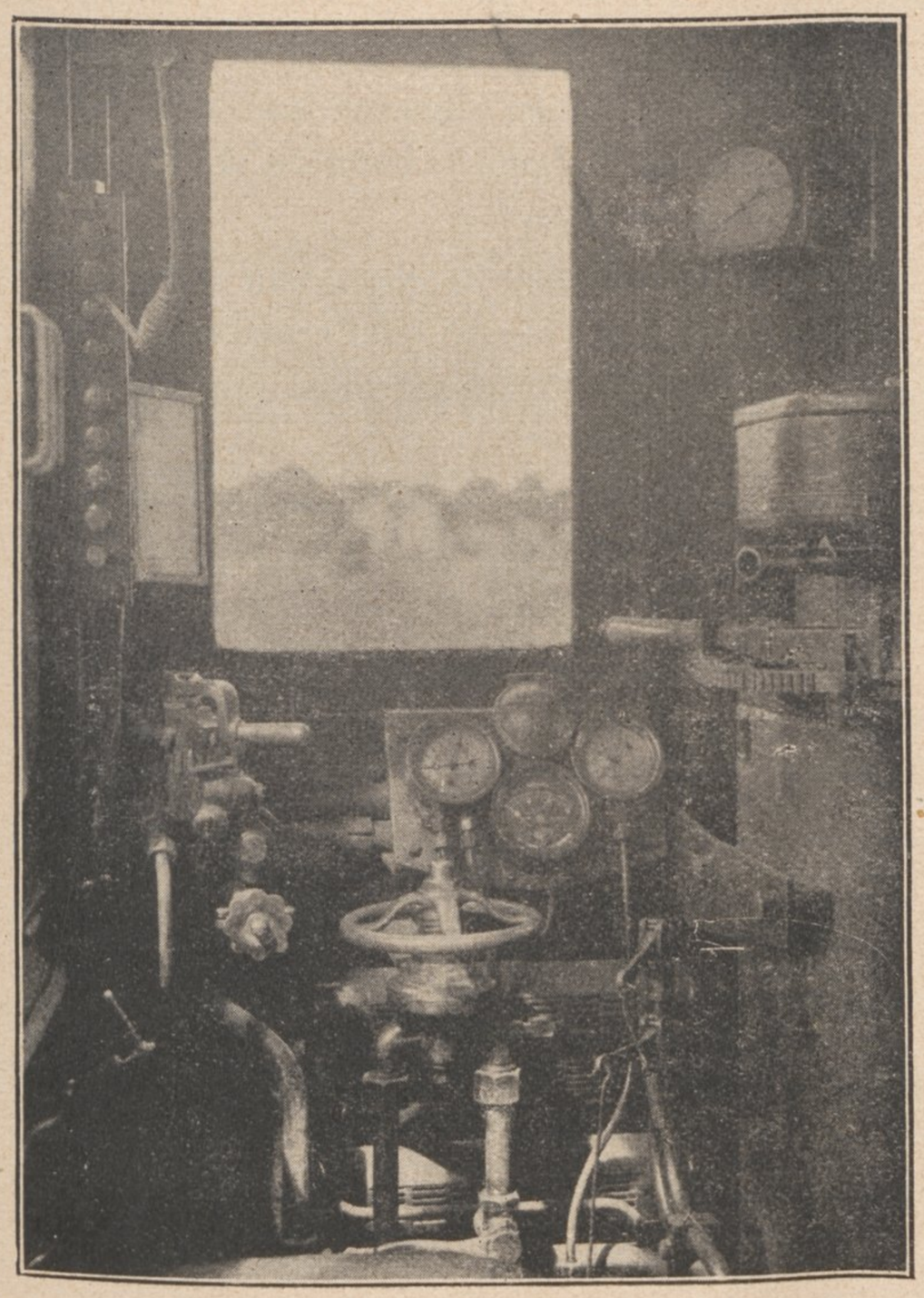
Appareils de manœuvre. — Tous les appareils de manœuvre sont groupés autour du mécanicien dans chacune des cabines situées aux deux extrémités de la locomotive ; la figure 7 montre la disposition d'une de ces cabines.

Fig. 6. — Circuits de controle et auxiliaires a 72 v.



En dehors du contrôleur principal que l'on aperçoit à droite de la figure et des appareils de frein placés au centre, on voit à gauche une série de boutons poussoirs permettant de manœuvrer à distance tous les appareils auxiliaires, compresseurs d'air, ventilateurs, pantographes, sablières, etc...

Fig. 7.



Les couplages sont effectués par un système de quinze contacteurs (N° 19 à 33 de la figure 3) à soufflage magnétique entraînés par un arbre à cames pouvant occuper trois positions correspondant chacune à un des trois couplages indiqués ci-dessus. Le servo-moteur pneumatique de cet appareil est commandé par trois électrovalves disposées de telle sorte qu'en cas de manque de courant de contrôle, l'arbre à cames revienne automatiquement à la position correspondant à la marche série.

Le changement de sens de marche est réalisé au moyen de deux inverseurs placés chacun dans une des demi-machines. Le premier inverseur placé dans la caisse *Avant* inverse le sens du courant dans les inducteurs des moteurs 2-3 toujours couplés en série et dans les inducteurs du moteur 1 ; le second inverseur placé dans la caisse *Arrière* effectue la même opération pour les moteurs 4-5 toujours couplés en série et pour le moteur 6.

La variation du champ inducteur est effectuée par un jeu de six contacteurs à commande par arbre à cames. Un servo-moteur pneumatique commandé par quatre électrovalves entraîne l'arbre à cames et le place dans une des trois positions voulues pour réaliser la réduction de 25 % et 50 % du nombre de tours inducteurs.

Le démarrage est effectué par une série de contacteurs indépendants du type électro-pneumatique.

Isolement d'un moteur avarié. — L'isolement d'un moteur avarié entraîne obligatoirement l'isolement des trois moteurs, d'une demi-locomotive ; seule la marche série avec les trois moteurs restants sera possible. Les deux crans de shuntage peuvent d'ailleurs être utilisés.

Appareils de protection. — Fusibles. — Entre les pantographes et les sectionneurs principaux sont disposés en parallèle deux fusibles à soufflage magnétique (fusibles de 800 ampères).

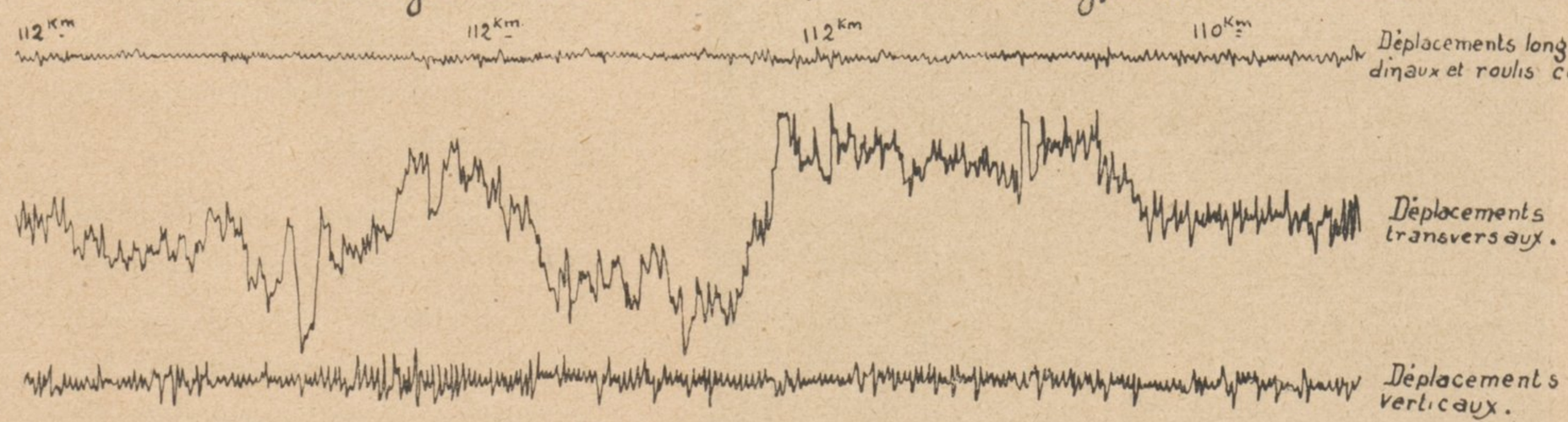
Disjoncteur. — Un disjoncteur ultra-rapide J. R. 14 est disposé après les contacteurs de ligne.

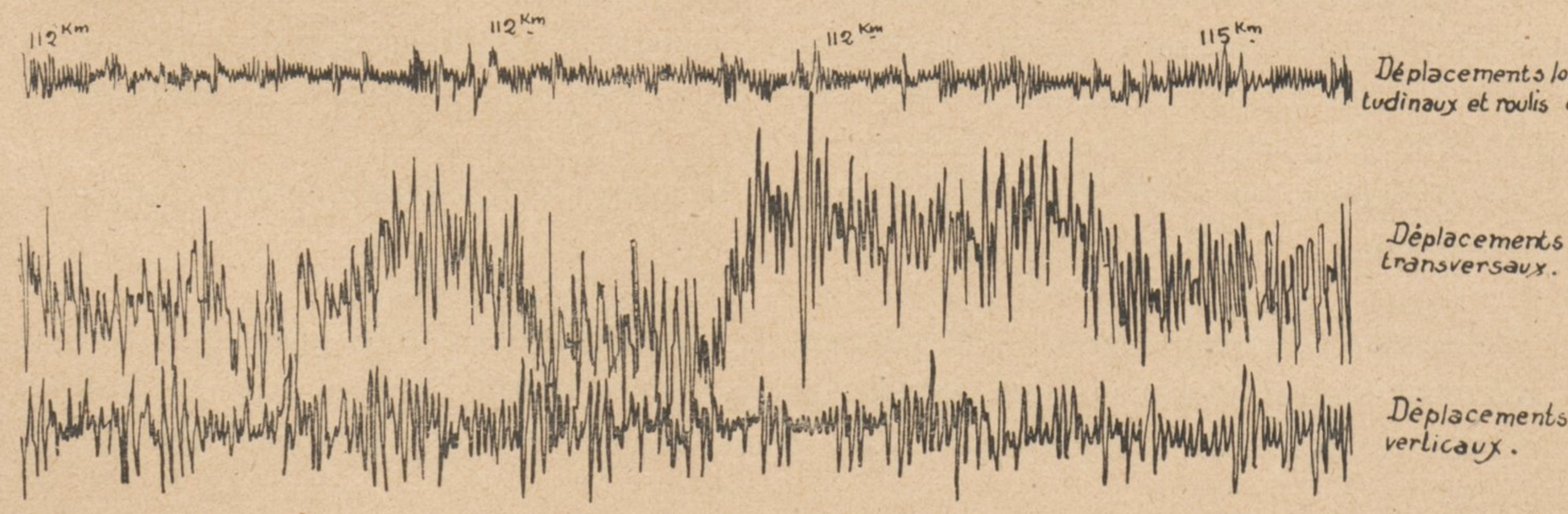
Cet appareil est maintenu fermé par une bobine de maintien alimentée par le courant de contrôle à 72 volts, cette bobine est mise sous tension de la cabine *Avant* ou *Arrière* par la fermeture du huitième bouton de la boîte des boutons-pressoirs.

Mais, l'attraction de cette bobine (suffisante pour maintenir le disjoncteur fermé) étant impuissante à obtenir cette fermeture, on a dû disposer une électro-valve commandée par un bouton de la boîte des boutons-poussoirs pour obtenir l'enclenchement pneumatique et approcher l'armature de la bobine de maintien.

Le déclenchement à maxima de ce disjoncteur est obtenu par une bobine série dont le flux tend à annuler celui de la bobine de maintien.

Fig. 8. — Diagrammes obtenus avec l'appareil " Hallade ".





Contacteurs de ligne. — En cas de court-circuit, le disjoncteur J.R. 14 déclenche dans un temps extrêmement court et introduit dans le circuit une résistance de 1,69 ohm qui limite l'intensité du courant.

Des interlocks commandés par ce disjoncteur s'ouvrent et font tomber les contacteurs de résistance et les contacteurs de ligne 5 et 6, la coupure définitive du circuit étant effectuée par les contacteurs de ligne 1 et 2 en série. Le déclenchement de ces deux derniers contacteurs s'effectue en effet avec un léger retard dû à la présence d'une bobine de réactance dans leur circuit.

Relais de surcharges. — Ces appareils sont au nombre de trois correspondant chacun à un des trois groupes de moteurs 2-3, 6-1 et 4-5.

Lorsque l'intensité atteint une valeur supérieure à celle pour laquelle le relais a été réglé, une armature est attirée qui coupe le circuit de la bobine de maintien du disjoncteur qui fonctionne alors comme il a été dit plus haut.

Relais à tension zéro. — Lorsqu'une interruption de courant ou une baisse importante de tension survient, le relais à tension zéro coupe le circuit d'excitation des contacteurs y compris ceux de ventilateurs et compresseurs pour éviter que la batterie d'accumulateurs ne reste reliée au trolley ou au troisième rail en traversant les compresseurs ou ventilateurs arrêtés.

Résultats d'essais. — La figure 8 reproduit des relevés effectués avec l'enregistreur Hallade sur une voiture AT^8 témoin et sur la locomotive E 2 C + C 2 601.

Les déplacements sont beaucoup plus accentués que sur les machines électriques non articulées, E 401-402 ou E 501-502 décrites précédemment bien qu'encore beaucoup plus faibles que ceux constatés sur une machine à vapeur à grande vitesse.

Il semble que la tenue de cette locomotive sur les voies pourrait encore être améliorée en modifiant l'attelage entre les deux demi-machines et en la munissant d'une caisse unique.

ÉLECTRIFICATION PARTIELLE DU RÉSEAU DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS

Par M. PARODI,

DIRECTEUR HONORAIRE DES SERVICES D'ÉLECTRIFICATION,
INGÉNIEUR CONSEIL DE LA COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS.

(Suite) (1).

UTILISATION DE L'ENERGIE *(Suite)*

B. — Locomotives Nos 501 et 502 type 2D2 a engrenages extérieurs.

Les figures 1 et 1 *bis* indiquent la disposition générale et les dimensions communes aux deux machines.

La caisse qui fait corps avec le châssis principal repose sur quatre essieux moteurs et les essieux des bogies directeurs par l'intermédiaire de ressorts ayant les flexibilités indiquées sur la figure.

Les quatre moteurs à 1.500 *V* par collecteur à ventilation forcée montés sur le châssis de la locomotive sont entièrement suspendus ainsi que les engrenages de commande des essieux moteurs placés de chaque côté de la machine.

Ces trains d'engrenages sont logés dans des caissons fermés par les longerons principaux de la locomotive en tôle de 25 m*m*, deux faux longerons en tôle de 18 m*m* placés de part et d'autre des longerons principaux et des entretoises en acier moulé. Cette disposition qui a été adoptée sur notre demande, augmente notablement la rigidité du châssis et réduit la fatigue des longerons principaux.

Dispositif de rappel des bogies guides. — Le dispositif de rappel des bogies guides a été étudié sur notre demande de manière à donner en même temps un effort et un couple de rappel, l'axe longitudinal du bogie tend ainsi à revenir toujours dans le plan axial de la locomotive.

Un balancier AA_1 (Fig. 2) peut osciller autour de l'axe 00 fixé dans le support Z qui fait corps avec le châssis principal ; ce balancier participe donc à tous les mouvements du châssis

(1) Voir *Revue Générale*, Nos de Novembre et Décembre 1925, Février, Mars, Avril, Août et Septembre 1926, Janvier, Mars et Avril 1927.

Fig. 1.

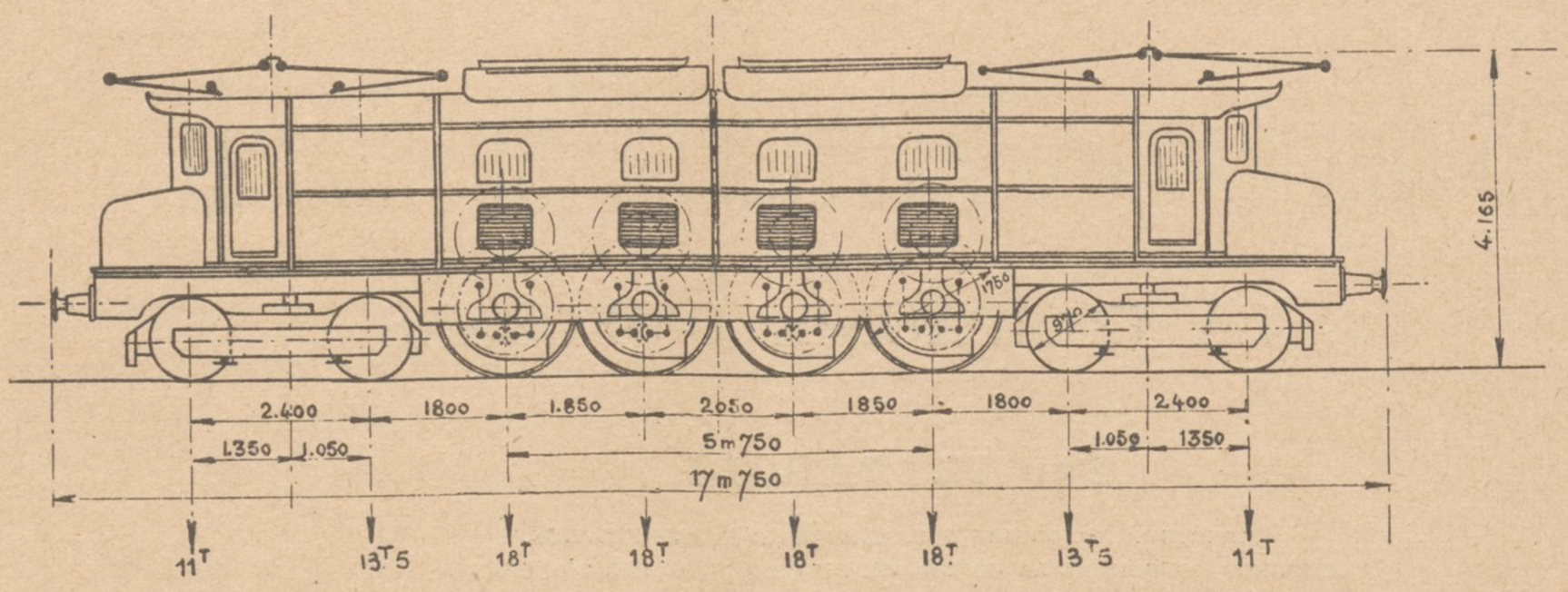
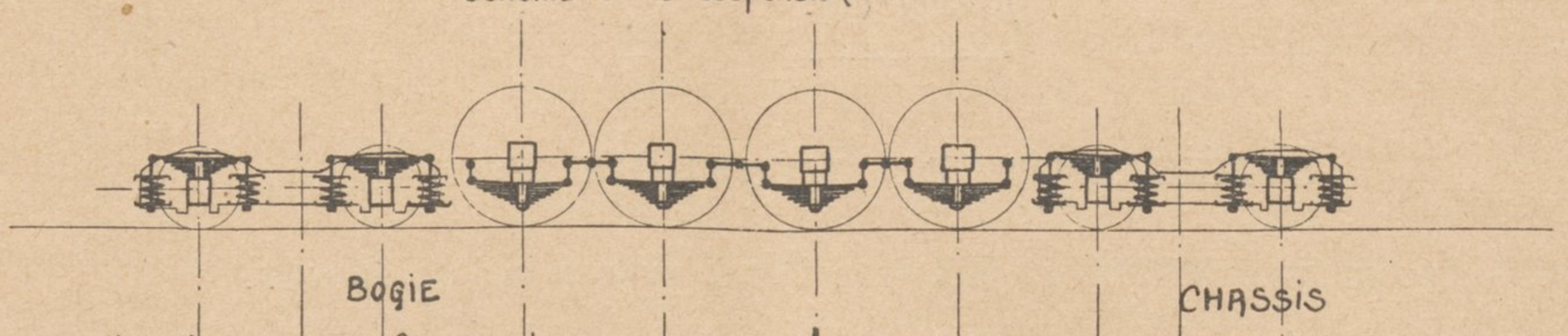


Schéma de la suspension.

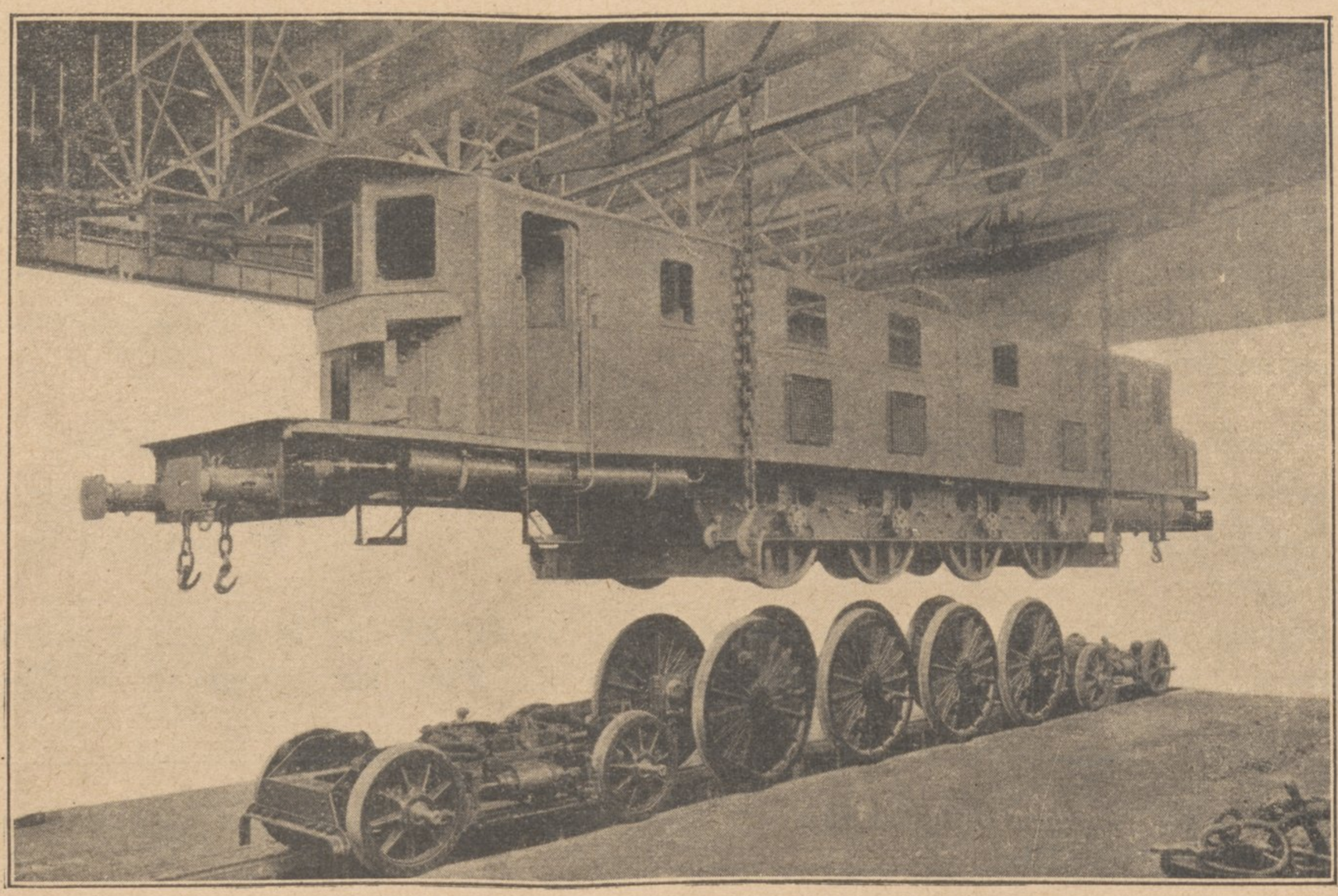


Flexibilité par tonne et par ressort { Ressort à lames : 4.56 / Ressort à boudins : 7.78 }

Flexibilité par tonne et par ressort { Ressort à lames 6.90 }

Flexibilité par tonne pour l'ensemble de la machine : 0.47

Fig. 1 bis.



qui peuvent se produire dans un plan parallèle à celui du châssis ; il transmet au bogie la charge qu'il doit supporter sans s'opposer aux changements d'orientation de la face supérieure du bogie par rapport au châssis quand, par suite des inégalités de la voie, l'avant ou l'arrière du bogie tend à se relever. Ce mouvement relatif s'effectue d'ailleurs moyennant un changement de la flexion des ressorts de suspension du bogie et un changement d'inclinaison du balancier AA_1.

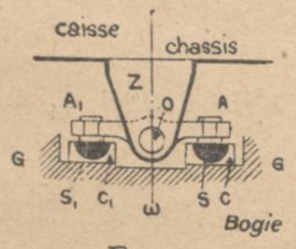


Fig. a

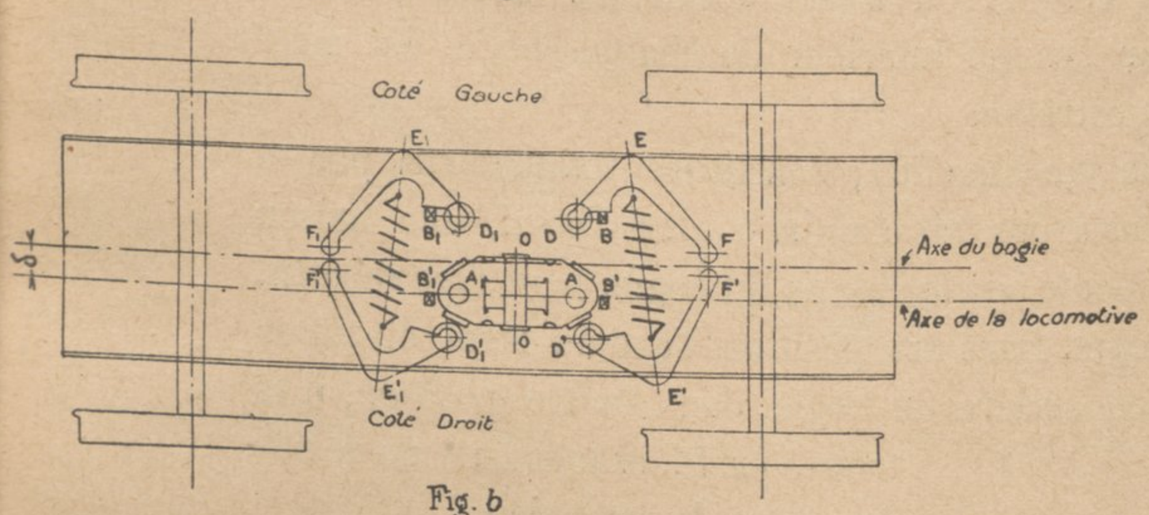


Fig. b

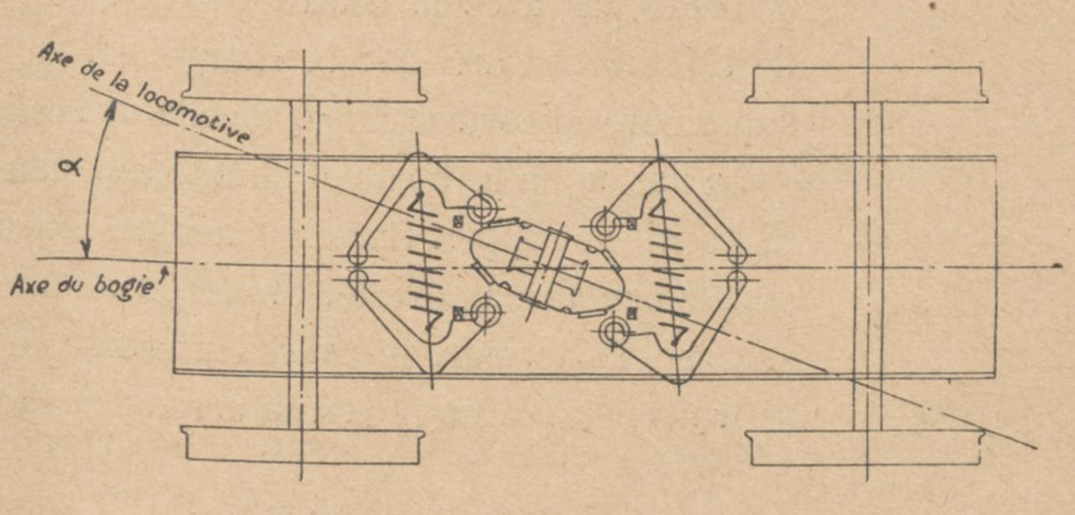
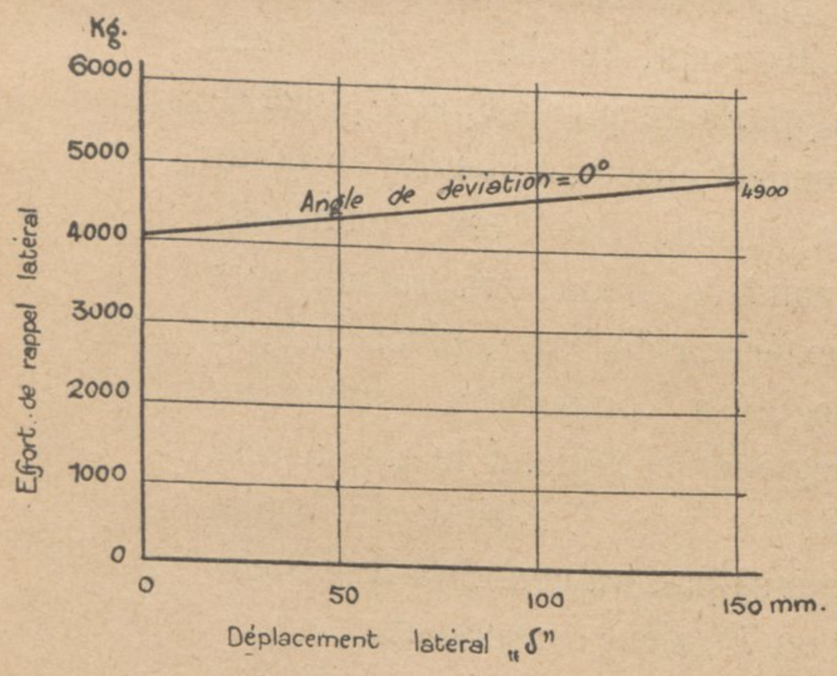
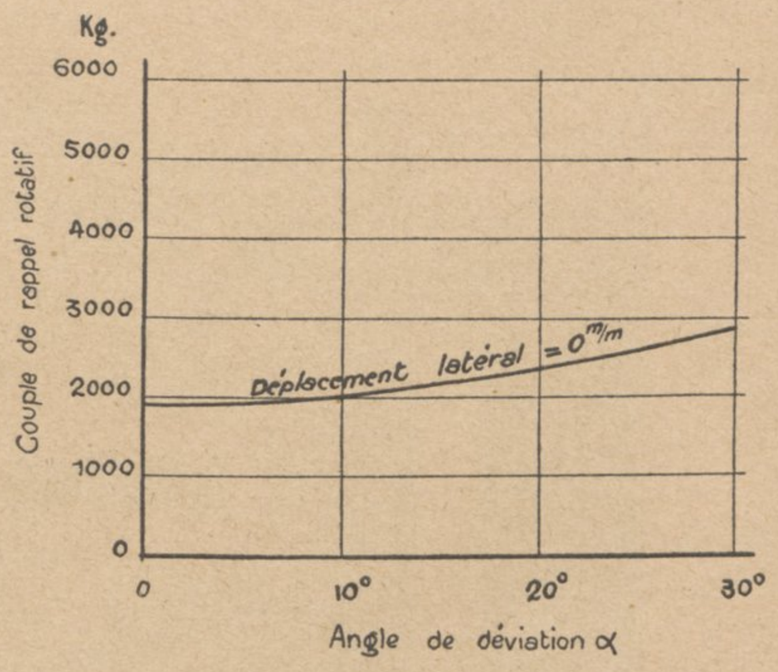


Fig. 2. — EFFORT ET COUPLE DE RAPPEL DU BOGIE.





Le balancier porte à ses deux extrémités deux butées sphériques SS_1 qui appuient sur deux patins CC_1 pouvant se déplacer sur la table de glissement ménagée sur la partie supérieure du bogie.

Le rappel proprement dit est effectué par deux tenailles à ressorts (1) présentant quatre mâchoires DEF, D′E′F′ et $D_1E_1F_1$ $D'_1E'_1F'_1$ dont les points d'articulation principaux FF′ et $F_1F'_1$ sont fixés au bogie. Les ressorts spiral E. E′ et $E_1E'_1$ qui ont une tension initiale assez forte provoquent le serrage des mâchoires de la tenaille sur le balancier AA_1 ; ce serrage est effectué par l'intermédiaire de quatre rouleaux D D′ $D_1D'_1$ qui roulent sur quatre plans de roulement ménagés sur les côtés du balancier.

---

(1) Ce rappel dégressif par tenaille a déjà été employé sur les bissels des locomotives série E 21-25 construites en 1913, par la Compagnie d'Orléans.

Des butées BB' $B_1B'_1$ faisant corps avec le bogie servent de point d'appui à l'une des mâchoires de chaque tenaille pour produire l'effort transmis au balancier AA_1 par la mâchoire correspondante.

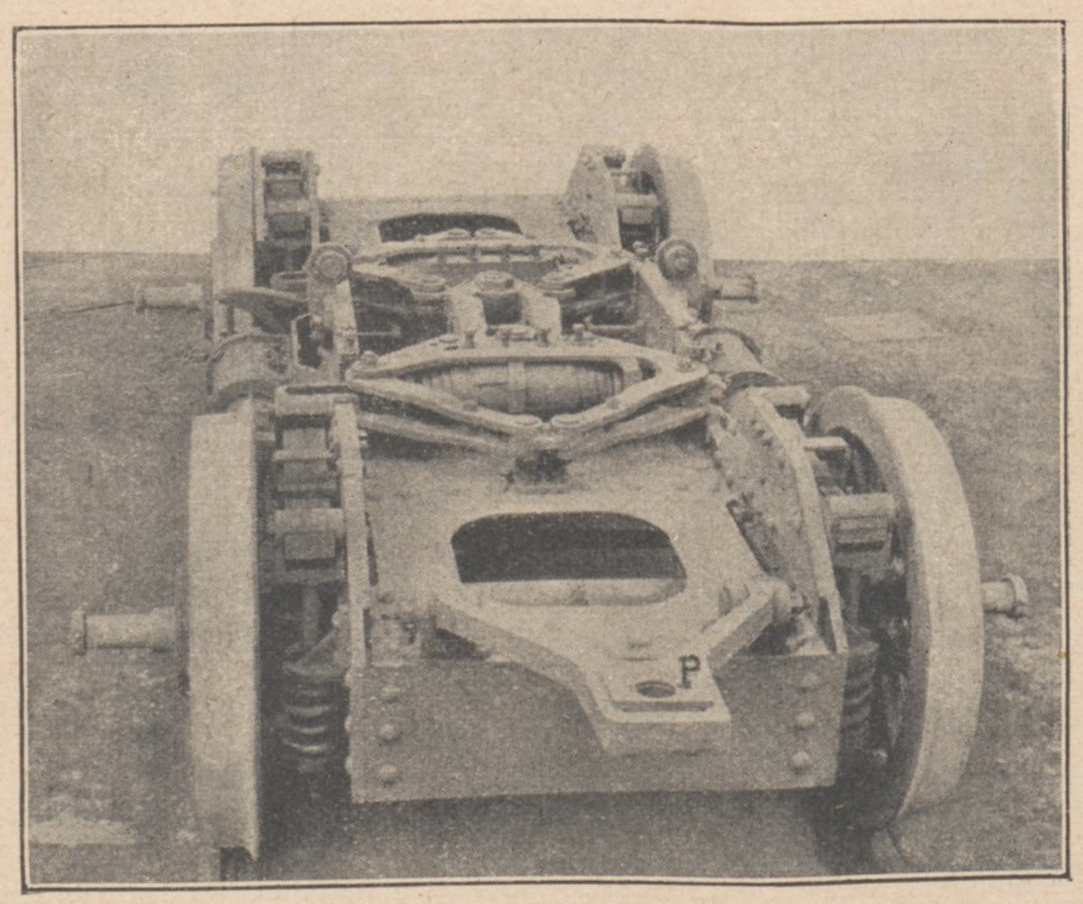
La tension des ressorts augmente aussi bien quand le bogie change d'orientation que quand il se déplace par rapport au châssis ; les courbes représentées à la partie inférieure de la figure 2 montrent comment varient les efforts et couples de rappel en fonction des déplacements linéaires et angulaires du bogie.

Le déplacement latéral du bogie est limité par le contact entre les crapaudines C_1 et C et les bossages de l'entretoise centrale.

Il y a lieu de noter que le point d'application de la charge portée par chaque bogie ne coïncide pas avec le centre géométrique de celui-ci ; il a été décalé sur notre demande de 150 m*m* en arrière ; la charge portée par l'essieu intérieur de chaque bogie est aussi supérieure d'environ 20 % à celle de l'essieu extrême.

La liaison entre bogie et châssis est, dans la machine 501, constituée uniquement par le dispositif de rappel. Dans la machine 502, nous avons fait établir, à titre d'essai, une liaison supplémentaire amovible. Un timon mobile, monté sur le châssis du bogie, peut être rabattu, soit vers l'extérieur, soit vers l'intérieur du bogie. Dans une position, l'axe du pivot du timon se trouve en P à un mètre en arrière de l'essieu arrière du bogie, dans l'autre position, il se trouve en P′ exactement au-dessus du centre de cet essieu.

Fig. 3.

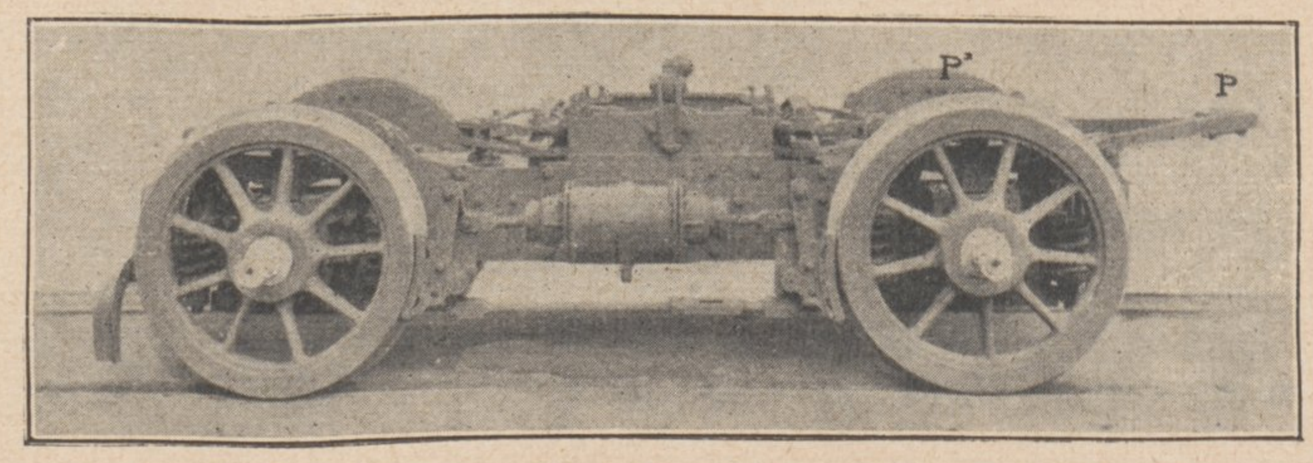


Sur le châssis de la locomotive, se trouvent, de chaque côté, deux supports de pivots P_1 et P'_1 correspondant chacun à une des positions du timon. Dans ces conditions, quand le timon sera rabattu vers l'extérieur du bogie, pivot en P, le bogie se comportera comme un bogie bissel ; quand le timon sera rabattu vers l'intérieur du bogie, tout se passera comme si les essieux 2 ou 7 étaient convergents.

Les figures 3 et 3 *bis* reproduisent des photographies d'un bogie de locomotive 502 démonté.

L'influence que peut avoir, au point de vue de la stabilité de la marche de la machine à grande vitesse, la position du point d'attache du bogie avant ou arrière pourra être étudiée aisément sur des lignes ne comportant que des courbes de grand rayon et il est probable que les essais

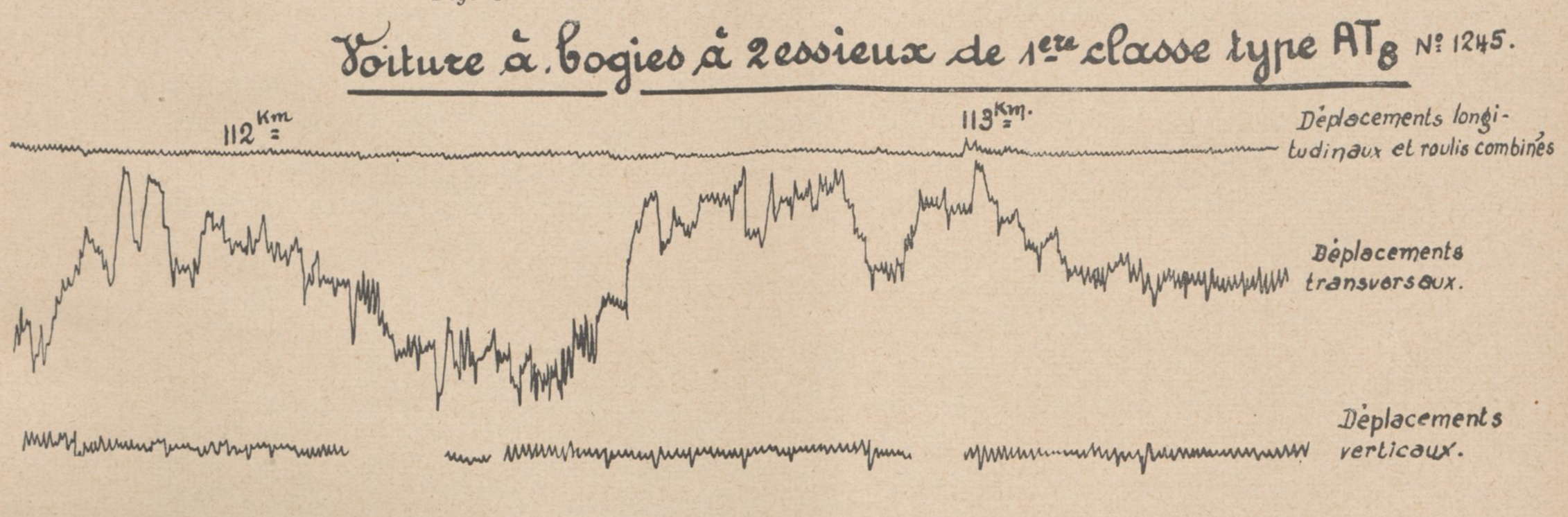
Fig. 3 *bis.*



qui vont être entrepris successivement avec chacune des neuf combinaisons de trains roulants possibles (1), fourniront de précieux renseignements.

Ces essais n'ont pas été effectués jusqu'à présent, d'une part, faute de temps et, d'autre part, en raison du fonctionnement particulièrement satisfaisant de ces machines à des vitesses de l'ordre de 130 k*mh*. Les relevés comparatifs effectués avec des sismographes système Hallade et reproduits sur la figure 4 montrent que la tenue de ces machines sur les voies est

Fig. 4. — Diagrammes obtenus avec l'appareil Hallade.



(1) Ces combinaisons sont les suivantes :

NUMÉRO de la combinaison	BOGIE AVANT	BOGIE ARRIÈRE	RAYON MINIMUM d'inscription en courbe
1	Rappel normal.....	Rappel normal.....	80 *m*
2	—	Pivotement autour de P.....	250 *m*
3	—	Pivotement autour de P'.....	80 *m*
4	Pivotement autour de P.....	Rappel normal.....	150 *m*
5	—	Pivotement autour de P.....	250 *m*
6	—	Pivotement autour de P'.....	150 *m*
7	Pivotement autour de P'.....	Rappel normal.....	80 *m*
8	—	Pivotement autour de P.....	250 *m*
9	—	Pivotement autour de P'.....	80 *m*

aussi bonne que celle des meilleures voitures à bogies de notre réseau. Cette comparaison est d'autant plus intéressante que les appareils Hallade étaient placés, au cours des essais, dans une cabine de tête pour la locomotive et dans un compartiment central pour la voiture AT8.

Tout permet de penser qu'avec les machines du type 2D2, aussi bien les machines 401 et 402 que les 501-502, nous pourrons atteindre sans difficulté d'aucune sorte, dans les essais qui seront effectués au printemps 1927 sur des sections de voie préparées à cet effet, des vitesses de 140 à 150 k*mh*.

Transmissions de la puissance des moteurs aux roues motrices. — Le système de transmission par biellettes Büchli dérive directement du système de Kando employé depuis 1902 sur les automotrices triphasées de la Valteline. Il a été déjà appliqué sur un certain nombre de locomotives à voyageurs des Chemins de fer fédéraux suisses. La roue motrice M (Fig. 5, 5 *bis* et 6) porte deux manetons A et B qui pénètrent dans deux larges ouvertures ménagées dans la roue d'engrenage E ; ces manetons à tête sphérique sont reliés par des biellettes AA′ et BB′ à deux leviers A′H et B′H pouvant tourner autour

Fig. 5. — DISPOSITIF D'ENTRAINEMENT DES ROUES MOTRICES.

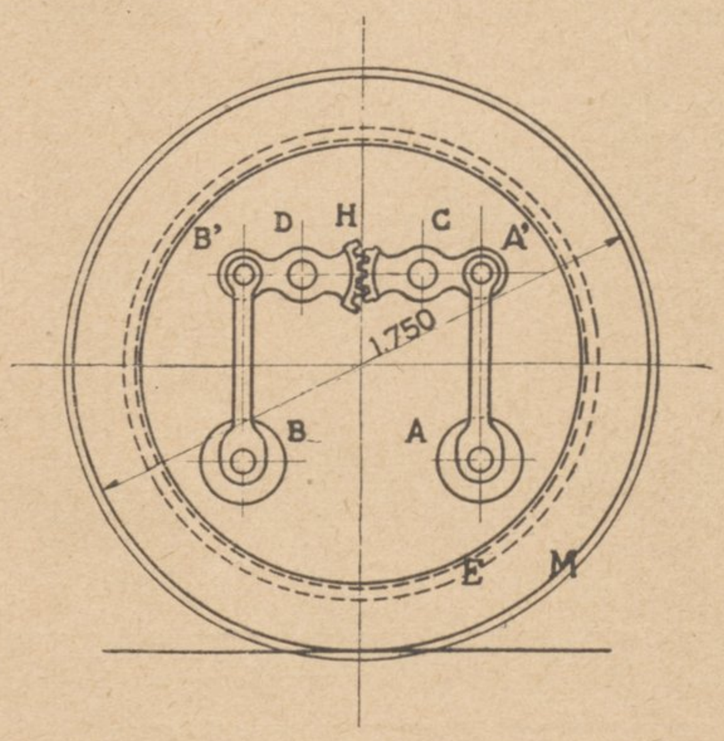
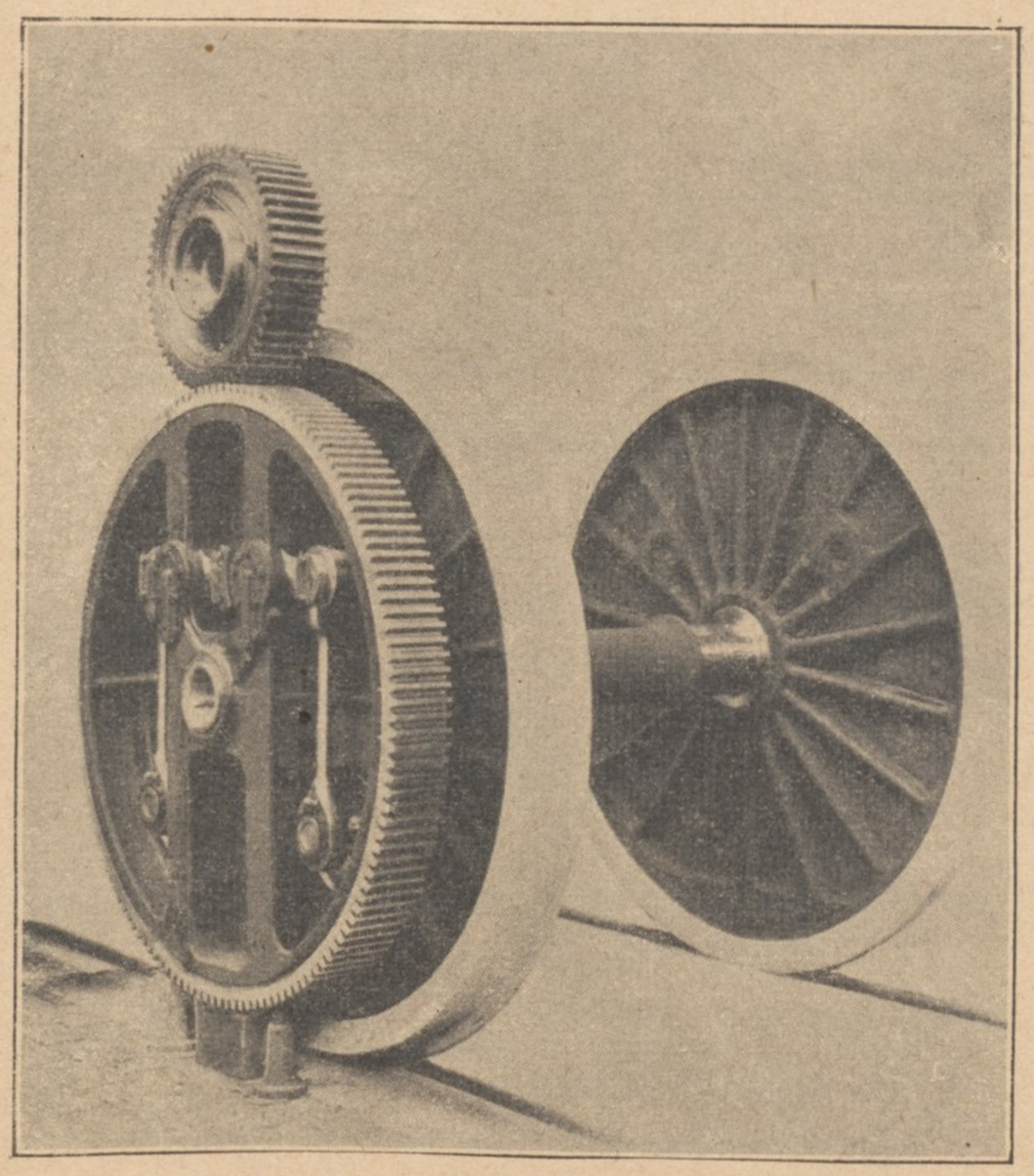


Fig. 5 *bis*.

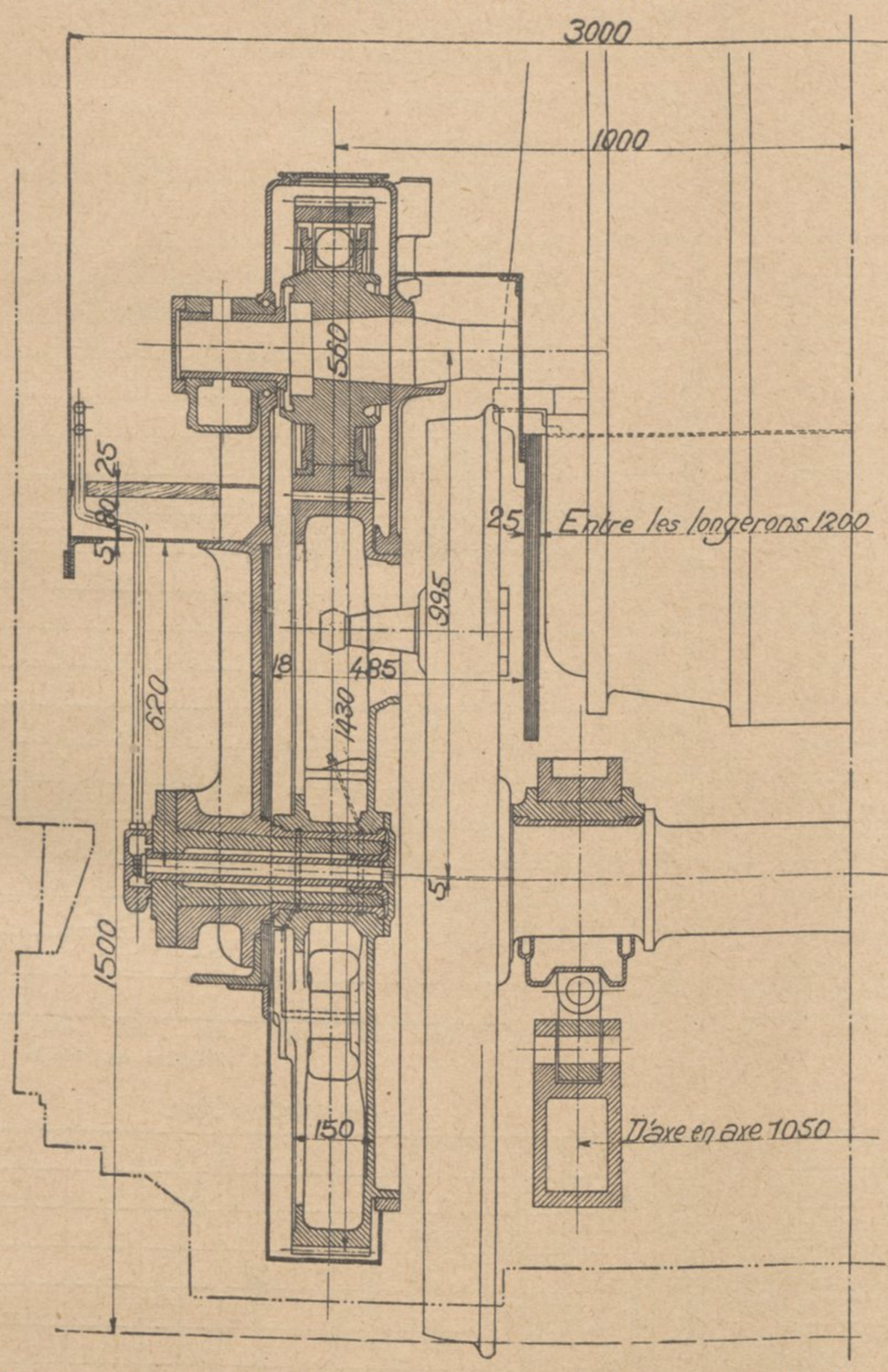


de deux axes C et D faisant corps avec la roue d'engrenage E ; ces deux leviers A′H et B′H sont liés entre eux par deux secteurs dentés engrenant l'un avec l'autre. Quand un levier A′H tourne autour de C d'un certain angle, l'autre levier B′H tourne autour de D d'un angle égal.

Ce système déformable permet à la roue dentée de prendre, par rapport à la roue motrice, sans dépense de travail importante, toutes les positions correspondant aux mouvements relatifs d'un essieu monté par rapport au châssis qu'il supporte. Sur les voies de la Compagnie d'Orléans, ce déplacement est de l'ordre de $\pm$ 25 m*m* et l'inclinaison de $\pm$ 10°.

Le calcul et l'expérience montrent que, pour les déplacements que l'on a à envisager dans la pratique, l'écart de vitesse angulaire dans un tour entre roue d'engrenage et roue motrice ne dépasse guère 1 %.

Fig. 6. — Coupe transversale du dispositif d'entrainement des roues motrices.



Une pompe à huile placée sur l'axe de chaque roue d'engrenage assure le graissage sous pression de toutes les pièces en mouvement relatif et force l'huile à circuler d'une façon continue.

Réglage de la vitesse et caractéristiques de fonctionnement. — Le réglage de la vitesse *pendant la marche en traction* est effectué par changement de couplage des quatre moteurs série et par variation du champ inducteur.

La variation du champ inducteur est obtenue, comme il est indiqué au haut de la figure 7, en utilisant seulement une partie des enroulements de champ et en shuntant le reste par une résistance inductive.

On obtient ainsi, sur la machine 501, onze vitesses économiques et, sur la machine 502, munie de moteurs entièrement compensés, treize vitesses économiques. C'est en utilisant dans la marche en parallèle le même nombre de crans de shuntage que dans la marche en série parallèle, que l'on pourra atteindre, au cours d'essais auxquels il a été fait allusion plus haut, des vitesses de l'ordre de 140 à 150 k*mh*.

La figure 7 donne les caractéristiques, effort de traction, vitesse des machines 501 et 502 pendant la marche à pleine tension ou pendant le démarrage (machine 501) ainsi que l'effort de retenue que peut développer la machine 502 pendant la marche en récupération.

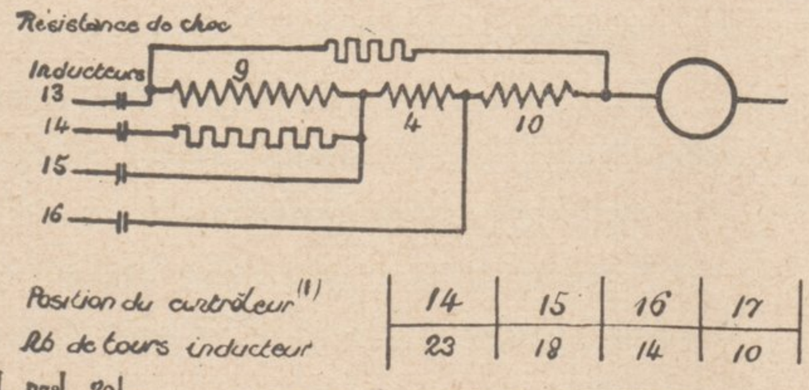
La figure 8 reproduit le schéma des connexions du circuit de puissance pendant la marche en traction (machines 501 et 502) et la figure 9 donne le schéma de connexion des moteurs et de l'excitatrice double spécial pendant la marche en récupération pour la machine 502 qui est seule munie de ce système de freinage.

Système de contrôle. — L'équipement de contrôle comprend essentiellement :

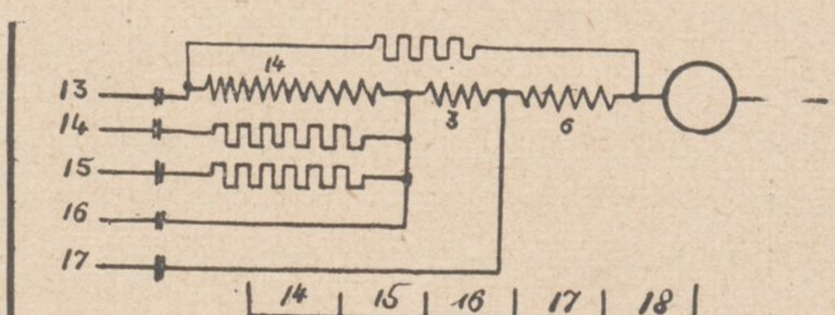
a) *Un disjoncteur principal* à commande électro-pneumatique à rupture double avec résistance de protection, d'une capacité normale de 2.000 ampères sous 2.000 volts pouvant couper aisément 5.000 ampères sous 1.800 volts.

Fig. 7. — CARACTÉRISTIQUES DE MARCHE.

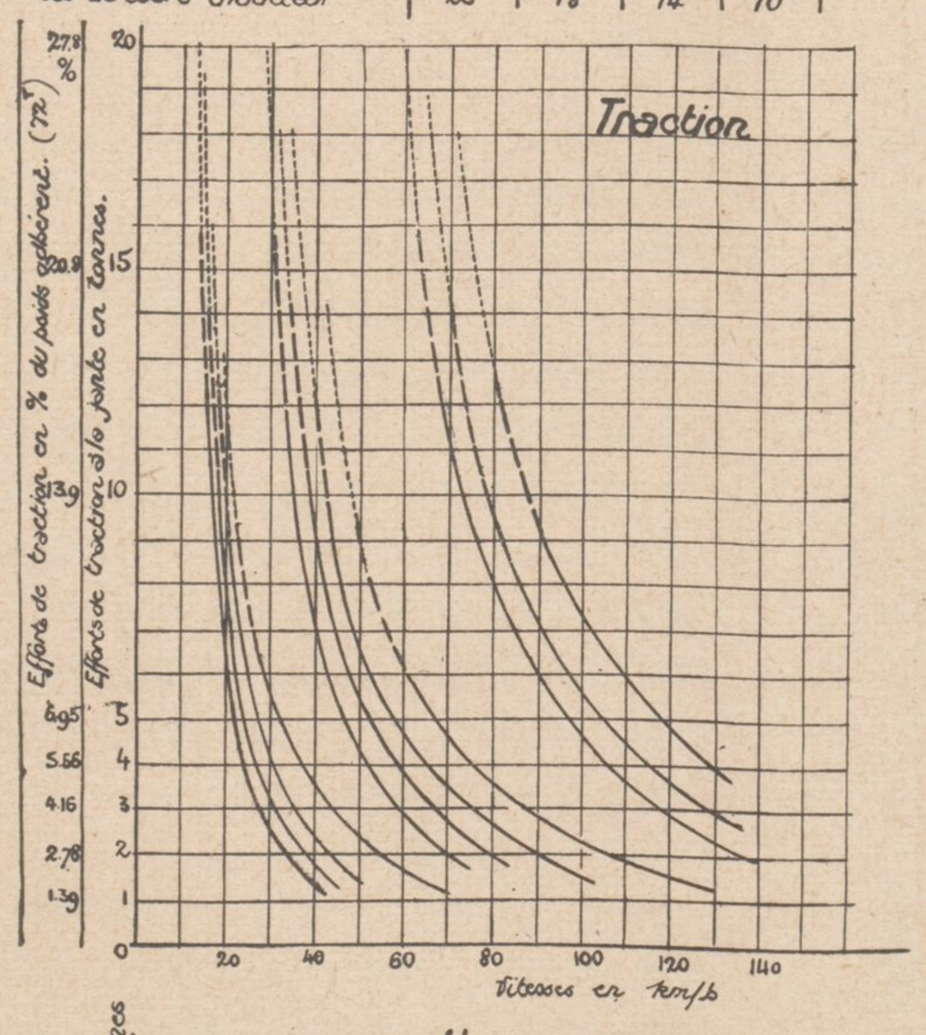
Machine 501. Réglage du champ Machine 502.

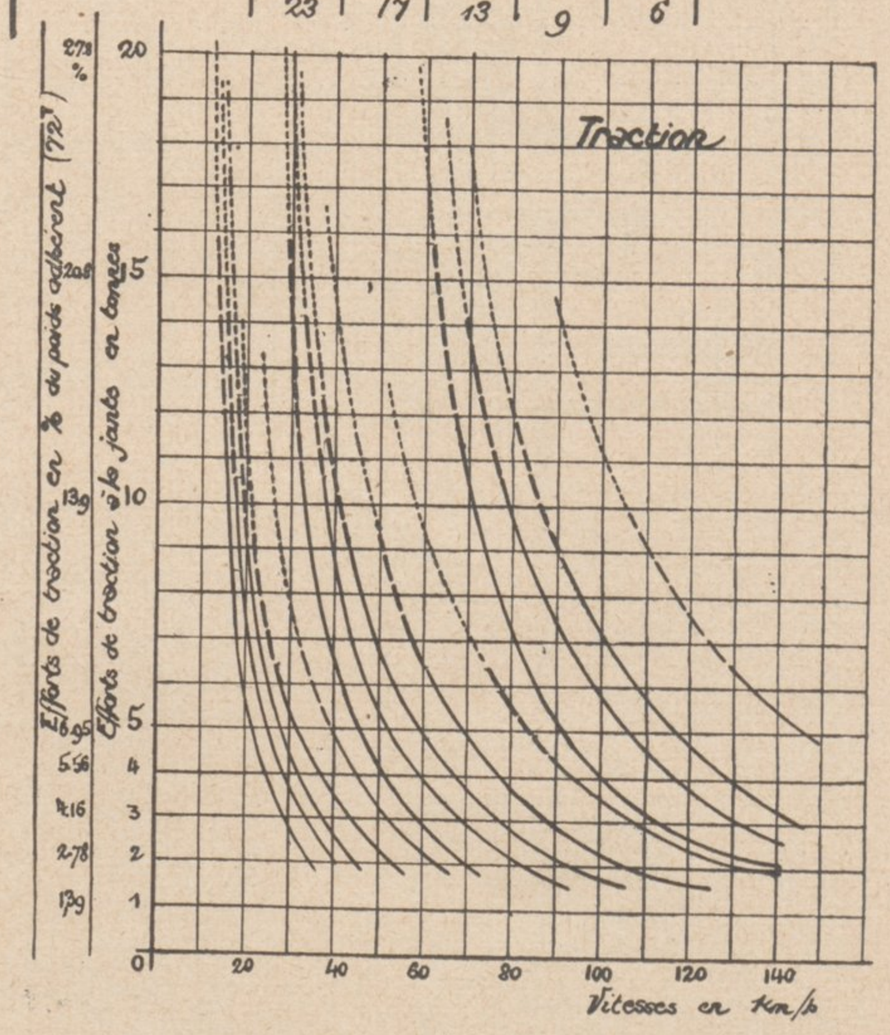


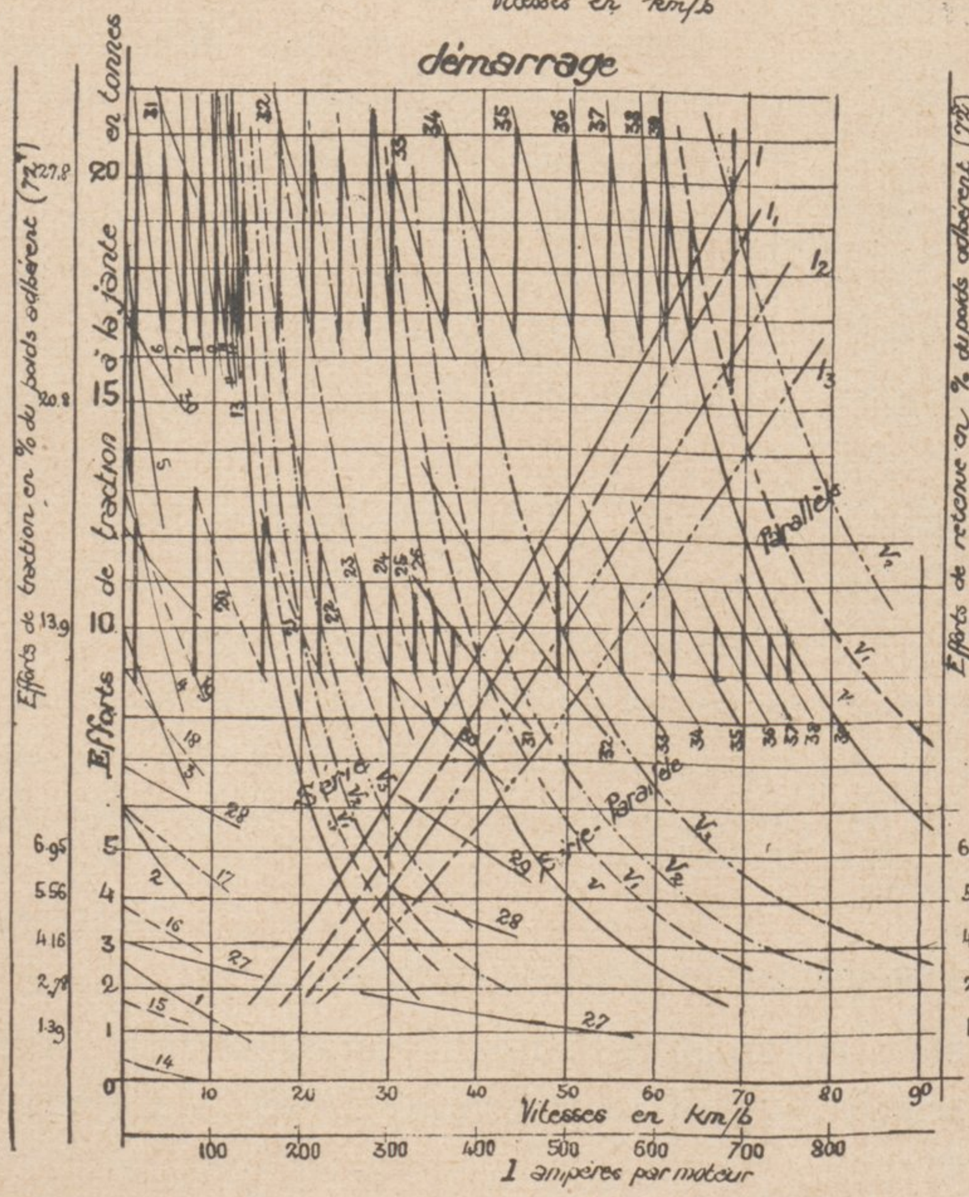
Position du contrôleur (1)	14	15	16	17
Nb de tours inducteur	23	18	14	10

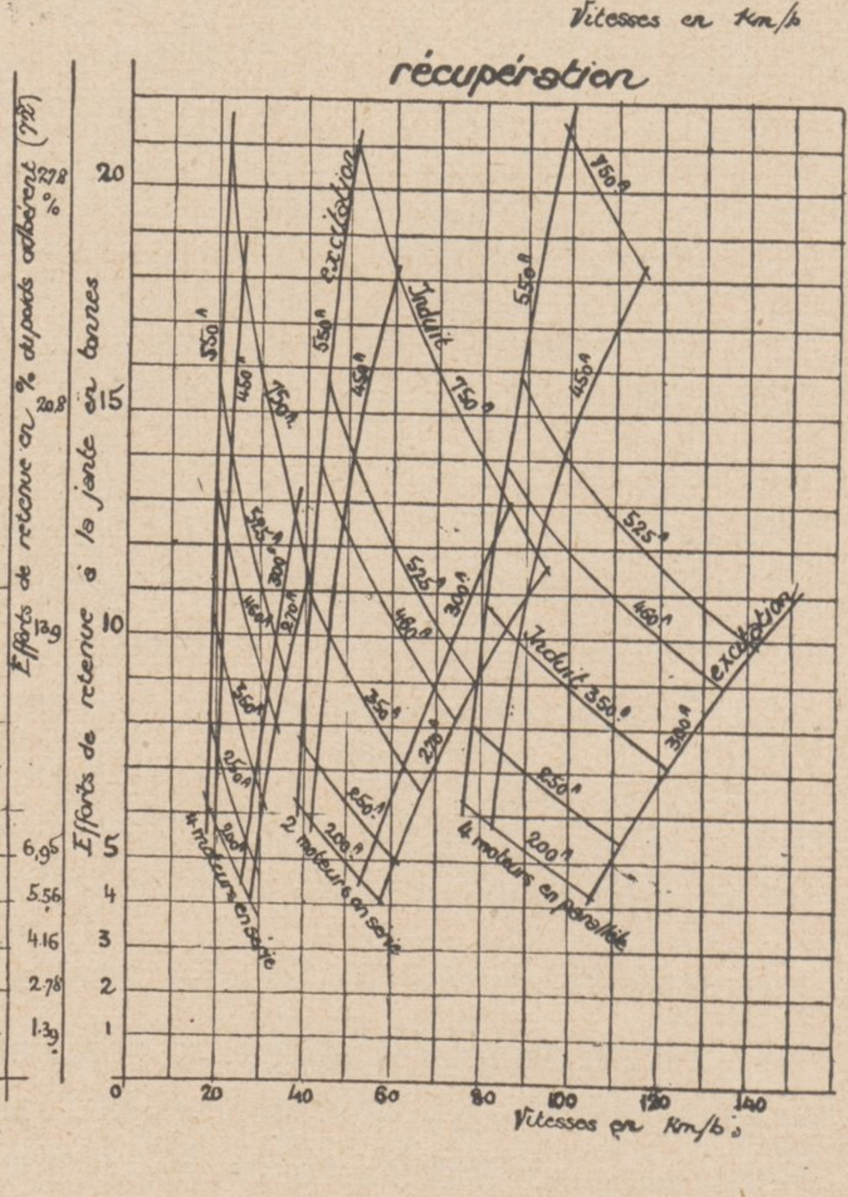


	14	15	16	17	18
	23	17	13	9	6





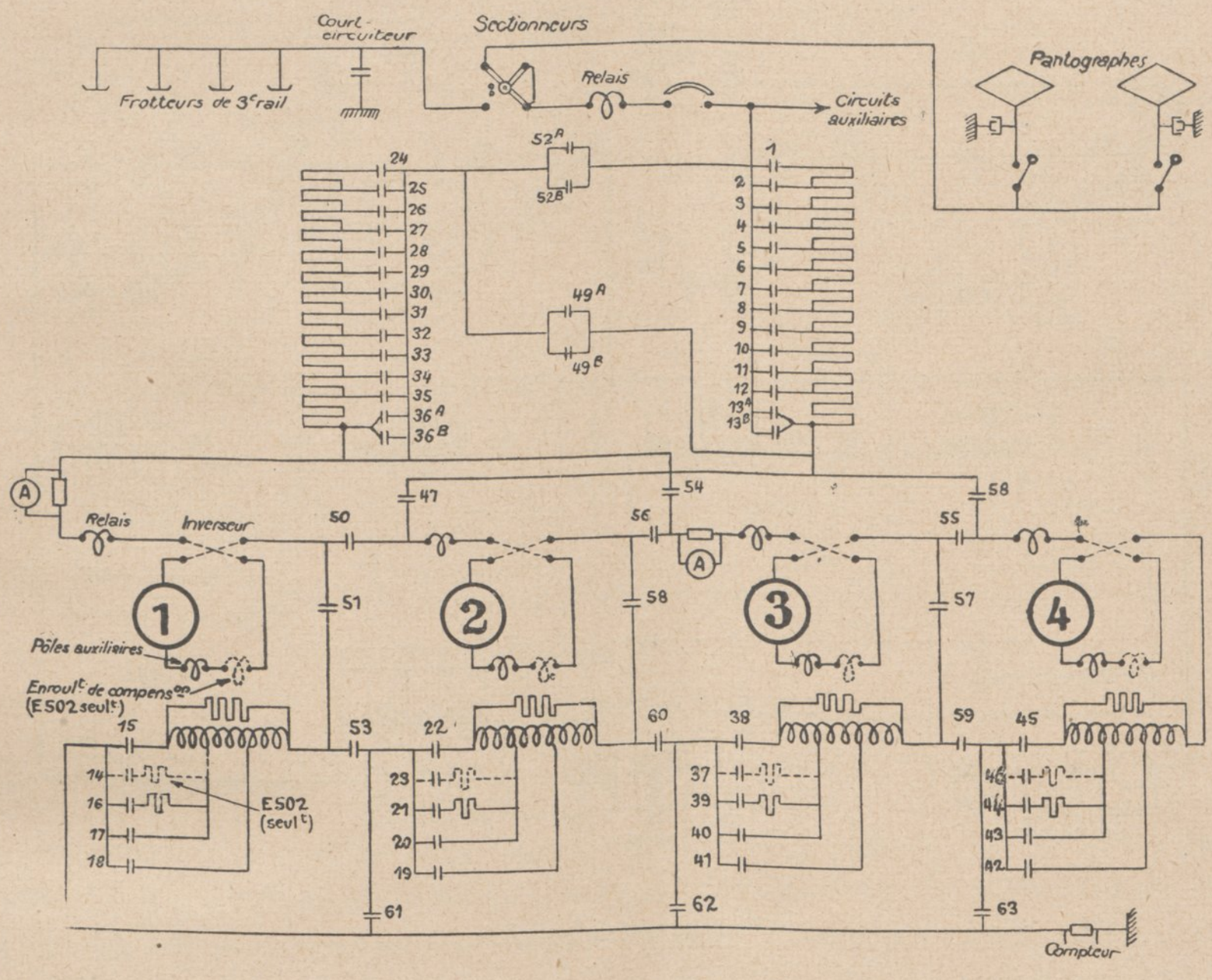




La courbe se lit en prenant les efforts de traction comme variable indépendante

(1) Les 13 premières positions sont des positions de démarrage sur résistances

Fig. 8. — CIRCUITS DE PUISSANCE (Marche en traction).



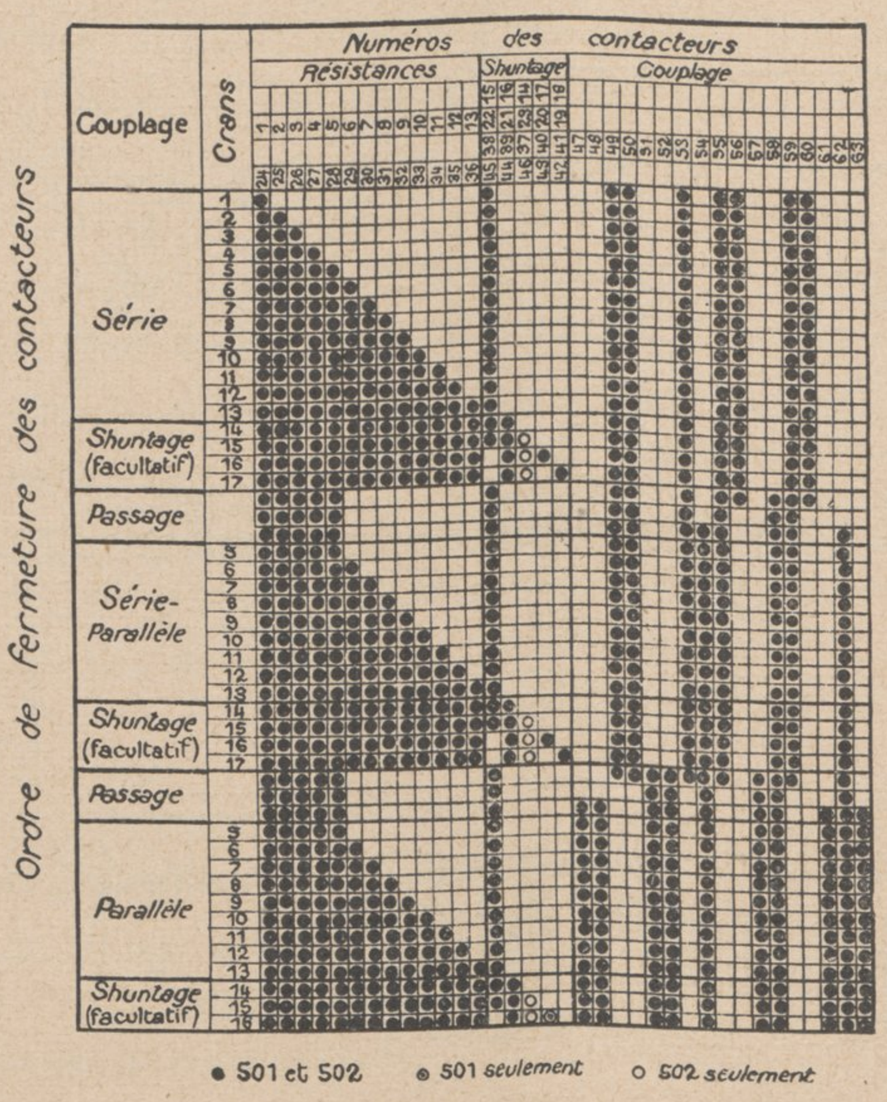
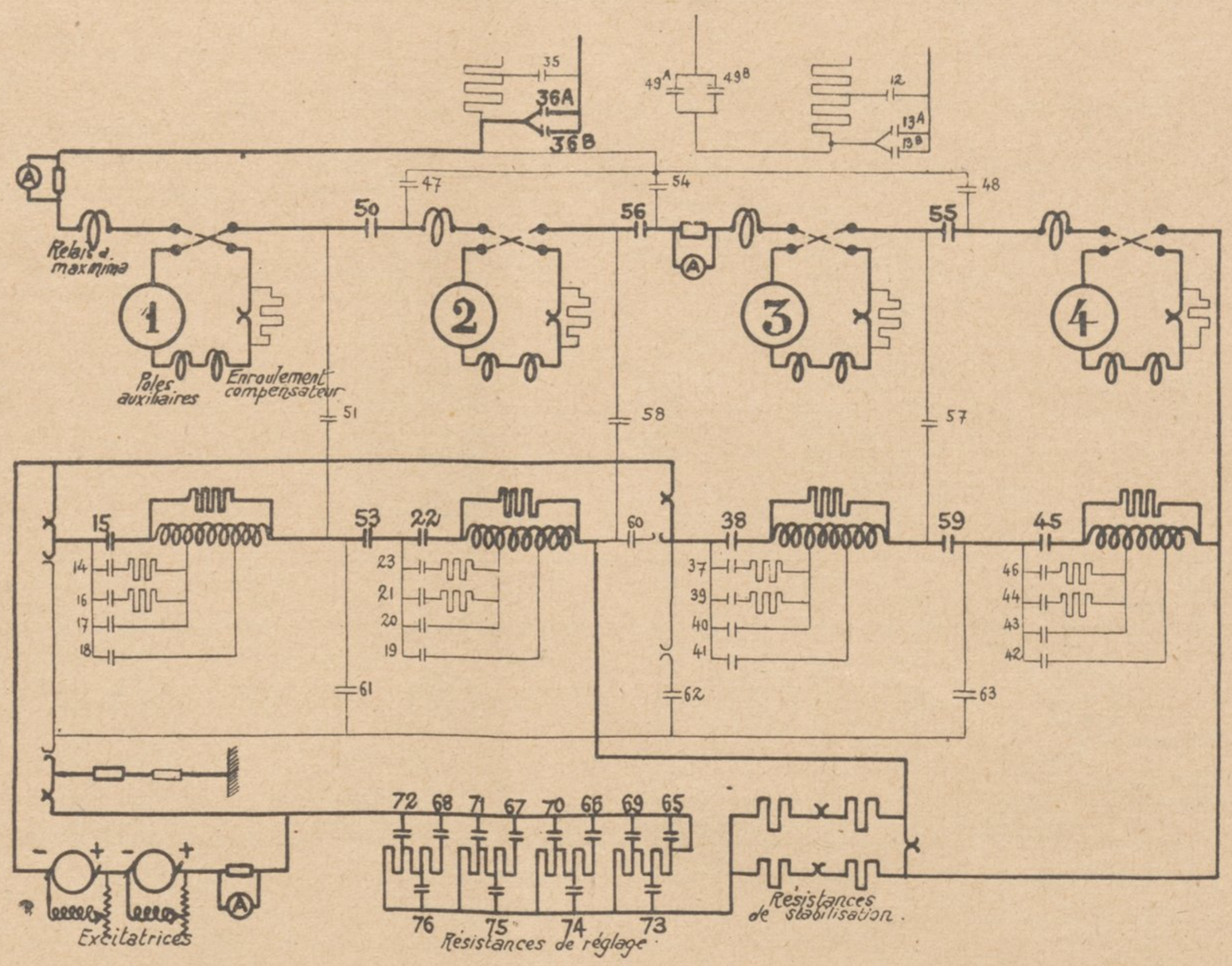


Fig. 9. — Locomotive 502. Circuits de récupération (Couplage série).



(Couplage série parallèle).

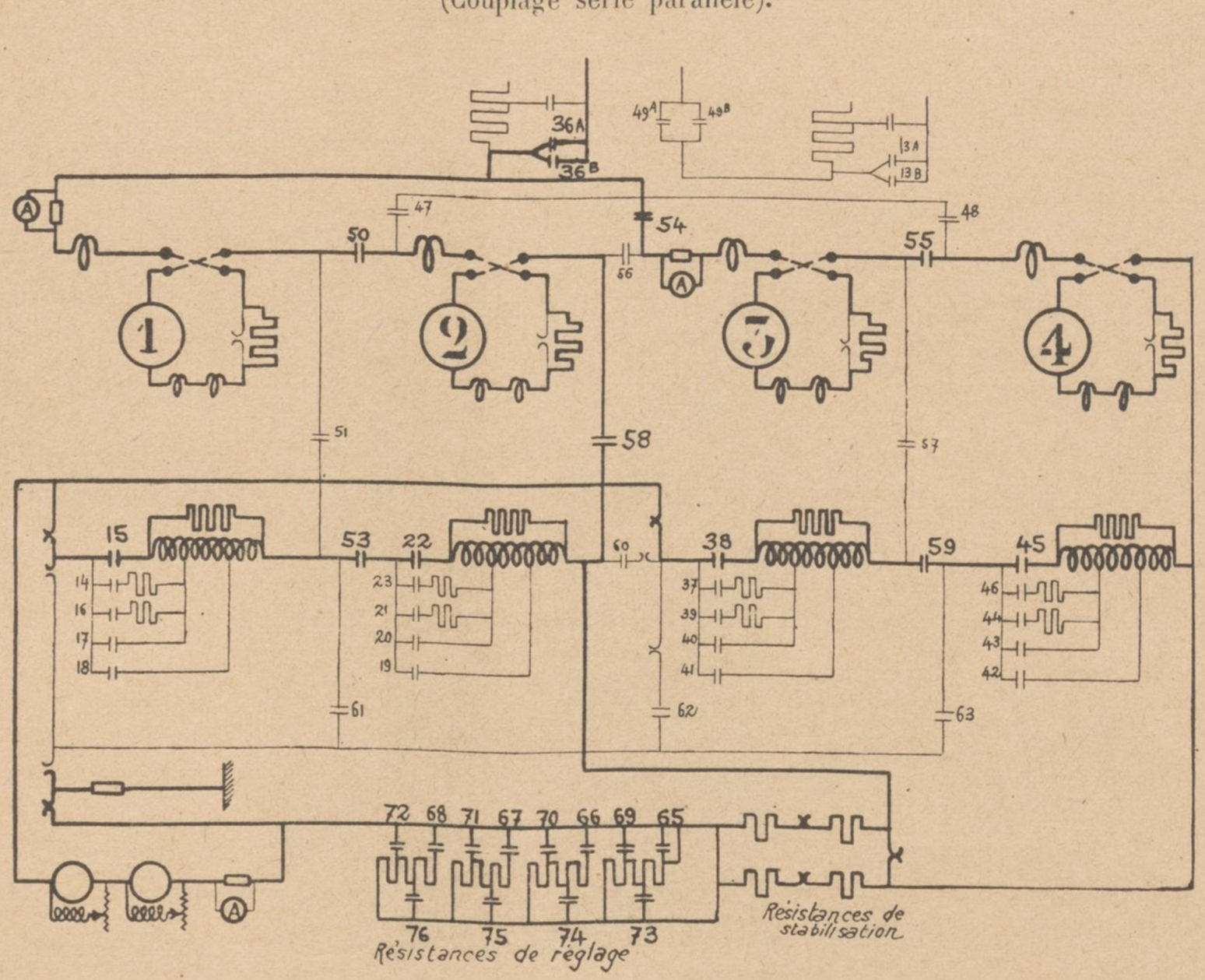
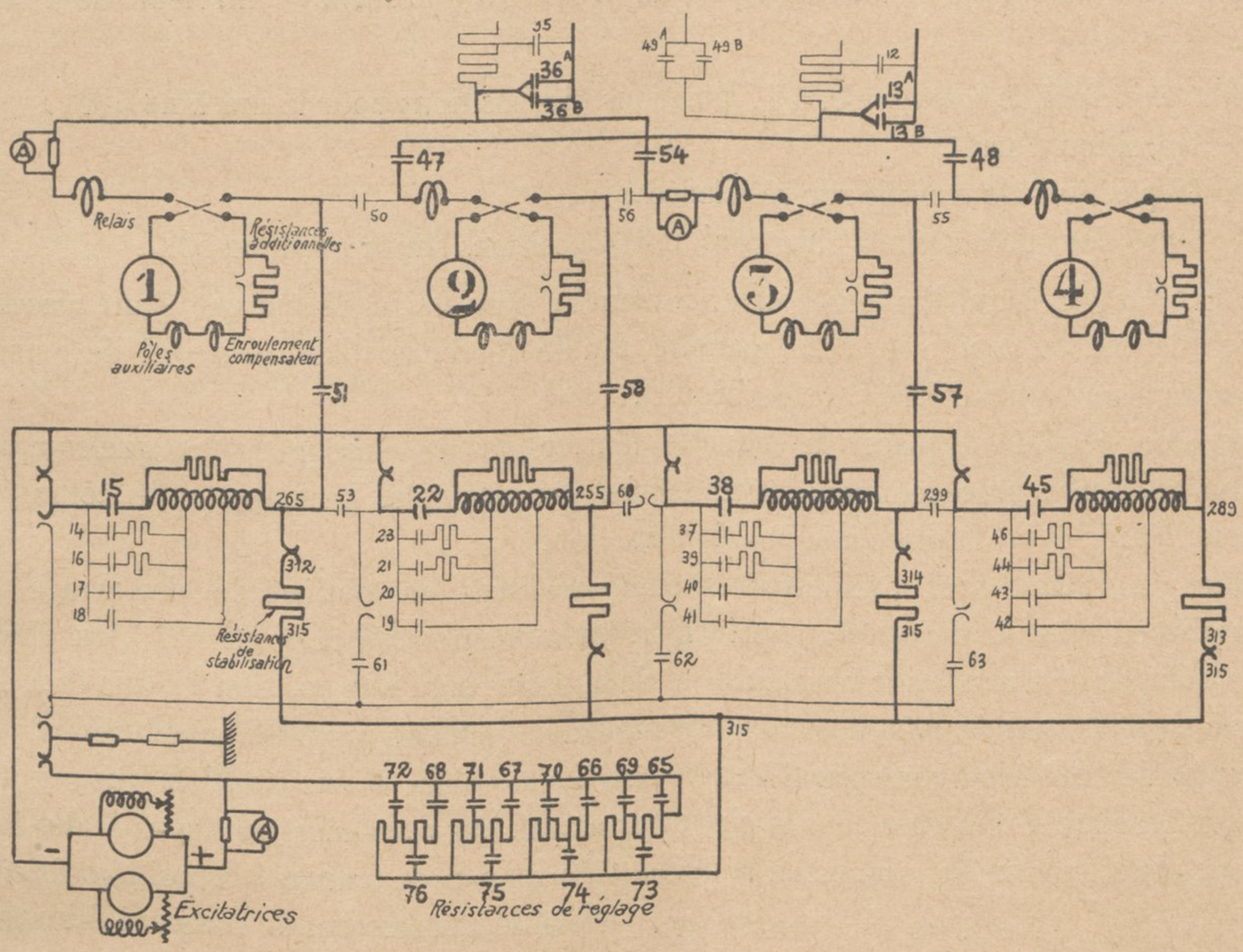


Fig. 9 (*Suite*). — (Couplage parallèle).



Ce disjoncteur est ouvert par deux relais : l'un, à série, parcouru par le courant total de traction ; l'autre, à minimum, parcouru par un courant dérivé du circuit principal de traction à travers une très forte résistance. Ce relais est désexcité quand le courant manque en ligne ou quand son enroulement est court-circuité par un quelconque des quatre relais placés en série avec chacun des quatre moteurs principaux.

Le déclenchement à main du disjoncteur principal est également obtenu par l'intermédiaire d'une transmission mécanique que l'on peut actionner de l'une ou l'autre des cabines par une poignée placée à côté du mécanic en.

b) *Un groupe moteur-générateur* 1.500/72 *V*, de 2 k*w* et une batterie d'accumulateurs de 54 éléments d'une capacité de 72 *Ah* en 4 heures, fournissant le courant à 72 *V* nécessaire pour la commande des appareils de contrôle et l'éclairage de la locomotive.

c) *Deux contrôleurs* placés chacun dans une des cabines de manœuvre ; chaque contrôteur porte trois tambours superposés, mobiles autour du même axe vertical, chaque tambour pouvant être entraîné par un des trois dispositifs de commande mis à la disposition du mécanicien et placés sur la face supérieure du contrôleur. Ces dispositifs sont :

1 manette d'inversion de marche à 7 positions :

neutre.
avant ou arrière série.
avant ou arrière série parallèle.
avant au arrière paralléle.

1 manette de commutation à deux positions, correspondant :

l'une à la marche en traction,
l'autre à la marche en récupération.

(Cette manette et le tambour correspondant n'existent que sur les contrôleurs de la machine 502).

1 volant principal de commande, à 17 positions (18 positions pour la machine 502) :

1 position d'arrêt.

13 positions de marche sur résistances.

3 positions de marche à champ réduit (4 positions sur la machine 502).

Pour mettre en marche la locomotive, la manette d'inversion de marche étant placée à la position neutre, on appuie sur cette manette afin de libérer le volant principal de manœuvre en soulevant un taquet d'arrêt à la position 0.

Il est alors possible de placer la manette d'inversion de marche à une quelconque des positions indiquées précédemment, Avant-Série, par exemple. La manette de commutation est alors libérée et on la place à la position traction.

Toutes ces manœuvres préliminaires étant réalisées, on obtient le démarrage de la locomotive en agissant sur le volant principal. De la position 1 à la position 13, on obtiendra une marche de démarrage sur résistances et de la position 14 à la position 17 (de 14 à 18 sur la machine 502), une marche normale sans résistance à champ progressivement réduit.

Pour passer de série à série parallèle, on ramène le volant à une position quelconque de 1 à 5 (de manière à réinsérer dans le circuit principal, des résistances au moins égales à celles correspondant au cran 5) ; on amène la manetted'inversion de marche à la position série parallèle et le changement de couplage des moteurs s'effectue par la méthode dite du « shunt ».

Fig. 10.

En agissant à nouveau sur le volant principal, on réduit progressivement les résistances en passant de la position 5 à la position 13 ; aux positions 14, 15 et 16 pour la machine 501 ; 14, 15, 16 et 17 pour la machine 502 ; on réduit le nombre d'ampères-tours inducteurs exactement comme pour le couplage en série.

Pour passer du couplage série parallèle au couplage parallèle et régler la vitesse en parallèle, on procède d'une manière analogue à celle indiquée ci-dessus.

La figure 10 qui représente une des cabines de manœuvre de la machine 501 permet de se rendre compte de la disposition relative des divers appareils de commande et des freins Westinghouse et modérable.

d) *Deux inverseurs* à commande électropneumatique, un pour chaque groupe de deux moteurs, dont les deux positions extrêmes correspondent, l'une à la marche avant, l'autre à la marche arrière. Les deux inverseurs ont leurs mouvements conjugués par une liaison mécanique.

Sur l'arbre de chaque inverseur, sont montés deux tambours correspondant chacun à un moteur. Chacun de ces tambours peut être rendu solidaire de l'arbre de l'inverseur ou immobilisé dans une position médiane, en agissant sur une manette montée sur chaque tambour.

Quand l'un des tambours est immobilisé dans la position médiane, le moteur correspondant est isolé et on réalise en même temps des verrouillages électriques tels que l'on ne peut plus marcher qu'aux positions série (3 moteurs en série) et parallèle (3 moteurs en parallèle).

Quand un moteur est isolé et que la manette d'inversion de marche est placée à la position série-parallèle, le fil de commande des électro-valves du combinateur de couplage correspondant à cette position est interrompu et cet appareil reste à la position série.

e) *Un combinateur de couplage* à 3 positions, à commande électro-pneumatique, permettant d'effectuer les connexions série, série-parallèle, parallèle des 4 moteurs.

f) *Deux groupes de contacteurs* à cames à soufflage magnétique permettant d'une part de règler la valeur des résistances de démarrage et d'autre part d'effectuer la réduction du champ inducteur.

Tous ces contacteurs sont normalement fermés par des ressorts de rappel donnant une pression au contact d'environ 16 k*g* ; des cames montées sur l'arbre de commande réalisent l'ouverture des contacts correspondants.

Un arbre monté sur roulements à billes traverse la locomotive dans toute sa longueur et assure la marche synchrone des deux groupes de contacteurs.

Les groupes de contacteurs à cames de réglage des résistances sont commandés normalement par la manœuvre des contrôleurs par l'intermédiaire d'un moteur pilote d'une puissance de l'ordre d'un demi-cheval, soit exceptionnellement à la main par l'intermédiaire d'un volant qui peut se monter aux deux extrémités de leur arbre en cas de défaillance des appareils de commande.

Le moteur pilote entraîne, par l'intermédiaire d'un double jeu d'engrenages et d'un embrayage à friction, la roue dentée attaquant l'arbre à cames au moyen d'une chaîne sans fin.

Pour assurer la marche cran par cran de l'arbre à cames, un dispositif d'asservissement est prévu, d'une part, entre le contrôleur et, d'autre part, entre le moteur pilote et l'arbre à cames.

Ce dispositif comprend essentiellement : une roue dentée d'enclenchement à 17 encoches et un rochet commandé par un électro-aimant. Ce rochet porte un interrupteur permettant de couper le courant sur le moteur pilote.

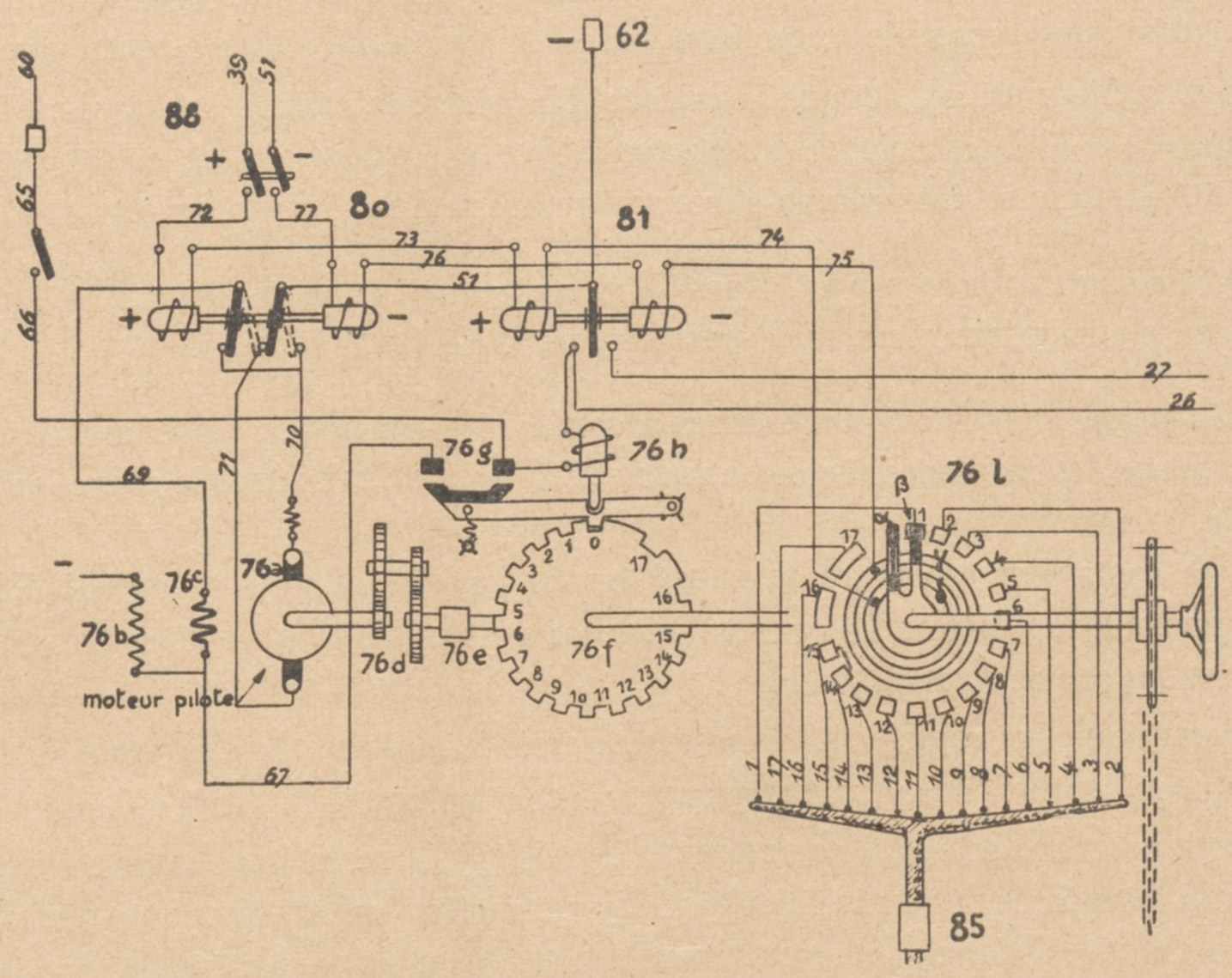
Un curseur double $\alpha\beta$, solidaire de la roue d'enclenchement, tourne sur un plateau vertical portant deux secteurs $\gamma\delta$ et 17 contacts fixes numérotés de 1 à 17 et reliés aux 17 touches fixes du contrôleur sur lequel appuie le tambour entraîné par le volant principal de commande à 17 positions.

Quand on place le volant du contrôleur à une position quelconque n, par exemple, toutes les touches et tous les contacts 1, 2.. n, sont positifs, alors que toutes les touches et tous le contacts $n+1$, $n+2$,... 17 sont négatifs.

L'examen de la figure 11 ci-après et de la partie gauche de cette figure montre que le moteur pilote va avancer par saccades successives tant que les contacts du curseur $\alpha\beta$ recevront

tous deux du courant +. Le curseur $\alpha\beta$ s'arrêtera quand sa branche α appuiera sur le contact n qui est positif et sa branche β sur le contact $n + 1$ qui est négatif.

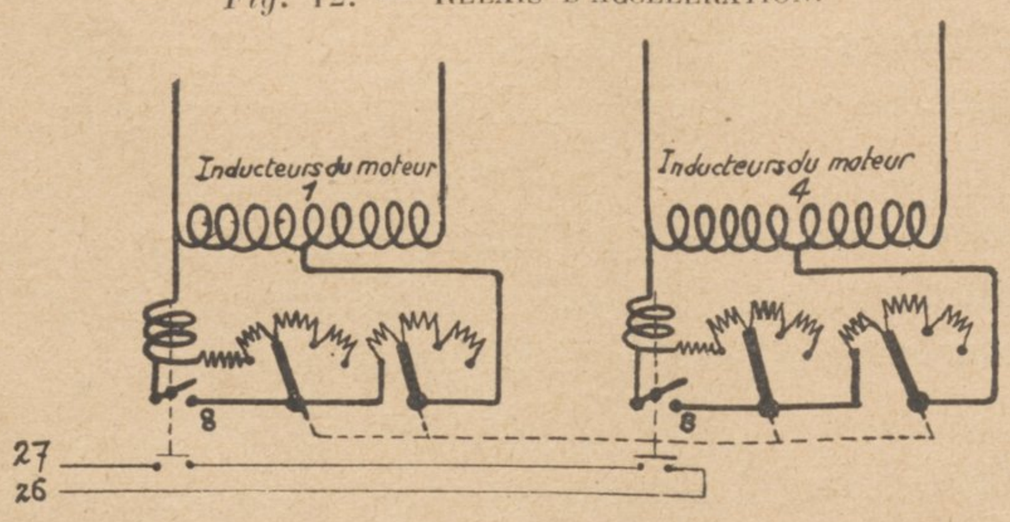
Fig. 11.



Quelle que soit la position donnée au volant, en avant ou en arrière, le moteur pilote, le curseur double et par suite l'arbre à cames se déplaceront avec un retard déterminé pour s'arrêter à la position correspondant à celle à laquelle on aura placé le volant du contrôleur.

g) *Un relais double d'accélération* placé sur la partie des inducteurs des moteurs qui reste constamment en circuit. L'effet de ce relais est, le volant étant placé à la touche de démarrage n, d'arrêter le curseur du moteur pilote à une position de rang inférieur à n tant que le courant dans les moteurs n'est pas tombé au-dessous d'une valeur fixée à l'avance. Cette valeur peut être réglée de 400 à 650 ampères par la manœuvre du rhéostat représentée sur la figure 12. Un bouton by pass placé dans chaque cabine permet de neutraliser l'action du relais d'accélération pour obtenir un démarrage à une intensité supérieure dans certains cas particuliers : démarrage en rampe, train très lourd, etc...

Fig. 12. — Relais d'accélération.



L'action de ce relais n'empêche pas le moteur pilote de revenir en arrière et de ramener les contacteurs à la position 0.

Pour rapprocher les limites entre lesquelles ce relais fonctionne à la fermeture et à l'ouverture, on dispose un petit contact α dans le circuit du relais, de manière à augmenter la résistance en série avec l'enroulement quand le relais est fermé.

h) *Quatre relais de surcharge,* réglables de 700 à 1.100 ampères, pour la protection des moteurs, placés en série avec les inducteurs de chacun des moteurs, et ayant comme effet, en cas de fonctionnement, de court-circuiter l'enroulement de la bobine à minima du disjoncteur principal.

*
* *

Pour la machine 502 munie de la récupération, il existe en outre :

a) *Un combinateur de récupération à commande* électro-pneumatique à quatre positions, correspondant chacune ;

La première à la marche en traction,

Les trois autres à la marche en récupération { série, série-parallèle, parallèle.

Ces quatre positions sont obtenues au moyen d'un petit moteur à air comprimé et d'un tambour d'asservissement électrique. Ce combinateur effectue la liaison correspondant à la marche en récupération, d'une part entre inducteurs et génératrice d'excitation, d'autre part, entre induits et résistances de stabilisation. Le changement de couplage pendant la marche en récupération est effectué après avoir coupé entièrement le courant sur les moteurs pendant le temps nécessaire à la manœuvre.

b) *Un groupe de 12 contacteurs à soufflage magnétique* et à arbre à cames à commande à main par volant et chaîne sans fin.

Ce groupe de contacteurs permet de faire varier la valeur des résistances de réglage.

c) *Deux rhéostats d'exitation* des excitatrices de récupération à commande à main par volant, engrenages et chaîne.

Ce volant permet d'effectuer la marche synchrone des deux contacts mobiles sur les deux rhéostats de champ des génératrices. Ces rhéostats permettent de faire varier la tension de 8 à 22 volts environ aux bornes de l'excitatrice.

ELECTRIFICATION PARTIELLE DU RÉSEAU DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS

Par M. PARODI,

DIRECTEUR HONORAIRE DES SERVICES D'ÉLECTRIFICATION,
INGÉNIEUR CONSEIL DE LA COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS.

(Suite) (1)

UTILISATION DE L'ENERGIE (*Suite*)

Locomotives de Marchandises

Ces machines aut été étudiées en vue de remorquer à des vitesses nominales égales ou inférieures à 65 k*mh* des trains dont la charge ne dépassera pas, pour la section Paris-Vierzon :

650 *t* pour les trains de voyageurs avec 34 voitures ;

1.100 *t* pour les trains de marchandises avec 80 véhicules au maximum.

En double traction, elles doivent pouvoir remorquer des trains de 2.000 *t* sans que le nombre de véhicules remorqués dépasse 80.

Les machines commandées, au nombre de 200, sont toutes du type BB, c'est-à-dire à deux bogies à deux essieux moteurs, la charge par essieu pouvant atteindre 20 *t* quand les machines seront munies de la récupération. Actuellement, toutes ces machines sont munies d'un équipement électrique prévu pour la marche en traction seule, comprenant quatre moteurs à ventilation forcée à 1.500 *V* par collecteur ayant chacun une puissance continue d'au moins 300 ch.

Ces machines possèdent neuf régimes économiques de marche correspondant :

a/ Aux trois couplages série, série parallèle et parallèle des quatre moteurs ;

b/ A trois valeurs du champ inducteur : champ maximum, champ réduit d'environ 20 %, champ réduit d'environ 40 %.

Le système de « train control » employé est du type électropneumatique permettant la marche en « unités multiples » de plusieurs locomotives accouplées électriquement.

Les différents appareils sont entraînés par des servomoteurs à air comprimé commandés par des électrovalves à faible tention (32 *V*).

(1) Voir *Revue Générale*, Nos de Novembre et Décembre 1925, de Février, Mars, Avril, Août, Septembre 1926, de Janvier, Mars, Avril, Juillet et Août 1927.

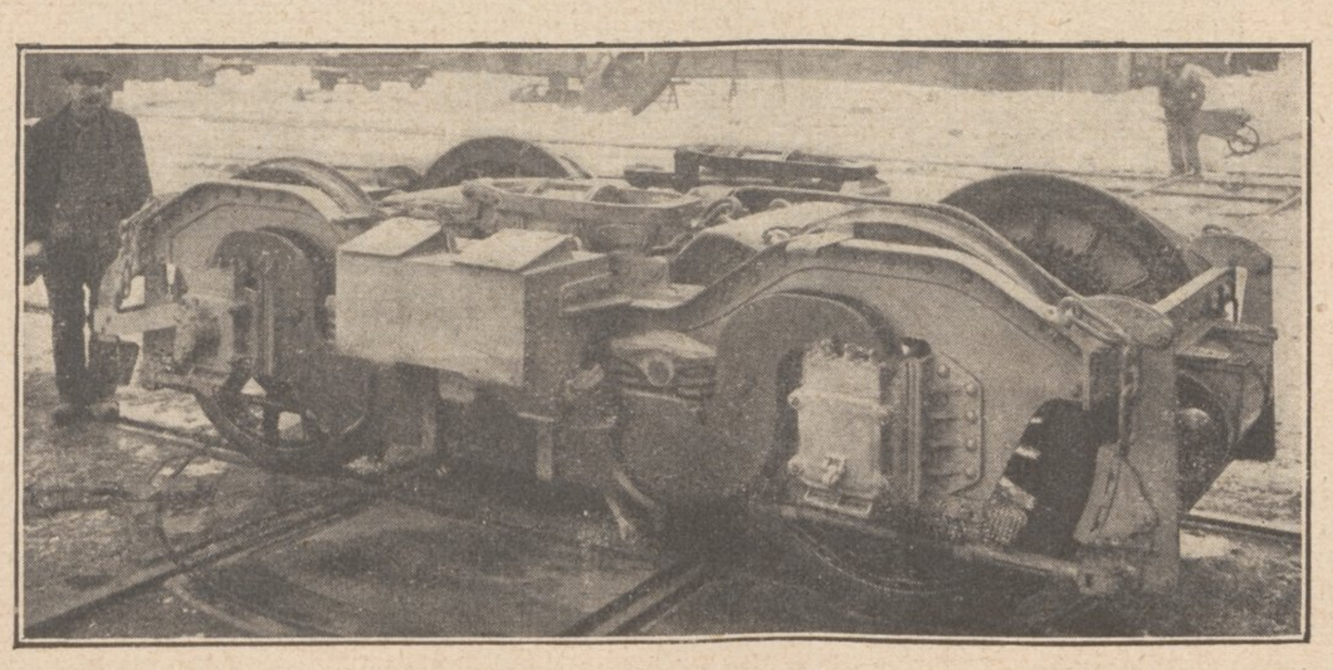
Le courant nécessaire à la commande des électrovalves est fourni par une batterie d'accumulateurs fer-nickel pouvant être rechargée en la plaçant en série du côté terre avec les moteurs à 1500 *V*, à faible puissance, entraînant soit les ventilateurs, soit les compresseurs.

Les 200 équipements de « train control » employés sont, pour 120 machines, du type de la Westinghouse Manufacturing C° ; pour les 80 autres, d'un type que nous avons étudié en collaboration avec la Société Oerlikon.

Les 200 locomotives du type BB ont des dispositions générales identiques, nous avons toutefois laissé une certaine latitude aux différents constructeurs dans l'étude de la partie mécanique et des moteurs de traction proprement dits.

80 locomotives construites par la Société d'Etudes pour l'électrification des chemins de fer français sont munies de bogies du type représenté sur la figure 1.

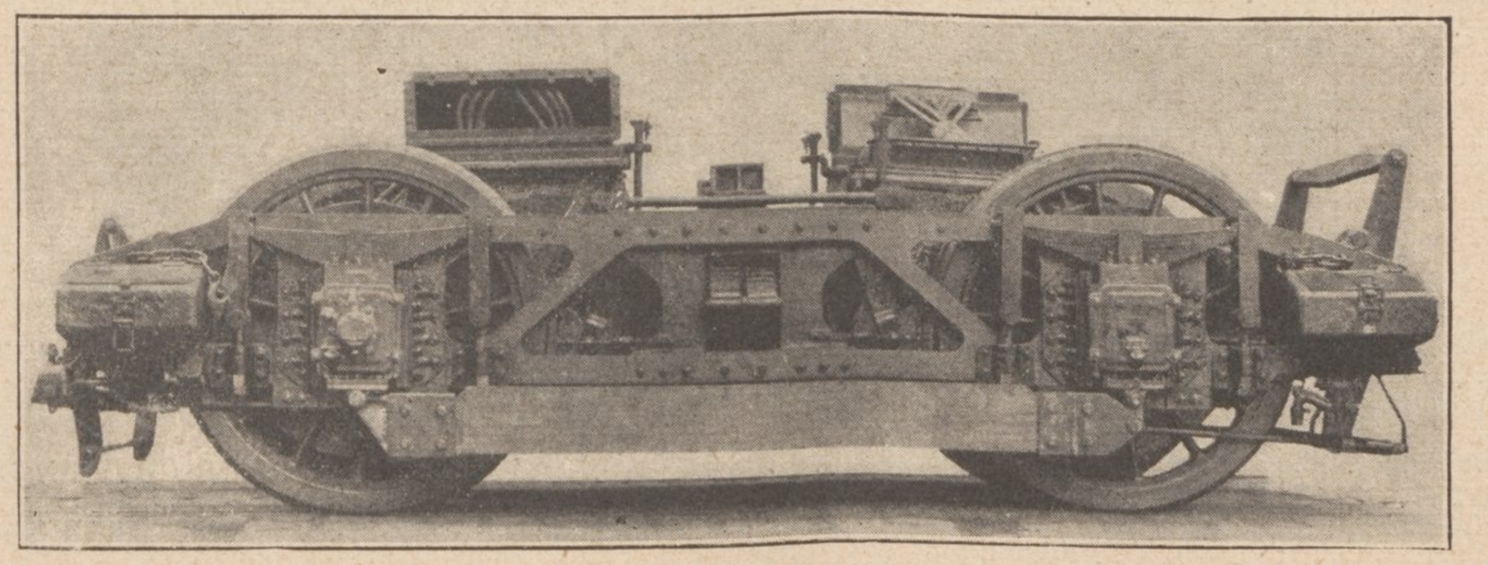
Fig. 1.



Ces bogies, qui pèsent nus 10 *t*, sont du type à balancier équilibreur ; leurs longerons sont constitués par des tôles raidies par une cornière ; ils sont a suspension simple, l'air de ventilation passant par la traverse de charge centrale pour être amené aux moteurs par des ouvertures latérales.

La flexibilité de l'ensemble de la suspension est de 2,5 m*m* par tonne.

Fig. 2.



80 locomotives construites par le Groupement Société des Batignolles, Société Oerlikon, sont munies de bogies du type représenté sur la figure 2.

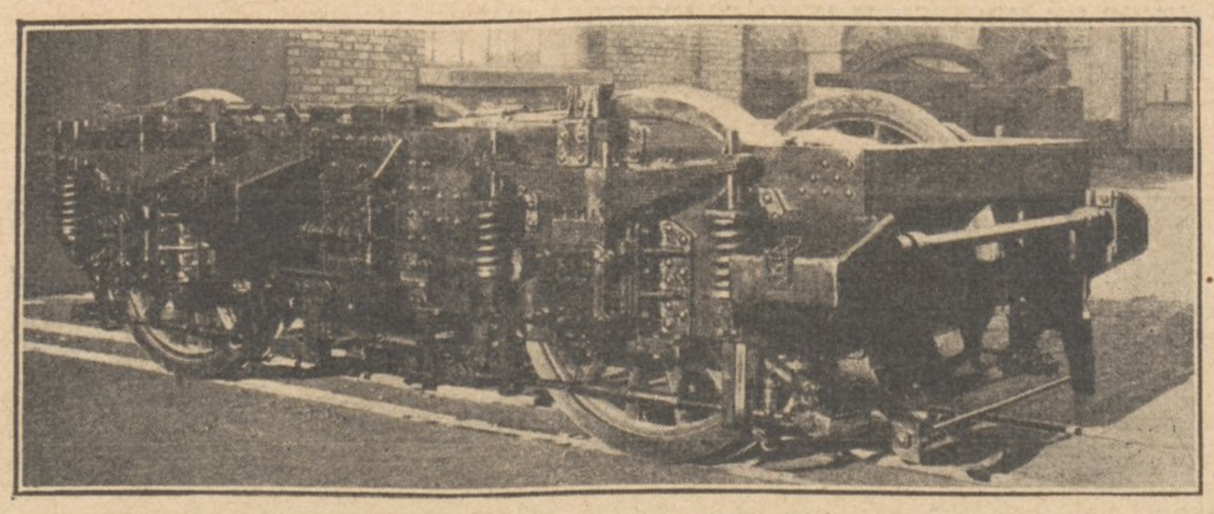
Ces bogies, qui pèsent nus 11 *t*,5 sont du type à double suspension et à traverse danseuse ; ils sont tout à fait analogues comme disposition générale aux bogies des machines E1 et E13 en service depuis 25 ans sur la ligne de Paris-Juvisy.

L'air de ventilation est amené aux moteurs par une conduite rectangulaire en tôle. La jonction avec la conduite fixe de la locomotive est faite par un soufflet en forte toile.

La flexibilité de l'ensemble de la suspension est de 2,8 m*m* par tonne.

24 machines, construites par la Société Alsacienne, sont munies de bogies du type représenté sur la figure 3.

Fig. 3.

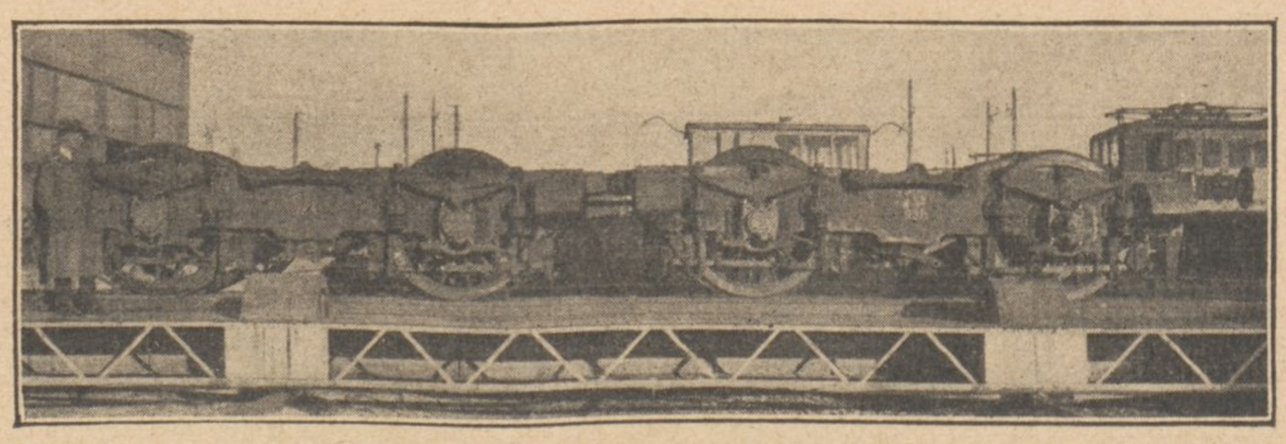


Ces bogies, qui pèsent nus 11 *t*,250, ont leurs longerons constitués par une tôle d'acier ; ils sont, au point de vue du mode de suspension, analogues à ceux des locomotives E1 à E13.

La flexibilité par tonne de la suspension est également de 2,8 m*m* pour l'ensemble de la locomotive.

16 machines, construites par la Société des Constructions Electriques de France, sont munies de bogies du type représenté sur la figure 4.

Fig. 4.



Ces bogies, qui portent les tampons de choc et l'attelage sont accouplés entre eux par un dispositif élastique ; ils sont à suspension simple, une partie du poids de la caisse (50 % environ) est portée par quatre ressorts à lames placés latéralement à raison de deux par bogie, un de chaque côté. Ces ressorts à lames sont reliés aux longerons des bogies de manière tout à fait analogue à celle employée pour la suspension des voitures à deux ou trois essieux.

L'air de ventilation est amené aux moteurs par des conduites d'air à soufflets.

La flexibilité de l'ensemble de la suspension est de 1,5 m*m* par tonne.

Caisse. — La caisse des 80 locomotives construites par la Société d'Etudes pour l'électrification des Chemins de fer français, est constituée par une ossature entièrement métallique solidaire d'un châssis formé de quatre longerons, convenablement assemblés à leurs extrémités sur les traverses de tête prévues en acier moulé. Le châssis, qui est entièrement recouvert d'une tôle de platelage de 5 m*m* d'épaisseur, a été établi comme s'il concourait seul à la rigidité de la caisse, la résistance de celle-ci étant réduite par les ouvertures ménagées dans ses faces latérales pour la visite des divers appareils. Ces ouvertures sont fermées par des panneaux ouvrants munis de persiennes permettant d'assurer, d'autre part, la ventilation des résistances.

La caisse comporte deux cabines de manœuvre placées chacune à une extrémité, reliées l'une à l'autre par un couloir central. De chaque côté de ce couloir, sont disposés les appareils à haute tension, emprisonnés derrière des panneaux grillagés amovibles, ces panneaux sont maintenus en place et verrouillés à l'aide d'un dispositif d'enclenchement dont la manœuvre est solidaire de celle des sectionneurs principaux.

Les résistances sont disposées à la partie supérieure des compartiments d'appareils et l'air extérieur qui assure leur ventilation après avoir pénétré par les panneaux des faces s'échappe par le double lanterneau constitué par de la tôle de 3 m*m* d'épaisseur et muni de persiennes.

Un double plancher, de démontage facile, est prévu dans le couloir central pour le passage des canalisations électriques.

La caisse des 40 locomotives construites par le Groupement Société Alsacienne, Constructions Electriques de France répond aux mêmes conditions d'établissement que les locomotives précédentes et présente sensiblement les mêmes dispositions, les appareils de contrôle de ces 40 machines étant les mêmes que ceux des 80 locomotives de la Société d'Etudes.

Toutefois, en raison du mode différent de ventilation des moteurs, le châssis est constitué différemment. Il est essentiellement formé de deux longerons latéraux en I réunis solidement à leurs extrémités et au droit des pivots par des traverses en acier moulé.

Les réservoirs principaux, d'une capacité totale de 1.500 litres (1), au lieu d'être fixés sous le châssis, pour des nécessités constructives, ont été installés à l'intérieur de la caisse.

La caisse des 80 locomotives fournies par le groupement Société des Batignolles Société Oerlikon est également formée d'une ossature entièrement métallique liée intimement à un châssis entièrement chaudronné. Les longerons exécutés en tôles et cornières rivées ont été disposés à une certaine distance des faces latérales vers l'intérieur du châssis, de façon à permettre l'installation des conduites de ventilation des moteurs. L'aménagement intérieur de ces machines est analogue à celui des autres locomotives type BB : il comprend deux cabines de manœuvre placées aux extrémités de la machine, un couloir central et deux compartiments latéraux où sont groupés les appareils de manœuvre, les résistances sont installées dans la partie inférieure des compartiments d'appareils qui sont spécialement disposés à cet effet. La ventilation des résistances est ainsi assurée par l'air extérieur qui pénètre dans les coffres par des ouvertures placées dans le bas et s'échappe par des panneaux ouvrants ménagés dans les faces longitudinales.

---

(1) Toutes ces locomotives ont été étudiées en prévision de l'emploi généralisé du frein Westinghouse au freinage des trains de marchandises.

Ainsi que dans les locomotives du groupement Société Alsacienne, Constructions Electriques de France, les réservoirs principaux ont été installés à l'intérieur de la caisse. Sur toute l'étendue du châssis, un double plancher a été prévu pour le passage des canalisations.

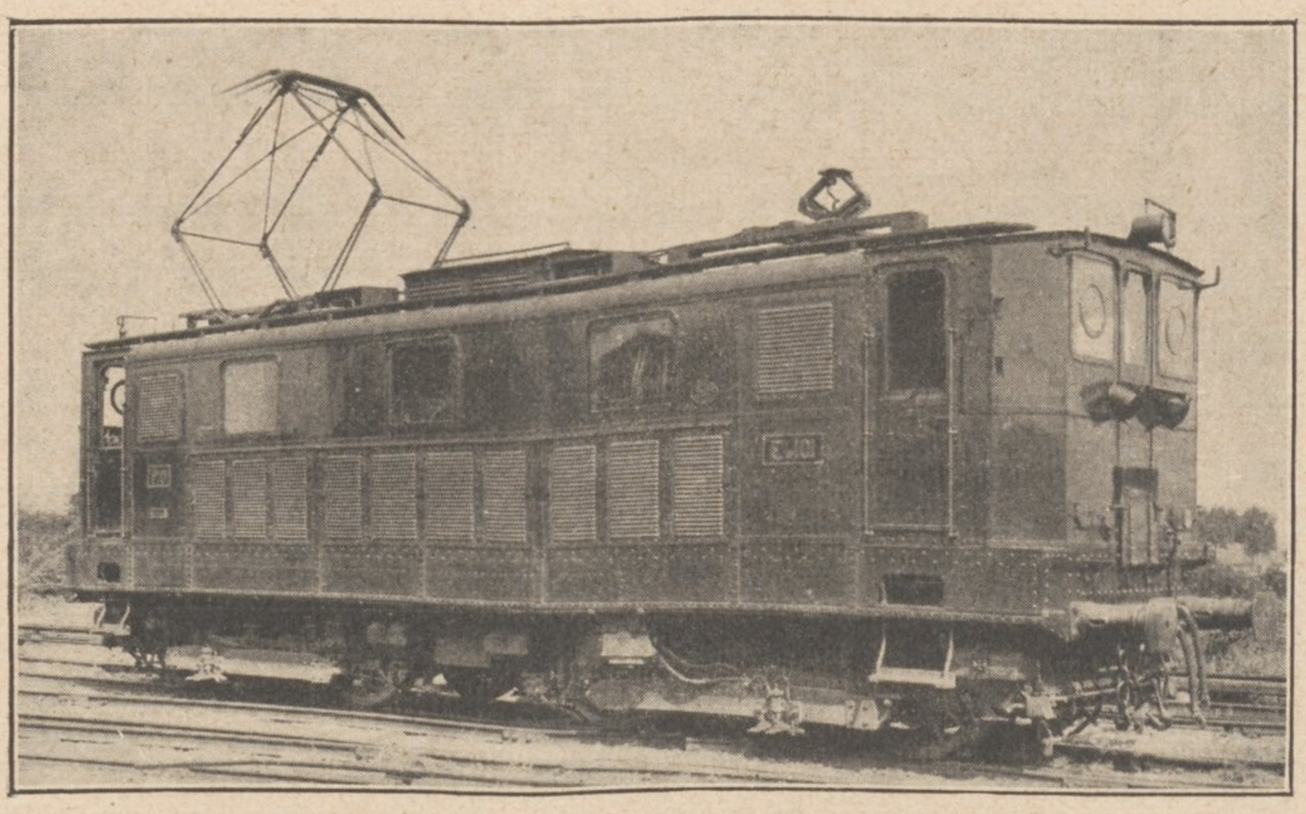
Les compartiments d'appareils des locomotives de ce groupe sont également munis d'un dispositif de verrouillage.

Toutes ces locomotives à marchandises possèdant à chaque extrémité, des passerelles d'intercirculation et leurs accessoires, permettent, en cas de marche en double traction, de passer aisément d'une machine à l'autre. Elles sont munies du frein à air Westinghouse à action rapide, avec triple valve perfectionnée, combiné avec le frein modérable et un frein à vis manœuvrable à la main de chaque cabine. La timonerie du frein à air est établie pour exercer un effort aux sabots égal aux 85/100 du poids adhérent.

Sur le pavillon sont prévues des passerelles auxquelles on accède par une échelle effaçable munie d'un dispositif de verrouillage.

La figure 5 donne une vue d'ensemble d'une des locomotives de type BB dont plus de 150 unités sont déjà en service à 1.500 *V* sur la section Paris-Vierzon.

Fig. 5.



Moteurs de traction. — Les moteurs de traction utilisés sur les locomotives à marchandises sont tous du type cuirassé, à ventilation forcée et à isolement incombustible, toutes dispositions étant prises pour que le moteur puisse fonctionner sans inconvénient à une température de 180° C, les puissances normales de fonctionnement unihoraire et continue étant définies pour un échauffement de 120° C au-dessus de la température ambiante.

Tous ces moteurs sont bobinés pour la tension de 1.500 *v* par collecteur ; ils sont tous tétrapolaires avec pôles auxiliaires de commutation.

TABLEAU I. — CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES MACHINES DE MARCHANDISES TYPE BB,

	CONSTRUCTEURS			
	Société d'Etudes pour l'Electrification des Chemins de fer français	Groupement Société des Batignolles Société Oerlikon	Société Alsacienne de Constructions Mécaniques	Société des Constructions Electriques de France
Nombre de machines de la série...	80	80	24	16
Longueur entre tampons..... *m*	12,700	12,580	13,100	12,754
Longueur entre traverses de tête. »	11,500	11,390	11,900	11,624
Longueur de la caisse..... »	11,200	11,376	11,600	11,600
Largeur de la caisse..... »	3	3,050	3	3
Empattement total..... »	8,800	8,740	8,500	8,500
Empattement rigide..... »	2,700	2,800	2,800	2,800
Distance entre pivots des bogies. »	6,100	5,940	5,700	5,700
Diamètre des roues motrices... »	1,250	1,350	1,350	1,350
Poids des moteurs et engrenages *kg*	4× 4.100 = 16.400	4× 5.020 = 20.080	4× 4.765 = 19.060	4×4.465 = 17.860
Poids du bogie nu avec timonerie de frein.....	2×10.387 = 20.774	2×10.195 = 20.390	2×11.310 = 22.630	23.205
Poids de la caisse { partie mécanique...	19.646	24.110	24.292	20.117
Poids de la caisse { partie électrique....	12.380	12.125	12.018	12.018
Poids total..... *kg*	69.200	76.700	78.000	73.200

Les carcasses des moteurs sont en une seule pièce avec flasques latéraux amovibles portant les paliers d'induit. Les noyaux des pôles principaux sont constitués par des tôles d'acier doux montées sur une clavette d'acier, des boulons convenablement freinés permettant la fixation des pièces polaires sur la carcasse ; les noyaux des pôles auxiliaires en acier doux sont fixés à la carcasse de la même manière que les pôles principaux.

Les bobines inductrices sont constituées par du ruban de cuivre enroulé à plat, les spires successives sont isolées entre elles par du papier d'amiante, ou par de la micanite, l'ensemble de la bobine étant isolé de la masse par un enrubannage en papier mica et en amiante traité à chaud.

Les bobines des pôles auxiliaires sont isolées et montées de la même manière que les bobines des pôles principaux, les épanouissements polaires serrant ces enroulements sur des cales élastiques placées du côté carcasse.

Les sections d'induit sont construites d'une manière particulière, les conducteurs étant isolés les uns des autres par plusieurs couches de papier micaté à très faible teneur de papier, l'isolement par rapport à la masse étant réalisé également au moyen de papier micaté placé et mis sur forme à chaud. Les diverses sections constituent des éléments de forme et de dimensions rigoureusement définies absolument interchangeables.

La tension de claquage entre conducteurs d'une même section est de l'ordre de 2.000 volts et entre conducteurs et masse de 18.000 à 30.000 volts, suivant les types de moteurs.

Les arbres d'induit portent chacun un seul pignon en acier forgé et traité attaquant une roue d'engrenages unique calée sur l'essieu correspondant.

Ces moteurs sont de quatre types, différant les uns des autres par les dimensions, le mode de bobinage de l'induit et la ventilation :

320 moteurs, type GE 276 (80 locomotives de la Société d'Etudes pour l'électrification des chemins de fer français) ont un diamètre d'induit de 540 m*m* ; ces induits ont un enroulement avec quatre lignes de balais, et leur ventilation est du type série, l'air soufflé par les ventilateurs passant d'abord dans les inducteurs, puis dans l'induit. Les conducteurs d'induit sont découpés et repliés d'une façon spéciale de manière à réduire les courants de Foucault dans les sections placées dans des encoches profondes. Les bobines inductrices sont faites en ruban de cuivre enroulé à plat pour les bobines principales et sur champ pour les bobines auxiliaires.

TABLEAU II. — RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX SUR LES MOTEURS DE TRACTION

		Société d'Études pour l'Électrification des Chemins de fer français	Société Oerlikon Société des Batignolles	Société des Constructions électriques de France	Société Alsacienne de Constructions mécaniques
Nombre de locomotives de la série		80	80	24	16
Nombre de moteurs		320	320	96	64
Désignation du moteur		GE 276	TM 3.301	DK 87	LC 3.500
Régime unihoraire 1350 *v* $\Delta\theta = 120°$ *ch*	Puissance en chevaux	410	430	355	410
	Effort de traction en k*g*	2.575	2.475	2.200	2.500
	Vitesse en k*mh*	43,2	47	43,8	44,2
	Intensité du courant en ampères	250	267,5	225	252
	Vitesse en tours par minute	570	650	540	600
Régime continu 1350 *v* $\Delta\theta = 120°$ *ch*	Puissance en chevaux	330	385	310	365
	Effort de traction en k*g*	1.940	2.170	1.800	2.140
	Vitesse en k*mh*	46,2	48	46,5	46
	Intensité du courant en ampères	200	240	195	225
	Vitesse en tours par minute	610	665	580	625
Orifices et ventilation dans l'induit	Nombre	52	6	80	100
	Forme de l'orifice	Ronde	Rectangulaire	Ronde	Ronde
	Dimensions de l'orifice	$d = 23$ m*m*	100 × 25	$d = 19$ m*m*	$d = 20$ m*m*
	Section totale	216 c*m*²	150 c*m*² ★	227 c*m*²	315 c*m*²
Section de passage dans l'entrefer		100	125	115	192
Section de passage entre bobines		315	525	192	192
Débit d'air dans le moteur en *m*³ par minute		34	70	55	80
Pression à l'entrée du moteur en m*m* d'eau		125	45	128	120
Poids d'un moteur	Sans engrenages	2.720 k*g*	4.200 k*g*	4.000 k*g*	4.290 k*g*
	Avec engrenages	4.200 k*g*	4.740 k*g*	4.500 k*g*	4.800 k*g*
	Induit sans pignon	1.000	1.280	1.120	1.290
Poids par cheval de puissance	Unihoraire	10 k*g*,2	11 k*g*	12 k*g*,65	11 k*g*,70
	Continue	12 k*g*,7	12 k*g*,3	14 k*g*,50	13 k*g*,10

★ Les conditions de ventilation du moteur TM 3.301 ont été améliorés à partir du 41e moteur en augmentant la section de passage de l'air dans l'induit à 213 c*m*² et en ramenant la section de passage de l'air entre bobines à 275 c*m*².

Tableau III. — Caractéristiques Générales de Construction des Moteurs de Traction.

TYPE DU MOTEUR	GE 276	TM 3301 à deux trains d'engrenages	TM 3301 à un train d'engrenages	DK 87	LC 3500	GE 277 Automotrices	Gearless	BBC non compensé	BBC compensé	Ganz non compensé	Ganz compensé
Induit :											
Diamètre	540	660	660	610	680	455	705	850	850	1.410	1.360
Diamètre intérieur	175	315	315	185	224	159	215	480	480	1.030	990
Nombre d'encoches	43	87	115	67	73	35	39	81	81	130	134
Dimensions des encoches	56×15,59	61×11,2	56×8	57×13	54×13	43,4×17	64,5×24,27	35×13,5	35×13,5	45×16,2	45×15,2
Nombre de conducteurs par encoche	14	8	6	10	10	12	2×5	2×7	2×7	2×5	2×5
Longueur utile du fer	385	280	280	330	265	357	395	430	430	390	390
Longueur totale du fer											
Section du conducteur	21,6×1,22	20×1,2	20×1,2	20,3×1,45	21×1,5	15,3×1,75	86,5	12,1	12,1	27	24
Diamètre d'arbre induit	134	155	170	128	140						
Enroulement	Série	Série	Série	Série	Série	Série	Série	Série	Série	Série parallèle	Série parallèle
Collecteur :											
Diamètre	460	580	580	543	590	400	609	760	760	1.200	1.200
Nombre de lames	301	347	345	335	365	209	195	567	567	650	670
Largeur d'une lame	4,1	4,01	4,28	4,32	4	5,3	9	4,2	4,2	4,8	4,63
Lougueur totale du collecteur	133	207	207	158	146	188	360	156	156	165	165
Longueur utile du collecteur	97	168	168	128	104	156	319	124	124	130	130
Nombre de lignes de balais	4	2	2	4	4	4	2	6	6	8	8
Nombre de balais par ligne	2	3	3	2	2	3	5	3	3	3	3
Dimensions des balais	45×16	50×15	50×15	57×16	47×20	48×17,5	56×25	30×20	30×30	35×20	35×20
Epaisseur de mica entre lames	0,7	1,2	1	0,8	0,8	0,75					
Qualité	EG 60-3	EG 3 (Batt)	EG 3 (Batt)	EG 60-3	EG 60-3	EGA	E	BB5 Carbone	BB5 Carbone	QS	QS
Pôles principaux :											
Nombre de pôles	4	4	4	4	4	4	2	6	6	8	8
Arc polaire	294	338	338	328	350	241	380	264	264	388	375
Nombre de tours par pôle	62	61	61	73	68	40	142	23 (10+9+4)	23 (14×6×3)	20	19
Section du conducteur	35×2,5	37×1,9	40×2	35,5×2,97	2[1,6×31]	(21 spires 3,15×29,5 / 18,5 » 2,15×38)	60×4,2	9×20	9×20	62,5×3,5	65×3,6
Entrefer	6	6	6	4,75/6,35	9	6	12 à 53	7,5	7,5	4	4
Section des pôles	750	580	580	755	572	665	1.600	1.155	1.155		
Epanouissements polaires	1.130	945	945	1.080	925	860	1.600	1.155	1.155	1.650	1.650
Pôles auxiliaires :											
Nombre de pôles	4	4	4	4	4	4	—	6	6	8	8
Arc polaire	56/66	64/40	64/40	40	50	42	↑	50	50 | Comp.	43	43 | Comp.
Nombre de tours par pôles	49	56	56	49,5	60	31,5	|	21	16 | 10	25	13 | 13 × 2
Section du conducteur	28×3,15	37×1,8	40×2	33,6×3,3	74×1,3	25,6×4,1	Néant	6×30	9×20 | 30×2,5	62,5×3,5	29×7.8 | 11.5×9
Entrefer	9	9	9	6,35	7	6	↓	16	16	4	4
Section des épanouissements	216	104	104	132	106	164		200	200		
Section des pôles	146	114	114	117	106	114		160	160	189	189
Résistance à 25° :											
Induit	0,081	0,127	0,097	0,098	0,083	0,060	0,0236	0,0535	0,0535	0,063	0,071
Inducteur	0,075	9,063	0,063	0,094	0,068	0,041	0,046	0,0263	0,0263	0,020	0,0183
Pôles auxiliaires	0,038	0,038	0,0385	0,032	0,031	0,020	Néant	0,0151	0,0115	8,0164	0,00535
Enroulements compensateurs									0,0132		0,0406
Poids :											
Induit sans pignons	1.000	1.280	1.280	1.120	1.290	800	avec essieu 2.700	2.400	2.400	6.920	7.200
Roue d'engrenage	480	800	540	325	510	270					
Pignon				34							
Carter				90							
Moteur sans engrenages	3.720	4.030	4.200	4.000	4.290	2.810	avec essieu	7.540	7.540	Avec maniv. et contre poids	
Moteur complet avec engrenages	4.200	4.830	4.740	4.449	4.800	3.120	5.320	8.365	8.365	13.000	13.150
Poids de cuivre :											
Collecteur (lames)	75	125	125	100	100	74	632 brut	103	103	223	223
Induit	122	134	139	180	197	87	363	135	135	356	320
Enroulement principal	450	377	377	405	530	170	1.416	600	620	477	383
Enroulement auxiliaire				160		103				379	117
Enroulement de compensation	—	—	—	—	—	—	—	—		—	235

Bien que les dimensions de ces moteurs soient beaucoup plus réduites que celles des autres et que les locomotives de la série correspondante soient munies de roues de 1 *m*, 250 seulement, la puissance de ces machines est sensiblement égale à celle des autres.

Le poids de ces moteurs, correspondant à un échauffement de 120° C ressort à : 10 k*g*, 200 par cheval de puissance unihoraire, et à 12 k*g*, 700 par cheval de puissance continue.

320 moteurs, type TM 3301 (80 locomotives du Groupement Société des Batignolles, Société Oerlikon) ont un diamètre d'induit de 660 m*m* ; ces induits sont bobinés en série avec deux lignes de balais et leur ventilation est du type parallèle, l'air soufflé par les ventilateurs passant d'abord sur le collecteur pour se répartir entre armature et inducteurs.

La largeur du noyau est assez faible et les encoches nombreuses, ce qui permet de réduire au minimum les pertes dans le fer. Les bobines des pôles inducteurs sont faites de ruban de cuivre enroulé à plat.

Les essieux sont munis de roues ayant un diamètre au roulement de 1 *m*, 350.

Le poids de ces moteurs ressort à 11 k*g* par cheval pour la puissance unihoraire, 12 k*g*, 3 par cheval pour la puissance continue.

96 moteurs, type DK 87 (8 locomotives de la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques, et 16 locomotives des Constructions Electriques de France) ont un diamètre d'induit de 610 m*m*. Les induits ont un bobinage en parallèle, avec quatre lignes de balais et la ventilation est du type parallèle, analogue à celle du moteur Oerlikon.

Le noyau est assez large, les encoches assez nombreuses ; aucun dispositif spécial n'est employé pour réduire les pertes dans le fer et les courants de Foucault. Les bobines des pôles inducteurs sont faites en ruban de cuivre enroulé sur champ.

Les essieux sont munis de roues ayant un diamètre au roulement de 1 *m*, 350.

Le poids de ces moteurs ressort à 12 k*g*, 650 par cheval de puissance unihoraire, 14 k*g*, 500 par cheval de puissance continue.

64 moteurs, type LC 3500 (16 locomotives de la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques) ont un diamètre d'induit de 680 m*m*. L'armature est munie d'un enroulement série avec quatre lignes de balais et la ventilation est du type parallèle, analogue à celle des moteurs Oerlikon. Le noyau est étroit, les encoches nombreuses, l'entrefer grand. Les bobines des pôles auxiliaires sont faites de ruban de cuivre enroulé à plat.

Le diamètre des roues motrices est de 1 *m*, 350.

Le poids du moteur, ressort à 11 k*g*, 70 par cheval de puissance unihoraire, 13 k*g*, 10 par cheval de puissance continue.

Les dimensions d'encombrement des moteurs sont données dans les figures 6, 7, 8, 9 et 10 et les principaux résultats d'essais sont rassemblés dans le tableau II ci-avant.

Le tableau II résume les principales données de construction des moteurs de traction de divers types y compris les moteurs de locomotives à grande vitesse et d'automotrices.

Essais des moteurs. — La fabrication des moteurs de traction construit en grande série a été et est suivi d'une façon méthodique, en vue, d'autre part, de vérifier que les matériaux employés ont bien les propriétés mécaniques, électriques et magnétiques qu'ils doivent avoir et, d'autre part, de s'assurer que la construction est bien effectuée suivant les règles de l'art

et que les conditions d'interchangeabilité absolue entre les divers éléments des moteurs sont bien remplies.

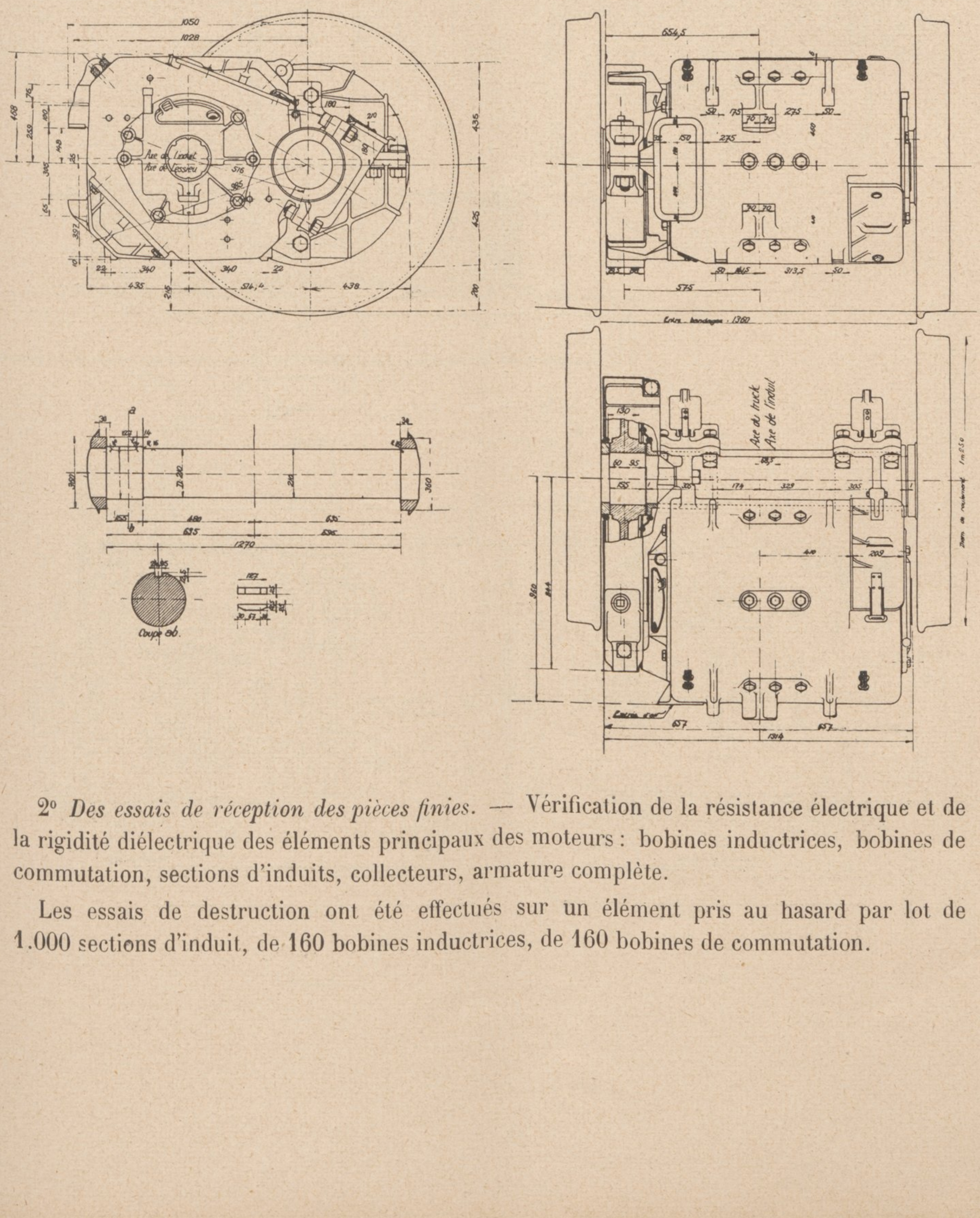
Le contrôle de la fabrication a comporté, en dehors de la surveillance proprement dite, l'exécution de trois séries distinctes d'essais de réception :

1° *Des essais de réception des matières premières.* — Détermination de la conductibilité du cuivre ;

Mesure de la perméabilité et des pertes (hystérésis et courant de Foucault) des tôles, noyaux et carcasses d'acier ;

Vérification de la rigidité diélectrique et de l'incombustibilité des isolants : amiante, papier, mica, etc...

Fig. 6. — Moteur de traction a courant continu, type G E 276 de la compagnie française Thomson-Houston.



2° *Des essais de réception des pièces finies.* — Vérification de la résistance électrique et de la rigidité diélectrique des éléments principaux des moteurs : bobines inductrices, bobines de commutation, sections d'induits, collecteurs, armature complète.

Les essais de destruction ont été effectués sur un élément pris au hasard par lot de 1.000 sections d'induit, de 160 bobines inductrices, de 160 bobines de commutation.

Fig. 7. — MOTEUR DE TRACTION A COURANT CONTINU, TYPE T M 3301 DE LA SOCIÉTÉ OERLIKON.

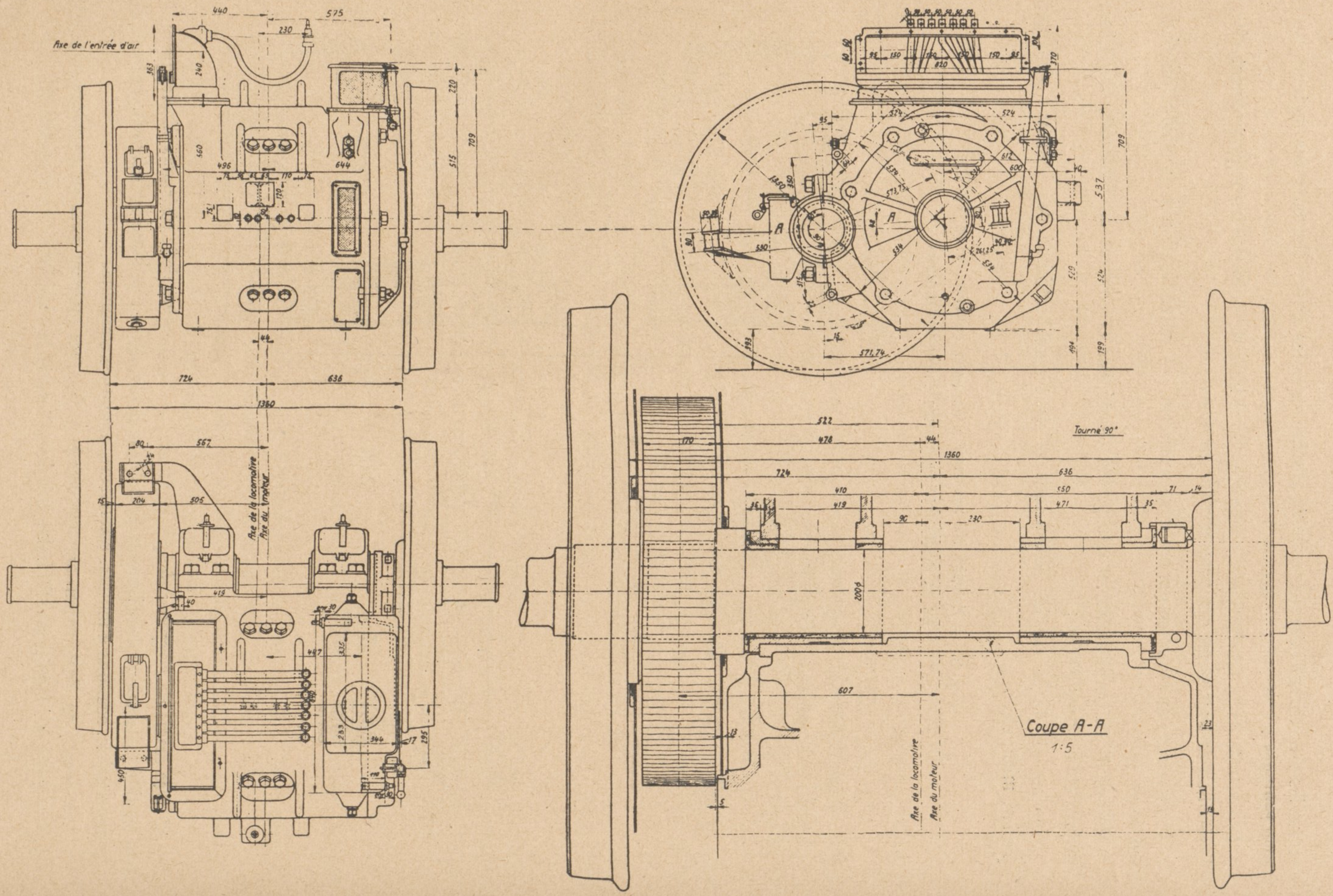
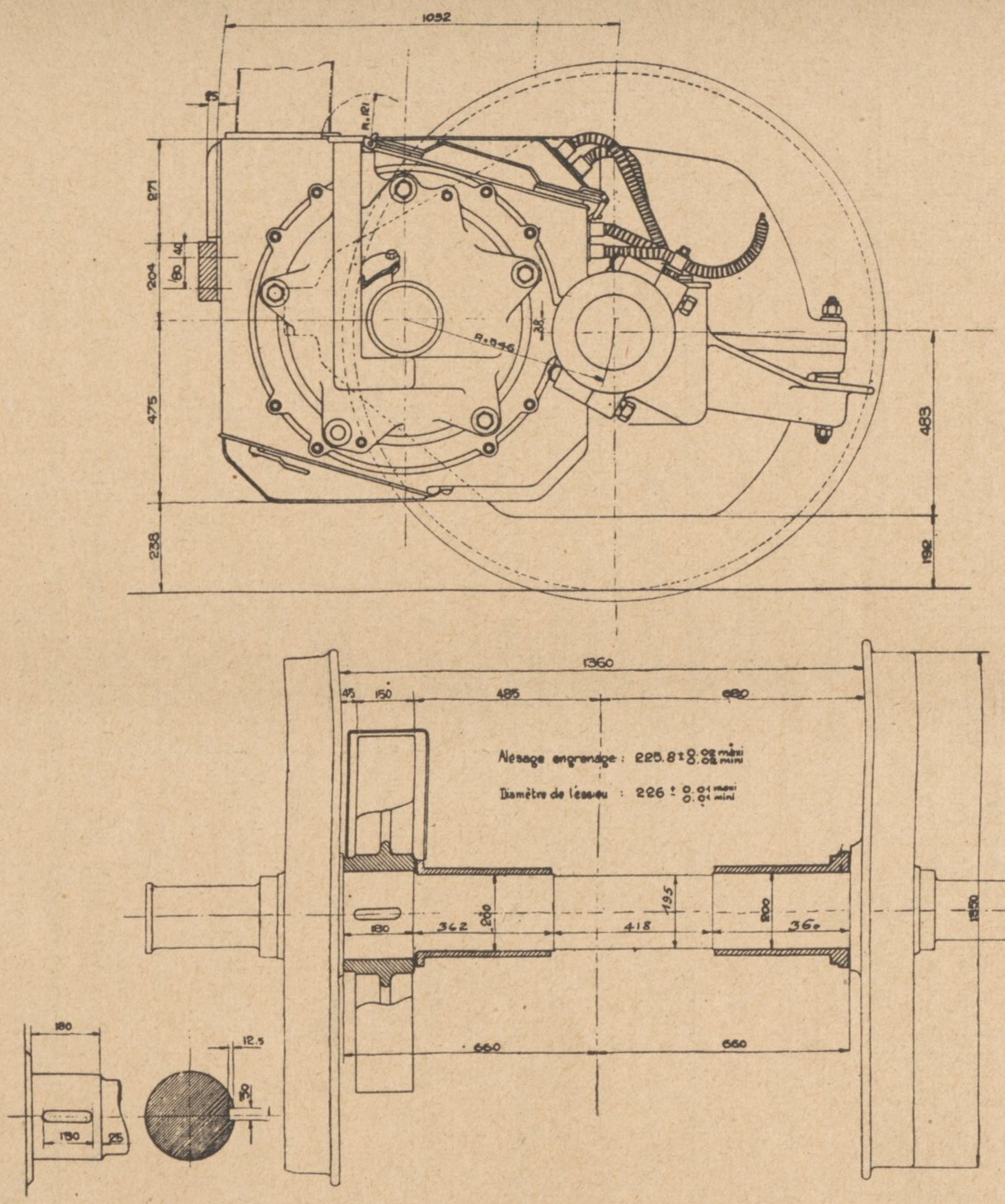
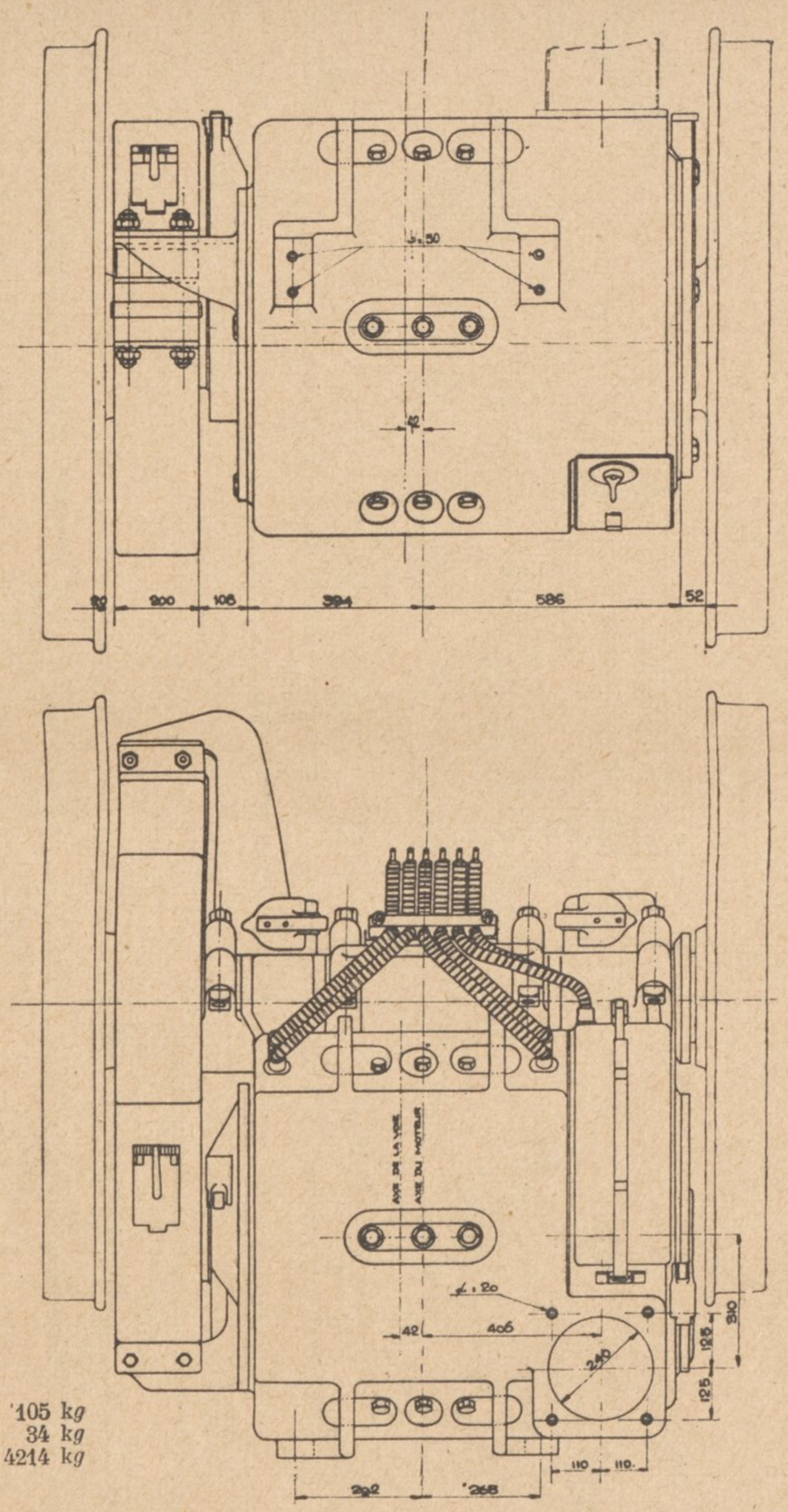


Fig. 8. — MOTEUR DE TRACTION A COURANT CONTINU, TYPE D K 87 DE LA SOCIÉTÉ DES CONSTRUCTIONS ELECTRIQUES DE FRANCE.





Poids approximatif

Moteur sans engrenage, carter, ni pignon.....	3750 kg	Carter d'engrenage.....	105 kg
Induit sans pignon.....	1120 kg	Pignon (22 dents).....	34 kg
Roue d'engrenage (69 dents).....	325 kg	Moteur complet.....	4214 kg

Fig. 9. — Moteur de traction a courant continu, type L C 3500 de la Société Alsacienne.

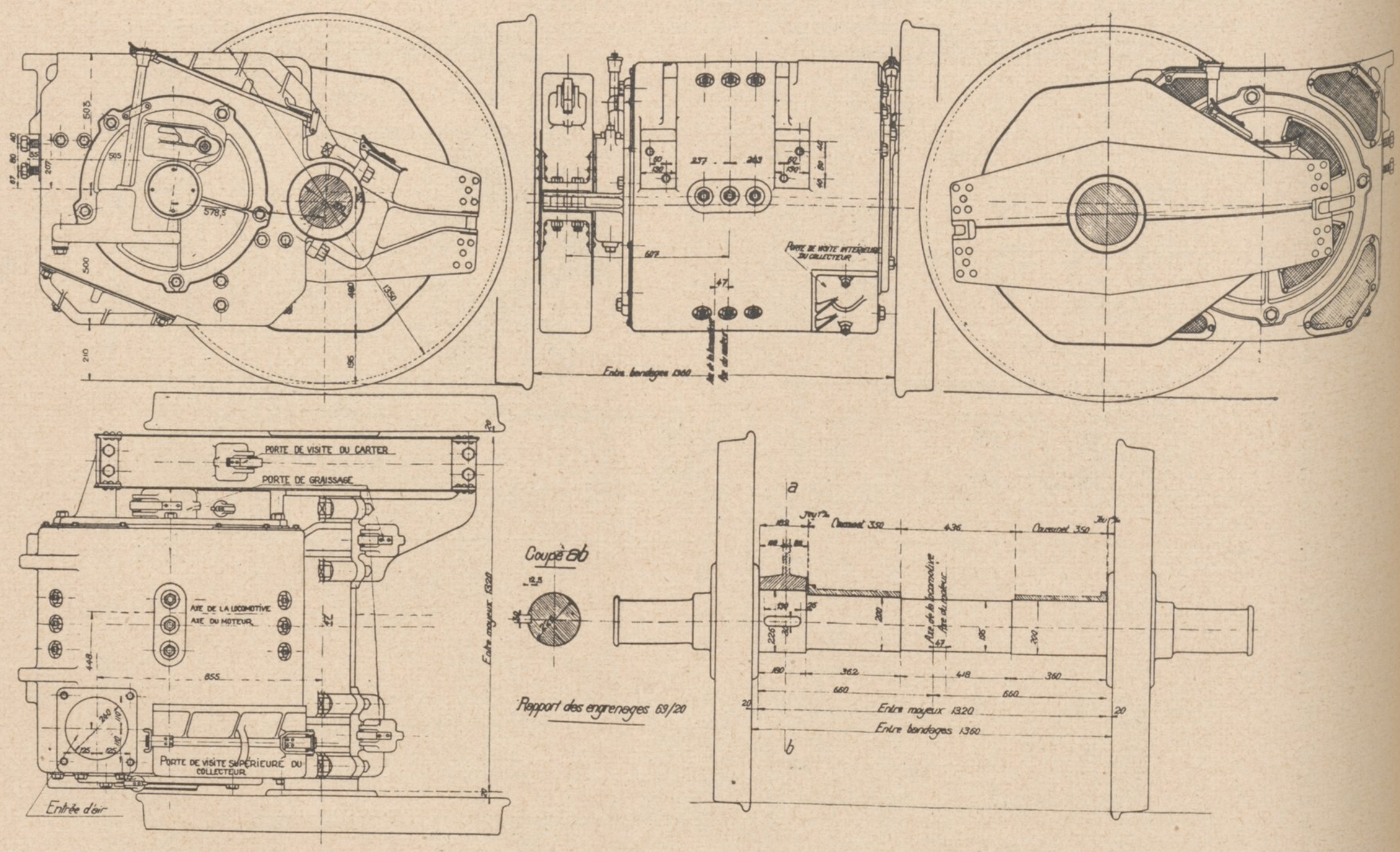
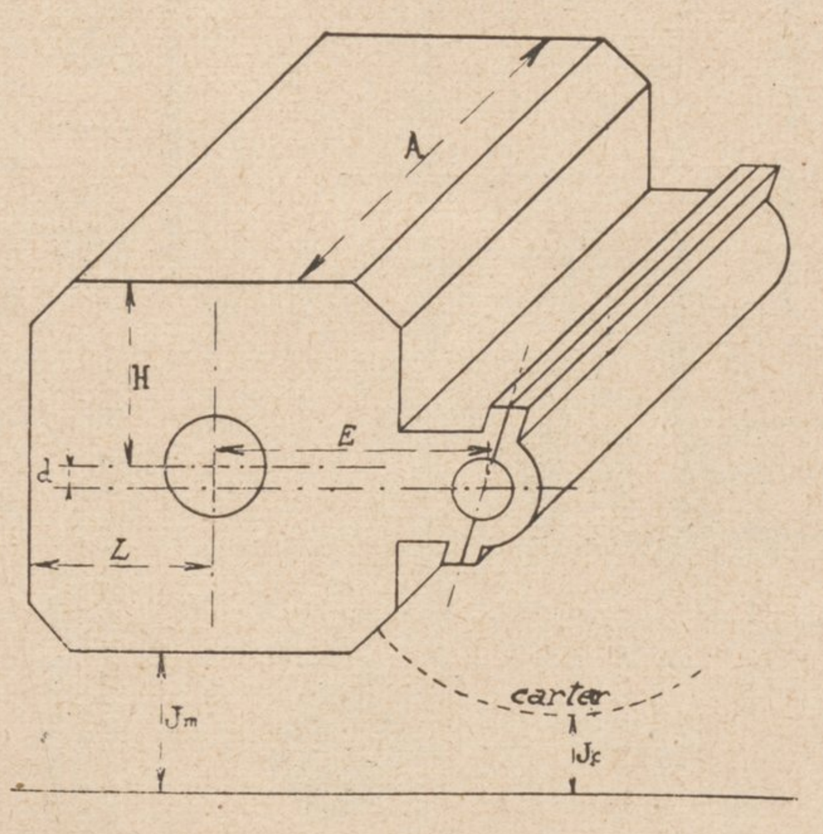


Fig. 10.



TYPE DES MOTEURS		G E 276	T M 3301	D K 87	L C 3500
Diamètre des roues motrices		1.250	1.350	1.350	1.350
Longueur du moteur	A	1.000	910	965	940
Entre axes	E	516	573.7	546	578.5
Demi-hauteur	H	443	560	475	503
Largeur	L	435	524	488	505
Elévation	*d*	25	48	38	35
Jeux	Jm	215	199	238	210
	Jc	215	199	192	195
Rapport d'engrenages	Normal	$\frac{65}{21} = 3.10$	$\frac{73}{21} = 3.47$	$\frac{69}{22} = 3.14$	$\frac{69}{20} = 3.45$
	Maximum	$\frac{68}{18} = 3.77$	$\frac{73}{21} = 3.47$	$\frac{74}{17} = 4.35$	
Largeur des dents d'engrenages		130	170	150	160
Module		12	12.207	12	13
Dimensions des coussinets	Côté pignon	330 × 133	350 × 165	299 × 135	350 × 140
	Côté moteur	195 × 118	217 × 120	213 × 114	225 × 120

Ces essais de claquage ont été effectués en courant alternatif 50 périodes en montant progressivement la tension par échelons de 1.000 volts toutes les 10 secondes en partant de 3.000 volts.

La tension de claquage à la masse dépasse notablement 15.000 volts pour les sections d'induit, 20.000 volts pour les bobines de champ de divers types.

La tension de claquage entre conducteurs d'une même section dépasse 1.000 volts.

3° *Des essais de réception de moteurs complets.* — Ces essais sont de deux sortes ; ils comportent, pour chaque type de moteur :

a) Des essais d'investigation et d'endurance sur des moteurs types.

b) Des essais de contrôle de la fabrication sur les moteurs de série.

a) Essais des moteurs types. — Les essais de moteurs types ont été effectués sur au moins *deux* moteurs par atelier de fabrication (1), les deux moteurs étant montés sur un banc d'essai spécial permettant de faire fonctionner chacun d'eux en moteur ou en génératrice, tantôt suivant le montage Hopkinson, tantôt suivant le montage Hutchinson. Ces essais comportent notamment :

a_1 — Le relevé des caractéristiques de marche aux tensions de 675, 1.350 et 1.800 volts, les dynamos fonctionnant en moteur et en génératrice à champ maximum, champ moyen, champ minimum.

Ces caractéristiques sont relevées à chaud dans des limites d'intensité aussi grandes possibles sans dépasser toutefois la valeur correspondant au patinage (coefficient d'adhérence 30 % pour le rapport d'engrenage minimum), 450 à 600 ampères suivant les moteurs.

a_2 — Le relevé des caractéristiques d'échauffement et de refroidissement avec et sans ventilation à différents régimes pour des tensions de 675, 1.350 et 1.800 volts.

a_3 — Un essai d'échauffement à outrance effectué en maintenant dans le moteur une intensité de l'ordre de celle correspondant à la puissance unihoraire, pendant un temps suffisant pour que la température, mesurée par variation de résistance, atteigne au moins 180° C, le moteur marchant à ventilation forcée.

a_4 — Un essai de déformation du collecteur effectué en faisant passer, pendant 5 minutes, dans l'induit *arrêté* un courant double de l'intensité correspondant au régime continu.

a_5 — Un essai de commutation limite effectué en augmentant progressivement la tension aux bornes des moteurs, l'intensité étant maintenue sensiblement égale à celle correspondant au régime de marche continue : pour tous les moteurs essayés jusqu'à présent, la tension a pu être poussée jusqu'à 2.800 volts, sans production d'arc à la masse ou de flash (collecteurs propres). Pour certains moteurs, on a pu, à la tension de 3.000 volts au collecteur, obtenir 1.000 *ch* sur l'arbre sans production d'étincelles dangereuses.

a_6 — Un essai d'emballement correspondant à la vitesse d'environ 120 k*mh* pour la locomotive.

a_7 — Des essais de variation brusque de la tension d'alimentation 1.200-1.500 et 1.500-1.800 volts.

---

(1) Pour certains types de moteurs construits dans trois ateliers différents, les essais de moteurs types sont répétés trois fois afin de vérifier soit l'identité, soit l'équivalence des méthodes employées dans la fabrication.

a_8 — Des essais de variation brusque du couple moteur, 0 à 400 a.

a_9 — Un essai de surtension au moyen d'un dispositif à haute fréquence.

a_{10} — Un essai d'absorption de courant à haute fréquence de 3.000 à 12.000 périodes par seconde.

a_{11} — Un relevé oscillographique de la tension et du courant débité par les moteurs marchant en génératrice.

a_{12} — Un essai de marche en court-circuit, les moteurs fonctionnant en génératrice à excitation séparée à différentes vitesses.

a_{13} — Un essai de rigidité diélectrique à chaud effectué à la tension de 7.000 volts (courant alternatif, 50 périodes).

a_{14} — La mesure des pertes et rendements à différents régimes et les essais de séparation des pertes.

b) Essais des moteurs de série. — Essais effectués sur tous les moteurs :

b_1 — Essai de fonctionnement à l'intensité correspondant au patinage qui est effectué deux fois dans chaque sens à 30 secondes d'intervalle.

Pendant cet essai, on effectue le relevé de la caractéristique dans les deux sens de marche.

b_2 — Essai d'échauffement à la tension de 1.350 volts au régime unihoraire (échauffement de 120° C mesuré par résistance) avec ventilation forcée.

b_3 — Essai d'emballement jusqu'à une vitesse de rotation correspondant à une vitesse de marche de la locomotive de 115 k*mh*.

L'écart entre les caractéristiques d'un moteur quelconque et les caractéristiques normales ne doit pas dépasser 3,5 % de la vitesse normale pour une valeur quelconque de l'effort de traction correspondant à une valeur de l'intensité comprise entre 75 et 500 ampères.

Les caractéristiques normales sont celles obtenues en faisant la moyenne des caractéristiques (vitesse et couple en fonction de l'intensité) relevées pour les dix premiers moteurs de traction de chaque type.

La figure 11 donne, pour chaque type de moteur, les caractéristiques normales de fonctionnement, effort de traction en fonction de la vitesse.

Les figures suivantes donnent, pour un type de moteur déterminé (moteur G E 276 des locomotives série 1-80) :

Figure 12. — Les courbes moyennes de pertes dans le fer en fonction de la vitesse pour différentes valeurs de la tension et de l'intensité.

Figure 13. — Les courbes moyennes de pertes dans le fer en fonction de l'intensité pour différentes valeurs de la tension et de la vitesse.

Figure 14. — Les courbes de capacité continue pour un échauffement de 120° C mesuré par résistances pour des débits d'air différents.

Figure 15. — Les courbes d'impédance des différents éléments du moteur : pôles principaux, pôles auxiliaires, induits, mesurées aux fréquences de 40 et 60 périodes.

Circuits auxiliaires. — Equipement de « train control ». — Toutes les machines sont munies d'équipements de « train control » à commande électropneumatique.

Fig. 11.

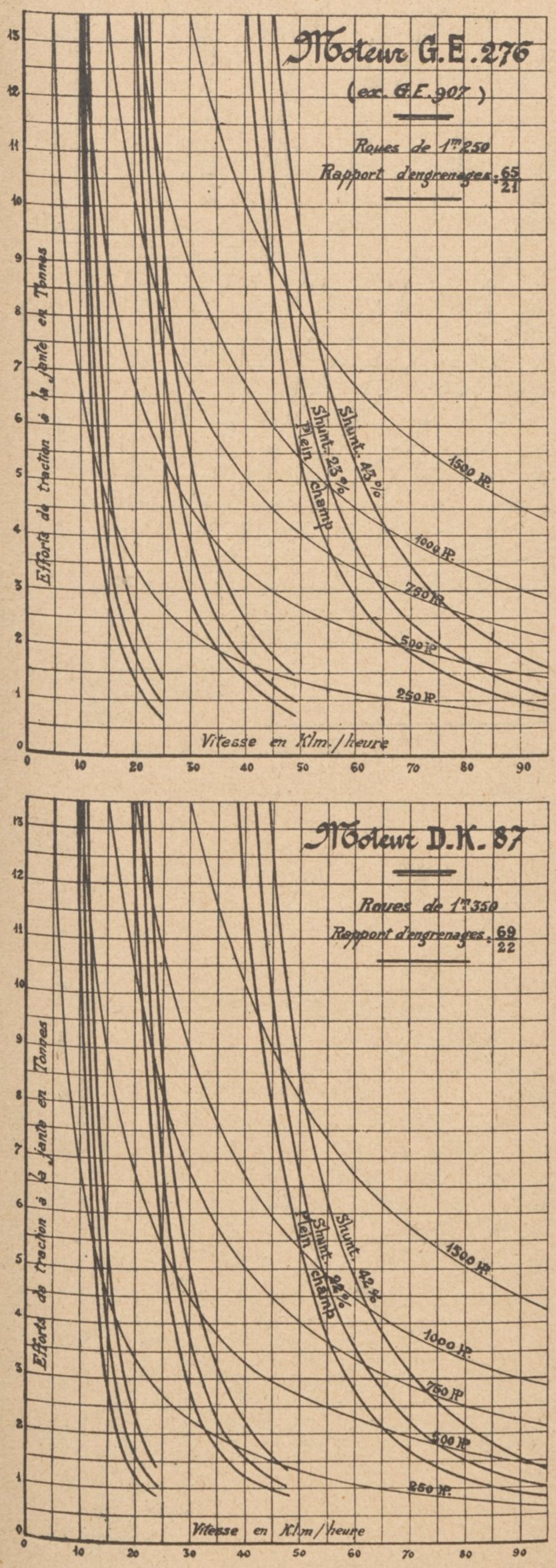

Moteur G.E.276
(ex. G.E.907)
Roues de 1m250
Rapport d'engrenages : 65/21
Moteur T.M.3301
Roues de 1m350
Rapport d'engrenages : 3.47
Moteur D.K.87
Roues de 1m350
Rapport d'engrenages : 69/22
Moteur L.C.3500
Roues de 1m350
Rapport d'engrenages : 69/20
Efforts de traction à la jante en Tonnes
Vitesse en Klm./heure
Plein champ
Shunt. 23 %
Shunt. 43 %
Shunt. 50 %
Shunt. 22 %
Shunt. 42 %
Shunt. 25 %
Shunt. 40 %
1500 W.
1000 W.
750 W.
500 W.
250 W.

Fig. 12.— MOTEUR G E 276. COURBES MOYENNES DE PERTES DANS LE FER EN FONCTION DE LA VITESSE POUR DIFFÉRENTES INTENSITÉS ET DIFFÉRENTES TENSIONS

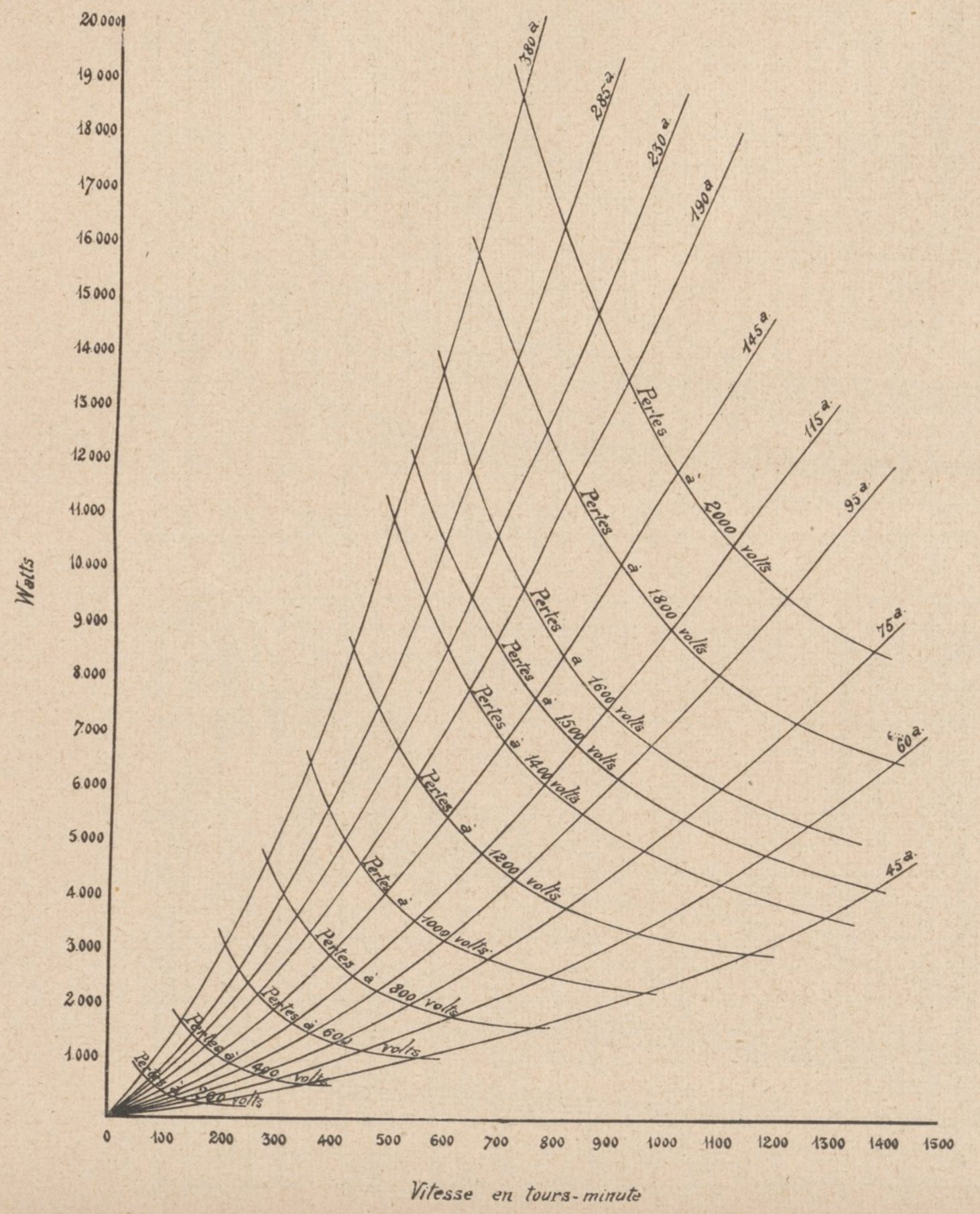


Fig. 13. — MOTEUR G E 276. COURBES MOYENNES DE PERTES DANS LE FER EN FONCTION DE L'INTENSITÉ POUR DIFFÉRENTES VITESSES ET DIFFÉRENTES TENSIONS.

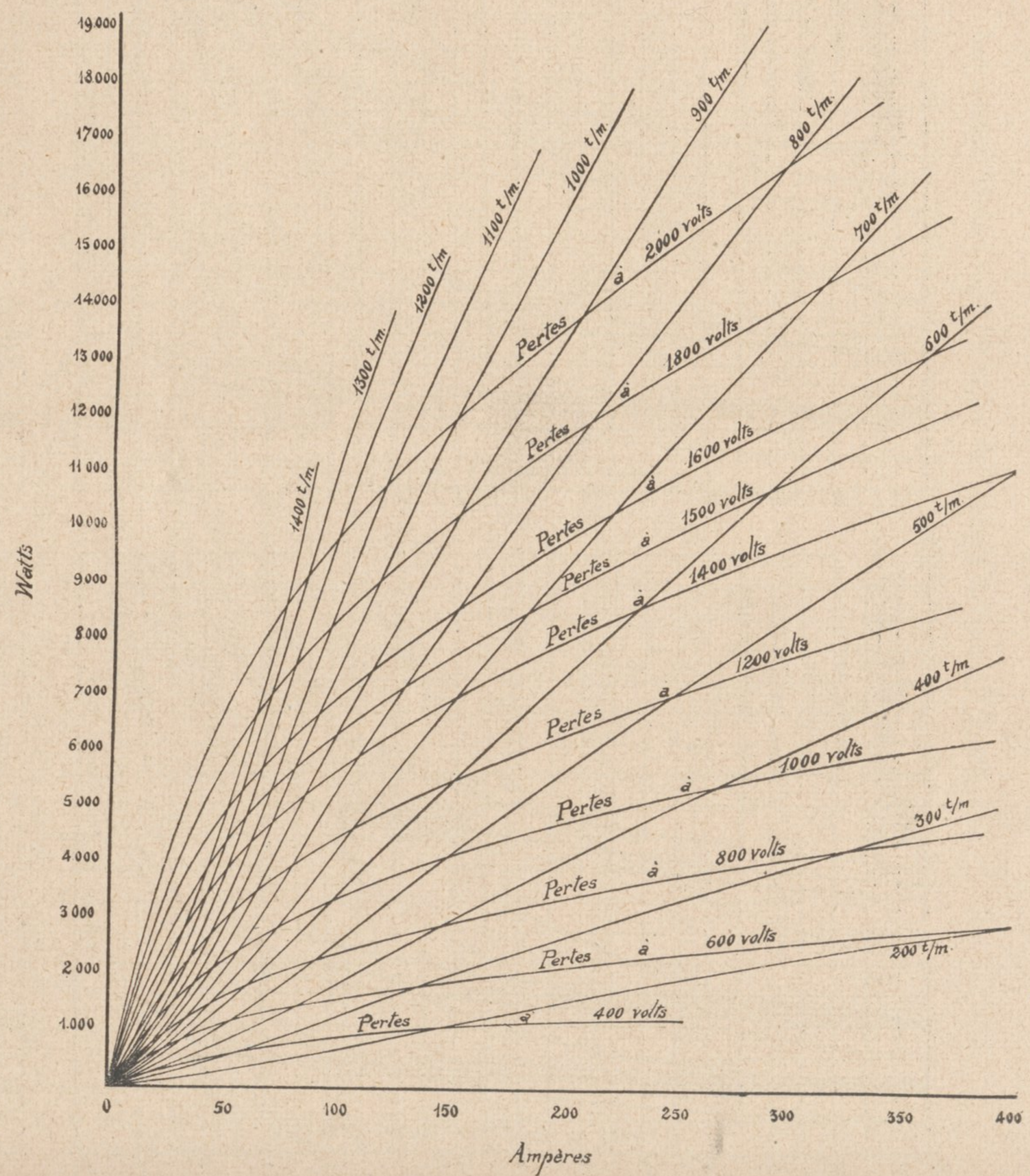
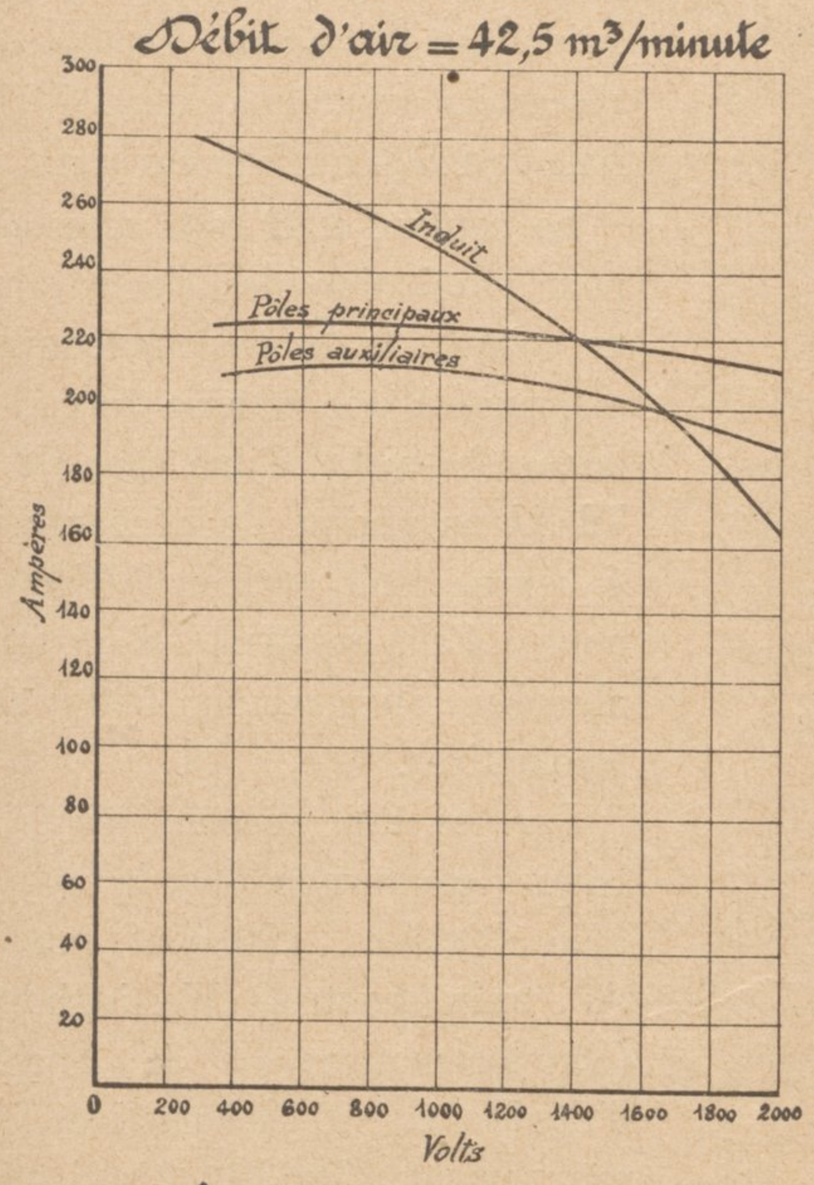
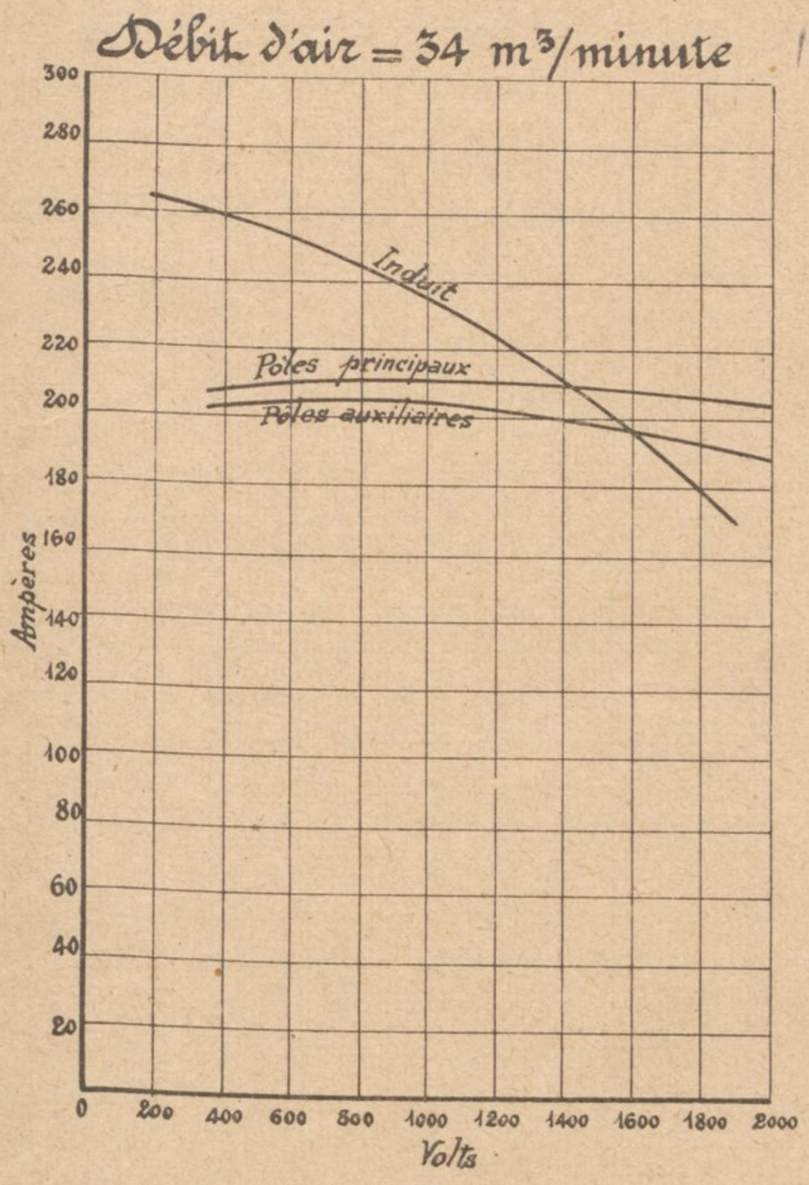
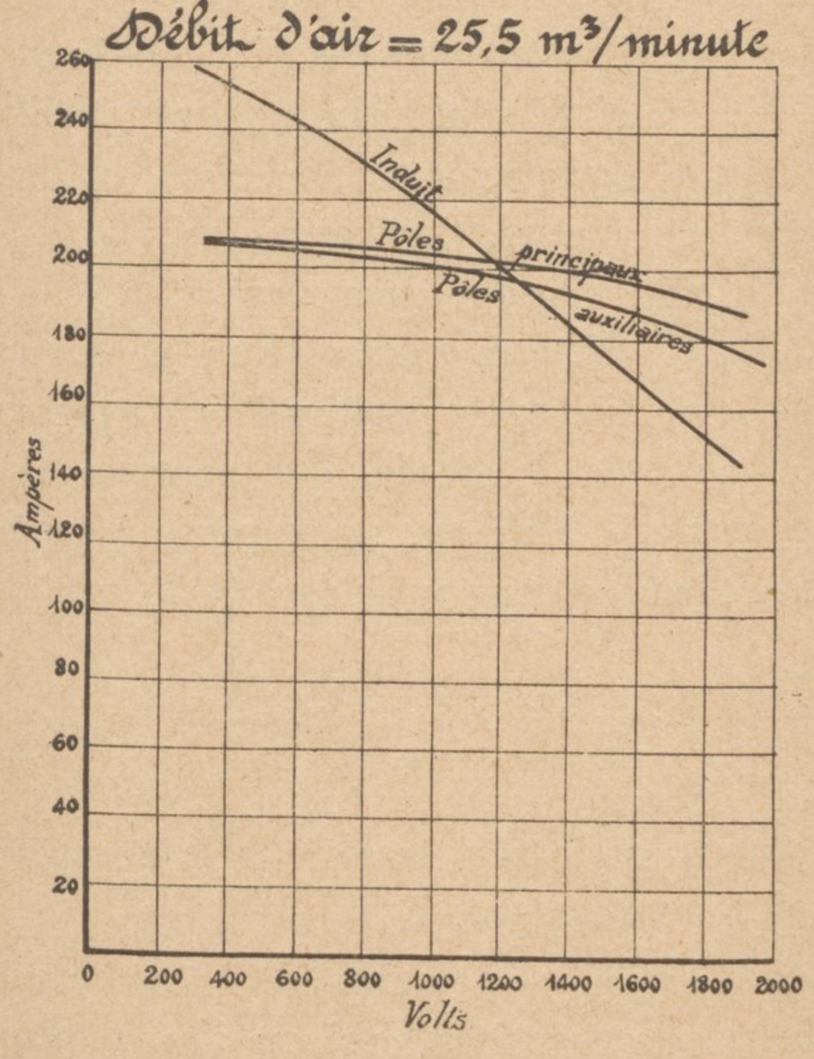
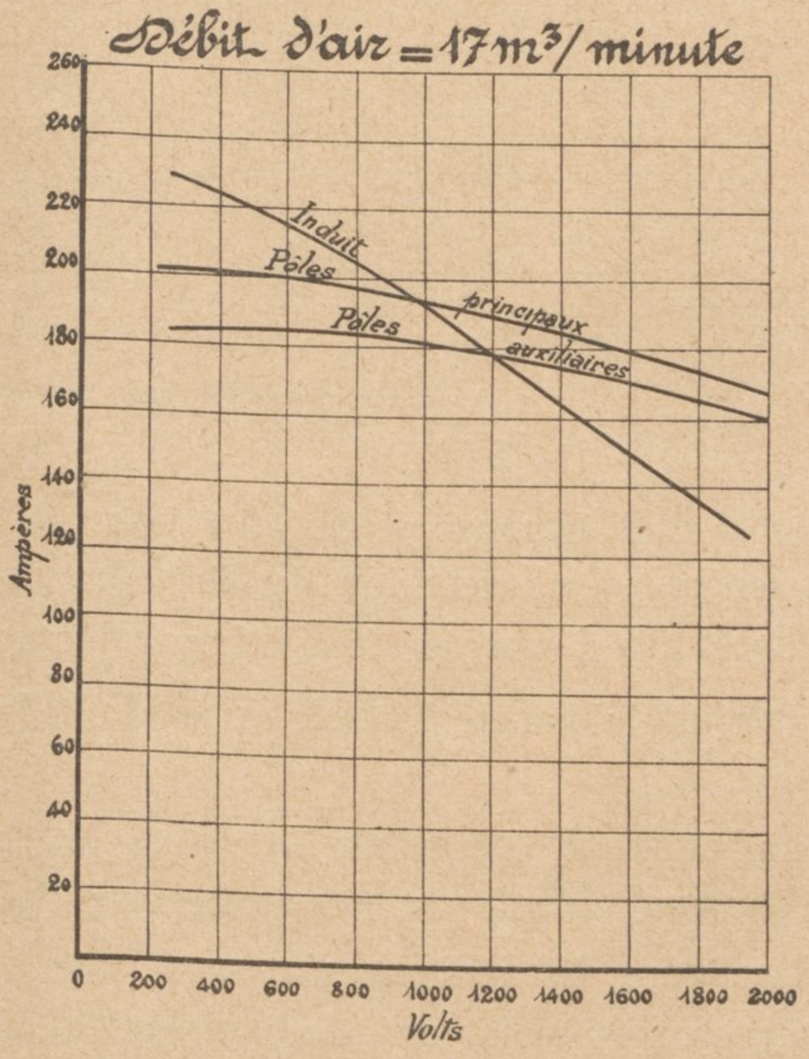


Fig. 14. — MOTEUR G E 276. CAPACITÉ CONTINUE (en ampères)
CORRESPONDANT A UN ÉCHAUFFEMENT DE 120° C.





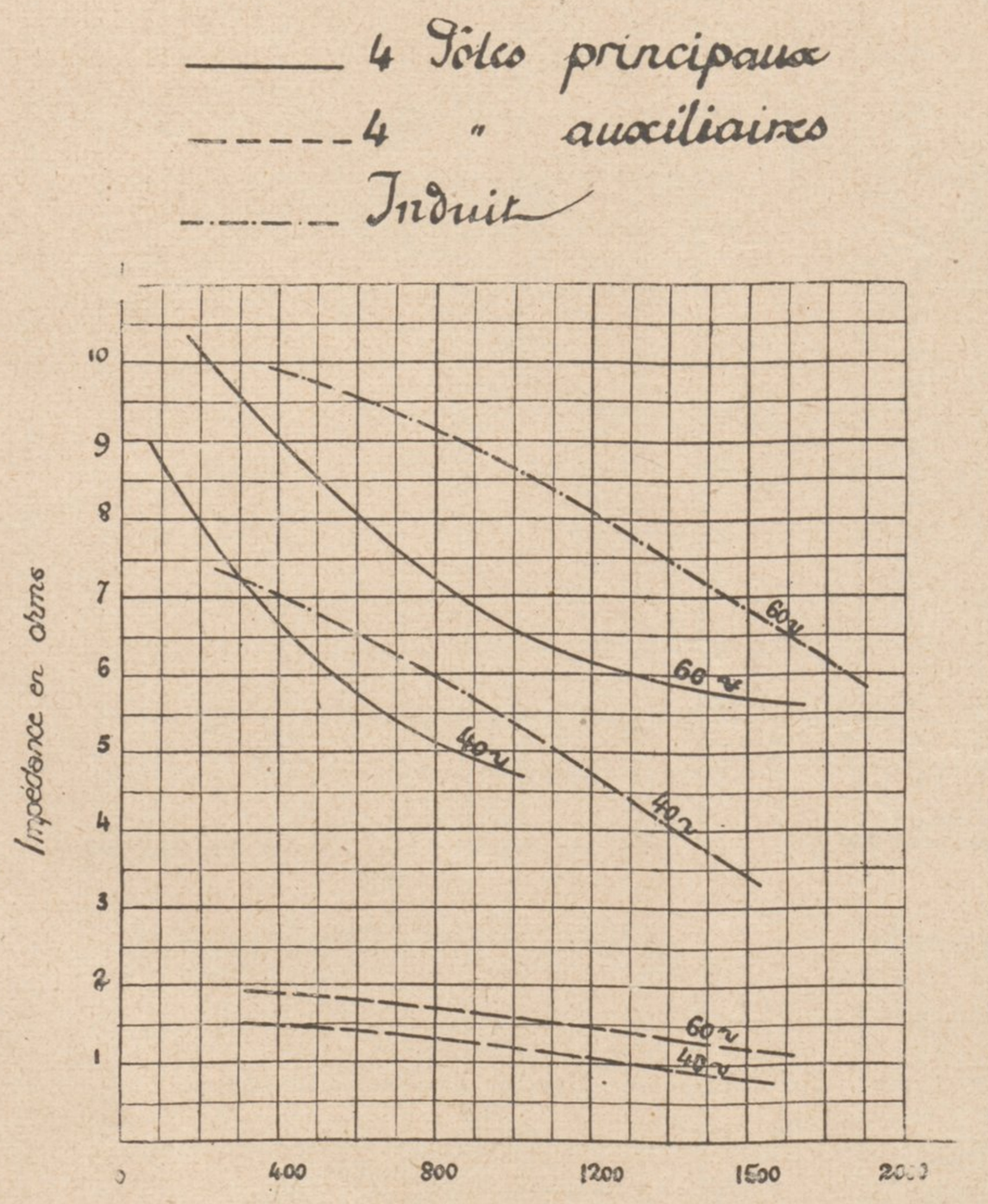




Chacun de ces appareils de contrôle proprement dit est commandé par un servomoteur à air comprimé dont l'asservissement est assuré par des électrovalves à commande électrique fonctionnant sous la tension de 32 volts.

L'air nécessaire pour la manœuvre des servomoteurs, contacteurs ou appareils de couplage divers est emprunté aux réservoirs principaux de frein des locomotives, réservoirs ayant une capacité globale de 1.500 *l* à 7 k*g* environ.

Fig. 15. — Moteur G E 276. Courbes d'impédance pour différentes fréquences.



Le courant à 32 volts nécessaire pour l'excitation des électrovalves de commande des servomoteurs est emprunté à une batterie d'accumulateurs fer-nickel d'une capacité de 72 *Ah* au régime de décharge en 4 heures (soit environ 2.000 *wh* pour l'alimentation d'appareils absorbant au maximum 500 *w* par locomotive).

Sur les 200 locomotives électriques commandées par la Compagnie d'Orléans, 120 sont munies du train control Westinghouse (80 locomotives de la Société d'Etudes et 40 locomotives du groupement Société Alsacienne, Constructions électriques de France) et 80 du train control Oerlikon (groupement Société des Batignolles, Oerlikon).

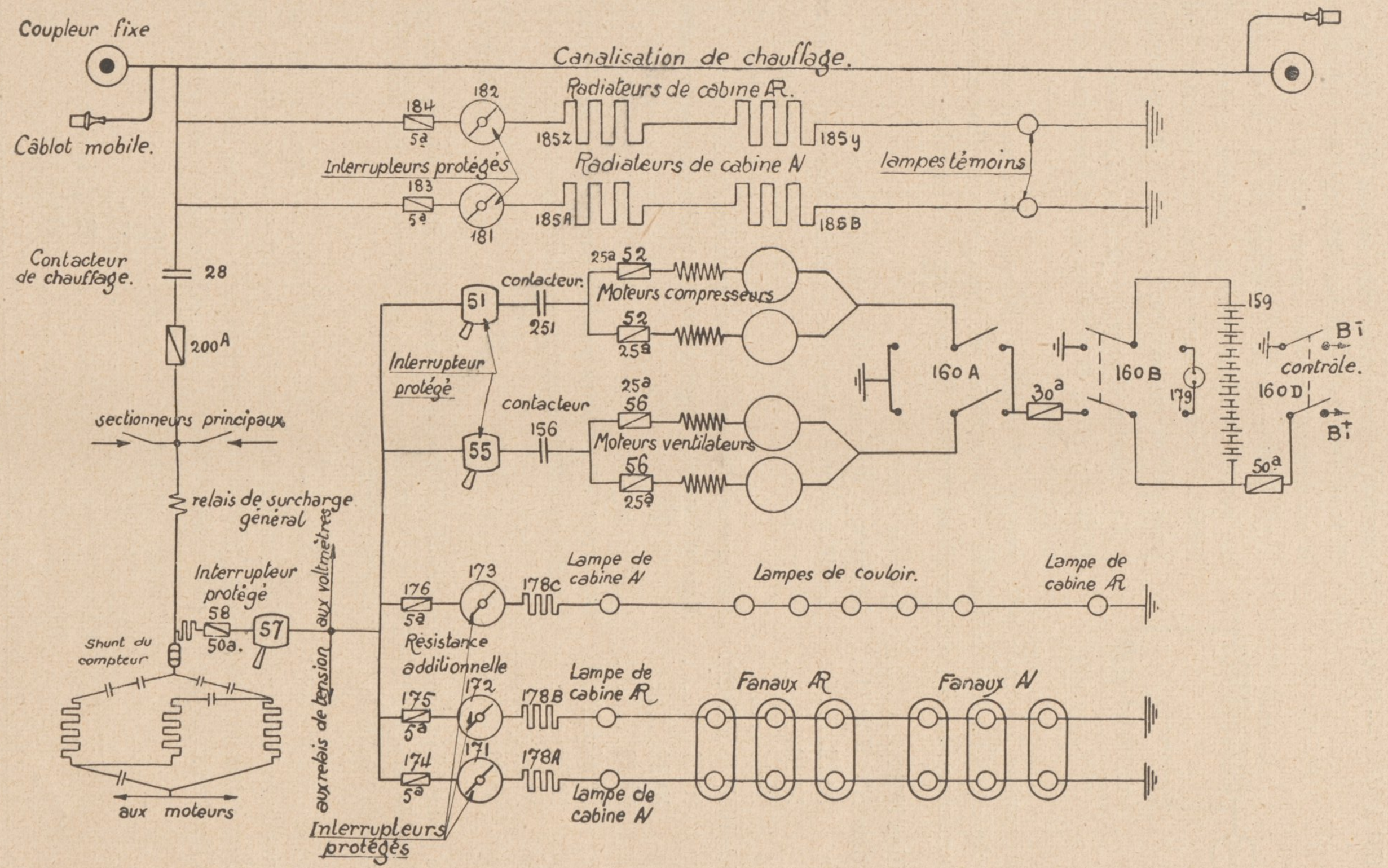
Chaque manœuvre complète de démarrage entraîne une consommation approximative d'air à la pression de 3 k*g*, de 25 *l* pour le train control Westinghouse et de 40 *l* pour le train control Oerlikon. La dépense d'énergie électrique pour l'excitation des électrovalves pendant le démarrage varie de 5 à 10 *wh* avec la durée du démarrage (une à deux minutes).

Pendant la marche normale en parallèle, la puissance absorbée par les électrovalves est de 300 *w*.

La batterie de commande est chargée en la plaçant en série côté terre avec le groupe de moteurs entraînant, soit les compresseurs d'air, soit les ventilateurs.

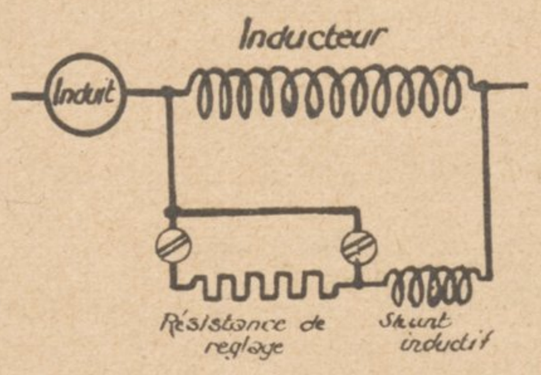
La figure 16 indique comment sont disposés les circuits auxiliaires (ventilateurs, compresseurs, radiateurs, etc.) sur les 200 machines à marchandises ainsi que les couplages réalisables pour la recharge de la batterie de contrôle.

Fig. 16. — SCHÉMA DES CIRCUITS AUXILIAIRES A 1500 V.



Mode de réglage de la vitesse. — Train control Westinghouse. — (Locomotives BB 1 à 80 et BB 201 à 240). — Dans les 120 locomotives munies du train control Westinghouse, le réglage de la vitesse est effectué par shuntage des inducteurs comme il est indiqué dans le schéma (Fig. 17).

Fig. 17.



Le démarrage et le réglage de la vitesse sont effectués au moyen de contrôleurs de manœuvre placés dans chaque cabine. Ces contrôleurs portent deux manettes : une manette principale et une manette amovible de changement de marche.

La manette d'inversion peut occuper trois positions : la position neutre, la position de marche avant, la position de marche arrière.

La manette principale peut occuper 32 positions correspondant au démarrage et à la marche à trois régimes de shuntage (champ maximum, champ moyen, champ minimum) aux trois couplages : série, série-parallèle, parallèle. Ces positions sont les suivantes :

Position N° 1.....	Position d'arrêt ;
Positions N° 2 à N° 11..	Démarrage série par variation de résistance ;
» N° 12.....	Marche soutenue ; 4 moteurs en série : champ maximum (100 %) ;
» N° 13.....	» » » » moyen (78 % env.) ;
» N° 14.....	» » » » minimum (57 % env.)
Positions N° 15 à N° 20.	Démarrage série parallèle par variation de résistance ;
» N° 21.....	Marche soutenue ; couplage série parallèle, champ maximum (100 %) ;
» N° 22.....	» » » » moyen (78 %) ;
» N° 23.....	» » » » minimum (57 %) :
» N° 24 à N° 29.	Démarrage au couplage parallèle par variation de résistance ;
» N° 30.....	Marche soutenue ; couplage parallèle : champ maximum (100 %) ;
» N° 31.....	» » » moyen (78 %) ;
» N° 32.....	» » » minimum (57 %).

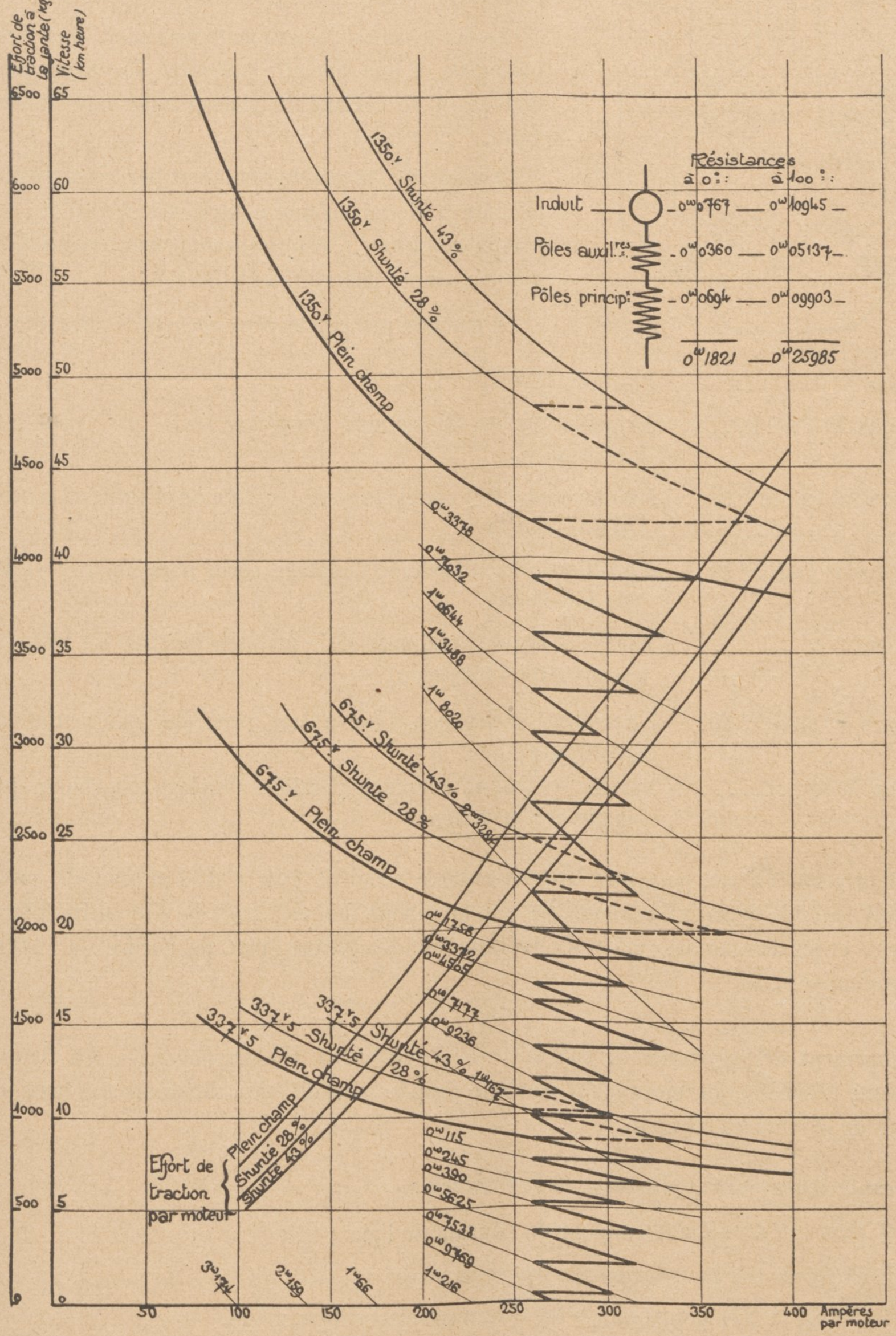
La figure 18 indique, pour une locomotive de la série BB 1 à 80, munie de moteurs CE 276, le mode de variation théorique de la vitesse pour un démarrage effectué avec un effort de traction de l'ordre de 12.000 k*g* par locomotive.

Train control Oerlikon. — (Locomotives BB 101 à 180). — Dans les 80 locomotives munies du train control Oerlikon, le réglage de la vitesse est effectué par variation du nombre de tours inducteurs, les bobines inductrices étant chacune constituées par deux galettes de 29,5 tours chacune que l'on peut grouper comme il est indiqué dans le schéma (Fig. 19).

BC	champ maximum	.....	100 %
BD	»	.....	75 %
BE	»	.....	62 % (1)
BF	»	.....	50 %

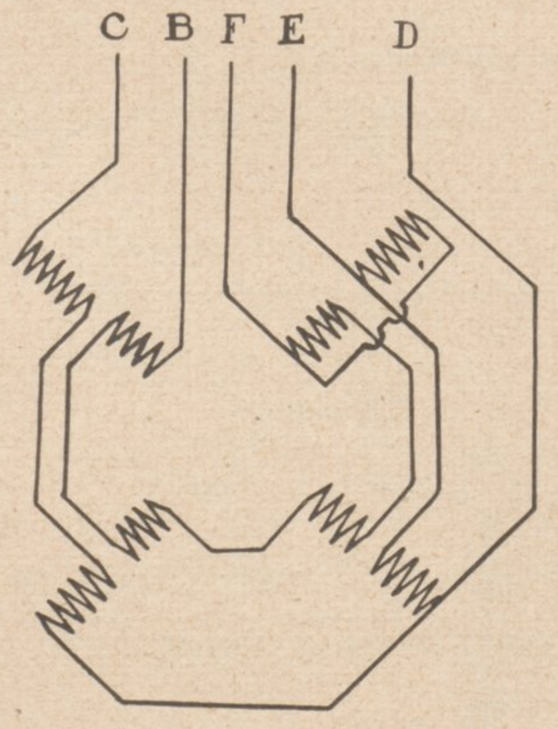
(1) Ce cran de réduction de champ ne sera pas utilisé, les essais en ayant démontré l'inutilité.

Fig. 18. — Locomotives EBB 1 à 80
Rapport d'engrenages 65/21. — Roues de 1 m 25 de diamètre.
Courbes de démarrage
Température des moteurs 100°. — Température des résistances 25°.



Cette disposition est acceptable pour des moteurs dont l'induit est bobiné en série et n'a que deux lignes de balais.

Fig. 19.



Le démarrage et le réglage de la vitesse sont réalisés en manœuvrant l'un des deux contrôleurs placés à chaque extrémité de chaque locomotive.

Ces contrôleurs portent deux manettes : une manette principale et une manette amovible de changement de marche et de réglage du champ inducteur en marche avant.

La manette d'inversion peut occuper cinq positions : position arrière, position neutre, marche avant : champ maximum (100 %), marche avant : champ réduit (75 %), marche avant : champ réduit (50 %).

La manette principale peut occuper 31 positions :

Position N° 0	Position d'arrêt ;
Positions N° 1 à 11	11 positions de démarrage, couplage série par variation de résistance ;
Position N° 12	Marche soutenue ; couplage série (réglage du champ par la manette d'inversion) ;
Positions N° 13 à N° 21.	9 positions de démarrage ; couplage série parallèle par variation de résistance ;
Position N° 22	Marche soutenue ; couplage série parallèle (réglage du champ par la manette d'inversion) ;
Positions N° 23 à N° 29.	7 positions de démarrage ; couplage parallèle, par variation de résistance ;
Position N° 30.....	Marche soutenue ; couplage parallèle (réglage du champ par la manette d'inversion).

La figure 20 indique, pour une locomotive de la série BB 101 à 180 munie de moteurs TM 3301 le mode de variation théorique de la vitesse en fonction de l'intensité pour les différents crans de marche, l'effort de traction avec démarrage étant de l'ordre de 12.000 k*g* par locomotive.

Groupement des appareils de contrôle. — Equipement Westinghouse. — La figure 21 représente le schéma du circuit de traction proprement dit, les différents contacts étant groupés de la manière suivante :

27 contacteurs électropneumatiques individuels :

4 (N°s 1 à 4) pour la coupure du courant de ligne ;

12 (N°s 5 à 16) pour le réglage des résistances ;

11 (N°s 17 à 27) pour réaliser les divers couplages de moteurs.

Fig. 20. — Locomotives EBB 101 à 180
Rapport d'engrenages 73/21. — Roues de 1m35 de diamètre.
Courbes de démarrage
Température des moteurs 100°. — Température des résistances 25°.

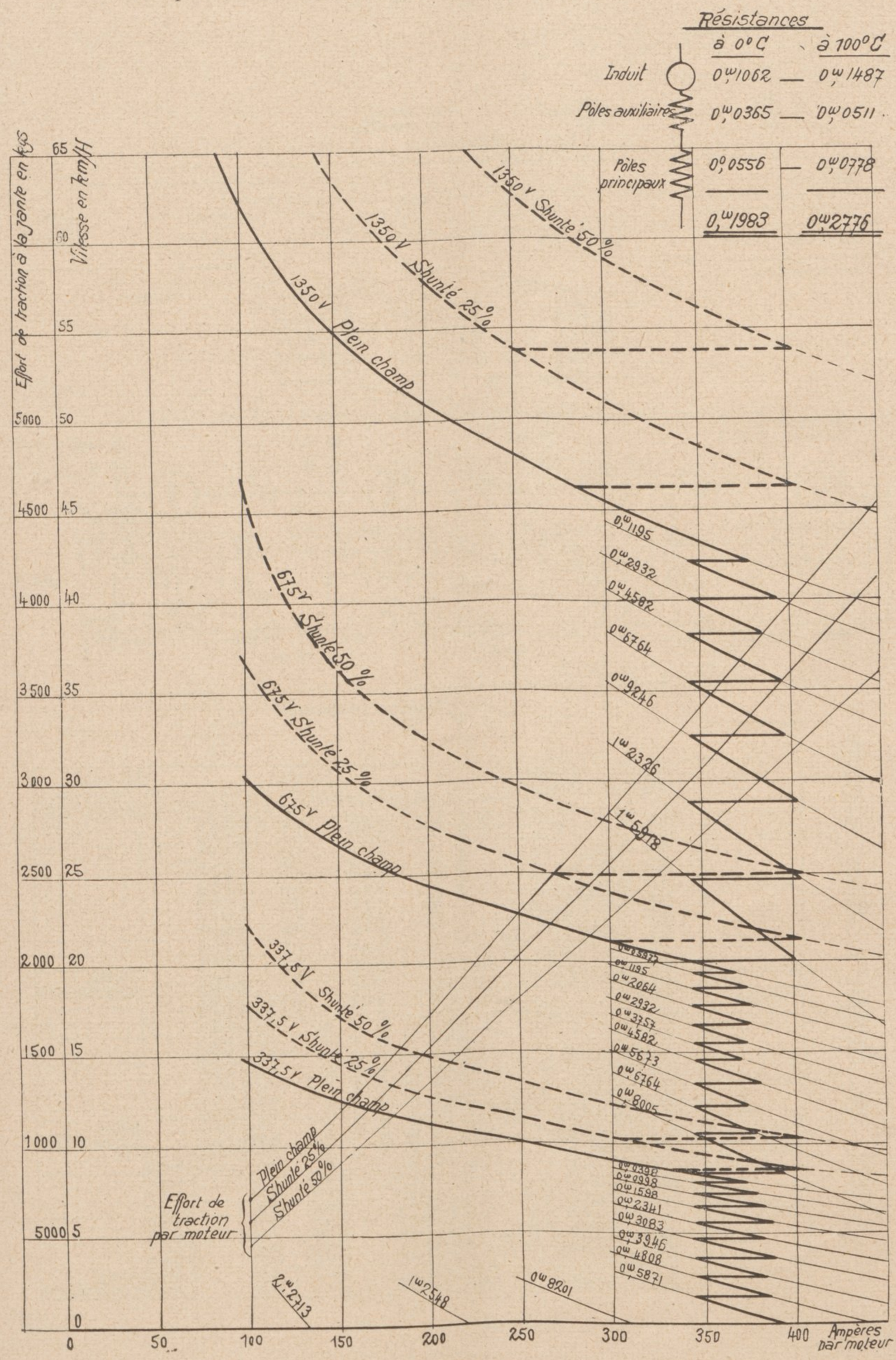
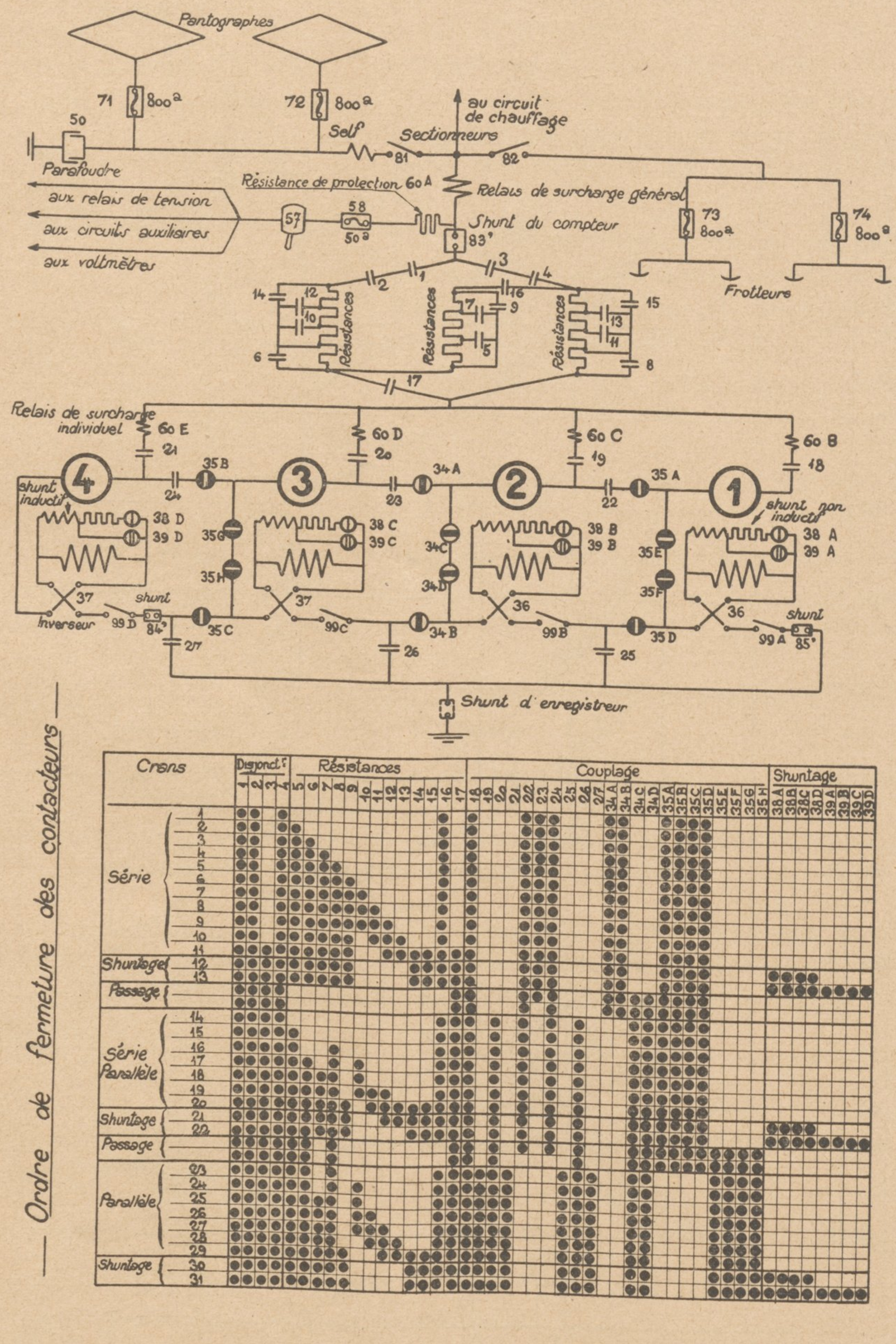


Fig. 21. — Locomotives EBB 1 à 80. Circuit de puissance.



— Ordre de fermeture des contacteurs —

Crans		Disjonct. 1	2	3	4	Résistances 5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Couplage 18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	34A	34B	34C	34D	35A	35B	35C	35D	35E	35F	35G	35H	Shuntage 38A	38B	38C	38D	39A	39B	39C	39D
Série	1	●	●		●														●										●			●															
	2	●	●		●	●													●										●			●															
	3	●	●		●	●	●												●										●			●															
	4	●	●		●	●	●	●											●										●			●															
	5	●	●		●	●	●	●	●										●										●			●															
	6	●	●		●	●	●	●	●	●									●										●			●															
	7	●	●		●	●	●	●	●	●	●								●										●			●															
	8	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●							●										●			●															
	9	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●						●										●			●															
	10	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●					●										●			●															
	11	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●				●										●			●															
Shuntage	12	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●	●	●	●			●										●			●															
	13	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●	●	●	●	●		●										●			●															
Passage		●	●	●	●													●	●										●			●															
Série Parallèle	14	●	●	●	●													●	●										●			●															
	15	●	●	●	●	●												●	●										●			●															
	16	●	●	●	●	●												●	●										●			●															
	17	●	●	●	●	●	●											●	●										●			●															
	18	●	●	●	●	●	●											●	●										●			●															
	19	●	●	●	●	●	●	●										●	●										●			●															
	20	●	●	●	●	●	●	●										●	●										●			●															
Shuntage	21	●	●	●	●	●	●	●	●									●	●										●			●															
	22	●	●	●	●	●	●	●	●									●	●										●			●															
Passage		●	●	●	●	●	●	●	●									●	●	●									●			●															
Parallèle	23	●	●	●	●	●	●	●	●	●								●	●	●									●			●															
	24	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●							●	●	●									●			●															
	25	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●						●	●	●									●			●															
	26	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●					●	●	●									●			●															
	27	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●				●	●	●									●			●															
	28	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●	●									●			●															
	29	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●									●			●															
Shuntage	30	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●									●			●															
	31	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●									●			●															

2 commutateurs de couplage N°s 34 et 35, ayant chacun deux positions :

Le commutateur 34 (4 contacts) { Contacts 34 A et 34 B fermés à la position (1) ; Contacts 34 C et 34 D fermés à la position (2) ;

Le commutateur 35 (8 contacts) { Contacts 35 A, 35 B, 35 C, 35 D, fermés à la position (1) , Contacts 35 E, 35 F, 35 G, 35 H, fermés à la position (2) ;

au couplage série..... 34 est à la position (1) ;
au couplage série..... 35 est à la position (1) ;
au couplage série-parallèle : 34 est à la position (2) ;
au couplage série-parallèle : 35 est à la position (1) ;
au couplage parallèle..... 34 est à la position (2) ;
au couplage parallèle..... 35 est à la position (2).

Fig. 22. — Locomotives a marchandises de la Société d'Études EBB 1 à 80.
Connexions réalisées sur les principaux crans du controleur.

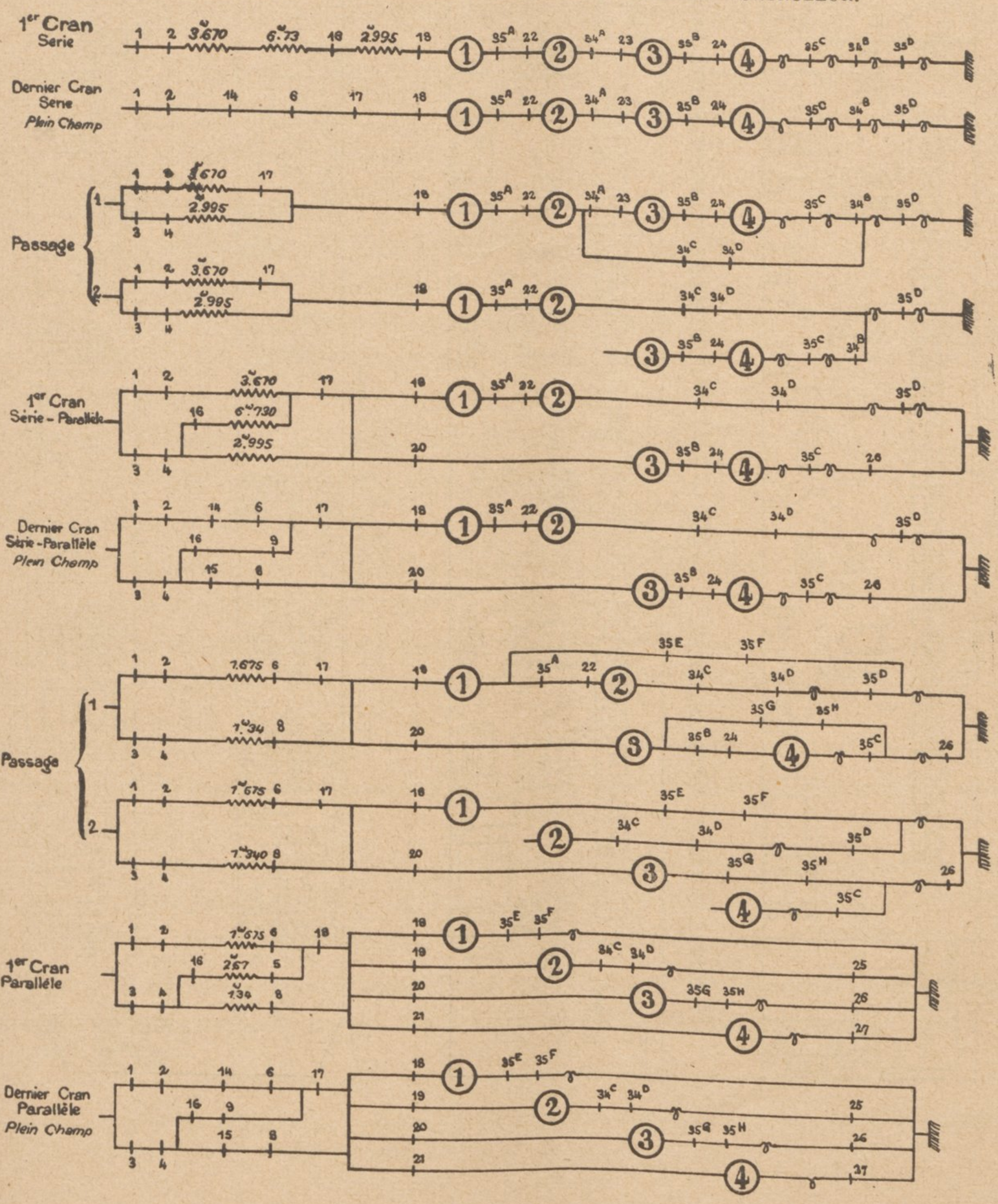
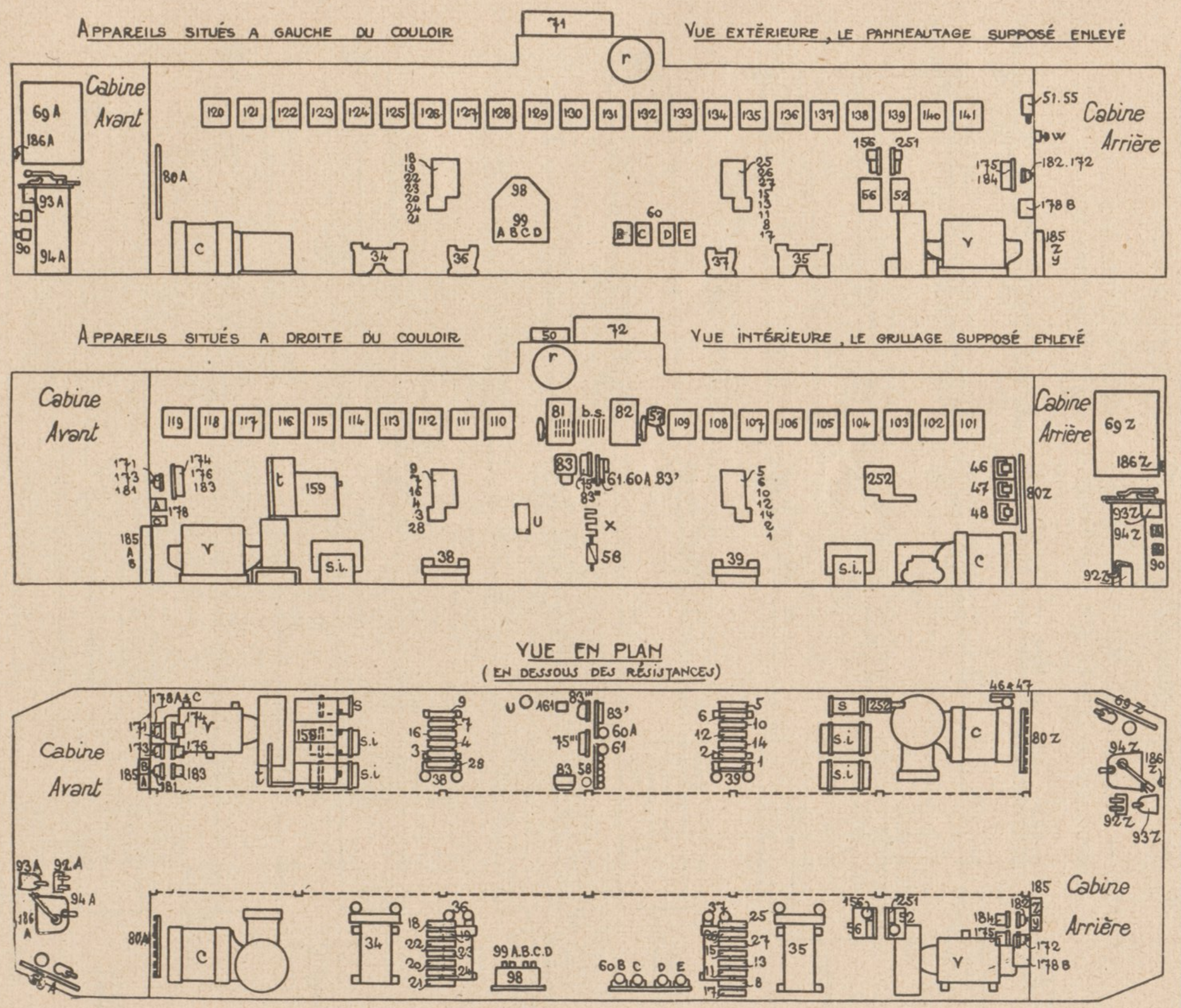


Fig. 23. — Locomotives EBB 1 à 80. Disposition des appareils.



- Légende -

1 à 27	Contacteurs individuels.
28	Contacteur de chauffage.
34 & 35	Commutateurs de couplage
36 & 37	Inverseurs
38 & 39	Commutateurs de shuntage
46, 47 & 48	Relais d'enclenchement
50	Parafoudre.
51	Interrupteur compresseurs.
52	Fusible — d° —
55	Interrupteur ventilateurs
56	Fusible — d° —
57	Interrupteur gal circuits auxiliers
58	Fusible génal — d° —
60 A	Relais de surcharge génal
60 B.C.D.E	— d° — individls
61	Relais de tension
69 A & Z	Tableaux d'appareils
71 & 72	Fusibles des pantographes
75 mm	Résistances addles des voltmrs
80 A & Z	Panneaux de bornes
81 & 82	Sectionneurs principaux
83	Compteur
83'	Shunt du compteur
83 mm	Résistances addles du compr
90 A.B.C.D.	Electro valves des sablières
92 A & Z	Pédales de sablières
93 A & Z	Combinateur des pantogrs
94 A & Z	Contrôleur de manœuvre
98	Interrupteurs d'isolement
99 A.B.C.D.	des moteurs
101 à 141	Résistances de démarrage
156	Contacteur des ventilateurs
159	Batterie d'accumulateurs
161	Relais du Teloc
171-172-173 181-182	Interrupteurs protégés d'éclairage. des radiateurs.
174-175-176 183-184	Fusibles d'éclairage. des radiateurs.
178 A.B.C.	Résistances addles des lampes
185 A.B.Z.	Radiateurs de chauffage
186 A & Z	Boutons-poussoirs
251	Contacteur des compress
252	Régulateur automatique
b.s.	Bobine de self
C	Moteurs compresseurs
V	Moteurs ventilateurs
r	Réservoirs
s	Shunts non inductifs
s.i.	Shunts inductifs
t	Tableaux de batterie
U	Fusible chauffage.
w	Bouton poussoir de chauffage.
x	Résistance additionnelle.

2 commutateurs de shuntage N°s 38 et 39 à deux positions :

Le commutateur 38 (4 contacts) { Contacts 38 A, 38 B, 38 C, 38 D, ouverts à la position (1) et fermés à la position (2) ;

Le commutateur 39 (4 contacts) { Contacts 39 A, 39 B, 39 C, 39 D, ouverts à la position (1) et fermés à la position (2).

Pendant toute la marche à champ maximum les deux appareils sont à la position (1) au premier cran de shuntage l'appareil 38 tourne à la position (2) tandis que l'appareil 39 ne bouge pas ; au deuxième cran de shuntage les deux appareils sont à la position (2).

L'examen de la figure permet de se rendre compte comment, suivant le mode d'excitation des contacteurs individuels et suivant la position des divers commutateurs, on peut réaliser les connexions correspondant aux divers crans du contrôleur. La figure 22 donne d'ailleurs, pour les principaux crans du contrôleur, la disposition des connexions en question.

La figure 23 montre comment sont disposés les divers appareils à l'intérieur de la locomotive de part et d'autre du couloir central dans les locomotives BB 1 à 80.

Equipement Oerlikon. — La figure 24, représente le schéma du circuit de traction, le graphique placé au bas de la figure permettant de se rendre compte des contacts établis à chaque position de marche du contacteur.

L'équipement comprend essentiellement :

8 contacteurs iudividuels de ligne T_1 T'_1, T_2 T'_2, T_3 T'_3, T_4 T'_4 ;

3 contacteurs individuels d'équilibre J_{24}, J'_{24} et J_{13} ;

19 contacteurs individuels pour le réglage des résistances.

1 commutateur de couplage à trois positions, tel

qu'à la position (1) les contacts SS', SP^1 SP'_1, SP_3 SP'_3 soient fermés ;

qu'à la position (2) SP_1 SP'_1, SP_3 SP'_3, G_2 soient fermés ;

qu'à la position (3) G_1, G_2, et G_3 soient fermés.

1 commutateur de shuntage à quatre positions, tel

qu'à la position (1) les contacts C_1 C_2 C_3 C_4 soient fermés ;

qu'à la position (2) les contacts D_1 D_2 D_3 D_4 soient fermés ;

qu'à la position (3) les contacts E_1 E_2 E_3 E_4 soient fermés ;

qu'à la position (4) les contacts F_1 F_2 F_3 F_4 soient fermés (1).

2 inverseurs à trois positions (2 à commande par servomoteur pneumatique, la troisième à commande à main pour l'isolement d'un moteur). Chaque inverseur correspondant à un groupe de moteurs.

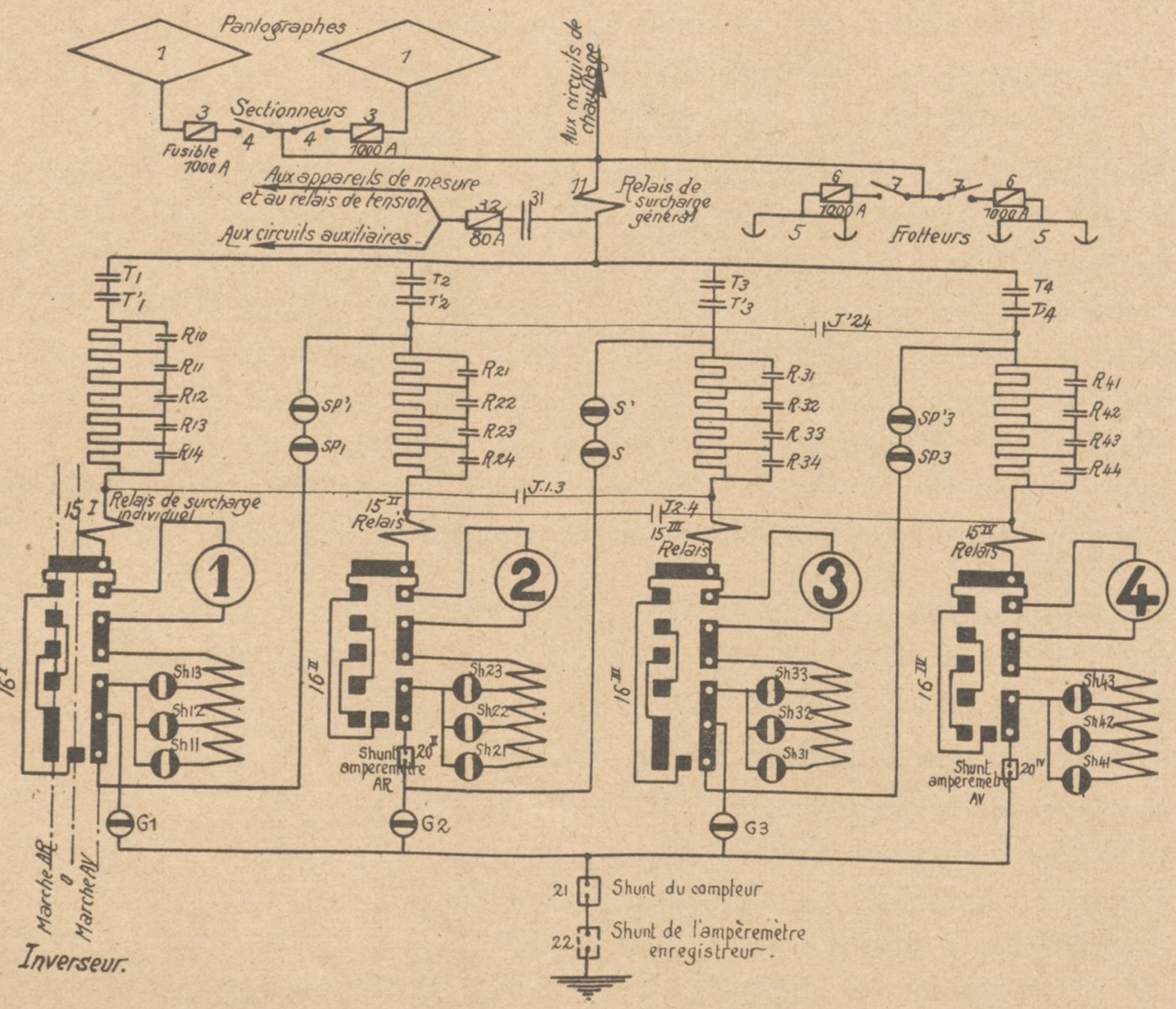
La figure 25 représente les connexions réalisées aux principaux crans de marche du contrôleur, la figure 26 donne la disposition des appareils de part et d'autre du couloir central en même temps que le schéma de montage de la canalisation de « control ».

La figure 27 détaille le mode de fonctionnement des servomoteurs à air comprimé commandant les commutateurs de couplage, les commutateurs de shuntage et les inverseurs.

---

(1) Dans l'équipement actuel, trois positions de shuntage sont seulement utilisées : C, D, E : champ maximum 100 %, champ moyen 75 %, champ minimum 50 %.

Fig. 24. — LOCOMOTIVES EBB 101 à 180. CIRCUIT DE PUISSANCE.



Ordre de fermeture des contacteurs —

Crans		Disjoncteurs							Résistances																Couplage					Shuntage											
		T 1	T'1	T 2	T'2	T 3	T'3	T 4	T'4	R 10	R 11	R 12	R 13	R 14	R 21	R 22	R 23	R 24	R 31	R 32	R 33	R 34	R 41	R 42	R 43	R 44	J 1.3	J 2.4	J'2.4	S	S'	SP1	SP'1	SP3	SP'3	G1	G2	G3	Sh 11	Sh 12	Sh 13	Sh 21	Sh 22	Sh 23	Sh 31	Sh 32	Sh 33	Sh 41	Sh 42	Sh 43
Série	1	●	●							●																																
	2	●	●							●	●																															
	3	●	●							●	●	●																														
	4	●	●							●	●	●	●																													
	5	●	●							●	●	●	●	●																												
	6	●	●							●	●	●	●	●	●																											
	7	●	●							●	●	●	●	●	●	●																										
	8	●	●							●	●	●	●	●	●	●	●																										
	9	●	●							●	●	●	●	●	●	●	●	●																									
	10	●	●							●	●	●	●	●	●	●	●	●	●																								
	11	●	●							●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●																							
	12	●	●							●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●																						
Shuntage	AV2	●	●							●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●																				
	AV3	●	●							●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●																				
Passage		●	●			●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●																		
Série - parallèle	1	●	●			●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●																	
	2	●	●			●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●																
	3	●	●			●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●															
	4	●	●			●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●														
	5	●	●			●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●													
	6	●	●			●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●												
	7	●	●			●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●											
	8	●	●			●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●										
	9	●	●			●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●									
	10	●	●			●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●								
Shuntage	AV2	●	●			●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●							
	AV3	●	●			●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●						
Passage		●	●	●	●	●	●																																			
Parallèle	1	●	●	●	●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●														
	2	●	●	●	●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●													
	3	●	●	●	●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●												
	4	●	●	●	●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●											
	5	●	●	●	●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●										
	6	●	●	●	●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●									
	7	●	●	●	●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●								
	8	●	●	●	●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●							
Shuntage	AV2	●	●	●	●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●						
	AV3	●	●	●	●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●					

Fig. 25. — Locomotives a marchandises Oerlikon EBB 101 à 180.

Connexions réalisées aux principaux crans du controleur.

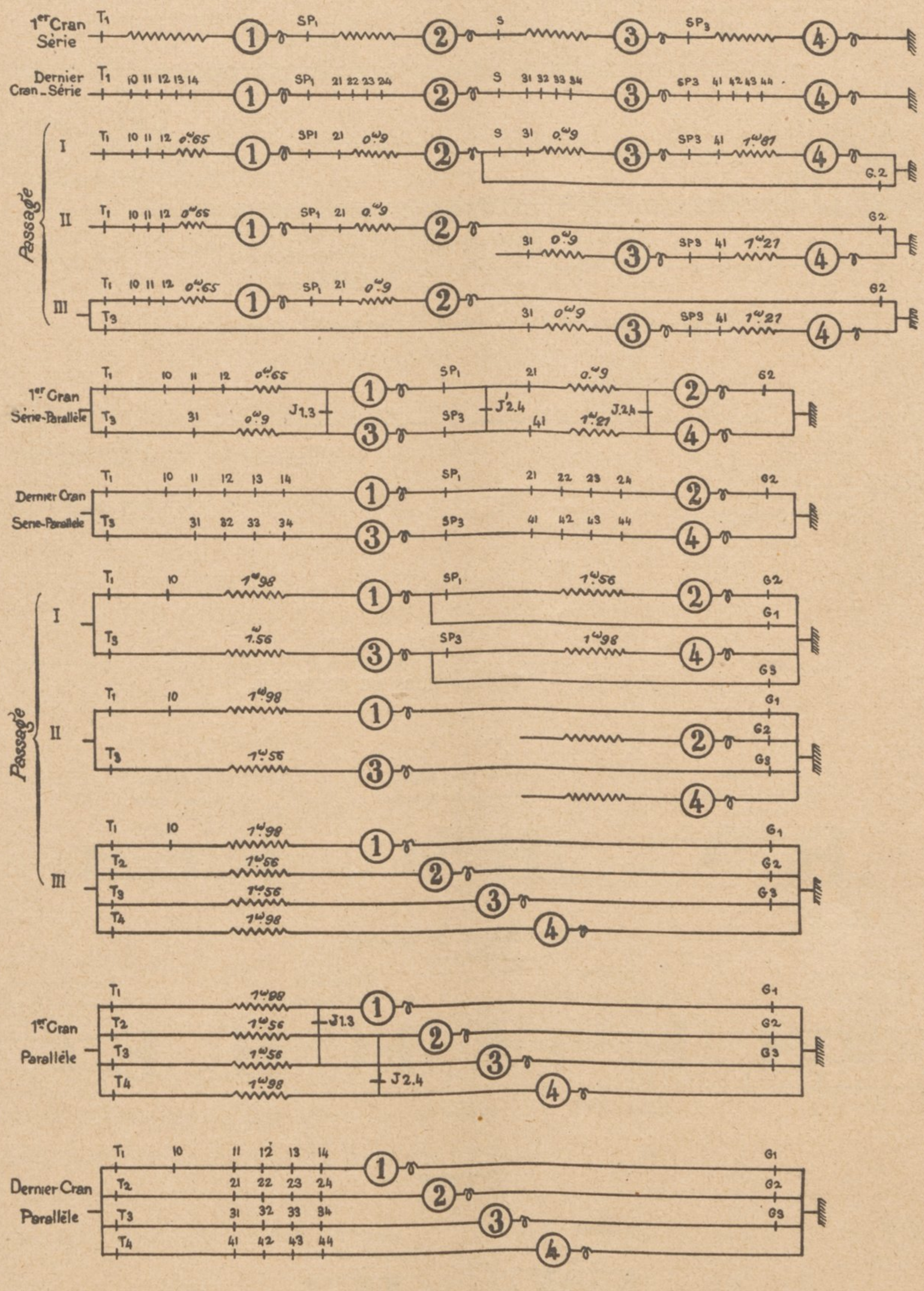


Fig. 26. — Locomotives a marchandises Oerlikon EBB 101 à 180.
Schéma du cablage de commande.

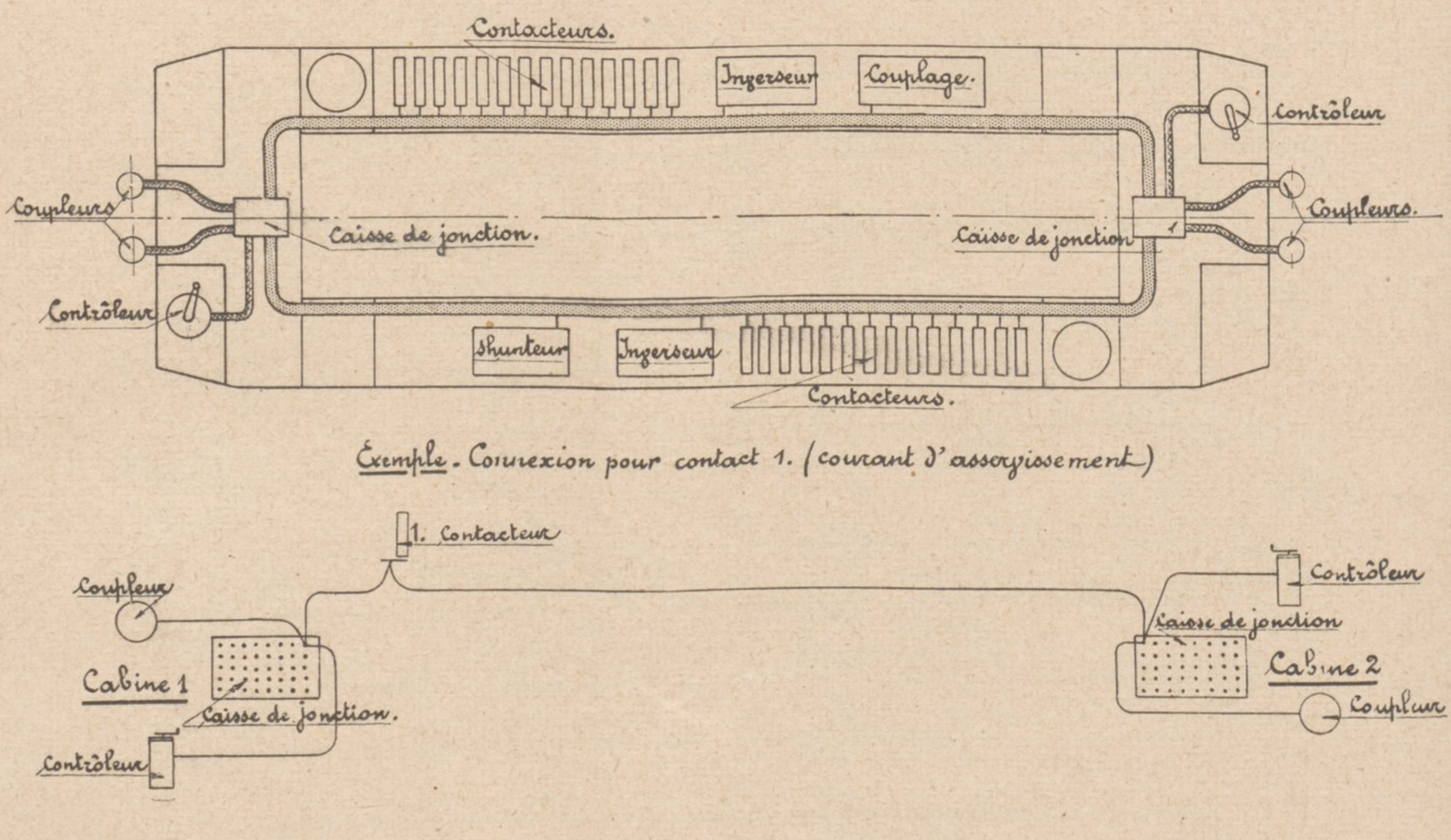
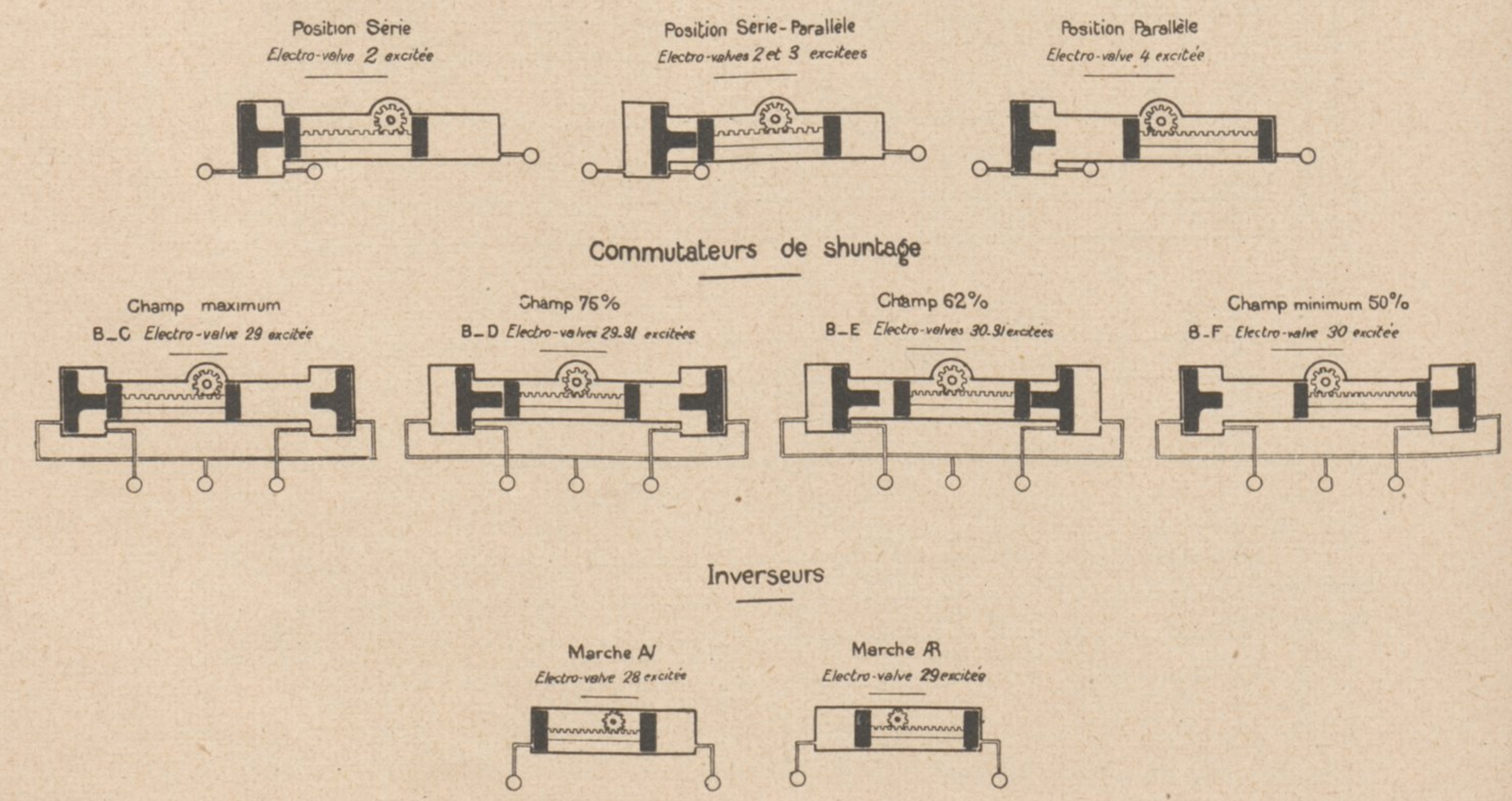


Fig. 27. — Commutateurs de couplage.



Canalisations de contrôle. — Les locomotives de marchandises sont munies de canalisations de contrôle comprenant :

38 conducteurs (deux câbles de 19 conducteurs) pour les 120 locomotives BB 1 à 80 et BB 201 à 240 munies de train control Westinghouse.

50 conducteurs (deux câbles de 25 conducteurs) pour les 80 locomotives BB 101 à 180 munies du train control Oerlikon.

Dans le tableau ci-après sont indiquées les fonctions des divers fils du circuit de contrôle pour chaque type de machine.

	WESTINGHOUSE	OERLIKON
Nombre total de conducteurs	38	50
Nombre de conducteurs par câble et par coupleur	19	25
Nombre de fils utilisés pour le contrôle sans récupération	28	34
Nombre de fils utilisés pour les services auxiliaires	6	7
Nombre de conducteurs disponibles	4	9

Fonction des différents conducteurs.

Positif — Batterie deux conducteurs en parallèle	B+1	B+1	+ +
Négatif — Batterie deux conducteurs en parallèle	B—1	B—1	— —
Commutateur de couplage à trois positions :			
position série			fil N° 2
» série-parallèle			fil N° 3
» parallèle			fil N° 4
Commutateur de couplage à deux positions :			
Commutateur N° 34 : position 1		fil 34	
position 2		fil 34_c	
Commutateur N° 35 : position 1		fil 35	
position 2		fil 35_c	
Fermeture des contacteurs de ligne :			
série			fil 5 (contacts T_1)
série-parallèle		fil 3 C	fil 6 (contacts T_1 T_3)
parallèle		fil 3 f	fil 7 (contacts T_1 T_2 T_3 T_4)
Fermeture de contacteurs de couplage		fil 46	
Couplage des résistances de démarrage en parallèle		fil 3	
Réenclenchement des contacteurs de ligne sur le premier cran série ou série parallèle		B—2	
Commande des résistances de démarrage		10 fils N° 5 à 14	15 fils N° 8 à 16 et 19 à 24
Commande des contacteurs d'équilibre			fil N° 25 (J_{24}'-J_{13}) fil N° 26 (J_{24})

	WESTINGHOUSE	OERLIKON
Commande du shuntage des inducteurs :		
1er cran	fil N° 38	fil N° 29
2e cran	fil N° 39	fil N° 30
3e cran		fil N° 31
Commande de l'inverseur :		
Marche avant	fil F	fil N° 35
Marche arrière	fil R	fil N° 36
Réarmement des relais de shuntage	fil N° 88	
Suppression de l'action du relais à tension 0 dans la marche à 600 *V*		fil 65
Déclenchement des contacteurs de toutes les machines accouplées par le fonctionnement d'un relais		fil 32
Fermeture du relais secondaire des machines accouplées en unités multiples		fil 37
Fermeture des contacteurs de ligne T^1 des machines accouplées au premier cran du contrôleur		fil 43^a

Auxiliaires.

Commande sablière avant	fil N° 90 C	17
» sablière arrière	N° 90 B	18
» pantographe avant	N° 95	27
» pantographe arrière	N° 96	28
» des compresseurs	N° 151 B	33
» des ventilateurs	N° 156	34
» du contacteur principal 1.500 *V* des auxiliaires		38

Les figures 28-29-30-31 donnent, pour les systèmes Westinghouse et Oerlikon respectivement, la disposition simplifiée des circuits de contrôle et des auxiliaires à 32 volts.

Appareils auxiliaires. — Les caractéristiques principales des différents appareils auxiliaires sont rassemblées dans les tableaux et dessins ci-après spécifiés :

Compresseur d'air	Tableau IV
Ventilateur	Tableau V
Pantographes	Tableau VI et figure 32
Frotteurs	Figure 33

Fig. 28. — Locomotives EBB 1 à 80. Schéma du circuit de controle.

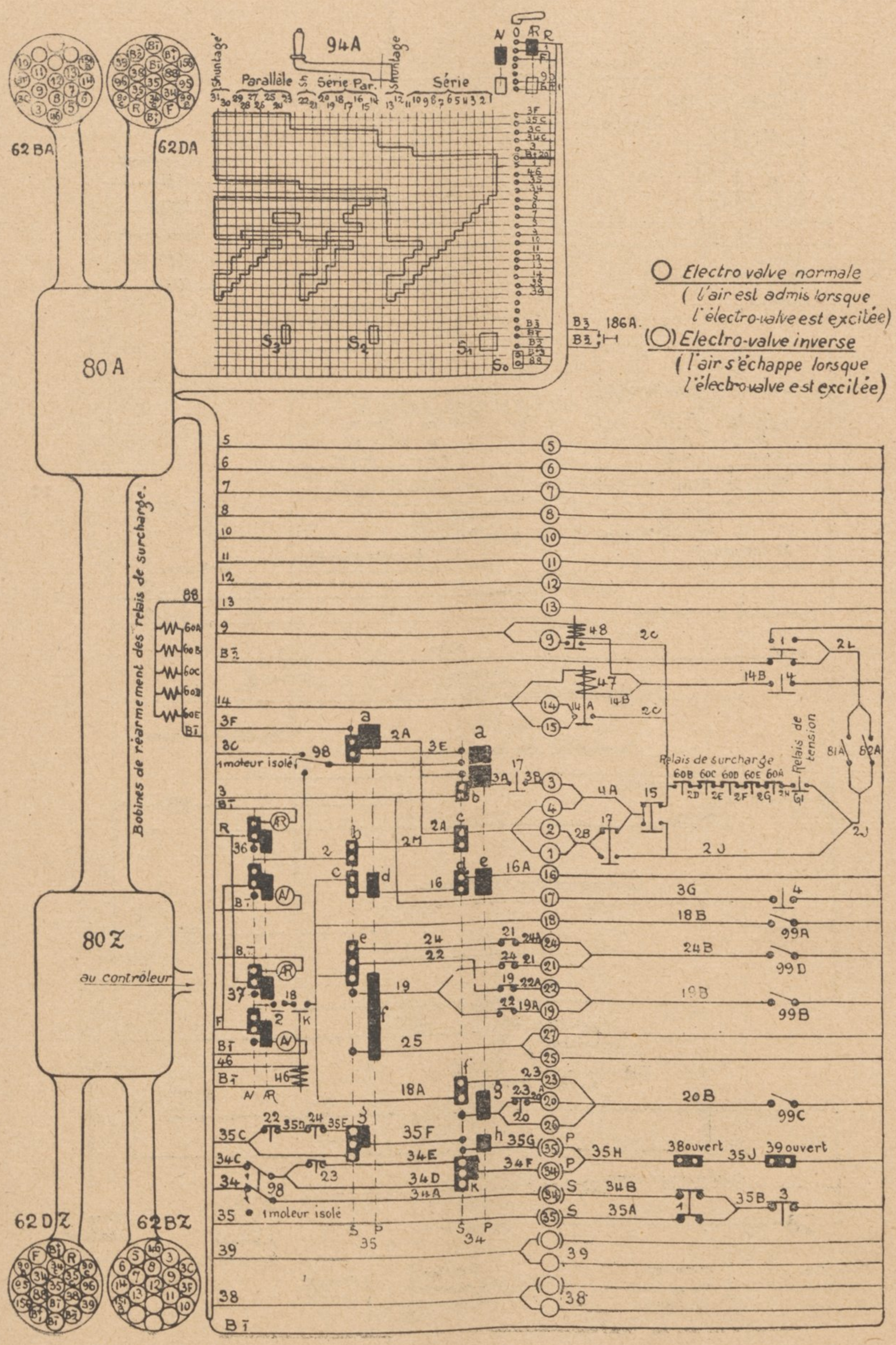


Fig. 29. — Locomotives EBB 1 à 80. Circuits auxiliaires a 32 v.

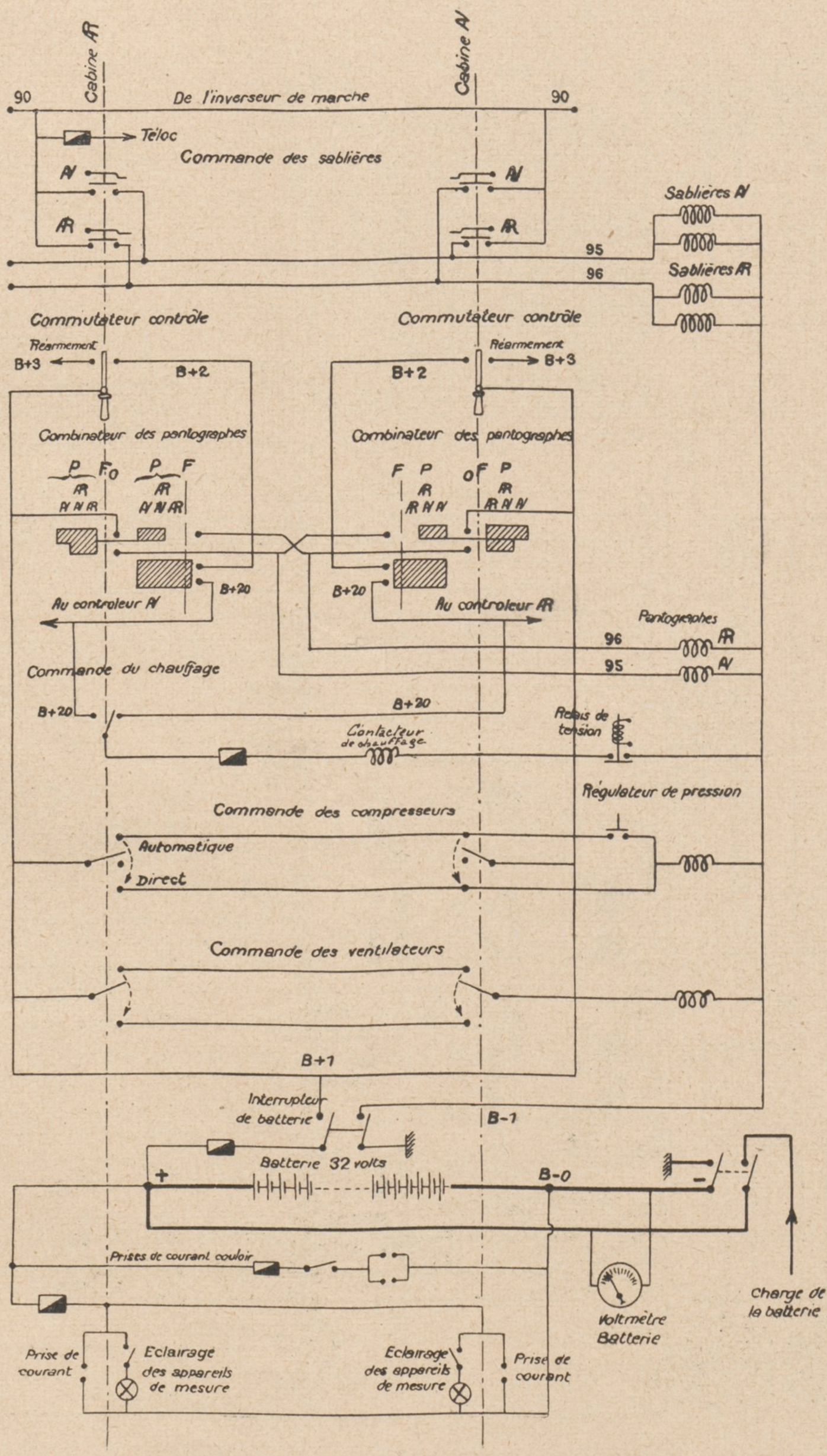


Fig. 30. — Locomotives EBB 101 à 180. Circuits de controle.

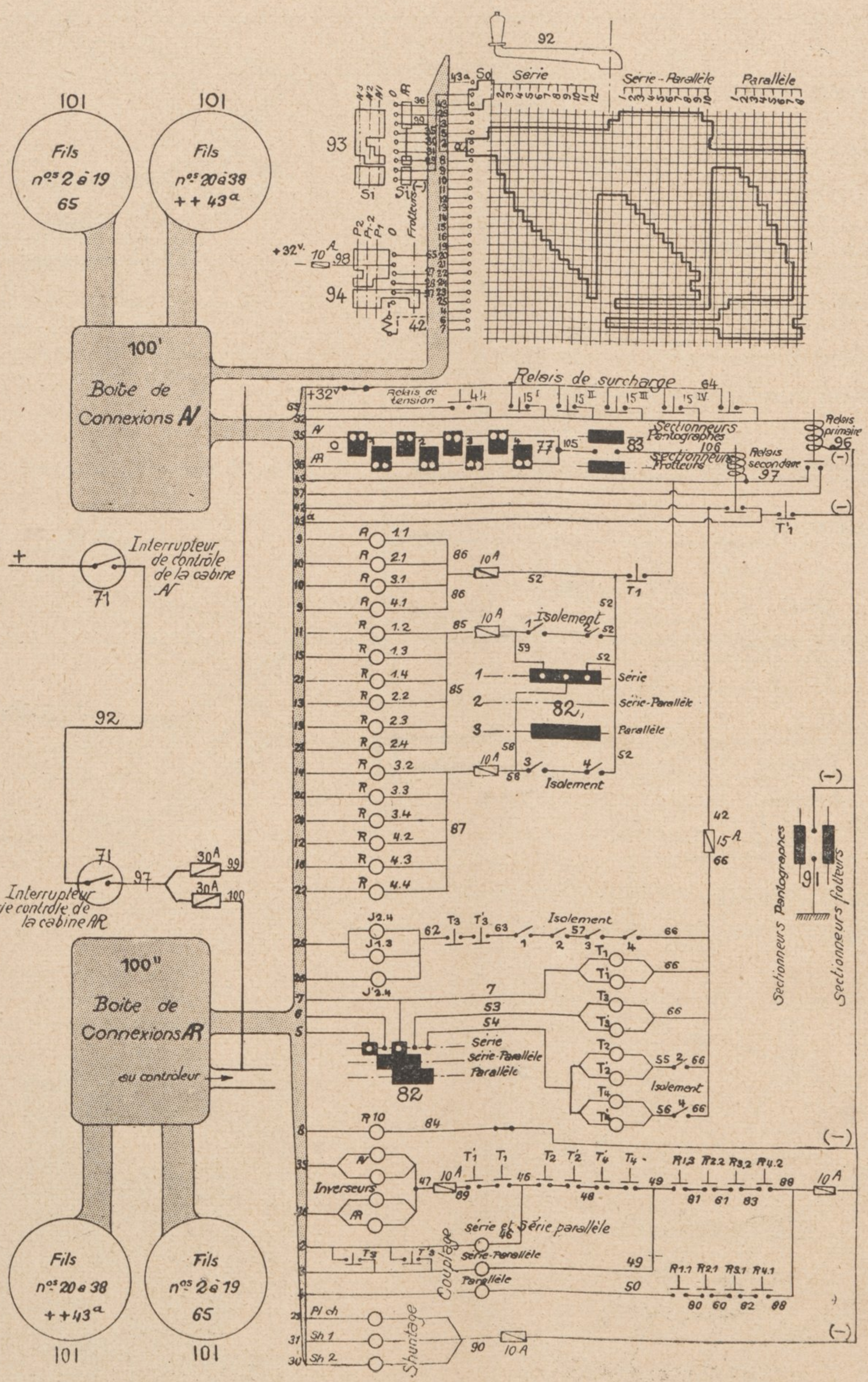


Fig. 31. — Locomotives EBB 101 à 180.
Schéma des circuits auxiliaires a 32 v.

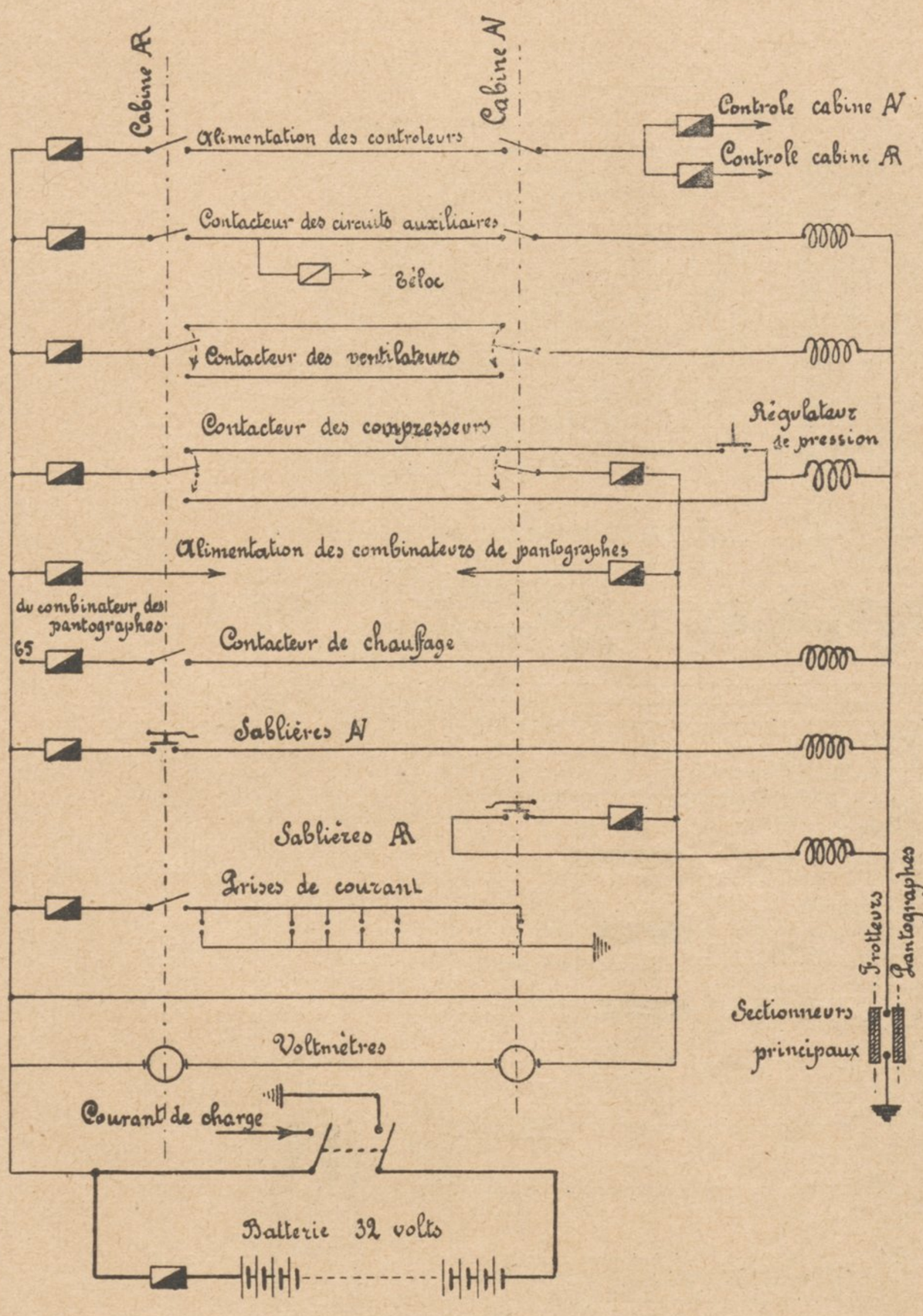
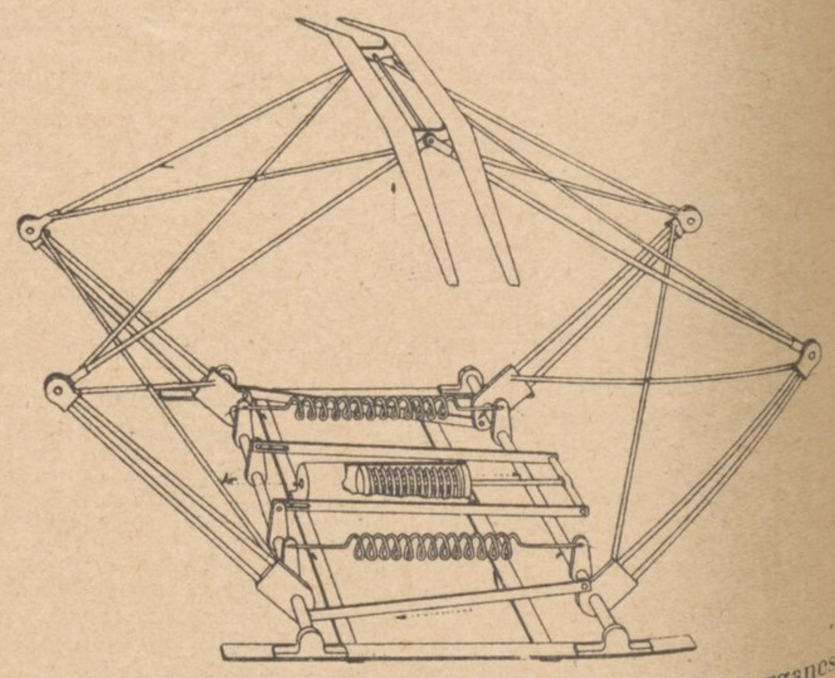
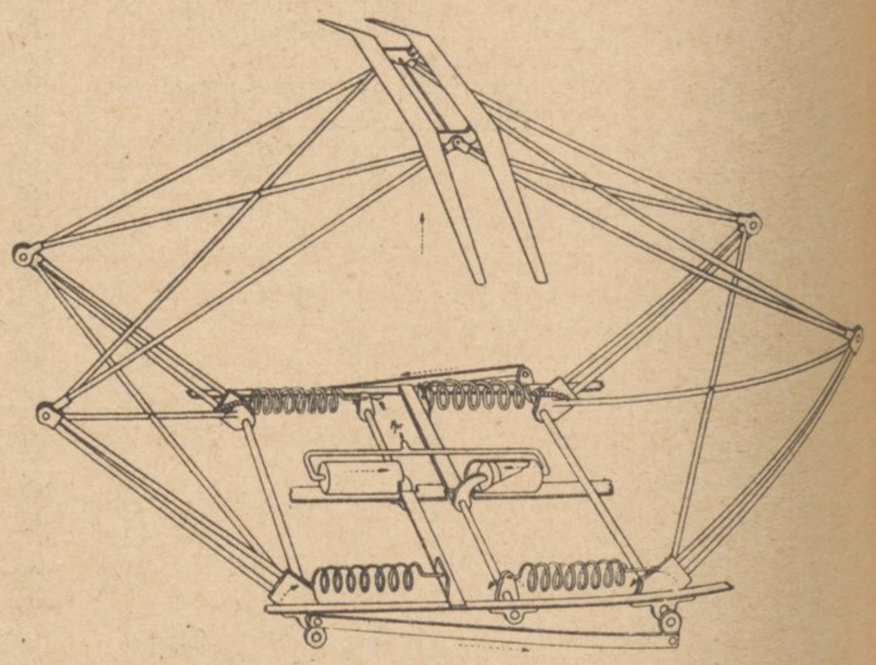


Fig. 32. — Pantographe de la Société Oerlikon.



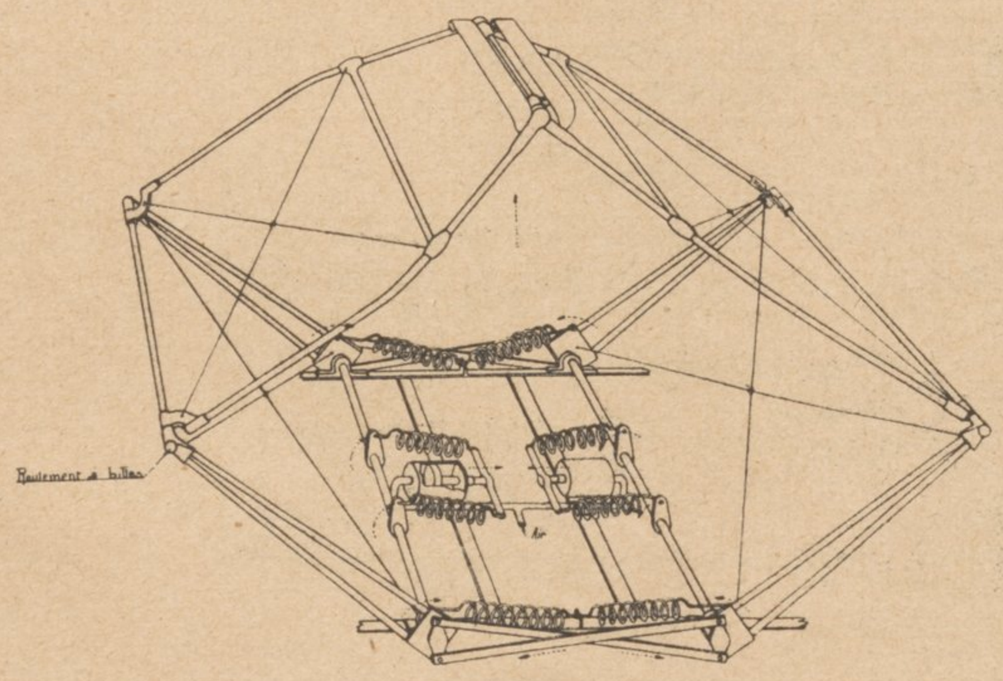
Les flèches indiquent le sens du mouvement des organes pour la montée du pantographe.

Fig. 32 *bis.* — Pantographe S 501 B (C.F.T.H.).



Les flèches indiquent le sens du mouvement des organes pour la montée du pantographe.

Fig. 32 *ter.* — Pantographe Faiveley.



Les flèches indiquent le sens du mouvement des organes pour la montée du pantographe.

Fig. 33. — Frotteurs du 3e rail (palettes en position de travail).

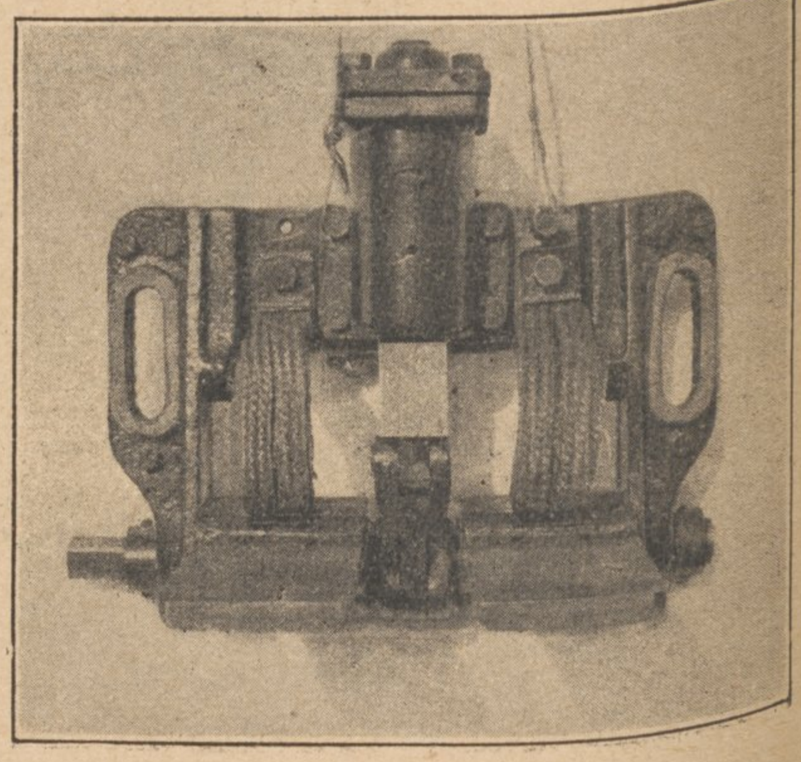


TABLEAU IV. — COMPRESSEURS D'AIR A 1.500 VOLTS

TYPE	C.P. 60	Cb 4	CP. 32	G.C. 4
Machines auxquelles ils sont appliqués	Automotrices Locomotives BB 1-80 BB 201-240	Locomotives E_{BB} 401 à 180	Locomotive 2CC2 601	Locomotives 2D2 501-502 2D2 401-402
Nombre de cylindres	2	2	2	2
Diamètre des cylindres	140	150	BP 246 HP 138	130
Course des pistons	176	150	234	140
Déplacement théorique en litres par minute	1.265	1.450	2.120	1.953
Pression de refoulement	7	7	10	8
Mode de transmission	Engrenages $\frac{79}{14}$	Engrenages $\frac{103}{18}$	Engrenages $\frac{73}{16}$	Attaque directe
Vitesse linéaire des pistons	1 *m*,37	1 *m*,30	1 *m*,75	2 *m*,10
Nombre de tours compresseurs	234	273	225	525
Nombre de tours moteurs	1.320	1.550	915	525
Puissance unihoraire	12 *ch*	9,5 *ch*	17,5 *ch*	10,8 *ch*
Nombre de pôles	4	2	4	4
Dimensions du groupe — longueur	1.200	965	1.335	1.085
Dimensions du groupe — largeur	845	860	1.297	900
Dimensions du groupe — hauteur	615	675	908	745
Poids du groupe	695	600	1.565	730

TABLEAU V. — GROUPES MOTEURS-VENTILATEURS

Type du moteur	Cy 75	7 C	DK 55	Cy 67	G 230/4	EB $\frac{200 \times 155}{4}$
Type du ventilateur	Sturtevant	SV 4	Sirocco	Sturtevant	BBC	—
Locomotives correspondantes	E_{BB} (1 à 80)	E_{BB} (101 à 180)	E_{BB} (201 à 240)	2CC2 (601)	2D2 (501-502)	2D2 (401-402)
Nombre de ventilateurs par groupe	1	1	1	3	2	1
Nombre de groupes par locomotive	2	2	2	2	2	2
Puissance absorbée en chevaux — Par groupe	8,2	11,3	17,5	22	20	20
Puissance absorbée en chevaux — Par locomotive	16,4	22,6	35	44	40	40
Puissance utile du moteur *ch*	5,5	9	14	17,3	16	16
Puissance absorbée par moteur de traction en chevaux	4,1	5,65	8,75	7,3	10	10
Tension sur le moteur	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	110
Résistance en série avec le moteur	0	0	13	0	12	0
Tours par minute	1.970	1.650	1.956	1.700	2.400	1.500
Nombre de pôles	2	2	2	2	4	4
Poids du moteur en *kg*	425	305	450	605	260	216
Débit du ventilateur en m^3 par minute	80	140	110	110	120	250
Pression de refoulement du ventilateur en m*m* d'eau	140	135	280	90	125	80
Puissance de la locomotive (unihoraire) en chevaux	1.600	1.720	1.500	3.000	3.800	3.660
Pourcentage de la puissance absorbée par les ventilateurs %	1,3	1,31	2,33	1,47	1,05	1,09

TABLEAU VI. — PANTOGRAPHES

Constructeur	Société d'Études		Faiveley	Société Oerlikon
Type	S 501 A avec cornes	S 1002 Z sans cornes	POF 1 sans cornes	N° 3 avec cornes
Mode de levage	Air comprimé	Air comprimé	Air comprimé	Air comprimé
Hauteur maximum développée	3.515	2.920	3.077	3.222
Hauteur maximum de travail	3.266	2.790	2.294	2.782
Hauteur minimun de travail	0.516	0.660	0.577	0.498
Course totale	3.075	2.490	2.600	2.724
Encombrement de l'appareil rabattu — Hauteur avec isolateur	0.440	0.430	0.477	0.498
Encombrement de l'appareil rabattu — Largeur du bâti	1.905	2.300	1.886	1.600
Encombrement de l'appareil rabattu — Longueur	4.760	3.900	4.060	4.320
Pression moyenne à la montée	10 kg	14 kg	10	11,800
Pression moyenne à la descente	16 kg	18 kg,700	12	12,800
Poids avec isolateurs	515 kg	564 kg	500 kg	725 kg

ÉLECTRIFICATION PARTIELLE DU RÉSEAU

DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS

Par M. PARODI,

DIRECTEUR HONORAIRE DES SERVICES D'ÉLECTRIFICATION,
INGÉNIEUR CONSEIL DE LA COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS.

(Suite et Fin) (1).

UTILISATION DE L'ÉNERGIE (*Suite*)

Automotrices

Le service de banlieue est assuré au départ de Paris, quai d'Orsay ou Austerlitz, sur le réseau de la Compagnie d'Orléans, au moyen de rames automotrices reversibles, constituées soit avec du materiel ancien, soit avec du matériel neuf à bogies. Nous ne nous occuperons ici que du matériel neuf qui permet de former des trains de composition homogène, les remorques neuves, entièrement métalliques, ayant les mêmes dimensions générales, le même mode de construction et le même aspect extérieur que les voitures motrices.

Dès maintenant, on peut former, avec les 80 automotrices et les 80 remorques commandées, une trentaine de rames automotrices, dont une douzaine sont de constitution homogène.

En principe, une rame homogène est formée par l'accouplement de une, deux ou trois unités motrices comprenant chacune une automotrice et deux remorques. Le train automoteur comprend trois unités aux heures d'affluence et deux pendant les heures de faible trafic. Un train à deux unités, assurant le service entre Paris et Brétigny, peut être décomposé, en ce point de bifurcation, en deux trains d'une seule unité se dirigeant l'un vers Dourdan, l'autre vers Etampes. Inversement, deux trains d'une seule unité, venant de Dourdan ou d'Etampes, peuvent être soudés à Brétigny pour former un train de deux unités en direction de Paris.

Le tableau ci-après donne, pour les deux types de rames homogènes considérées, les caractéristiques générales de formation, nombre de places assises et debout, poids, longueur, ainsi que le poids par place assise ou offerte. Une unité ayant une capacité d'environ 360 places assises et debout, la capacité des rames homogènes est donc d'environ 940 et 1.466 places suivant le nombre d'unités.

(1) Voir *Revue Générale*, Nos de Novembre et Décembre 1925, Février, Mars, Avril, Août et Septembre 1926, Janvier, Mars, Avril Juillet, Août et Octobre 1927.

RAMES AVEC REMORQUES MÉTALLIQUES

Nombre d'unités	TYPE de véhicules	Nombre de véhicules	NOMBRE DE PLACES							Poids à vide		Longueur	
			1re classe		2e classe		3e classe		Total	por voiture	total	par voiture	totale
			Assis	Debout	Assis	Debout	Assis	Debout					
										t	*t*	*m*	*m*
2	Automotrice	2					164	122	286	65.1	130,2	21,1	42,2
	Mixte	2	48	42	124	84			298	37,7	75,4	21,1	42,2
	3e classe	2					200	156	356	36,2	72,4	21,1	42,2
			48		124		64		940		278,0		126,6
3	Automotrice	3					256	200	456	65,1	195,3	21,1	63,3
	Mixte.....	2	48	42	124	84			298	37,7	75,4	21,1	42,2
	3e classe	4					400	312	712	36,2	144,8	21,1	84,4
			48		124		656		1.466		415*t*5		189*m*9

Rame à 2 unités.	Rame à 3 unités.
Poids par place assise ..... $\frac{278}{536} = 515$ kg	$\frac{415,5}{328} = 500$ kg
Poids par place offerte..... $\frac{218}{940} = 295$ kg	$\frac{515,5}{1.466} = 284$ kg

Description générale des automotrices. — Les automotrices Z C⁹ Eyp 23.101 à 23.180 sont montées sur deux bogies à deux essieux moteurs. Elles sont munies de quatre moteurs à courant continu, à self ventilation, ayant une puissance unihoraire de 247 *ch* et une puissance continue de 190 *ch*.

Les deux moteurs de chaque bogie, bobinés chacun pour la tension de 675 volts, sont connectés constamment en série, les deux groupes ainsi formés peuvent être couplés en série pour le démarrage et la marche à demi-vitesse, en parallèle pour la marche à pleine vitesse. Une prise spéciale ménagée sur les bobines de champ des moteurs permet de réduire le nombre de tours inducteurs de 46 %, de manière à avoir deux régimes de marche économique en parallèle. Chaque moteur attaque l'essieu correspondant, muni de roues de 1,100 de diamètre au cercle de roulement, au moyen d'un train d'engrenages de rapport de réduction de $\frac{70}{21} = 3,33$ (1).

Les automotrices sont munies de train control pneumatique type PC de la General Electric Cº, à démarrage entièrement automatique et à arbre à cames. Un groupe moteur générateur, d'une puissance continue utile de 3,6 k*w* fournit le courant continu à la tension de 72 *V* nécessaire pour l'éclairage et la commande des électrovalves d'asservissement des servo-moteurs à air comprimé du système de contrôle. L'air nécessaire pour la manœuvre de ces servo-moteurs, la commande des freins, des pantographes et des frotteurs est fourni par un compresseur d'air, type CP 60, entraîné par un moteur à 1.500 *V*, d'une puissance d'environ 12 *ch*.

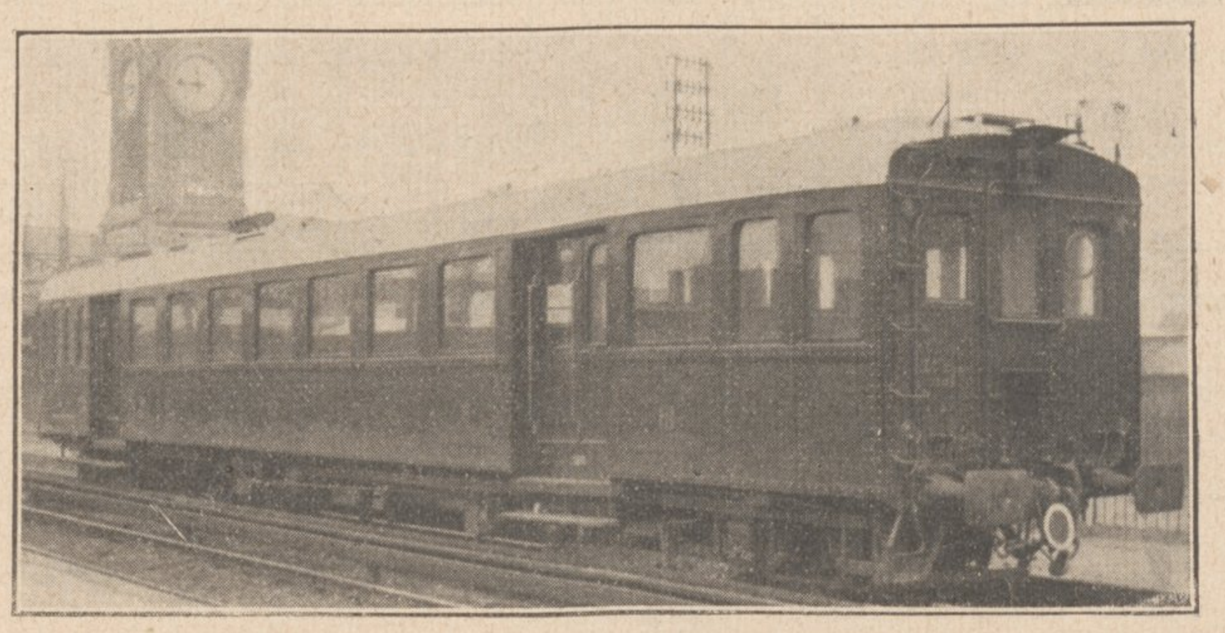
Le chauffage de la rame est assuré au moyen de radiateurs à ailettes spécialement étudiés pour pouvoir fonctionner à la tension de 1.500 volts.

---

(1) Dans la période transitoire, pendant laquelle les rames nouvelles de banlieue ont été alimentées à 650 *V* entre Paris et Juvisy, par les installations fixes anciennes, dix automotrices ont été munies d'un rapport d'engrenage de 2.25=$\frac{63}{25}$ pour compenser en partie la chûte de vitesse correspondant à la réduction de tension,

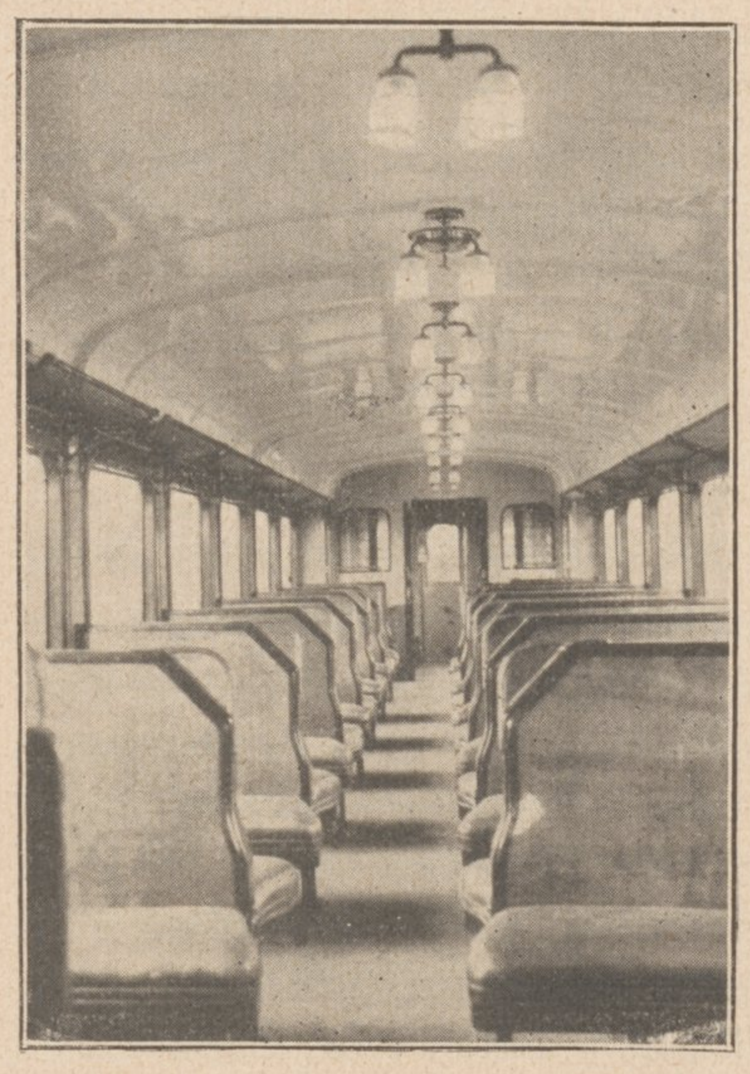
Les figures 1 et 2 montrent l'aspect intérieur et extérieur des automotrices en question.

Fig. 1.



Caractéristiques principales des automotrices.

Fig. 2.



Longueur entre tampons		21 *m*, 100
Longueur de la caisse		19 *m*, 900
Hauteur du plancher au-dessus de la voie de roulement (voitures vides à bandages neufs)		1 *m*, 280
Hauteur du plancher au-dessus des rails.		1 *m*, 280
Hauteur totale de la toiture		3 *m*, 770
Diamètre des roues motrices		1 *m*, 100
Empatement total		16 *m*, 300
Empatement rigide d'un bogie		2 *m*, 600
Poids des deux bogies 2 × 9 *t*, 250	*t* 18.500	
Poids des quatre moteurs 4 × 3 *t*, 120	12.480	
Poids de l'équipement électrique, câblage, etc	7.000	
Poids de la caisse et accessoires	26.020	
Poids total	*t* 64.000	
Nombre de moteurs		4
Type des moteurs à self ventilation		GE 277

Caractéristiques de marche normale des moteurs de traction aux régimes unihoraires et continus définis par un échauffement de 120° c.

		champ min.	champ max.
Régime unihoraire . E = 1.350 v.	Puissance en *ch*	1.040	860
	Effort de traction en k*g*	6.400	6.620
	Vitesse en k*mh*	43,8	35
	Intensité de courant en *A*	640	
Régime continu.... E = 1.350 v,	Puissance en *ch*	800	640
	Effort de traction en k*g*	4.320	4.440
	Vitesse en k*mh*	50	39,1
	Intensité de courant en *A*	492	

Poids d'un moteur sans engrenages ..... 2.850 k*g*

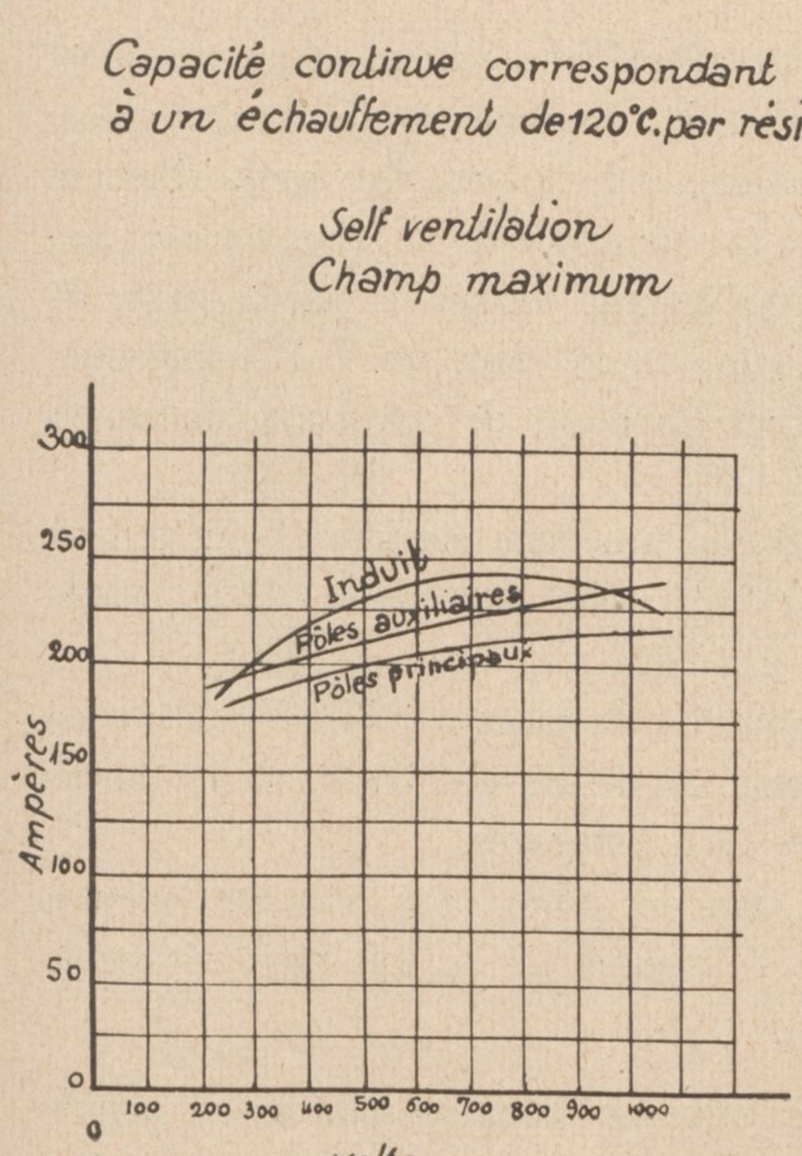
— — avec engrenages ..... 3.120 k*g*

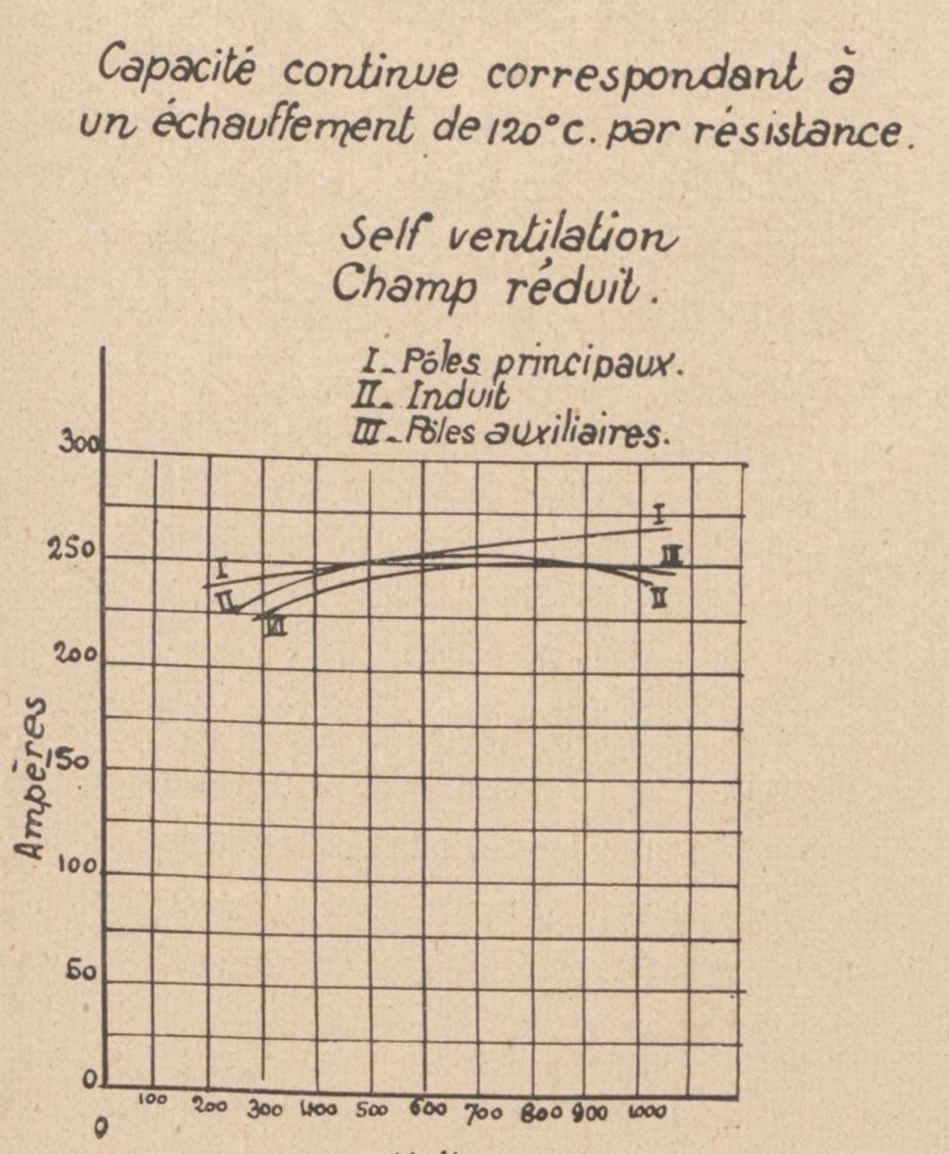
Poids par *ch* de puissance unihoraire ..... $\frac{3.120}{260} = 12$ k*g*

Poids par *ch* de puissance continue ..... $\frac{3.120}{200} = 157$ k*g*

La figure 3 donne en fonction de la tension d'alimentation la capacité de fonctionnement pour un échauffement de 120° à champ maximum et à champ réduit.

Fig. 3.





Caisses. — Les automotrices ZC⁹ Eyp sont composées d'une caisse et d'un châssis entièrement métalliques.

La caisse est intimement liée aux brancards du châssis qui règnent d'un bout à l'autre de la machine, par l'intermédiaire de consoles en acier moulé. Les traverses de tête et de pivot sont également en acier moulé.

Ces machines sont munies d'appareils de choc et de traction du type de 70 *t* avec balancier assurant le contact des tampons dans les courbes. Elles sont pourvues du frein Westinghouse à action rapide avec triple valve perfectionnée combiné avec un frein manœuvrable à la main agissant sur le bogie avant ainsi que de l'intercommunication pneumatique pouvant être actionnée par une série de boutons d'appel disposés sur les parois longitudinales des voitures à la portée des voyageurs.

Les tôles des parois extérieures ont 3 m*m* d'épaisseur et sont étamées sur leurs deux faces. Leur fixation sur l'ossature de la caisse est faite au moyen de rivets apparents.

Pour la constitution du pavillon, des tôles d'alliage léger de 2 m*m* d'épaisseur ont été utilisées en vue de réduire la tare. Dans le même but, le panneautage intérieur, à l'exception toutefois de celui du fourgon, a été constitué par des tôles d'aluminium de 1 m*m*,5 d'épaisseur maintenues par des vis sur des tasseaux en bois eux-mêmes boulonnés sur la charpente.

Le plancher est en tôle ondulée garnie de « terrazolith ». Toutes les parois, sauf le plancher, ont reçu l'application de revêtements isolants contre le froid et la chaleur.

La montée dans l'automotrice se fait par des escaliers à deux marches disposés devant deux plateformes spacieuses ; ces escaliers permettent de desservir à la fois des quais bas ordinaires et les quais demi-hauts existant dans certaines gares. L'accès sur les plateformes a lieu par de larges portes battantes développant à l'intérieur et dans les compartiments extrêmes par des portes coulissantes à deux vantaux.

Le fourgon a été disposé de manière à pouvoir être affecté non seulement au transport des bagages mais aussi à celui des voyageurs et, à cet effet, il a été muni de sièges rabattables.

La cabine de manœuvre est disposée dans ce compartiment et, elle peut être éventuellement occupée par les voyageurs lorsqu'elle n'est pas utilisée à la commande de la rame. Dans ce cas, les appareils de manœuvre sont isolés et placés hors d'atteinte du public par la porte de cabine rabattue sur la face avant. A l'arrière de l'automotrice, dans un réduit analogue, également fermé par une porte battante, sont placés les appareils de commande indispensables aux manœuvres dans les gares et dépôts.

Dans le grand compartiment central les banquettes, à garnissage élastique, sont à deux places d'un côté du passage et à trois places de l'autre côté ; elles sont toutes à deux places dans le compartiment-fumeurs.

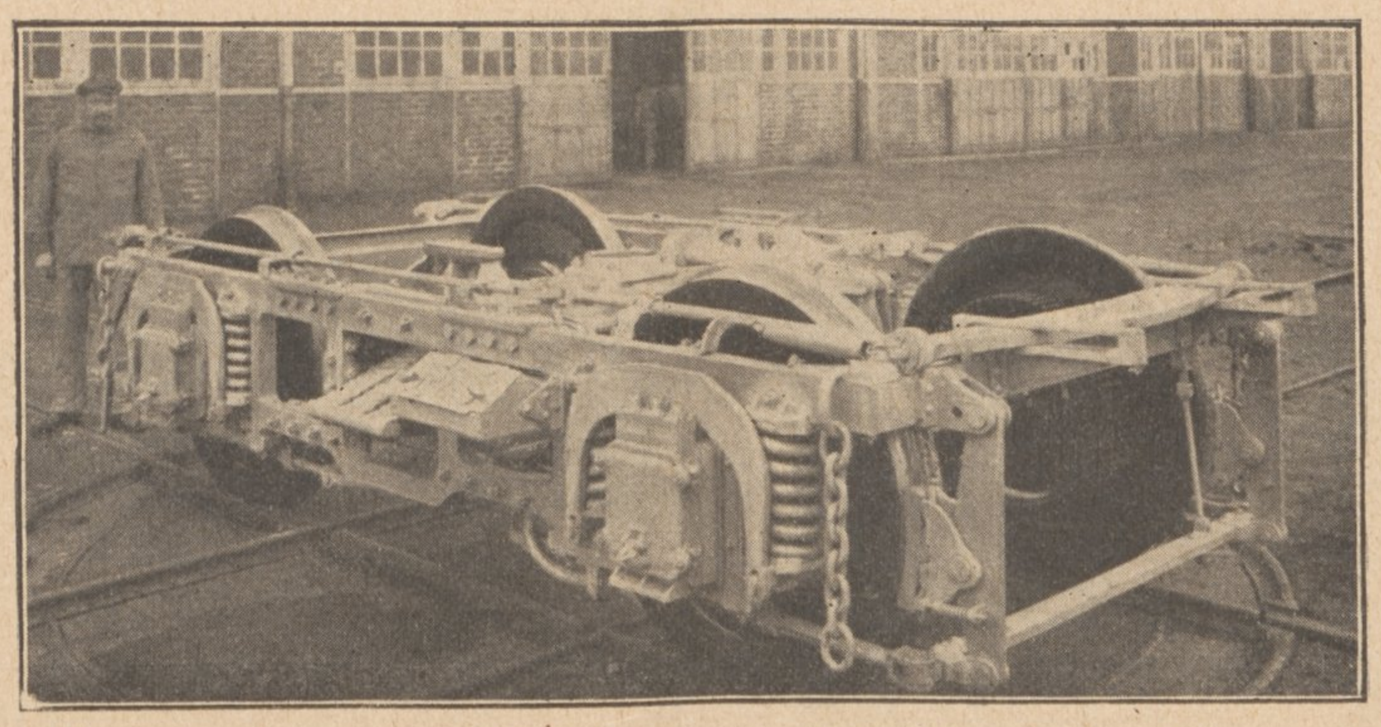
Toutes les baies, hormis celles des portes, ont été pourvues de glaces équilibrées au moyen d'équilibreurs à ressorts et munies de stores à rouleau. Au-dessus des baies, sur les parois longitudinales, sont installés les supports en bronze des filets à bagages.

L'intercirculation de service est également prévue dans les rames, des crampons montés sur les faces extrêmes des automotrices permettent de monter sur le toit pour visiter le pantographe et son fusible.

Bogies. — Le bogie est du type à deux essieux avec traverse danseuse centrale et double balancier. Il comporte une double suspension constituée par six couples de ressorts à pincettes

sur lesquels repose la traverse dansense et par huit ressorts en hélice supportant les longerons, au droit de chacune des boîtes d'essieu, par l'intermédiaire des double balanciers. La flexibilité de l'ensemble de la suspension est de 4 m*m* environ par tonne. La figure 4 donne une vue d'ensemble du bogie.

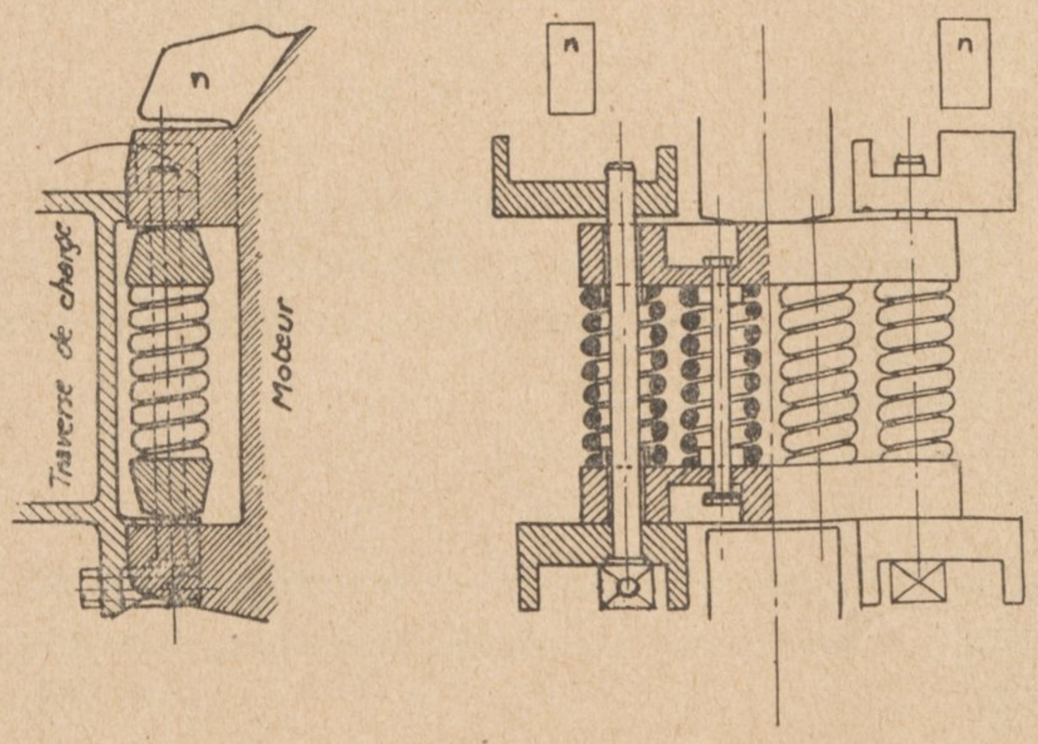
Fig. 4.



La charpente du bogie est constituée par deux longerons, en tôle d'acier de 70 m*m* d'épaisseur découpée au chalumeau, sur lesquels viennent s'assembler, au moyen de boulons de fort diamètre, emmanchés à force, les traverses de tête et les moulages de la traverse de charge.

La suspension élastique du moteur (Fig. 5) a été réalisée au moyen de quatre ressorts en hélice solidarisés par des boulons à deux plaques sur lesquelles s'appuient les nez du moteur, ces plaques sont elles-mêmes reliées à la traverse de charge du bogie par deux tiges verticales. Il suffit, par conséquent, pour dégager le moteur du bogie, de laisser tomber ces deux tiges. et de faire glisser latéralement l'ensemble élastique formé par les ressorts et leurs plaques.

Fig. 5.



Les boîtes d'essieux rappellent la boîte « standard » américaine type M.C.B. à cette différence près qu'elles comportent uu tampon graisseur, et leurs dispositions sont telles qu'il est facile de les retirer en bout de l'essieu par simple démontage de leurs glissières.

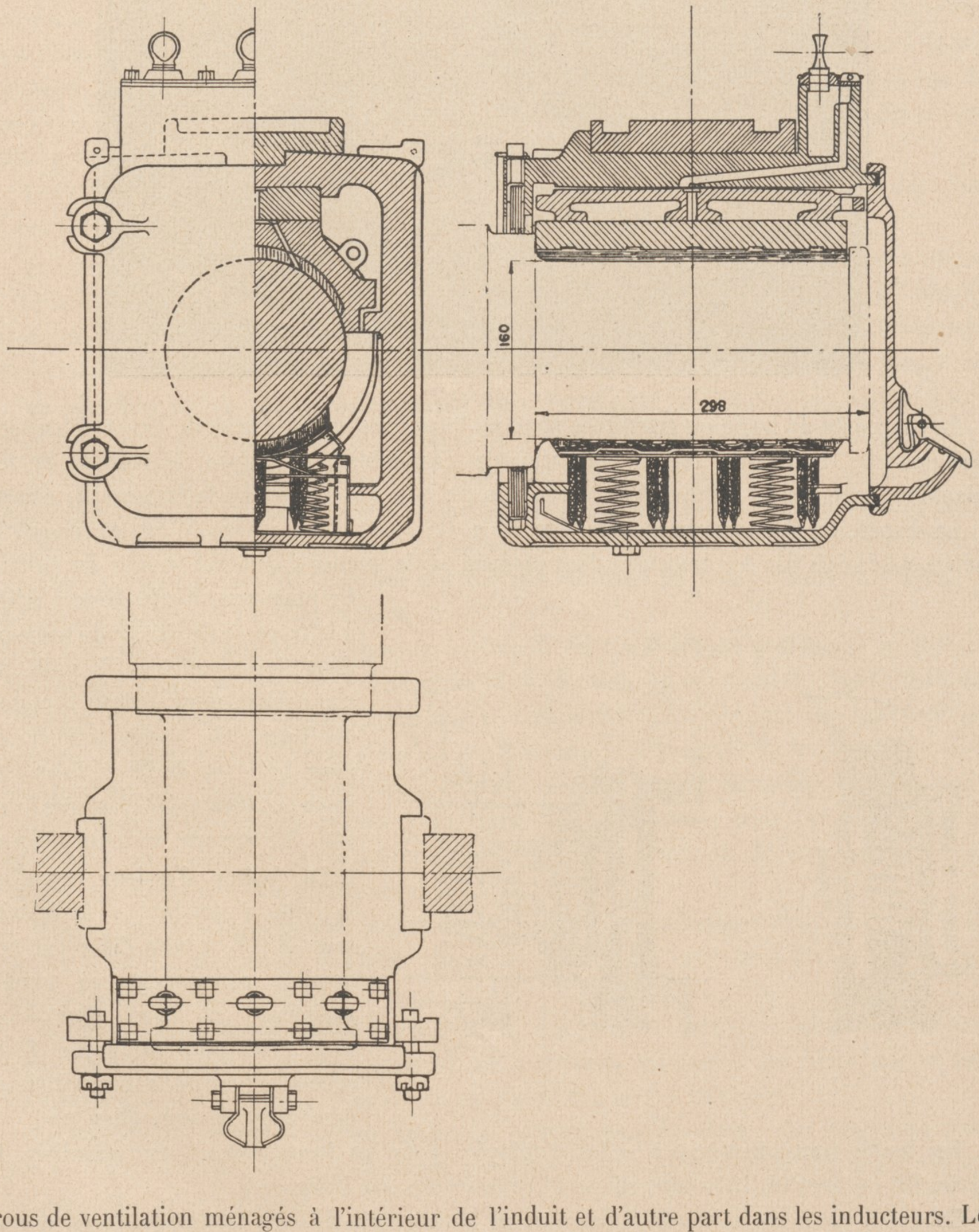
Ces boîtes sont identiques à celles employées pour les locomotives à marchandises des séries BB 1 - 80 et BB 101 - 180, elles sont représentées sur la figure 6.

Chaque bogie porte deux sabots par roue et la timonerie de frein est disposée pour donner une pression uniforme sur toutes les roues. La pression totale exercée sur les sabots atteint 90 % du poids adhérent.

Moteurs de traction GE 277. — La figure 7 donne les dimensions générales des moteurs de traction et des essieux montés correspondants.

Ces moteurs sont tétrapolaires ; ils sont munis de pôles de commutation : un ventilateur double placé du côté opposé au collecteur aspire l'air frais pour l'envoyer d'une part dans les

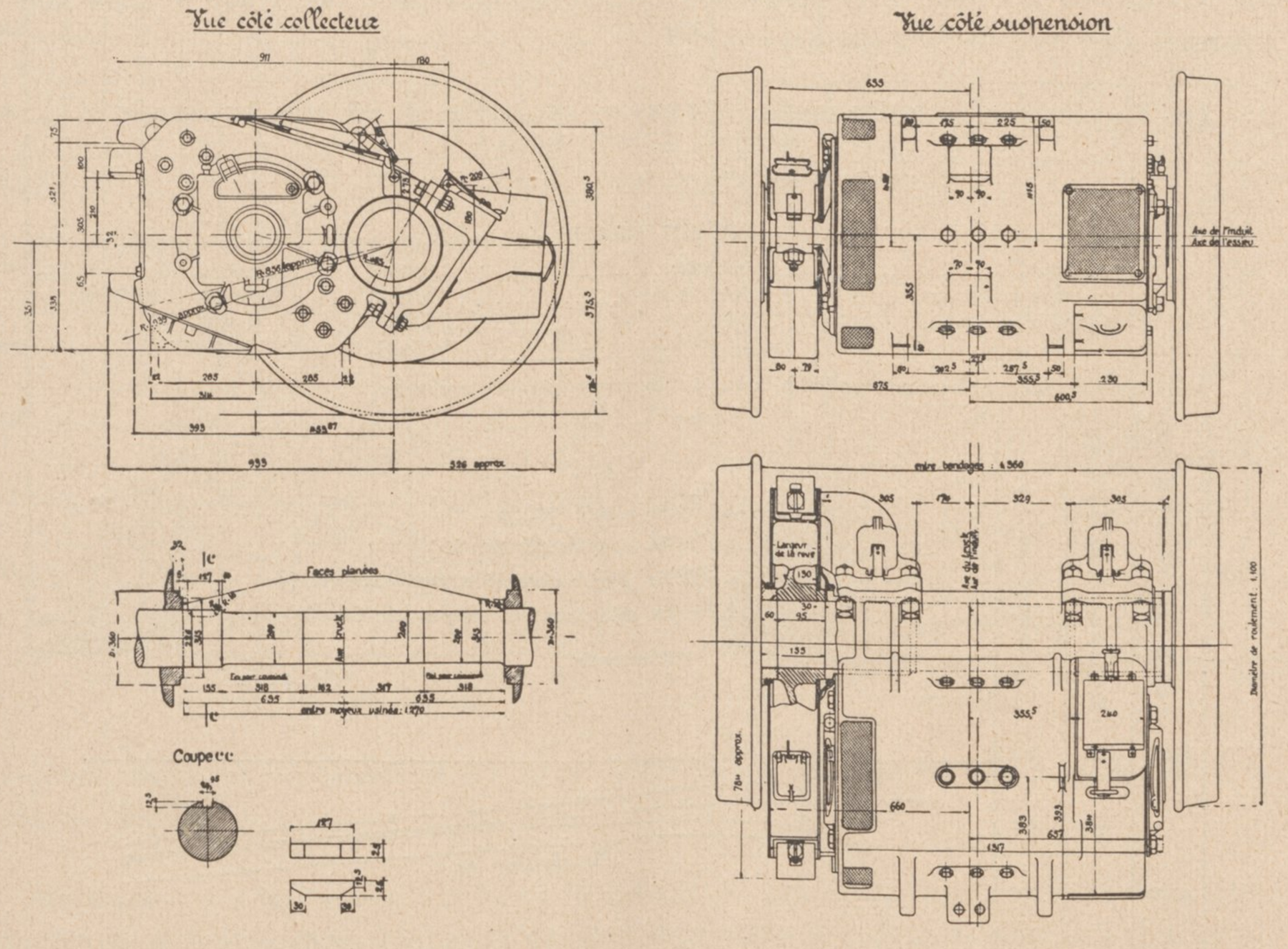
Fig. 6. — Boite à huile.



trous de ventilation ménagés à l'intérieur de l'induit et d'autre part dans les inducteurs. Les caractéristiques générales de construction de ces moteurs ayant été données antérieurement dans le même tableau que celles des moteurs de locomotive, nous n'y reviendrons pas ici.

Ces moteurs ont donné aux essais des puissances notablement supérieures aux garanties : 16 % de plus pour la puissance unihoraire, 10 % de plus pour la puissance continue, ces puissances étant déterminées pour un échauffement, mesuré par résistance, de 120° C.

Fig. 7. — Moteur de traction a courant continu type GE. 277 de la compagnie française Thomson-Houston.



Pour les moteurs à self ventillation, le débit de l'air croissant à peu près proportionnellement à la vitesse (1), la puissance continue doit croître avec la tension d'alimentation, les essais ont montré que toujours pour l'échauffement de 120° C la puissance coutinue était de :

78 *ch*	à	300	volts	soit 40 k*g-ch*
200 »	à	675	»	» 15,7 »
230 »	à	900	»	» 13,6 »

En bouchant les orifices de ventilation placées à la partie inférieure du moteur on ramène la puissance continue à 182 *ch*, puissance encore supérieure de 10 % à la puissance garantie de 167 *ch*.

Commutation. — Les limites de commutation du moteur ont été déterminées :

a) A tension constante de 675 *V* en chargeant progressivement le moteur à champ réduit, la commutation est parfaite jusqu'à 450 *A* (deux fois l'intensité continue) les étincelles apparaisent à 500 *A* pour devenir assez violentes à 600 *A* (2,7 fois l'intensité continue).

(1) A 700 tours le débit du ventilateur est d'environ 11 *m*,3 par minute, la puissance absorbée pour la ventilation étant de 0,3 % de la puissance du moteur à cette vitesse.

A champ maximum, la commutation est meilleure qu'à champ réduit et, pour un courant égal à trois fois le courant de régime continu, on aperçoit à peine quelques étincelles.

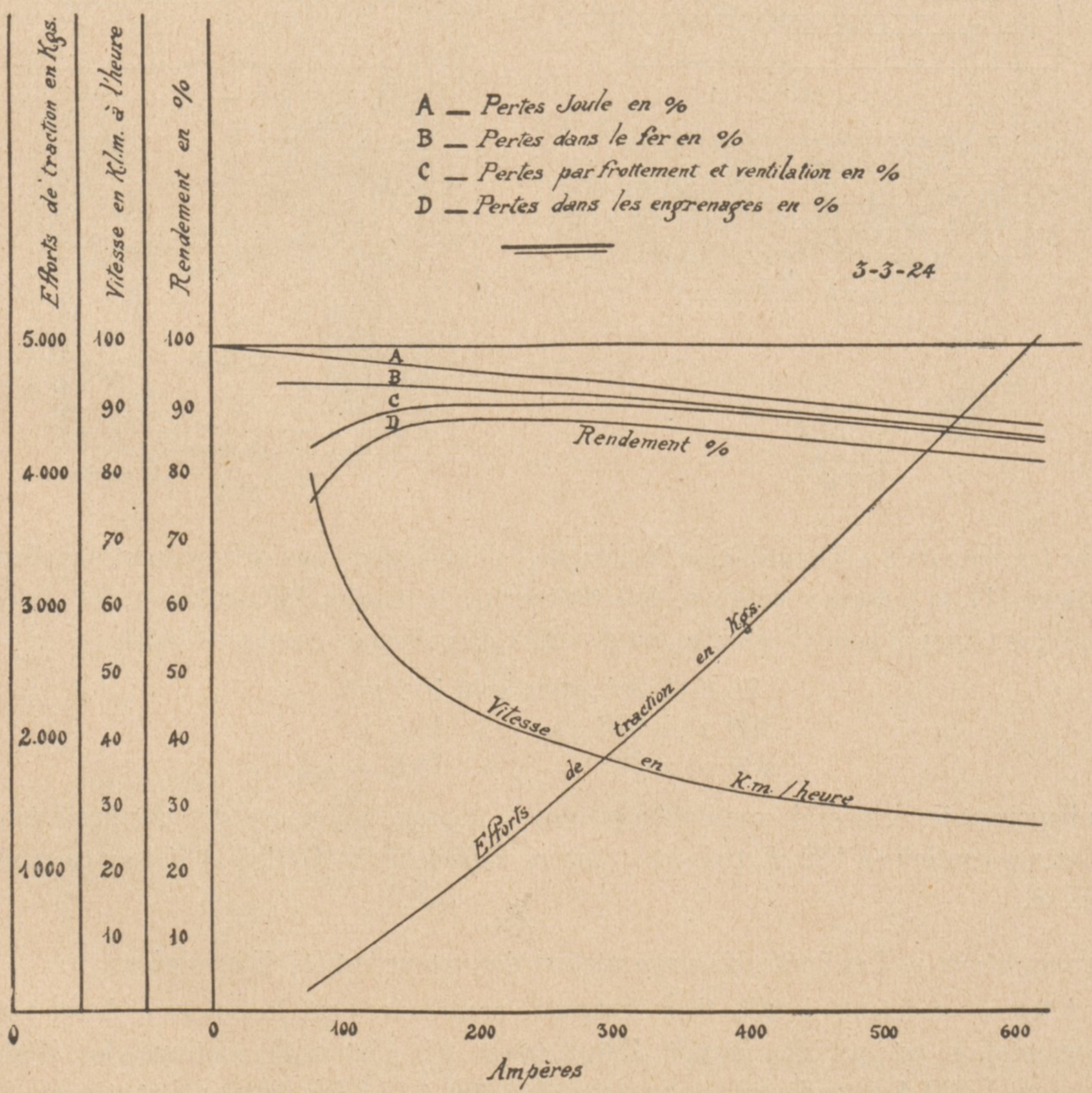
b) A intensité constante d'environ 290 *A* (intensité un peu supérieure à la puissance unihoraire garantie) et à tension variable, la tension ayant été progressivement augmentée jusqu'à 1.400 *V* (environ deux fois la tension normale) la vitesse atteignant alors 1.520 tours par minute, on n'a observé la production d'étincelles qu'à partir de 1.200 *V* mais sans amorçage d'arc au collecteur (flash).

Fig. 8. — Courbes caractéristiques des vitesses, des efforts de traction, du rendement moteur G. E. 277 750/500 *V*

Rapport d'engrenages 70/21, Roues 1 *m* 100.

PLEIN CHAMP		Résistance 25° c.	Résistance 75° c.
Induit	3.000.033	0,05407	0,06445
Pôles principaux	3.000.592-3-4-5	0,04333	0,0516
Pôles auxiliaires	3.002.001-2	0,01999	0,02385
	Total	0,11730	0,1399

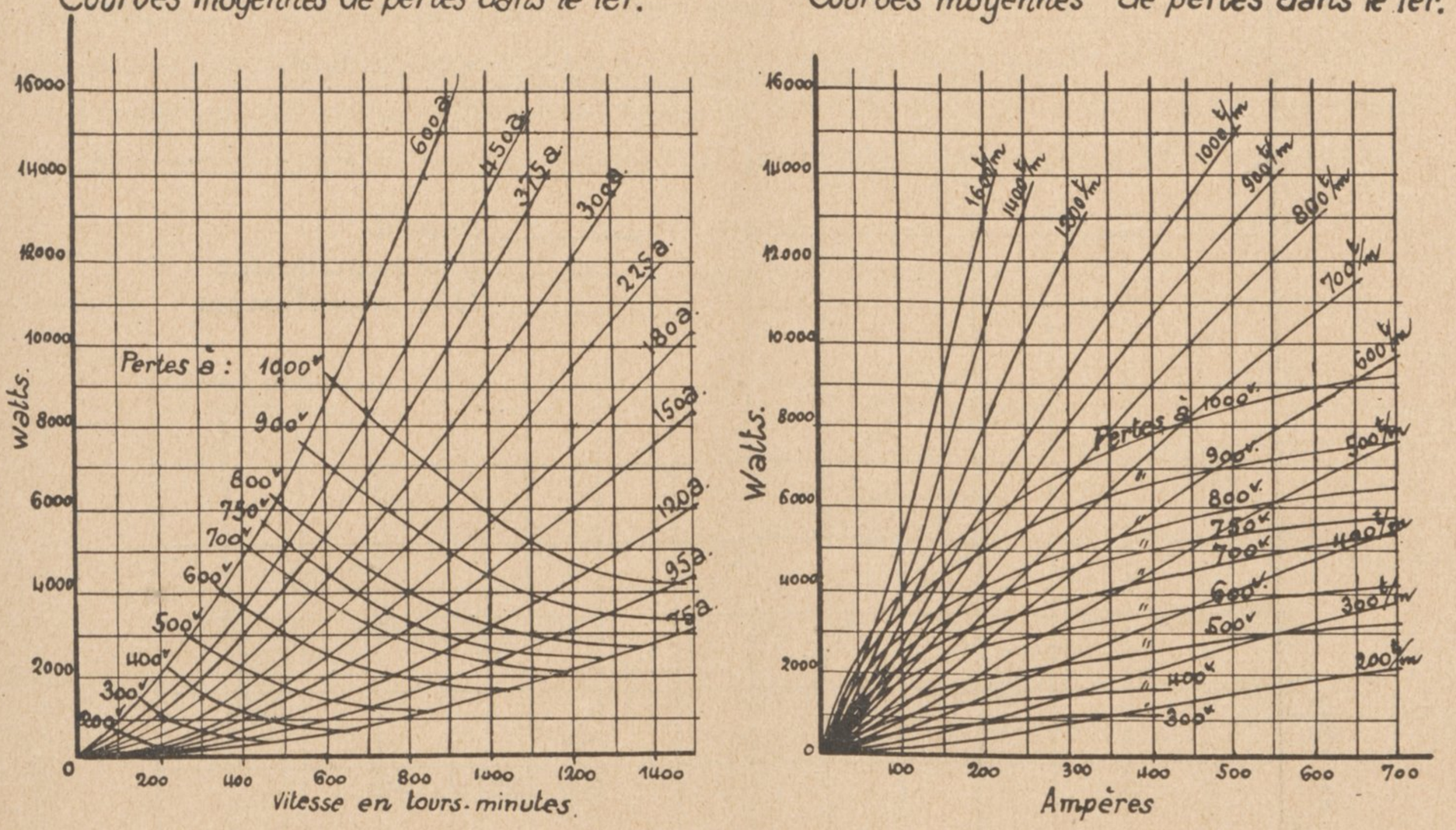
Chute de tension dans les balais : 3 volts quelle que soit la charge.



La figure 8 donne les caractéristiques des efforts de traction, vitesse, pour une automotrice complète à quatre moteurs G E 277, à 675 *V* moyen par collecteur.

Pertes. — Les courbes représentées sur la figure 9 donnent les pertes dans le fer du moteur en question, en fonction de la vitesse et de l'intensité du courant ou de la tension, ainsi que les

Fig. 9. — Moteur G.E. 277.



régimes divers correspondant à un même échauffement de 120° à champ maximum et à champ réduit.

Impédance.— Les courbes de la figure 10 donnent les valeurs de l'impédance des différentes parties du moteur pour les fréquences de 40 et 60 périodes et différentes valeurs de l'intensité.

Echauffement des paliers. — Après un essai de marche de six heures au régime de 675 *V* 205 *A* les échauffements suivants ont été relevés :

Palier.....	Côté pignon	Côté collecteur
	—	—
Laine.....	95°	45°
Huile réservoir à laine.....	48°	28°
Huile réservoir auxiliaire.....	68°	
Consommation d'huile rapportée à un parcours de 100 km.	370 *gr*	220 *gr*

Groupes moteurs-générateurs.

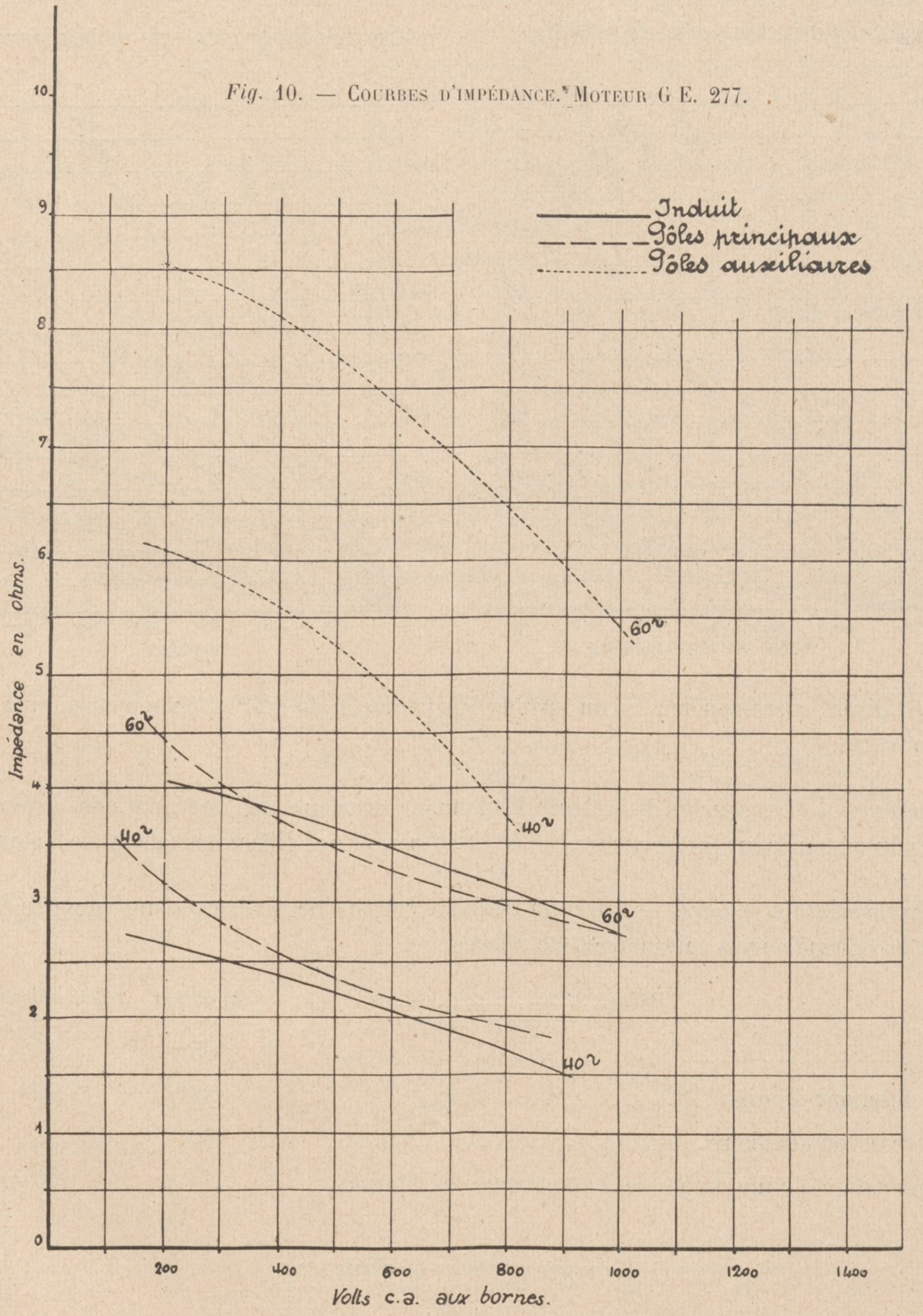
Les groupes moteurs-générateurs 1500/72 *V* comprennent essentiellement :

a) Un moteur à 1.500 *V* entièrement compensé, dont l'induit porte deux enroulements distincts aboutissant chacun à un collecteur placé, le premier, d'un côté de l'induit et, le second,

de l'autre côté. Ces deux induits peuvent être placés en série pour la marche à 1.500 *V* ou en parallèle pour la marche à 750 *V* ;

b) Une génératrice à courant continu shunt à pôles auxiliaires de commutation bobinée

Fig. 10. — Courbes d'impédance. Moteur G E. 277.

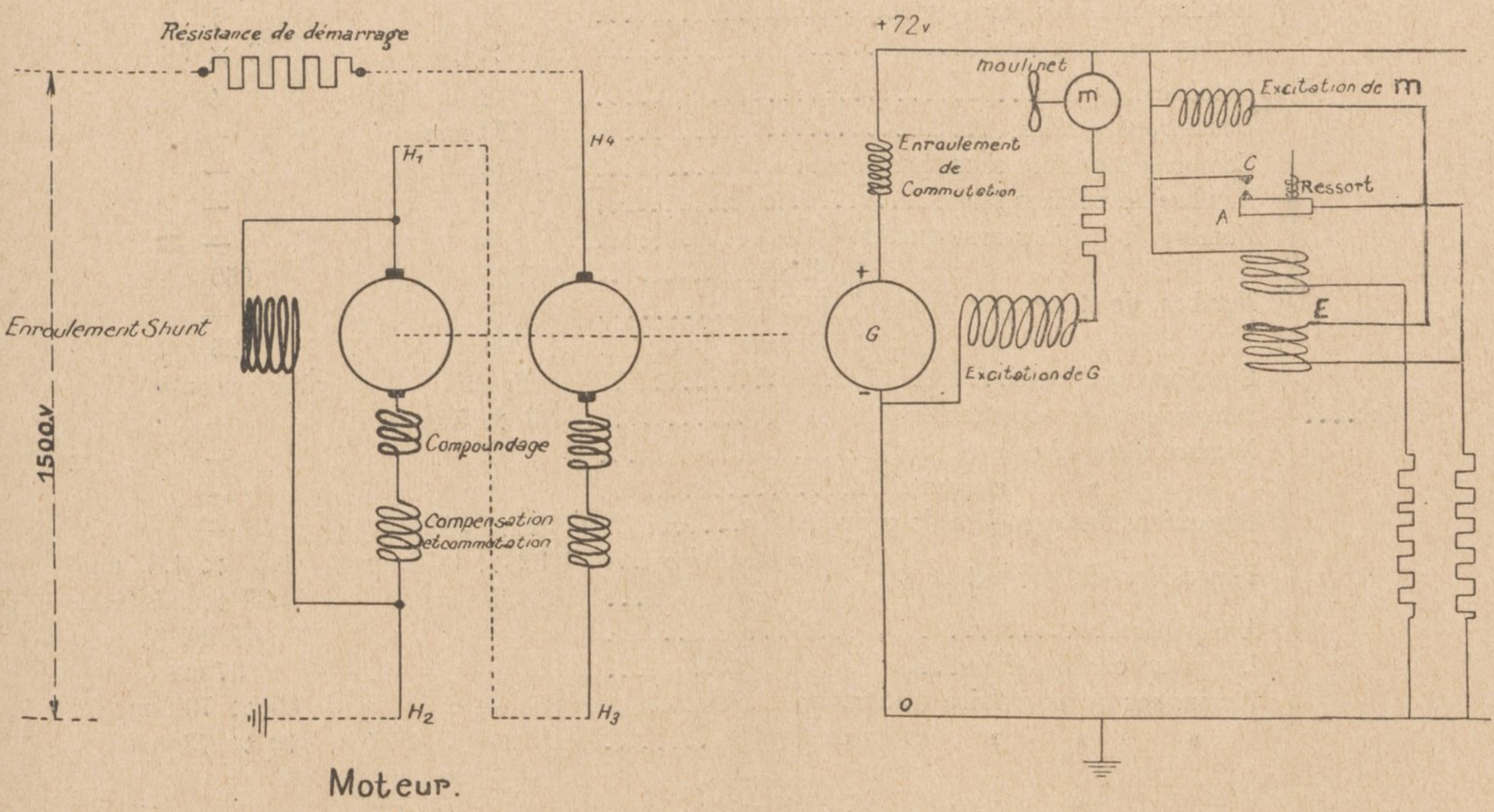


pour la tension de 72 *V*. La tension aux bornes du groupe est maintenue pratiquement constante au moyen d'un dispositif de réglage spécial comprenant essentiellement un petit

moteur shunt dont l'induit est placé en série avec l'enroulement shunt de la génératrice et dont l'inducteur est branché aux bornes de la génératrice avec interposition d'une forte résistance.

La vitesse de ce petit moteur (Fig. 11) est limitée par un moulinet placé en bout d'arbre. La tension aux bornes du petit moteur varie suivant qu'il est excité ou non, cette mise en circuit ou hors circuit de son excitation est effectuée par l'armature A du relais E. Ce relais et son armature oscillante constituent un régulateur genre Tirill simplifié. Le relais E est muni de deux enroulements : *le premier,* branché aux bornes de la génératrice à 72 *V*, est pacoruru

Fig. 11. — Schéma des connexions. Groupe R.M.G. 109.



Nota : Le trait pointillé représente les connexions à effectuer pour la marche à 1500 volts.

par une tension à peu près exactement proportionnelle à la tension de cette génératrice ; *le second*, enroulé en sens inverse et branché en série avec l'enroulement inducteur du petit moteur, facilite le mouvement de l'armature A et stabilise la tension en réduisant l'écart entre les tensions correspondant à l'ouverture et à la fermeture de A.

Les essais effectués ont montré que ce groupe est susceptible de fournir une puissance de 3,6 k*w* pour un échauffement de 55° C mesuré par résistance, la puissance garantie étant de 3 k*w*.

Dans le tableau ci-après sont rassemblées les données principales de construction du groupe en question.

Moteur-générateur.

		Moteur	Générateur
Induit....	Diamètre	240 mm	195 mm
	Longueur de noyau	120 mm	73 mm
	Nombre d'encoches	31	27
	Dimensions d'une encoche	8,8 × 39,7 mm	8,55 × 22,5 mm
	Bobines par encoche	4	3
	Nombre de tours par bobine	7	2
	Dimensions du conducteur	1,25 × 0,63 mm	1,9 × 3,42 mm
	Pas de la bobine encoche	1/16 multiple	1 à 8
	Ventilation par ventilateur Entrefer moyen	2 mm	2 mm
Collecteurs (deux)	Diamètre	215 mm	190 mm
	Nombre de lames	124	81
	Epaisseur mica	0,75 mm	0,85 mm
	Nombre de lignes de balais	2	2
	Nombre de balais par ligne	1	1
	Dimensions d'un balai	10 × 15	13 × 50
Stator....	Nombre de pôles	2	4
	Diamètre des tôles	440 mm	—
	Nombre de bobines shunt par pôle	4	—
	Nombre de bobines série	1	—
	Nombre de bobines commutation	5	—
	Nombre de tours par bobine — Shunt	1900	650
	Nombre de tours par bobine — Série	57	—
	Nombre de tours par bobine — Commutation	96	25
	Enroulement réparti	réparti	pôles saillants
	Dimensions des encoches excitation	23 × 54 mm	—
	Nombre d'encoches excitation	7	—
	» » commutation	1	—
	Dimensions des encoches de commutation	52 × 54 mm	—
	Dimensions du conducteur — Enroulement shunt	0,32 × 0,52 mm	1,4 × 1,6 mm
	Dimensions du conducteur — » série	1,9 mm	0,38 × 0,59 mm
	Arc polaire	—	66 2/3 %
	Longueur corde polaire	—	97 mm
	Dimensions noyau polaire (excitation)	—	60 × 73 mm
	» » » (commutation)	—	19 × 73 mm

Système de commande de la marche en traction.

Dispositions générales. — Comme nous l'avons indiqué plus haut, la traction est assurée par quatre moteurs groupés constamment par deux en série, ces groupes pouvant être couplés en série ou en parallèle.

La figure 12 donnant le schéma général des connexions du circuit de puissance montre que le démarrage s'effectue en fait en 13 phases successives bien qu'à chacune d'elles, ne corresponde pas, comme nous le verrons plus loin, une position du contrôleur de manœuvre, le passage d'un cran au suivant s'effectuant automatiquement pour les crans 1 à 7 ou 8 à 13, sans intervention du mécanicien.

La figure 13 montre comment varient la vitesse et l'effort de traction pendant le démarrage à la tension de 1.350 volts.

La manœuvre de chaque unité peut être effectuée soit de la cabine avant de l'automotrice, soit de l'une ou l'autre des cabines placées en queue de l'automotrice et de la remorque mixte 1re/2e classes.

Fig. 12. — CIRCUIT DE PUISSANCE.

Tableau d'enclenchement des contacteurs

Crans	Rupteurs		Contacteurs à cames du P.C.											Contacteurs de shuntage		
	LB1	LB2	IR1	IR2	IR3	IR4	IR5	IR6	IR7	IP	IS1	IS2	IG	IF1-2	IM1-2	IF3-4	IM3-4
OFF			●								●	●		●		●	
1	●	●	●								●	●		●		●	
2	●	●	●	●							●	●		●		●	
3	●	●	●		●						●	●		●		●	
4	●	●	●			●					●	●		●		●	
5	●	●				●	●				●	●		●		●	
6	●	●				●	●		●		●	●		●		●	
7	●	●			●		●	●			●	●		●		●	
T	●	●			●		●			●	●	●		●		●	
8	●	●			●					●			●	●		●	
9	●	●		●	●					●			●	●		●	
10	●	●		●	●		●			●			●	●		●	
11	●	●		●	●	●	●			●			●	●		●	
12	●	●	●		●	●	●	●		●			●	●		●	
13	●	●	●		●	●	●	●		●			●		●		●

Schéma des connexions

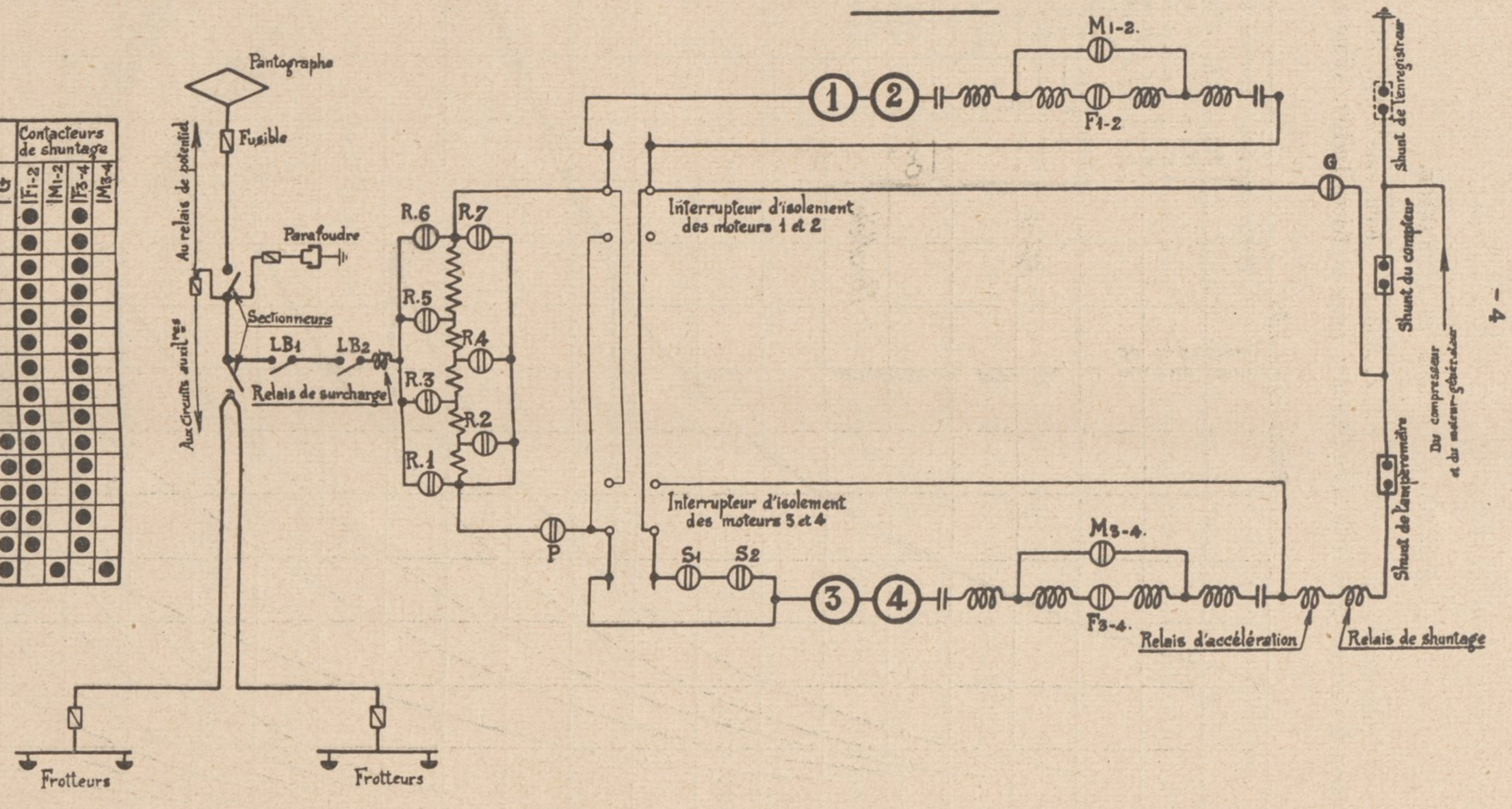
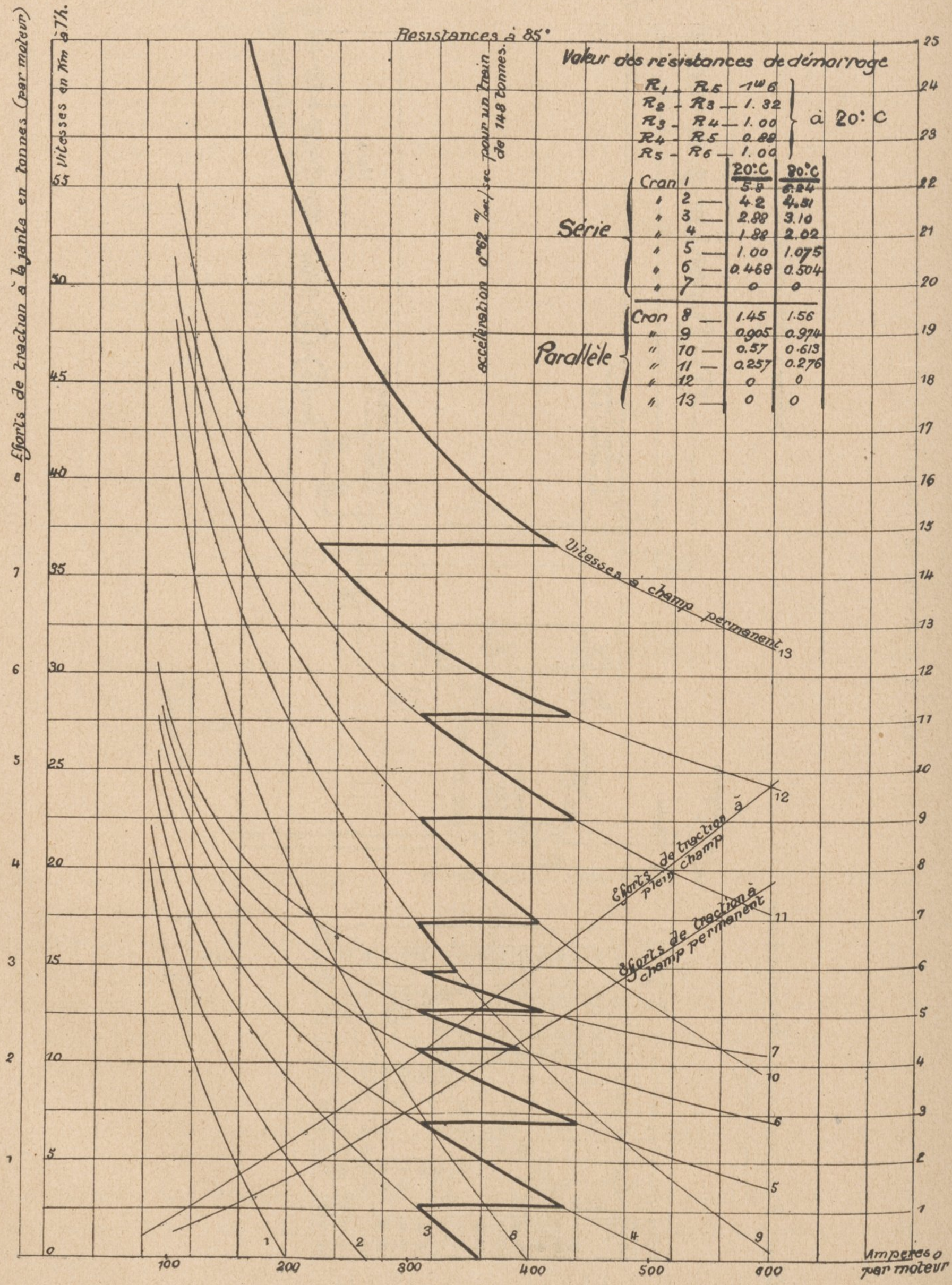


Fig. 13. — COURBES DS DÉMARRAGE.

Automotrices à 4 moteurs G.E.Z. 903 avec équipement PC. 103.
Rapport de réduction des engrenages 70/21. Diamètre des roues motrices 1*m*100. Alimentation sous 1350 volts.



Les figures 14 et 15 montrent la disposition des appareils de manœuvre : la première dans la cabine avant, la seconde dans les cabines arrières.

Les appareils mis à la disposition du mécanicien sont :

1° Les appareils de réglage de la vitesse (contrôleur de marche et freins) ainsi que la commande des sablières à air comprimé.

2° Les appareils de commande à distance de tous les services auxiliaires : génération du courant de contrôle et d'éclairage, compression de l'air nécessaire pour les freins et les servo-moteurs de contrôle ; manœuvre des pantographes ; manœuvre des contacteurs d'éclairage, de chauffage, etc...

3° Les appareils indicateurs et enregistreurs des conditions de marche : voltmètre, ampèremètre, manomètres ; indicateur et enregistreur de vitesse.

La figure 16 montre la disposition de tous ces appareils sous le châssis.

Tout le long du train courent deux canalisations : l'une à sept fils dite « canalisation de contrôle » servant à assurer la marche simultanée des différents servo-moteurs des automotrices du train, l'autre à treize fils dite « canalisation de service » servant à assurer la commande à distance des appareils auxiliaires.

Nous allons décrire sommairement ces diverses parties de l'équipement d'une rame-unité en nous attachant plus particulièrement à mettre en évidence les principes suivis dans l'établissement des appareils de contrôle proprement dits.

Train control type PC de la General Electric C°. — L'équipement de contrôle type PC 101 de la General Electric C° est entièrement automatique : il comprend essentiellement (Fig. 12 et 17)

1° Deux contrôleurs, placés chacun dans une des cabines de manœuvre, permettant de lancer le courant de « control » à 72 volts dans un quelconque des 7 fils de la canalisation de contrôle.

Ces contrôleurs portent deux manettes :

La première amovible dite « manette d'inversion » qui peut occuper deux positions (marche avant ou marche arrière).

La seconde fixée au cylindre principal du contrôleur qu'elle commande, dite « manette principale » qui peut occuper cinq positions :

1re position : marche série avec la totalité des résistances de démarrage en circuit dite « marche en manœuvre ».

2e position : démarrage automatique jusqu'à la position série champ maximum, sans résistance.

3e position : « by pass série » marche exceptionnelle cran par cran à « accélération accrue » couplage série.

4e position : « by pass parrallèle » marche exceptionnelle cran par cran, à accélération accrue, couplage parallèle.

5e position : démarrage automatique jusqu'à la position parallèle sans résistance, champ minimum.

Fig. 14. — Disposition des appareils dans la cabine avant des automotrices.

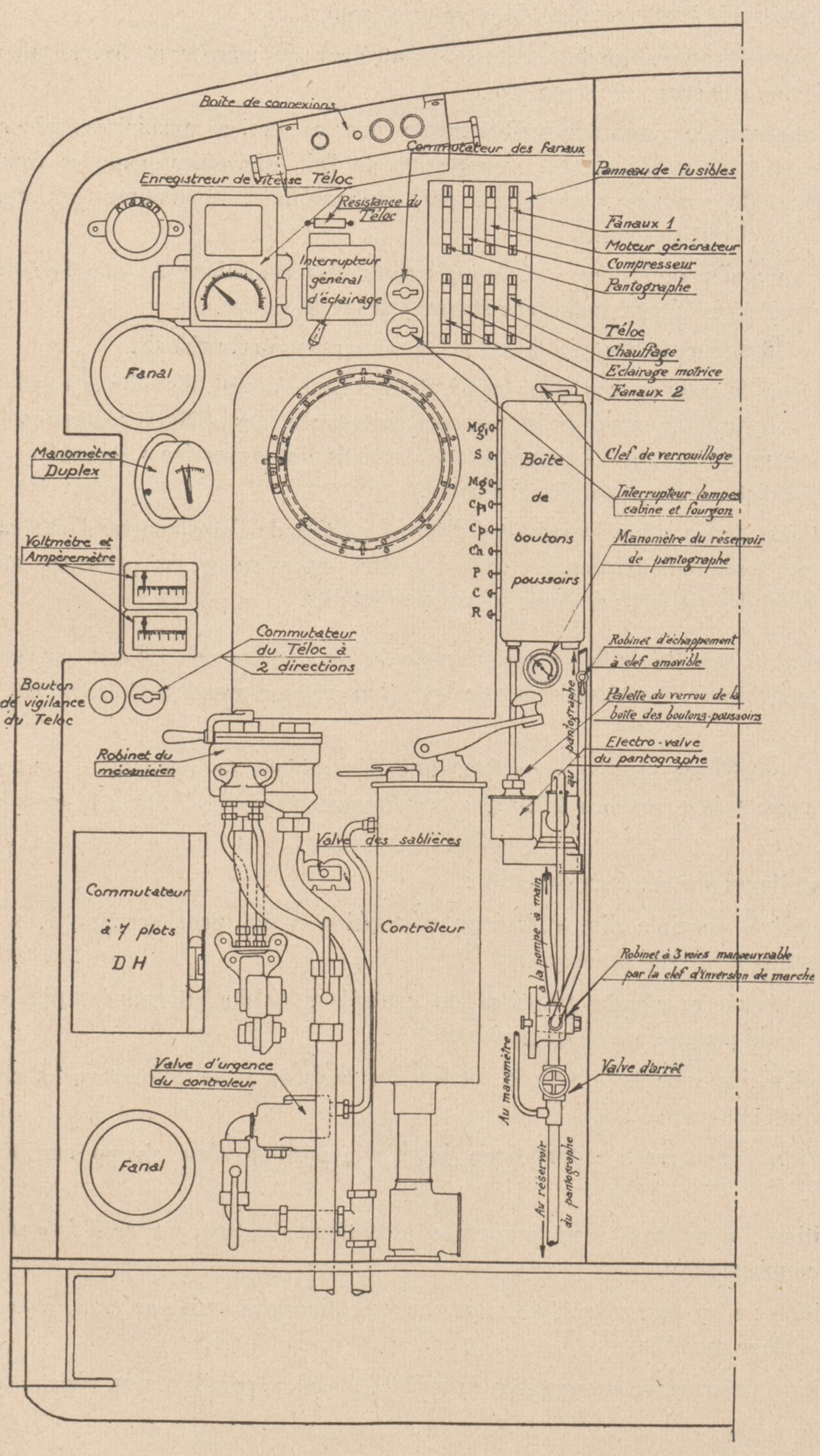


Fig. 15. — Disposition des appareils dans la cabine arrière des automotrices

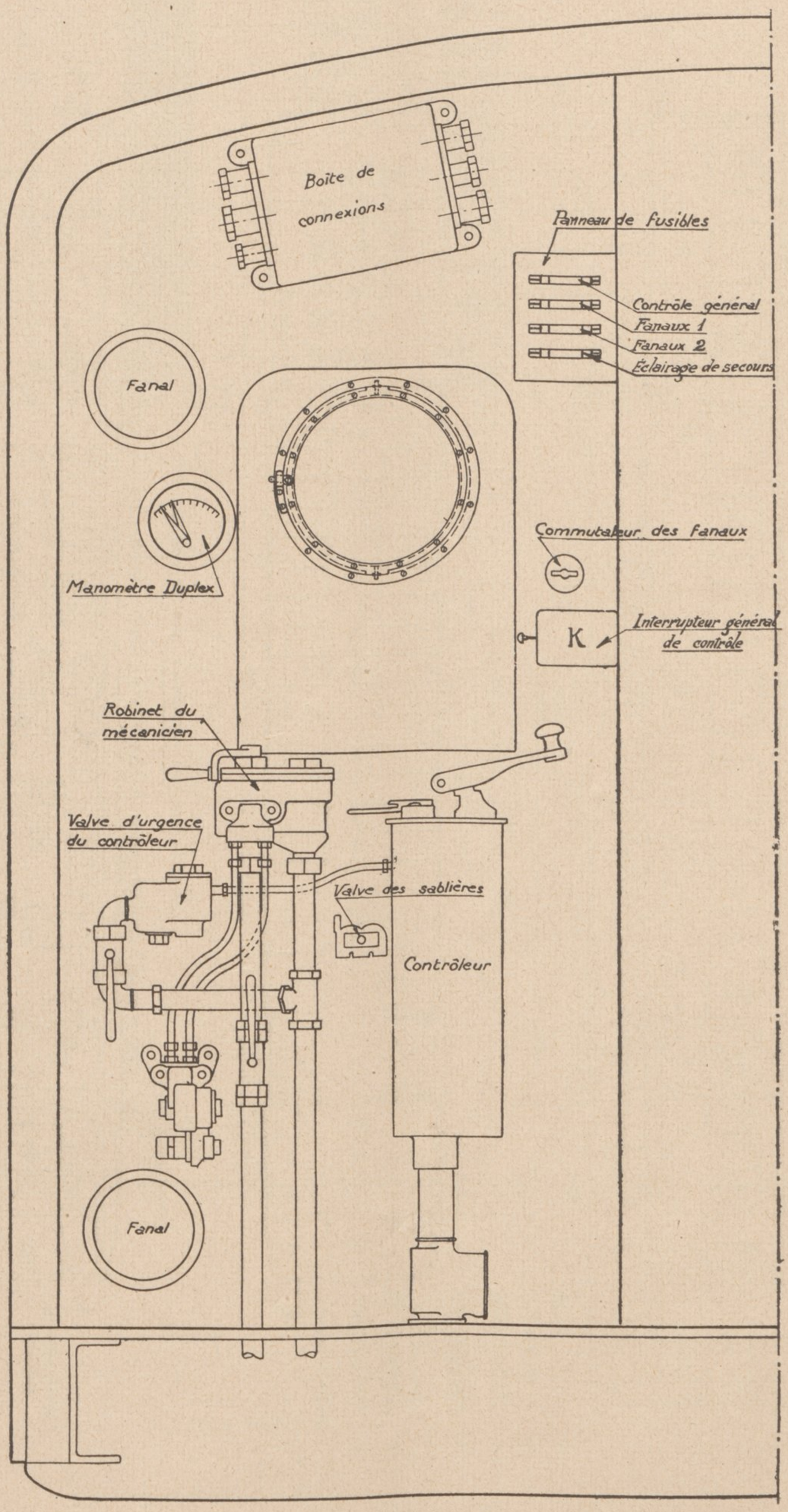
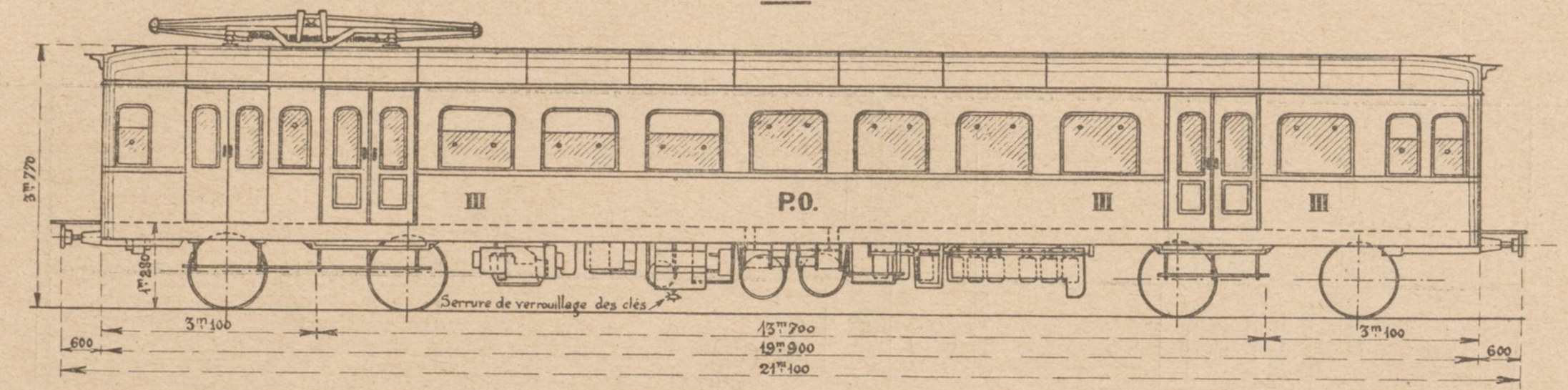
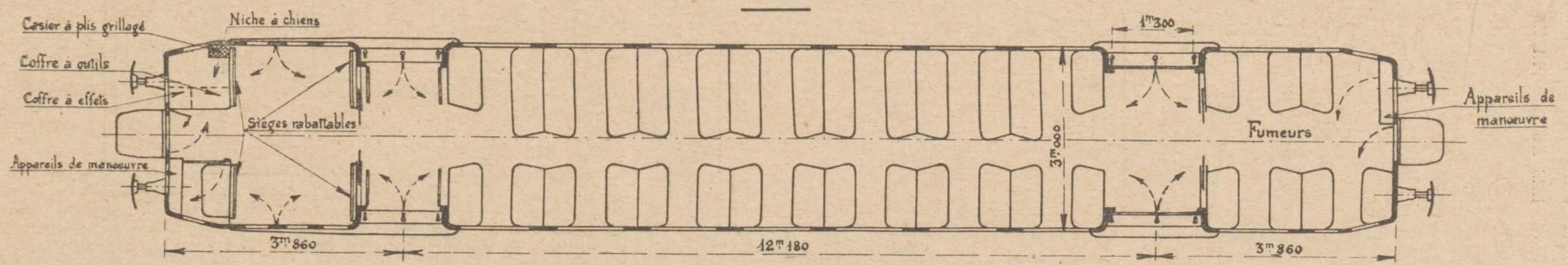


Fig. 16.

Elévation



Plan intérieur



Disposition des appareils sous le châssis

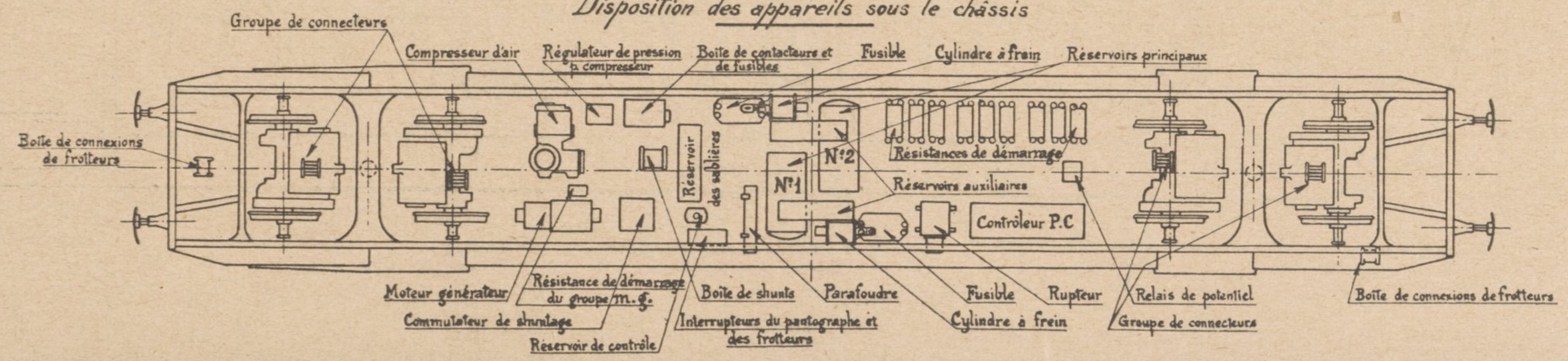
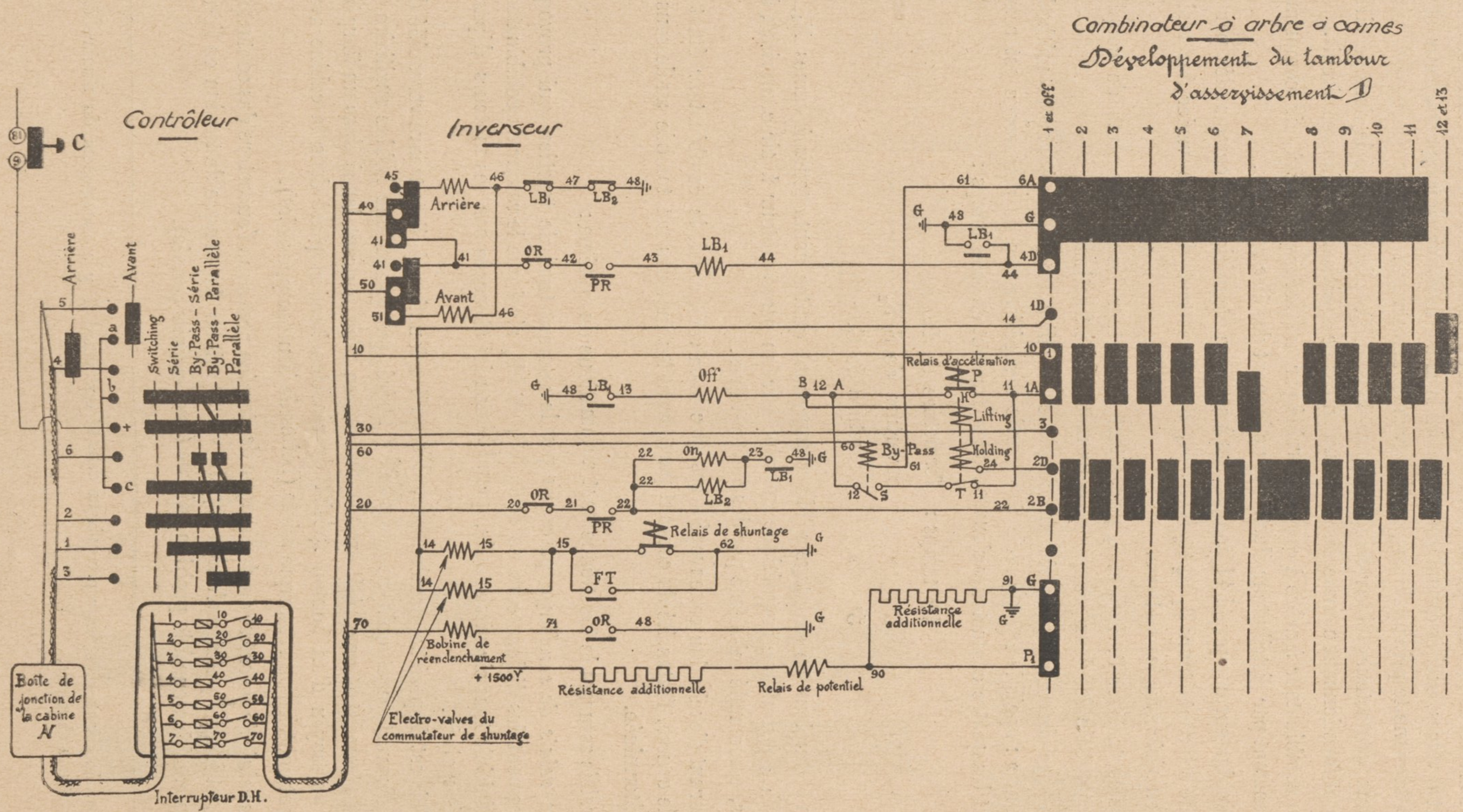


Fig. 17. — Circuit de controle.



2° Un inverseur entraîné par un servo-moteur à air comprimé, à deux positions, commandé par électro-valves, excités quand on manœuvre la manette d'inversion du contrôleur et quand on place la manette principale au premier cran de démarrage.

3° Deux contacteurs électropneumatiques LB_1, LB_2, placés en série dans le circuit de traction et fonctionnant comme disjoncteurs en cas de débit excessif dans ce circuit.

4° Un combinateur à arbre à cames entraîné par un servo-moteur à air comprimé avec asservissement par distributeur électrique actionnant des électro-valves.

Ce combinateur comprend 11 contacteurs à souflage magnétique et commandés par cames.

Sept de ces contacteurs R_1 R_2 R_3 R_4 R_5 R_6 R_7 permettent de faire varier les résistances placées en série avec les moteurs.

Quatre contacteurs P, G, S_1 et S_2 permettent d'effectuer les changements de couplage de série en parallèle des deux groupes de deux moteurs de traction.

Le passage du couplage série au couplage parallèle est effectué par la méthode dite « du shunt » : après le 7e cran série une partie des résistances de démarrage est remise en circuit et les quatre contacteurs s'ouvrent et se ferment en trois temps :

1er temps : fermeture de P
2e » ouverture de S_1 S_2
3e » fermeture de G.

5° Un « coupleur de shuntage » (1) comprenant quatre contacteurs à cames M_{1-2} F_{1-2} M_{3-4} et F_{3-4} à soufflage magnétique entraîné par un servo-moteur à air comprimé, à deux positions, commandé lui-même par des électro-valves.

Le courant d'excitation est envoyé à ces électro-valves quand, le combinateur étant arrivé à bout de course, l'intensité du courant parcourant les moteurs est tombée au-dessous d'une valeur déterminée.

Cinq relais assurant le fonctionnement automatique du système :

1°) *Le relais de surcharge* parcouru par le courant total de traction qui provoque le déclenchement des disjoncteurs de ligne LB_1 et LB_2 ainsi que le retour du combinateur à sa position initiale tous circuits coupés, quand l'intensité absorbée par les moteurs dépasse une limite déterminée.

Ce relais est disposé de manière que, dès qu'il a fonctionné, il se trouve verrouillé dans sa position d'ouverture et qu'il ne puisse être libéré que quand une bobine auxiliaire dite de « réenclenchement » aura été excitée au moyen d'un courant lancé dans un fil spécial de contrôle au moyen d'un bouton spécial de réenclenchement placé dans la cabine avant de chaque automotrice ou remorque mixte (boîtes de boutons-poussoirs).

2°) *Le relais de potentiel ou de manque de tension* provoque l'ouverture des contacteurs de ligne LB_1 et LB_2 au passage d'une coupure de 3e rail ou de manque de tension en ligne et le retour du combinateur à la position initiale (tous circuits coupés).

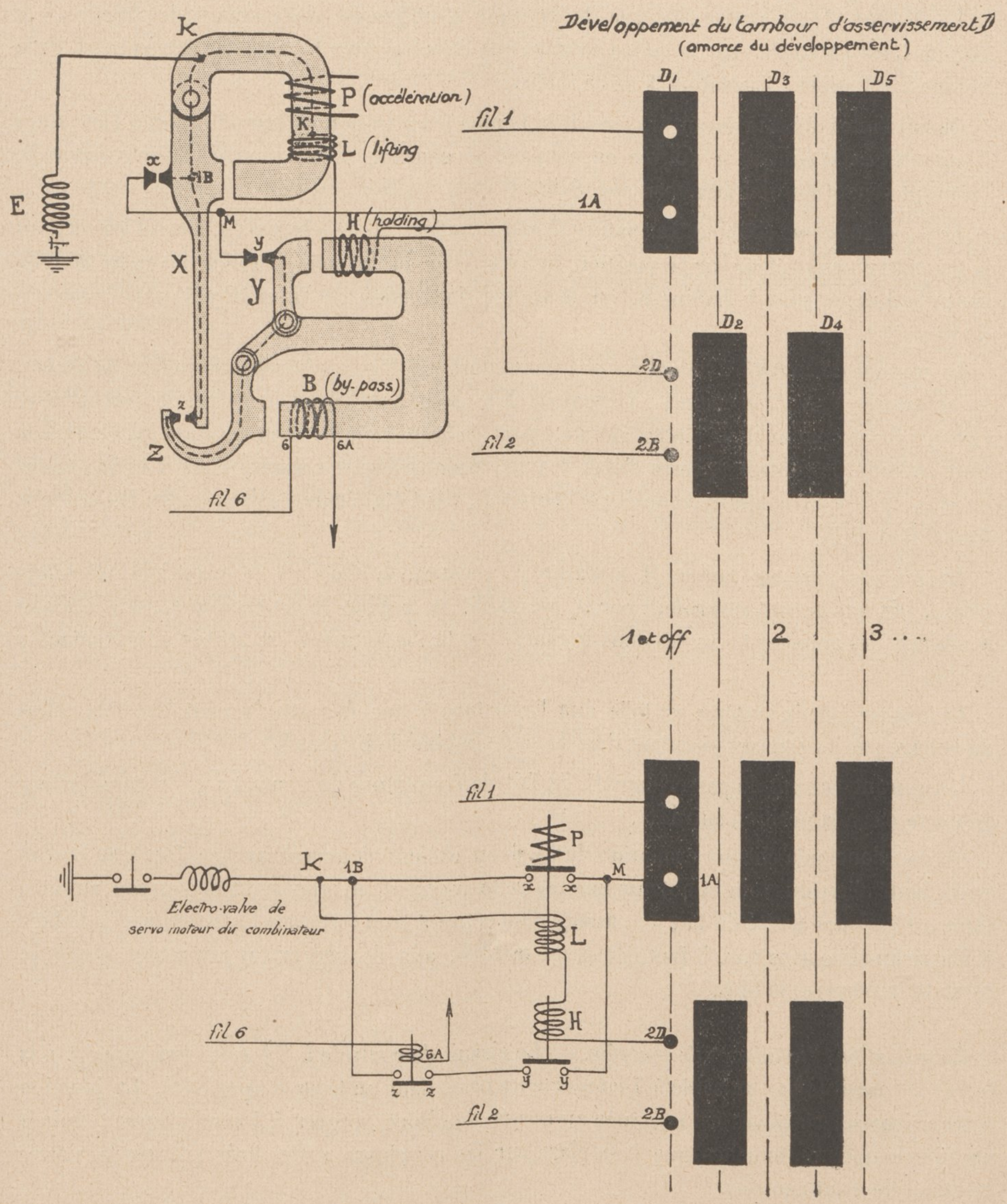
---

(1) Cette dénomination est impropre puisque dans le cas actuel il y a changement du nombre de tours inducteurs et non shuntage.

3°) *Le relais dit de « shuntage »* parcouru par le courant d'un groupe de moteurs qui, en abandonnant son armature quand l'intensité du courant principal est tombée au-dessous d'une valeur, provoque l'excitation des électro-valves du servo-moteur du coupleur de shuntage.

4°) *Un groupe de trois relais conjugués* désigné dans le schéma général (Fig. 12) sous le nom de relais d'accélération et ayant la disposition réelle représentée sur la figure 18. Sur

Fig. 18.



cette figure, E représente l'électro-valve de commande du servo-moteur du combinateur : chaque fois que l'électro-valve E est attiré, le servo-moteur tourne en entraînant l'arbre à cames du combinateur et le tambour d'asservissement D. La rotation est limitée à l'arc 1-2 ou 2-3 ou....3-4..., précisément par le jeu des relais conjugués comprenant trois systèmes d'enroulement et d'armature distincts :

Le premier système (bobines P et L, armature X) constitue le relai de réglage du démarrage automatique.

La bobine P est parcourue par le courant d'un groupe de moteurs de traction, la bobine L est parcourue par le même courant que l'électro-valve E ; une des extrémités K de la bobine L est reliée à l'armature X de ce relais.

Quand l'intensité du courant traversant la bobine P dépasse une valeur déterminée l'armature X est attirée, le contact *x* s'ouvre en coupant le courant d'excitation de l'électro-valve E, (courant venant du fil 1 aux positions série).

Le second système (bobine B armature Z) constitue le relais de « by pass ». Quand, en mettant la manette du contrôleur sur la position by pass série ou by pass parallèle on excite le fil de contrôle 6 et par suite la bobine B, on provoque l'attraction de l'armature Z et la fermeture du contact *z*.

Le courant de contrôle, venant du fil 1 passe alors par M et le contact *y* normalement fermé, les armatures Y, et Z, le contact *z* l'armature X le point K du noyau du relais de surcharge et l'électro E ; le combinateur tendra alors à passer de la position D_1 à la position D_2. Du fait de cette rotation, le contact D_1 cesse d'établir une liaison entre les contacts fixes 1 et 1A, tandis qu'avant qu'il y ait coupure complète le contact D_2 vient établir une liaison entre les contacts fixes 2 B et 2 D.

Le troisième système (bobine H, armature Y) constitue le relais dit de maintient (Holding-relay). Dès que le contact produit par D_2 est établi, la bobine H est excitée et, sous l'action combinée des ampères-tours des deux bobines H et B, l'armature Y est attirée et le contact *y* coupé.

La disposition du système est telle que l'armature Y une fois attirée peut être maintenue au collage par le courant circulant dans la seule bobine de by pass B.

Le courant cessant de passer dans E, du fait de l'ouverture du contact *z y*, le combinateur ne passe pas à la position suivante.

On voit donc qu'à chaque excitation du fil 6 on obtient donc une avance d'un cran et d'un seul ; pour aller plus loin et obtenir uue nouvelle avance d'un cran si le démarrage automatiqne est toujours arrêté du fait du passage d'un courant trop fort dans les moteurs et la bobine P placée en série avec eux, il faut déexciter le fil 6, afin de libérer les armatures Z et Y, et réexciter à nouveau le fil 6.

Canalisations électriques de contrôle. — Le circuit de contrôle à 72 volts par rapport à la terre est constitué par un câble à 7 conducteurs passé dans un tube d'acier étiré. La jonction entre voitures successives est effectuée au moyen de câblots souples à 7 conducteurs terminés par des coupleurs femelles que l'on place sur les coupleurs mâles fixés le long des parois extrêmes de l'automotrice.

Chacun des 7 fils du circuit de contrôle a une fonction déterminée ; ils commandent :

Le fil N° 1 (Rouge) le démarrage automatique série.
» N° 2 (Blanc) la marche dite de manœuvre au premier cran de démarrage série résistance maximum en circuit.
» N° 3 (Vert) le démarrage automatique parrallèle.
» N° 4 (Vert blanc) la marche avant.
» N° 5 (Bleu) la marche arrière.
» N° 6 (Rouge blanc) la marche « by pass » ou cran par cran ou à accélération augmentée.
» N° 7 (Noir) le réenclenchement des disjoncteurs de ligne.

Appareils auxiliaires et commande à distance de ces appareils.

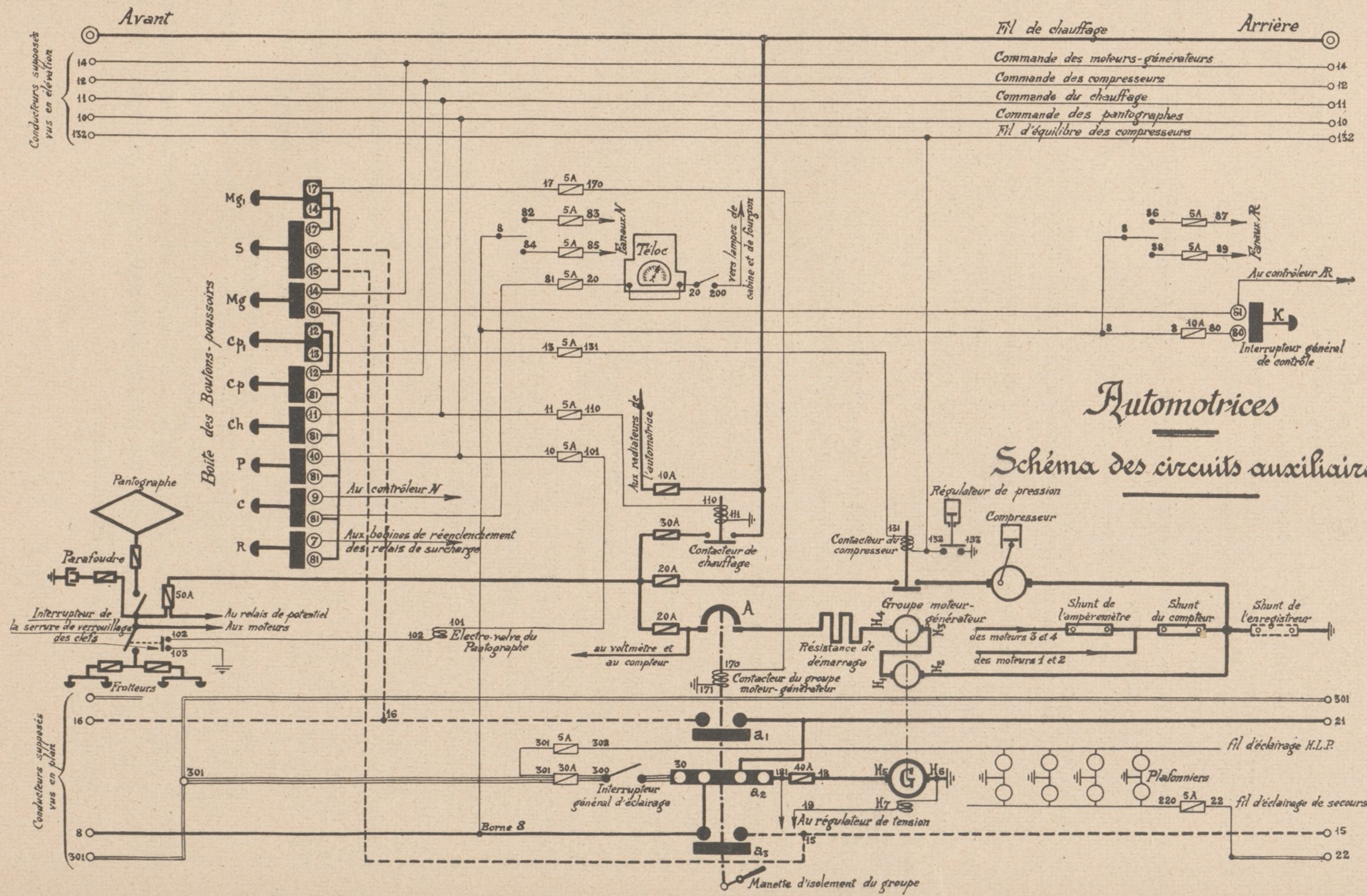
La figure 19 montre la disposition des appareils auxiliaires branchés les uns sur le circuit du traction à 1.500 volts. les autres sur le circuit à 72 volts alimenté par la génératrice du groupe moteur générateur. Ces appareils sont d'un type analogue à ceux employés dans les locomotives à marchandises (compresseurs d'air) ou dans les voitures de remorques de grande ligne (radiateurs).

Tous ces appareils sont mis en circuit ou hors circuit en manœuvrant un certain nombre de « boutons poussoirs » placés à portée du mécanicien dans la cabine de manœuvre (Fig. 14 et 20).

Pour obtenir un fonctionnement régulier, il faut, dans cette boîte de boutons poussoirs, réaliser des enclenchements analogues à ceux d'un contrôleur. A cet effet, cette boîte est munie d'une clef de verrouillage que le mécanicien doit emporter avec lui quand il change de cabine. Cette clef ne peut être enlevée que quand tout les boutons sont à leur position de repos et, comme le montre nettement la figure 20, les boutons sont tous immobilisés dans cette position par des taquets de butée placés sur l'arbre qui commande la clef de verrouillage ; ces taquets s'effacent quand la clef de verrouillage est placée à sa position de « marche ». Mais alors la clef ne peut être enlevée de son logement. Les neufs boutons mis à la disposition du mécanicien ont les fonctions suivantes :

R Réenclenchement des interrupteurs après fonctionnement du relais de surcharge.
C Alimentation du contrôleur de la cabine avant.
P Manœuvre des pantographes (montée, les pantographes étant normalement abaissés).
C*h* Manœuvre du contacteur à 1.500 volts à soufflage magnétique, ouvrant ou fermant le circuit de chauffage.
C*p* Manœuvre simultanée des divers régulateurs automatiques des compressenrs de la rame.
Cp_1 Arrêt du compresseur de l'automotrice.
M*g* Manœuvre du commutateur à contact multiple commandant les divers groupes moteurs génératenrs de la rame ; quand le bouton M*g* est poussé les groupes moteurs générateurs sont arrêtés (si on dispose de courant de contrôle).
S Manœuvre de transfert de l'alimentation du circuit de contrôle du groupe moteur générateur de l'automotrice à un autre groupe du train.
Mg_1 Manœuvre du commutateur à contacts multiples commandant le groupe moteur générateur de la rame ; quand le bouton Mg_1 est poussé, le groupe moteur générateur est en marche, si on dispose de courant en ligne.

Fig. 19. — Schéma des circuits auxiliaires.

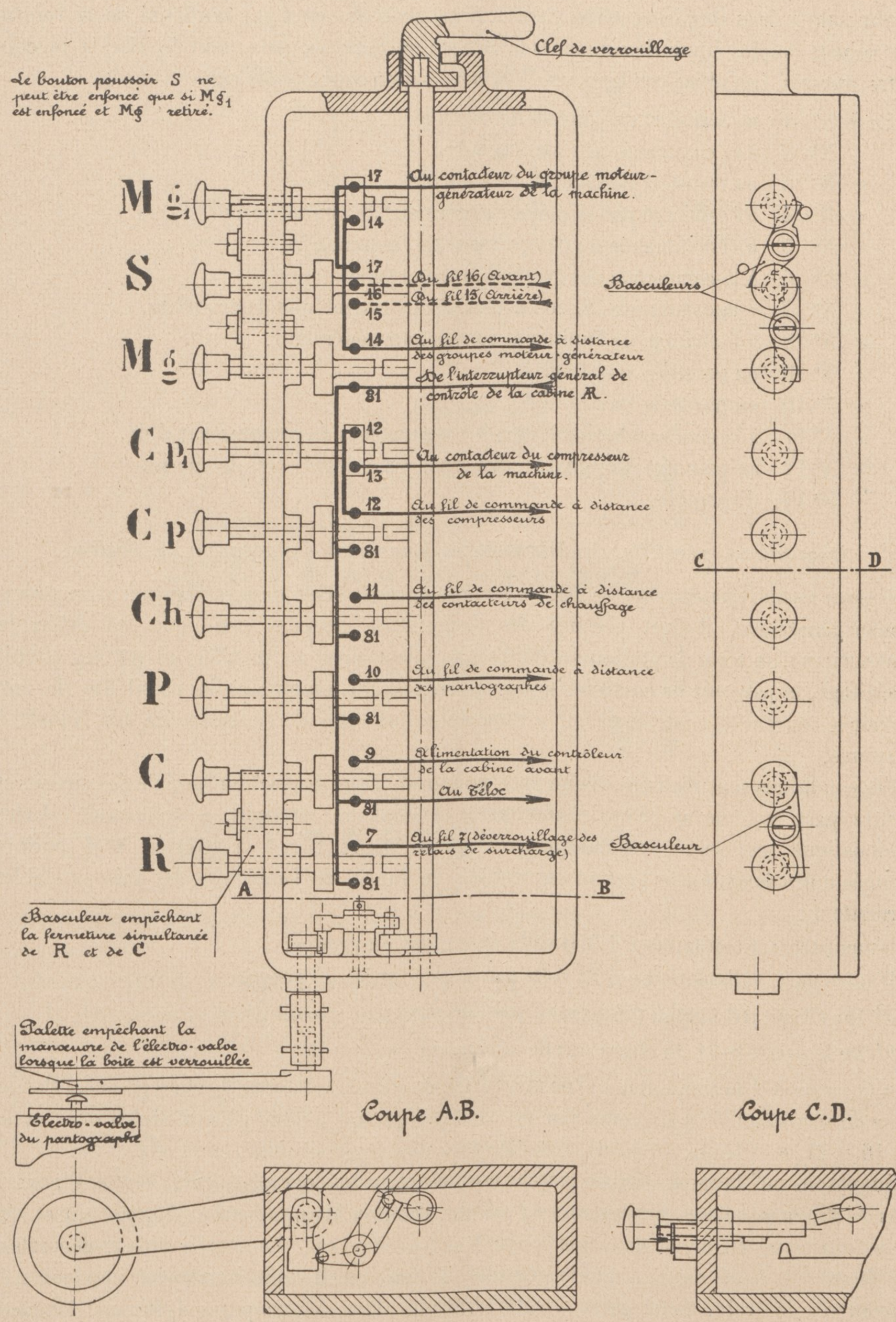


Automotrices

Schéma des circuits auxiliaires

Fig. 20. — Schéma de la boite des boutons-poussoirs.

(La boîte est représentée dans sa position de verrouillage).



Le circuit des services auxiliaires à 72 volts par rapport à la terre est constitué, dans chaque voiture, par un câble à treize conducteurs passé dans un tube en acier étiré et aboutissant à deux coupleurs mâles à treize fiches fixés chacun à une extrémité de la voiture. Des câblots souples munis de coupleurs femelles à treize fiches permettent de faire la jonction entre voitures. Les treize conducteurs de la canalisation sont affectés respectivement :

Le fil N° 1 au transfert du courant de contrôle.
» N° 2 à la commande des pantographes.
» N° 3 au transfert du courant de contrôle.
» N° 4 à l'éclairage par le moteur générateur de l'unité voisine.
» N° 5 à la commande du compresseur de l'automotrice.
» N° 6 à la commande des groupes moteurs générateurs.
» N° 7 à la commande du contacteur électromagnétique de chauffage.
» N° 8 à l'éclairage de l'unité par son moteur générateur.
» N° 9 en parallèle avec le fil 4.
» N° 10 en parallèle avec le fil 8.
» N° 11 à la commande simultanée des régulateurs de compresseur d'air.
» N° 12 au pointage du signal vigilance sur les enregistreurs de vitesse.
» N° 13 disponible.

Dispositions essentielles des interrupteurs principaux des appareils auxiliaires.

Groupe moteur-générateur. — Toutes les automotrices étant munies chacune d'un groupe moteur-générateur, il faut prendre des dispositions spéciales pour que les différentes génératrices d'un train de plusieurs « unités » ne soient mises en parallèle ni par les circuits d'éclairage, ni par ceux de contrôle, le mécanicien ayant néanmoins la possibilité de faire fournir le courant de contrôle par un groupe autre que celui de l'automotrice sur laquelle il se trouve.

Ces conditions sont réalisées, d'une part, au moyen d'une disposition spéciale des circuits et, d'autre part, au moyen d'un commutateur à contacts multiples à commande électro-pneumatique représenté schématiquemeut sur la figure 21. A sa position N° 1 (position occupée normalement sous l'action des ressorts de rappel de l'appareil), les liaisons établies permettent :

D'une part, l'alimentation à 1.500 volts du moteur du groupe,

D'autre part, l'alimentation à 72 volts par la génératrice du groupe.

a/ Du circuit d'éclairage (en passant par l'interrupteur à main E).

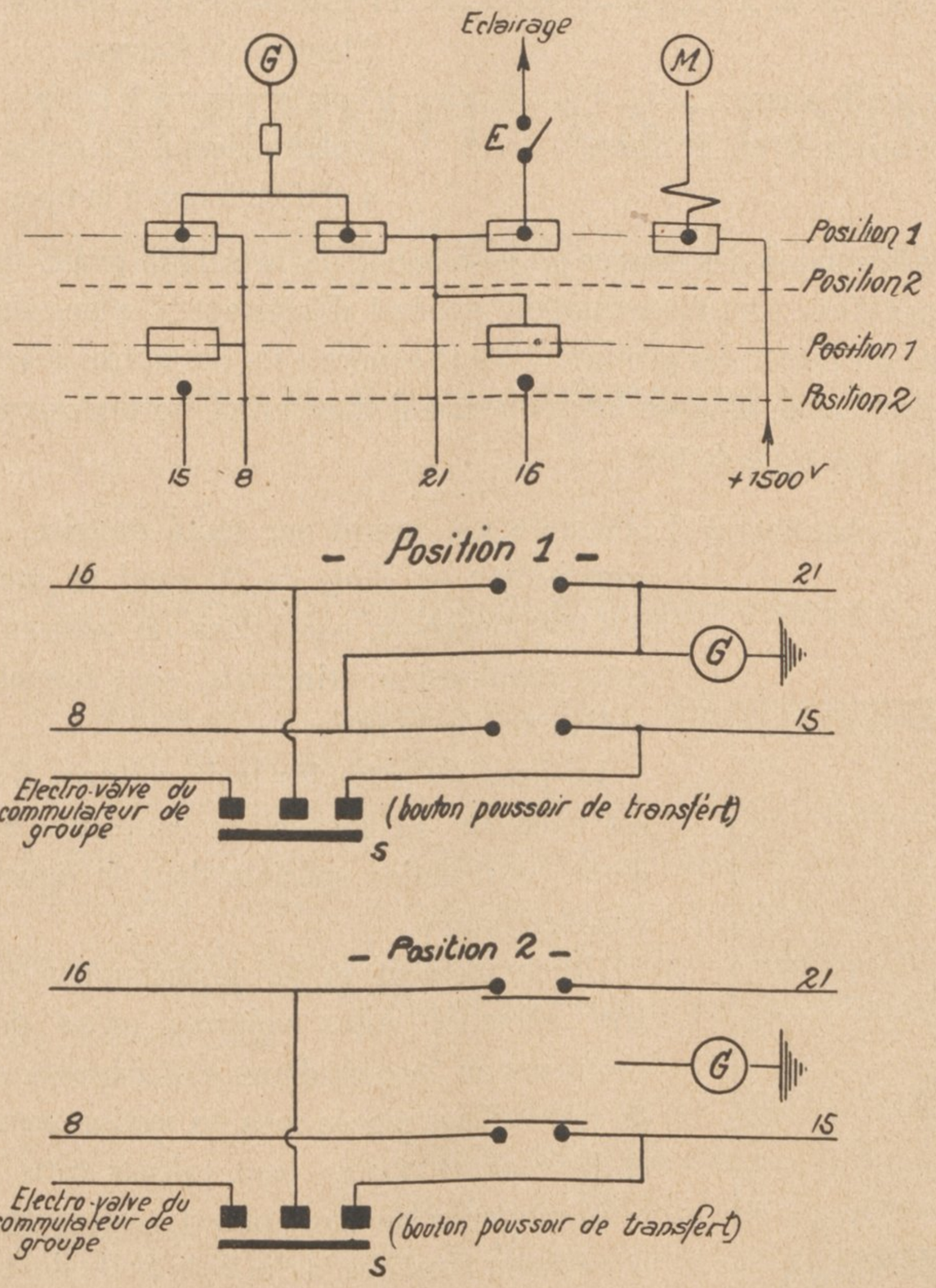
b/ De la partie 8-21 du circnit dit de « transfert de contrôle ».

A la position 2 du commutateur (position occupée quand, le bouton M*g* étant poussé, l'électro-valve du servo-moteur à air comprimé est excité) le groupe moteur-générateur est isolé et les fils 16 et 21, 8 et 15 du circuit de contrôle sont reliés respectivement entre eux.

Supposons que la rame étant en marche normale, tous pantographes levés (bouton P poussé) tous les groupes moteurs générateurs en marche (bouton M*g* non poussé, Mg_1 poussé) et que l'automotrice de tête arrive dans une coupure de troisième rail. Le groupe moteur-générateur s'arrêterait et, faute de courant de contrôle, il deviendrait momentanément impossible de manœuvrer le train. Pour parer à cette difficulté dans des coupures ayant une longueur

inférieure à celle du train, on peut utiliser, grâce aux appareils de transfert de contrôle, un autre moteur générateur du train pour alimenter le circuit de contrôle. Pour effectuer ce

Fig. 21.



transfert, il suffit d'appuyer sur le bouton S (les boutons Mg et Mg_1 étant, le premier tiré, le second poussé).

L'établissement des contacts S provoque :

a) Le passage de la position un à la position deux du commutateur de groupe moteur-générateur de l'automotrice N° 1 ;

b) L'alimentation du circuit de contrôle par la génératrice du groupe de l'automotrice N° 2.

Quand les automotrices seront alimentées uniquement par ligne aérienne, ces dispositions seront simplifiées.

Eclairage. — L'éclairage des rames automotrices est assuré au moyen de lampes de 20 bougies alimentées à la tension de 72 volts par les groupes moteur-générateurs des diverses automotrices.

Les lampes montées dans chaque automotrice ou voiture de remorque forment deux groupes distincts alimentés l'un par l'automotrice de tête, l'autre par l'automotrice suivante. Grâce à

cette disposition, s'il vient à se produire une avarie ou un arrêt d'un groupe moteur-générateur, il n'y a qu'une extinction partielle dans les voitures correspondantes de la rame.

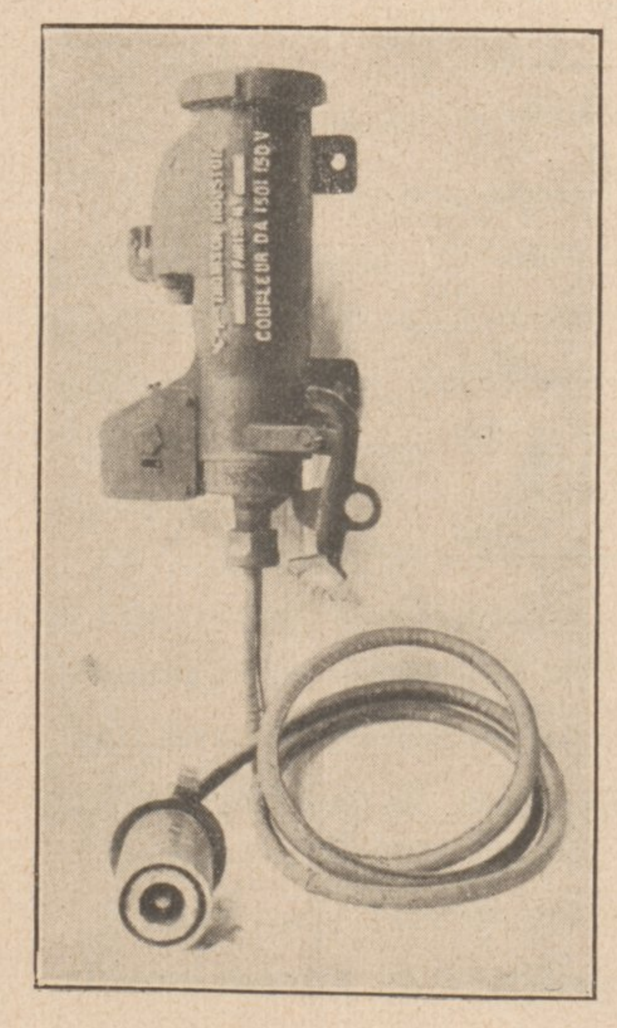
Le nombre de lampes installées dans chaque voiture est le suivant :

Automotrice	11 plafonniers à 2 lampes
	2 lampes de fourgon
Remorque de 3e classe.....	13 plafonniers à 2 lampes
Remorque mixte, 1re et 2e classes	4 plafonniers à 3 lampes (1re classe)
	8 plafonniers à 2 lampes (2e classe)

L'allumage ou l'extinction des lampes est commandé de la cabine avant de la machine de tête en manœuvrant d'une part l'interrupteur général d'éclairage E placé dans cette cabine. La mise en marche ou l'arrêt des groupes moteur-générateurs des autres machines est effectué également de la machine de tête, les interrupteurs E demeurant normalement fermés sur les automotrices autres que celle de tête.

Chauffage. — Le chauffage à 1.500 volts est assuré par unité motrice, au moyen d'une canalisation en câble de 30 mm^2 de section du type dit à 3.000 mégohms, passé dans un tube en acier étiré. Sur cette canalisation principale, sont branchés les différents radiateurs de la rame.

Fig. 22.



La jonction entre les trois voitures d'une même unité est effectuée au moyen de coupleurs mâles et femelles d'une construction spéciale dont la figure 22 donne une vue d'ensemble.

L'accouplement et le désaccouplemement ne peuvent être effectués entre voitures qu'en déverrouillant les coupleurs au moyen d'une clef déposée dans une serrure de verrouillage placée sous les sectionneurs de pantographe et de frotteurs. On ne peut enlever cette clef que lorsque le sectionneur de frotteur est ouvert et que la manette d'inverseur ainsi que la clef de la boîte des boutons poussoirs sont placés dans des logements spéciaux ménagés dans la serrure. Dans ces conditions, le pantographe est nécessairement abaissé. En cas de rupture d'attelage, le courant du circuit de chauffage est automatiquement coupé sur les cablôts qui pourraient pendre du fait de l'abaissement automatique des pantographes.

Entre unités, on ne place pas de câblots de jonction pour éviter qu'au moment du passage sur une coupure du 3e rail, l'automotrice privée de courant ne soit alimentée par une autre sous courant par l'intermédiaire de la conduite de chauffage.