

LA LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE

A GRANDE VITESSE TYPE 2-D-2 SÉRIE E. 4801

DE LA

COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI

par **M. LÉBOUCHER,**

INGÉNIEUR EN CHEF
DES SERVICES TECHNIQUES DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION
DES CHEMINS DE FER DU MIDI.

(Planche IV)

La généralisation du matériel métallique, qui présente vis-à-vis de l'ancien matériel à caisse en bois, une augmentation notable du poids mort par place offerte, a conduit la Compagnie du Midi à créer une nouvelle série de locomotives électriques à grande vitesse, susceptibles de remorquer des charges beaucoup plus élevées que celles prévues pour les locomotives 2-C-2 de la série E. 3101 à E. 3110 (décrites dans le N^o de Mai 1928 de la Revue Générale), tout en assurant des vitesses moyennes au moins égales si ce n'est supérieures.

C'est le type 2-D-2 qui fut choisi, la machine articulée ne présentant pas, d'après l'auteur de la note, les conditions de stabilité nécessaires pour réaliser avec satisfaction des vitesses de marche de l'ordre de 120 km/h.

Dans les nouvelles locomotives, qui font l'objet de cette notice, les moteurs ne sont plus verticaux comme dans la 2-C-2, mais horizontaux et constitués en quelque sorte par deux moteurs jumelés mécaniquement dans une même carcasse, les circuits magnétiques inducteurs de chaque moteur restant complètement indépendants l'un de l'autre.

Les quatre essieux moteurs sont indépendants ; la puissance totale prévue était de 3 200 ch et la vitesse de 120 km/h. Ces deux chiffres sont en réalité notablement dépassés.

I. — GÉNÉRALITÉS

Les premières électrifications du réseau de la Compagnie des Chemins de fer du Midi avaient été réalisées sur des lignes dont le profil difficile ne permettait pas de dépasser la vitesse maxima de 90 km/h. Aussi la Compagnie s'était-elle contentée d'acquérir des locomotives du type BB parfaitement adaptées au service de telles lignes.

Lorsqu'il fut décidé d'étendre l'électrification à des lignes à profil moins dur parcourues par des trains rapides pouvant atteindre la vitesse maxima autorisée de 120 km/h, et en

particulier à la grande ligne de Bordeaux à Hendaye, la Compagnie des Chemins de fer du Midi fut amenée à étudier le problème de la locomotive électrique à grande vitesse, problème qui, jusqu'alors, n'avait pas été résolu d'une façon satisfaisante.

En 1922, elle fit mettre en construction deux locomotives d'essais, du type 2-C-2 à moteurs verticaux. Ces machines furent mises en service en 1923 et soumises à une série d'essais prolongés. A la suite de ces essais, 8 autres machines du même type furent mises en construction.

Ce sont ces 10 machines 2-C-2 de la série E. 3101 à E. 3110 qui ont assuré seules, jusqu'à la fin de 1932, le service des trains rapides sur la ligne de Bordeaux à Hendaye (1).

Ces machines sont capables d'assurer dans des conditions très satisfaisantes la traction des trains de 400 tonnes à la vitesse moyenne de marche de 100 km/h. Ce sont d'excellentes coureuses et certaines d'entre elles ont atteint au cours d'essais la vitesse de 144 km/h avec une charge remorquée de plus de 300 tonnes.

La généralisation du matériel métallique, qui présente vis-à-vis de l'ancien matériel à caisse en bois, une augmentation notable du poids mort par place offerte, a conduit la Compagnie du Midi à créer une nouvelle série de locomotives électriques à grande vitesse, susceptibles de remorquer des charges beaucoup plus élevées que celles que peuvent accepter les locomotives de la série E. 3101 à E. 3110, tout en assurant des vitesses moyennes au moins égales si ce n'est supérieures.

Tout d'abord, la charge maximum par essieu moteur étant limitée à 20 tonnes par les ouvrages d'art et la voie, il était nécessaire, pour avoir une accélération suffisante au démarrage, avec une charge remorquée plus élevée, de posséder un essieu-moteur de plus que sur les locomotives 2-C-2, dont le poids par essieu atteignait déjà presque le maximum autorisé. Il fut donc décidé de s'arrêter au type 2-D-2, la machine articulée ne présentant pas, à notre avis, les conditions de stabilité nécessaires pour réaliser avec satisfaction des vitesses de marche de l'ordre de 120 km/h.

En second lieu, la question se posa de savoir si on allait encore utiliser des moteurs verticaux.

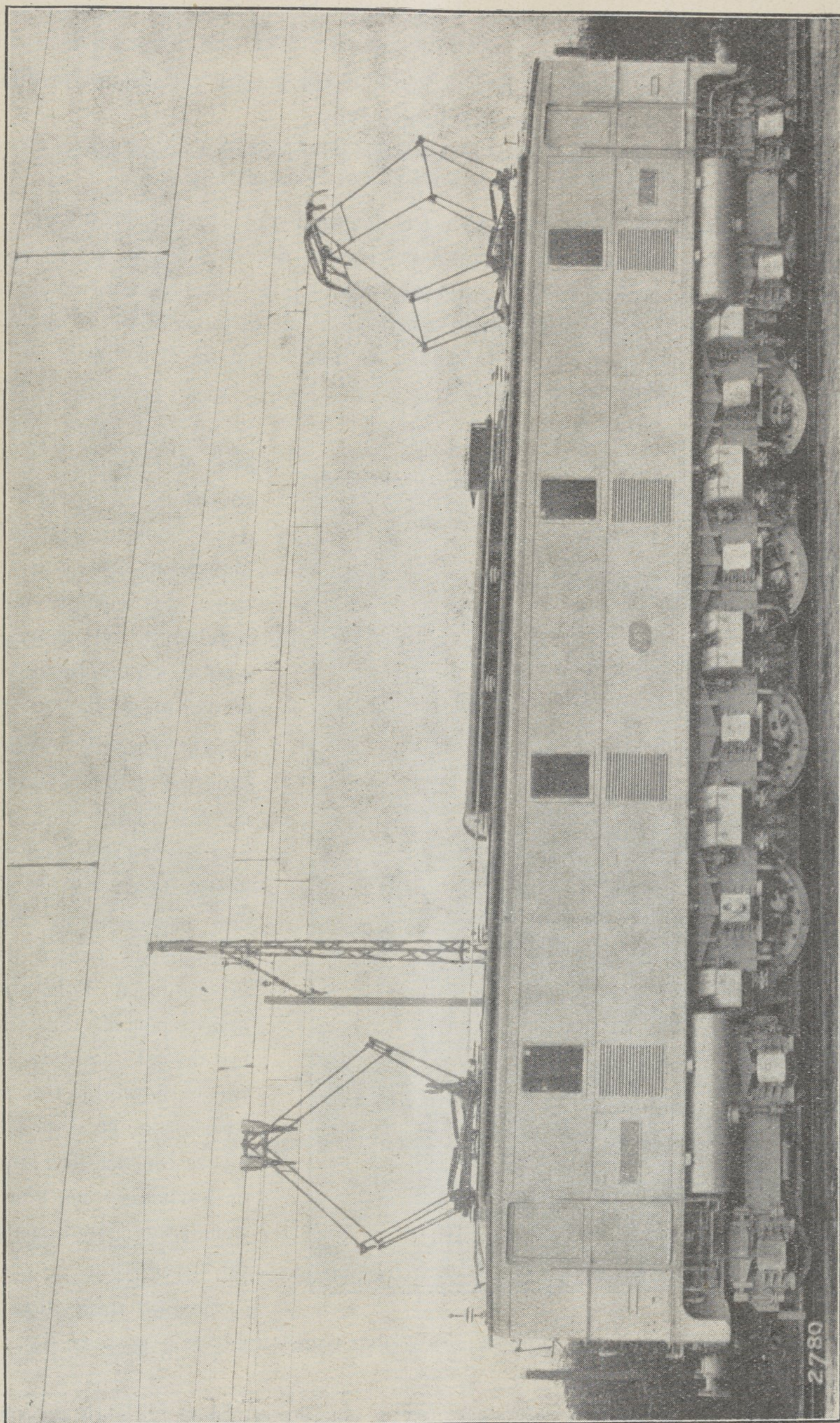
Les moteurs verticaux des locomotives 2-C-2 E. 3101 à E. 3110 sont constitués par une carcasse unique dans laquelle tournent en sens contraire deux induits qui attaquent par pignon d'angle une double couronne dentée montée sur la partie médiane d'un arbre creux qui entoure l'essieu moteur correspondant.

Chaque induit est suspendu à la partie supérieure de la carcasse au moyen d'un palier de butée à billes. Un palier lisse placé à la partie supérieure et un autre à la partie inférieure du moteur assurent le guidage de l'arbre.

Un circuit d'huile sous pression assure le graissage de l'ensemble ; l'huile est injectée dans le palier à billes, vient lubrifier le palier supérieur et coule jusqu'au palier inférieur à travers quatre canaux semi-circulaires forés dans une chemise d'acier qui entoure l'arbre dans sa partie médiane ; elle tombe enfin sur les pignons coniques.

(1) Voir le N° de Mai 1928 de la *Revue Générale*, La locomotive à grande vitesse de la Compagnie des Chemins de fer du Midi, par M. Bachellery.

Fig. 1.

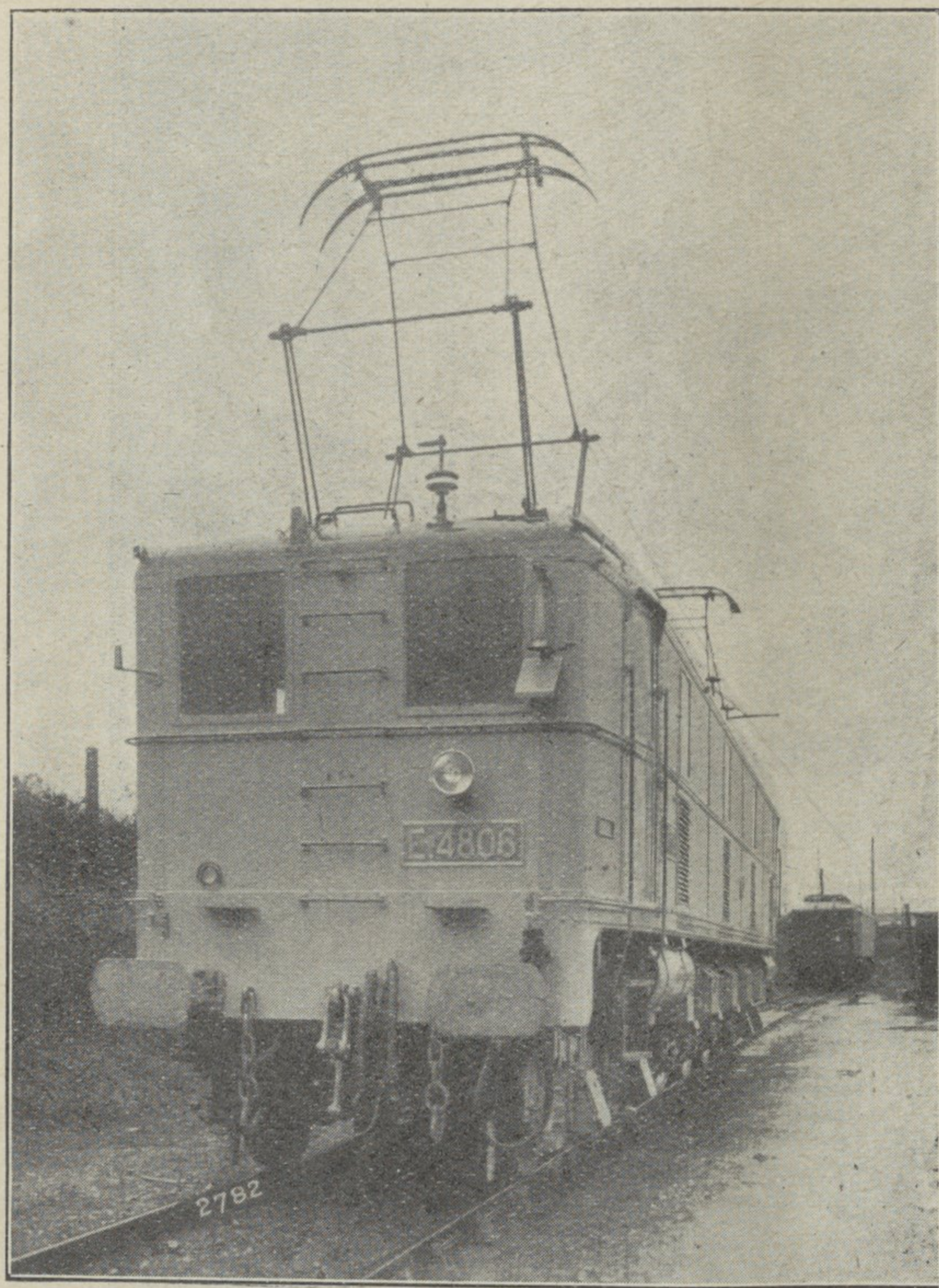


Ces dispositions, assez satisfaisantes dans l'ensemble, présentent cependant quelques inconvénients du fait :

- de la difficulté de maintenir un bon réglage des engrenages par suite de la dilatation de l'arbre d'induit sous l'effet des variations de température ;
- de l'utilisation d'un seul circuit de graissage pour la lubrification en série de trois paliers et d'engrenages ;
- de la tendance au cheminement vers le bas des sections verticales des induits.

Il est certain qu'on aurait pu remédier à ces légères défauts dans une construction neuve. Mais nous avons préféré revenir à des dispositions plus communément employées, étant donné surtout qu'avec la place dont on pouvait disposer sur la locomotive, il eût été difficile de loger des moteurs verticaux dont la puissance unihoraire eût dû être voisine de 1 000 ch.

Fig. 2.



Les nouvelles locomotives 2-D-2 ont donc été équipées avec des moteurs horizontaux, constitués en quelque sorte par deux moteurs jumelés mécaniquement dans une même carcasse, les circuits magnétiques inducteurs de chaque moteur restant complètement indépendants l'un de l'autre.

Les moteurs occupent une situation moins élevée dans la machine que ceux des locomotives 2-C-2. Pour relever le centre de gravité de l'ensemble non suspendu et obtenir une hauteur du centre de gravité favorable à l'obtention d'une longue période d'oscillation propre de cet ensemble, on a joué sur la flexibilité des ressorts de suspension et disposé certaines pièces lourdes de l'appareillage, en particulier les résistances de démarrage, dans les parties hautes de la caisse.

Comme disposition générale, la machine est symétrique par rapport à un plan transversal, elle possède deux postes de commande identiques.

Elle a quatre essieux moteurs indépendants et à chaque extrémité un bogie directeur.

La puissance totale prévue était de 3 200 chevaux et la vitesse de 120 kilomètres à l'heure. Ces deux chiffres sont en réalité notablement dépassés.

La construction de ces machines a été confiée à la Société des Constructions Electriques de France qui a effectué les études en collaboration avec les Services Techniques de la Compagnie du Midi.

Les premières machines ont fait leurs essais fin 1932.

Actuellement les six locomotives commandées sont en service (Fig. 1 et 2).

II. — CARACTÉRISTIQUES DE LA LOCOMOTIVE TYPE 2-D-2 A COURANT CONTINU A 1 500 VOLTS.

On trouvera dans le tableau ci-dessous les principales caractéristiques mécaniques et électriques de ces machines.

Longueur entre tampons.....	16,800 m	Nombre de moteurs doubles ...	4
Longueur de la caisse.....	15,670 m	(2 induits pour 1 carcasse)	
Largeur de la caisse.....	2,956 m	Rapport d'engrenage : $\frac{111}{32} =$	3,468
Nombre total d'essieux.....	8		
Nombre total d'essieux moteurs	4		
Diamètre des roues motrices..	1,750 m	<i>Caractéristiques de fonctionnement à plein champ.</i>	
Dimensions des fusées des essieux moteurs.....	320 × 170	a) Puissance continue.	
Diamètre des roues de bogies..	0,900 m	Effort de traction à la jante....	12 000 kg
Dimensions des fusées des essieux de bogies.....	300 × 150	Vitesse.....	83 km/h
Ecartement des essieux extrêmes.....	13,850 m	b) Puissance unihoraire.	
Empattement fixe.....	6,300 m	Effort de traction à la jante....	13 000 kg
Empattement des bogies.....	2 m	Vitesse.....	81 km/h
Distance d'axe en axe des bogies.....	11,850 m	<i>Caractéristiques de fonctionnement en shuntage maximum.</i>	
Distance entre essieux moteurs.	2,100 m	a) Puissance continue.	
Poids de la partie mécanique..	72 000 kg	Effort de traction à la jante....	9 000 kg
Poids de la partie électrique..	50 000 kg	Vitesse.....	111 km/h
Poids total.....	122 000 kg	b) Puissance unihoraire.	
Poids adhérent.....	76 000 kg	Effort de traction à la jante....	9 800 kg
Puissance continue (1).....	3 700 ch	Vitesse.....	107 km/h
Puissance unihoraire (1).....	3 900 ch		

III. — DESCRIPTION DE LA LOCOMOTIVE.

(Planche IV)

A. **Partie mécanique.** — *Châssis.* — Le châssis principal est extérieur aux roues motrices et se compose de deux longerons en tôle de 30 mm d'épaisseur et de 1,010 m de hauteur, entretoisés de la façon suivante :

— deux traverses de tête en tôle de 20 mm d'épaisseur ;

(1) Pour un échauffement de 120°.

Fig. 4.

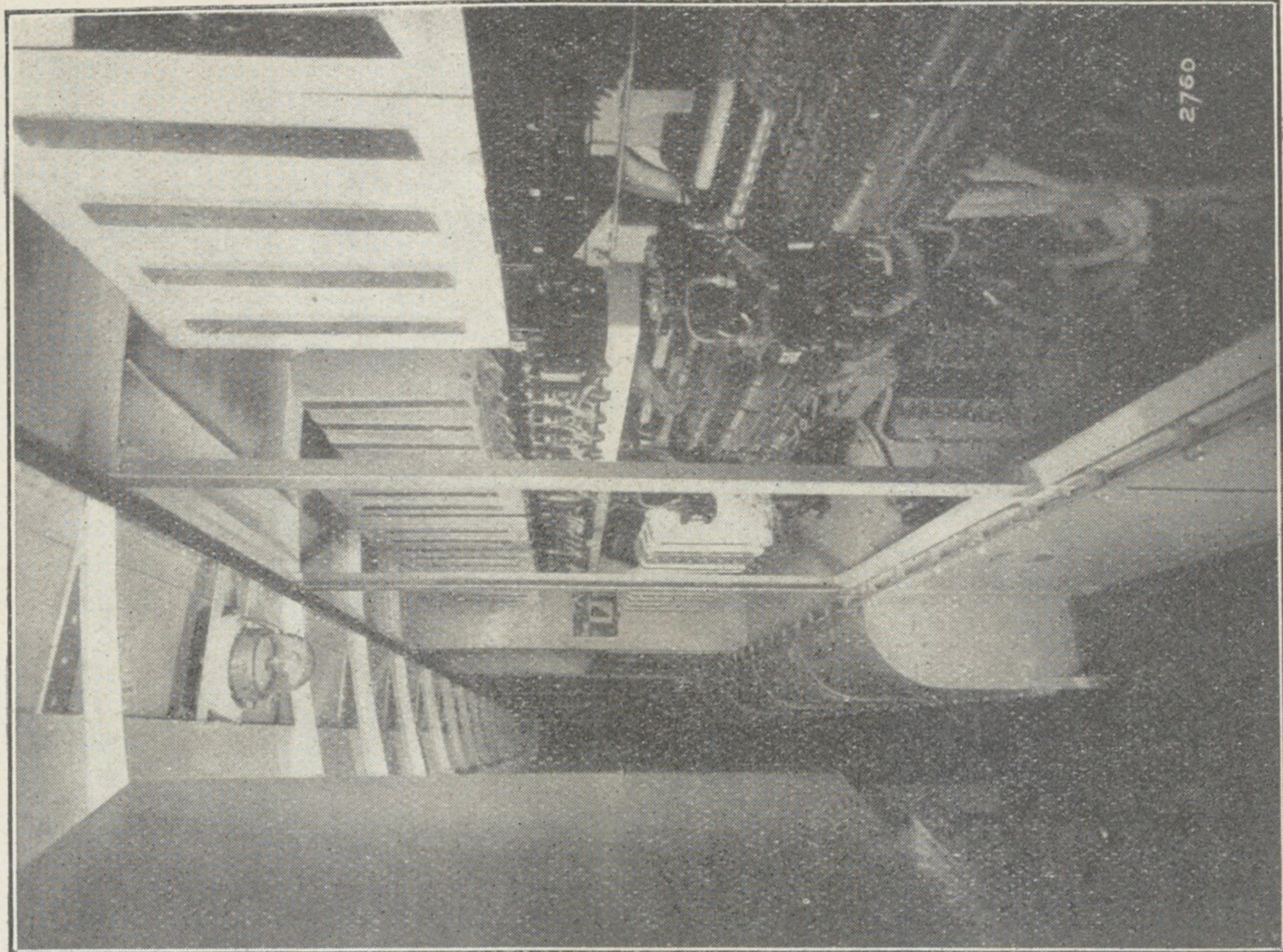
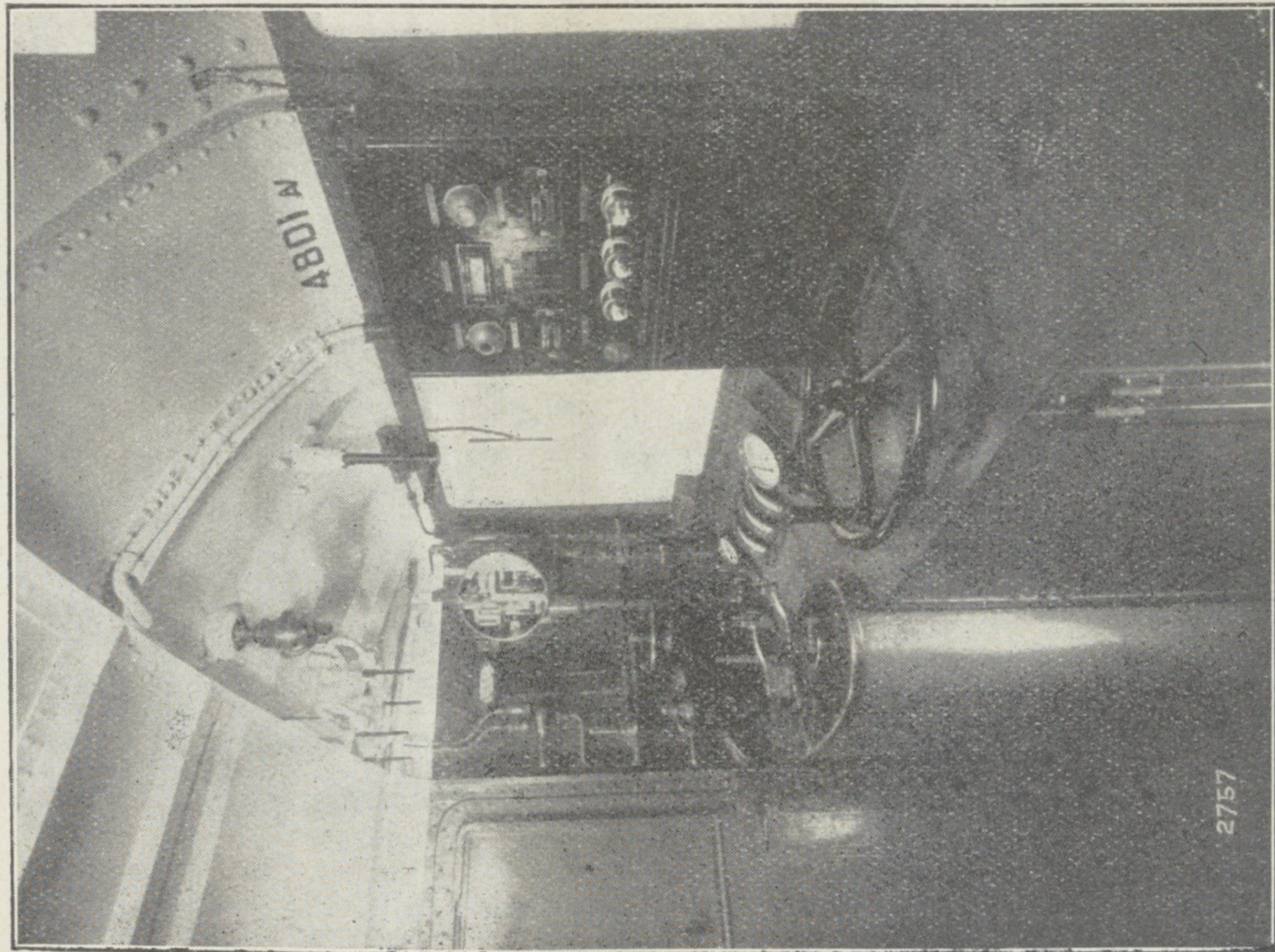


Fig. 3.



— deux traverses de pivots de bogies en acier moulé portant chacune un pivot vertical d'entraînement et deux rotules sphériques d'appui sur les patins plans ;

— deux traverses extrêmes de support simple de moteur en acier moulé ;

— trois traverses intermédiaires de support double de moteur en acier moulé.

Dans la partie comprise entre les traverses de tête et les traverses pivots de bogie, le châssis est consolidé par deux profilés longitudinaux.

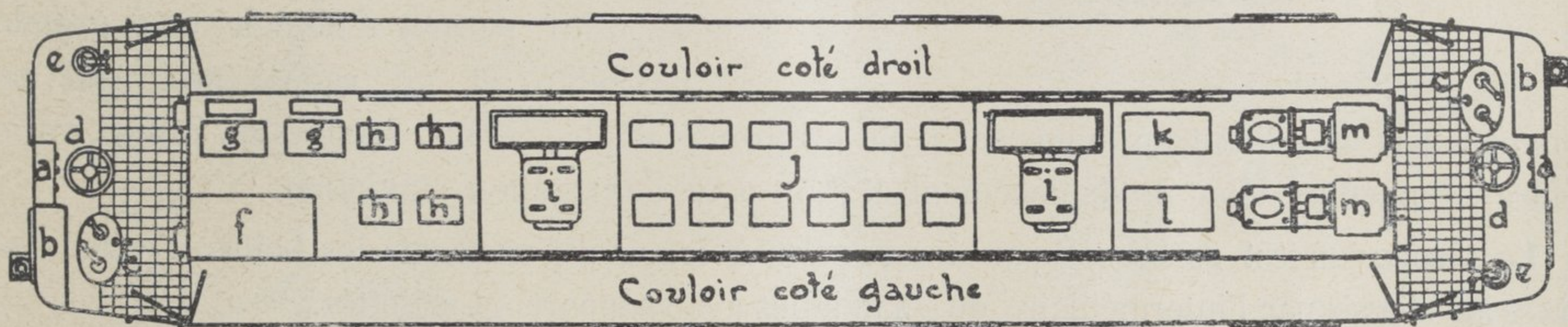
Entre les traverses pivots de bogies et les traverses extrêmes, le châssis est également consolidé par deux longrines longitudinales.

Les tampons fixés sur les traverses de tête, sont du type « à ressort-bague ». De même que les appareils de traction, ils répondent aux conditions exigées pour le matériel unifié des Chemins de fer français.

Caisse. — La caisse entièrement métallique fait corps avec le châssis. Elle est symétrique et comporte à chaque extrémité une cabine de manœuvre (Fig. 3) contenant les appareils de conduite, de freinage et de mesure fonctionnant dans les mêmes conditions de sécurité et de visibilité dans les deux sens de marche.

La partie de la caisse comprise entre les cabines comporte deux couloirs latéraux (Fig. 4) menant d'une cabine à l'autre et fermés à leurs extrémités par des portes battantes vitrées ; elle est divisée comme suit (Fig. 5) :

Fig. 5.



Au centre le compartiment des résistances, fermé de chaque côté sur les couloirs par des panneaux amovibles. puis de part et d'autre et jusqu'aux cloisons des cabines, deux compartiments recevant l'appareillage électrique et les groupes compresseurs et fermés par des portes roulantes grillagées.

Entre les compartiments des résistances et des appareils, sont disposés symétriquement et surélevés les deux groupes moteur-ventilateur. Chaque groupe refoule l'air dans deux moteurs doubles par l'intermédiaire d'une conduite inclinée assurant une répartition d'air aussi égale que possible entre les moteurs. Un lanterneau central placé sur la toiture au-dessus du compartiment des résistances permet leur aération ; une partie de l'air servant au refroidissement des moteurs de traction arrive d'ailleurs par ce lanterneau. De part et d'autre du lanterneau et au-dessus de chaque groupe moteur-ventilateur est prévu un capot amovible donnant toute facilité, soit pour la mise en place, soit pour l'enlèvement de ce groupe.

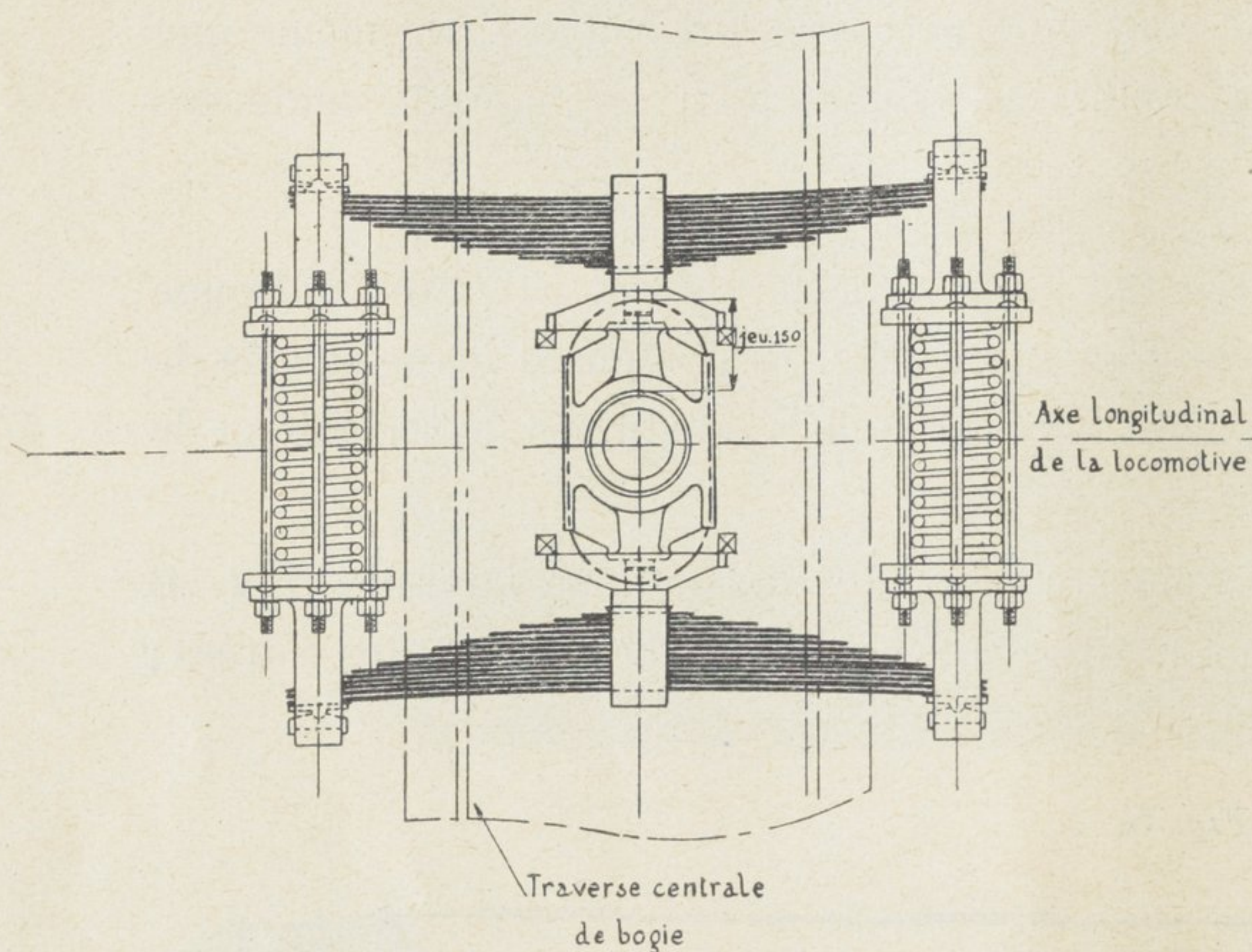
L'accès à l'intérieur de la locomotive se fait dans chaque cabine par des marchepieds et deux portes latérales. Quatre baies fixes réparties sur chaque paroi longitudinale extérieure assurent l'éclairage de l'intérieur.

Bogies. — Les bogies directeurs avant et arrière sont d'un type analogue à ceux des locomotives à vapeur Pacific et des locomotives électriques 2-C-2 de la Compagnie du Midi, sauf que les fusées sont extérieures au lieu d'être intérieures aux roues.

Ces bogies comportent un pivot d'entraînement central pouvant se déplacer transversalement de 150 mm de chaque côté par rapport à la caisse et deux patins plans latéraux et à rotule supportant la charge.

Fig. 6.

En alignement



L'empattement des essieux est de 2 mètres, le diamètre des roues de 900 mm.

Les longerons, constitués en tôle de 30 mm d'épaisseur, sont placés extérieurement aux roues. Ils sont assemblés entre eux par une traverse centrale de charge en acier moulé et par deux entretoises extrêmes en profilés.

Les déplacements transversaux des pivots d'entraînement sont contrariés dans chaque sens par deux ressorts de rappel à lames, conjugués en série avec deux ressorts à boudin (Fig. 6). Ce dispositif permet d'obtenir une grande flexibilité et un rappel progressif ne

donnant pas un effort trop important pour les grands déplacements. L'effort de rappel varie entre 4 tonnes au début du déplacement et 6,5 t pour l'élongation maximum.

La suspension est constituée par des ressorts à lames reposant sur les boîtes d'essieux et fixés au châssis par l'intermédiaire de chandelles avec supports et sellettes.

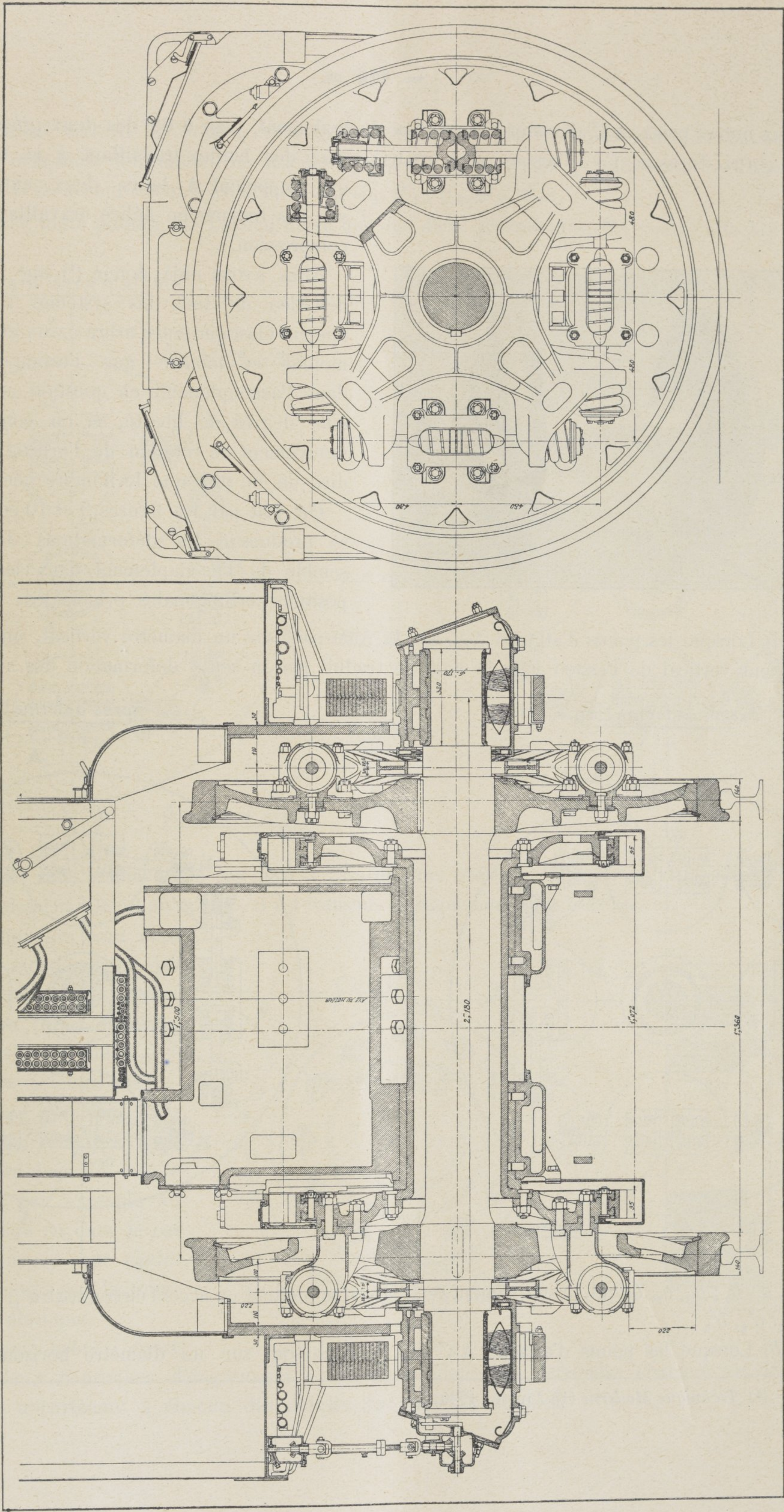
Essieux moteurs. — Les quatre essieux moteurs sont montés rigidement dans le châssis qu'ils entraînent par l'intermédiaire des guides de boîtes à huile.

Les roues motrices en acier moulé ont un diamètre de 1,750 m au roulement.

Les essieux ont 210 mm de diamètre au corps et comportent des fusées extérieures de 320×170 .

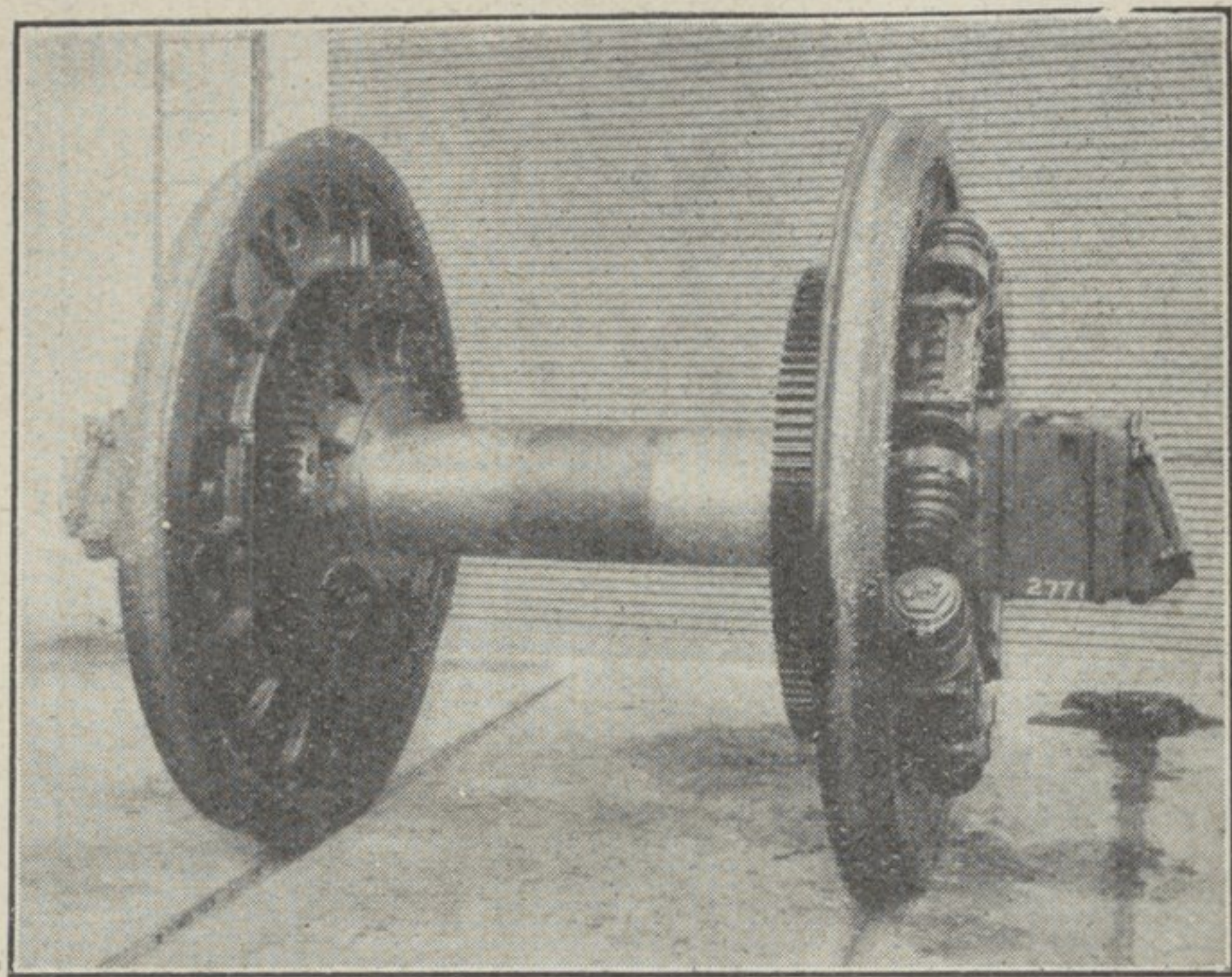
Transmission. — La transmission du mouvement de chaque moteur double à l'essieu correspondant s'effectue par l'intermédiaire d'un arbre creux qui reçoit la puissance du moteur au moyen de deux roues d'engrenages cylindriques dont il sera parlé tout à l'heure. Ces arbres creux laissent autour de chaque essieu un jeu radial de 40 mm et reposent dans deux paliers fixés à la carcasse des moteurs correspondants et par conséquent à la caisse. La transmission du mouvement de l'arbre creux à l'essieu s'effectue à chaque roue par l'intermédiaire d'un accouplement élastique (Fig. 7 et 8) placé à l'extérieur du centre de roues. Cet accouplement se compose essentiellement d'un anneau dansant (Fig. 9 et 10) relié par deux de ses points MM' diamétralement opposés à un plateau fixé sur l'arbre creux et par

Fig. 7.



deux autres points AA' diamétralement opposés également, mais à 90° des deux précédents, au corps de roue. Ces liaisons sont réalisées par des bielles travaillant à la traction qui s'appuient à leurs deux extrémités sur des ressorts en hélice travaillant à la compression.

Fig. 8.



Nous avons déjà donné (1) une analyse détaillée de tous les systèmes d'entraînement élastique entre arbre creux et essieu-moteur et montré que l'essieu-moteur dans l'accouplement en question possédait cinq degrés de liberté, si on compte le mouvement de rotation de l'arbre, c'est-à-dire un de plus que le nombre nécessaire.

On voit par les figures 9 et 10 comment se produisent les déformations de l'ensemble de l'accouplement dans les deux positions orthogonales principales :

a) Lorsque les points d'attache AA' sur la roue sont sur un diamètre vertical, un déplacement vertical de l'essieu vers le haut se traduit par la seule déformation des attaches,

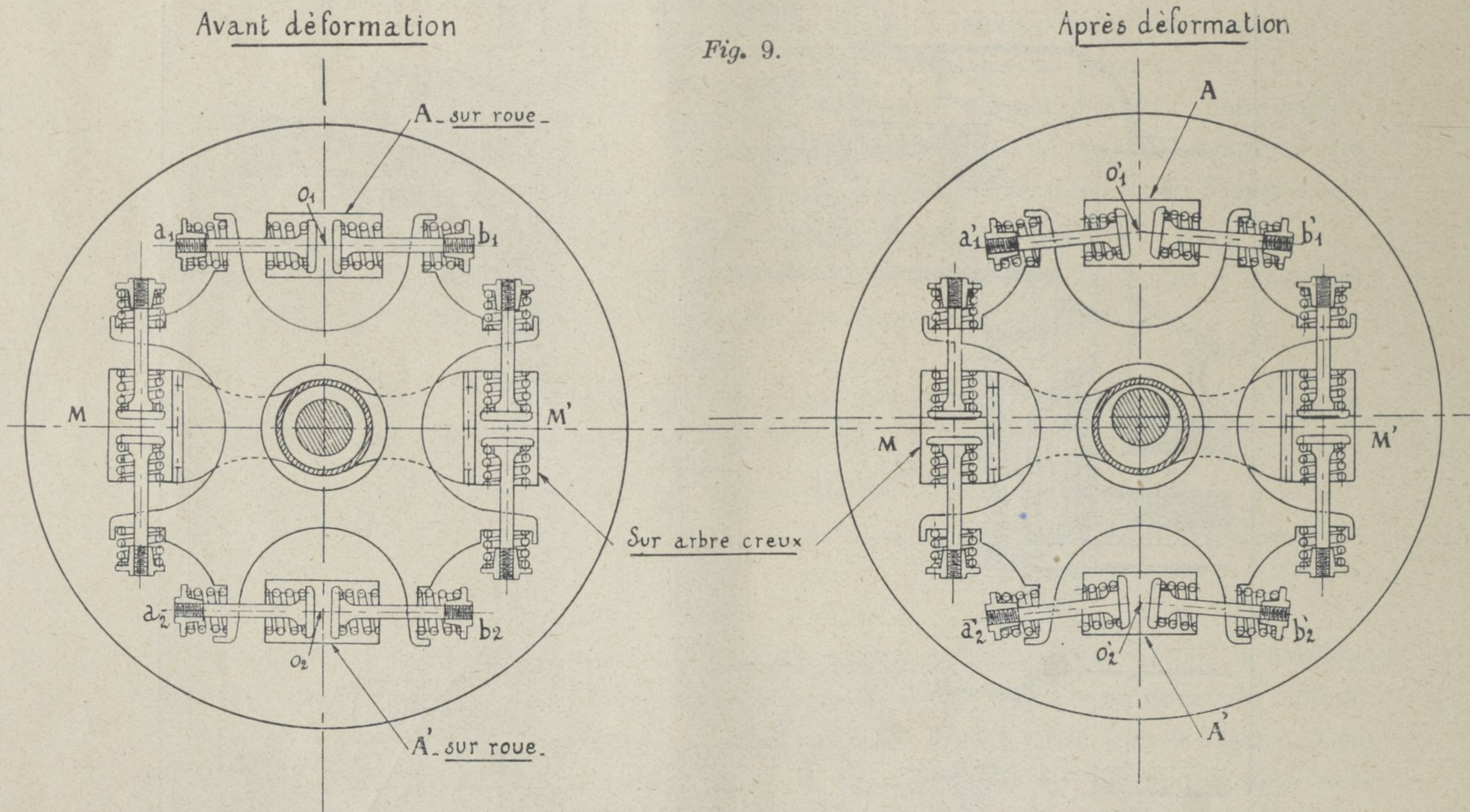


Fig. 9.

$a_1, o_1, b_1; a_2, o_2, b_2$ qui, primitivement rectilignes, se mettent en accent circonflexe $a'_1, o'_1, b'_1; a'_2, o'_2, b'_2$;

b) Lorsque les points d'attache AA' sur la roue sont sur un diamètre horizontal, un

(1) *Technique Moderne* (15 Janvier 1930).

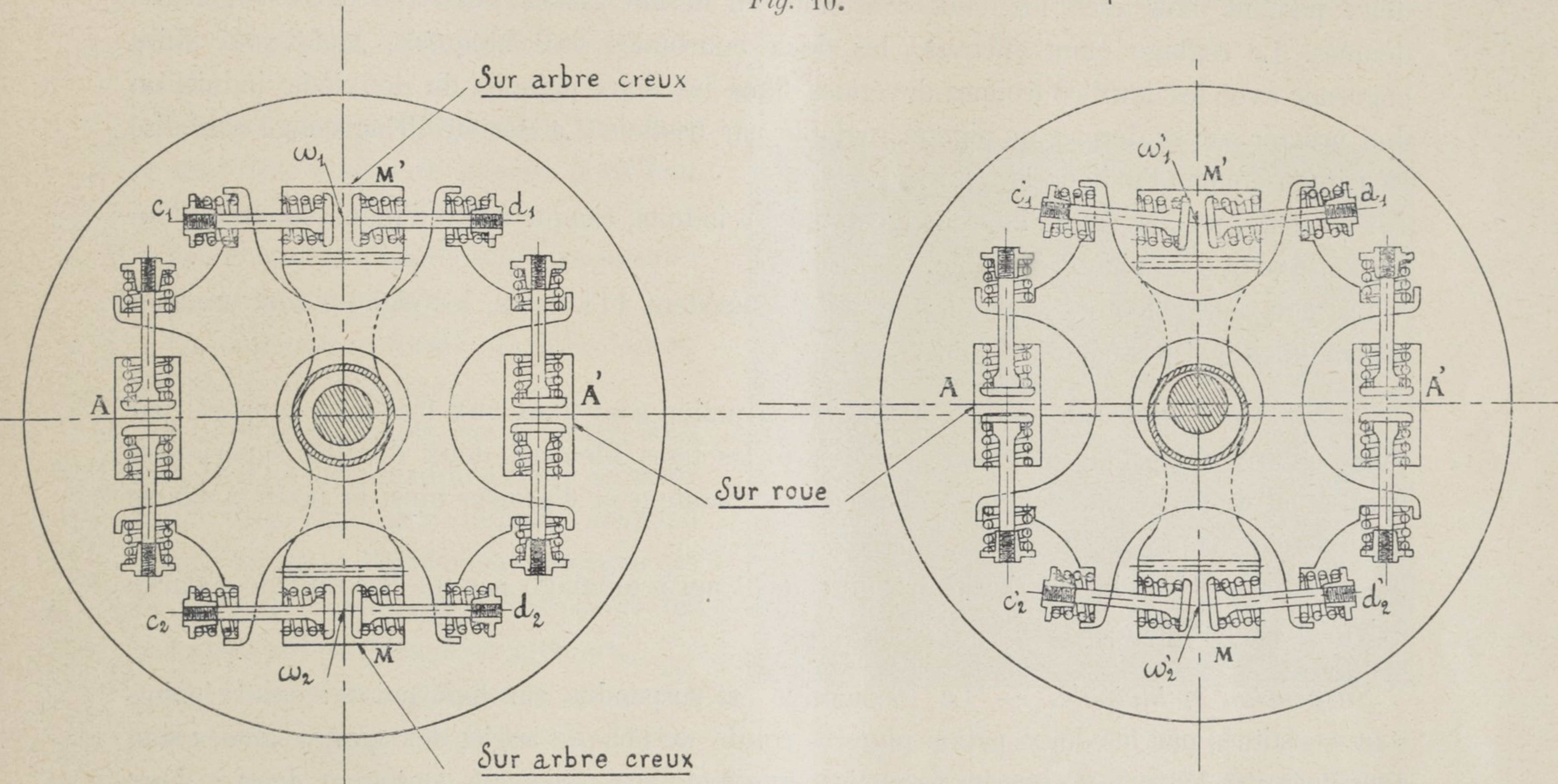
déplacement vertical de l'essieu vers le haut se traduit par le soulèvement de l'anneau dansant et la seule déformation des attaches c_1, ω_1, d_1 ; c_2, ω_2, d_2 qui, primitivement rectilignes, se mettent en accent circonflexe inversé $\overset{\circ}{c}_1, \overset{\circ}{\omega}_1, \overset{\circ}{d}_1$; $\overset{\circ}{c}_2, \overset{\circ}{\omega}_2, \overset{\circ}{d}_2$;

c) Dans toute position de l'essieu autre que les deux précédentes, les quatre attaches se

Avant déformation

Après déformation

Fig. 10.



déforment simultanément de manière à assurer sans résistance sensible la déformation de l'accouplement. Quant au couple, il est transmis élastiquement dans tous les cas.

Les moteurs sont ainsi rendus indépendants des chocs qui se produisent entre les trains de roues et le rail. De même, les réactions violentes qui tendent à se produire dans l'engrenage lors des variations brusques du couple moteur, par exemple au démarrage ou dans le cas de patinage, sont également amortis par la transmission élastique.

Chaque arbre creux porte deux couronnes d'engrenages cylindriques identiques, attaquées chacune par deux pignons appartenant à chacun des induits des moteurs doubles.

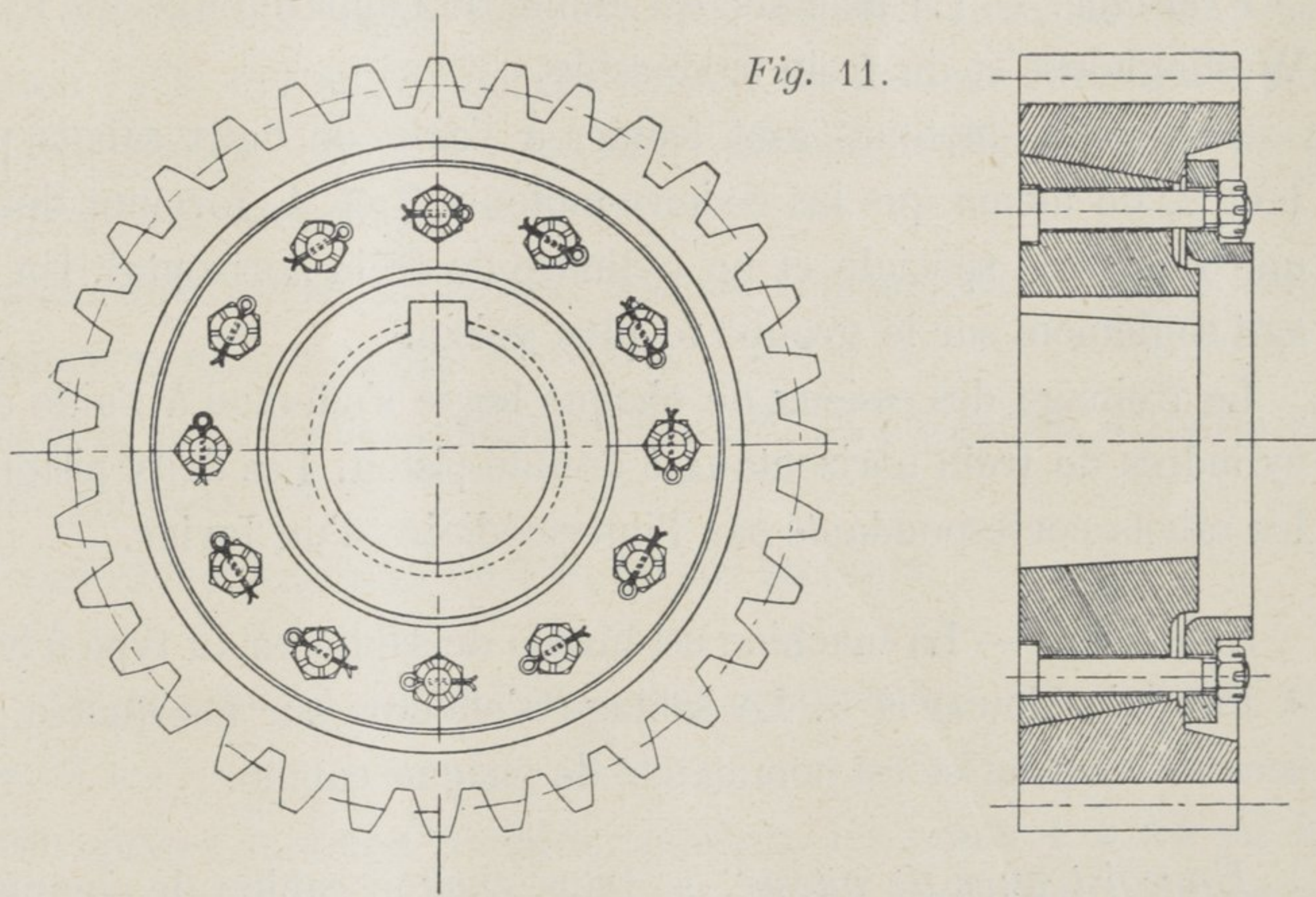


Fig. 11.

Le montage d'un tel ensemble comprenant quatre couples de pignons cylindriques devant engrener *simultanément* n'était pas sans présenter de sérieuses difficultés mécaniques.

Elles ont été résolues de la manière suivante :

Les deux couronnes dentées solidaires de l'arbre creux sont fixées chacune par friction au moyen de queues d'aronde et d'éclisses (méthode adoptée par la Société l'Engrenage de St-Etienne), de sorte que le premier induit peut sans difficulté être amené à engrener par ses deux pignons fixes avec les deux couronnes en faisant glisser l'une des deux couronnes dentées. Le réglage étant effectué, les deux couronnes sont bloquées. Mais pour faire engrener avec les deux couronnes devenues fixes les deux pignons du deuxième induit, on doit prévoir sur ce dernier un pignon réglable par friction. La Société l'Engrenage a réalisé ce pignon comme l'indique la figure 11.

En réalité, pour assurer l'interchangeabilité des induits, chaque arbre d'induit est muni d'un pignon fixe et d'un pignon réglable.

Les couronnes dentées sont en acier G et possèdent 111 dents, les pignons sont en acier chrome-nickel et possèdent 32 dents.

Fixation des moteurs. — Les moteurs de traction sont fixés aux traverses supports par leurs quatre angles au moyen de quatre fortes tiges filetées ; deux douilles superposées permettent de régler exactement leur position en hauteur et d'assurer ainsi la position exacte des axes de chaque arbre creux.

Ces tiges filetées sont assujetties définitivement après montage par un dispositif de sécurité évitant tout dérèglement.

Suspension principale. — La locomotive est suspendue sur huit points : quatre points sont constitués par les deux patins plans à rotule de chaque bogie, les quatre autres sont constitués par les axes des quatre balanciers longitudinaux servant à conjuguer deux à deux les ressorts des essieux-moteurs. Le premier essieu-moteur est conjugué avec le deuxième, de même que le troisième essieu l'est avec le quatrième. Il n'y a pas de balanciers transversaux.

Freinage. — La machine est munie de l'appareillage du frein à air comprimé automatique Westinghouse et du frein modérable.

Les essieux-moteurs sont freinés à l'aide de deux sabots par roue. Les essieux-moteurs 1 et 2, de même que les essieux-moteurs 3 et 4, forment deux groupes freinés chacun par une timonerie spéciale et un cylindre de frein horizontal. Un frein à vis dans chaque cabine agit seulement sur le groupe le plus voisin.

Le freinage des essieux de chaque bogie s'effectue à l'aide d'un sabot par roue et de deux cylindres de frein horizontaux à double piston. Les deux pistons de chaque cylindre attaquent les sabots correspondants par l'intermédiaire d'un levier.

Sablières. — La machine est munie de sablières du type à hélice à commande pneumatique « Jourdain-Monneret ». Le sablage s'effectue sur les quatre essieux-moteurs dans les deux sens de marche et est commandé de chaque cabine.

Enregistreurs de vitesse. — Dans chaque cabine de commande est installé un indicateur-enregistreur de vitesse « Hausshalter » muni d'un dispositif répéteur et enregistreur des signaux.

B. Partie électrique. — Moteurs. — Chaque essieu est actionné par un moteur double à courant continu à excitation série dont les induits sont montés côte à côte dans une carcasse commune. Ces induits sont établis pour la tension de 750 volts et sont toujours connectés en série.

Chaque carcasse inductrice est à quatre pôles et comporte, en outre, dans l'intervalle des pôles principaux, des pôles de commutation.

L'induit mesure 0,610 m de diamètre et ses tôles, isolées au papier, possèdent 84 encoches.

Les conducteurs sont isolés au mica et à l'amiante imprégnée.

Le collecteur, formé de 336 lames, a 0,550 m de diamètre.

Un moteur double se présente sous l'aspect d'un bloc quadrangulaire en acier coulé (Fig. 12) ; une cloison médiane sépare en deux l'évidement intérieur de ce bloc et constitue avec les parois les carcasses propres des deux moteurs.

Cet ensemble embrasse à sa partie inférieure les paliers supérieurs de l'arbre creux. Deux chapeaux en acier moulé maintiennent les coussinets inférieurs de ces paliers.

Des carters protègent les couronnes dentées et des trappes permettent une visite facile des divers organes.

Puissance des moteurs. — D'après les règles adoptées par l'Union Internationale des Chemins de fer pour la définition de la puissance, les limites d'échauffement admissibles par rapport à la température de l'air ambiant pour les organes moteurs isolés au mica et à l'amiante, sont fixées à 105° C (pour une ambiance de 25° C).

Dans ces conditions, la puissance unihoraire par moteur double sous tension de 1 500 volts est de 900 chevaux et la puissance continue de 850 chevaux.

A titre indicatif, nous dirons que, pour un échauffement de 120°, les puissances unihoraires et continues sont de 975 et 925 chevaux.

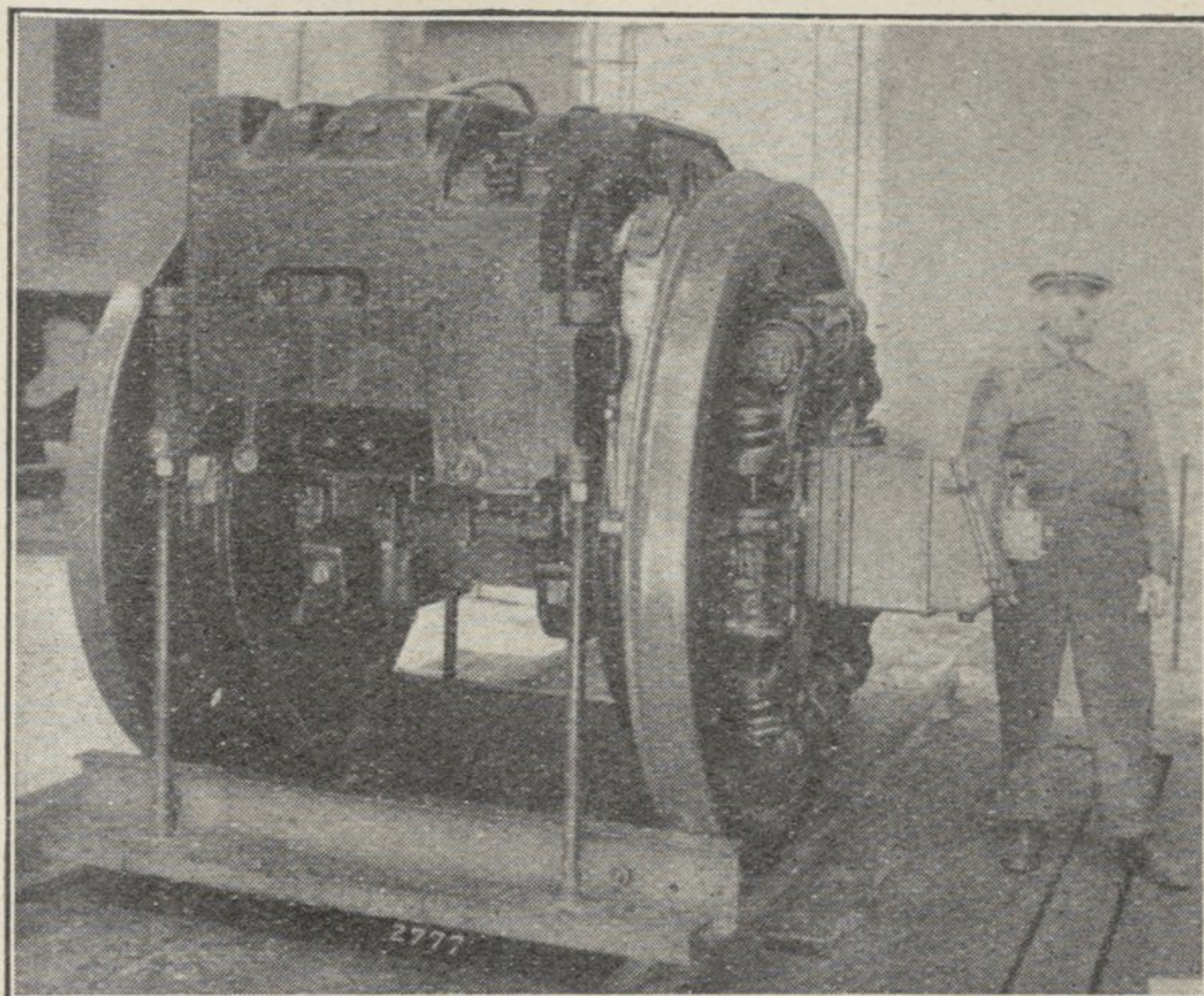
La figure 13 donne les courbes caractéristiques de l'un de ces moteurs.

Équipement électrique. — La régulation est obtenue par groupement des moteurs en série, série-parallèle, parallèle.

Le démarrage s'effectue avec quatre moteurs doubles en série, les crans 1 à 14 de la manette de manœuvre correspondant à l'élimination progressive des résistances. On passe ensuite en série-parallèle (positions 15 à 23) avec deux groupes en parallèle de deux moteurs en série. Enfin, les positions 24 à 33 correspondent à la marche en parallèle.

Les crans 14, 23 et 33 correspondent respectivement à la marche sans résistances avec

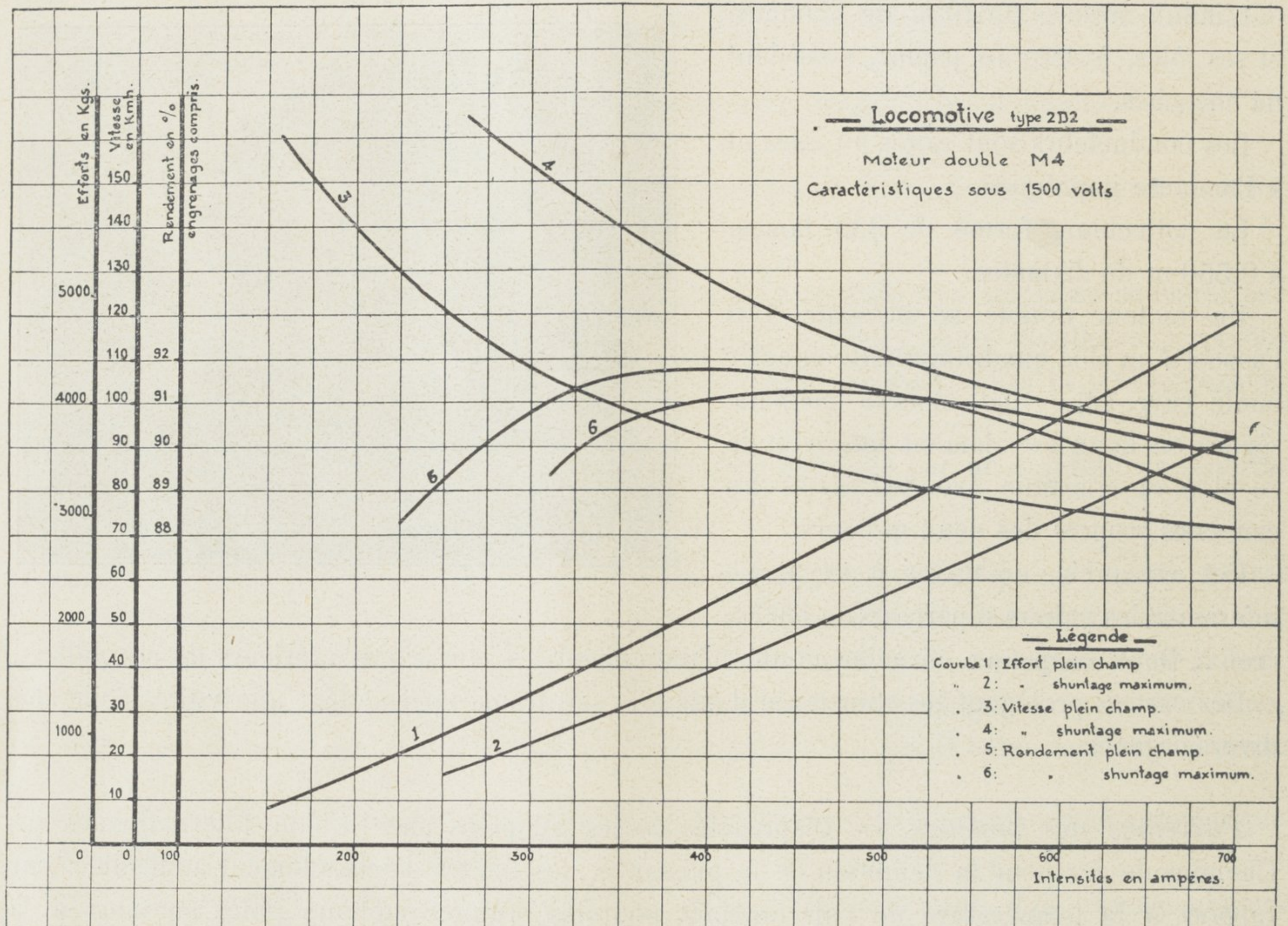
Fig. 12.



quatre moteurs en série, avec deux groupes en parallèle de deux moteurs en série et avec quatre moteurs en parallèle.

Le nombre de crans de démarrage et la valeur des résistances aux divers crans ont été choisis de manière à éviter tout risque de patinage lors des démarrages des charges prévues ; le démarrage peut s'effectuer jusqu'à la position série-parallèle avec une variation maximum

Fig. 13.



d'effort de 25 % lors du passage d'un cran au suivant, pour un effort maximum à la jante, après changement de cran, de 16 % du poids adhérent.

Pour le démarrage de la position série-parallèle (45 km/h) à la position fin parallèle (85 km/h), en raison de la diminution de l'adhérence aux vitesses élevées, la variation d'efforts au passage d'un cran au suivant a été réduite à 15 % pour un effort maximum à la jante, après changement de cran, de 13 % du poids adhérent.

Il a été prévu trois positions de shuntage des moteurs pour la marche en série et en série-parallèle (crans 14 et 23). Pour la marche en parallèle (cran 33) les deux premiers degrés de shuntage peuvent seuls être utilisés.

Un groupe de sectionneurs permet la mise hors circuit d'un moteur quelconque en cas d'avarie, tout en assurant le fonctionnement de la machine soit avec trois moteurs en série, soit avec un groupe de deux moteurs en série ou en parallèle, avec possibilité dans les deux cas d'utiliser la régulation par shuntage des inducteurs.

La figure 14 représente l'appareil qui permet d'isoler les moteurs avariés. La manœuvre en est aisée et rapide.

Le système de commande de la locomotive est du type électropneumatique. Dans l'ensemble, les dispositifs ne diffèrent pas de ceux que nous avons adoptés pour nos locomotives BB du dernier type. On a cherché, toutes les fois que cela a été possible, à réaliser l'interchangeabilité avec les pièces d'équipement de ces dernières machines. Seuls sont restés en dehors de cette unification, les appareils de la locomotive qui, par suite des intensités mises en jeu, ont dû être dimensionnés spécialement.

Les différentes connexions du circuit principal destinées soit à effectuer le démarrage de la locomotive, soit à assurer la marche en traction sont réalisées à l'aide, d'une part, de contacteurs fonctionnant dans un ordre déterminé et, d'autre part, d'un certain nombre d'appareils dits de position.

Les contacteurs réalisent la fermeture et la rupture du circuit principal (contacteurs principaux), l'élimination ou l'insertion des différentes portions de résistance de démarrage (contacteurs ordinaires), le shuntage des inducteurs (shunteurs), le changement de couplage des moteurs (transitionneurs).

Ils sont commandés soit individuellement, soit par groupe.

Les contacteurs à *commande individuelle* sont actionnés par des valves électropneumatiques, ils sont à rupture brusque et pour la plupart à soufflage magnétique (contacteurs principaux, contacteurs ordinaires).

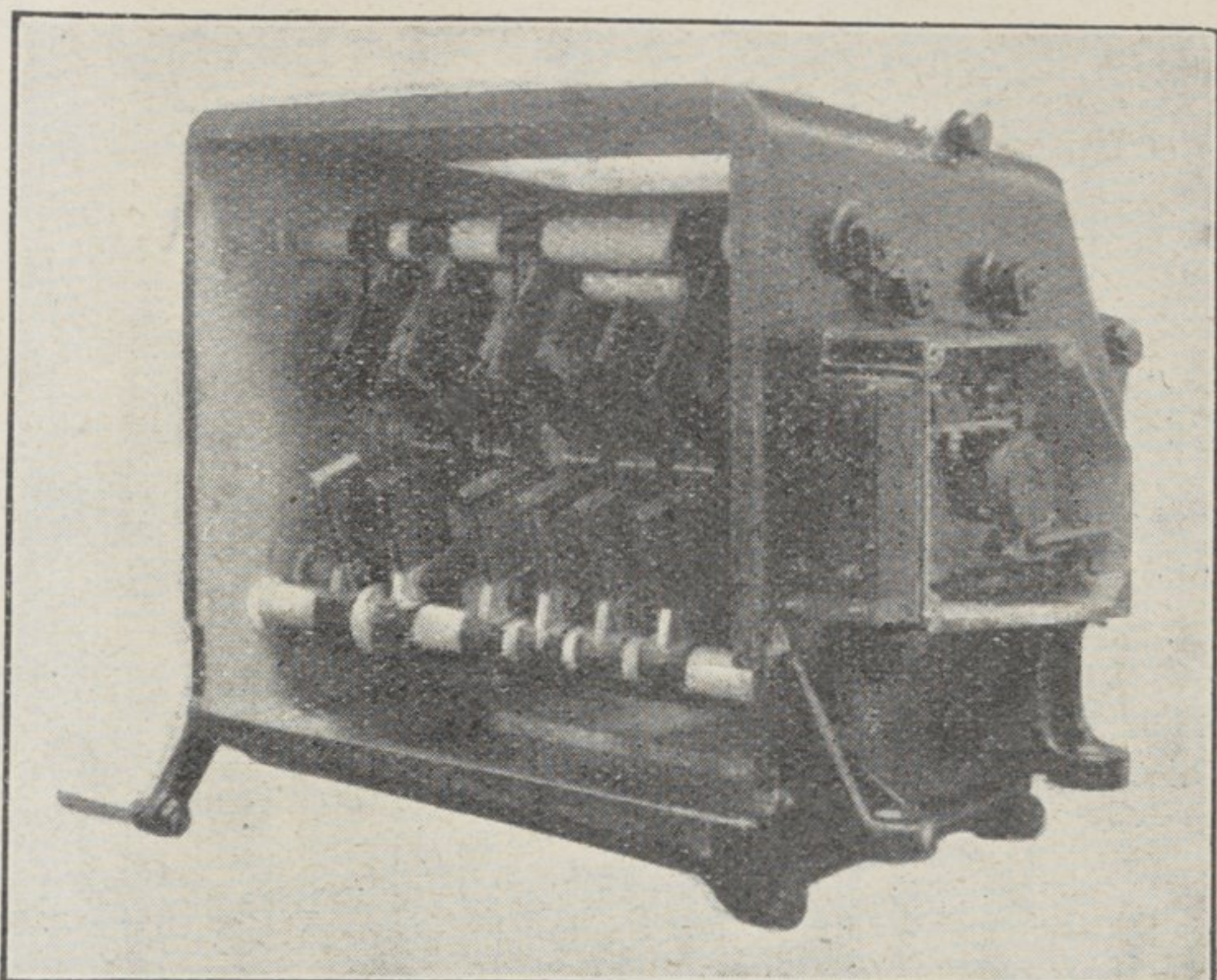
Les contacteurs individuels sans soufflage magnétique (shunteurs sur la troisième position de shuntage) réalisent le shuntage des inducteurs par résistances non inductives.

Les contacteurs à *commande par groupe* (transitionneurs et shunteurs sur les deux premières positions de shuntage) sont manœuvrés par des cames montées sur un arbre unique dont le mouvement est obtenu par une commande électropneumatique. Ces contacteurs sont soit munis du soufflage magnétique soit sans soufflage suivant le rôle qu'ils ont à remplir.

Les appareils de *position* réalisent les connexions convenables pour la marche en traction dans un sens déterminé (inverseurs). Ils sont constitués par un tambour portant des plots et par une série de contacts fixes. Les mouvements du tambour sont produits par un dispositif électropneumatique qui fonctionne indifféremment dans les deux sens. Ces appareils fonctionnant uniquement quand le courant est coupé, ne sont munis d'aucun soufflage.

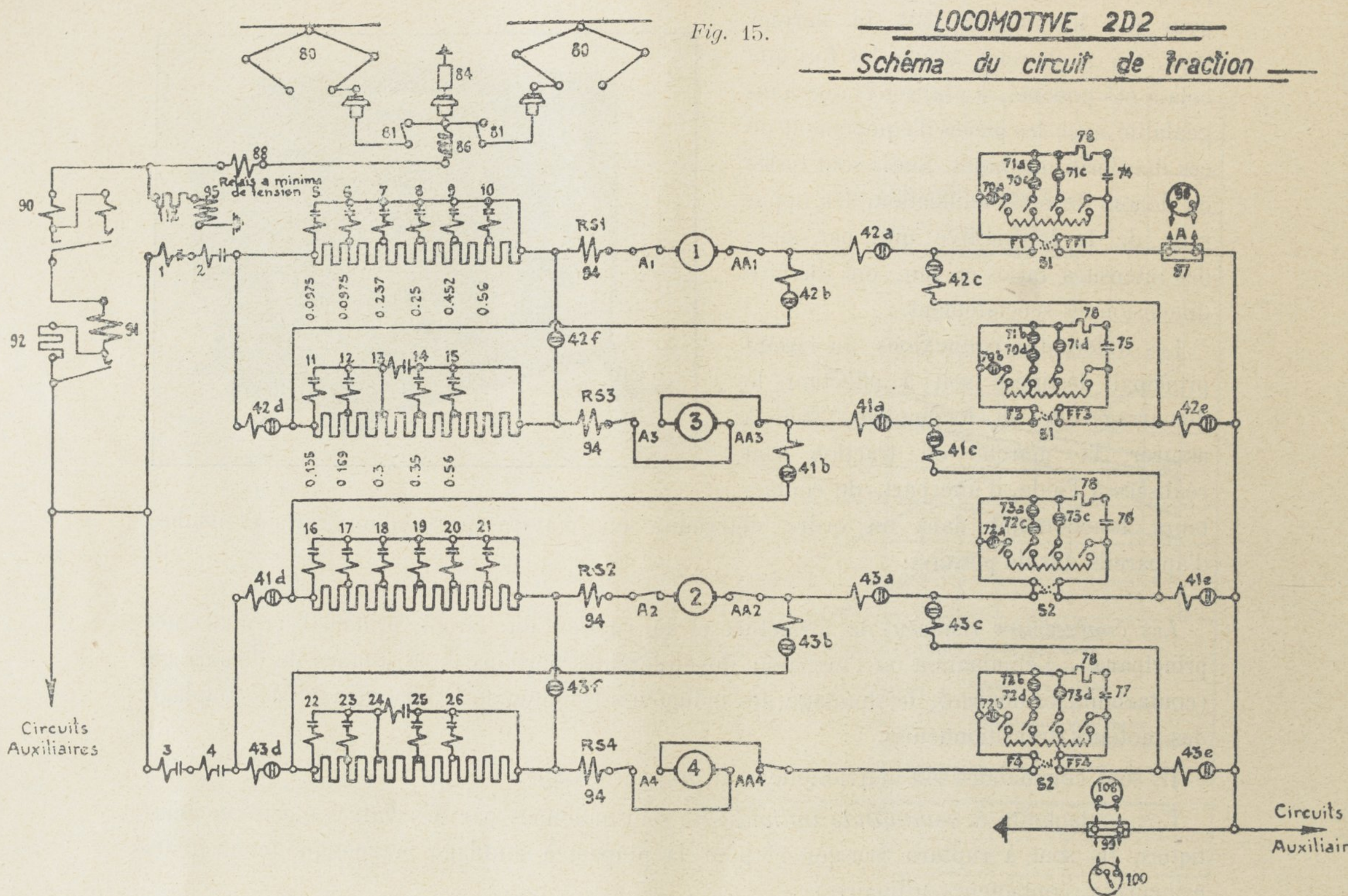
Parmi les appareils ci-dessus, tous ceux qui sont à basculement pneumatique (inverseurs, shunteurs, transitionneurs), sont installés de façon que leur position puisse être vérifiée

Fig. 14.



facilement. L'ordre de succession de fonctionnement de ces divers appareils est contrôlé par des enclenchements électriques.

Pour la protection contre les surintensités sur les circuits 1 500 volts, la locomotive comporte un disjoncteur ultra-rapide auquel est adjoint un interrupteur de deuxième coupure immédia-



tement placé en série avec le premier. La coupure se fait en deux temps : le disjoncteur par son ouverture n'interrompt pas le circuit, mais y introduit une résistance qui limite l'intensité, l'interrupteur réalise ensuite la coupure complète.

En définitive, le circuit à 1 500 volts (Figures 15 et 16), comprend à partir des pantographes :

- 1° les sectionneurs de pantographes ;
- 2° un parafoudre (condensateur) ;
- 3° une bobine de self ;
- 4° un relais de surcharge ;
- 5° un relais à minimum de haute tension avec sa résistance additionnelle ;
- 6° le contacteur général de deuxième coupure ;
- 7° le disjoncteur ultra-rapide ;
- 8° Les circuits des moteurs.

Un dispositif de sécurité coupe le courant d'alimentation lorsqu'une rupture se produit soit sur une connexion entre éléments soit sur la liaison entre la batterie et la terre.

Un relais à minimum de tension assure également la rupture du circuit basse tension lorsqu'une baisse de tension aux bornes de la batterie est susceptible de nuire au bon fonctionnement des contacteurs.

La batterie sert, en outre, à l'éclairage de la locomotive et alimente les lampes témoins, la bobine de maintien du disjoncteur ultra-rapide, les falots et les phares.

Ventilateurs. — La ventilation forcée des moteurs de traction est assurée par deux ventilateurs actionnés par des moteurs électriques de 13 chevaux à courant continu connectés en parallèle sous la tension de 1 500 volts.

Chacun de ces ventilateurs fournit un débit de 300 m³ d'air par minute, nécessaire au refroidissement de deux moteurs doubles.

Compresseurs. — L'air comprimé nécessaire au fonctionnement des freins, de l'appareillage, des sifflets et des sablières est produit par deux groupes compresseurs Westinghouse type F 1800 à deux cylindres verticaux à simple effet. Chaque compresseur est entraîné par un moteur électrique à 1 500 volts de 20 chevaux au moyen d'un manchon DEM et d'un réducteur à engrenages.

L'admission d'air aux cylindres se fait par un distributeur tournant. Le graissage est automatique, le refroidissement des cylindres est assuré par des ailettes. Chaque compresseur aspire 1 800 litres d'air par minute. Un régulateur automatique maintient la pression dans les réservoirs principaux à 7 kg/cm².

Pantographes. — Les appareils de prise de courant consistent en deux pantographes du type déjà employé par la Compagnie du Midi sur ses locomotives précédentes. Deux sectionneurs placés à l'intérieur de la machine permettent d'isoler l'un quelconque des pantographes.

Les pantographes se lèvent sous l'action des ressorts et s'abaissent sous l'action de cylindres à air comprimé.

Ils sont établis pour assurer une pression constante sur la ligne quelle que soit la hauteur de celle-ci entre 4,65 m et 6 m, au-dessus du plan de roulement. Toutes leurs articulations sont montées sur roulements à billes.

Des verrous à air accrochent automatiquement les pantographes dans leur position repliée, lorsqu'on les abaisse au moyen de la commande à air comprimé.

Des robinets de manœuvre, placés dans chaque cabine, permettent d'abaisser les pantographes et de les lever par ouverture pneumatique des verrous à air.

Des jeux de robinets ordinaires permettent à la commande d'agir soit sur l'un quelconque des pantographes, soit sur les deux simultanément.

L'installation est complétée par des verrous de sécurité commandés à la main et par des cordes, isolées électriquement des pièces sous tension et susceptibles d'être utilisées pour descendre les pantographes dans le cas peu probable de défaillance de la commande pneumatique.

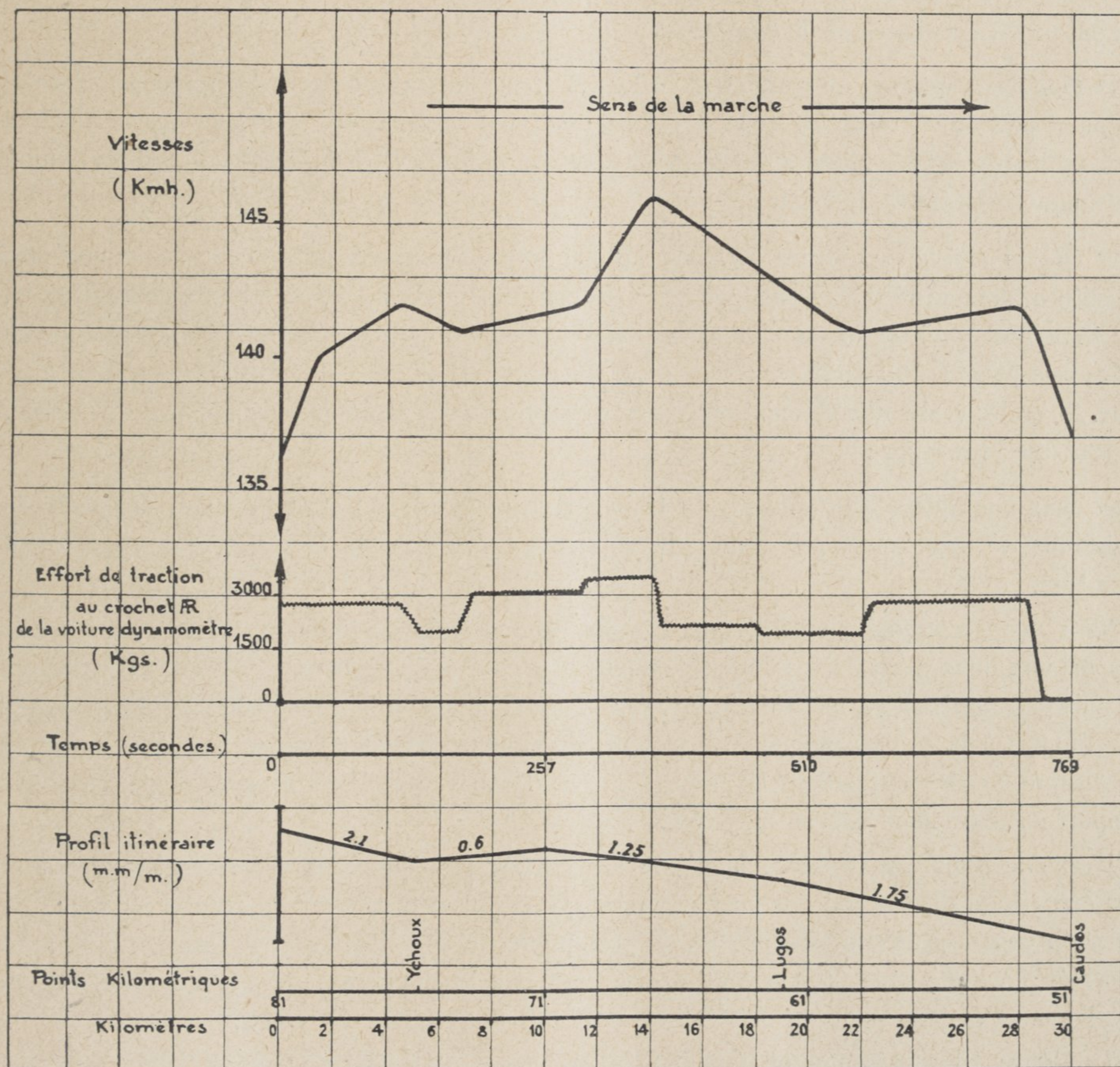
IV. — ESSAIS EFFECTUÉS AVEC LA LOCOMOTIVE 2-D-2 — E. 4802
 ET LE WAGON DYNAMOMÈTRE N° 4 DE L'O. C. E. M.
 SUR LA LIGNE DE BORDEAUX A IRUN EN DÉCEMBRE 1932.

Des essais de traction avec la locomotive 2-D-2 E. 4802 ont été effectués du 13 au 30 Décembre 1932 sur la ligne de Bordeaux à Irun en vue d'examiner si ce type de locomotives répondait aux conditions du Cahier des Charges de la fourniture et d'étudier les conditions du service qu'on pourrait lui faire assurer.

L'utilisation du wagon dynamomètre N° 4 de l'O.C.E.M., incorporé dans la composition des trains d'essais, et attelé directement derrière la locomotive, a permis d'effectuer les enregistrements simultanés :

des temps, des distances, des vitesses, des efforts de traction ou de compression au crochet, des forces d'inertie, des travaux de ces efforts ou de ces forces.

Fig. 17.



Les essais ont montré que non seulement la locomotive répondait aux conditions fixées, mais que les garanties données par le constructeur étaient largement dépassées.

Il peut être mentionné à titre d'indication :

a) qu'un train de 489 tonnes a pu être remorqué sur un parcours de 30 km entre Morcenx et Lamothe à une vitesse supérieure à 140 km/h avec maximum de 146 km/h.

La figure 17 donne des extraits des enregistrements effectués, sur le wagon dynamomètre, sur ce parcours dont le profil est également indiqué.

b) qu'un train de 676 tonnes, sur ce même parcours, a été remorqué à des vitesses supérieures à 130 km/h avec des maxima à 139 km/h.

c) qu'un train de 817 tonnes, sur ce même parcours, a été remorqué à des vitesses supérieures à 125 km/h avec des maxima à 134 km/h.

Le dépouillement des diagrammes enregistrés au cours de longues coulées, c'est-à-dire avec courant coupé, de trains de 225, 410, 580 et 825 tonnes (remorquées) a permis d'établir des courbes de résistance au roulement de la locomotive et des voitures aux vitesses élevées qui ont pu être réalisées et de constater :

1° Que la résistance au roulement en kg par tonne de la locomotive attelée paraît relativement peu élevée pour ce type de locomoteur, par rapport aux résistances généralement admises pour des locomoteurs électriques de même puissance, mais il est vrai, de réalisation mécanique nettement différente ;

2° Que la résistance au roulement en kg par tonne de voiture pour des trains homogènes, constitués, comme c'était le cas, par des voitures métalliques à bogies, à intercommunication, de 45 tonnes environ et de dimensions ou de profils à peu près identiques, est nettement inférieure jusqu'à 100 km/h aux valeurs données par la plupart des formules connues à ce jour, formules vraisemblablement obtenues avec du matériel moins homogène, moins moderne, en tout cas plus léger ;

3° Que, quel que soit le tonnage du train remorqué entre 200 et 800 tonnes, la courbe de résistance au roulement par tonne de voiture en fonction de la vitesse est sensiblement la même.

Nous avons constaté en effet, que si pour chaque train de tonnage défini, on trace par rapport aux deux mêmes axes de coordonnées une courbe de résistance, les courbes extrêmes du faisceau ainsi obtenu présentent des écarts maxima compris entre 100 et 200 grammes par rapport à la courbe moyenne. En outre, les points extrêmes ayant servi à l'établissement de chaque courbe particulière ne présentent pas d'écarts supérieurs à ± 500 grammes par rapport à cette même courbe moyenne.

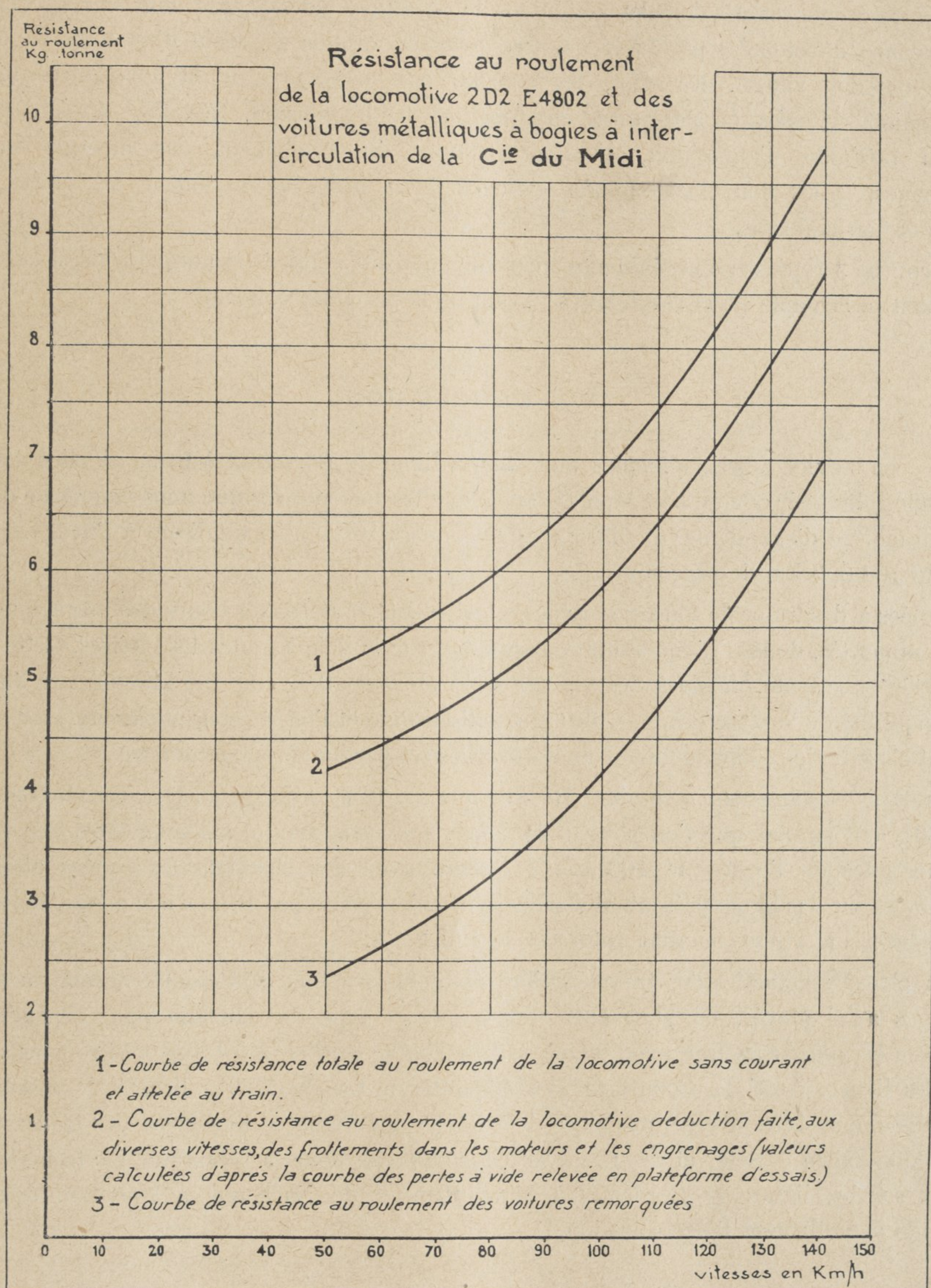
Il semble donc, sous réserve bien entendu du degré de précision des enregistrements ou des erreurs de lecture qui ont pu être faites, qu'on puisse considérer la courbe moyenne en question comme suffisamment précise en pratique et que, quel que soit le tonnage des trains considérés compris entre 200 et 850 tonnes, cette courbe donnera à $\pm 3\%$ près, des valeurs sensiblement exactes pour du matériel du type utilisé au cours des essais.

La figure 18 représente, en fonction de la vitesse et en kg par tonne, d'une part les

courbes de résistance au roulement de la locomotive attelée et, d'autre part, celle de résistance moyenne au roulement des voitures.

La courbe 1 représente la résistance totale au roulement de la locomotive sans courant et attelée au train (c'est-à-dire sans succion à l'arrière).

Fig. 18.



La courbe 2 est déduite de la précédente, par soustraction, aux diverses vitesses, de la résistance due aux frottements dans les moteurs et dans les engrenages, cette dernière

résistance étant calculée d'après la courbe des pertes à vide relevée sur les moteurs au plancher d'essai.

La courbe 2 est en somme la courbe de résistance de la locomotive dans laquelle on aurait désolidarisé les essieux de leurs engrenages.

Cette courbe doit être utilisée dans tous les calculs de traction, soit pour la détermination des charges remorquables dans les conditions de puissance définies, soit dans la recherche de la puissance développée par la locomotive pour remorquer un train d'un tonnage donné à une certaine vitesse. En effet, les courbes caractéristiques de la locomotive (efforts de traction, vitesses et puissance en fonction de l'intensité), établies en plateforme par la méthode d'opposition, tiennent compte du rendement des moteurs et des engrenages. Elles donnent donc *des valeurs à la jante* et englobent les pertes dont il est question ci-dessus.

La courbe 3 représente la résistance au roulement des voitures remorquées (c'est-à-dire en ne tenant pas compte de la résistance à l'avant de la première voiture).

V. — CONCLUSIONS

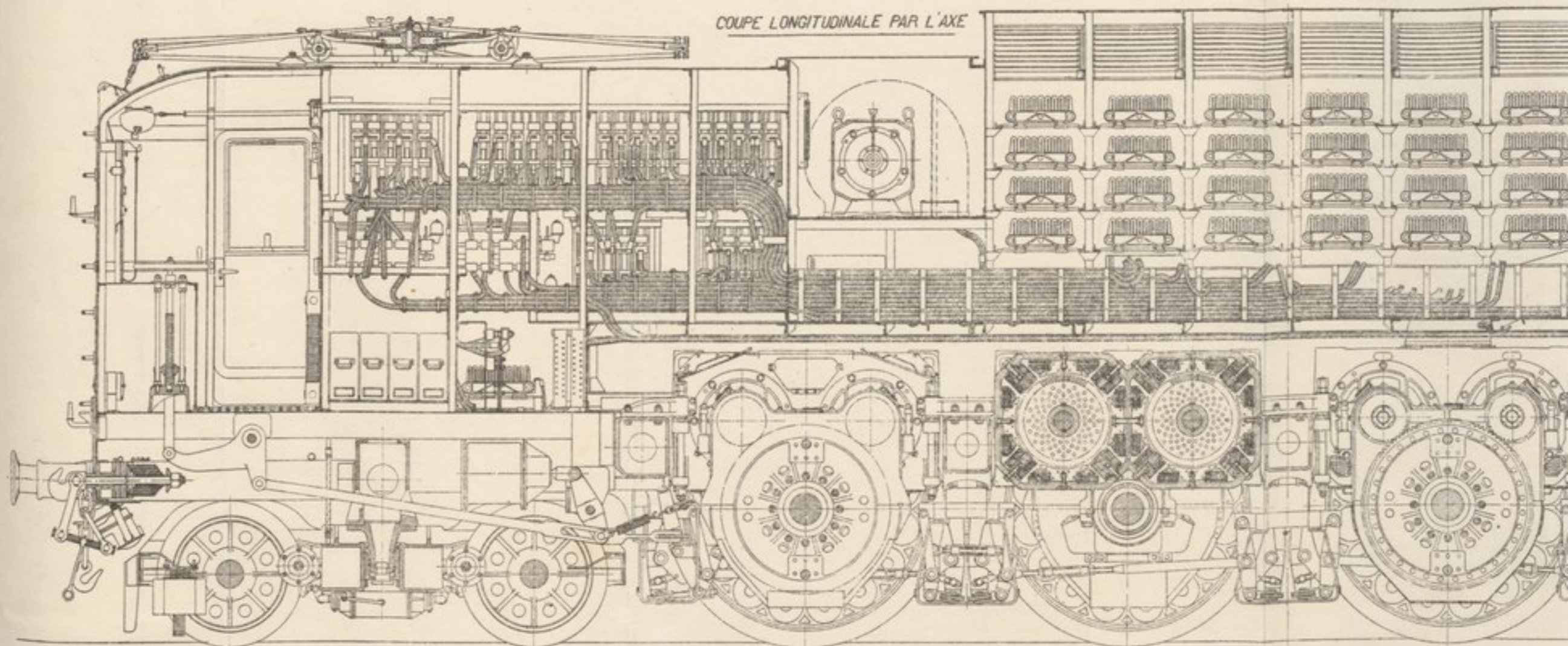
Mises en service depuis quelques mois sur la ligne de Bordeaux à Irun, où elles assurent la traction des trains express et rapides, les nouvelles locomotives que nous venons de décrire ont fait montre d'excellentes qualités ; quelques-unes d'entre elles totalisent à l'heure actuelle plus de 100 000 km de parcours.

Attelées à des trains de tonnages variés, elles se sont révélées au cours des essais que nous avons rapportés, douées d'une tenue remarquable sur la voie à toutes les vitesses. Cette tenue est restée excellente, même à des vitesses assez élevées atteignant 150 kilomètres à l'heure ; la tranquillité de la plateforme est des plus satisfaisante et l'on ne constate aucun mouvement gênant d'oscillation ; l'inscription dans les courbes est particulièrement douce.

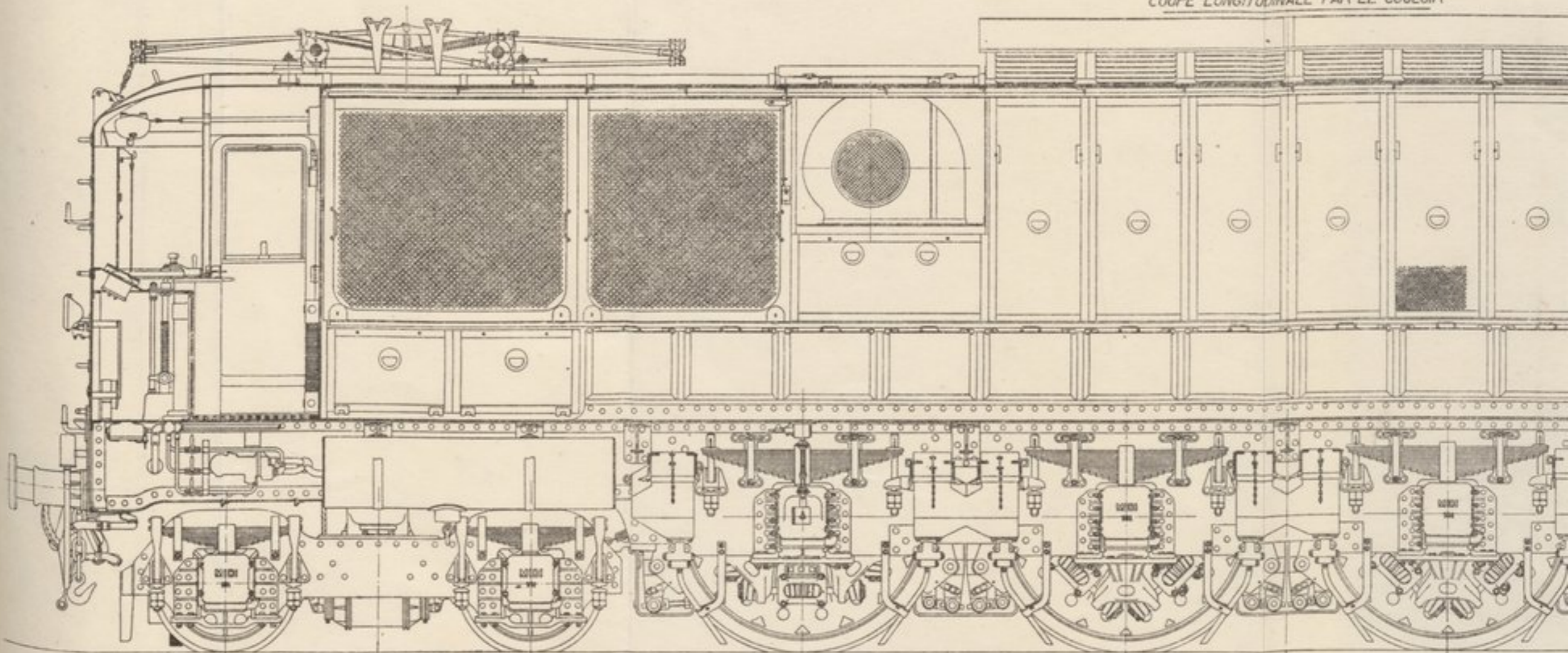
Des essais effectués tant sur notre Réseau que sur le Réseau du P.-O. avec des machines E. 4801, ont montré que l'on pouvait facilement assurer avec ces locomotives des vitesses commerciales de l'ordre de 100 km à l'heure avec des charges remorquées atteignant 800 tonnes sur des lignes présentant des déclivités n'excédant pas 10 mm par mètre, tout en ne dépassant pas la vitesse maxima autorisée de 120 km/h.

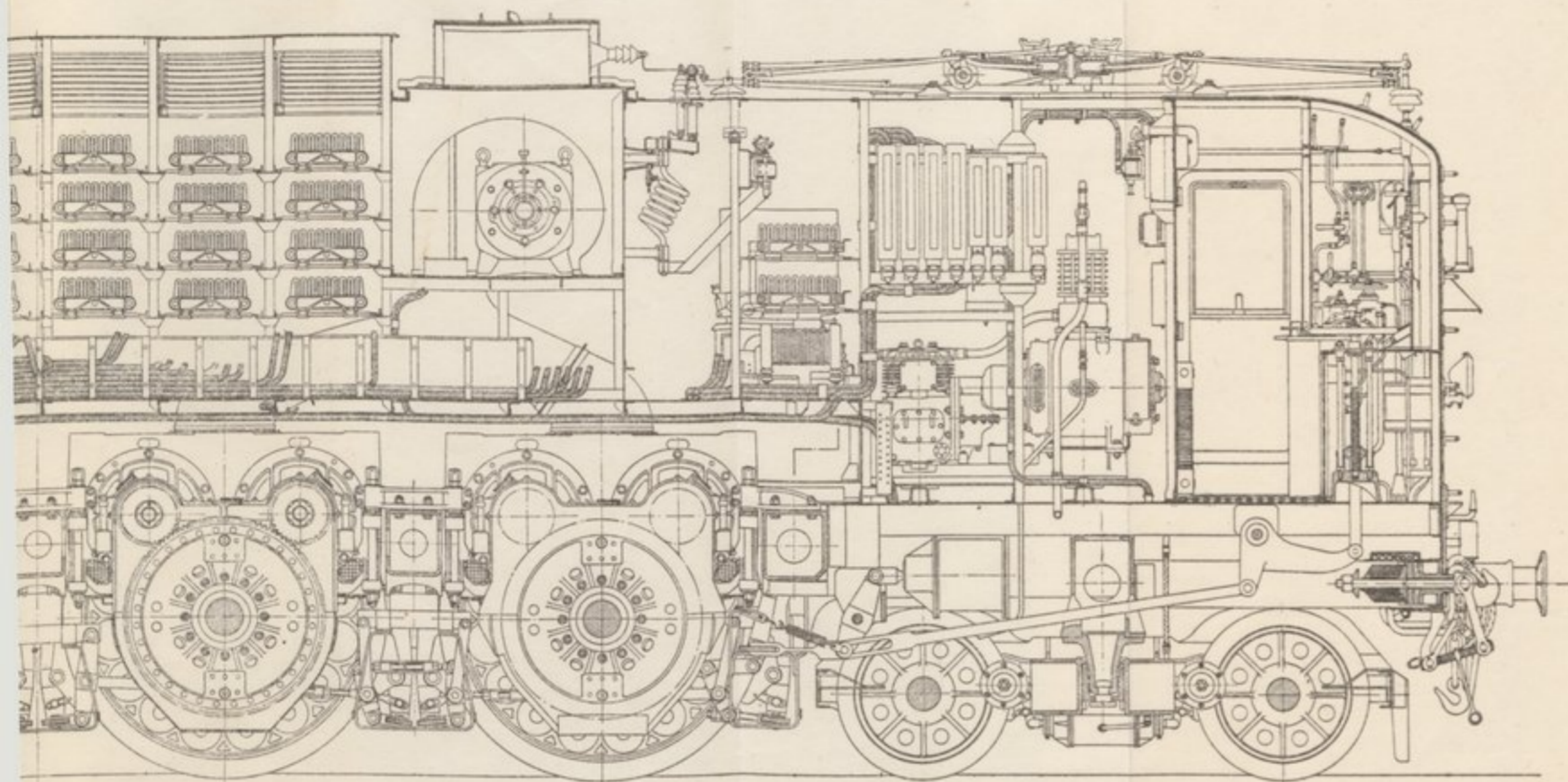
Les charges actuelles des trains rapides étant encore loin d'atteindre normalement des tonnages aussi élevés, on peut être certain que ce type de machine pourra pendant de nombreuses années assurer avec pleine satisfaction le service des trains très rapides sur les grandes lignes. Aussi la Compagnie des Chemins de fer du Midi a décidé de commander immédiatement six nouvelles machines de ce type pour assurer le service des trains rapides entre Montauban et Sète, et de conserver ce même type pour la remorque des trains express lourds sur les lignes de Bordeaux à Montauban et de Narbonne à Port-Bou dont elle envisage actuellement l'électrification.

COUPE LONGITUDINALE PAR L'AXE

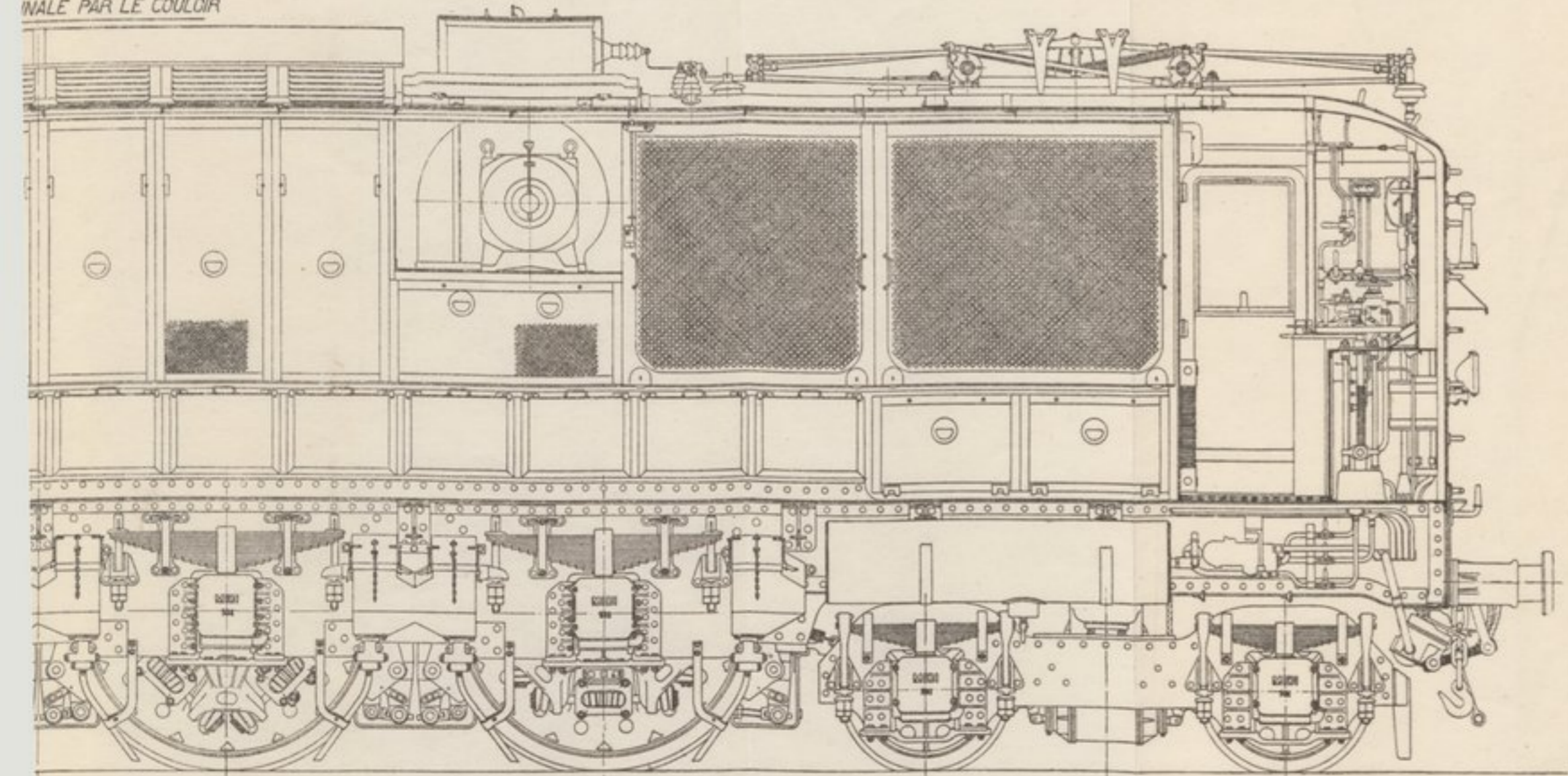


COUPE LONGITUDINALE PAR LE COULOIR

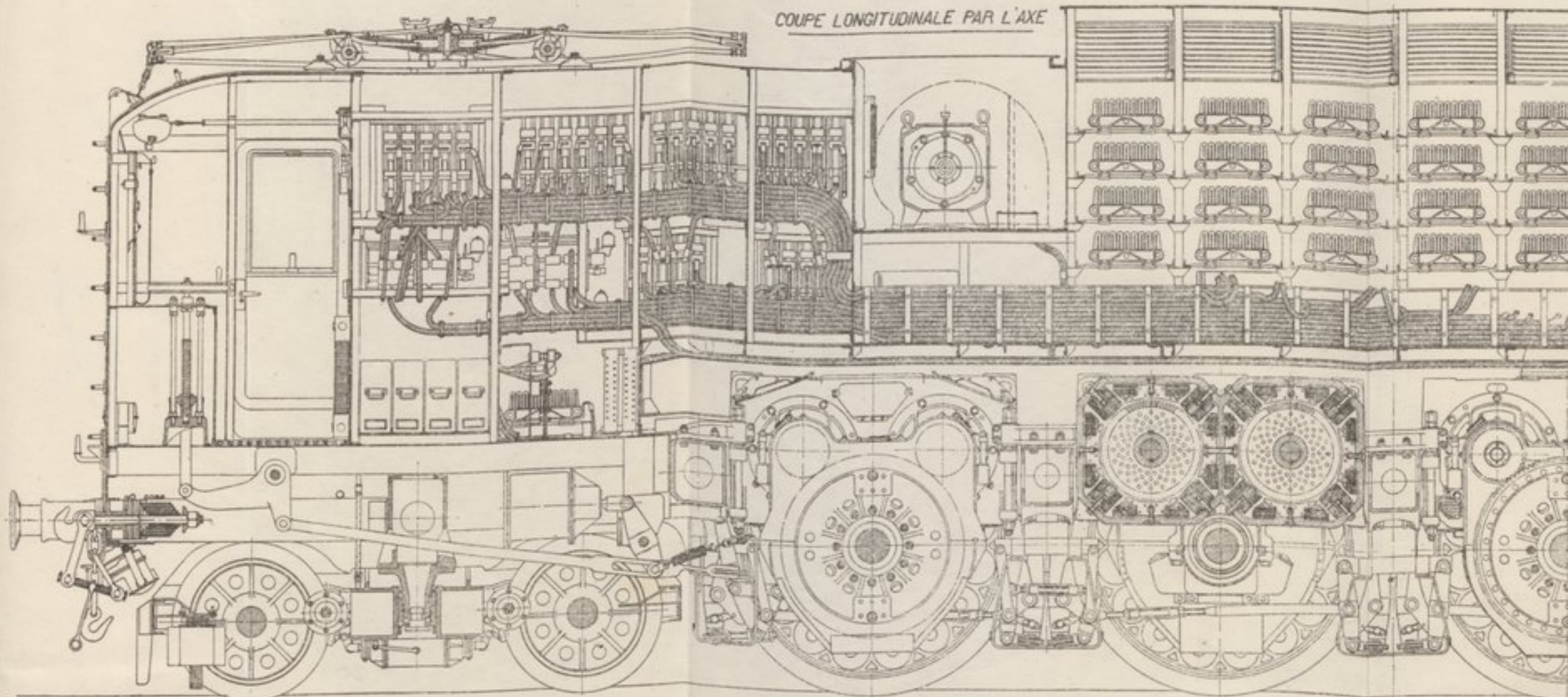




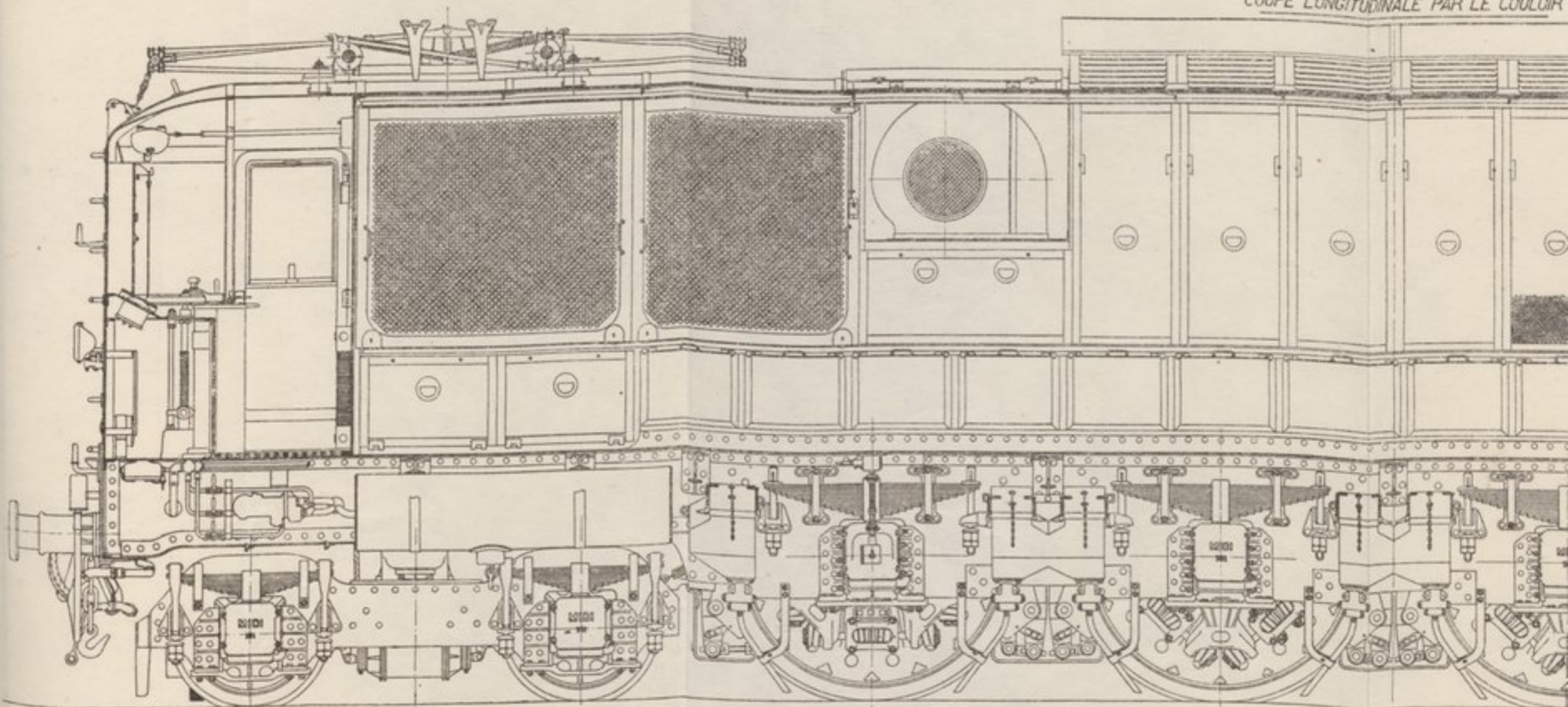
NALE PAR LE COULCIR

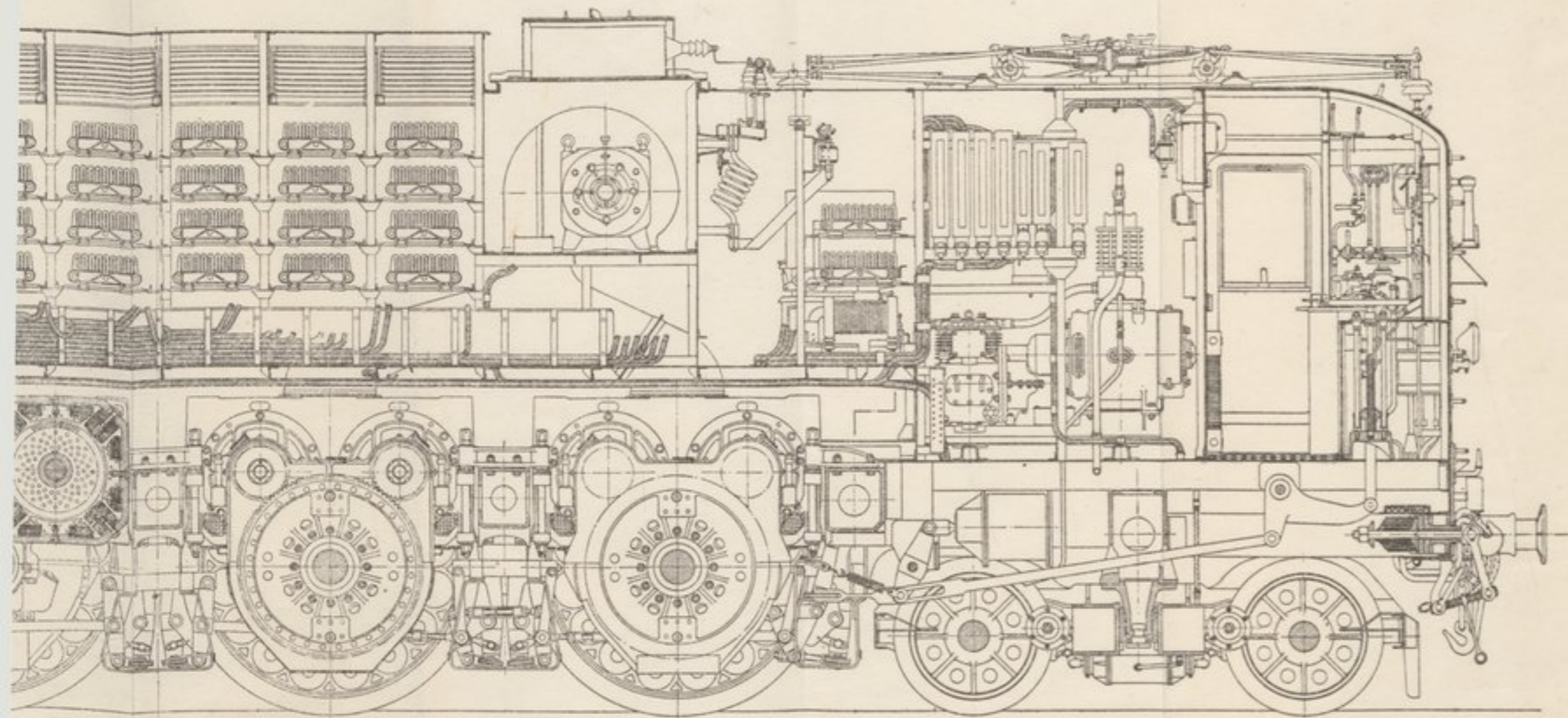


COUPE LONGITUDINALE PAR L'AXE



COUPE LONGITUDINALE PAR LE COULOIR





COUPE LONGITUDINALE PAR LE COULDIR

