

LA LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE A GRANDE VITESSE

DE LA COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI

Par M. BACHELLERY,

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

(Pl. IV)

Jusqu'à une date relativement récente, la traction électrique sur les chemins de fer d'intérêt général était restée confinée presque exclusivement dans les régions montagneuses ou sur les lignes de banlieue.

Dans ces conditions, une vitesse de marche de 80 kilomètres-heure suffisait amplement à tous les besoins de la pratique.

Aussi, tandis que l'étude de locomotives électriques de petite et de moyenne vitesse avait été activement poursuivie dans les pays où s'est développé ce genre de traction, et avait abouti à des types répondant aux nécessités d'une exploitation effective, la recherche de locomotives électriques pouvant soutenir d'une manière prolongée la même vitesse que les locomotives à vapeur les plus rapides ne répondait pas à un besoin urgent, et gardait un caractère principalement spéculatif.

Sans doute, certains réseaux, aux Etats-Unis et en Italie notamment, possèdent-ils depuis longtemps des locomotives électriques capables d'atteindre ou de dépasser momentanément la vitesse de 100 kilomètres-heure.

Mais ces machines ne sont pas pratiquement utilisées à cette vitesse et il n'est pas certain qu'elles puissent l'être d'une manière prolongée.

Or, la situation, à ce point de vue, est en cours d'évolution rapide depuis quelques années, particulièrement en France du fait de l'extension de la traction électrique à certaines grandes lignes à profil facile des réseaux du Midi et de Paris-Orléans.

Le réseau du Midi, notamment, où l'électrification est achevée sur les sections de Toulouse à Montrejeau, de Pau à Dax et de Bordeaux à Hendaye, parcourues par des trains rapides, a été obligé d'aborder ce problème en vue de maintenir, et même de dépasser, sur ces sections, les vitesses pratiquées par les trains remorqués à la vapeur.

Les types de locomotives électriques de grande vitesse connus jusqu'à présent peuvent se grouper en trois grandes catégories :

Les locomotives à bielles ;

Les locomotives dites « gearless » où l'induit du moteur est calé directement sur l'essieu ;
Les locomotives à engrenage.

Chacun de ces types présente des inconvénients connus.

Pour les locomotives électriques à bielles, ce sont les efforts périodiques et les mouvements parasites dont elles sont le siège par suite de la rigidité des liaisons mécaniques créées par les bielles entre les différents organes et, notamment, entre le châssis et le train de roues. On sait qu'à certaines vitesses critiques, ces phénomènes oscillatoires donnent lieu à des résonances qui peuvent avoir des conséquences graves au point de vue de la conservation de la machine et de sa tenue sur la voie.

Pour la locomotive gearless, l'inconvénient souvent signalé réside dans l'augmentation de la charge non suspendue, qui comprend la totalité du poids des induits, et qui, aux grandes vitesses, risque d'infliger à la voie une fatigue excessive.

A vrai dire, cette charge ne dépasse pas celles qu'on trouve sur certains essieux de locomotives à vapeur. Elle est, en effet, d'environ cinq tonnes par essieu, alors que, sur les locomotives Pacific compound à quatre cylindres des réseaux français, l'essieu coudé, avec ses boîtes, ses ressorts et la partie du mécanisme moteur qui repose directement sur lui, pèse parfois jusqu'à 5.600 kg.

Mais, dans ce dernier cas, il s'agit d'un seul essieu, tandis que dans les locomotives électriques, la même charge se retrouve à tous les essieux moteurs, dont les actions offensives sur la voie s'additionnent dans une certaine mesure.

Il convient d'ajouter que la construction des machines gearless a conduit à l'emploi d'un moteur à marche lente, à deux pôles, sans pôles de commutation et à très grand entrefer, qui, du point de vue purement électrique, paraît constituer une régression sur les types de moteurs de traction les plus modernes.

Enfin, dans ces machines, le moteur descend nécessairement à une faible hauteur au-dessus du niveau des rails, ce qui entraîne certaines difficultés en ce qui concerne le gabarit.

Restent les machines à transmission par engrenages, type vers lequel la faveur de beaucoup de constructeurs paraît aujourd'hui s'orienter.

Ces machines comportent habituellement, pour chaque essieu moteur, un ou deux moteurs à axe horizontal actionnant l'essieu par l'intermédiaire d'un train d'engrenages cylindriques et d'une transmission articulée ou élastique ménageant le jeu nécessaire au fonctionnement des ressorts de suspension.

Cette disposition conduit, pour les locomotives à marche rapide, à donner aux engrenages une vitesse périphérique considérable.

Pratiquement, pour une vitesse de marche de 120 kilomètres-heure, la vitesse périphérique de l'engrenage est de l'ordre de 25 *m* par seconde. A cette vitesse, le graissage des engrenages devient un problème assez ardu, l'huile étant projetée hors des dents par la force centrifuge, et on peut craindre qu'il n'en résulte une usure rapide, et même des grippages. Des dispositifs spéciaux de graissage comportant l'aménée de l'huile sous pression sont en tout cas indispensables.

La Compagnie du Midi a pensé qu'il serait possible d'obtenir une sensible amélioration à ce point de vue en remplaçant l'engrenage cylindrique par un engrenage conique.

Cette disposition donne en effet plus de facilité pour réduire le diamètre de la roue dentée et, par conséquent, sa vitesse périphérique. D'autre part, l'inclinaison des dents par rapport à l'axe de rotation, facilite dans une certaine mesure la circulation de l'huile dans leur intervalle.

Ce n'est pas, il est vrai, la première fois qu'un engrenage d'angle est employé comme mode de transmission sur un locomoteur électrique.

La Compagnie P.-L.-M., notamment, en a fait usage sur ses automotrices de la ligne du Fayet à la frontière suisse, ainsi que sur la locomotive d'essai du système Auvert-Ferrand, construite en 1910 par les Etablissements Alioth.

Mais, dans ces différents cas, l'axe du moteur était horizontal et parallèle à la voie. Le moteur était ainsi placé entre les essieux, ce qui limitait ses dimensions et sa puissance.

La disposition nouvelle que comporte la locomotive de la Compagnie du Midi consiste à placer le moteur verticalement, au-dessus de l'essieu, ce qui permet d'augmenter notablement ses dimensions. En outre, le moteur est ainsi reporté à l'intérieur de la caisse, ce qui en facilite la surveillance et l'entretien. Enfin, cette position a pour effet de relever le centre de gravité de la machine, condition favorable, comme on le sait, à la bonne tenue sur la voie aux grandes vitesses.

En réalité, au lieu d'un seul moteur par essieu, il a été jugé préférable d'en utiliser deux, jumelés dans une carcasse commune. Ces deux moteurs tournent en sens inverse, compensant ainsi à la fois leurs poussées longitudinales sur l'essieu et leurs effets gyroscopiques au moment de l'entrée en dévers.

Quant à la disposition générale de la machine, la Compagnie du Midi a adopté un châssis rigide, à l'exclusion de la disposition articulée, plus lourde et plus compliquée, et dont les conditions de bonne tenue aux très grandes vitesses sont encore mal définies.

A ce point de vue, une locomotive électrique à essieux moteurs montés rigidement dans le châssis, avec un empatement suffisant, et munie à chaque extrémité d'un bon bogie directeur, se présente dans des conditions suffisamment analogues à celles des locomotives à vapeur d'express pour qu'une surprise ne soit guère à craindre.

Le type adopté par la Compagnie du Midi est rigoureusement symétrique par rapport à un plan transversal. On sait que cette disposition a été autrefois critiquée, particulièrement aux Etats-Unis, comme pouvant favoriser les mouvements de lacet. Ainsi que nous avons eu déjà occasion de l'exposer (1), cette opinion n'était étayée que sur une interprétation erronée de résultats d'expériences obtenus en 1907 sur les Chemins de fer de Pennsylvanie. Les seules locomotives électriques symétriques qui eussent pris part à ces essais étaient, en effet, des machines à deux bogies moteurs, et leur tenue médiocre aux très grandes vitesses s'explique par de multiples causes étrangères à toute considération de symétrie, notamment le faible empatement des trucks, l'absence de jeu latéral des pivots et la faible altitude du centre de gravité de l'ensemble.

Partant de ces diverses données, la Compagnie du Midi décida en 1922 de faire construire à titre d'essai deux locomotives électriques d'express, capables de se substituer aux machines Pacific en service.

(1) Voir la *Revue Générale*, N° de Juin 1924, p. 426. Electrification du Réseau du Midi, par M. Bachellery

Ces machines devaient comporter trois essieux moteurs indépendants, et, à chaque extrémité, un bogie directeur.

La puissance unihoraire des moteurs verticaux était de 700 chevaux par essieu, soit 2.100 chevaux au total.

La vitesse devait pouvoir atteindre, en toute sécurité, 125 kilomètres-heure.

La Société des Constructions Electriques de France fut chargée de l'étude et de la construction de ces machines.

Les études ont été effectuées, en collaboration avec les Services Techniques de la Compagnie du Midi, par M. Fernand Broussouse.

Mises en service en 1923, les locomotives E 3.101 et 3.102 ont été soumises à des essais prolongés à la suite desquels une nouvelle commande de huit machines du même type a été passée.

La locomotive E 3.102 a figuré, en 1925, à l'Exposition Internationale de la Houille Blanche et du Tourisme à Grenoble.

Les huit machines suivantes, qui comportent par rapport aux deux premières un certain nombre de modifications et de perfectionnements dictés par l'expérience, sont actuellement en service.

DESCRIPTION DE LA LOCOMOTIVE

(Planche IV et Fig. 1)

Châssis. — On a utilisé, pour la construction des deux machines d'essai, certains éléments (châssis, caisse, bogies) de locomotives à courant monophasé que la Compagnie du Midi avait commandées, avant la guerre, aux Ateliers de Constructions Electriques du Nord et de l'Est à Jeumont, et qui n'avaient pas été terminées. Les mêmes dispositions ont été sensiblement conservées pour les machines suivantes.

Le châssis se compose de deux longerons en tôle de 30 mm, entretoisés par les traverses de tête, par les traverses en acier moulé supportant les pivots de bogies, et par quatre traverses encadrant les essieux moteurs, et supportant les moteurs.

Entre les traverses de tête et les traverses extrêmes de support des moteurs, le châssis est consolidé par deux longrines constituées par des tôles de 15 mm disposées verticalement et armées par des cornières.

Les appareils de choc et de traction, fixés au châssis, sont conformes aux types unifiés des Chemins de fer français.

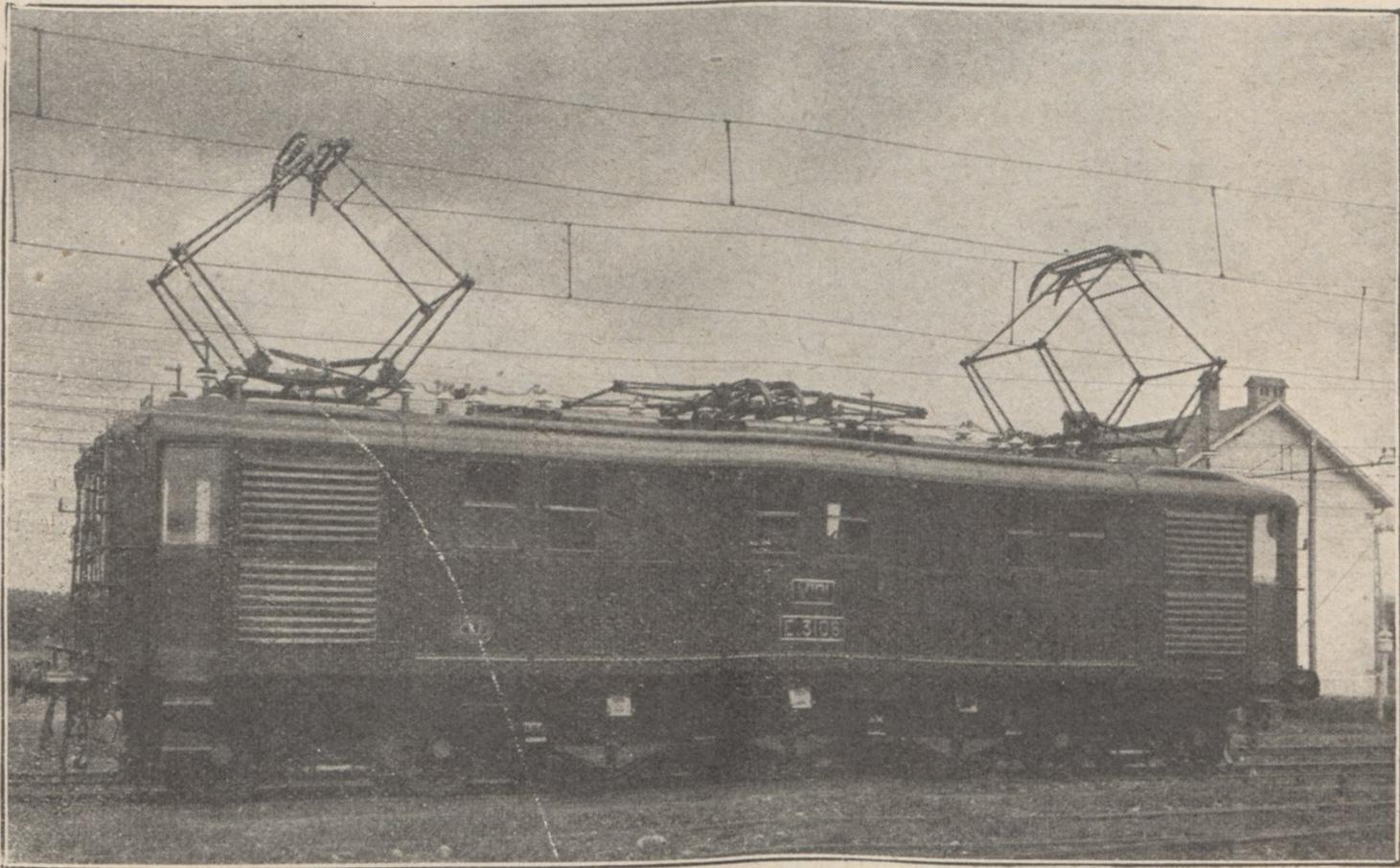
Caisse. — La caisse, construite en tôle et cornières, est fixée sur le châssis.

Elle est divisée par des cloisons transversales en cinq compartiments : à chaque extrémité, une cabine de commande (Fig. 2) suivie d'un compartiment renfermant l'appareillage électrique (Fig. 3) et, au centre, le compartiment des moteurs. Dans ce dernier, les moteurs occupent une position axiale, entre deux couloirs de circulation latéraux. Ils sont ainsi complètement dégagés et accessibles.

La figure 4 donne la vue d'un des couloirs de circulation.

Au-dessus de chaque paire de moteurs, la toiture est percée d'une ouverture coiffée d'un lanterneau démontable et qui permet l'enlèvement des moteurs au moyen d'un pont roulant.

Fig. 1.



Les parois latérales sont percées de portes pour l'accès des cabines, de fenêtres pour l'éclairage du compartiment central, et de persiennes assurant la ventilation des armoires qui renferment les résistances de démarrage.

Bogies. — Les bogies directeurs d'avant et d'arrière sont identiques à ceux des locomotives Pacific les plus récentes de la Compagnie du Midi, à l'exception de l'empatement qui a été réduit de 2 m,30 à 2 m.

Ces bogies comportent des appuis sphériques latéraux, et une crapaudine à déplacement transversal de 55 mm de chaque côté, avec rappel par ressorts à lames conjugués. Leurs essieux sont à fusées intérieures aux longerons.

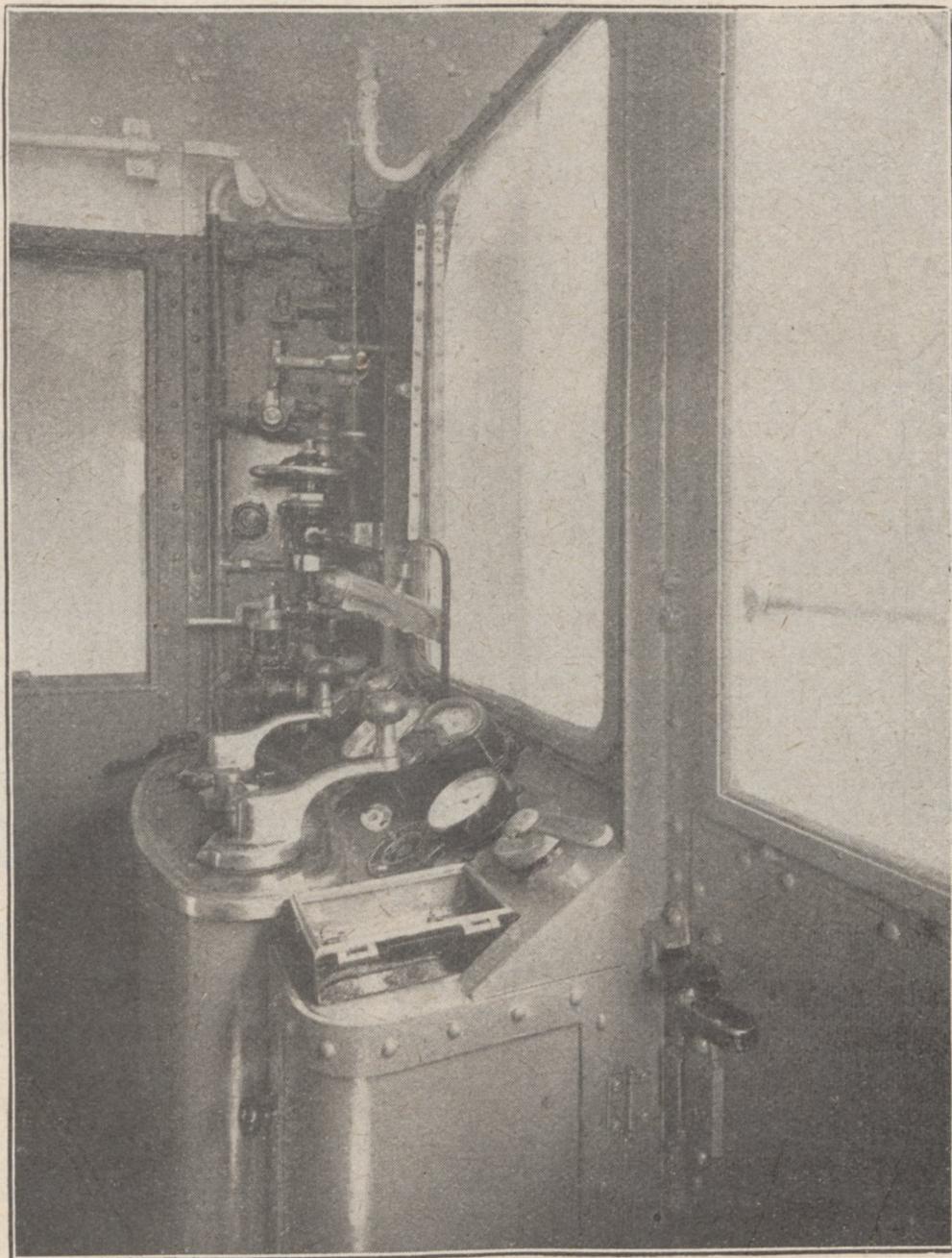
Essieux moteurs. — Les trois essieux moteurs sont montés rigidement dans le châssis, qu'ils actionnent par l'intermédiaire de guides de boîtes à huile avec coins de rattrapage de jeu.

Les roues motrices, en acier moulé, ont un diamètre de 1 m,750 au roulement. Les essieux ont 190 mm de diamètre au corps, et comportent des fusées extérieures de 160 × 260.

Transmission. — La transmission du mouvement des moteurs aux essieux s'effectue par l'intermédiaire d'arbres creux sur lesquels sont calées les roues d'engrenage. A chaque essieu

correspond un de ces arbres, de 320 mm de diamètre extérieur qui l'entoure en laissant un jeu circulaire de 40 mm et qui repose dans deux paliers fixés à la carcasse des moteurs correspondants.

Fig. 2.



La transmission du mouvement de l'arbre creux aux roues motrices a lieu à chaque extrémité par l'intermédiaire d'un joint élastique universel (Fig. 5 et 6).

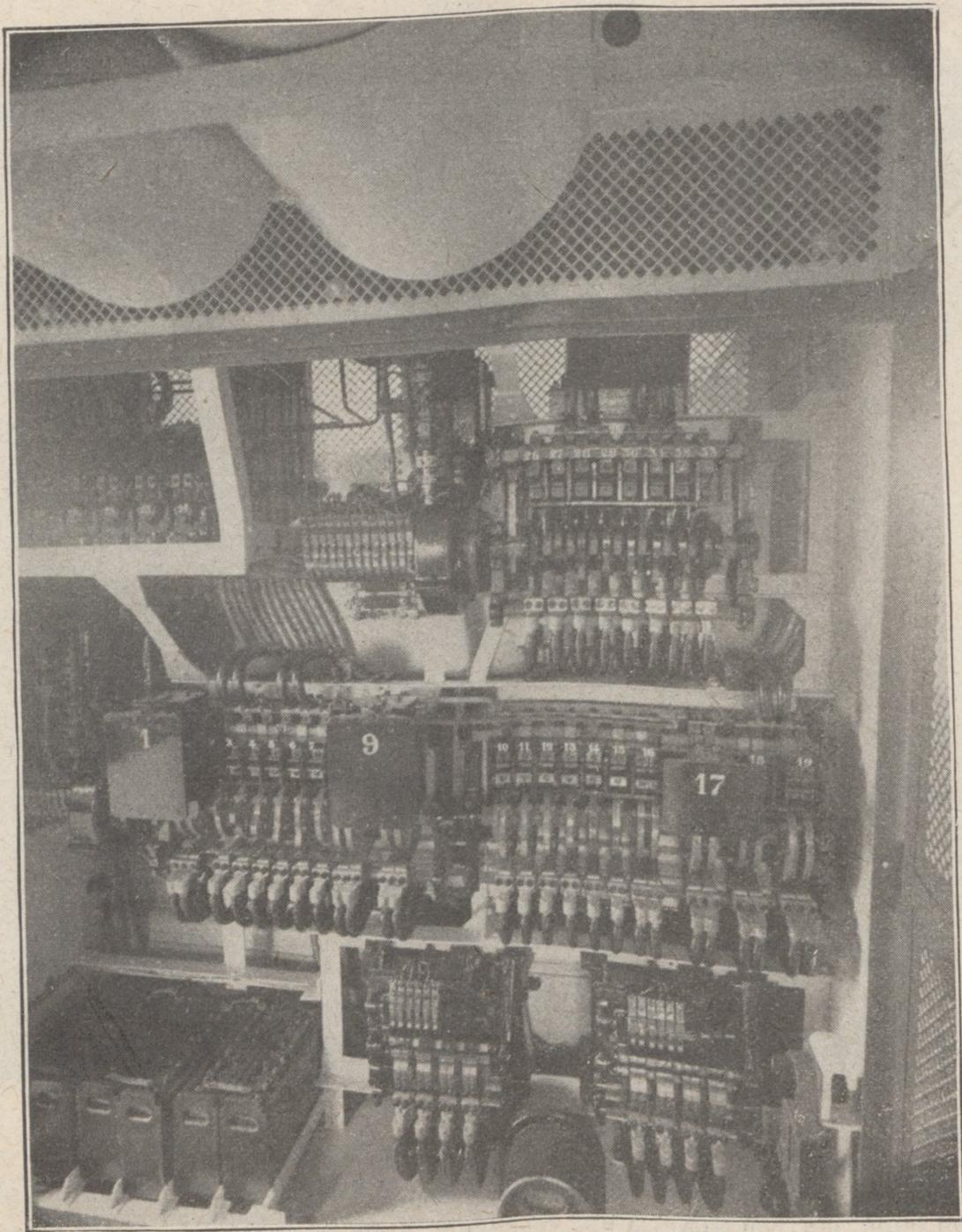
Ce joint se compose essentiellement d'une couronne portant quatre oreilles dont deux sont reliées à un plateau fixé sur l'arbre creux et les deux autres au corps de roue par l'intermédiaire de ressorts en hélice travaillant à la compression.

Cette couronne, étant entièrement libre, permet à l'essieu de se déplacer dans tous les sens par rapport à l'arbre creux, à la demande des inégalités de la voie, sans qu'il en résulte aucune fatigue anormale pour les ressorts.

Les moteurs sont ainsi rendus indépendants des chocs qui se produisent entre les trains de roues et le rail.

Quant aux chocs 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, ils sont également amortis par la transmission élastique.

Fig. 3.



Ainsi qu'il a été expliqué précédemment, la commande par moteurs jumelés tournant en sens inverse, a pour effet d'équilibrer les réactions longitudinales sur l'arbre creux, de telle sorte qu'il n'a pas été nécessaire de munir cet arbre de butées.

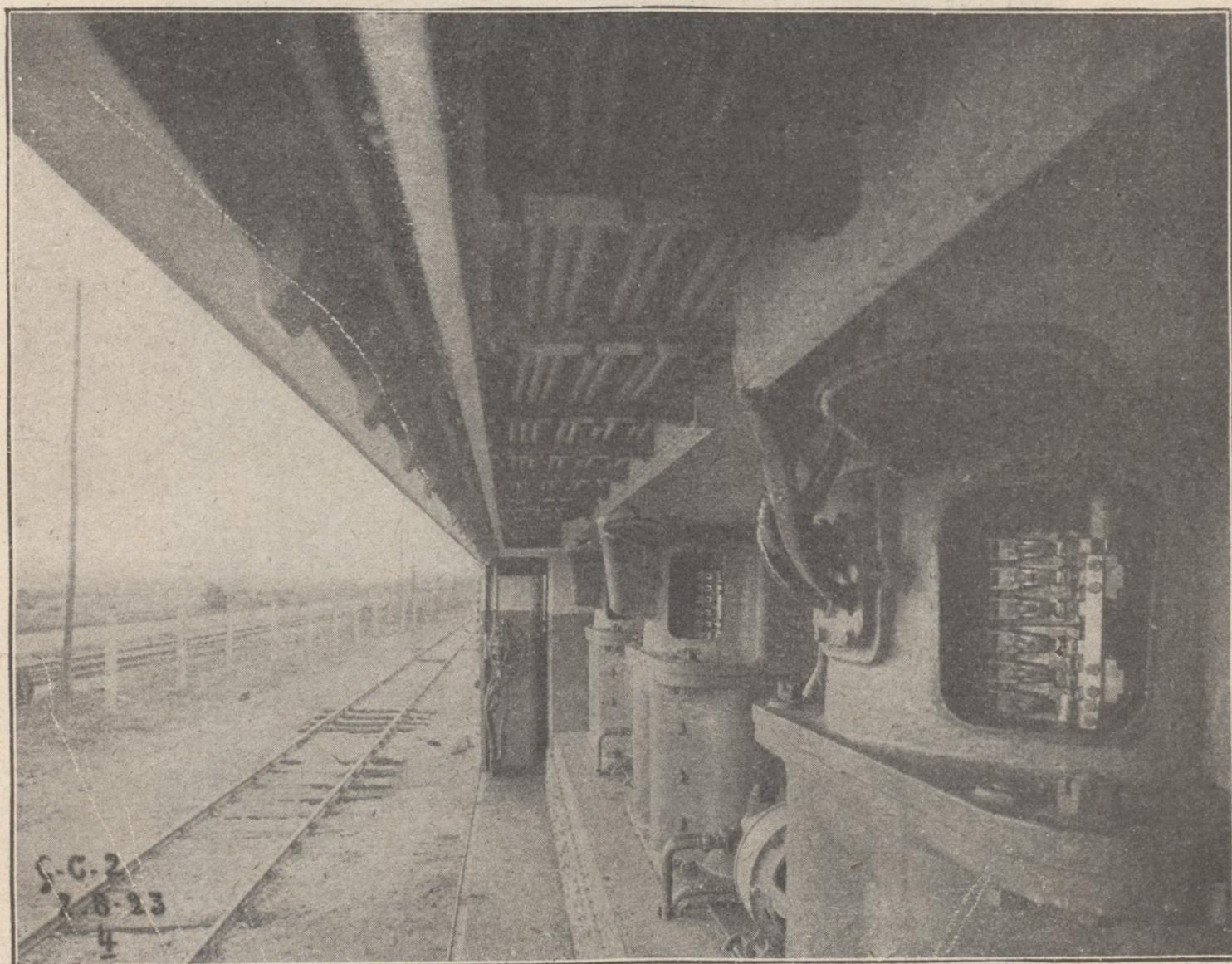
Suspension. — Les essieux moteurs sont chargés par l'intermédiaire de ressorts à lames suspendus sous les boîtes à huile.

Les trois ressorts d'un même côté de la machine sont conjugués par des balanciers.

Le châssis est ainsi porté sur six points : deux sur chaque bogie, et deux pour l'ensemble des essieux moteurs.

La hauteur, au-dessus des rails, du centre de gravité de la machine est d'environ 1 m,875, comparable à celle des locomotives à vapeur de grande vitesse.

Fig. 4.



Cette grande hauteur du centre de gravité a pour conséquence une oscillation de roulis relativement lente, correspondant à une excellente tenue de la machine sur la voie.

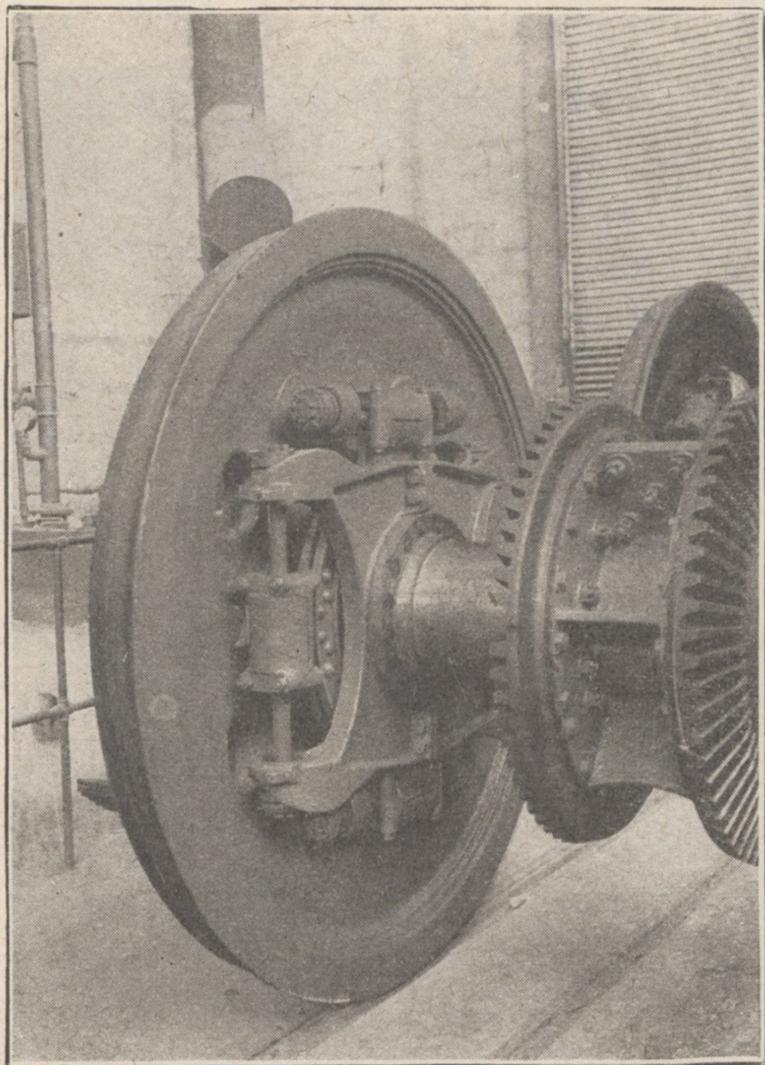
Engrenages. — La roue d'engrenage double, clavetée au milieu de chaque arbre creux, se compose d'un centre sur lequel sont boulonnées deux couronnes amovibles à denture conique. Chacune de ces couronnes est en deux pièces juxtaposées suivant un diamètre. La denture est droite, à profil en développante.

Les pignons correspondants, clavetés à l'extrémité inférieure des arbres des deux moteurs, sont construits en acier au chrome-nickel.

Trois rapports de réduction différents, $1/2,73$, $1/3,05$, et $1/3,50$ ont été essayés. Les deux premiers donnent, aux crans de shuntage, des vitesses notablement supérieures au maximum

admis sur les voies françaises. Aussi a-t-on préféré le troisième qui correspond à une gamme de vitesses entièrement utilisable jusqu'à 125 kmh. Cette plus grande démultiplication a,

Fig. 6.



d'autre part, l'avantage d'augmenter l'effort de traction et de permettre de démarrer des trains plus lourds en utilisant complètement l'adhérence de la machine.

Moteurs. — Les moteurs à courant continu, à excitation série et à axe vertical (Fig. 7), d'un type entièrement nouveau, ont été construits dans les Ateliers de Liège de la Société des Constructions Electriques de Belgique.

Ils fonctionnent sous la tension de 500 volts par induit et ces induits sont connectés par trois en série sur le réseau à 1.500 volts. Chaque essieu est actionné par deux moteurs dont les induits tournent en sens inverse et sont montés côte à côte dans une carcasse commune. Chaque moteur est à quatre pôles dont deux pôles bobinés et deux pôles consécutifs, et comporte, en outre, dans l'intervalle des pôles principaux, des pôles de commutation. Le nombre de ces derniers, qui n'était au début que de deux, a été porté à quatre dans le type définitif.

D'autre part, dans ce dernier type, l'isolement au coton des induits a été remplacé par un isolement au mica. Les enroulements inducteurs isolés au ruban mica-toile sont formés de galettes séparées par des intercalaires en bakélite.

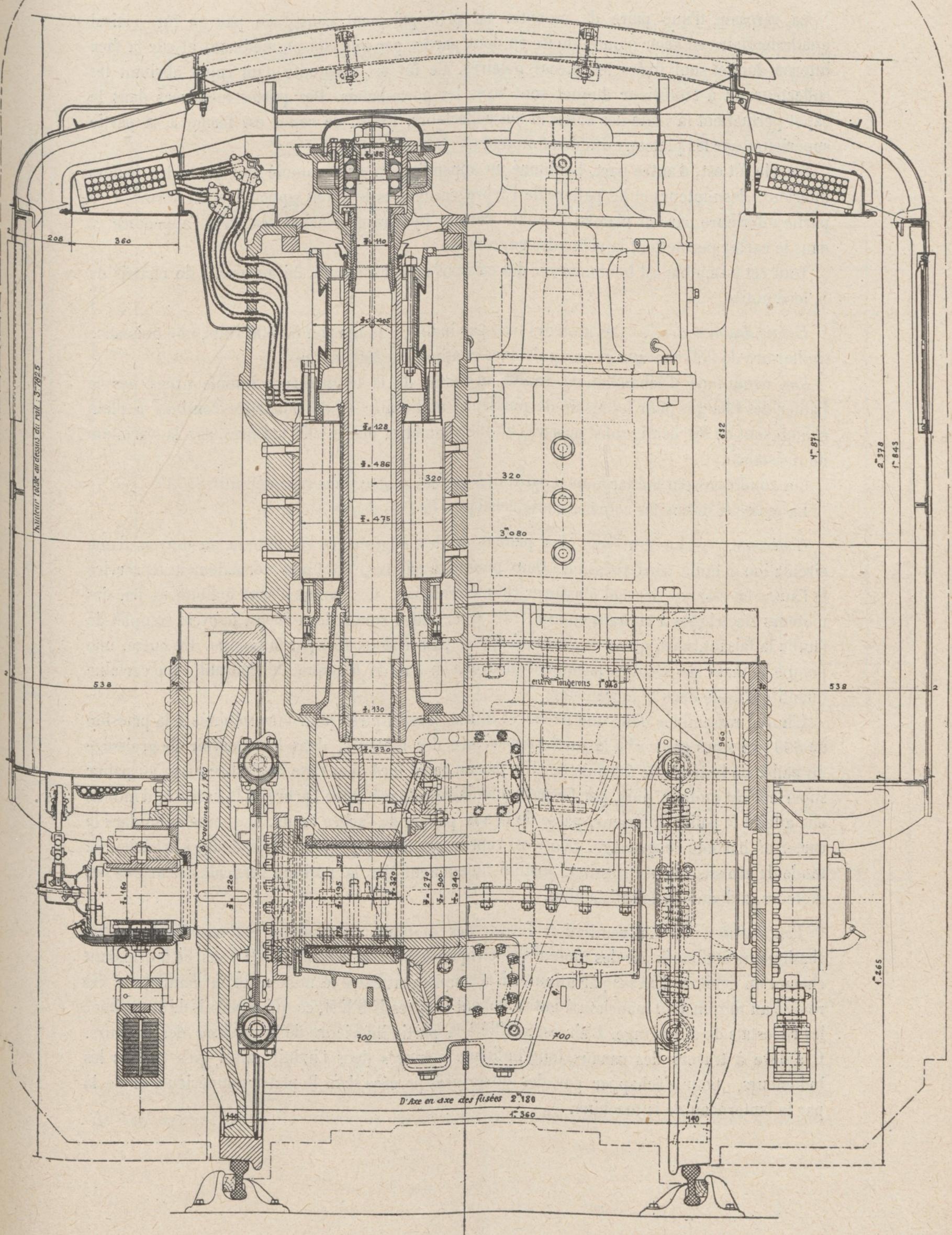
L'induit mesure 0 m,475 de diamètre, et sa longueur, collecteur compris, est de 1 m,330. Il est monté sur un arbre de 2 m,280 de longueur. Cet arbre est supporté à sa partie supérieure par une double butée à billes réglable qui s'oppose également aux réactions de bas en haut provenant de l'engrenage.

Immédiatement au-dessous, et fixé comme la butée au plateau supérieur du moteur, est un palier de guidage ordinaire. A la partie inférieure est un second palier de guidage fixé à la carcasse du moteur.

Le collecteur est fixé à la partie supérieure de l'induit.

Un espace annulaire est ménagé entre l'arbre et le corps de l'induit. Cet espace sert, comme on le verra plus loin, à la circulation de l'huile de graissage. Il est obturé à sa partie supérieure par un joint spécial à gorges circulaires établi entre le corps de l'induit et le plateau du moteur.

Fig. 7.



La carcasse d'une paire de moteurs est principalement constituée par un fût vertical quadrangulaire en acier moulé, divisé en deux parties par une cloison médiane, et sur la face interne duquel sont fixées les pièces polaires. Ce fût est surmonté d'un capot abritant les collecteurs et à l'intérieur duquel sont fixés les porte-balais. Des portes ménagées dans le capot permettent la visite des balais et des collecteurs. Enfin, ce capot est fermé à sa partie supérieure par les plateaux des deux moteurs.

Sous le fût est, d'autre part, boulonné un appendice en acier moulé qui porte les paliers inférieurs des moteurs et les paliers de l'arbre creux d'essieu. Cet appendice est fermé à sa partie inférieure par un plateau formant carter. Des trappes ménagées dans l'appendice et dans le carter permettent la visite des engrenages.

Tout cet ensemble est boulonné sur des caissons en acier moulé, faisant partie du châssis de la locomotive.

Essais des moteurs. — Ces moteurs ont, par induit, à la tension de 500 volts, une puissance unihoraire de 350 chevaux et une puissance continue de 250 chevaux.

Les conditions d'échauffement limite au-dessus de la température initiale fixées par le Cahier des Charges pour les essais de puissance unihoraire et de puissance continue à plein champ sont de 80° centigrades mesurés au thermomètre, ou de 105° mesurés par la variation de résistance.

Ces conditions ont été largement satisfaites par les moteurs du type définitif.

La figure 8 donne les courbes caractéristiques de l'un de ces moteurs.

Graissage. — Le graissage des paliers et des engrenages est obtenu au moyen d'une circulation d'huile sous pression. Deux pompes à palettes, dont une normalement en service et l'autre en réserve, servent à assurer cette circulation. Ces pompes sont actionnées par des moteurs électriques à courant continu 120 volts. Elles sont à deux corps, le cycle complet de l'huile la faisant, ainsi qu'on le verra ci-après, passer deux fois par la pompe. En outre, une pompe à main de secours permet d'envoyer, en cas de manque de courant, une certaine quantité d'huile dans le mécanisme.

L'huile, rassemblée dans une bêche et filtrée, y est aspirée pour être refoulée à la pression de 600 grammes par cm^2 à la partie supérieure des moteurs, dans le réservoir de graissage du palier de butée. Elle s'écoule ensuite par un canal foré dans l'axe de l'arbre jusqu'au palier supérieur du moteur, puis, par l'espace annulaire ménagé entre l'arbre et la carcasse d'induit, elle atteint le palier inférieur, passe de là aux paliers de l'arbre creux, et tombe enfin dans le carter où barbote l'engrenage. Elle y est reprise par la pompe pour être refoulée à la bêche. Ce mode de graissage sous pression, justifié notamment par la position verticale des arbres des moteurs, a donné toute satisfaction.

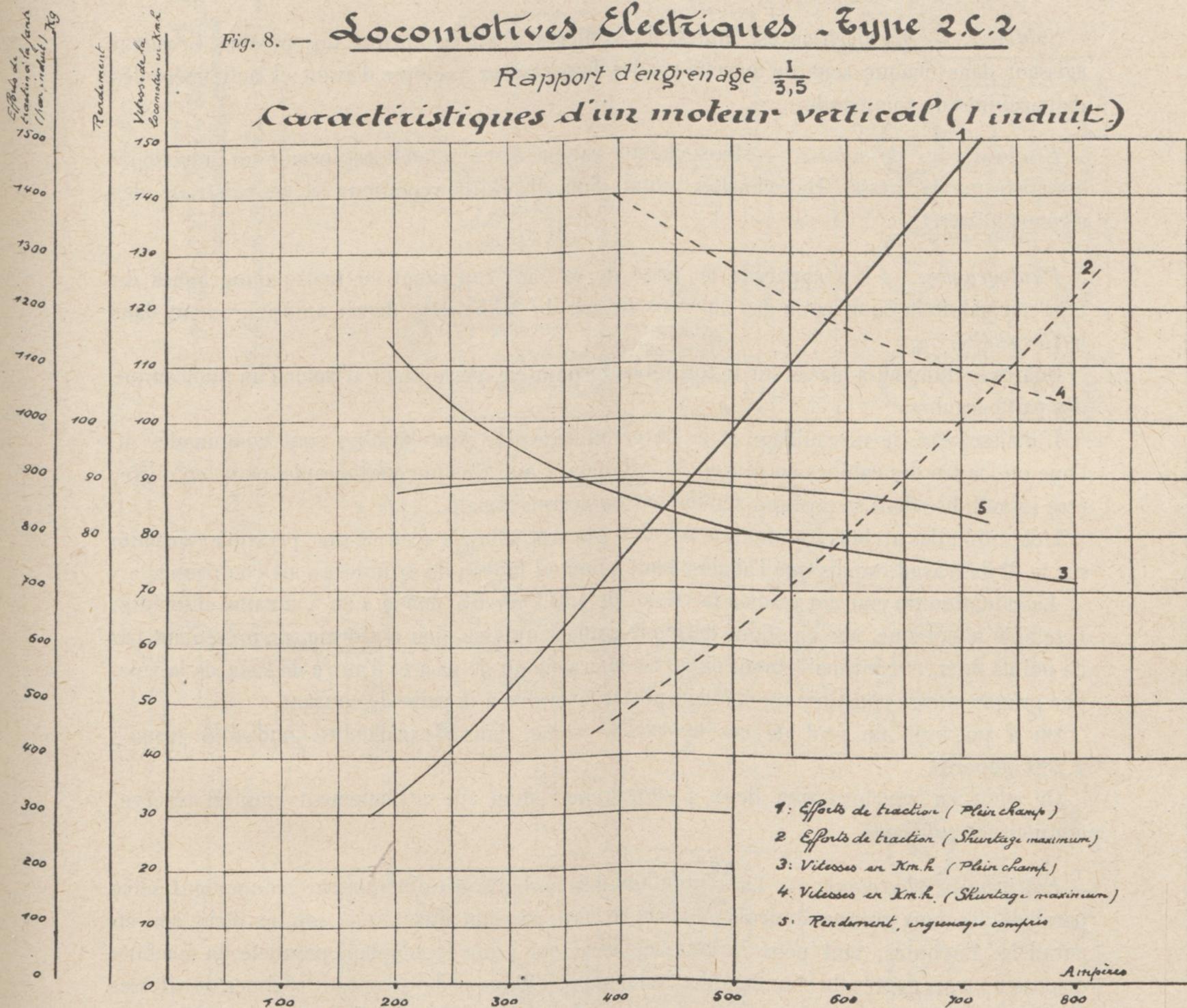
Ventilateurs. — La ventilation forcée des moteurs de traction est assurée par deux ventilateurs actionnés par des moteurs électriques à courant continu 1500 volts et fournissant chacun un débit de 129 m^3 par minute. L'accouplement entre le moteur et le ventilateur est réalisé au moyen d'un manchon à entraînement progressif D E M, ce qui a permis de supprimer les rhéostats de démarrage. L'air est soufflé à la partie inférieure de la carcasse des moteurs. Il s'élève à travers des canaux longitudinaux ménagés dans l'induit, ainsi qu'à travers les inducteurs, pour s'échapper par des ouvertures percées dans le plateau supérieur, et de là par le lanterneau de la machine.

Compresseurs. — La locomotive est munie de deux compresseurs Westinghouse type F 1800, à deux cylindres verticaux à simple effet. Chaque compresseur est actionné en prise directe par un moteur électrique à courant continu série 120 volts de 14 kw de puissance à 650 tours

Fig. 8. — Locomotives Électriques - Type 2.C.2

Rapport d'engrenage $\frac{1}{3,5}$

Caractéristiques d'un moteur vertical (1 induit.)



par minute. L'admission d'air aux cylindres se fait, non par un clapet, mais par un distributeur tournant. Le graissage est automatique. Le refroidissement des cylindres se fait par des ailettes. Chaque compresseur aspire 1.800 litres d'air par minute. Ils alimentent d'air comprimé les freins, les pantographes, les sablières et les sifflets. Normalement un seul compresseur est en service, l'autre sert de réserve.

Freins. — La machine est munie de l'appareillage du frein à air comprimé automatique Westinghouse et du frein à air modérable. Ces freins agissent sur toutes les roues : deux cylindres de frein agissent sur la timonerie des roues motrices, et deux cylindres sur le frein de chaque

bogie. La machine comporte en outre un frein à vis actionné à la main et agissant sur les roues motrices.

Il n'a été prévu aucun frein électrique sur ces machines, destinées à circuler uniquement sur des lignes à profil peu accidenté.

Sablières. — La machine est munie de sablières à air comprimé du système Gresham agissant dans chaque sens de marche sur les deux essieux moteurs d'avant et actionnées des deux cabines de commande.

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 à l'arrêt.

Pantographes. — Les appareils de prise de courant consistent en trois pantographes du type normal de la Compagnie des Chemins de fer du Midi, déjà décrit antérieurement dans la *Revue* (1).

Quatre sectionneurs placés sur le toit de la locomotive permettent d'isoler l'un quelconque des pantographes.

L'abaissement, le verrouillage et le déverrouillage des pantographes sont commandés de l'une ou l'autre des cabines au moyen de robinets à air. Chaque pantographe peut, en outre, être immobilisé dans sa position repliée par un verrou à main.

L'élévation des archets est obtenue par des ressorts, afin de réaliser une pression constante sur le fil de travail, tandis que l'abaissement a lieu au moyen de cylindres à air comprimé.

La captation du courant jusqu'à la vitesse de 130 kmh n'a donné lieu à aucune difficulté. Il semble même que, sur une ligne aérienne d'une souplesse bien uniforme, ne présentant pas de points durs, et convenablement déportée latéralement de part et d'autre de l'axe de la voie, une grande vitesse constitue un élément plutôt favorable à la prise de courant.

On a pu, avec un seul de ces appareils, capter dans d'excellentes conditions jusqu'à 1.200 ampères.

On peut en conclure que deux pantographes, dont un normalement tenu en réserve, auraient été suffisants.

Équipement électrique. — La régulation des moteurs est obtenue par groupement série parallèle, les deux groupes de trois moteurs en série pouvant être réunis soit en série, soit en parallèle. En outre, tant pour le couplage série que pour le couplage parallèle, la machine dispose de trois degrés de shuntage des inducteurs. Elle possède ainsi huit régimes de vitesses différents.

Pour le démarrage, les crans de résistances, au nombre de douze en série et dix en parallèle, limitent à 25 % la variation relative du couple au moment du passage d'un cran au suivant.

Dans ces différents couplages, les pôles auxiliaires et les pôles principaux sont groupés en série à l'aval des induits.

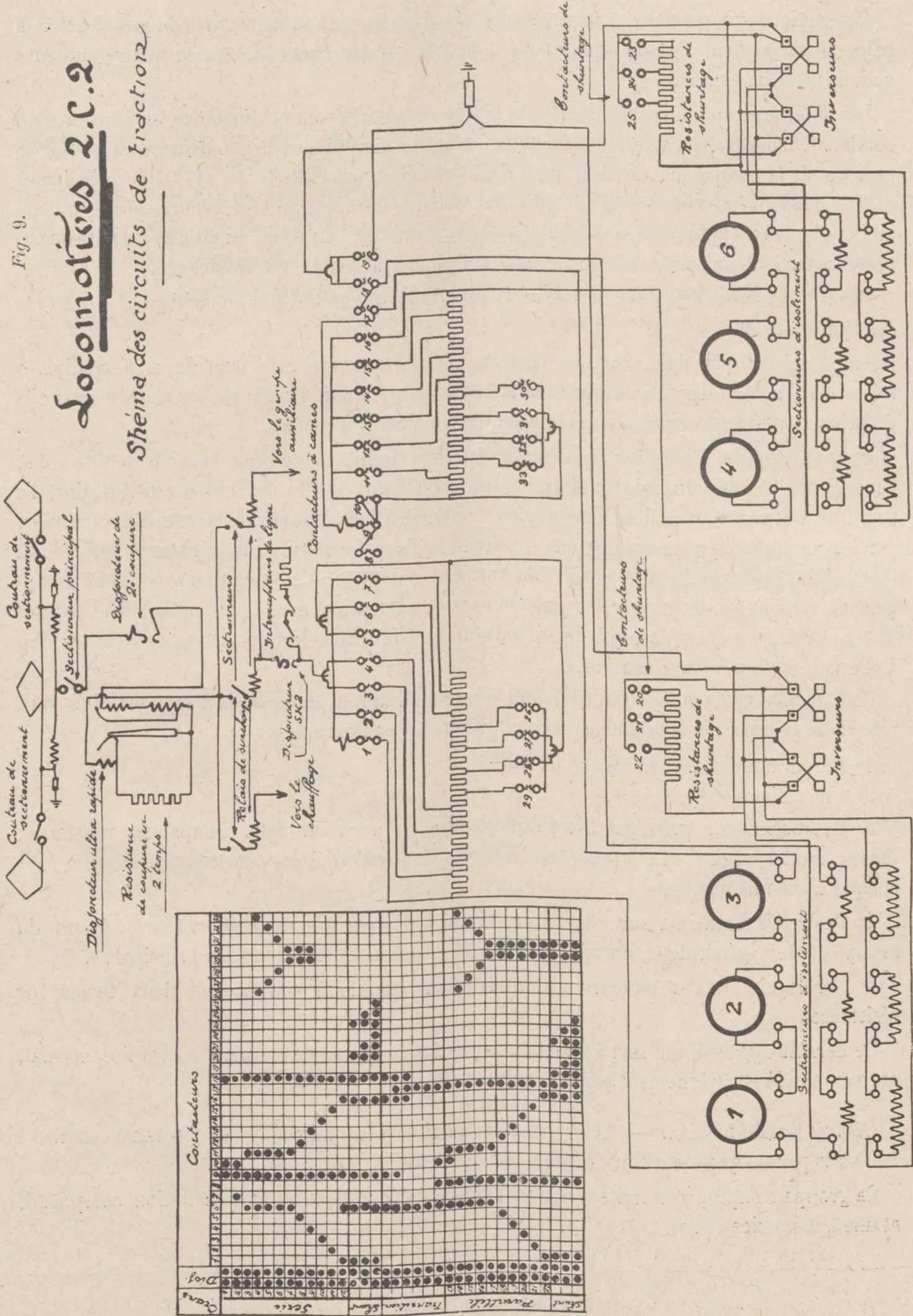
Le passage du groupement série au groupement parallèle est obtenu par la méthode dite du pont. La figure 9 donne le schéma des connexions des circuits électriques de la locomotive.

(1) Voir, la *Revue Générale*, N° d'Août 1923. Note sur l'Électrification des Chemins de fer du Midi, par MM. P. Leboucher et H. Ledoux.

Fig. 9.

Locomotives 2.C.2

Schema des circuits de traction



Des sectionneurs spéciaux permettent, en cas d'avarie à un moteur quelconque, d'isoler la paire correspondante, et de continuer à marcher sur les crans série avec quatre moteurs actionnant deux essieux.

Les différentes combinaisons de moteurs et de résistances sont commandées au moyen d'un combinateur à arbre à cames et contacteurs analogue à celui des locomotives à deux bogies moteurs de la Compagnie du Midi, qui a déjà été décrit dans la *Revue* (1). Les principales différences sont les suivantes. D'une part, les moteurs formant un seul groupe série-parallèle au lieu de deux, l'appareillage de commande est simple au lieu d'être en double ; d'autre part, toute la partie de la commande concernant le freinage électrique est supprimée.

Par contre, le nombre des crans de résistances a été augmenté afin de faciliter le démarrage des trains lourds.

Dans le circuit principal, comme dans les circuits secondaires, l'expérience a conduit à supprimer l'emploi des fusibles fonctionnant sous la tension de 1.500 volts, ce genre d'appareils de protection s'étant révélé comme une source d'incidents fréquents.

Pour la coupure d'intensités importantes sur les circuits à courant continu 1.500 volts, l'expérience de la Compagnie du Midi, conforme d'ailleurs à celle des réseaux américains, l'a conduite à faire usage de deux interrupteurs en série à fonctionnement successif. Le premier, par son ouverture, n'interrompt pas le circuit mais y introduit une résistance qui réduit l'intensité, et le second réalise ensuite la coupure complète. Cette coupure en deux temps permet, semble-t-il, d'éliminer les phénomènes de surtension avec leur cortège d'amorçages d'arcs et d'avaries multiples, qui constituent une des difficultés les plus sérieuses de la traction à courant continu à haute tension.

Comme conséquence, le circuit à 1.500 volts comprend, à partir de la barre omnibus qui, placée sur le toit de la locomotive, relie entre eux les pantographes :

- 1° Un parafoudre avec sa bobine de self ;
- 2° Un sectionneur principal ;
- 3° Un disjoncteur principal extra-rapide et à coupure en deux temps sur résistance, fonctionnant à maxima et pouvant être, d'autre part, actionné par un contact disposé dans chaque cabine de commande ;
- 4° Des relais à maxima sur chacun des circuits dérivés (circuit des moteurs, circuit du groupe moteur-générateur, circuit de chauffage) actionnant le disjoncteur principal ;
- 5° Sur le circuit des moteurs un interrupteur double à coupure en deux temps sur résistance.

Ce dernier appareil, qui sert à effectuer toutes les coupures de courant en service normal, est commandé électriquement par le manipulateur.

Circuit basse tension. — Les circuits auxiliaires sont alimentés en courant continu à 120 volts par un groupe moteur-générateur de 15 kw.

Ce groupe comprend un moteur à 1.500 volts à deux collecteurs et à excitation compound, et une génératrice shunt.

(1) Voir dans la *Revue Générale* d'Août 1923, la Note de MM. Leboucher et Ledoux.

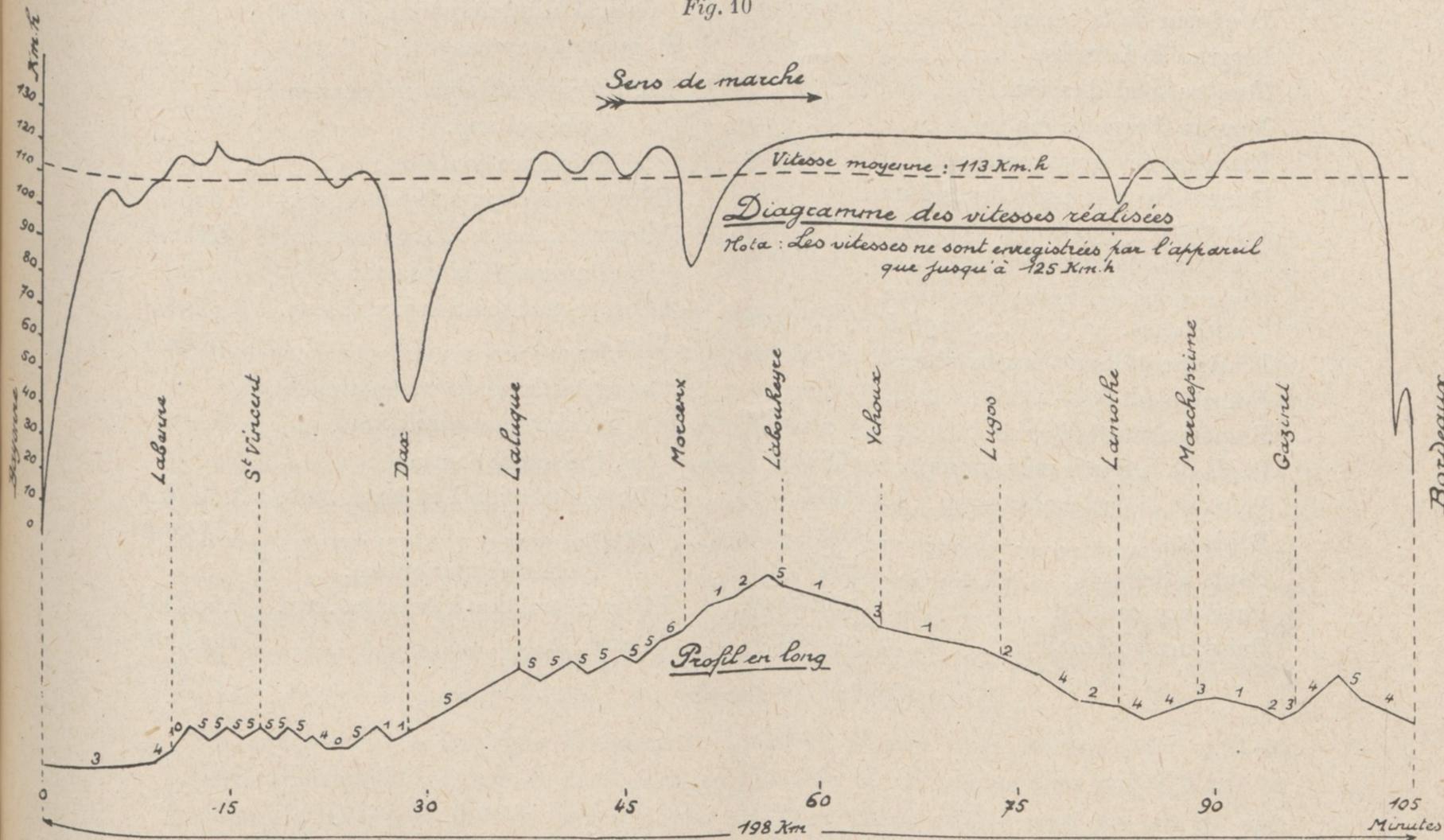
Il fournit le courant au servo-moteur de l'arbre à cames, aux compresseurs, et aux pompes à huile, ainsi qu'au circuit d'éclairage de la machine et aux circuits d'excitation des différents relais.

Résultats en service. — Au 1^{er} Mars 1928, les locomotives du type que nous étudions avaient effectué un parcours total de plus de 506.000 kilomètres.

En particulier, la machine E. 3.401 compte près de 120.000 kilomètres de parcours. Les engrenages de cette machine, vérifiés fréquemment, n'ont décelé aucune usure.

Ces locomotives ont été essayées jusqu'à la vitesse de 130 kilomètres-heure. A toutes les allures, elles ont fait preuve d'une excellente tenue sur la voie. Aucun mouvement oscillatoire appréciable n'a été constaté et les entrées en courbe sont des plus douces.

Fig. 10



Le 19 Juin 1927, lors de l'inauguration officielle de la traction électrique sur la ligne de Bordeaux à Hendaye, la locomotive E. 3103, remorquant un train de 350 tonnes, a parcouru en une seule étape le trajet de Bayonne à Bordeaux, long de 198 kilomètres, en 105 minutes, soit à une vitesse moyenne, démarrage et arrêt compris, de 113 kilomètres-heure, malgré divers ralentissements prescrits au passage de certaines gares. La vitesse de marche a dû être, à cet effet, maintenue d'une manière presque permanente au voisinage de 120 kilomètres-heure et a atteint par moments 130 kilomètres-heure. Nous donnons (Fig. 10) le diagramme d'enregistreur de vitesse correspondant à ce parcours, qui constitue, croyons-nous, un record mondial pour un train de ce poids.

Ces machines ont, d'autre part, remorqué sur la même ligne, suivant des itinéraires tracés à la vitesse moyenne de 90 kilomètres-heure, des charges atteignant jusqu'à 520 tonnes.

Enfin, elles ont pu effectuer avec succès, sur une rampe de 5 mm par mètre, le démarrage d'un train de 610 tonnes.

Comparées aux meilleures locomotives Pacific françaises, ces machines se sont, en résumé, montrées largement équivalentes, aux vitesses moyennes, et supérieures aux grandes vitesses.

CARACTÉRISTIQUES DE LA LOCOMOTIVE TYPE 2 C. 2
à courant continu 1.500 volts.

Longueur entre tampons.....	14 m,500	Nombre de moteurs doubles à axe vertical (2 induits pour 1 carcasse)	3
Longueur de la caisse.....	13 m,360	Rapport d'engrenage.....	3,5
Largeur de la caisse.....	3 m,080	<i>Caractéristiques de fonctionnement à plein champ.</i>	
Nombre total d'essieux.....	7	a) Puissance continue :	
Nombre d'essieux moteurs.....	3	Effort de traction à la jante.. env.	5.000 kg
Diamètre des roues motrices....	1 m,750	Vitesse.....	85 kmh
Dimensions des fusées des essieux moteurs.....	260 × 160 mm	b) Puissance unihoraire :	
Diamètre des roues de bogies...	0 m,900	Effort de traction à la jante.. env.	6.750 kg
Dimensions des fusées des essieux de bogies.....	298,5 × 150 mm	Vitesse.....	78 kmh
Ecartement des essieux extrêmes.	11 m,200	<i>Caractéristiques de fonctionnement en shuntage maximum.</i>	
Empatement fixe.....	4 m	a) Puissance continue :	
Empatement des bogies.....	2 m	Effort de traction à la jante.. env.	3.200 kg
Poids de la partie mécanique ...	68 t	Vitesse.....	134 kmh
Poids de la partie électrique	36 t	b) Puissance unihoraire :	
Poids total.....	104 t	Effort de traction à la jante.. env.	4.500 kg
Poids adhérent.....	54 t	Vitesse.....	122 kmh
Puissance continue.....	1.500 c.v.		
Puissance unihoraire.....	2.100 c.v.		