

Auteur ou collectivité : Royer, M.

Auteur : Royer, M.

Auteur secondaire : Bassière, J.

Titre : L'électrification des chemins de fer P.-O.-Midi La nouvelle locomotive E 703, type 2-D-2, à grande vitesse. Extrait de la "Revue d'électricité et de mécanique" Nos 50 (Nov.-Déc. 1936) et 51 (Janv.-Fév. 1937).

Adresse : [Paris] : [impr. Lang] : [Blanchong et Cie], [1936]

Collation : 36 p. : fig. ; 27 cm

Cote : CNAM-BIB 4 Br 308

Sujet(s) : Voies ferrées

Date de mise en ligne : 08/11/2016

Langue : Français

URL permanente : <http://cnum.cnam.fr/redir?4BR308>

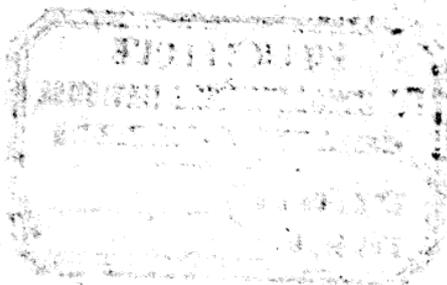
D2-308

LA NOUVELLE LOCOMOTIVE E 703, TYPE 2-D-2,  
A GRANDE VITESSE,  
DES CHEMINS DE FER DU P.O.-MIDI



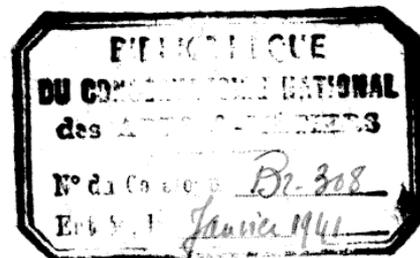
Extrait de la  
" REVUE D'ÉLECTRICITÉ ET DE MÉCANIQUE "   
N° 50 (Nov.-Déc. 1936) et 51 (Janv.-Fév. 1937)  
NOTICE N° 10 578

SOCIÉTÉ GÉNÉRALE  
DE CONSTRUCTIONS  
**ÉLECTRIQUES & MÉCANIQUES**  
(ALSTHOM)



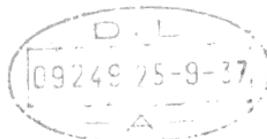
51-308

LA NOUVELLE LOCOMOTIVE E 703, TYPE 2-D-2,  
A GRANDE VITESSE,  
DES CHEMINS DE FER DU P.O.-MIDI



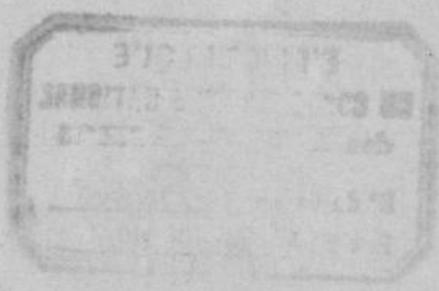
Extrait de la  
« REVUE D'ÉLECTRICITÉ ET DE MÉCANIQUE »  
N° 50 (Nov.-Déc. 1936) et 51 (Janv.-Fév. 1937)  
NOTICE N° 10 578

SOCIÉTÉ GÉNÉRALE  
DE CONSTRUCTIONS  
**ÉLECTRIQUES & MÉCANIQUES**  
(ALSTHOM)



LA NOUVELLE LOCOMOTIVE E.703, TYPE 3-D-3  
A GRANDE VITESSE  
DES CHEMINS DE FER DU P.-O.-MIDI

1953



INDUSTRIE  
ELECTRIQUE

LE SERVICE DES MATERIELS  
DE LA SECTEUR DE LA REGION  
DE LA SECTEUR DE LA REGION  
DE LA SECTEUR DE LA REGION

## L'ÉLECTRIFICATION DES CHEMINS DE FER P. - O. - MIDI

### La nouvelle locomotive E 703, type 2-D-2, à grande vitesse

par MM. M. ROYER, Ingénieur E. S. E., et J. BASSIÈRE, Ingénieur A. et M. et E. S. E.

Dans un précédent numéro de cette revue (1) ont été énumérées brièvement les caractéristiques de la locomotive E 703 que la Société Als. Thom a étudiée et construite dans ses usines de Tarbes pour la Compagnie du Chemin de fer de Paris à Orléans.

Dans l'étude suivante, après avoir exposé les principales considérations qui ont amené à certains dispositifs entièrement nouveaux, les auteurs décrivent la locomotive d'une façon détaillée et terminent en énumérant les résultats obtenus en service prolongé.

#### Programme imposé par la C<sup>ie</sup> du P.-O.

La locomotive E 703 fait partie d'un groupe de 4 machines d'essai que la Compagnie du Chemin de fer de Paris à Orléans a commandées à différents constructeurs sur un programme commun dont les données principales étaient les suivantes :

Cette locomotive devait pouvoir fonctionner en traction et en récupération et remorquer des trains de voyageurs :

— de 800 tonnes : entre Orléans et Tours en 1 heure 5 minutes ;

entre Paris et Châteauroux en 2 heures 45 minutes avec arrêts aux Aubrais et à Vierzon ;

— de 750 tonnes : entre Châteauroux et Brive en 2 heures 55 minutes avec arrêt à Limoges.

Elle devait parcourir au minimum une distance de 150 000 km entre deux révisions et pouvoir marcher à la vitesse de 130 km : h et si possible de 140 km : h sur des lignes équipées à cet effet.

La Compagnie du Chemin de fer de Paris à Orléans insistait dans sa demande de proposition pour que des dispositions fussent prises pour éviter le patinage des essieux moteurs particulièrement aux grandes vitesses.

Sous 1 350 V en ligne, les moteurs de traction devaient pouvoir développer à la jante des roues motrices une puissance globale d'au moins 3 600 ch en régime continu et d'environ 4 000 ch au régime unihoraire quelle que soit leur excitation et sans que l'échauffement d'aucun enroulement, mesuré par variation de résistance, dépasse 120° C au-dessus de la température ambiante.

Avec le champ minimum, les moteurs devaient permettre de réaliser un effort continu de 8 000 kg à 120 km : h sous 1 350 V au couplage parallèle.

L'équipement devait assurer le franchissement des coupures de ligne aérienne sans que le conducteur ait à exécuter aucune manœuvre spéciale pour éviter des avaries aux moteurs ou aux appareils.

En outre, un train de 750 t devait pouvoir être freiné par récupération sur une pente de 10 mm : m à toutes les vitesses comprises entre 30 et 120 km : h. Un dispositif de raté de récupération devait mettre le frein à air en action au cas d'interruption fortuite du freinage électrique.

Afin d'éviter les risques de patinage dus aux variations d'effort entre crans lors des mises en vitesse, les crans de démarrage devaient être suffisamment nombreux.

Les résistances de démarrage devaient permettre d'effectuer exceptionnellement et sans détérioration, les démarrages jusqu'au couplage série-parallèle d'un train de 750 t en supposant qu'il s'arrête sans stationner à toutes les gares et à tous les postes sémaphoriques successifs échelonnés sur les longues rampes d'Argenton-sur-Creuse à Forgevielle, d'Ussac à la Porcherie et de Limoges à la Jonchère, du tronçon Châteauroux-Brive de la ligne Paris-Toulouse.

#### Dispositions nouvelles.

Ce programme imposé a conduit à réaliser une locomotive très large et d'une grande homogénéité dans le dimensionnement de tous ses éléments et à prévoir un certain nombre de dispositifs entièrement nouveaux pour atteindre au mieux le résultat recherché.

Les considérations générales suivantes ont guidé l'étude :

#### Souplesse de conduite — Régulation de la vitesse.

Cette locomotive était appelée à remorquer des trains de poids très variables compris entre 200 et 800 t à des vitesses commerciales variées et souvent voisines de la vitesse limite admise

(1) Voir R. E. M. n° 46 (mars-avril 1936).

par le service de la voie. Ces conditions de fonctionnement conduisaient à disposer de puissances nominales très élevées et de crans de marche économique couvrant un très important intervalle de vitesses et, en outre, à réaliser des caractéristiques permettant de maintenir la vitesse sensiblement constante et voisine de la vitesse limite malgré les variations du profil et de la tension en ligne sans entraîner de manœuvres complexes de conduite (passages successifs d'un couplage à l'autre) pouvant amener une baisse de vitesse moyenne. Les courbes caractéristiques (fig. 1), tracées pour 1 500 V à la ligne, montrent en particulier que le couplage parallèle est inutilisable pour remorquer des trains de 250 t devant circuler en palier à des vitesses comprises entre 120 et 130 km. : h. Ces trains doivent être remorqués en utilisant un couplage intermédiaire des moteurs de traction (série-parallèle).

Jusqu'ici les essieux-moteurs des locomotives 2-D-2 étaient équipés de moteurs à commande individuelle. Ces derniers, par suite de la présence de quatre essieux-moteurs, permettent trois couplages donnant pour un effort à la jante déterminé et avec les mêmes conditions de champ, des vitesses échelonnées sensiblement proportionnelles aux nombres 1, 2 et 4.

Le couplage série-parallèle ainsi réalisé, comportant deux branches en parallèle de deux moteurs en série, permet de disposer à la jante d'environ la moitié de la puissance nominale des moteurs. Sur la figure 1, ont été représentées, en traits interrompus, les caractéristiques d'une locomotive de même puissance que la locomotive E 703 mais équipée seulement avec quatre moteurs. On voit dans ce cas, d'une part que le couplage série-parallèle entraîne une

insuffisance de la régulation de la vitesse parce qu'il n'est pas possible de réaliser un shuntage assez élevé pour obtenir en série-parallèle avec le champ minimum, la même puissance à la jante qu'en parallèle avec champ maximum et, d'autre part, que les caractéristiques du shuntage maximum en série-parallèle deviennent inutilisables pour les efforts élevés nécessités par la remorque

de trains lourds en rampe de 8 ou 10 mm : m en raison de l'échauffement des moteurs.

Il en résulte qu'il y avait intérêt à munir cette locomotive de six moteurs élémentaires possédant des induits bobinés pour la moitié de la tension en ligne afin d'obtenir trois étages de vitesses échelonnés environ proportionnellement aux nombres 1, 2 et 3.

L'examen des courbes caractéristiques (traits pleins) de la figure 1 fait ressortir que :

1° il est ainsi possible d'obtenir, pour un intervalle important de l'effort de traction, des vitesses économiquement parfaitement échelonnées et comprises entre 85 (ralentissements de pleine voie) et 120 ou 130 km : h, suivant que la marche des trains est tracée, d'après l'équipement des voies pour l'une ou l'autre de ces vitesses ;

2° par suite de l'utilisation en série-parallèle des 2/3 environ de la puissance totale de la locomotive (au lieu de la moitié) tous les crans du shuntage au couplage série-parallèle sont utilisables quelle que soit la valeur de l'effort de traction ;

3° que le couplage série-parallèle permet en pratique dans bien des cas d'effectuer la

remorque des trains ayant un poids compris entre 200 et 800 t en modifiant seulement la valeur du shuntage, d'où une grande facilité de conduite.

Depuis mai 1935, les trains les plus rapides d'un poids remorqué de 250 t parcourent les 112 kilomètres séparant les Aubrais de Saint-

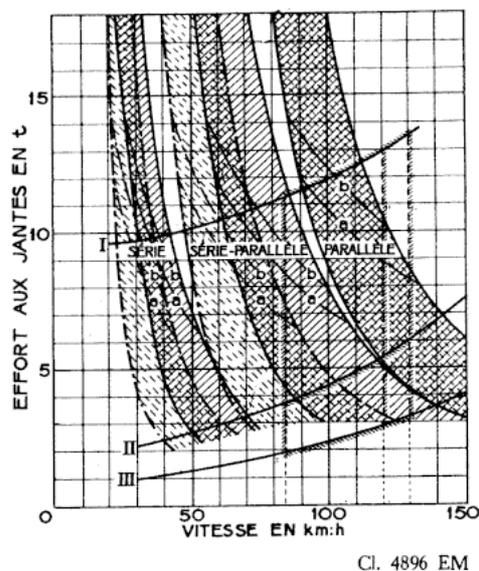


Fig. 1. — Comparaison des caractéristiques effort-vitesse, pour une tension de 1 500 V en ligne, d'une locomotive 2-D-2 de puissance totale égale à celle de la E 703, mais équipée : soit avec 4 moteurs simples ou doubles, soit avec 2 moteurs triples. Les zones d'utilisation des couplages sont différenciées :

pour le cas de 4 moteurs simples ou doubles : traits mixtes avec hachures en traits discontinus ;

Courbe I : poids remorqué de 800 t, en rampe de 8 mm par mètre ;

— II : poids remorqué de 800 t, en palier ;

— III : poids remorqué de 250 t, en palier.

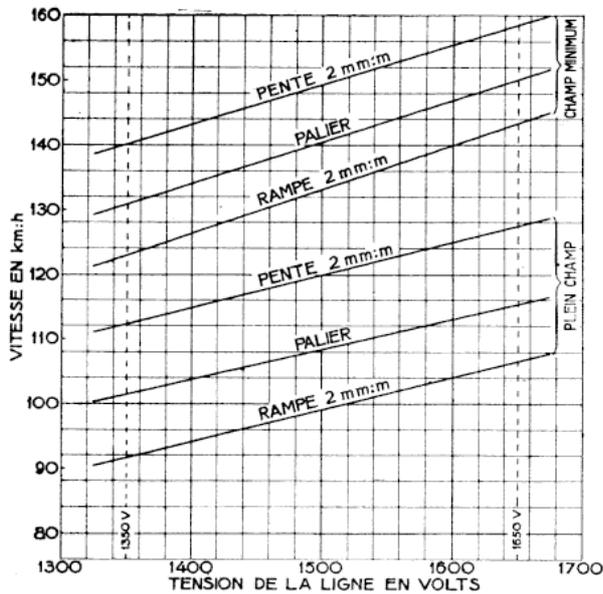
pour le cas de 2 moteurs triples : traits et hachures continus.

Les courbes a et b sont les courbes à intensité constante correspondant respectivement au régime unihoraire et au régime continu (en traits mixtes dans le cas de 4 moteurs, en traits pleins dans le cas de 2 moteurs triples).

Pierre-des-Corps en 58 mn, soit à la vitesse moyenne de 116 km : h sans dépasser la vitesse de 130 km : h (vitesse limite de la voie). La figure 2 montre en outre que pour des tensions en ligne variant entre 1 350 et 1 650 V et pour des déclivités comprises entre + 2 et - 2 mm : m, ces trains peuvent être remorqués en utilisant le couplage série-parallèle des moteurs et en faisant varier seulement le shuntage des moteurs de traction.

Ces courbes ont été établies en calculant l'effort résistant en palier de la locomotive seule, pesant 140 t, par la formule :

$$F_1 = 140 \left( 2,5 + \frac{V^2}{2700} \right)$$



Cl. 4897 EM

Fig. 2. — Vitesses réalisables avec un train remorqué de 250 t. au couplage série-parallèle, en fonction de la tension en ligne.

et celui du train remorqué de 250 t (voitures métalliques à bogies) par la formule :

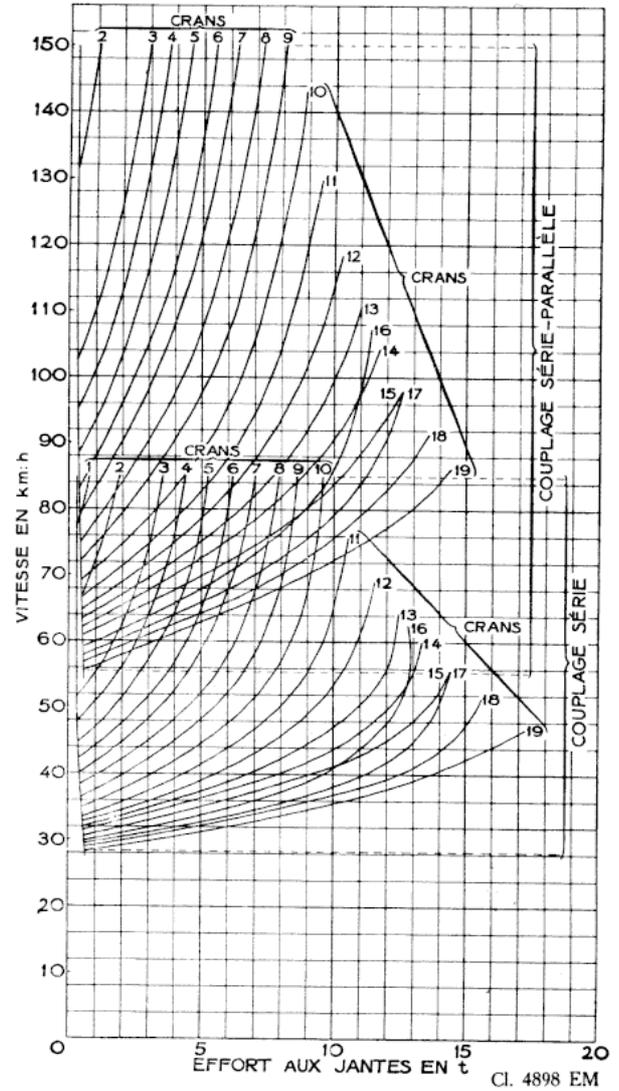
$$\hat{F}_t = 250 \left( 2 + \frac{V^2}{4000} \right)$$

formules qui donnent des valeurs de l'effort résistant très voisines de celles résultant des essais.

Pour soutenir la vitesse moyenne de 116 km : h sur le parcours précité, il est absolument nécessaire, en dehors du démarrage et de l'arrêt, de maintenir constamment la vitesse de la locomotive au maximum permis sans écart important. On voit que l'emploi de six moteurs à demi-tension se prête particulièrement bien à respecter cette condition de marche.

L'emploi de six moteurs de traction élémentaires procure également, dans le fonctionnement en récupération, une souplesse de conduite particulièrement agréable, car il est possible de n'utiliser que deux couplages (six induits en série ou deux branches en parallèle de trois induits en série) pour réaliser les efforts de retenue désirés dans l'intervalle de vitesses compris entre 130 km : h et 30 km : h au lieu de trois couplages

taires procure également, dans le fonctionnement en récupération, une souplesse de conduite particulièrement agréable, car il est possible de n'utiliser que deux couplages (six induits en série ou deux branches en parallèle de trois induits en série) pour réaliser les efforts de retenue désirés dans l'intervalle de vitesses compris entre 130 km : h et 30 km : h au lieu de trois couplages



Cl. 4898 EM

Fig. 3. — Caractéristiques de freinage en récupération aux couplages série et série-parallèle, pour une tension de 1 500 V à la ligne.

dans le cas de l'emploi de quatre moteurs de traction élémentaires.

Les courbes de la figure 3 représentent les caractéristiques de fonctionnement en récupération de la locomotive E 703 pour 1 500 V à la ligne avec les couplages série et série-parallèle.

On voit par ces courbes, que ce dernier permet, en freinage électrique, de réaliser sur les

pentés des lignes du P.-O. des vitesses comprises entre 70 et 130 km : h. Il en résulte qu'en pratique, le conducteur n'utilise que ce couplage.

En outre l'équipement de récupération de cette locomotive a été établi suivant des principes analogues à ceux déjà utilisés sur un grand nombre de locomotives construites par l'Als. Thom.

Cet équipement permet en particulier d'établir d'une façon tout à fait automatique le freinage en récupération sans nécessiter de la part du conducteur aucune précaution particulière de conduite.

Les différents organes de l'équipement intervenant au cours du freinage en récupération et en particulier le groupe moteur-excitatrice ont été étudiés de façon que pour un effort de retenue déterminé compris dans la zone d'utilisation et obtenu sur un certain cran, la vitesse soit pratiquement indépendante de la tension à la ligne : ce qui simplifie les manœuvres de conduite. En outre, le nombre et la disposition des crans de freinage électrique sont tels que le passage des crans, au cours d'un ralentissement, produit des variations très faibles de l'effort de retenue à la jante, au passage des crans.

L'équipement de la locomotive E 703 procure donc une grande souplesse de conduite et de régulation de la vitesse en traction et en récupération.

### Stabilité.

A la demande de la Compagnie du Chemin de fer de Paris à Orléans, cette locomotive a été équipée de bogies d'un type normalisé par cette compagnie et donnant entière satisfaction.

Pour la transmission de l'effort aux jantes, les essieux moteurs ont été munis d'accouplements à bielles et anneau dansant visibles sur les

figures 4, 12 et 13, type d'ailleurs connu depuis fort longtemps (1). Il a déjà été utilisé en France sur la locomotive à grande vitesse 2-BB-2 livrée par la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques à la Compagnie des Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée en 1926 et il a été adopté pour les raisons suivantes sur la locomotive E 703 :

1<sup>o</sup> Il ne crée pas entre le châssis et les essieux de réactions verticales importantes proportionnelles aux débattements et permet donc une période de roulis élevée. Même avec des débattements maxima de l'ordre de 30 mm, les forces verticales produites par l'excentricité de l'essieu

par rapport à l'arbre creux sont négligeables ;

2<sup>o</sup> par rapport à ce qui se produit dans les autres combinaisons que l'on peut imaginer pour réaliser des accouplements à bielles, les articulations subissent, toutes choses égales, des efforts plus faibles et sont plus faciles à établir.

La disposition adoptée a faci-

lité l'emploi d'articulations en caoutchouc sous forme de « Silentblocs » Repusseau, travaillant radialement, angulairement et en couple conique et permettant ainsi l'emploi d'essieux moteurs intermédiaires avec un jeu latéral de 25 mm. de part et d'autre. Cette disposition permet de réduire en courbes les réactions latérales sur les boudins des essieux moteurs extrêmes provoqués par les efforts de ripage des essieux moteurs intérieurs.

Cette application nouvelle d'articulations en caoutchouc (2) à des accouplements de locomotive n'a été entreprise sur la locomotive E 703 qu'après l'exécution d'essais d'endurance chez le fournisseur.

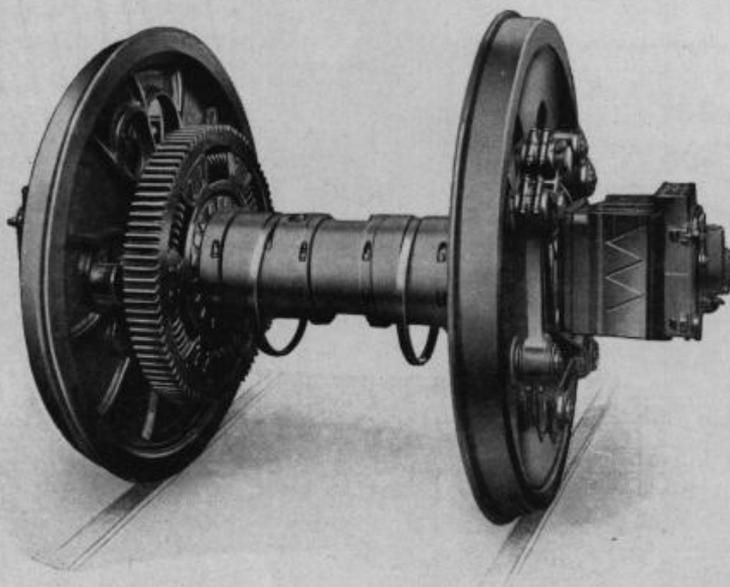


Fig. 4. — Essieu (vue longitudinale).

(1) Traction électrique, Blondel, 1900.

(2) Brevet Als. Thom (système Bussiaux), n° 732466.

Les Etablissements Repusseau ont, en collaboration avec l'Als.Thom, réalisé une machine qui a permis de soumettre une articulation type à cinq millions d'oscillations effectuées à la cadence de deux par seconde.

Au cours de ces oscillations, l'effort radial alterné variait entre 2 000 et 3 000 kg, l'angle de rotation variait de 8 degrés et l'angle conique de 4 degrés.

Ces chiffres avaient été déduits d'une étude de fonctionnement cinématique et dynamique de l'accouplement. Les relevés des caractéristiques de flexibilité radiale statique effectués périodiquement au cours de ces essais ont montré que les caractéristiques de ces articulations se stabilisaient rapidement.

### Adhérence.

Le phénomène de l'adhérence entre la roue et le rail est des plus fugitifs. Il a conduit dans bien des cas de la pratique à des déconvenues, les hypothèses de base déduites pour de nouvelles études, d'essais exécutés sur d'autres types de machines ne s'étant pas vérifiées.

Cette difficulté provient, en dehors de l'état de propreté des surfaces en contact, de la multitude des paramètres susceptibles de troubler statiquement et dynamiquement les conditions physiques de l'adhérence ainsi que les réactions verticales des essieux sur la voie.

Pour un grand nombre de locomotives, les constructeurs ont été conduits jusqu'ici à représenter les caractéristiques d'adhérence avec rail sec ou humide par une formule hyperbolique en fonction de la vitesse telle que

$$\lambda_0 = \frac{\lambda_0}{1 + aV} \quad \text{le coefficient } a \text{ variant avec le type de la locomotive}$$

Cela ne veut pas dire que les conditions physiques d'adhérence des roues sur des rails secs ou humides varient beaucoup avec la vitesse, mais le coefficient correcteur  $a$  du facteur vitesse représente l'ensemble de l'influence des paramètres secondaires susceptibles de faciliter le patinage des roues en vitesse, tels que la conception de la suspension principale et sa flexibilité, les caractéristiques des accouplements, l'empattement total, les oscillations verticales de la voie, l'allure de la caractéristique effort-vitesse des moteurs de traction, les variations de tension à la ligne, l'inertie des masses tournantes, etc.

Les patinages peuvent se produire dans différentes circonstances ; en particulier au début

des démarrages qui se font à des efforts brusquement variables au passage des crans et qui ont lieu surtout dans les gares, toujours aux mêmes endroits où les rails sont souillés par de l'huile ou de la graisse. Ces causes de patinages systématiques ne peuvent être compensées que par le sablage des rails qui est toujours efficace aux basses vitesses.

Les patinages peuvent être aussi facilités par des déchargements moyens permanents des essieux moteurs sous l'action des efforts appliqués aux jantes et aux attelages. Cette cause de patinage peut d'ailleurs être combattue par des dispositifs qui proportionnent l'effort aux jantes à la charge statique réelle des essieux, mais ces déchargements qui sont très importants sur les locomotives du type BB, de même poids adhérent que les 2-D-2 deviennent négligeables sur ces dernières par suite de l'augmentation de l'empattement, de l'influence des balanciers et de la flexibilité notable des différents ressorts de suspension.

C'est pourquoi la locomotive E 703 n'a pas été équipée avec le système d'antipatinage électrique (1) utilisant la modification du champ de certains moteurs de traction appliqué avec succès par l'Als.Thom sur d'importantes séries de locomotives du type BB.

Le patinage d'un essieu moteur qui est effectivement nuisible lorsque la roue atteint une vitesse tangentielle très différente de la vitesse de la locomotive n'est pas un phénomène discontinu. On peut affirmer que les roues glissent en permanence par rapport aux rails.

Mais si le glissement des roues par rapport aux rails est très faible, il n'influe pas beaucoup sur la valeur de l'effort tangentiel qui peut être transmis à la jante par le rail.

Les essais effectués par l'Als.Thom sur différentes locomotives ont montré qu'après avoir provoqué un léger glissement sur un essieu, on peut parfois retrouver un nouveau régime d'équilibre permanent correspondant à la transmission par le contact rail-roue d'un effort légèrement moindre avec un faible glissement relatif permanent. Mais en général, dès que la cause perturbatrice initiale disparaît, ce glissement systématique est détruit.

L'expérience montre en outre que lorsque le patinage est nettement établi, ce qui se traduit

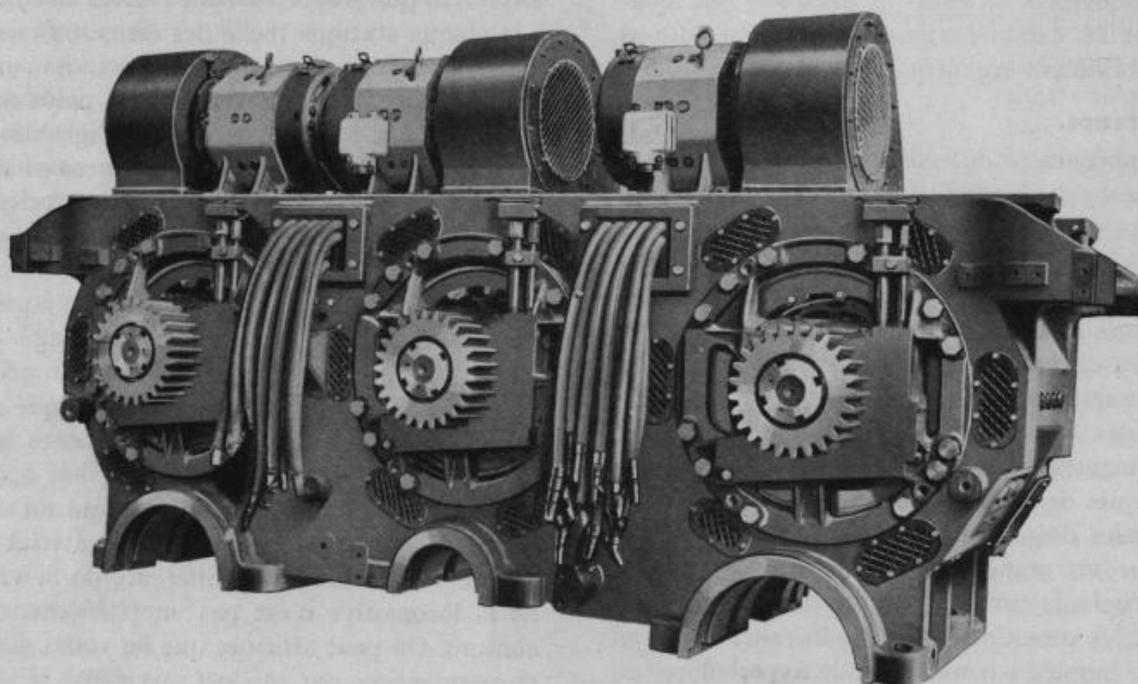
(1) Brevet Als. Thom (système Royer), n° 698260.

au point de contact par une vitesse relative importante de la roue par rapport au rail, l'effort transmissible par le contact rail-roue est voisin de 6 pour 100 du poids adhérent. Il en résulte que les patinages en vitesse seront d'autant plus à redouter que la puissance par essieu des moteurs de traction sera plus grande, c'est-à-dire que la locomotive sera susceptible de développer des efforts élevés aux grandes vitesses.

L'allure de la caractéristique des moteurs de traction influe également sur la tendance au patinage. Celle-ci sera d'autant plus grande que l'effort de traction diminuera moins rapidement

semble d'un moteur triple comprenant deux arbres creux portant chacun une roue dentée élastique et reliée à un essieu de part et d'autre du moteur par un accouplement à bielles. Chaque roue dentée élastique est attaquée directement par le pignon d'un induit. En outre, les jantes des deux roues dentées élastiques sont rendues solidaires dans leur mouvement de rotation par une troisième roue dentée rigide portée par un arbre intermédiaire. Cette roue dentée intermédiaire est elle-même attaquée par le pignon du troisième induit.

La carcasse du moteur repose aux extrémités



Cl. 4900 EM

Fig. 5. — Ensemble d'un moteur triple avec ses groupes de ventilation, mais sans les chapeaux des paliers d'essieux et de l'arbre de la roue d'engrenage intermédiaire.

lorsque la vitesse du moteur croît, c'est-à-dire lorsque l'on se rapprochera de la marche idéale à puissance constante.

Etant donné qu'il faut une certaine vitesse relative de la roue par rapport au rail pour qu'un glissement définitif s'établisse et réduise considérablement l'effort à la jante, nous avons pensé pour augmenter l'inertie à réaliser à l'aide des six induits envisagés pour améliorer la régulation, deux moteurs triples (1) chacun comportant trois induits reliés mécaniquement à deux essieux.

Les figures 5 et 12 donnent une vue d'en-

sur des traverses d'entretoisement des longerons par l'intermédiaire de boulons s'appuyant sur des rondelles élastiques « Trep », de façon à éviter la formation d'efforts anormaux dus au gauchissement du châssis et aux dilatations relatives des différents organes.

Pour que l'effort moteur de l'induit intermédiaire se répartisse également sur les deux arbres creux, les roues dentées des arbres creux possèdent une élasticité angulaire suffisante.

En vue de diminuer les déchargements statiques, les essieux ont été entièrement balancés et la locomotive a été munie d'accouplements ne donnant que des réactions verticales insignifiantes.

Pour les raisons suivantes, la liaison méca-

(1) Brevet Als.Thom (système Royer), n° 710963.

nique des essieux deux à deux, obtenue par les engrenages des trois induits d'un moteur triple, procure une protection efficace contre les patinages d'origine dynamique :

a) si le mouvement relatif complexe du châssis par rapport aux essieux entraîne à un moment donné un déchargement d'essieu important mais de courte durée, il existe une très grande probabilité pour que l'essieu voisin faisant partie du même moteur triple ne subisse pas simultanément la même perturbation, il en résulte qu'une fraction de l'effort moteur tiendra à passer du premier sur le deuxième essieu. Cet échange se fera progressivement sans chocs par suite des liaisons élastiques ;

b) si les conditions d'adhérence, poids et effort tangentiel instantanés sur les deux essieux conduisent malgré tout à un glissement des deux essieux successifs, le gradient d'élévation de la vitesse relative des roues par rapport au rail au point de contact sera faible du fait de la grande inertie de l'ensemble et la vitesse de glissement ne pourra atteindre une valeur élevée. Le patinage amorcé cessera donc aussitôt que l'anomalie de répartition des charges aura cessé sur les deux essieux considérés.

On voit ainsi qu'un défaut local et momentané de la voie ne peut pas amorcer un patinage définitif.

En outre, le diagramme des crans de démarrage a été établi de façon à réduire fortement la variation de l'effort moteur au passage des crans lorsque la vitesse croît.

La variation d'effort entre crans pour les trains lourds de 800 t est comprise entre 3 000 kg aux basses vitesses et 1 200 kg à 75 km : h.

Au cours des essais de cette locomotive, il a été possible de réaliser sans patinage et sans sablage un coefficient d'adhérence à la jante des roues de 22,5 pour 100 à 70 km : h et de 17 pour 100 à 105 km : h. Ce dernier chiffre qui correspond à une puissance à la jante de 5 300 ch ne représente certainement pas la limite d'adhérence de cette locomotive à 105 km : h car la puissance à la jante était limitée au cours de ces essais par le réglage des relais de surcharge.

Si l'on tient compte du fait que sur certaines locomotives 2-D-2, à commande individuelle des essieux, il n'est pas possible de dépasser sans risque de patinage un coefficient d'adhérence de 12 à 13 pour 100 à 105 km : h, il est permis d'admettre, en ce qui concerne l'adhérence en

vitesse, que la locomotive E 703 ayant un poids adhérent de 80 t est équivalente avec deux moteurs triples à une locomotive possédant six essieux adhérents (120 t) équipée avec une commande individuelle des essieux.

Cette remarque est d'autant plus intéressante que l'ensemble de la locomotive a été étudié pour que le poids par essieu puisse être porté ultérieurement à 22 t par addition de lest dans le cas où les voies seraient aménagées pour supporter cette charge.

### **Sécurité de fonctionnement et facilités d'entretien.**

Cette locomotive possède une large sécurité de fonctionnement obtenue par un dimensionnement convenable des différents organes de l'équipement électrique et de la partie mécanique.

En particulier, les induits des moteurs triples possèdent une très grande marge de commutation, car ils sont munis de pôles auxiliaires épanouis (1). Cette disposition procure en régimes permanents et transitoires et quelles que soient les conditions de champ des moteurs, une tenue électrique comparable à celle obtenue avec des enroulements de compensation.

En pratique et avec de bonnes conditions d'adhérence, les deux moteurs triples de traction seraient susceptibles avec le couplage parallèle, d'absorber sans inconvénient en régime établi ou en régime transitoire, l'énergie maximum pouvant être prise à la ligne par une locomotive.

Cette énergie est limitée par le réglage des disjoncteurs de feeder ou des postes de sectionnement à une intensité absorbée voisine de 6 000 A qui correspond sensiblement à une puissance à la jante de 10 000 ch.

Comme les moteurs de traction, le moteur compound entraînant l'excitatrice de récupération a été pourvu de pôles de commutation épanouis.

Son circuit d'excitation shunt a été muni d'un transformateur d'excitation et les enroulements anticompound de l'excitatrice ont été shuntés inductivement en vue de réduire les surcharges au cours des régimes transitoires.

Les résistances de démarrage ont été très largement prévues. Le poids de grilles en fonte les constituant est de 3 945 kg et leur refroidissement est obtenu par ventilation naturelle dans des compartiments latéraux aménagés pour obtenir un effet de cheminée.

(1) Brevet Als.Thom (système Royer), n° 712420.

Au cours d'essais spéciaux de démarrage sur la ligne Vierzon-Brive, avec un train de 750 t comportant des arrêts systématiques à toutes les gares et à tous les postes sémaphoriques, la température des grilles n'a pas dépassé 300° C.

En vue d'assurer une tenue aussi parfaite que possible des différents paliers des moteurs de traction, ceux-ci ont tous été munis du graissage par bagues avec retours d'huile.

C'est la première fois que des coussinets d'arbre creux ayant un alésage de 360 mm sont réalisés avec un graissage par bagues permettant une lubrification hydrodynamique sur film

## DESCRIPTION GÉNÉRALE DE LA LOCOMOTIVE.

La locomotive E. 703 est du type 2-D-2, c'est-à-dire qu'elle comporte quatre essieux-moteurs, placés entre deux bogies porteurs et directeurs à deux essieux (fig. 6).

La caisse est symétrique avec une cabine de conduite à chaque extrémité. La machine peut ainsi fonctionner dans les mêmes conditions de stabilité et de visibilité quel que soit le sens de marche.

L'alimentation en courant continu se fait par ligne caténaire, sous la tension normale moyenne de 1 350 V. Tous les organes sont prévus pour

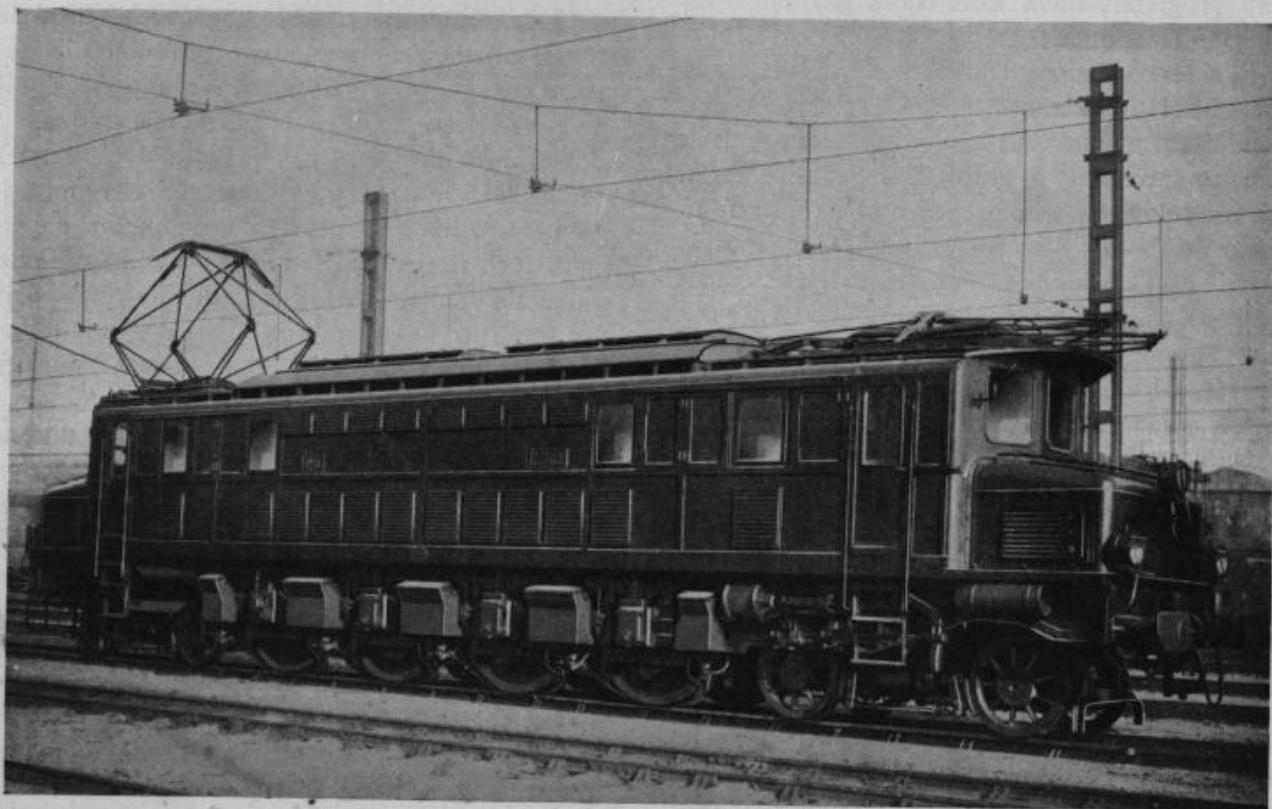


Fig. 6. — Ensemble de la locomotive électrique E. 703, type 2-D-2, des Chemins de fer P.-O.-Midi. Cl. 4901 EM

d'huile tandis que le graissage par déchets de laine ou tampons utilisé jusqu'à ce jour pour ces organes ne procure qu'un graissage onctueux toujours très précaire et instable.

Ces paliers ont été lubrifiés à l'aide d'huile claire non asphaltique. Leur consommation est très faible en service.

Cette même qualité d'huile a été utilisée avec succès pour la lubrification des fusées des essieux moteurs.

D'autre part, l'emploi d'accouplements munis d'articulations en caoutchouc, a particulièrement simplifié l'entretien de cette locomotive.

fonctionner correctement entre les limites pratiques de 1 100 et 1 800 V.

Un pantographe est installé à chaque extrémité de la toiture. Des dispositifs et verrouillages nécessaires sont prévus pour l'alimentation éventuelle de la locomotive par des frotteurs de 3<sup>e</sup> rail.

Les deux moteurs triples, complètement suspendus et composés chacun de trois induits dans une carcasse commune, entraînent les roues motrices. Ils agissent chacun sur deux essieux par un triple jeu d'engrenages, deux arbres creux et quatre accouplements élastiques à bielles articulées sur « Silentblocs ».

Le freinage de la locomotive est assuré pneumatiquement par les freins automatique et modérable, du type Westinghouse, mécaniquement par un frein à main combiné avec les freins pneumatiques et électriquement par un équipement de freinage par récupération.

Un dispositif neutralise le freinage pneumatique des essieux moteurs pendant le freinage par récupération, pour empêcher le blocage des essieux.

### Caractéristiques en traction, sous 1 350 V.

Les caractéristiques en traction, sous 1 350 V avec le couplage *parallèle* sont données par le tableau ci-dessous :

| Régime   | Puissance totale aux jantes | Effort total aux jantes | Vitesse    | Champ d'excitation des moteurs |
|--|-----------------------------|-------------------------|------------|--------------------------------|
| Unihoraire<br>(825 A par moteur élémentaire, soit 2 475 A pour la locomotive). | 4 125 ch                    | 14 400 kg               | 77 km : h  | Maximum                        |
|  |                             | 10 000 kg               | 110 km : h | Minimum                        |
| Continu<br>(725 A par moteur élémentaire, soit 2 175 A pour la locomotive).    | 3 672 ch                    | 12 000 kg               | 81 km : h  | Maximum                        |
|  |                             | 8 100 kg                | 120 km : h | Minimum                        |

Ces régimes s'entendent pour la marche avec ventilation normale et pour un échauffement des enroulements de 120° C mesurés par variation de résistance et extrapolés à l'arrêt pour l'induit.

### Généralités sur l'équipement électrique.

L'équipement électrique de la locomotive se compose essentiellement de :

- deux moteurs triples, type TR 301, à ventilation forcée, complètement suspendus, avec engrenages de réduction  $87/25=3,48$
- six groupes moteurs-ventilateurs, groupés en trois branches de deux en série et comprenant chacun un moteur à 675 V, type V 21, avec un ventilateur soufflant dans l'un des moteurs élémentaires ;
- deux groupes moteurs-compresseurs composés chacun d'un moteur à 1 350 V,

type C 35, et d'un compresseur, type CB 4 à réducteur de vitesse ;

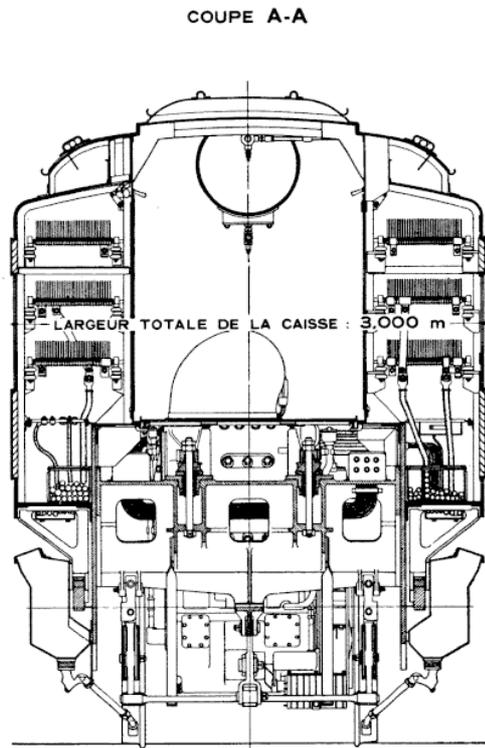
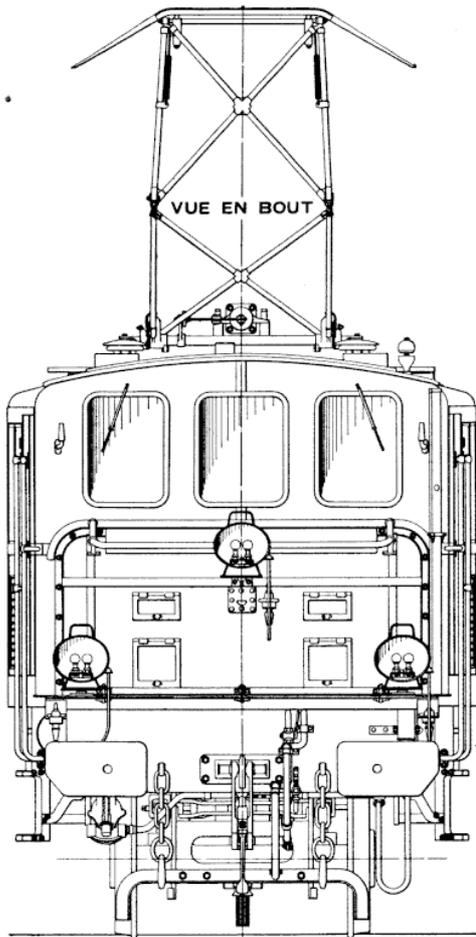
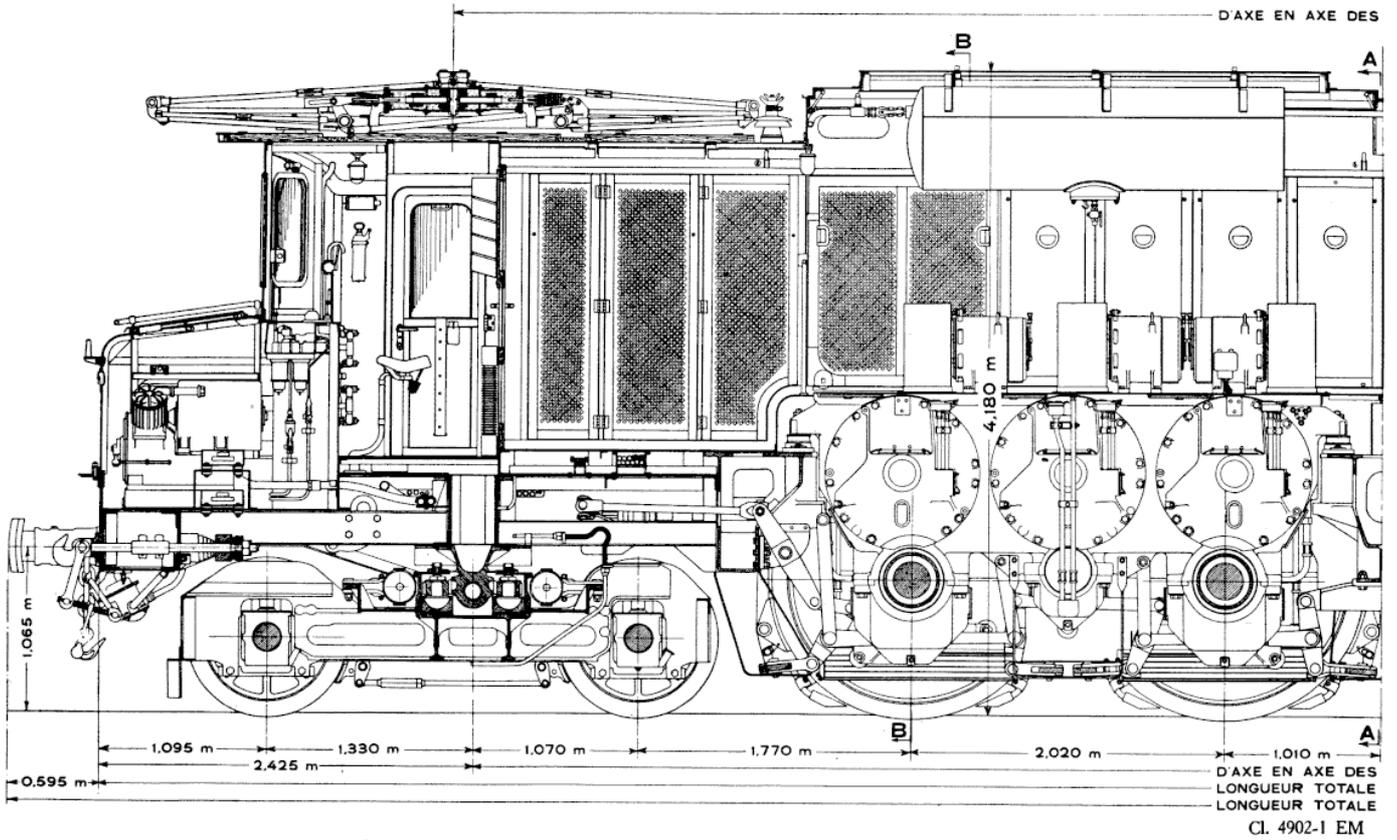
- un groupe moteur-excitatrice comprenant un moteur à 1 350 V, type A 131, et une génératrice A 132 à tension variable assurant l'excitation des moteurs en récupération ;
- une batterie d'accumulateurs à 72 V formée de 48 éléments S. A. F. T. au cadmium-nickel et d'une capacité de 72 A-h ;
- un équipement d'appareillage comprenant les organes de prise de courant, de coupure, de connexion, de commande et de contrôle, de protection, de sécurité, de chauffage de la locomotive et du train et d'éclairage de la locomotive.

Les appareils de coupure des circuits principaux et du groupe auxiliaire à haute tension, ainsi que les appareils de transition, de variation du champ et de shuntage, d'élimination des résistances et d'inversion de marche, sont à commande électropneumatique.

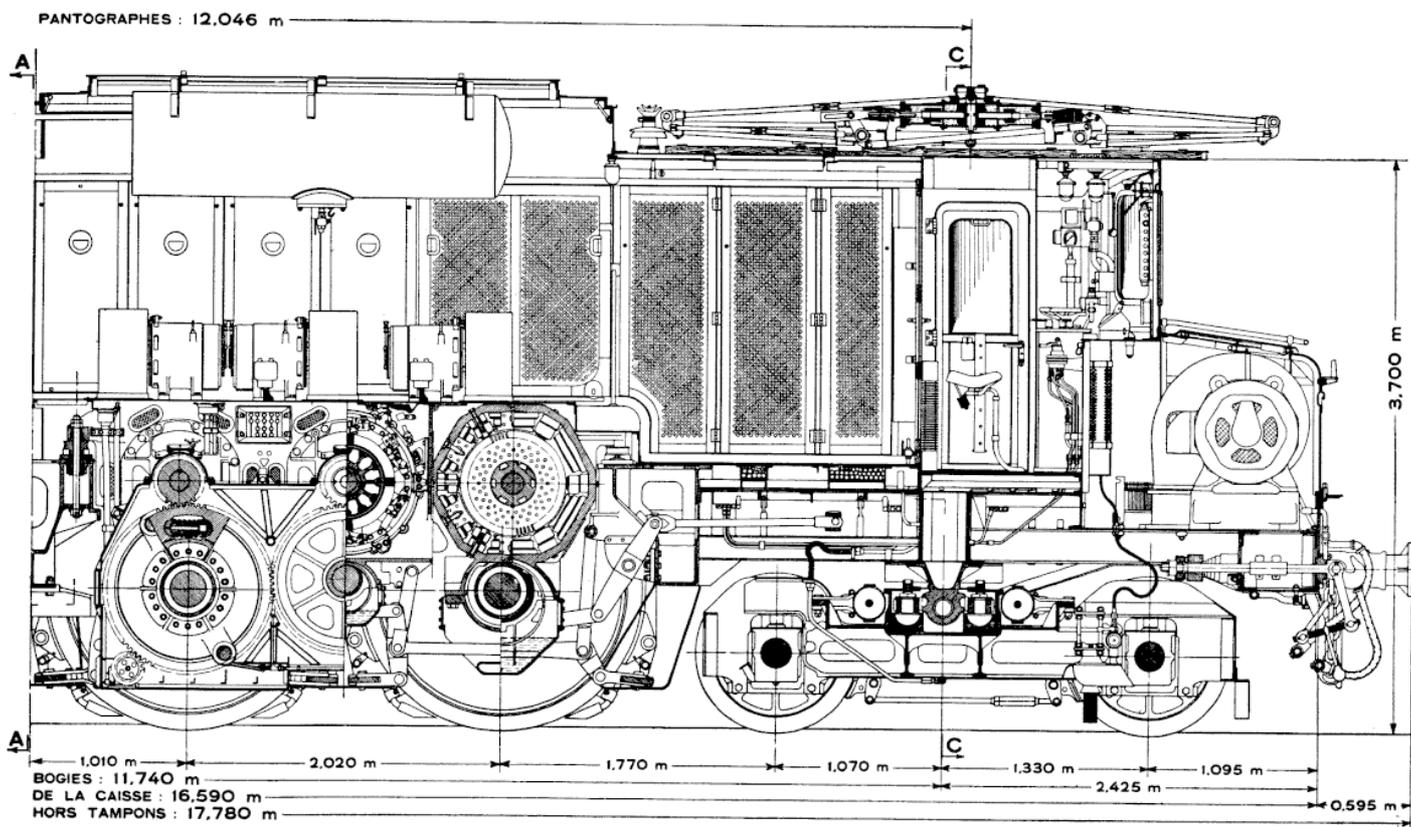
Les changements de couplage et de l'excitation des moteurs sont effectués par des groupes de contacteurs à cames.

Le contacteur général des circuits auxiliaires haute tension ainsi que les contacteurs individuels des groupes moteurs-compresseurs et moteurs-ventilateurs sont à commande électromagnétique.

Les moteurs triples, du type TR 301, sont à excitation série. Chaque moteur élémentaire est prévu pour fonctionner sous la demi-tension de la ligne et sont par conséquent toujours connectés par deux en série. Les bobinages sont isolés pour la tension de service de 1 500 V.

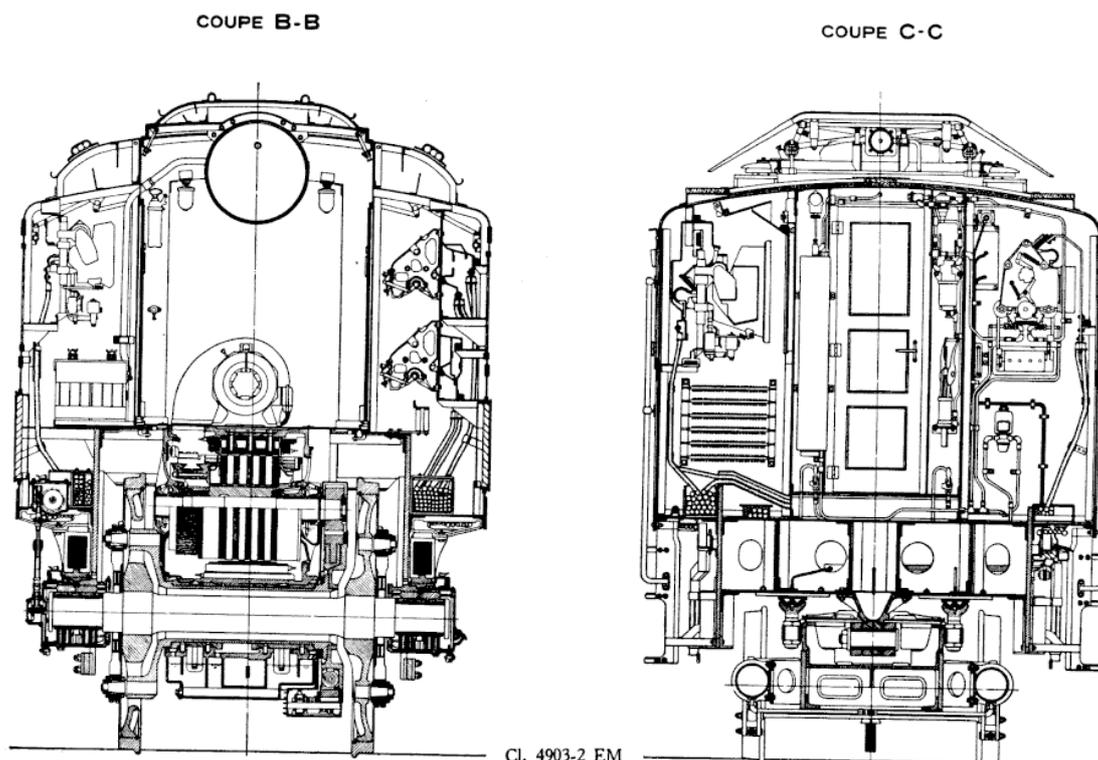


Cl. 4903-1 EM



Cl. 4902-2 EM

Fig. 7. — Coupe longitudinale ..... } de la locomotive électrique E 703, à grande vitesse  
 Fig. 8. — Vue en bout et coupes transversales.. } des Chemins de fer P.-O.-Midi.



Cl. 4903-2 EM

En traction, l'équipement permet les couplages suivants :

- en série : une branche de six moteurs élémentaires en série ;
- en série-parallèle : deux branches en parallèle de trois moteurs élémentaires en série ;
- en parallèle : trois branches en parallèle de deux moteurs élémentaires en série.

La variation de l'excitation des moteurs est obtenue par la modification du nombre des spires des bobines principales dans les trois couplages. Dans les couplages série et série-parallèle, une réduction supplémentaire du champ est obtenue par un shuntage non inductif des spires utilisées.

Il y a donc 11 crans équilibrés de marche économique, c'est-à-dire sans résistances de démarrage. De plus, pour diminuer les variations d'effort et les pointes d'intensité au passage des crans à champ réduit, deux crans intermédiaires déséquilibrés ont été prévus à chacun des trois couplages.

En récupération, l'équipement comporte, pour le freinage de maintien :

- 19 crans au couplage série ;
- 19 crans au couplage série-parallèle (deux branches en parallèle de trois moteurs élémentaires en série).

Le couplage parallèle n'est pas utilisé parce que les vitesses correspondantes seraient trop élevées.

En outre, il a été prévu, à titre purement expérimental, un cran de freinage automatique de ralentissement par récupération à chacun des couplages série et série-parallèle.

### Dimensions.

Les principales dimensions de la locomotive sont les suivantes :

|   |            |
|---|------------|
| Longueur entre tampons . . . . .                          | 17,780 m ; |
| Empattement rigide . . . . .                              | 6,060 m ;  |
| Empattement total . . . . .                               | 14,400 m ; |
| Diamètre des roues motrices . . . . .                     | 1,750 m ;  |
| Diamètre des roues porteuses . . . . .                    | 0,970 m ;  |
| Altitude de la toiture au droit<br>pantographes . . . . . | 3,700 m.   |

Les figures 7 et 8 représentent la locomotive vue en coupes longitudinales et transversales, à l'échelle 1/50.

### Poids.

#### a) Partie mécanique :

Poids total (y compris les accouplements élastiques et l'équipement de frein à air comprimé, sans les groupes compresseurs) :

environ 83 740 kg

#### b) Partie électrique :

|  |           |
|--|-----------|
| Moteurs de traction . . . . .                          | 31 500 kg |
| Groupes auxiliaires . . . . .                          | 5 830 kg  |
| Appareillage, non compris les<br>résistances . . . . . | 8 350 kg  |
| Résistances de démarrage . . . . .                     | 4 800 kg  |
| Câbles et barres . . . . .                             | 4 400 kg  |

Poids total de la partie électrique  
environ 54 880 kg

Poids total de la locomotive en ordre de marche (y compris 1 850 kg d'agrès, outillage, sable, etc.), environ 140 200 kg

Charge par essieu de bogie . . . 13,5 t et 16,6 t ;

Charge par essieu moteur :

20 t, pouvant être porté à 22 t par lestage.

### Partie mécanique.

#### Châssis.

Le châssis est formé de deux longerons principaux en une seule pièce de 30 mm d'épaisseur.

Ils sont reliés entre eux par :

- deux traverses d'extrémité, chaudronnées, portant les organes de choc et de traction du type unifié de 70 t des Chemins de fer français ;
- deux traverses entretoises, chaudronnées, portant les pivots de bogie ;
- trois traverses entretoises centrales, en acier moulé, supportant les moteurs de traction.

A la demande de la Compagnie du Chemin de fer de Paris à Orléans, le châssis a été étudié pour permettre, en cas de déraillement, le relevage à l'aide d'une grue, de la machine complète par l'une de ses extrémités, l'autre reposant sur le bogie correspondant, et sans que la fatigue du métal, calculée sans faire intervenir la caisse dans la résistance, dépasse 14 kg : mm<sup>2</sup>.

La figure 9 représente le châssis en cours de construction avec un moteur triplé mis en place.

Le châssis repose sur les boîtes à huile des essieux moteurs par l'intermédiaire de ressorts à lames reliés à des balanciers équilibreurs par des tiges de suspension réglables munies de doubles couteaux d'articulation en acier au chrome-nickel traité, permettant tous les déplacements sans imposer de contrainte de flexion aux tiges de suspension.

## Caisse.

La caisse, solidaire du châssis, est entièrement métallique, sauf les boiseries des portes de cabines et les planchers isolants sous les pantographes.

L'ossature est constituée de profilés assemblés par équerres et goussets rivés. Les tôles des parois longitudinales et du lanterneau ont une épaisseur de 2,5 mm.

La partie médiane comporte des compartiments latéraux dans lesquels sont installés l'appareillage électrique et les résistances de démarrage, et un couloir central de circulation réunissant les deux cabines de conduite.

Chaque cabine est séparée du couloir par une porte pleine battante. Dans la partie médiane, le plancher du couloir est surélevé ; il est fixé au-dessus des moteurs de traction et comporte les trappes de graissage et de visite nécessaires.

Dans l'axe du couloir (fig. 10) sont installés les groupes moteurs-ventilateurs et les réservoir d'air principaux. Le passage d'une cabine à l'autre est néanmoins très

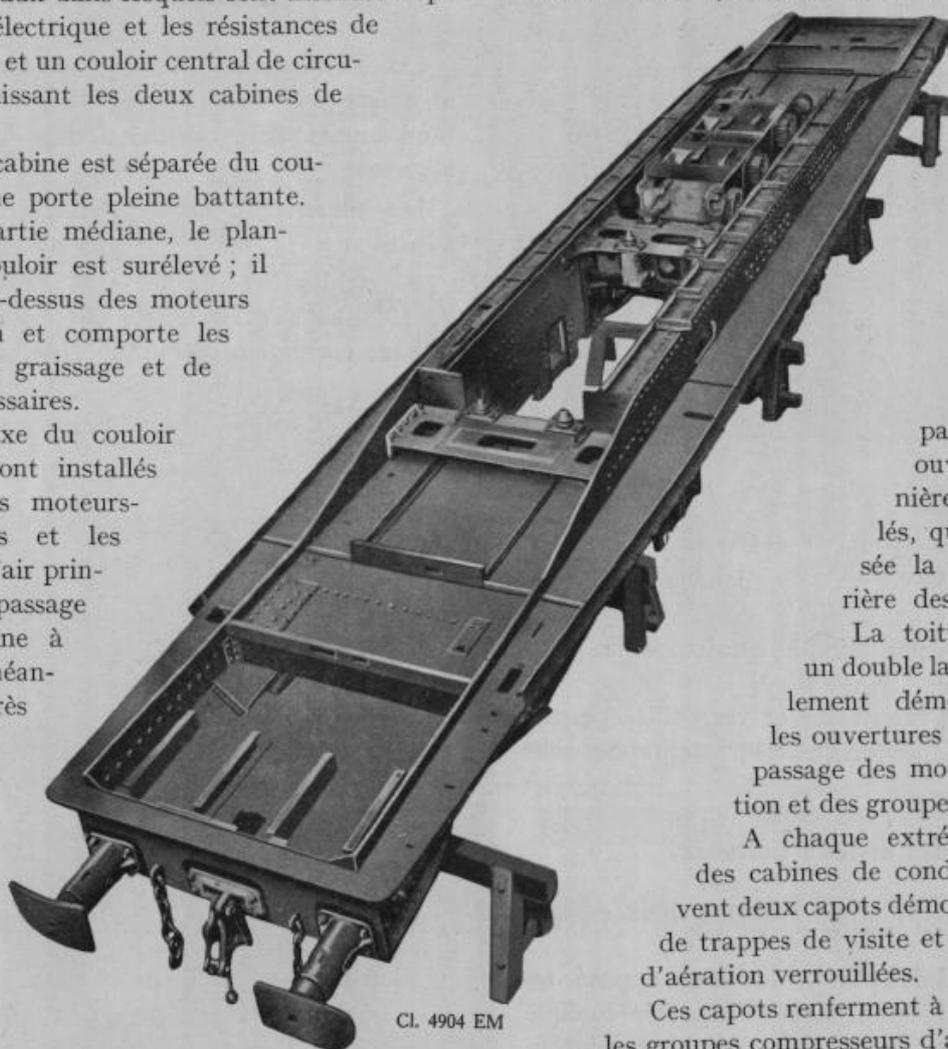


Fig. 9. — Châssis de la locomotive avec l'un des moteurs triples monté.

facile, le couloir ayant une grande largeur.

Les portes des compartiments d'appareillage sont grillagées ; celles des compartiments de résistances sont pleines.

Toutes sont munies d'un verrouillage réciproque empêchant l'accès aux organes sous tension lorsque les pantographes sont levés.

Les parois longitudinales, rivées à l'ossature comportent à la partie inférieure, des panneaux de ventilation permettant, dans les compartiments d'appareils, l'entrée de l'air aspiré par les ventilateurs et, dans les compartiments de résistances, la ventilation de ces dernières par tirage naturel. Les persiennes de ces panneaux sont à grand recouvrement et masquées par une tôle placée à distance ; les entrées d'eau sont ainsi évitées complètement. Au-dessus se trouvent des baies vitrées et, derrière les contacteurs indivi-

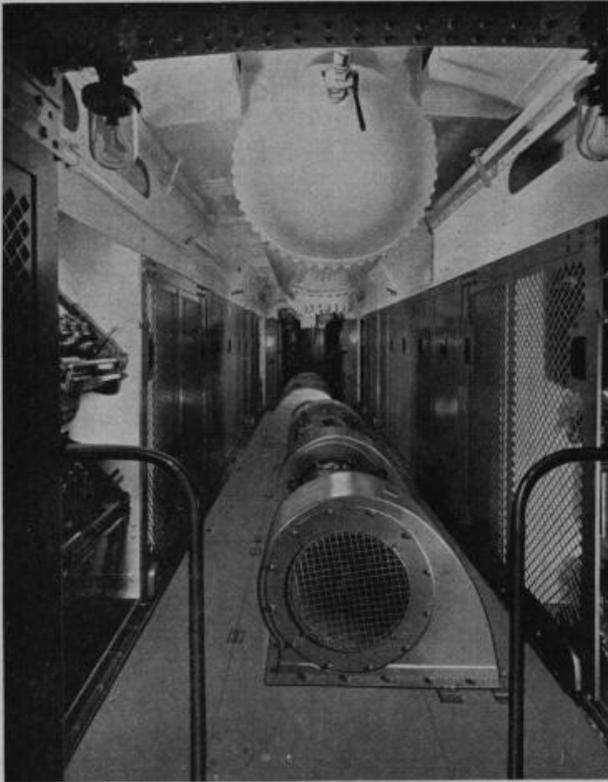
duels, des panneaux pleins ouvrant à charnière, et verrouillés, qui rendent aisée la visite à l'arrière des contacteurs.

La toiture comporte un double lanterneau facilement démontable dont les ouvertures permettent le passage des moteurs de traction et des groupes ventilateurs. A chaque extrémité, au-delà des cabines de conduite, se trouvent deux capots démontables munis de trappes de visite et de persiennes d'aération verrouillées.

Ces capots renferment à une extrémité les groupes compresseurs d'air et leurs résistances de protection, à l'autre le groupe moteur-générateur pour la récupération, avec ses résistances et son transformateur d'excitation.

Les cabines de conduite (fig. 11) comportent : à gauche, les organes de commande placés assez près de la porte pour que le conducteur puisse manœuvrer en observant au dehors ;

à droite, le volant du frein à main et un coffre pour les agrès et les effets personnels de l'équipe de conduite ;



Cl. 4905 EM

Fig. 10. — Vue du couloir longitudinal.

et enfin une selle élastique pour le conducteur et une pour son aide.

Sous chaque pantographe est disposé un plancher en chêne.

Une échelle rabattable et verrouillée permet l'accès à la toiture lorsque les pantographes sont baissés.

#### Commande des essieux moteurs.

Chaque moteur triple entraîne deux essieux (fig. 12).

Chaque induit porte, du côté opposé au collecteur, un pignon claveté à portée conique sur laquelle il est monté à chaud et bloqué par un écrou freiné.

Le pignon de chacun des induits extrêmes du moteur triple attaque la couronne d'une roue dentée élastique solidaire d'un arbre creux concentrique à l'essieu correspondant et tournant dans des paliers faisant partie de la carcasse du moteur. La figure 13 montre l'ensemble d'un essieu moteur avec son arbre creux et sa roue dentée et la figure 14, la roue dentée élastique montée sur l'arbre creux.

Les deux couronnes dentées des essieux extrêmes engrènent avec une même roue dentée non élastique, située entre les deux arbres creux, et solidaire d'un arbre intermédiaire (fig. 15), tournant dans des paliers faisant partie de la carcasse, et servant seulement à supporter la roue dentée intermédiaire, mais ne transmettant pas de couple.

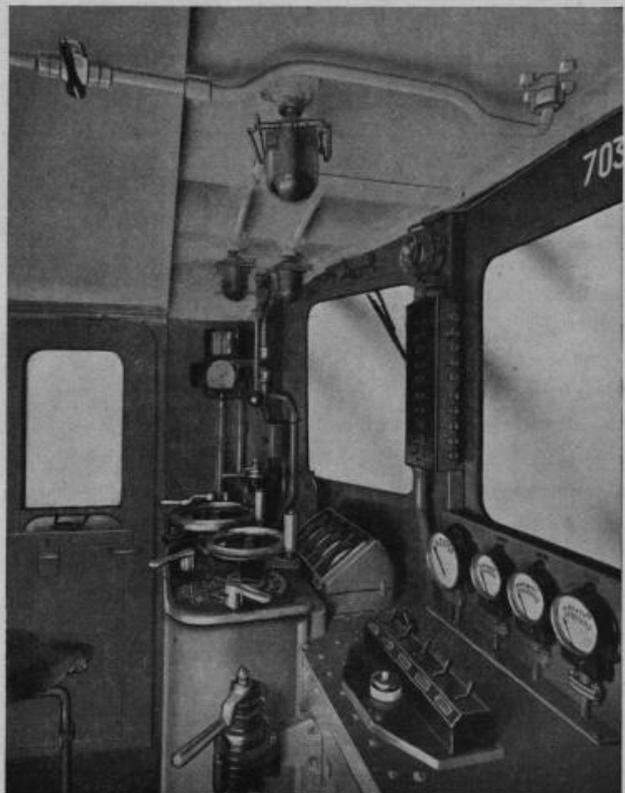
La roue dentée intermédiaire, emmanchée à la presse sur l'arbre intermédiaire, engrène, en outre, avec le pignon de l'induit médian placé au-dessus d'elle.

Les deux induits extrêmes tournent donc dans un même sens ainsi que les deux arbres creux, tandis que l'induit médian tourne dans le sens inverse.

Les engrenages ont les caractéristiques suivantes :

— la denture droite est au module de 12,415 mm avec un angle de pression de  $18^\circ$ , et sans correction diamétrale.

— les pignons, couronnes dentées d'arbre creux et d'arbre intermédiaire sont tous en



Cl. 4906 EM

Fig. 11. — Vue d'une cabine de conduite.

acier au chrome-nickel-molybdène traité à 120 kg : mm<sup>2</sup> pour les pignons et couronnes d'arbre intermédiaire et à 105 kg : mm<sup>2</sup> pour les couronnes élastiques d'arbre creux.

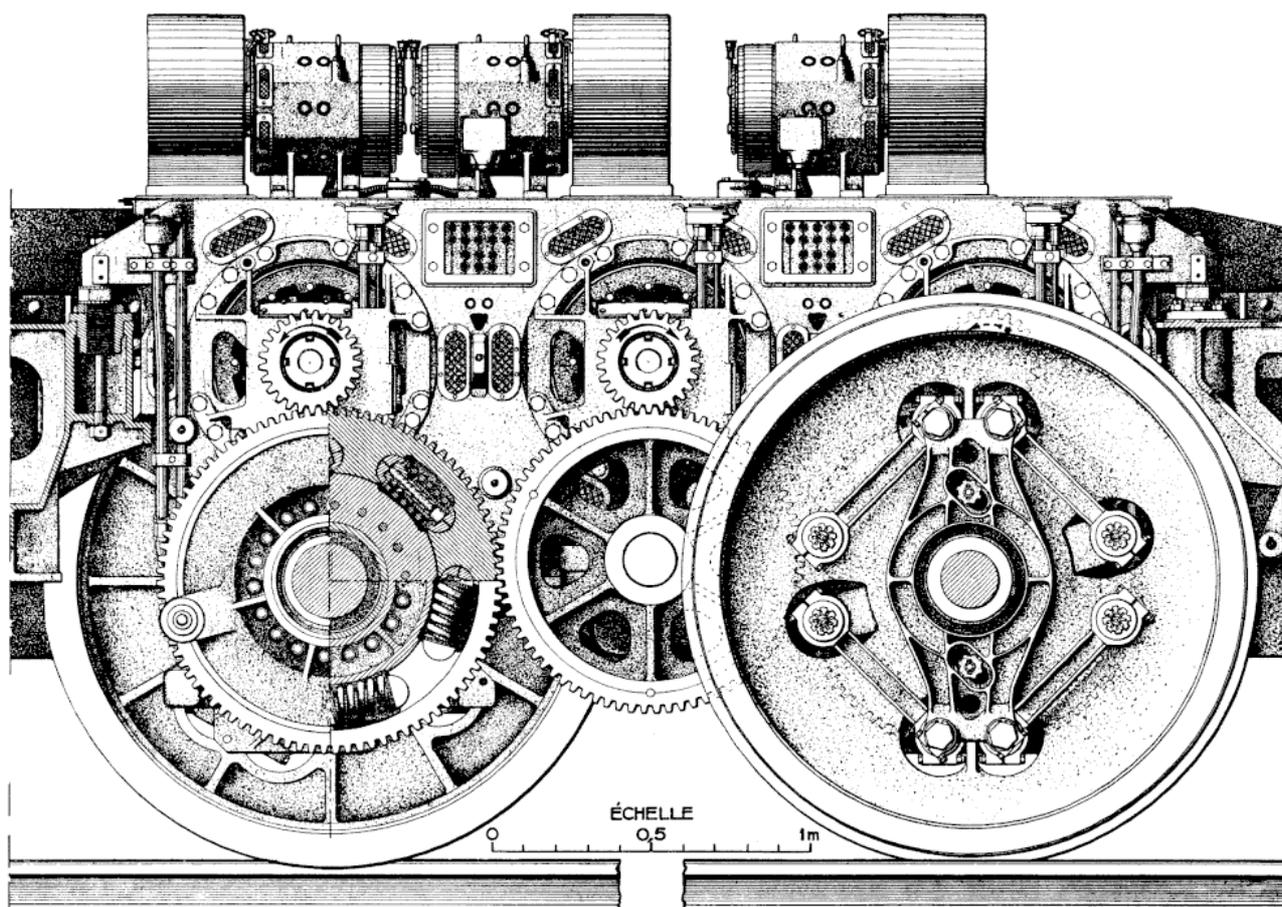
— le rapport de réduction entre induit et essieu est de  $87/25 = 3,48$ . La roue intermédiaire a 76 dents.

La transmission du couple de l'arbre creux à l'essieu est assurée par un dispositif comportant,

Les manetons de l'arbre creux, passent à travers le centre de roue (voir figure 13).

Les deux biellettes qui relient un maneton de l'arbre creux au maneton correspondant du centre de roue, par l'intermédiaire de l'anneau dansant sont perpendiculaires l'une à l'autre dans leur position moyenne, ce qui donne à l'ensemble les deux degrés de liberté nécessaires.

L'anneau dansant est en équilibre sous l'action



Cl. 490/ EM

Fig. 12. — Ensemble d'un moteur triple monté avec ses deux essieux, mais sans le carter des engrenages. (Sur la gauche, la roue avant de l'essieu est supposée enlevée pour montrer la roue dentée élastique).

pour chaque roue, un système formé d'un anneau dansant et de quatre biellettes (voir fig. 12 et 13).

Chaque centre de roue porte deux manetons diamétralement opposés, emmanchés à la presse et servant d'articulation pour l'accouplement entre l'arbre creux et l'essieu.

A chaque extrémité de l'anneau dansant sont articulées deux biellettes. L'une relie un maneton de l'arbre creux à l'anneau dansant, l'autre un maneton du centre de roue à la même extrémité de l'anneau dansant.

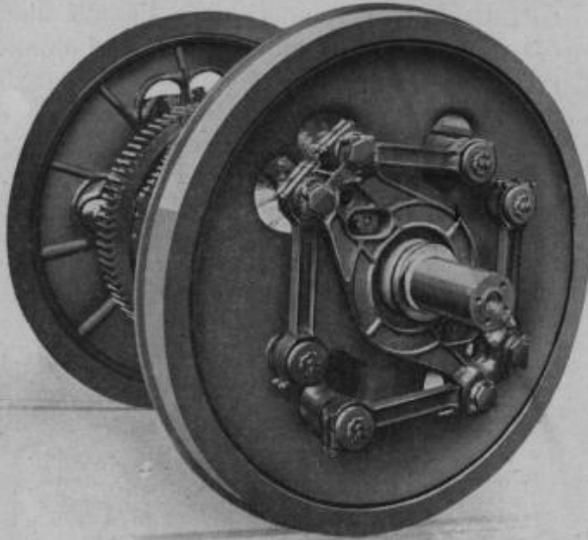
des efforts que lui transmettent les quatre biellettes.

Pour faciliter le montage et le démontage, l'anneau dansant est néanmoins guidé avec un jeu important, par deux goujons solidaires du centre de roue traversant chacun une boutonnière visible sur les figures 12 et 13.

Lorsque l'essieu et l'arbre creux ne sont pas tout à fait concentriques, du fait des mouvements verticaux de l'essieu par rapport au châssis, la vitesse angulaire instantanée de l'essieu n'est pas constamment égale à celle de l'arbre

creux, mais subit, pour une excentricité constante, une très petite variation périodique dont la période est un tour de roue.

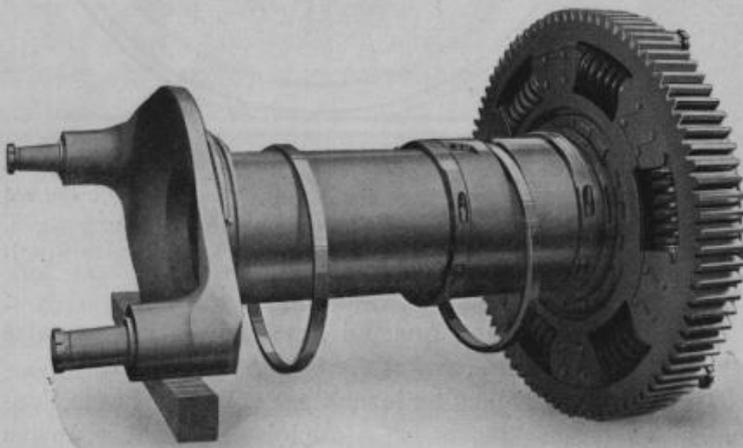
Si les systèmes de biellettes et anneau dansant



Cl. 4908 EM

Fig. 13. — Essieu monté, vu de trois quarts.

des deux roues d'un même essieu étaient placés symétriquement par rapport au plan longitudinal médian de la locomotive, ces variations périodiques seraient en phase et pourraient entretenir



Cl. 4909 EM

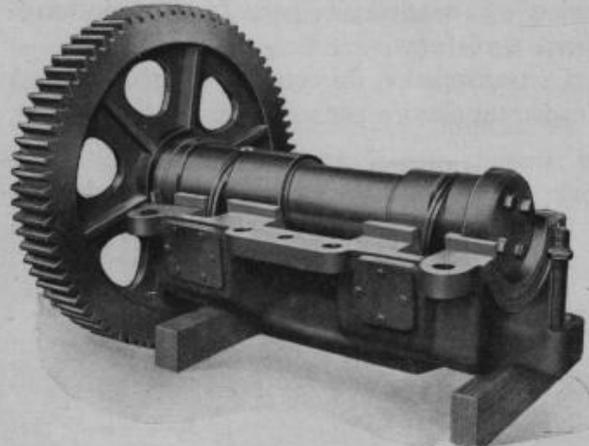
Fig. 14. — Roue d'engrenages élastique avec l'arbre creux.

des oscillations dans le système de transmission et dans la suspension, et produire des irrégularités dans l'effort aux jantes.

C'est pour cette raison que les deux systèmes

ont été montés symétriquement par rapport à un axe perpendiculaire au centre de l'essieu et situé dans le plan des manetons des roues.

Les variations périodiques de vitesse sont



Cl. 4910 EM

Fig. 15. — Roue d'engrenages intermédiaire.

ainsi en opposition de phase et leur résultante pour l'ensemble de l'essieu est très sensiblement nulle.

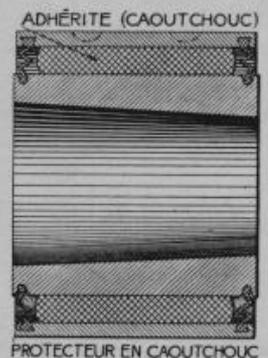
Avec cette disposition, un système dépourvu de jeu et d'élasticité, développerait dans les biellettes des tractions, dans l'essieu et dans l'arbre creux des couples de torsion excessifs.

Les « Silentblocs » Repusseau placés dans les

articulations de chaque biellette interviennent, par leur élasticité relativement grande pour réduire ces efforts à des valeurs infimes et assurent une répartition convenable des efforts de traction entre les deux roues. La

figure 16 est une coupe transversale sur laquelle on remarque en particulier les diaphragmes protégeant l'anneau de caoutchouc contre la graisse.

Ces « Silentblocs » permettent de plus à l'arbre creux de s'incliner par rapport à l'essieu, pour suivre les inégalités de la voie ou le mouvement



Cl. 4911 EM

Fig. 16. — Coupe d'un « Silentbloc ».

de roulis de la caisse. On voit que les « Silent-blocs » permettent une réalisation très simple des articulations du système de transmission puisqu'en leur absence des biellettes devraient être pourvues d'un autre organe élastique et que les articulations devraient comporter des rotules d'un graissage très difficile, du fait de la force centrifuge, de la poussière, des chocs et de la multiplicité des points à graisser.

En fait le système d'accouplement ainsi réalisé, qui a déjà assuré un parcours de 213 000 km n'a donné lieu à aucun entretien, ni à aucun incident.

Pour l'excentricité maxima et pour 20 p. 100 d'adhérence, l'effort qui s'oppose à l'excentrement est, toutes choses égales, environ trente fois moindre avec l'accouplement à biellettes et arbre creux que pour un accouplement à ressorts. Il est négligeable. De plus il s'annule avec l'effort aux jantes tandis que dans l'accouplement à ressort il reste pratiquement constant.

L'accouplement à biellettes répond donc parfaitement aux conditions posées pour éviter les patinages. Il procure en outre une augmentation de la période de roulis de la locomotive, donnant une meilleure tenue de voie, une réduction des réactions sur les rails et un meilleur confort pour le conducteur.

### Essieux et boîtes d'essieux.

Les essieux-moteurs sont à fusées extérieures.

Les corps d'essieu ont les dimensions suivantes :

|   |          |
|---|----------|
| — Diamètre du corps. . . . .  | 235 mm ; |
| — Diamètre à la portée de calage. . . . .   | 280 mm ; |
| — Diamètre de la fusée . . . . .  | 175 mm ; |
| — Longueur de la fusée . . . . .  | 320 mm ; |
| — Jeu latéral supplémentaire<br>entre la fusée et le coussinet<br>des essieux moteurs médians | 47 mm.   |

Les centres de roues sont en acier moulé BS et les bandages, de profil normal, sont en acier HH électrique recuit.

Les boîtes à huile ont un corps en acier moulé, avec un coussinet en bronze garni d'antifriction surmonté d'une tuile d'appui bombée. Elles sont démontables par bout.

Un tampon placé dans le dessous de la boîte et un dispositif à mèche à la partie supérieure, amènent l'huile à la partie cylindrique et aux cocardes du coussinet.

Le déplacement vertical des boîtes est limité par des butées empêchant le contact accidentel du corps d'essieu avec l'arbre creux.

### Bogies directeurs.

Ces bogies sont du type unifié par la Compagnie du Chemin de fer de Paris à Orléans pour les locomotives à grande vitesse.

Ils sont à deux essieux à fusées intérieures.

Ils sont pourvus d'un système de rappel à faible croissance par deux tenailles à ressorts, assurant simultanément le rappel latéral et le rappel de rotation.

Le point d'application de la charge est déporté vers l'essieu intérieur de chaque bogie, de sorte que la charge de l'essieu extérieur est de 20 pour 100 plus faible environ que celle de l'essieu intérieur.

Un des bogies porte la brosse de répétition des signaux.

Les chasse-pierres sont réglables en hauteur.

### Freinage.

Le frein à air automatique est commandé par des robinets du type Westinghouse H7 à deux régimes de pression, le frein modérable par des robinets du type Westinghouse n° 9.

Ces deux robinets provoquent le freinage sur toutes les roues de la locomotive. Leurs conduites sont munies de boyaux d'accouplement.

Un frein à main à vis, comportant un volant de commande dans chaque cabine, permet de freiner les deux essieux moteurs correspondants.

En outre, l'équipement électrique assure le freinage par récupération décrit plus loin.

Le sablage des roues motrices s'effectue par seize sablières pneumatiques, soit une par roue pour chaque sens de marche.

Les deux compresseurs sont commandés par l'intermédiaire d'un régulateur double de pression type GK 101 Z, comportant deux régulateurs simples M1, associés avec un relais pneumatique.

L'un des régulateurs est réglé à 7,5 hpz pour la basse pression et l'autre à 9 hpz pour la haute pression.

Lorsque le robinet H7 du mécanicien n'est pas sur une position de serrage, le relais pneumatique met en communication avec le réservoir

principal le régulateur basse pression qui fonctionne seul.

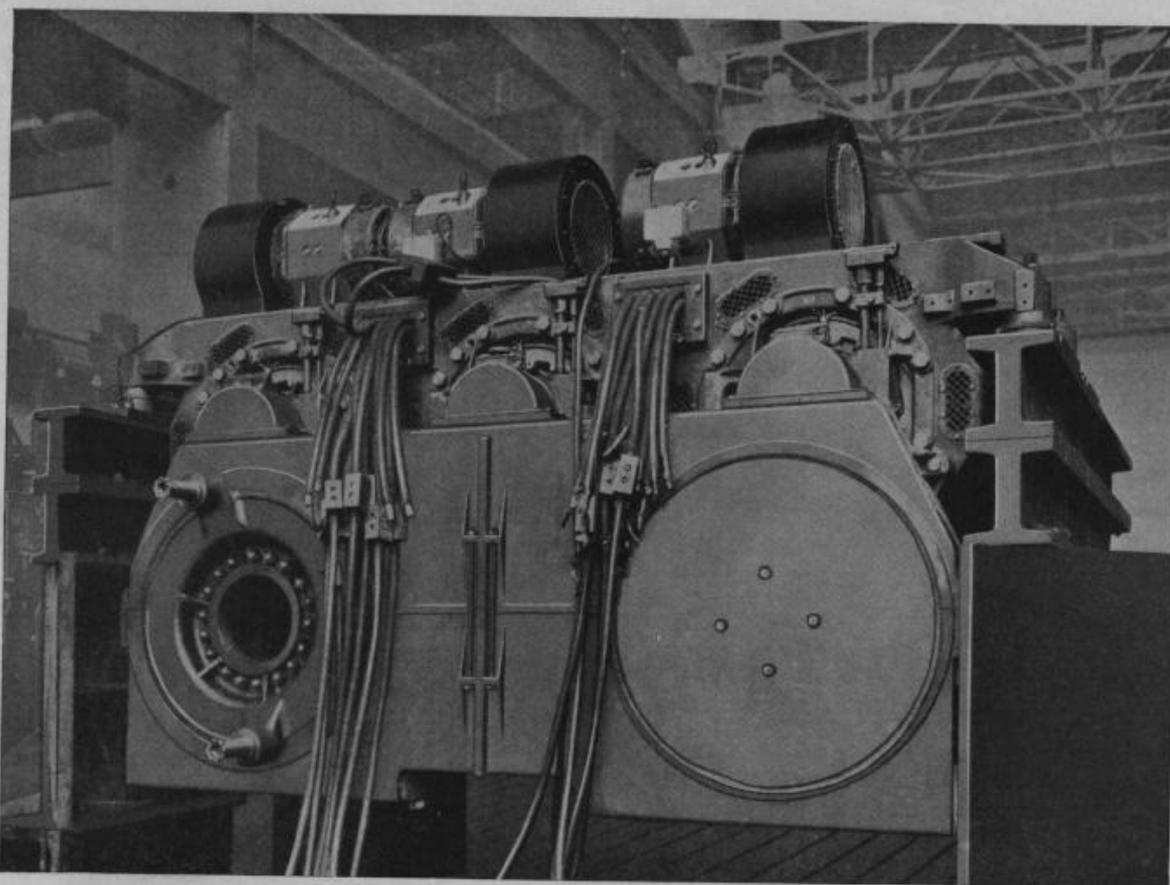
Lorsque le robinet du mécanicien est en position de serrage, il envoie de l'air au relais pneumatique qui met à l'échappement le régulateur basse pression dont le contact, constamment fermé, laisse agir le régulateur haute pression.

Ce dispositif, très simple, ne comportant pas de petits canaux ni d'organes pneumatiques compliqués, est insensible au gel. Quel que soit le dérangement qu'il puisse subir, il reste tou-

des arbres creux sont élastiques pour répondre aux conditions indiquées précédemment.

Chaque induit avec la partie de carcasse correspondante forme un moteur élémentaire hexapolaire à caractéristique série, bobiné pour 675 V mais isolé pour 1 500 V.

La fig. 5 montre un moteur avec ses groupes ventilateurs montés à la partie supérieure et la fig. 12 l'ensemble d'un moteur monté sur les essieux : la fig. 17 représente l'un de ces moteurs au cours des essais en



Cl. 4912 EM

Fig. 17. — Vue de l'un des moteurs triples en cours d'essai à la plateforme des usines de Tarbes.

jours au moins un des régulateurs en fonctionnement.

## Partie électrique.

### Moteurs de traction.

La locomotive est équipée avec deux moteurs triples, type TR 301.

La transmission par engrenages est unilatérale.

Les trois pignons sont rigides, ainsi que la roue dentée intermédiaire ; les roues dentées

plateforme. On voit également sur les fig. 7 et 8 les coupes longitudinale et transversale d'un moteur.

Les courbes de la figure 18 donnent les caractéristiques d'un moteur élémentaire sous 1 350 V à la ligne et sous cette tension, avec la ventilation normale, les régimes de définition pour un échauffement de 120°C, mesuré par variation de résistance, sont les suivants :

|         |                            |
|---------|----------------------------|
| continu | } 860 t.mn à plein champ ; |
| (725 A) |                            |

unihoraire { 810 t:mn à plein champ ;  
(825 A) { 1 170 t:mn à champ minimum.

La construction hexapolaire a été choisie pour réaliser la puissance nécessaire dans l'encombrement disponible déterminé par l'écartement de la voie et par la distance entre deux essieux. Les dimensions des engrenages sont fixées également par cette distance.

Pour que les transitions entre couplages, le shuntage déséquilibré et la marche avec moteur isolé se fassent avec une commutation parfaite, il faut que les flux de deux moteurs voisins n'aient aucune réaction l'un sur l'autre, ce qui conduit à donner une forte section aux parties communes des circuits magnétiques de deux moteurs élémentaires voisins.

#### Carcasse.

La carcasse (fig. 19) est en une pièce d'acier moulé B Martin. Elle porte à chaque extré-

parfait et de rondelles élastiques « Trep » laissant une légère flèche résiduelle pour limiter les efforts dus aux déformations normales du châssis en marche.

Le plan supérieur de la carcasse porte des bossages dressés pour recevoir le plancher et les groupes ventilateurs ; il porte six ouvertures, trois pour l'entrée de l'air de ventilation et trois pour la visite des collecteurs, et quatre trous taraudés pour la mise en place d'anneaux de levage.

Sur la face latérale, côté pignon, se trouvent les bossages de fixation du carter d'engrenage et les tubes de remplissage des paliers d'arbres creux.

À la partie inférieure sont les corps de paliers d'arbres creux et d'arbre intermédiaire, et les bossages de suspension de la timonerie de frein, ainsi que quatre ouvertures fermées par des portes boulonnées pour la visite des chambres de collecteur, à la partie

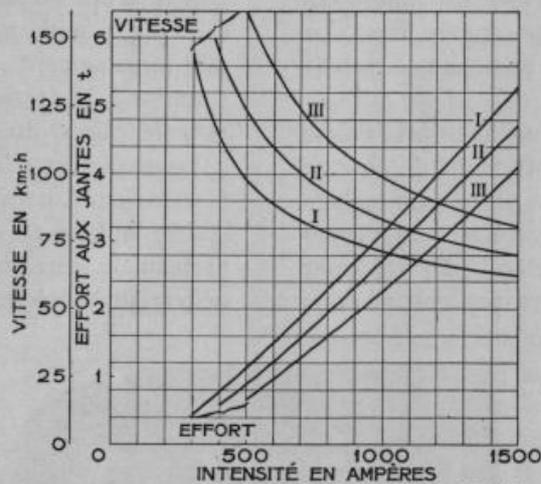


Fig. 18. — Courbes caractéristiques sous 675 V d'un moteur élémentaire :

- I : à plein champ ;
- II : à champ réduit de 23 pour 100 ;
- III : à champ réduit de 46 pour 100.

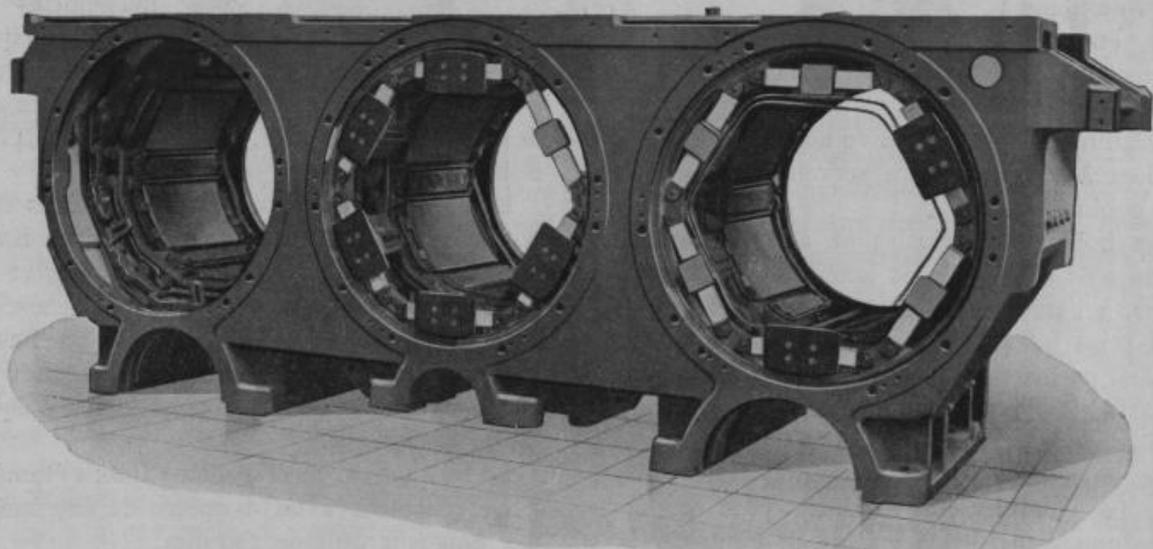


Fig. 19. — Carcasse de l'un des moteurs triples en cours d'achèvement.

mité deux pattes de fixation s'appuyant sur les traverses du châssis, par l'intermédiaire de cales ajustables permettant un montage

basse, en cas de nécessité ; mais la visite normale des collecteurs et porte-balais se fait à la partie supérieure.

### Couronne porte-balais.

A cet effet, les couronnes porte-balais, centrées sur les emboîtements des paliers, peuvent tourner pour amener les porte-balais inférieurs devant les portes de visite supérieures. La commande de la rotation est faite par un volant amovible et une vis sans fin.

Six brides, dont cinq portant des galets assurent un guidage sans frottement de chaque couronne et son blocage en place. Le calage exact des couronnes est assuré par un verrou fixé à la carcasse et empêchant de refermer les portes de visite s'il n'est pas engagé dans l'encoche correspondante de la couronne.

### Pôles.

Les masses polaires principales sont en tôle magnétique de 1 mm d'épaisseur, assemblées par rivets entre deux plaques d'acier estampé.

Les masses polaires auxiliaires sont en deux parties, une côté carcasse, une côté induit. Deux réglettes en acier magnétique, soudées à cette dernière servent de support aux bobines.

Les bobines principales et auxiliaires sont formées de deux galettes isolées au mica entre spires, à l'amianté et au mica extérieurement. Une prise intermédiaire sur les bobines principales permet la réduction du champ par variation du nombre de spires. Sur les pôles auxiliaires la répartition des spires entre les deux galettes et leur disposition sont telles que la galette, côté induit, plus importante que l'autre, très voisine de l'entrefer et épanouie agisse comme un enroulement compensateur de la réaction d'induit pour diminuer la distorsion du champ dans une forte proportion.

Les connexions intérieures sont en barres de cuivre.

### Induit.

L'induit (fig. 20) a un diamètre extérieur de 680 mm et une longueur de fer de 380 mm.

Son arbre en acier au chrome-nickel traité à 70 kg : mm<sup>2</sup>, a un diamètre de 140 mm, il est sensiblement cylindrique dans la partie soumise à la torsion, avec une portée conique pour le calage du pignon.

Le manchon d'induit est en acier coulé E Martin, emmanché à la presse et claveté.

Côté opposé au collecteur, le manchon forme plateau de serrage des tôles et porte un double déflecteur empêchant toute pénétration d'huile à l'intérieur du moteur.

Le plateau de serrage, côté collecteur, est en acier moulé E Martin, arrêté par six clavettes immobilisées par points de soudeure.

Chacun des deux plateaux de serrage des tôles porte des alvéoles pour les masselottes de plomb d'équilibre statique.

Les tôles sont de qualité supérieure (2,35 W), épaisseur 0,4 mm, isolées au papier.

Le bobinage imbriqué avec connexions équipotentielles, est formé de demi-bobines isolées au mica, brasées à l'opposé du collecteur et disposées en deux couches dans les encoches.

Il est protégé, de ce côté, par un flasque monté sur le manchon d'induit et portant une gorge circulaire pour les masselottes d'équilibre dynamique.

Le frettage est en fil d'acier « Inox » étamé.

Le collecteur a un diamètre de 620 mm et une longueur utile de 130 mm.

Il est monté sur un manchon en acier moulé E Martin, avec anneau de serrage en acier forgé E.

Les lames, en cuivre électrolytique écroui, sont isolées entre elles par des lames de mica, et du manchon par deux cônes en mica moulée.

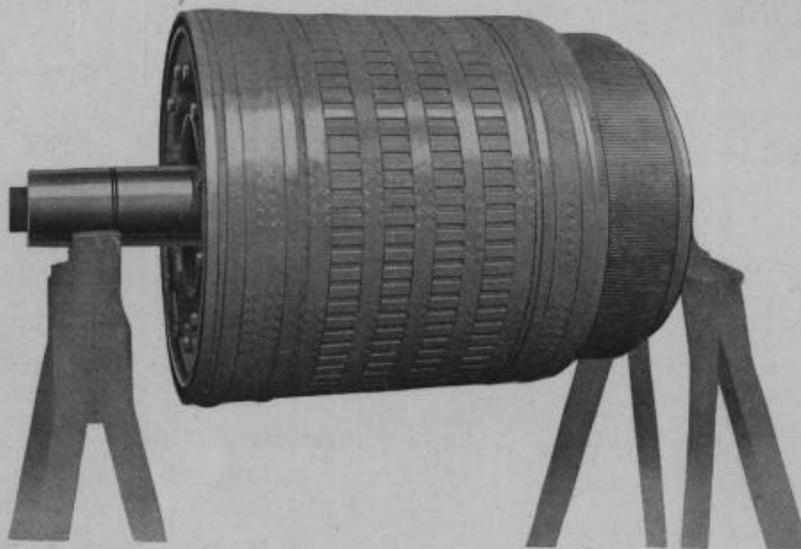


Fig. 20. — Vue d'un induit.

Cl. 4915 EM

Le serrage est assuré par douze vis, en acier au nickel-chrome-molybdène traité à 85 kg/mm<sup>2</sup>, décollées sur la plus grande longueur possible au diamètre de fond de filet.

Ce mode de serrage assure une grande élasticité à l'ensemble et évite les desserrages.

Un double déflecteur monté sur le manchon de collecteur empêche les pénétrations d'huile.

Le manchon et l'anneau de serrage du collecteur portent des gorges pour les masses d'équilibrage dynamique.

Le collecteur est monté à la presse et claveté sur le manchon d'induit. Cette construction permet un remplacement facile de l'arbre sans démontage du collecteur.

### **Porte-balais.**

Chacune des six lignes de balais comporte un porte-balai à trois charbons, d'une section de 22 × 38 mm et munis de shunts à cosses ouvertes. La gaine est en bronze d'aluminium.

La pression sur les balais, donnée par un ressort de traction est réglable et sensiblement constante ; pour éviter tout risque d'oubli au cours des visites, les doigts de pression ne peuvent rester levés.

Deux des porte-balais ont avec le circuit des inducteurs une connexion articulée, pour permettre la rotation de la couronne porte-balai.

Les gaines sont fixées sur des barres isolées au micafolium par l'intermédiaire de supports striés permettant le réglage radial.

### **Paliers et coussinets.**

Les coussinets d'induit, en bronze B 3, sont emmanchés à la presse dans les flasques paliers et garnis d'antifricction AE 1 sur une épaisseur de 2 mm. Chaque coussinet est graissé par une bague de bronze B 1 en une pièce et les pertes d'huile sont évitées par des déflecteurs avec retours.

Le corps de palier, à encastrement cylindrique dans la carcasse, comporte un réservoir avec trop plein et bouchon de vidange. Le remplissage se fait à la partie supérieure par un godet à couvercle et à prise d'air relié au réservoir par deux tubes, dont l'un contient une jauge.

Sur les figures 5, 12 et 17, les paliers, tubes et godets sont visibles.

Un canal d'évacuation, avec siphon, envoie à l'extérieur l'huile pouvant s'échapper du

coussinet. Le siphon empêche l'aspiration de poussière et d'huile en cas de marche sans ventilation.

Les coussinets d'arbre creux (voir fig. 32) (diamètre 360 mm, longueur : 320 mm, côté collecteur, 400 mm, côté pignon), sont en deux coquilles d'acier E Martin, garnis d'antifricction sur une épaisseur de 5 mm.

La lubrification par film d'huile est assurée par une bague de bronze B 3 en deux pièces.

Les paliers sont constitués par un corps venu de fonderie avec la carcasse et par un chapeau rapporté formant réservoir, compartimenté intérieurement pour éviter les mouvements d'ensemble de l'huile. Une ouverture permet la visite de la bague.

Le remplissage se fait à la partie supérieure, côté collecteur, par un godet à couvercle relié au réservoir par deux tubes (voir fig. 12), dont l'un contient une jauge.

Des déflecteurs avec retour d'huile au réservoir et un joint de feutre multiple assurent l'étanchéité.

Sur la figure 15 sont visibles les coussinets et paliers d'arbre intermédiaire, de même construction que ceux des arbres creux.

### **Carters.**

Les carters construits en tôle soudée, renforcée par des profilés, sont de grande dimension, car ils renferment les engrenages relatifs à deux essieux, soit trois pignons et trois roues dentées. Un bon graissage et une faible consommation de lubrifiant étant primordiaux, toutes les précautions ont été prises pour assurer de bons joints et réduire au minimum les pertes d'huile.

La base formant réservoir d'huile, comporte des chicane transversales empêchant les déplacements massifs du lubrifiant. Sous la roue dentée intermédiaire, un bac est installé pour la graisser dès le départ avec l'huile projetée dans les voyages précédents.

Chacun des joints circulaires autour des arbres creux et des joints horizontaux sont garnis de feutre. Ils portent à la fois contre l'arbre creux et dans le fond de leur logement, ce qui évite les sorties de graisse par contournement du joint. Le feutre horizontal est fortement serré dans un joint à fourchette formant larmier.

Une pompe à huile, visible sur les figures 7 et 8 (partie de droite) avait été prévue lors des

études ; les essais ont montré qu'elle était inutile, et elle a été supprimée, le barbotage étant très largement suffisant pour graisser tous les points nécessaires.

### Groupes auxiliaires.

#### Groupe moteur-excitatrice et excitation des moteurs en récupération (fig. 21).

En récupération l'excitation séparée des inducteurs des moteurs triples est fournie par un groupe auxiliaire comprenant un moteur

L'induit comporte deux enroulements isolés au mica, placés dans les mêmes encoches et connectés chacun à un collecteur à deux lignes de balais. Les deux enroulements sont constamment en série.

Les inducteurs sont à quatre pôles principaux et quatre pôles de commutation.

Entre spires les bobines de commutation sont isolées au mica ; entre conducteur et masse, à l'amianté et au mica.

Les pôles principaux comportent une bobine série compound et une bobine shunt, toutes

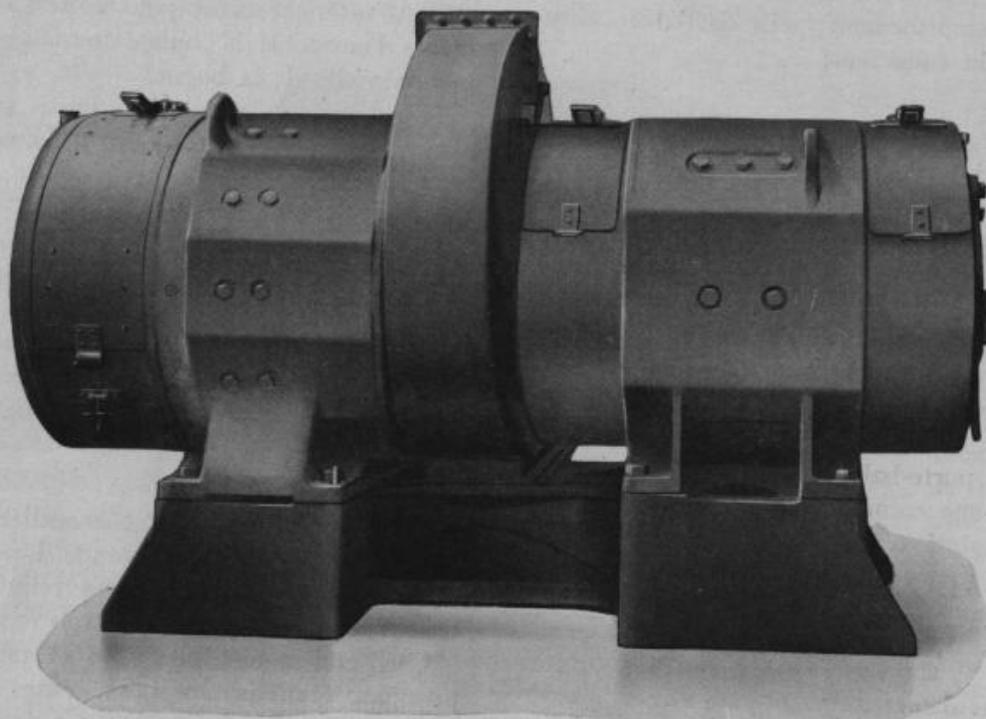


Fig. 21. — Groupe moteur-générateur d'excitation des moteurs de traction pour la marche en récupération. CL 4916 EM

à haute tension alimenté par la ligne et entraînant une génératrice à excitation variable.

Les deux machines sont accouplées par un manchon élastique muni de " Silentblochs " Repousseau et montées sur un socle commun.

Le groupe, et une partie de ses accessoires, sont installés dans un des capots à l'extrémité de la caisse.

Le moteur, type A 131, à haute tension est défini pour le régime continu suivant :

|                       |             |
|-----------------------|-------------|
| Courant.....          | 41 A;       |
| Tension en ligne..... | 1 350 V;    |
| Vitesse .....         | 1 840 t:mn. |

deux en conducteur guipé d'amianté et isolées de la masse à l'amianté et au mica.

Les bobines shunt sont alimentées aux bornes de l'un des collecteurs, en série avec une résistance ohmique de réglage et avec l'enroulement secondaire d'un transformateur dont le primaire est parcouru par le courant absorbé par le moteur.

Le sens des enroulements du transformateur est tel que lorsque le courant absorbé croît, l'excitation shunt est renforcée ; cet effet assure une tenue parfaite au démarrage et lors des variations brusques de tension par limitation des pointes d'intensité en régime transitoire.

Une résistance permanente, un relais de surcharge et un fusible protègent le circuit du moteur, commandé par un contacteur électropneumatique.

Une résistance éliminée automatiquement, lorsque le groupe a atteint une vitesse suffisante, assure le démarrage en deux temps et diminue l'appel de courant.

La génératrice, type A 132, est à six pôles principaux et six pôles de commutation. Son régime continu de définition est le suivant :

— Courant..... 725 A ;

— Tension aux bornes : 47 V, avec 615 ampères dans l'enroulement anticompound.

Chaque pôle principal porte une bobine d'excitation séparée, isolée au coton et une bobine série anticompound isolée au mica comme les pôles auxiliaires.

L'enroulement induit, isolé au mica, est unique et connecté à un collecteur à six lignes de balais.

En bout d'arbre est placé un limiteur de vitesse à contact coupant l'alimentation du moteur A 131 si la vitesse devient exagérée pour une raison quelconque, par exemple, la rupture de son enroulement shunt.

L'excitation séparée de la génératrice est alimentée par la batterie d'accumulateurs et réglée par le volant de récupération du manipulateur, agissant sur un rhéostat.

L'excitation anticompound stabilise le courant récupéré en diminuant la tension fournie par la génératrice quand le courant récupéré augmente. Elle porte une prise intermédiaire pour donner la même action dans les couplages série et série-parallèle, en utilisant la totalité des spires en série et la moitié seulement en série-parallèle (contacteur 17<sub>B</sub> fermé en série, contacteur 17<sub>A</sub> fermé en série-parallèle, voir schéma fig. 26).

Pour permettre un réglage convenable, l'enroulement anticompound est shunté par une réactance (contacteur 16 fermé) et une résistance divisée en deux parties est insérée en série avec l'anticompound.

Dans les deux couplages, les crans 1 à 15 utilisant la totalité de la résistance, l'anticompound est shunté au maximum et son effet minimum. Aux crans 16 à 19, une partie de la résistance est court-circuitée par le contacteur 15 et l'action de l'anticompound est augmentée. Cette disposition réduit les variations d'effort au pas-

sage des crans à forte excitation des moteurs, en diminuant la dérivée  $\frac{dF}{dV}$

La graduation des crans d'excitation de la génératrice et l'action de l'anticompound sont telles que la variation d'effort au passage d'un cran au suivant est faible (15 pour 100 environ).

Les caractéristiques de l'ensemble permettent de ralentir sous 1500 V un train de 750 t en pente de 10 mm par mètre, de 120 à 65 km : h environ, au couplage série-parallèle, ou de 85 à 33 km : h environ au couplage série, et de le maintenir en régime continu, à une vitesse quelconque comprise entre ces limites.

Le moteur, la génératrice et leurs accessoires ont été déterminées pour que, dans la zone d'utilisation, l'effort de retenue correspondant à une vitesse et à un cran donnés soit pratiquement indépendant de la tension en ligne.

### Groupes ventilateurs.

Chacun des moteurs élémentaires est refroidi par un groupe moteur-ventilateur. Les trois ventilateurs d'un moteur soufflent chacun dans la chambre du collecteur correspondant et les trois chambres communiquent entre elles, ce qui permet encore une ventilation réduite des trois induits lorsqu'un ventilateur est avarié.

Un groupe comprend un moteur, type V 21 Alsthom fonctionnant sous la demi-tension de la ligne, isolé pour 1500 V et accouplé avec un ventilateur à turbine type VMT 50 Z de la Société Rateau. L'ensemble est défini pour le régime suivant dans les conditions de service :

— Tension en ligne ..... 1350 V ;

— Courant absorbé..... 13 A ;

— Vitesse de rotation..... 2200 t : mn ;

— Débit d'air ..... 100 m<sup>3</sup> : mn.

Les moteurs de ventilateurs sont en série par deux comme les moteurs qu'ils ventilent.

### Groupes compresseurs.

L'air nécessaire à la commande des freins et de l'appareillage est produit par deux groupes moteurs-compresseurs et refoulé dans deux réservoirs principaux en tôle rivée, d'une capacité totale de 1500 litres et munis de regards de visite.

Chaque groupe est composé d'un compresseur, type Cb4, à 2 cylindres en V, de la Société des Freins Jourdain-Monneret, entraîné par un mo-

teur série à 1 350 V, type C 55 Alsthom, d'une puissance de 12 ch en régime continu et 18,4 ch en régime unihoraire. Les caractéristiques sont :

|  |  |
|--|--|
| — Vitesses normales de marche            | { moteur. . . 1 890 t : mn ;<br>{ compresseur 330 t : mn ; |
| — Rapport d'engrenages.....              |  |
| — Courant absorbé .....                  | 9,25 A ;   |
| — Diamètre des cylindres .....           | 150 mm ;   |
| — Course des pistons .....               | 150 mm ;   |
| — Débit réel à chaud, sous 7,5 hpz ..... | 1 300 l : mn ;   |
| — Pression maxima d'utilisation          | 9 hpz ;  |

## Appareillage électrique.

### Prise de courant.

Le courant est capté par deux pantographes, du type de la Compagnie des Chemins de fer de Paris à Orléans, à commande pneumatique, s'abaissant par échappement de l'air.

Chacun peut être mis hors-circuit par un sectionneur d'isolement placé sur le toit, ou abaissé individuellement par la fermeture du robinet d'isolement placé dans la cabine correspondante.

L'installation éventuelle de frotteurs de troisième rail, à commande pneumatique, a été prévue.

Un sectionneur principal, commandé par un volant branche les circuits haute tension, soit aux pantographes, soit aux frotteurs, soit aux pantographes et aux frotteurs simultanément, ou coupe toute alimentation.

Un contact solidaire d'un volant de contrôle et verrouillé avec le volant de commande, empêche de manœuvrer l'appareil en charge. Deux manettes agissant sur les robinets des pantographes et des frotteurs, ont des contacts pour l'essai à blanc de l'équipement, pantographes baissés et frotteurs relevés. De plus, la manette du robinet de pantographe verrouille une boîte à clés dans toutes les positions autres que « pantographes baissés ». Les clés de cette boîte permettent d'ouvrir les compartiments à haute tension, les portes des capots et les échelles d'accès à la toiture.

### Circuit de puissance (schéma fig. 24).

Le circuit de puissance dans lequel sont connectés les six induits des deux moteurs triples, comprend :

- quatre contacteurs électropneumatiques

de ligne et à soufflage magnétique ( $1_A, 1_B, 2_A, 2_B$ ), montés en série par paires et fonctionnant comme disjoncteurs, assurant la protection du circuit principal par coupure en deux temps avec insertion d'une résistance.

— dix contacteurs électropneumatiques individuels, ( $6_A, 6_B, 7$  à  $14$  inclus) et trois commutateurs à cames, à soufflage magnétique ( $41, 42, 43$ ), pouvant occuper chacun deux positions, réalisant les connexions des couplages série, série-parallèle et parallèle en traction ou série et série-parallèle en récupération.

En traction, les transitions entre les couplages se font par court-circuit. Le changement de couplage en récupération nécessite la coupure du circuit principal :

- des résistances à grilles, en fonte (fig. 22), intercalées dans le circuit de traction pendant le démarrage ou la marche en récupération, permettant de régler ou de limiter le courant absorbé ou récupéré.

Elles sont réparties en deux bancs qui sont connectés en parallèle, avec une connexion d'équilibre, dans les couplages série-parallèle et parallèle. Cette disposition permet d'utiliser au mieux toutes les boîtes de résistances et de diminuer le nombre de contacteurs.

- vingt-trois contacteurs individuels électropneumatiques à soufflage magnétique ( $18_A, 18_B, 20$  à  $40$  inclus), pour le groupement ou l'élimination des résistances principales, pendant le démarrage ou pour la marche en récupération ;

- quatre contacteurs doubles à cames ( $70$  à  $73$ ) réalisant la réduction du champ inducteur des moteurs, par diminution du nombre de spires, à la fin des trois couplages en traction seulement ;

- quatre contacteurs individuels électropneumatiques sans soufflage ( $74_A, 74_B, 75_A, 75_B$ ) pour le shuntage par résistance non inductive des spires restantes à la fin des couplages série et série-parallèle seulement ;

- quatre appareils ( $50$  à  $53$ ) constitués chacun par deux groupes de contacteurs à cames sans soufflage, liés mécaniquement, servant l'un au changement de sens de marche par inversion du sens du courant dans les inducteurs, et l'autre à la mise hors circuit du ou des moteurs avariés correspondants : I et II, III, IV, V et VI.

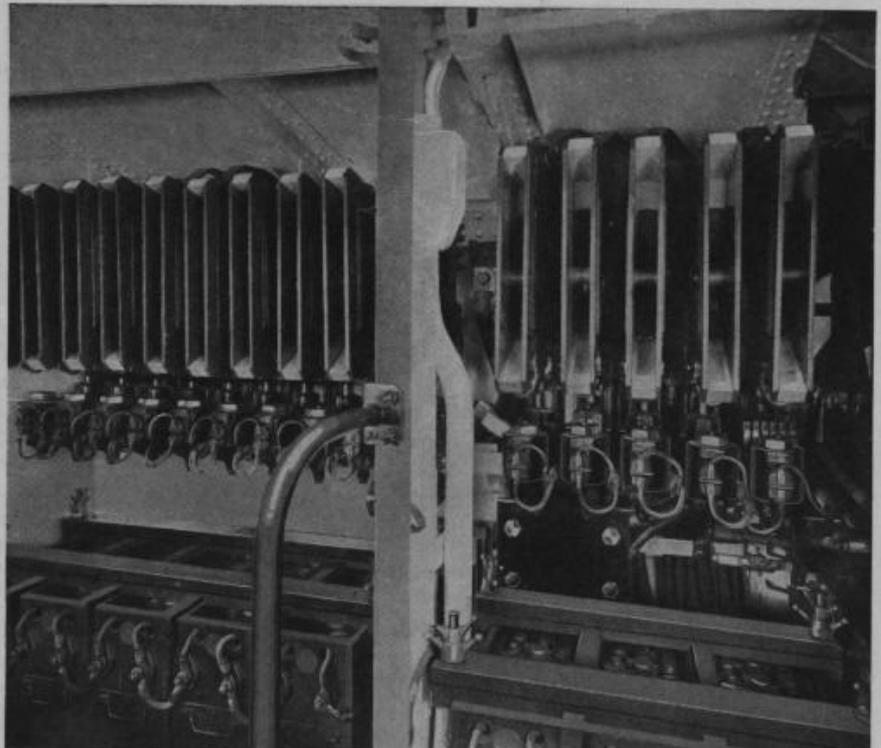
La liaison mécanique entre les deux arbres à cames est telle que :

— en marche normale, l'arbre des cames d'inversion, entraîné par son servomoteur pneumatique tourne seul sans entraîner l'arbre des cames d'isolement ;

— pour la mise hors circuit, l'arbre des cames d'isolement entraîné par une poignée, amène l'arbre d'inversion au zéro et établit les connexions nécessaires dans les circuits de puissance et de contrôle ; en particulier les électro-valves du servomoteur de l'inverseur sont isolées.

Dès que la poignée est mise sur la position de marche et que la manette du manipulateur est placée sur AV ou AR, l'inverseur se remet automatiquement sur la position correspondante.

Une flèche montée sur l'arbre du tambour BT,



Cl. 4918 EM

Fig. 23. — Vue de l'un des compartiments d'appareillage : à gauche : contacteurs de résistances ; à droite : contacteurs de couplage ; au-dessous : la batterie d'accumulateurs à 72 V.



Cl. 4917 EM

Fig. 22. — L'un des compartiments des résistances (à la partie inférieure, les résistances de shuntage (en spirale).

indique le sens de marche correspondant à la position de l'appareil.

Lorsqu'un moteur est isolé, le couplage série-parallèle et la récupération sont supprimés.

La marche en série se fait avec quatre ou cinq moteurs élémentaires suivant le moteur avarié, et la marche en parallèle avec quatre moteurs.

La figure 23 montre un groupe de contacteurs individuels de résistances et de couplage, placés au-dessus de la batterie d'accumulateurs. Sur la figure 27 on aperçoit en haut une série de contacteurs de résistances, en dessous les contacteurs de shuntage ainsi que le contacteur double à cames de réglage de l'enroulement anticompound de l'excitatrice de récupération, et plus loin un groupe de relais de tension.

Deux des appareils d'isolement et inversion, et deux appareils de transition à cames sont visibles sur la figure 28.

— Les circuits de puissance sont protégés par :

- un relais de surcharge général ( $RS_+$ ) ;

- un relais de surcharge dans chaque branche de résistances ( $RS_1$ - $RS_2$ ) ;

- un relais de surcharge par groupe de deux induits ( $RS_{I-II}$ ,  $RS_{IV-III}$ ,  $RS_{VI-V}$ ) ;

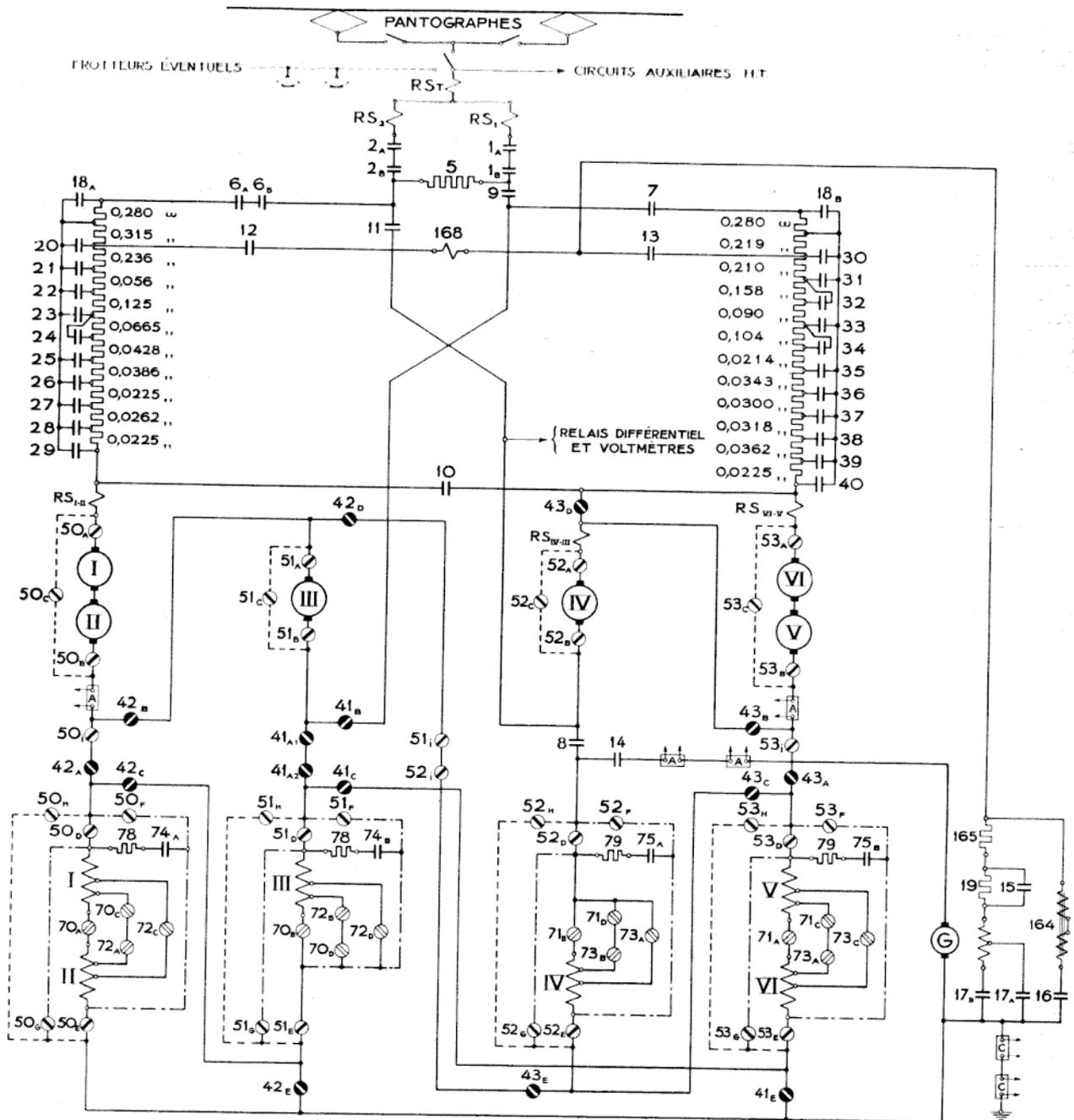
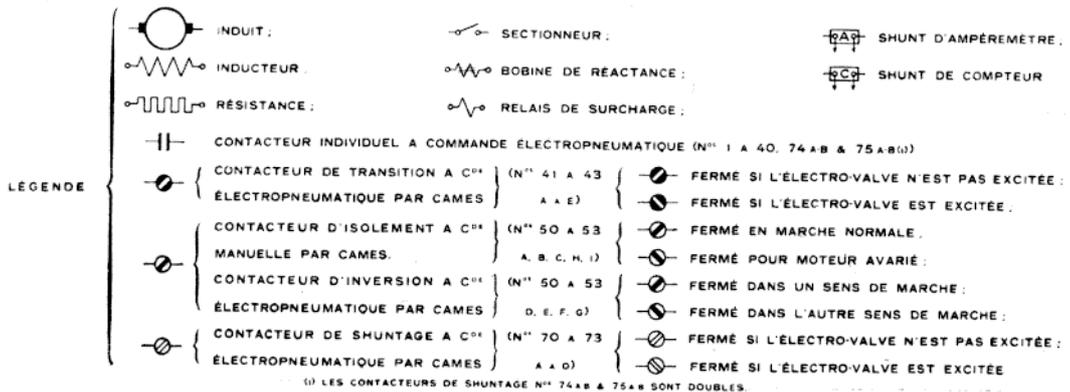


Fig. 24. — Schéma des circuits principaux.

Cl. 4919 EM





- un relais à manque de haute tension (I66) et un relais de surtension (I67) ;
- un relais à manque de basse tension (92) ;
- un relais à manque de pression d'air ;
- un relais différentiel (I62) pour l'amorçage de

nuelle. Tous les autres appareils pouvant occuper plusieurs positions, et les contacteurs du circuit de puissance sont à commande électropneumatique.

La commande à distance des appareils du

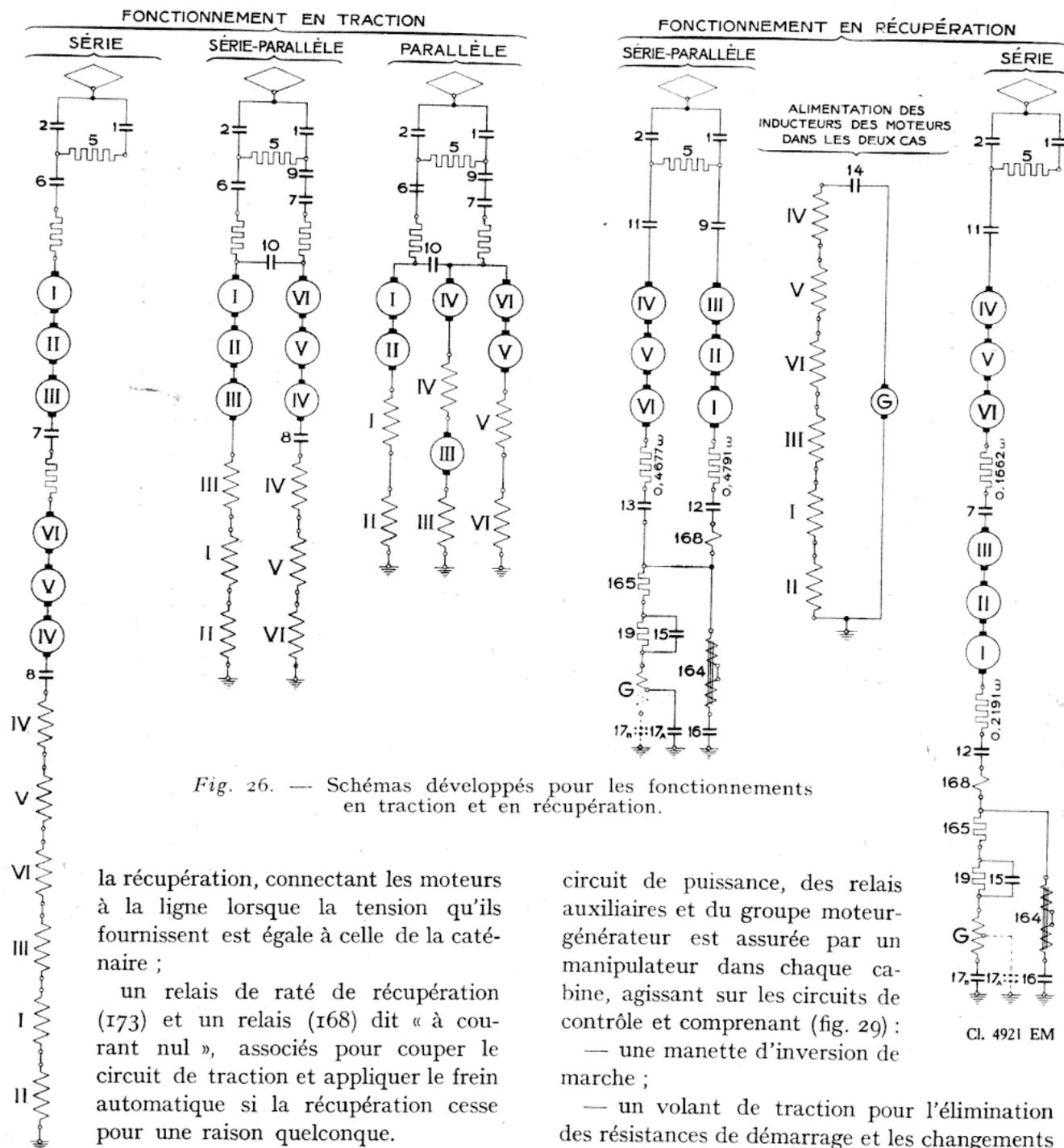


Fig. 26. — Schémas développés pour les fonctionnements en traction et en récupération.

la récupération, connectant les moteurs à la ligne lorsque la tension qu'ils fournissent est égale à celle de la caténaire ;

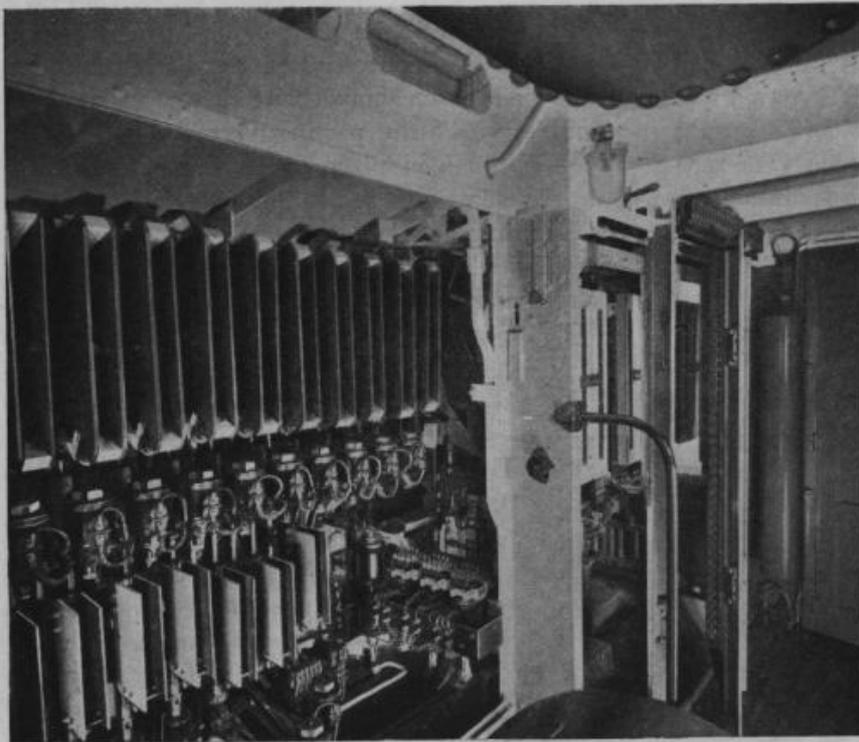
un relais de raté de récupération (I73) et un relais (I68) dit « à courant nul », associés pour couper le circuit de traction et appliquer le frein automatique si la récupération cesse pour une raison quelconque.

### Circuits de contrôle à 72 V.

Les sectionneurs de pantographes, le sectionneur principal et les appareils d'isolement des moteurs avariés, sont à commande ma-

chinal. Tous les autres appareils pouvant occuper plusieurs positions, et les contacteurs du circuit de puissance sont à commande électropneumatique.

- une manette d'inversion de marche ;
- un volant de traction pour l'élimination des résistances de démarrage et les changements de couplage en traction ;
- une manette de shuntage ;
- un volant de récupération pour le réglage de l'excitation en récupération ;
- une manette de régime déterminant la marche en traction ou en récupération série ou



Cl. 4922 EM

Fig. 27. — Vue d'un autre compartiment d'appareillage (contacteurs de résistances, en haut ; de shuntage des moteurs de traction, de réglage de l'anticompound, au-dessous).

série-parallèle et comportant les verrouillages mécaniques indiqués ci-dessous.

La *manette d'inversion de marche* peut occuper les trois positions : *A*/*0*/*R* ; elle est amovible au zéro seulement et ne peut être manœuvrée que si les deux volants et la manette de shuntage sont au zéro et la manette de régime en traction (*T*).

Le *volant de traction* peut, en plus du zéro, occuper les trente-trois positions suivantes :

- 1 à 13 : démarrage série avec résistances ;
- 14 (S) : couplage série sans résistances ;
- 15 à 22 : démarrage série-parallèle avec résistances ;
- 23 (SP) : couplage

série-parallèle sans résistances ;

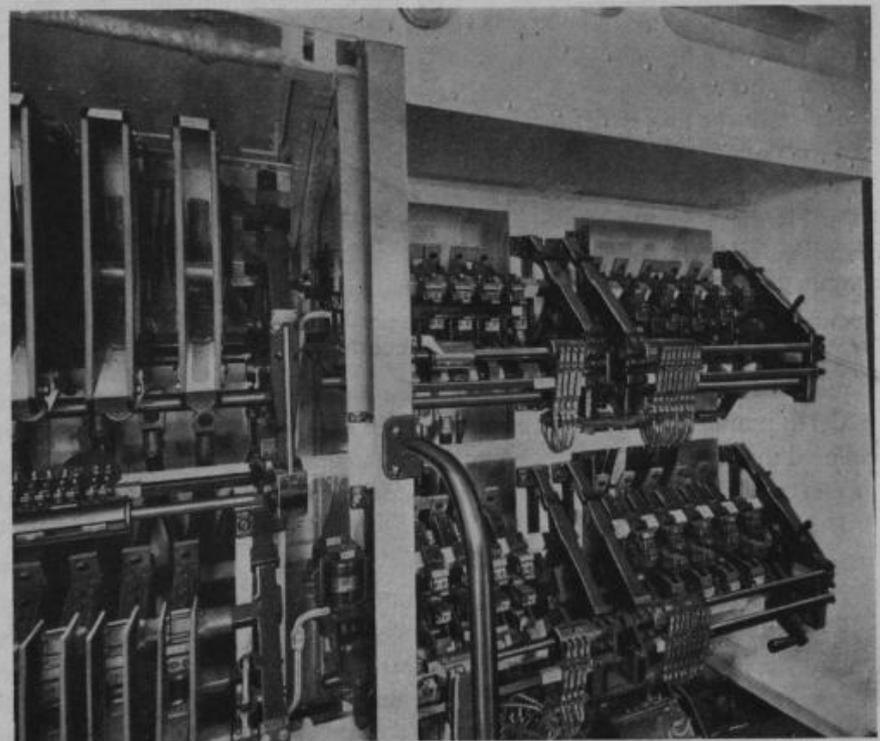
— 24 à 32 : démarrage parallèle avec résistances ;

— 33 (P) : couplage parallèle sans résistances.

Il ne peut être manœuvré que si la manette d'inversion est sur « *A* » ou « *R* » et la manette de régime en traction « *T* » (donc le volant de récupération au zéro).

Sa manœuvre, de 0 vers 33, n'est possible que si la manette de shuntage est au zéro, mais on peut le ramener en arrière quelle que soit la position de cette manette.

La *manette de shuntage* peut, en plus du zéro, occuper cinq positions si le volant de traction est sur les crans 14 (S) ou 23 (SP)



Cl. 4923 EM

Fig. 28. — Compartiments d'appareillage avec à gauche, un groupe de contacteurs à cames de transition et, à droite, les appareils d'inversion et d'isolement des moteurs.

et quatre seulement si ce volant est sur le cran 33 (P).

Elle ne peut être manœuvrée de 0 vers 5 que si le volant de traction est sur S, SP ou P ; par contre, elle peut être ramenée vers zéro quelle que soit la position de ce volant.

Le volant de récupération peut, en plus du zéro occuper les vingt positions suivantes :

— d'un côté du zéro (crans 1 à 19) : réglage manuel de l'excitation des moteurs de traction.

— du côté opposé : (cran RL — ralentissement) : réglage automatique de cette excitation (dispositif expérimental).

Ce volant ne peut être manœuvré que si la manette de régime est sur RS ou RSP (donc le volant de traction et la manette de shuntage au zéro, et la manette d'inversion sur A/ ou AR). Son axe commande un robinet qui isole au zéro l'électrovalve (175) d'un sifflet (S1E), (voir fig. 30), qui met à l'échappement la conduite générale en cas de raté de récupération.

La manette de régime peut occuper les trois positions suivantes : Traction (T). Récupération série-parallèle (RSP) et série (RS). Sur RSP et RS, le groupe moteur-générateur est mis en route automatiquement.

Cette manette ne peut être manœuvrée que si celle d'inversion est sur A/ ou AR et si la manette de shuntage et les volants au zéro.

Une bobine la verrouille en position si un moteur est isolé.

De plus, chaque manipulateur comporte :

— Deux boutons, placés chacun au centre du volant de traction ou de récupération, annulant, si le conducteur appuie sur eux, l'avance cran par cran. Ce dispositif facilite les reprises lorsque le machine est déjà en vitesse.

— Un bouton, placé sur la poignée du volant de traction, qui doit être enfoncé pour passer

du cran S ou SP au premier cran du couplage suivant. Ce bouton soulage l'attention du mécanicien, en empêchant le passage d'un couplage à l'autre par inadvertance.

— Un bouton, placé sur la poignée du volant de récupération, et qui doit être enfoncé pour passer du zéro à la position RL (ralentissement).

Il évite lors d'un retour rapide à zéro de venir sur le cran de ralentissement.

Toute fausse manœuvre est évitée en récupération par le dispositif de

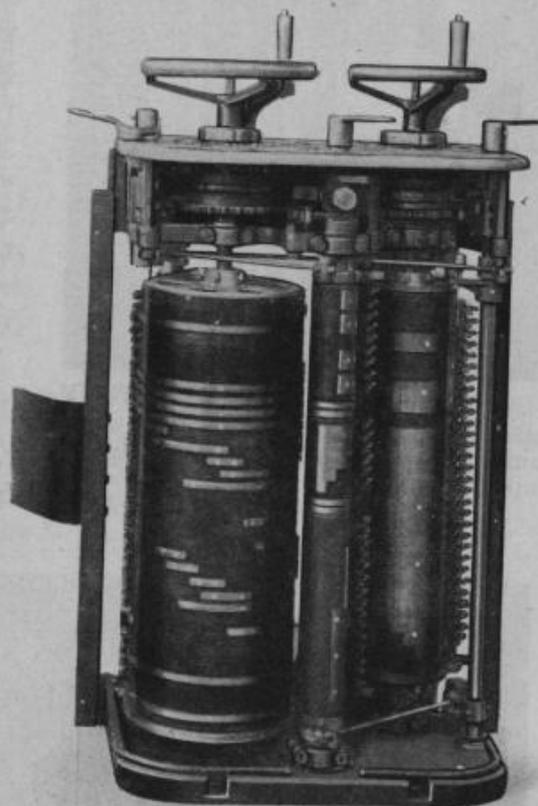
raté dont le fonctionnement est le suivant (voir schéma fig. 30) :

Lorsque la manette de régime est placée sur RS ou RSP, le fil 51A ou B suivant le sens de marche excite le contacteur 14 qui ferme le circuit d'excitation des moteurs, si les contacts auxiliaires des relais de tension (92), de surcharge (94), de raté (173) et des contacteurs principaux 1 et 2 sont fermés, et si le groupe d'excitation a fini son démarrage.

De plus le fil 187 ferme le relais 187 et excite le relais principal de récupération 168 dit « à courant nul ». Ce relais a la forme d'un petit moteur à courant continu dont l'induit peut seulement occuper deux positions. Son excitation comprend un enrou-

lement shunt SH, excité par la batterie, et un enroulement séparé A parcouru par le courant récupéré. L'induit est excité par la batterie. Sous l'effet de l'excitation shunt seule le couple tend à le faire tourner dans le sens de la flèche T. L'enroulement A tend à le faire tourner dans le sens de la flèche R en récupération ou T en traction.

Dès que le volant de récupération quitte le zéro, les cylindres de frein sont isolés par les valves 174 excitées par le relais 182 fermé par le fil R ; le fil 172 est mis sous tension, mais tant qu'aucun courant n'a été récupéré, le relais 172



Cl. 4924 EM  
Fig. 29. — L'un des manipulateurs de conduite dans son capot.

reste au repos. De plus, le robinet du sifflet s'ouvre. Le mécanicien augmentant progressivement l'excitation provoque d'abord le couplage des moteurs à la ligne par le relais différentiel dès que leur f.é.m. est égale à la tension de la caténaire, puis la récupération.

Sitôt qu'un faible courant est récupéré, le relais 168 tourne dans le sens T. Le relais 172 se

robinet du mécanicien H 7 de la conduite générale, par l'électrovalve 176 et le piston-valve VAA.

Puis le contact temporisé 173 v<sub>2</sub> coupe l'électro-valve 175 qui met progressivement la conduite générale à l'échappement par le sifflet avertisseur SIE, coupe l'excitation des moteurs par le contacteur 14 dont le contact auxiliaire remet les cylindres de frein en service. Le méca-

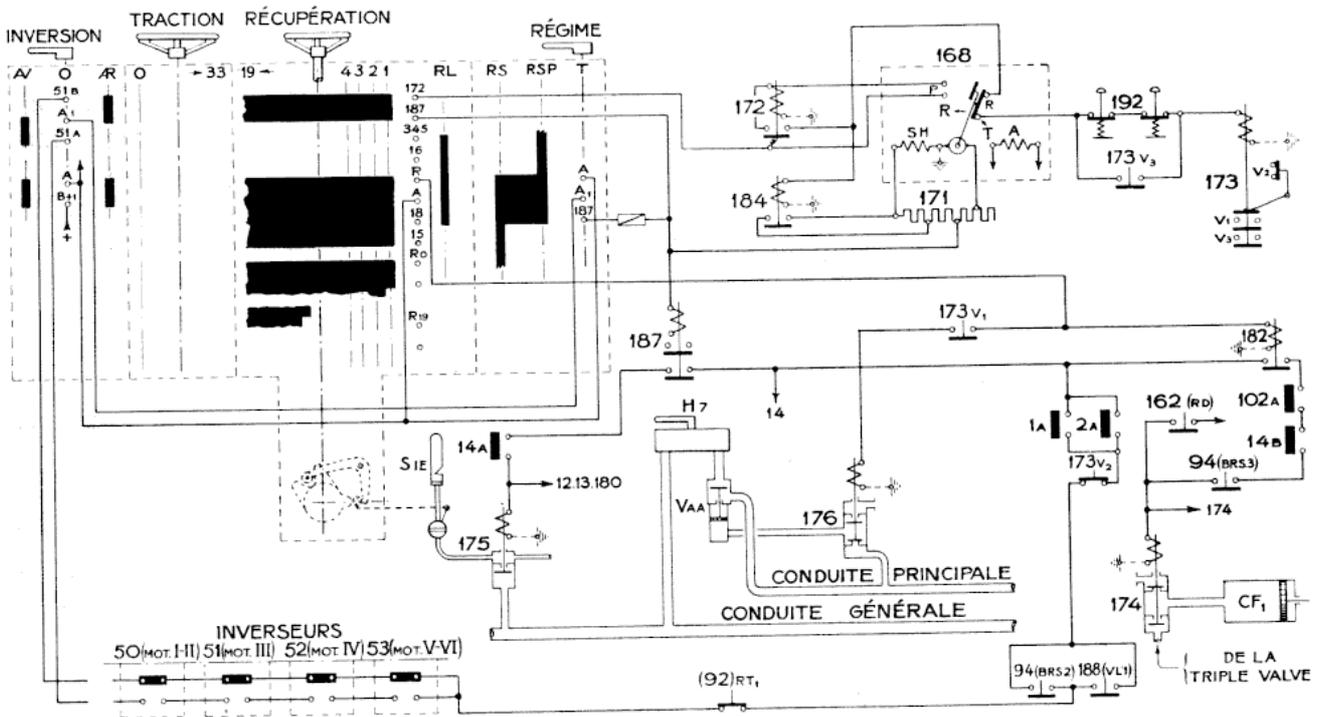


Fig. 30. — Schéma du dispositif de raté de récupération

Cl. 4925 EM

- 1 A, 2 A, 14 B, 102 A : contacts auxiliaires fermés si les contacteurs correspondants sont fermés ;
- 50 à 53 : contacts auxiliaires des inverseurs ;
- 92 : relais à minimum de B.T. (RT I : contact auxiliaire, ouvert pour manque de tension) ;
- 94 : batterie des relais de surcharge (BRS 2, BRS 3 : contacts auxiliaires) ;
- 162 : relais différentiel (RD : contact auxiliaire) ;
- 168 : relais à courant nul (P, R : contacts auxiliaires ; SH : excitation shunt ; A : excitation séparée, additive en traction, soustractive en récupération) ;
- 171 : résistance de réglage du relais 168 ;
- 172 : relais d'armement du relais à courant nul ;
- 173 : relais de raté (v<sub>1</sub>, v<sub>2</sub>, v<sub>3</sub>, contacts auxiliaires, v<sub>2</sub> à ouverture temporisé) ;

- 174 : électro-valve d'isolement des cylindres de frein ;
- 175 : électro-valve du sifflet de raté ;
- 176 : électro-valve auxiliaire d'arrêt de l'alimentation ;
- 182 : relais de verrouillage ;
- 184 : relais de réglage de l'excitation de 168 ;
- 187 : relais de verrouillage ;
- 188 : relais à action lente (VL I : contact auxiliaire) ;
- 192 : boutons d'élimination du raté ;
- CF<sub>1</sub> : cylindre de frein des essieux moteurs ;
- H 7 : robinet du mécanicien ;
- SIE : sifflet de raté de récupération ;
- VAA : piston valve d'arrêt d'alimentation du robinet H 7.

ferme, met sous tension le contact R et augmente l'excitation shunt du relais 168 par le relais 184 qui court-circuite une partie de la résistance 171. Par la suite, si la récupération s'interrompt, le relais à courant nul 168 tourne dans le sens T dès qu'un faible courant inverse apparaît dans l'enroulement A. A ce moment, le contact R excite le relais de raté 173. Le contact 173 v<sub>1</sub> isole le

nicien peut alors soit accentuer le serrage, soit utiliser le frein modérable.

Pour le passage de courts espaces en palier entre deux pentes, le mécanicien peut paralyser le relais 173 en ouvrant l'un des boutons 192, mais si le relais 173 a déjà fonctionné, les boutons 192 sont rendus inopérants par le contact 173 v<sub>3</sub>.

L'application du frein à air sur les essieux moteurs est donc empêchée quand la récupération fonctionne et redevient possible, si, pour une raison quelconque, les moteurs cessent de récupérer. Le frein à air peut d'ailleurs toujours être utilisé sur le train et sur les bogies porteurs de la locomotive.

L'action du dispositif est annulée sur le cran RL et cesse dès que le volant de récupération est revenu au cran zéro.

### Circuits auxiliaires à 1 500 V.

Ces circuits comprennent les dérivations des :

— relais de tension, voltmètres et compteur d'énergie ;

— groupes moteurs-compresseurs d'air ;

— groupe auxiliaire pour la récupération ;

— groupes moteurs-ventilateurs ;

— appareils de chauffage, radiateurs et chauffe-pieds des postes de conduite ;

— appareils d'alimentation du chauffage du train.

Toutes ces dérivations sont protégées par des fusibles à haute tension. Celle du groupe auxiliaire de récupération est protégée, en outre, par un relais de surcharge.

La branche des relais, voltmètres et compteurs est prise directement au sectionneur principal.

Toutes les autres branches sont commandées par un contacteur général des circuits auxiliaires. De ce contacteur partent :

— l'alimentation du groupe moteur-générateur protégée par un fusible de 80 A, et mise sous tension par un contacteur électropneumatique ;

— l'alimentation commune des groupes compresseurs et moteurs-ventilateurs commandée par un contacteur électromagnétique. Chaque branche est protégée par un fusible et une résistance permanente et peut être connectée soit directement à la terre, soit à la batterie d'accumulateurs pour la charger pendant la marche.

— l'alimentation des circuits de chauffage :

Chaque cabine de conduite est chauffée par deux radiateurs en série sous la tension totale et deux chauffe-pieds connectés de la même façon ; chaque circuit de radiateurs ou de chauffe-pieds est commandé par un interrupteur à main et protégé par un fusible à cartouche. L'ensemble des quatre circuits est mis en service par un contacteur électromagnétique.

Une lampe témoin est en série avec les radiateurs.

Les coupleurs de chauffage du train sont sous la dépendance d'un contacteur électropneumatique verrouillé par une clé qui ne permet de coupler ou de découpler que si le contacteur est ouvert.

Le noyau de son circuit magnétique de soufflage est un aimant permanent donnant un soufflage correct des très petites intensités.

Un fusible cartouche haute tension de 175 A assure la protection.

### Circuits auxiliaires à 72 V.

Ces circuits sont alimentés par la batterie d'accumulateurs et protégés par un fusible général.

Ils commandent les appareils autres que ceux du circuit de traction, en particulier ceux des groupes auxiliaires, du chauffage, de l'éclairage, de la répétition des signaux.

Une partie de ces circuits est contrôlée par une boîte à boutons-poussoirs, placés dans chaque cabine sur la face avant au-dessus des appareils de mesure et visible sur la figure 11.

Chaque boîte contient les boutons suivants :

— « Pantographes » alimentant l'électrovalve des pantographes et tous les autres boutons-poussoirs ;

— « Auxiliaires » agissant sur le contacteur général des auxiliaires ;

— « Contrôle » alimentant le manipulateur correspondant ;



Fig. 31. — Etat de la denture d'un pignon de moteur au moment de la revision générale.

Cl. 4926 EM

- « Réarmement » permettant l'enclenchement des relais de protection ;
- « Automatique » et « direct » pour la commande des compresseurs.
- « Ventilateurs ».
- « Chauffage » du train.
- Deux boutons de réserve inutilisés.

Une manette amovible, unique pour la locomotive, verrouille les boutons lorsque le mécanicien la retire pour passer d'une cabine à l'autre.

Les circuits d'éclairage de la locomotive, les klaxons et la bobine de pointage de la vigilance de l'enregistreur de vitesse Teloc sont commandés par des interrupteurs et commutateurs ordinaires visibles sur le pupitre (voir fig. 11).

## RÉSULTATS OBTENUS.

Après avoir satisfait aux essais de réception, la locomotive a été mise provisoirement en service en juillet 1935, puis définitivement au début de novembre 1935.

Après avoir parcouru 213 000 km en remorquant des trains de voyageurs d'un tonnage moyen de 500 t environ, mais ayant dépassé quelquefois 800 t, elle est passée en révision générale. L'arrêt, après un parcours largement supérieur au minimum de 150 000 km imposé par le cahier des charges était nécessaire pour le tournage des bandages.

Les moteurs de traction, les groupes auxiliaires, l'appareillage, ainsi que la transmission

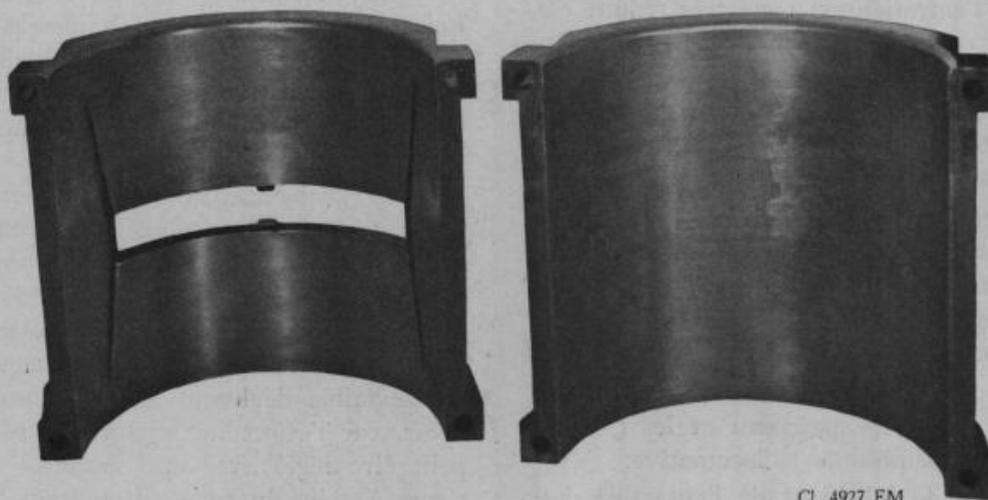


Fig. 32. — Etat des portées de l'un des coussinets de l'arbre creux au moment de la révision générale (après un parcours de 213 000 km.).

Un dispositif sur le circuit du timbre d'alarme sert à vérifier l'état des fusibles.

### Appareils de mesure.

Sur le pupitre de chaque cabine sont placés :

- un voltmètre de ligne ;
- un voltmètre branché aux bornes des moteurs en récupération ;
- un ampèremètre indiquant le courant d'un induit en traction et récupération ;
- un ampèremètre pour le courant d'excitation des moteurs, en récupération ;
- un voltmètre de batterie.

Dans la cabine avant sont placés deux compteurs wattheuremétriques totalisant : l'un, l'énergie consommée en traction, l'autre, l'énergie récupérée.

étaient en état de continuer le service. Les induits des moteurs ont été remontés sans que les collecteurs aient eu besoin d'être tournés.

La fig. 31 montre un pignon en parfait état, avec la denture polie. Les roues d'arbres creux et intermédiaires sont dans les mêmes conditions.

Sur la figure 32 on voit les coussinets d'un arbre creux ; l'usure est pratiquement nulle ; on remarque encore les traces de grattage faites au montage. La portée latérale et l'arrondi sont intacts, ainsi que les pattes d'araignée et les bassins d'alimentation en huile.

Un « Silentbloc » a été démonté, après un parcours de 200 000 km. Soumis aux mêmes essais qu'un « Silentbloc » neuf, il a montré que ses caractéristiques n'avaient pas varié sensiblement.

L'anneau d' « Adhélite » ayant été sec-

tionné, aucune altération n'a pu être décelée.

L'appareillage a été nettoyé et remonté. Aucun appareil n'a dû être remplacé. Les appareils de coupure, en particulier, ont simplement eu leurs contacts ajustés, et leurs cheminées de soufflage nettoyées.

Depuis la mise en service, la moyenne mensuelle a été de 22 000 km, avec un maximum de 24 270 km et des parcours journaliers de 1 200 km pendant plusieurs jours consécutifs.

Le trafic mensuel moyen ressort ainsi à environ 11 000 000 de t : km remorquées.

Le service a été très régulier, sans autres interruptions que celles prévues pour les visites décennales normales aux chemins de fer du P.-O.-MIDI.

De plus, l'entretien est resté très réduit. En particulier, celui du système de transmission de l'effort entre les moteurs et les essieux a été nul ; l'accouplement à « Silentbloks », qui n'a jamais été touché depuis la sortie de l'usine, ne présente aucune trace d'usure ou de fatigue.

Les carters d'engrenages, qui ont été garnis de lubrifiant au début de novembre 1935, n'étaient pas arrivés au niveau minimum avant la révision générale ; leur consommation est pratiquement nulle.

Les paliers d'arbre creux ont consommé 2 g d'huile par kilomètre parcouru et les essieux 1,3 g pour l'ensemble de la locomotive.

La dépense de lubrifiant de l'ensemble des organes particuliers à la locomotive est donc très faible.

Peu avant la révision générale, la locomotive a réussi complètement et dans de bonnes conditions de stabilité, les essais à grande vitesse comportant plusieurs trajets entre les Aubrais et Saint-Pierre-des-Corps.

En remorquant un train d'essai, la distance de 112 km a été parcourue en 52 mn, à la vitesse moyenne de 130 km : h, avec un maximum de 153 km : h, soutenu sur plus de 5 km.

Les essais de démarrage et de freinage par récupération d'un train de 750 t, sur le parcours Limoges-Brive et retour, comptant de longues rampes de 10 mm par mètre, avec arrêt à toutes

les stations et à tous les postes sémaphoriques situés en rampe, ont été effectués avec succès sans qu'aucun organe (en particulier les résistances de démarrage), atteigne un échauffement exagéré.

En service normal, et lors de ces essais, le personnel a apprécié la facilité de conduite provenant :

— du système de transmission de l'effort, utilisant bien le poids adhérent et permettant, par exemple, de développer couramment, en régime établi et sans sabler, un effort de 18 t aux jantes à 70 km : h (coefficient d'adhérence : 22,5 pour 100, fin du démarrage sur résistances), et de 13,8 t à 105 km : h (coefficient d'adhérence : 17 pour 100) ;

— de l'utilisation de six moteurs élémentaires, qui facilite le réglage de la vitesse par l'emploi fréquent du couplage série-parallèle, sans nécessité de repasser sur les crans de démarrage sur résistances pour revenir du couplage série-parallèle au couplage parallèle ;

— de la facilité de mise en service et de réglage de la récupération. Indépendamment de l'économie d'énergie électrique procurée, cette facilité de conduite a l'avantage d'encourager les conducteurs à se servir du freinage par récupération, même sur des pentes de faible longueur ou de faible déclivité, de préférence au frein à air, car l'effort de retenue en récupération peut être réglé avec une souplesse très supérieure à celle du frein automatique.

La locomotive a été remise en roulement et continue à l'heure actuelle à assurer en toute régularité le même trafic que précédemment.

Ainsi, les résultats obtenus en service, en ce qui concerne la régulation de la vitesse en traction et en freinage électrique, la stabilité, l'adhérence, la sécurité et la régularité de fonctionnement, les conditions d'entretien, et l'état général des organes mécaniques et électriques montrent que cette nouvelle locomotive a répondu très largement aux conditions qui étaient imposées, et qu'elle apporte au problème de la traction électrique à grande vitesse de trains de tonnage très variable, une solution homogène, et tout à fait originale.





:: :: IMPRIMERIE :: ::  
LANG, BLANCHONG ET C<sup>te</sup>  
30, RUE DU POTEAU - PARIS