

LES

LOCOMOTIVES ELECTRIQUES

POUR TRAINS DE MARCHANDISES

DE LA COMPAGNIE P.-L.-M.

PAR

M. BERGERET,

INGÉNIEUR PRINCIPAL DU MATÉRIEL DE LA COMPAGNIE P.-L.-M.

Extrait de la Revue Générale des Chemins de fer

(N° de Février 1931).

PARIS

DUNOD

92, RUE BONAPARTE (VI)

Tous droits réservés.

1931

LES

LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES

POUR TRAINS DE MARCHANDISES

DE LA COMPAGNIE P.-L.-M.

Par M. BERGERET

INGÉNIEUR PRINCIPAL DU MATÉRIEL DE LA COMPAGNIE P.-L.-M.

Dans le numéro de Décembre 1929 de la *Revue Générale*, M. Japiot, Ingénieur en Chef adjoint du Matériel et de la Traction de la Compagnie des chemins de fer P.-L.-M., a fait connaître les différents types de locomotives à grande vitesse qui ont été commandées à titre d'essai par la Compagnie P.-L.-M., pour sa ligne de Culoz à Modane; il a décrit ensuite dans tous ses détails le type de locomotive que la Compagnie P.-L.-M., à la suite de ces essais, a décidé d'adopter pour la remorque des trains express lourds sur cette même ligne ainsi que sur celle de la Côte d'Azur dont l'électrification est projetée.

Il restait donc, en ce qui concerne la ligne de Culoz à Modane, à décrire les locomotives qui assurent la remorque des trains de marchandises et à faire connaître les résultats qu'elles ont donnés en service.

C'est ce que nous nous sommes proposé dans ce qui va suivre.

Programme imposé pour la fourniture des locomotives électriques à marchandises, généralités

En vue de la commande des locomotives électriques nécessaires à la remorque des trains de marchandises sur la ligne de Culoz à Modane, la Compagnie P.-L.-M. ne jugea pas utile, comme pour celles destinées aux trains rapides ou express, de soumettre tout d'abord à des essais différents types de machines, dans le but de fixer définitivement les caractéristiques des locomotives à commander.

Il fut décidé, dès le début, que toutes les locomotives comporteraient six essieux moteurs et deux essieux porteurs aux extrémités. Les moteurs électriques seraient uniformément du type à suspension par le nez actionnant les essieux correspondants au moyen de transmissions par engrenages ordinaires.

Les couplages de ces moteurs, permettant les différents régimes de marche économique, devraient être les suivants :

- 6 moteurs en série sur un seul circuit,
- 3 moteurs en série sur deux circuits en parallèle,
- 2 moteurs en série sur trois circuits en parallèle.

Il était donc nécessaire d'isoler les moteurs, par rapport à la masse, pour une tension de 1 500 volts qui est celle de la distribution du courant de traction, mais leur bobinage n'avait à être établi que pour 750 volts aux balais. Il était prévu de plus que pour chacun des couplages indiqués ci-dessus, qui correspondent à des vitesses dont les valeurs relatives peuvent sensiblement être représentées par les nombres 1-2-3, il y aurait deux régimes de fonctionnement avec shuntage des inducteurs, ce qui permettrait d'obtenir en tout, pour les locomotives, neuf régimes de marche économique, c'est-à-dire sans résistances intercalées sur les circuits des moteurs.

En ce qui concerne la puissance et la vitesse des locomotives, elles devaient satisfaire au programme détaillé dans le tableau ci-dessous qui indique, pour les différents régimes, les efforts minima au crochet de traction et les vitesses correspondantes pour une tension de 1 350 volts seulement à la prise de courant.

RÉGIME	EFFORT MINIMUM EN KILOGS au crochet de traction	VITESSE EN KILOMÈTRES A L'HEURE
5 minutes.....	20 000 kg	20 à 25 km
unihoraire.....	16 000 kg	30 km
continu.....	8 000 kg	45 km
continu.....	5 000 kg	50 km

Vitesse maxima..... 80 km

Ce programme devait permettre, avec une certaine marge bien entendu, la remorque, en simple traction, de trains de marchandises de 800 tonnes : à la vitesse de 45 km. à l'heure sur des rampes de 5 millimètres par mètre en régime continu, à la vitesse de 30 km à l'heure sur des rampes de 15 millimètres par mètre en régime unihoraire.

La vitesse maxima que ces locomotives devaient pouvoir soutenir avait été fixée à 80 km. à l'heure afin qu'il fût possible, le cas échéant, de les affecter à la remorque des trains de voyageurs ou des trains de messageries.

D'autre part, en raison des longues et importantes déclivités qui existent entre Modane et Saint-Jean-de-Maurienne, il avait été prévu que toutes ces locomotives seraient munies du freinage par récupération ; il fut précisé qu'à la descente des déclivités de 30 millimètres par mètre les locomotives à marchandises devraient pouvoir retenir par le seul freinage électrique (à l'exclusion de tout autre mode de freinage réservé comme secours) un train de 400 tonnes, locomotive non comprise, à une vitesse de 20 à 25 km à l'heure.

En outre, afin de pouvoir profiter du freinage par récupération sur les différentes parties du parcours en déclivité et dans les meilleures conditions possibles, les locomotives devraient pouvoir fonctionner en récupération, sur une gamme de vitesses très importante s'étendant depuis un minimum de 12 km à l'heure jusqu'à un maximum aussi élevé que possible.

Enfin, pour ce qui concerne la construction du matériel électrique, il avait été spécifié que les induits des moteurs de traction seraient isolés au mica comprimé et que les essais d'isolement des différents moteurs et appareils électriques seraient effectués en appliquant les règles de l'American Institute of Electrical Engineers.

En partant du programme de construction qui vient d'être exposé, la Compagnie P.-L.-M. a commandé, en trois lots de 10, les trente-locomotives nécessaires à la remorque des trains de marchandises sur la ligne de Culoz à Modane. Il fut spécifié toutefois que, pour chacun de

ces lots, les constructeurs ne passeraient à exécution pour les neuf dernières locomotives, qu'après livraison, essais et mise au point de la première.

Le premier lot (161-BE-1 à 10) fut commandé à la Société d'Études pour l'électrification des Chemins de fer français; le deuxième (161-CE-1 à 10), au groupement Constructions Électriques de France et Société Alsacienne de Constructions Mécaniques; enfin le troisième (161-DE-1 à 10), à un groupement constitué par la Compagnie Electromécanique et la Compagnie de Fives-Lille.

Locomotives 161-BE-1 à 10

DESCRIPTION

Chaque locomotive est composée de deux demi-locomotives sensiblement identiques au point de vue mécanique, mais différant par la nature et la disposition de certains des appareils

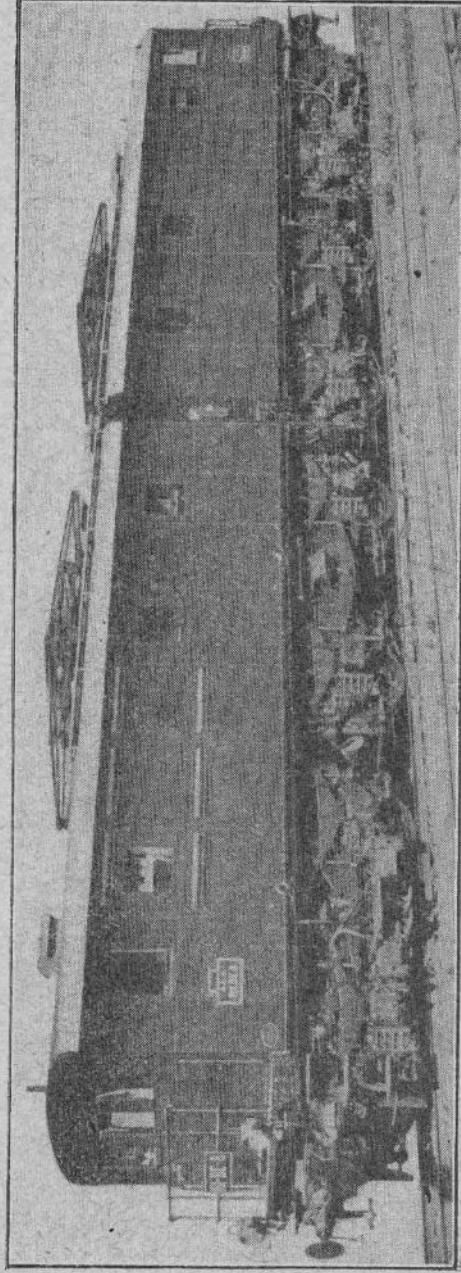


Fig. 1.

électriques que chacune d'elles contient. Les figures 1 et 2 représentent une locomotive 161-BE et en donnent les dimensions principales.

Chaque demi-locomotive comporte une caisse dont le châssis est fixé à l'arrière sur un truck

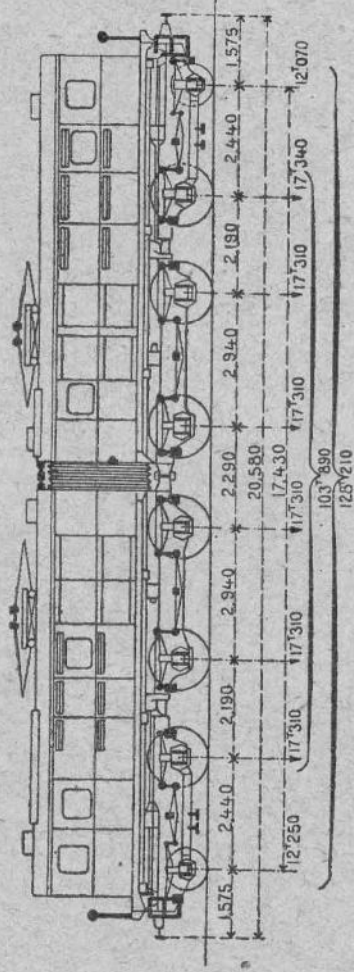


Fig. 2.

principal muni de deux essieux moteurs et porte à l'avant sur un truck directeur muni d'un essieu moteur et d'un essieu porteur.

Ces deux trucks sont attelés ensemble.

Les deux demi-locomotives sont reliés entre elles :

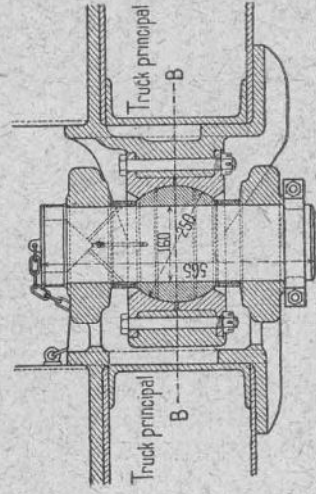
- par un attelage à rotule dont il sera parlé plus loin ;
- par un soufflet permettant une communication facile de l'une à l'autre ;
- par des câbles électriques isolés et des tuyaux raccords en caoutchouc assurant les communications électriques et pneumatiques nécessaires à leur fonctionnement.

On voit d'après ce qui précède que ces locomotives sont du type $1.A + B + B + A.1$.

Les Trucks.

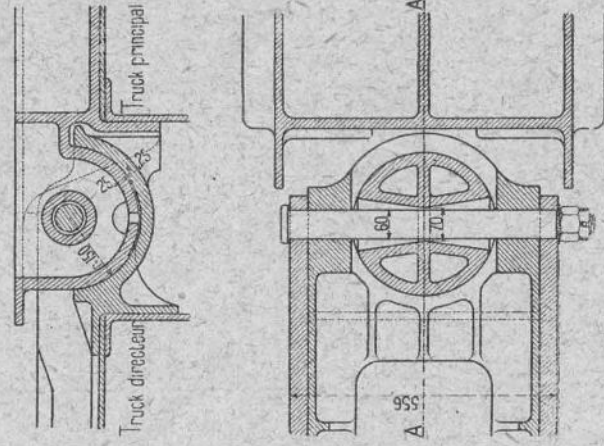
Les châssis du truck principal et du truck directeur de chaque demi-locomotive sont constitués par des longerons en tôle de 32 millimètres d'épaisseur présentant un écartement de 1,790 m et par conséquent placés à l'extérieur des roues motrices. Ces longerons sont très solidement entretoisés soit par des pièces en acier moulé et des caissons en tôle et cornières, soit par des traverses en profilés placées à leurs extrémités qui portent les pièces d'attelage entre demi-machines ainsi que les organes de choc et de traction de la locomotive.

Fig. 3.



Les trucks principaux sont réunis entre eux par un attelage rigide à rotule sphérique qui constitue l'attelage entre demi-machines ; il est représenté sur la figure 3. La rotule en fonte, de 250 millimètres de diamètre, est prise entre deux demi-coussinets en acier moulé ayant la forme de calottes hémisphériques. Elle est traversée par la cheville d'attelage dont le diamètre est de 160 mm. Pour assurer la lubrification des différentes surfaces frottantes, un réservoir d'huile a été installé à la partie supérieure de cette cheville et distribue cette huile par des canaux convenablement disposés.

Fig. 4.



Il est bon de noter que ce dispositif d'attelage peut être réalisé soit en laissant les deux trucks complètement indépendants en ce qui concerne leurs déplacements verticaux, la cheville coulisant alors dans la rotule sphérique, soit en les rendant solidaires même pour ces déplacements verticaux.

Les locomotives 161-BE avaient été disposées pour essayer la première de ces dispositions, et les locomotives 161-DE la seconde. On ne tarda pas à constater, en service, que, sur les locomotives 161-BE, il se produisait rapidement des usures importantes de la cheville d'attelage et de son logement dans la rotule dès que le graissage n'était pas assuré d'une façon parfaite. Il fut donc décidé de supprimer le coulisement de la cheville dans la rotule et à cet

effet d'installer des bagues que l'on voit sur la figure 3 et qui limitent à 2 mm dans chaque sens les déplacements verticaux relatifs des deux parties de l'attelage.

Depuis cette modification, ce système d'attelage, qui présente une robustesse considérable, a donné toute satisfaction tant sur les locomotives 161-BE que sur les 161-DE et les locomotives à grande vitesse.

Le truck directeur et le truck principal de chaque demi-locomotive sont reliés entre eux par un attelage à rotule hémisphérique avec cheville de sécurité représenté sur la figure 4.

Le diamètre des essieux, avec bandage de 75 mm, est de 1,250 m pour les essieux moteurs et de 0,915 m pour les essieux porteurs. Pour toutes leurs fusées, le graissage est assuré par des tampons graisseurs.

Les ressorts des différents essieux sont identiques et ont les caractéristiques suivantes :

Nombre de lames.....	25	Épaisseur des lames.....	9 mm
Largeur des lames.....	100 mm	Flexibilité par tonne.....	12,6 mm

Les Caisses

Chaque demi-locomotive comporte une caisse dont la partie arrière du châssis est fixée sur le truck principal. Le châssis de caisse repose de plus à l'avant sur le truck directeur, au droit du 1^{er} essieu par l'intermédiaire d'un pivot sphérique à rappels par plans inclinés, dont les principales conditions d'établissement sont les suivantes :

Inclinaison des plans de rappel.....	33 %
Déplacement possible de part et d'autre de l'axe.....	140 mm
Effort de rappel.....	2 700 kg
Diamètre de la rotule du pivot.....	137,5 mm

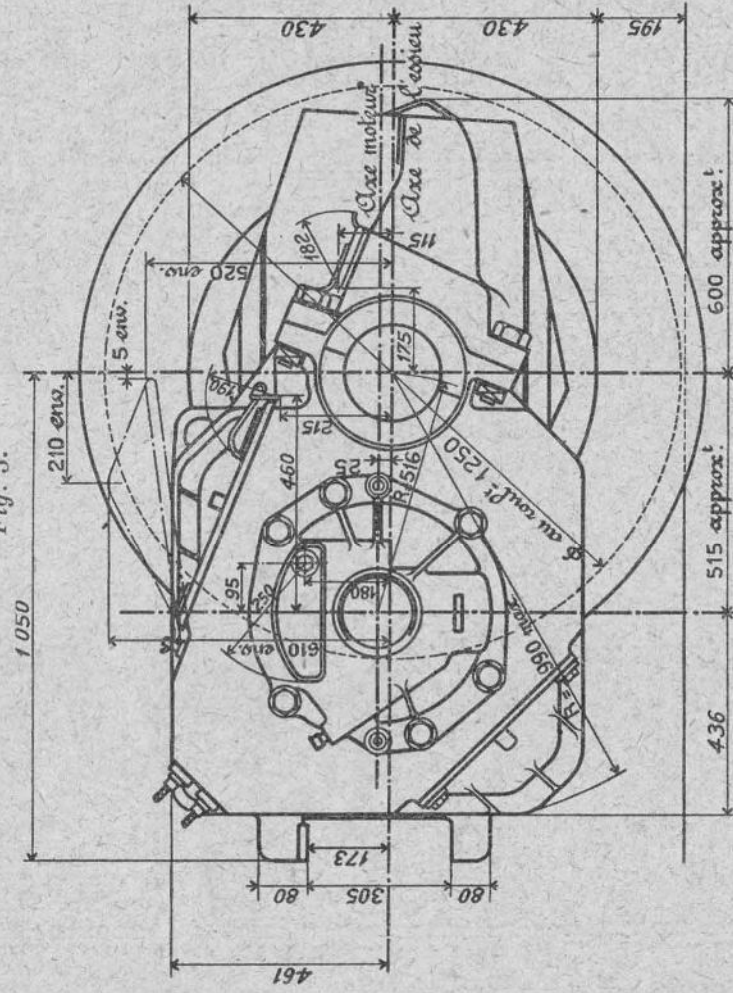
La longueur extérieure totale des caisses est de 9,080 m.

Les caisses sont à couloir central de 700 mm de large. Elles comportent à l'une de leurs extrémités une plateforme extérieure avec marchepied d'accès et une cabine de 2,760 m sur 1,500 m renfermant tous les appareils de conduite de la locomotive.

Les moteurs de traction.

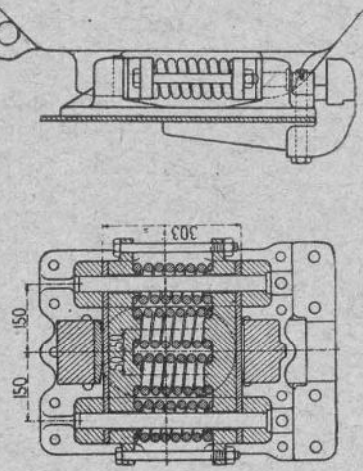
Les moteurs de traction au nombre de six par locomotive, sont du type TH-562 à excitation série et suspension par le nez, de la Société Alsthom (voir figure 5). Leurs caractéristiques principales sont détaillées dans le tableau V figurant ci-après. Chaque moteur repose, d'un

Fig. 5.



côté, sur les fusées intérieures de l'essieu correspondant par l'intermédiaire de coussinets munis de tampons graisseurs; de l'autre côté, il appuie par son nez (voir figure 6) sur une traverse transversale du truck munie de quatre ressorts à boudin, donnant ainsi une certaine élasticité à la suspension du moteur. Une butée de sécurité est prévue pour éviter la chute de ce dernier en cas de rupture des pièces de sa suspension élastique.

Fig. 6.



L'attaque de l'essieu se fait par un seul train d'engrenages non élastiques en acier (roue 68 dents - pignon 18 dents). La roue dentée est d'une seule pièce calée et clavetée à la presse sur l'essieu.

Les moteurs sont isolés au mica comprimé à chaud et résistent à froid à l'application, pendant 4 minute, d'une tension alternative efficace de 5 500 volts, 50 périodes.

Ils sont à quatre pôles avec 4 lignes de balais sur le collecteur. Les induits sont bobinés pour fonctionner sous une tension de 750 volts entre bornes de manière à permettre les trois couplages suivants :

1° Six moteurs en série.

2° Trois moteurs en série sur deux circuits en parallèle.

3° Deux moteurs en série sur trois circuits en parallèle.

Ces trois couplages désignés Série, Série-Parallèle, Parallèle, permettant ainsi trois gammes de vitesses qui sont, entre elles, sensiblement dans le même rapport que les nombres 1, 2, 3. Comme d'autre part on peut disposer, pour chacun de ces couplages, de deux crans de marche avec shuntage des inducteurs, il y a en tout, pour la locomotive, neuf régimes de marche économique qui permettent de satisfaire à toutes les exigences du service des trains.

Le shuntage des inducteurs est obtenu en réduisant de 27 % ou de 42 % le courant traversant ces inducteurs qui sont alors, dans ce but, branchés sur des shunts inductifs convenablement établis.

L'intensité du courant dans un moteur est de 360 ampères en régime continu, 460 ampères en régime unihoraire et 640 ampères si la durée d'application de ce courant ne doit pas dépasser cinq minutes.

Les vitesses de la locomotive correspondant aux régimes continu et unihoraire sont respectivement de 39 et 35 km à l'heure sous la tension de 1 500 volts.

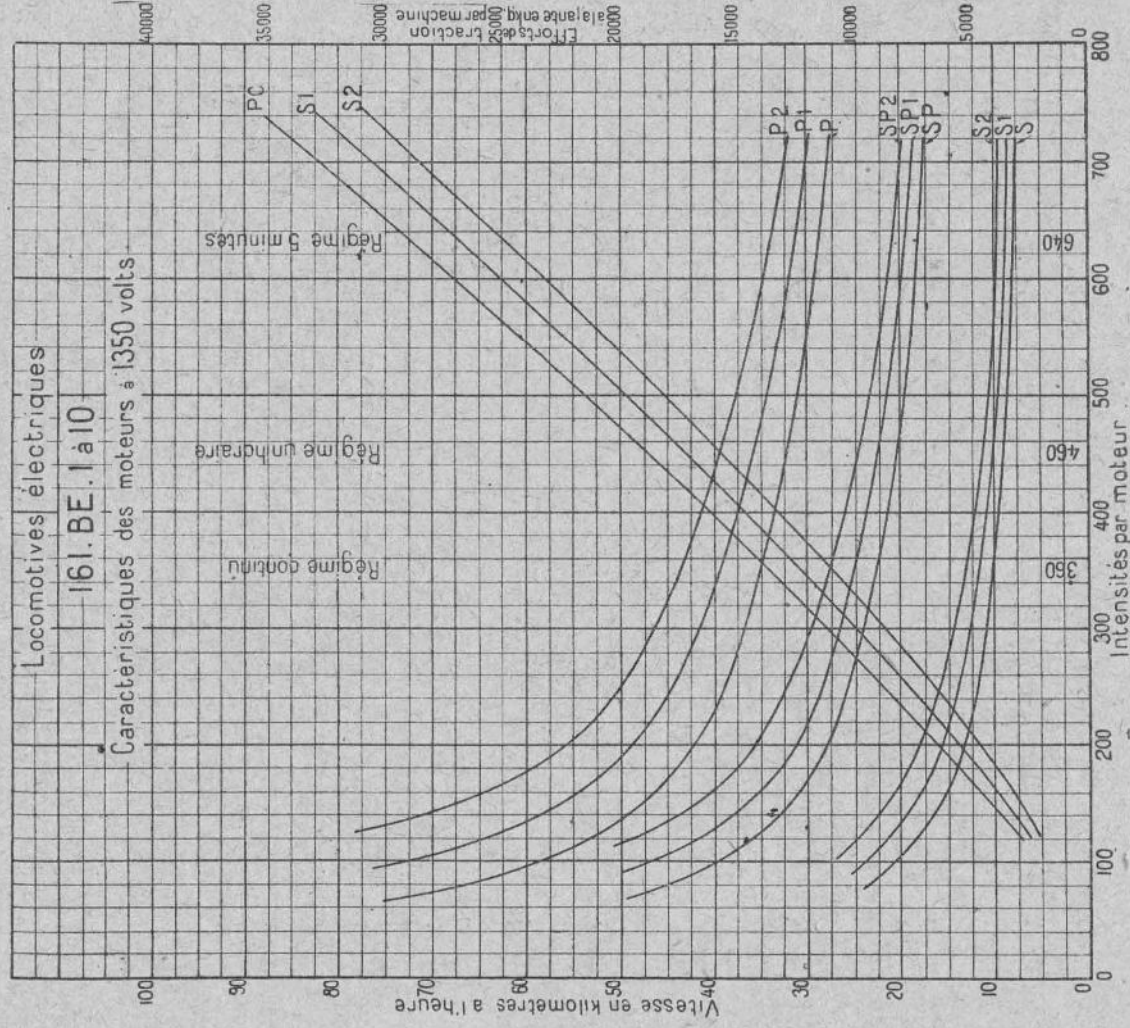
Les moteurs ont d'autre part été établis pour supporter d'une façon soutenue la vitesse de 1 290 tours par minute correspondant à la vitesse maxima de 80 km à l'heure pour laquelle ces locomotives ont été construites. Les paliers d'induits sont en bronze garni d'antifriction; leur graissage est assuré par un bourrage de laine et crin baignant par sa partie inférieure dans un réservoir d'huile.

Le poids d'un moteur complet est de 3 884 kg.

Les courbes de la figure 7 représentent les caractéristiques des moteurs de traction de ces locomotives. Elles donnent, pour les couplages Série, Série-Parallèle et Parallèle, ainsi que

pour les deux crans de shuntage correspondant à chacun de ces couplages, les vitesses de la locomotive et les efforts de traction à la jante de ses roues motrices en fonction de l'intensité du courant traversant l'induit de chaque moteur.

Fig. 7.



Machines auxiliaires.

Chaque locomotive comporte deux groupes compresseurs, deux groupes ventilateurs et un groupe moteur-générateur pour l'excitation des moteurs pendant la récupération.

— Les compresseurs sont identiques à ceux installés sur les locomotives 262 AE (voir *Revue Générale* de Décembre 1929). La disposition de leur tuyauterie et de leurs accessoires est analogue. Ils comportent deux cylindres en V de 150 mm d'alésage et 150 mm de course et sont capables de refouler chacun, par minute et à une pression de 8 kg par cm^2 , de 1 200 à 1 300 litres d'air mesurés à la pression atmosphérique.

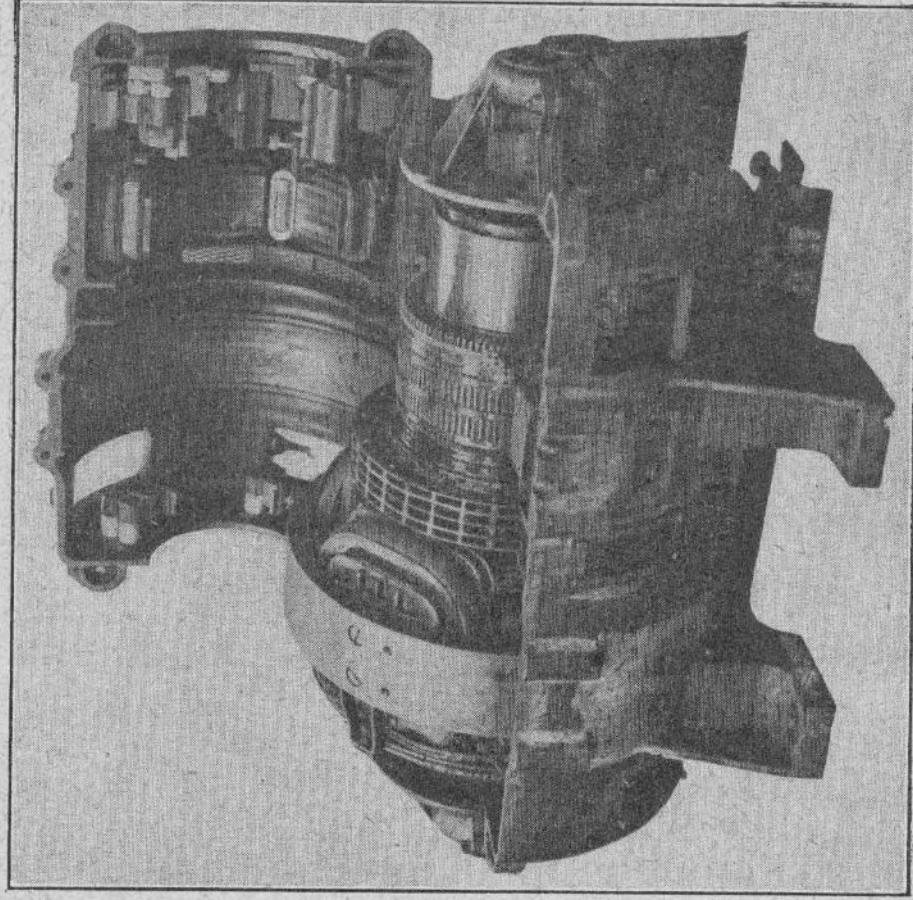
— Les ventilateurs pour le refroidissement des moteurs de traction sont au nombre de deux, un par demi-locomotive. Chacun d'eux est entraîné par un moteur de 11 chevaux tournant à 2 100 tours environ sous 1 350 volts et démarrant directement sans résistance.

Le débit d'air d'un ventilateur est de 102 m³ par minute sous une pression de 150 mm d'eau.
— Le groupe moteur générateur pour l'excitation des moteurs de traction pendant la marche en récupération se compose d'un moteur à 1 500 volts entraînant une génératrice à basse tension.

La figure 8 donne une vue d'ensemble de cette machine

Ce groupe moteur générateur à carcasse unique a été étudié tout spécialement de façon à réduire autant que possible son encombrement malgré la puissance importante qu'il est appelé à fournir à certains moments.

Fig. 8.



Sa vitesse de rotation est de 900 tours par minute environ.

Le moteur est compound avec excitation shunt prédominante. Il comporte 4 pôles principaux, 4 pôles de commutation et un enroulement de compensation. Sur les pôles principaux sont disposés l'enroulement d'excitation shunt dont il vient d'être parlé, un enroulement série concordant avec ce dernier et parcouru par le courant du moteur, enfin un autre enroulement série agissant en sens inverse des précédents et traversé par le courant produit par la génératrice du groupe. Avec cette disposition, le constructeur est arrivé à obtenir une vitesse de fonctionnement

sensiblement indépendante des variations de la charge et de la tension en ligne.

Le démarrage se produit automatiquement dès que la manette de régime de l'une des cabines de manœuvre est mise dans la position « Récupération ». Il s'obtient en deux temps par le jeu de deux contacteurs : le premier ferme le circuit du moteur sur une résistance, le second met cette résistance en court-circuit dès que l'intensité est tombée à une valeur déterminée par le réglage des appareils.

La génératrice est à 6 pôles principaux, pôles de commutation et excitation séparée. Le courant nécessaire à cette excitation est fourni par la batterie d'accumulateurs de la locomotive et réglé par un rhéostat placé sous la dépendance de la manette d'accélération des cabines de manœuvre. En régime unihoraire elle peut fournir 1 080 ampères sous 38 volts et sa tension peut varier de 0 à 80 volts.

Le groupe est protégé par un fusible ; il est muni d'autre part, à l'une des extrémités de son arbre, d'un limiteur de vitesse qui provoque à la fois l'ouverture de ses contacteurs de mise en

marche ainsi que celle du disjoncteur placé sur le circuit des moteurs de la locomotive, lorsque la vitesse du groupe atteint 1 300 tours par minute.

Appareils de prise de courant.

Les locomotives 161-BE. 1 à 10 sont munies des appareils nécessaires pour la captation du courant, d'une part, sur le rail conducteur et, d'autre part, sur les lignes aériennes.

Ces appareils sont des types unifiés adoptés sur toutes les locomotives de la Compagnie P.-L.-M. (1).

Circuit principal.

Le circuit principal a son origine aux appareils de prise de courant dont il vient d'être parlé.

Son appareillage comporte tous les organes nécessaires au couplage, au démarrage et au fonctionnement des moteurs proprement dits de la locomotive tant pour la marche en traction que pour celle en récupération. Ces appareils sont constitués pour la plupart soit par des contacteurs à commande individuelle électropneumatique, soit par des groupes de contacteurs manœuvrés simultanément par des arbres à cames à commandé également électropneumatique.

Le schéma de la figure 9 indique la disposition et l'ordre de fonctionnement de ces différents appareils qui sont les suivants :

Les contacteurs de prise de courant disposés par groupes de deux en parallèle, soit sur le circuit venant des frotteurs de prise de courant, soit sur celui de chacun des deux pantographes dont est munie la locomotive. On peut ainsi alimenter cette dernière soit par le rail conducteur, soit par les lignes aériennes, soit enfin par les deux simultanément.

Ces contacteurs sont commandés par la manette de prise de courant du manipulateur des cabines de manœuvre.

Les contacteurs de mise à la terre sont destinés à protéger la locomotive en cas d'avarie grave à son appareillage entraînant un arc persistant à la masse. A cet effet, ces contacteurs, manœuvrés pneumatiquement de chaque cabine par un robinet, permettent de relier directement les frotteurs de prise de courant aux rails de la voie et par conséquent de supprimer l'arrivée du courant 1 500 volts à la locomotive par suite du déclenchement de tous les appareils de sectionnement alimentant la région de voie intéressée.

Un sectionneur principal à couteau manœuvré à la main et permettant de vérifier sans courant le fonctionnement de l'appareillage du circuit principal.

Les contacteurs principaux au nombre de quatre constituant deux groupes en parallèle de deux contacteurs en série. Ce sont ceux qui assurent la coupure définitive du circuit principal après ouverture du disjoncteur.

Le disjoncteur extra-rapide du type JR-14 de la Société Alsthom, représenté sur la figure 10, sert à limiter le courant absorbé par le circuit principal. Il est à fermeture électropneumatique obtenue par manœuvre d'un bouton placé dans chaque cabine et reste

(1) Voir *Revue Générale*, N° de Décembre 1929. Les locomotives électriques à grande vitesse de la Compagnie P.-L.-M. par M. Marcel Japiot.

fermé sous la seule action de sa bobine de maintien excitée par la batterie d'accumulateurs de la locomotive.

Il s'ouvre directement, mais pour un courant de traction seulement, dès que ce dernier dépasse 2 000 ampères environ; il s'ouvre aussi indirectement en traction comme en récupération sous l'action des relais, dont il sera question plus bas, qui produisent la rupture du circuit basse tension de sa bobine de maintien.

Le disjoncteur est shunté par une résistance de trois ohms; son ouverture n'entraîne donc qu'une réduction du courant absorbé par le circuit principal, la rupture définitive de ce courant étant assurée, comme il est dit plus haut, par les contacteurs principaux qui à cet effet sont enclenchés avec le disjoncteur par des interlocks.

Les contacteurs de résistance sont à commande individuelle électropneumatique et servent à l'élimination progressive des résistances pendant le démarrage de la locomotive.

Le commutateur de couplage comporte un certain nombre de contacteurs dont la manœuvre simultanée est assurée par un arbre à cames à commande électropneumatique. Ce commutateur assure un groupement convenable des moteurs (voir figure 11) pour chacun des couplages série, série-parallèle et parallèle aussi bien pour la marche en traction que pour la marche en récupération.

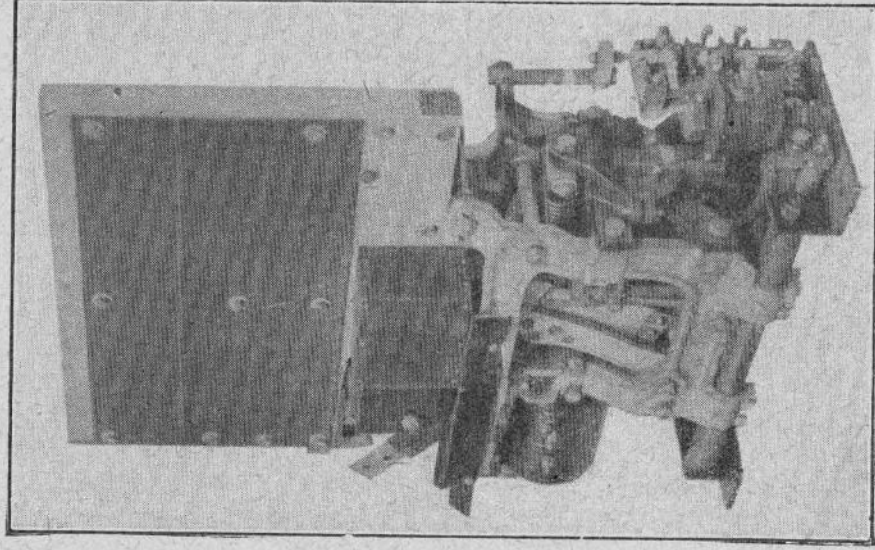


Fig. 10.

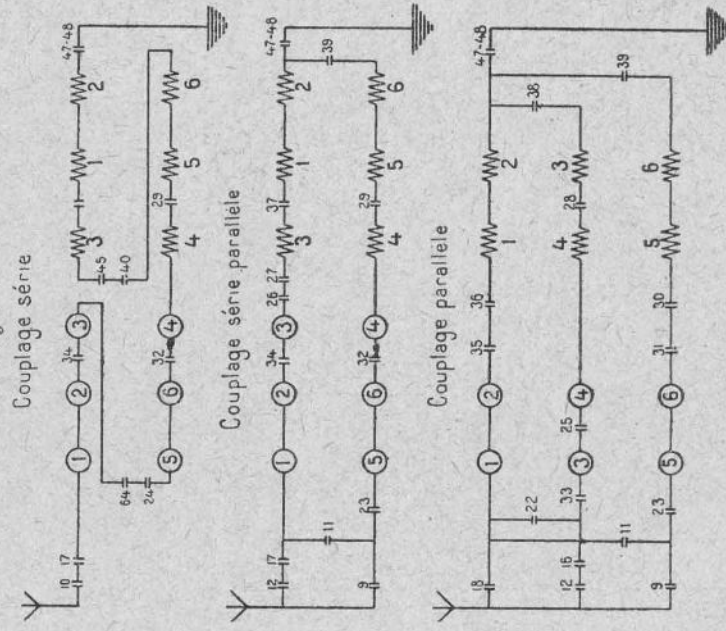
Le commutateur de freinage est comme le précédent constitué par des contacteurs dont la manœuvre simultanée est assurée par un arbre à cames à commande électropneumatique. Cet appareil assure, pour la marche en récupération, le groupement convenable des inducteurs des moteurs de traction, des résistances de stabilisation et de l'excitatrice.

La figure 13 représente ce commutateur.

Les inverseurs au nombre de deux sont des appareils à tambour à commande électropneumatique qui fixent le sens du courant dans les inducteurs des moteurs d'après le sens de la marche de la locomotive.

Les appareils d'isolement des moteurs au nombre de trois comportent des tambours

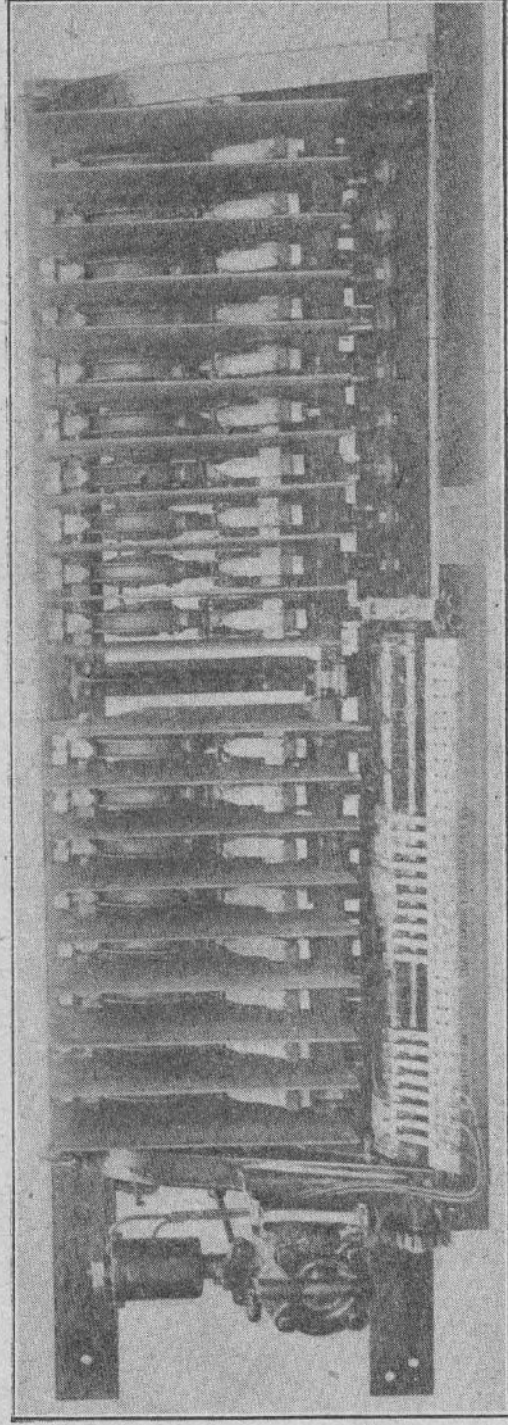
Fig. 11.



La figure 12 représente un de ces commutateurs après enlèvement des cheminées de soufflage.

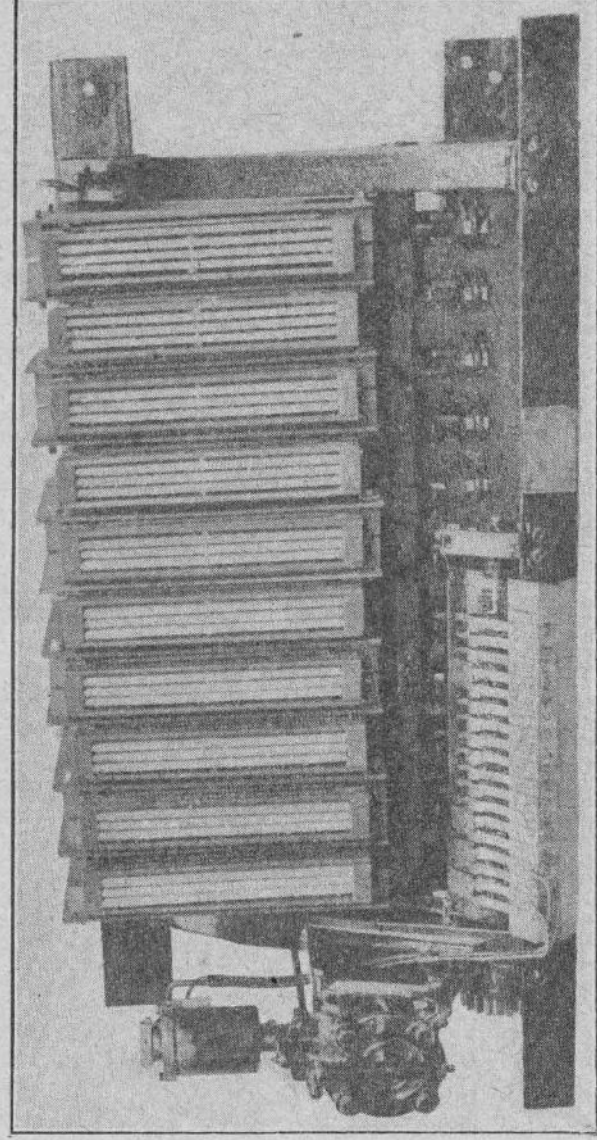
manœuvrables à la main ; ils permettent d'isoler un ou plusieurs moteurs avariés. Dans ce cas, grâce à la présence d'interlocks sur l'axe de ces appareils, la marche en traction au couplage série reste seule possible pour la locomotive.

Fig. 12.



Les *contacteurs de shuntage* sont à manœuvre individuelle électropneumatique et permettent de brancher, aux bornes des inducteurs des moteurs, les shunts inductifs convenables.

Fig. 13.



Les *relais* sont au nombre de cinq :

Trois relais de surcharge montés sur le circuit de chacun des groupes de deux moteurs et fonctionnant dès que le courant qui les traverse dépasse 700 ampères.

Un relais de surtension réglé pour fonctionner si la tension atteint 1 800 volts.

Un relais de manque de tension, temporisé, fonctionnant lorsque la tension descend au-dessous de 800 volts.

Comme il a été vu plus haut, le fonctionnement d'un seul de ces relais suffit pour provoquer le déclenchement du disjoncteur et des contacteurs principaux.

Chacun de ces relais possède un voyant qui apparaît aussitôt après son fonctionnement et s'éteint dès le réarmement du relais qui se produit par la manœuvre même du bouton de fermeture du disjoncteur.

Les *parafoudres* installés sur les locomotives sont du type électrolytique à électrodes d'aluminium plongeant dans un bain de composition spéciale.

Le circuit principal comporte enfin un certain nombre de shunts reliés, soit aux compteurs, soit aux ampèremètres placés dans les cabines et indiquant le courant total absorbé par la locomotive ainsi que celui traversant l'induit ou l'inducteur d'un moteur.

Circuits auxiliaires à 1 500 volts

Les circuits auxiliaires à 1 500 volts (Fig. 14) sont branchés sur le circuit principal en amont du disjoncteur et des contacteurs principaux. Ils alimentent le groupe moteur-générateur pour l'excitation des moteurs pendant la récupération, les compresseurs, les ventilateurs, les radiateurs, ainsi que les relais de tension, les voltmètres et les compteurs. L'alimentation de tous ces appareils est commandée par des contacteurs électro-magnétiques fonctionnant soit à la main, soit automatiquement; leur protection est assurée par des fusibles.

Les groupes rotatifs ont déjà été décrits plus haut à propos des machines auxiliaires. Les radiateurs sont au nombre de deux par cabine de conduite, leur puissance totale est de 2 500 watts sous 1 600 volts.

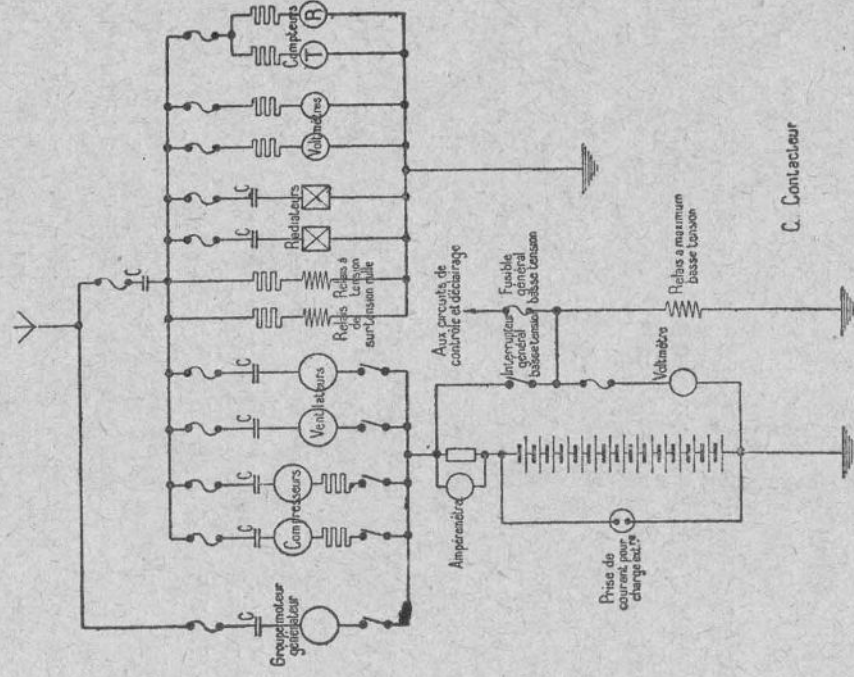
Circuits à basse tension

Les circuits à basse tension comprennent tout l'ensemble des circuits de contrôle, les canalisations d'éclairage intérieur et extérieur de la locomotive, enfin celles de quelques appareils spéciaux d'avertissement ou d'appel.

Ces circuits à basse tension sont alimentés par une batterie d'accumulateurs fer-nickel de 48 éléments.

La capacité de cette batterie est de 250 ampères-heures et sa tension moyenne, en service, de 70 volts environ. Elle est branchée (Fig. 14) sur le circuit, côté terre, des compresseurs, des ventilateurs et du groupe moteur-générateur pour la récupération. Sa charge est donc assurée par le courant nécessaire au fonctionnement de ces différents appareils. Afin d'éviter une élévation dangereuse de la tension des circuits alimentés par la batterie, en cas

Fig. 14.



d'interruption en un point quelconque du circuit de cette dernière, un relais, à maximum de tension, réglé pour 200 volts, a été placé à l'origine de ces circuits. Le fonctionnement de ce relais provoque l'ouverture des contacteurs commandant les groupes dont le courant assure la charge de la batterie.

La batterie est installée dans le compartiment central de l'une des caisses.

Cabines de manœuvres

La caisse de chacune des demi-locomotives possède à l'une de ses extrémités (celle qui se trouve au-dessus du truck directeur) une cabine qui contient tous les appareils nécessaires à la conduite de la locomotive et au contrôle de ses différents appareils.

Cette cabine comporte :

— Sur sa paroi avant, la porte d'entrée et deux baies vitrées munies d'essuie-glace à main.

— Sur chacune de ses faces latérales, une baie vitrée à châssis mobile.

— Sur la paroi arrière, la porte donnant accès au couloir central de la caisse.

Les différents appareils installés dans les cabines sont, en général, analogues sinon identiques à ceux déjà détaillés à propos des locomotives 262 AE, et leur disposition est semblable. Il suffira donc de se reporter à ce qui a déjà été dit à ce sujet ⁽¹⁾ sauf toutefois en ce qui concerne le manipulateur dont les dispositions sont différentes afin de permettre le freinage par récupération.

Le manipulateur est disposé contre la face avant de la cabine vers la gauche et, comme tous les appareils similaires de nos locomotives ⁽²⁾, possède trois manettes :

1^o La manette de prise de courant,

2^o La manette de régime.

3^o La manette d'accélération.

Comme il a déjà été indiqué ⁽¹⁾, la manette de prise de courant provoque le fonctionnement des contacteurs de frotteurs et de pantographes, l'ascension ou la descente de ces derniers, et enfin sert au verrouillage des compartiments contenant les appareils à 1 500 volts ainsi qu'à celui des échelles de toiture.

— La manette de régime fixe le sens de la marche de la locomotive, les différents couplages des moteurs en récupération et enfin le degré de shuntage des inducteurs des moteurs pour la marche en traction ; elle peut occuper huit positions :

Position « 0 » ou de repos ;

Position « AV » — Marche en avant de la locomotive avec excitation des moteurs à plein champ ;

Position « S1 » — Marche avant avec shuntage à 27 % des inducteurs des moteurs ;

Position « S2 » — Marche avant avec shuntage à 42 % des inducteurs des moteurs ;

Position « R1 » — Marche avant en récupération, les induits des moteurs étant au couplage série ;

⁽¹⁾ Voir *Revue Générale* N° de Décembre 1929.

⁽²⁾ Voir la figure 26 représentant le manipulateur des locomotives 161 CE-1 à 10.

Position « R2 » — Marche avant en récupération, les induits des moteurs étant au couplage série-parallèle ;
Position « R3 » — Marche avant en récupération, les induits des moteurs étant au couplage parallèle ;

Position « AR » — Marche arrière de la locomotive avec excitation des moteurs à plein champ.

— La manette d'accélération sert pour la marche en traction comme pour celle en récupération. A cet effet, son index se déplace devant deux graduations désignées « Accélération » pour la marche en traction et « Récupération » pour celle en récupération.

Cette manette peut occuper les différentes positions suivantes :

Marche en traction :

Position « O » ou de repos correspondant à la coupure du circuit principal ;

Dix positions pour l'élimination des résistances de démarrage au couplage série ;

Position « S » de marche normale au couplage série sans résistances ;

Sept positions pour la transition du couplage série au couplage série-parallèle et l'élimination des résistances ;

Position « SP » de marche normale au couplage série-parallèle sans résistances ;

Six positions pour la transition du couplage série-parallèle au couplage parallèle et l'élimination des résistances ;

Position « P » de marche normale au couplage parallèle sans résistances.

Marche en récupération :

Position « O » ou de repos correspondant à la coupure du circuit principal et de celui d'excitation de la génératrice du groupe moteur générateur ;

Sept positions de la manette, non numérotées, sur lesquelles la mise en jeu de la récupération commence, mais sans qu'on puisse maintenir d'une façon durable la manette sur les crans correspondants ;

Huit positions numérotées de 1 à 8, sur chacune desquelles la manette d'accélération peut rester et qui correspondent à des vitesses de marche et des efforts de retenue variables.

Comme il a été expliqué pour les locomotives 262 AE (1), des verrouillages mécaniques ou électriques entre les différentes manettes empêchent toute fausse manœuvre.

De plus, la manette d'accélération ne peut se déplacer que cran par cran dans le sens accélération, grâce à un doigt, porté par cette manette, qui vient s'engager dans un labyrinthe en zig-zag disposé sur le couvercle du manipulateur.

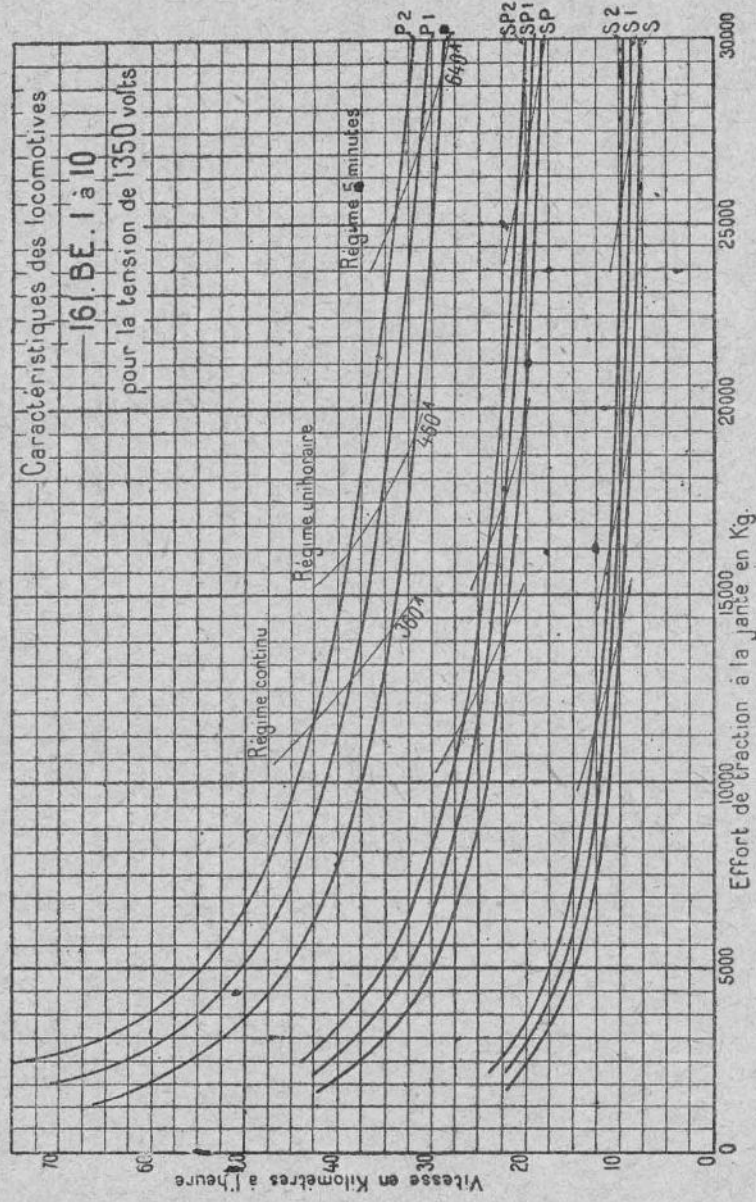
Fonctionnement et conduite des locomotives 161. BE en traction et en récupération

Les courbes de la figure 15 donnent, pour les couplages série, série-parallèle et parallèle, ainsi que pour les deux crans de shuntage correspondant à chacun de ces couplages, les vitesses de ces locomotives en fonction des efforts totaux à la jante des roues.

(1) Voir N° de Décembre 1929 de la *Revue Générale*.

Leur fonctionnement et leur conduite pour la remorque des trains, c'est-à-dire en traction, n'a rien présenté de particulier. Les dispositions adoptées étaient d'ailleurs analogues à celles déjà en usage sur d'autres réseaux, et le nombre plus grand des moteurs de ces locomotives (six au lieu de quatre) n'était pas de nature à donner de l'importance à l'imprévu.

Fig. 15.



Au contraire, la descente des trains sur les déclivités, sans autre freinage que celui fourni par la locomotive fonctionnant en récupération, c'est-à-dire renvoyant de l'énergie électrique à la ligne au lieu d'en absorber, constituait une application presque nouvelle pour laquelle les constructeurs en général ne possédaient qu'une documentation sommaire et une expérience très peu ancienne.

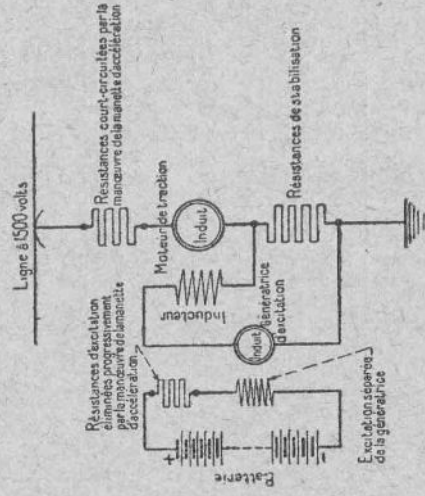
Il nous a donc paru utile de nous étendre davantage sur cette question de la récupération et par conséquent d'indiquer les principes sur lesquels elle est basée, les dispositions adoptées pour sa mise en œuvre et enfin les résultats obtenus.

Pendant la marche en récupération les moteurs fonctionnent avec excitation indépendante. La disposition de principe des différents appareils est indiquée par le schéma de la figure 16 où l'ensemble des moteurs de la locomotive est représenté par un seul d'entre eux.

En partant de la ligne à 1500 volts on rencontre :

- des résistances de protection variables suivant le couplage adopté et éliminées progressivement par la manœuvre de la manette d'accélération ;
- les inducts des moteurs de la locomotive ;
- des résistances fixes dites de stabilisation.

Fig. 16.



Ces dernières ferment le circuit local dans lequel sont placés les inducteurs des moteurs et l'induit de la génératrice du groupe moteur-générateur d'excitation décrit plus haut à propos des machines auxiliaires. Cette génératrice est à excitation variable fournie par la batterie d'accumulateurs de la locomotive. Le courant qu'elle produit et qui traverse les inducteurs des moteurs ainsi que les résistances de stabilisation, est de même sens, dans ces dernières, que le courant renvoyé à la ligne par la locomotive, pendant la marche en récupération. Cette disposition, qui a pour effet de faire varier l'excitation des moteurs en sens inverse de la valeur du courant produit par la locomotive assure la stabilité de marche en parallèle des moteurs de cette dernière avec les sous-stations qui alimentent la ligne.

Par exemple, une baisse de tension importante sur celle-ci devrait entraîner une augmentation de même ordre du courant récupéré; mais l'augmentation de ce dernier correspond à une élévation de la chute de tension dans les résistances de stabilisation et par conséquent à une diminution de l'excitation des moteurs qui limite l'augmentation du courant récupéré.

Le fonctionnement des locomotives en récupération peut s'effectuer aux trois couplages série, série-parallèle et parallèle déjà indiqués pour la marche en traction. L'ordre de fonctionnement des contracteurs ou commutateurs est donné par le schéma et le tableau de la figure 9.

Pour mettre en jeu la récupération on doit tout d'abord placer la manette de régime sur l'une des 3 positions R1, R2 ou R3 suivant le couplage choisi. Cette manœuvre a pour effet de préparer les connexions correspondantes et de provoquer en même temps la mise en marche automatique du groupe moteur-générateur d'excitation.

En déplaçant ensuite la manette d'accélération et en la mettant sur le 1^{er} cran de récupération les commutateurs de couplage et de freinage se placent tout d'abord dans la position convenable, puis la fermeture des contacteurs principaux couple l'ensemble des moteurs sur la ligne: l'excitation de ces derniers est alors minima et la totalité des résistances de protection en circuit.

Après ce premier cran d'amorçage de la récupération, il en existe six autres qui produisent progressivement l'élimination des résistances de protection et l'augmentation de l'excitation des moteurs.

Ces sept premiers crans, qui d'ailleurs ne portent pas de numéro, ne servent qu'à la préparation de la marche en récupération et on ne doit pas y séjourner longtemps. A leur suite, il existe huit positions de la manette d'accélération, numérotées de 1 à 8, qui sont affectées à la marche proprement dite en récupération et sur lesquelles on peut maintenir cette manette.

De la position 1 à la position 8 l'élimination des résistances de protection se termine, si elle n'est déjà achevée, et l'excitation des moteurs augmente encore progressivement.

Le tableau I ci-après donne, pour les trois couplages, ainsi que pour chacun des crans de préparation et de marche en récupération, les valeurs des résistances de protection et des courants d'excitation de la génératrice et des moteurs de traction.

Il est bon de noter en passant que, pour le couplage série, le nombre des induits de moteurs montés en série est de six sur certaines de ces locomotives et de cinq sur les autres du même constructeur. Cette dernière disposition, sur laquelle il est facile de revenir d'ailleurs, a été prise de façon à relever légèrement les vitesses de marche en récupération à ce couplage série afin de rapprocher davantage ces vitesses de celles correspondant au couplage série-parallèle.

TABLEAU I

RÉCUPÉRATION

VALEUR DES RÉSISTANCES DE PROTECTION ET DU COURANT D'EXCITATION DES MOTEURS

POSITION de la manette d'accélération pendant la récupération	COUPLAGES SÉRIE ET SÉRIE-PARALLÈLE			COUPLAGE PARALLÈLE		
	Courant d'excitation de la génératrice	Courant dans un inducteur de moteur (avec courant induit nul)	Résistances de protection (en ohms)	Courant, d'excitation de la génératrice	Courant dans un inducteur de moteur (avec courant induit nul)	Résistances de protection (en ohms)
Positions non numérotées en récupération	^A 3,05	^A 134	1,50	^A 3,05	^A 166	1,5
	3,05	134	1,14	3,05	166	1,14
	3,05	134	1,14	3,05	166	0,805
	3,30	147	0,805	3,30	184	0,595
	3,30	147	0,805	3,30	184	0,39
	3,52	163	0,595	3,52	200	0,285
	3,52	163	0,595	3,52	200	0,139
	3,86	182	0,39	3,86	218	0
4,35	206	0,285	4,35	247	0	
4,95	238	0,139	4,95	282	0	
5,72	278	0,078	5,72	328	0	
6,55	317	0	6,55	370	0	
7,50	365	0	7,50	414	0	
8,77	417	0	8,77	460	0	
10,30	470	0	8,77	460	0	

Les chiffres de ce tableau ont été établis pour une tension de batterie égale à 75 volts.

L'expérience permettra de déterminer quelle est celle de ces deux dispositions qui sera à maintenir.

Il est rappelé également, ce que l'on peut voir d'après le schéma de la figure 9, que les inducteurs des moteurs sont au couplage série-parallèle pour la récupération en série ou en série-parallèle ; ils sont au couplage parallèle pour la récupération en parallèle.

Lorsqu'une locomotive est en marche en récupération il suffit pour faire cesser cette dernière de ramener au 0 la manette d'accélération. Le fonctionnement des différents appareils, tel qu'il vient d'être décrit, se reproduit alors en sens inverse, sauf toutefois en ce qui concerne les résistances de protection, qui restent partiellement court-circuitées aux couplages série ou série-parallèle, et entièrement court-circuitées au couplage parallèle. Cette disposition a été prévue pour éviter la surtension qui se produirait au moment d'un retour rapide de la manette au 0 si les résistances de protection étaient en même temps remises en circuit.

Pour la marche en récupération, différents dispositifs de protection ou de sécurité ont été adoptés :

En cas de surcharge, excès ou manque de tension, des relais provoquent, par leur fonctionnement, l'ouverture du disjoncteur ⁽¹⁾ et des contacteurs principaux, en même temps que la rupture du circuit d'excitation de la génératrice du groupe moteur-générateur.

(1) Le disjoncteur ne s'ouvre pas automatiquement, en récupération, sous l'influence d'une surcharge, comme il le ferait en traction ; l'intervention d'un relais est donc nécessaire pour provoquer son ouverture

Des dispositions sont prises également pour que, en cas de disjonction causée par la mise à la masse d'un moteur, les autres ne puissent pas débiter sur le court-circuit.

Enfin, les locomotives sont munies d'un dispositif dit de « Raté de récupération » qui a pour effet :

1° De produire une dépression dans la conduite générale du frein automatique soit lors du fonctionnement d'un relais, soit lorsque le contacteur de commande du groupe moteur-générateur d'excitation reste ouvert au moment de la mise en route de la récupération ou s'ouvre ensuite.

2° D'isoler les freins à air de la locomotive pendant le fonctionnement de la récupération, ces freins étant remis automatiquement en service dès que le freinage par récupération vient à cesser.

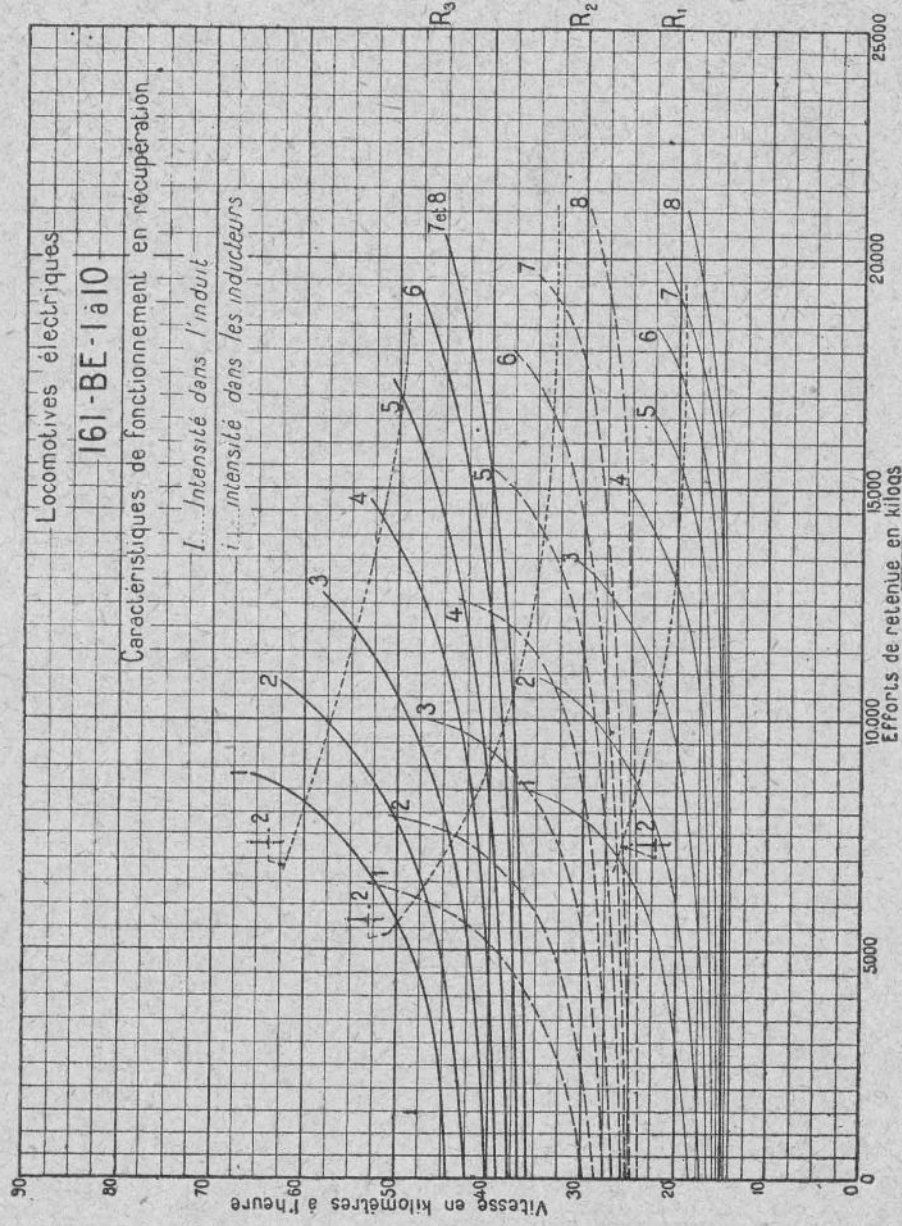
Ce dispositif est réalisé :

1° Par des électrovalves de freinage qui sont excitées lorsque la manette de régime se trouve sur l'une des positions R_1 , R_2 ou R_3 .

2° Par des électrovalves d'isolement qui sont excitées dès que la manette de régime est sur l'une des positions R_1 , R_2 ou R_3 , et que la manette d'accélération a quitté la position 0.

Les circuits d'alimentation de ces différentes électrovalves sont interrompus lorsque le disjoncteur s'ouvre par suite de fonctionnement d'un relais.

Fig. 17.



Si la récupération vient à cesser pour l'une des causes indiquées au 1° ci-dessus, le conducteur électrique en est averti au moyen d'un sifflet mis en action par l'air qui s'échappe alors de la conduite du frein automatique. Il peut à ce moment soit laisser

fonctionner le dispositif pour obtenir le ralentissement ou l'arrêt du train, soit arrêter ce fonctionnement en réarmant le disjoncteur après avoir ramené au zéro la manette d'accélération.

Les courbes de la figure 17 indiquent pour chacun des couplages série, série-parallèle et parallèle, ainsi que chacune des 8 positions de la manette d'accélération, pendant la marche en récupération, la valeur de l'effort total de retenue à la jante des roues de la locomotive en fonction de la vitesse de cette dernière.

On remarquera, pour chacun de ces couplages, la courbe correspondant à $\frac{I}{i} = 2$, c'est-à-dire à un courant, dans les induits, double du courant d'excitation traversant les inducteurs. Quoique, au cours des essais auxquels il a été procédé, on ait souvent atteint et même dépassé pour le rapport $\frac{I}{i}$ la valeur 3, il est recommandé aux conducteurs électriciens de ne pas aller au delà du chiffre 2 afin d'assurer toujours une commutation parfaite pour les moteurs et d'être certain de rester très loin de la zone où commence l'instabilité du fonctionnement de la récupération.

La mise en jeu de ce système de récupération se fait sans aucune difficulté, et, comme ceux d'ailleurs dont il sera parlé plus loin, il a toujours parfaitement fonctionné. Au cours des essais il a permis, par le seul freinage dû à la récupération, la descente de trains de 400 tonnes, locomotive non comprise, sur des déclivités de 30 millimètres par mètre.

Locomotives 161-CE-1 à 10. DESCRIPTION.

Chaque locomotive se compose d'une caisse unique reposant sur deux trucks comportant chacun trois essieux moteurs et un bissel. Les deux trucks sont reliés ensemble par un attelage spécial dont il sera parlé plus loin. D'après ce qui précède, on voit que ces locomotives, représentées par les figures 18 et 19 qui en donnent les principales dimensions, sont du type 1. C + C. 1.

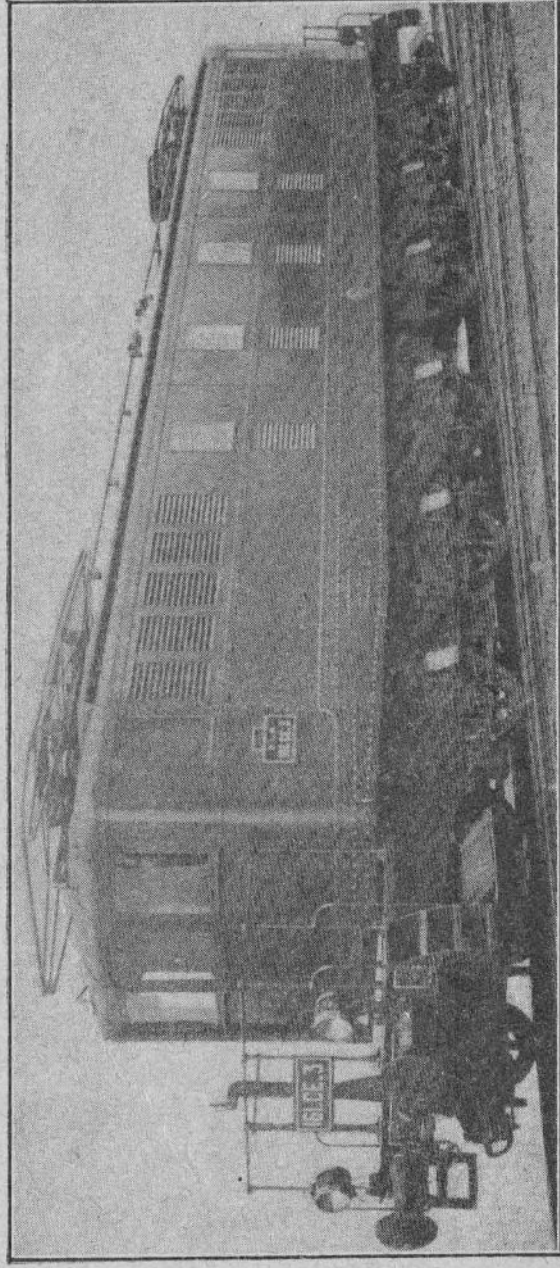


Fig. 18.

de la caisse proprement dite, qui est assemblée avec lui. Au-dessous de ce châssis, sont fixées les crapaudines, en acier moulé, des pivots inversés ainsi que les pièces d'appuis latéraux. Ces crapaudines reposent sur des rotules en bronze de 300 mm de rayon, dont l'une est fixée invariablement au châssis du truck correspondant; l'autre rotule au contraire possède un déplacement longitudinal de 30 mm de façon à permettre l'inscription de la locomotive dans les courbes.

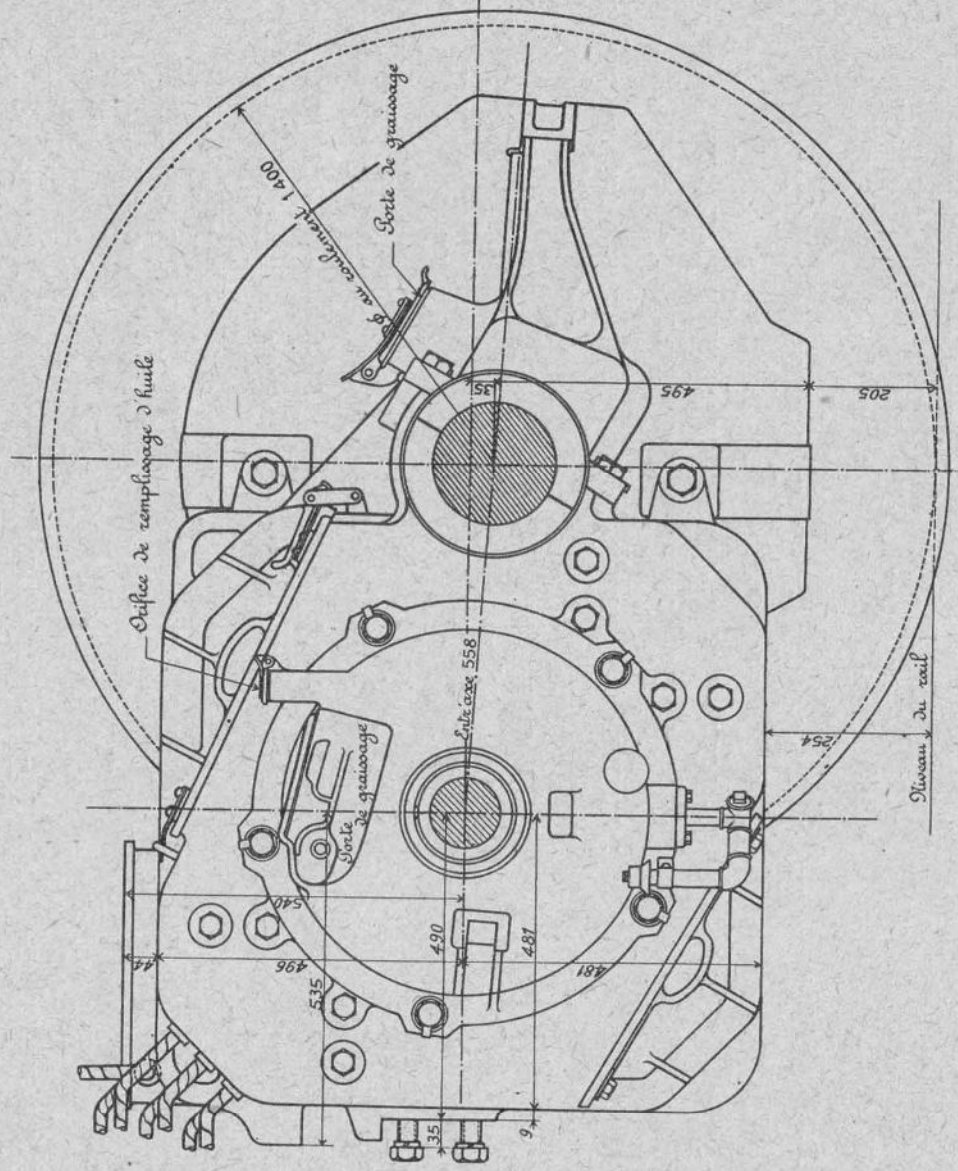
Les appuis latéraux comportent des ressorts à boudin dont la bande de mise en place est de 3 600 kg environ. On a utilisé pour leur disposition les propriétés du triangle de Robert.

Les caisses sont à couloir central de 1 m de largeur, Elles comportent à chacune de leurs extrémités une cabine de conduite de 1 350 m de longueur et 2 800 m de largeur à laquelle on accède par la plateforme disposée à l'avant de chacun des trucks.

Les Moteurs de traction.

Les moteurs de traction, au nombre de six par locomotive, sont du type LC-3455 à excitation série et suspension par le nez de la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques (voir figure 20). Leurs caractéristiques principales sont détaillées dans le tableau V figurant plus loin. Chaque moteur repose d'un côté sur les fusées intérieures de l'essieu correspondant par

Fig. 20.



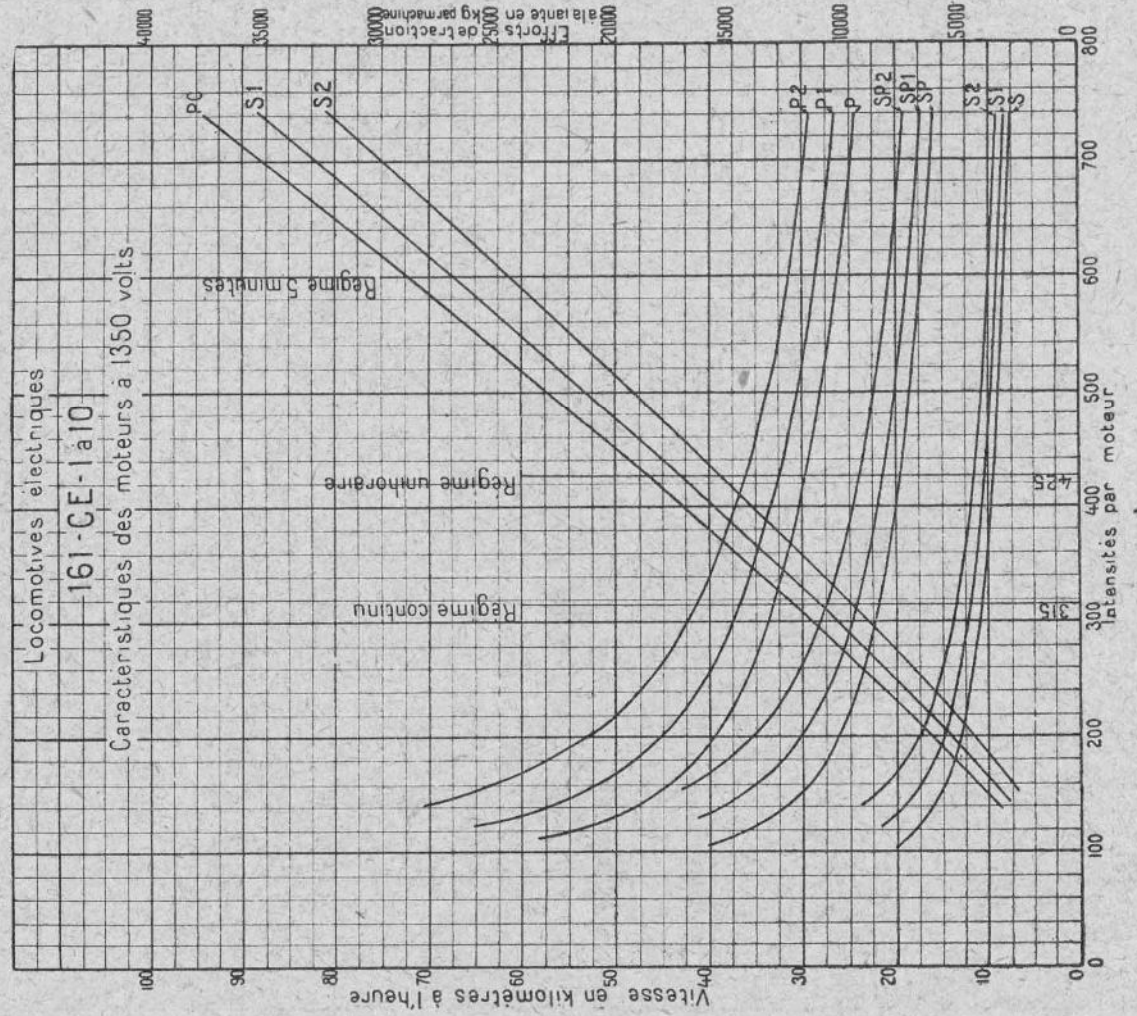
l'intermédiaire de coussinets munis de tampons graisseurs; de l'autre côté, il est suspendu élastiquement par des ressorts en spirale. L'attaque de l'essieu se fait par deux trains d'engrenages élastiques en acier (Roue 76 dents — Pignon 18 dents).

Chaque roue dentée comporte un centre calé et claveté à la presse sur l'essieu. Ce centre est entouré par la couronne dentée d'une seule pièce qui est entraînée par lui élastiquement au moyen de ressorts à boudin emprisonnés entre les deux et travaillant toujours à la compression.

Les moteurs de traction des locomotives 161-CE sont à 4 pôles et 4 lignes de balais sur le collecteur. Les induits sont bobinés pour fonctionner sous 750 volts de façon à permettre les trois couplages série (6 induits en série), série-parallèle (3 induits en série), parallèle (2 induits en série).

La marche avec excitation réduite est réalisée, non pas en shuntant la totalité des enroulements série d'excitation, mais en mettant hors circuit une partie de ces enroulements, soit 20 % ou 40 %.

Fig. 21.



L'intensité du courant dans un moteur est de 315 ampères en régime continu, 425 ampères en régime unihoraire et 600 ampères si la durée d'application de ce courant ne doit pas dépasser cinq minutes.

Les courbes de la figure 21 représentent les caractéristiques des moteurs de traction de ces locomotives.

Machines auxiliaires.

Chaque locomotive comporte deux groupes compresseurs et deux groupes d'excitation et ventilation qui fournissent d'une part l'air nécessaire au refroidissement des moteurs et d'autre part le courant d'excitation des moteurs de traction pendant le fonctionnement de la locomotive en récupération.

Les compresseurs sont du type F-1800 de la Compagnie des Freins Westinghouse. Ils comportent deux cylindres verticaux, accolés l'un à l'autre, de 100 mm de course et de 150 mm d'alésage; ils sont capables de refouler chacun, par minute, à une pression de 8 kg par cm², environ 1 400 litres d'air mesurés à la pression atmosphérique.

Chaque compresseur est commandé directement par un moteur de 20 chevaux, à excitation série, tournant à 550 tours sous 1 350 volts.

Les deux groupes d'excitation et ventilation sont composés chacun d'un moteur entraînant deux ventilateurs et une excitatrice à basse tension pour l'excitation des moteurs de traction pendant la marche de la locomotive en récupération.

Le moteur à quatre pôles principaux et pôles de commutation est à excitation compound: il est muni d'un enroulement d'excitation shunt prédominant et d'un enroulement série peu important, agissant dans le même sens, utile surtout pendant le démarrage.

L'induit comprend deux enroulements superposés dans les mêmes encoches et reliés chacun à un collecteur: ces deux enroulements sont montés en série sous la tension 1 500 volts de la ligne. Il résulte de ce qui précède que la caractéristique de ce moteur est légèrement compound et que sa vitesse varie sensiblement avec la tension et peu avec la charge.

Le démarrage du moteur se fait en deux temps: les résistances en circuit au premier temps étant éliminées au second. Il est obtenu soit par la manœuvre d'un interrupteur spécial placé dans chaque cabine, soit automatiquement dès que la manette de régime d'un manipulateur est mise sur l'une des positions de marche en récupération.

En série avec l'induit du moteur sont montés une résistance permanente de protection et le primaire d'un transformateur dont le secondaire est intercalé sur le circuit d'alimentation de l'enroulement d'excitation shunt du moteur. Cette disposition a pour but de permettre au courant, dans cet enroulement shunt, de suivre rapidement les variations de tension en ligne et d'éviter ainsi, à ce moment, des augmentations ou diminutions importantes du courant traversant l'induit du moteur.

La puissance continue du moteur est de 25 chevaux correspondant à la puissance nécessaire à la ventilation des moteurs de traction; sa vitesse de fonctionnement de 1 900 tours. Il est capable en plus de fournir, sans échauffement anormal, une puissance de 50 chevaux pendant deux heures pour la marche en récupération.

L'excitatrice, commandée par le moteur est à quatre pôles principaux et pôles de commutation avec circuit magnétique peu saturé. Sur ce dernier sont disposés deux enroulements inducteurs: un premier alimenté par la batterie d'accumulateurs de la locomotive, dont l'effet est réglable par un rhéostat commandé par la manette d'accélération; un deuxième, agissant en sens inverse du premier, est traversé par le courant renvoyé à la ligne par la locomotive pendant la récupération. Ce dernier enroulement (voir plus loin la figure 28) est monté en série avec une résistance et cet ensemble, shunté par une impédance à forte réactance, a pour effet de réduire l'influence des variations de tension en ligne pendant la récupération.

L'excitatrice peut fournir d'une manière continue une puissance de 15 kw correspondant à 315 ampères et 48 volts. Elle peut de plus donner pendant cinq minutes une puissance de 35 kw, soit 500 ampères et 70 volts. L'excitatrice de chaque groupe débite dans un circuit comprenant les inducteurs, montés en série, de trois moteurs de la locomotive.

Comme il a été indiqué ci-dessus, aux extrémités de l'arbre de chacun de ces groupes sont installés deux ventilateurs débitant environ 165 m³ d'air par minute, sous une pression de 105 mm d'eau, pour le refroidissement des moteurs de traction.

Les groupes d'excitation et ventilation sont protégés par un relais provoquant, en cas de surcharge, l'ouverture des contacteurs principaux, et du contacteur commandant ces groupes. Pour éviter le fonctionnement du relais, lors de la pointe de courant qui se produit au moment du démarrage, ce relais est shunté par un fusible.

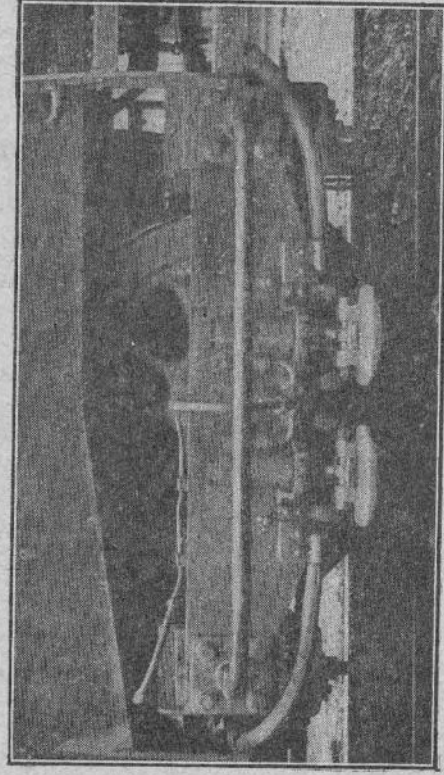
Appareils de prise de courant.

Les locomotives 161 CE-1 à 10 sont munies des appareils nécessaires pour la captation du courant d'une part sur le rail conducteur et d'autre part sur les lignes aériennes.

Ces appareils sont des types unifiés adoptés pour toutes les locomotives de la Compagnie P.-L.-M.

La figure 22 représente la disposition adoptée pour l'installation des frotteurs fixés aux bissels et captant le courant sur le rail conducteur.

Fig. 22.



Circuit principal.

Le circuit principal qui a son origine aux appareils de prise de courant comporte tous les appareils nécessaires au couplage, au démarrage et au fonctionnement des moteurs proprement dits de la locomotive. Le schéma de la figure 23 indique la disposition et l'ordre de fonctionnement de ces différents appareils qui sont les suivants :

Les contacteurs de prise de courant analogues à ceux déjà décrits pour les locomotives 161-BE et fonctionnant de la même façon ;

Les contacteurs de mise à la terre, au nombre de deux en série, dont l'un est shunté par une résistance de deux ohms et s'ouvre le premier ;

L'interrupteur général constitué par un contacteur qui assure la coupure définitive du circuit principal après ouverture du disjoncteur ;

Le disjoncteur ultra-rapide, qui est shunté par une résistance de deux ohms, sert à limiter le courant absorbé par le circuit principal. Cet appareil se ferme à distance grâce à une commande électromagnétique mise en jeu par la manœuvre d'un interrupteur placé dans chaque cabine.

Il reste fermé sous l'influence d'une bobine, dite de maintien, alimentée par la batterie de la locomotive.

Le disjoncteur s'ouvre directement, aussi bien en traction qu'en récupération, dès que le courant qui le traverse dépasse 2 000 ampères environ. Il s'ouvre aussi indirectement sous l'action du relais à maximum de basse tension dont il sera question plus loin et qui produit la rupture du circuit de sa bobine de maintien.

Les *contacteurs de résistances* sont à commande individuelle électropneumatique.

Les *commutateurs de couplage*, qui assurent un groupement convenable des moteurs (voir figure 24) pour chacun des couplages aussi bien en traction qu'en récupération, sont à arbre à cames commandé électropneumatiquement.

Les *commutateurs de freinage*, au nombre de trois, sont des appareils à tambours à commande électropneumatique. Ils assurent pour la marche en récupération le groupement convenable des inducteurs des moteurs de traction et des excitatrices ainsi que la mise en circuit des enroulements anticompound de ces excitatrices.

Les *inverseurs*, au nombre de deux, sont des appareils à tambours à commande électropneumatique. Les contacts de ces appareils ont été repérés par la lettre I sur le schéma de la figure 23 qui, par simplification, n'indique pas le détail des différentes connexions correspondantes.

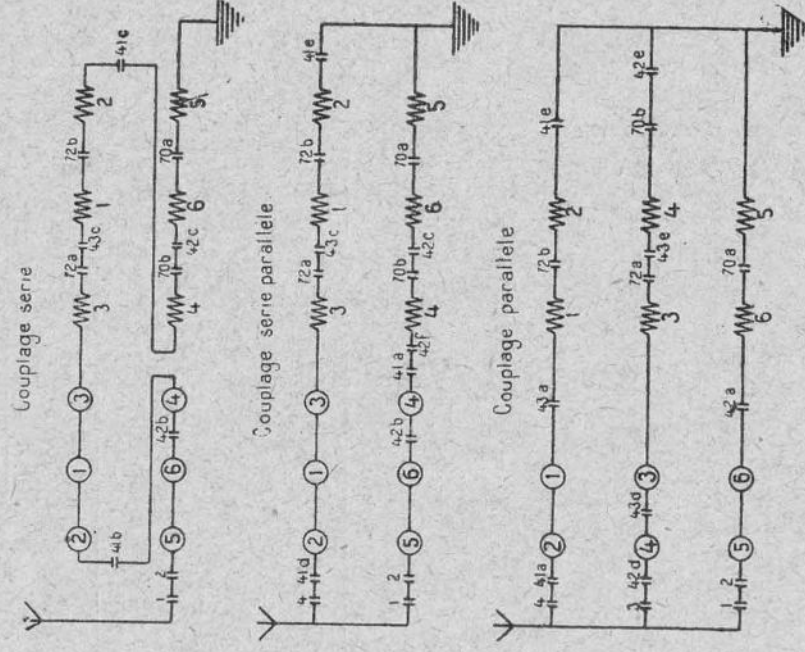
Les *appareils d'isolement des moteurs*, au nombre de six, comportent chacun un tambour manœuvrable à la main et permettant d'isoler un moteur en cas d'avarie.

Les *commutateurs de shuntage*, au nombre de quatre, comportent chacun un certain nombre de contacteurs dont la commande simultanée est assurée par un arbre à cames à commande électropneumatique.

Les *relais* sont les suivants :

- 1° Un relais de surtension fonctionnant vers 1 800 volts;
- 2° Un relais à minimum de haute tension réglé à 800 volts environ ;
- 3° Trois relais de surcharge montés sur le circuit de chacun des groupes de deux moteurs;
- 4° Un relais différentiel de tension fonctionnant en récupération seulement et destiné à produire automatiquement le couplage des moteurs sur la ligne dès qu'il y a sensiblement égalité entre la tension de cette dernière et celle des moteurs;
- 5° Un relais de raté de récupération, combiné avec un relais polarisé, assurant la sécurité de marche en récupération.

Fig. 24.



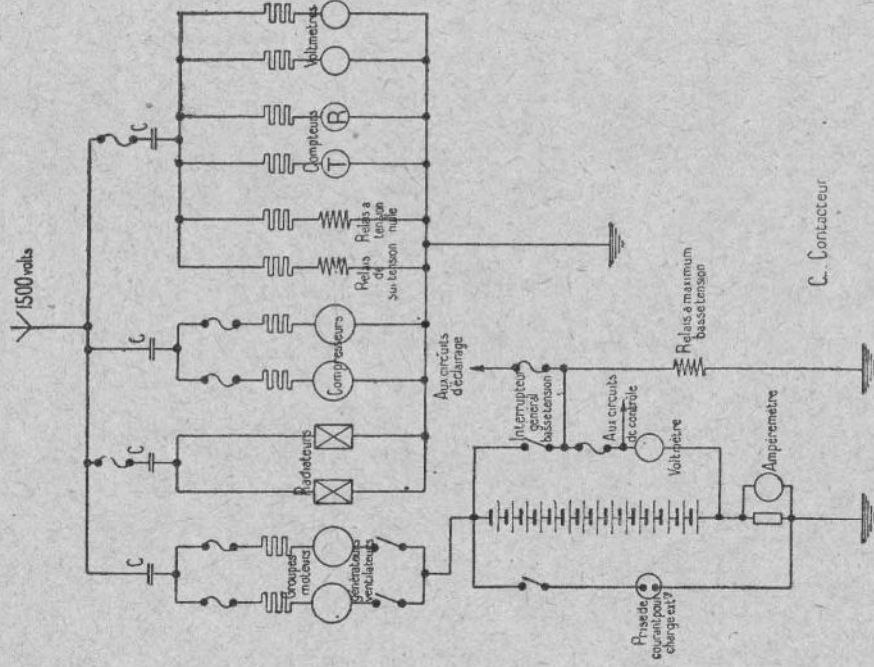
Les *parafoudres* installés sur ces locomotives sont simplement constitués par des résistances de décharge débitant de trois à quatre ampères et branchées entre les canalisations venant des appareils de prise de courant et la masse de la locomotive.

Circuits auxiliaires à 1 500 volts.

Les circuits auxiliaires à 1 500 volts (figure 25) sont branchés (sauf celui des groupes d'excitation) sur le circuit principal en amont des disjoncteurs et de l'interrupteur général.

Ils alimentent les groupes d'excitation et ventilation, les compresseurs, les radiateurs ainsi que les relais de tension les voltmètres et les compteurs.

Fig. 25.



Circuits à basse tension.

Les circuits à basse tension comprennent, comme pour les locomotives précédemment décrites, tout l'ensemble des circuits de contrôle, les canalisations d'éclairage intérieur et extérieur de la locomotive, enfin celles de quelques appareils spéciaux d'aver-tissement ou d'appel.

L'alimentation de ces circuits se fait par une batterie d'accumulateurs de même type que pour les locomotives 161-BE.

L'installation de cette batterie, sa charge et sa protection sont réalisées d'une façon analogue.

Cabines de manœuvre.

A chacune des extrémités de la caisse se trouve une cabine, qui contient tous les appareils nécessaires à la conduite de la locomotive et au contrôle de ses différents appareils.

Cette cabine comporte :

Sur sa paroi avant, une porte d'entrée placée au milieu et deux baies vitrées munies d'essuie-glace à main ;

Sur chacune de ses faces latérales, une baie vitrée à châssis mobile ;

Sur sa paroi arrière, la porte donnant accès au couloir central de la caisse.

Les principaux appareils installés dans chaque cabine de manœuvre sont analogues à ceux déjà décrits ; le manipulateur seul présente des dispositions particulières à cause de la récupération.

Ce manipulateur, dont la figure 26 montre la disposition de la table supérieure, est disposé

contre la face avant de la cabine vers la gauche ; il possède trois manettes comme tous les appareils similaires de nos locomotives :

1° La manette de prise de courant, du type unifié, qui peut occuper quatre positions ;

2° La manette de régime qui peut occuper huit positions identiques à celles déjà indiquées pour les locomotives de la série précédente ;

3° La manette d'accélération qui sert pour la marche en traction comme pour celle en récupération et peut occuper les différentes positions détaillées ci-après :

Marche en traction :

Position 0 ou de repos ;

Quatorze positions pour l'élimination des résistances de démarrage au couplage série ;

Position S de marche normale au couplage série sans résistances ;

Dix positions pour la transition du couplage série au couplage série-parallèle et l'élimination des résistances ;

Position SP de marche normale au couplage série-parallèle sans résistances ;

Huit positions pour la transition du couplage série-parallèle au couplage parallèle et l'élimination des résistances ;

Position P de marche normale au couplage parallèle sans résistances.

Marche en récupération :

Position 0 ou de repos, correspondant à la coupure du circuit principal et de celui d'excitation des génératrices des groupes d'excitation et ventilation ;

Quinze positions, dont quatorze sont numérotées de 1 à 14 et la dernière coïncide avec la position marquée S pour la marche en traction au couplage série.

Ces quinze positions correspondent pendant la marche en récupération de la locomotive à des vitesses et des efforts de retenue variables.

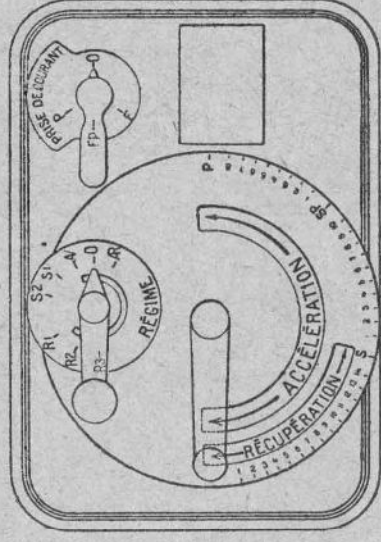
Fonctionnement et conduite des locomotives 161. CE en traction et en récupération

Le fonctionnement et la conduite de ces locomotives pour la remorque des trains, c'est-à-dire en traction, n'a pas donné lieu à remarque particulière. Il suffira donc de faire connaître leurs principales caractéristiques de fonctionnement :

Les courbes de la figure 27 donnent pour les couplages série, série-parallèle et parallèle, ainsi que pour les deux crans de shuntage correspondant à chacun de ces couplages, les vitesses de la locomotive en fonction des efforts totaux à la jante de ses roues.

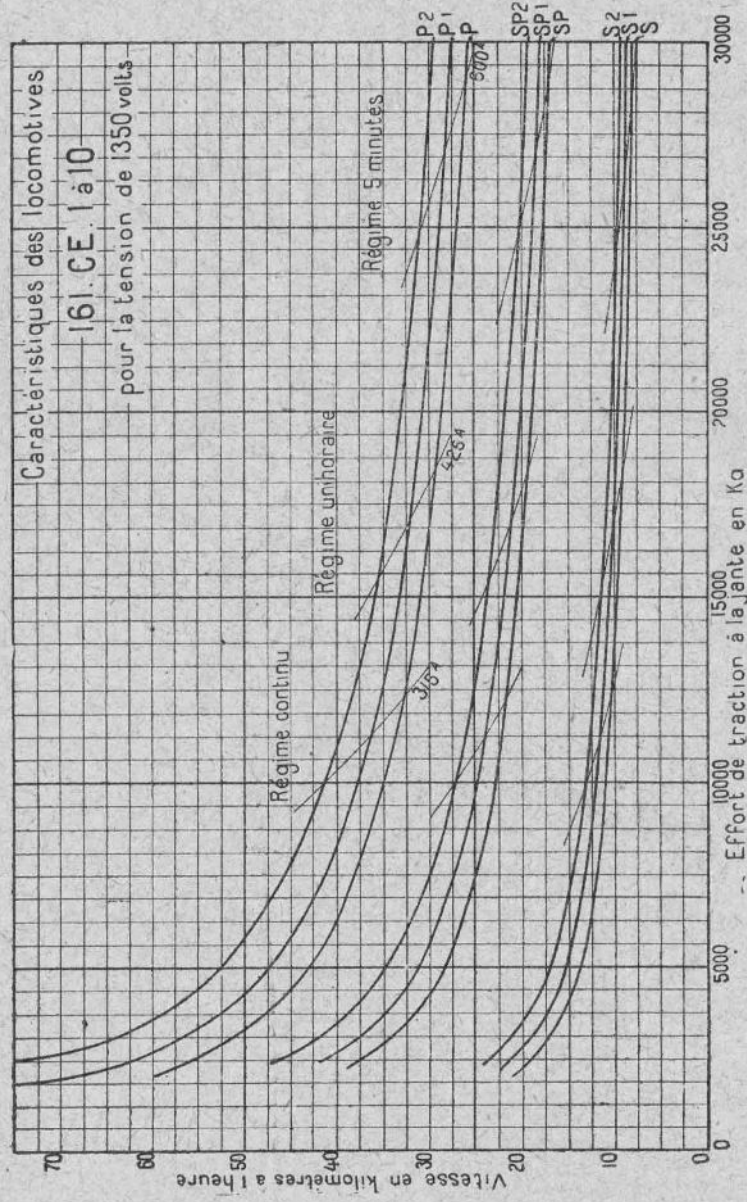
Pour la marche en récupération au contraire, il est utile, comme pour les locomotives de la série précédente, de rappeler les principes sur lesquels elle est fondée et d'indiquer les dispositions adoptées pour sa réalisation.

Fig. 26.



En récupération les moteurs de la locomotive fonctionnent avec excitation indépendante anticomposé par le courant renvoyé à la ligne par la locomotive ; on réalise ainsi leur stabilité de fonctionnement en parallèle avec les sous-stations qui alimentent la ligne.

Fig. 27.

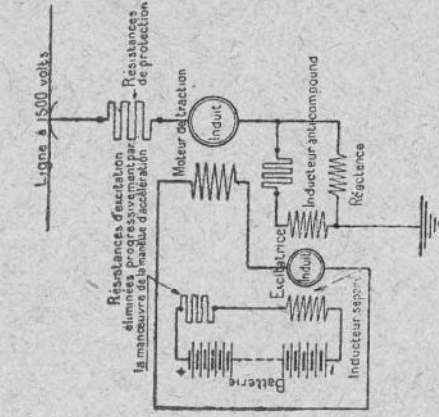


La disposition de principe des différents appareils pendant la récupération est indiquée par le schéma de la figure 28 où les moteurs de la locomotive sont représentés par un seul d'entre eux.

En partant de la ligne à 1500 volts on rencontre :

- des résistances de protection dont la valeur varie avec le couplage adopté, série, série-parallèle ou parallèle, mais qui restent invariables au cours de la marche à un même couplage ;

Fig. 28.



- les inducts des moteurs de la locomotive ;
- les enroulements d'excitation anticomposé des excitatrices.

Chacun de ces derniers enroulements est shunté par une impédance à forte réactance destinée à amplifier son effet lors des variations de tension en ligne et, par conséquent, à éviter les variations brusques du courant de récupération.

L'induit de chacune des deux excitatrices forme un circuit local avec les trois inducteurs de moteurs de traction dont elle assure l'excitation. Ces trois inducteurs restent toujours montés en série, quel que soit le couplage utilisé pour les inducts. Le courant nécessaire à l'excitation des excitatrices est fourni par la batterie d'accumulateurs de la locomotive et réglé par la manœuvre de la manette d'accélération du manipulateur.

Comme il est dit plus haut, cette dernière peut occuper, pour la marche en récupération, quinze positions coïncidant avec celles de la marche en traction au couplage série (voir figure 26).

Le tableau II ci-après donne pour chacun des crans de marche en récupération, les valeurs des courants d'excitation des excitatrices et des moteurs de traction.

TABLEAU II
RÉCUPÉRATION
VALEURS DES COURANTS D'EXCITATION DES EXCITATRICES
ET DES MOTEURS

POSITIONS de la manette d'accélération pendant la récupération	COURANT d'excitation de l'excitatrice	COURANT dans un inducteur de moteur (avec courant induit nul)
1.....	1,33	114 ^a
2.....	1,58	128
3.....	1,81	138
4.....	2,03	148
5.....	2,25	172
6.....	2,55	192
7.....	2,83	212
8.....	3,20	232
9.....	3,56	262
10.....	4,06	296
11.....	4,78	338
12.....	5,56	388
13.....	6,25	430
14.....	7,50	480
15.....	9,40	536

Les chiffres de ce tableau ont été établis pour une tension de batterie égale à 70 volts.

Comme pour les locomotives 161 BE, la marche en récupération peut s'effectuer aux trois couplages déjà indiqués. L'ordre de fonctionnement des contacteurs et commutateurs est donné par le schéma de la figure 23.

Pour mettre en jeu la récupération on doit placer d'abord la manette de régime sur l'une des trois positions R₁, R₂ ou R₃ suivant le couplage choisi, puis la manette d'accélération sur le premier cran ; les moteurs de traction reçoivent ainsi leur excitation minimum, mais leur mise en circuit sur la ligne n'aura lieu, par suite de la fermeture des contacteurs principaux, que si la tension à leurs bornes est sensiblement égale à celle de la ligne. En général, ce résultat ne sera obtenu qu'en avançant la manette d'accélération sur les crans suivants afin de donner aux moteurs une excitation convenable.

Cette disposition, qui évite tout afflux important de courant au moment de l'amorçage de la récupération, est réalisée au moyen d'un relais différentiel de tension muni de deux enroulements agissant en sens inverse et soumis l'un à la tension aux bornes des moteurs, l'autre à celle de la ligne. Dès qu'il y a égalité entre ces tensions, le fonctionnement du relais provoque la fermeture des contacteurs principaux.

D'autre part, il est facile de voir que des variations de tension en ligne, même brusques, n'ont que peu d'influence sur le fonctionnement des locomotives en récupération ; dans ce cas, en effet, les résistances de protection limitent tout d'abord la variation du courant récupéré. Cette variation est de plus considérablement atténuée par l'action de l'enroulement anti-compound de l'excitatrice dont l'effet est encore amplifié momentanément par la réactance qui le shunte.

Pour la marche en récupération certains dispositifs de protection ou de sécurité ont été adoptés :

En cas de surcharge, excès ou manque de tension, la protection est assurée soit par des relais, soit par le disjoncteur qui s'ouvre dès que le courant récupéré dépasse une certaine valeur.

Le fonctionnement d'un relais provoque :

L'ouverture des contacteurs principaux après réinsertion d'une résistance limitant l'intensité du courant à couper par ces contacteurs.

La coupure du circuit des inducteurs des moteurs de la locomotive.

S'il s'agit d'un excès ou manque de tension, le fonctionnement du relais correspondant provoque également l'arrêt des groupes d'excitation.

Le fonctionnement du disjoncteur en s'ouvrant directement sous l'influence d'un excès de courant a les mêmes effets que le fonctionnement d'un relais de tension, mais il provoque en plus l'ouverture de l'interrupteur général.

Outre les appareils de protection qui viennent d'être indiqués, les locomotives sont munies d'un dispositif dit de « raté de récupération », analogue à celui déjà décrit pour les locomotives 161 BE, mais qui réalise plus complètement les conditions de sécurité demandées pour la marche en récupération.

Ce dispositif a pour effet :

1° De produire une dépression dans la conduite générale du frein automatique soit lors du fonctionnement de l'un des relais de surcharge ou de tension, soit lorsque le courant de récupération diminue suffisamment pour devenir presque nul ;

2° D'isoler les freins à air de la locomotive pendant le fonctionnement de la récupération, ces freins étant remis automatiquement en service dès que le freinage par récupération vient à cesser.

Ce dispositif est réalisé :

1° Par des électrovalves de freinage qui sont excitées lorsque la manette de régime se trouve sur l'une des positions R_1 , R_2 ou R_3 ;

2° Par des électrovalves d'isolement qui sont excitées dès que la manette de régime est sur l'une des positions R_1 , R_2 ou R_3 et que la manette d'accélération a quitté la position 0 ;

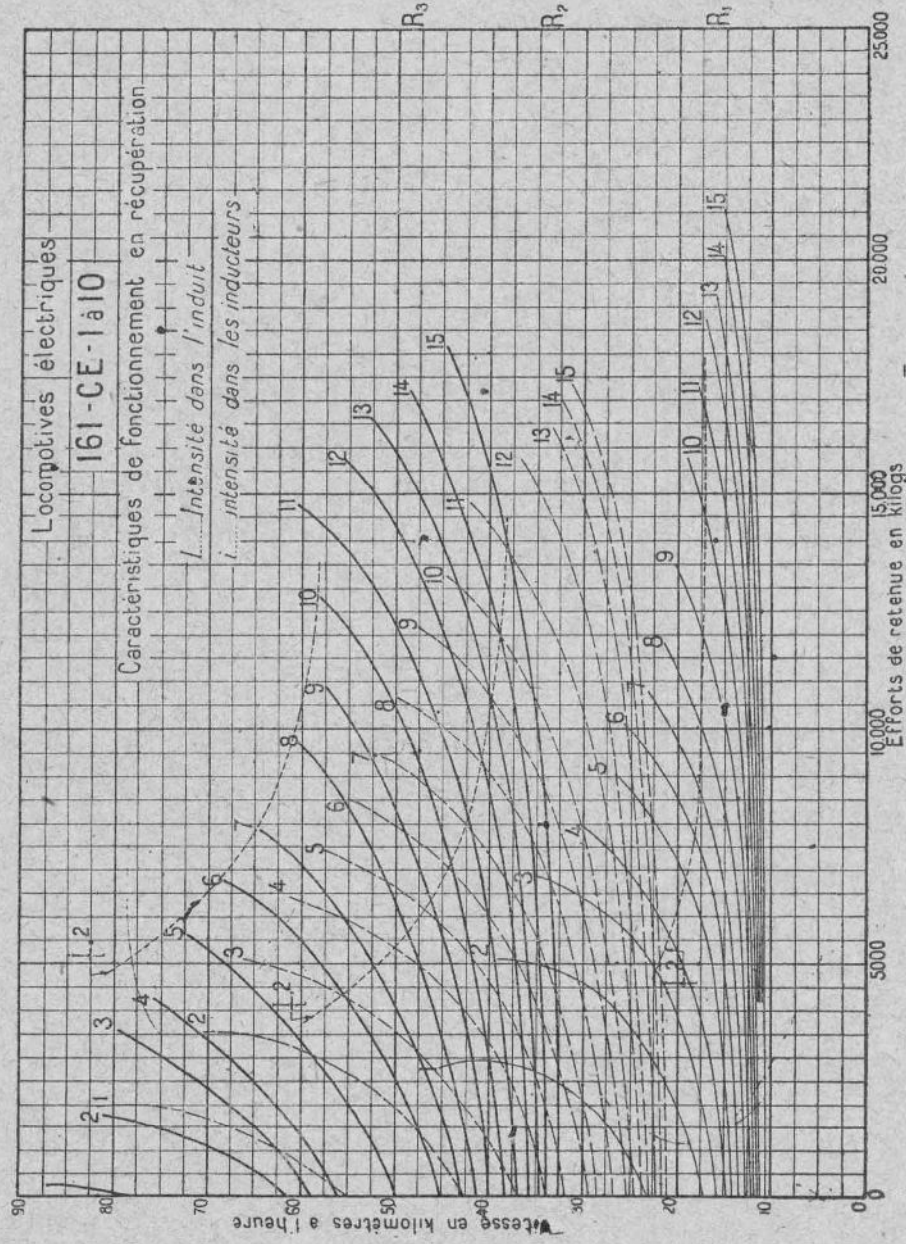
3° Par un relais spécial combiné avec un relais polarisé, traversé par une fraction du courant de récupération, qui a pour effet, lorsque ce dernier devient sensiblement nul, de provoquer, en plus de la mise en action des freins, l'ouverture des contacteurs principaux.

Comme précédemment, le conducteur électrique est averti au moyen d'un sifflet actionné par l'air qui s'échappe alors de la conduite du frein automatique. Il peut, à ce moment, soit

laisser fonctionner le dispositif pour obtenir le ralentissement ou l'arrêt du train soit arrêter ce fonctionnement en ramenant au zéro la manette d'accélération et réarmant les relais.

Les courbes de la figure 29 indiquent pour chacun des couplages série, série-parallèle et parallèle, ainsi que pour chacune des quinze positions de la manette d'accélération pendant la marche en récupération, la valeur de l'effort total de retenue à la jante des roues de la locomotive en fonction de la vitesse de cette dernière.

Fig. 29.



La mise en jeu de ce système de récupération ne présente aucune difficulté et se fait automatiquement grâce au relais différentiel dont il a été parlé plus haut. Les résultats obtenus ont été les mêmes que pour la précédente série de locomotives.

Locomotives 161.DE-1 à 10

DESCRIPTION

Chaque locomotive se compose de deux demi-locomotives sensiblement identiques au point de vue mécanique, mais différant par la nature et la disposition des appareils électriques que chacune d'elles contient. Les figures 30 et 31 représentent une locomotive 161.DE et en donnent les dimensions principales.

Chaque demi-locomotive comporte une caisse dont la charpente est fixée sur un truck

muni de trois essieux moteurs et un essieu porteur formant bissel. Elle est reliée à l'autre demi-locomotive par un attelage à rotule. Ces locomotives sont donc du type 1.C + C.1.

Fig. 30.

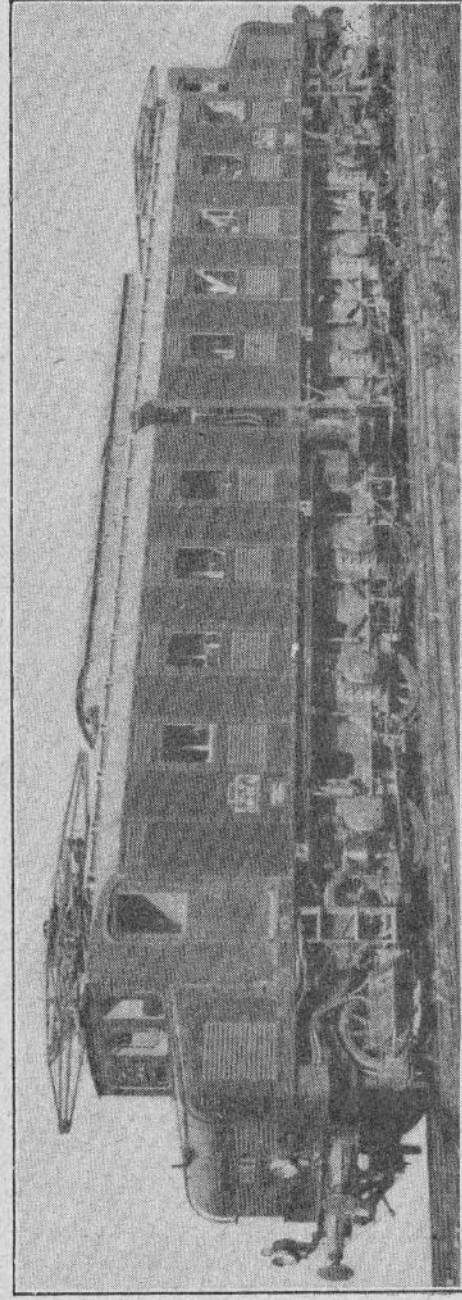
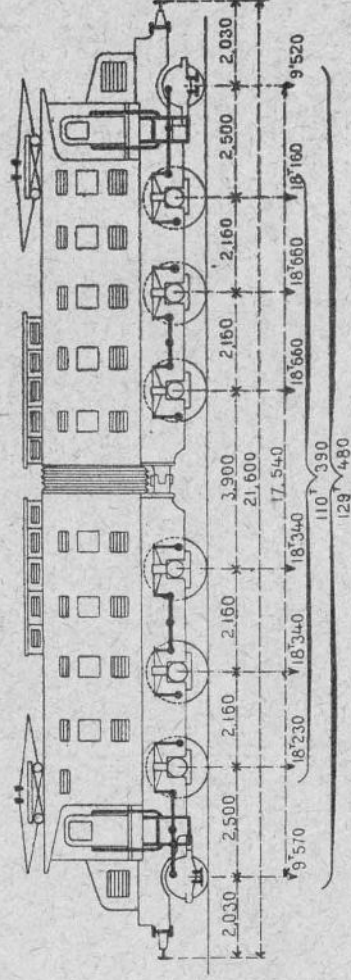


Fig. 31.



Les Trucks.

Le châssis du truck de chaque demi-locomotive est constitué par des longerons en tôle de 28 millimètres d'épaisseur écartés de 1,720 m et placés par conséquent à l'extérieur des roues. Ces longerons sont entretoisés par des pièces en acier moulé et des traverses constituées par des assemblages de tôles et profilés; les traverses placées aux extrémités des trucks portent soit les pièces d'attelage entre demi-machines, soit des organes de choc et traction de la locomotive elle-même.

L'attelage entre demi-machines est identique, comme disposition générale, à celui représenté par la figure 3 pour les locomotives 161.BE. Avec bandages de 75 millimètres d'épaisseur, le diamètre des essieux moteurs est de 1,440 m et celui des essieux de bissel de 1,010 m.

Les bissels sont du type à rappel par biellettes triangulaires avec déplacement possible de 100 millimètres de part et d'autre de la position normale. Les efforts de rappel varient de 1 350 à 3 480 kg.

Toutes les fusées intérieures des essieux sont munies de boîtes à huile avec tampons graisseurs; les fusées extérieures des essieux moteurs sont pourvues de boîtes Isothermos.

Les deux essieux moteurs arrière de chaque truck sont conjugués par des balanciers ; de même, l'essieu moteur avant est conjugué avec l'essieu de bissel au moyen d'un système de deux balanciers placés perpendiculairement l'un à l'autre. Cette disposition paraît préférable à celle adoptée sur les locomotives 161.CE, dans laquelle les trois essieux moteurs sont conjugués ensemble, l'essieu de bissel restant seul de son côté. Dans ce dernier cas, en effet, cet essieu de bissel peut subir en marche des décharges très importantes.

Les ressorts portant sur les boîtes Isothermos des essieux moteurs ont les caractéristiques suivantes :

Nombre de lames.....	9
Largeur des lames.....	120 mm
Épaisseur des lames.....	15 mm
Flexibilité par tonne.....	6,9 mm

Les Caisses.

Chaque demi-locomotive comporte une caisse dont la charpente est fixée sur le truck correspondant.

La longueur extérieure totale d'une caisse est de 9,780 m.

A l'avant se trouve un capot renfermant des machines auxiliaires dont il sera parlé plus loin. Après le capot est disposée une cabine, à laquelle on a accès par des marchepieds latéraux à la locomotive, et qui contient tous les appareils nécessaires à la conduite de cette dernière. Cette cabine a 2,800 m de large et 1,200 m de longueur. Le reste de la caisse comporte, depuis la cabine de manœuvre jusqu'à la face arrière située du côté de l'attelage entre demi-machines, un couloir central de 0,800 m de large, de part et d'autre duquel sont disposés la plupart des appareils électriques de la locomotive dans des compartiments fermés par des portes grillagées.

Les moteurs de traction.

Les moteurs de traction, au nombre de 6 par locomotive, sont du type GDTM 65/634 de la Compagnie Électromécanique, à excitation série et suspension par le nez (voir Fig. 32). Leurs caractéristiques principales sont détaillées dans le tableau V figurant in fine.

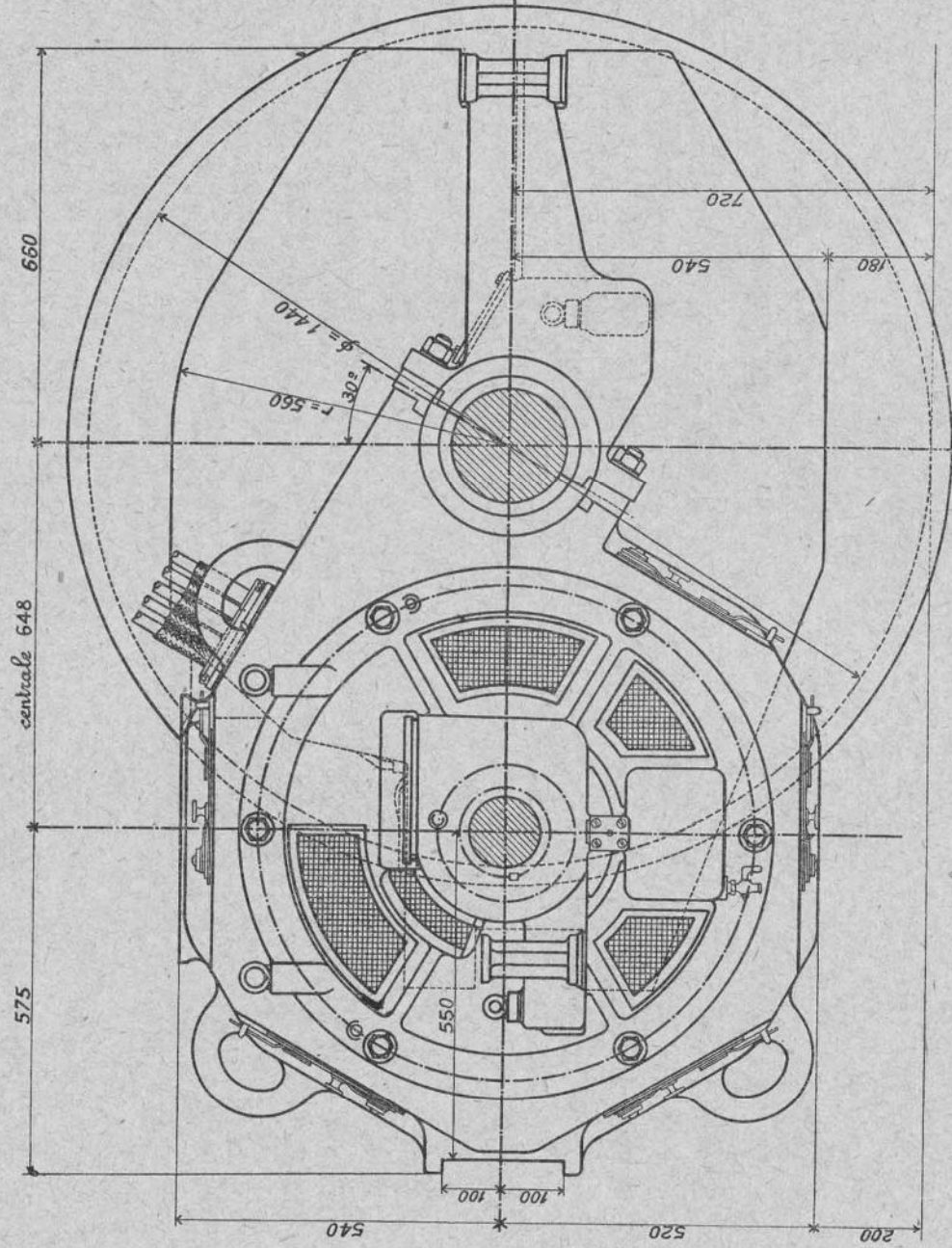
L'attaque de l'essieu se fait par deux trains d'engrenages non élastiques en acier (roue 87 dents, pignon 21 dents) ; chaque roue dentée comporte un centre calé et claveté à la presse sur le moyeu de la roue de roulement voisine. La couronne dentée en deux pièces est assemblée avec ce centre au moyen d'éclisses semi-circulaires à profil conique assurant ainsi un assemblage particulièrement rigide.

Il est bon de signaler que ce dispositif permet un réglage parfait des deux engrenages commandant un même essieu : ce résultat n'est pas toujours atteint avec les autres montages pour lesquels on constate souvent des différences considérables entre les puissances transmises par les deux trains d'engrenages de ce même essieu.

Les moteurs des locomotives 161.DE-1 à 10 sont à six pôles et six lignes de balais sur le collecteur. Les inducts sont bobinés pour fonctionner sous 750 volts de manière à permettre les trois couplages série (six inducts en série), série-parallèle (trois inducts en série), parallèle (deux inducts en série).

Le shuntage des inducteurs comporte une réduction de 17 % ou 38 % du nombre des ampères-tours d'excitation. Il est obtenu pour le premier de ces chiffres en shuntant une partie de l'enroulement inducteur par une résistance non inductive ; pour le second en mettant en court-circuit cette résistance.

Fig. 32.



L'intensité du courant par moteur est de 355 ampères en régime continu, 440 ampères en régime unihoraire et 650 ampères quand la durée d'application de ce courant ne doit pas dépasser cinq minutes.

Les courbes de la figure 33 représentent les caractéristiques des moteurs de traction des locomotives 161-DE-1 à 10.

Machines auxiliaires.

Chaque locomotive comporte deux groupes compresseurs, quatre groupes ventilateurs et un groupe moteur-générateur pour l'excitation des moteurs de traction pendant la récupération.

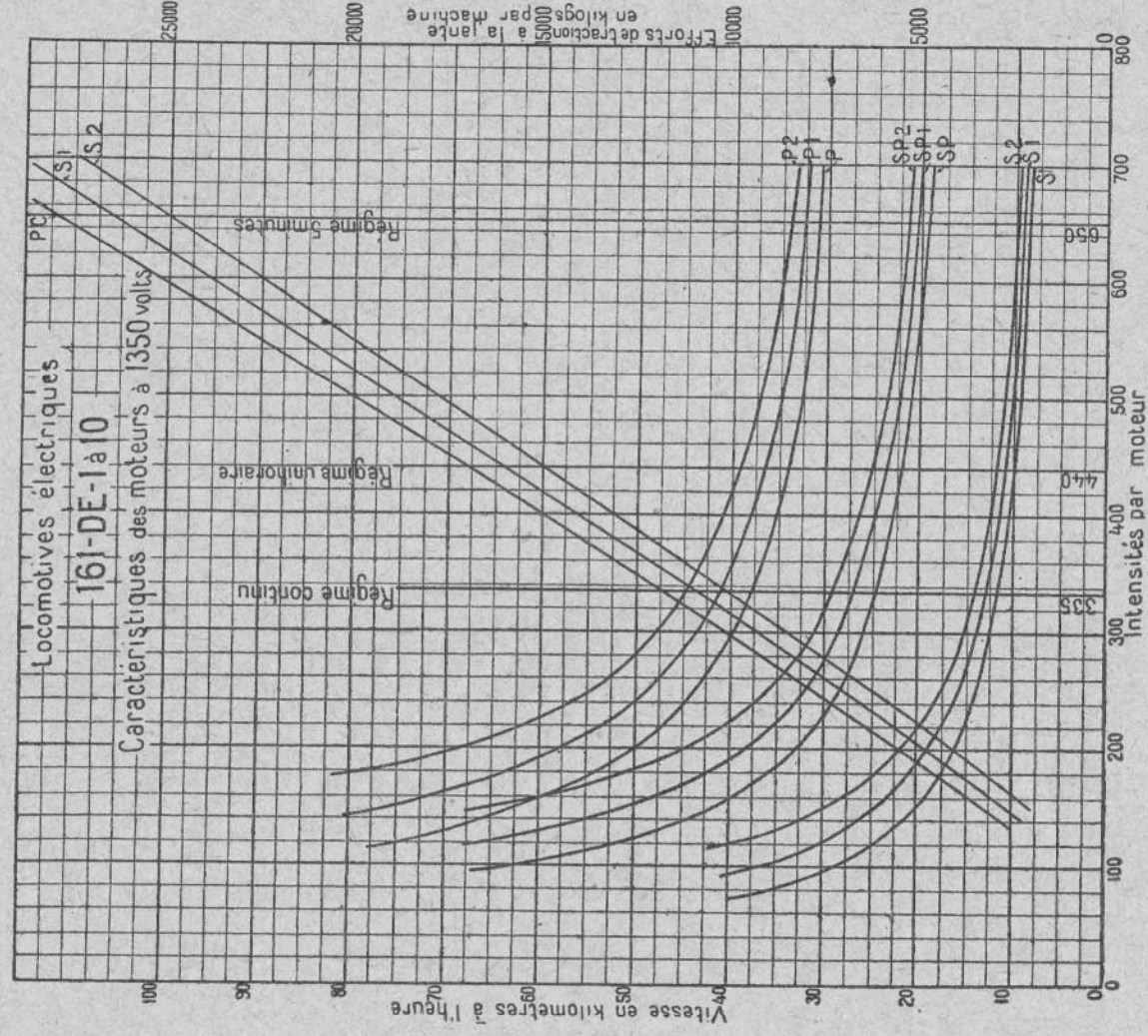
Les *compresseurs* proprement dits sont du type C-4 de la Société de Condensation et d'Applications Mécaniques. Ils comportent deux cylindres en V de 130 millimètres d'alésage et 140 millimètres de course et tournent à la vitesse de 420 tours par minute environ. Chacun d'eux peut refouler, à une pression de 8 kg par cm² et par minute, de 1 000 à 1 100 litres d'air mesurés à la pression atmosphérique.

Les compresseurs sont commandés directement par des moteurs de 13 chevaux tournant à

420 tours par minute sous 1 500 volts ; ils sont installés dans le capot placé à l'avant de l'une des demi-locomotives.

Les *ventilateurs* sont au nombre de quatre par locomotive, soit deux par demi-machine ; chacun d'eux est entraîné par un moteur de 7,5 chevaux tournant à 1 500 tours par minute et démarrant directement sous la tension du réseau. Le débit d'air d'un ventilateur est de 150 m³ par minute sous une pression de 100 millimètres d'eau.

Fig. 33.



Le *groupe moteur-générateur* pour l'excitation des moteurs de traction pendant la récupération est installé dans le capot placé à l'avant de l'une des demi-locomotives. Il se compose d'un moteur à 1 500 volts entraînant une génératrice à basse tension et une excitatrice.

Le moteur démarre directement sous 1 500 volts par simple fermeture d'un contacteur électromagnétique commandé par la manette de régime dès qu'elle est mise sur l'une des positions de marche en récupération. Afin de diminuer l'afflux de courant au moment du démarrage une résistance de cinq ohms reste constamment en circuit. La vitesse du moteur, et par conséquent celle du groupe, est peu sensible aux variations de la tension en ligne et de la

charge grâce aux dispositions indiquées plus loin ; elle se maintient entre 1 450 et 1 550 tours par minute.

Le moteur est à quatre pôles avec excitation compound ; ses inducteurs comportent deux enroulements : un enroulement à fil fin branché aux bornes de l'excitatrice et un enroulement série agissant dans le même sens que le précédent.

L'excitatrice est constituée par une petite dynamo bipolaire, avec pôles de commutation et excitation compound constituée par un enroulement shunt pris aux bornes de son induit et un enroulement concordant traversé par le courant du moteur.

La génératrice à basse tension est hexapolaire avec pôles de commutation ; elle possède un enroulement d'excitation shunt branché à ses bornes et un enroulement d'excitation série parcouru par le courant du moteur. La puissance en régime unihoraire est de 60 kilowatts correspondant à un débit de 1 200 ampères sous une tension de 50 volts.

Le groupe est protégé par un fusible placé sur le circuit du moteur et un limiteur de vitesse provoquant l'ouverture de son contacteur de démarrage et des contacteurs principaux si la vitesse atteint 1 900 tours.

Appareils de prise de courant.

Les locomotives 161. DE-1 à 10 sont munies des appareils nécessaires pour la captation du courant, soit sur le rail conducteur, soit sur les lignes aériennes.

Ces appareils sont des types unifiés adoptés sur toutes les locomotives de la Compagnie P.-L.-M.

Circuit principal.

Le circuit principal, est représenté par le schéma de la figure 34 qui indique la disposition et l'ordre de fonctionnement des différents appareils de ce circuit qui sont les suivants :

Les *contacteurs de prise de courant* analogues à ceux déjà décrits pour les précédentes séries de locomotives.

Les *contacteurs de mise à la terre* au nombre de deux en série.

Les *contacteurs principaux* constituent le système disjoncteur de la locomotive et s'ouvrent, sous l'action des relais après réinsertion, en deux temps, des résistances de démarrage.

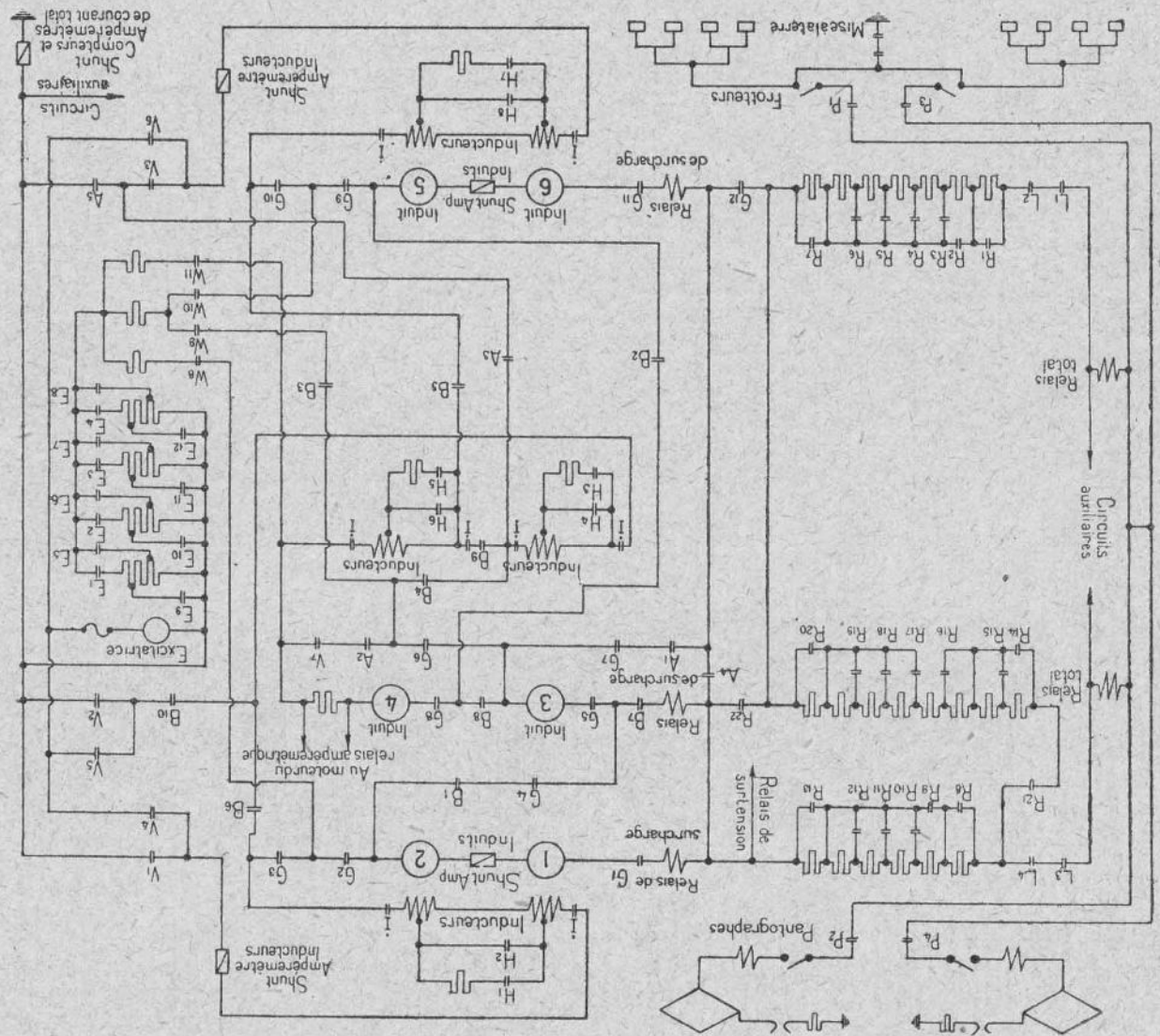
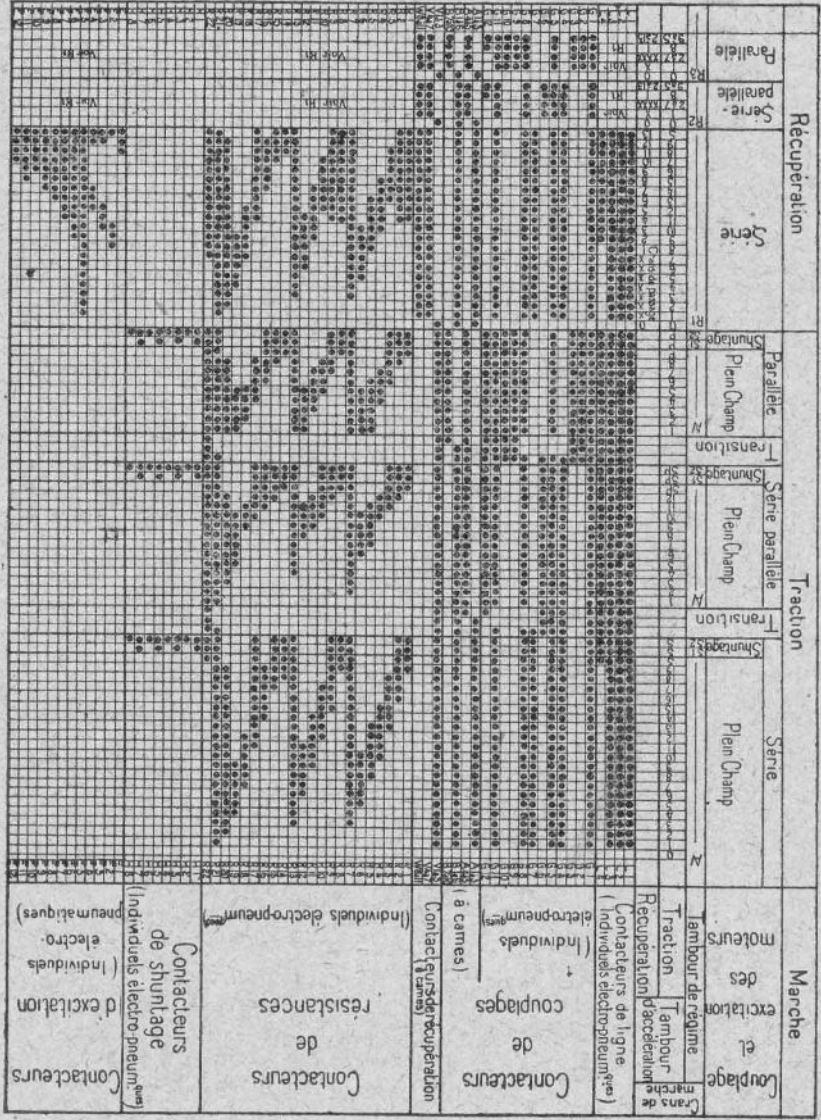
Les *contacteurs de résistance* sont à commande individuelle électro-pneumatique.

Les *commutateurs de couplage* au nombre de deux comportent un certain nombre de contacteurs dont le fonctionnement simultané est assuré par des arbres à cames à commande électropneumatique. Les différents couplages sont indiqués schématiquement par la figure 35.

Les *commutateurs de freinage* au nombre de deux sont constitués comme les précédents et assurent, pour la marche en récupération, le groupement convenable des inducteurs des moteurs de traction, des résistances de stabilisation ou de réglage et de la génératrice d'excitation.

Les *inverseurs* au nombre de deux sont analogues aux commutateurs qui précèdent.

Fig. 34.



Les *appareils d'isolement des moteurs* au nombre de six comportent chacun deux sectionneurs à couteaux manœuvrables à la main.

Les *contacteurs de shuntage* sont à manœuvre individuelle électropneumatique.

Les *relais* sont au nombre de huit :

Cinq relais de surcharge dont deux réglés à 1 200 ampères environ sont installés en parallèle sur le circuit de l'ensemble des moteurs et trois réglés à 700 ampères environ sont placés sur chacun des groupes de deux moteurs ;

Un relais de surtension fonctionnant vers 1 800 volts ;

Un relais à minimum de tension réglé pour 800 volts environ ;

Fig. 35.

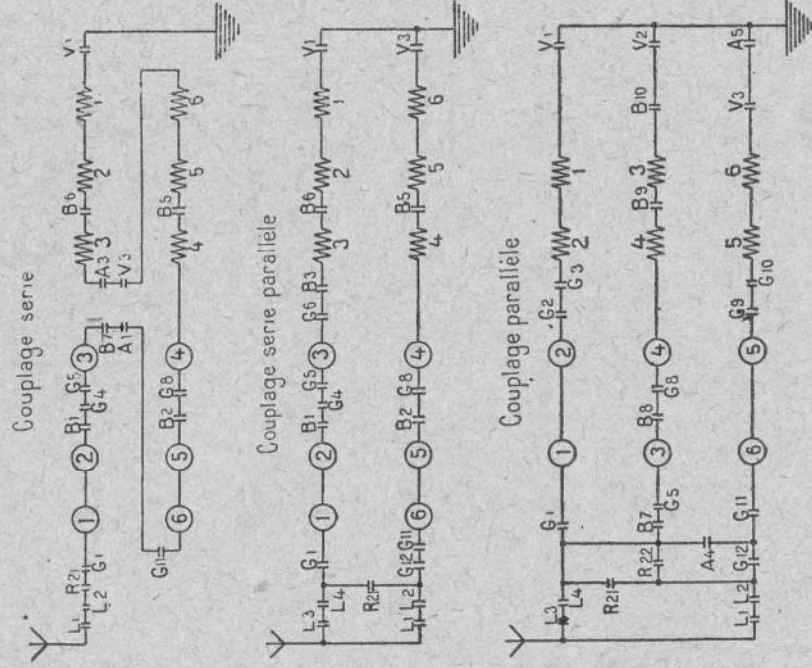
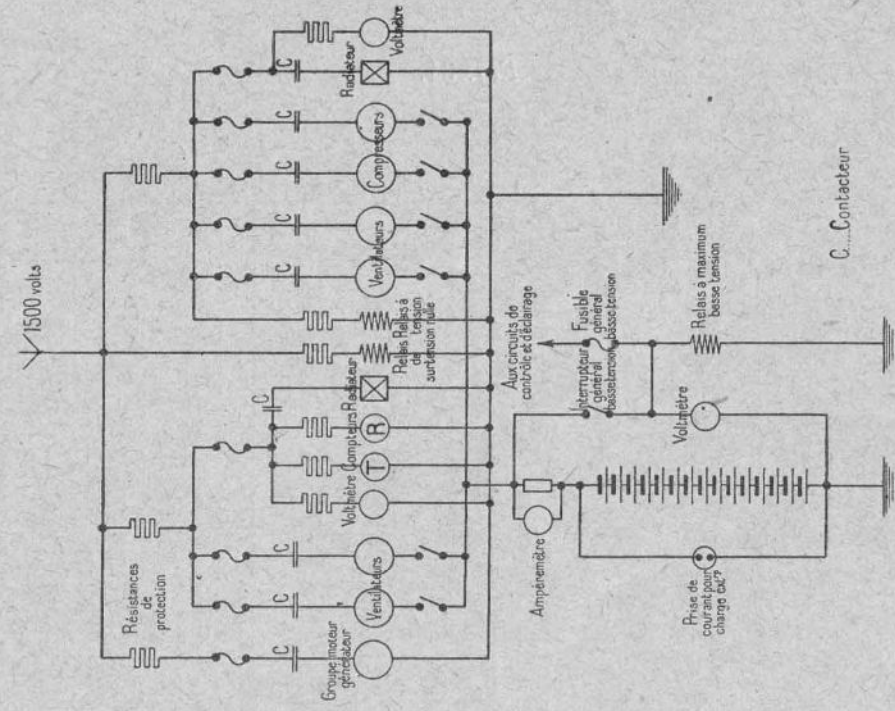


Fig. 36.



Un relais polarisé dit de « raté de récupération » provoquant dans ce cas le serrage des freins et ensuite le fonctionnement du système disjoncteur.

Les *parafoudres* sont à éclateur avec soufflage magnétique et résistance de limitation de courant. Un de ces appareils est installé sur la toiture de chaque demi-locomotive à côté de son pantographe.

Circuits auxiliaires à 1 500 volts.

Les circuits auxiliaires à 1 500 volts (Fig. 36) sont branchés sur le circuit principal en amont des contacteurs principaux. Ils alimentent le groupe moteur-générateur pour l'excitation des moteurs pendant la récupération, les compresseurs, les ventilateurs, les radiateurs, ainsi que les relais de tension, les voltmètres et les compteurs.

Circuits à basse tension.

Les circuits à basse tension comprennent, comme pour les locomotives précédemment décrites, tout l'ensemble des circuits de contrôle, les canalisations d'éclairage intérieur et extérieur de la locomotive, enfin celles de quelques appareils spéciaux d'avertissement ou d'appel.

Ces différents circuits sont alimentés par une batterie d'accumulateurs (fer-nickel) de 44 éléments type 524-T. VII de la Société des Accumulateurs Fixes et de Traction. Sa capacité est de 120 ampères-heures et sa tension moyenne en service de 65 volts environ. L'installation de cette batterie, sa charge et sa protection sont réalisées comme il a été indiqué pour les précédentes séries de locomotives.

Cabine de manœuvre.

Vers l'extrémité de chacune des caisses de demi-locomotive se trouve une cabine qui contient tous les appareils nécessaires à la conduite de la locomotive et au contrôle de ses différents appareils.

Cette cabine comporte :

- Sur sa paroi avant, trois baies vitrées dont deux sont munies d'essuie-glace à main.
- Sur chacune de ses faces latérales, une porte d'entrée avec baie vitrée à châssis mobile.
- Sur sa paroi arrière, la porte donnant accès au couloir central de la caisse.

Les principaux appareils installés dans chaque cabine de manœuvre sont analogues à ceux déjà décrits ; le manipulateur seul présente des dispositions particulières à cause de la récupération.

Ce manipulateur est disposé contre la face avant de la cabine vers la gauche et possède trois manettes comme tous les appareils similaires de nos locomotives :

- 1^o La manette de prise de courant, du type unifié, qui peut occuper quatre positions.
- 2^o La manette de régime qui peut occuper huit positions comme il a déjà été indiqué.
- 3^o La manette d'accélération qui sert pour la marche en traction comme pour celle en récupération et peut occuper les différentes positions suivantes :

Marche en traction :

- position « O » ou de repos ;
- dix-neuf positions pour l'élimination des résistances de démarrage au couplage série ;
- position « S » de marche normale au couplage série sans résistances ;
- douze positions pour la transition du couplage série au couplage série-parallèle et l'élimination des résistances ;
- position « SP » de marche normale au couplage série-parallèle sans résistances ;
- huit positions pour la transmission du couplage série-parallèle au couplage parallèle et l'élimination des résistances ;
- position « P » de marche normale au couplage parallèle sans résistances.

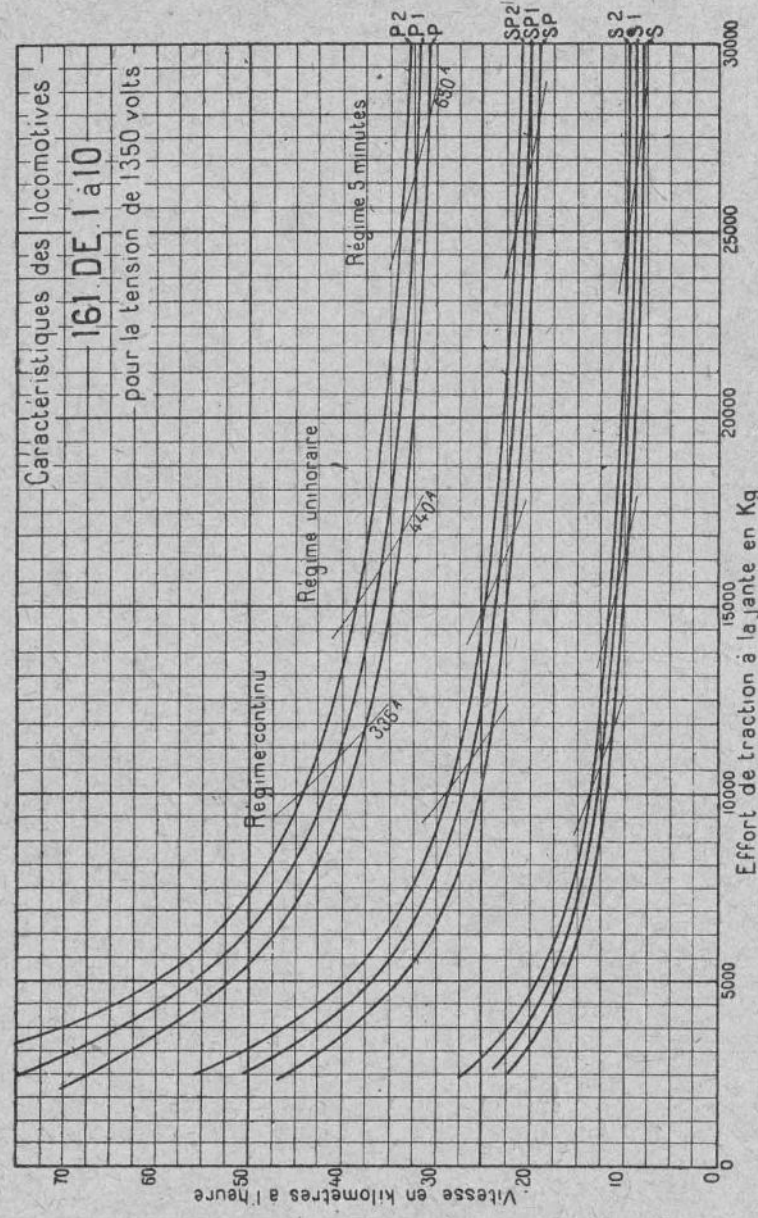
Marche en récupération :

- position « 0 » ou de repos correspondant à la coupure du circuit principal ainsi que de celui des inducteurs des moteurs de traction ;
- sept positions de la manette, non numérotées, et sur lesquelles on ne doit pas s'arrêter, qui servent à la préparation des circuits pour la marche en récupération ;
- treize positions numérotées de 1 à 13, sur chacune desquelles la manette d'accélération peut être maintenue et qui correspondent à des vitesses de marche et des efforts de retenue variables.

Fonctionnement et conduite des locomotives 161.DE en traction et en récupération.

Le fonctionnement et la conduite de ces locomotives pour la remorque des trains, c'est-à-dire en traction, n'a pas donné lieu à remarque particulière ; les courbes de la figure 37.

Fig. 37.



indiquent pour les couplages série, série-parallèle et parallèle, ainsi que pour les deux crans de shuntage correspondant à chacun de ces couplages, les vitesses de la locomotive en fonction des efforts totaux à la jante des roues.

Pour la marche en récupération, il est bon de rappeler encore que les moteurs de la locomotive fonctionnent avec excitation indépendante.

La disposition de principe des différents appareils est indiquée sur le schéma de la figure 38 où les moteurs de la locomotive sont représentés par un seul d'entre eux.

En partant de la ligne à 1 500 volts on rencontre :

- des résistances de protection variables suivant le couplage adopté et éliminées progressivement par la manœuvre de la manette d'accélération ;
- les inducts des moteurs de la locomotive ;
- des résistances de stabilisation dont une partie est fixe, la deuxième partie étant diminuée progressivement par la manœuvre de la manette d'accélération,

Ces dernières résistances ferment le circuit local dans lequel sont placés les inducteurs des moteurs de traction et l'induit de la génératrice du groupe moteur-générateur d'excitation décrit plus haut à propos des machines auxiliaires.

Cette génératrice est à excitation shunt inva-riable, compoundée par le courant traversant le moteur du groupe d'excitation ; la tension à ses bornes est donc sensiblement constante. Le courant qu'elle produit, et qui traverse les inducteurs des moteurs ainsi que les résistances de stabilisation, est de même sens, dans ces dernières, que le courant renvoyé à la ligne par la locomotive pendant la marche en récupération. Cette disposition, analogue d'ailleurs à celle déjà indiquée pour les locomotives 161.BE, a pour effet de faire varier l'excitation des moteurs en sens inverse de la valeur du courant renvoyé à la ligne par la locomotive ; elle assure donc la stabilité de marche en parallèle des moteurs de cette dernière avec les sous-stations.

Les variations d'excitation des moteurs de traction, nécessaires pour produire, pendant la marche en récupération, un échelonnement convenable des vitesses de la locomotive et des efforts de retenue à la jante de ses roues, sont obtenues par une diminution progressive de la valeur totale des résistances de stabilisation ; cette diminution entraîne des variations correspondantes de la résistance du circuit dans lequel sont placés la génératrice du groupe d'excitation et les inducteurs des moteurs de traction, et par conséquent des augmentations progressives du courant qui traverse ces derniers.

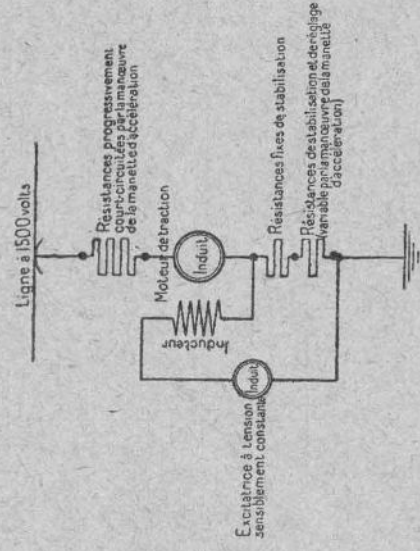
Le fonctionnement des locomotives 161.DE en récupération peut se faire aux trois couplages déjà indiqués. L'ordre de fonctionnement des contacteurs ou commutateurs est donné par le schéma et le tableau de la figure 34.

Pour mettre en jeu la récupération, la manette de régime est placée tout d'abord sur l'une des positions R_1 , R_2 ou R_3 suivant le couplage choisi ; cette manœuvre provoque le fonctionnement des commutateurs de couplage et de freinage en même temps que la mise en marche du groupe moteur-générateur d'excitation.

En plaçant ensuite la manette d'accélération sur le premier cran de récupération, les moteurs s'excitent au minimum, puis sont couplés sur la ligne par suite de la fermeture des contacteurs principaux.

Après ce premier cran d'amorçage de la récupération, il en existe une première série de six autres qui produisent partiellement et progressivement l'élimination des résistances de

Fig. 38.



protection ; l'excitation des moteurs reste la même pour ces différents crans qui ne portent pas de numéros et servent seulement à la préparation de la marche en récupération ; on ne doit donc pas y arrêter longtemps la manette d'accélération.

A leur suite il existe treize positions de cette manette, numérotées de 1 à 13, qui sont affectées à la marche proprement dite en récupération et sur lesquelles on peut se maintenir d'une façon durable. Sur ces différentes positions, l'élimination des résistances de protection s'achève et l'excitation des moteurs augmente progressivement.

Le tableau III ci-après donne, pour les trois couplages, ainsi que pour chacun des crans de préparation et de marche en récupération, les valeurs des résistances de protection et du courant d'excitation des moteurs. Les inducteurs de ces derniers sont, comme il ressort de la figure 34, groupés en série-parallèle pour les couplages série et série-parallèle des induits (positions R_1 et R_2) et en parallèle pour le couplage parallèle des induits (position R_3).

TABLEAU III
RÉCUPÉRATION

VALEUR DES RÉSISTANCES DE PROTECTION ET DU COURANT D'EXCITATION DES MOTEURS

POSITION de la manette d'accélération pendant la récupération	COUPLAGES SÉRIE EN SÉRIE-PARALLÈLE		COUPLAGE PARALLÈLE	
	COURANT dans un inducteur de moteur (courant induit nul)	RÉSISTANCE de protection (en ohms)	COURANT dans un inducteur de moteur (courant induit nul)	RÉSISTANCES de protection (en ohms)
».....	151 ^A	8,74	106 ^A	8,74
».....	151	8,06	106	8,06
».....	151	6,55	106	6,55
».....	151	5,33	106	5,33
».....	151	4,48	106	4,48
».....	151	3,68	106	3,68
».....	151	1,17	106	1,17
1.....	189	0,83	154	0,83
2.....	232	0,25	193	0,25
3.....	260	0,21	220	0,21
4.....	285	0	246	0
5.....	306	0	265	0
6.....	325	0	283	0
7.....	351	0	310	0
8.....	370	0	329	0
9.....	384	0	343	0
10.....	395	0	355	0
11.....	428	0	385	0
12.....	449	0	412	0
13.....	458	0	419	0

Positions non numérotées
en récupération

Différents dispositifs de protection et de sécurité ont été adoptés pour la marche en récupération :

En cas de surcharge, excès ou manque de tension, les relais de la locomotive fonctionnent, comme pour la marche en traction, et provoquent l'ouverture des contacteurs principaux après réinsertion des résistances, et la coupure du circuit d'excitation des moteurs.

De plus, les locomotives 161.DE sont munies d'un dispositif dit le « raté de récupération » analogue à celui des locomotives 161.CE qui a pour effet :

1° de produire une dépression dans la conduite générale du frein automatique soit lorsqu'un relais fonctionne, soit lorsque le courant récupéré diminue suffisamment pour devenir presque nul ;

2° d'isoler les freins à air de la locomotive pendant la récupération, ces freins étant remis automatiquement en service dès que la récupération vient à cesser.

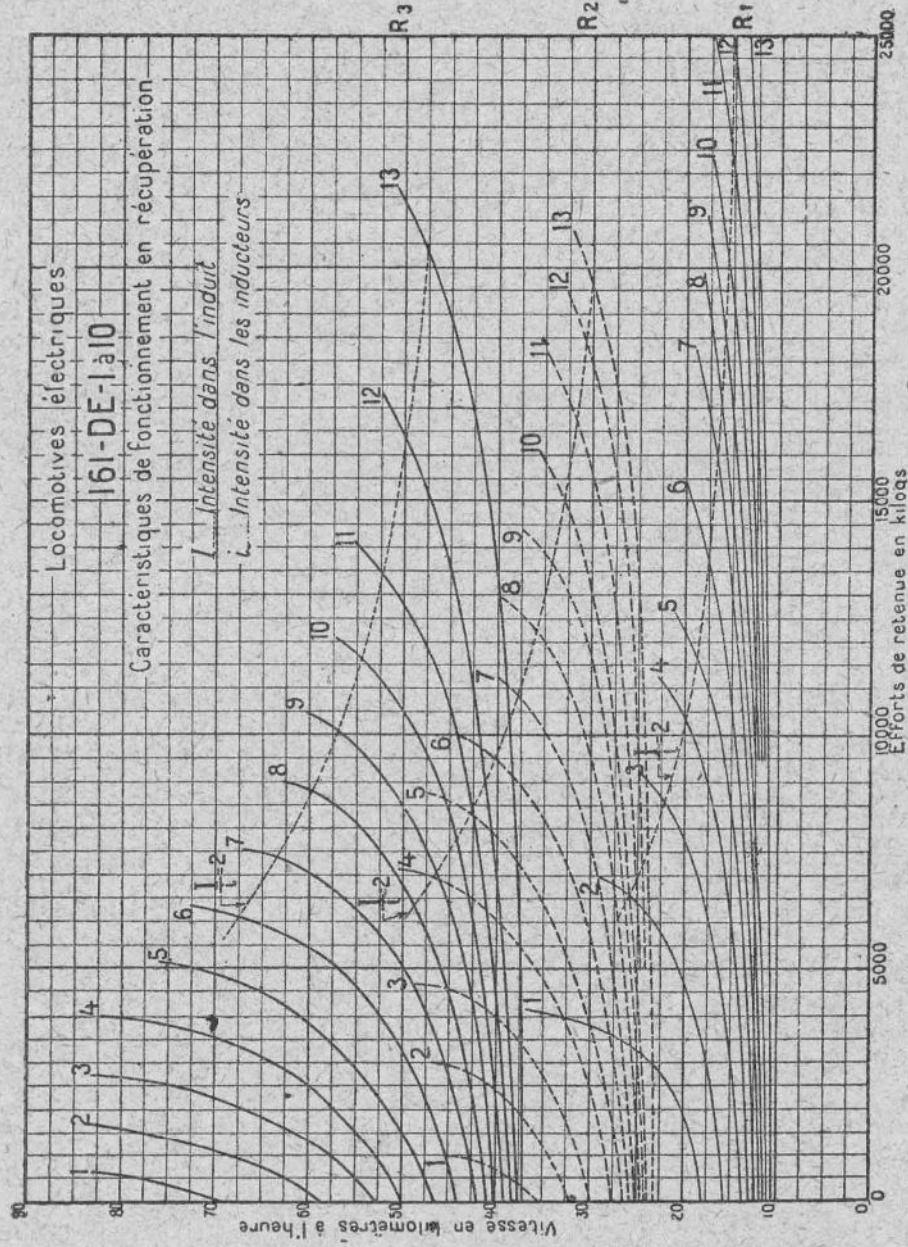
Ce dispositif est réalisé :

1° Par des électrovalves de freinage excitées lorsque la manette de régime est sur les positions R_1 , R_2 ou R_3 ;

2° Par des électrovalves d'isolement excitées dès que la manette de régime est placée sur les positions R_1 , R_2 ou R_3 , et que la manette d'accélération a quitté la position 0 ;

3° Par un relais spécial polarisé constitué par un petit moteur électrique, à excitation constante fournie par la batterie, dont l'induit est branché aux bornes d'une résistance traversée par le courant de récupération. Dès que ce dernier atteint une certaine valeur, assez faible d'ailleurs, le moteur se met à tourner et entraîne par frottement, malgré un contrepois antagoniste, un commutateur qui abandonne la position « traction » pour se placer sur celle « récupération ».

Fig. 39.



Si le courant renvoyé à la ligne diminue et arrive à être presque nul, le couple du moteur devient trop faible pour s'opposer au retour du commutateur sur la position « traction », ce qui provoque la mise en action des freins sur la locomotive et le train. De plus un relais spécial manométrique produit l'ouverture du système disjoncteur dès que la pression dans les cylindres à frein de la locomotive atteint 2,5 kg environ. Comme pour les séries de locomotives précédentes le conducteur électrique est averti du non fonctionnement de la récupération par un sifflet mis en

action par l'air qui s'échappe de la conduite du frein automatique. Il peut alors, soit laisser fonctionner le dispositif pour obtenir le ralentissement ou l'arrêt du train, soit arrêter ce fonctionnement en ramenant au 0 la manette d'accélération et réarmant les relais s'il y a lieu.

Les courbes de la figure 39 indiquent, pour chacun des couplages série, série-parallèle et parallèle, ainsi que pour chacune des treize positions de la manette d'accélération pendant la marche en récupération, la valeur de l'effort total de retenue à la jante des roues de la locomotive en fonction de la vitesse de cette dernière.

Comme précédemment, on a tracé, pour chacun des couplages, les courbes $\frac{1}{\gamma} = 2$, à partir desquelles le courant dans les inducts des moteurs dépasse le double de la valeur du courant d'excitation, des inducteurs. Ce sont ces courbes qu'il est recommandé de ne pas dépasser pour conserver une marge de sécurité importante dans l'emploi de la récupération. Ce système de récupération qui rappelle par certains points celui dont il a déjà été parlé à propos des locomotives 161.BE se met très facilement en action et les résultats obtenus ont été très satisfaisants.

Mise en service des locomotives électriques pour trains de marchandises et résultats obtenus

Tous les trains de voyageurs et de marchandises sont remorqués électriquement depuis le 20 Août 1929 sur la section Chambéry-St-Jean-de-Maurienne, et depuis le 5 Mai 1930, de cette dernière gare jusqu'à Modane. Les locomotives électriques des séries 161.BE, 161.CE et 161.DE, dont il vient d'être parlé, assurent la traction des trains de marchandises, ainsi que celle des trains omnibus de voyageurs; leur mise en service n'a présenté aucune difficulté particulière.

Le tonnage maximum, locomotive non comprise, des trains remorqués, en simple traction, dans le sens Chambéry-Modane, qui est celui correspondant au profil le plus dur, a été fixé, en se réservant une certaine marge, aux chiffres ci-après pour les différentes parties de ce parcours :

Chambéry-Chignin (rampes de 10 mm par mètre).....	1 000 t
Chignin-Chamousset (rampes de 6 mm par mètre).....	1 100
Chamousset-Epierre (rampes de 9 mm par mètre).....	1 000
Epierre-St-Jean-de-Maurienne (rampes de 15 mm par mètre).....	900
St-Jean-de-Maurienne-Modane (rampes de 30 mm par mètre).....	350

Sur cette dernière section, il est fait usage de la double traction avec locomotive en tête et en queue, dès que le tonnage du train dépasse 350 tonnes, son maximum de charge étant d'autre part fixé à 500 tonnes.

Il est fort possible d'ailleurs que, dans l'avenir, certains des tonnages limites qui viennent d'être indiqués, soient augmentés si l'expérience montre que cela peut se faire sans inconvénient.

En ce qui concerne l'usage de la récupération pour la descente des pentes, les essais nombreux auxquels il a été procédé, avec les trois types de locomotives ci-dessus indiqués, ont montré qu'il est possible de retenir, au moyen du seul freinage par récupération et sur des déclivités de 30 millimètres par mètre, un train de 400 tonnes, locomotive non comprise.

Les règles à adopter pour l'emploi de la récupération ont donc été mises à l'étude et on envisage actuellement que, de Modane à St-Jean-de-Maurienne, la descente des trains *munis des freins continus* sera effectuée, suivant leur tonnage qui peut atteindre 600 tonnes locomotive non comprise, soit au moyen de la récupération seule, soit par l'effet de cette dernière combiné avec celui du frein modérable.

Quant aux trains qui, comme ceux de marchandises par exemple, ne sont pas composés en

totalité avec du matériel muni de freins continus, on appliquera, pour la descente des fortes pentes, les mêmes règles que dans le cas de la traction à vapeur : ces trains devront donc comporter le nombre réglementaire de freins à main gardés et le conducteur de la locomotive assurera, soit par l'usage de la récupération, soit par celui du frein modérable, le freinage de la locomotive et des véhicules *munis des freins à air* qui sont attelés immédiatement derrière elle.

Ce n'est qu'après un certain temps de mise en service qu'il sera possible de voir définitivement s'il est nécessaire d'apporter des modifications aux dispositions adoptées pour le fonctionnement de la récupération sur les différents types de locomotives, ou même aux règles fixées pour son usage.

Les tableaux IV et V ci-après permettent de comparer entre elles les caractéristiques générales des trois types de locomotives dont il vient d'être parlé ainsi que celles des moteurs de traction avec lesquels elles sont équipées.

TABLEAU IV.

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES LOCOMOTIVES POUR TRAINS DE MARCHANDISES

DÉSIGNATION DES SÉRIES DE LOCOMOTIVES	161 BE-1 à 10	161 CE-1 à 10	161 DE-1 à 10
Nombre de machines de la série.....	10	10	10
Type.....	1 A+B+B+A 1	1 C + C 1	1 C + C 1
Diamètre des roues motrices.....	1,250 m	1,400 m	1,440 m
Diamètre des roues des essieux porteurs.....	0,915 m	0,860 m	1,010 m
Empattement d'un truck.....	2,940 m (truck principal)	7,400 m	6,820 m
Empattement total de la locomotive.....	17,430 m	17,800 m	17,540 m
Empattement rigide maximum.....	2,940 m	4,920 m	4,320 m
Longueur totale hors tampons.....	20,580 m	21,200 m	21,600 m
Poids total de la locomotive en ordre de marche....	128,210 t	127,290 t	129,480 t
Poids par mètre courant d'empattement total.....	7 355 kg	7 151 kg	7 382 kg
Poids par mètre courant de longueur totale.....	6 230 kg	6 004 kg	5 994 kg
Charge par essieu porteur (moyenne).....	12 160 kg	10 455 kg	9 545 kg
Charge par essieu moteur (moyenne).....	17 315 kg	17 730 kg	18 398 kg
Poids adhérent.....	103,890 t	106,380 t	110,390 t
Nombre de moteurs.....	6	6	6
Nombre de dents des pignons.....	18	17	21
Nombre de dents des roues dentées.....	68	76	87
Rapport de réduction des engrenages.....	3,77	4,47	4,14
Intensité par induit.....	360 ^A	315 ^A	335 ^A
Puissance de la machine à la jante.....	1 945 CV	1 700 CV	1 795 CV
Effort total à la jante.....	13 500 kg	11 250 kg	12 300 kg
Vitesse de la machine.....	39 km	40 km	40 km
Nombres de tours des moteurs.....	629 t/m	675 t/m	613 t/m
Intensité par induit.....	460 ^A	425 ^A	440 ^A
Puissance de la machine à la jante....	2 450 CV	2 300 CV	2 370 CV
Effort total à la jante.....	18 600 kg	18 000 kg	18 300 kg
Vitesse de la machine.....	35 km	35 km	35 km
Nombres de tours des moteurs.....	564 t/m	590 t/m	536 t/m
Vitesse maximum.....	80 km	80 km	80 km
Nombre de tours des moteurs à la vitesse maximum.	1 290 t/m	1 350 t/m	1 227 t/m

TABLEAU V.

CARACTÉRISTIQUES DES MOTEURS DE TRACTION DES LOCOMOTIVES
POUR TRAINS DE MARCHANDISES

DÉSIGNATION DES SÉRIES DE LOCOMOTIVES	161 BE-1 à 10	161 CE-1 à 10	161 DE-1 à 10
Type des moteurs.....	TH 562	LC 3 455	GDTM 65/634
Nombre de pôles.....	4	4	6
Diamètre de l'induit.....	550 mm	620 mm	650 mm
Longueur des tôles.....	350 mm	280 mm	340 mm
Diamètre du collecteur.....	465 mm	530 mm	600 mm
Nombre de lignes de balais.....	4	4	6
Nombre de balais par ligne.....	3	3	2
Nombre de conducteurs par encoche.....	2 × 4	2 × 3	2 × 7
Section d'un conducteur.....	2,5 × 21,6	2,6 × 22,5	0,9 × 11,5
Nombre d'encoches de l'induit.....	43	65	69
Nombre de lames de collecteur.....	171	195	483
Nombre de lames sous un balai.....	2	3	5
Dimensions d'un balai.....	53 × 17	40 × 25	40 × 20
Entrefer.....	12 mm	16 mm	12 mm
Poids total d'un moteur avec engrenages et carters..	3 834 kg	4 650 kg	5 260 kg
Graissage des paliers d'induits.....	Bourrage	Bourrage	Mèches
Graissage des paliers d'essieu.....	Tampons graisseurs	Tampons graisseurs	Mèches
Rapport d'engrenages.....	68/18	76/17	87/21
Nombre de tours du moteur par minute à 80 km/h..	1 230	1 350	1 227
Régime continu { Intensité.....	360 ^A	315 ^A	335 ^A
{ Nombre de tours à 1 500 V.....	629 t/m	675 t/m	613 t/m
Régime unihoraire { Intensité.....	460 ^A	425 ^A	440 ^A
{ Nombre de tours à 1 500 V..	561 t/m	590 t/m	536 t/m
Régime 5 minutes.....	640 ^A	600 ^A	650 ^A
Puissance par moteur au régime continu.	324 CV	283 CV	299 CV
Puissance par moteur au régime uni-	408 CV	383 CV	395 CV
horaire.....			
à 1 500 V { Effort de traction à la jante par loco-	13 500 kg	11 250 kg	12 300 kg
motive:	18 600 kg	18 000 kg	18 300 kg
Régime continu.....	27 %	20 %	16,6 %
Régime unihoraire.....	42 %	40 %	38 %
Shuntage { 1 ^{er} cran.....	1 train	2 trains	2 trains
{ 2 ^e cran.....	d'engrenages	d'engrenages	d'engrenages
Transmission entre moteur et essieu.....	Engrenages rigides	Roues dentées d'une seule pièce	Roues dentées rigides en 2 parties
	Roue dentée monobloc	Entraînement élastique	Assemblage par éclisses coniques