

Dépôt de DIJON

DIRECTION DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION

FORMATION DU PERSONNEL

**TECHNOLOGIE FERROVIAIRE**

---

**TRACTION ELECTRIQUE**

---

**TOME I**



**3<sup>e</sup> EDITION**

Tirage 1971



# SOMMAIRE

---

## GÉNÉRALITÉS SUR LES ENGINES DE TRACTION

Le matériel moteur  
La traction à vapeur  
Les engins de traction à moteurs Diesel  
La traction électrique

## ORGANES MÉCANIQUES DES LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES

Essieux  
Boîtes d'essieux  
Châssis de caisse et caisse  
Organes de choc et de traction  
Bogies  
Frein  
Moteurs et entraînement des essieux

## ORGANES ÉLECTRIQUES DES LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES

Premières notions sur l'équipement électrique.  
Description et principe de fonctionnement des moteurs  
Pantographes  
Appareillage de circuits de puissance  
Démarrage des moteurs. Réglage de la vitesse  
Inversion du sens de marche  
Appareillage de protection des circuits



**GÉNÉRALITÉS**  
**SUR LES ENGINES DE TRACTION**



# LE MATÉRIEL MOTEUR

Le matériel moteur de la S. N. C. F. compte plusieurs milliers d'engins classés en un assez grand nombre de séries ou « types ». Les différences de conception, parfois importantes, existant entre les différents types d'engins tiennent surtout au fait que chacun d'eux a été construit en vue d'une utilisation précise, dans certaines conditions imposées par la nature du trafic et la consistance du réseau exploité.

Il est aisé d'observer, le long des lignes importantes, la variété des fonctions remplies par les engins moteurs :

- remorque à grande vitesse des longs trains de voyageurs à grands parcours;
- remorque des trains omnibus aux points d'arrêt rapprochés;
- transport rapide d'un petit nombre de voyageurs par automotrices et autorails;
- remorque rapide des trains chargés de matières périssables;
- remorque lente de longs et lourds trains de marchandises.

Les engins qui effectuent ces divers travaux ne peuvent avoir tous les mêmes caractéristiques, ils doivent nécessairement être adaptés à leurs fonctions. Cette simple observation justifie déjà la diversité des types d'engins.

En outre, depuis l'origine des transports par chemin de fer, de nombreux progrès techniques ont souvent permis des améliorations du service. C'est une autre cause de diversité. Tel type d'engin utilisé depuis une dizaine d'années ou plus pour un certain travail marche actuellement de pair avec un autre type récent, bénéficiant d'améliorations, capable d'exécuter le même travail plus rapidement ou plus économiquement.

Il ne peut être envisagé, dans ce cours élémentaire, d'étudier en détail tout le matériel moteur. Même après avoir été placés pendant de nombreuses années dans des conditions favorables, peu d'agents peuvent se flatter d'avoir une connaissance technologique précise de tout le parc moteur des régions.

En ce début d'apprentissage, nous étudierons d'abord des notions générales sur l'utilisation et les principes de fonctionnement des grandes catégories d'engins.

Nous aborderons ensuite l'étude des organes mécaniques des locomotives électriques qui concerne directement votre spécialité professionnelle.

L'étude des organes électriques des locomotives électriques viendra après, alors que vous aurez acquis suffisamment de connaissances en électricité; matière toute nouvelle pour la plupart d'entre vous.

## MODES DE TRACTION

Il existe, à la S. N. C. F., trois modes de traction; autrement dit trois catégories d'engins, chacune correspondant à une manière différente de produire l'énergie mécanique de traction.

Ce sont : la traction à vapeur, la traction par moteurs à combustion interne et la traction électrique.

La traction à vapeur avec ses locomotives connues de tous existe depuis l'origine des transports par chemins de fer. Les deux autres modes de traction, actuellement en extension rapide, résultent de progrès techniques permettant d'utiliser plus économiquement les ressources d'énergie du pays et d'obtenir un service plus intense correspondant à l'augmentation des transports.

## UTILISATION DES LOCOMOTIVES

Il existe plusieurs catégories de trains bien distinctes et le travail de traction est très différent d'une catégorie à l'autre.

**Les trains de voyageurs** sont composés de voitures devant circuler à vitesse relativement élevée : les rapides et express circulent parfois à plus de 140 km/h, ils sont lourds et leurs points d'arrêt sont éloignés.

Les locomotives attelées à ces trains doivent être conçues plus spécialement en vue de l'accélération du mouvement plutôt qu'en vue du démarrage puissant de la charge; ce sont des machines rapides.

Pour les trains de voyageurs omnibus qui s'arrêtent fréquemment et doivent quand même être assez rapides, il est indispensable que les locomotives possèdent au même degré les qualités de démarrage et d'accélération. De ce fait leur vitesse maximale est moins élevée.

**Les trains de messageries** acheminent le plus rapidement possible les denrées périssables et autres chargements urgents; ils sont lourds; généralement plus que les trains de voyageurs. Ils circulent rarement à une vitesse supérieure à 100 km/h. Les machines remorquant ces trains doivent être moins rapides, mais plus puissantes.

**Les trains de marchandises** généralement très lourds (souvent 1 800 t, quelquefois plus de 2 000 t) et parfois très longs (750 m et plus) circulent à petite vitesse (maximum 75 km/h). Ils nécessitent des locomotives capables de fournir un gros effort de démarrage et de maintenir cet effort à une valeur assez élevée en cours de marche; autrement dit des locomotives lentes mais très puissantes.

Vous voyez qu'une même locomotive ne peut assurer dans les meilleures conditions tous les services de traction. C'est ainsi que l'on trouve des machines de rapides et express, des machines mixtes voyageurs-messageries, des machines marchandises et aussi des machines mixtes messageries-marchandises.

Entre deux locomotives d'égale puissance, c'est-à-dire consommant la même quantité d'énergie pendant le même temps, mais l'une étant une machine de rapides et l'autre une machine de marchandises la différence essentielle dans le fonctionnement est simple : la première n'exerce pas un très gros effort de traction, mais elle le fait rapidement alors qu'à l'inverse l'autre exerce un très gros effort de traction, mais en se déplaçant lentement.

## CIRCULATION SUR RAILS

Les locomotives et leurs trains circulent sur deux files de rails. Si ces files de rails étaient constamment horizontales et rectilignes, la circulation s'en trouverait simplifiée, les résistances s'opposant au déplacement des roues devenant très minimes.

Mais il n'en est pas ainsi, la voie décrit maintes courbes et doit franchir de nombreux accidents de terrain avec des montées et des descentes qui n'ont pu être évitées malgré les travaux considérables de déblai et de remblai effectués à l'installation des lignes.

Le tonnage maximal susceptible d'être remorqué sur une ligne par chaque type de locomotive est déterminé en fonction de l'importance des rampes à franchir. Bien entendu, la vitesse de marche des trains est également fonction du profil des lignes.

Sur certaines lignes à profil difficile, il est courant d'atteler deux locomotives sur un même train.

Les rampes et pentes des voies sont caractérisées par la dénivellation par mètre exprimée en millimètres. Sur la plus grande partie des lignes, les rampes et pentes sont moyennes et comprises entre 0 et 16 mm/m. Dans les lignes de montagne, elles atteignent parfois 43 mm/m (lignes transpyréennes).

Sur les portions de voie horizontales dites « en palier », les résistances opposées à l'avancement des trains sont minimales.

Les courbes décrites par les voies sont caractérisées par leurs rayons. Plus le rayon est petit, plus la courbe doit être franchie à vitesse réduite. Les courbes de faible rayon constituent donc également une gêne pour la marche des trains.

L'adhérence des roues des locomotives sur les rails n'est plus à mettre en doute. A l'origine des chemins de fer on a longtemps pensé que le patinage des roues sur les rails empêcherait les locomotives de remorquer un poids élevé. Le contact acier sur acier semblait ne pas pouvoir provoquer d'adhérence. En fait, en raison du poids important des locomotives et du nombre de roues motrices, le frottement (1) des roues sur les rails est très élevé et permet l'application de gros efforts de traction.

Lorsque le rail est gras ou simplement humide, le frottement diminue et c'est alors que le patinage peut se produire. Le démarrage dans ces conditions serait impossible sans l'adjonction de sable entre rail et roues. Le sable s'incruste dans le métal et provoque des aspérités qui rétablissent le frottement.

Nous aurons, par la suite, l'occasion de voir plus en détail le déplacement des roues sur les rails.

---

(1) Il ne faut pas confondre frottement et patinage.

En mécanique, on désigne par frottement la résistance qui s'oppose au glissement, au patinage; autrement dit, c'est « l'accrochage » des deux surfaces en contact.

# LA TRACTION A VAPEUR

La locomotive à vapeur occupe une place de choix parmi les grandes réalisations techniques. Elle a complètement révolutionné l'industrie des transports au siècle dernier; c'est d'elle que sont nées les liaisons rapides à longues distances, facteur important dans le développement de tous les pays.

L'impression de puissance que la locomotive à vapeur évoque lui vaut de symboliser le chemin de fer. Depuis plus de cent années qu'elle existe, elle a considérablement évolué, sa puissance augmentant et son fonctionnement s'améliorant sans cesse; pourtant la machine d'aujourd'hui reste pour l'essentiel semblable à son ancêtre du siècle dernier. Nous allons voir brièvement cet essentiel.

Le processus de production d'énergie mécanique à bord d'une locomotive à vapeur se déroule en trois stades.

## I. PRODUCTION DE VAPEUR D'EAU SOUS PRESSION .

Cette production de vapeur a lieu dans une chaudière tubulaire sous l'effet de la chaleur développée par la combustion de charbon dans un foyer voisin de la chaudière (fig. 1 et 2).

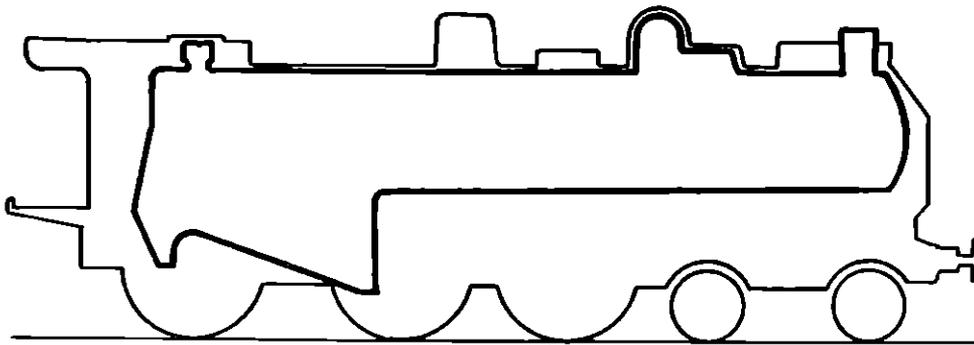


Fig. 1. — CHAUDIÈRE.

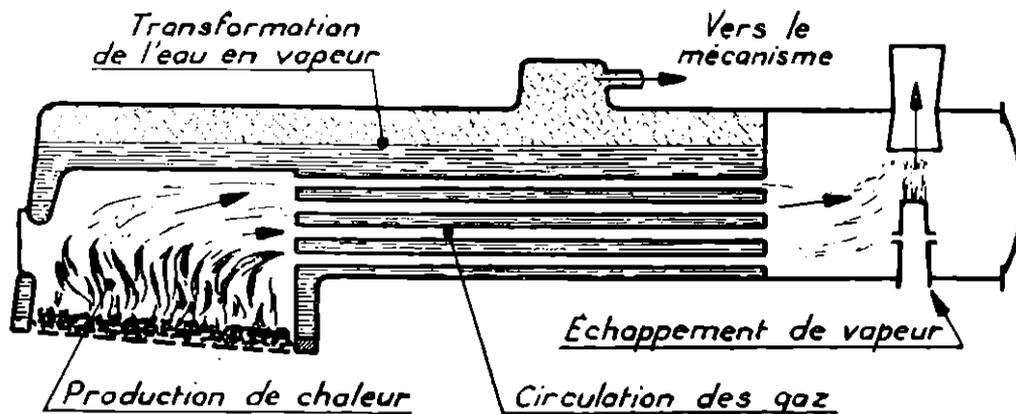


Fig. 2. — PRODUCTION DE LA VAPEUR.

# CHAUDIÈRE

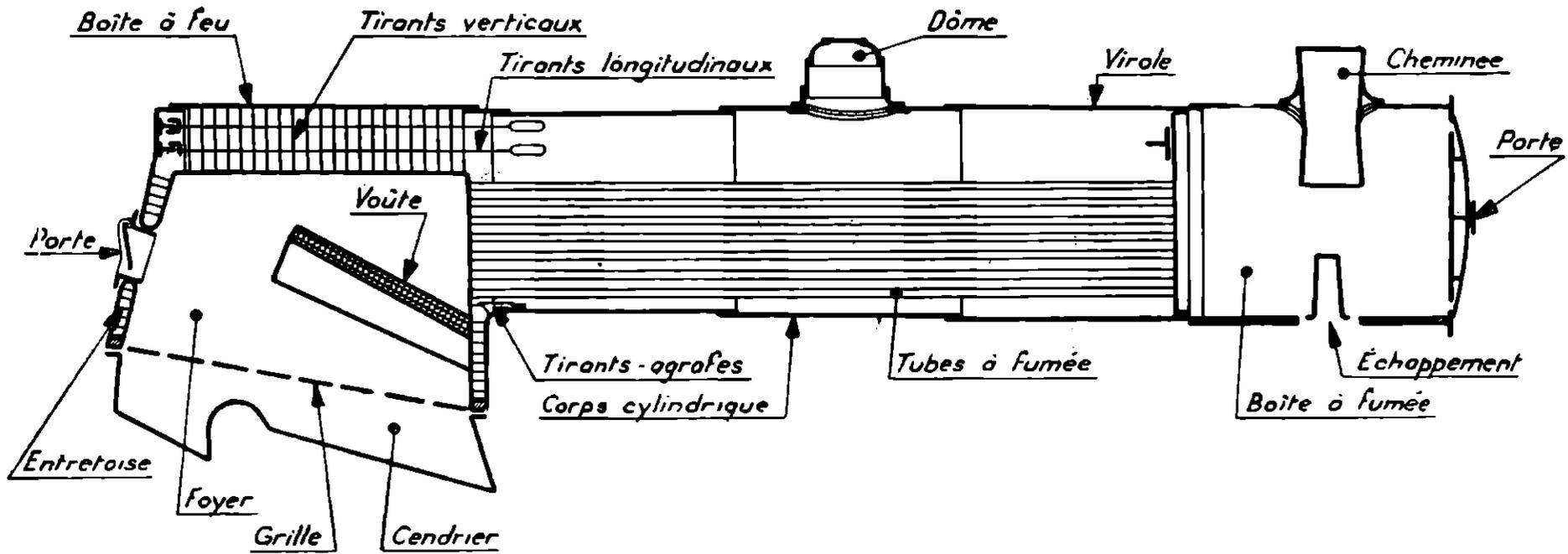


Fig. 3.

Dans le foyer le charbon brûle sur une grille. L'air nécessaire à la combustion arrive sous la grille.

Les gaz chauds (1) résultant de la combustion communiquent une grande partie de leur chaleur aux parois du foyer et des tubes du corps cylindrique de la chaudière au cours de leur déplacement vers la cheminée. L'eau contenue dans la chaudière baigne toutes ces parois ; elle absorbe la chaleur, ce qui a pour effet, en élevant sa température, de provoquer une vaporisation intense.

La vapeur produite s'emmagine dans la partie supérieure de la chaudière, au-dessus du niveau de l'eau, à une pression qui est fonction de la température. Cette vapeur est captée dans le dôme de la chaudière afin d'être utilisée pour produire un travail mécanique.

La pression régnant à l'intérieur de la chaudière est de l'ordre de 15 à 20 bars (15 à 20 hpz). Les efforts supportés par les parois sont donc très importants. Afin d'éviter que ces efforts ne produisent des déformations dangereuses, l'intérieur de la chaudière est fortement renforcé par des entretoises et des tirants entrecroisés constitués par des barres cylindriques de 20 à 25 mm de diamètre vissées et rivées (fig. 3).

## 2. DISTRIBUTION ET TRAVAIL DE LA VAPEUR DANS LES CYLINDRES.

La vapeur captée dans le dôme de la chaudière est dirigée vers les cylindres. A chaque cylindre est adjoind un organe chargé de distribuer la vapeur sur chaque face du piston c'est le distributeur (fig. 4).

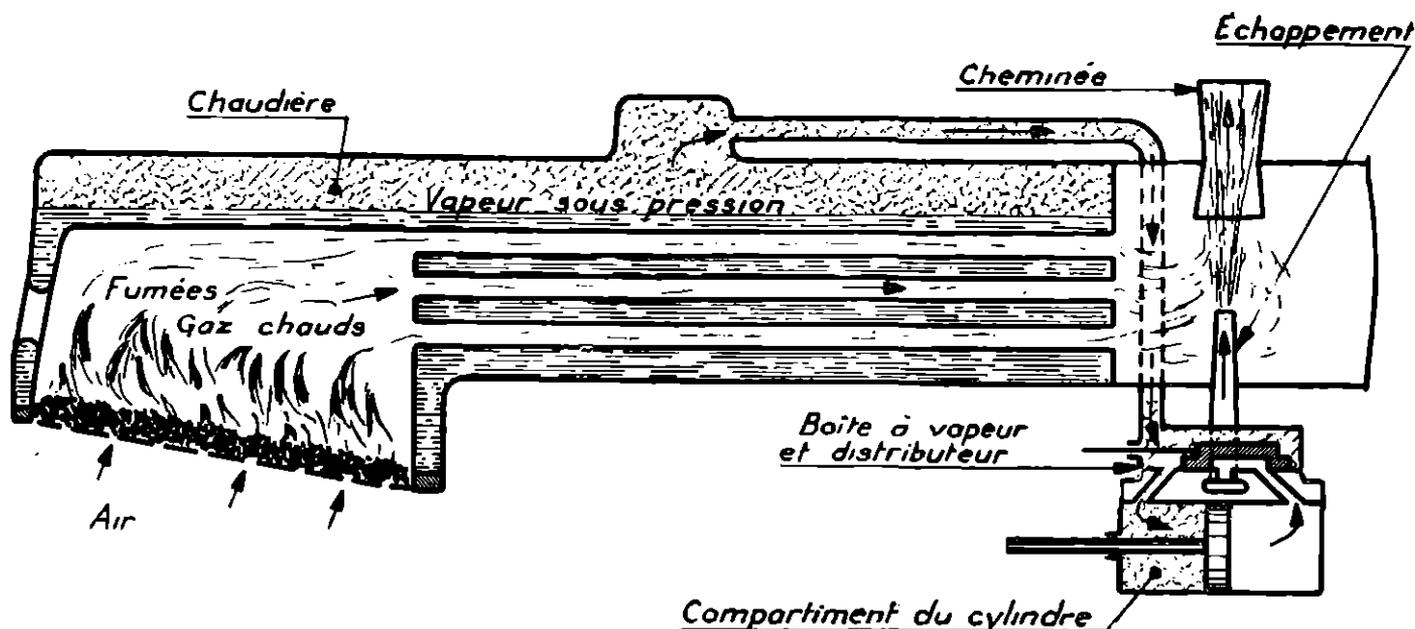


Fig. 4. — CIRCUIT DE VAPEUR.

Le distributeur introduit de la vapeur alternativement dans les deux compartiments de chaque cylindre. La pression agissant sur une face du piston provoque le déplacement de celui-ci. Au même instant, l'autre compartiment du cylindre est mis en communication avec l'atmosphère (fig. 5).

■ (1) Température atteignant 1 350° C.

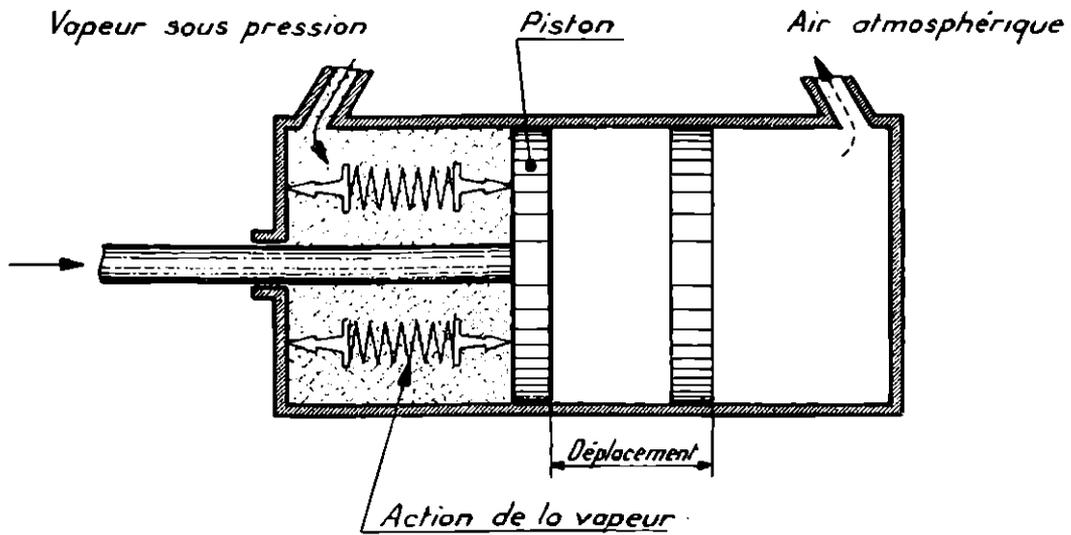


Fig. 5. — ACTION DE LA VAPEUR DANS LE CYLINDRE

Le mouvement du piston est alternatif.

La vapeur enfermée dans un compartiment de cylindre travaille puisqu'elle déplace le piston avec une très grande force. Quand le piston arrive en bout de course elle a perdu la majeure partie de sa pression; elle s'est détrendue.

La vapeur détente est évacuée pendant le mouvement inverse du piston; sa pression résiduelle lui permet de s'échapper rapidement (fig. 6).

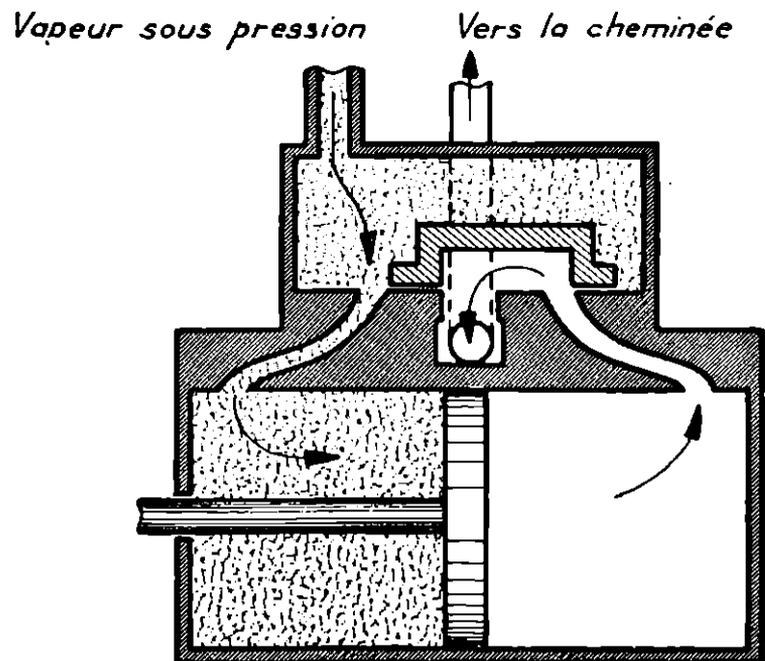


Fig. 6.

L'échappement de la vapeur qui a travaillé s'effectue à l'extrémité avant de la chaudière, dans la boîte à fumée.

La tuyère d'échappement se trouve à la verticale de la cheminée. La vapeur d'échappement traversant rapidement la boîte à fumée y provoque une aspiration qui a pour effet d'activer le tirage au foyer, et par conséquent la combustion.

L'échappement joue un rôle important dans le fonctionnement de la chaudière. Plus il est consommé de vapeur, c'est-à-dire plus la locomotive développe de puissance, plus l'échappement est énergique et plus le tirage est élevé. Grâce à l'échappement, la combustion sur la grille et par suite la production de vapeur se trouvent proportionnées à la dépense de vapeur.

### 3. UTILISATION DU MOUVEMENT DES PISTONS.

Chaque piston est muni d'une lige montée sur une crosse se déplaçant entre deux glissières. La bielle motrice relie la crosse à un tourillon de la roue motrice. Le rôle de la bielle est de transformer le mouvement alternatif du piston en mouvement de rotation de la roue motrice (fig. 7).

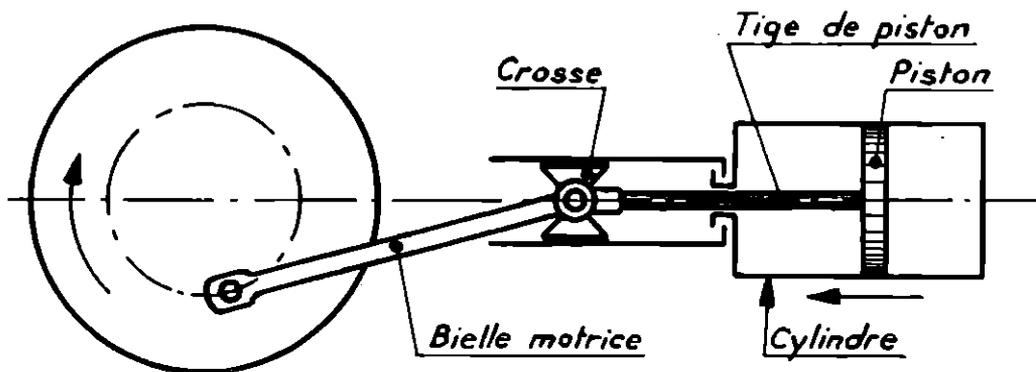


Fig. 7.

Plusieurs essieux reçoivent l'effort du piston. Leurs roues sont accouplées à la roue motrice par une bielle d'accouplement. On les nomme pour cela essieux accouplés (fig. 8).

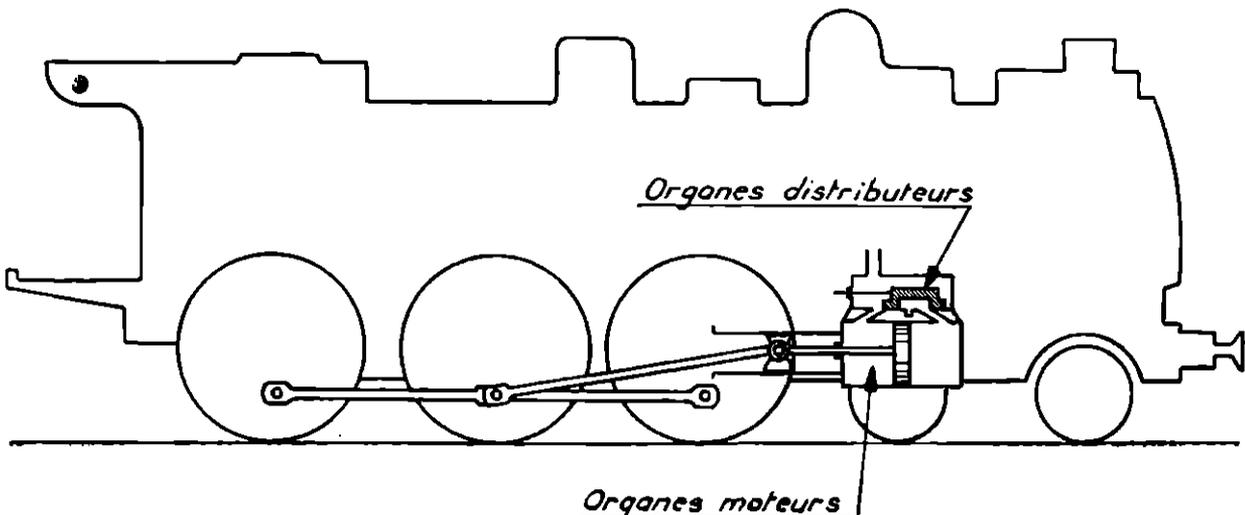
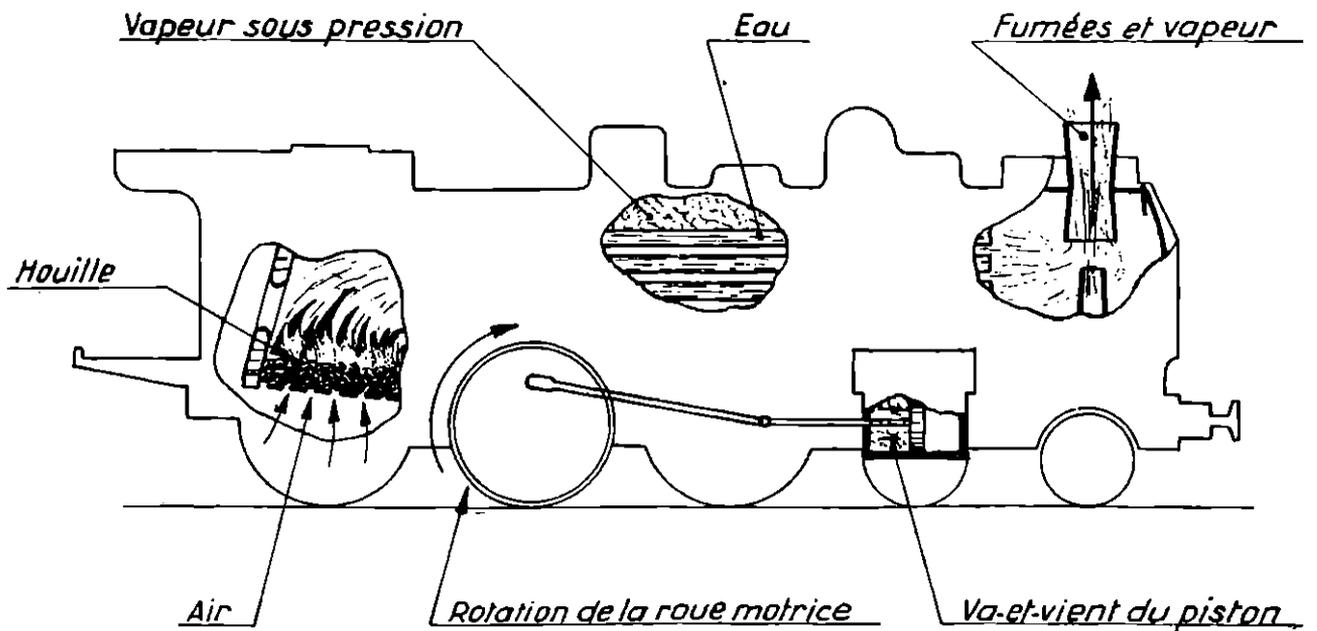
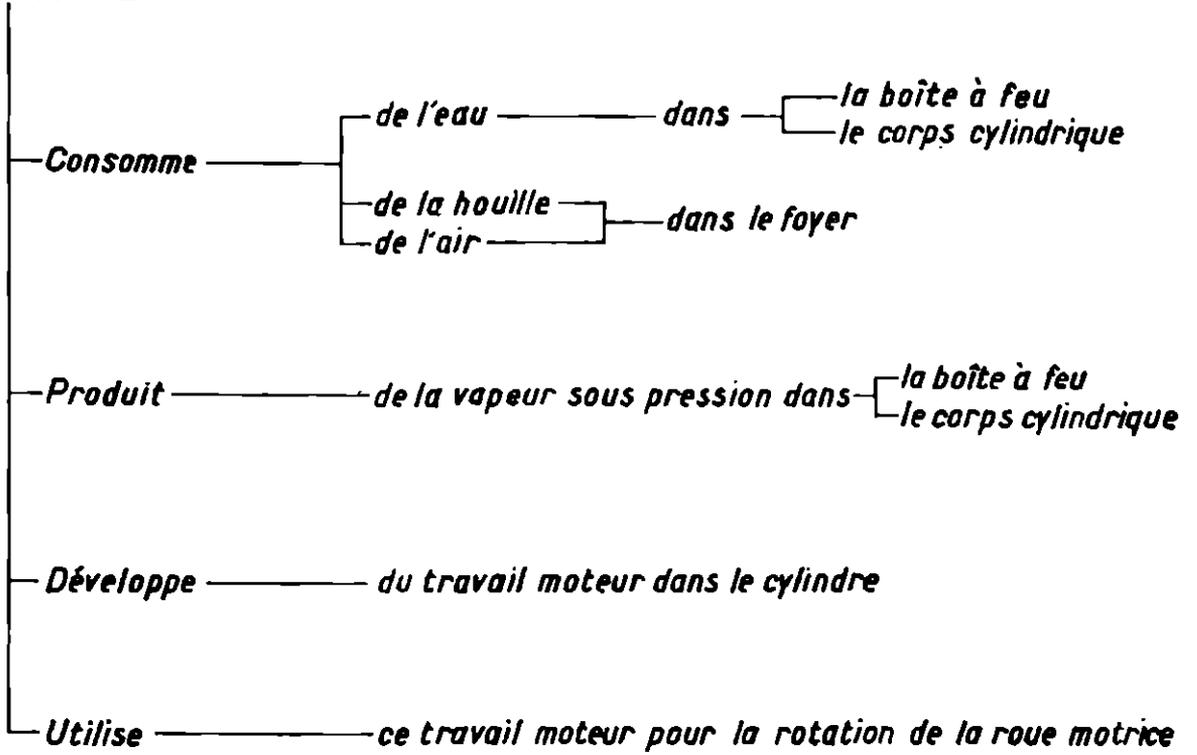


Fig. 8.

## RÉSUMÉ DU FONCTIONNEMENT D'ENSEMBLE

### LA LOCOMOTIVE



## QUESTIONNAIRE

---

### **MATÉRIEL MOTEUR**

- 1° *Quels sont les différents modes de traction?*
- 2° *Citez les différentes catégories de trains.*
- 3° *Quelle est l'influence des fortes rampes sur la marche des trains?*
- 4° *Comment le patinage sur rail gras est-il évité?*

### **LOCOMOTIVES A VAPEUR**

- 1° *Où est emmagasinée la vapeur sous pression produite dans la chaudière?*
- 2° *Quel est le trajet des gaz chauds produits par la combustion du charbon?*
- 3° *Quel est le rôle du distributeur de vapeur?*
- 4° *Que devient la vapeur qui s'est détendue dans le cylindre?*
- 5° *Quel est l'effet favorable de l'échappement sur la combustion du charbon?*
- 6° *Décrivez la transmission du mouvement du piston aux roues motrices.*
- 7° *Qu'est-ce qu'une bielle d'accouplement?*



# LES ENGIN DE TRACTION A MOTEURS DIESEL

---

La traction par moteur Diesel n'a cessé de progresser depuis 1925, c'est-à-dire depuis l'époque où les perfectionnements apportés au moteur inventé en 1893 par l'ingénieur Diesel ont permis de l'adapter à des engins de traction sur rails.

Ce développement dans les chemins de fer est dû principalement aux avantages suivants :

- le moteur Diesel est actuellement, de tous les moteurs thermiques (1) celui dont le rendement est le plus élevé, c'est-à-dire celui qui, pour une certaine quantité de combustible, fournit le plus de travail mécanique;
- ce rendement reste très satisfaisant aux faibles charges;
- l'absence de consommation d'eau et la faible consommation spécifique (masse de combustible nécessaire pour produire un travail donné) jointes à l'emploi d'un combustible facile à manipuler confèrent à ce mode de traction une grande souplesse d'emploi;
- la possibilité d'arrêter et de remettre en marche facilement le moteur Diesel d'une locomotive est aussi un avantage en faveur du rendement;
- les locomotives Diesel et les autorails peuvent parcourir de très grandes distances sans ravitaillement et assurer un service d'une très longue durée sans interruption;
- la constitution actuelle des moteurs Diesel permet un large espacement des opérations de révision;
- l'échange standard de la plupart des organes des moteurs et même l'échange rapide du moteur sont de nature à permettre une utilisation maximale du matériel moteur.

C'est dans le domaine des services de manœuvre que les engins à moteurs Diesel ont fait leur apparition.

Les chemins de fer utilisèrent, dès 1925, des locotracteurs de faible puissance dans les gares de petite et moyenne importance.

Depuis, de nombreux perfectionnements, notamment en ce qui concerne l'allègement, la consommation, la vitesse de rotation, la régularité de fonctionnement, les opérations d'entretien, ont permis aux moteurs Diesel de trouver une large application dans le domaine de la traction.

**LES AUTORAILS** permettent l'exploitation avantageuse des petites lignes et la desserte de certaines lignes aux heures où le nombre de voyageurs ne justifie pas la mise en marche d'un train, en particulier pour les relations omnibus étoilées autour des gares d'arrêt des trains rapides et express.

La plupart des autorails sont susceptibles d'être attelés à des véhicules sans moteur appelés remorques.

**LES RAMES AUTOMOTRICES DIESEL** qui permettent des liaisons rapides à longue distance pour un nombre réduit de voyageurs (Trans-Europ-Express, autorails rapides).

**LES LOCOTRACTEURS ET LOCOMOTEURS** sont principalement utilisés pour le service de manœuvre dans les gares et triages. Dans ce service, dont l'importance ne doit pas être sous-estimée puisqu'il utilise 10 à 11 % de l'énergie totale nécessaire au chemin de fer, les engins Diesel possèdent les avantages suivants sur les locomotives à vapeur utilisées auparavant :

- ils sont très maniables;
- ils peuvent être utilisés très longtemps sans être ravitaillés;
- leur mise en route et leur conduite sont très faciles et peuvent souvent être exécutées par un seul agent;

---

(1) Thermique : du grec *thermē*, chaleur. Les moteurs thermiques utilisent l'énergie développée par une combustion.

- ils ont la possibilité de fournir un gros effort de traction au démarrage;
- du fait de l'utilisation intense le nombre d'engins nécessaires pour assurer un certain service est plus réduit que dans le cas de traction à vapeur;
- la plupart des servitudes imposées par les locomotives à vapeur sont supprimées (postes d'eau, temps morts pour nettoyage du feu, graissages fréquents, lavages, vidanges) et au cours des arrêts de travail les locotracteurs et locomoteurs ne consomment aucune énergie;
- la surveillance à l'arrêt n'est pas nécessaire;
- les Inconvénients des fumées sont pratiquement supprimés.

Compte tenu du prix de revient, les avantages des engins de traction Diesel présentent un intérêt qui conduit la S. N. C. F. à les substituer de plus en plus aux locomotives à vapeur.

On a même reconnu l'intérêt d'en faire usage dans certaines gares des lignes électrifiées, afin d'éviter l'équipement électrique, toujours assez onéreux, de la totalité des voies de service.

On désigne sous le nom de locotracteurs, les engins de puissance inférieure ou égale à 220 kW (300 ch) et sous le nom de locomoteurs les engins de puissance comprise entre 220 et 370 kW (300 et 500 ch).

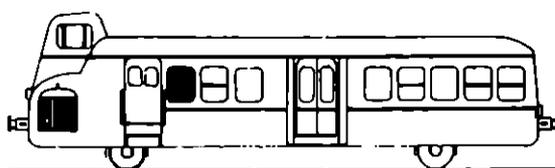
**LES LOCOMOTIVES DIESEL** sont des engins plus puissants que les précédents : plus de 370 kW (500 ch).

Il existe, à la S. N. C. F., différents types de locomotives Diesel de constitution et de puissance variables suivant leur utilisation.

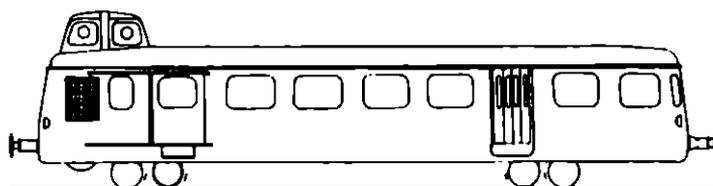
Ces locomotives, qui possèdent par rapport à la traction vapeur les avantages énoncés ci-dessus pour les locotracteurs et locomoteurs, sont utilisées pour :

- les gros services de manœuvre (triaux);
- la desserte des marchandises dans les gares de moyenne importance;
- la remorque des trains nécessitant des performances élevées sur les lignes non électrifiées. Exemple : trains rapides de 450 t, express de 800 t, trains de marchandises de plus de 1 500 t remorqués par les locomotives CC 72000 de 2 300 kW (3 125 ch).

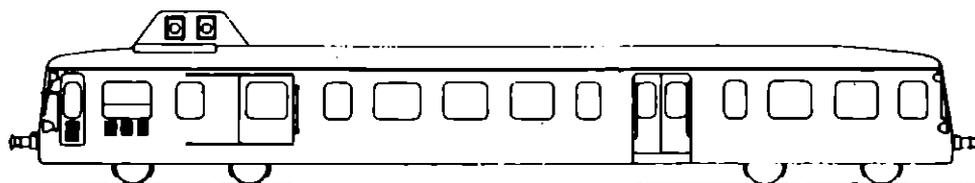
# AUTORAILS



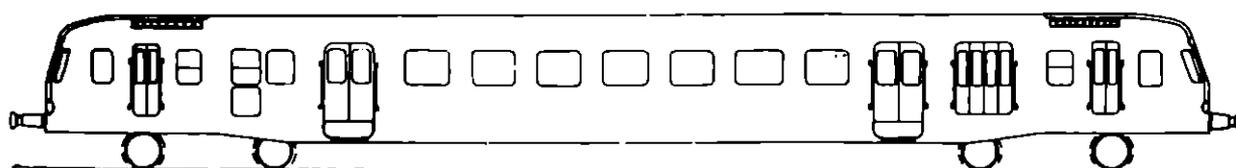
Autorail X 5600



Autorail X 5500



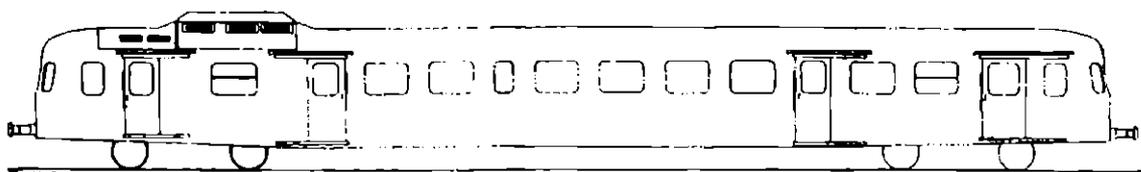
Autorail X 3800



Autorail X 2400

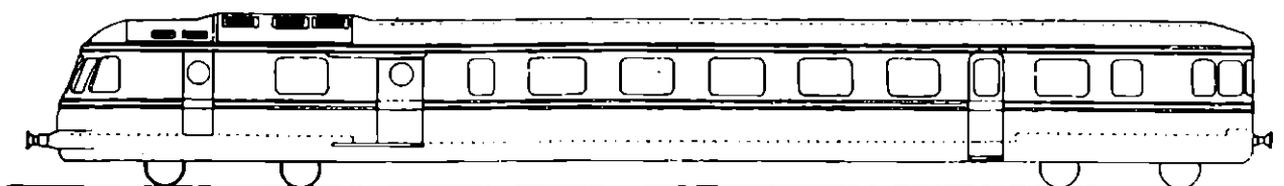
Autorails	X 5600	X 5500	X 3800	X 2400
Moteurs . . . . .	1 x 66 kW (90 ch)	1 x 118 kW (160 ch)	1 x 220 kW (300 ch)	2 x 220 kW
Masse en ordre de marche..	11,5 t	17,5 t	31,5 t	43 t
Masse en charge . . . . .	15,75 t	24 t	38,5 t	52 t
Longueur totale en mètres..	12,34	16,04	21,85	27,73
Vitesse maximale en km/h..	65	90	120	124

Technologie matériel moteur.

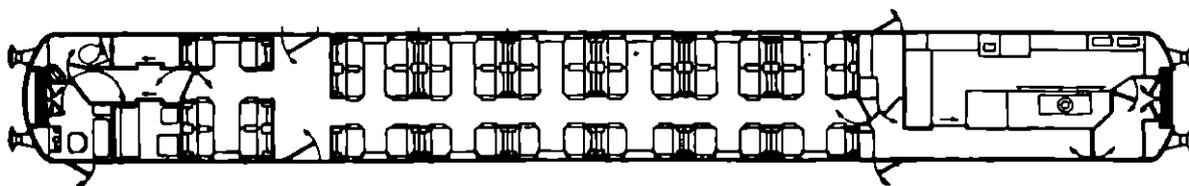
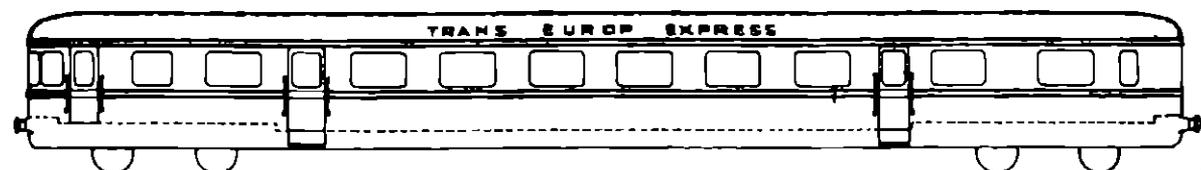


Autorail X 2800

RAMES AUTOMOTRICES



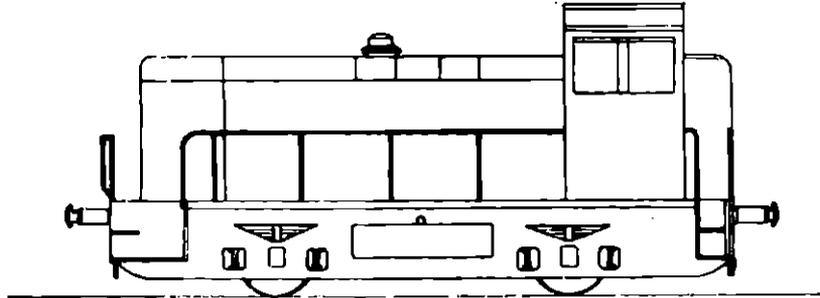
Autorail X 2700 (motrice de rame T.E.E.)



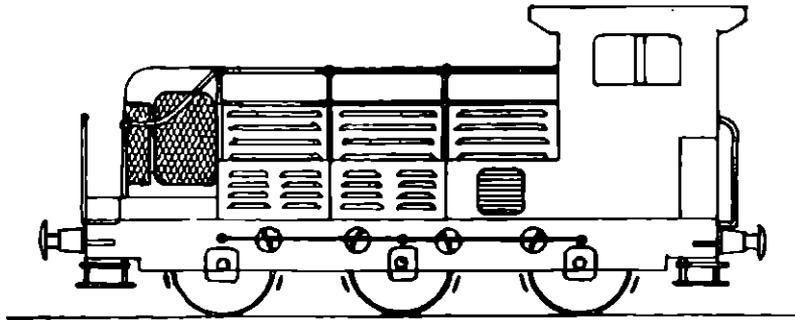
Remorque XR 7700 (T.E.E.)

Autorails	X 2800	X 2700
Moteurs . . . . .	1 x 607 kW (825 ch)	1 x 607 kW (825 ch)
Masse en ordre de marche .	50 t	48,9 t
Masse en charge . . . . .	57,5 t	54,5 t
Longueur totale en mètres . .	27,73	26,63
Vitesse maximale en km/h...	120	140

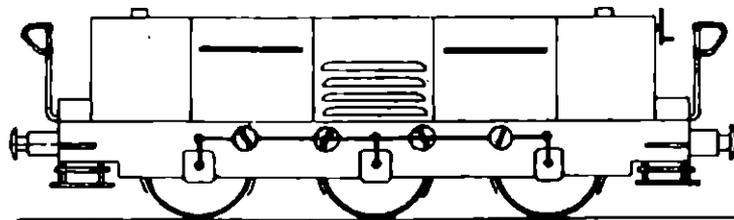
# MATÉRIEL DIESEL



Locomoteur Y 51 100

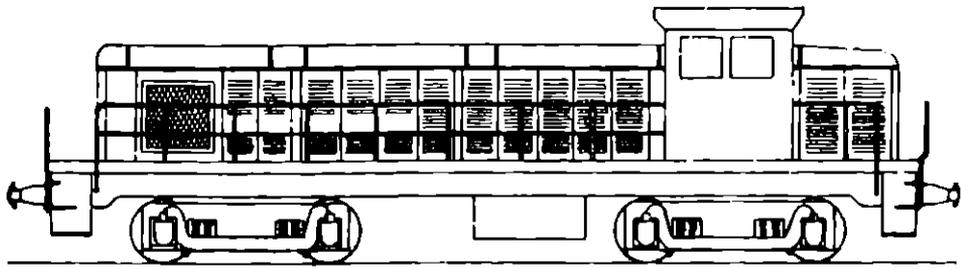


Locomotive C 61 000

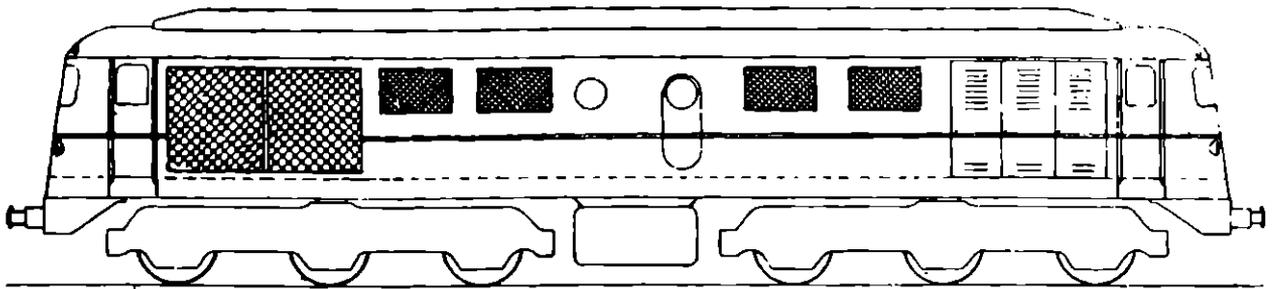


Truck tracteur TC 61 100 (pour locomotive Diesel-électrique C 61 000)

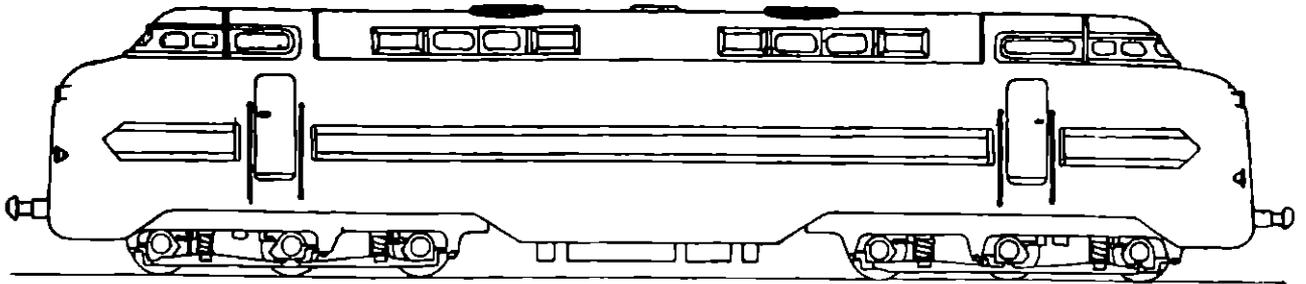
Caractéristiques	Y 51100	C 61000	TC 61100 TRUCK	BB 63000	CC 64000	CC 65000
Moteur . . . . .	1 x 295 kW (400 ch)	1 x 375 kW (510 ch)	2 moteurs électriques	1 x 607 kW (825 ch)	1 x 1500 kW (≈ 2000 ch)	2 x 660 kW (≈ 900 ch)
Masse en ordre de marche.	34 t	52,7 t	51,6 t	68,3 t	123 t	112 t
Transmission. . . . .	hydromécanique	électrique		électrique	électrique	électrique
Vitesse maximale en km/h.	grand régime 50 petit régime 23	60	60	80	75	P. V. 80 G V 130
Longueur totale en mètres.	9,36	9,5		14,68	19,42	19,81



Locomotive BB 63 000



Locomotive CC 65 500



Locomotive CC 65 000

## LE MOTEUR DIESEL

### MOTEURS A COMBUSTION INTERNE

On appelle moteur à combustion interne un moteur dans lequel on utilise, pour produire la force motrice, l'énergie libérée par une combustion qui a lieu dans le moteur lui-même.

Un moteur à combustion interne comprend un (ou plusieurs) cylindre fermé à l'une de ses extrémités et dans lequel un piston se déplace alternativement et produit la rotation d'un arbre par l'intermédiaire d'une bielle et d'une manivelle.

Les deux positions extrêmes du piston vers le haut et vers le bas sont appelées le point mort supérieur et le point mort inférieur. La course du piston est égale à la distance entre ces deux points, c'est-à-dire à deux fois le rayon de la manivelle (fig. 9).

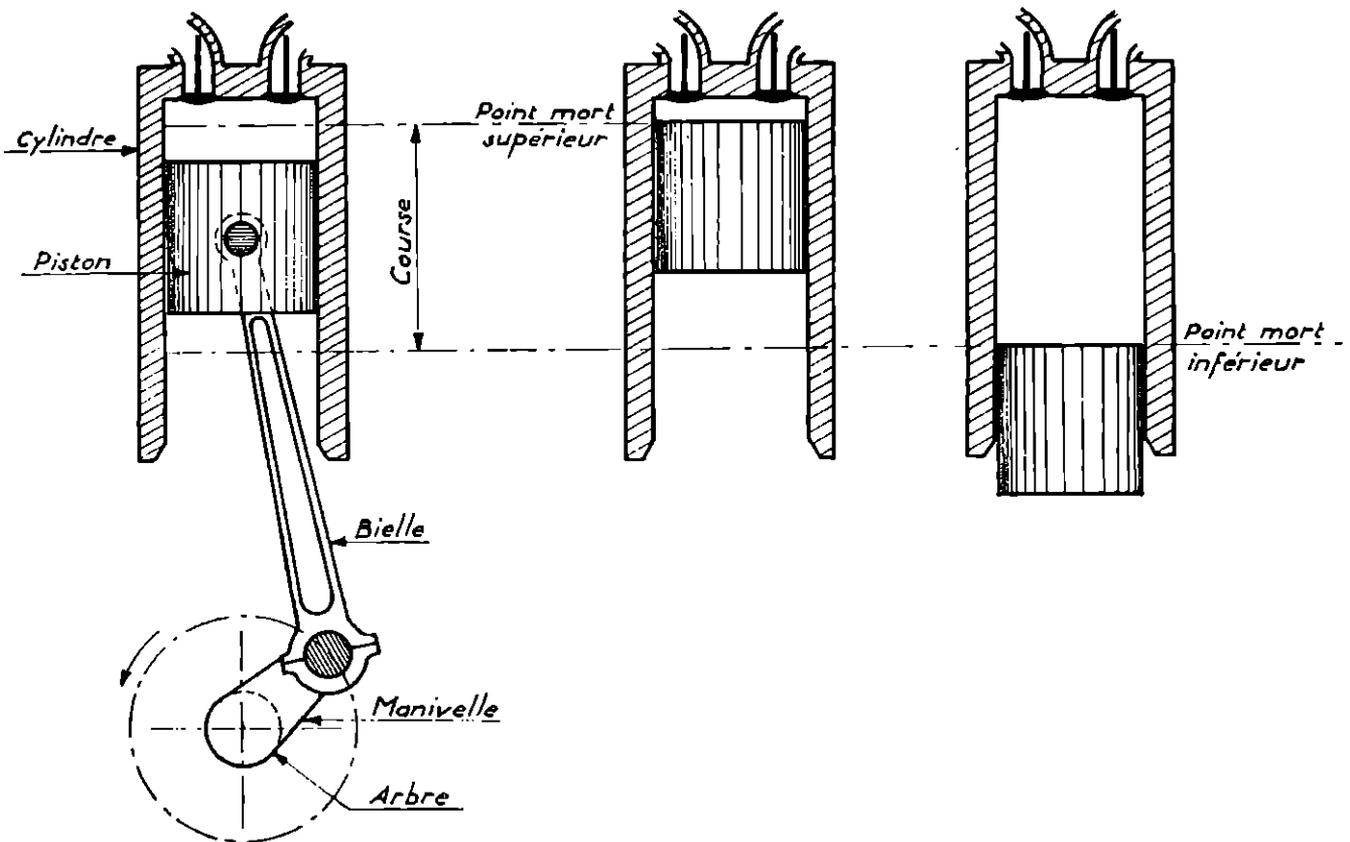


Fig. 9.

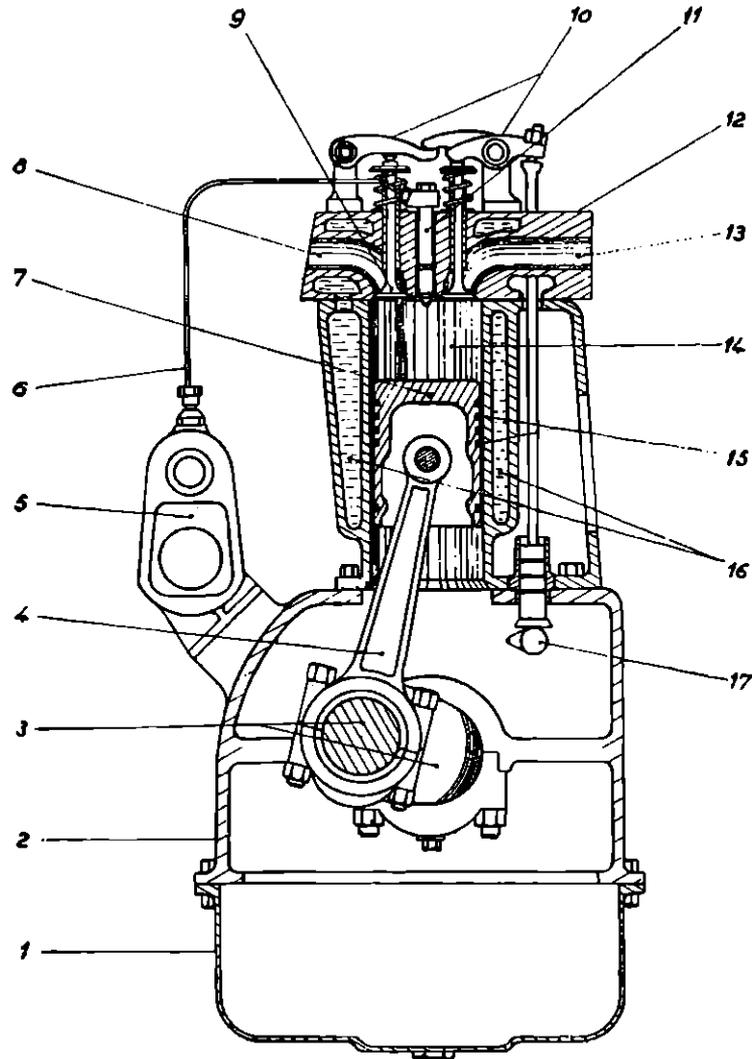
De l'air et une certaine quantité de combustible sont introduits à intervalles réguliers dans le volume variable compris entre le piston et le fond du cylindre; l'augmentation de pression due à la combustion produit l'effort moteur.

### CONSTITUTION DU MOTEUR DIESEL

Le moteur Diesel, qui entre dans la catégorie des moteurs à combustion interne, comprend essentiellement :

- un cylindre généralement fermé à sa partie supérieure par un couvercle dit culasse. Le cylindre et la culasse sont refroidis par une circulation d'eau (les chambres de circulation d'eau sont pratiquées dans le bâti du cylindre et dans la masse de la culasse) (fig. 10);

- un piston qui se déplace dans le cylindre et qui est muni de garnitures ou segments assurant son étanchéité;
- un système bielle-manivelle qui transforme le mouvement alternatif du piston en mouvement circulaire d'un arbre appelé vilebrequin;
- un injecteur, alimenté par une pompe spéciale, qui introduit le combustible (gas-oil, fuel-oil, huile de schiste ou de goudron) dans le cylindre sous forme de jets très finement pulvérisés et animés d'une grande vitesse;
- des organes de distribution permettant l'évacuation des gaz brûlés et le renouvellement de l'air dans le cylindre.



- 1 — Carter inférieur
- 2 — Carter supérieur
- 3 — Vilebrequin
- 4 — Bielle
- 5 — Pompe d'injection
- 6 — Tuyau de refoulement
- 7 — Piston
- 8 — Entrée d'air
- 9 — Soupape

- 10 — Culbuteurs
- 11 — Inje-cteur
- 12 — Culasse
- 13 — Sortie des gaz brûlés
- 14 — Cylindre
- 15 — Segments d'étanchéité
- 16 — Chambres de circulation d'eau
- 17 — Arbre à cames

Fig. 10.

Les organes de distribution sont généralement constitués par des soupapes (fig. 11).

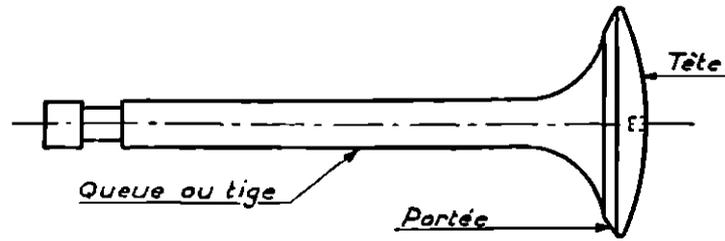


Fig. 11.

L'ouverture et la fermeture des soupapes sont commandées par la rotation d'un arbre à cames relié lui-même au vilebrequin par un jeu d'engrenages. Cette commande est assurée par l'intermédiaire d'un poussoir, d'une tige de commande et d'un culbuteur (fig. 12).

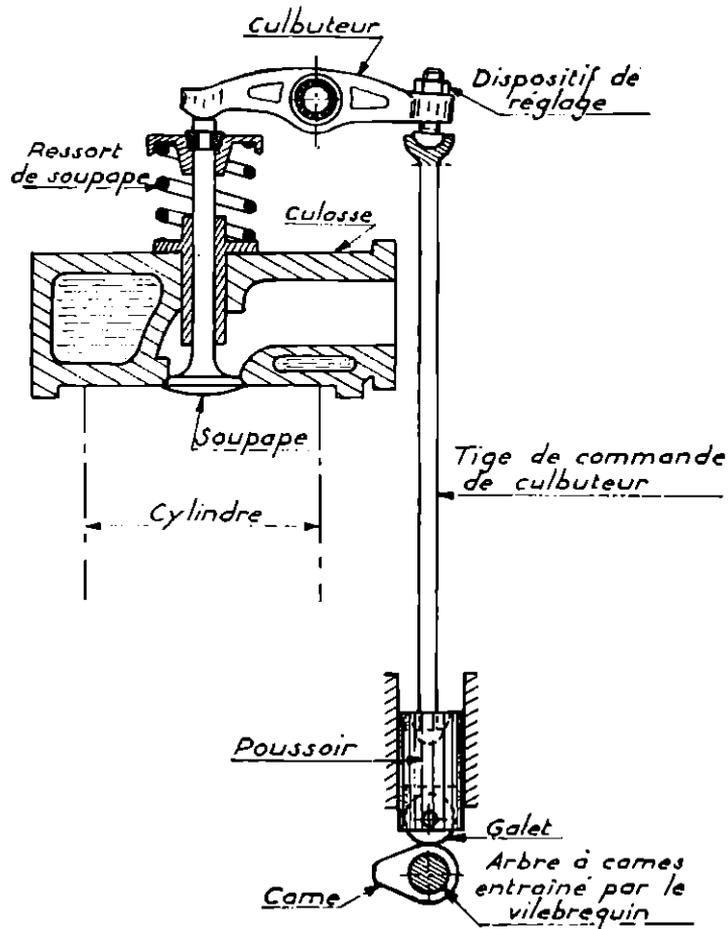


Fig. 12.

Il y a deux soupapes par cylindre : une soupape d'admission, une soupape d'échappement (dans certains moteurs les soupapes sont doublées afin d'offrir un plus grand passage aux gaz). Nous allons voir à quels moments les soupapes s'ouvrent et se ferment.

## FONCTIONNEMENT DU MOTEUR DIESEL. ÉTUDE DU CYCLE A 4 TEMPS

Chacun a constaté que lorsqu'on gonfle un pneu de bicyclette le corps de la pompe s'échauffe. C'est parce que l'air introduit dans la pompe s'échauffe sous l'effet de la compression et cède de sa chaleur au corps métallique de la pompe.

D'une manière générale, un gaz s'échauffe lorsqu'on le comprime et la température qu'il atteint est d'autant plus élevée que sa compression est plus forte.

C'est cette température que l'on utilise dans le moteur Diesel pour enflammer le combustible.

Par l'ouverture de la soupape d'admission on permet à une certaine quantité d'air de pénétrer dans le cylindre (fig. 13).

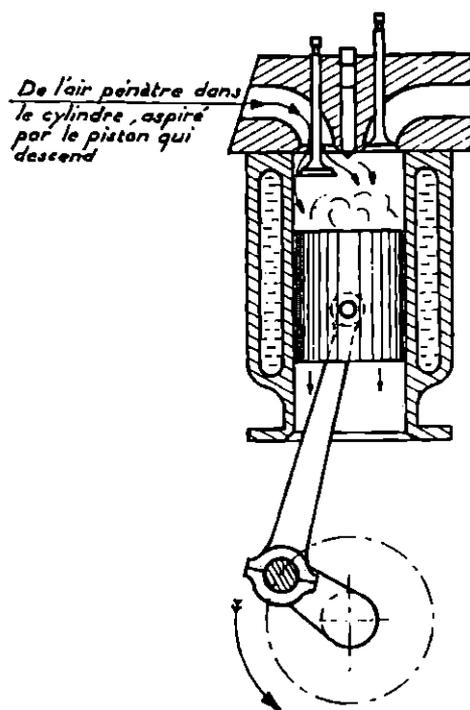


Fig. 13.

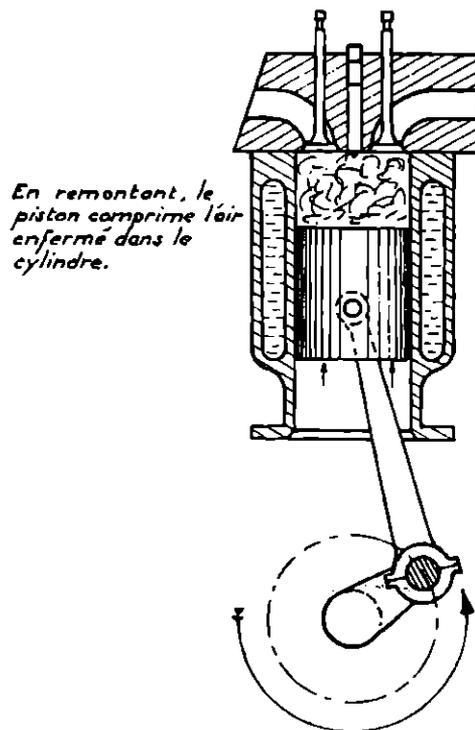


Fig. 14.

Après fermeture de la soupape, cet air est fortement et rapidement comprimé par le piston (fig. 14). C'est à la fin de cette compression que le combustible est injecté dans le cylindre. Il s'enflamme instantanément à cause de la température élevée de l'air (de l'ordre de 500° C) et les gaz produits par la combustion exercent une importante poussée sur le piston (fig. 15). Cette poussée constitue le temps moteur et le travail qu'elle produit est transmis au vilebrequin par la bielle et la manivelle.

Le temps moteur a lieu au cours de la descente du piston; lorsque cette descente est achevée, il est nécessaire d'évacuer les gaz brûlés contenus dans le cylindre. C'est le piston qui effectue cette opération au cours de sa remontée; la soupape d'échappement est alors ouverte (fig. 16).

L'ensemble des opérations qui viennent d'être brièvement décrites constitue le cycle. On y a trouvé dans l'ordre :

- 1° Admission d'air dans le cylindre;
- 2° Compression de cet air par le piston;
- 3° Injection du combustible et détente des gaz de combustion;
- 4° Echappement des gaz qui ont achevé leur travail de poussée.

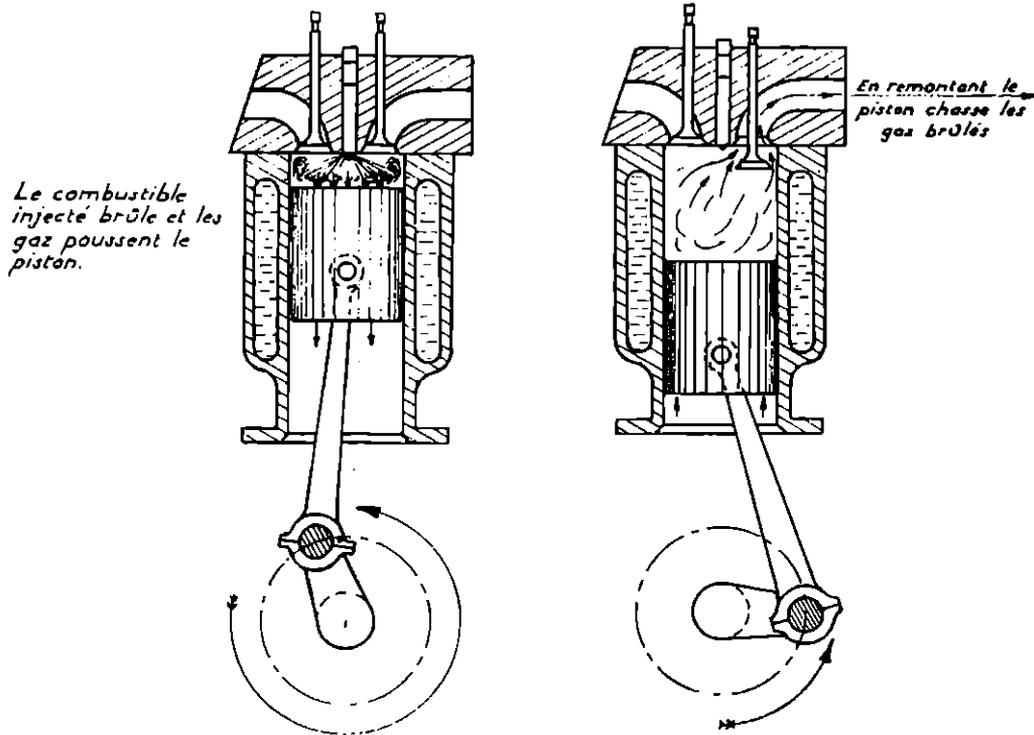


Fig. 15.

Fig. 16.

Ce cycle est dit « cycle à 4 temps » et c'est celui de la plupart des moteurs à combustion.

Remarquons que le piston n'a reçu d'énergie qu'au cours du 3<sup>e</sup> temps; au cours des trois autres temps il en a dépensé.

En effet :

- pendant le 1<sup>er</sup> temps, le piston a aspiré de l'air;
- pendant le 2<sup>e</sup> temps, il l'a comprimé;
- pendant le 4<sup>e</sup> temps, il a chassé les gaz brûlés.

Mais l'énergie qu'il reçoit de la part des gaz de combustion est de beaucoup supérieure à l'énergie observée et c'est pour cette raison que le moteur produit du travail.

#### ÉTUDE DU CYCLE

Supposons le moteur en mouvement et le piston arrivé au point mort supérieur.

**1<sup>er</sup> temps : admission ou remplissage.**

Le piston descend, entraîné par le vilebrequin. La soupape d'admission est ouverte. De l'air aspiré par le piston pénètre dans le cylindre. Ce temps se poursuit jusqu'au point mort bas.

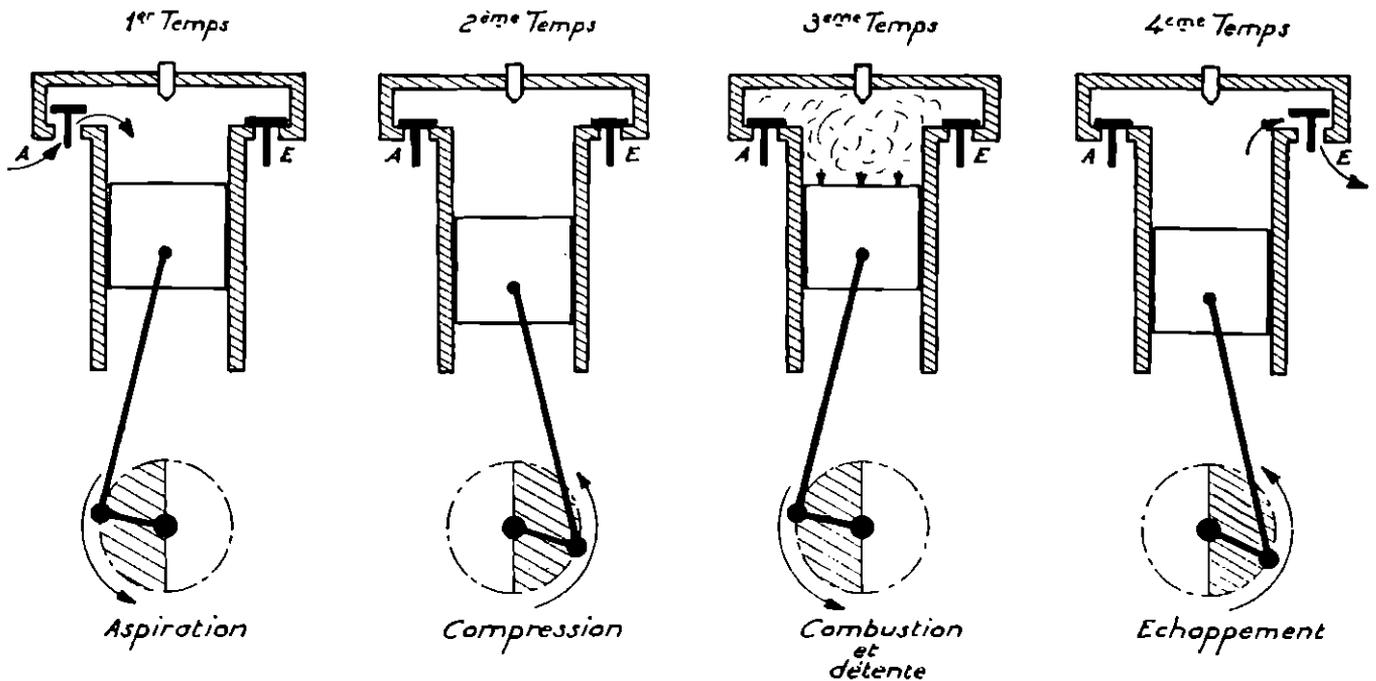


Fig. 17.

**2<sup>e</sup> temps : compression.**

La soupape d'admission se ferme et le piston en remontant comprime l'air emprisonné dans le cylindre. Ce mouvement se poursuit jusqu'au point mort haut. Sous l'effet de la compression, l'air s'échauffe et atteint une température élevée.

**3<sup>e</sup> temps : détente.**

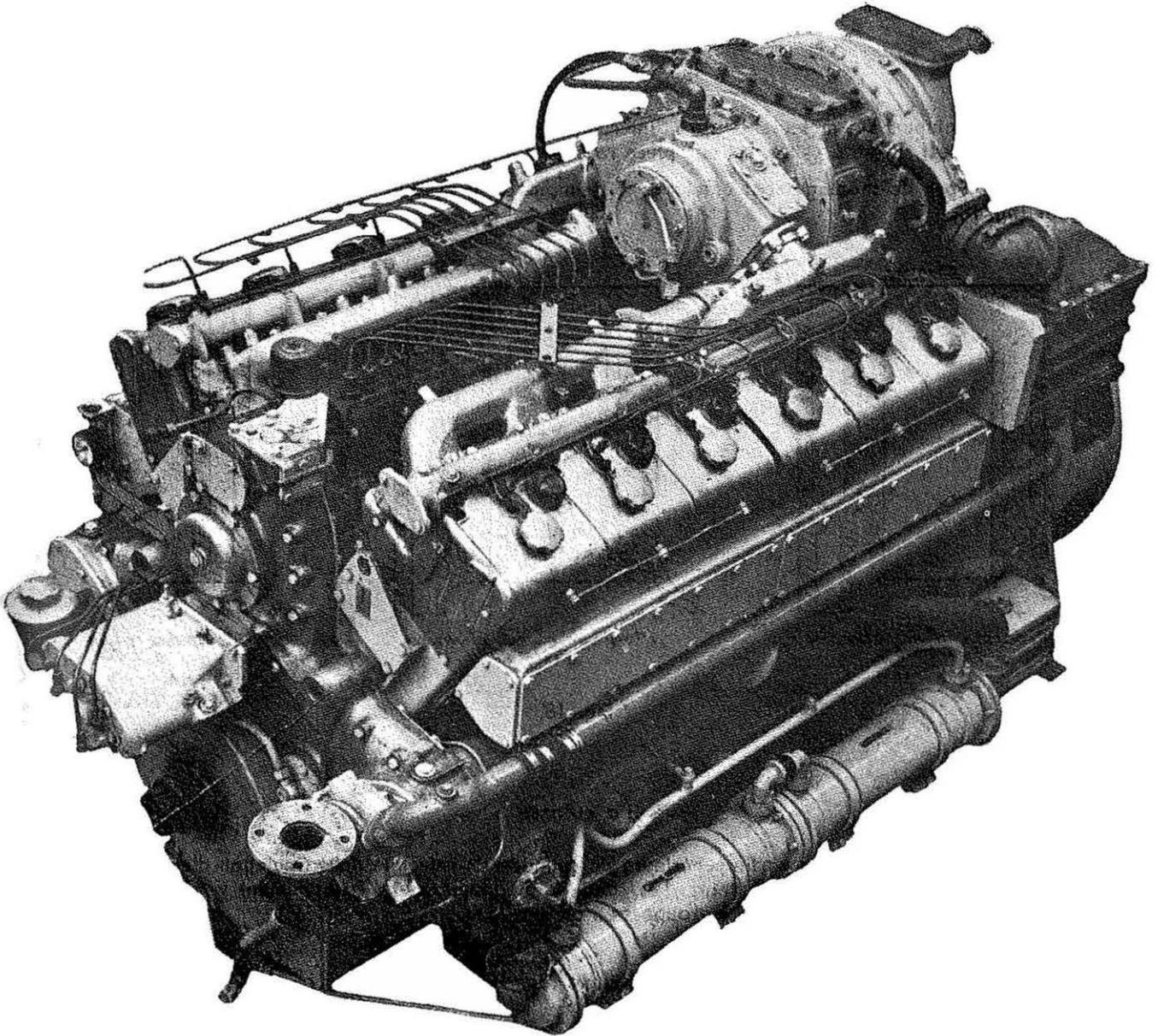
L'injecteur introduit le combustible dans le cylindre sous forme d'un jet, à très haute pression de l'ordre de 200 bars ( $\approx 200 \text{ kgf/cm}^2$ ). Le combustible est finement pulvérisé en un temps très court. Il s'enflamme instantanément et les gaz résultant de la combustion agissent sur le piston qui descend; c'est la course motrice.

**4<sup>e</sup> temps : échappement.**

Le piston remonte et chasse les gaz brûlés qui gagnent le collecteur d'échappement par la soupape d'échappement qui s'est ouverte.

Les mêmes phases se succèdent continuellement, le mouvement de l'arbre étant entretenu par un lourd volant.

## DESCRIPTION ET RÔLE DES PRINCIPAUX ORGANES DU MOTEUR DIESEL



Les moteurs Diesel à 4 temps sont constitués par plusieurs groupes d'éléments (cylindres, pistons et bielles) agissant sur un même arbre vilebrequin. On les désigne souvent par leur nombre de cylindres. Les dispositions les plus utilisées sont : 4, 6 cylindres en ligne; 8, 12 cylindres en V.

### Le bâti

Constitue le support des divers organes du moteur. C'est un ensemble massif, fortement nervuré. D'aspect variable suivant le type de moteur, il comporte généralement le bloc-cylindres avec ses chambres de circulation d'eau, les paliers-supports de vilebrequin, les supports d'organes de distribution. Il se termine à la partie inférieure par un carter qui forme réservoir d'huile de graissage.

### Le cylindre

Dans la plupart des moteurs, la partie intérieure des cylindres, sur laquelle frottent les pistons, et qui est par conséquent sujette à usure, est une pièce rapportée appelée « chemise ».

Deux types de montage sont employés : le montage à chemise sèche et le montage à chemise humide (fig. 18).

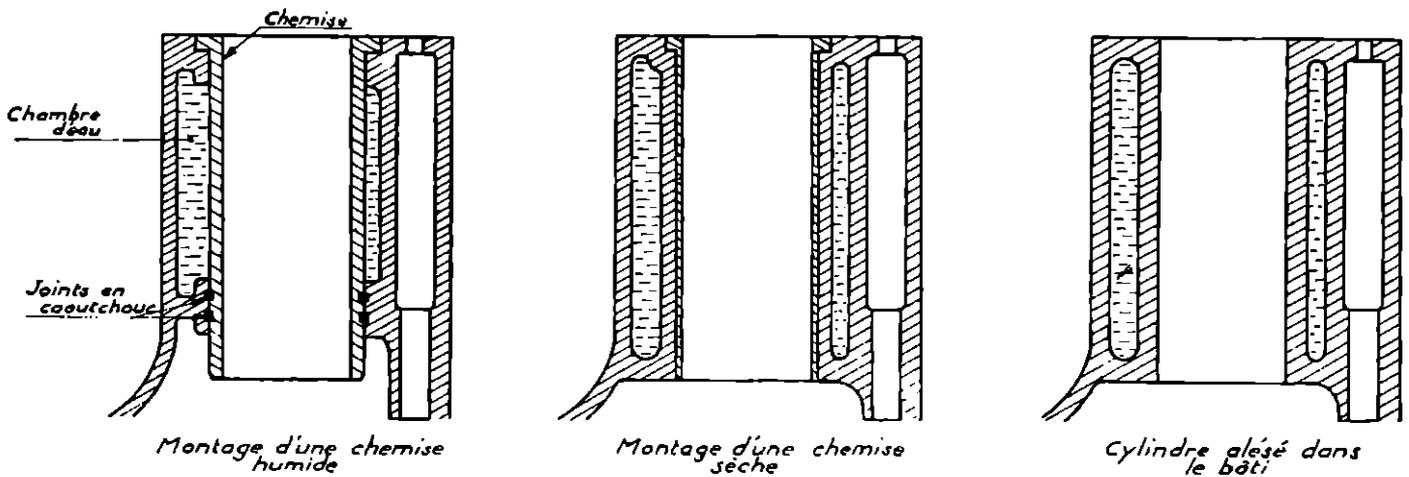


Fig. 18.

### La culasse

La culasse qui obture la partie supérieure du cylindre est refroidie par circulation d'eau. Elle porte l'injecteur, les soupapes et les culbuteurs. Les conduits d'admission et d'échappement y débouchent. Sur certains moteurs plusieurs culasses sont groupées en un seul bloc.

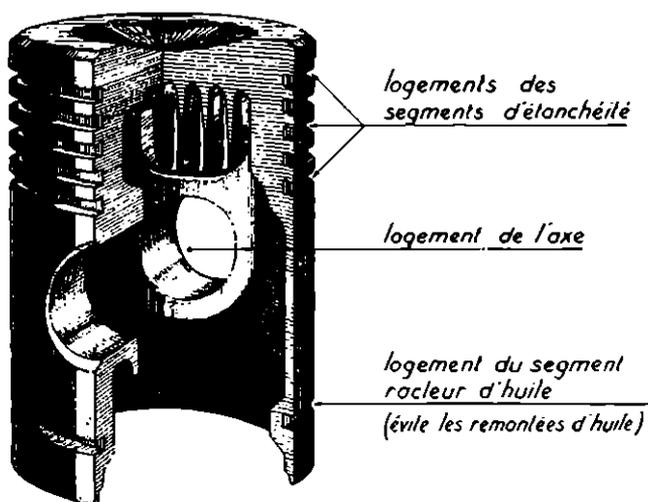
### Le piston (fig. 19)

Il assure, à l'aide des segments, l'étanchéité de la chambre de combustion et transmet à la bielle, par l'intermédiaire de l'axe de pied de bielle, l'effort dû à la pression des gaz.

### La bielle (fig. 20)

Relie le piston à l'arbre vilebrequin. Le pied s'articule sur un axe généralement bloqué dans le piston. La tête tourillonne sur le vilebrequin. Le corps est de constitution robuste. Il est souvent foré pour permettre le passage de l'huile qui va graisser l'axe de piston.

Les coussinets de tête de bielle doivent supporter sans dommage des pressions élevées; ils sont garnis d'alliage antifriction.



Le fond est muni de nervures intérieures qui facilitent l'évacuation de la chaleur.

Fig. 19.

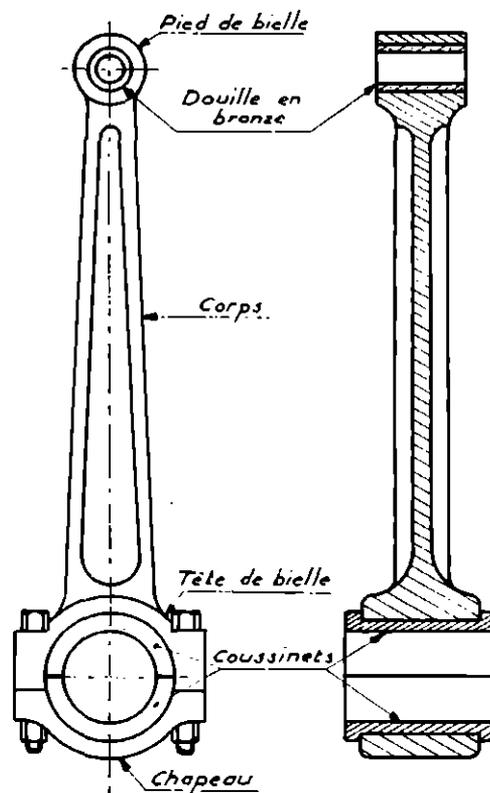


Fig. 20.

### Le vilebrequin (fig. 21)

Le vilebrequin, ou arbre manivelle, reçoit les efforts des bielles. Dans le bâti du moteur il repose dans des paliers-supports par l'intermédiaire de ses tourillons. C'est une pièce très chargée; elle supporte d'importants efforts de torsion et de flexion. Ces efforts intermittents provoquent des vibrations pouvant devenir très nuisibles.

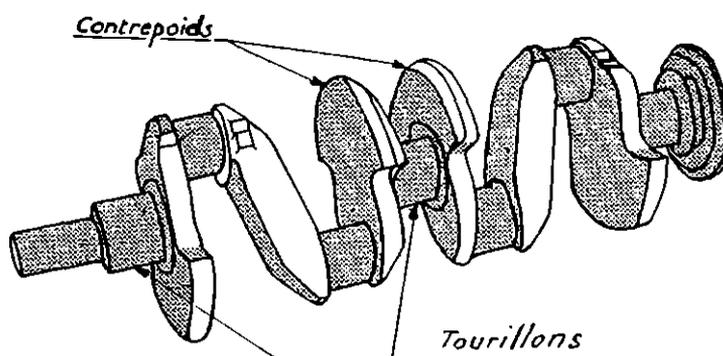


Fig. 21.

Les effets nuisibles des forces centrifuges provoquées par la rotation des pièces excentrées sont combattus par des contrepoids qui créent des forces centrifuges opposées (suppression du balourd). Le lourd volant fixé sur le vilebrequin (non représenté sur la figure) et qui entretient le mouvement de rotation, permet en outre d'atténuer les vibrations.

### L'injecteur (fig. 22)

Organe chargé de pulvériser le combustible dans le cylindre à un instant précis, l'injecteur est une pièce très délicate dont dépend le bon fonctionnement du moteur. Il reçoit le combustible sous pression de la pompe d'injection.

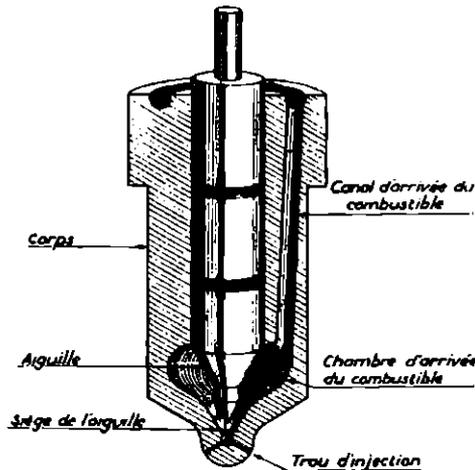


Fig. 22.

La partie active d'un injecteur est constituée par un corps évidé à l'intérieur duquel se déplace une aiguille. L'ajustage de ces deux pièces est effectué avec une très grande précision afin d'assurer le maximum d'étanchéité tout en permettant le déplacement de l'aiguille.

Dans le type le plus courant d'injecteur, l'aiguille se termine à la partie inférieure par un double cône dont le plus petit peut s'appliquer sur un siège. Un ressort (non représenté sur la figure) applique fortement l'aiguille sur son siège.

À l'instant où doit avoir lieu l'injection, le combustible est violemment refoulé par une pompe et arrive dans la chambre de l'injecteur en passant par le canal d'arrivée visible sur le croquis.

La très forte pression régnant brusquement dans la chambre de l'injecteur soulève l'aiguille de son siège malgré le ressort et le combustible s'échappe rapidement par les trous très fins percés dans la partie inférieure du corps de l'injecteur.

Le faible diamètre des trous et leur orientation font que le combustible est finement pulvérisé en jets et il se produit un mélange intime avec l'air contenu dans le cylindre; mélange qui favorise la combustion.

Lorsque la pompe cesse de refouler le combustible, l'aiguille obstrue immédiatement la communication avec les trous d'injection.

Le rôle de l'aiguille est donc de ne laisser passer le combustible que sous forme de jets pulvérisés; tant que la pression n'est pas suffisante, le passage est obstrué.

### La pompe d'injection

Entraînée par le vilebrequin (par l'intermédiaire de pignons) la pompe refoule mécaniquement le combustible vers les injecteurs.

Le réglage de cet organe a une très grande importance car c'est de lui que dépend l'instant où l'injection se produit et la quantité de combustible introduite dans chaque cylindre.

Il y a un élément de pompe par cylindre. Le plus souvent tous les éléments sont réunis côte à côte dans un même bâti.

Afin d'obtenir une pulvérisation suffisante à la sortie des injecteurs, les pompes doivent refouler le combustible à une pression allant jusqu'à 300bars ( $\approx 300\text{kgf/cm}^2$ ) dans certains moteurs. Ceci exige une précision d'exécution d'autant plus grande que la quantité de combustible à refouler à chaque injection est très faible.

La figure 23 représente schématiquement un type de pompe très utilisé. On y distingue un arbre à cames dont le rôle est de manœuvrer les pistons des éléments de pompe par l'intermédiaire de poussoirs. Dans chaque élément un piston coulisse à l'intérieur d'un cylindre dont la partie supérieure est percée de lumières. Ces lumières permettent au combustible liquide arrivant par la chambre d'aspiration de s'introduire dans le cylindre.

Pendant la course descendante du piston, qui est assurée par un ressort de rappel, les deux lumières se trouvent découvertes et le combustible emplit la partie dégagée du cylindre.

Pendant la course ascendante produite par la poussée de la came (montée rapide du piston) le piston vient d'abord obturer les lumières d'admission puis refoule énergiquement le combustible vers l'injecteur. Une soupape (ou clapet) de refoulement est placée dans le circuit de refoulement afin de s'opposer au retour du combustible. Chaque élément de pompe est relié à un injecteur par un tuyau en acier.

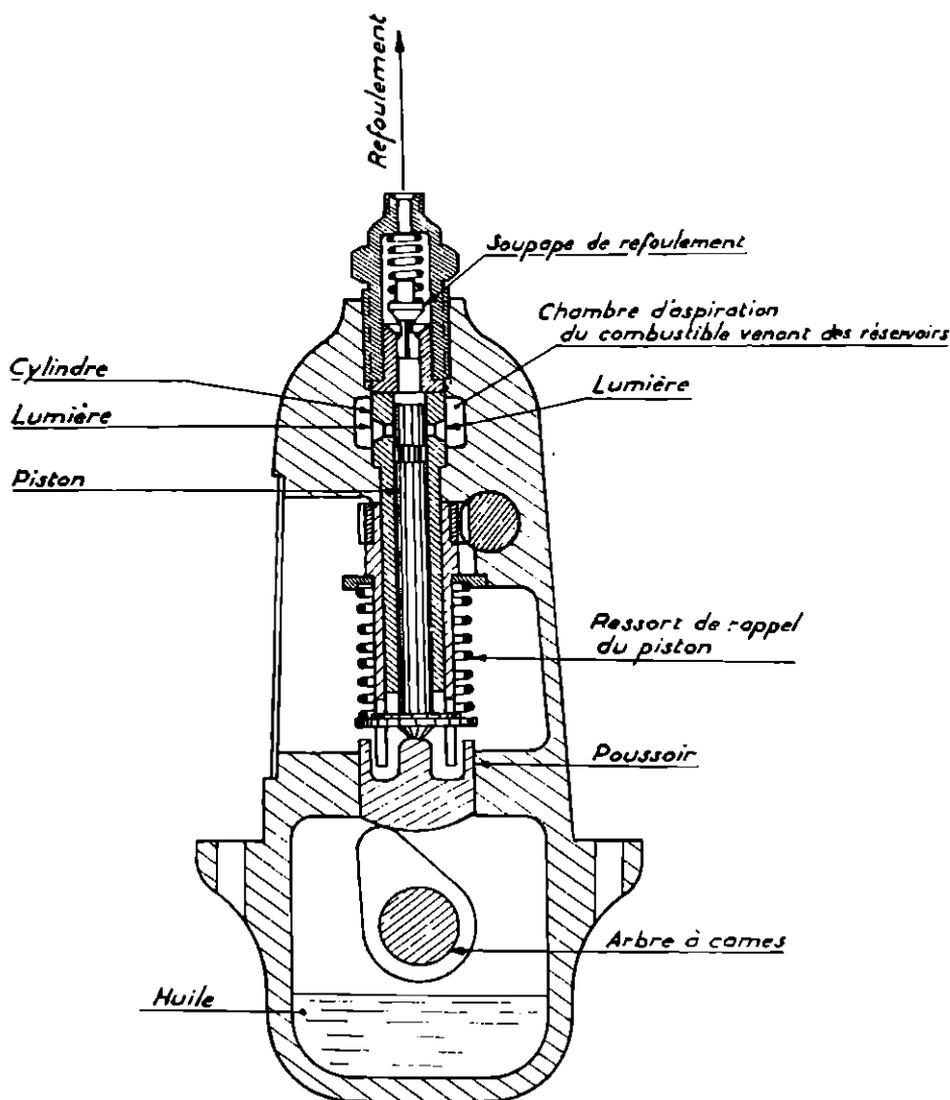


Fig. 23. — COUPE D'UN ÉLÉMENT DE POMPE

NOTA. — Un dispositif complémentaire, que nous n'étudierons pas, permet de faire varier la quantité de combustible refoulée à chaque montée des pistons afin de faire varier la puissance développée par le moteur et sa vitesse de rotation.

## LE REFROIDISSEMENT

Les culasses et les cylindres sont maintenus à température convenable par une circulation très active d'eau. Cette circulation est assurée par une pompe rotative entraînée le plus souvent par le vilebrequin.

Le circuit comporte un radiateur ventilé où l'eau se refroidit, des canalisations et des chambres de circulation d'eau du moteur pratiquées dans la masse des cylindres et des culasses.

L'eau froide aspirée par la pompe dans le radiateur est refoulée dans les chambres de circulation où, par contact avec les parois métalliques, elle absorbe de la chaleur. L'eau réchauffée retourne au radiateur où elle se refroidit avant de recommencer le même trajet.

## QUESTIONNAIRE

---

### ENGINS DE TRACTION A MOTEURS DIESEL

- 1° Citez les différentes catégories d'engins à moteurs Diesel.
- 2° Quels sont les engins les plus puissants?

### MOTEUR DIESEL

- 1° Quelle est la différence entre un cylindre de moteur Diesel et un cylindre de machine à vapeur ?
- 2° Citez les organes principaux d'un moteur Diesel.
- 3° Quels sont les organes qui permettent l'introduction d'air dans le cylindre et l'échappement des gaz ?
- 4° Pourquoi fait-on circuler de l'eau dans les chambres de circulation des cylindres et culasses ?
- 5° Quels sont les 4 temps du cycle ?
- 6° A quel moment du cycle le piston reçoit-il une poussée ?
- 7° Quel est l'organe qui introduit le combustible dans le cylindre ?
- 8° A quel moment a lieu l'injection ?
- 9° Combien le vilebrequin fait-il de tours pendant un cycle complet à 4 temps ?
- 10° Comment le mouvement alternatif du piston est-il transformé en mouvement de rotation du vilebrequin ?
- 11° Sous quelle forme le combustible est-il introduit dans le cylindre ?
- 12° Quel est l'organe qui envoie le combustible liquide aux injecteurs ?
- 13° La pression du combustible arrivant aux injecteurs est-elle élevée ? Pourquoi ?
- 14° Comment la pompe d'injection est-elle entraînée ?

## LES TRANSMISSIONS

---

Sur un engin à moteur Diesel on désigne sous le nom de « transmission » l'ensemble des organes chargés de communiquer l'énergie développée par le moteur aux roues motrices du véhicule.

La complexité des dispositifs utilisés a pour cause deux difficultés provenant du fonctionnement du moteur.

1° Le moteur Diesel est incapable de fournir un effort utilisable à partir de l'arrêt. Autrement dit, il est nécessaire qu'il tourne à une certaine vitesse pour pouvoir fournir une puissance utile.

Ceci est particulièrement ennuyeux pour le démarrage du véhicule qui exige un gros effort afin de vaincre l'inertie de la masse à déplacer.

Il est impossible d'atteler directement le moteur aux essieux. Plusieurs artifices sont utilisés pour vaincre cet inconvénient; ils permettent d'utiliser presque toute la puissance du moteur pour le démarrage.

2° La vitesse de rotation des roues d'un autorail ou d'une locomotive varie dans de très larges limites depuis le démarrage jusqu'à la vitesse maximale permise. Par contre le moteur Diesel, pour des raisons de construction et de marche économique, ne peut fonctionner que dans une marge réduite au-dessous de sa vitesse nominale de rotation (vitesse à laquelle il peut développer sa puissance maximale).

En cours de marche, la vitesse du moteur doit rester comprise entre sa vitesse nominale et les  $\frac{2}{3}$  de cette vitesse.

*Exemple :* Si la vitesse nominale du moteur est de 1 500 tr/mn, sa vitesse en cours de marche doit rester comprise entre 1 000 et 1 500 tr/mn.

D'autre part, on ne peut dépasser sans danger la vitesse nominale.

Il est donc nécessaire de modifier suivant les besoins le rapport de démultiplication entre moteur et essieux au cours de la marche.

Ceci encore est obtenu de diverses manières que nous verrons dans la suite.

Des deux points exposés ci-dessus il ressort que, si aucune disposition n'était prévue pour appliquer un gros effort aux roues au démarrage et pour modifier d'une façon variable le rapport de démultiplication de la transmission, il serait impossible de démarrer un véhicule et de le faire circuler aux faibles vitesses. Il ne serait possible également d'utiliser la puissance maximale qu'à une seule vitesse : celle correspondant à la vitesse nominale du moteur.

On rencontre sur le matériel moteur de la S. N. C. F. des transmissions mécaniques, hydrauliques et électriques.

Nous allons voir successivement les caractéristiques principales de ces différents types.

## TRANSMISSIONS MÉCANIQUES

Ainsi nommées parce qu'elles transmettent les efforts par l'intermédiaire d'organes mécaniques, ces transmissions comportent trois organes principaux permettant le démarrage, l'utilisation du moteur dans une zone de vitesses compatible avec son fonctionnement, le déplacement du véhicule dans un sens ou dans l'autre. Ce sont l'embrayage, la boîte de vitesses et l'inverseur de marche.

**L'EMBRAYAGE** est un organe permettant d'appliquer progressivement l'effort moteur aux essieux. L'accouplement est effectué par glissement et friction; la mise en mouvement du véhicule et éventuellement de la charge qu'il remorque est ainsi obtenue sans choc ni à-coup.

Les embrayages généralement utilisés sur les autorails et autres engins à moteurs Diesel sont du type à disques.

Ils se composent essentiellement (fig. 24) :

- d'un volant solidaire du vilebrequin (1);
- d'un ou de plusieurs disques d'embrayage (2) solidaires de l'arbre d'entrée de la boîte de vitesses (3) (ou arbre primaire) mais pouvant toutefois se déplacer transversalement sur cet arbre grâce à des cannelures (4). Ces disques sont munis sur leurs faces latérales de disques de friction (5) (en matière à base d'amiante ayant la propriété d'augmenter le frottement sans causer d'usure nuisible);
- d'un couvercle solidaire du volant (6);
- d'un ou de plusieurs plateaux mobiles (7) poussés par des ressorts;
- de doigts de débrayage (8) et d'une butée à billes mobile (9).

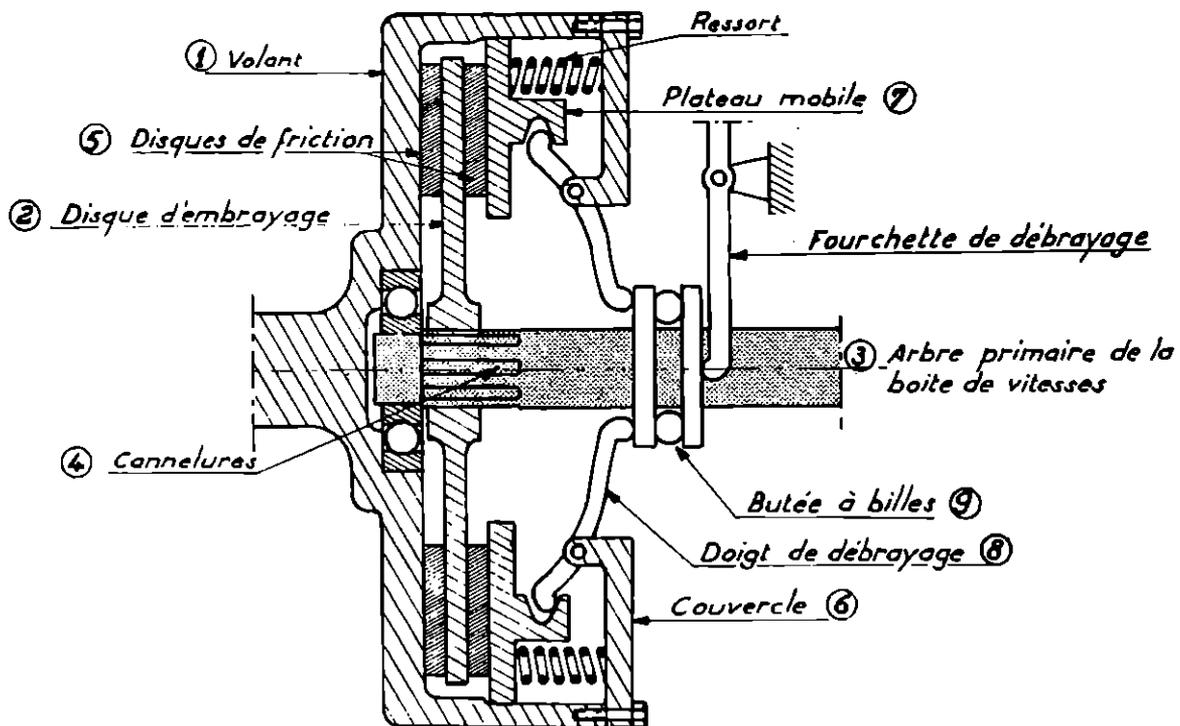


Fig. 24. — EMBRAYAGE EN POSITION « EMBRAYÉ »

**Fonctionnement** : L'embrayage peut occuper deux positions : position embrayé, position débrayé.

En position embrayé (fig. 24) les ressorts prenant appui sur le couvercle poussent le plateau mobile. Le disque d'embrayage se trouve alors fortement comprimé entre le plateau mobile et le volant, rendant ainsi l'arbre primaire de la boîte de vitesses solidaire du vilebrequin.

En position débrayé (fig. 25) le conducteur exerce un effort sur un levier : la fourchette de débrayage. Le déplacement de cette fourchette a pour effet de pousser la butée à billes qui transmet l'effort aux doigts de débrayage.

Ces doigts de débrayage sont des leviers qui, prenant appui sur le couvercle de l'embrayage, entraînent le plateau mobile.

Le disque d'embrayage n'est plus soumis à la pression des ressorts et la liaison mécanique entre vilebrequin et arbre primaire de la boîte de vitesses est interrompue.

Pour obtenir le démarrage du véhicule, le conducteur qui a débrayé relâche doucement son action sur la fourchette de débrayage. Le plateau mobile vient lentement en contact avec le disque. Le glissement et la friction qui en résultent ont pour effet d'appliquer progressivement l'effort moteur à la transmission. Quand le démarrage est obtenu, la fourchette a complètement libéré la butée à billes et l'embrayage est en position embrayé.

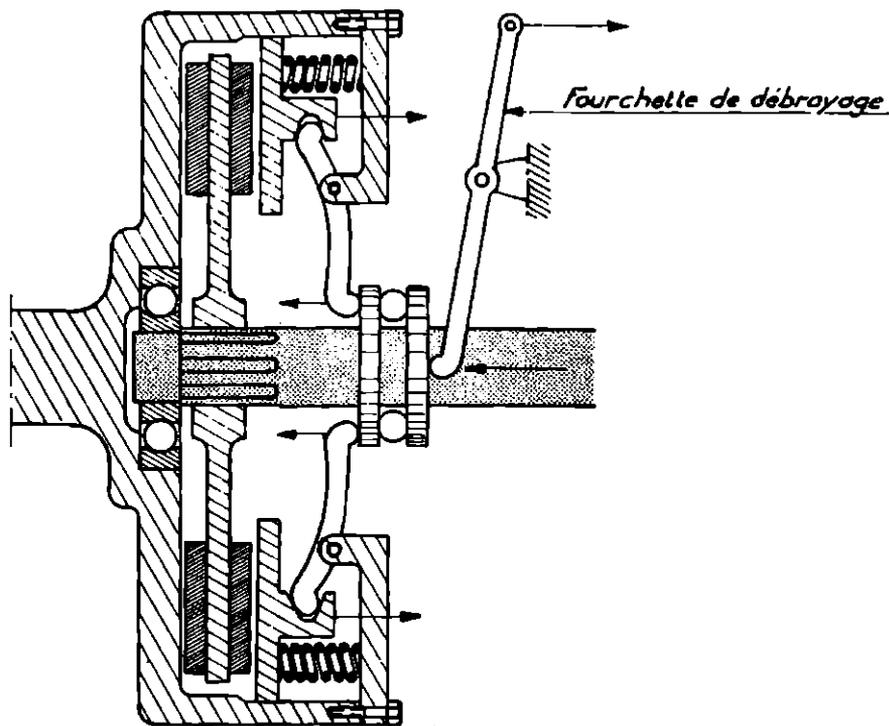


Fig. 25. — EMBRAYAGE EN POSITION « DÉBRAYÉ »

Il semble qu'actuellement la puissance maximale susceptible d'être transmise par un embrayage est de l'ordre de 370 à 440 kW (500 à 600 ch). C'est pour cela qu'au-delà de cette puissance on emploie soit des dispositifs hydrauliques, soit des transmissions électriques que nous verrons par la suite.

**LA BOÎTE DE VITESSES**, qui reçoit l'effort moteur de rotation du vilebrequin par l'intermédiaire de l'embrayage, est chargée de modifier le rapport de démultiplication entre le mouvement qu'elle reçoit et celui qu'elle imprime au reste de la transmission, en direction des essieux. Autrement dit, c'est elle qui permet aux roues de tourner lentement dès le démarrage, puis très rapidement, alors que le moteur tourne toujours aux environs de sa vitesse nominale.

Il existe différents types de boîtes de vitesses dont certains comportent des dispositifs automatiques. Voyons brièvement un système très utilisé sur les autorails et locomoteurs à transmission mécanique.

Il se compose essentiellement (voir fig. 26) :

1° D'un arbre primaire entraîné par le moteur par l'intermédiaire de l'embrayage (nous avons vu cet arbre en étudiant le fonctionnement de l'embrayage).

Cet arbre porte à son extrémité un pignon A ;

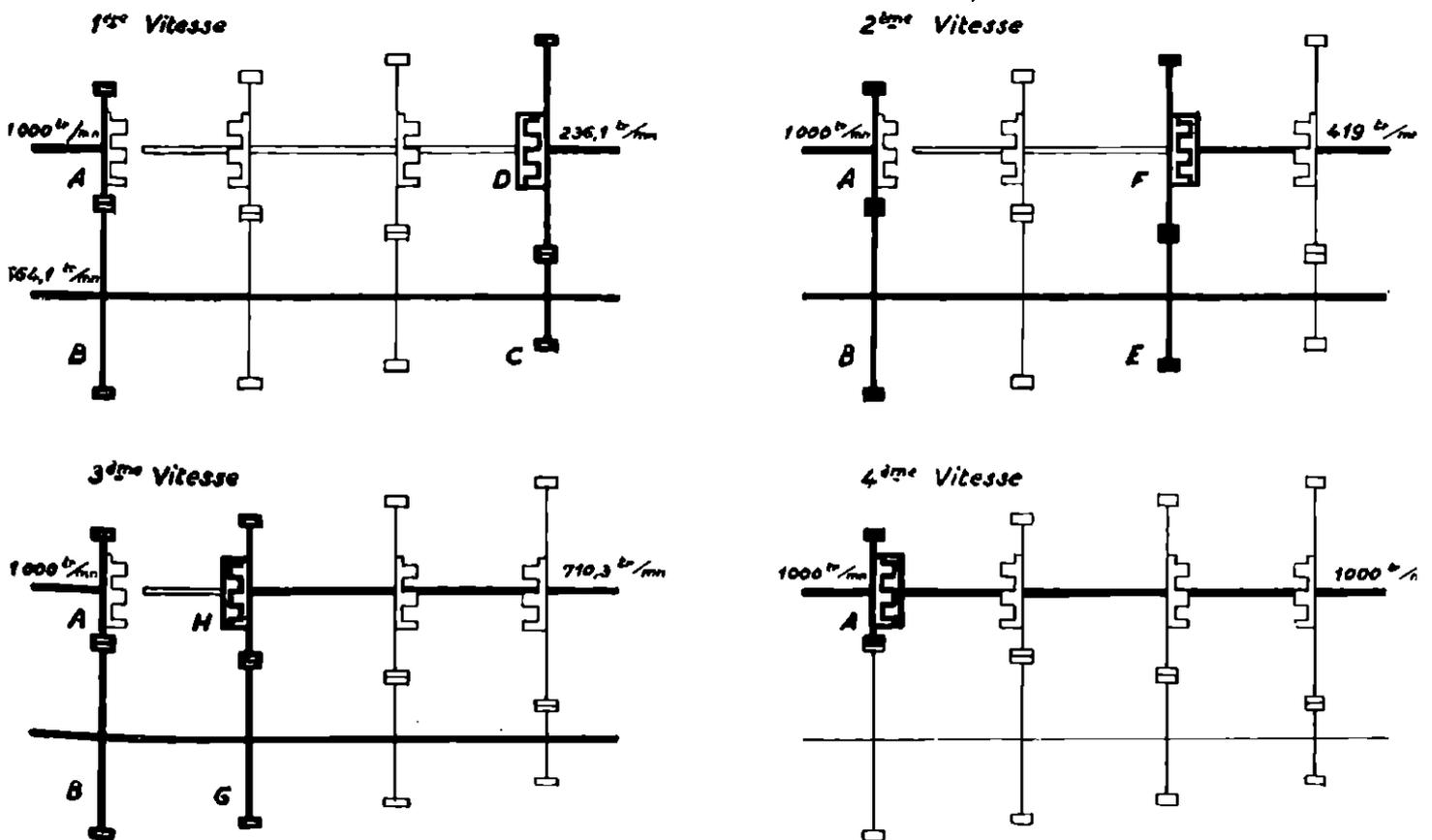
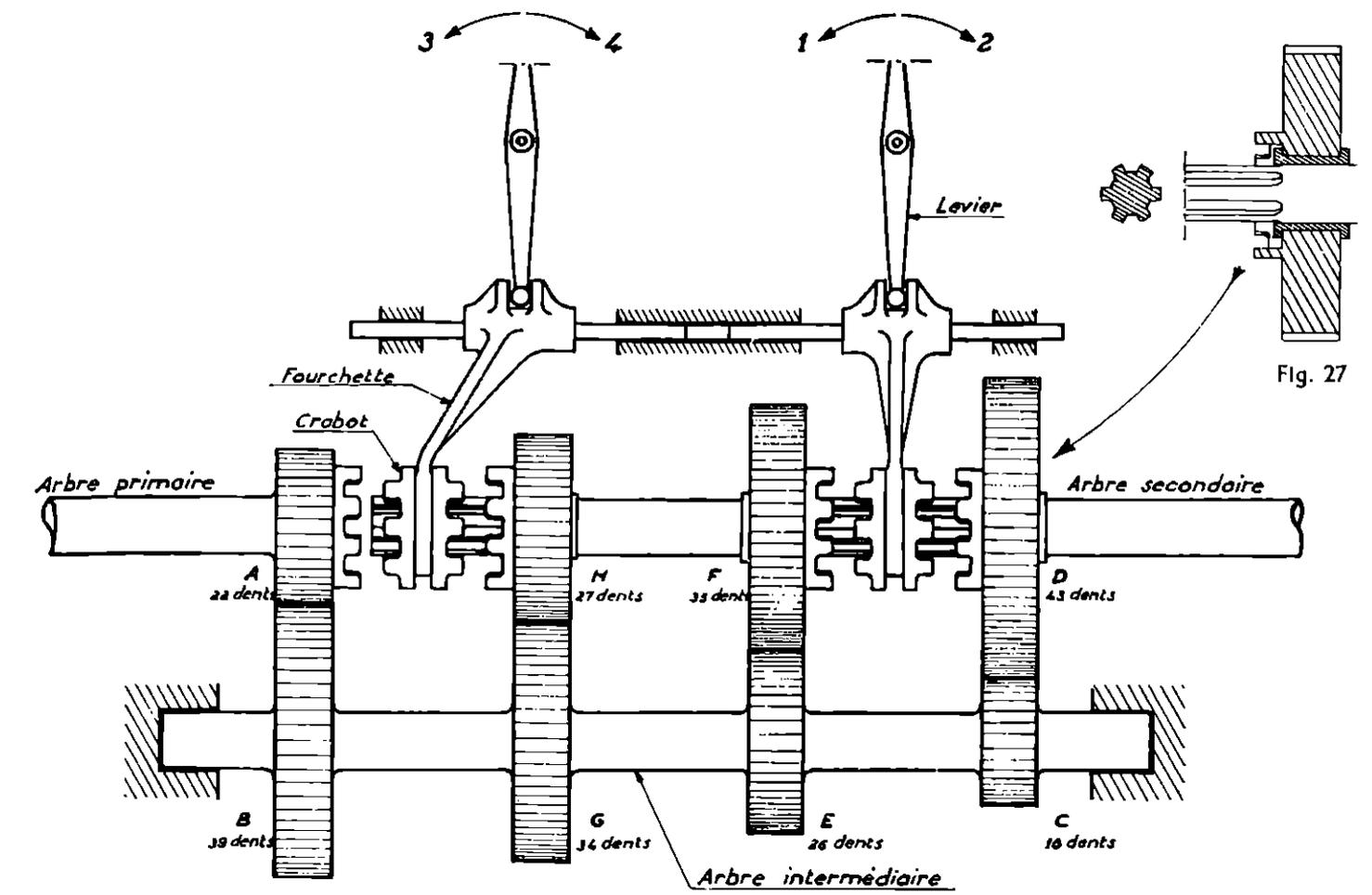


Fig. 26.

2° D'un arbre secondaire portant trois pignons H, F et D.

Ces trois pignons ont des diamètres différents et ils **tournent librement** sur l'arbre secondaire; autrement dit, ils ne sont pas solidaires de cet arbre (voir fig. 27). De plus, ils sont munis, sur l'une de leurs faces, de griffes (ou dents) orientées latéralement.

Sur l'arbre secondaire se trouvent également deux couronnes munies sur leurs deux faces de griffes orientées latéralement; griffes qui correspondent à celles des pignons libres.

Ces couronnes, que l'on nomme « crabots », tournent avec l'arbre secondaire à cause des cannelures dans lesquelles elles sont engagées (voir croquis). Mais ces cannelures leur permettent de se déplacer transversalement. Ce déplacement s'obtient par l'action de fourchettes, elles-mêmes manœuvrées par des leviers;

3° D'un arbre intermédiaire portant quatre pignons B, G, E et C.

Ces pignons sont solidaires de l'arbre et engrènent constamment avec les pignons A, H, F et D des arbres primaire et secondaire.

**Fonctionnement.**

Considérons la boîte de vitesses dans la position où elle est représentée sur le croquis et supposons que le moteur tourne.

Si l'embrayage est en position « embrayé », l'arbre primaire tourne à la même vitesse que le moteur.

Le pignon A de l'arbre primaire entraîne le pignon B avec lequel il engrène et par suite l'arbre intermédiaire et ses pignons G, E et C.

Notons que l'arbre intermédiaire tourne à une vitesse inférieure à celle du moteur à cause du rapport des pignons A et B.

Les pignons G, E et C tournant, ils entraînent respectivement les pignons H, F et D avec lesquels ils engrènent constamment.

Or, nous avons vu que les pignons de l'arbre secondaire tournent librement sur leur arbre. Ils tournent donc sans entraîner l'arbre secondaire qui reste immobile. Par suite, le véhicule reste immobile.

Notons cependant que les pignons de l'arbre secondaire tournent à des vitesses différentes à cause du rapport de nombre de dents des couples de pignons GH, EF et CD.

**Démarrage du véhicule : passage de la 1<sup>re</sup> vitesse.**

Après avoir débrayé, le conducteur manœuvre le levier de première vitesse. Le crabot correspondant se déplace le long des cannelures de l'arbre secondaire et ses dents viennent s'engager dans les dents correspondantes du pignon D (voir schéma). Le pignon D est alors rendu solidaire de l'arbre secondaire.

Le conducteur manœuvre l'embrayage, ce qui a pour effet de mettre l'arbre primaire progressivement en mouvement. Ce mouvement est alors transmis par le pignon B à l'arbre intermédiaire et par les pignons CD (D craboté) à l'arbre secondaire et de là au reste de la transmission, en direction des essieux.

A cause de la double démultiplication  $\frac{A}{B} = \frac{22}{39}$  et  $\frac{C}{D} = \frac{18}{43}$  lorsque l'arbre primaire tourne à la vitesse de 1 000 tr/mn après embrayage, l'arbre secondaire tourne à 236 tr/mn.

**2° vitesse.**

Le conducteur manœuvre le levier dans le sens « 2° vitesse ». Par le système fourchette-crabot, le pignon F devient solidaire de l'arbre secondaire. Le mouvement du vilebrequin est alors transmis par les deux couples de pignons AB et EF de rapports  $\frac{22}{39}$  et  $\frac{26}{35}$  (voir schéma). Lorsque la vitesse du vilebrequin est de 1 000 tr/mn, la vitesse de l'arbre secondaire est 419 tr/mn.

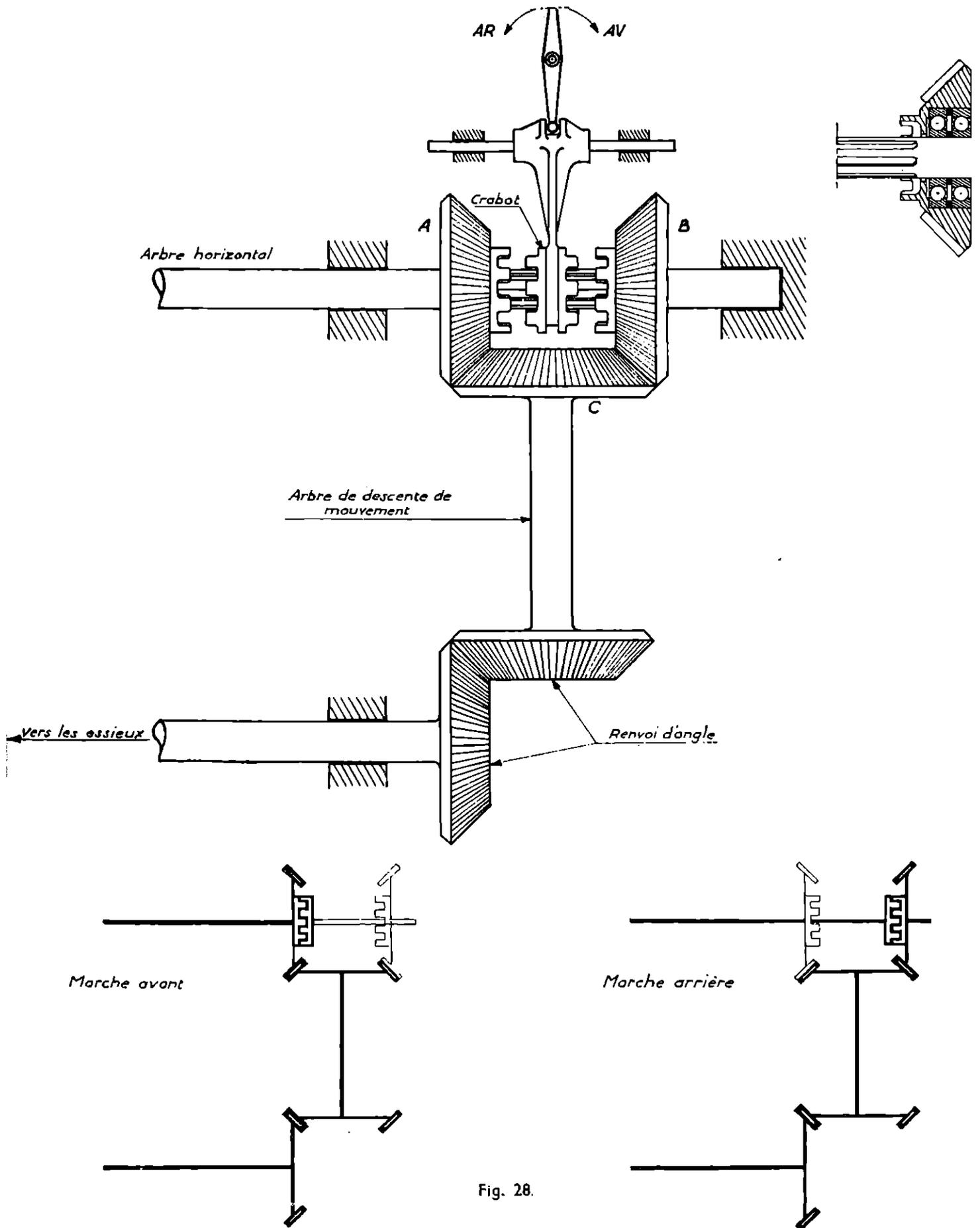


Fig. 28.

### 3<sup>e</sup> vitesse.

La manœuvre de l'autre levier dans le sens « 3<sup>e</sup> vitesse » (voir croquis) enclenche le deuxième crabot dans les dents du pignon H. Le mouvement du vilebrequin est alors transmis par les deux couples de pignons AB et GH de rapports  $\frac{22}{39}$  et  $\frac{34}{27}$  (voir schéma). La vitesse de rotation à l'entrée de 1 000 tr/mn par exemple devient 710 tr/mn à la sortie de l'arbre secondaire.

### 4<sup>e</sup> vitesse.

La manœuvre du levier dans le sens « 4<sup>e</sup> vitesse » déplace le crabot correspondant vers le pignon A qui est rendu solidaire de l'arbre secondaire. Le mouvement est alors transmis directement de l'arbre primaire à l'arbre secondaire, ces deux arbres étant « accouplés » (voir schéma). Cette 4<sup>e</sup> vitesse est dite « prise directe » car le mouvement de l'arbre secondaire est pris directement sur celui de l'arbre primaire.

Cette boîte de vitesses est dite à « pignons toujours en prise ». Les changements de vitesse sont obtenus par déplacement des crabots.

A chaque changement de vitesse, le conducteur doit débrayer afin de permettre l'enclenchement des crabots.

Un verrouillage mécanique, non représenté sur la figure, empêche d'engager les deux crabots en même temps.

L'INVERSEUR est l'organe qui permet le changement du sens de marche du véhicule, autrement dit, le sens de rotation des essieux, le moteur Diesel tournant toujours dans le même sens.

Voyons un type d'inverseur généralement utilisé à la S. N. C. F. Il se compose (voir fig. 28) :

1° D'un arbre horizontal qui est l'arbre secondaire de la boîte de vitesses. Cet arbre porte deux pignons coniques A et B tournant librement sur des roulements à billes et munis de dents orientées latéralement sur une de leurs faces.

La partie de cet arbre horizontal comprise entre les deux pignons est munie de cannelures sur lesquelles se déplace un crabot semblable à ceux de la boîte de vitesses.

2° D'un arbre vertical, dit « arbre de descente de mouvement », portant à son extrémité supérieure un pignon conique C engrenant avec les deux pignons A et B.

A la partie inférieure un couple de pignons coniques, dit « renvoi d'angle », transmet le mouvement de l'arbre de descente de mouvement à un arbre actionnant les essieux.

### Fonctionnement.

Considérons l'inverseur tel qu'il est représenté sur le croquis du haut de la page 37. Seul l'arbre horizontal tourne puisque les pignons A et B ne lui sont pas solidaires. L'arbre de descente de mouvement est immobile.

Manœuvrons le crabot vers la gauche (par un système fourchette-levier comme dans la boîte de vitesses).

Les dents du crabot viennent s'engager dans les dents du pignon A, rendant ainsi ce pignon solidaire de l'arbre horizontal.

Le pignon A est alors entraîné par la rotation de son arbre ; il entraîne le pignon C avec lequel il engrène constamment, l'arbre de descente de mouvement et l'arbre qui entraîne les essieux (voir schéma). Ce mouvement correspond à la marche avant du véhicule.

Recommençons la manœuvre, mais en déplaçant cette fois le crabot vers la droite (voir schéma). Le pignon B est rendu solidaire de l'arbre horizontal et la transmission du mouvement à l'arbre de descente et à l'arbre de transmission s'effectue de la même façon, mais dans l'autre sens de rotation, sens qui correspond à la marche arrière du véhicule.

NOTA. — La manœuvre du crabot de l'inverseur doit se faire pendant l'arrêt du véhicule. Si le conducteur voulait changer le sens de rotation des essieux en cours de marche, la transmission serait inévitablement détériorée.

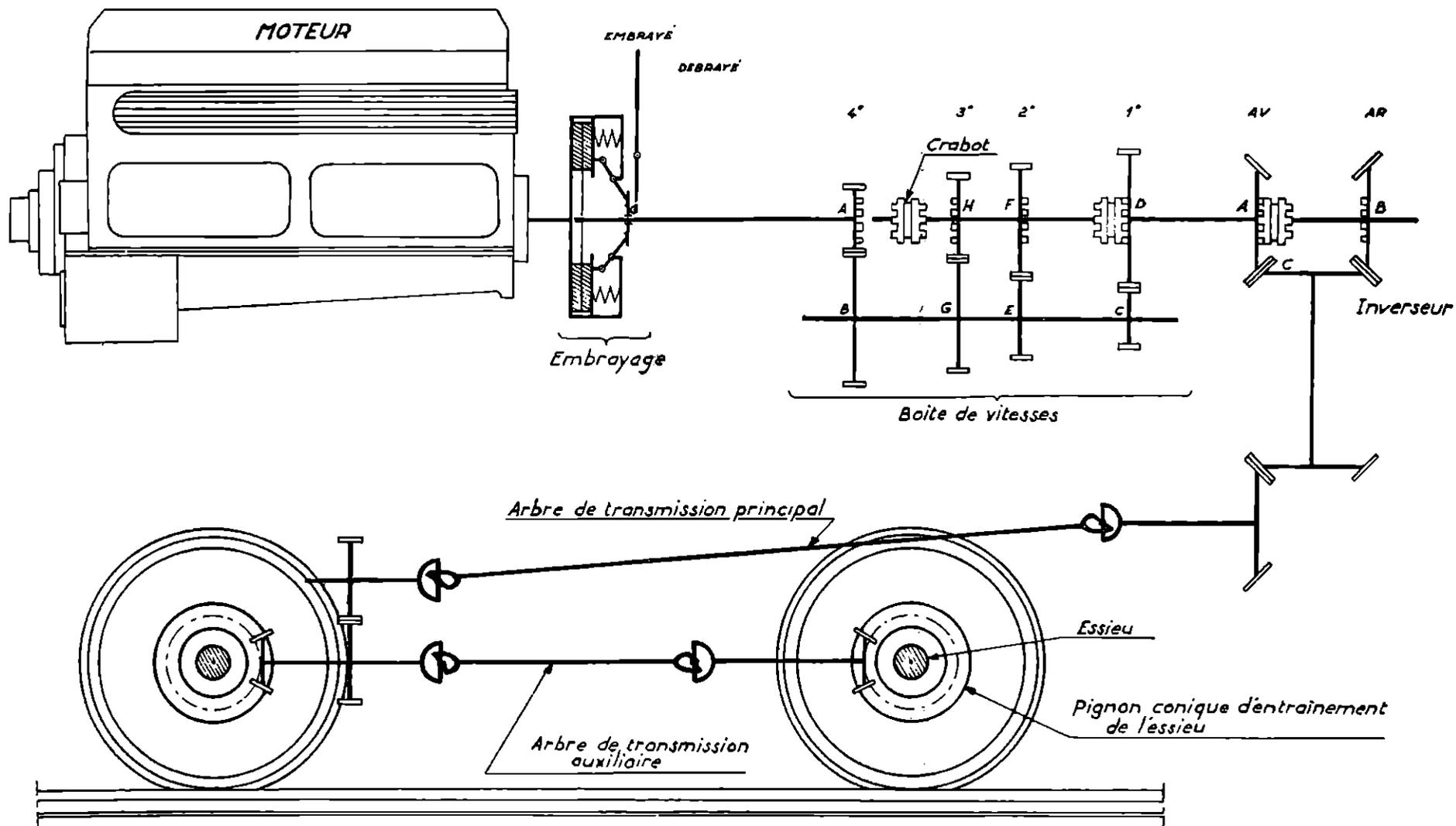


SCHÉMA D'ENSEMBLE D'UNE TRANSMISSION MÉCANIQUE

En position embrayé, 1<sup>re</sup> vitesse, marche avant : le mouvement du vilebrequin est transmis par l'embrayage à l'arbre primaire de la boîte de vitesses, par les pignons A et B à l'arbre intermédiaire, par les pignons C et D à l'arbre secondaire, par les pignons coniques A et C à l'arbre de descente de mouvement, et par les pignons de renvoi d'angle aux arbres de transmission qui entraînent les essieux.

Fig. 29.

## TRANSMISSIONS HYDRAULIQUES

Ces transmissions relativement récentes prennent une assez grande extension. Comme leur nom l'indique elles utilisent un liquide pour la transmission du mouvement moteur.

On distingue deux sortes d'appareils : des coupleurs et des convertisseurs qui peuvent se substituer ou être adjoints respectivement à l'embrayage et à la boîte de vitesses des transmissions mécaniques.

Le principe de fonctionnement d'un coupleur hydraulique est le suivant :

Deux couronnes en forme de demi-toures creux sont disposées face à face et tournent dans un carter rempli d'huile.

Elles sont munies d'aubages plans disposés radialement (voir fig. 30).

L'une des couronnes est solidaire du moteur ; c'est la couronne motrice ou « pompe ». L'autre couronne est solidaire de l'arbre transmettant le mouvement vers les essieux ; c'est la couronne réceptrice ou « turbine ».

L'huile est mise en mouvement par la couronne motrice. Sous l'action de la force centrifuge elle quitte les alvéoles constitués par les aubages et vient heurter les aubages de la couronne réceptrice. Cette couronne se met en mouvement sous l'effet de l'effort d'entraînement auquel elle est soumise.

Il y a glissement entre la roue pompe et la roue turbine ; l'effort est transmis progressivement jusqu'à ce que les vitesses de rotation des deux couronnes soient devenues sensiblement égales.

Ce coupleur peut être utilisé comme embrayage ou être adjoint à un embrayage à disques afin d'augmenter la souplesse de la transmission. Il ne remplace pas la boîte de vitesses.

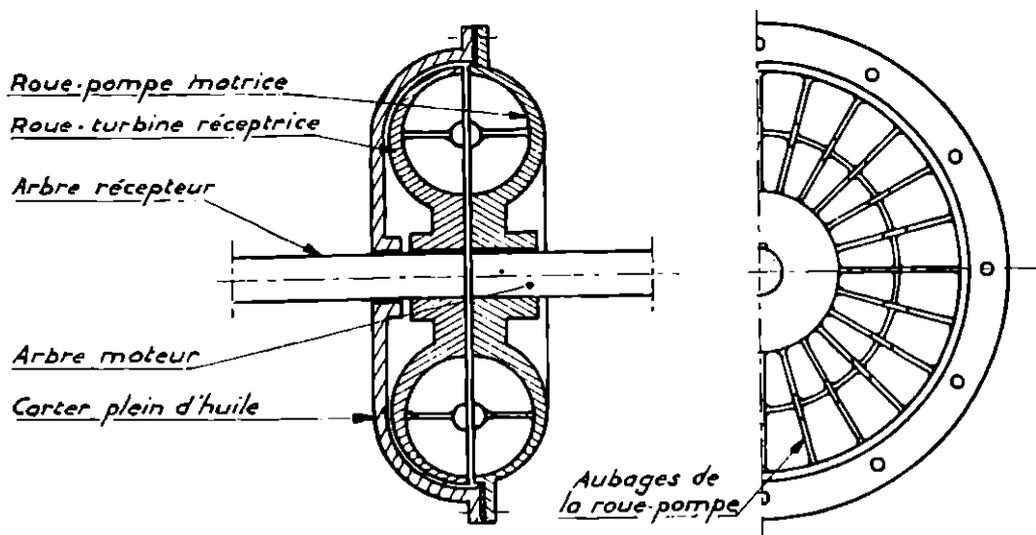


Fig. 30.

Les convertisseurs hydrauliques fonctionnent suivant le même principe. On y retrouve la roue pompe motrice et la roue turbine réceptrice. Un dispositif supplémentaire permet de faire tourner ces deux couronnes à des vitesses différentes. Le convertisseur peut jouer le rôle de boîte de vitesses.

## TRANSMISSIONS ÉLECTRIQUES

D'un emploi à peu près général dès qu'il s'agit de transmettre des puissances supérieures à 370 kW (500 ch) les transmissions électriques ont le gros avantage de permettre de disposer de la pleine puissance du moteur Diesel dans les limites très étendues de la gamme des vitesses. Autrement dit, ces transmissions permettent à un engin moteur, remorquant sa charge, de circuler à des vitesses très variables en utilisant la puissance maximale ou presque du moteur Diesel, le moteur tournant à son régime nominal.

Nous n'étudierons pas en détail les transmissions électriques faute de connaissances suffisantes en électricité.

Voyons quand même de quoi se compose essentiellement une telle transmission (fig. 31) :

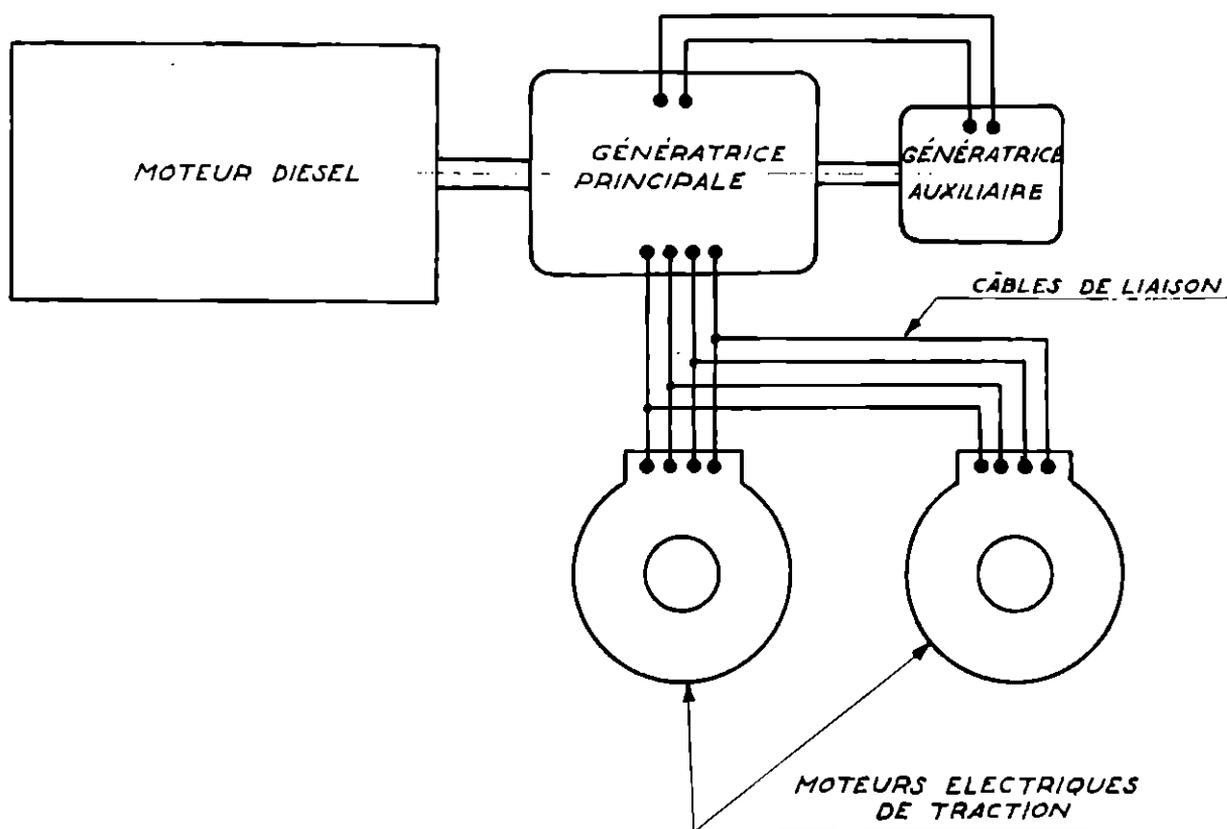


Fig. 31.

— le moteur Diesel entraîne une génératrice à courant continu (ou dynamo) dite « génératrice principale ». Ces deux machines sont reliées par un arbre.

De dimensions importantes, la génératrice a pour rôle de transformer en énergie électrique, l'énergie mécanique développée par le moteur;

— une génératrice auxiliaire, de dimensions plus réduites est entraînée également par le moteur. Elle produit du courant utilisé pour charger une batterie d'accumulateurs et pour participer au fonctionnement électrique de la génératrice principale;

- les moteurs électriques de traction reçoivent l'énergie électrique débitée par la génératrice principale et la transforment en énergie mécanique qu'ils transmettent aux essieux afin d'assurer le déplacement du véhicule;
- un appareillage de commande permet au conducteur d'agir à volonté sur la puissance développée par le moteur Diesel.

La transmission électrique présente des facilités d'installation certaines, puisque la liaison entre les organes générateurs (Diesel et génératrices) et les récepteurs (moteurs de traction) se fait par câbles. Son fonctionnement est très souple, la variation de vitesse étant obtenue sans variation brusque des efforts.

L'accouplement mécanique entre les moteurs électriques de traction et les essieux est assez réduit puisque ces moteurs sont installés à proximité des essieux. La disposition la plus simple consiste en deux pignons dentés, l'un solidaire de l'arbre du moteur, l'autre de l'essieu, engrenant dans un carter.

## QUESTIONNAIRE

---

### **ENGINS DE TRACTION A MOTEURS DIESEL. TRANSMISSIONS**

- 1° *Citez les organes constituant une transmission mécanique.*
- 2° *Quel est le rôle de l'embrayage ?*
- 3° *Quel est le rôle de la boîte de vitesses ?*
- 4° *Combien y a-t-il d'arbres dans une boîte de vitesses à pignons toujours en prise ?*
- 5° *Quel est le rôle de l'inverseur ?*
- 6° *Quels sont les organes principaux constituant une transmission électrique ?*



# LA TRACTION ÉLECTRIQUE

---

Les locomotives à vapeur et locomotives Diesel que nous venons d'examiner brièvement sont de véritables petites usines mobiles qui produisent leur énergie à partir d'un combustible; ce sont des engins **autonomes**.

En traction électrique, les locomotives et automotrices ne sont plus que des appareils récepteurs. Il n'y a plus production d'énergie, mais simple transformation.

L'énergie est fournie à volonté aux locomotives sous forme d'électricité par l'intermédiaire d'un fil conducteur; les locomotives la transforment en énergie mécanique de traction.

La puissance développée par une locomotive électrique est limitée par la capacité de **transformation d'énergie** de ses moteurs. Dans les deux autres modes de traction elle est limitée par le maximum d'énergie susceptible d'être **produite** par : combustion de charbon dans le foyer des machines à vapeur, combustion du gas-oil dans les cylindres des Diesels.

A puissance égale, une locomotive électrique est moins encombrante et moins lourde à cause de l'absence d'organes producteurs d'énergie.

L'électrification des lignes importantes de la S. N. C. F., commencée il y a plus de trente ans, n'a cessé de se développer en raison des avantages incontestables présentés par ce mode de traction.

Ces avantages sont de plusieurs natures :

## 1° Du point de vue économie nationale :

La production française de charbon est insuffisante et les locomotives à vapeur consomment une grosse quantité de charbon de très bonne qualité. Les combustibles pour moteurs Diesel, produits dérivés du pétrole, sont également peu abondants. Par contre, l'énergie consommée par la traction électrique provient, soit des centrales hydrauliques qui utilisent la poussée naturelle des eaux, encore incomplètement exploitée, soit des centrales thermiques qui utilisent des charbons de qualité médiocre impropres à la consommation industrielle et d'autres combustibles peu coûteux. L'utilisation de cette énergie permet de libérer les combustibles nécessaires à l'industrie du pays.

## 2° Du point de vue fonctionnement :

Les locomotives électriques sont, de tous les engins de traction, ceux qui sont sujets au minimum de pertes d'énergie, autrement dit ceux qui ont le meilleur rendement. Dans une locomotive à vapeur les dépenses inutiles d'énergie sont inévitables et importantes : pertes de chaleur par rayonnement du foyer, par les gaz de combustion qui vont à l'atmosphère, pertes de vapeur encore sous pression par l'échappement, pertes mécaniques par frottement dans les parties coulissantes et les articulations... Dans un moteur Diesel il y a également d'importantes pertes d'énergie par rayonnement calorifique, frottement des nombreux organes en mouvement, échappement.

Les locomotives électriques font une très bonne utilisation de l'énergie qui leur est fournie. Certes, il persiste encore d'inévitables pertes dans les mécanismes et dans les installations fixes d'alimentation, mais elles sont minimes en regard du faible rendement des engins d'autres modes de traction.

## 3° Du point de vue possibilités :

La traction électrique possède un gros avantage sur la traction à vapeur du fait de l'absence des servitudes telles que le chargement du charbon, de l'eau, de l'entretien du feu, son nettoyage périodique... qui immobilisent les machines à vapeur d'une manière très sensible. Avantage également sur les machines Diesel pour lesquelles les opérations d'entretien, quoique bien moins nombreuses que pour les machines à vapeur, sont encore relativement fréquentes.

Les machines électriques actuelles peuvent assurer un service presque continu, une seule d'entre elles peut faire le même travail que trois locomotives à vapeur. D'autre part, ce service présente de grandes qualités pour l'exploitation : plus grande régularité de marche des trains électriques, augmentation du tonnage remorqué et de la vitesse de circulation, facilités de manœuvre...

Bien entendu, en regard de toutes ces causes d'amélioration du service et d'économies de fonctionnement il faut considérer l'importance des frais d'installation et d'entretien des organes de transformation et de transport du courant électrique. C'est à cause de ces frais importants que la substitution de la traction électrique à la traction vapeur n'est vraiment très intéressante que sur les lignes à fort trafic. Les lignes à faible et moyen trafic sont exploitées plus économiquement par la traction Diesel et la traction vapeur.

C'est bien dans ce sens que se poursuit la modernisation des chemins de fer. Il est prévu de poursuivre l'électrification jusqu'à 8 000 kilomètres de lignes (soit 20 % du total); ces lignes effectueront 70 % du trafic de la S. N. C. F.

Voyons maintenant brièvement en quoi consiste une installation de traction électrique.

### PRINCIPE DE L'ALIMENTATION DES LOCOMOTIVES

Un engin de traction électrique constitue le récepteur d'un grand circuit électrique. Ce circuit électrique est par ailleurs constitué essentiellement d'organes générateurs qui produisent le courant et de conducteurs assurant, d'une part, le transport du courant électrique vers la locomotive et, d'autre part, le retour du courant de la machine aux générateurs, un circuit électrique en fonctionnement étant toujours nécessairement fermé sur lui-même.

Le conducteur d'amenée du courant aux locomotives est généralement une ligne aérienne suspendue parallèlement à la voie et au-dessus de celle-ci (fig. 32).

Les locomotives sont munies d'un dispositif de prise de courant : le pantographe, fixé sur la toiture et qui glisse sur la ligne aérienne au moyen de frotteurs. Le pantographe est appliqué sur le fil conducteur par des ressorts.

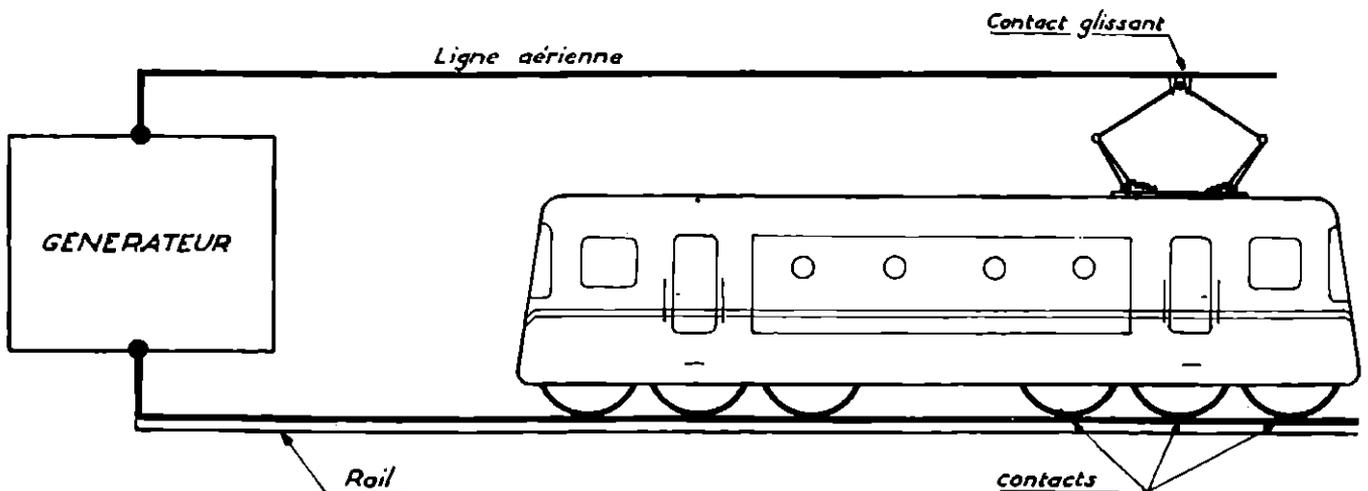


Fig. 32.

Le conducteur de retour du courant (retour après passage dans les moteurs de la locomotive) est constitué par les rails. Le contact entre locomotive et rails est assuré par les roues. Les tronçons de rails sont reliés entre eux par des câbles soudés, afin d'assurer la continuité électrique aux joints.

### Alimentation de la ligne de contact.

L'énergie électrique est fournie soit par le réseau national d'électricité, soit par des centrales spéciales sous la forme de courant à très haute tension (de 60 000 à 220 000 V).

Ce courant est acheminé par lignes aériennes jusqu'à des sous-stations qui le transforment en vue de son utilisation sur les locomotives. De là, par l'intermédiaire d'appareils de coupure, de protection et de contrôle, le courant arrive à la ligne de contact.

### La ligne de contact : caténaire.

La ligne de contact la plus simple consiste en un fil tendu parallèlement au plan de la voie et dans l'axe de celle-ci. Le fil est soutenu par des mâts munis de consoles ou de portiques (fig. 33).

Ce système très simple présente l'inconvénient suivant : le fil, par son poids, prend une certaine flèche que l'on ne pourrait réduire qu'en le tendant exagérément.

Aux grandes vitesses, les pantographes des locomotives, chargés de capter le courant, ne peuvent monter et descendre assez rapidement pour suivre le profil d'une telle ligne de contact. Ce dispositif n'est donc employé que sur les voies de service et de garage où les locomotives circulent à faible vitesse.

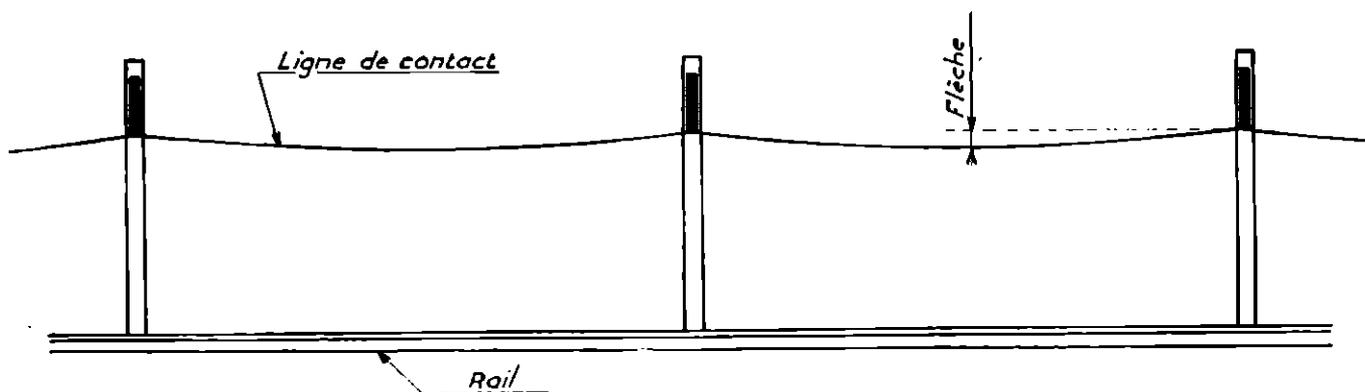


Fig. 33.

Pour les voies principales, on a recours à la caténaire (fig. 34).

Entre les mâts est suspendu, sans tension exagérée, un premier câble appelé porteur. Celui-ci présente une flèche assez importante. Le fil de contact est relié au porteur par des pendules dont la longueur est réglée de façon que le fil de contact soit sensiblement parallèle au plan de la voie.

### SUSPENSION CATENAIRE

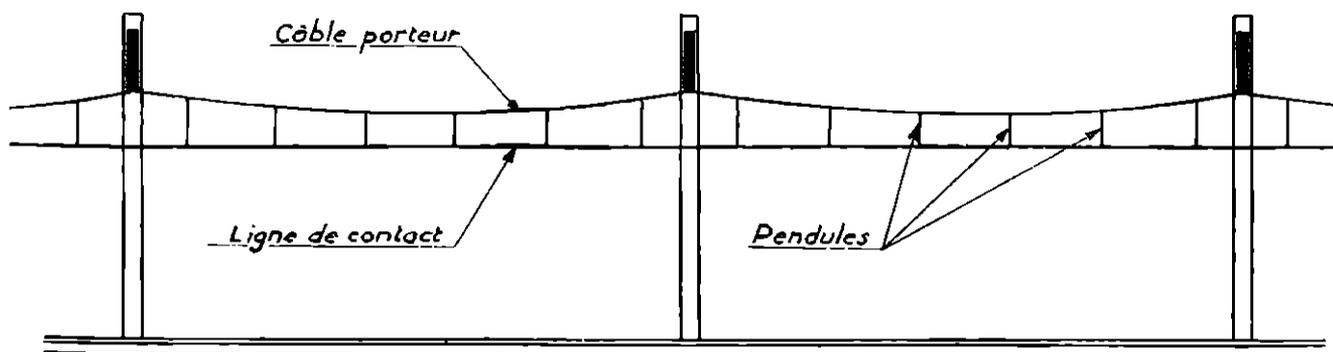


Fig. 34.

Le fil de contact n'est pas rigoureusement parallèle à l'axe de la voie; il suit une ligne brisée s'écartant légèrement de part et d'autre de cet axe (fig. 35).

Cette disposition a pour effet d'éviter l'usure localisée des semelles de frottement des pantographes.

VUE DE DESSUS DE LA VOIE

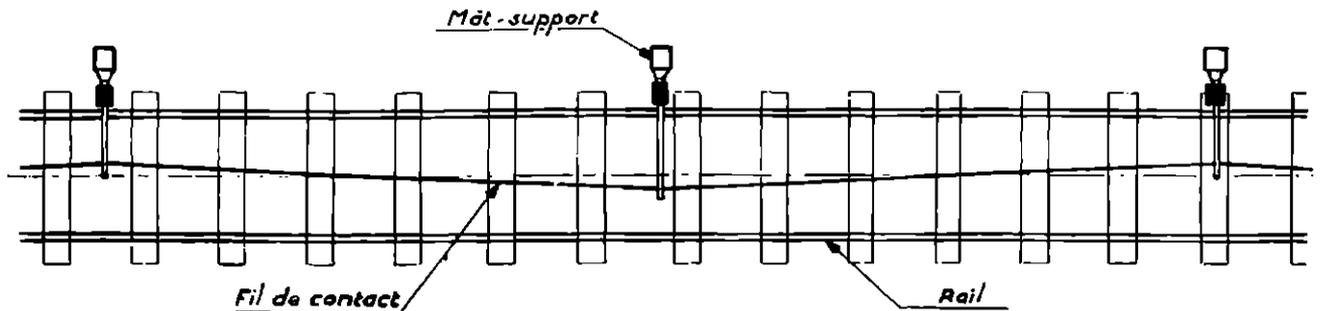
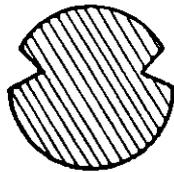


Fig. 35.

La ligne peut être brisée à chaque mât-support ou à des intervalles de plusieurs mâts.

La section du fil de contact (voir fig. 36) permet sa fixation aux pendules par des rainures latérales où s'engagent les mâchoires d'une pince (fig. 37).



Section du fil de contact

Fig. 36.

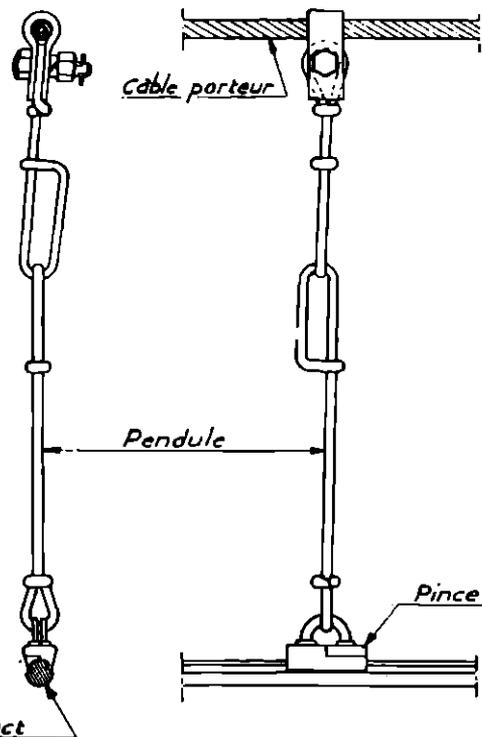


Fig. 37.

NOTA. — Alimentation des locomotives par troisième rail.

Utilisé au début de l'électrification des chemins de fer, ce système d'alimentation consiste en un troisième rail disposé parallèlement aux rails de roulement et supporté par des isolateurs. Légèrement surélevé par rapport au plan de roulement, ce rail constitue le conducteur d'amenée du courant de traction.

La captation du courant se fait par des frotteurs disposés sous les boîtes d'essieux des locomotives et dont les palettes sont appliquées sur le rail d'alimentation par des ressorts (fig. 30).

Ce système est simple, robuste et d'entretien facile, mais il présente des inconvénients en ce qui concerne la sécurité des agents de la voie et du public (danger d'électrocution); il ne permet pas l'alimentation par courant à tension élevée que l'on utilise de plus en plus. En outre, les coupures sont inévitables aux traversées, croisements et passages à niveau. Pour ces raisons il a été jugé préférable d'employer l'alimentation par ligne aérienne.

Quelques lignes sont toutefois encore équipées de ce système : banlieue Ouest, Chambéry-Modane et St Gervais-les-bains-Vallorcine (Sud-Est).

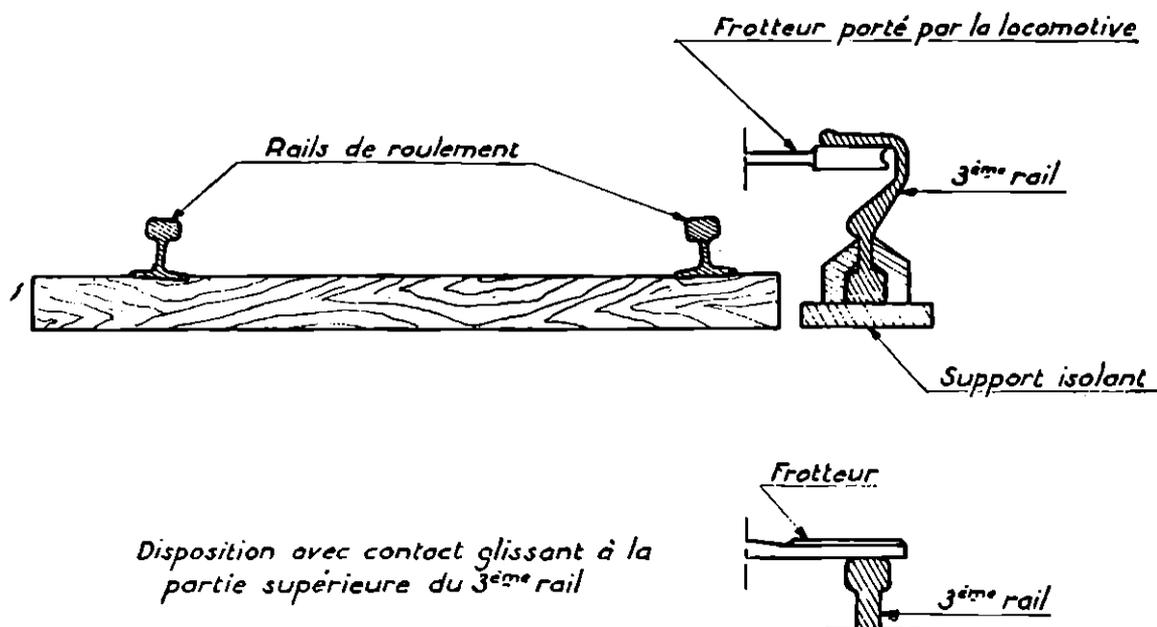


Fig. 38.

## PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES LOCOMOTIVES

Le courant électrique arrivant aux locomotives, l'essentiel reste à faire : s'en servir pour produire l'énergie mécanique qui fera tourner les roues motrices.

Ce travail est effectué par des moteurs électriques. Ces moteurs, en nombre variable suivant le type de machine, entraînent les essieux par l'intermédiaire d'une transmission mécanique.

L'appareillage des locomotives est constitué par des organes dont le rôle est de permettre au conducteur d'agir à volonté sur le fonctionnement des moteurs électriques de traction : les mettre en marche, augmenter ou ralentir leur vitesse, augmenter ou diminuer l'effort qu'ils produisent. Cet appareillage dont une partie importante est le câblage permet la distribution du courant aux moteurs dans des conditions qui correspondent, à chaque instant, au travail qui leur est demandé.

La variation de vitesse des locomotives est obtenue par variation de vitesse de leurs moteurs.

On peut résumer brièvement le fonctionnement des locomotives en trois stades :

- 1° Captation du courant sur le conducteur d'alimentation (caténaire ou 3<sup>e</sup> rail);
- 2° Distribution du courant aux moteurs de traction (distribution que le mécanicien modère à volonté);
- 3° Utilisation de ce courant par les moteurs de traction qui le transforment en effort mécanique transmis aux roues.

## DIFFÉRENTS TYPES DE LOCOMOTIVES, NUMÉROTATION

Toutes les locomotives électriques ne sont pas identiques; il en existe divers types correspondant à des capacités de fonctionnement et à des constructions différentes.

Afin de pouvoir l'identifier facilement, chaque locomotive porte un numéro composé de chiffres et de lettres.

La première partie du numéro indique le type de la locomotive caractérisé par la position des essieux. Toutes les locomotives électriques présentant une même disposition des essieux appartiennent à un même type. Dans cette indication, les chiffres désignent les roues simplement porteuses, c'est-à-dire qui ne sont pas entraînées par un moteur.

Les lettres désignent les roues entraînées par un moteur. Ces roues étant, bien entendu, observées sur un seul côté de la machine.

On a ainsi :

- 1 = une roue porteuse.
- 2 = deux roues porteuses.
- A = une roue motrice.
- B = deux roues motrices.
- C = trois roues motrices.

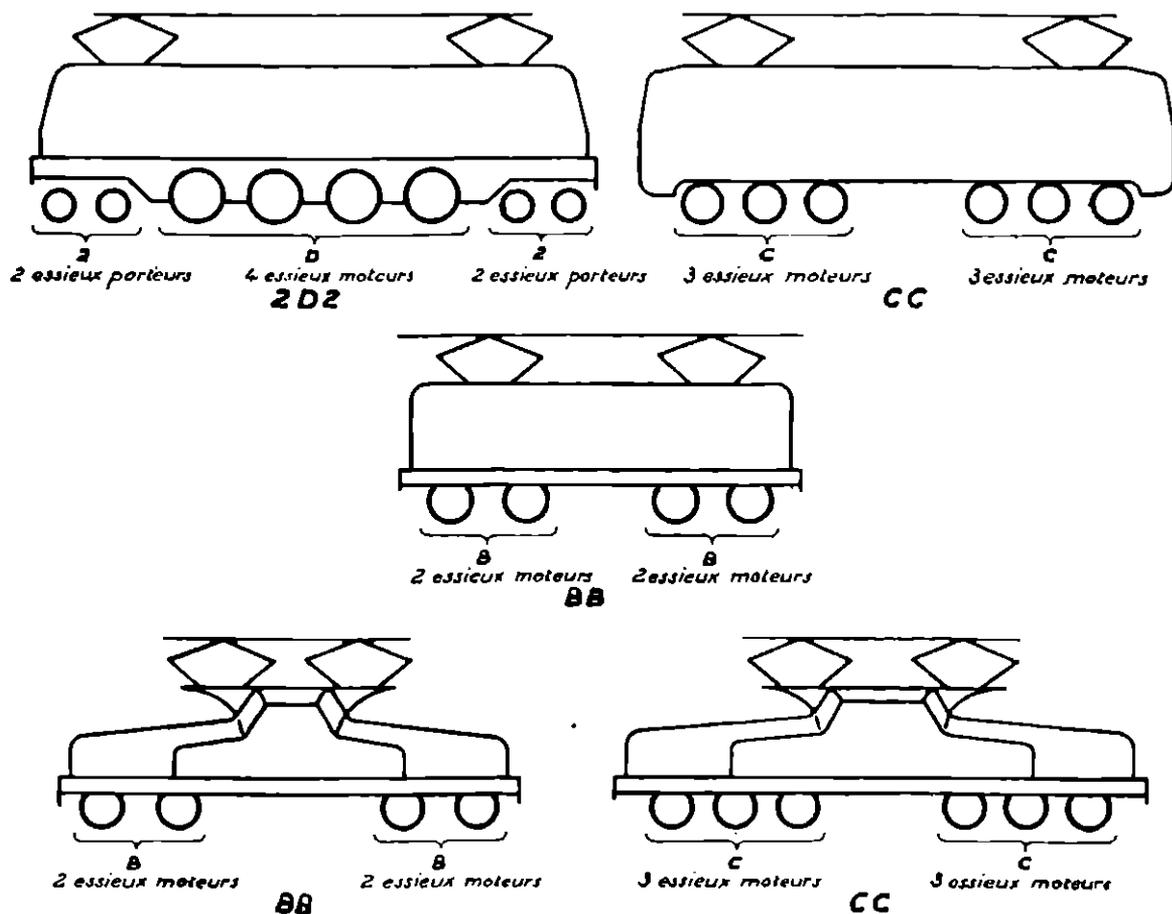


Fig. 39.

La deuxième partie du numéro indique la série de construction de la locomotive ainsi que son rang dans la série.

Exemple: Les CC 7100 sont munies de deux groupes de trois essieux moteurs. Leur numéro de série 7100 permet, en se reportant au livret technique qui les concerne, de connaître toutes leurs caractéristiques.

La première a pour numéro CC 7101.

La vingt-cinquième a pour numéro CC 7125.

NOTA. — Cette numérotation est également appliquée aux locomotives Diesel. Les automotrices électriques de banlieue (éléments moteurs pour le transport des voyageurs sur de petites distances) ne sont pas numérotées suivant le même principe.

## DIFFÉRENTS SYSTÈMES D'ÉLECTRIFICATION

De même qu'il existe plusieurs types de locomotives, parfois très différents les uns des autres, il existe plusieurs systèmes d'électrification.

Chaque système est caractérisé par la nature du courant d'alimentation des locomotives.

Actuellement, la S. N. C. F. a porté son choix sur deux systèmes qu'elle utilise de pair dans son programme d'électrification des différents réseaux.

Le premier utilise du courant à la tension de 1 500 V. Ce courant est différent du courant généralement utilisé dans l'industrie et pour les usages domestiques. Il résulte de la modification du courant du réseau national dans des postes répartis le long des voies électrifiées, ou est issu de centrales spéciales qui le produisent directement tel qu'il est utilisé par les locomotives.

L'électrification en 1 500 V continu date des premières grandes électrifications du réseau français (aux débuts de la traction électrique en France on utilisait des tensions plus basses).

Le deuxième système est plus récent; il utilise du courant alternatif à la tension de 25 000 V. Ce courant a une forme semblable à celui utilisé dans l'industrie. Il est puisé dans le réseau national de distribution à haute tension. Après simple transformation de tension dans des postes S. N. C. F., il alimente les caténaires.

Il existe d'autres systèmes d'électrification :

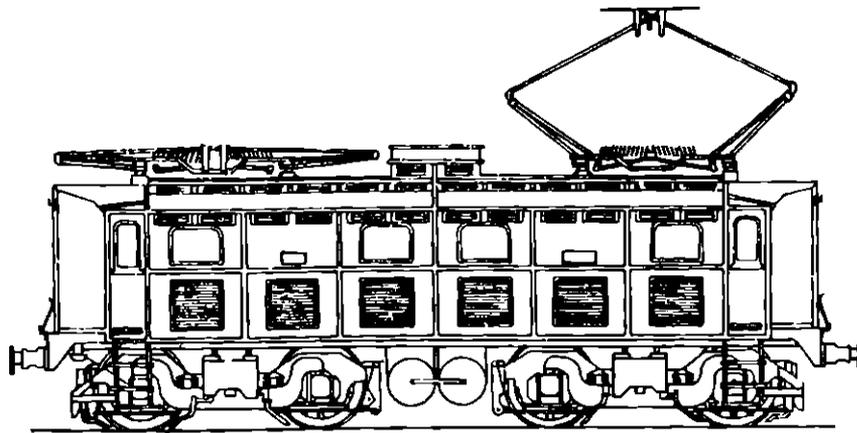
- en France : de 750 à 850 V continu (banlieue parisienne de la région Ouest; Saint-Gervais-Vallorcine; Villefranche-La Tour de Carol), 12 000 V alternatif (Perpignan-Villefranche);
- à l'étranger : 3 000 V continu, 15 000 V alternatif...

Les locomotives fonctionnant dans l'un ou l'autre des systèmes d'alimentation sont différentes. D'une façon générale, une même locomotive ne peut circuler sous des caténaires alimentées par des courants différents.

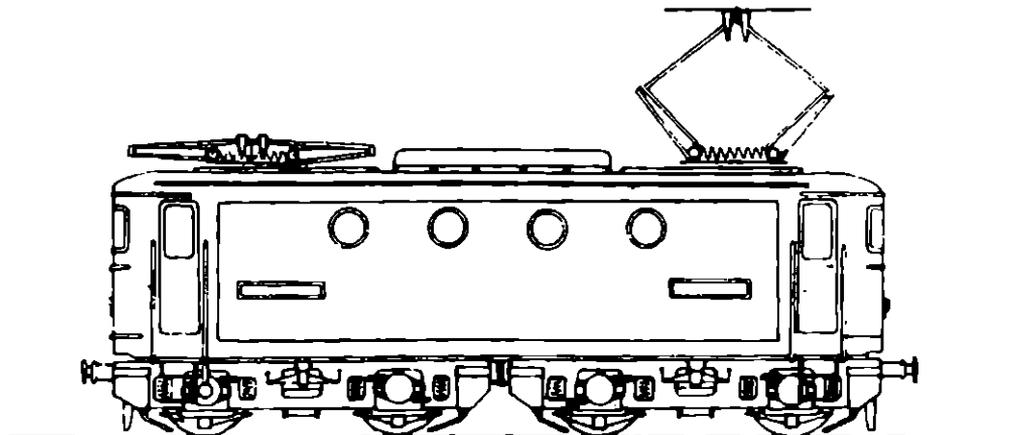
Il existe cependant des locomotives « bi-courant », « tri-courant » et « quadri-courant » pouvant être alimentées par deux, trois ou quatre courants différents.

# LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES

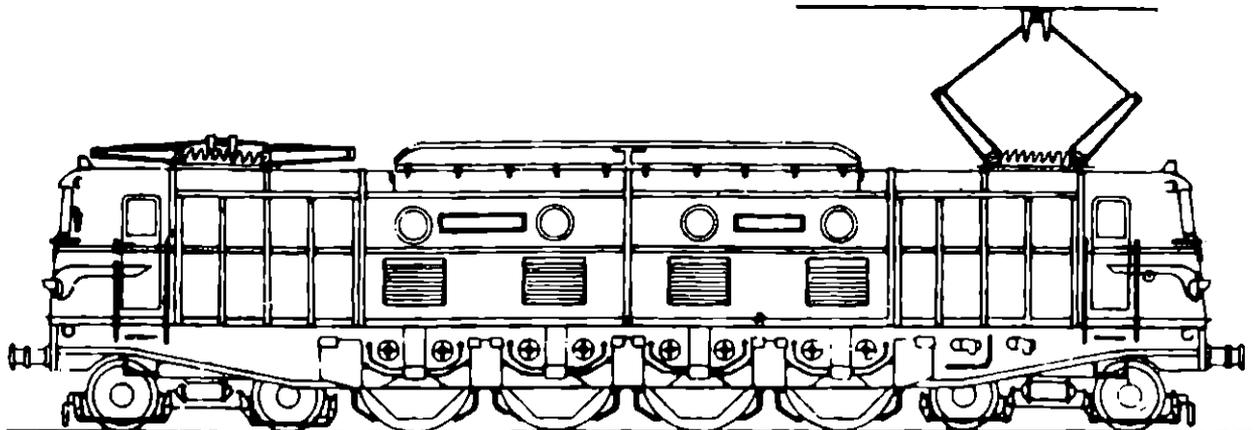
## à courant continu



Locomotive série BB 1 à 80

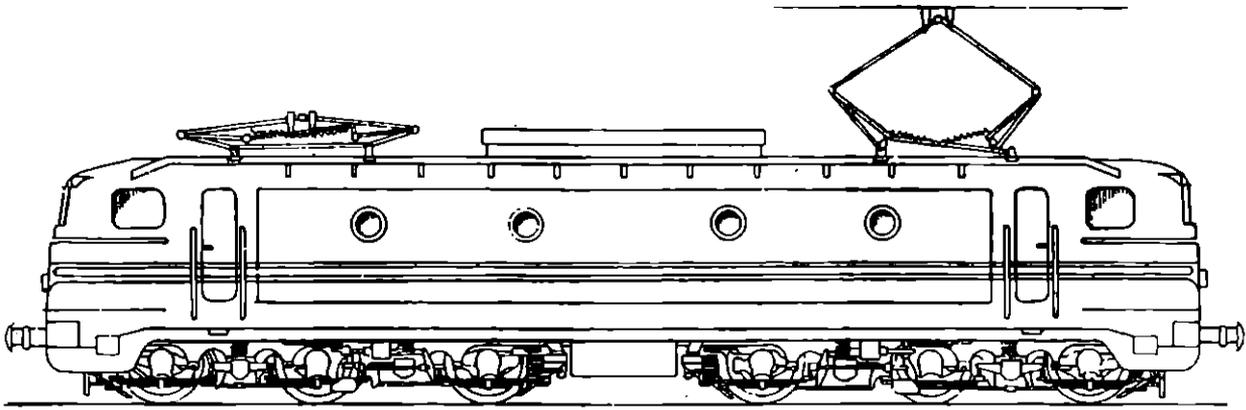


Locomotive série BB 8100 pour trafic mixte

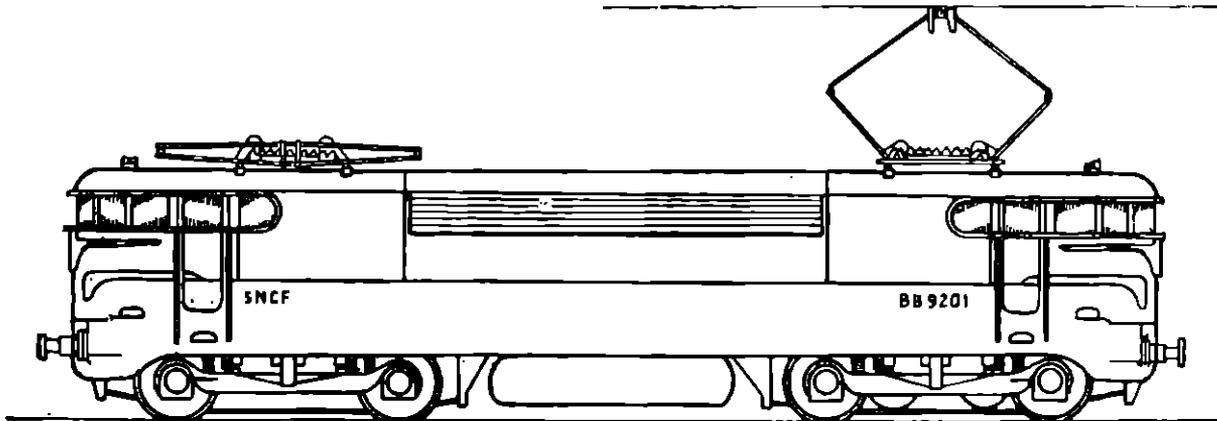


Locomotive série 2D 2 9100 pour trains rapides

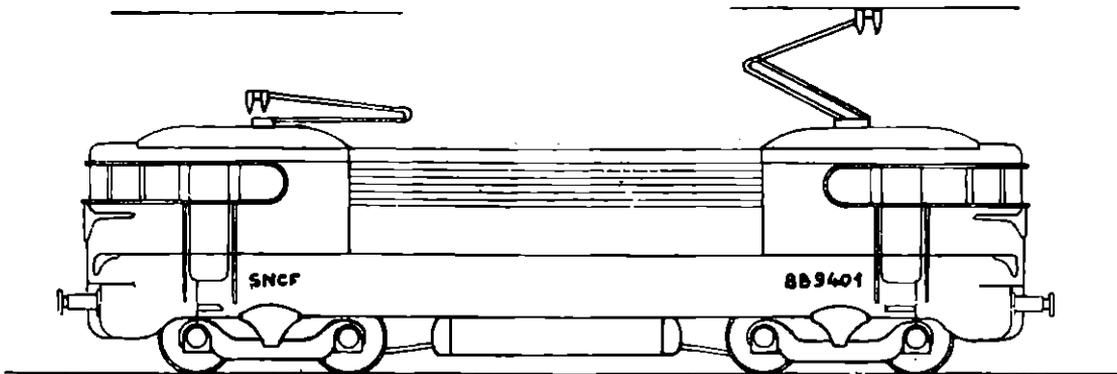
Locomotives	BB 1 à 80	BB 8100	2 D 2 9100
Construction . . . . .	1925	1948	1950
Longueur en mètres . . . . .	12,69	12,93	18,08
Masse en ordre de marche . . . .	71,96 t	80 t + 12 t de lest	144 t
Puissance continue en kW . . . . .	970 (1320 ch)	2100 (2850 ch)	3700 (5000 ch)
Vitesse maximale en km/h . . . .	90	105	140



Locomotive série CC 7100 pour trains rapides



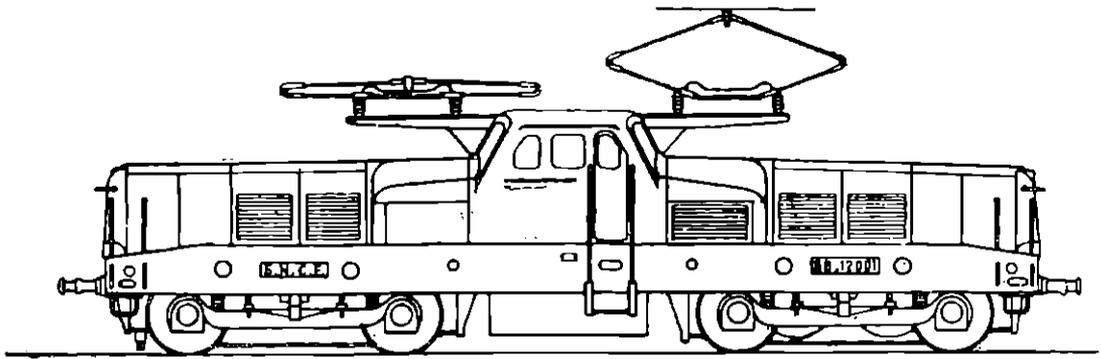
Locomotive série BB 9200 pour trains rapides



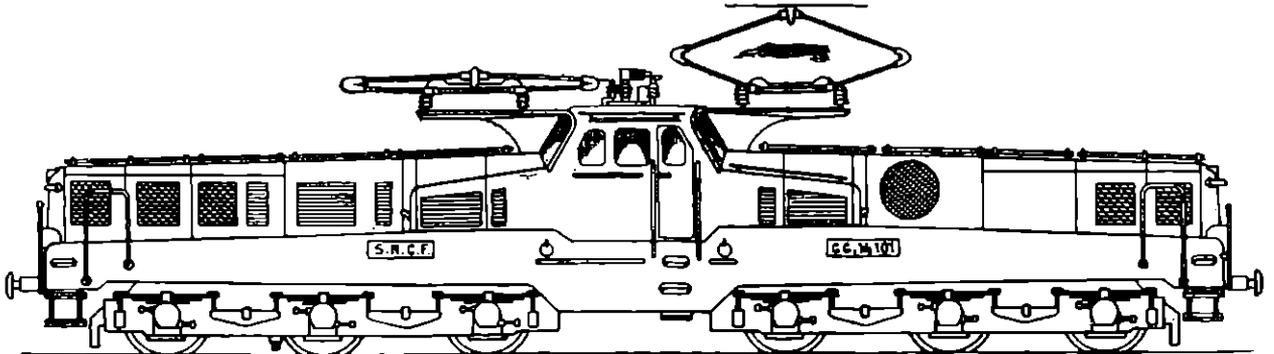
Locomotive série BB 9400 pour trafic mixte

Locomotives	CC 7100	BB 9200	BB 9400
Construction. . . . .	1954	1957	1958
Longueur en mètres. . . . .	18,92	16,2	14,4
Masse en ordre de marche. . . .	106 t	79 t + 4,2 t de lest	60,4 t
Puissance continue en kW . . . .	3500 (4750 ch)	3850 (5230 ch)	2135 (2900 ch)
Vitesse maximale en km/h. . . .	150	160	130

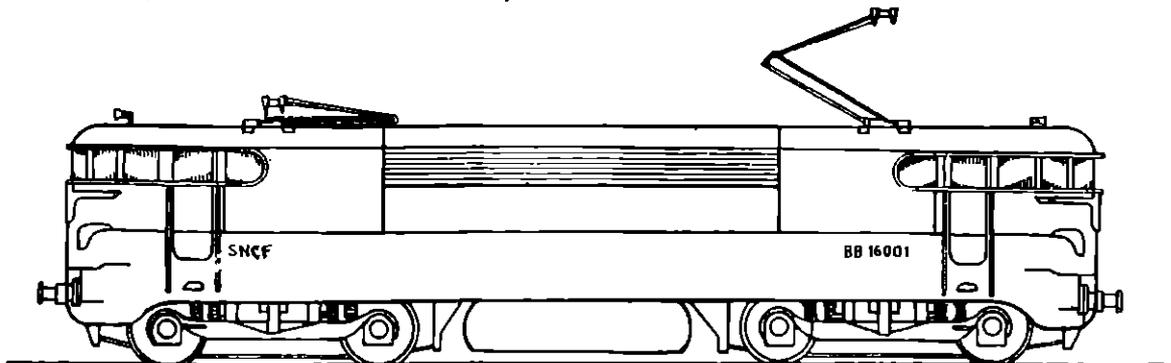
# LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES à courant alternatif



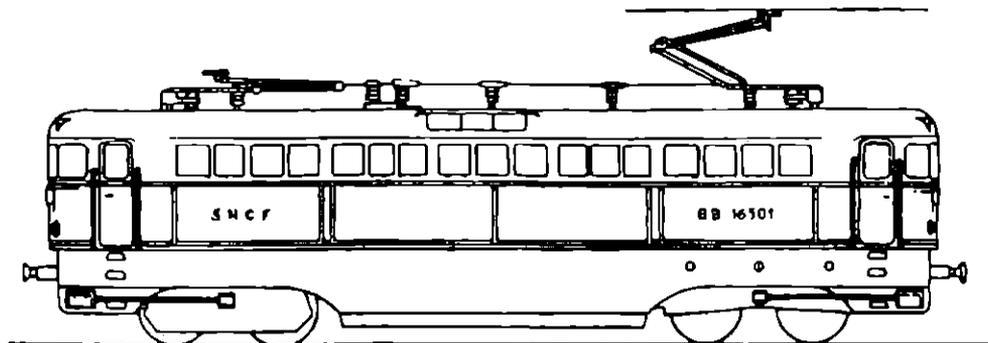
Locomotive série BB 12000 pour trafic mixte



Locomotive série CC 14100 pour trains de minerais ou de charbon



Locomotive série BB 16000 à grande vitesse



Locomotive série BB 16500 pour trafic mixte

Locomotives	BB 12000	CC 14100	BB 16000	BB 16500
Construction . . . . .	1954	1954	1958	1958
Longueur en mètres . . . . .	15,2	18,89	16,2	14,4 †
Masse en ordre de marche . .	84 t	120 t	85,3 t	68,4 t
Puissance continue en kW . .	2475 (3360 ch)	1835 (2490 ch)	3550 (4820 ch)	2575 (3500 ch)
Vitesse maximale en km/h .	120	60	160	90 150

## QUESTIONNAIRE

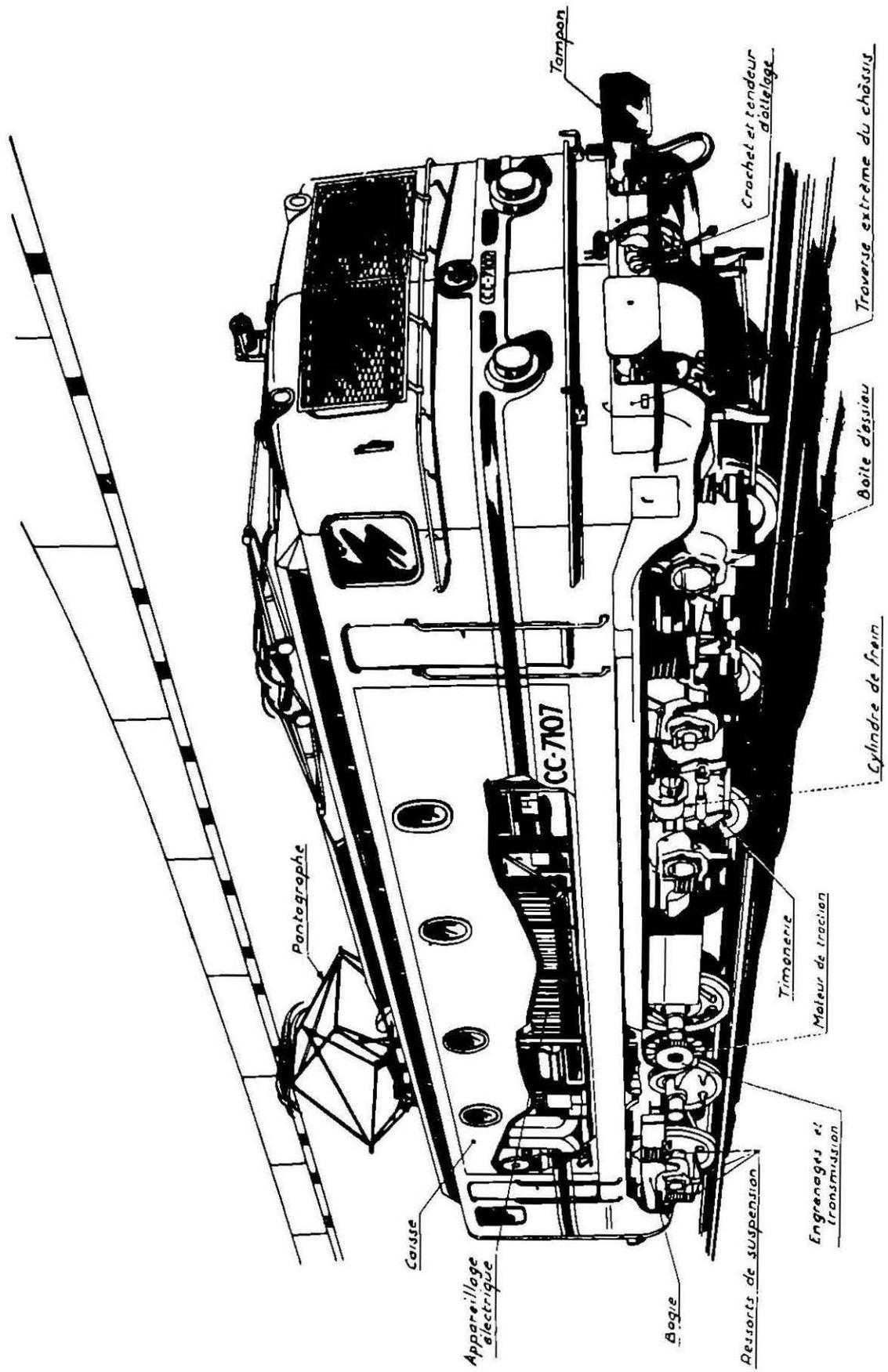
---

### TRACTION ÉLECTRIQUE

- 1° *Les locomotives électriques sont-elles des engins autonomes?*
- 2° *Comment le courant électrique est-il amené aux locomotives?*
- 3° *Qu'est-ce qu'un pantographe?*
- 4° *Comment le courant électrique revient-il au générateur après son passage dans la locomotive?*
- 5° *Faites le schéma de la suspension du fil de contact dans le cas d'une voie parcourue à grande vitesse.*
- 6° *Faites le croquis de la section du fil de contact.*
- 7° *Pourquoi l'alimentation par troisième rail est-elle en voie de disparition?*
- 8° *Résumez brièvement le principe de fonctionnement des locomotives électriques.*
- 9° *Combien y aurait-il d'essieux moteurs et d'essieux porteurs dans une 2CC2?*
- 10° *Quels sont les deux principaux systèmes d'électrification utilisés en France?*



**ORGANES MÉCANIQUES  
DES LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES**



# ESSIEUX

---

## GÉNÉRALITÉS DESCRIPTION

Axe ou essieu nu  
Roues  
Bandages  
Essieux porteurs, essieux moteurs

## GÉNÉRALITÉS

Les essieux sont les organes essentiels des dispositifs de roulement des engins moteurs sur rails. Ils supportent les véhicules, permettent leur déplacement, leur guidage, et transmettent les efforts de traction grâce à l'adhérence de leurs roues sur les rails.

On distingue sur un essieu :

- un axe cylindrique qui supporte le poids du véhicule;
- deux roues solidaires de l'axe;
- deux bandages solidaires des roues.

L'ensemble rigide formé par ces différentes parties assemblées porte le nom « d'essieu monté ».

Remarquons dès maintenant que l'axe tourne avec les roues; différence importante entre le matériel de chemins de fer et le matériel automobile pour lequel les roues tournent autour des essieux fixes. Cette disposition des essieux montés de chemins de fer s'explique par la nécessité de maintenir l'écartement des roues rigoureusement constant.

## DESCRIPTION

Examinons successivement les parties constitutives d'un essieu monté.

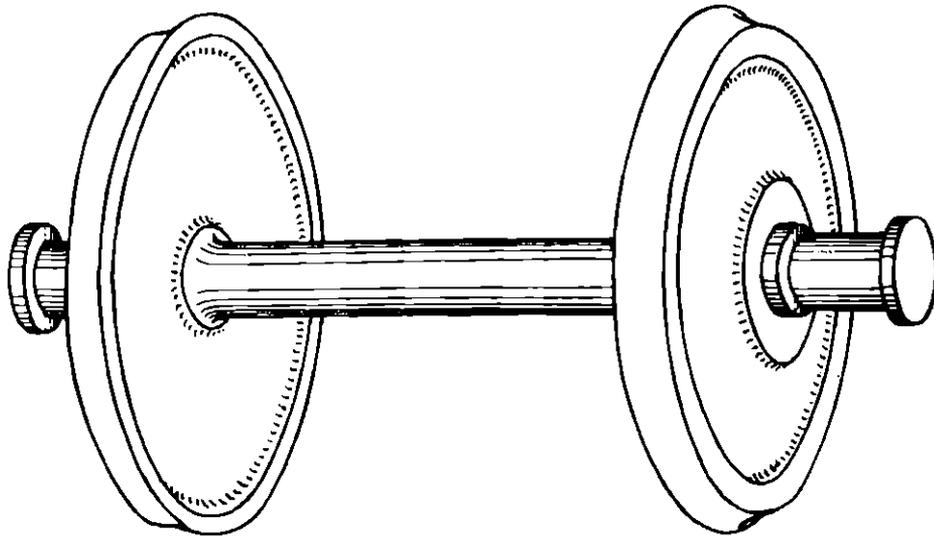


Fig. 40.

### I. AXE OU ESSIEU NU (fig. 41)

C'est une pièce massive en acier mi-dur (acier D ou E). Elle est obtenue par forgeage. Sa résistance mécanique à la flexion et au cisaillement doit être très élevée car les efforts supportés sont importants.

#### ESSIEU NU

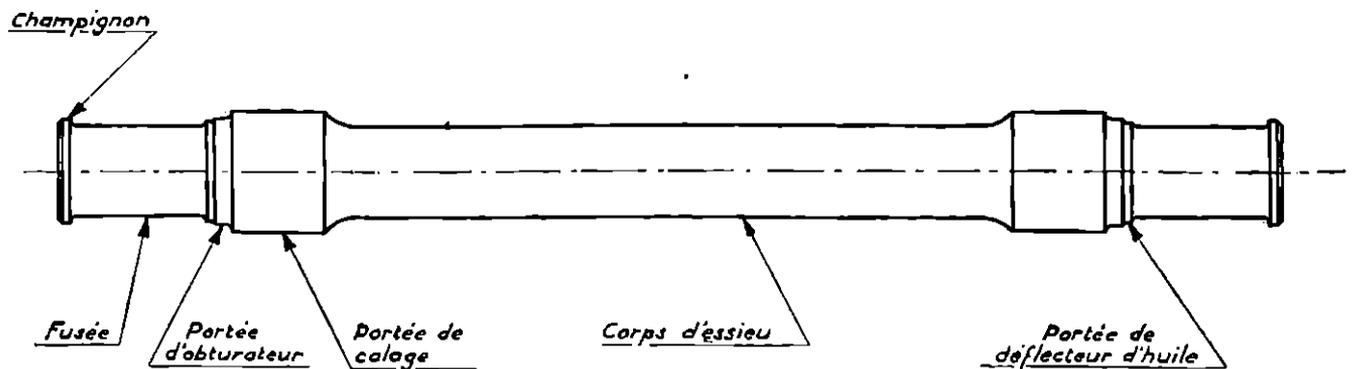


Fig. 41.

On y distingue :

a) Le corps de l'essieu :

Partie centrale généralement cylindrique.

**b) Les portées de calage :**

Situées de part et d'autre du corps d'essieu, ce sont des parties cylindriques d'un diamètre supérieur à celui du corps d'essieu. Soigneusement usinées, elles sont destinées à recevoir les roues par emmanchement à la presse.

**c) Les fusées :**

Parties cylindriques limitées par des arrondis et très soigneusement usinées. Elles sont destinées à recevoir la charge du véhicule par l'intermédiaire des boîtes d'essieux que nous verrons par la suite. Leur surface doit être lisse et parfaitement cylindrique.

Sur les fusées il y a liaison entre un organe tournant : l'essieu, et un organe fixe : le véhicule (par les boîtes d'essieux).

**d) Les portées d'obturateurs :**

Situées entre les portées de calage et les fusées, elles ont pour rôle de supporter les obturateurs qui assurent l'étanchéité des boîtes (huile ou graisse).

Nous les reverrons en étudiant les boîtes d'essieux.

**e) Les portées de déflecteurs d'huile :**

Situées entre fusées et portées d'obturateurs, ce sont deux petites portées cylindriques destinées à supporter un organe que nous verrons également par la suite (tous les essieux n'en sont pas munis).

**f) Les champignons (ou patères) :**

Situés aux extrémités de l'essieu. Leur diamètre est supérieur à celui des fusées.

**g) Les centres d'essieux :**

Ce sont des alésages tronconiques situés aux extrémités de l'essieu (fig. 42). Soigneusement usinés ces centres permettent le montage de l'essieu entre les pointes d'un tour en vue de son usinage ou de sa réparation.

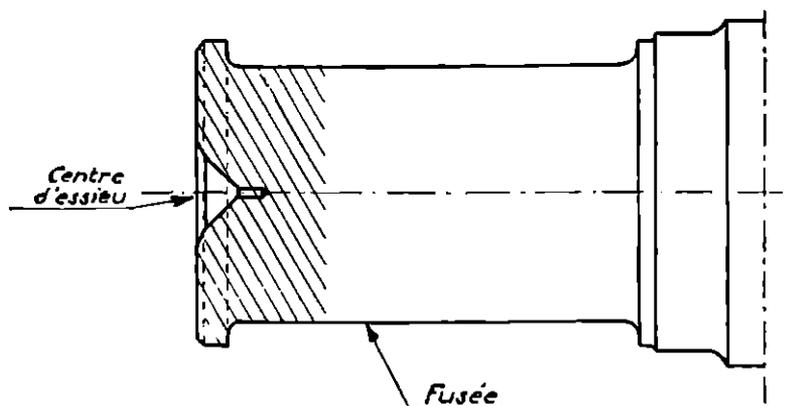


Fig. 42.

Un tel essieu constitue un seul bloc. Il est l'objet de nombreuses vérifications qui ont pour but de s'assurer de l'absence de tout défaut, superficiel ou interne, susceptible d'être une amorce de rupture ou même d'échauffement (régularité de surface des fusées).

Afin de réduire au maximum les risques d'amorces de ruptures, les raccordements entre surfaces de diamètres différents sont effectués par des congés très réguliers (pas de sillons d'usinage).

h) Particularités de certains essieux :

Nous avons examiné un essieu à fusées extérieures. Il existe également sur certains engins moteurs des essieux à fusées intérieures; les portées de calage sont alors situées aux extrémités (fig. 43).

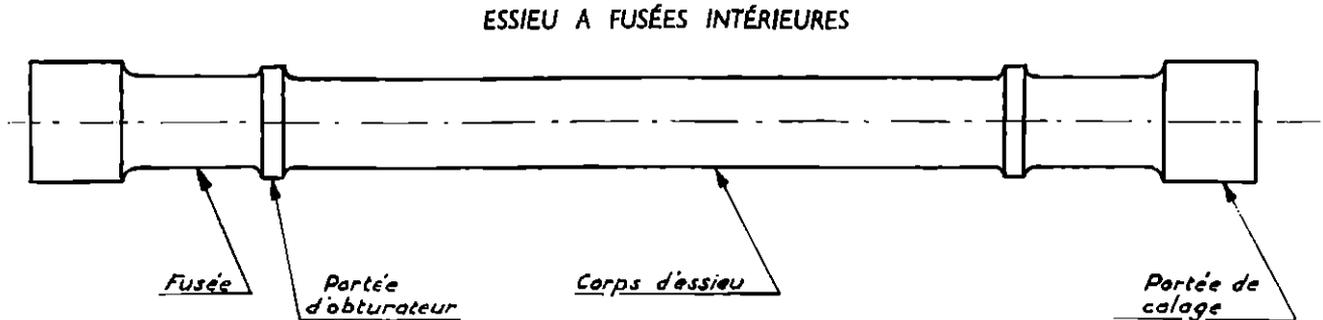


Fig. 43.

Certains essieux sont forés le long de leur axe. Cette disposition a pour but soit d'obtenir un allègement de la masse, soit de permettre une meilleure rigidité pour une section équivalente (augmentation des résistances à la déformation). Dans ce cas le diamètre de l'essieu est plus grand. A chaque extrémité un bouchon est emmanché à force afin d'obturer les trous et de permettre l'usinage des centres d'essieux.

**2. ROUES (fig. 44)**

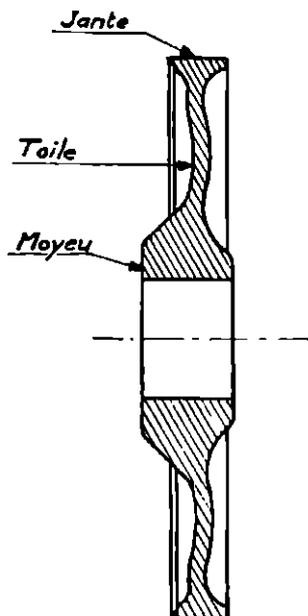


Fig. 44.

On distingue sur un corps de roue :

a) Le moyeu :

Partie centrale massive percée d'un orifice destiné à l'assemblage roue-essieu.

b) La jante :

Partie périphérique dont la surface extérieure est cylindrique. Le moyeu et la jante sont reliés soit par des rayons, soit, le plus souvent, par une partie pleine appelée toile (la toile est parfois munie de nervures de renfort).

L'assemblage du corps de roue sur la portée de calage de l'essieu est effectué à la presse, à froid.

Afin d'obtenir un serrage important entre les deux parties de l'assemblage, le diamètre de la portée de calage est usiné à une cote supérieure au diamètre intérieur du moyeu.

Le serrage varie de 0,1 mm à 0,4 mm suivant l'importance du diamètre de l'essieu.

La force pressante de calage est de l'ordre de 800 kilonewtons (environ 80 tonnes-poids).

### 3. BANDAGES (fig. 45)

Ce sont des couronnes en acier à grande résistance (acier G) fixées sur les jantes des roues. Ils sont obtenus par forgeage et laminage de lingots d'acier de très bonne qualité (homogènes, soigneusement dépourvus d'éléments pouvant les rendre fragiles).

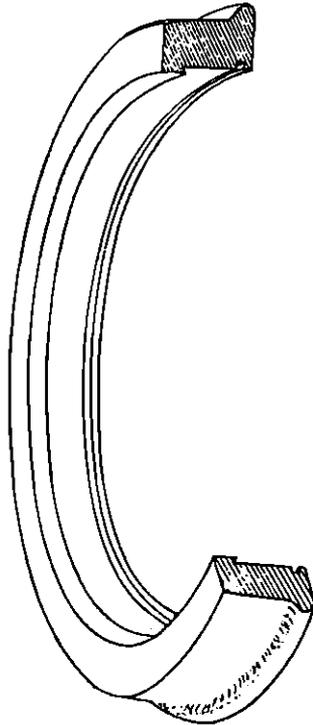
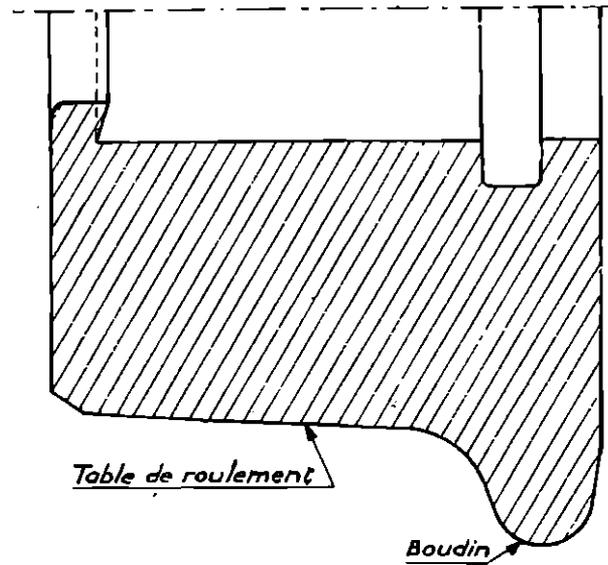


Fig. 45.



COUPE D'UN BANDAGE

Fig. 46.

Les bandages sont destinés à assurer le roulement sur les rails. Afin de permettre le guidage des roues entre les rails aussi bien en voie droite que courbe, ils sont uslés extérieurement suivant un profil dit « profil unifié ».

On distingue sur ce profil (fig. 46) :

- une partie renflée : le boudin, destiné à maintenir l'essieu monté entre les rails et à le guider (courbes, aiguillages);
- une partie légèrement conique : la table de roulement; c'est la surface d'appui sur le rail.

En alignement droit, le contact de la roue sur le rail s'effectue suivant le cercle de roulement (fig. 47).

Le boudin et la table de roulement sont raccordés par un congé. La partie opposée au boudin ne participe pas au roulement, sa conicité est plus forte. Un chanfrein termine le profil.

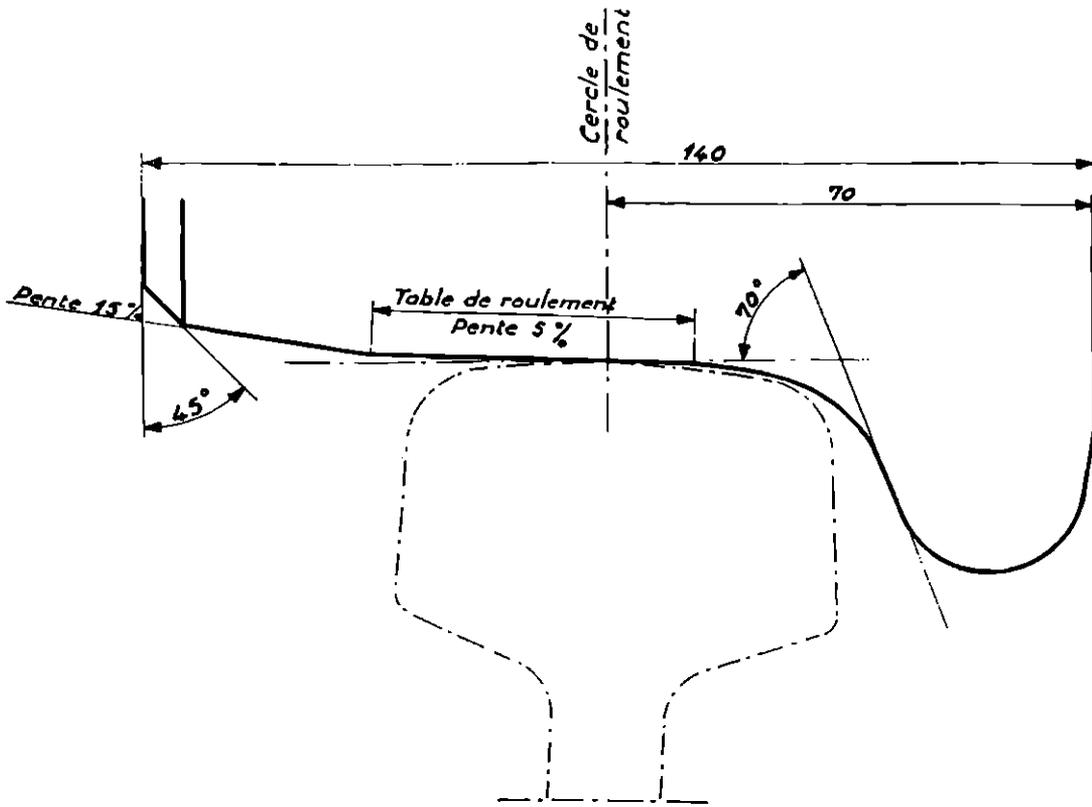


Fig. 47.

La conicité des tables de roulement a deux effets :

- en alignement droit, si l'essieu tend à s'écarter de l'axe de la voie, elle le ramène en bonne position (à cause de la charge qui s'appuie sur l'essieu);
- en courbe, la roue placée sur le rail extérieur doit parcourir un plus grand chemin que la roue placée sur l'autre rail (fig. 48).

#### VOIE EN COURBE

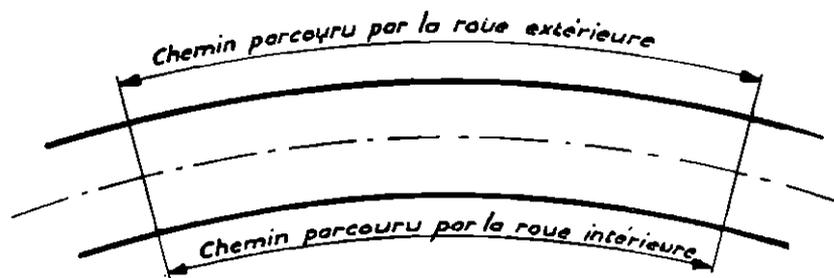
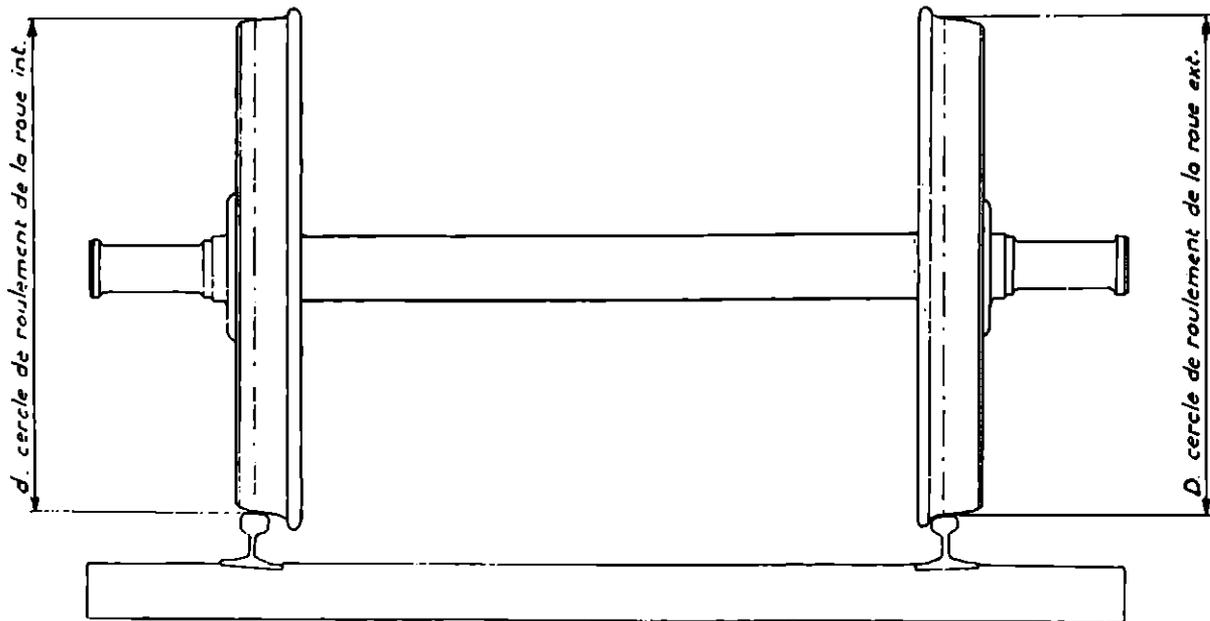


Fig. 48.

Comme les deux roues tournent à la même vitesse, si leurs tables de roulement étaient cylindriques, il y aurait glissement. Grâce à la conicité des tables de roulement, le glissement est évité : l'essieu se déporte légèrement vers l'extérieur de la courbe et les cercles de roulement des deux roues prennent des diamètres différents. Le cercle de roulement de la roue intérieure à la courbe se réduit, celui de l'autre roue augmente (fig. 49). Bien que tournant à la même vitesse, la roue extérieure parcourt alors un plus grand chemin que l'autre roue et il n'y a pas de glissement.

### VOIE EN COURBE



*D plus grand que d*

Fig. 49.

Les bandages doivent être très solidement fixés sur les jantes de roues ; à cet effet, le diamètre intérieur du bandage est usiné à une cote plus faible que le diamètre de la jante qui doit le recevoir. La différence des diamètres, ou « serrages », est de l'ordre de 1,5 mm, proportionnelle à la grandeur des roues.

L'assemblage est effectué à chaud : le bandage est porté à la température de 350° C ; il se dilate. On y introduit la roue. Au refroidissement il y a serrage énergique entre les deux parties assemblées. Cette opération est « l'emballage ».

Dans le sens transversal, le bandage est immobilisé d'un côté par un talon et de l'autre par une agrafe placée dans une rainure (fig. 50 et 51).

L'agrafe est un cercle d'acier ouvert qui est logé dans la rainure après emballage. Elle s'appuie contre la jante.

NOTA. — Sur plusieurs types de locomotives électriques de construction récente il existe des roues dites « monobloc ». Ces roues, entièrement en acier à grande résistance, sont dépourvues de bandages. Le profil de roulement est usiné à la partie périphérique qui forme un seul bloc avec le moyeu et la jante.

Outre qu'elles éliminent les risques d'ébranlement ou de lâchage susceptibles de se produire sur les roues bandagées, ces roues permettent d'escompter une diminution des défauts par suite d'une tension moindre du métal que dans le cas d'un bandage.

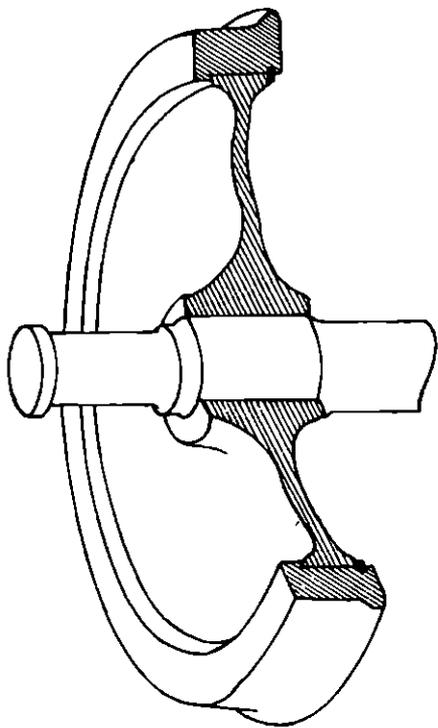


Fig. 50.

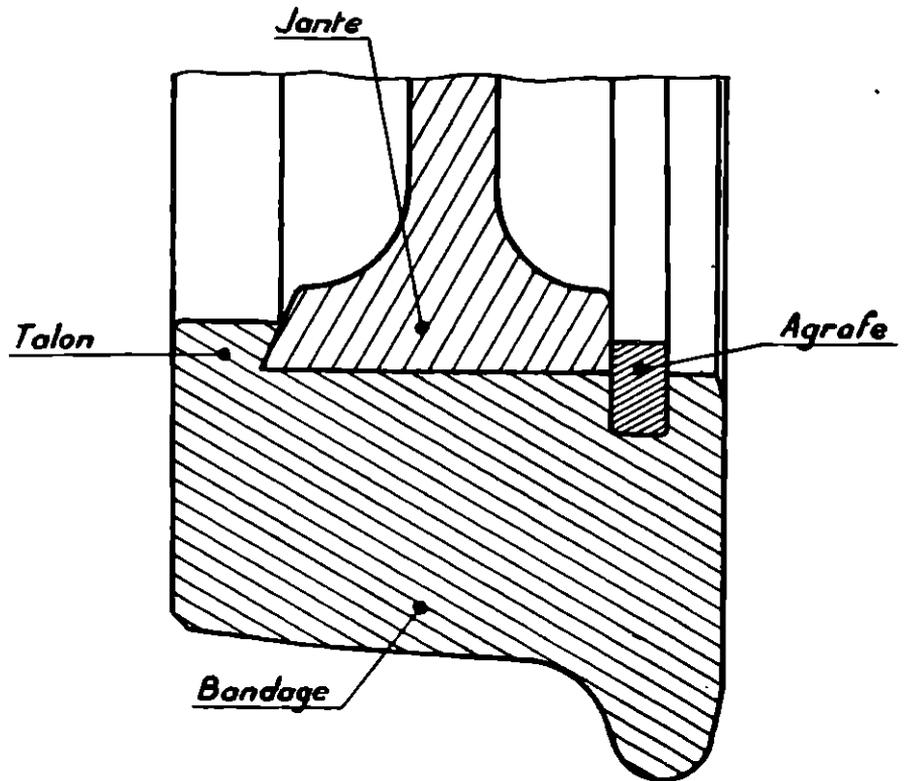


Fig. 51.

#### 4. ESSIEUX PORTEURS. ESSIEUX MOTEURS

Les essieux que nous venons de décrire ont uniquement pour rôle de supporter le poids du véhicule. Ce sont les **essieux porteurs**.

Afin d'entraîner l'engin moteur et la charge qu'il remorque, il est nécessaire de communiquer l'énergie motrice produite par les moteurs de traction de la locomotive à certains essieux spéciaux : les **essieux moteurs**.

Ces essieux diffèrent des essieux porteurs par le dispositif de réception de l'effort moteur. Ils supportent également le poids du véhicule.

Entre moteurs de traction et essieux moteurs se trouve une transmission mécanique.

Il existe sur le matériel moteur électrique plusieurs types de transmissions et par conséquent plusieurs types d'essieux moteurs. Les essieux moteurs diffèrent entre eux par l'organe qui reçoit le mouvement moteur.

C'est ainsi que l'on trouve des essieux moteurs munis d'une roue dentée calée sur le corps d'essieu, entre les roues (fig. 52).

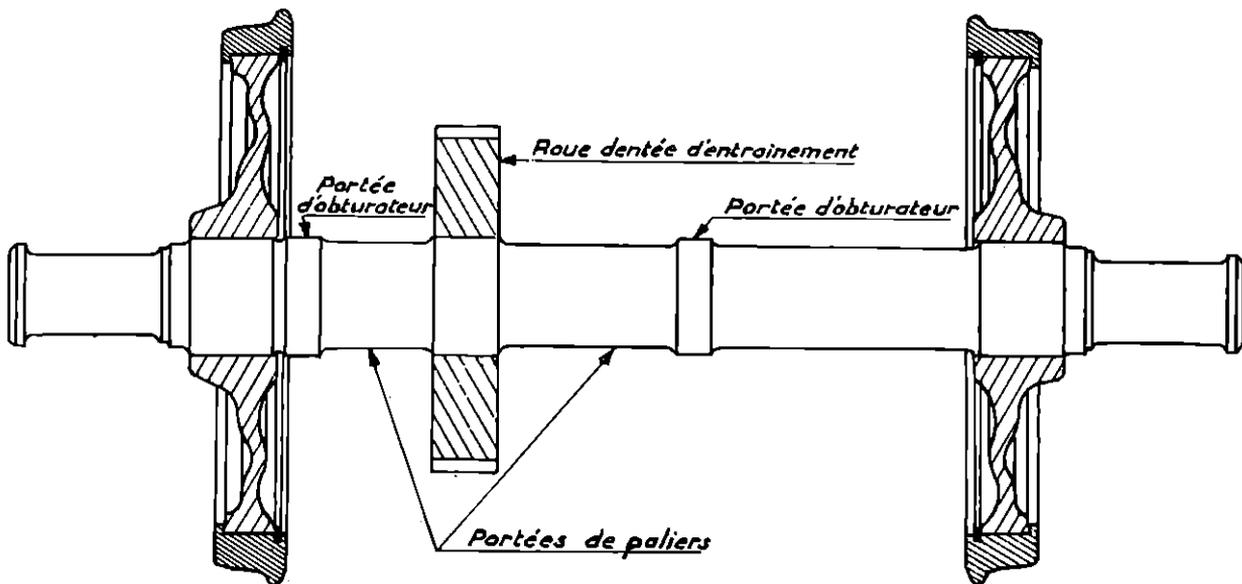


Fig. 52.

Le corps d'essieu est alors muni d'une portée de calage supplémentaire destinée à recevoir la roue dentée. L'assemblage sur l'essieu est effectué à la presse, comme pour les roues. Deux portées cylindriques encadrent la roue dentée. Elles sont destinées aux paliers-supports des organes fixes de la transmission. Deux portées d'obturateurs supplémentaires reçoivent les obturateurs de ces paliers (étanchéité).

D'autres essieux moteurs sont entraînés par l'Intermédiaire de manetons fixés dans les toiles de roues. Les toiles de roues comportent à cet effet des parties renforcées alésées (fig. 53).

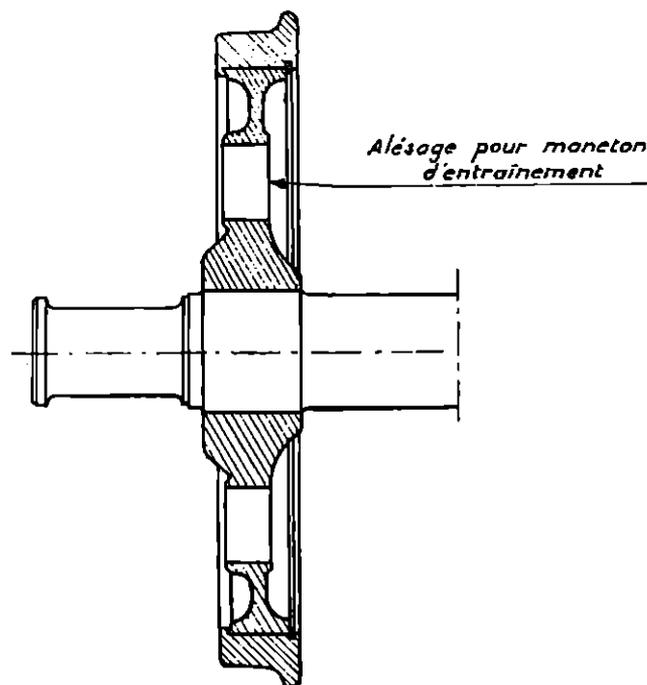


Fig. 53.

## R É S U M É

*Les essieux supportent les véhicules, permettent leur déplacement, leur guidage et transmettent les efforts de traction grâce à l'adhérence de leurs roues sur les rails.*

*On distingue sur un essieu monté : un axe ou essieu nu, deux roues, deux bandages.*

*L'essieu nu est en acier forgé. Sa partie centrale est le corps d'essieu. De part et d'autre on trouve en allant vers une extrémité : la portée de calage de roue, la portée d'obturateur de boîte, la portée de déflecteur d'huile de boîte, la fusée, le champignon, le centre d'essieu.*

*Sur les essieux à fusées intérieures, les fusées sont placées avant les portées de calage.*

*Les roues sont munies d'un moyeu percé d'un trou cylindrique devant recevoir la portée de calage de l'essieu. La jante est la partie périphérique. Le moyeu et la jante sont reliés par une toile ou par des rayons.*

*L'assemblage des roues sur les portées de calage se fait à froid, à la presse. Le serrage varie de 0,1 mm à 0,4 mm la force pressante de calage est de l'ordre de 800 kilonewtons (environ 80 tonnes-poids).*

*Les bandages sont des couronnes d'acier dur destinées à être fixées sur les jantes des roues et à assurer le roulement sur les rails. Ils sont usinés extérieurement suivant le profil unifié où on distingue : le boudin, la table de roulement conique, les congés et chanfreins de raccordement.*

*La conicité des tables de roulement permet le guidage des essieux et leur roulement sans glissement dans les courbes.*

*L'assemblage des bandages sur les roues se fait à chaud à la température de 350° C. Le serrage est de l'ordre de 1,5 mm. Cette opération s'appelle l'embattage. Le bandage est immobilisé latéralement entre un talon et une agrafe logée dans une rainure du bandage et s'appuyant sur la jante.*

*Les essieux moteurs sont munis d'un dispositif d'entraînement qui est, soit un pignon denté calé sur le corps d'essieu, soit des alésages pratiqués dans des parties renforcées des toiles de roues (entraînement par manetons).*

## QUESTIONNAIRE

---

### ESSIEUX

- 1° Citez les parties constitutives d'un essieu monté.
- 2° Faites le croquis d'un essieu nu en indiquant les noms de ses différentes parties.
- 3° Quel est le mode d'assemblage de la roue sur l'essieu?
- 4° Quelles sont les parties constitutives d'un corps de roue?
- 5° Qu'est-ce qu'un bandage?
- 6° Quel est le rôle du boudin des bandages?
- 7° Qu'est-ce que le cercle de roulement?
- 8° Pourquoi les tables de roulement sont-elles coniques?
- 9° Comment les bandages sont-ils fixés sur les roues?
- 10° Quelle est la différence entre un essieu porteur et un essieu moteur?



# BOITES D'ESSIEUX

---

## GÉNÉRALITÉS

### DESCRIPTION

- Coussinet
- Corps de boîte
- Dispositif de graissage
- Obturateur
- Graissage par tampons

### BOITES A ROULEAUX

## GÉNÉRALITÉS

Les boîtes d'essieux sont les organes assurant la liaison entre les essieux et le véhicule.

Elles permettent :

- de faire supporter aux essieux en mouvement le poids du véhicule;
- d'assurer la transmission du déplacement des essieux moteurs au véhicule (l'effort moteur étant appliqué aux essieux).

La liaison s'effectue sur les fusées des essieux.

Une boîte d'essieu se compose essentiellement :

- d'un coussinet;
- d'un corps de boîte;
- d'un dispositif de graissage;
- d'un obturateur.

## DESCRIPTION

### I. COUSSINET (fig. 54)

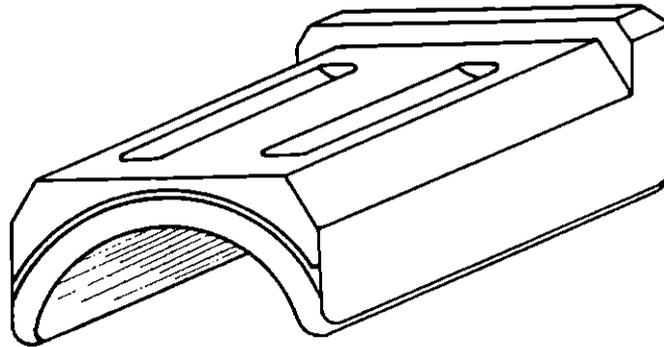


Fig. 54.

Le coussinet (fig. 54) transmet la charge à la fusée sur laquelle il repose. C'est une pièce généralement en bronze dont la face intérieure concave est garnie d'une couche adhérente de métal antifriction (régule) (fig. 55).

Les extrémités, ou joues de coussinet, sont également garnies de régule afin d'éviter tout contact du bronze sur les congés de la fusée (fig. 56).

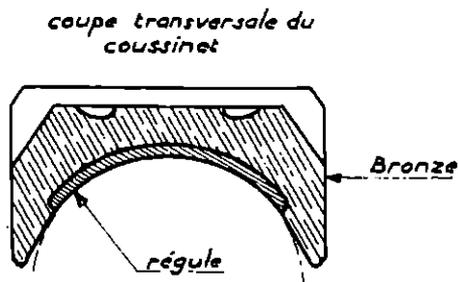


Fig. 55.

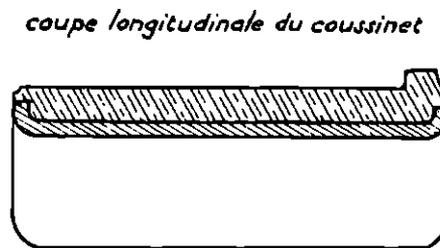


Fig. 56.

Cette pièce doit être résistante à la compression, aux chocs, et assurer sur la fusée une portée réduisant au minimum le frottement de glissement. La répartition de la charge doit être régulière tout le long de la fusée.

Dans le sens longitudinal un certain jeu est laissé au montage entre coussinet et extrémités de la fusée afin de permettre de légers déplacements (fig. 57).

L'alésage du coussinet est effectué à un diamètre légèrement supérieur à celui de la fusée. Ceci afin de permettre de faciliter l'introduction de l'huile de graissage dans la partie active et d'éviter le coincement du coussinet sur la fusée (fig. 58).

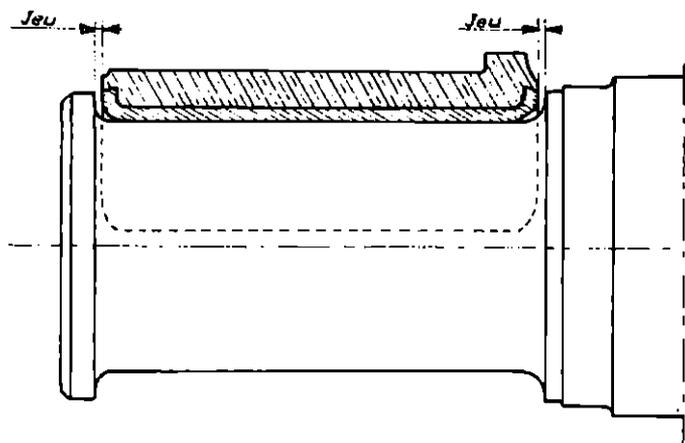
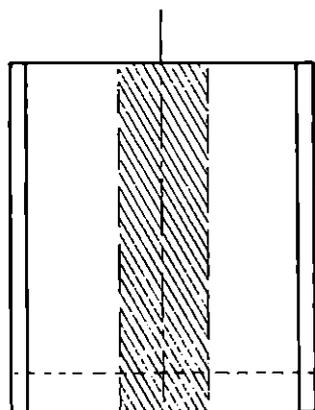
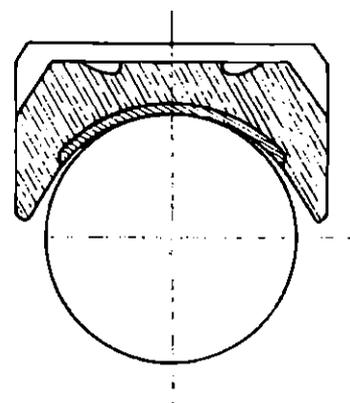


Fig. 57.



L'ajustage du coussinet a pour but de réaliser une certaine surface de portée sur la fusée (fig. 58).

Très souvent, la charge verticale appliquée sur le coussinet lui est transmise par l'intermédiaire d'une cale à lalon (ou tiroir de calage), en acier (fig. 59 et 60).

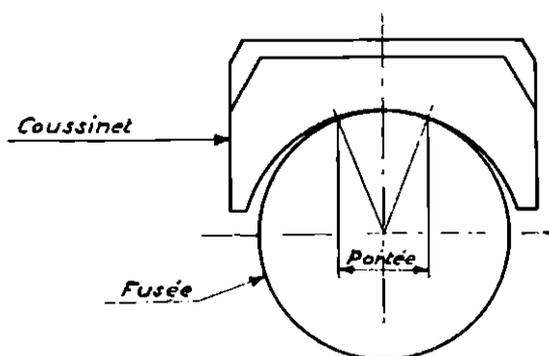


Fig. 58.

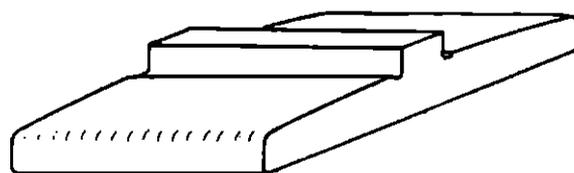


Fig. 59.

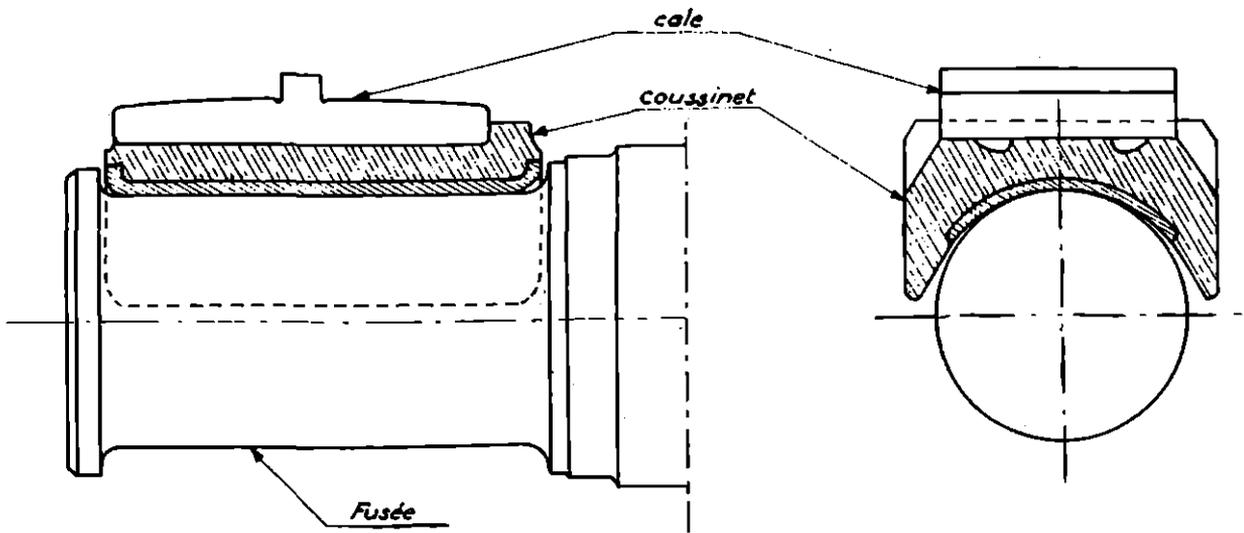
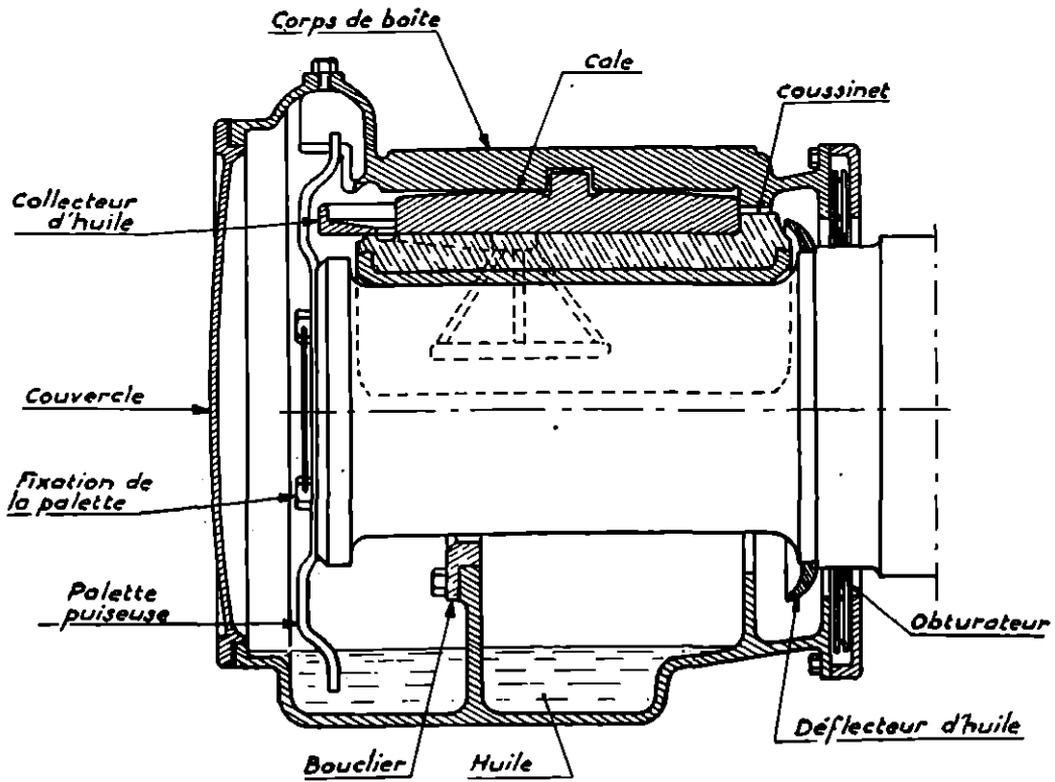


Fig. 60.

## 2. CORPS DE BOITE

Le corps de boîte est une pièce creuse en acier moulé qui entoure la fusée et le coussinet (fig. 61).



COUPE LONGITUDINALE DE LA BOITE

Fig. 61.

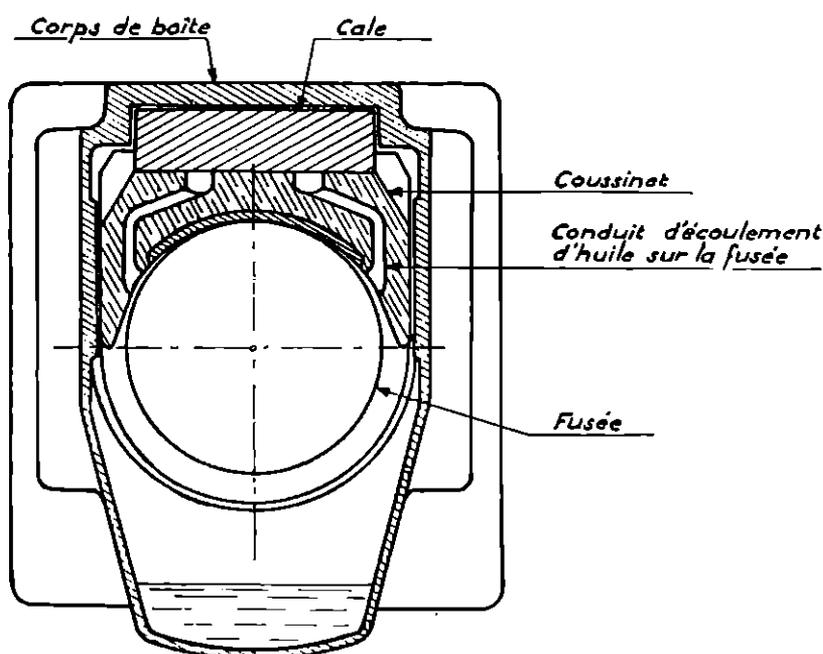
Il repose par sa partie supérieure sur la cale du coussinet. La charge que la fusée doit supporter est appliquée sur le corps de boîte par l'intermédiaire des ressorts de suspension.

Le corps de boîte est ouvert vers l'intérieur afin de permettre le passage de l'essieu jusqu'au niveau de la portée d'obturateur. Un jeu assez important est laissé entre les deux parties afin de permettre des déplacements relatifs au montage. Vers l'extérieur il est fermé par un couvercle étanche fixé par vis avec interposition d'un joint.

A l'intérieur du corps de boîte un alvéole destiné à recevoir le talon de la cale du coussinet est pratiqué dans la partie supérieure (partie renforcée). La partie inférieure constitue un réservoir d'huile de graissage; elle est munie d'un « bouclier » en cupro-alliage qui prévient tout soulèvement exagéré de la boîte en cas de choc important (accostage).

La cale de coussinet est légèrement bombée à sa partie supérieure afin de permettre au corps de boîte de rester horizontal en cas de légère oscillation de la fusée (soulèvement d'une roue) (fig. 61).

Les parois latérales du corps de boîte emprisonnent le coussinet et le maintiennent à la partie supérieure de la fusée (fig. 62).



COUPE TRANSVERSALE DE LA BOITE

Fig. 62.

NOTA. — Pour les essieux à fusées intérieures qui équipent certaines locomotives, le corps de boîte doit être en deux parties afin de pouvoir être assemblé autour de la fusée. Ces deux parties sont assemblées par boulons.

### 3. DISPOSITIF DE GRAISSAGE

La partie extérieure du corps de boîte (côté couvercle) est évasée afin de permettre la rotation d'une palette puisée fixée sur le champignon de la fusée (fig. 61).

En marche, cette palette, en passant dans le réservoir d'huile entraîne une partie du lubrifiant qu'elle projette vers le haut. Cette huile coule le long des parois supérieures de la boîte et est recueillie par le collecteur (prolongement de la cale à talon). De là elle coule vers la fusée par des conduits pratiqués dans le coussinet (fig. 62). Elle aboutit sur la fusée de part et d'autre de la portée du coussinet.

La boîte d'essieu qui vient d'être décrite est une boîte du type « Athermos ». Dans un autre type (boîtes Diathermix), la palette est remplacée par un disque piseur. Celui-ci entraîne l'huile par adhérence et la monte à la partie supérieure où un collecteur la recueille. L'huile coule ensuite sur la fusée par les conduits du coussinet.

Il est à remarquer que dans ces deux systèmes de graissage, plus la vitesse de rotation de l'essieu est grande, plus il est apporté d'huile sur le coussinet. Le graissage est proportionnel à la vitesse, ce qui est évidemment souhaitable.

Afin qu'une partie de l'huile projetée ou remontée ne se dirige vers la partie arrière de la boîte, l'essieu est muni d'un disque déflecteur d'huile (fig. 61). L'huile qui vient à son contact est projetée par force centrifuge vers l'intérieur de la boîte grâce au profil du disque; elle est ainsi ramenée vers la partie à graisser.

### 4. OBTURATEUR

Nous avons vu que l'ouverture circulaire pratiquée dans le corps de boîte pour permettre le passage de la fusée d'essieu a un diamètre supérieur au diamètre de l'essieu. Ceci s'explique par la nécessité de soulever la boîte au démontage, afin de pouvoir sortir le coussinet par-dessus le champignon.

Mais ce jeu est une ouverture par laquelle des poussières pourraient s'introduire dans la boîte. On conçoit aisément quelle serait la gravité d'un tel inconvénient, les poussières abrasives pouvant rayer la fusée et amener grippage et chauffage.

Afin de masquer l'ouverture on a muni les boîtes d'un obturateur (fig. 63).

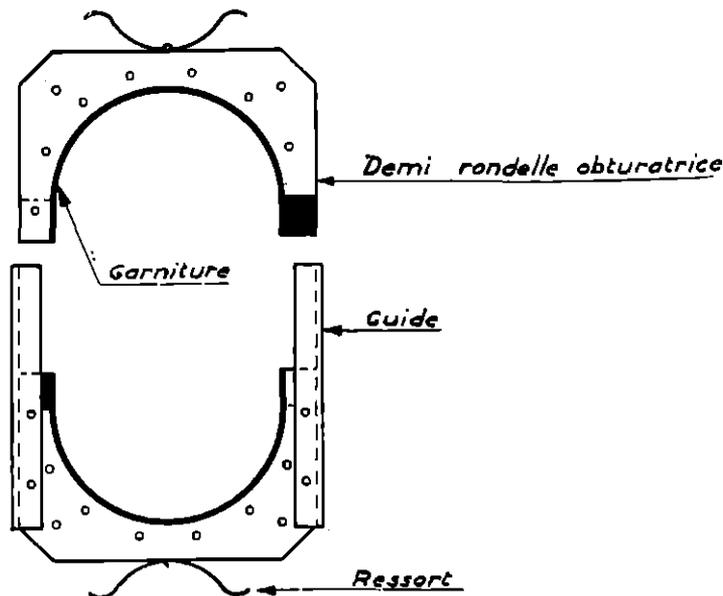


Fig. 63.

L'obturateur est constitué par deux demi-rondelles garnies de cuir, de fibre ou de feutre. Des guides permettent l'assemblage de ces deux parties. Les demi-rondelles viennent s'appliquer sur la portée d'obturateur de l'essieu. L'application doit être régulière sur tout le pourtour de la portée mais ne doit pas entraîner d'échauffement ni d'usure.

L'obturateur est placé dans un logement situé à l'extrémité intérieure du corps de boîte, (fig. 61) et constitué par un double fond.

Les deux demi-rondelles sont munies de petits ressorts qui, prenant appui dans le corps de boîte, maintiennent les garnitures de cuir sur la portée de l'essieu.

## 5. GRAISSAGE PAR TAMPON

Les deux systèmes de graissage que nous avons examinés (palette et disque) sont des systèmes mécaniques. Un autre système assure le graissage par capillarité :

Un tampon graisseur en laine est logé dans la partie inférieure du corps de boîte (fig. 64).

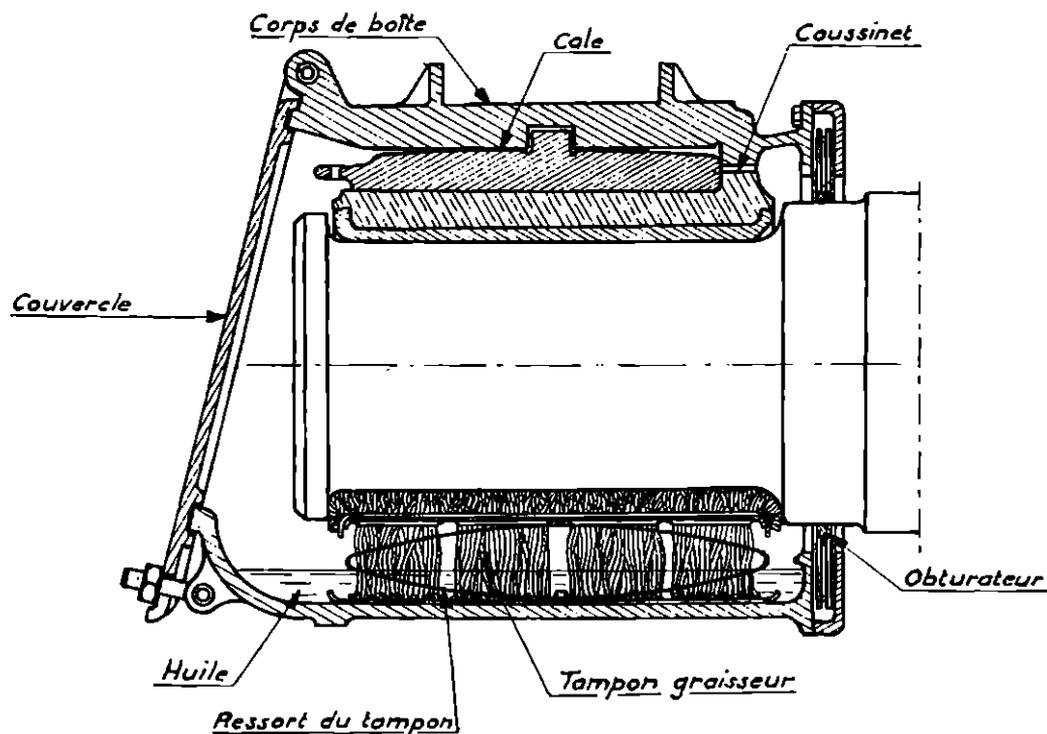


Fig. 64.

Ce tampon est constitué par des brins de laine assemblés sur un bâti. Un ressort à lame l'applique sur la partie inférieure de la fusée. Des mèches de laine trempent dans l'huile située à la partie inférieure du corps de boîte. L'huile est amenée sur la fusée par capillarité.

Comme il n'y a pas de projections d'huile, le déflecteur d'huile n'est pas nécessaire dans ces boîtes. Il n'y a pas non plus de bouclier.

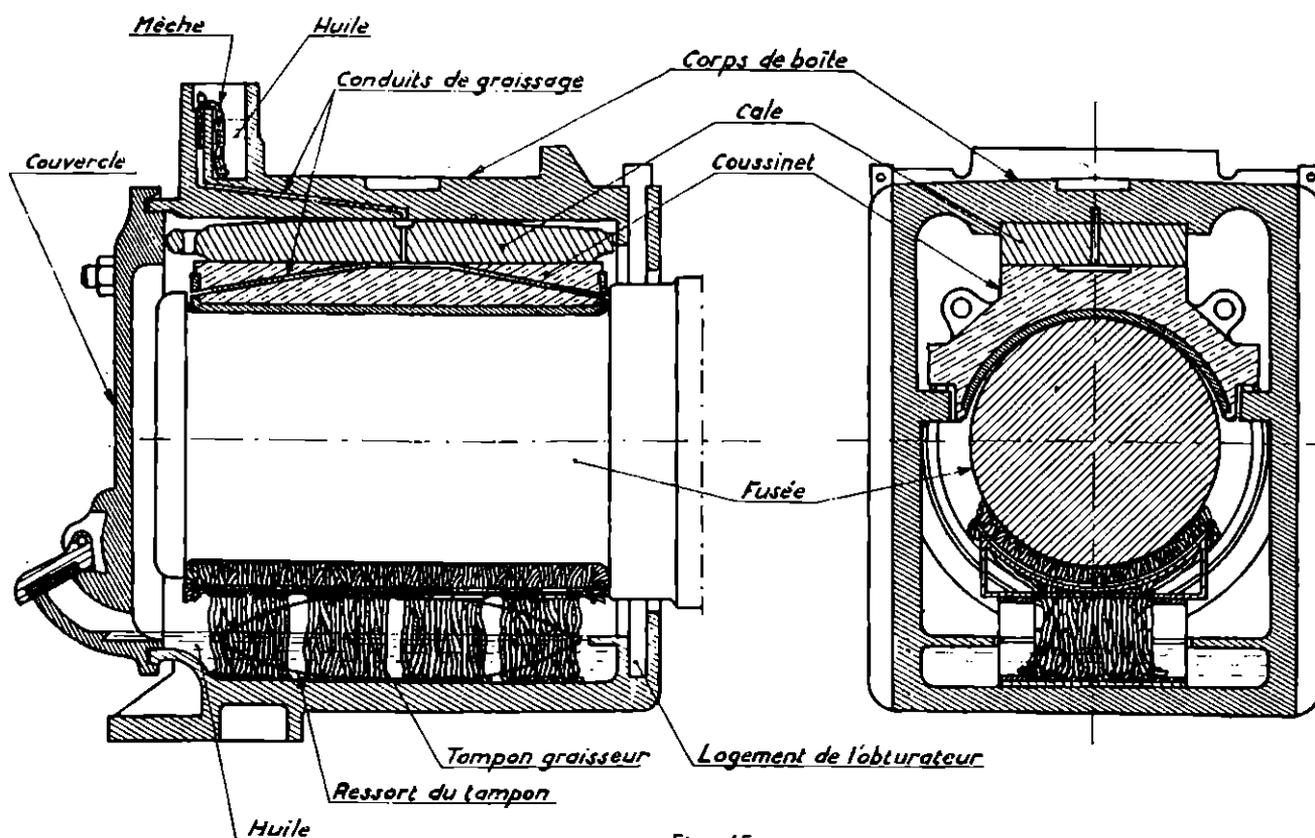


Fig. 65.

La figure 65 représente schématiquement un autre type de boîte dans lequel le graissage de la fusée par tampon est complété à la partie supérieure par un dispositif de graissage des joues latérales de coussinet. De l'huile contenue dans un petit réservoir est conduite par capillarité et siphonnage vers les joues de coussinet grâce à une mèche en laine et des canaux pratiqués dans le corps de boîte, la cale et le coussinet.

## BOITES A ROULEAUX

Dans les boîtes à rouleaux le coussinet est supprimé. Le glissement est remplacé par le roulement de rouleaux.

Sur la fusée dépourvue de champignon, deux roulements à rouleaux sont calés au moyen de manchons coniques enfoncés à force par un gros écrou. L'écrou se visse sur un prolongement fileté de la fusée (fig. 66).

Les manchons sont fendus. Ils s'appliquent fortement sur la fusée et sur les bagues Intérieures des roulements qui sont ainsi rendues solidaires de la fusée. Deux vis et une barrette fixées en bout de la fusée empêchent l'écrou de se desserrer.

Les bagues extérieures des roulements sont serrées dans le corps de boîte en deux parties assemblées par boulons.

La boîte est fermée à la partie avant par un couvercle fixé par vis avec interposition d'un joint.

Le graissage est effectué par de la graisse consistante; le corps de boîte en est rempli.

A la partie arrière un obturateur en feutre empêche les entrées de poussières et les pertes de graisse. Il frotte sur une portée d'obturateur amovible calée à chaud sur l'essieu. L'obturateur est en forme de chicane, ce qui a pour effet d'augmenter son étanchéité.

Les roulements sont le plus souvent du type « à rotule ». Cette disposition leur permet de tourner normalement, même si un léger décalage des bagues extérieures par rapport aux bagues Intérieures se produit au montage.

Les boîtes à rouleaux ont pour principal avantage de diminuer considérablement la résistance à l'avancement en raison de la substitution du frottement de roulement au frottement de glissement.

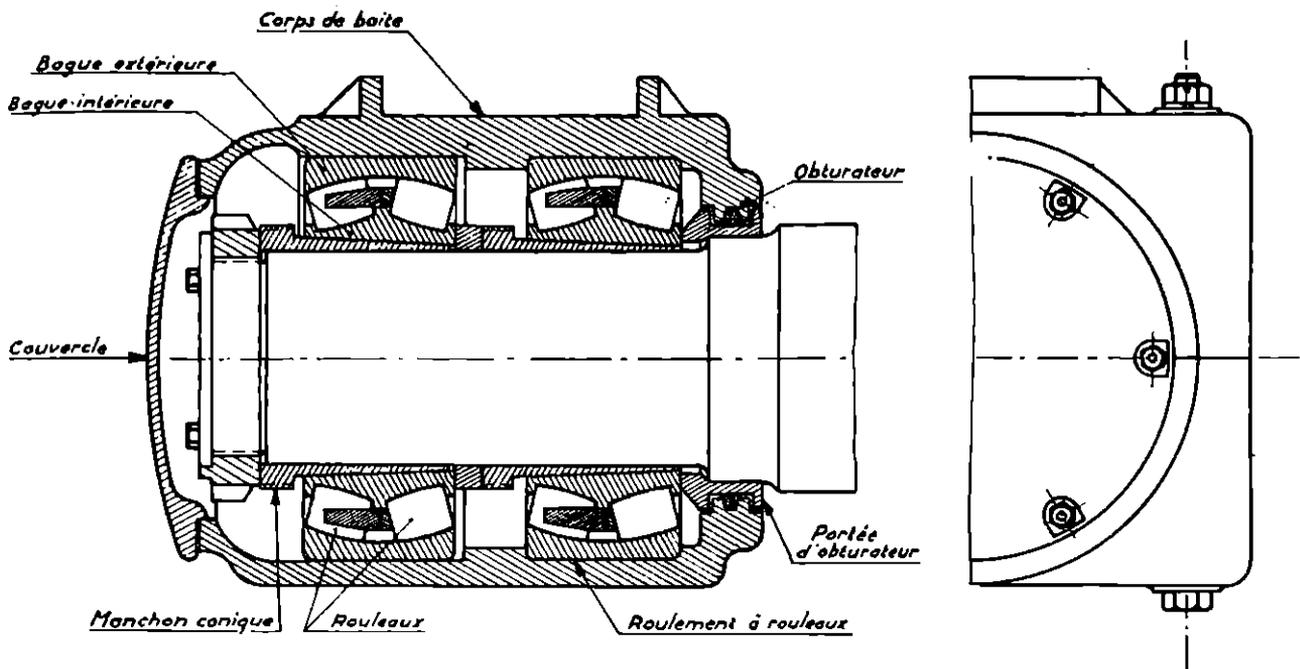
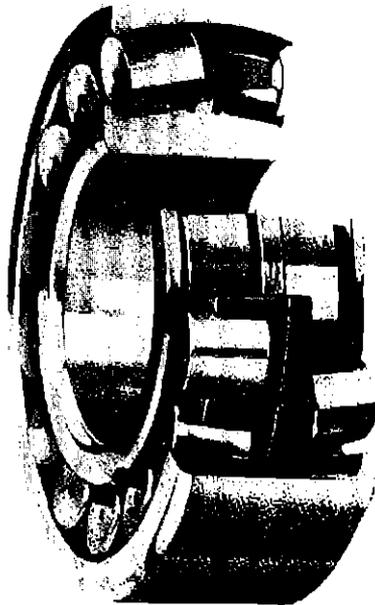


Fig. 66.

De plus, l'usure des fusées est supprimée, les roulements s'usent très peu et le graissage nécessite beaucoup moins d'entretien que les autres boîtes pour lesquelles il est nécessaire de rétablir fréquemment le niveau de l'huile.

#### ROULEMENT A ROTULE SUR DEUX RANGÉES DE ROULEAUX



## R É S U M É

*Les boîtes d'essieux assurent la liaison entre essieux et véhicule.*

*On distingue dans une boîte à huile : le coussinet, le corps de boîte, le dispositif de graissage, l'obturateur.*

*Le coussinet est en bronze garni de régule; son alésage est plus grand que le diamètre de la fusée.*

*Le corps de boîte est en acier moulé. Il entoure la fusée et le coussinet. Il repose sur le coussinet par l'intermédiaire d'une cale à talon. Les corps de boîte des essieux à fusées intérieures sont en deux parties.*

*La cale ou tiroir de calage est bombée pour permettre de libres oscillations de la fusée et du coussinet.*

*La partie inférieure du corps de boîte forme réservoir d'huile; un bouclier limite le soulèvement accidentel de la boîte.*

*Dans le graissage mécanique par palette puiseuse, la palette, fixée en bout de fusée, projette l'huile en haut du corps de boîte. L'huile est recueillie par un collecteur et coule par des conduits pratiqués dans le coussinet pour aboutir sur la fusée de part et d'autre de la portée de coussinet.*

*Le déflecteur d'huile des boîtes à graissage mécanique est un disque calé sur l'essieu à l'arrière de la fusée; il renvoie vers l'intérieur de la boîte les projections et écoulements d'huile qui se dirigent vers l'arrière.*

*Dans le graissage par capillarité un tampon graisseur en laine monte l'huile jusqu'à la partie inférieure de la fusée. Il est appliqué par un ressort.*

*L'obturateur assure l'étanchéité de la boîte à sa partie arrière. Il est logé dans un double fond du corps de boîte. Ses garnitures frottent sur la portée d'obturateur de l'essieu.*

*Les boîtes à rouleaux sont munies de deux roulements à rouleaux calés sur la fusée au moyen de manchons coniques enfoncés par un écrou vissé en bout de fusée. Le corps de boîte est en deux pièces assemblées par boulons; il serre les bagues extérieures des roulements. Le graissage est assuré par de la graisse consistante. L'obturateur est un joint de feutre qui frotte sur une portée d'obturateur rapportée sur l'essieu. Il est monté en chicane.*

## QUESTIONNAIRE

---

### BOITES D'ESSIEUX

- 1° *Quels sont les organes constituant une boîte d'essieu à huile?*
- 2° *Quel est le rôle du coussinet?*
- 3° *Décrivez un coussinet.*
- 4° *Pourquoi l'alésage du coussinet est-il plus grand que le diamètre de la fusée?*
- 5° *Qu'est-ce que l'ajustage d'un coussinet?*
- 6° *Comment le coussinet est-il maintenu à la partie supérieure de la fusée?*
- 7° *Décrivez le dispositif de graissage par palette puiseuse.*
- 8° *Pourquoi les cales de coussinets sont-elles bombées à leur partie supérieure?*
- 9° *Quel est le rôle de l'obturateur? Décrivez-le.*
- 10° *Décrivez le système de graissage par tampon.*
- 11° *Décrivez une boîte d'essieux à rouleaux.*
- 12° *Quels sont les avantages des boîtes à rouleaux?*



# CHASSIS DE CAISSE ET CAISSE

---

## CHASSIS DE CAISSE

GÉNÉRALITÉS  
DESCRIPTION  
PRINCIPALES VARIANTES

## CAISSE

GÉNÉRALITÉS  
DESCRIPTION  
DIFFÉRENTES DISPOSITIONS  
PROTECTION DU PERSONNEL

## CHASSIS DE CAISSE

---

### GÉNÉRALITÉS

Le châssis de caisse d'un engin moteur électrique est un ensemble métallique rigide constitué par un assemblage de tôles de forte section et de profilés en acier. Sa forme générale est rectangulaire. Son rôle est de supporter la caisse et tous les organes qu'elle abrite et supporte : pupitres de conduite, appareillage de commande, appareillage de distribution du courant, pantographes, organes auxiliaires (ventilateurs, compresseurs...).

La solidité, la rigidité de l'ensemble du véhicule est due principalement à la solidité du châssis.

Les châssis de caisse affectent dans leurs détails des formes assez différentes suivant la disposition des organes des locomotives et aussi suivant le mode de suspension du véhicule (véhicule reposant sur des bogies ou directement sur les boîtes d'essieux).

On peut cependant, dans tous les cas, dégager les principes généraux suivants :

### DESCRIPTION

Le châssis est rectangulaire. Les deux grands côtés du rectangle ont toute la longueur du véhicule; ce sont les **longerons** (ou brancards).

Les longerons sont en tôle d'acier très résistante et de forte section (40 à 50 mm d'épaisseur et parfois plus). Ils sont plats ou profilés en I ou en U.

SCHÉMA D'UN CHASSIS

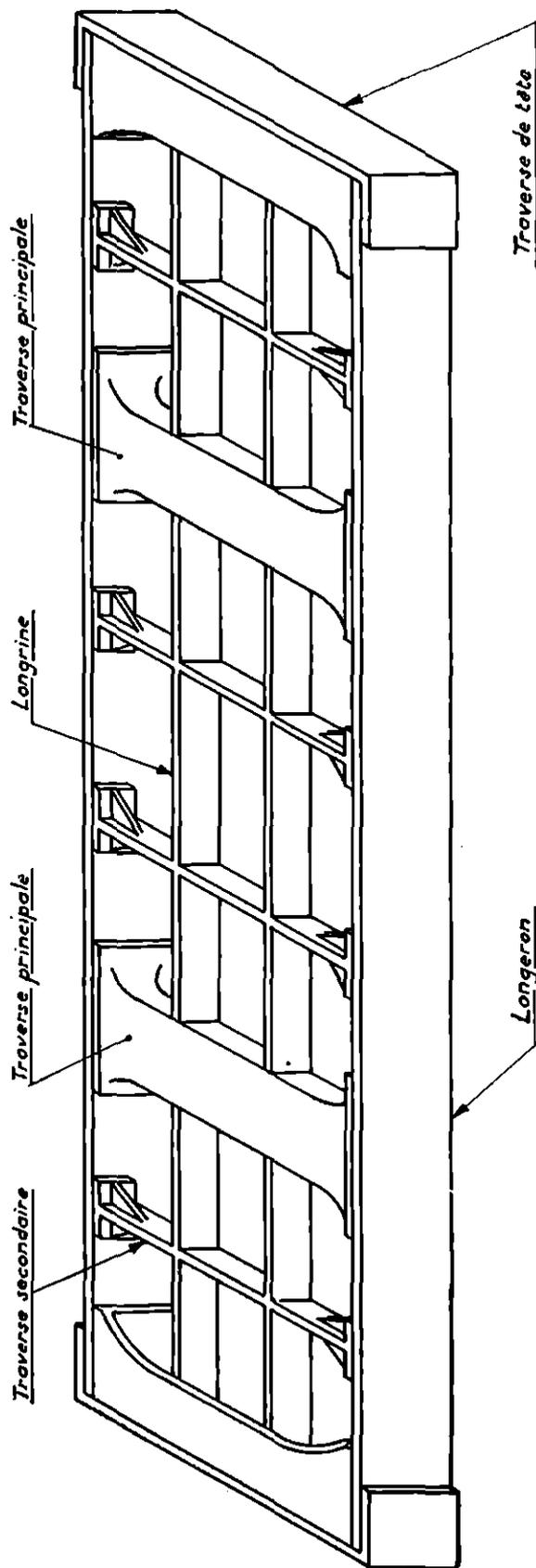


Fig. 67.

Les petits côtés du rectangle situés aux deux extrémités du véhicule sont les **traverses de tête** ou **traverses extrêmes**. Egalement en tôle d'acier épaisse, plate ou profilée, elles sont assemblées aux longerons par rivelage ou par soudage. Des renforts en tôle pliée ou soudée augmentent la rigidité de l'assemblage et donnent aux traverses la forme de caissons sur lesquels des organes de la locomotive peuvent reposer (cabines de conduite ou organes auxiliaires).

Les traverses de tête supportent généralement les organes de choc et de traction (crochets, attelages, tampons).

Les longerons sont reliés par d'autres traverses : les **traverses principales**, de forte section, en tôle pliée, rivée ou soudée, ou encore en acier moulé, qui constituent également des caissons rigides. Dans les locomotives à bogies les traverses principales sont munies d'un dispositif d'appui de la caisse sur les bogies. Elles sont également utilisées pour supporter des organes lourds placés dans la caisse (moteurs). L'une d'entre elles peut être placée au centre du châssis.

Dans le sens longitudinal, des profilés en acier en I ou en U sont disposés parallèlement aux longerons. Ce sont les **longrines**.

Dans le sens transversal, des profilés de même nature sont placés entre les longerons; ce sont les **traverses secondaires** qui s'entrecroisent avec les longrines et permettent la fixation de la caisse et des organes qu'elle contient (cloisons, plancher, montants, appareillage).

Tous ces éléments solidement assemblés par rivelage ou soudure électrique contribuent à faire du châssis un ensemble pratiquement indéformable capable de résister sans dommage à tous les chocs et efforts de traction, de compression et de flexion auxquels il est fréquemment soumis.

### PRINCIPALES VARIANTES

Rappelons que les châssis de caisse peuvent présenter des différences assez sensibles suivant le type d'engin moteur; les éléments constitutifs peuvent être en nombre variable et leurs formes sont choisies en fonction de leur utilisation (formes de caisse, forme et poids des appareils à supporter).

Une particularité importante est à signaler pour les châssis de locomotives qui reposent sur les boîtes d'essieux (appui sur les boîtes par l'intermédiaire de ressorts de suspension). Des échancrures sont pratiquées dans les longerons pour permettre le passage des boîtes d'essieux (fig. 68).

LONGERON

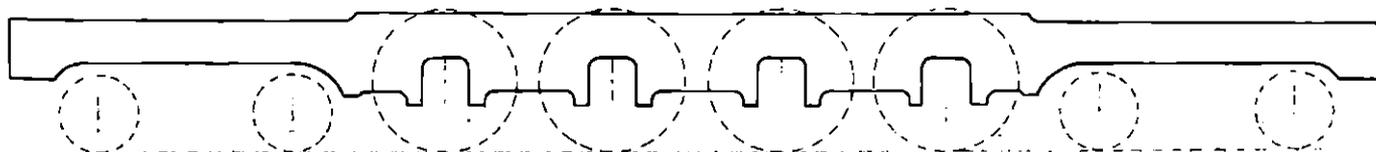


Fig. 68.

Les boîtes sont guidées entre des glissières fixées sur les parois latérales des échancrures (fig. 69). Afin de ne pas affaiblir la résistance des longerons à la flexion, des entretoises amovibles sont fixées à la partie inférieure de chaque échancrure.

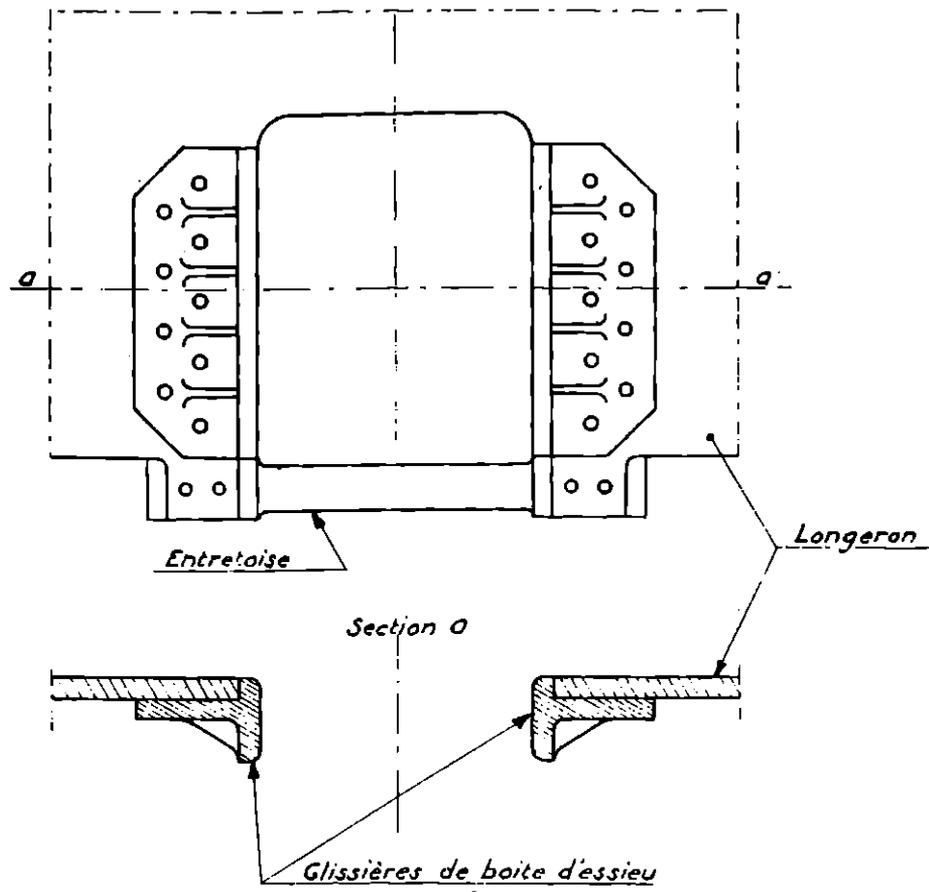


Fig. 69.



Cliché Alsthom.

*Châssis de locomotive avant soudure du parquet métallique et montage des traverses d'extrémités.*

## CAISSE

---

### GÉNÉRALITÉS

La caisse d'un engin moteur électrique est constituée par un ensemble de tôles pliées, assemblées par soudure, vis ou rivets. Sa forme est variable suivant le type d'engin. Son rôle est d'abriter le personnel de conduite, les instruments de manœuvre et de contrôle, tout l'appareillage fixé sur le châssis (appareillage électrique, mécanique et pneumatique) et de supporter les organes de captage du courant à la ligne aérienne.

La caisse est solidaire du châssis de caisse. On y distingue une ou deux cabines de conduite, les compartiments d'appareillage, la toiture. Dans les automotrices électriques une partie de la caisse est aménagée pour abriter les voyageurs.

### DESCRIPTION

Les tôles constituant les parois de la caisse sont assemblées par soudage ou par vissage sur des montants des traverses et des arceaux en profilés d'acier ou en tôle pliée. Montants, traverses et arceaux constituent une ossature rigide rendue solidaire du châssis.

Les parois extérieures sont souvent démontables pour permettre le libre accès à l'appareillage en cas de révision ou réparation à l'atelier : parois latérales, capots protecteurs, panneaux d'extrémités, éléments de la toiture.

Les cabines de conduite et portes d'accès sont à double paroi afin d'améliorer le confort du personnel; elles contiennent les pupitres de conduite amovibles sur lesquels sont rassemblés les appareils de manœuvre, les leviers, robinets, lampes de signalisation, appareils de mesure...

A l'intérieur de la caisse des cloisons verticales et des portes isolent les cabines de conduite et constituent les compartiments d'appareillage et couloirs d'accès.

Le plancher est fixé sur les traverses et longrines du châssis; il est en bois ou en tôle d'acier striée.

Des fenêtres et hublois vitrés sont disposés sur les parois frontales et latérales. Les parois latérales sont, en outre, munies de volets d'aération et d'aspiration du dispositif de ventilation forcée (refroidissement des organes électriques : moteurs, résistances). Les parois frontales supportent les phares et feux de signalisation.

La toiture supporte les pantographes par l'intermédiaire d'un petit châssis reposant sur des isolateurs en porcelaine.

L'assemblage des différents éléments de la caisse est effectué avec soin, dans le but d'assurer son étanchéité. Il est important, surtout pour les organes électriques, d'éviter toute entrée d'eau ou de poussières.

SCHÉMA DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS D'UNE CAISSE

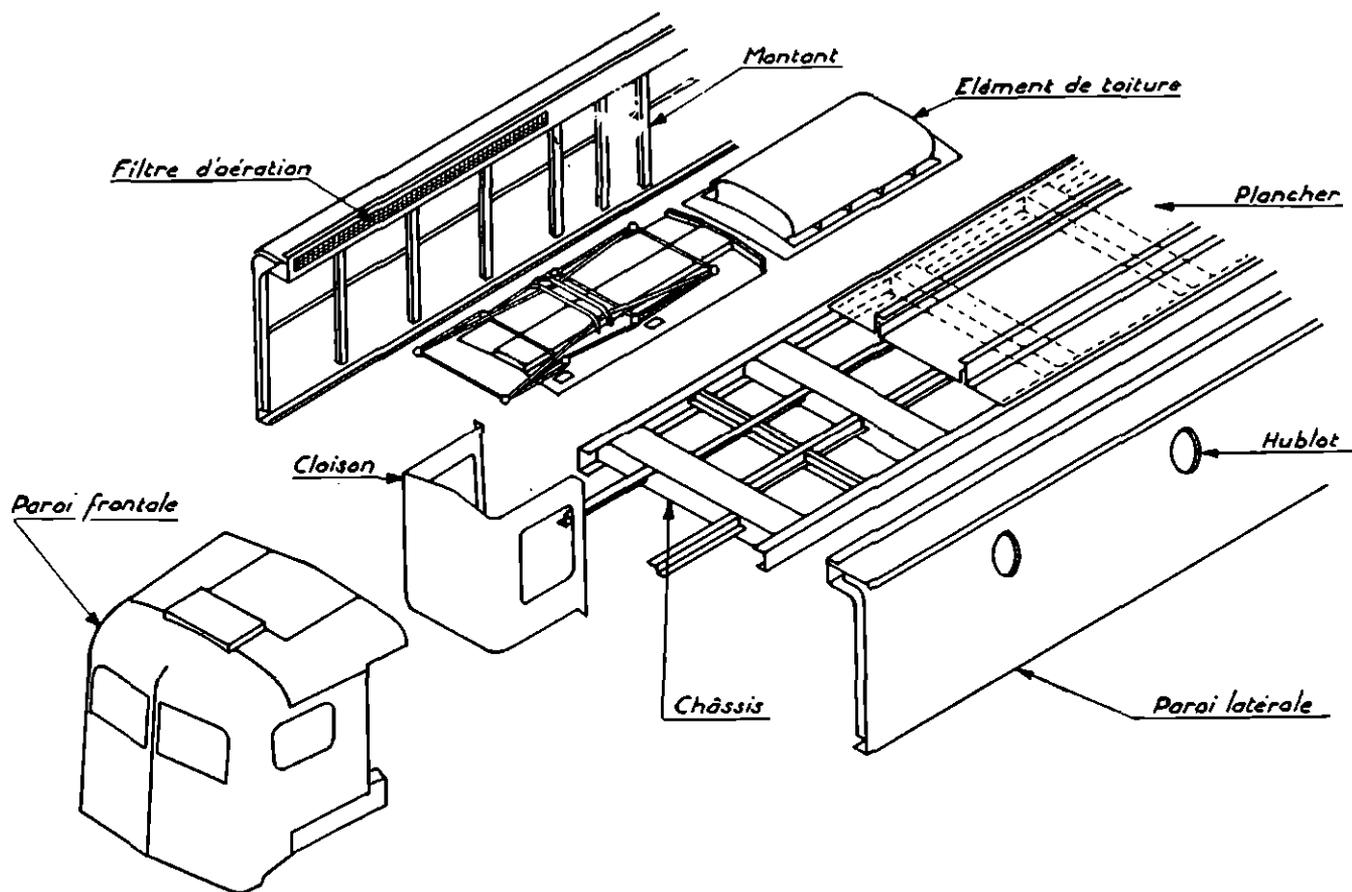
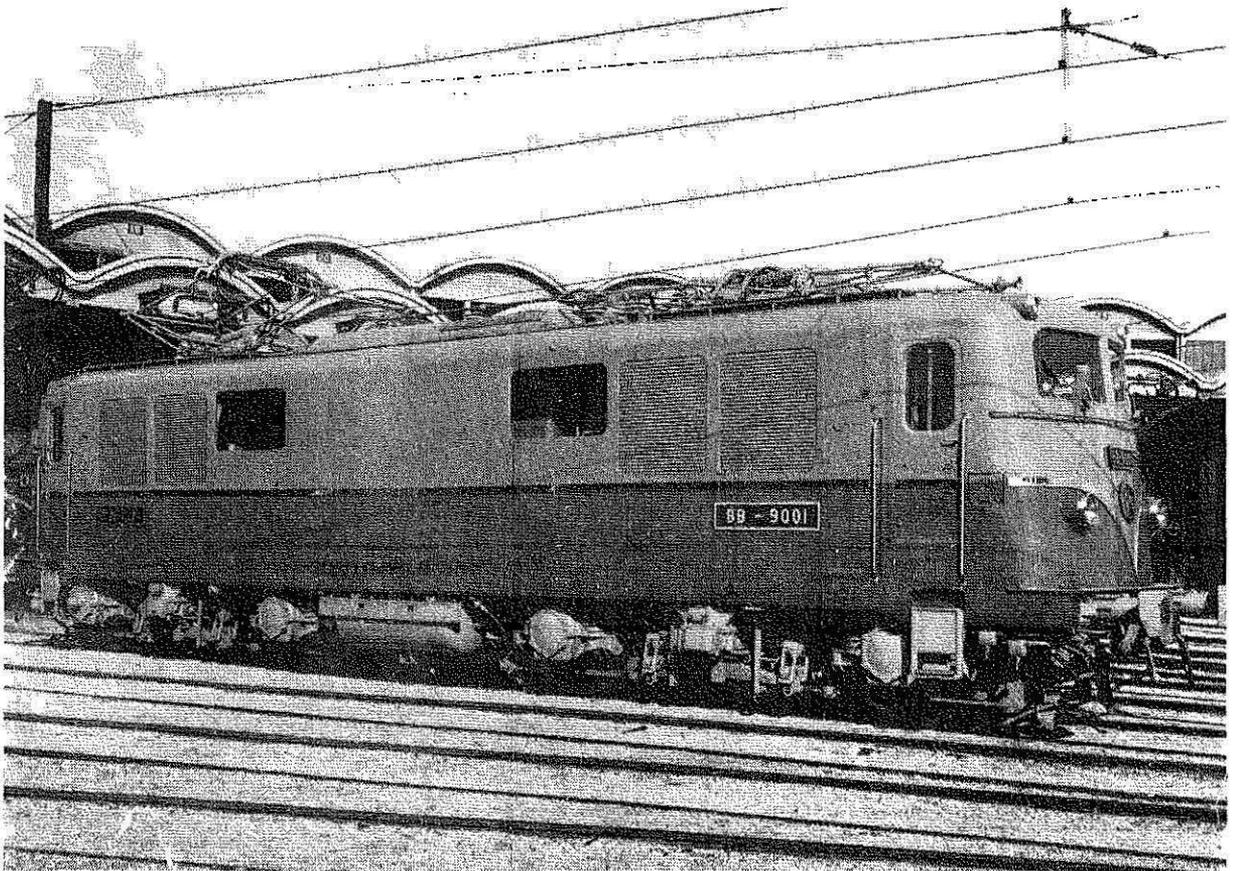


Fig. 70.

## DIFFÉRENTES DISPOSITIONS

Parmi les très nombreuses variétés de caisses on peut distinguer deux catégories :

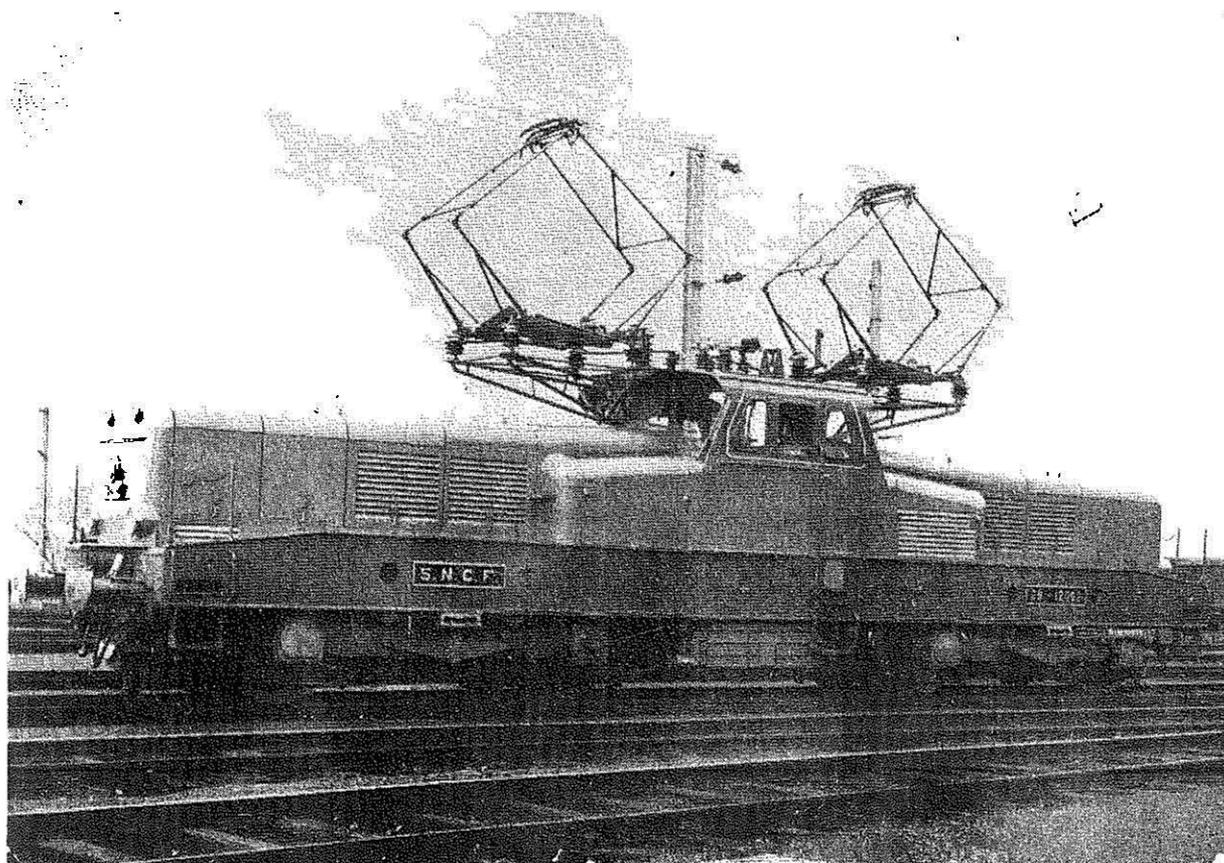
- 1° Les caisses à deux cabines de conduite situées aux extrémités du véhicule;
- 2° Les caisses à cabine unique centrale.



Ces deux types de caisses ont chacun leurs avantages et leurs inconvénients.

Dans les locomotives bi-cabines, les organes de manœuvre, de contrôle et de mesure nécessaires à la conduite doivent être doublés. A chaque changement de sens de marche, le conducteur doit changer de cabine en isolant les organes de manœuvre d'une extrémité pour mettre ceux de l'autre extrémité en service. Par contre, presque tous les organes auxiliaires et électriques sont placés dans la partie centrale où leur accès est commode et où ils sont bien abrités.

Dans les locomotives à cabine centrale, les organes nécessaires à la conduite sont en nombre plus réduit et groupés sur un seul pupitre. Le conducteur n'a pas à se déplacer pour changer de sens de marche et, de plus, la disposition des baies vitrées sur toutes les faces de la cabine permet une excellente visibilité et la surveillance du convoi en cours de marche.



La cabine centrale est particulièrement appréciable dans les services de manœuvre où les changements de sens sont fréquents. Par contre, les organes auxiliaires et électriques doivent être logés de chaque côté de la cabine sous des capots amovibles et bas. Du fait de la réduction d'espace disponible l'accès à ces organes est peu commode et la présence des capots amovibles rend difficile la réalisation d'une élançabilité convenable aux entrées d'eau et de poussière.

## PROTECTION DU PERSONNEL

Dans toute locomotive électrique il existe des organes que le personnel de conduite et d'entretien ne doit pas toucher lorsqu'ils sont sous tension (haute tension, danger d'électrocution). Ces organes sont enfermés dans des compartiments cloisonnés dont les portes sont fermées par des serrures spéciales.

Les clefs de toutes les serrures de la locomotive sont rassemblées et engagées sur un dispositif de verrouillage qui ne permet pas de les retirer tant que la locomotive est sous tension (pantographes montés, circuits à haute tension en fonctionnement).

Pour ouvrir un compartiment à haute tension (HT) il est indispensable de supprimer l'alimentation HT sur tous les circuits (abaissement des pantographes, manœuvre d'interrupteurs de mise à la terre et d'interrupteurs coupant les circuits dangereux) afin de pouvoir obtenir la clef nécessaire à l'ouverture de la serrure.

L'accès à la toiture est également soumis aux mêmes conditions; l'échelle de montée est verrouillée par une serrure.

## R É S U M É

*Le châssis de caisse d'un engin moteur électrique est un ensemble métallique rigide constitué par un assemblage de tôles de forte section et de profilés en acier. Son rôle est de supporter la caisse et tous les organes qu'elle contient. Il assure en grande partie la rigidité du véhicule et doit supporter sans déformation les efforts importants auxquels il est soumis.*

*On distingue sur un châssis de caisse :*

- les longerons, faces latérales du châssis, en tôle d'acier de forte section, plane ou profilée en I ou en U. Ils assurent la rigidité dans le sens longitudinal. Les longerons de locomotives suspendues directement sur les boîtes d'essieux assurent le guidage de ces boîtes dans des échancrures munies de glissières et fermées par des entretoises;*
- les traverses de tête, en tôle de même nature, relient les longerons à leurs extrémités. Elles supportent généralement les organes de choc et d'attelage et sont munies de renforts qui augmentent leur rigidité,*
- les traverses principales entretoisent solidement les longerons dans leurs parties médianes. En tôle pliée; en profilé ou en acier moulé, elles forment des poutres de forte section destinées à supporter les organes les plus lourds de la locomotive. Sur les locomotives à bogies elles sont munies du dispositif d'appui de la caisse sur les bogies;*
- les traverses secondaires (ou intermédiaires) sont en profilé d'acier de plus faible section. Elles entretoisent également les longerons et supportent le plancher, les organes auxiliaires de la locomotive, la caisse;*
- les longrines, disposées à l'intérieur du châssis et parallèlement aux longerons constituent un entrecroisement avec les traverses.*

*La caisse abrite le personnel de conduite, les instruments de manœuvre et de contrôle, l'appareillage. Elle est solidaire du châssis. Ses différents éléments sont assemblés par rivetage, soudage ou vissage sur une ossature rigide constituée par des profilés ou des tôles pliées. Certains éléments sont amovibles afin de permettre l'accès aux organes de la locomotive.*

*Les caisses sont, soit à deux cabines de conduite, soit à une cabine unique centrale.*

*L'ossature qui assure la rigidité de la caisse et supporte les parois et cloisons est constituée par des montants solidaires du châssis, des traverses et des arceaux de toiture.*

*Les parois latérales et capots constituent des panneaux souvent amovibles dont certains sont munis d'orifices d'aération et de ventilation ou de baies vitrées.*

*Les parois frontales sont munies de larges baies vitrées et supportent les phares et feux de signalisation. Elles sont à double paroi.*

*Les cloisons fixées sur les montants, munies de portes, isolent les cabines de conduite et compartimentent l'intérieur de la caisse.*

*Le plancher en bois ou en tôle striée est fixé sur les longrines et traverses.*

*La toiture, supportée par les arceaux, est munie de panneaux démontables qui reçoivent les pantographes et leurs organes de manœuvre, ainsi que les canalisations électriques d'amenée du courant dans la caisse.*

*Les compartiments qui abritent les organes électriques à haute tension dangereux pour le personnel, sont fermés par des serrures spéciales. Les clefs de ces serrures sont verrouillées sur un dispositif qui oblige quiconque veut pénétrer dans un compartiment HT à manœuvrer d'abord des appareils de coupure de courant et de mise à la terre des circuits électriques.*

## QUESTIONNAIRE

---

### CHASSIS DE CAISSE ET CAISSE

- 1° *Quel est le rôle du châssis de caisse d'une locomotive?*
- 2° *Enumérez les organes constituant un châssis de caisse en les décrivant sommairement.*
- 3° *Quels sont les modes d'assemblage des éléments d'un châssis?*
- 4° *A quoi servent les échancrures munies de glissières pratiquées dans les longerons de certaines locomotives?*
- 5° *Quel est le rôle de la caisse d'une locomotive?*
- 6° *Quels sont les éléments assurant la rigidité de la caisse?*
- 7° *Quels sont les deux principaux types de caisses utilisés sur les locomotives électriques?*
- 8° *Quels sont les organes supportés par la toiture?*
- 9° *Par quel moyen l'accès aux compartiments renfermant des appareils électriques à haute tension est-il interdit au personnel lorsqu'il y a danger?*

# ORGANES DE CHOC ET DE TRACTION

---

## GÉNÉRALITÉS

### DESCRIPTION

- Organes de traction
  - Crochet*
  - Tendeur d'attelage*
  - Ressorts de traction - Montages*
- Organes de choc

## GÉNÉRALITÉS

Les organes de traction d'un engin moteur sont disposés à chaque extrémité du véhicule; le plus souvent sur les traverses de tête du châssis de caisse. Ils sont essentiellement constitués à chaque extrémité par un crochet de traction, des ressorts de traction et un tendeur d'attelage. Ces organes sont disposés dans l'axe longitudinal du châssis. Leur rôle est de permettre l'accouplement avec les véhicules remorqués et de leur transmettre l'effort de traction; ces véhicules sont tous munis, sur leurs traverses de tête, des organes d'attelage correspondants.

Les organes de choc sont les tampons. Au nombre de deux à chaque extrémité du véhicule, ils sont disposés symétriquement de part et d'autre des organes de traction. Leur rôle est, d'une part, d'assurer en permanence un contact souple entre la locomotive et le premier véhicule remorqué, d'autre part, d'amortir les chocs qui se produisent à l'accostage de la locomotive sur le train et, en marche, sous l'effet d'à-coups de traction.

## DESCRIPTION

### I. ORGANES DE TRACTION

#### a) **Crochet** (fig. 71).

C'est une pièce en acier forgé. La mise en forme par forgeage est préférée à l'usinage par outils tranchants car la coupure des fibres du métal affaiblirait la résistance à la traction du crochet.

Remarquez la forme particulière donnée au crochet afin de lui assurer une grande résistance à la rupture.

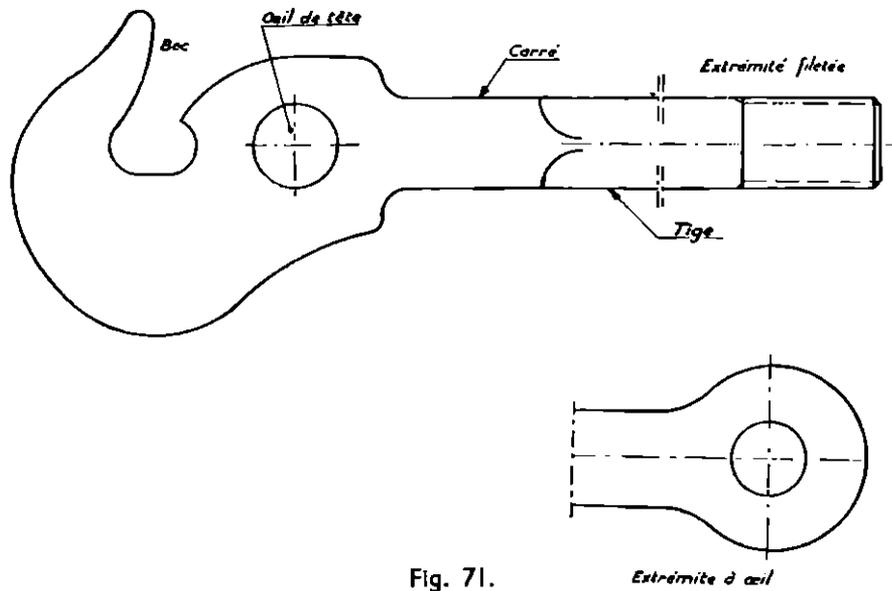


Fig. 71.

On distingue :

- la tête de crochet, partie massive munie d'un bec et percée d'un œil;
- la tige, de section carrée du crochet, ronde vers l'autre extrémité. L'extrémité opposée au crochet est soit filetée, soit munie d'un œil.

b) Tendeur d'attelage (fig. 72).

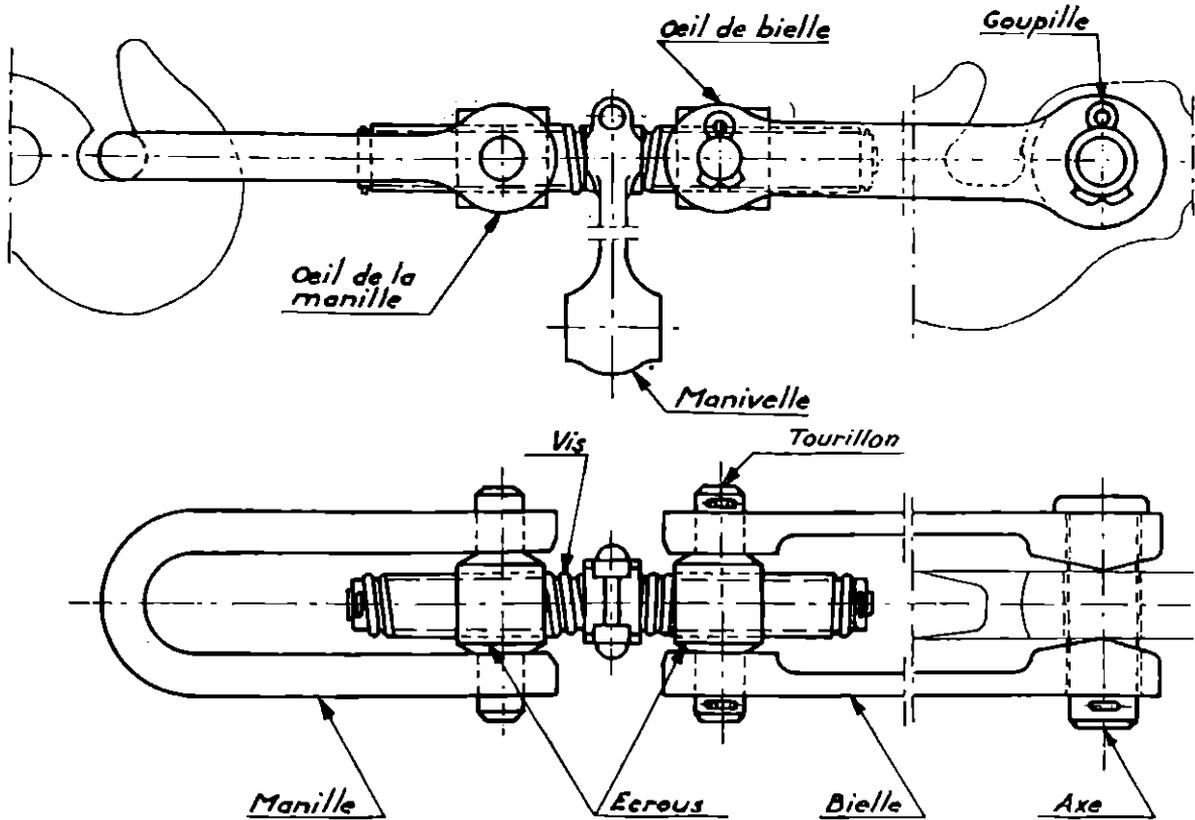


Fig. 72.

Le tendeur d'attelage se compose :

- d'un axe cylindrique qui se place dans l'œil de la tête du crochet. Il y est maintenu par une goupille;
- de deux bielles articulées sur l'axe;
- d'une manille;
- de deux écrous à tourillons articulés l'un sur les bielles, l'autre sur la manille;
- d'une vis à filets ronds dont les deux moitiés sont filetées à des pas contraires;
- d'une manivelle placée au milieu de la vis.

La manille est destinée à assurer la liaison avec le crochet du véhicule attelé. La manœuvre de la manivelle permet, en tournant la vis à filets contraires, de serrer ou de desserrer l'attelage.

### c) Ressorts de traction - Montage.

Afin d'obtenir une certaine souplesse dans la transmission des efforts de traction (démarrages, accélérations), des ressorts sont interposés entre le crochet de traction et la traverse d'attelage.

Plusieurs montages sont employés :

Dans le montage représenté par la figure 73, le crochet de traction est à extrémité cylindrique filetée. Un écrou de serrage comprime un ressort en volute par l'intermédiaire d'une rondelle d'appui.

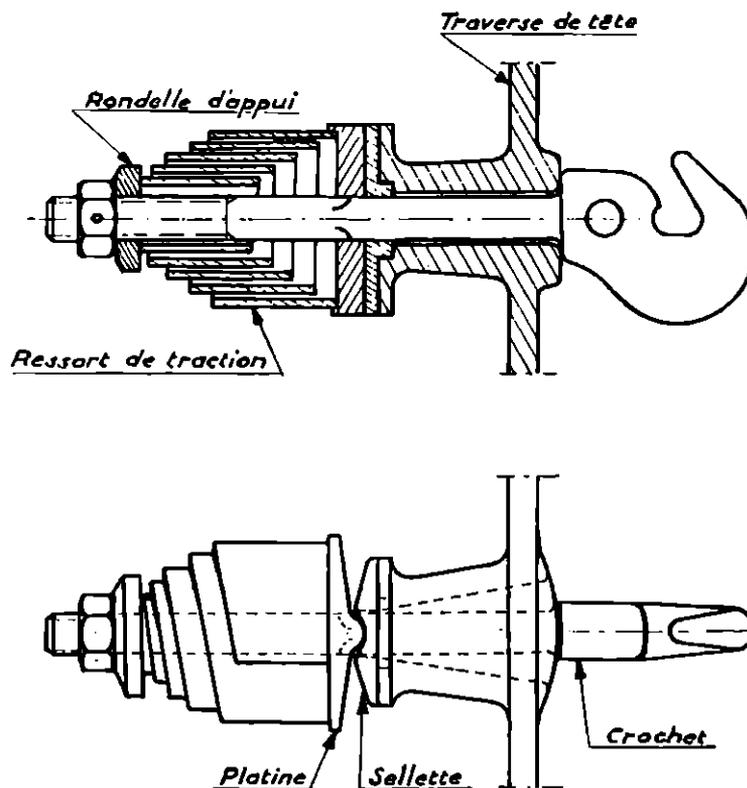


Fig. 73.

Afin de permettre des déplacements latéraux du crochet (passages dans les courbes) la partie renforcée de la traverse qui sert de guide à la tige du crochet est évasée en arc de cercle.

Pour que le ressort travaille dans les mêmes conditions pour toutes les positions du crochet, il s'appuie sur la traverse par l'intermédiaire d'une platine et d'une sellette. Ce système lui permet d'être toujours comprimé dans le sens axial.

Dans le montage représenté par la figure 74, il y a deux ressorts de traction en volute. Le crochet de traction est à œil; il est relié aux ressorts par l'intermédiaire d'un joug de pression sur lequel il est articulé par un axe.

Le joug de pression est guidé par deux tiges.

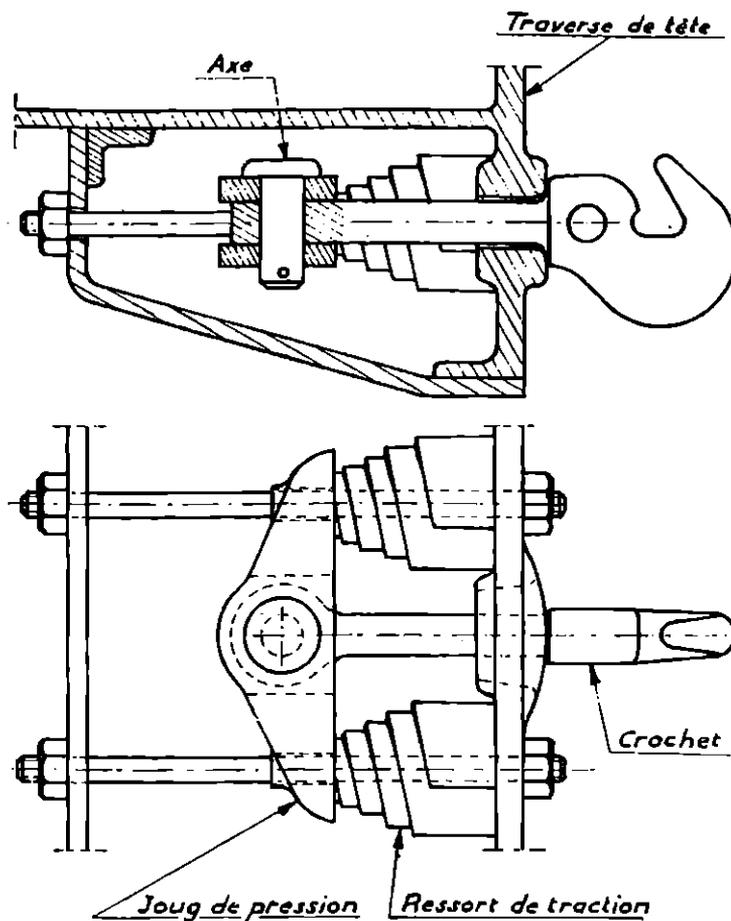


Fig. 74.

Le crochet est guidé, comme dans le montage précédent, pour lui permettre différentes orientations. Il oscille autour de l'axe de l'œil. Quelle que soit l'orientation du crochet, les ressorts sont toujours comprimés de la même manière par le joug qui est guidé.

Le même montage est parfois utilisé avec deux ressorts en caoutchouc à la place des ressorts en hélice (automotrices).

## 2. ORGANES DE CHOC

Divers types de tampons sont utilisés sur les locomotives électriques. On trouve cependant sur chacun d'eux :

- une tige de tampon ou un plongeur épanoui à l'avant en forme de disque, destiné à prendre contact avec un organe semblable du véhicule attelé;

- un ressort de choc. Ce ressort a pour but d'amortir les chocs auxquels le tampon est soumis lors des accostages et des irrégularités dans la traction;
- un boisseau servant de guide à la tige et contenant le ressort de choc. Il est muni d'une clavette qui maintient la tige et est fixé par boulons sur la traverse de tête.

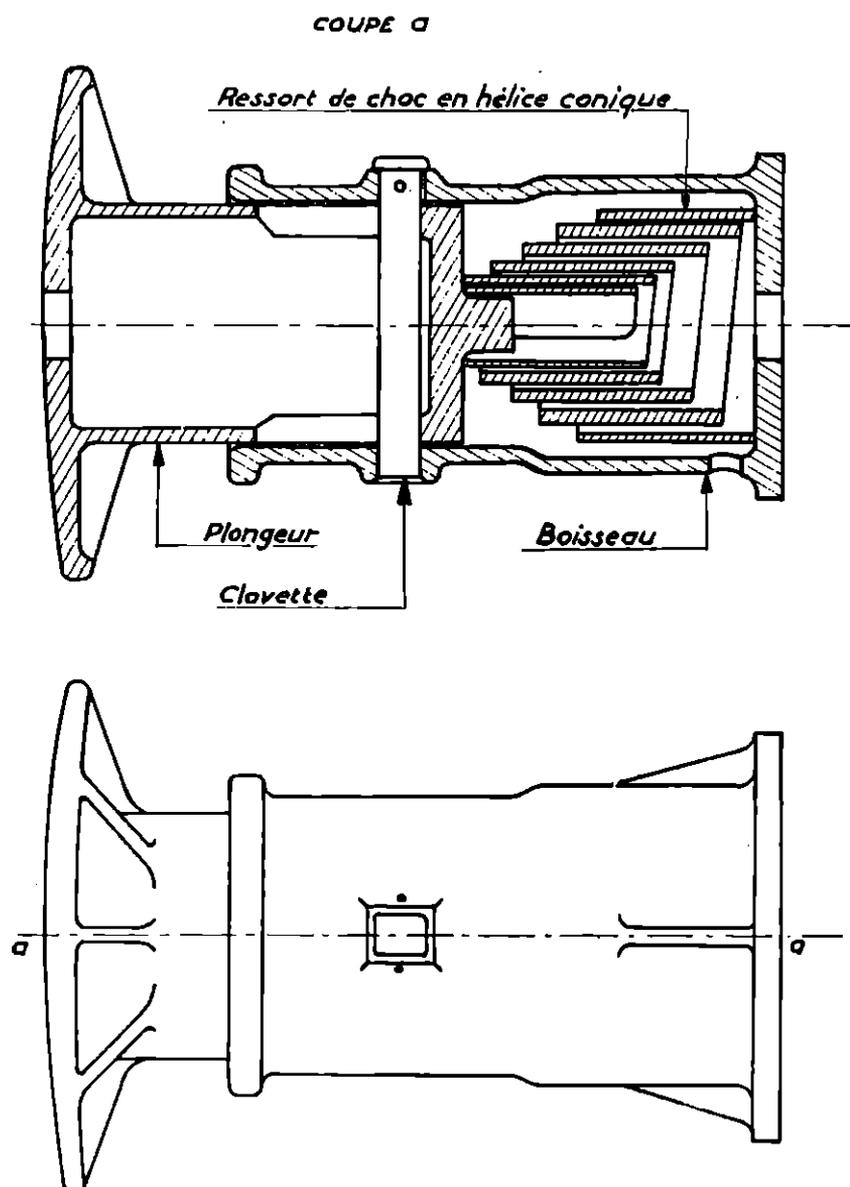


Fig. 75.

Dans le tampon représenté par la figure 75 le ressort de choc est en spirale conique. Il est en acier et s'appuie dans le fond du boisseau. C'est le type de tampon le plus couramment employé; il porte le nom de « tampon unifié » (le ressort de ces tampons est parfois en caoutchouc).

Dans le tampon représenté par la figure 76, le ressort de choc est constitué par un empilage de bagues en acier serrées par une tige d'assemblage.

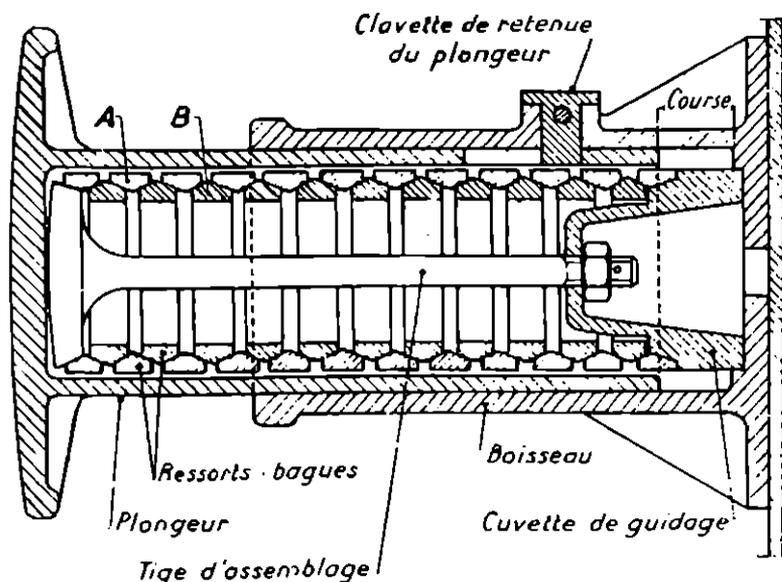


Fig. 76.

On distingue les bagues extérieures (telles que A), et les bagues intérieures (telles que B). Bagues intérieures et extérieures sont en contact par des surfaces coniques. Quelques bagues intérieures sont fendues.

Lors d'un choc, l'emplage est comprimé; les bagues intérieures pénètrent plus avant dans les bagues extérieures. Il y a agrandissement élastique des bagues A et compression élastique des bagues B. Ces déformations s'accompagnent d'un important frottement entre les surfaces de contact; frottement qui « absorbe » le choc.

Ces tampons portent le nom de tampons « Ringfeder ». Leur principal avantage par rapport aux tampons à ressorts en hélice est qu'ils ne favorisent pas les réactions entre véhicules lors d'un choc.

En effet, lorsqu'un ressort en hélice a été comprimé, il revient violemment à sa position première dès que la compression cesse. Au cours de ce mouvement il restitue presque toute l'énergie emmagasinée pendant le choc et peut ainsi repousser le véhicule qu'il a abordé; c'est la réaction.

Au contraire dans le ressort à bagues Ringfeder, le retour à la position première se fait assez lentement, avec un frottement intense entre les bagues. Ce frottement absorbe la majeure partie de l'énergie.

Les tampons Ringfeder sont toutefois moins employés que les tampons unifiés parce qu'ils sont beaucoup plus coûteux.

NOTA. — Entre deux véhicules attelés, si les disques de deux tampons en regard étaient plats, le contact ne serait assuré convenablement qu'en voie droite; en courbe, il serait trop déporté sur un côté (fig. 77 a).

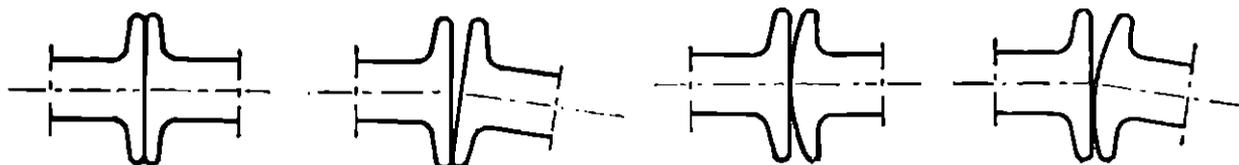


Fig. 77 a.

Fig. 77 b.

Cet Inconvénient est évité en donnant une forme bombée à l'un des disques en regard (fig. 77 b). Un véhicule est donc muni à chaque extrémité d'un tampon plat et d'un tampon bombé. La disposition est la même sur toutes les traverses : pour un observateur placé face à une traverse, le tampon bombé se trouve du côté gauche.

Parfois (automotrices de banlieue) on emploie des tampons semi-bombés qui sont alors tous identiques.

Les organes de traction et les organes de choc que nous avons examinés jusqu'à présent sont indépendants les uns des autres sur une même traverse. Quelquefois une liaison élastique est réalisée entre ces organes. C'est le cas de certaines automotrices. Un tel dispositif est schématisé sur la figure 78.

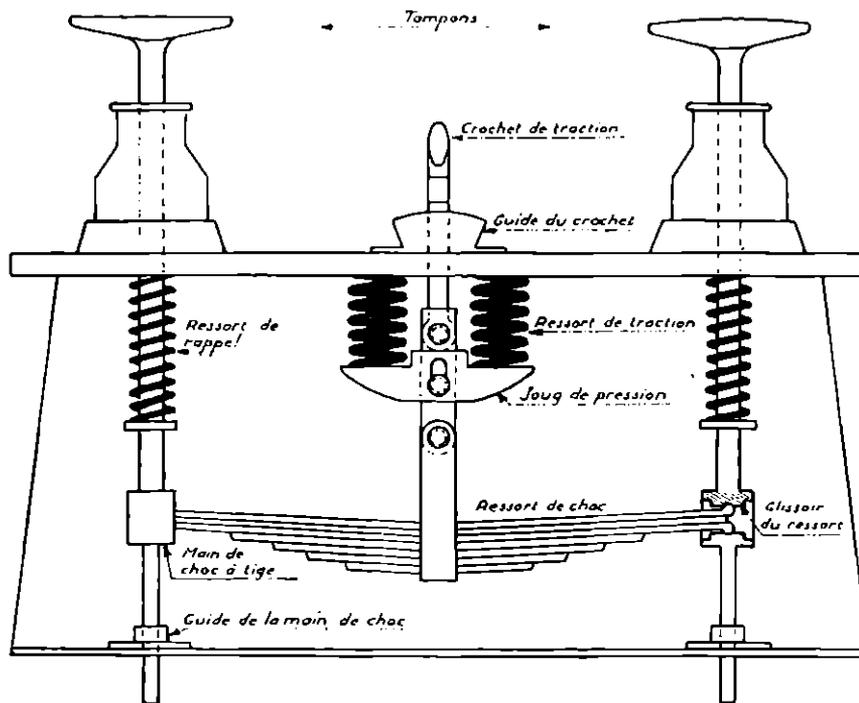


Fig. 78.

Les tiges de tampons sont prolongées et guidées dans le châssis. Un ressort de choc unique est constitué par un empilage de lames d'acier. Il est relié au joug de pression des ressorts de traction en son milieu et ses extrémités poussent les tiges de tampons par les mains de choc. Des ressorts de rappel maintiennent les tampons en bonne place au repos.

Du fait de la présence d'un ressort de choc unique, les tampons sont d'un type spécial représenté en coupe sur la figure 79.

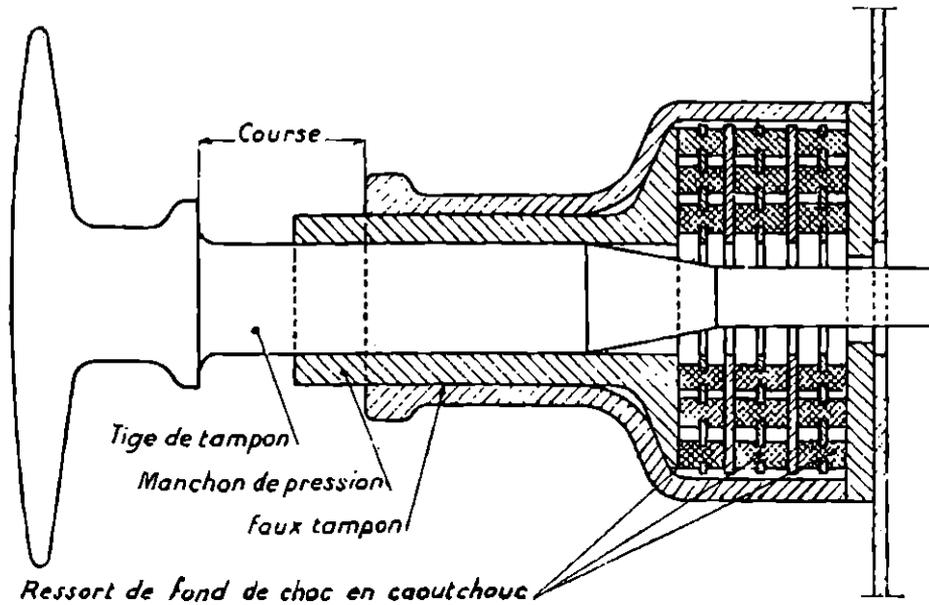


Fig. 79.

La tige est guidée par un faux tampon et son déplacement vers le châssis est limité par un ressort en caoutchouc.

Un tel système a l'avantage d'être très souple, mais il n'est utilisable que sur véhicules légers, il a l'inconvénient de comporter un assez grand nombre de pièces mobiles.

## R É S U M É

*Les organes de traction permettent l'accouplement souple entre la locomotive et le premier véhicule remorqué.*

*Les tampons assurent un contact souple entre les véhicules attelés et amortissent les chocs.*

*L'effort développé par une locomotive est transmis à la charge remorquée par un crochet de traction. Le crochet est une pièce en acier forgé dont la tête massive est munie d'un bec et est percée d'un œil. La tige du crochet a une section carrée du côté de la tête, son extrémité opposée est à section ronde fileté ou munie d'un œil.*

*Les ressorts de traction sont interposés entre le crochet et la traverse d'attelage. Leur rôle est d'assouplir la transmission des efforts de traction.*

*Les crochets de traction peuvent s'orienter latéralement.*

*Le tendeur d'attelage qui assure la liaison entre les crochets de deux véhicules est constitué par un axe de tête de crochet, deux biellettes articulées sur l'axe, une manille, deux écrous à tourillons, une vis à pas contraires, une manivelle de manœuvre. La manille s'engage dans le crochet du véhicule attelé. La manœuvre de la vis, en rapprochant ou éloignant les écrous à tourillons permet de serrer ou de desserrer l'attelage.*

*Les tampons sont boulonnés sur les traverses d'attelage de part et d'autre des organes de traction. Ils absorbent les chocs et amortissent les déplacements entre véhicules en cours de marche.*

*Ils sont munis d'une tige (ou plongeur) épanouie à l'avant en forme de disque, d'un ressort en spirale (tampons unifiés) ou à bagues (tampons Ringfeder), d'un boisseau contenant ressort et tige; une clavette retient la tige.*

*Sur une traverse d'attelage, le disque du tampon de gauche est bombé, l'autre est plat.*

## QUESTIONNAIRE

---

### ORGANES DE CHOC ET DE TRACTION

- 1° Décrivez un crochet de traction.
- 2° De quelle manière le crochet est-il raçonné :
- 3° Quelles sont les pièces constituant un tendeur d'attelage ?
- 4° Quel est le rôle de la manille du tendeur d'attelage ?
- 5° Que permet la rotation de la manivelle du tendeur d'attelage ?
- 6° Quel est le rôle des ressorts de traction ?
- 7° Décrivez sommairement le montage d'un crochet de traction à extrémité fileté avec un seul ressort de traction.
- 8° Quelles sont les pièces constituant un tampon unifié ?
- 9° Quel est le rôle de la clavette qui traverse le plongeur ?
- 10° Comment est constitué un ressort de tampon Ringfeder ?
- 11° Pourquoi les surfaces des disques de deux tampons se faisant face sont-elles l'une bombée et l'autre plane ?
- 12° Comment les tampons sont-ils montés sur les traverses d'attelage ?

# BOGIES

## GÉNÉRALITÉS

### BOGIES PORTEURS - BOGIES MOTEURS

#### DESCRIPTION

Châssis de bogie

Guidage des boîtes d'essieux

Suspension du châssis de bogie

#### APPUIS DE LA CAISSE SUR LES BOGIES

Pivots

Bogies à deux pivots

Pivots des bogies porteurs d'extrémités

Equilibriseurs de caisse

Appui de la caisse par traverse de charge

#### ATTELAGE ENTRE BOGIES

## GÉNÉRALITÉS

On désigne sous le nom de bogie un ensemble essentiellement constitué par deux ou trois essieux sur lesquels repose un châssis rectangulaire par l'intermédiaire de boîtes d'essieux et de ressorts de suspension. C'est en quelque sorte un petit véhicule qui possède à lui seul les organes nécessaires à son roulement, son guidage entre les rails, et qui est susceptible de recevoir une charge : la caisse de la locomotive .

Sauf pour quelques rares exceptions, les bogies sont d'un usage général sur les locomotives et automotrices électriques.

C'est principalement la longueur des engins moteurs qui rend leur utilisation nécessaire. Sur les engins puissants, une grande longueur de caisse est nécessitée par le nombre et le volume des organes moteurs et auxiliaires. Or, pour un engin sur lequel les boîtes d'essieux sont guidées par le châssis de caisse (ou châssis principal), se pose le problème de l'inscription dans les courbes.

En courbe et à partir d'une certaine longueur de châssis (ou d'un certain nombre d'essieux), les roues des essieux extrêmes poussent sur le rail extérieur tandis que les roues des essieux intermédiaires s'appuient sur l'autre rail ainsi que l'indique le schéma de la figure 80.

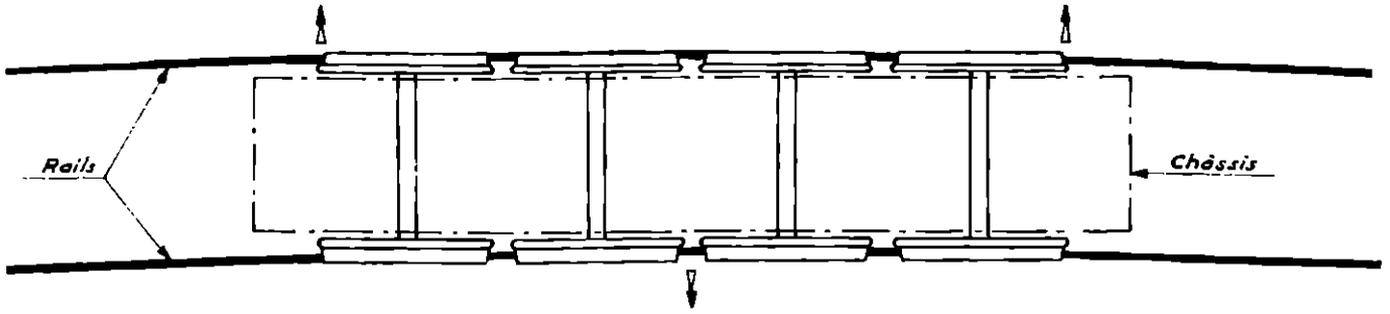


Fig. 80.

C'est un sérieux inconvénient pour la circulation à grande vitesse dans les courbes ; on l'évite partiellement en augmentant jusqu'à 1,470 m. l'écartement des rails prévu à 1,437 m en alignement. Mais on est quand même tenu de ne pas augmenter la longueur de ces châssis au-delà de certaines limites sous peine de mauvaise tenue en marche des locomotives. Ces limites étant trop réduites pour permettre la construction d'engins assez puissants, la solution est apportée par l'emploi de bogies :

Les bogies ayant un empattement (distance entre essieux extrêmes) faible, leur inscription dans les courbes ne pose aucune difficulté.

Il suffit donc de faire reposer les extrémités des longs châssis sur des bogies. Cet appui devant permettre à chaque bogie de s'orienter dans les courbes, il se fait par l'intermédiaire de pivots (fig. 81).

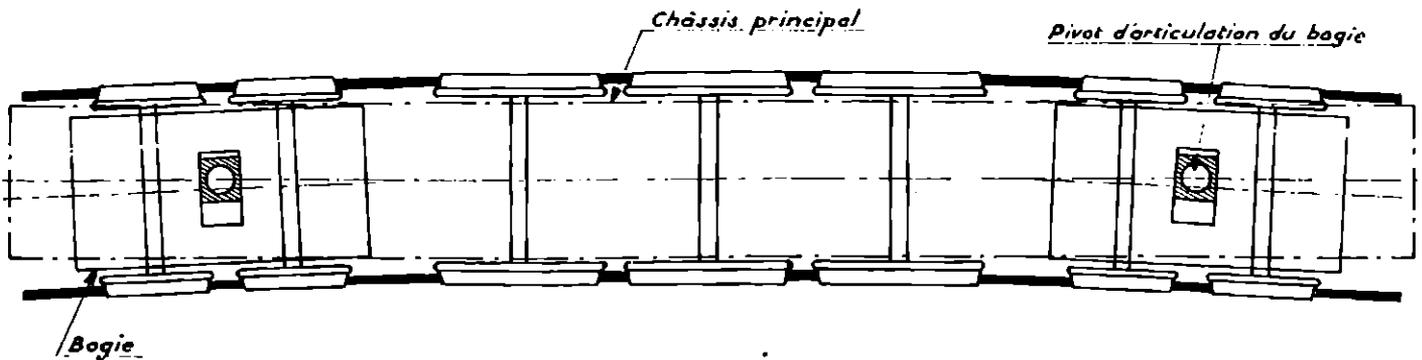


Fig. 81.

De cette manière, l'empattement des essieux médians reste dans de justes limites et l'ensemble du long véhicule s'inscrit correctement. Il faut remarquer, dans ce cas, que le centre de chaque bogie ne reste pas dans l'axe du châssis principal : il y a déplacement latéral du pivot d'articulation par rapport à l'axe longitudinal de chaque bogie. Ce déplacement est visible sur la figure 81.

NOTA. — Afin de faciliter l'inscription dans les courbes on ne peut pas réduire le nombre d'essieux d'une locomotive ; deux choses s'y opposent :

- 1° L'adhérence aux rails nécessaire pour l'application des efforts moteurs ;
- 2° La charge maximale permise par essieu (elle est de l'ordre de 20 t) qu'on ne peut dépasser sous peine de déformer la voie.

Les bogies présentent par ailleurs d'autres avantages qui justifient un emploi si étendu que beaucoup de locomotives actuelles reposent uniquement sur des bogies (BB et CC). Dans ce cas, l'inscription dans les courbes ne présente plus de grosses difficultés. La figure 82 représente schématiquement l'inscription dans une courbe d'une CC et d'une BB équipées de bogies. Par rotation autour des pivots les bogies s'orientent correctement.

La suspension élastique du véhicule sur ses organes de roulement est beaucoup améliorée par l'emploi de bogies. On désigne par suspension l'ensemble des ressorts et amortisseurs qui sont destinés à absorber les irrégularités du roulement.

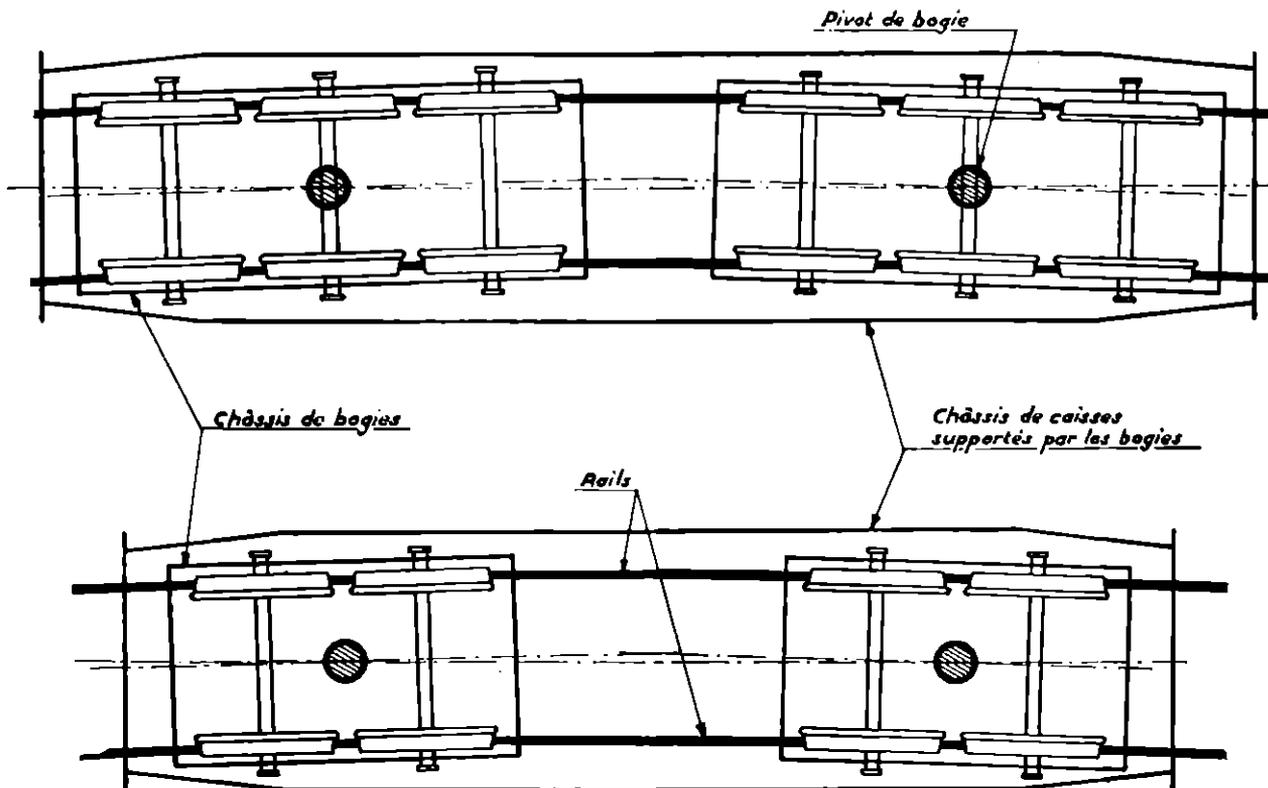


Fig. 82.

Comme nous le verrons plus en détail par la suite, avec les bogies il y a d'abord suspension des châssis de bogies sur les essieux, ensuite appui élastique de la caisse sur les châssis de bogies.

Cette disposition a pour principal avantage d'éviter au maximum la transmission à la caisse des mouvements parasites : réactions verticales au passage des joints de rails et des irrégularités de la voie, mouvement de lacet provoqué par des déplacements latéraux des essieux. Les chocs et vibrations pouvant être nuisibles aux organes fragiles de la caisse sont évités.

Les bogies ont reçu de nombreux perfectionnements destinés à leur permettre les circulations à grande vitesse et ont actuellement une très bonne tenue en marche.

Par ailleurs, et c'est là un avantage important, des moteurs de traction et leurs transmissions peuvent être installés dans les bogies. Ils sont là dans les meilleures conditions pour transmettre leur effort aux essieux et cette disposition procure un allègement considérable de la caisse.

Un autre avantage qui résulte de l'installation de moteurs dans les châssis de bogies est que le centre de gravité de la locomotive se trouve placé plus bas et cela est favorable à la stabilité et à la tenue en marche.

### **BOGIES PORTEURS - BOGIES MOTEURS**

Certains bogies ont uniquement pour rôle de supporter une partie du poids de la caisse. Ce sont des bogies porteurs et ils sont situés aux extrémités des locomotives. L'exemple le plus courant est donné par les 2D2. Par leur situation, ces bogies sont les premiers à aborder les courbes et aiguillages dans chaque sens de marche et ils déterminent ainsi l'orientation du véhicule tout entier. Pour cette raison on les nomme parfois bogies porteurs et directeurs. Comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, il y a déplacement du centre de chaque bogie par rapport à l'axe longitudinal de la locomotive (fig. 81). Les pivots d'articulation ne peuvent donc être fixés au centre du bogie; ils sont mobiles dans le sens transversal et des ressorts tendent constamment à ramener le bogie dans l'axe du châssis principal : ce sont les ressorts de rappel (non représentés sur la figure 81).

Le plus souvent les bogies sont munis de moteurs de traction et leurs essieux sont des essieux moteurs. Les bogies sont alors des bogies moteurs. C'est ainsi que sont équipées les locomotives BB et CC.

Parfois les deux bogies moteurs d'une locomotive sont attelés l'un à l'autre (par un dispositif élastique leur permettant des déplacements latéraux en courbe); les organes de choc et de traction sont alors supportés par les traverses extrêmes des bogies.

### DESCRIPTION

Il existe de nombreuses variétés de bogies et ce serait sortir du cadre de notre étude que d'en faire un examen détaillé. Voyons cependant les principales dispositions.

#### I. CHASSIS DE BOGIE

Ce châssis est rectangulaire et comporte, comme le châssis de caisse, deux longerons et deux traverses extrêmes. À l'intérieur, les longerons sont solidement entreloisés par une ou plusieurs traverses intermédiaires qui les relient. Ces traverses ont la forme de poutres; elles supportent divers organes que nous verrons par la suite : pivots, appuis de caisse, pièces de fixation des moteurs, articulations de limoneries de frein.

Le châssis est constitué :

- soit par des tôles de forte épaisseur (fig. 83) et des profilés. Ces tôles sont assemblées par soudage ou rivetage;
- soit par des tôles plus minces embouties puis assemblées par soudage. Le châssis de bogie représenté par la figure 84 est construit par ce procédé. On y voit que les formes ont été déterminées de manière à donner une grande rigidité à l'ensemble tout en allégeant au maximum. Il faut remarquer en particulier la forme tubulaire de tous les éléments.
- soit par des tôles plées et soudées (fig. 85), de manière à donner à tous les éléments : longerons et traverses, la forme de poutres à section rectangulaire;
- soit par un ensemble en acier moulé.

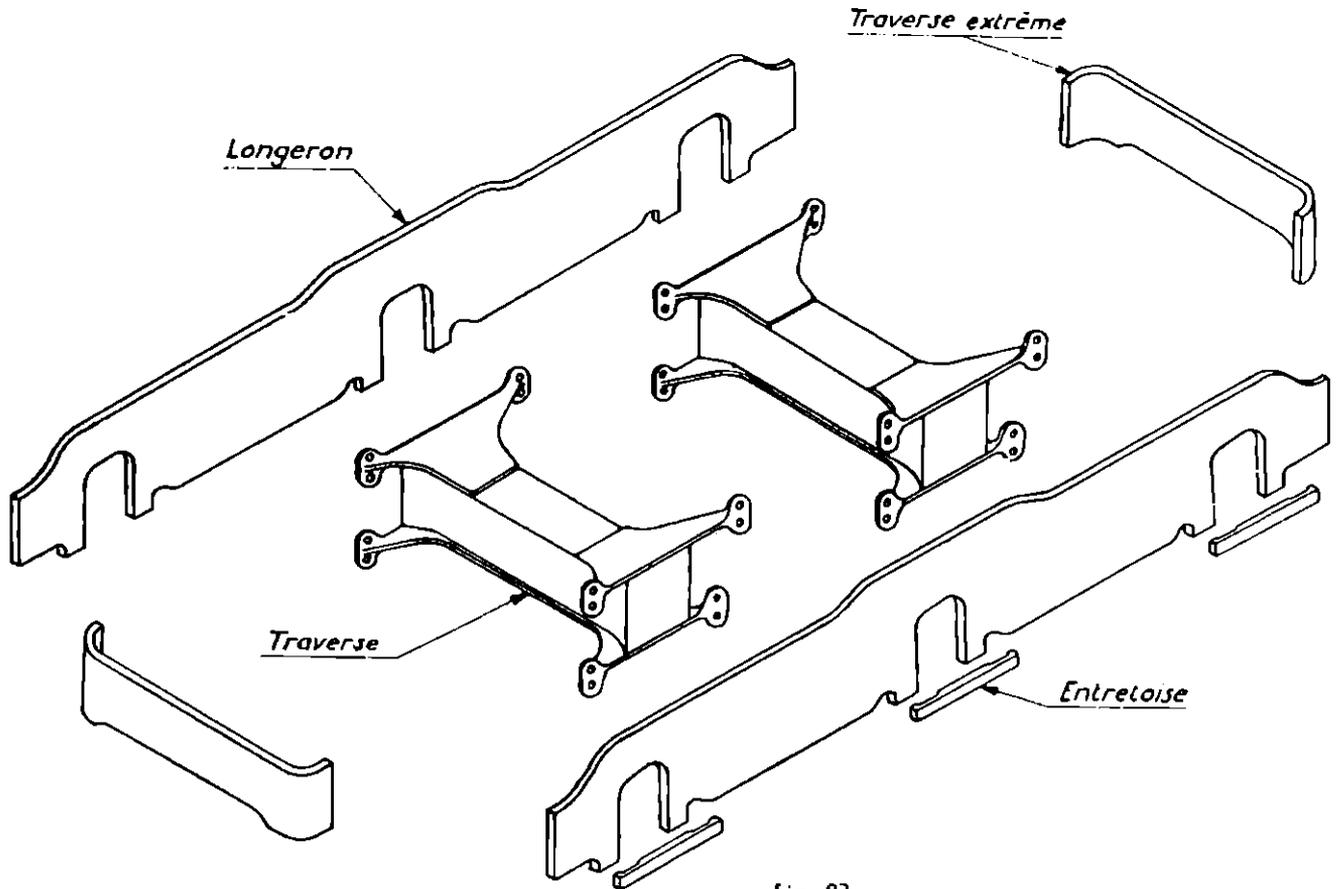


Fig. 83.

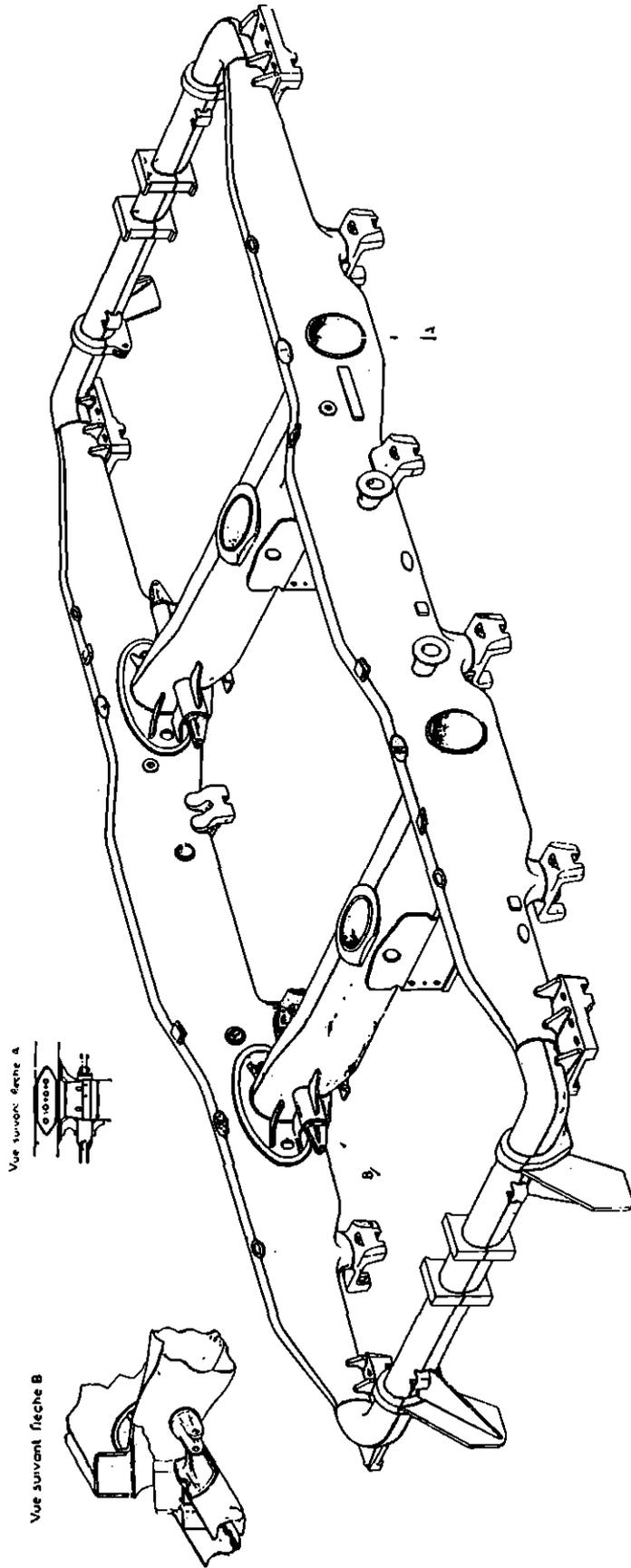


Fig. 84.

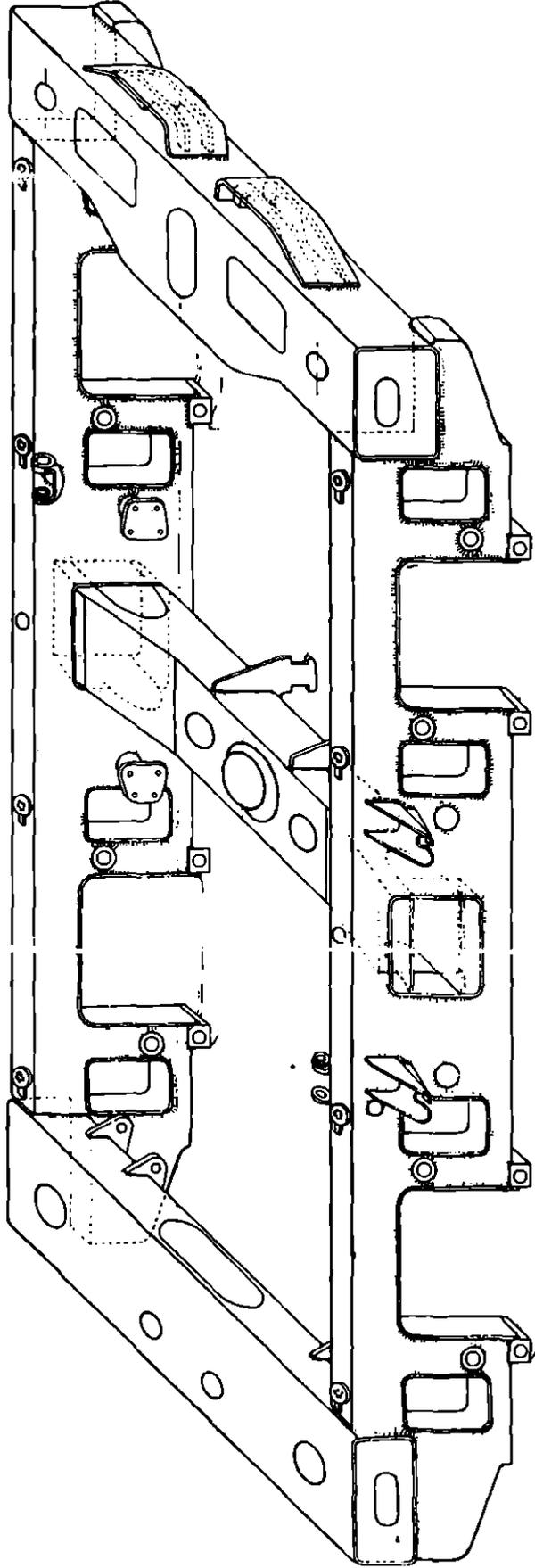


Fig. 05.

## 2. GUIDAGE DES BOÎTES D'ESSIEUX

La liaison horizontale entre boîtes d'essieux et châssis de bogie ne peut être fixe puisqu'il y a suspension élastique verticale du châssis sur ses essieux. Afin de permettre des mouvements verticaux du châssis par rapport aux boîtes, celles-ci sont guidées de diverses manières :

a) **Guidage par glissières** (fig. 86).

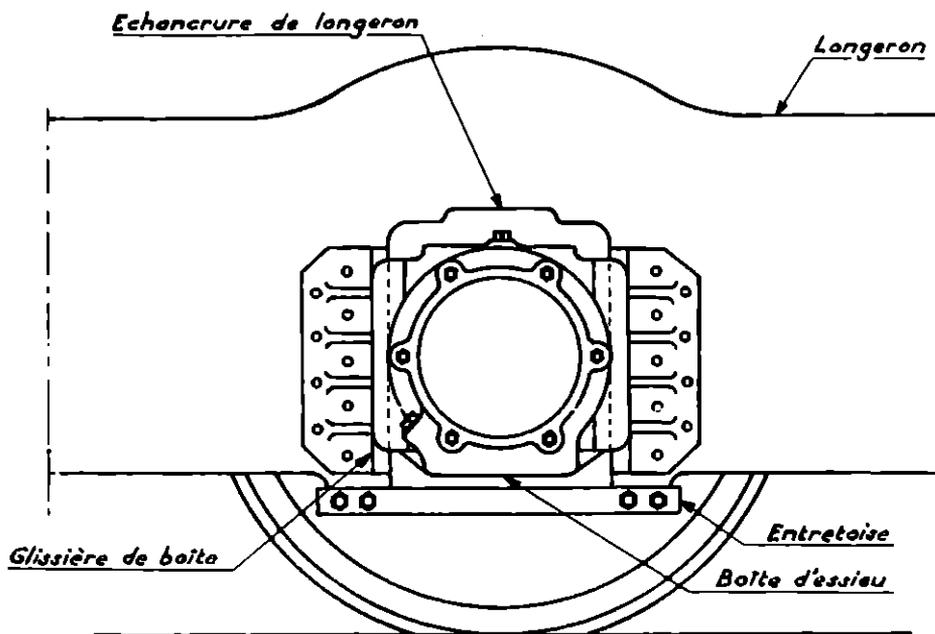


Fig. 86.

Des échancrures sont pratiquées dans les longerons du châssis afin de permettre le passage des boîtes, comme nous l'avons vu dans la description des châssis de caisses. Les côtés verticaux de ces échancrures sont munis de glissières entre lesquelles coulisse la boîte d'essieu.

Un certain jeu est laissé dans cet assemblage afin d'éviter tout coincement. Les échancrures du châssis sont fermées à leur partie inférieure par des entretoises amovibles.

b) **Guidage par bielles** (fig. 87).

Les boîtes d'essieux sont munies d'oreilles disposées suivant un diamètre oblique. Elles sont reliées au châssis de bogie par des bielles articulées d'une part sur les oreilles de boîte, d'autre part sur des chapes solidaires du châssis.

Ces bielles rendent les boîtes solidaires du châssis dans le sens horizontal, mais leur permettent des déplacements verticaux.

Leurs articulations sont munies de silentblocs (1) en caoutchouc visibles sur la figure 88.

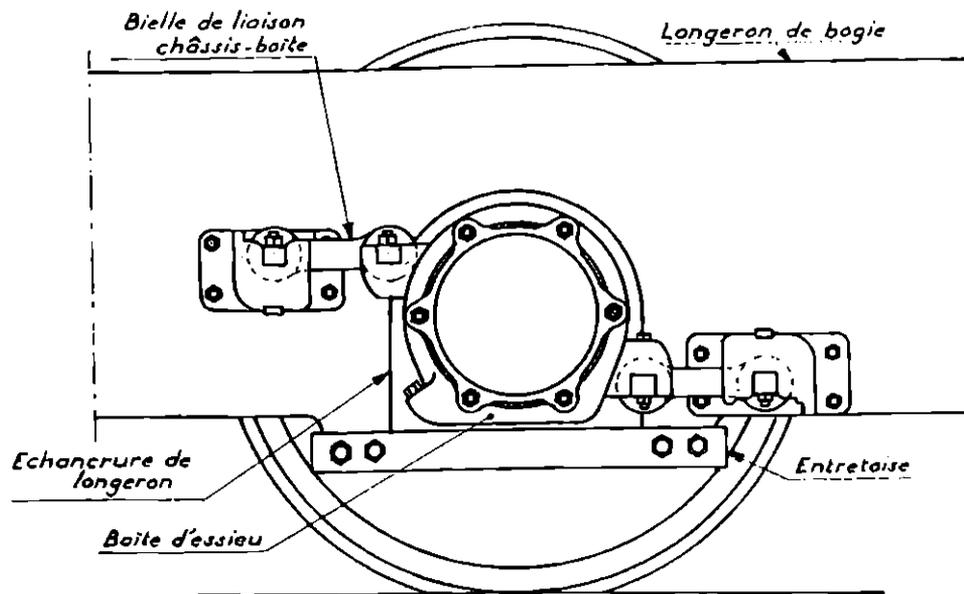


Fig. 87.

Ces silentblocs absorbent les vibrations et permettent un certain déplacement latéral des boîtes par rapport au châssis.

#### BIELLE DE LIAISON

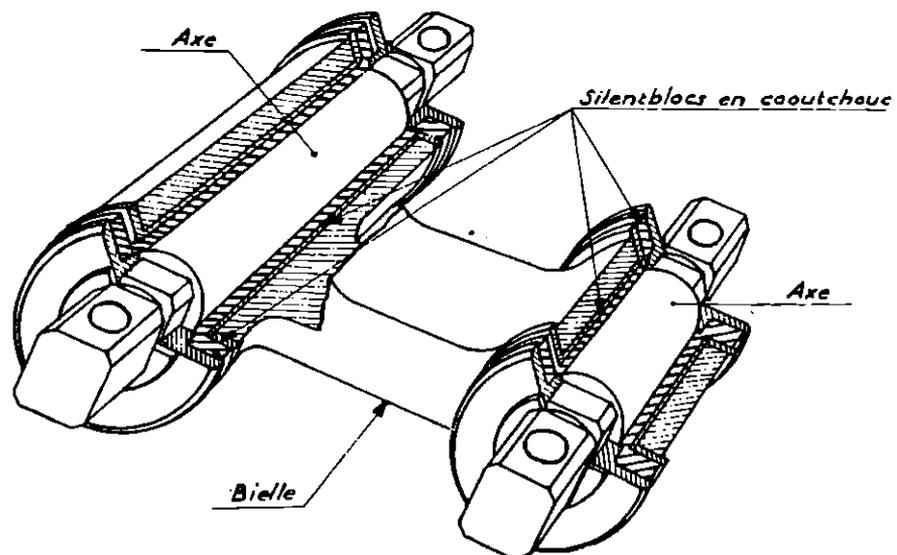


Fig. 88.

(1) On désigne généralement sous le nom de silentbloc des pièces en caoutchouc de formes diverses interposées dans les dispositifs de liaison mécanique travaillant à la compression, à l'extension ou à la torsion.

La figure 89 donne l'exemple simple d'une bague à silentbloc, ou bague élastique, destinée à assurer une liaison sur un axe.

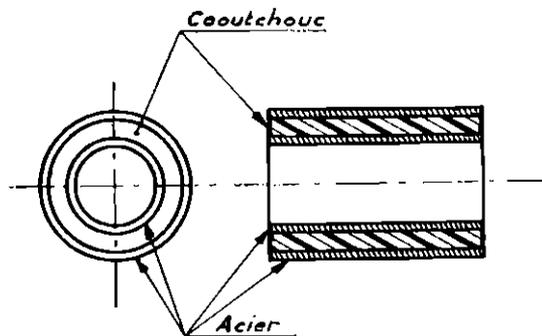


Fig. 89.

Les extrémités des axes de bielle sont à section carrée et sont percées afin de permettre leur fixation par vis.

Dans le montage représenté par la figure 87 la boîte est placée dans une échancrure du châssis de bogie (sans toutefois être en contact avec les parois de l'échancrure). Il s'agit d'un châssis en tôle épaisse.

La figure 90 représente un montage différent sur châssis en tôle emboutie. Il n'y a pas d'échancures dans le châssis.

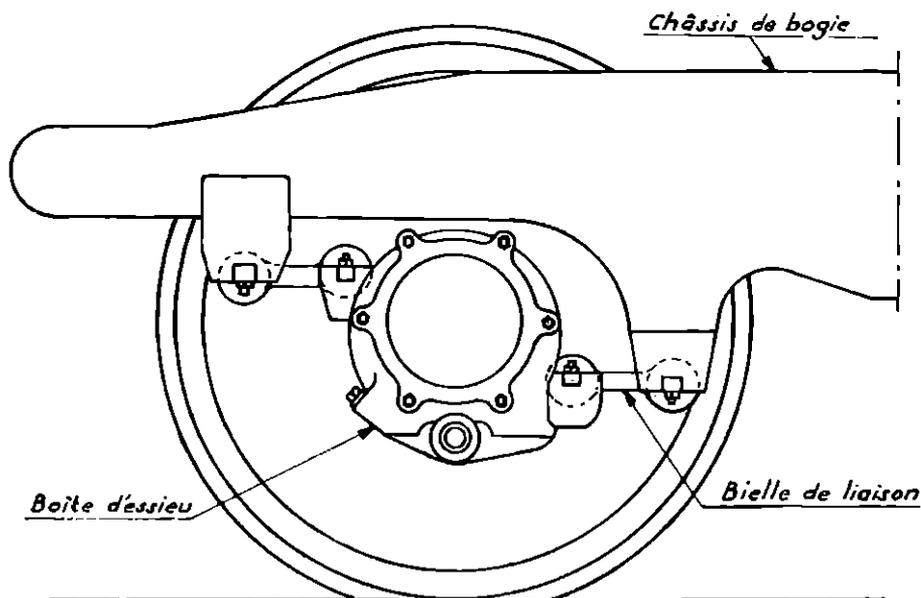


Fig. 90.

### 3. SUSPENSION DU CHÂSSIS DE BOGIE

La suspension élastique du châssis de bogie sur les boîtes d'essieux est l'ensemble des ressorts par l'intermédiaire desquels le châssis s'appuie sur les boîtes. On la désigne sous le nom de « suspension primaire » ; la suspension secondaire étant l'appui élastique de la caisse sur les bogies.

On emploie des ressorts à boudin ou des ressorts à lames.

Les ressorts à boudin sont souvent utilisés par groupes de deux; ils sont alors concentriques et de pas contraires (fig. 91).

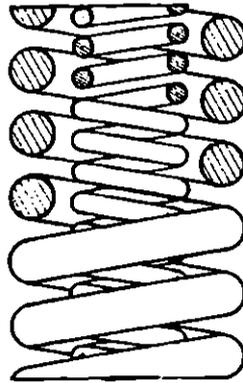


Fig. 91.

Les ressorts à lames sont formés de lames d'acier superposées. Ces lames sont cintrées et leur longueur va en décroissant régulièrement à partir des premières lames appelées « lames maîtresses » (fig. 92).

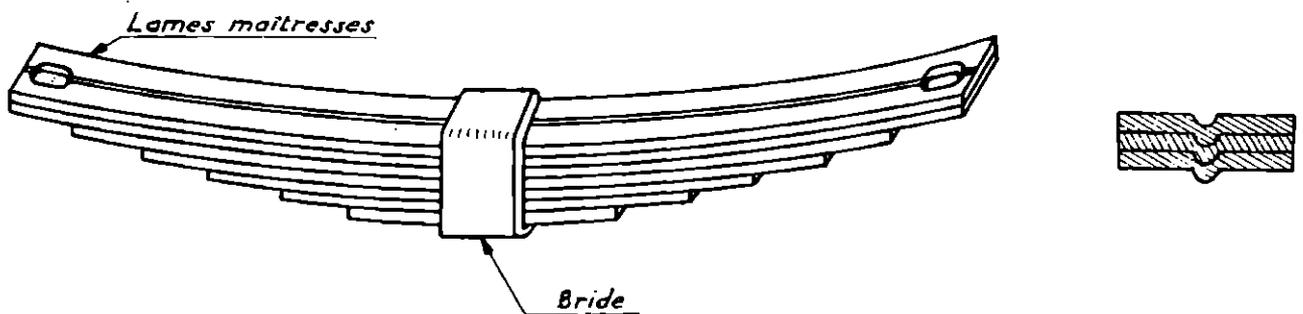


Fig. 92.

Chacune de ces lames possède sur sa face concave et suivant son axe une rainure longitudinale demi-cylindrique et sur sa face convexe une nervure d'un diamètre plus réduit s'emboîtant dans la rainure correspondante de la lame située au-dessous (coupe de la figure 92). Cette disposition a pour but d'empêcher les déplacements transversaux des lames les unes par rapport aux autres. Toutes les lames sont solidement assemblées en leur milieu par une bride.

Les lames maîtresses sont souvent percées à chacune de leurs extrémités d'un trou ovale qui permet le passage des tiges de suspension.

La figure 93 représente une suspension par ressort à lames.

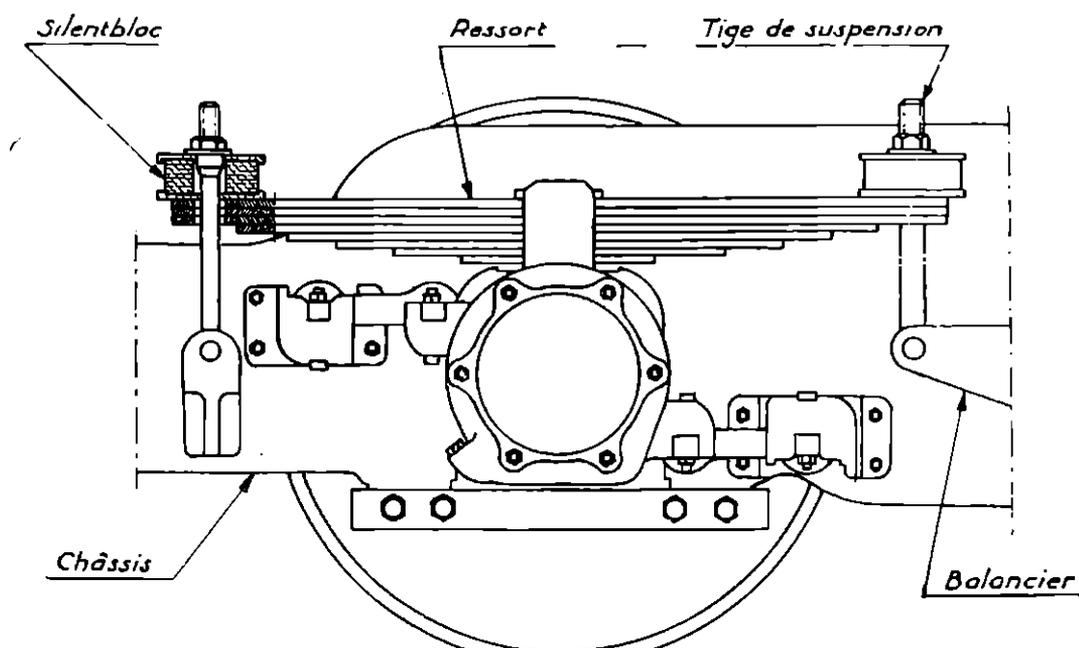


Fig. 93.

Le ressort repose sur le dessus de la boîte d'essieu par sa bride. Le châssis est suspendu aux lames maîtresses du ressort par des tiges de suspension avec interposition de silentblocs en caoutchouc. Cette disposition porte le nom de « suspension supérieure », à cause de l'emplacement du ressort à lames par rapport à la boîte d'essieu.

L'écrou situé en bout de chaque tige de suspension permet le réglage en hauteur. Les blocs de caoutchouc sont serrés entre deux rondelles; leur rôle est d'absorber les vibrations et les chocs transmis par le ressort à lames.

A leur partie inférieure les tiges de suspension sont reliées au châssis soit directement par une chape et un axe, soit par l'intermédiaire d'un balancier qui relie deux tiges voisines, comme on peut le distinguer sur la figure 94 qui montre l'ensemble de la suspension primaire d'un bogie à trois essieux (bogie de CC).

Les balanciers, articulés à leur centre sur le châssis, permettent d'égaliser la charge sur tous les ressorts; ils contribuent à accroître la souplesse de l'ensemble.

Il existe de nombreux montages de suspension primaire : le ressort à lames peut être fixé à la partie inférieure de la boîte ainsi que le montre la figure 95. Cette disposition porte le nom de « suspension inférieure ». Le ressort à lames est articulé à la partie inférieure de la boîte d'essieu sur une chape venue de fonderie avec le corps de boîte. L'assemblage est réalisé au moyen d'un axe. Les tiges de suspension prennent appui sur les extrémités du ressort à lames.

Les silentblocs de caoutchouc peuvent être adjoints à des groupes de ressorts à boudin comme sur la figure 95, ou remplacés par ceux-ci comme sur la photographie de la page 118.

La suspension peut également être entièrement réalisée avec des ressorts à boudin.

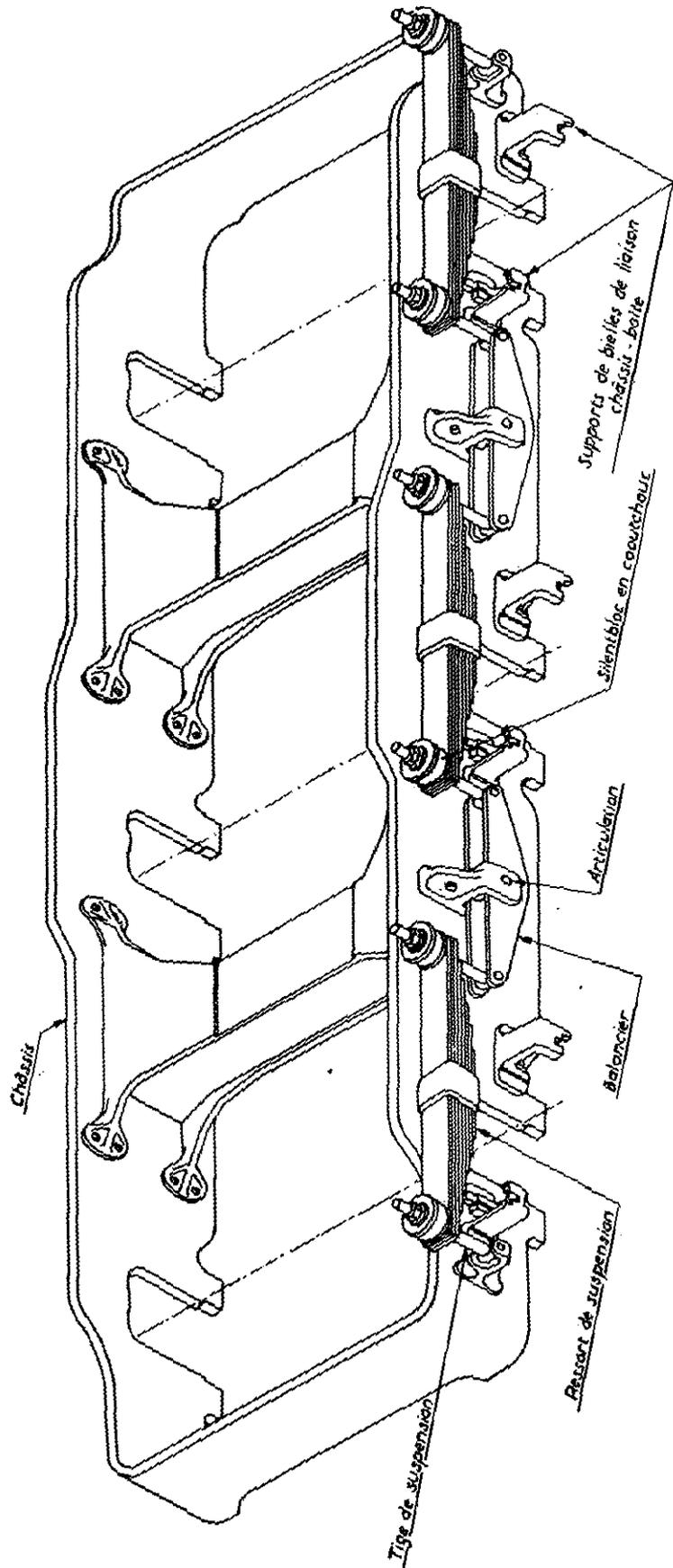


Fig. 94.

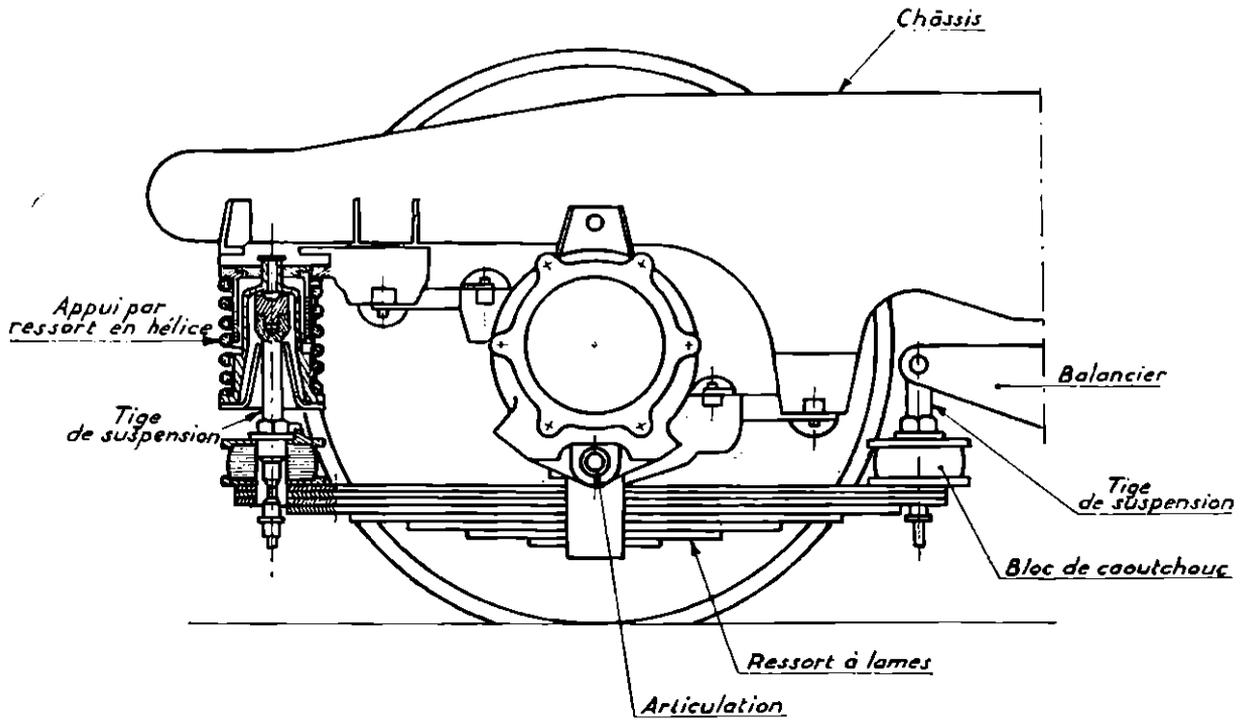


Fig. 95.

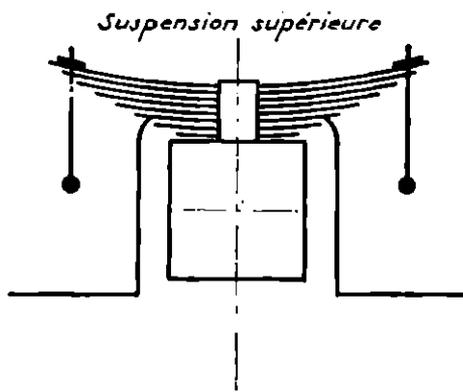


Fig. 96.

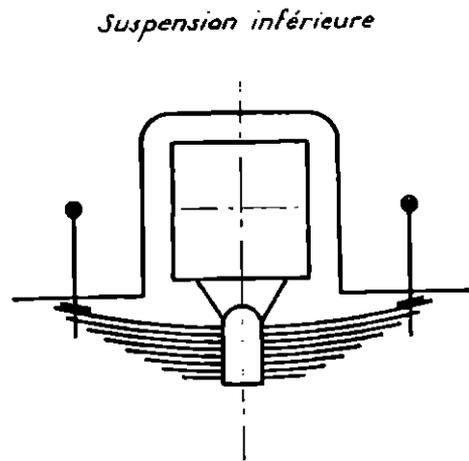
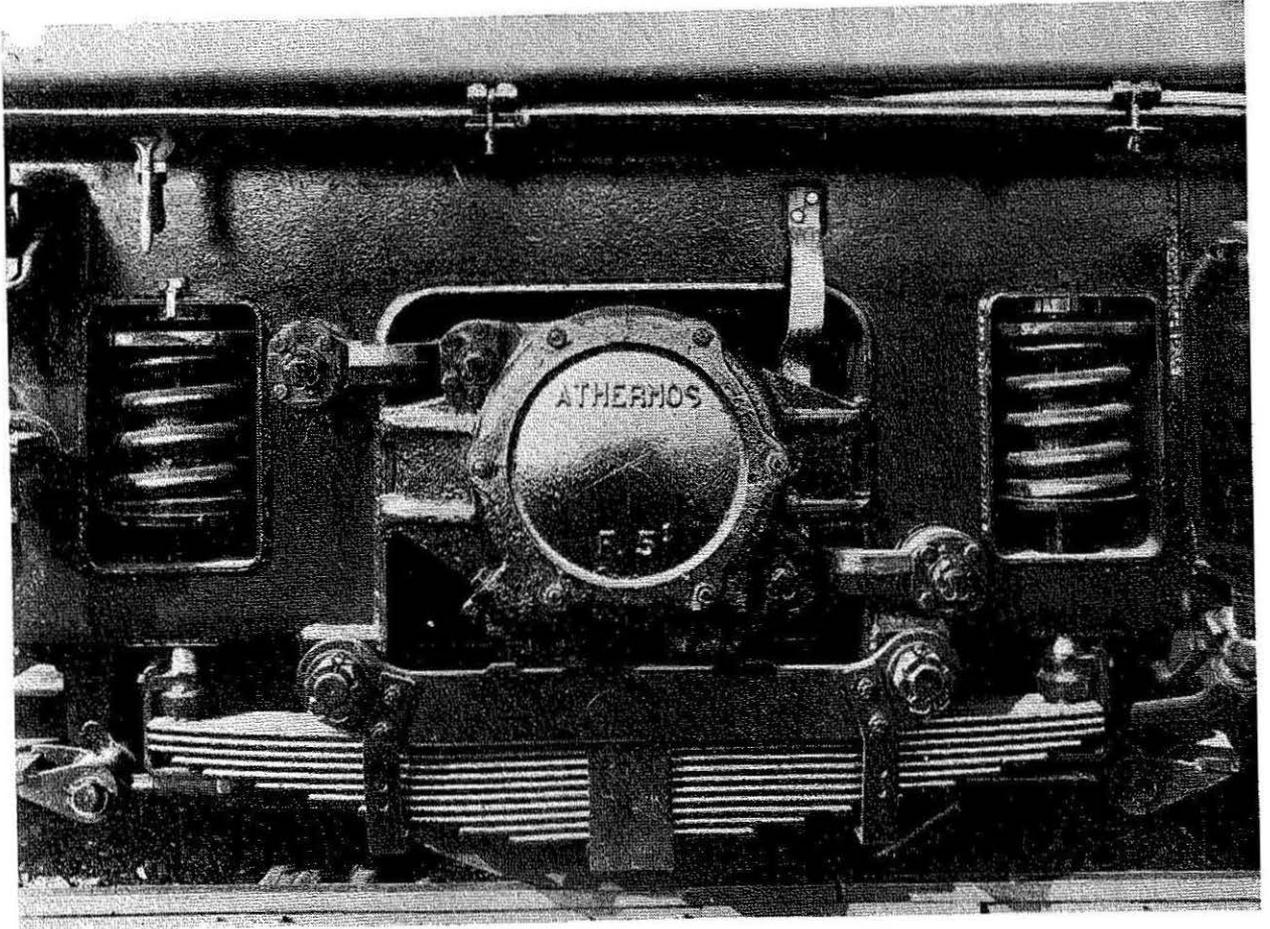


Fig. 97.



*Autre exemple de suspension inférieure.*

## APPUI DE LA CAISSE SUR LES BOGIES

### I. PIVOTS

Nous avons vu que les bogies oscillent par rapport au châssis de caisse en tournant autour des pivots. Ces pivots sont des organes de liaison entre châssis principal et bogies.

La figure 98 représente, en coupe, un pivot muni de caoutchouc. On y distingue le support inférieur (ou crapaudine) fixé sur une traverse médiane du châssis de bogie; c'est l'assise du pivot.

Le support supérieur est fixé à une traverse correspondante du châssis de caisse.

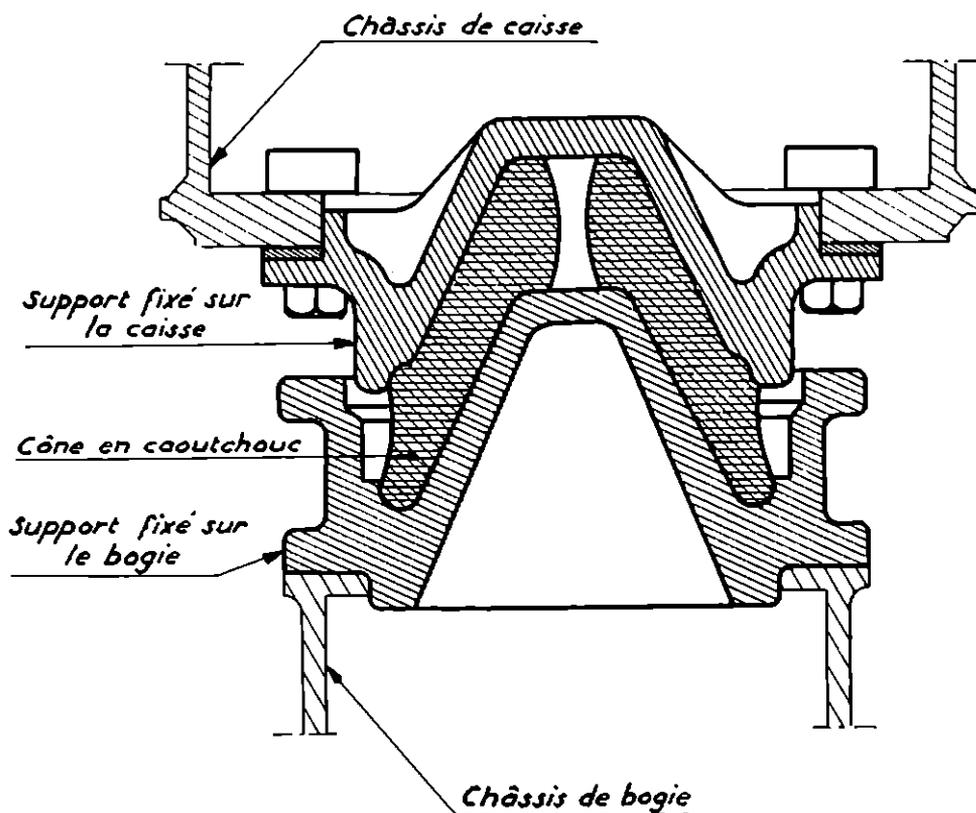


Fig. 98.

Un cône de caoutchouc est comprimé entre ces deux pièces. La rotation du bogie entraîne une déformation élastique du caoutchouc. Ce pivot constitue également un appui élastique de la caisse sur le bogie; c'est un élément de la suspension secondaire.

Pendant la marche de la locomotive l'entraînement de la caisse par les bogies moteurs est assuré par les pivots.

La figure 99 représente un autre type de pivot. Celui-ci est entièrement métallique. L'appui sur le bogie se fait par l'intermédiaire d'une rotule hémisphérique en bronze.

La rotule permet l'articulation du bogie et constitue une pièce d'appui de la caisse sur le châssis de bogie.

Dans ce cas l'appui n'est pas élastique.

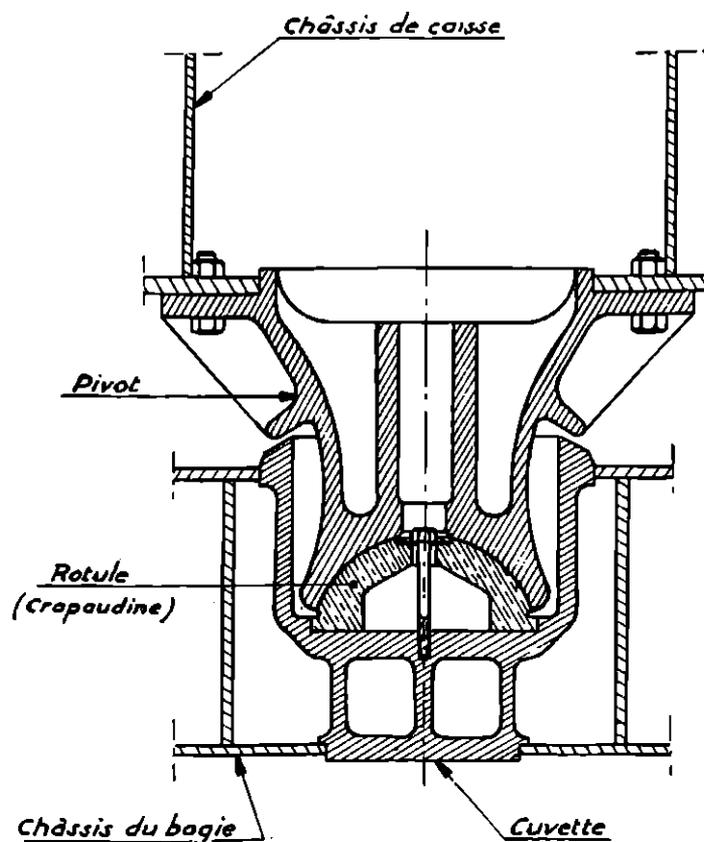


Fig. 99.

## 2. BOGIES A DEUX PIVOTS

Sur les bogies à trois essieux (locomotives CC) et sur certains bogies à deux essieux (locomotives BB), l'appui de la caisse ne se fait pas sur un seul pivot placé au centre du bogie mais sur deux pivots placés sur les traverses intérieures du châssis de bogie.

La figure 100 montre un exemple de cette disposition. Bien entendu, le bogie ne peut pivoter qu'autour d'un seul axe vertical : l'axe du pivot fixe. Le pivot fixe est identique à ceux que nous venons de décrire. L'autre pivot dit « pivot mobile » est un appui coulissant. Sa seule différence de constitution avec le pivot mobile est que le support inférieur, au lieu d'être fixé sur la traverse du châssis de bogie, coulisse dans une cuvette solidaire de la traverse. Les parties en frottement sont munies de plaques d'usure en tôle d'acier au manganèse.

Au cours d'un passage en courbe, le bogie, en s'orientant, pivote autour du pivot fixe; le pivot mobile se déplace latéralement.

Cette disposition permet une meilleure répartition de la charge sur le châssis de bogie et une meilleure tenue en marche.

Sur certaines locomotives, le pivot mobile est rappelé en position médiane par des ressorts.

Les pivots mobiles sont toujours placés vers les extrémités des locomotives.

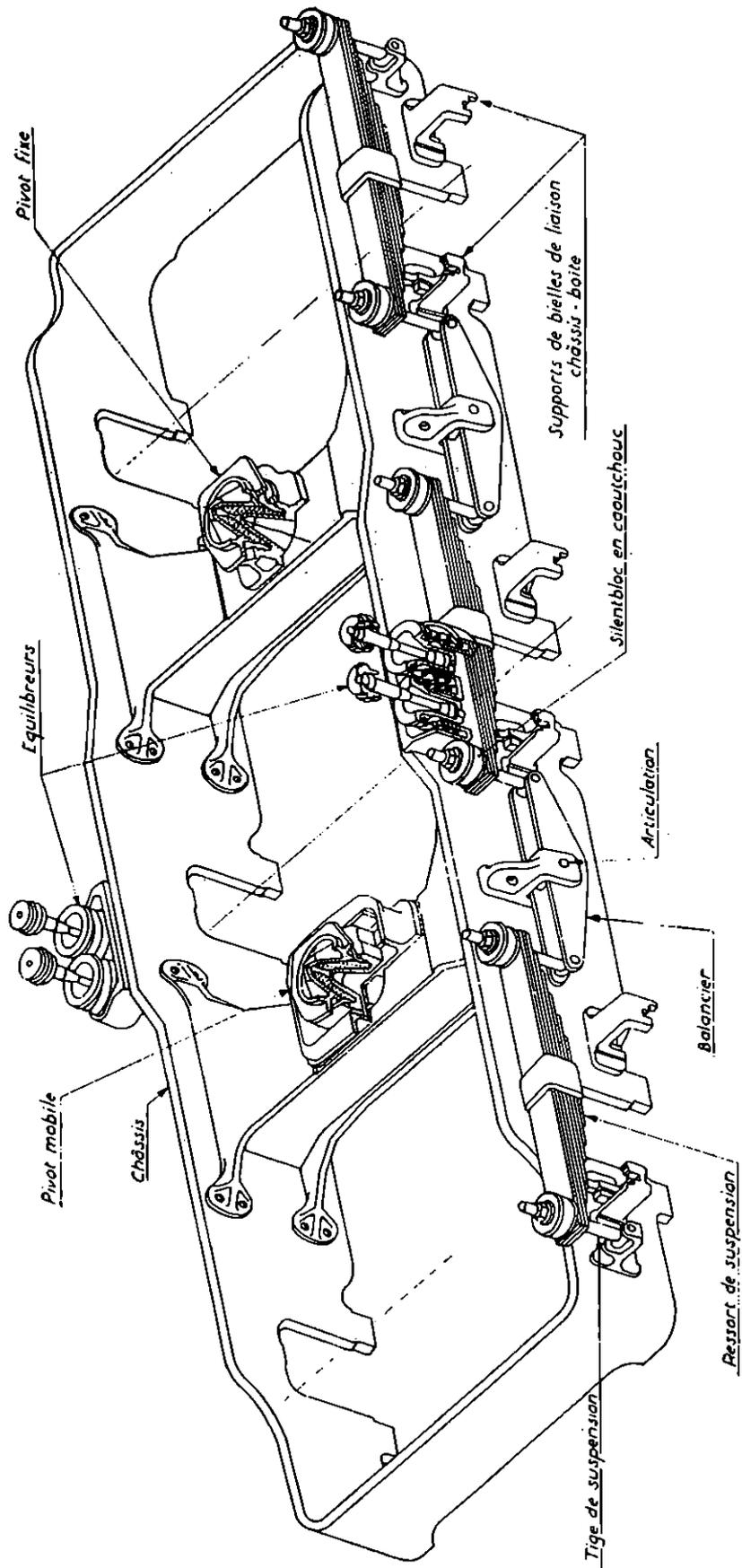
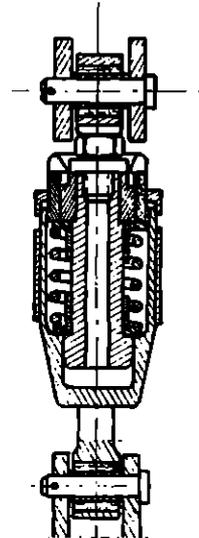
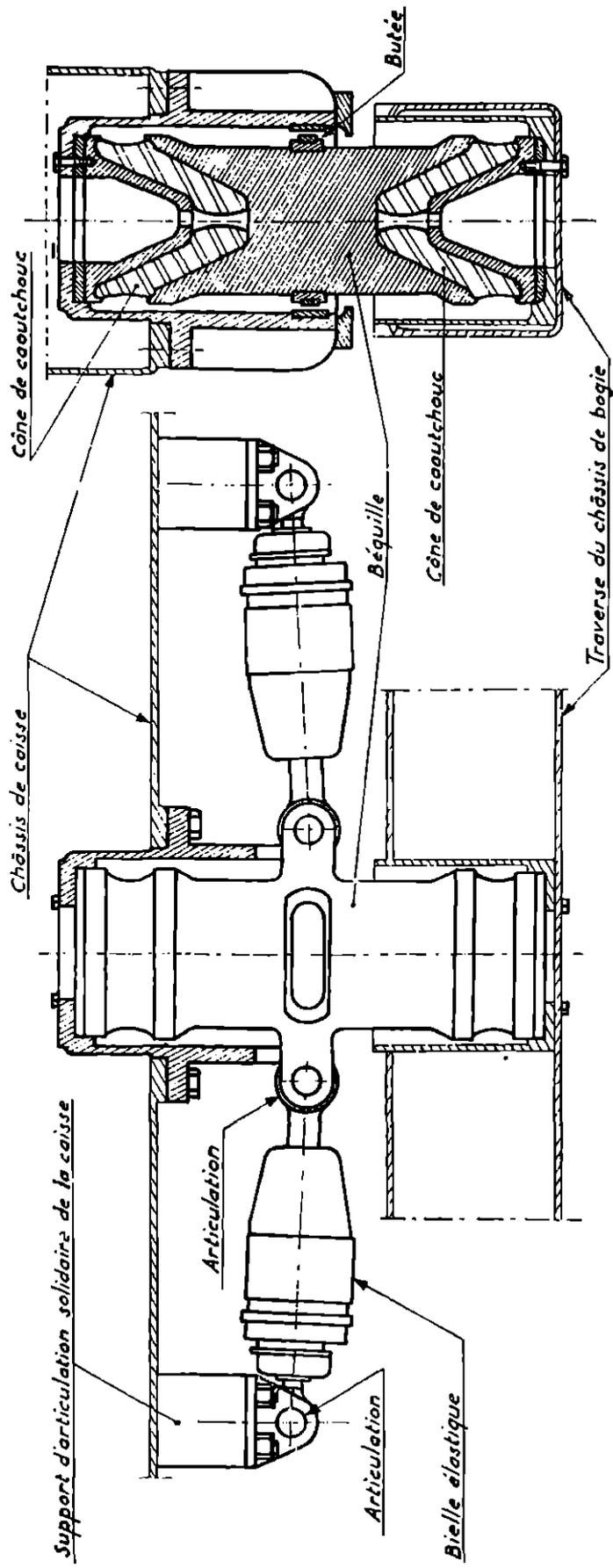


Fig. 100.



Coupe d'une bielle élastique

Fig. 101.

Une autre disposition de l'appui et de l'articulation de la caisse sur chaque bogie est réalisée au moyen de pivots à béquille inclinable (fig. 101).

Chaque pivot est constitué par une béquille recevant, à chacune de ses extrémités un cône de caoutchouc destiné jouer le rôle de rotule.

Longitudinalement, c'est-à-dire dans le sens du déplacement de la locomotive, la béquille est rendue solidaire de la caisse par des butées en acier au manganèse. Les efforts de traction, ou de retenue lors du freinage, exercés par le bogie sont donc transmis à la caisse par la béquille et les butées.

Les cônes de caoutchouc donnent par leur élasticité une mobilité suffisante pour permettre les divers mouvements de rotation du bogie.

Par contre, dans le sens transversal, la béquille est mobile : elle peut s'incliner. A cet effet, le corps de cette béquille comporte deux oreilles diamétralement opposées servant de points d'attache à deux bielles élastiques dont les ressorts constamment en tension assurent le rappel du déplacement latéral.

Sur chaque bogie la caisse repose par l'intermédiaire de deux pivots à béquilles comme l'indique la figure 102 (cas d'un bogie de locomotive CC).

Au cours d'un passage en courbe, le bogie, en s'orientant, entraîne l'inclinaison des deux béquilles des pivots.

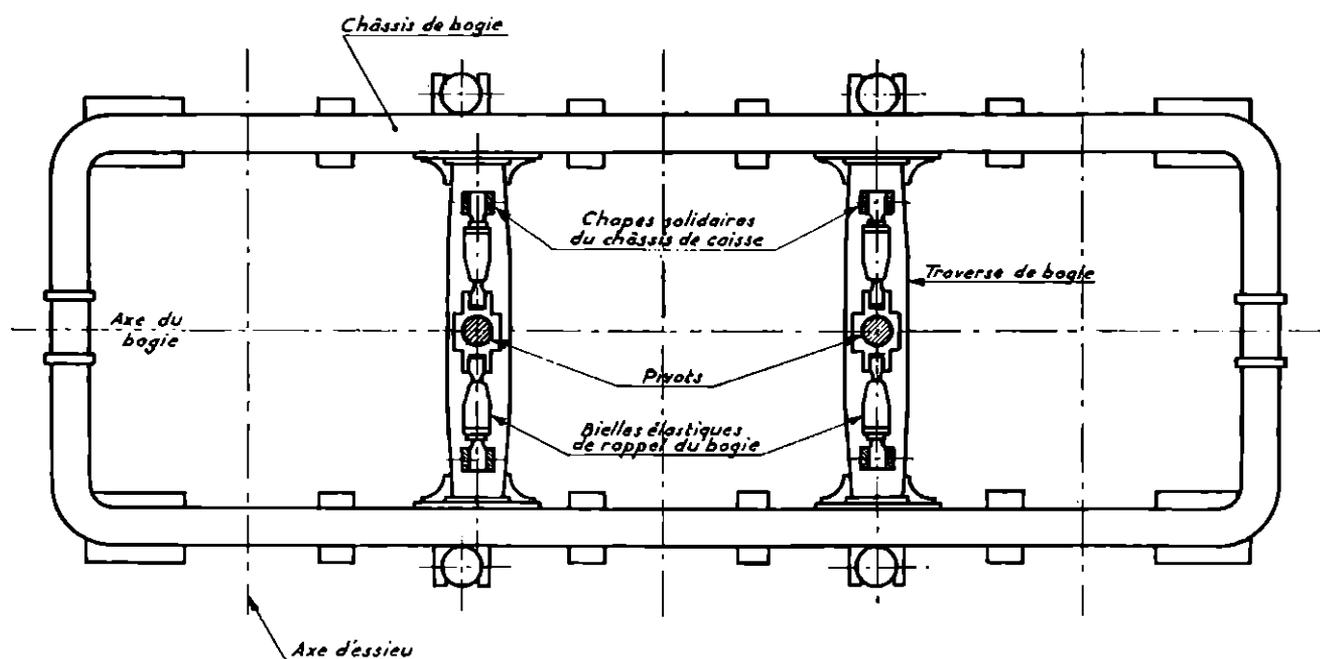


Fig. 102.

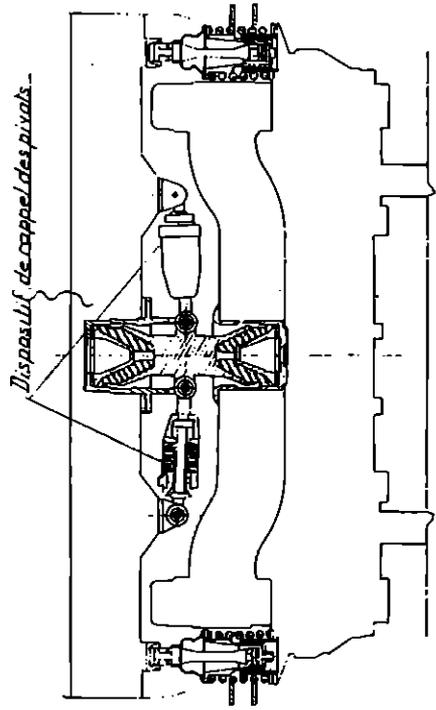
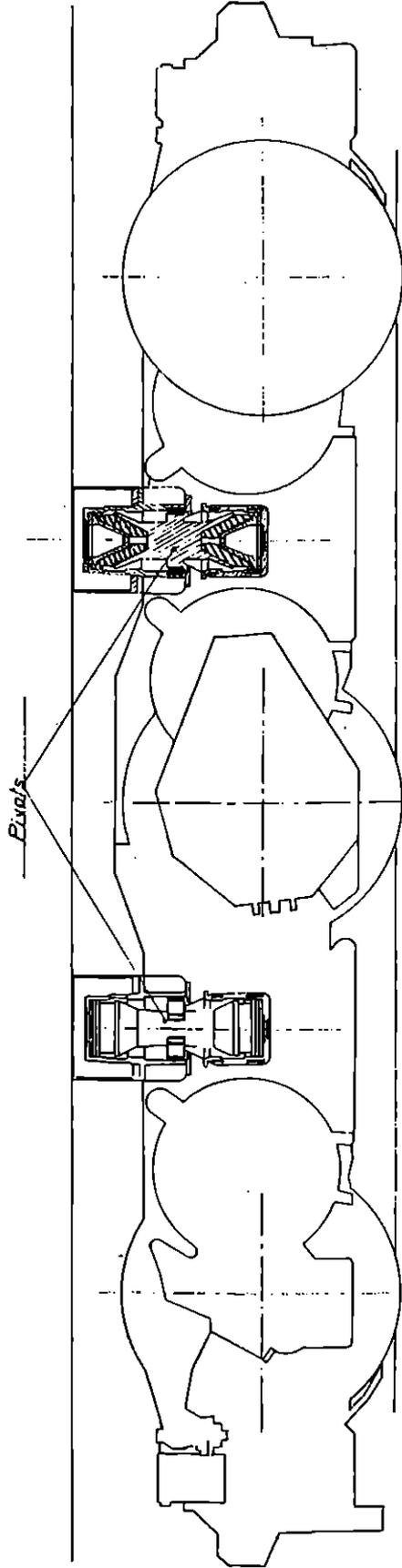
### 3. PIVOTS DES BOGIES PORTEURS D'EXTRÉMITÉS

Sur les locomotives à long châssis munies d'un bogie porteur à chaque extrémité (2D2), les pivots d'articulation et d'appui doivent laisser à ces bogies la faculté de pouvoir effectuer d'importants déplacements latéraux par rapport au châssis de caisse lors des passages en courbes de faible rayon.

La figure 103 représente schématiquement le dispositif le plus communément utilisé pour l'articulation des bogies porteurs.

Le pivot, solidaire du châssis de caisse, est relié par un axe transversal de forte dimension à un balancier. Un petit pivot semi-sphérique est fixé à chaque extrémité du balancier.

SCHÉMA DE LA DISPOSITION DES PIVOTS INCLINABLES D'UN BOGIE DE LOCOMOTIVE CC



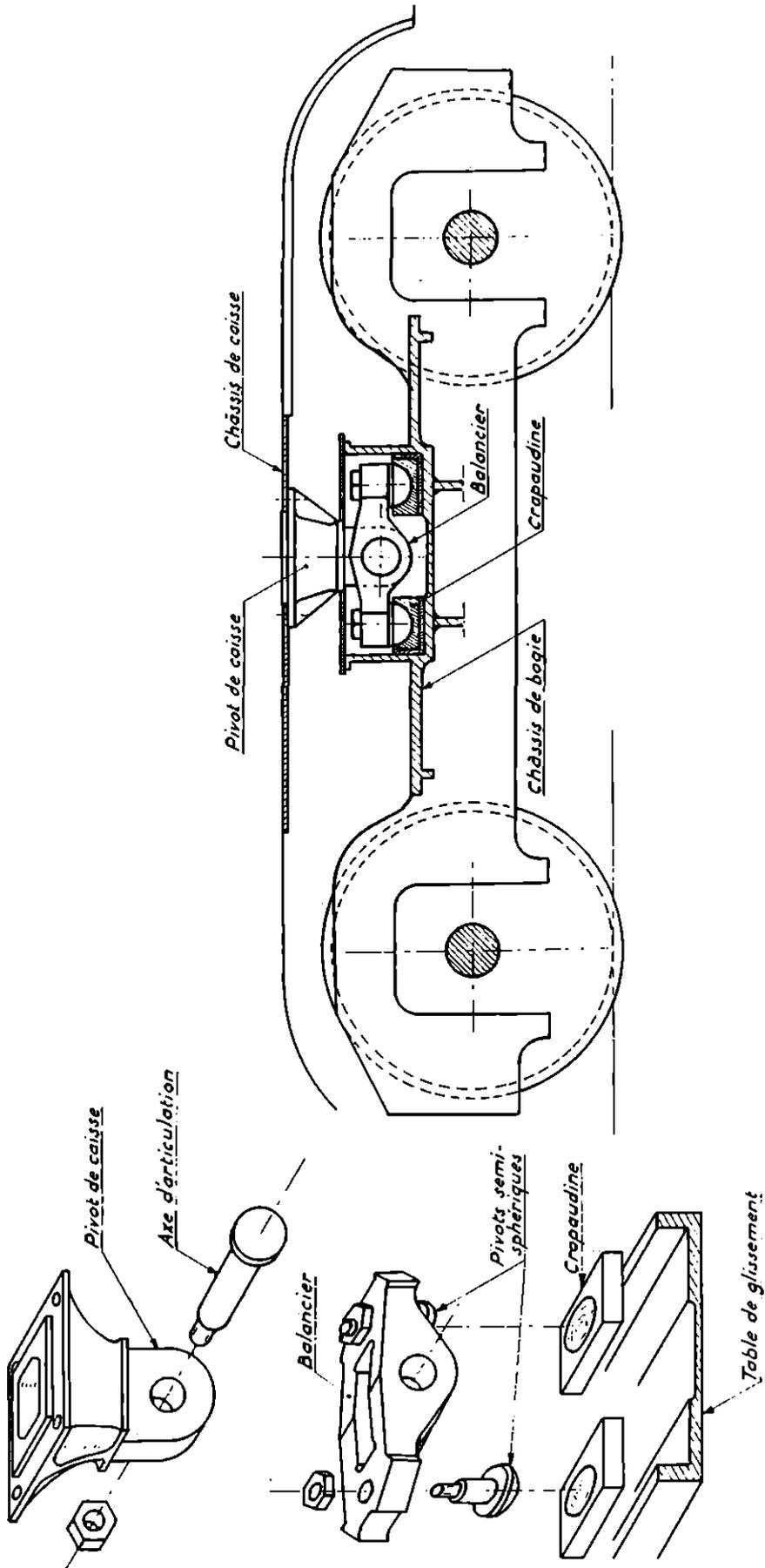


Fig. 103.

L'appui du pivot de caisse sur le châssis de bogie se fait, par l'intermédiaire du balancier et des pivots semi-sphériques, sur deux crapaudines en bronze qui reposent sur une table de glissement solidaire de la traverse du bogie.

L'articulation du pivot de caisse sur le balancier permet le libre mouvement du bogie dans les changements de profil de la voie. L'articulation sphérique des appuis de balancier dans les crapaudines laisse au bogie toute facilité pour s'incliner transversalement. Le déplacement des crapaudines sur la table de glissement permet les rotations et déplacements latéraux du bogie sous la caisse.

Dans le sens longitudinal, les crapaudines butent sur des plaques de frottement verticales, permettant ainsi au pivot d'entraîner le bogie.

De puissants ressorts, non représentés sur la figure, prenant appui sur le balancier, tendent constamment à maintenir le châssis de bogie dans l'axe de la caisse et constituent le dispositif de rappel du bogie à la sortie des courbes. Ils s'opposent en outre aux mouvements de lacet et atténuent la brutalité des efforts latéraux sur les essieux lors des entrées en courbe.

#### 4. ÉQUILIBREURS DE CAISSE

Posée sur ses pivots, la caisse d'une locomotive à bogies est en équilibre instable. Des appuis latéraux sont nécessaires : ce sont les équilibreur de caisse. Placés sur les longerons des châssis de bogie, ils supportent une partie du poids de la caisse tout en permettant les déplacements entre caisse et bogies.

La figure 104 représente un groupe de deux équilibreurs munis de ressorts à boudin.

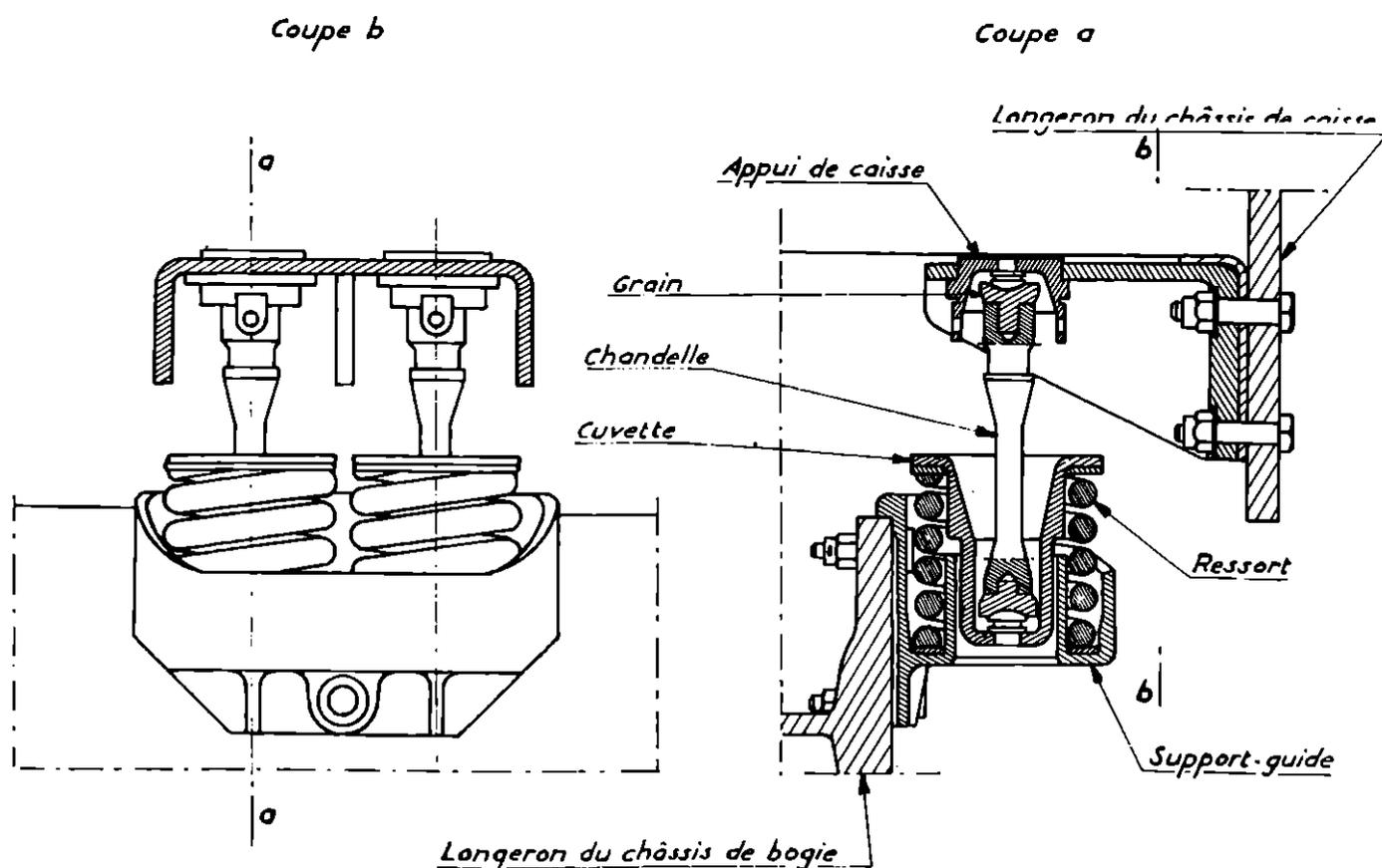


Fig. 104.

On y distingue : un support-guide boulonné sur le longeron du châssis de bogie. Ce support sert d'appui à la charge verticale qui lui est transmise pour chaque équilibreur par un appui de caisse, une chandelle, une cuvette et un ressort. La chandelle est munie à chacune de ses extrémités d'un grain à surface sphérique en acier au manganèse.

Pendant les déplacements du bogie sous la caisse les chandelles des équilibreurs s'inclinent sur leurs grains. Les ressorts constituent des appuis élastiques de la caisse. La tension des ressorts est réglée de manière à partager le poids de la caisse entre pivots et équilibreurs.

La figure 100 montre la disposition des groupes d'équilibreurs sur le châssis de bogie.

Il existe d'autres systèmes d'équilibreurs, notamment ceux munis de ressorts à lames (fig. 105).

La suspension secondaire de la caisse est constituée par les équilibreurs et par les pivots, lorsque ceux-ci sont à appui élastique.

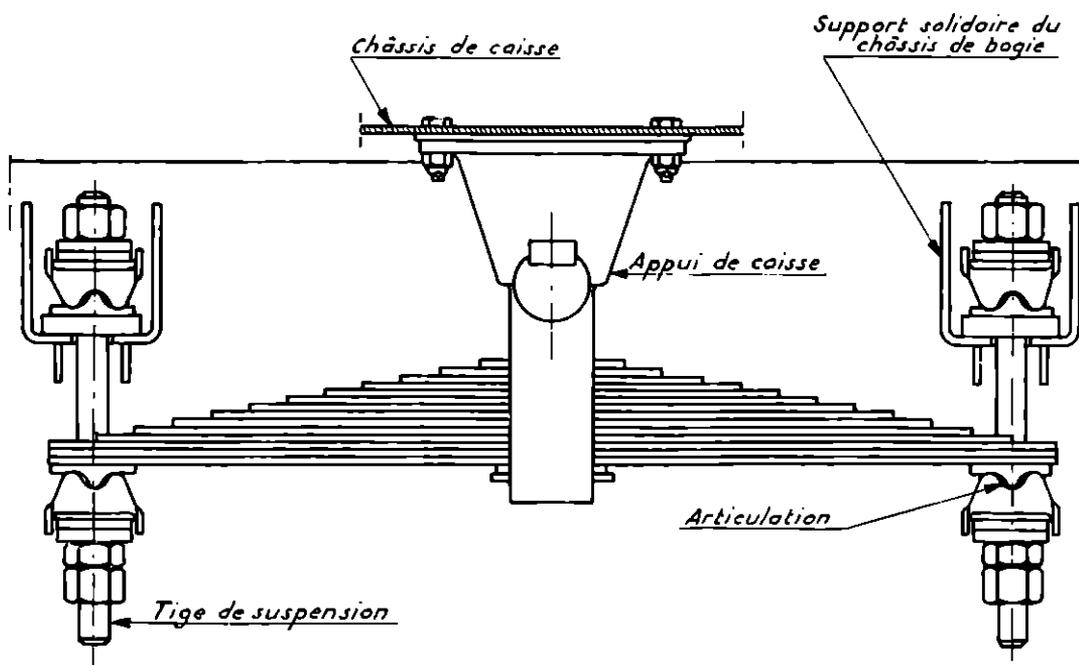


Fig. 105.

## 5. APPUI DE CAISSE PAR TRAVERSE DE CHARGE

Au lieu du dispositif d'appui de caisse par pivots et équilibreurs élastiques latéraux, sur certaines locomotives le poids de la caisse est transmis au châssis de bogie par des ressorts de suspension et une traverse de charge.

La figure 106 représente schématiquement l'essentiel de ce dispositif.

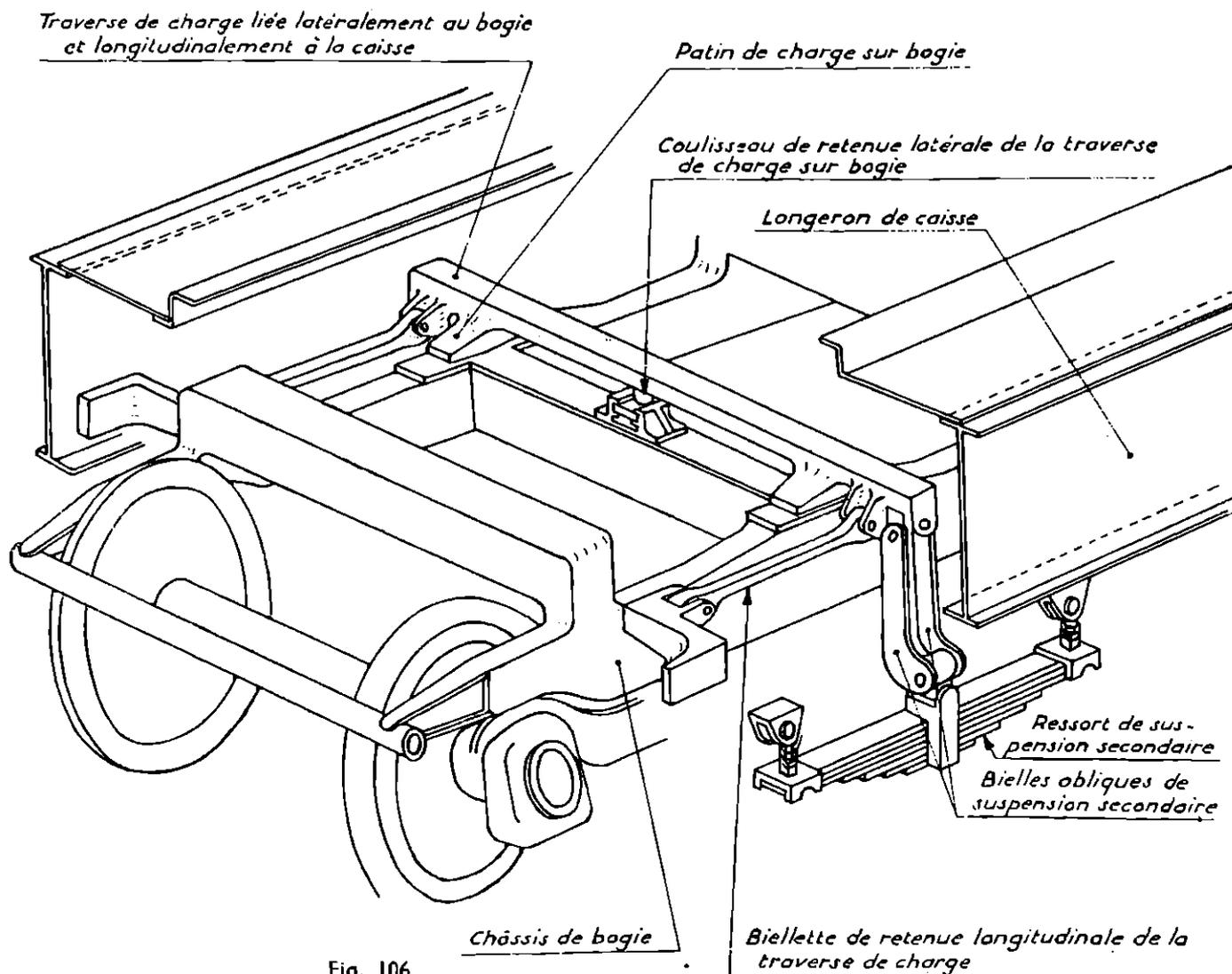


Fig. 106.

Les longerons du châssis de caisse (ou brancards de caisse) s'appuient sur les extrémités de ressorts à lames dont les brides sont reliées à la traverse de charge par des bielles obliques articulées.

La traverse de charge s'appuie sur le châssis de bogie par des patins posés sur des plaques de glissement. Elle est reliée à la caisse dans le sens longitudinal par des bielles de retenue. Dans le sens transversal, un coulisseau de retenue la relie au châssis de bogie; il empêche les déplacements latéraux de la traverse par rapport au bogie.

Dans ce dispositif dépourvu de pivot, l'entraînement longitudinal de la caisse par les bogies ne peut être assuré par le système d'appui. Il est assuré par des bielles dites « barres de traction » montées entre châssis de bogie et châssis de caisse. Ce dispositif n'est pas représenté sur la figure.

Pendant les oscillations du bogie les patins de la traverse de charge coulisent sur leurs plaques de glissement. Le frottement qui en résulte freine ces mouvements et constitue ainsi un dispositif antilacet.

La suspension secondaire de caisse est entièrement assurée par les ressorts à lames latéraux.

### ATTELAGES ENTRE BOGIES

Sur certaines locomotives, les bogies sont attelés l'un à l'autre. L'attelage se fait entre les traverses extrêmes de chaque bogie situées vers l'intérieur de la locomotive.

La figure 107 représente ce montage en vue de dessus. On y distingue sur les deux traverses situées en regard : deux groupes de sabots de friction de forme cylindrique, concaves sur l'une des traverses et convexes sur la traverse située en regard. Ces sabots sont en contact. A l'intérieur de chaque bogie deux groupes de ressorts à boudin sont comprimés entre deux butées et un joug articulé en son milieu sur un axe qui le relie à une chape. Une barre de traction vient s'articuler sur cette chape. Les deux barres de traction des deux bogies sont filetées en sens inverse. Un manchon fileté les réunit et permet le serrage de l'attelage.

Cette disposition permet les déplacements verticaux entre bogies, mais lorsqu'un écart angulaire se produit entre les deux bogies, soit à cause d'une oscillation latérale (lacet), soit lors d'un passage en courbe, les sabots situés du côté extérieur s'écartent l'un de l'autre, tandis que les autres restent en contact. La distance entre les points d'appui des ressorts sur les traverses de bogies augmente et il en résulte une compression simultanée des quatre groupes de ressorts par les balanciers dont l'écartement est constant. L'effort développé par les ressorts a pour résultat de tendre à ramener les bogies dans leur position normale, c'est-à-dire en alignement droit. Les oscillations latérales sont donc combattues et à la sortie des courbes les bogies sont vivement rappelés en alignement (sur les machines équipées du dispositif de la figure 107, la tension des ressorts est de 90 kN (environ 9 tonnes-force).

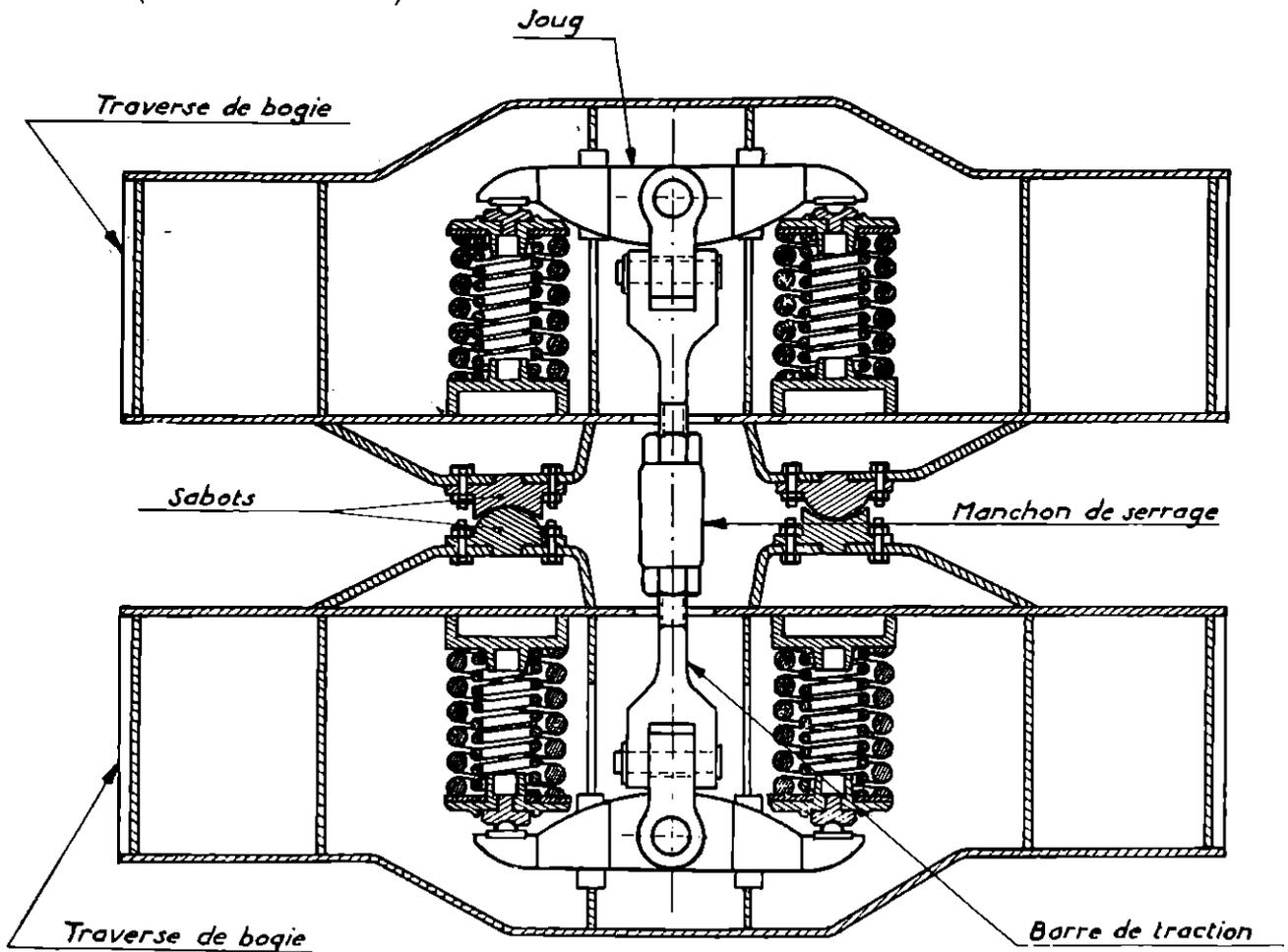
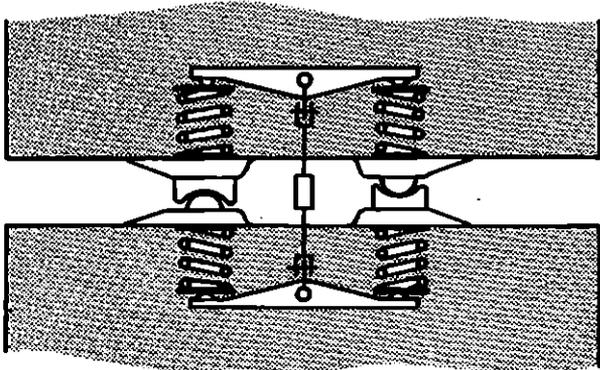
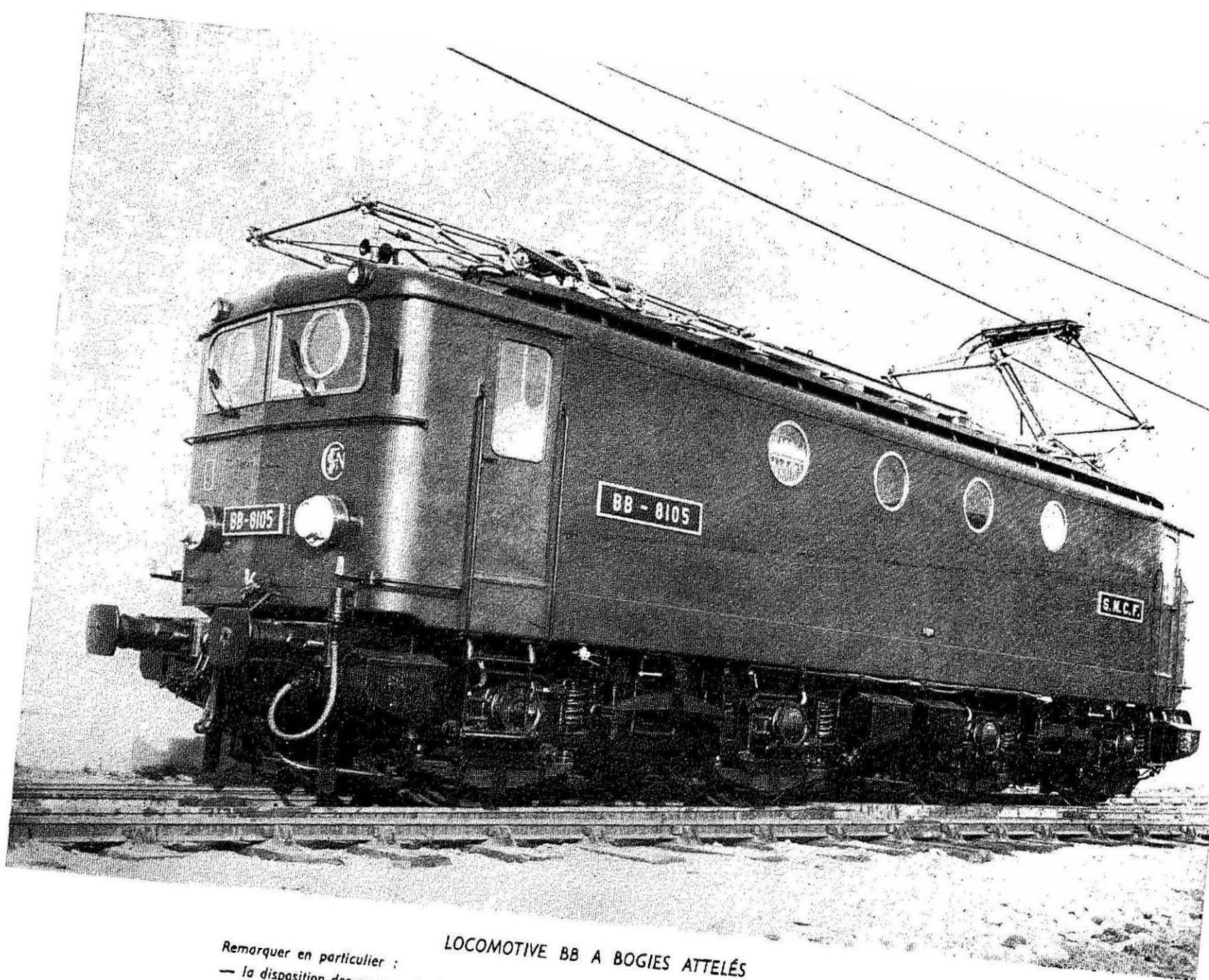


Fig. 107.





LOCOMOTIVE BB A BOGIES ATTELÉS

Remarquer en particulier ;

- la disposition des organes de choc et d'attelage sur les traverses extrêmes des bogies ;
- les équilibres de caisse ;
- la suspension des châssis de bogies.

Lorsqu'une locomotive est munie de bogies attelés, les pivots doivent permettre la variation d'entraxe des bogies, nécessaire pour la circulation dans les courbes. Pour cela, le pivot de l'un des bogies est prévu pour pouvoir s'incliner dans le sens de l'axe de la locomotive. L'autre pivot est fixe et assure seul l'entraînement de la caisse.

Les organes de choc et d'attelage sont supportés par les traverses extrêmes des bogies.

## R É S U M É

Les bogies sont essentiellement constitués par deux ou trois essieux sur lesquels s'appuie un châssis par l'intermédiaire de boîtes d'essieux et de ressorts de suspension.

Les bogies porteurs ont pour rôle de supporter les extrémités des caisses, qui ne pourraient s'inscrire correctement dans les courbes, si tous leurs essieux étaient guidés par le châssis principal. Ils s'articulent autour de pivots solidaires du châssis de caisse. Sur les châssis de ces bogies les pivots peuvent se déplacer latéralement.

Les bogies moteurs sont munis de moteurs de traction qui transmettent leur mouvement aux essieux. Comme les bogies porteurs, ils supportent la caisse. Les BB et CC reposent uniquement sur des bogies moteurs.

Les châssis de bogies sont constitués :

- soit par des tôles épaisses, pliées et soudées ou rivées;
- soit par des tôles minces embouties puis soudées (poutres tubulaires);
- soit par des tôles minces pliées et soudées (poutres à section rectangulaire);
- soit par un bloc en acier moulé.

Les longerons sont entretoisés par des traverses intermédiaires de forte section.

Les boîtes d'essieux sont guidées par rapport au châssis, soit par des glissières verticales, soit par des bielles à articulations munies de caoutchouc.

La suspension du châssis de bogie ou suspension primaire est constituée par des ressorts en hélice ou des ressorts à lames prenant appui sur les boîtes d'essieux et supportant le châssis de bogie.

Les pivots permettent l'orientation des bogies autour d'un axe vertical. Dans les pivots élastiques un cône de caoutchouc est comprimé entre deux supports placés, l'un sur une traverse intermédiaire du châssis de caisse, l'autre sur la traverse médiane du bogie. L'orientation du bogie provoque une déformation du caoutchouc. Ce type de pivot constitue également un appui élastique de la caisse. Dans les pivots métalliques, la pièce d'articulation est généralement une rotule hémisphérique.

L'entraînement de la caisse par les bogies moteurs est assuré par les pivots.

Sur les bogies munis de deux pivots il y a soit un pivot fixe d'articulation et un pivot mobile d'appui coulissant, soit deux pivots à béquille inclinable.

Les pivots des bogies porteurs d'extrémités sont articulés. Ils reposent sur des crapaudines mobiles afin de permettre à ces bogies d'effectuer d'importants déplacements latéraux, ainsi que des inclinaisons transversales et verticales.

Afin de stabiliser l'équilibre de la caisse sur les bogies, ceux-ci sont munis d'équilibreur de caisse placés sur leurs longerons. Les équilibreurs supportent une partie du poids de la caisse, tout en permettant des déplacements entre caisse et bogies, et amortissent des oscillations latérales de la caisse; ils sont munis soit de ressorts à boudin, soit de ressorts à lames.

La suspension secondaire est constituée par les équilibreurs et les pivots lorsqu'ils sont à appui élastique.

Certains bogies supportent la caisse par l'intermédiaire d'une traverse de charge reposant sur des plaques de glissement du châssis de bogie. La caisse est suspendue à la traverse de charge par des ressorts à lames et des bielles de suspension. La traverse de charge est liée longitudinalement à la caisse par des biellettes de retenue et latéralement au châssis de bogie par un coulisseau. Dans ce type de suspension secondaire l'entraînement de la caisse est assuré par des barres de traction.

Les attelages entre bogies, dont sont munies certaines locomotives, s'opposent aux mouvements de lacet et rappellent les bogies en alignement droit à la sortie des courbes.

## QUESTIONNAIRE

### BOGIES

- 1° *Pour quelle raison ne peut-on augmenter au-delà d'une certaine limite le nombre des essieux guidés par un châssis?*
- 2° *Pourquoi l'écartement des rails est-il plus grand en courbe qu'en voie droite?*
- 3° *Faites la description succincte d'un bogie.*
- 4° *Quels sont les différents modes de construction des châssis de bogie?*
- 5° *Quels sont les différents modes de guidage des boîtes d'essieux par rapport aux châssis de bogie?*
- 6° *Qu'est-ce que la suspension du châssis de bogie? Quel est son rôle?*
- 7° *Faites la description d'un pivot.*
- 8° *Quel est le rôle des équilibreurs de caisse?*
- 9° *Décrivez succinctement le système d'appui de caisse sur bogie par traverse de charge.*
- 10° *Quel est le rôle de l'attelage entre bogies dont certaines locomotives sont munies?*

# FREIN

---

## GÉNÉRALITÉS

## DÉFINITIONS

## PRINCIPE DU FREIN AUTOMATIQUE WESTINGHOUSE

## DESCRIPTION ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES ORGANES DU FREIN

Production et stockage de l'air comprimé

Délendeur

Régulateur

Robinet de mécanicien

Cylindre de frein

Triple-valve

Soupape égalisatrice

Timonerie

## FREIN DIRECT

## LES NOUVELLES TECHNIQUES DU FREINAGE

## GÉNÉRALITÉS

Le moyen le plus utilisé pour ralentir ou arrêter le mouvement des locomotives et des trains qu'elles remorquent est l'application de sabots métalliques sur les bandages de roues. Le frottement qui résulte de cette application a pour effet de créer une résistance à la rotation des roues d'autant plus importante que l'application des sabots est plus énergique.

Dans le frein pneumatique l'effort appliqué aux sabots provient de cylindres de frein. L'introduction d'air comprimé dans les cylindres provoque une poussée sur les pistons mobiles dont ils sont munis d'autant plus importante que l'air comprimé est introduit à une pression plus élevée. Entre les tiges des pistons et les sabots de frein, un système articulé de barres et de leviers sert à la transmission des efforts sur tous les sabots; c'est la timonerie.

En l'absence d'air comprimé dans les cylindres, des ressorts de rappel maintiennent sabots, limonerie et pistons en position de desserrage.

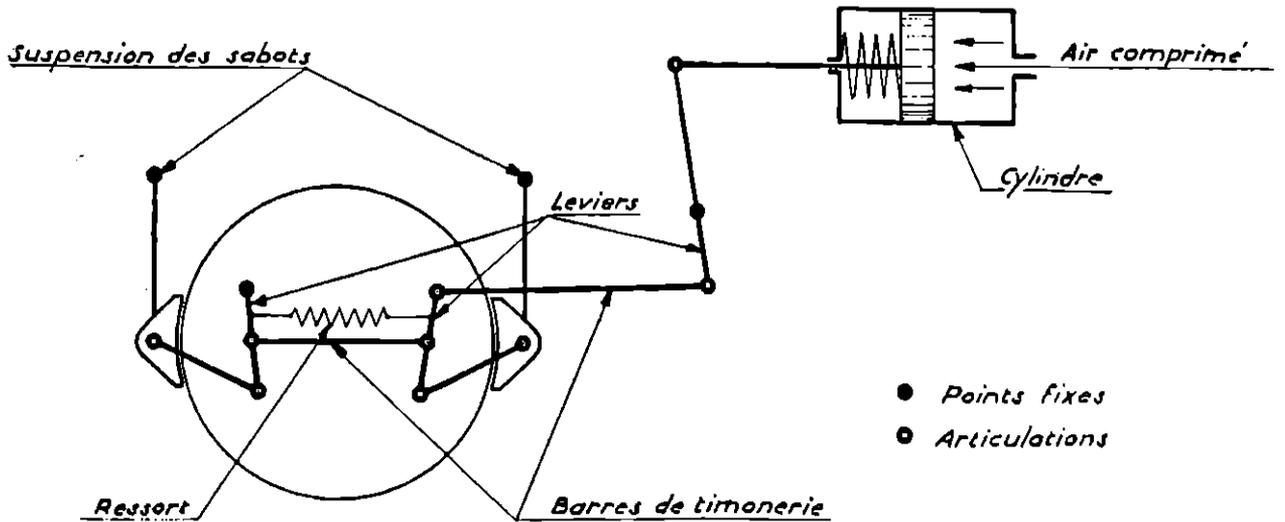


Fig. 108.

Dans le frein à main l'effort provient d'une action manuelle sur un volant; il est également transmis aux sabots par la limonerie. Sur les véhicules de la S. N. C. F., les freins à main sont utilisés comme freins de secours et freins d'immobilisation (maintien à l'arrêt des véhicules garés).

La figure 109 représente schématiquement un système de frein à main dans lequel le mouvement de rotation imprimé au volant est communiqué à une vis horizontale par un jeu de pignons d'angle.

La vis tourne sur son axe mais ne peut se déplacer longitudinalement à cause de la crapaudine qui la rend solidaire du châssis de l'engin. Sa rotation entraîne le déplacement d'un écrou à tourillons qui, à son tour, entraîne une bielle reliée à la limonerie de frein. La bielle agit sur la timonerie de la même manière que le piston du cylindre de la figure 108.

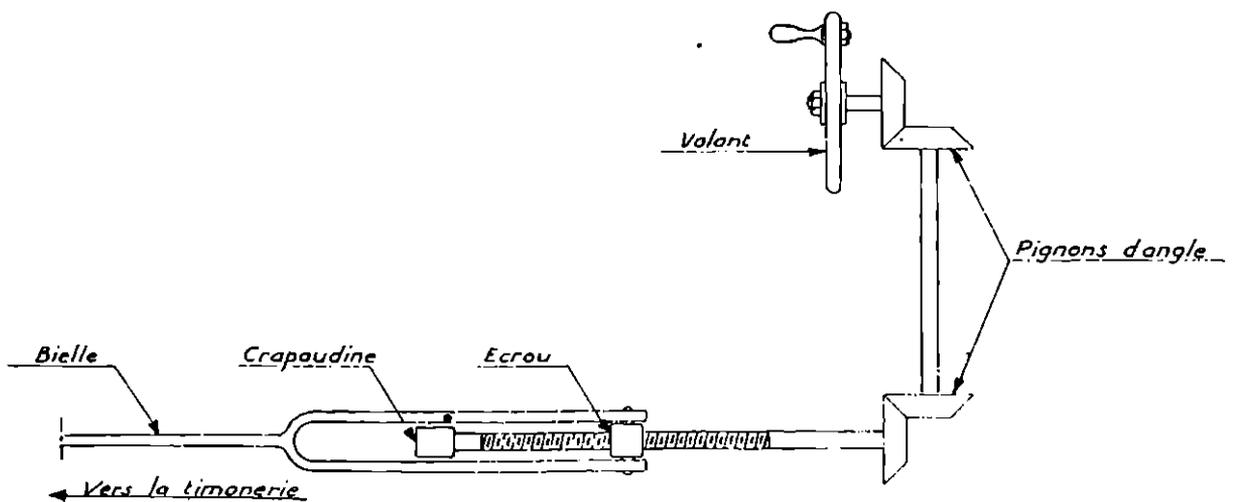


Fig. 109.

## DÉFINITIONS

Un frein pneumatique est dit :

- **continu** lorsque l'intervention d'un seul agent, mécanicien, agent de train, etc... ou d'un voyageur actionnant le signal d'alarme, provoque la mise en action de tous les freins du train;
- **automatique** s'il entre en action de lui-même lorsque se produit une avarie intéressant l'étanchéité de la conduite générale d'air comprimé qui alimente ses appareils (rupture d'attelage par exemple);
- **modérable au serrage** lorsqu'on peut graduer l'intensité du freinage en augmentant par paliers la pression des sabots sur les bandages de roues jusqu'à obtention de la pression maximale;
- **modérable au desserrage** si l'on peut réduire l'intensité du serrage réalisé par paliers successifs jusqu'à vidange complète des cylindres de frein s'il y a lieu.

Les trains sont tous munis d'un frein continu automatique modérable au moins au serrage. Ces trois conditions sont réalisées par le frein Westinghouse ordinaire qui n'est cependant pas modérable au desserrage.

Depuis quelques années des perfectionnements ont fait apparaître d'autres systèmes de frein automatique qui possèdent en plus des caractéristiques du frein Westinghouse ordinaire celle de la modérabilité au desserrage. L'application des freins modernes dont nous dirons quelques mots en fin de chapitre est en voie de généralisation. Le frein Westinghouse est cependant encore très utilisé.

Les dispositifs de freinage modernes sont assez compliqués et la connaissance de tous leurs détails est du ressort des spécialistes. L'objet de notre étude étant limité aux principes essentiels du fonctionnement et à la compréhension du rôle des principaux appareils, nous examinerons surtout dans ce chapitre les appareils du frein Westinghouse non modérable au desserrage dont les principes de fonctionnement sont d'ailleurs conservés dans les autres freins.

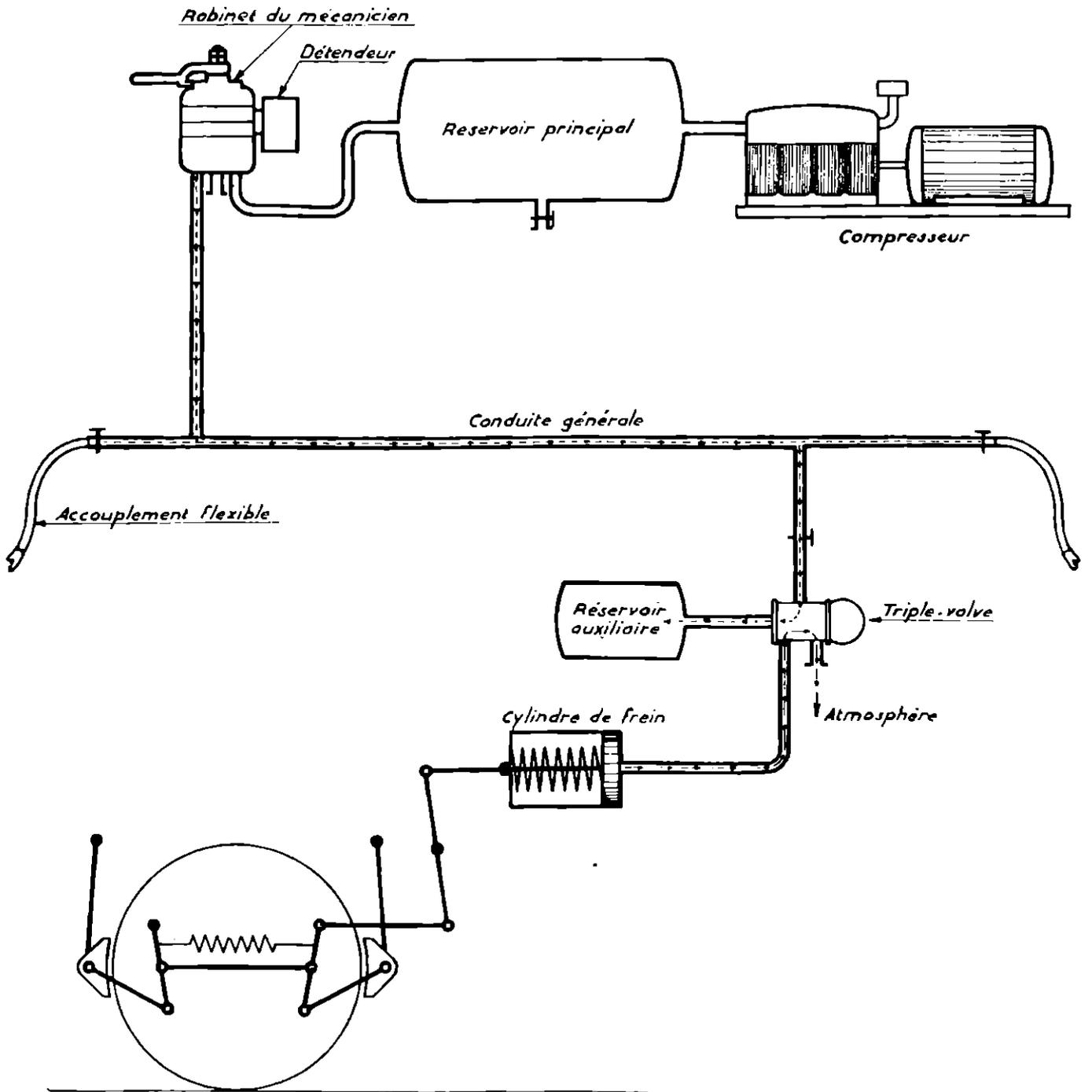
Nous verrons également ce qu'est le frein direct (ou frein indépendant) qui n'est pas automatique. Les locomotives et certains trains circulant sur les lignes de montage en sont munis.

## PRINCIPE DU FREIN CONTINU AUTOMATIQUE WESTINGHOUSE

Sur la locomotive, un compresseur d'air, actionné par un moteur électrique, refoule de l'air comprimé dans un réservoir principal (fig. 110). Un robinet de mécanicien, par l'intermédiaire d'un détendeur, alimente en air comprimé, prélevé dans le réservoir principal, une conduite installée le long de la locomotive et de tout le train. Cette conduite est dite « conduite générale »; entre les véhicules attelés sa continuité est assurée par des accouplements en caoutchouc.

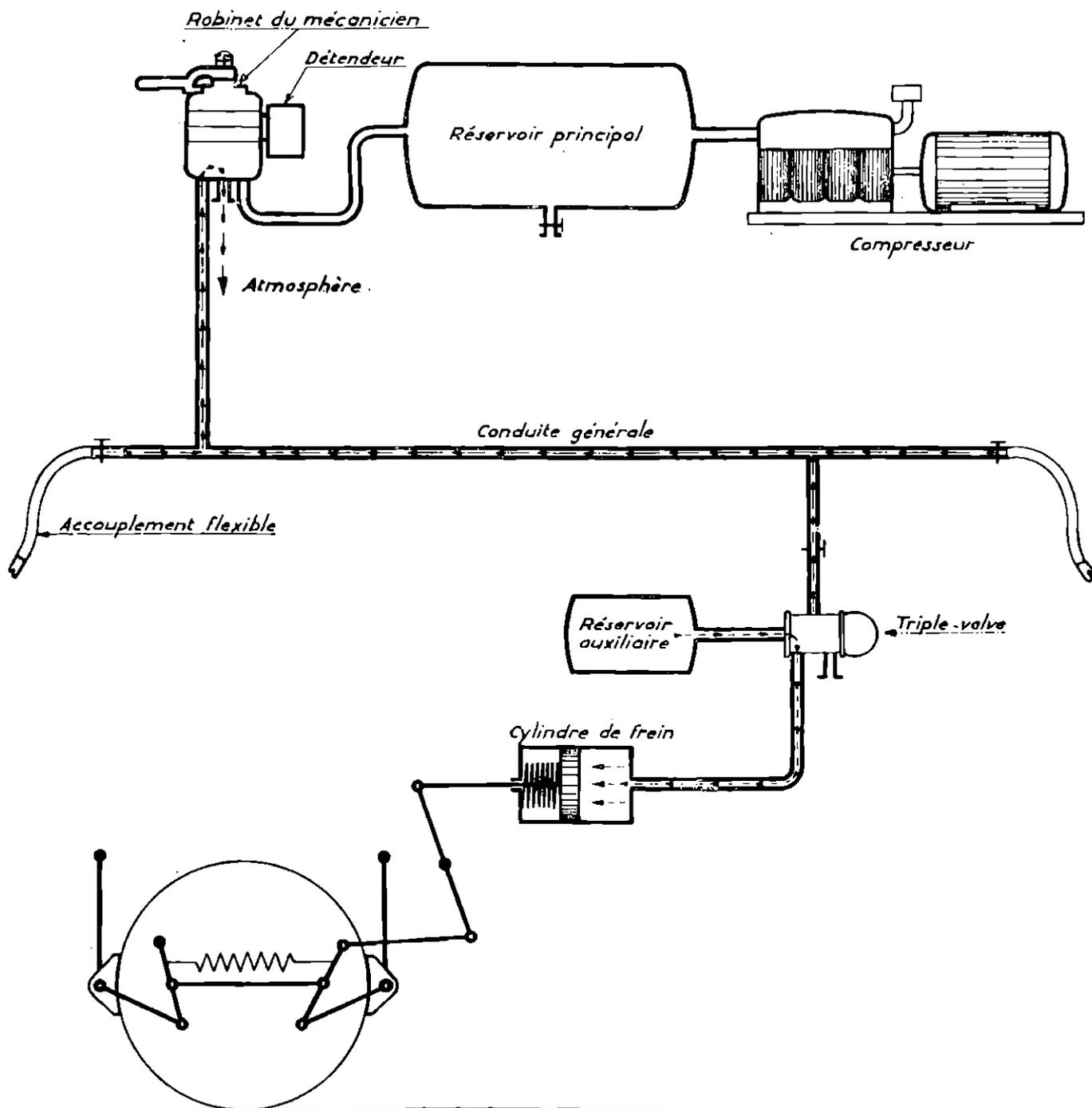
La manœuvre du robinet de mécanicien permet :

- soit de remplir partiellement et rapidement la conduite générale en y admettant directement de l'air du réservoir principal pendant un certain temps;
- soit de maintenir dans la conduite générale une pression d'air de 5 bars (5 hpz) par l'intermédiaire d'un détendeur;
- soit de vider progressivement cette conduite en faisant échapper à l'atmosphère l'air qu'elle contient;
- soit d'interrompre toute communication.



L'air de la conduite générale, à la pression de 5 bars (5 hpz), alimente le réservoir auxiliaire.  
Le cylindre de frein est en communication avec l'atmosphère.  
Le frein est desserré.

Fig. 110.



L'air de la conduite générale s'échappe à l'atmosphère par le robinet de mécanicien.  
L'air du réservoir auxiliaire pénètre dans le cylindre de frein et pousse le piston.  
Le frein se serre.

Fig. III.

Sur la locomotive ainsi que sur chaque véhicule remorqué muni du frein, une dérivation de la conduite générale alimente :

- un distributeur dit « triple-valve »;
- un réservoir de petite capacité dit « réservoir auxiliaire »;
- un cylindre de frein contenant un piston relié mécaniquement aux sabots par la timonerie;

**En position de marche** c'est-à-dire lorsque le frein est au repos mais prêt à fonctionner (fig. 110) : la conduite générale est remplie à la pression de 5 bars (5 hpz). Sur chaque véhicule la triple-valve assure d'une part le remplissage du réservoir auxiliaire à la pression de 5 hpz et d'autre part la mise à l'atmosphère du cylindre de frein.

La timonerie étant rappelée en position de desserrage par les ressorts, les sabots de frein sont écartés des bandages.

**Quand on veut mettre le frein en action**, on détermine par la manœuvre du robinet de mécanicien une dépression dans la conduite générale (échappement à l'atmosphère d'une partie de l'air qu'elle contient). Cette dépression a pour effet de faire fonctionner les triples-valves qui permettent sur chaque véhicule le passage de l'air emmagasiné dans le réservoir auxiliaire vers le cylindre de frein (fig. 111). L'air comprimé pousse alors les pistons des cylindres et provoque, par l'intermédiaire des timoneries, l'application des sabots sur les bandages des roues.

**Quand on veut desserrer le frein**, par la manœuvre du robinet de mécanicien on renvoie de l'air comprimé dans la conduite générale. La remontée de pression provoque le fonctionnement des triples-valves en sens inverse. Le changement de position des triples-valves permet l'échappement à l'atmosphère de l'air comprimé contenu dans les cylindres de frein. Les pistons des cylindres reviennent à leur position première et les sabots sont écartés des roues sous l'action des ressorts de rappel.

La conduite générale est en même temps remise en communication avec les réservoirs auxiliaires qui se remplissent de nouveau d'air comprimé à la pression de régime afin d'être en mesure d'actionner à nouveau le frein.

De ce bref examen d'ensemble il est principalement à remarquer que le fonctionnement du frein résulte de variations de pression dans la conduite générale; ces variations étant obtenues par la manœuvre du robinet de mécanicien. Une vidange de la conduite provoque un serrage, un remplissage provoque le desserrage et le réarmement.

L'automatisme de ce système est évidente; une rupture accidentelle de la conduite générale provoquera un serrage.

L'organe relais entre la conduite générale et les appareils de frein, celui qui, influencé par les variations de pression, réalise des communications, est la triple-valve. Nous en verrons le fonctionnement plus loin.

## DESCRIPTION ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES ORGANES DU FREIN

### I. PRODUCTION ET STOCKAGE DE L'AIR COMPRIMÉ

La production de l'air comprimé se fait à bord de la locomotive au moyen d'un compresseur actionné par un moteur électrique. Certaines locomotives sont munies de plusieurs compresseurs.

Les groupes moteurs-compresseurs des locomotives électriques sont tous constitués suivant le même principe; le moteur électrique transmet son mouvement circulaire par l'intermédiaire d'engrenages réducteurs à un vilebrequin qui actionne les pistons du compresseur (fig. 112). L'aspiration et le refoulement de l'air se font par l'intermédiaire de clapets.

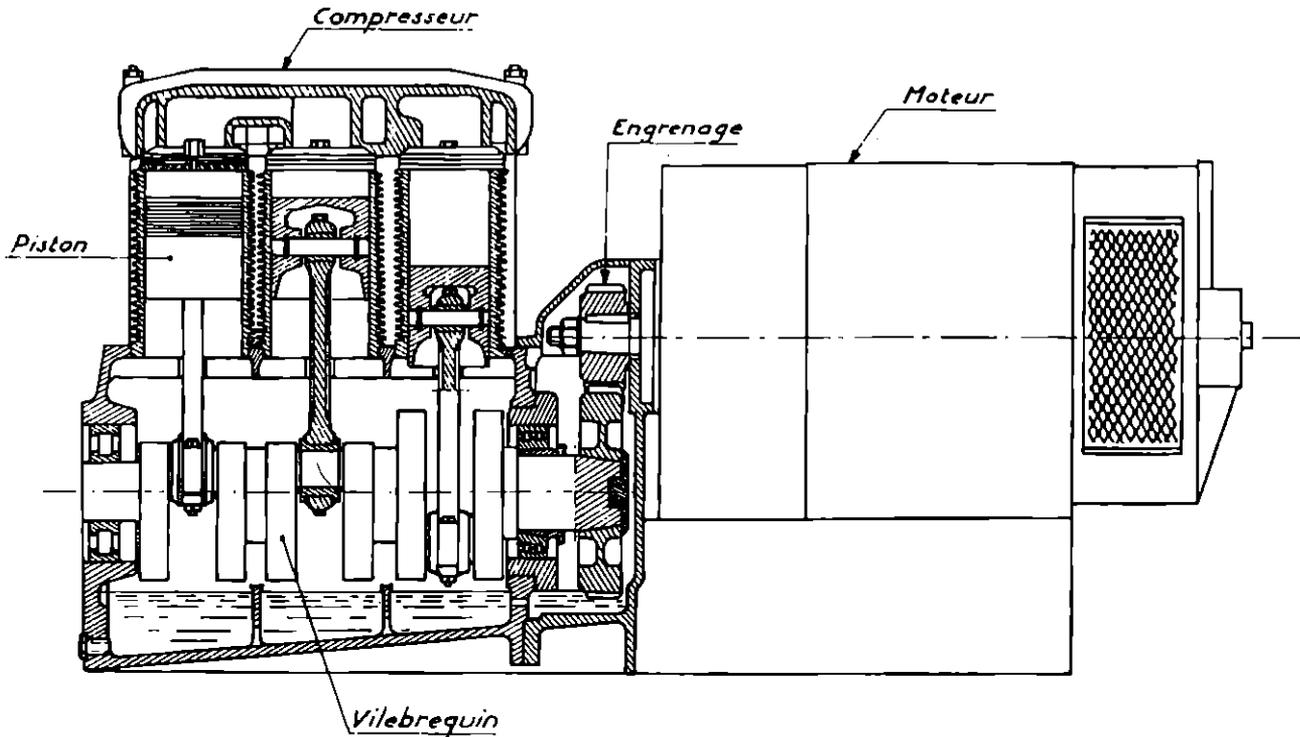


Fig. 112.

L'air refoulé sous pression par les pistons est emmagasiné dans le réservoir principal. La capacité du réservoir principal est suffisamment grande pour permettre l'alimentation rapide des conduites de tous les véhicules des trains les plus longs. Les locomotives sont souvent munies de plusieurs réservoirs principaux; des robinets de purge placés à leurs parties inférieures permettent d'évacuer l'eau de condensation.

En marche, la pression dans le réservoir principal est de 7 à 9 bars (7 à 9 hpz).

Un régulateur automatique arrête le fonctionnement du compresseur lorsque la pression dans le réservoir principal atteint un maximum déterminé et le remet en marche lorsque, à la suite d'un prélèvement d'air, cette pression est descendue à un minimum également déterminé.

## 2. DÉTENDEUR

Le détendeur d'air est un organe intermédiaire entre la réserve d'air et les organes utilisateurs. Son rôle est de maintenir à 5 bars la pression dans la conduite générale qui est alimentée par le robinet de mécanicien. Le robinet de mécanicien ne peut pas puiser l'air directement dans le réservoir principal car la pression supérieure à 5 bars qui y règne est instable; elle oscille entre un maximum et un minimum à cause du fonctionnement intermittent du compresseur; il la prélève donc à travers le détendeur.

La figure 113 a représente schématiquement la coupe d'un détendeur qui comporte :

- un piston 1 solidaire d'un tiroir pouvant ouvrir ou fermer le passage de l'air se rendant du réservoir principal (RP) à la conduite générale (CG) par l'intermédiaire du robinet de mécanicien;
- un organe régulateur constitué par un diaphragme déformable 2 appuyé sur un ressort 3 taré pour 5 bars. Le diaphragme est solidaire d'une soupape 4.

La pression régnant dans la conduite générale s'exerce sur le diaphragme 2; lorsqu'elle est de 5 bars, la tension du ressort 3 est équilibrée et la soupape 4 est fermée (fig. 113 a). Les deux faces du piston 1 sont en communication par un orifice étroit calibré; la pression sur ces deux faces est donc égale à la pression du RP. Le piston est soumis sur sa face supérieure à la pression du RP augmentée de celle du ressort 5; il est repoussé vers le bas et la communication entre RP et CG est interrompue par le tiroir.

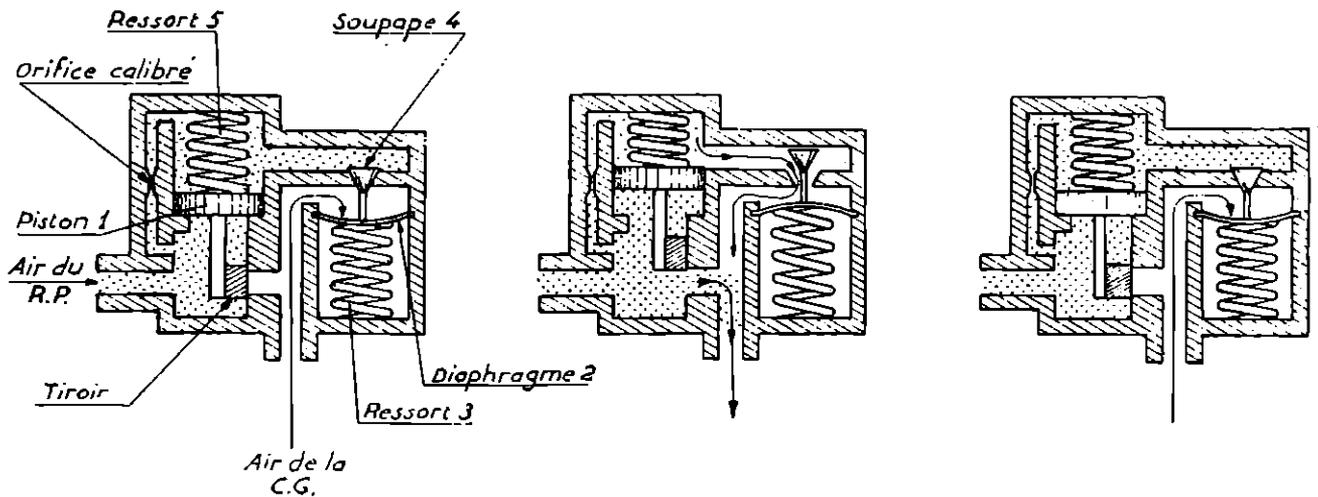


Fig. 113 a.

Fig. 113 b.

Fig. 113 c.

Lorsque la pression dans la conduite générale descend au-dessous de 5 bars, la tension du ressort 3 devient prépondérante, le diaphragme en se déformant vers le haut ouvre la soupape 4 (fig. 113 b). L'air de la chambre supérieure du piston 1 s'écoule vers la conduite générale plus vite qu'il n'arrive par l'orifice calibré; il en résulte une baisse de pression dans cette chambre, la pression agissant sur la face inférieure du piston devient prépondérante et le piston se déplace vers le haut malgré le ressort 5. Il entraîne le tiroir qui établit la communication entre RP et CG. Il y a alimentation.

Lorsque la pression de la conduite générale atteint de nouveau 5 bars, le ressort 3 est comprimé et la soupape 4 se ferme (fig. 113 c). La pression dans la chambre supérieure du piston 1 s'égalise avec la pression du RP par l'orifice calibré. Quand l'équilibre des pressions est rétabli, le piston est soumis sur sa face supérieure à la pression du RP augmentée de celle du ressort; il est repoussé et le tiroir vient fermer la communication entre RP et CG. L'alimentation est terminée.

La valeur de la pression d'alimentation (5 bars) est obtenue par réglage de la tension du ressort 3.

Ce détendeur assure le grand débit d'air nécessaire pour l'alimentation de la conduite générale qui peut être très longue (toute la longueur du train) et dont l'étanchéité n'est jamais parfaite.

Il existe plusieurs types de détendeurs mais tous fonctionnent suivant le principe qui vient d'être décrit

### 3. RÉGULATEUR.

Le régulateur a pour rôle d'assurer automatiquement la mise en marche et l'arrêt du moteur électrique qui entraîne le compresseur de façon à maintenir la pression dans le réservoir principal entre un maximum et un minimum déterminés. Il agit par coupure et rétablissement du courant dans le circuit électrique du moteur.

La figure 114 représente schématiquement un régulateur simple. L'air du réservoir principal arrive à la partie inférieure sous un clapet 5 et à la partie supérieure sur un diaphragme 1. Dans la position de la figure, la pression de l'air du RP étant insuffisante, le ressort 3 maintient le piston 2 soulevé. Le clapet 5 fermé empêche l'air comprimé d'arriver dans le cylindre de gauche sous le piston 6; le clapet 4 ouvert relie ce cylindre à l'atmosphère.

Lorsque la pression de l'air atteint la valeur maximale prévue (8 ou 9 bars), le diaphragme 1 se déforme sous sa poussée et repousse les clapets vers le bas. Le clapet 4 ferme la mise à l'atmosphère, le clapet 5 s'ouvre et admet l'air comprimé sous le piston 6. Le piston, solidaire par sa tige d'un contact électrique, se soulève malgré son ressort de rappel et coupe l'alimentation du moteur.

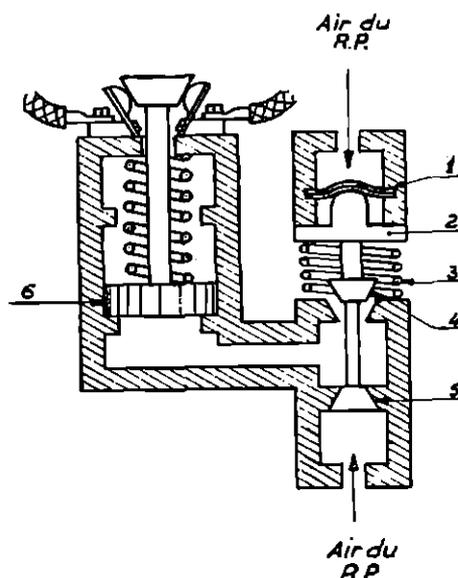


Fig. 114.

Lorsque la pression du RP descend à sa valeur minimale (7 bars) le mouvement inverse se produit : le diaphragme élastique reprend sa position première (celle de la figure) et le contact électrique retombe pour remettre le moteur en marche.

### 4. ROBINET DE MÉCANICIEN

Le robinet de mécanicien relie le réservoir principal à la conduite générale. Il est essentiellement constitué par un distributeur tournant actionné par une poignée pouvant occuper diverses positions (fig. 115).

Les communications réalisées aux 6 positions (robinet du type H 7 A) sont :

Position 1. — **Alimentation et desserrage.** — Communication directe entre le réservoir principal et la conduite générale (envoi d'un violent afflux d'air). Cette position n'est utilisée que pendant quelques instants; elle permet d'obtenir le fonctionnement des triples-valves pour le desserrage et une partie du remplissage des réservoirs auxiliaires.

Position 2. — **Remplissage.** — Communication entre le réservoir principal et la conduite générale par l'intermédiaire du détendeur (alimentation à 5,4 bars) à travers un large orifice (alimentation rapide pour remplissage des réservoirs auxiliaires).

Position 3. — **Marche.** — Position de marche normale. La communication entre le réservoir principal et la conduite générale par le détendeur est maintenue à travers un orifice réduit. Dans cette position, la pression dans la conduite générale est maintenue automatiquement à 5 bars, soit par compensation des fuites, soit par élimination d'une éventuelle surcharge.

Position 4. — **Neutre.** — Interruption des communications. Cette position est utilisée pour maintenir une baisse de pression préalablement réalisée.

Position 5. — **Serrage gradué.** — Communication entre la conduite générale et l'atmosphère par un orifice réduit (échappement de l'air). Le mécanicien maintient le robinet dans cette position tout le temps nécessaire pour créer la baisse de pression qu'il désire (et qui correspond à une certaine intensité de serrage du frein).

Position 6. — **Serrage d'urgence.** — Communication entre la conduite générale et l'atmosphère par un large orifice (vidange rapide). Cette position permet un serrage très rapide du frein avec une intensité maximale.

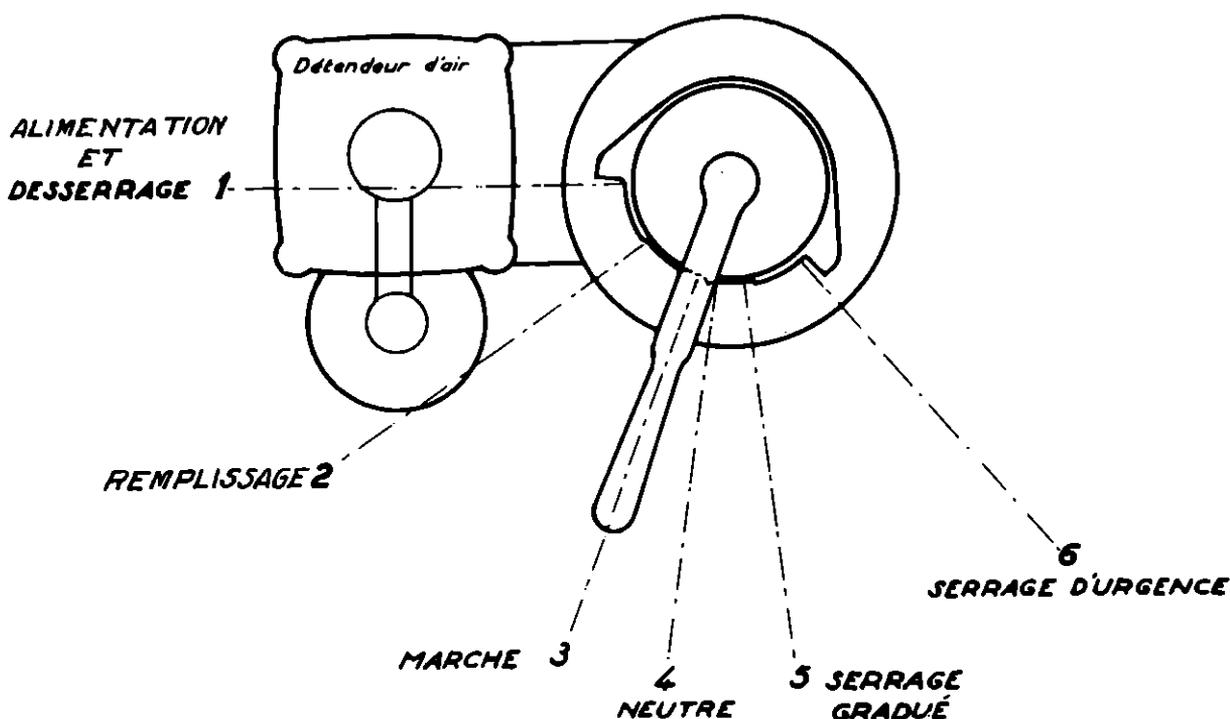


Fig. 115 (Robinet H 7 A).

## 5. CYLINDRE DE FREIN

Un cylindre de frein est constitué par un corps en fonte ou en acier dans lequel se déplace un piston muni d'une lige (fig. 116). Le cylindre est fermé d'un côté par un couvercle qui assure le guidage de la lige et de l'autre côté par un fond muni de l'orifice d'arrivée d'air comprimé. Le couvercle et le fond sont fixés sur le corps par boulons.

L'étanchéité du piston est assurée par une garniture en cuir serrée entre un disque et le piston par vis. La garniture est appliquée sur le cylindre par un ressort circulaire. Certains pistons sont munis de garnitures en caoutchouc ou en matière plastique.

Un ressort hélicoïdal placé entre le piston et le couvercle du cylindre se comprime au serrage et repousse le piston à sa position primitive au desserrage.

La tige de piston est reliée au premier élément de la timonerie par une chape.

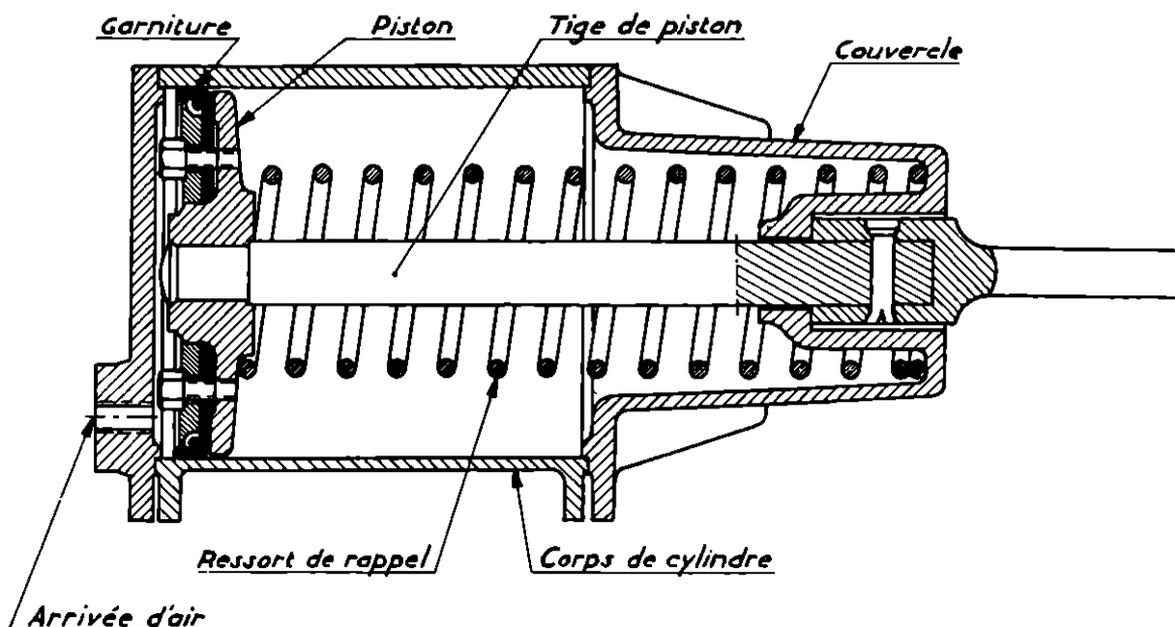


Fig. 116.

## 6. TRIPLE-VALVE

La triple-valve est un relais mis en action par les variations de pression dans la conduite générale. Elle joue le rôle d'un robinet triple.

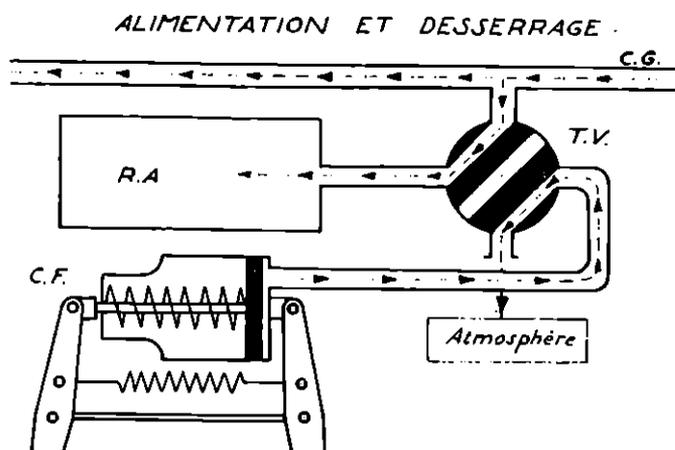


Fig. 117.

La figure 117 représente schématiquement le rôle joué par ce robinet triple en position de marche.

La communication est établie d'une part entre la conduite générale et le réservoir auxiliaire (RA) et d'autre part entre le cylindre de frein (CF) et l'atmosphère.

Il y a remplissage du RA à la pression de la conduite générale (5 bars) et desserrage du frein.

Pour serrer le frein, le robinet triple change de position et établit la communication entre le réservoir auxiliaire et le cylindre de frein (fig. 118) qui reçoit sur son piston la poussée de l'air comprimé.

Une triple-valve comprend essentiellement (fig. 119) un corps en fonte dans lequel un piston peut se déplacer sous l'action de la poussée de l'air comprimé agissant sur l'une ou l'autre de ses faces. Le piston est solidaire d'un tiroir distributeur qui glisse dans le corps de la triple-valve. Le tiroir est muni de canaux destinés à assurer le passage de l'air. A la partie supérieure du piston, le corps de triple-valve est muni d'une rainure dite « rainure d'alimentation ». Des canalisations relient la triple-valve au réservoir auxiliaire, à l'atmosphère et au cylindre de frein.

Sur la figure 119, la triple-valve est représentée en position de desserrage.

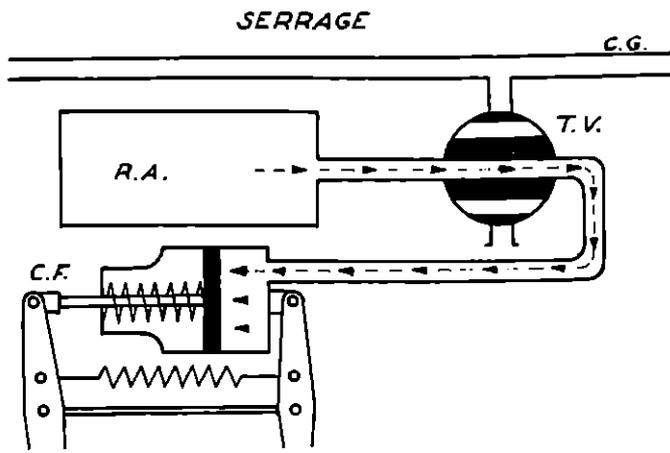


Fig. 118.

L'air arrivant par la conduite générale maintient le piston et son tiroir vers la gauche et pénètre dans le réservoir auxiliaire par la rainure d'alimentation. Le tiroir assure la mise à l'atmosphère du cylindre de frein (mêmes communications que sur la figure 117).

En position de serrage (fig. 120), la chute de pression dans la conduite générale provoque le déplacement du piston de la triple-valve vers la droite (la pression de 5 bars régnant dans la triple-valve côté réservoir auxiliaire étant devenue supérieure à celle de la conduite générale).

Le piston, en se déplaçant, interrompt la communication entre réservoir auxiliaire et conduite générale (rainure d'alimentation). En même temps, le tiroir interrompt la communication entre cylindre de frein et atmosphère et permet à l'air du RA de pénétrer dans le cylindre (mêmes communications que sur la figure 118).

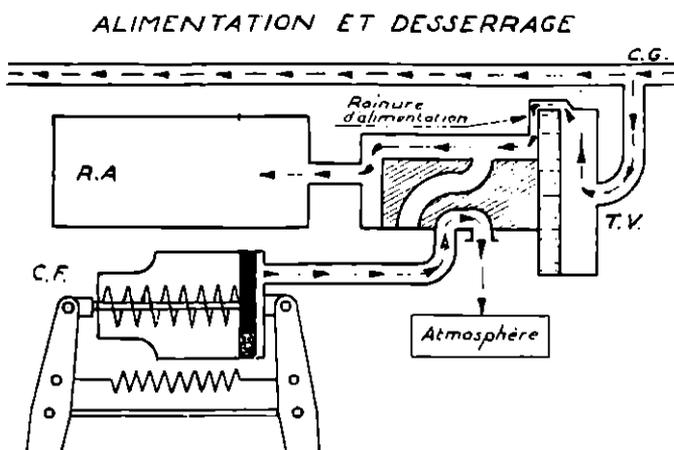


Fig. 119.

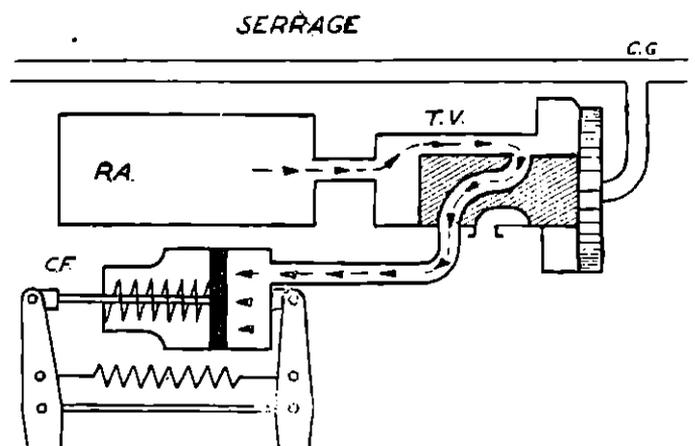


Fig. 120.

Le desserrage sera obtenu en envoyant de l'air comprimé dans la conduite générale. À ce moment le piston de la triple-valve sera repoussé vers la gauche et reprendra la position de desserrage de la figure 119.

NOTA. — En position de serrage, la pression dans le cylindre de frein est inférieure à 5 bars puisque l'air du RA se détend en poussant le piston. Elle est comprise entre 3 et 4 bars.

La triple-valve que nous venons de décrire ne permet pas au mécanicien de régler à volonté la puissance du freinage puisqu'elle ne peut occuper que les positions de serrage et de desserrage. Pour permettre de graduer le serrage, la triple-valve comporte en plus (fig. 121) une **valve de graduation** solidaire du piston et qui peut coulisser dans le tiroir. Le piston n'est plus solidaire du tiroir, il l'entraîne par l'intermédiaire d'un cadre muni d'un certain jeu.

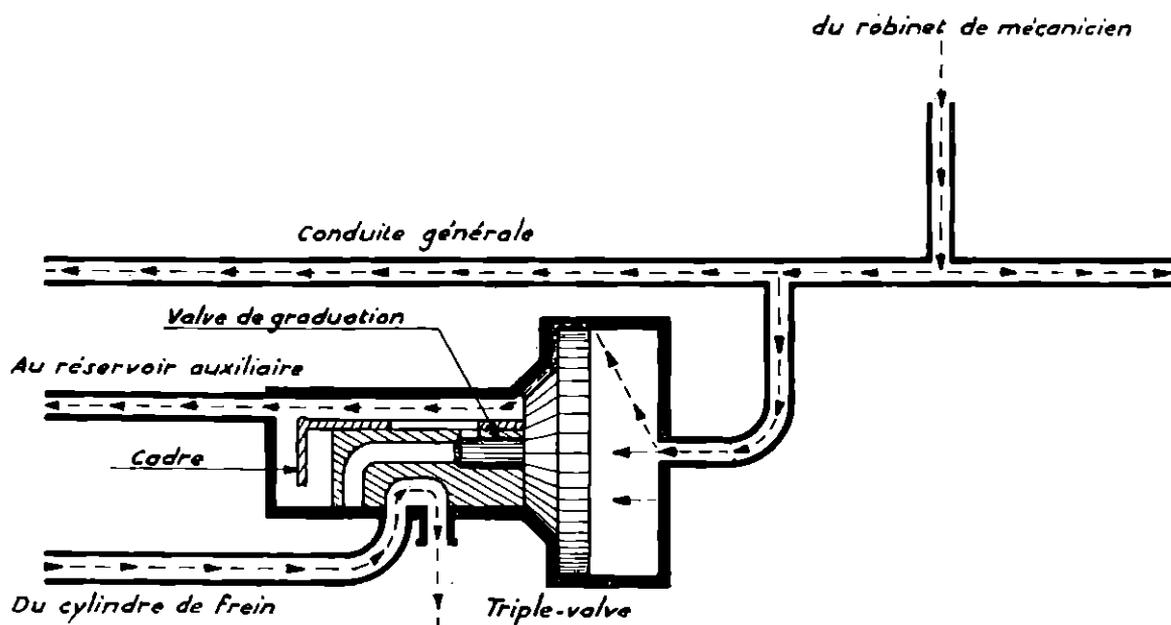


Fig. 121.

Le fonctionnement est le suivant :

En position d'alimentation et de desserrage, le piston est placé complètement à gauche (fig. 121), contre le tiroir qui assure la mise à l'atmosphère du cylindre de frein. L'air à 5 bars de la conduite générale pénètre dans la triple-valve, traverse la rainure d'alimentation et se rend au réservoir auxiliaire qui est ainsi maintenu à la pression de 5 bars.

Lorsque, sous l'effet d'une dépression modérée dans la conduite générale, le piston se déplace vers la droite (fig. 122), il entraîne d'abord la valve de graduation, puis le tiroir par l'intermédiaire du cadre. L'air du réservoir auxiliaire s'écoule vers le cylindre de frein suivant le trajet indiqué par les flèches sur la figure 122.

Du fait de cet envoi d'air, la pression dans le réservoir auxiliaire baisse rapidement. Lorsque la pression du réservoir auxiliaire est devenue légèrement inférieure à celle de la conduite générale, le piston se déplace

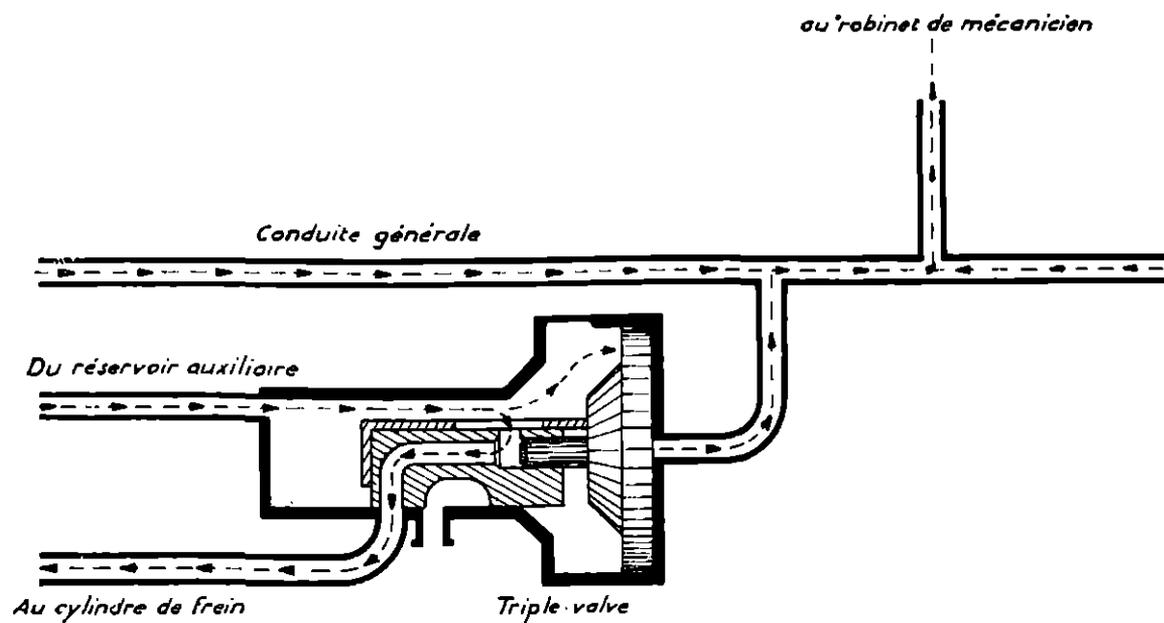


Fig. 122.

vers la gauche, entraînant la valve de graduation qui ferme l'orifice du canal ménagé dans le tiroir (fig. 123). L'alimentation du cylindre de frein cesse. Le tiroir, retenu par le frottement, **garde sa position**.

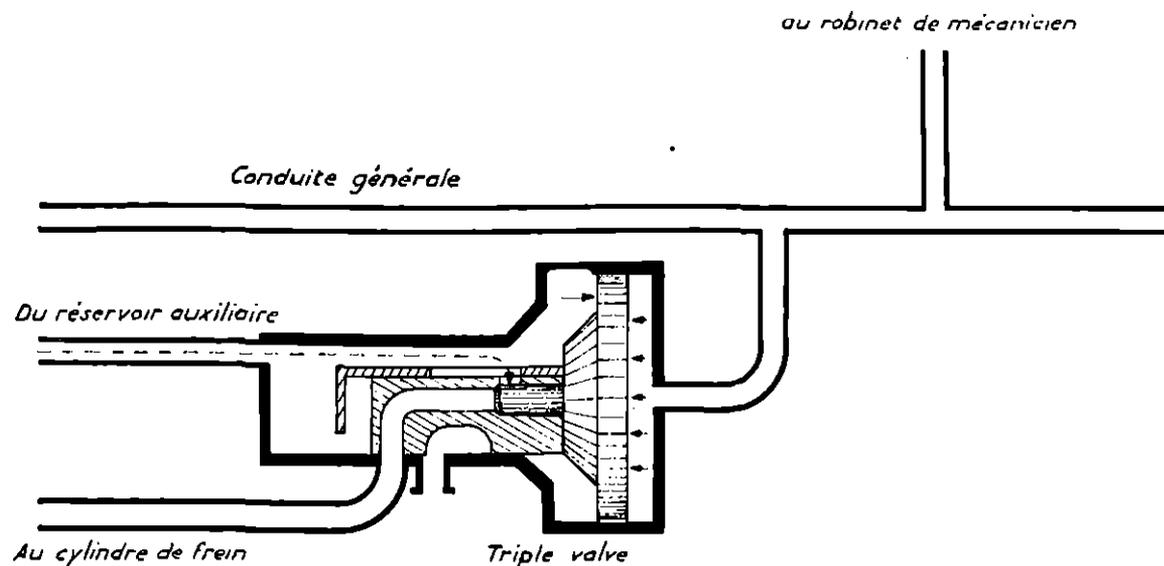


Fig. 123.

Une nouvelle dépression faite dans la conduite générale entraînerait le piston vers la droite, la valve de graduation ouvrirait à nouveau l'orifice et permettrait un envoi d'air supplémentaire du réservoir auxiliaire vers le cylindre.

Le mécanicien peut donc, par des dépressions successives, augmenter la quantité d'air envoyée au cylindre, c'est-à-dire l'effort de freinage, jusqu'à obtention du serrage maximal; c'est la **modérabilité au serrage**. Il peut aussi, par une forte dépression dans la conduite générale, obtenir par une seule manœuvre de son robinet la pression maximale dans le cylindre de frein (serrage d'urgence).

Au desserrage, il est nécessaire d'envoyer dans la conduite générale un afflux d'air suffisant pour déplacer tous les tiroirs des triples-valves. Cette opération ne peut s'effectuer qu'en une seule fois. Quand les tiroirs ont été repoussés en position de desserrage (fig. 121), le mécanicien ne peut plus interrompre l'échappement de l'air des cylindres de frein, même s'il provoque une vidange complète de la conduite générale; la pression au réservoir auxiliaire n'étant plus suffisante pour replacer la triple-valve en position de serrage. Le frein n'est pas modérable au desserrage.

D'autre part, après desserrage, le mécanicien doit attendre que tous les réservoirs auxiliaires soient réalimentés (rainures d'alimentation des triples-valves) avant de pouvoir obtenir un nouveau serrage. Pendant le temps de réarmement, le frein est épuisé.

## 7. SOUPEE ÉGALISATRICE

Les légers serrages du frein étant obtenus par de légères dépressions dans la conduite générale, le robinet du mécanicien doit permettre de modérer l'échappement. A cet effet, il est muni d'un orifice d'échappement étroit ainsi que l'indique la figure 124 qui représente le distributeur du robinet en position « serrage gradué ».

Ayant placé la poignée du robinet sur cette position, le mécanicien contrôle la dépression qu'il effectue au moyen d'un manomètre branché sur la conduite générale. Lorsqu'il juge la dépression suffisante, il ramène la poignée en position neutre, ce qui interrompt la communication indiquée sur la figure; le serrage gradué s'effectue.

Cette façon de procéder a cependant un inconvénient grave : l'échappement s'interrompt brutalement lorsque le robinet est ramené en position neutre, il se produit alors un « coup de bélier » capable de provoquer le desserrage intempestif des véhicules de tête. Le coup de bélier est un tassement de l'air en mouvement qui rencontre brutalement l'obstacle constitué par le robinet fermé; la surpression locale qui en résulte se détend en revenant dans la conduite générale. L'onde de pression parcourant la conduite générale vient agir sur les pistons des triples-valves alors en position de serrage. Si elle est suffisamment puissante, plusieurs triples-valves peuvent être repoussées et se mettre intempestivement en position de desserrage. Le desserrage intempestif des freins de tête peut provoquer une rupture d'attelage.

Pour éviter le coup de bélier, il suffit d'arrêter progressivement l'échappement de l'air. Ce résultat est obtenu de la manière suivante :

Un réservoir de petite capacité, le « réservoir du robinet de mécanicien » est mis en communication avec la conduite générale lorsque le robinet est en position de marche (fig. 125).

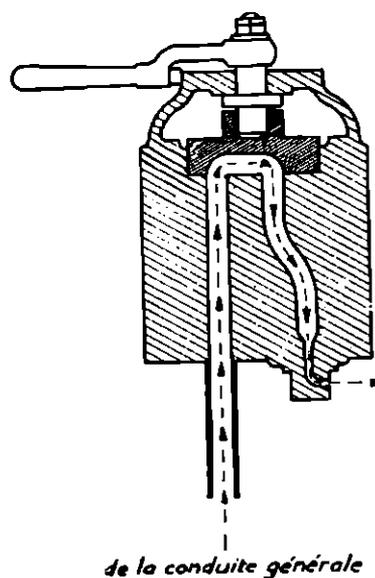


Fig. 124.

Une soupape égalisatrice munie d'un petit piston commande la mise à l'atmosphère de la conduite générale. Dans la position de la figure, la pression de 5 bars de la conduite générale agit sur les deux faces du piston; la soupape égalisatrice, sollicitée uniquement par son poids ferme l'orifice d'échappement.

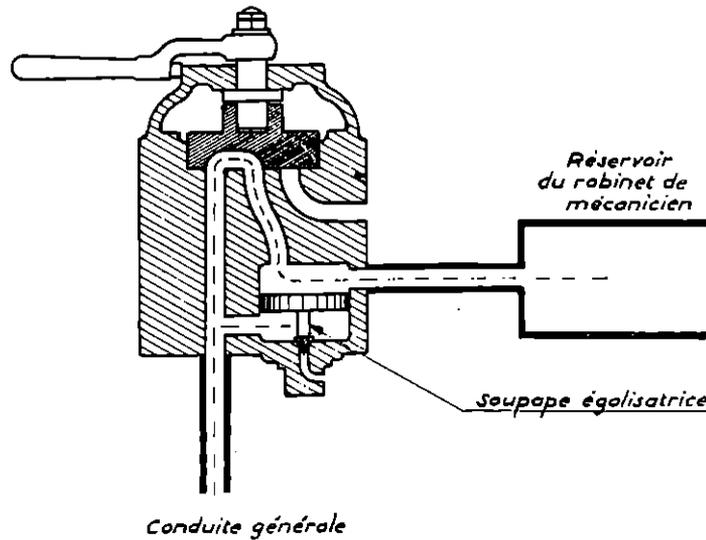


Fig. 125.

D'autre part, le réservoir du robinet est rempli à la pression de la conduite générale.

Pour effectuer un serrage gradué, le mécanicien provoque une dépression rapide dans le réservoir du robinet (fig. 126) après avoir interrompu la communication entre les deux faces du piston.

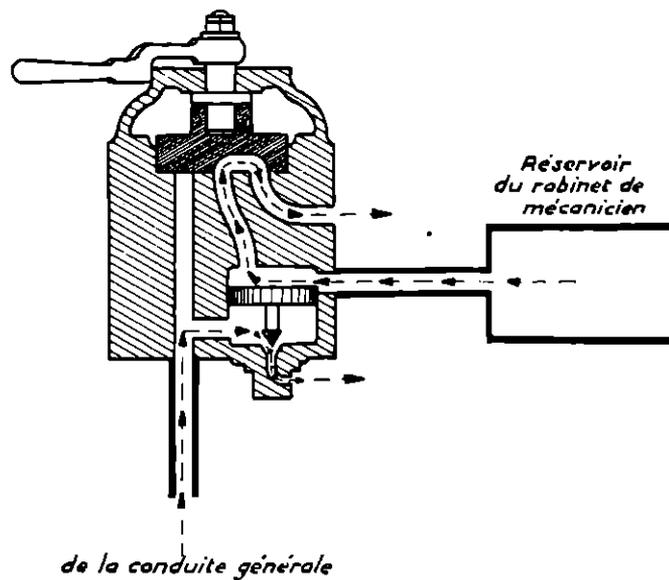


Fig. 126.

Le piston de la soupape égalisatrice est alors soumis sur sa face inférieure à la pression de la conduite générale et sur sa face supérieure à la pression du réservoir. Cette dernière pression étant plus faible, la soupape se soulève, laissant échapper à l'atmosphère l'air de la conduite générale.

A partir du moment où le mécanicien arrête l'échappement de l'air du réservoir, l'échappement de la conduite générale, au lieu de cesser brusquement, cesse graduellement à mesure que la pression de la conduite générale s'égalise avec la pression restant dans le réservoir du robinet. Quand les pressions sont égales, la soupape ferme l'orifice d'échappement.

La graduation du serrage des freins est obtenue par des dépressions successives dans le réservoir du robinet de mécanicien jusqu'à vidange complète de ce réservoir s'il y a lieu. La vidange complète du réservoir provoque la vidange complète de la conduite générale.

NOTA. — Sur la figure 125, le dispositif d'alimentation à 5 bars de la conduite générale par le détenteur et le robinet n'est pas représenté. La soupape égalisatrice n'est utilisée que pour le serrage gradué; le serrage d'urgence est obtenu par échappement direct à l'atmosphère de l'air de la conduite générale.

## 8. TIMONERIE

La timonerie de frein se compose d'un ensemble de leviers, de bielles et d'arbres de renvoi disposés de façon à transmettre à tous les sabots les efforts développés par les cylindres de frein. Il existe plusieurs types de timoneries. La figure 127 montre l'ensemble de la timonerie d'un bogie de locomotive CC. Au desserrage, les sabots sont éloignés des roues par des ressorts de rappel. Un certain jeu est laissé entre sabots et bandages de roues afin d'éviter les frottements nuisibles.

Du fait de l'usure des sabots et des bandages, le jeu augmente et au bout d'un certain temps la course des pistons des cylindres de frein doit être plus longue pour appliquer les sabots. Plus la course des pistons est longue, plus le volume occupé par l'air comprimé dans les cylindres est grand. Puisque cet air provient du réservoir auxiliaire à capacité constante l'effort de freinage diminue.

Afin de permettre le maintien du jeu dans des limites convenables des barres de la timonerie sont munies de manchons de réglage, les porte-sabots sont parfois munis de régleurs automatiques. D'autre part, les semelles d'usure des sabots se remplacent fréquemment.

## FREIN DIRECT

Lors de l'étude du fonctionnement de la triple-valve nous avons vu qu'elle ne permet pas de modérer le desserrage et que pendant le temps de remplissage du réservoir auxiliaire le frein est épuisé. Afin d'éviter cet inconvénient sur les locomotives qui ont besoin d'un frein très maniable au cours des manœuvres de gares et de triages, un dispositif de freinage supplémentaire est adjoint au frein continu automatique Westinghouse; c'est le frein direct.

Le frein direct a son propre robinet et sa propre conduite générale qui, à l'inverse de la conduite générale du frein automatique, n'est en charge que lors du freinage. Il ne comporte ni réservoir auxiliaire, ni triple-valve. L'air prélevé dans le réservoir principal est envoyé directement dans les cylindres de frein en passant par un détenteur et le robinet de frein direct.

La manœuvre du robinet de frein direct permet de modérer à volonté l'envoi d'air aux cylindres de frein, de modérer à volonté l'échappement de cet air, de maintenir un serrage quelconque par interruption de toutes les communications.

Ce frein est très maniable, inépuisable, et permet de maintenir un serrage constant mais il n'est pas automatique et pour cette raison il est employé en combinaison avec le frein automatique.

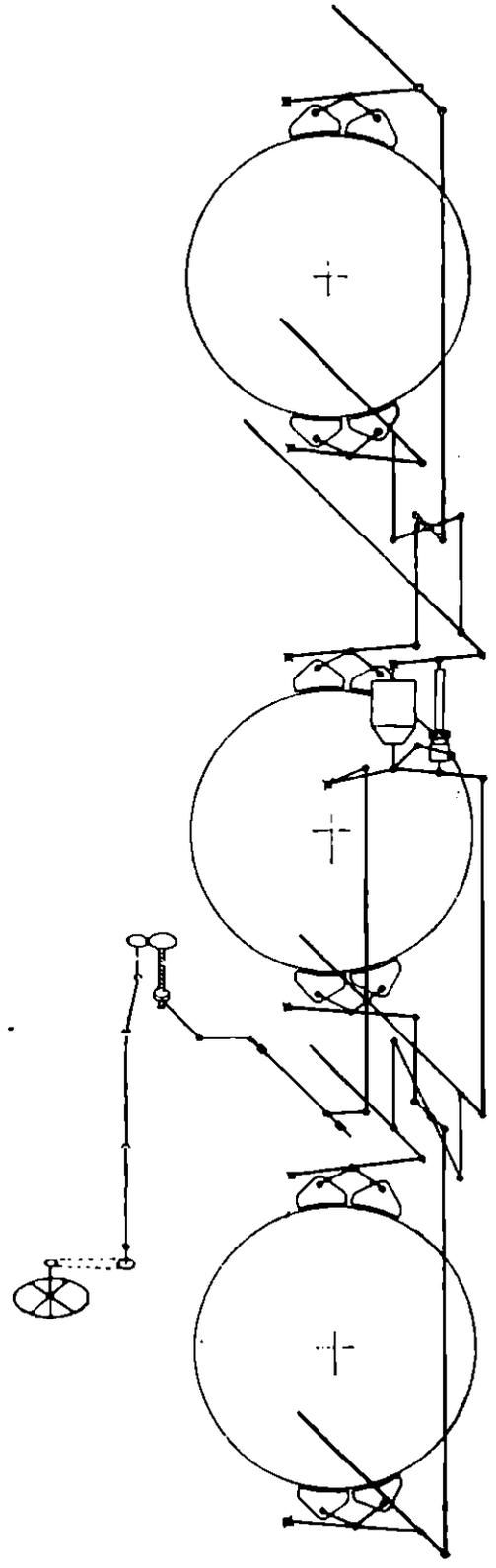
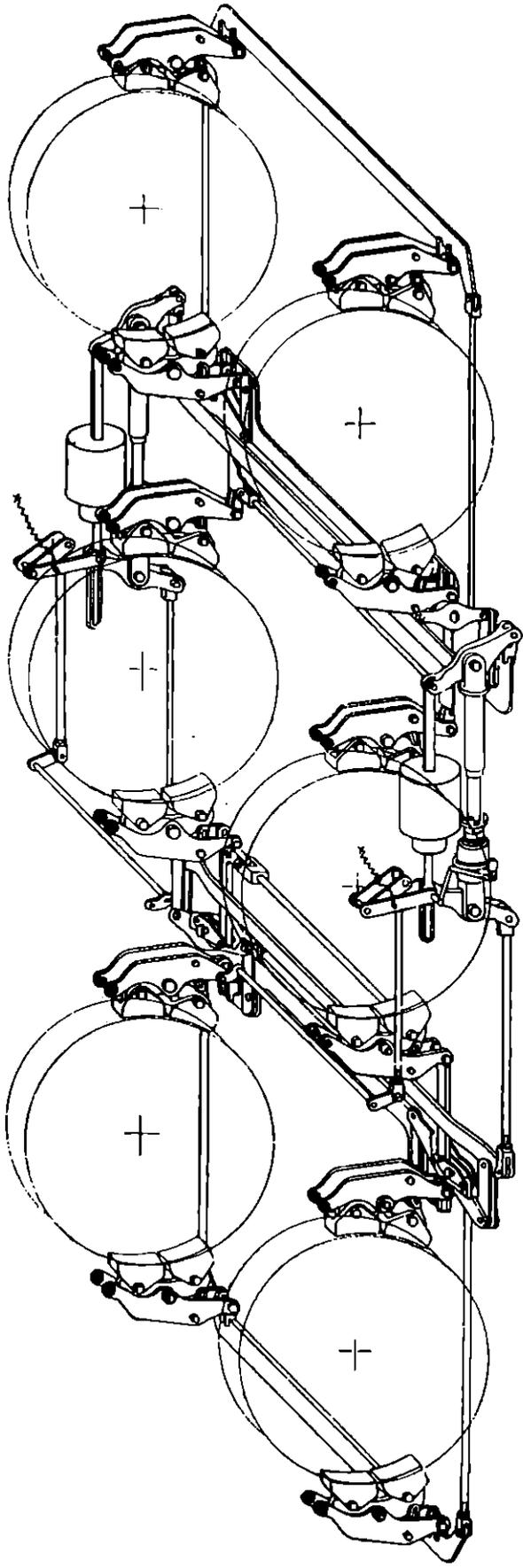


Fig. 127.

Le frein direct n'est pas employé uniquement sur les locomotives; les trains circulant sur les lignes accidentées des régions montagneuses en sont également munis, toujours en combinaison avec le frein automatique. Le frein direct permet de maintenir la vitesse des trains dans la descente des fortes pentes.

Les cylindres de frein utilisés par le frein direct sont les mêmes que ceux utilisés par le frein automatique.

Afin d'éviter que l'air admis dans un cylindre par l'un des deux systèmes de frein ne soit évacué par l'autre, une valve dite « double-valve d'arrêt » sépare les deux freins.

Cet appareil est essentiellement constitué par un piston se déplaçant dans un petit cylindre muni de trois ouvertures branchées comme l'indique la figure 128.

### VÉHICULE ÉQUIPÉ DU FREIN WESTINGHOUSE ET DU FREIN DIRECT

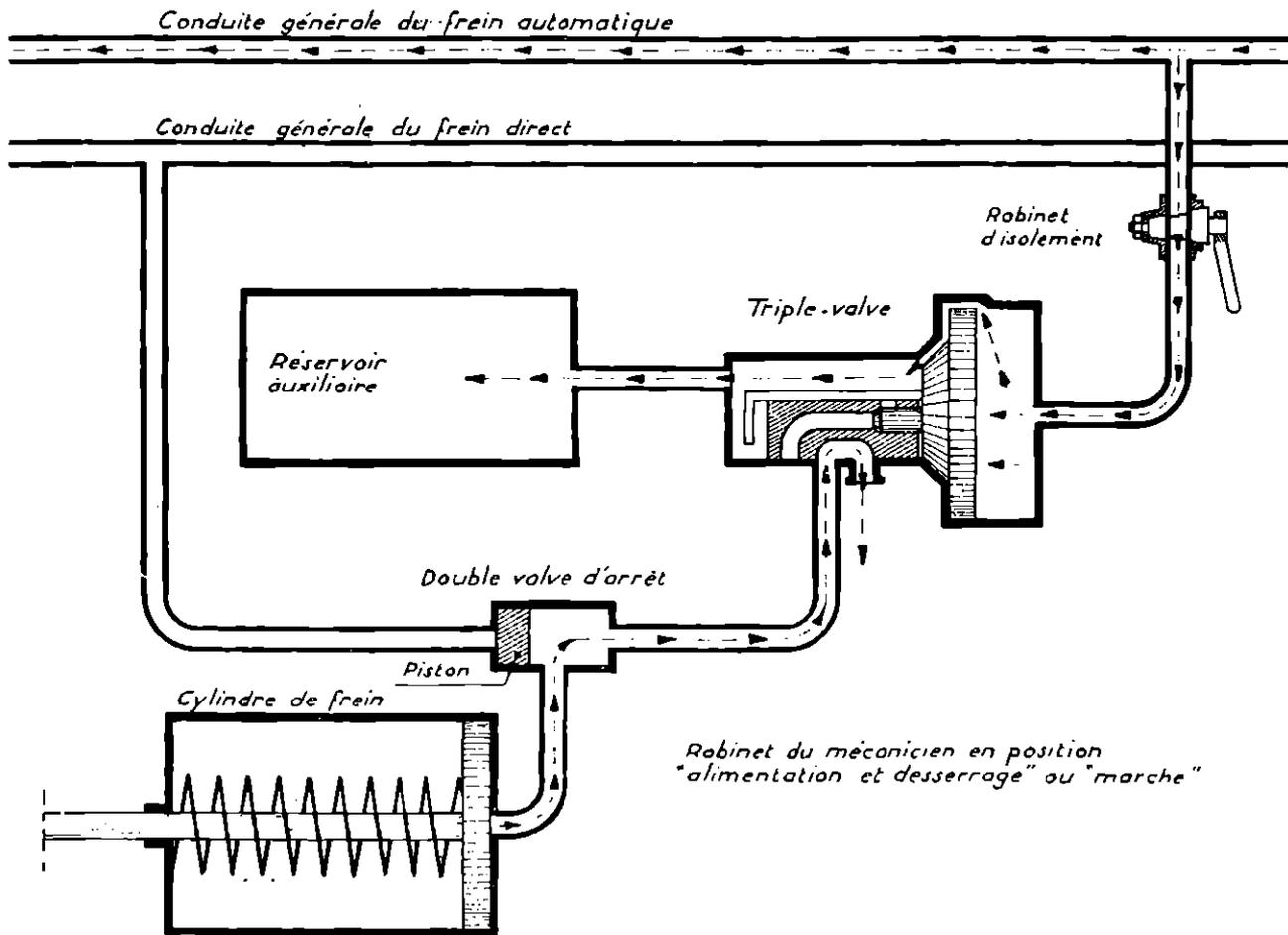


Fig. 128.

Lors du fonctionnement du frein automatique le piston de la double-valve se trouve vers la gauche (fig. 128) et ferme la conduite du frein direct (s'il n'était pas dans cette position, il y a été poussé par l'air venant de la triple-valve pendant le serrage).

Si on utilise le frein direct, l'air comprimé venant de la conduite générale de frein direct par le détendeur et le robinet pousse le piston de la double-valve vers la droite (fig. 129) et se rend au cylindre de frein.

### VÉHICULE ÉQUIPÉ DU FREIN WESTINGHOUSE ET DU FREIN DIRECT

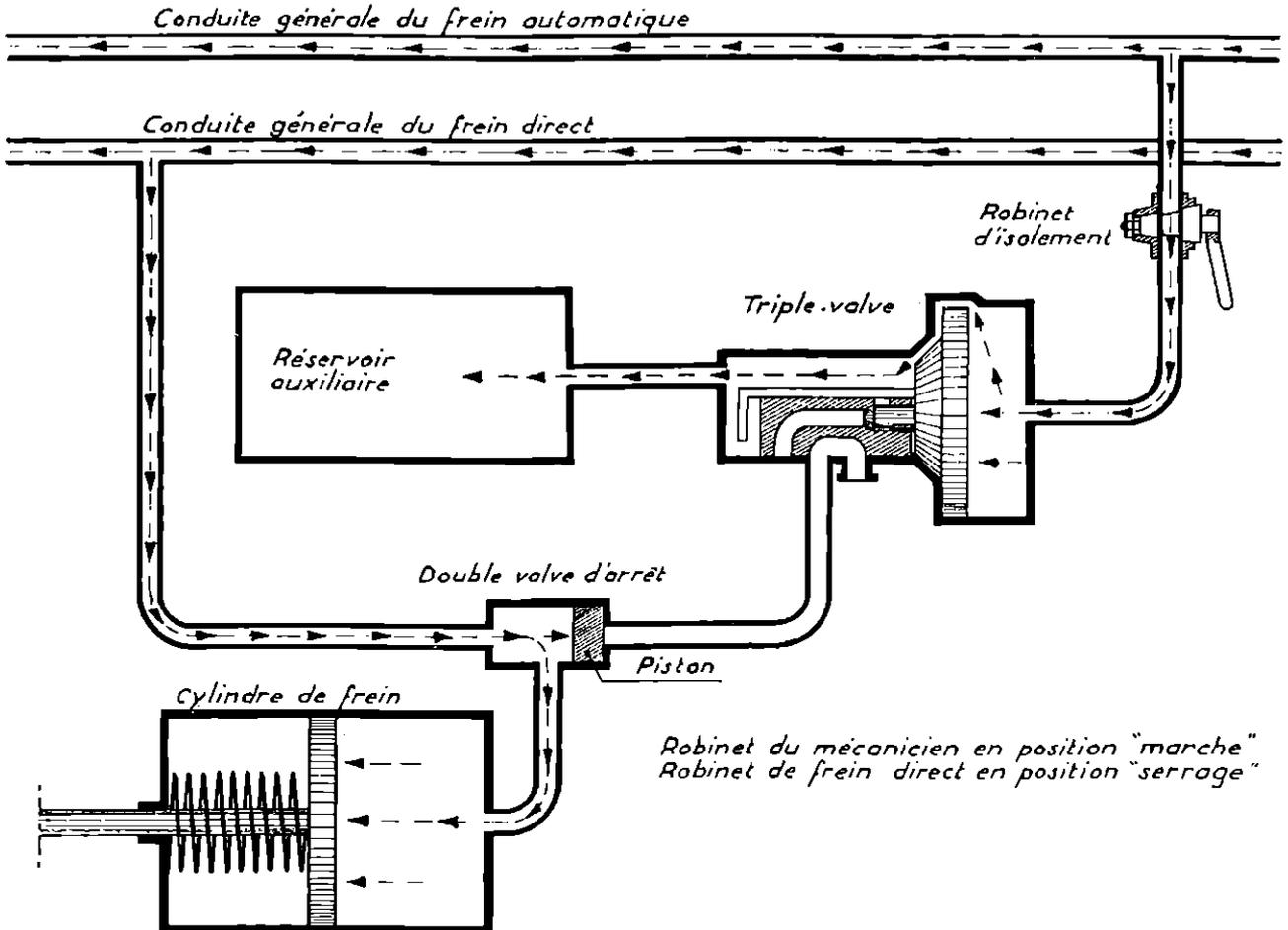


Fig. 129.

Au desserrage que l'on obtient par mise à l'atmosphère de la conduite générale de frein direct, l'air s'échappe par le même chemin. Si, après cette utilisation du frein direct on utilise de nouveau le frein automatique, le piston de la double-valve sera déplacé vers la gauche pour reprendre la position de la figure 128.

### LES TECHNIQUES NOUVELLES DU FREINAGE

Dans le domaine du freinage, les progrès accomplis n'ont pas été aussi marquants que ceux observés en matière de traction; ils n'en existent pas moins et, à l'heure actuelle, des techniques nouvelles sont appliquées ou à l'étude pour résoudre les difficiles problèmes posés par le freinage des trains longs remorqués à grande vitesse par les puissantes locomotives électriques.

Les recherches effectuées ont eu pour objectif de supprimer les inconvénients du frein automatique Westinghouse ordinaire dont les principaux sont :

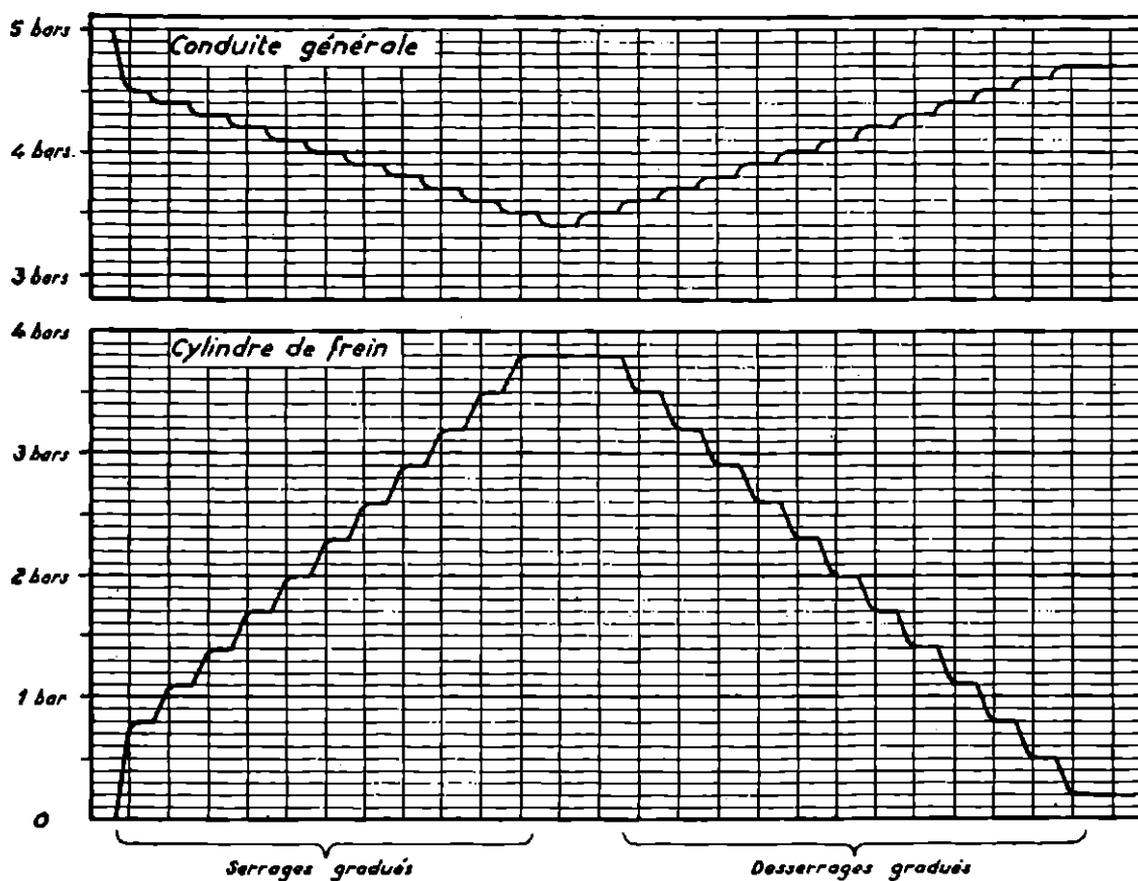
- la non-modérabilité au desserrage qui rend délicat l'ajustage des arrêts à partir des grandes vitesses et le maintien de la vitesse sur les longues et fortes pentes;

- l'épuisabilité qui rend le frein inutilisable pendant un certain temps après un serrage complet suivi d'un desserrage;
- la vitesse insuffisante de propagation du freinage sur les trains longs. L'air de la conduite générale s'échappant par le robinet du mécanicien, la dépression dans la conduite générale provoque le serrage des freins de tête avant de se manifester en queue;
- la difficulté d'obtenir un serrage réduit.

### I. Evolution actuelle des techniques.

L'évolution technique est surtout fixée, à l'heure actuelle, sur l'apparition de distributeurs modernes donnant la modérabilité au desserrage. Les principaux présentés devant l'Union Internationale des Chemins de fer sont : Charmilles et Oerlikon (Suisse), Knorr type KE (Allemagne), Dako (Tchécoslovaquie), Westinghouse Er (France).

Ces distributeurs sont modérables au serrage et au desserrage comme le montre le diagramme ci-dessous :



Le diagramme inférieur représente les variations de pression au cylindre de frein; le diagramme supérieur représente les variations de pression dans la conduite générale.

Le serrage complet correspond ici à une pression de 3,8 bars au cylindre de frein; il est obtenu par une dépression de 5 bars à 3,4 bars dans la conduite générale. Sur le diagramme, le serrage est obtenu par paliers successifs de dépression dans la conduite générale auxquels correspondent des paliers successifs d'augmentation de pression dans le cylindre de frein.

Le desserrage complet est obtenu par paliers successifs de remontée de pression dans la conduite générale auxquels correspondent des paliers successifs de baisse de pression dans le cylindre de frein.

Les principales particularités des distributeurs modernes sont les suivantes :

— Ils ont une grande vitesse de propagation (250 m/s au lieu de 100 à 150 m/s pour les triples-valves ordinaires), c'est-à-dire que la mise en action du frein se produit sur les véhicules de queue presque en même temps que sur les véhicules de tête;

— Ils rendent le frein pratiquement inépuisable car le desserrage n'est obtenu que dans la mesure où la conduite générale et le réservoir auxiliaire sont réalimentés; pour les trains circulant sur les fortes pentes, les distributeurs modérables remplacent donc les triples-valves et l'équipement de frein direct;

— ils permettent, en cas de serrage ou de desserrage gradué, d'obtenir une pression aux cylindres de frein indépendante de la course des pistons (lorsque celles-ci restent dans les limites normales d'utilisation). Les fuites sont automatiquement compensées. A chaque dépression dans la conduite générale correspond une pression bien déterminée dans les cylindres de frein;

— ils améliorent l'automatisme du frein;

Ces appareils se distinguent des anciens par une constitution nouvelle. Les pistons sont remplacés par des membranes en caoutchouc synthétique, les distributeurs à tiroir plan par des distributeurs cylindriques ou par des clapets en caoutchouc durci. Cette conception moderne des distributeurs à desserrage graduel leur confère une grande sensibilité de fonctionnement. Enfin, les améliorations techniques apportées dans leur construction, l'absence de tiroirs et de pistons, permettent d'espacer la révision de ces appareils.

## 2. Performances des distributeurs modernes.

Le frein à desserrage graduel, par sa grande sensibilité et sa réponse relativement rapide au serrage, améliore incontestablement la pratique du freinage. L'ajustage des arrêts est plus facilement réalisé en relâchant l'action du frein. Cette façon de procéder est de nature à éliminer les risques d'enrayage (immobilisation des roues qui glissent alors sur les rails) habituellement très grands, avant l'arrêt, avec le frein Westinghouse ancien. Enfin, la modérabilité pour le freinage sur les longues et fortes pentes permet la remorque des trains lourds sans risque d'épuisement du frein.

## 3. Frein électropneumatique.

Le distributeur joue un rôle primordial dans le fonctionnement du frein. On demande beaucoup à cet organe qui doit être un récepteur fidèle et précis des ordres donnés de la locomotive au moyen du robinet de mécanicien. L'air qui commande doit aussi réarmer le frein, après chaque freinage. Ceci doit se faire à l'aide d'une seule conduite à possibilité limitée. En définitive, actuellement, le frein reste assez peu maniable. Il paraît donc indiqué de recourir à l'électricité pour la commande et de prévoir un stockage d'air comprimé à proximité de chaque distributeur, sur chaque véhicule, pour permettre au frein qui l'équipe de répondre immédiatement tant au serrage qu'au desserrage. Un tel équipement est actuellement utilisé sur certains trains.

Avec la commande électrique, la propagation du serrage est extrêmement rapide. Cette rapidité de mise en action du frein doit conduire à des gains appréciables sur les distances d'arrêt. Enfin, la rapidité de réponse au serrage comme au desserrage doit conférer au système de frein électropneumatique une grande maniabilité.

## R É S U M É

Le freinage des trains est obtenu par application de sabots métalliques sur les bandages de roues. L'effort retardateur qui permet le ralentissement ou l'arrêt résulte du frottement intense des sabots sur les bandages.

Le frein pneumatique utilise de l'air comprimé qui, envoyé dans des cylindres de freins munis de pistons, actionne la timonerie et les sabots de frein.

Dans le frein à main, la même action sur la timonerie résulte de la rotation d'un volant manœuvré à la main.

Le frein Westinghouse ordinaire est :

- **continu** parce que l'intervention d'un seul agent provoque la mise en action de tous les freins du train;
- **automatique** parce qu'il entre en action de lui-même lorsque se produit une avarie intéressant l'étanchéité de la conduite générale qui alimente les appareils;
- **modérable au serrage** parce que l'on peut graduer l'intensité du serrage en augmentant par paliers la pression des sabots sur les bandages de roues jusqu'à obtention de la pression maximale.

L'installation du frein Westinghouse comprend :

- sur la locomotive : un groupe compresseur qui refoule de l'air comprimé dans un réservoir principal à une pression variant de 7 à 9 bars (7 à 9 hpz). Un robinet de mécanicien qui permet l'établissement des communications entre le réservoir principal, l'atmosphère et une conduite générale installée tout le long du train. Un détendeur qui permet le maintien à 5 bars de la pression dans la conduite générale. La conduite générale est alimentée à partir du réservoir principal par l'intermédiaire du robinet de mécanicien;
- sur la locomotive et sur chaque véhicule remorqué muni du frein : une dérivation sur la conduite générale aboutissant à une triple-valve qui régit les communications entre conduite générale, atmosphère, cylindre de frein et un réservoir de petite capacité, le réservoir auxiliaire.

En position de marche, la conduite générale est remplie à 5 bars, la triple-valve relie la conduite générale au réservoir auxiliaire et le cylindre de frein à l'atmosphère.

En position de serrage, l'air de la conduite générale s'échappe à l'atmosphère par le robinet de mécanicien, la triple-valve relie le réservoir auxiliaire au cylindre de frein. Dans le cylindre l'air comprimé actionne le piston et la timonerie.

Le desserrage est obtenu par une réalimentation rapide de la conduite générale en air comprimé.

Le groupe compresseur de la locomotive est constitué par un moteur électrique qui communique son mouvement à un vilebrequin actionnant les pistons compresseurs d'air. L'aspiration et le refoulement sont réglés par des clapets.

Le régulateur arrête le moteur du compresseur lorsque la pression au réservoir principal atteint un maximum déterminé et le remet en marche lorsque cette pression est descendue à un minimum également déterminé.

Le détendeur d'air est placé entre le réservoir principal et le robinet de mécanicien. En position de marche, l'air passe par le détendeur et le robinet avant d'aboutir dans la conduite générale. Le détendeur a pour rôle de maintenir à 5 bars la pression dans la conduite générale. Il est muni d'un piston et d'un tiroir qui peut ouvrir ou fermer la communication entre réservoir principal et conduite générale; un organe régulateur muni d'un diaphragme commande l'ouverture et la fermeture du tiroir.

Un cylindre de frein est constitué par un corps fermé à ses extrémités par un couvercle et un fond. Un piston muni d'une tige se déplace dans le corps, il est muni d'une garniture en cuir, en caoutchouc ou en matière plastique. Un ressort de rappel est placé entre piston et couvercle.

La triple-valve est un relais mis en action par les variations de pression dans la conduite générale. Une triple-valve comprend un corps en fonte dans lequel un piston peut se déplacer sous l'action de la poussée de l'air agissant sur l'une ou l'autre de ses faces. Le piston entraîne un tiroir distributeur par l'intermédiaire d'un cadre muni d'un certain jeu. Le tiroir est percé de canaux destinés à assurer le passage de l'air comprimé. Une valve de graduation

solidaire du piston peut interrompre le passage de l'air dans le canal de communication avec le cylindre de frein assurant ainsi la modérabilité au serrage. Une rainure d'alimentation permet le remplissage du réservoir auxiliaire. Les variations de pression dans la conduite générale provoquent des déplacements du piston qui manœuvre le distributeur.

Le robinet de mécanicien peut occuper les positions de desserrage, alimentation, marche, neutre, serrage gradué, serrage d'urgence. Il est muni d'une soupape égalisatrice et d'un réservoir qui permettent d'arrêter progressivement l'évacuation de l'air de la conduite générale afin d'éviter les coups de bélier et les desserrages partiels.

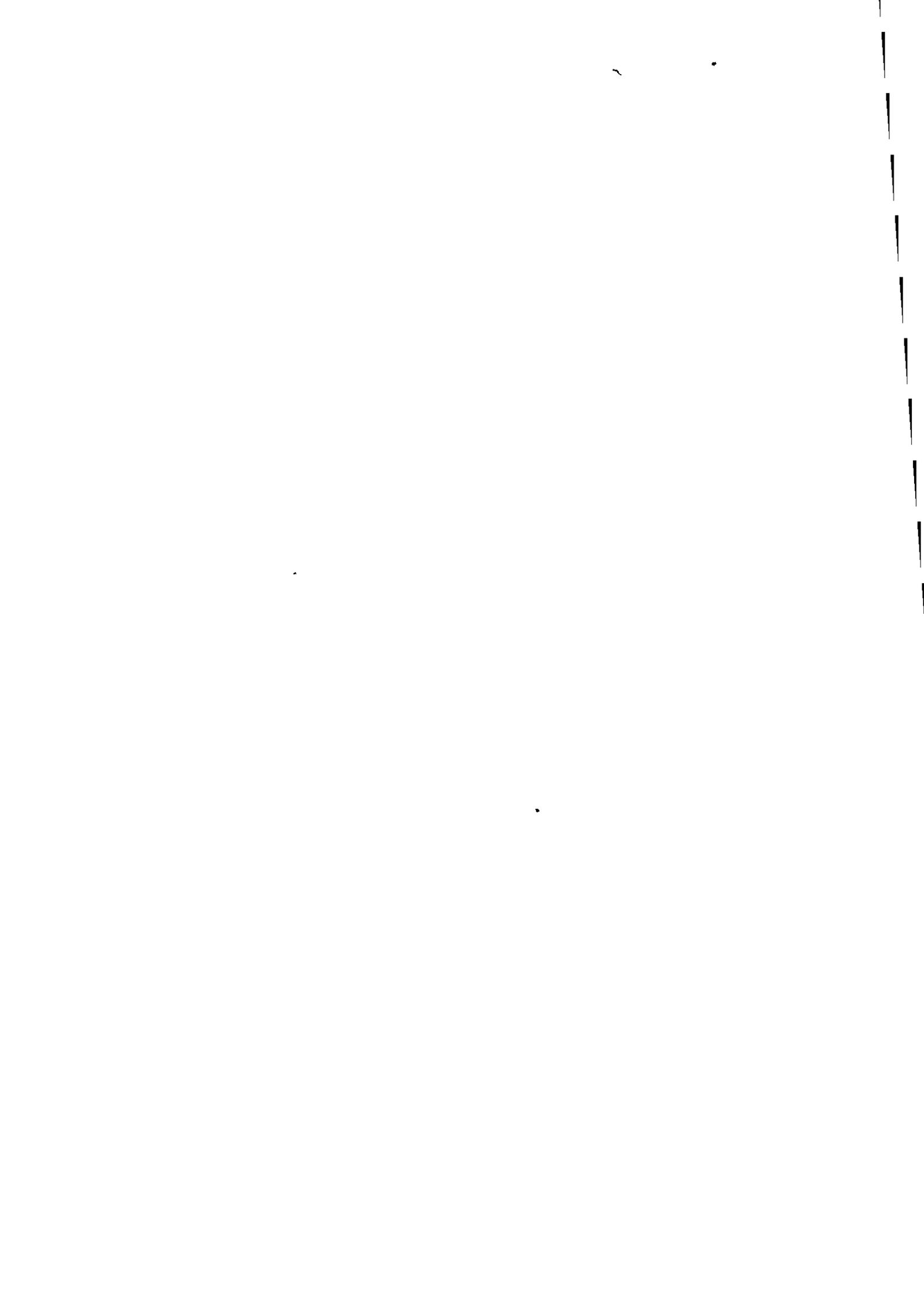
La timonerie de frein se compose d'un ensemble de leviers, de bielles et d'arbres de renvoi disposés de façon à transmettre judicieusement l'effort de freinage à tous les sabots.

Le frein direct est employé en combinaison avec le frein Westinghouse. Il n'est pas automatique. Il possède son propre détenteur et son propre robinet. L'envoi d'air se fait directement du robinet aux cylindres de frein par la conduite générale de frein direct et une double-valve d'arrêt dont le rôle est de séparer à tout moment le fonctionnement des deux systèmes de frein.

## QUESTIONNAIRE

### FREIN

- 1° *Quel est le principe du frein pneumatique?*
- 2° *Qu'est-ce que le frein à main?*
- 3° *Quand dit-on qu'un frein est : continu - automatique - modérable au serrage - modérable au desserrage?*
- 4° *Quels sont les principaux organes constituant le frein Westinghouse?*
- 5° *Expliquez brièvement le principe du frein Westinghouse?*
- 6° *Décrivez succinctement les organes du dispositif de production de l'air comprimé.*
- 7° *Quel est le rôle du détendeur d'air?*
- 8° *Quel est le rôle du régulateur du compresseur?*
- 9° *Quelles sont les différentes communications que le robinet du mécanicien peut établir?*
- 10° *Décrivez un cylindre de frein.*
- 11° *Quel est le rôle de la triple-valve? Par quoi est-elle mise en action?*
- 12° *Quels sont les organes reliés à la triple-valve?*
- 13° *Décrivez une triple-valve.*
- 14° *Quel est le rôle de la valve de graduation de la triple-valve?*
- 15° *Pourquoi le frein Westinghouse n'est-il pas modérable au desserrage?*
- 16° *Quel est le rôle de la soupape égalisatrice et du réservoir du robinet de mécanicien?*
- 17° *Qu'est-ce que le frein direct?*
- 18° *Quels sont les organes qui composent l'installation de frein direct?*
- 19° *Quel est le rôle de la double-valve d'arrêt?*



# MOTEURS ET ENTRAINEMENT DES ESSIEUX

---

## GÉNÉRALITÉS

### FIXATION DES MOTEURS

### TRANSMISSIONS DES MOTEURS SEMI-SUSPENDUS

### TRANSMISSIONS DES MOTEURS ENTIÈREMENT SUSPENDUS

Dispositifs à arbre creux

Dispositif à bielles Büchli

## GÉNÉRALITÉS

Les moteurs de traction, organes essentiels des locomotives électriques, ont pour rôle de transformer en énergie mécanique l'énergie électrique qui leur est fournie. Ils fonctionnent à régime variable suivant la vitesse et l'importance de la charge remorquée. Le mouvement moteur qu'ils fournissent est un mouvement de rotation de leurs arbres.

Il existe de nombreux types de moteurs qui diffèrent entre eux surtout par leurs caractéristiques électriques. Leur constitution d'ensemble est peu variable dans l'essentiel.

Tous les moteurs de traction comportent une carcasse massive (fig. 130) garnie intérieurement de bobinages électriques. Ces bobinages portent le nom « d'Inducteurs ». On désigne l'ensemble constitué par la carcasse et ses inducteurs sous le nom de « stator ».

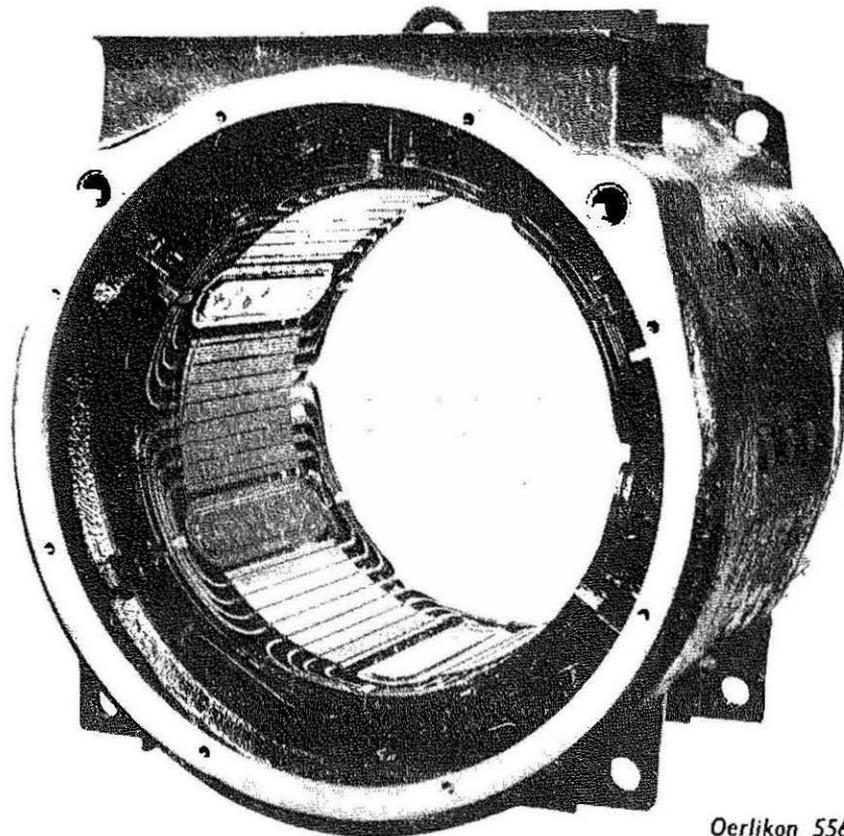
L'intérieur du stator reçoit une pièce cylindrique mobile autour de son axe : le rotor (fig. 131) ou induit.

Le rotor est muni de bobinages électriques logés dans des encoches pratiquées sur son pourtour extérieur. Ces bobinages portent le nom de « bobinages Induits ».

L'arbre du rotor repose à ses extrémités sur des paliers ménagés dans les flasques fixés de part et d'autre de la carcasse. Les paliers sont le plus souvent munis de roulements à rouleaux, parfois de coussinets en bronze ou de fourrures en bronze garnies de métal antifriction.

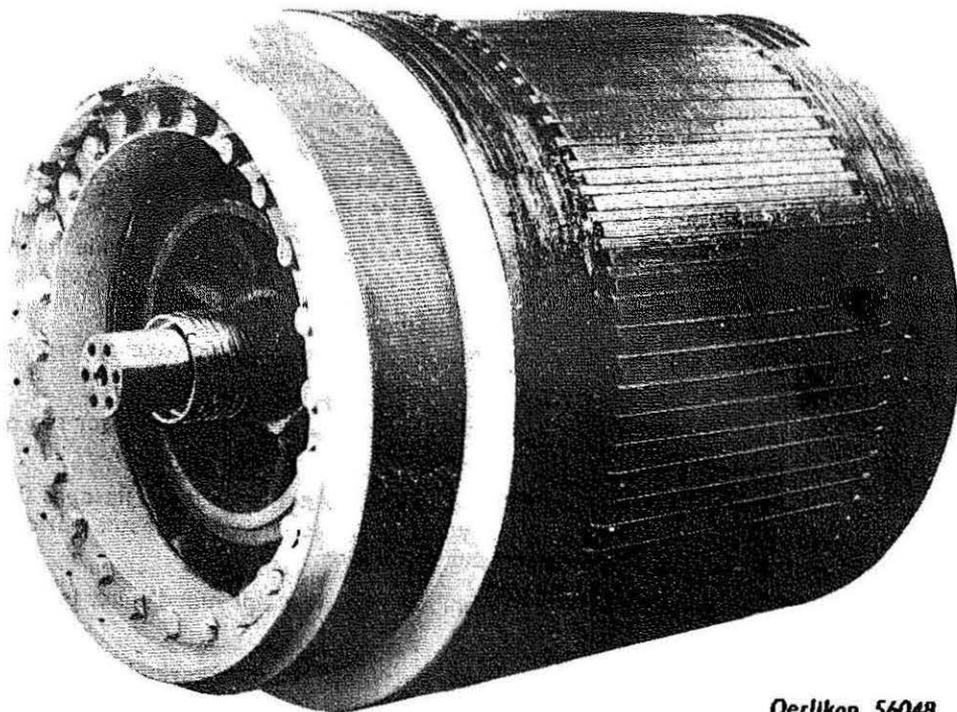
Un certain espace libre est laissé entre le rotor et l'intérieur du stator afin d'éviter tout contact pendant la rotation. Ce jeu porte le nom « d'entrefer ».

Les carcasses de moteurs présentent extérieurement des formes assez variables suivant leur mode de fixation sur la locomotive et suivant le type de transmission du mouvement aux essieux moteurs.



Oerlikon 55604

Fig. 130.



Oerlikon 56048

Fig. 131.

La figure 132 montre un moteur destiné à être fixé sur un châssis de bogie. On y distingue en particulier le pignon denté placé à l'extrémité de l'arbre de l'induit. L'alésage pratiqué dans une partie renforcée de la carcasse est destiné à supporter un organe de transmission que nous verrons par la suite.

Afin de maintenir leurs bobinages à température convenable en cours de fonctionnement, les moteurs sont ventilés. Le dispositif de ventilation est soit autonome, soit collectif. Pour la ventilation autonome les rotors des moteurs sont munis de ventilateurs à pales qui aspirent l'air à travers un flasque et le rejettent par l'autre.

Pour la ventilation collective, la circulation d'air est obtenue par des ventilateurs placés dans la caisse et reliés aux moteurs par des gaines de ventilation.

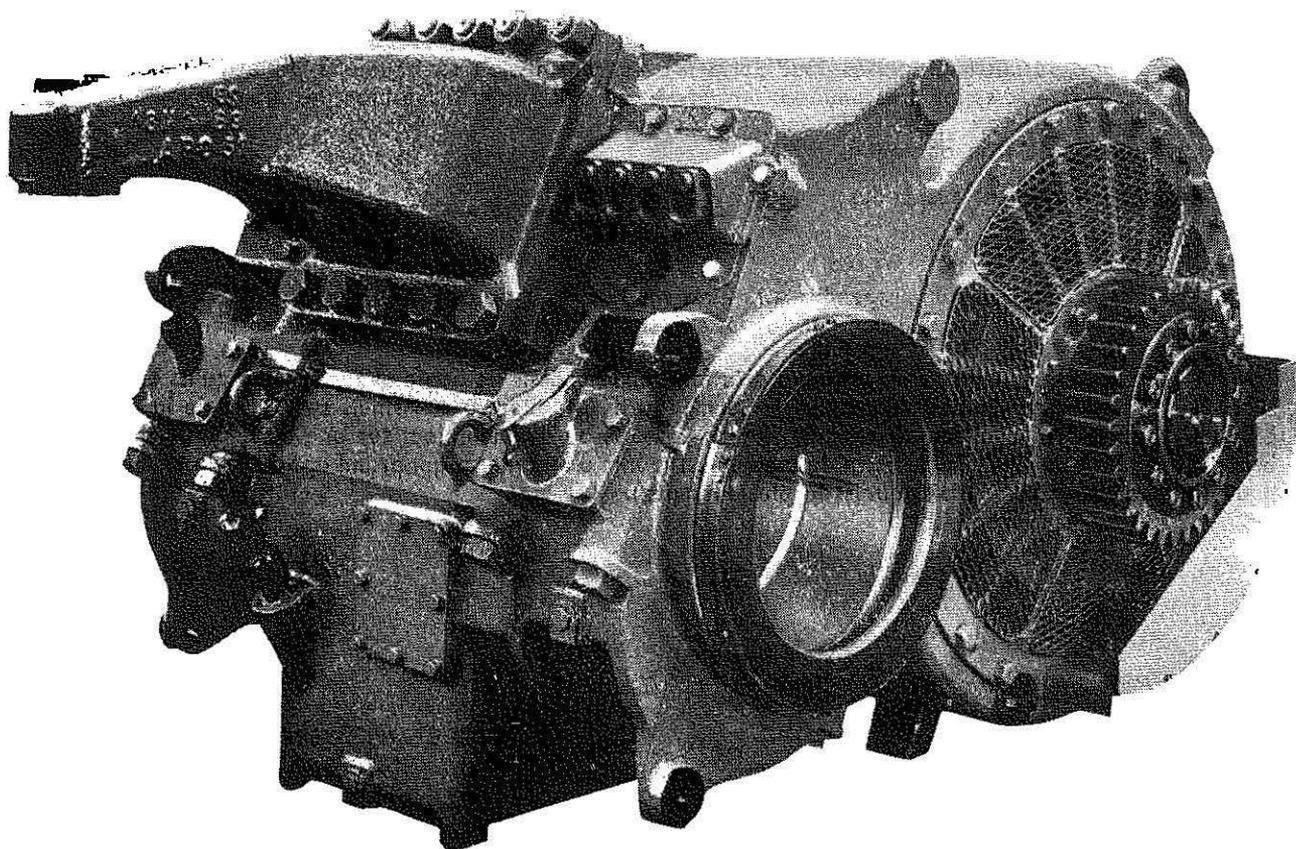


Fig. 132.

26721 ALSTHOM

SOCIÉTÉ NATIONALE DES CHEMINS DE FER FRANÇAIS  
Locomotive C C 7101

Moteur TA 621 B - 798 ch à 80,5 km/h sous 750 V (isolé 1500 V)

Vue côté opposé au collecteur

La transmission du mouvement des arbres moteurs aux essieux présente certaines difficultés du fait de la liaison élastique entre véhicule et organes de roulement. Nous avons vu, en effet, que la suspension élastique du véhicule permet certains mouvements des essieux par rapport aux châssis : les mouvements dus aux inégalités de la voie sont amortis par les ressorts et se traduisent par des déplacements verticaux des essieux par rapport au châssis du bogie et au châssis de caisse. Les réactions latérales des boudins de roues sur les rails (courbes, aiguillages, mouvements de lacet) provoquent également de légers mouvements des essieux moteurs par rapport aux châssis qu'ils entraînent.

Les moteurs de traction sont des organes lourds qui doivent être supportés soit par les châssis de bogies, soit par le châssis de caisse. La transmission du mouvement entre moteurs et essieux dont les positions relatives ne sont pas fixes, ne peut donc se faire par un système simple comme la transmission entre un moteur de machine-outil et la broche ou le mandrin qu'il entraîne.

### FIXATION DES MOTEURS

Plusieurs dispositifs sont utilisés pour permettre la transmission continue et régulière du mouvement des arbres moteurs aux essieux. Ils diffèrent d'abord entre eux par la disposition des moteurs.

Les moteurs de traction sont :

- soit entièrement suspendus;
- soit semi-suspendus;

Les moteurs entièrement suspendus sont fixés sur le châssis de caisse ou sur le châssis de bogie, d'où leur nom « d'entièrement suspendus », puisque les châssis sont séparés des essieux par la suspension élastique.

Les moteurs semi-suspendus reposent à la fois sur le châssis de bogie et sur l'essieu qu'ils entraînent. L'appui du moteur sur l'essieu se fait par l'intermédiaire de paliers à coussinets solidaires de la carcasse. L'appui sur le bogie se fait par l'intermédiaire de ressorts ou de silentblocs sur une traverse du châssis de bogie (fig. 133). A cet effet, la carcasse du moteur est munie d'un « nez » qui prend appui sur le système élastique (les moteurs sont parfois munis de plusieurs nez).

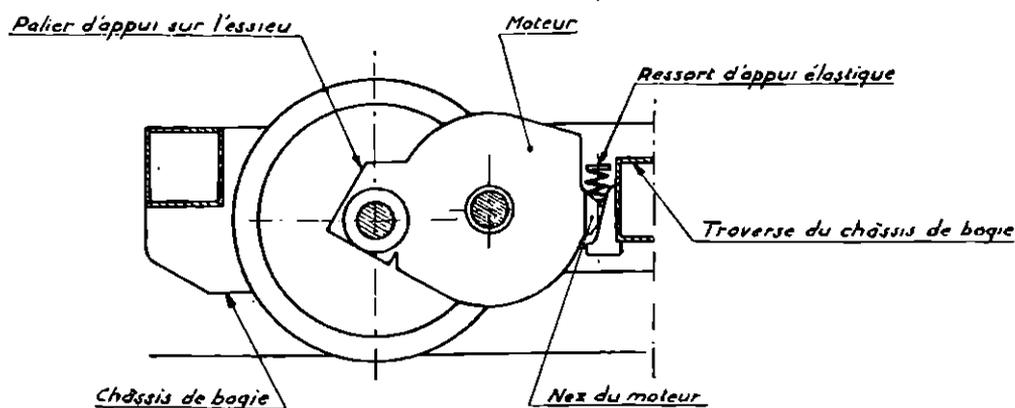


Fig. 133.

La figure 134 montre le détail de la suspension par le nez (suspension par ressorts). Le nez prend appui sur un support solide de la traverse centrale du châssis de bogie par l'intermédiaire d'un groupe de ressorts en hélice concentriques. Un ressort en hélice placé sur la face supérieure du nez absorbe les réactions verticales dirigées vers le haut. Une tige d'assemblage règle la tension des ressorts.

L'avantage de ce dispositif de fixation du moteur est qu'il maintient constants le parallélisme et l'écartement entre l'arbre du moteur et l'essieu, le moteur suivant l'essieu dans ses déplacements verticaux. Par contre l'essieu se trouve chargé d'un poids non suspendu (une partie du poids du moteur) qui augmente les réactions sur les inégalités de la voie (mauvais comportement des essieux aux grandes vitesses).

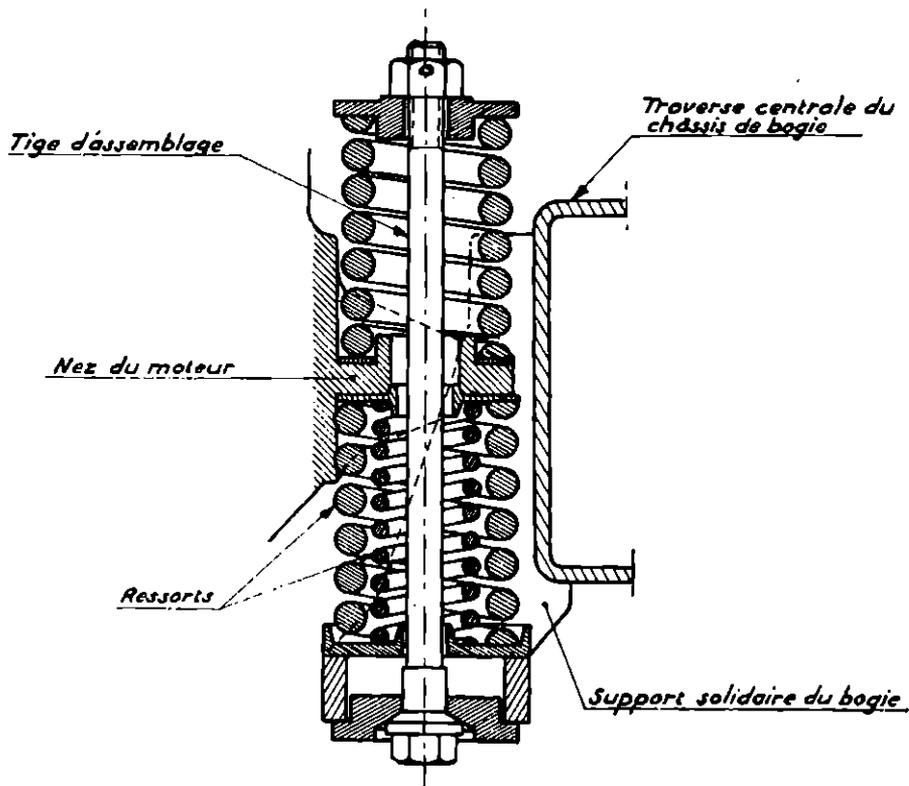


Fig. 134.

## TRANSMISSIONS DES MOTEURS SEMI-SUSPENDUS

Avec les moteurs semi-suspendus, les difficultés de transmission du mouvement sont simplifiées par le fait que l'essieu et l'arbre du moteur qui l'entraîne restent parallèles et constamment à la même distance l'un de l'autre. Il suffit qu'un pignon denté calé sur l'arbre moteur engrène avec une roue dentée solidaire de l'essieu.

L'arbre moteur peut également être muni d'un pignon à chacune de ses extrémités; l'essieu porte alors deux roues dentées.

La roue dentée motrice est calée sur le corps d'essieu. Souvent elle est munie d'un dispositif élastique destiné à assouplir la transmission.

La figure 135 représente schématiquement une roue dentée élastique à silentblocs.

La roue dentée est en deux parties concentriques : le moyeu solidaire de l'essieu (par calage sur une portée) est muni de chapes dans lesquelles viennent s'engager des tenons correspondants de la couronne dentée. Des axes en acier assurent la liaison entre chapes et tenons par l'intermédiaire de silentblocs. Les axes sont maintenus par des anneaux élastiques « circlips ».

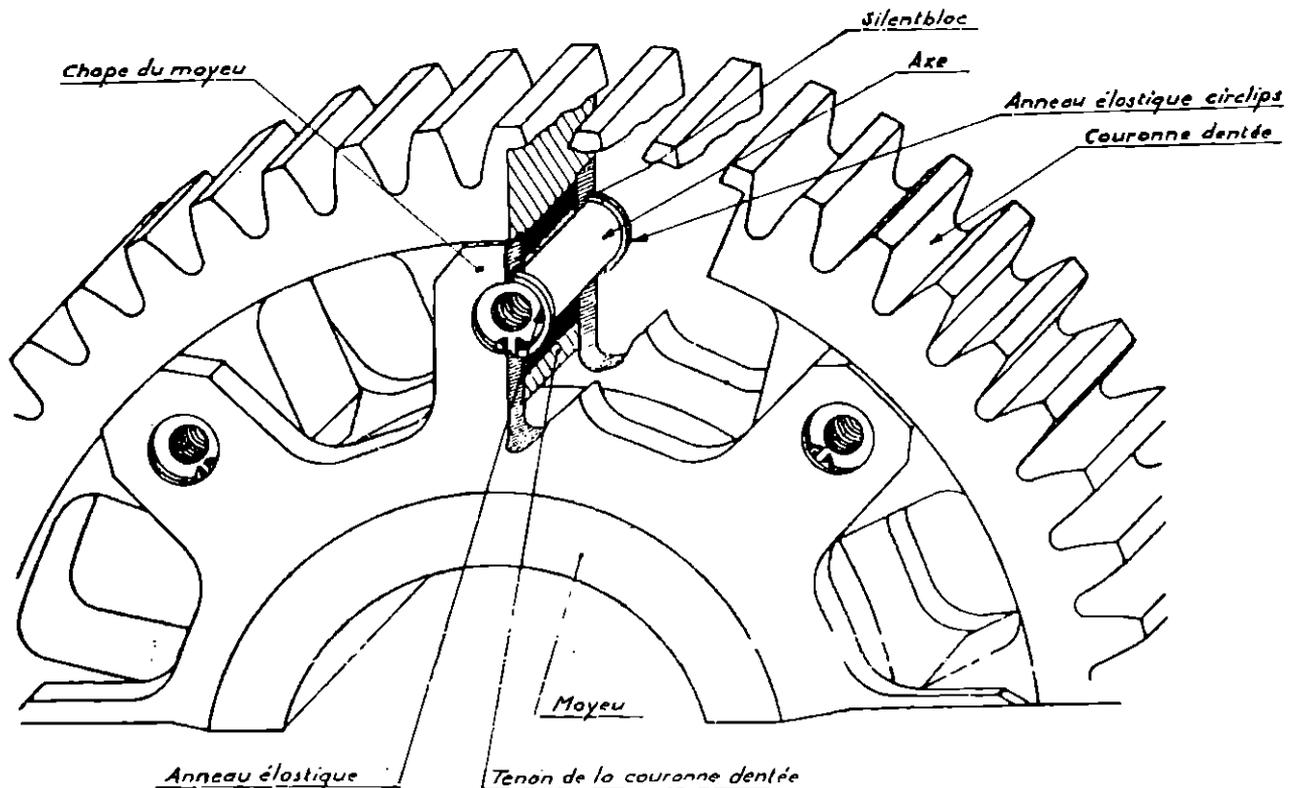


Fig. 135.

Les vibrations du roulement sont absorbées par le caoutchouc et ne peuvent se propager jusqu'au moteur. Inversement, les variations brusques d'effort moteur sont atténuées avant d'arriver à l'essieu.

La figure 136 représente une roue dentée dont le système élastique est constitué par des ressorts en hélice.

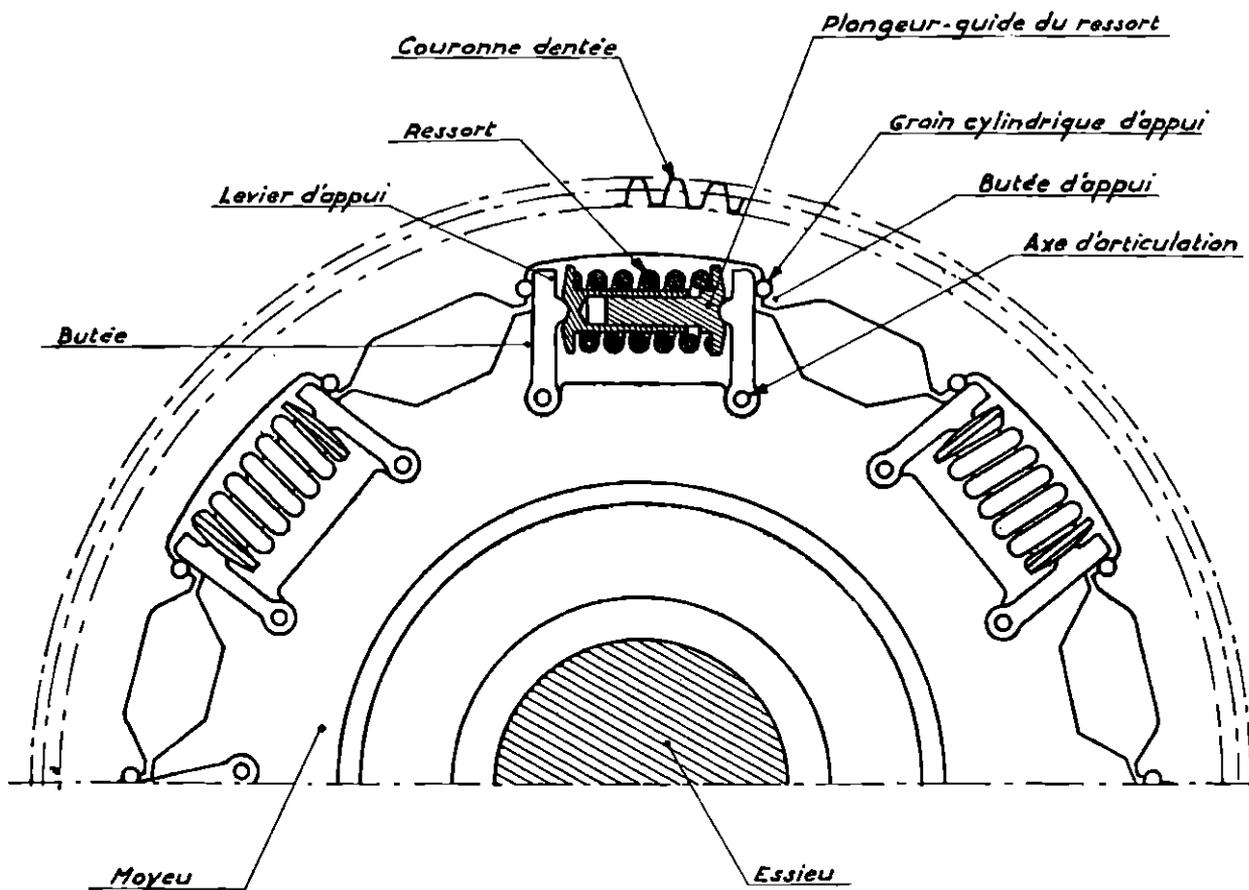


Fig. 136.

La couronne dentée extérieure est munie de butées qui prennent appui sur des leviers pivotants par l'intermédiaire de grains cylindriques. Le moyeu solidaire de l'essieu est muni de butées formant appui au repos des leviers pivotants. Les leviers sont fortement appliqués sur leurs butées et sur les grains d'appui par des ressorts en hélice guidés par des tiges à plongeurs.

L'entraînement dans un sens quelconque de la couronne dentée provoque la compression partielle des ressorts par pivotement des leviers. Cette compression élastique atténue les chocs sur la denture de la roue et facilite le démarrage.

De chaque côté de la roue élastique, un flasque non représenté sur la figure maintient le moyeu et la couronne dans le sens latéral.

Sur certaines locomotives, les roues dentées, au lieu d'être calées sur les corps d'essieux sont rendues solidaires des roues.

Le pignon denté qui entraîne la roue d'essieu est calé en bout d'arbre moteur par emmanchement conique. L'assemblage est complété par une clavette et un écrou freiné.

La figure 137 représente schématiquement la disposition d'un moteur muni d'un entraînement à chacune des extrémités de son arbre.

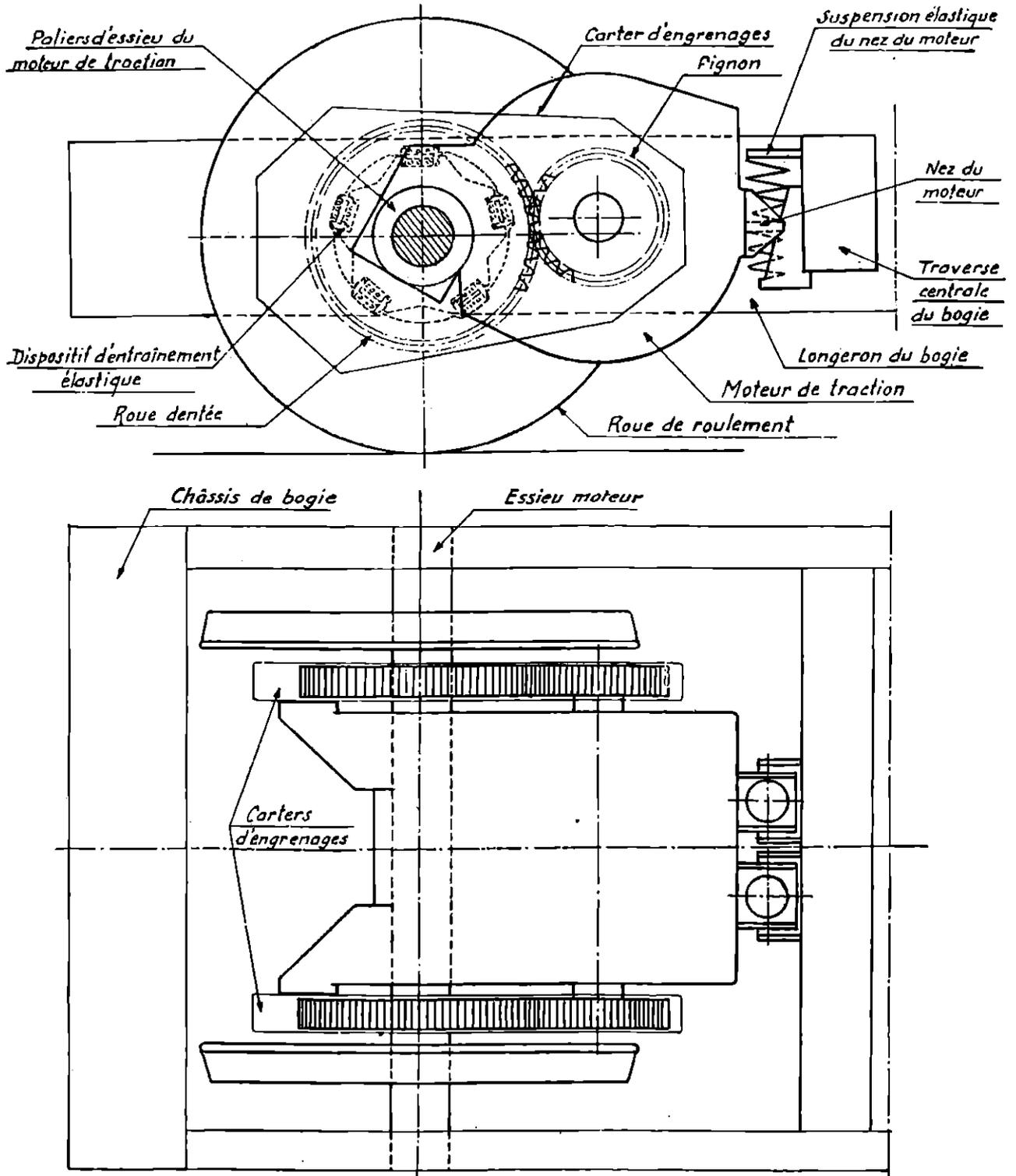


Fig. 137. — MOTEUR DE TRACTION SUSPENDU PAR LE NEZ

Les engrenages (pignons et couronnes dentées) sont généralement à denture droite et large. Ils sont enfermés dans un carter étanche qui constitue un réservoir d'huile. Des joints en cuir ou en feutre assurent l'étanchéité du carter autour de l'essieu et de l'arbre moteur.

La figure 138 montre un moteur semi-suspendu entraînant l'essieu par une seule roue dentée. On y distingue en particulier la partie inférieure du carter de transmission et un palier d'appui du moteur sur le corps d'essieu; l'autre palier a été démonté pour montrer la portée des coussinets sur l'essieu.

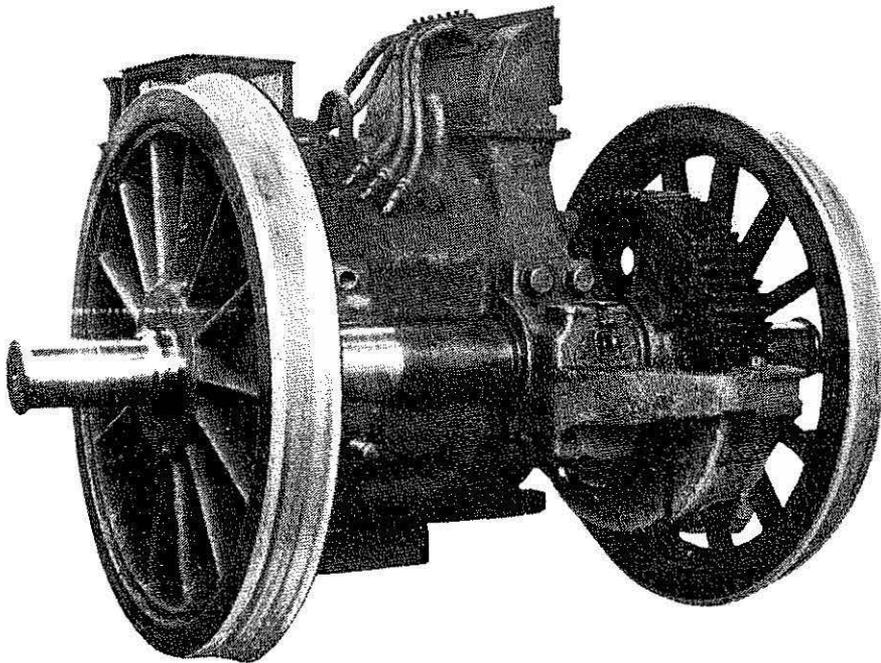


Fig. 138.

Sur certaines locomotives, les pignons des moteurs n'engrènent pas directement avec les roues dentées d'essieux; des engrenages intermédiaires contenus dans un carter constituent un réducteur de vitesse. Ce dispositif est utilisé pour des moteurs à régime de rotation rapide. L'ensemble moteur-carter de transmission d'une installation de ce type est représenté sur la figure 139. A remarquer, en particulier, les dimensions importantes du carter de transmission sur lequel on distingue les chapeaux de paliers du pignon moteur et des engrenages réducteurs. Un palier d'essieu est visible à l'extrémité du carter.

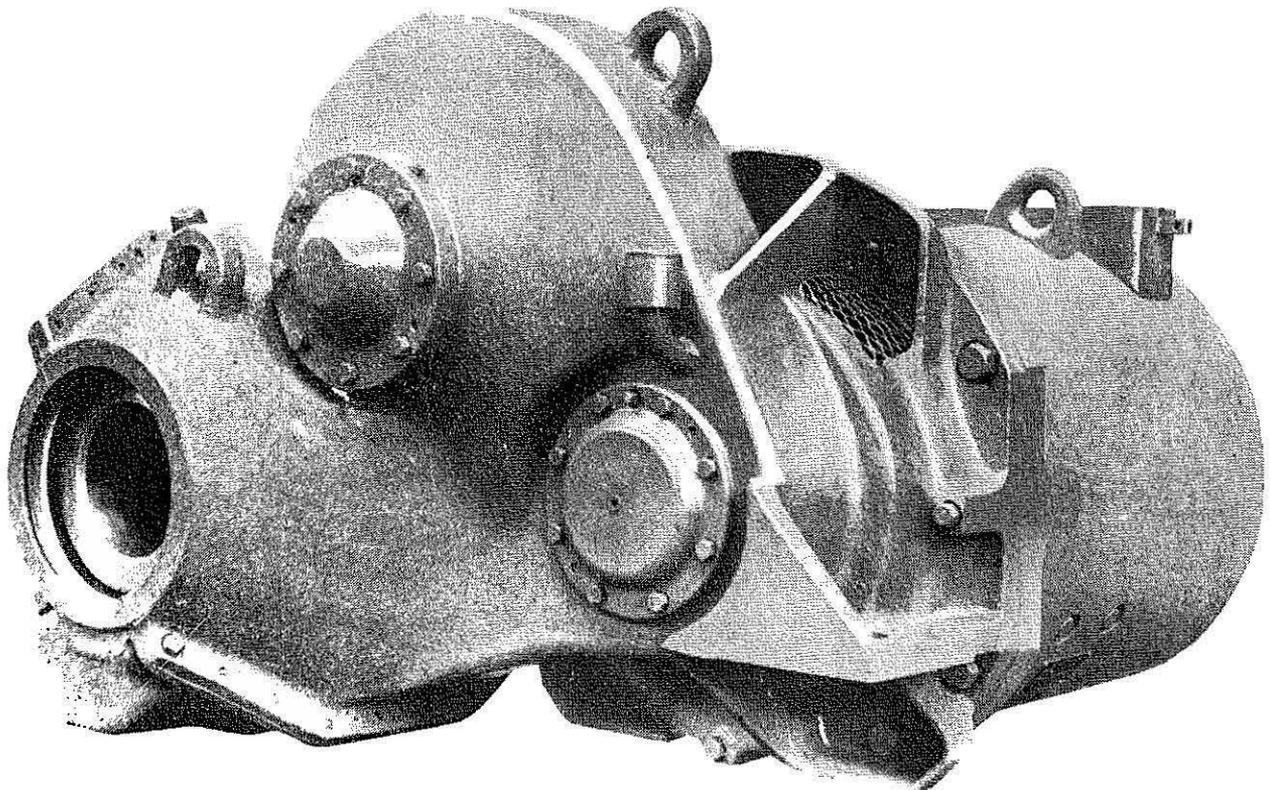


Fig. 139.

29386 ALSTHOM

SOCIÉTÉ NATIONALE DES CHEMINS DE FER FRANÇAIS — LIGNE VALENCIENNES-THONVILLE

Locomotive monophasée, type C C, série 14100, 20 kv, 50 Hz

Puissance : 2500 ch jantes — Vitesse maximum : 60 km/h — Poids : 120 t

Moteur de traction TA, 636 A avec son réducteur

Vue côté réducteur

## TRANSMISSIONS DES MOTEURS ENTIÈREMENT SUSPENDUS

Avec les moteurs entièrement suspendus, les déplacements entre essieux et moteurs sont importants. Pour cette raison les systèmes de transmission doivent être déformables.

Il existe de nombreux dispositifs de transmission; nous n'étudierons que les principaux.

### I. DISPOSITIFS A ARBRE CREUX

Dans ces dispositifs, un arbre creux enlève l'essieu moteur. L'essieu est logé dans l'arbre creux avec un jeu suffisant pour permettre à ces deux pièces de prendre des positions relatives différentes sans friction. La différence entre le diamètre de l'essieu et le diamètre intérieur de l'arbre creux est de l'ordre de 90 mm.

#### DISPOSITIF A ARBRE CREUX ET CARDANS

Une roue motrice est munie de deux manetons d'entraînement disposés suivant un diamètre (fig. 140).

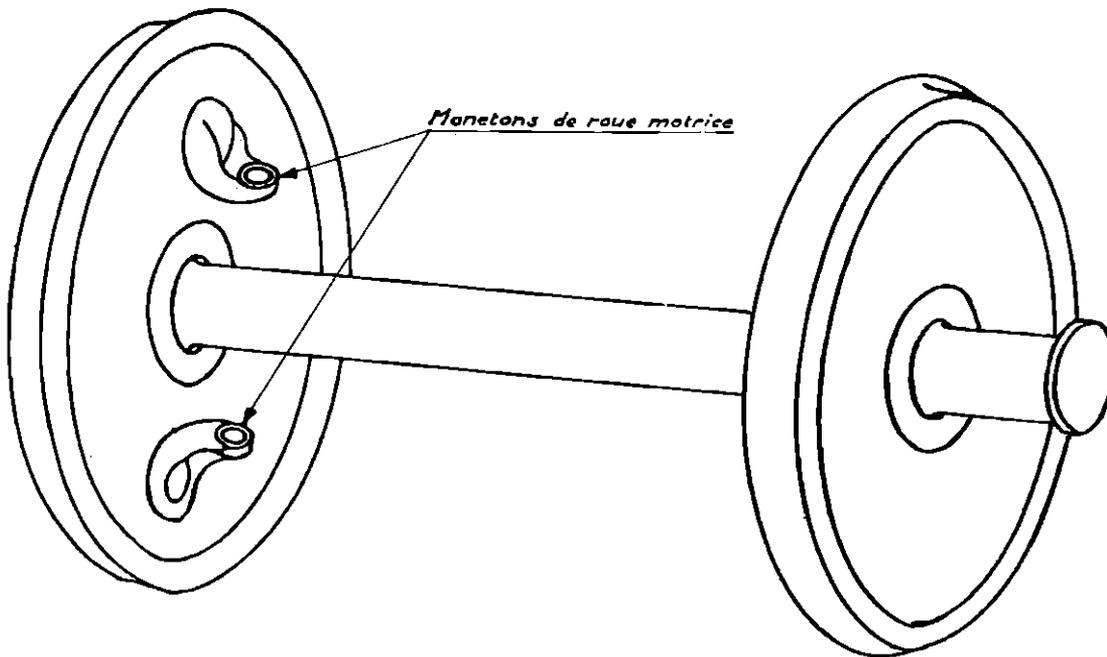


Fig. 140.

Une roue dentée de grand diamètre tourne autour de l'essieu. Elle est supportée par un palier solide du châssis de bogie (fig. 141) et muni de roulements à rouleaux.

La position de ce palier étant fixe par rapport au châssis de bogie, le moteur de traction fixé sur ce même châssis entraîne directement la roue dentée par son pignon.

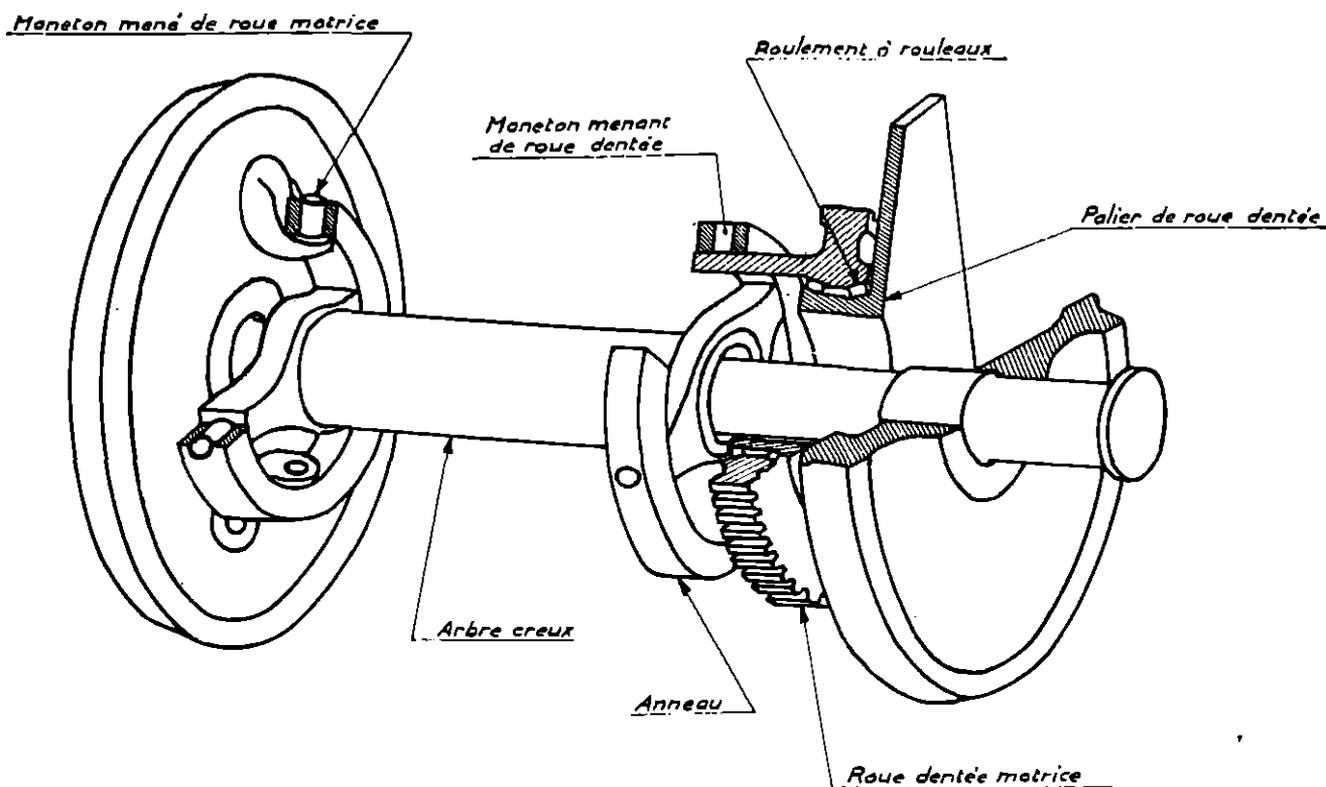


Fig. 141.

L'arbre creux est entraîné par la roue dentée et communique son mouvement à la roue motrice.

Du côté roue dentée, l'entraînement se fait par l'intermédiaire d'un anneau sur lequel quatre manetons opposés deux à deux viennent s'articuler. Deux manetons sont solidaires de la roue dentée; les deux autres sont solidaires de l'arbre creux.

Du côté roue motrice, l'entraînement se fait par l'intermédiaire d'un autre anneau sur lequel quatre manetons viennent également s'articuler.

Deux manetons sont solidaires de l'arbre creux; les deux autres sont ceux de la roue motrice.

Chacun des deux anneaux constitue, avec ses quatre manetons, une articulation à cardan.

Pendant la rotation du moteur, le mouvement de la roue dentée est communiqué à la roue motrice même si l'axe de l'essieu ne coïncide pas avec l'axe de la roue dentée; ceci grâce aux articulations des manetons.

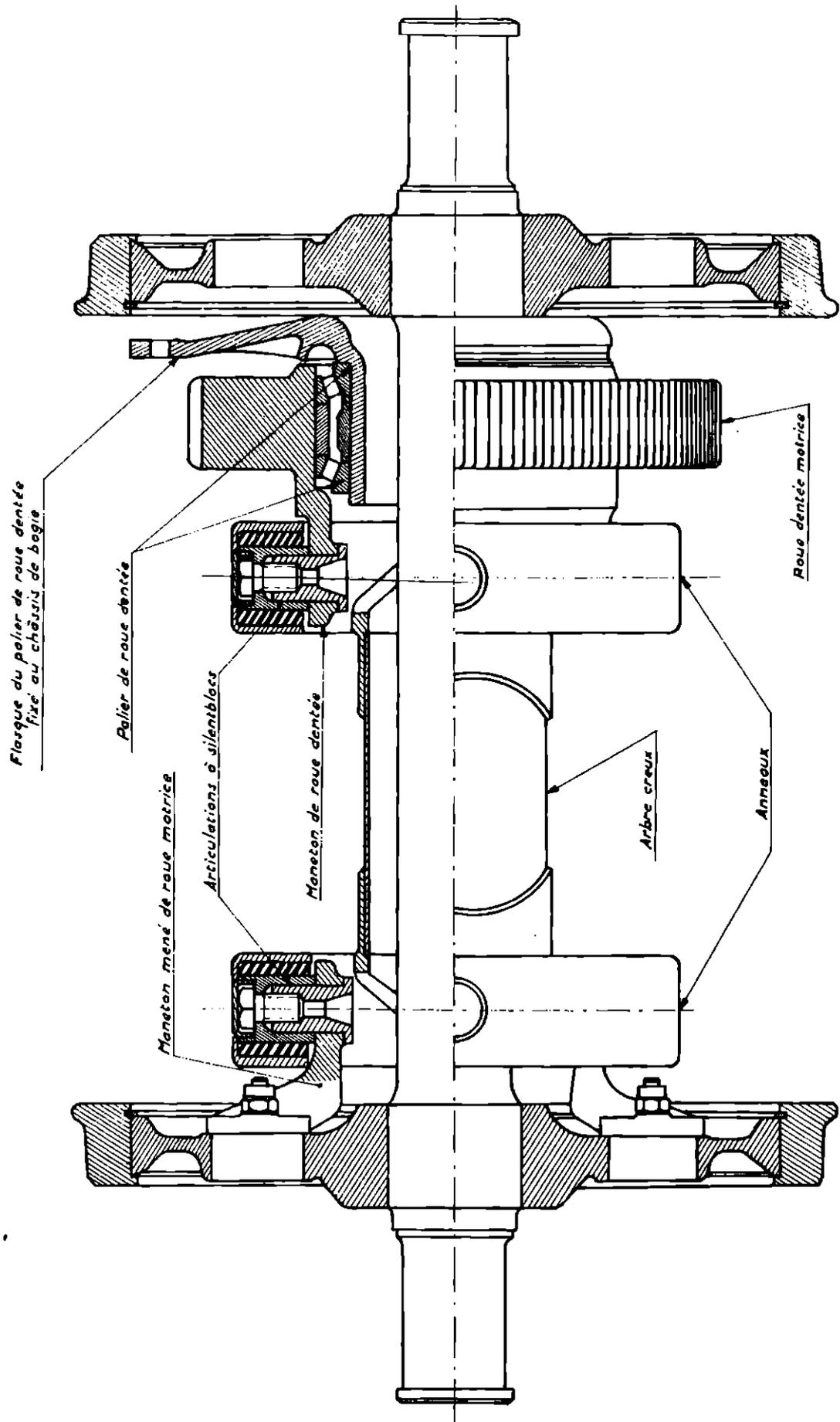


Fig. 142.

La figure 142 représente le même dispositif avec davantage de détails. On y distingue les articulations à silentblocs des manetons sur les anneaux. Les silentblocs, tout en assouplissant la transmission du mouvement, amortissent les déplacements latéraux de l'essieu par rapport au châssis de bogie et tendent à maintenir l'essieu dans l'axe de la voie.

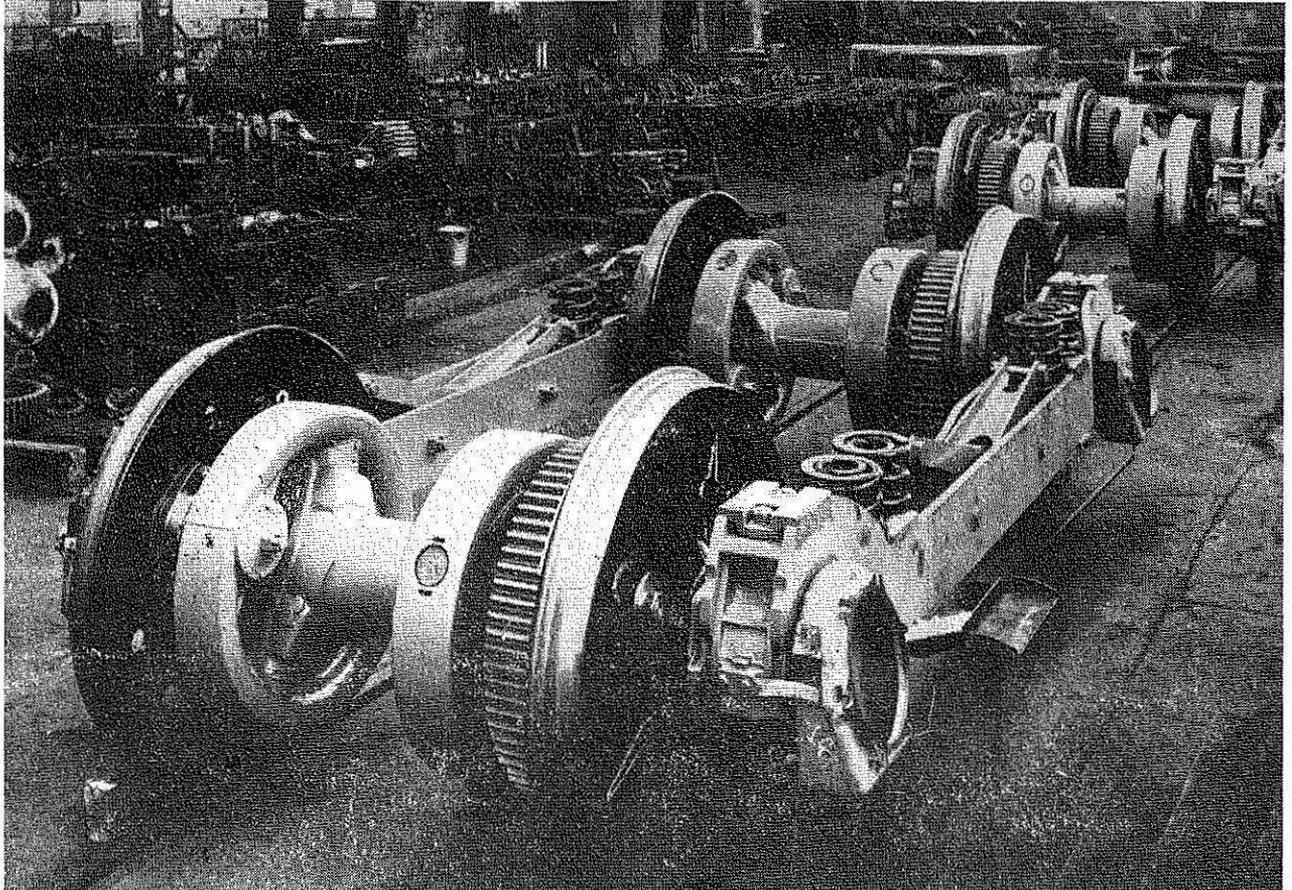


Fig. 143. — Transmission à arbre creux et cardans des essieux d'un bogie de locomotive BB.  
Le châssis de bogie est enlevé.

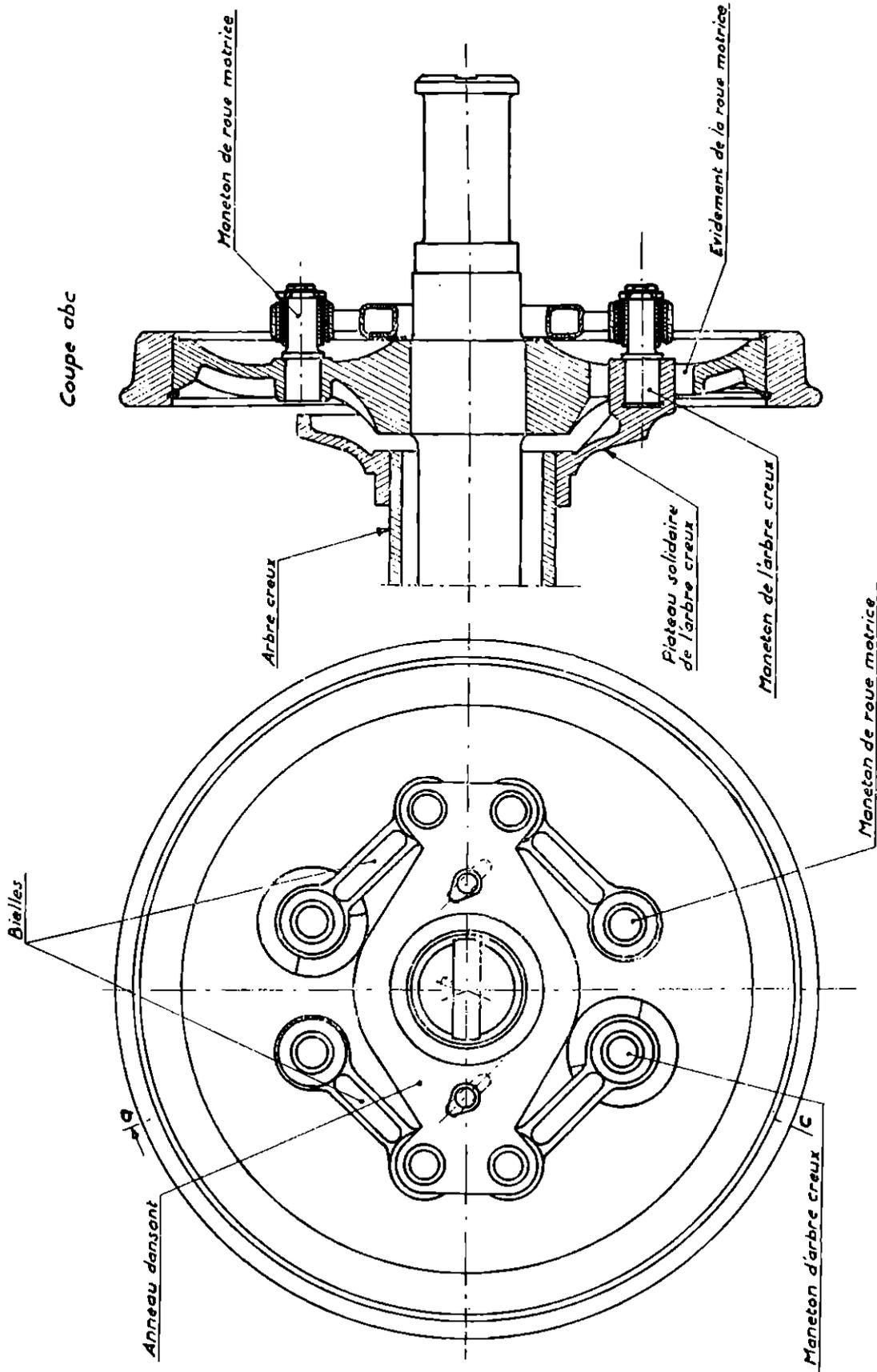


Fig. 144.

#### DISPOSITIF A ARBRE CREUX ET ANNEAU DANSANT

L'arbre creux tourne dans des paliers solidaires de la carcasse du moteur de traction. Ce moteur est fixé sur le châssis de bogie (revoir la figure 132 sur laquelle on distingue les paliers d'arbre creux).

La transmission comprend, à chaque extrémité de l'arbre creux (fig. 144) :

- deux manelons calés sur un plateau solide de l'arbre creux et passant au travers d'évidements pratiqués dans la roue motrice;
- deux manelons calés sur la roue motrice (dans des parties renforcées de la roue);
- un anneau dit « anneau dansant » entourant l'essieu;
- quatre bielles reliant l'anneau dansant aux manelons d'arbre creux d'une part, et aux manelons de roue motrice d'autre part.

Le moteur de traction communique son mouvement de rotation à l'arbre creux par l'intermédiaire de deux roues dentées (non représentées sur la figure).

L'arbre creux entraîne l'anneau dansant par ses manelons et ses bielles; l'anneau dansant entraîne à son tour la roue motrice par les deux bielles reliées aux manelons de roues.

Pendant la rotation, si l'axe de l'essieu se déplace par rapport à l'axe de l'arbre creux, le système de bielles articulées se déforme et continue à assurer la transmission du mouvement dans les mêmes conditions.

Le diamètre de l'évidement de l'anneau est suffisamment grand pour éviter tout contact avec l'essieu même dans les positions les plus défavorables.

Les articulations des bielles sont munies de silentblochs.

Les roues dentées d'entraînement de l'arbre creux sont à système élastique.

La figure 145 donne une vue d'ensemble d'un essieu moteur et de la transmission. L'anneau dansant et ses bielles de liaison sont visibles au premier plan. On distingue à l'arrière une des roues dentées d'entraînement de l'arbre creux.

#### DISPOSITIF A ARBRE CREUX ET POUSSOIRS A RESSORTS

Comme dans le dispositif précédent, l'arbre creux tourne dans des paliers solidaires du moteur de traction et est entraîné par deux roues dentées.

Les roues dentées placées à chaque extrémité de l'arbre creux sont munies de bras d'entraînement (fig. 146). Chaque bras d'entraînement supporte une boîte à ressort contenant un ressort en hélice guidé par deux plongeurs mobiles. Les plongeurs des boîtes à ressorts sont appliqués sur des plaques d'appui fixées sur la roue motrice.

Quand le moteur tourne, il entraîne l'arbre creux par les roues dentées. Les bras d'entraînement communiquent leur mouvement aux boîtes à ressorts. Sous la pression des plongeurs sur les plaques d'appui les ressorts se compriment et assurent une transmission souple du mouvement aux roues motrices.

Les plaques d'appui ont une surface assez grande pour rester en contact avec les plongeurs des boîtes à ressorts, même si les axes de l'arbre creux et de l'essieu se déplacent l'un par rapport à l'autre par suite des oscillations du roulement.



Fig. 145.  
26582 ALSTHOM  
S. N. C. F. — LOCOMOTIVE C C Série 7101)  
Essieu monté

La figure 147 représente une variante du même dispositif avec des blocs de caoutchouc durci au lieu de ressorts et de plongeurs.

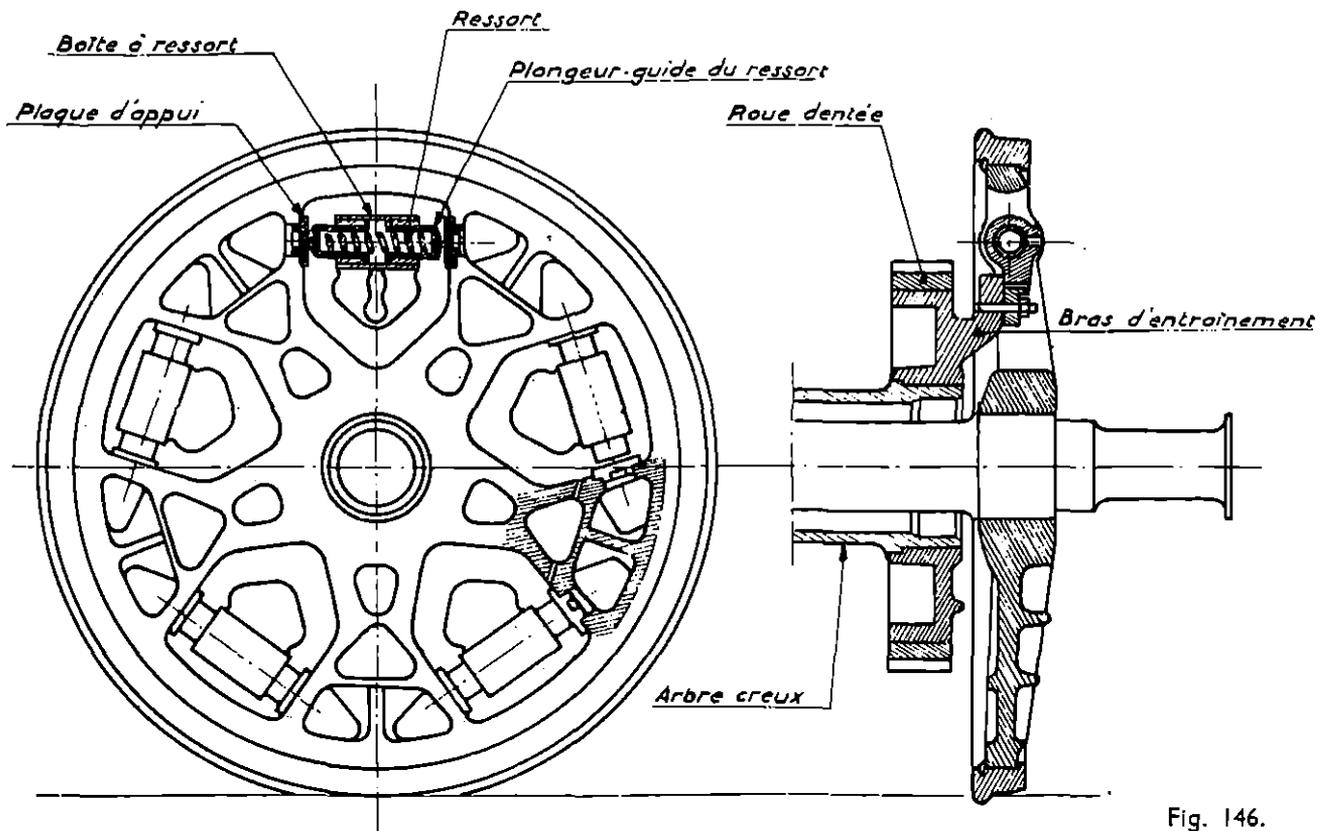


Fig. 146.

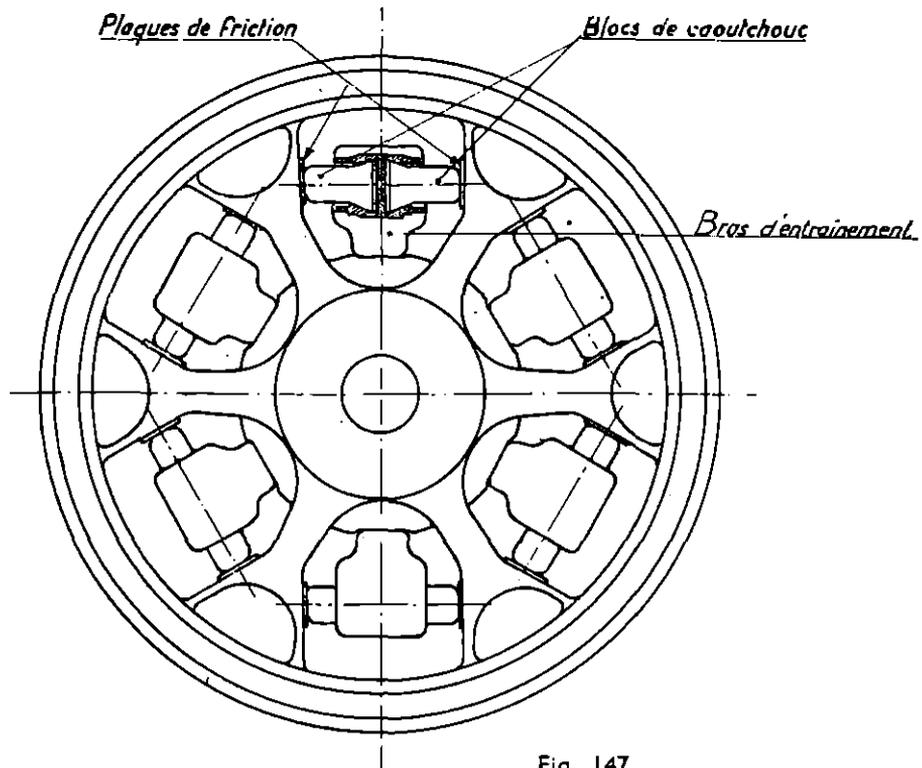


Fig. 147.

## 2. DISPOSITIF A BIELLES (système Büchli)

Ce dispositif est utilisé sur les locomotives à essieux moteurs guidés par le châssis principal (2D2). Chaque essieu moteur est commandé par un moteur de traction placé au-dessus de lui, dans le même plan vertical, et fixé sur le châssis principal de la locomotive (fig. 148).

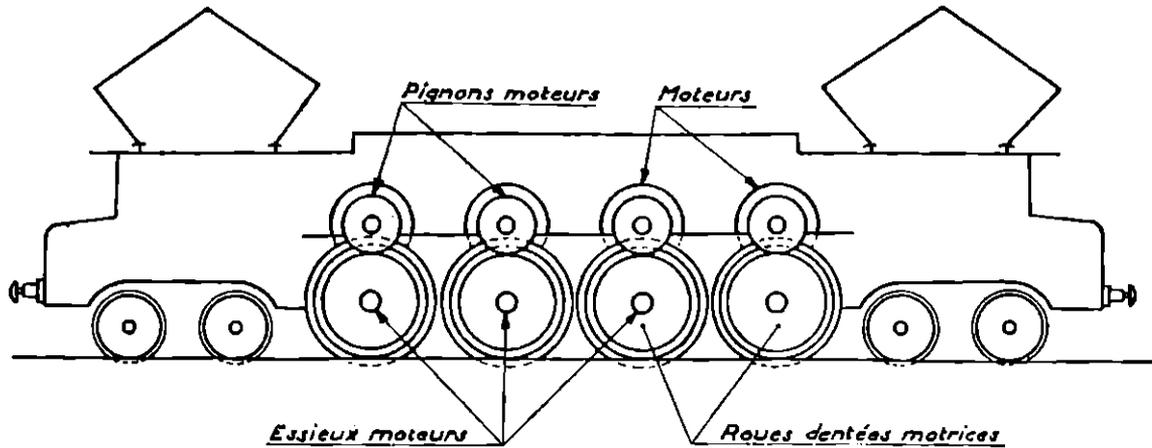


Fig. 148.

L'arbre du moteur est muni à chacune de ses extrémités d'un pignon élastique. Il repose sur quatre paliers; les deux paliers médians appartiennent aux flasques du moteur, les deux paliers extrêmes sont solidaires du châssis (fig. 149).

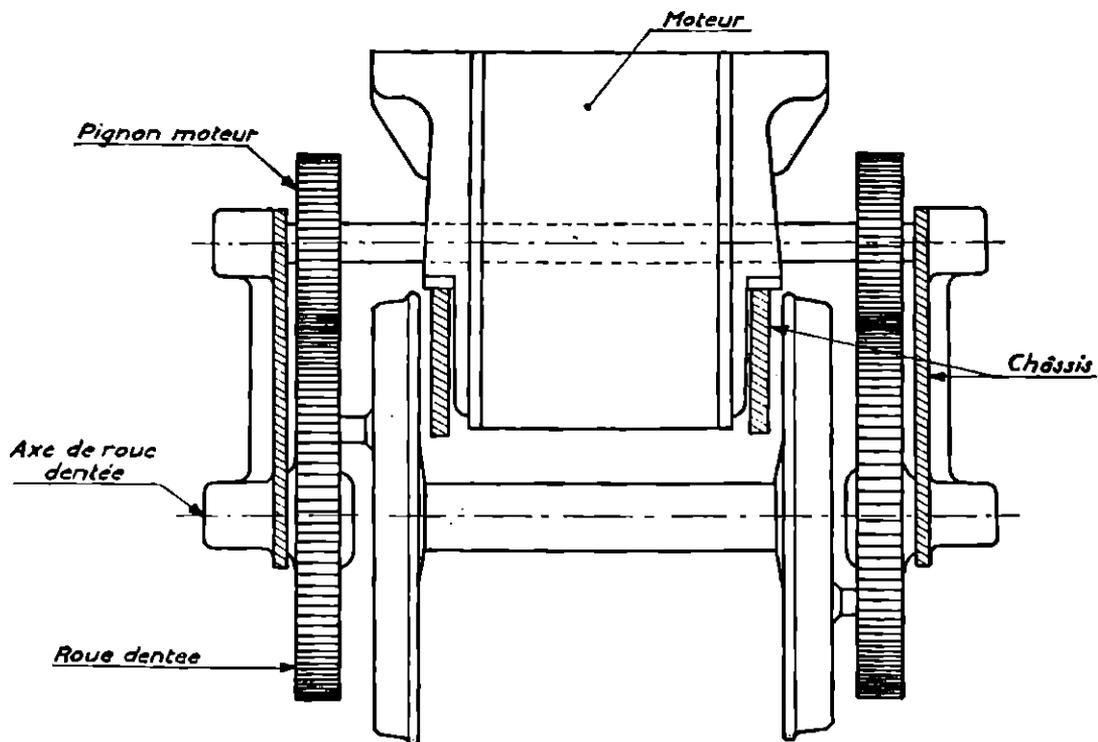


Fig. 149.

Chaque pignon moteur engrène avec une roue dentée de grand diamètre montée sur un axe fixe solidaire du châssis. Les roues dentées sont placées en face de chaque roue et vers l'extérieur de celles-ci.

Les essieux sont à fusées intérieures.

La transmission du mouvement entre roues dentées et roues motrices s'effectue par l'intermédiaire d'un système de bielles articulées placées à l'intérieur de chaque roue dentée et agissant sur des manetons calés sur chaque roue motrice.

Le système de transmission comprend, pour chaque roue (fig. 150) deux bielles dont les extrémités sont articulées l'une sur un maneton solidaire de la roue motrice, l'autre sur un levier à secteur denté mobile autour d'un axe solidaire de la roue dentée. Les deux secteurs dentés engrènent entre eux et peuvent ainsi osciller autour de leur axe sous l'effet des déplacements verticaux de l'essieu.

Les articulations des bielles sur les leviers et sur les manetons de roues sont à rotule sphérique. Les manetons de roue passent par de larges orifices circulaires pratiqués dans la roue dentée.

Le mouvement de rotation de chaque roue dentée est communiqué aux leviers à secteurs qui entraînent à leur tour les bielles et les manetons de roues.

Pendant le mouvement, si l'axe de l'essieu se déplace par rapport à l'axe des roues dentées, les leviers à secteurs dentés pivotent autour de leurs axes et la transmission s'effectue dans les mêmes conditions. Les légers déplacements latéraux des essieux par rapport au châssis principal sont permis grâce aux articulations à rotules des bielles.

Les orifices de passage des manetons dans les roues dentées sont suffisamment grands pour éviter tout contact avec les roues dentées même dans les positions les plus défavorables.

A neuf, l'axe des roues dentées est placé légèrement au-dessus de l'axe de l'essieu afin de tenir compte des affaissements en service du châssis sur les essieux.

Les schémas de la figure 151 montrent les positions successivement occupées par le système de bielles pour un tour de roue lorsque l'axe des roues motrices se trouve déplacé au-dessus de l'axe des roues dentées. Les leviers à secteurs pivotent constamment et les bielles se déplacent par rapport à la roue dentée en suivant les manetons de roue.

Les pignons moteurs et les roues dentées sont préservés des projections de poussières par des carters étanches en tôle fixés au châssis principal (carter non représentés sur les figures 149 et 150). Chaque carter contient une réserve d'huile de graissage et une pompe à huile entraînée par la roue dentée. Les orifices de passage des manetons de roues dans la roue dentée sont masqués par des disques obturateurs mobiles.

Coupe brisée passant par les axes d'articulations

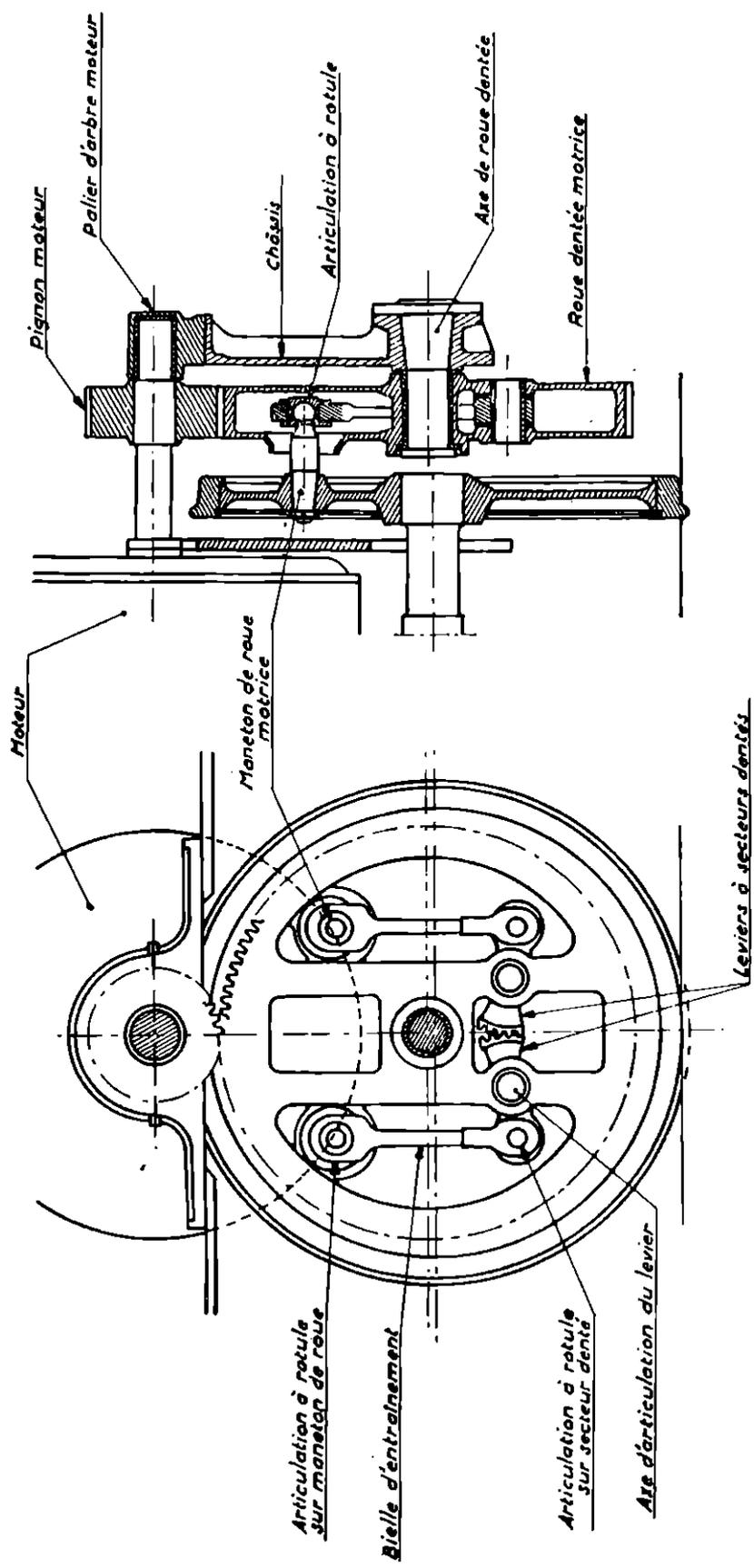


Fig. 150.

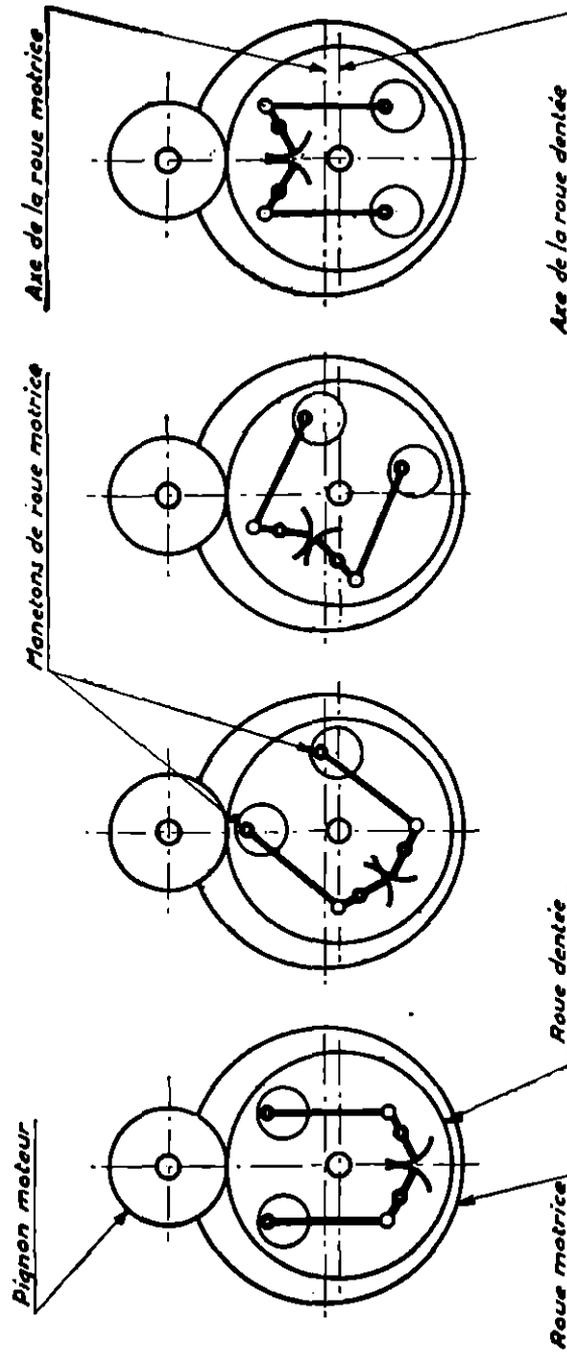


Fig. 151.

La figure 152 donne une vue en perspective d'un essieu monté et de sa transmission.

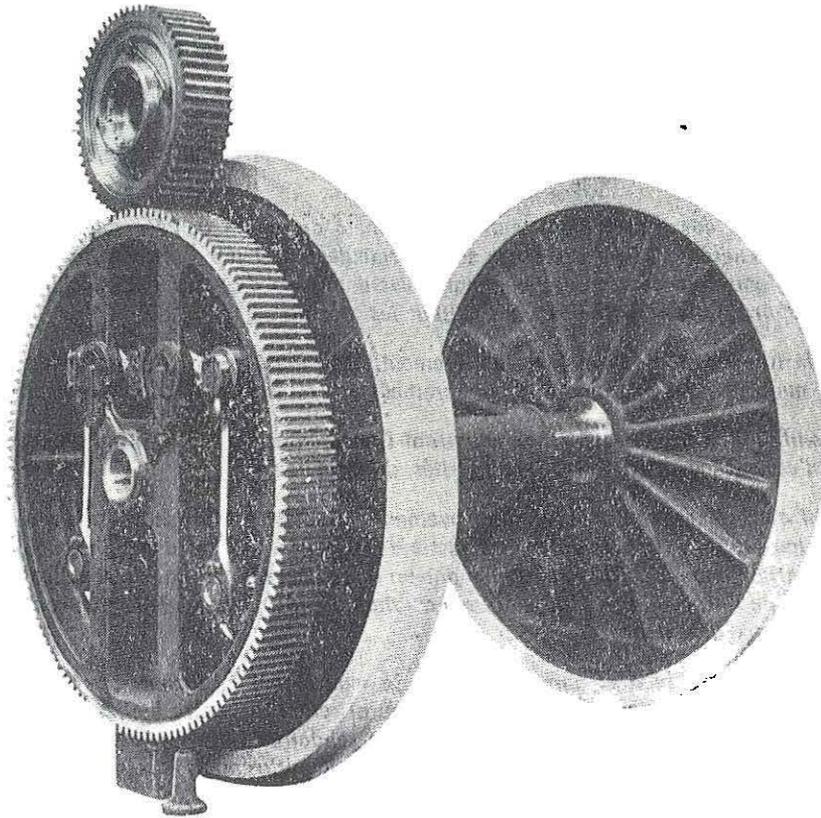


Fig. 152.

## RÉSUMÉ

Les moteurs de traction des locomotives électriques sont essentiellement constitués par :

- une carcasse massive munie intérieurement de bobinages inducteurs et fermée à chacune de ses extrémités par un flasque-palier. L'ensemble carcasse-inducteurs porte le nom de stator;
- une partie mobile, le rotor, portant les bobinages induits. L'arbre du rotor tourne sur les paliers des flasques de la carcasse et supporte à ses extrémités les pignons moteurs d'entraînement de la transmission.

Les moteurs entièrement suspendus sont fixés sur le châssis de caisse ou sur un châssis de bogie.

Les moteurs semi-suspendus reposent, d'une part sur l'essieu qu'ils entraînent et d'autre part sur le châssis de bogie. L'appui sur l'essieu se fait par l'intermédiaire de paliers solidaires de la carcasse. L'appui sur le bogie se fait sur un support solidaire d'une traverse du bogie et par l'intermédiaire d'un système élastique à ressorts ou à silentblochs.

Les moteurs semi-suspendus transmettent leur mouvement à des roues dentées solidaires des essieux et des roues; les pignons moteurs engrènent avec ces roues soit directement, soit par l'intermédiaire d'engrenages réducteurs. Les roues dentées d'entraînement des essieux sont souvent munies d'un système élastique à silentblochs ou à ressorts destiné à assouplir la transmission et à faciliter les démarrages.

Les dispositifs de transmission des moteurs entièrement suspendus doivent permettre les déplacements entre essieux et arbres des moteurs, tout en assurant régulièrement la transmission du mouvement.

Plusieurs dispositifs utilisent un arbre creux entourant l'essieu avec un jeu suffisant pour permettre les déplacements normaux de l'essieu sous l'effet des irrégularités du roulement.

Dans le dispositif à arbre creux et cardans, le mouvement du moteur est transmis à une roue de grand diamètre tournant autour de l'essieu sur un palier solidaire du châssis de bogie. De la roue dentée, le mouvement est transmis à l'arbre creux par une articulation à cardan constituée par un anneau et quatre manetons articulés solidaires deux à deux de la roue dentée et de l'arbre creux. Une autre articulation à cardan transmet le mouvement de l'arbre creux à deux manetons solidaires d'une roue.

Dans le dispositif à arbre creux et anneau dansant, le mouvement de l'arbre creux est transmis à chaque roue motrice par l'intermédiaire d'un anneau entourant l'essieu et relié par quatre bielles, d'une part à deux manetons solidaires de l'arbre creux et d'autre part à deux manetons solidaires de la roue. Le système anneau-bielles est déformable et permet les libres déplacements verticaux de l'essieu par rapport au châssis.

Dans le dispositif à arbre creux et boîtes à ressorts, le mouvement de l'arbre creux est transmis à chaque roue par des bras munis de boîtes à ressorts qui assurent une poussée souple sur des plaques d'appui solidaires de la roue. Pendant les déplacements de l'essieu par rapport au châssis, les points d'appui des boîtes à ressorts se déplacent sur les plaques d'appui tout en continuant à assurer la transmission du mouvement. Une variante du même dispositif utilise des blocs de caoutchouc au lieu de boîtes à ressorts.

Le dispositif à bielles système Büchli est utilisé sur les locomotives à essieux moteurs guidés par le châssis principal. Chaque essieu est commandé par un moteur placé au-dessus de lui, sur le châssis principal.

Les moteurs sont munis d'un pignon élastique à chaque extrémité de leurs arbres. Chaque pignon entraîne une roue dentée de grand diamètre montée sur un axe fixe solidaire du châssis. La roue dentée est placée en face de la roue motrice qu'elle doit entraîner. La transmission du mouvement s'effectue par l'intermédiaire de bielles articulées d'une part sur les manetons solidaires de la roue et d'autre part sur des leviers à secteurs articulés sur la roue dentée. Les deux secteurs de la roue dentée engrènent entre eux. Pendant le mouvement, si l'axe de l'essieu se déplace par rapport à l'axe de la roue dentée, les leviers à secteurs pivotent, le système des bielles se déforme et continue à assurer la transmission du mouvement.

Les articulations des bielles sont montées sur rotules et permettent ainsi les déplacements latéraux de l'essieu par rapport au châssis.

## QUESTIONNAIRE

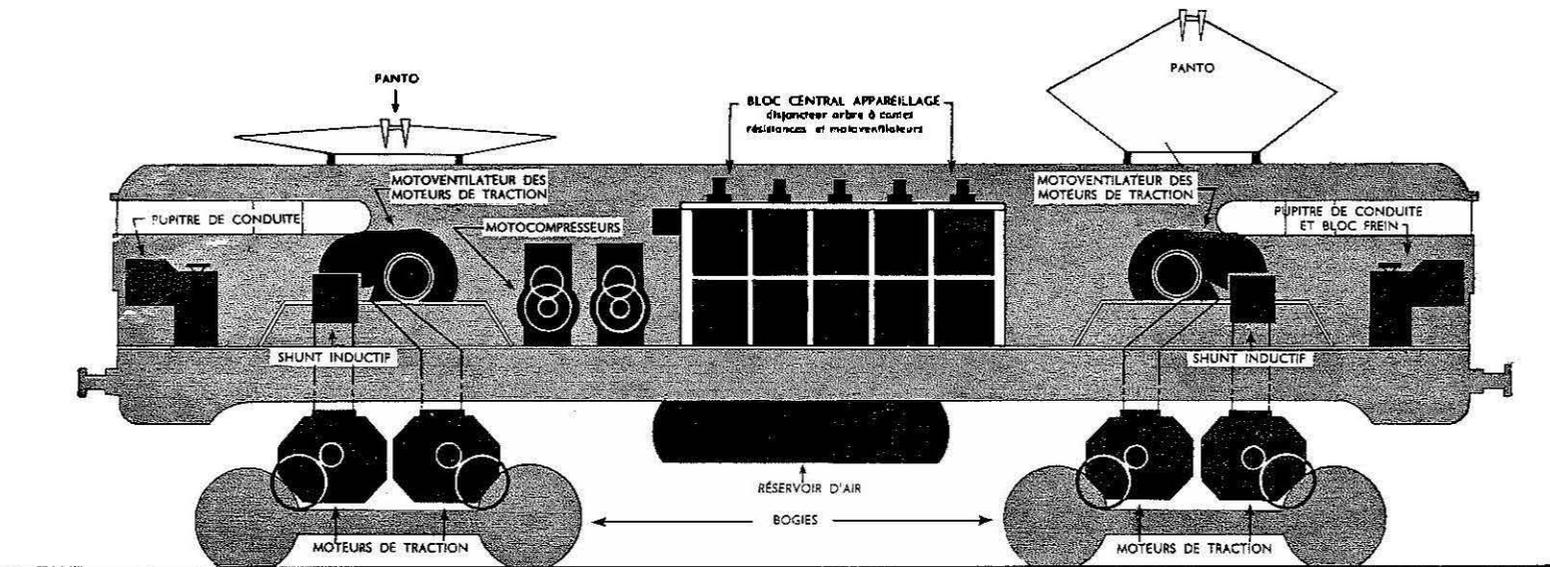
---

### **MOTEURS. ENTRAINEMENT DES ESSIEUX**

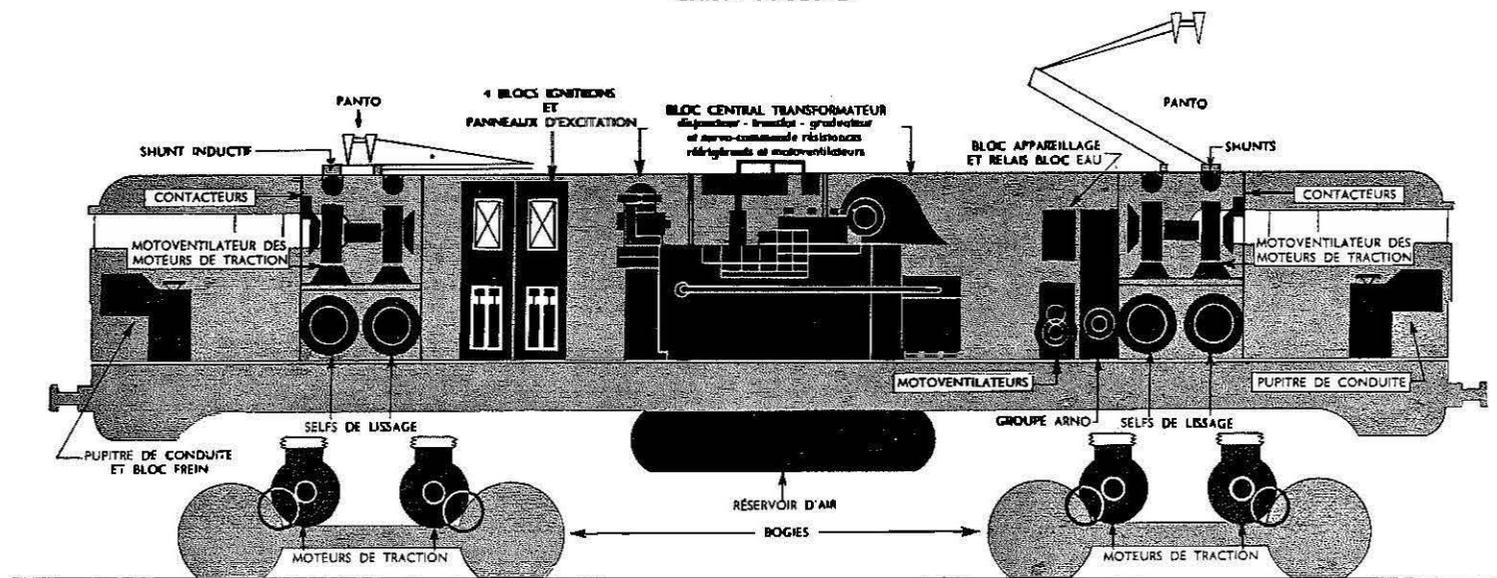
- 1° *Décrivez succinctement un moteur de traction.*
- 2° *Quels sont les différents modes de fixation des moteurs sur les locomotives ?*
- 3° *Qu'est-ce qu'une roue dentée élastique ?*
- 4° *Décrivez le dispositif de transmission des moteurs semi-suspendus.*
- 5° *Pourquoi les dispositifs de transmission des moteurs entièrement suspendus doivent-ils être déformables ?*
- 6° *Qu'est-ce qu'un arbre creux ?*
- 7° *Enumérez les organes d'une transmission à arbre creux et cardans.*
- 8° *Dans le dispositif à arbre creux et anneau dansant, comment l'arbre creux entraîne-t-il les roues ?*
- 9° *Dans le système de transmission Büchli, quels sont les organes reliant les roues dentées et les roues motrices ?*



**ORGANES ÉLECTRIQUES  
DES  
LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES**



**BB 9.200**  
CAISSE SOULEVÉE



**BB 16.000**  
CAISSE SOULEVÉE

Schéma comparatif de montage de deux locomotives électriques : une machine à courant continu (BB 9.200) et une machine à courant alternatif monophasé 50 Hz (BB 16.000)

# PREMIÈRES NOTIONS SUR L'ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE DESCRIPTION ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES MOTEURS

---

GÉNÉRALITÉS SUR LES CIRCUITS ÉLECTRIQUES  
DESCRIPTION DES MOTEURS DE TRACTION  
RAPPEL DE NOTIONS D'ÉLECTRICITÉ  
PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES MOTEURS  
FORCE CONTRE-ÉLECTROMOTRICE DES MOTEURS  
COMMUTATION  
DÉMARRAGE DES MOTEURS

## GÉNÉRALITÉS SUR LES CIRCUITS ÉLECTRIQUES

Les appareils et conducteurs constituant l'équipement électrique des locomotives électriques se répartissent sur chaque engin en trois installations :

- 1° Le circuit de traction;
- 2° Les circuits de commande, de contrôle et de protection;
- 3° Les circuits des auxiliaires.

Bien que pouvant être considérées distinctement ces trois installations sont étroitement liées dans le fonctionnement d'ensemble de chaque engin.

**1. LE CIRCUIT DE TRACTION** (ou circuit de puissance) aboutissant aux moteurs de traction a pour rôle de distribuer à ces moteurs le courant capté sur le fil de contact par les pantographes.

C'est un circuit à haute tension dont les conducteurs sont à forte section de cuivre en raison des intensités de courant importantes qui y circulent. Les appareils placés dans ce circuit ont pour rôle d'interrompre ou de faire varier la distribution du courant afin de permettre les différents régimes de marche des moteurs de traction.

En raison des dangers présentés par la haute tension, l'accès aux appareils du circuit de traction est interdit lorsque ces appareils sont sous tension (armoiries et compartiments verrouillés, capots isolants...).

Les câbles conducteurs du circuit sont munis d'une épaisse gaine isolante.

**2. LES CIRCUITS DE COMMANDE, CONTRÔLE ET PROTECTION**, souvent désignés sous le seul nom de « circuits de commande » sont constitués d'organes qui ont pour rôle :

- de permettre la manœuvre à distance des appareils du circuit de traction;

- de contrôler l'exécution de la manœuvre de ces appareils;
- de protéger automatiquement toute l'installation électrique de la locomotive par coupure du courant, en cas d'anomalie susceptible d'entraîner des avaries;
- de permettre à tout instant la surveillance de la bonne marche de la locomotive.

Les appareils et conducteurs qui constituent ces circuits sont pour la plupart alimentés en basse tension (courant continu fourni par une batterie d'accumulateurs et une petite génératrice placée à bord de la locomotive). Les intensités de courant qui les parcourent sont faibles.

**3. LES CIRCUITS DES AUXILIAIRES** comprennent les appareils auxiliaires nécessités par la marche de la locomotive et du train qu'elle remorque :

- moteur de compresseur d'air pour le frein;
- moteurs des ventilateurs pour le refroidissement des moteurs de traction;
- moteurs des diverses pompes pour circulation d'eau ou d'huile;
- appareils de chauffage de la locomotive et des voitures remorquées;
- groupes moteurs-générateurs;
- phares, feux de signalisation, appareils enregistreurs, éclairage...

Suivant leur constitution, ces appareils sont alimentés :

- soit en haute tension (tension prise à la ligne aérienne);
- soit en moyenne tension (prélèvement ou transformation de la haute tension);
- soit en basse tension (tension de la batterie d'accumulateurs).

Dans les circuits de ces appareils sont intercalés des organes dont le rôle est d'assurer la distribution du courant. Ces organes (interrupteurs, contacteurs...) sont manœuvrés soit directement, soit à distance par l'intermédiaire du circuit de commande.

\*  
\*\*

Ce bref aperçu de l'installation électrique des locomotives a pu vous donner une vue d'ensemble, préliminaire à l'étude détaillée des principaux organes et de leurs circuits.

Il apparaît déjà que l'ensemble de l'installation est assez complexe. Dans ce qui va suivre nous allons étudier chaque organe important en examinant successivement sa constitution, son principe de fonctionnement et son rôle dans la locomotive.

Le peu de temps dont nous disposons pour l'étude de cette importante partie du cours de technologie ne nous permettra pas d'étudier tous les dispositifs électriques et surtout les nombreuses variantes de construction existant sur les différents types d'engins. Ce n'est qu'après plusieurs années de pratique et à condition d'avoir toujours le désir de connaître davantage qu'il vous sera possible d'avoir une bonne connaissance du fonctionnement des diverses locomotives électriques. Nous nous bornerons donc à l'étude des principes essentiels qui, une fois bien compris, constitueront pour vous un ensemble de connaissances déjà appréciable.

Examinons d'abord les caractéristiques des moteurs de traction, organes les plus importants des locomotives.

### DESCRIPTION DES MOTEURS DE TRACTION

Ainsi que nous l'avons vu au cours de l'étude des parties mécaniques, la carcasse de chaque moteur est munie de bobinages électriques.

Ces bobinages, qui portent le nom d'inducteurs, sont répartis sur la surface intérieure de la carcasse dont ils sont solidaires (fig. 153).

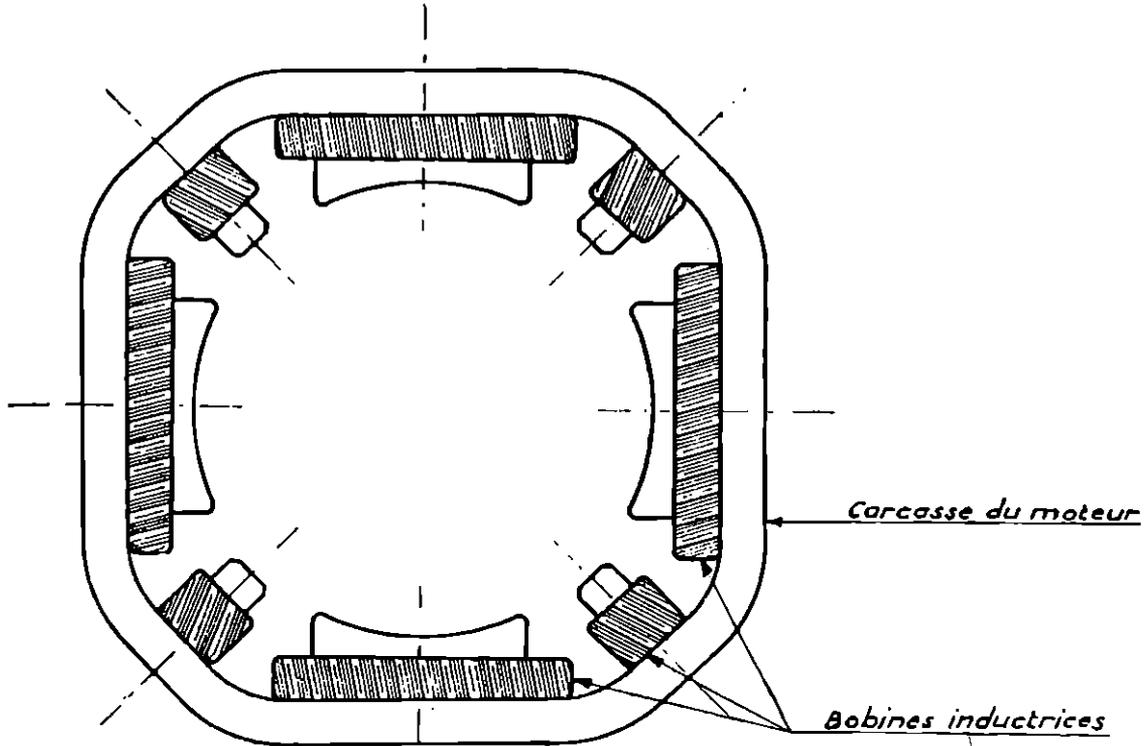


Fig. 153.

Ce sont des bobines plates constituées par des enroulements de fil de cuivre dont les spires sont soigneusement isolées les unes des autres.

Parmi les matières utilisées pour l'isolement électrique des bobines citons le mica, l'amiante, le papier imprégné, la toile en rubans.

Avant montage de la carcasse, les bobines sont imprégnées d'un vernis qui, tout en augmentant les qualités des isolants, leur procure une bonne résistance mécanique, calorifique et chimique.

Les conducteurs en cuivre des bobines sont souvent à section rectangulaire ainsi que l'indique la fig. 154. Des cosses permettent le branchement des câbles d'alimentation.

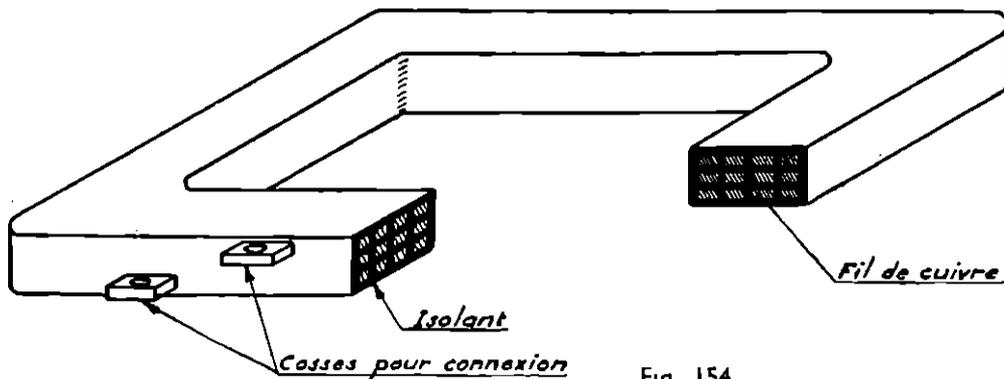


Fig. 154.

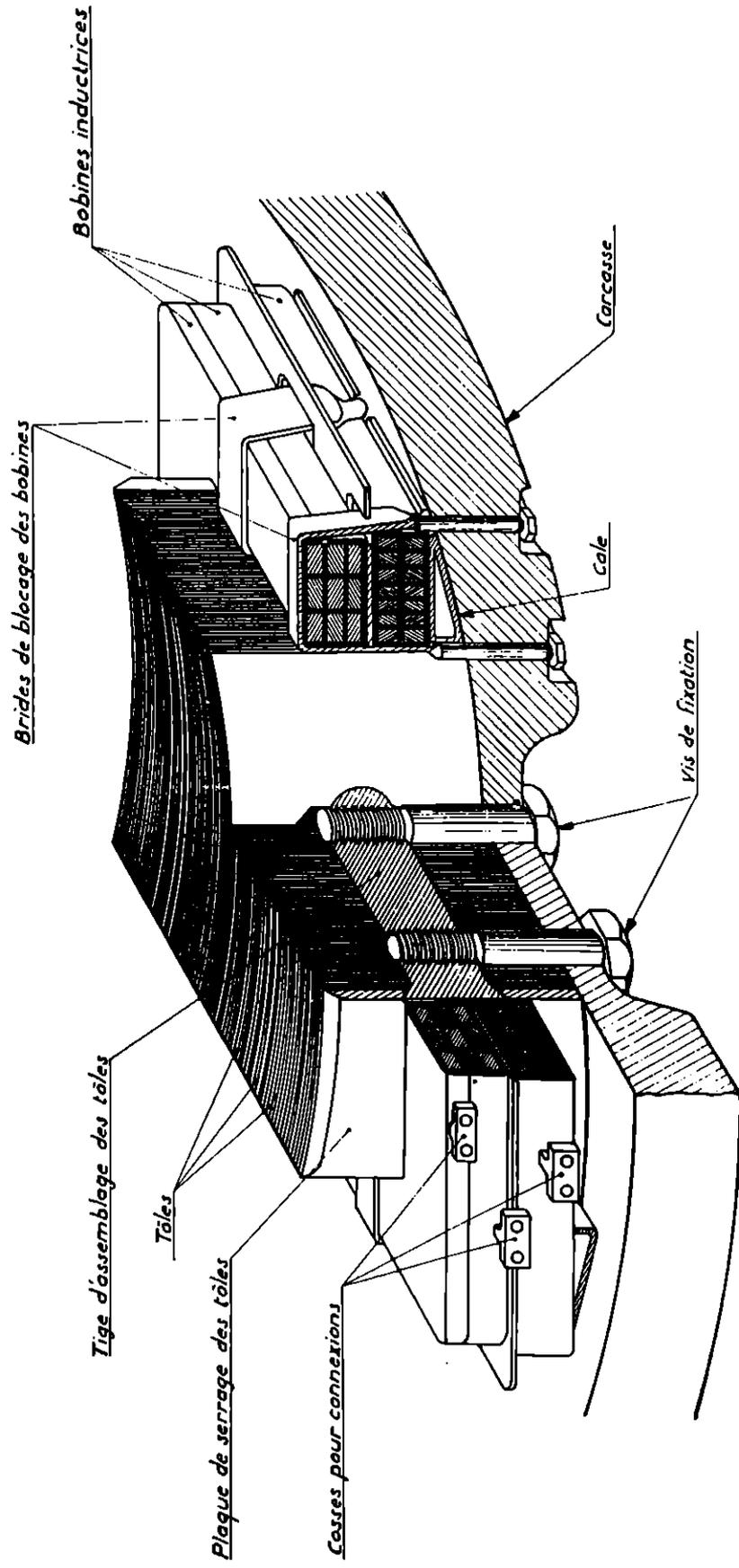


Fig. 155.

Dans la carcasse les bobines inductrices prennent place autour de masses métalliques : les pôles inducteurs (fig. 155). Les pôles inducteurs sont eux-mêmes fixés à l'intérieur de la carcasse. Ils sont « feuilletés », c'est-à-dire constitués par un empilage de tôles de faible épaisseur isolées entre elles par une mince couche de papier ou d'émail et assemblées par des tiges rivées. Ces tiges servent par ailleurs à la fixation par vis des pôles à la carcasse.

Les bobines inductrices de chaque pôle sont appliquées contre la carcasse; dans le dispositif représenté sur la figure 155, elles y sont maintenues par des attaches vissées.

Les pôles ainsi constitués sont appelés « pôles principaux ».

Les carcasses des moteurs de traction sont souvent munies :

— soit de 4 pôles principaux; ce sont alors des moteurs « tétrapolaires »;

— soit de 6 pôles principaux; ce sont des moteurs « hexapolaires ».

On rencontre toutefois des moteurs munis d'un plus grand nombre de pôles principaux.

Ces pôles sont uniformément répartis sur la carcasse. Ils se font toujours face deux à deux suivant un diamètre.

Entre les pôles principaux sont disposés des pôles de plus petites dimensions également munis de bobines (voir fig. 153). Ils portent le nom de « pôles auxiliaires ». Les pôles auxiliaires ne sont pas feuilletés.

Sur le rotor (ou induit) on distingue (fig. 156, p. 192) :

— un empilage de tôles circulaires minces isolées les unes des autres par du papier ou de l'émail. Ces tôles forment l'armature magnétique de l'induit. La périphérie de l'armature est creusée de rainures longitudinales ou encoches. Les enroulements électriques de l'induit sont logés dans ces encoches;

— un manchon sur lequel l'armature magnétique est fixée. L'assemblage effectué à la presse est complété par un clavetage. Dans le sens longitudinal l'armature est maintenue entre les flasques du manchon. Afin d'augmenter la rigidité les tôles d'extrémités de l'armature sont prévues plus épaisses;

— un arbre, l'arbre du moteur, qui reçoit l'ensemble manchon-armature. L'assemblage est effectué par emmanchement à la presse et est complété par un clavetage;

— un collecteur constitué par une succession de lames en cuivre isolées les unes des autres par des lames de mica et disposées de manière à former un cylindre concentrique à l'arbre du moteur. Les lames sont montées sur un manchon et sont maintenues entre deux cônes de serrage. Des feuilles de mica sont interposées entre les lames et les cônes de serrage.

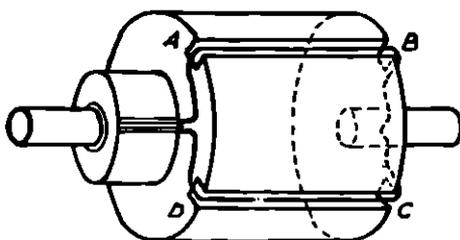


Fig. 157.

L'enroulement induit est constitué par des conducteurs en cuivre disposés dans les encoches d'armature et reliés aux lames du collecteur par soudure.

Partant d'une lame de collecteur et suivant un conducteur induit (fig. 157), on passe dans une encoche dans le sens AB, puis on rejoint une autre encoche que l'on suit dans le sens CD pour venir aboutir à la lame voisine du collecteur.

Un tel conducteur constitue une spire. Pratiquement, le même conducteur fait plusieurs fois le trajet ABCD avant d'aboutir au collecteur; il constitue alors une section ou bobine d'induit.

Les encoches telles que AB et CD qu'un conducteur suit successivement sont choisies de manière à pouvoir se trouver simultanément sous deux pôles inducteurs principaux voisins du stator.

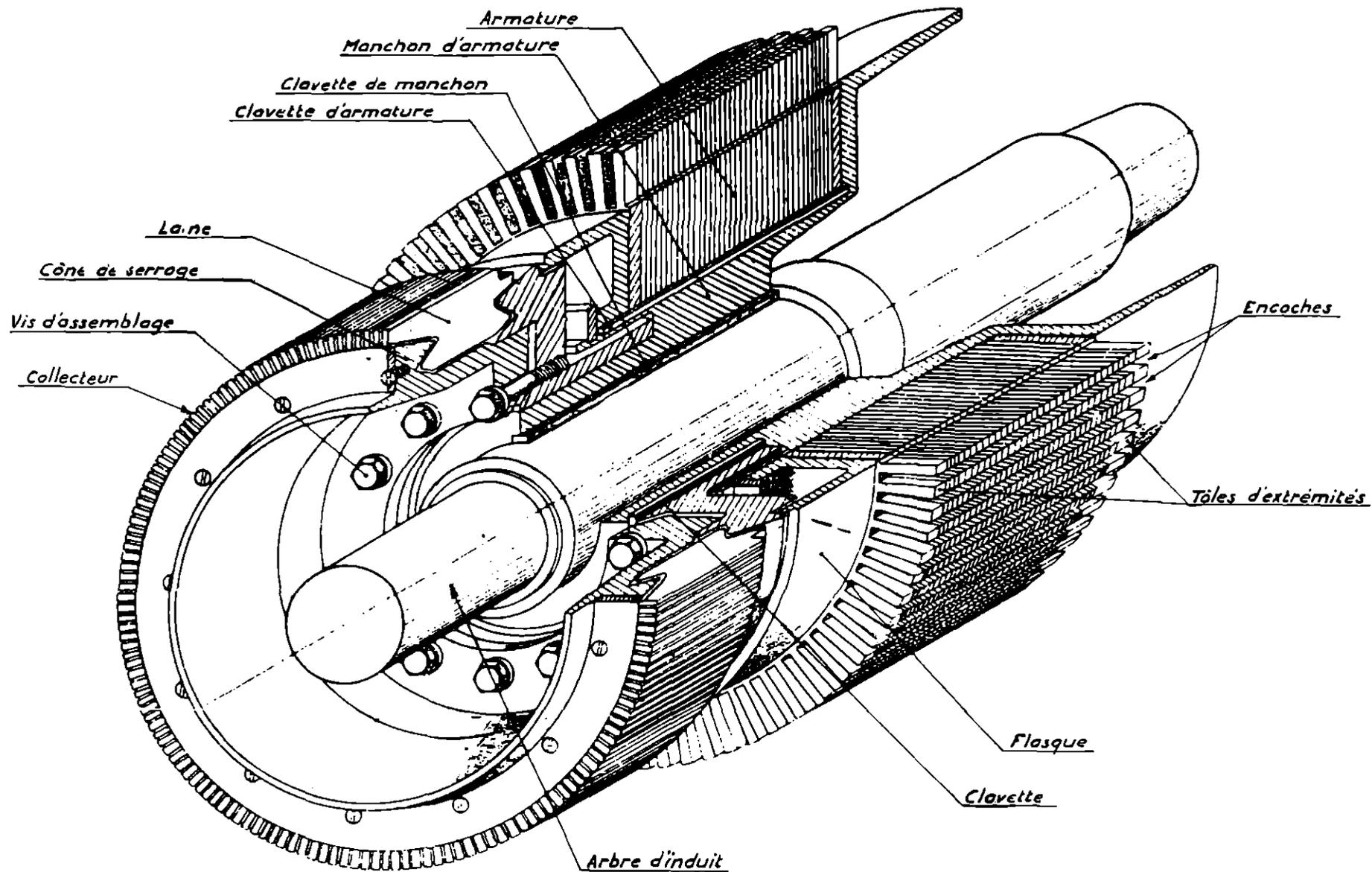


Fig. 156.

Dans les encoches, les conducteurs sont isolés entre eux et par rapport à l'armature d'induit. La figure 158 montre un exemple de disposition des conducteurs dans une encoche.

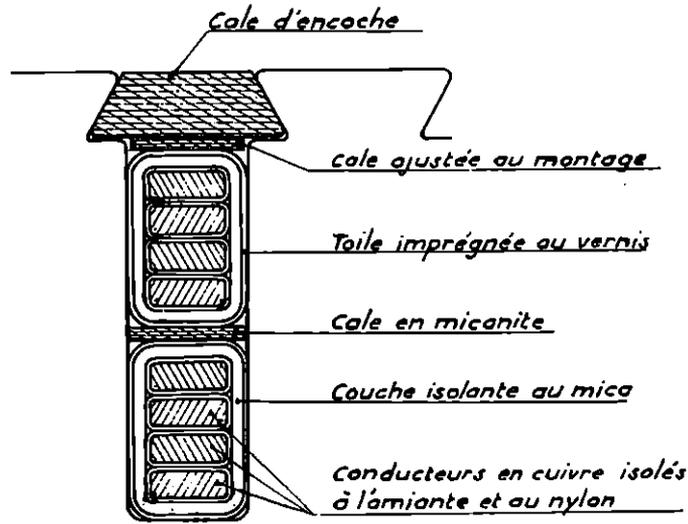


Fig. 158.

Les bobines sont soigneusement ajustées dans chaque encoche; une cale en queue d'aronde les empêche de sortir sous l'effet de la force centrifuge. Des frettes en fil d'acier enroulées autour de l'armature renforcent l'assemblage.

Nous ne pouvons étudier ici le détail du bobinage des induits de machines à collecteurs. C'est là le travail des spécialistes. Retenons simplement quelques principes importants qui seront utiles par la suite :

- toutes les encoches de l'armature d'un induit sont garnies de bobines disposées comme celle de la figure 157. L'enroulement induit est constitué par l'ensemble de ces bobines;
- sur chaque lame du collecteur, la fin d'une bobine est soudée au commencement de la suivante;
- le bobinage d'induit est donc un enroulement fermé que l'on peut représenter schématiquement comme l'indique la figure 159.

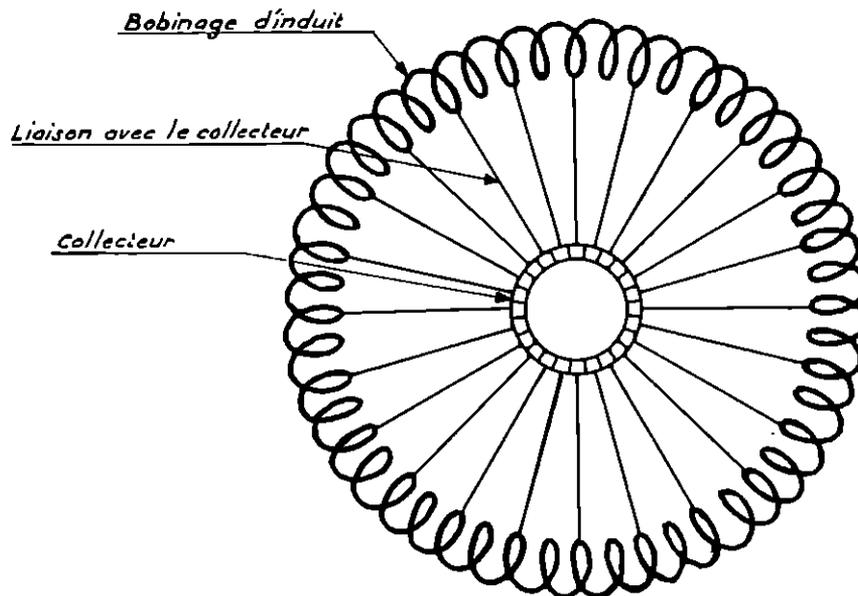


Fig. 159.

L'alimentation en courant électrique du bobinage d'induit est assurée par des balais qui frottent sur le collecteur (fig. 160).

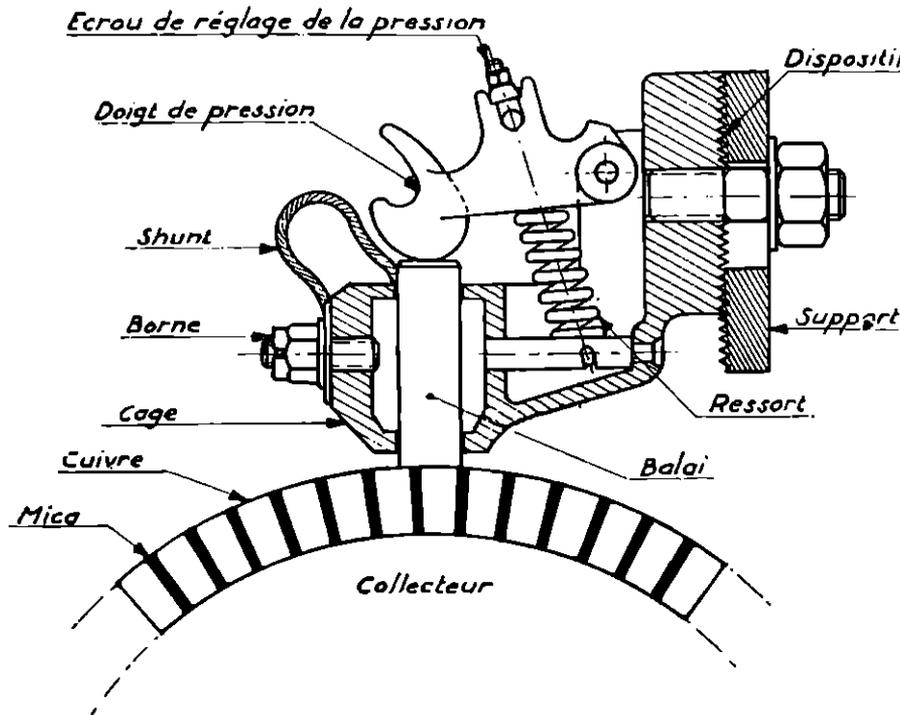


Fig. 160.

Les balais en charbon graphitique sont guidés par des cages porte-balais en bronze. Chaque porte-balai est fixé sur un support solidaire de la carcasse. Un dispositif de réglage permet de l'éloigner ou de le rapprocher du collecteur (le support est isolé électriquement de la carcasse).

Les balais coulisent dans les cages. Ils sont appliqués sur le collecteur par des doigts de pression munis de ressorts à tension réglable. Un shunt flexible en cuivre assure la continuité électrique entre balai et cage.

Chaque cage est munie d'un nombre variable de balais suivant le type de moteur. L'ensemble des balais placés sur un diamètre du collecteur est une « ligne de balais ». Les moteurs ont un nombre de lignes de balais qui dépend des caractéristiques de construction.

La figure 161 montre l'induit d'un moteur de traction.

Remarquez en particulier le nombre de lames du collecteur, la portée du roulement à rouleaux du paller d'induit, le cône destiné à recevoir le pignon denté au moteur, les bobines d'induit et les frettes en fil d'acier. A gauche de l'induit les porte-balais pouvant recevoir chacun trois balais sont solidaires d'une couronne dite « couronne porte-balais » destinée à être fixée sur le flasque du stator. Cette disposition souvent employée facilite les opérations d'entretien.

La figure 162 montre toutes les pièces constituant un moteur de traction. La boîte solidaire de la carcasse contient les bornes pour le branchement des câbles d'alimentation.

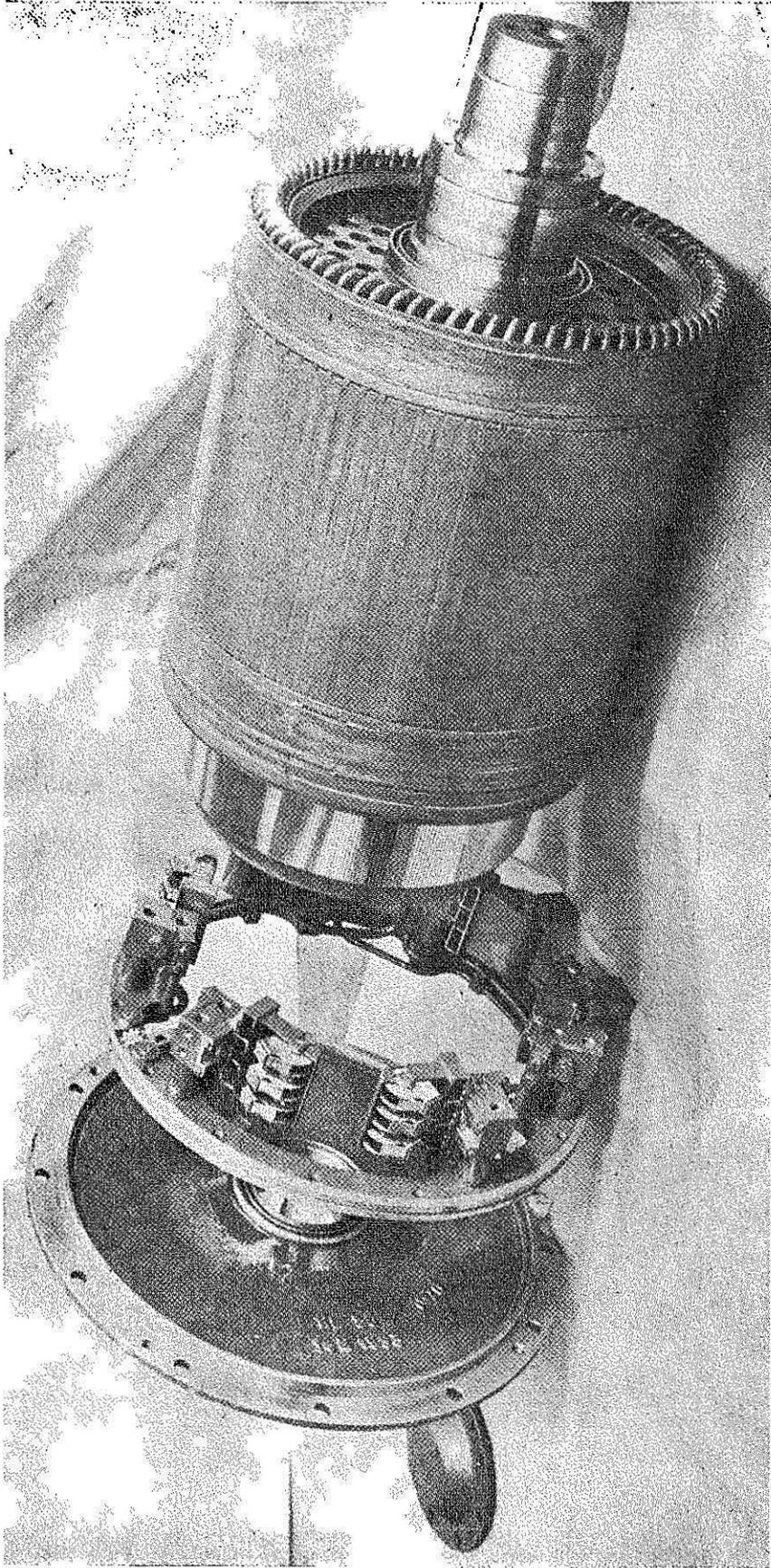


Fig. 161.

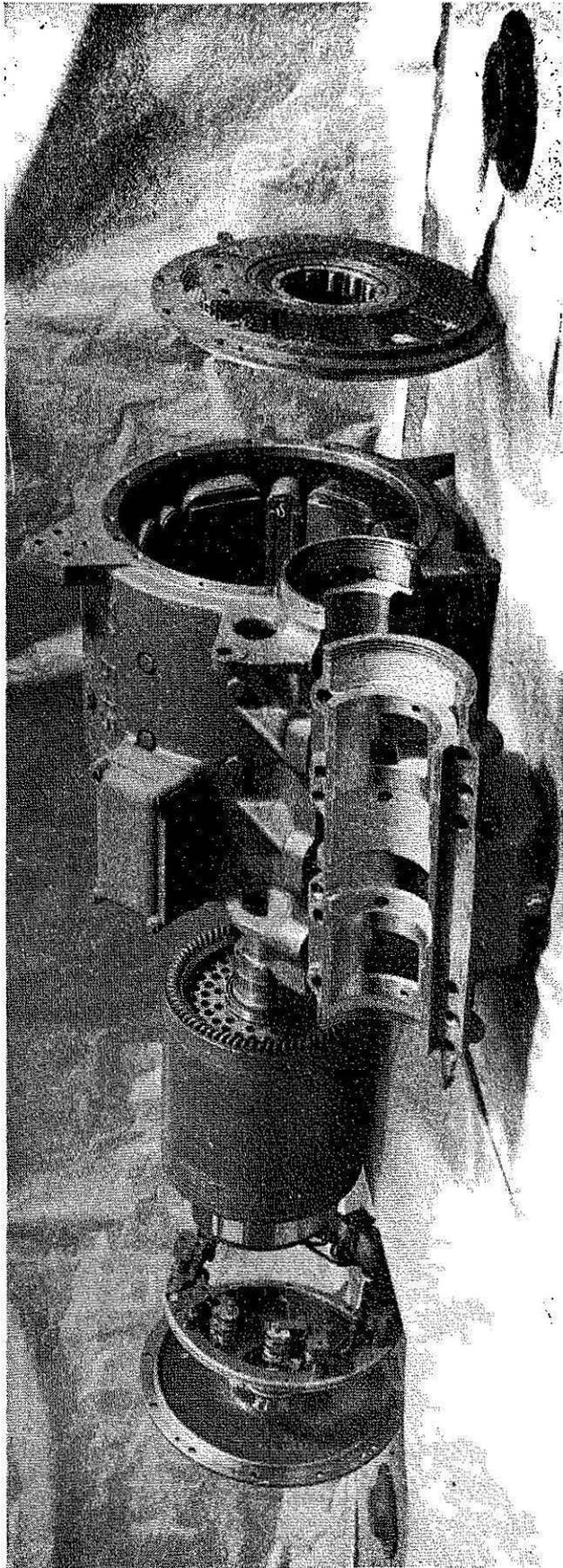


Fig. 162.

## RAPPEL DE NOTIONS D'ÉLECTRICITÉ

### I. CHAMP MAGNÉTIQUE

Une bobine parcourue par un courant donne naissance à un champ magnétique (fig. 163).

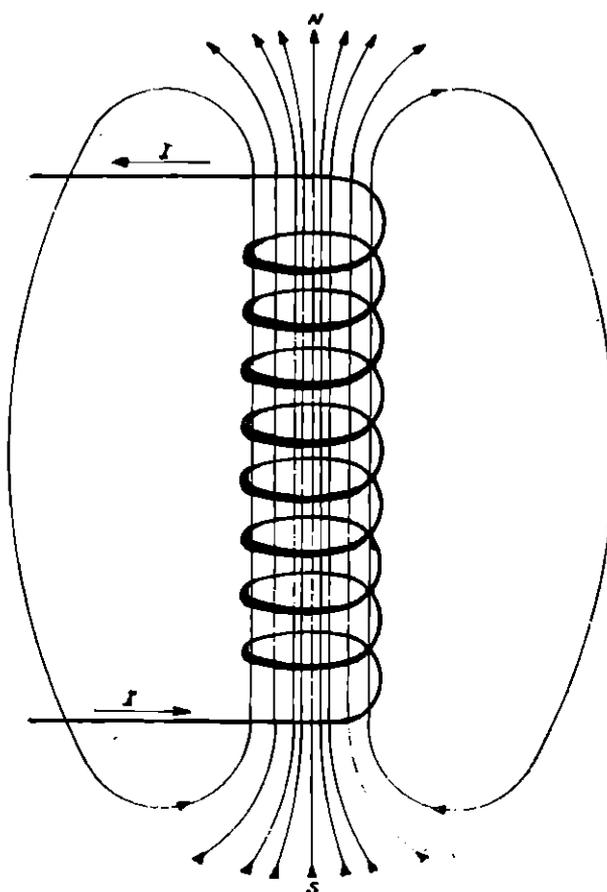


Fig. 163.

La présence d'un champ magnétique peut être décelée par son action sur un aimant (attraction ou répulsion). Une aiguille de boussole est très sensible à cette action.

Par définition, le champ magnétique créé par une bobine est la région de l'espace dans laquelle l'action d'un aimant se fait sentir.

On admet que le champ magnétique est composé d'un très grand nombre de « lignes de force » dont quelques-unes sont représentées schématiquement sur la figure 163. Ces lignes de force sont parallèles à l'intérieur de la bobine; elles se ferment à travers l'espace environnant à l'extérieur. Les lignes de force ont un sens qui dépend du sens du courant. L'extrémité de la bobine par laquelle elles sortent est le pôle nord, l'autre extrémité est le pôle sud. Chaque bobine possède un pôle nord et un pôle sud.

Le sens du champ magnétique dans une bobine est le sens dans lequel se déplacerait un lire-bouchon placé à l'intérieur et tournant dans le même sens que le courant. Son intensité est d'autant plus grande que l'intensité du courant dans la bobine est plus forte.

## 2. PERMÉABILITÉ MAGNÉTIQUE DU FER

Si, dans une région de l'espace parcourue par un champ magnétique supposé uniforme et rectiligne on place un noyau de fer (fig. 164), les lignes de force du champ se dévient de leur chemin pour traverser le fer.

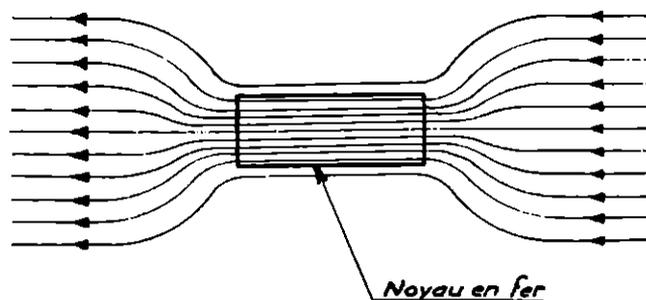


Fig. 164.

Le fer offre au champ magnétique un chemin plus facile que l'air environnant. On exprime ce fait en disant que le fer a une grande « perméabilité magnétique ».

## 3. ACTION D'UN CHAMP MAGNÉTIQUE SUR UN COURANT

Dans un champ magnétique uniforme, dirigé de bas en haut (fig. 165), plaçons un conducteur électrique mobile (barreau de cuivre) perpendiculairement à la direction du champ.

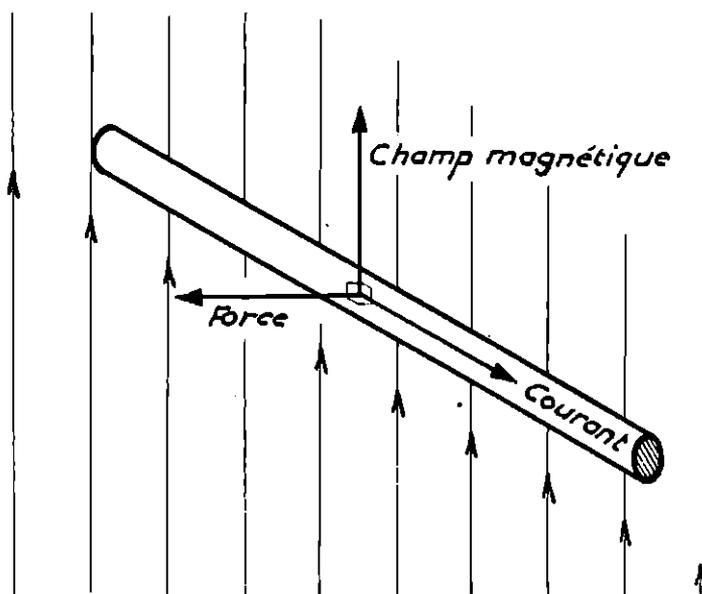


Fig. 165.

Faisons parcourir ce conducteur par un courant électrique dans le sens indiqué par la flèche. Dès l'établissement du courant le barreau de cuivre est soumis à l'action d'une force (dirigée vers la gauche sur la figure) qui tend à l'entraîner perpendiculairement à la direction du champ.

On donne à cette force le nom de « force électromagnétique ».

Elle résulte de l'action d'un champ magnétique sur un courant. Elle est d'autant plus grande que l'intensité du courant est plus forte et que le champ magnétique est plus intense. Sa direction est toujours perpendiculaire au plan formé par les directions du champ et du courant. Son sens dépend du sens du champ et du courant; si on inverse le sens du courant, le sens de la force est inversé; il en est de même si on inverse le sens du champ.

#### 4. ACTION D'UN CHAMP MAGNÉTIQUE SUR UN CONDUCTEUR EN MOUVEMENT

Dans un champ magnétique dirigé de bas en haut, plaçons un conducteur perpendiculairement aux lignes de force (fig. 166).

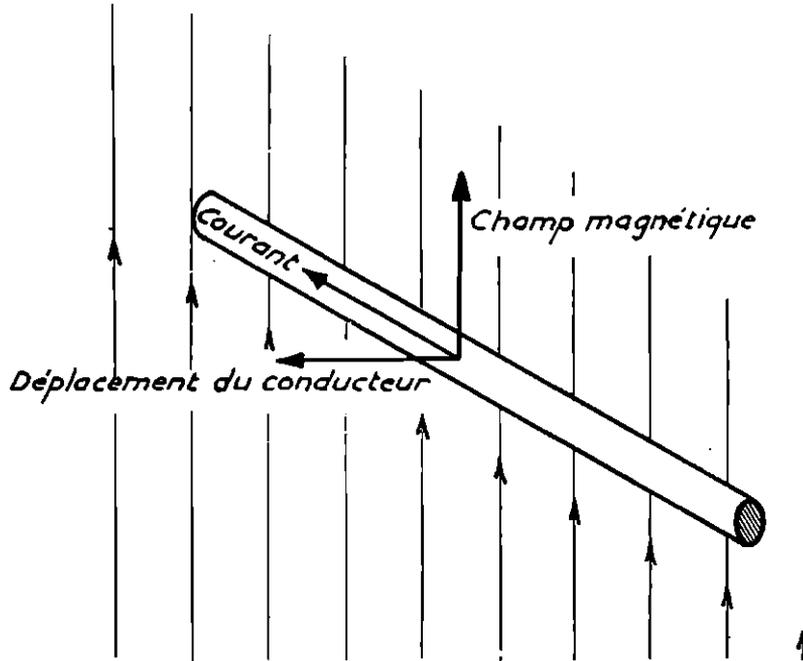


Fig. 166.

Relions ce conducteur à un circuit fermé comprenant un ampèremètre (circuit non représenté sur la figure). Rien ne se passe tant que le conducteur est immobile.

Déplaçons le conducteur vers la gauche perpendiculairement à la direction du champ, ainsi qu'il est indiqué sur la figure. Dès le début du déplacement, nous constatons (en observant l'aiguille de l'ampèremètre) la présence d'un courant électrique dans le circuit. Le sens du courant est celui indiqué sur la figure.

On donne à ce courant le nom de « courant induit ». Il résulte de l'action d'un champ magnétique sur un conducteur en mouvement. Il dure tant que le conducteur est déplacé dans le champ. Son intensité est d'autant plus grande que le déplacement est plus rapide et que le champ est plus intense. Sa direction est toujours perpendiculaire au plan formé par les directions du champ et du déplacement. Son sens dépend du sens du déplacement et du sens du champ; si on inverse le sens du déplacement, le sens du courant induit est inversé; il en est de même si on inverse le sens du champ.

Le conducteur utilisé dans l'expérience de la figure 166 joue le rôle d'un générateur électrique. La tension qui, entre ses extrémités, donne naissance au courant, est la « force électromotrice induite ».

En l'absence de circuit fermé, donc en l'absence de courant, la force électromotrice induite n'en existe pas moins et peut être mesurée avec un voltmètre.

#### PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES MOTEURS

Nous allons voir dans les moteurs l'application des phénomènes qui viennent d'être examinés brièvement.

**Sur le stator** d'un moteur, lorsqu'on alimente les inducteurs, c'est-à-dire qu'on fait passer un courant dans les bobines inductrices, chaque pôle inducteur produit un champ magnétique.

La figure 167 montre que les bobines sont branchées en série. Il est à remarquer surtout que les champs magnétiques sont inversés d'un pôle à l'autre. En parcourant l'intérieur du stator on trouve successivement en tournant dans n'importe quel sens les pôles N, S, N, S.

La polarité magnétique de chaque bobine est déterminée par le sens d'enroulement des conducteurs.

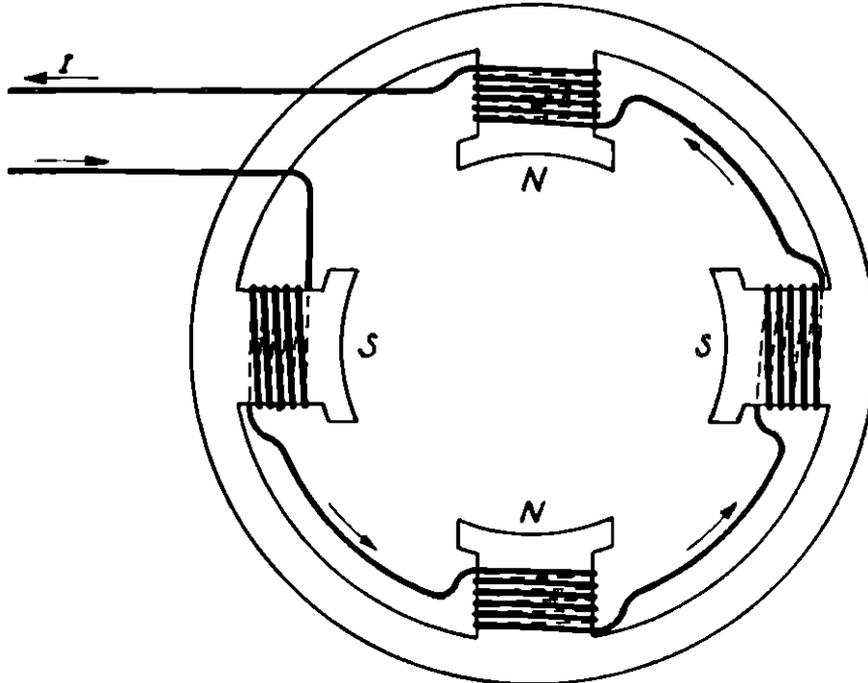


Fig. 167.

Sur le rotor, lorsqu'on applique une différence de potentiel entre les balais diamétralement opposés du collecteur, un courant circule dans tous les conducteurs d'induit.

Sur la figure 168 qui représente l'alimentation d'un induit par une ligne de balais on remarque que le courant arrivant au balai positif se sépare en deux parties qui parcourent chacune la moitié de l'enroulement d'induit pour aboutir au balai négatif.

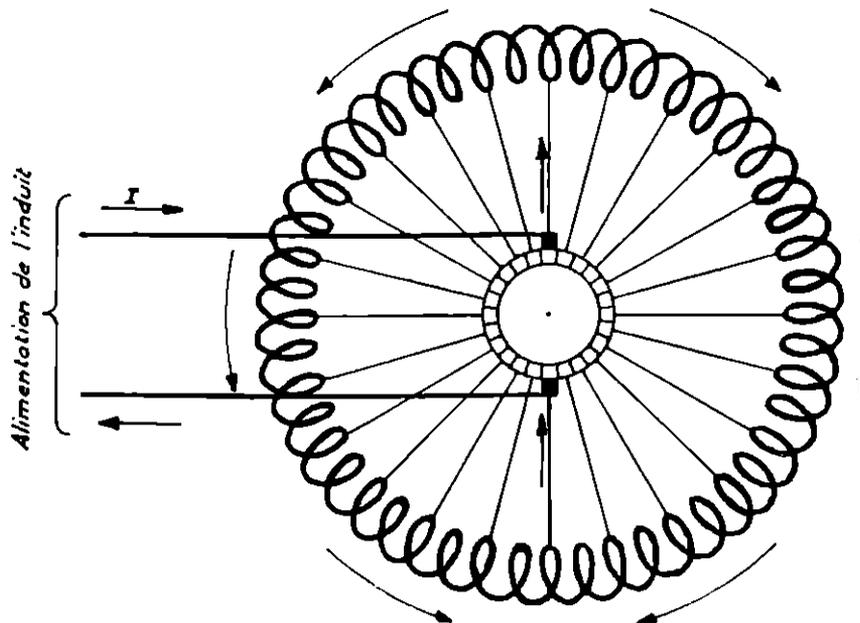


Fig. 168.

L'intensité du courant passant par un balai n'est donc pas égale à l'intensité dans les bobines d'induit, elle est la somme des courants passant dans les bobines de part et d'autre de ce balai.

Lorsque le rotor tourne, les lames du collecteur se succèdent sous les balais, mais le courant ne cesse pas de circuler du balai positif au balai négatif et de parcourir l'enroulement d'induit.

Nous retiendrons donc que lorsque l'induit d'un moteur est alimenté, tous les conducteurs logés dans les encoches sont parcourus par un courant.

Pour simplifier l'explication qui va suivre, nous pouvons ne considérer que les conducteurs rectilignes placés dans les encoches sans nous occuper des liaisons avec le collecteur.

Nous pouvons alors représenter l'induit comme l'indique la figure 169 qui le montre vu en bout.

C'est l'induit d'un moteur tétrapolaire. Pour simplifier on a supposé qu'il ne comporte que 12 encoches, chaque encoche étant munie de 4 conducteurs.

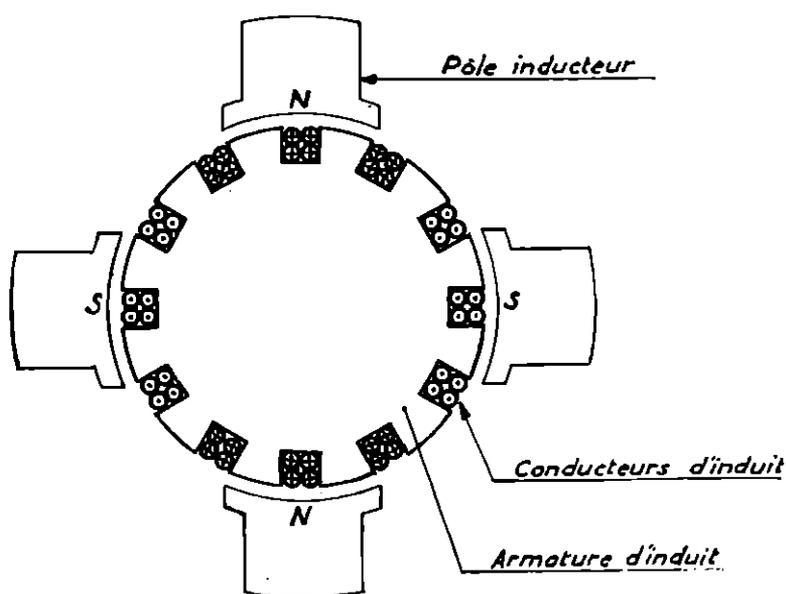


Fig. 169.

Repérons le sens du courant dans chaque conducteur en marquant une croix dans le cercle qui représente sa section, figurant ainsi l'empennage d'une flèche qui percerait la figure d'avant en arrière lorsque le courant a ce sens. Lorsque le courant est de sens contraire, un point figure la pointe d'une flèche venant de l'arrière vers l'avant.

On s'aperçoit que tous les conducteurs placés sous les pôles nord du stator sont parcourus par des courants de même sens, et que ce sens est inverse pour tous les conducteurs placés sous les pôles sud.

Il en est ainsi sur tous les moteurs; cela résulte du mode de bobinage. Nous avons d'ailleurs vu sur la figure 157 que chaque conducteur d'induit qui passe dans une encoche passe ensuite en sens inverse dans une autre encoche séparée de la première par la distance de deux pôles principaux voisins du stator.

Lorsque l'induit va tourner, le sens du courant restera toujours le même sous chaque pôle principal. Ceci grâce au collecteur qui maintient l'alimentation quelle que soit la position occupée par l'induit. Lorsque, en tournant, un conducteur induit passe d'un pôle du stator sous le pôle voisin, le sens du courant qui le traverse change de sens.

Voyons maintenant le moteur complet. La figure 170 représente schématiquement le stator et le rotor (ou induit). Le moteur étant sous tension, chaque pôle inducteur produit un champ magnétique et tous les conducteurs du rotor sont parcourus par un courant comme ceux de la figure 169.

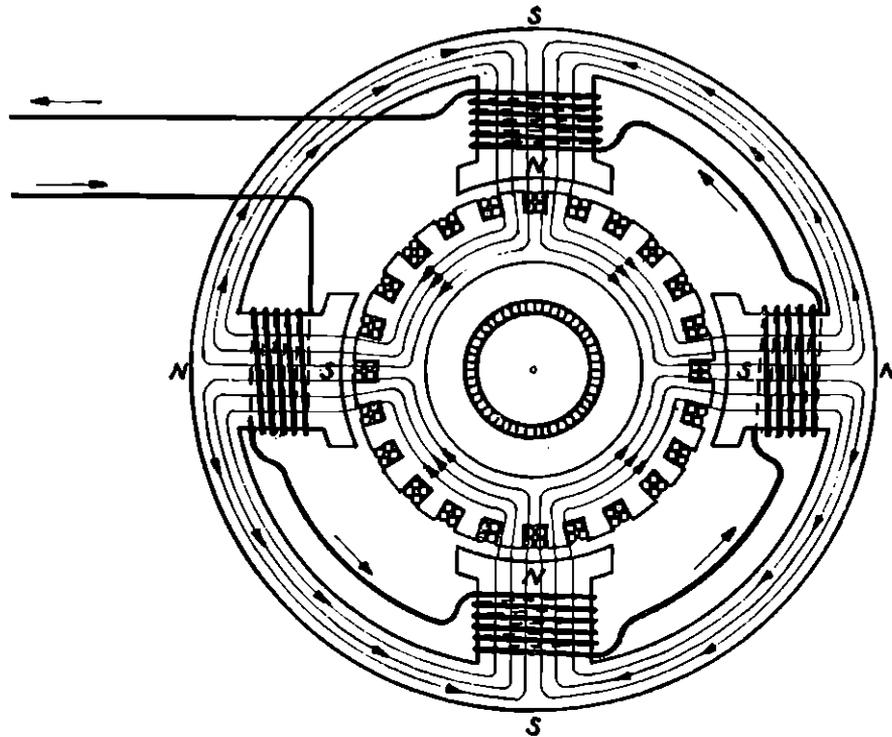


Fig. 170.

Sur la figure, le champ magnétique émis par chaque pôle est figuré par quelques lignes de force.

Remarquez la distribution des champs magnétiques; le champ qui sort de chaque pôle inducteur nord revient au pôle sud de sa bobine après s'être partagé dans l'armature d'induit et être passé par les pôles inducteurs voisins et la carcasse.

Le circuit parcouru par les lignes de force est le circuit magnétique du moteur; il est essentiellement composé de fer à grande perméabilité magnétique.

L'espace libre entre les pôles inducteurs et l'armature d'induit est l'entrefer.

Sous chaque pôle inducteur, plusieurs conducteurs de l'induit se trouvent placés dans un champ magnétique, perpendiculairement à la direction de ce champ.

Considérons un seul de ces conducteurs (fig. 171).

Puisqu'il est parcouru par un courant, il est soumis à l'action d'une force électromagnétique. Si les sens du champ et du courant sont ceux indiqués sur la figure, la force est dirigée vers le haut.

Solidement fixé dans son encoche, le conducteur communique une poussée à l'armature d'induit, poussée qui fait tourner le rotor sur son axe.

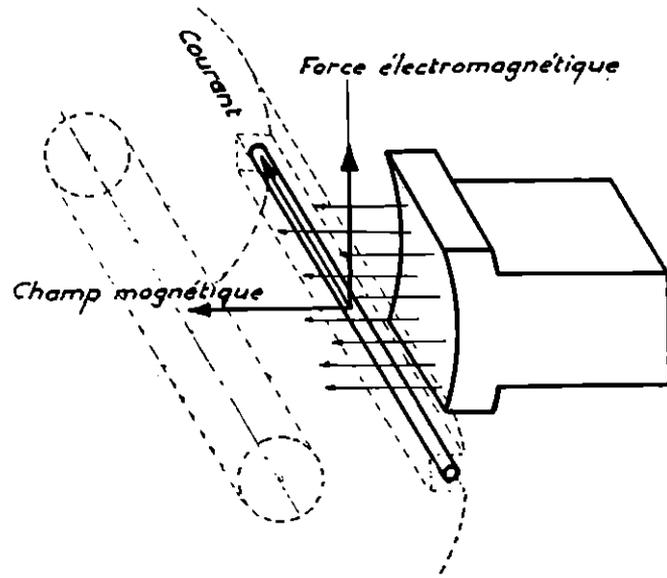


Fig. 171.

Observons maintenant la figure 170. Beaucoup de conducteurs de l'enroulement Induit sont soumis à des forces électromagnétiques. Puisque le courant dans ces conducteurs est de sens inverse sous les pôles inducteurs de noms contraires (fig. 169); toutes les forces électromagnétiques ont le même sens et elles tendent toutes à faire tourner l'induit.

Pendant la rotation de l'induit les conducteurs changent de position, mais grâce au collecteur, quelle que soit cette position, les conducteurs placés sous un pôle principal sont toujours parcourus par un courant de même sens et l'induit ne cesse pas d'être entraîné.

La rotation de l'induit étant due aux forces électromagnétiques, l'effort moteur disponible sur l'arbre est proportionnel à la fois à l'intensité du courant dans les conducteurs d'induit et à l'intensité du courant dans les bobines inductrices.

Dans les moteurs de traction des locomotives, le courant qui passe dans les bobines inductrices du stator alimente ensuite l'induit; autrement dit, inducteurs et Induit sont branchés en série. Pour cette raison on dit que ces moteurs sont du type « Série ».

La figure 172 montre le symbole graphique utilisé dans les schémas électriques pour représenter un moteur série.

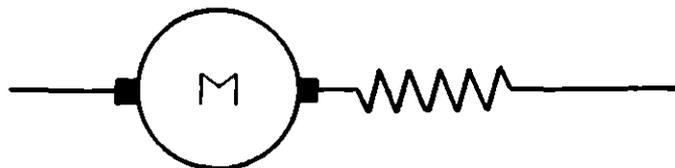


Fig. 172.

## FORCE CONTRE-ÉLECTROMOTRICE DES MOTEURS

Considérons un moteur prévu pour fonctionner sous une tension de 1 500 V maximum (fig. 173). La tension  $U$  volts entre ses bornes et l'intensité  $I$  ampères qui le traverse sont indiquées par le voltmètre et l'ampèremètre branchés comme l'indique la figure.

Sa résistance électrique est  $r = 0,05 \Omega$ .

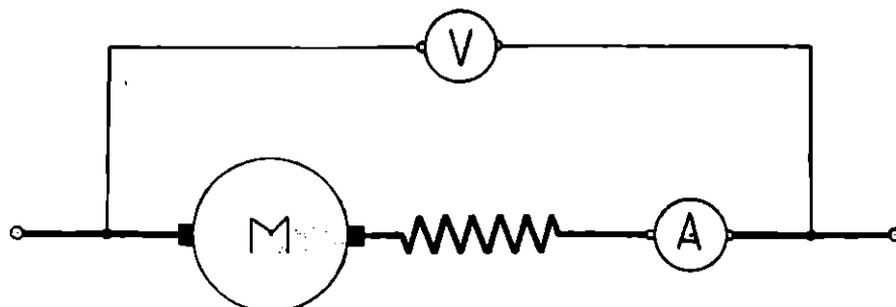


Fig. 173.

Le moteur fonctionnant, nous lisons :  $U = 1\,500 \text{ V}$ ,  $I = 500 \text{ A}$ .

Faisons le rapport :  $\frac{U}{r} = \frac{1\,500}{0,05} = 30\,000$ .

L'intensité du courant qui alimente le moteur n'est pas égale au quotient de la tension par la résistance comme dans un circuit uniquement résistif; elle est même très inférieure à la valeur de ce quotient.

Cherchons une explication à cela.

Notons tout d'abord que la résistance ohmique du moteur est très faible; il en est ainsi pour tous les moteurs série.

Si la tension mesurée entre les bornes du moteur était égale à la chute de tension dans la résistance ohmique; autrement dit si nous pouvions appliquer la loi d'ohm sous la forme  $U = RI$  à ce circuit; nous aurions :  $U = 0,05 \times 500 = 25 \text{ V}$ .

Une tension de 25 V serait suffisante pour permettre le passage d'une intensité de 500 A. Or la lecture effectuée sur le voltmètre de la figure 173 nous indique qu'une tension de 1 500 V est nécessaire. Il y a donc, à l'intérieur du moteur, une tension qui s'oppose à la tension  $U$  que nous lui appliquons. Dans le cas de la figure 173 nous pouvons connaître la valeur de cette tension que nous désignerons par la lettre  $E$ .

$$E = 1\,500 - 25 = 1\,475 \text{ V.}$$

On donne à cette tension  $E$  le nom de « force contre-électromotrice » du moteur; exprimant ainsi qu'elle s'oppose à la tension d'alimentation.

L'action d'un champ magnétique sur un conducteur en mouvement nous donne une explication sur l'origine de cette force contre-électromotrice. En effet, considérons le conducteur d'induit de la figure 171; pendant le fonctionnement du moteur il se déplace dans le champ magnétique des inducteurs; il est donc le siège d'une force électromotrice induite comme le conducteur de la figure 166. Cette force électromotrice tend à produire un courant de sens opposé au sens du courant qui passe dans le conducteur (fig. 165); c'est donc dans ce cas une force contre-électromotrice.

Toutes les forces contre-électromotrices induites dans les différents conducteurs de l'induit s'ajoutent les unes aux autres pour donner la force contre-électromotrice  $E$  du moteur.

La relation entre la tension aux bornes du moteur et l'intensité mesurée à l'ampèremètre est :

$$I = \frac{U - E}{r}$$

Nolons au passage que nous venons de mettre en évidence le fonctionnement des dynamos. En effet, si au lieu d'envoyer du courant dans l'induit du moteur pour le faire tourner, nous l'entraînons par un moyen quelconque (moteur Diesel par exemple), les conducteurs d'induit se déplacent dans le champ des inducteurs, ils sont le siège d'une force électromotrice induite et la somme de toutes les forces électromotrices donne la force électromotrice disponible aux bornes de l'induit pour alimenter un circuit. Le moteur fonctionne en dynamo.

Les moteurs à collecteurs sont des machines réversibles. Si on leur envoie du courant elles produisent de l'énergie mécanique en tournant; si on les entraîne elles produisent du courant.

### COMMUTATION

Considérons une portion de l'enroulement d'induit d'un moteur supposé en rotation (fig. 174). Les lames du collecteur se succèdent sous le balai (négalif dans le cas de la figure). A un instant donné le balai occupe la position représentée en traits pleins et le courant dans chaque élément du circuit se déplace dans le sens indiqué par les flèches en traits pleins.

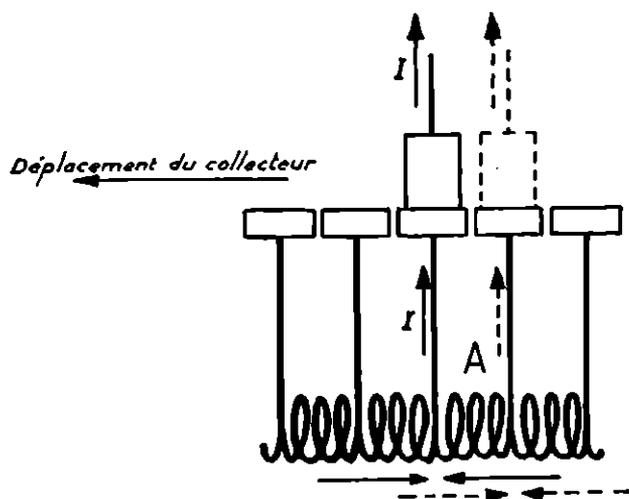


Fig. 174.

L'instant d'après le balai occupe la position où il est représenté en pointillé et le courant circule dans le sens indiqué par les flèches en pointillé.

Dans la bobine A le courant s'est inversé. On dit que cette bobine vient d'être commutée.

La commutation s'effectue sous tous les balais.

On constate parfois la présence d'étincelles entre balai et lames du collecteur lors de la rotation de l'induit. Ces étincelles se produisent chaque fois qu'un balai quitte une lame. On dit alors que la commutation est mauvaise.

Si les étincelles sont trop fournies, des particules de cuivre des lames et de charbon des balais sont détachées et brûlent; le collecteur noircit, l'usure des lames et des balais devient exagérée.

Expliquons l'origine des étincelles.

En raison de la vitesse de rotation de l'induit, l'inversion du courant dans une bobine s'effectue en un temps très court.

Avant que la bobine A de la figure 174 ne soit commutée le balai occupe la position de la figure 175.

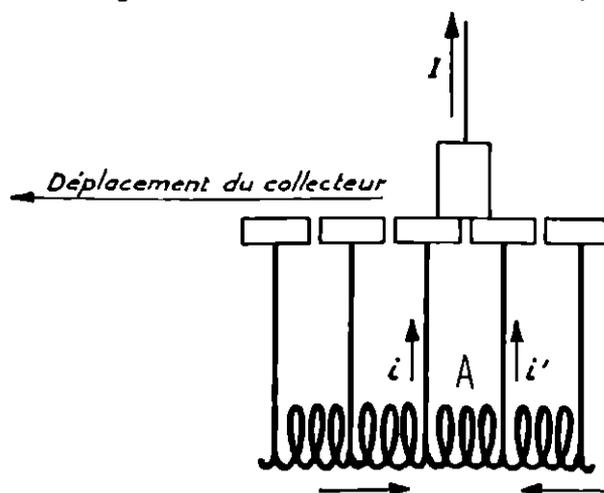


Fig. 175.

La bobine A est alors court-circuitée et les courants  $i$  et  $i'$  venant des bobines voisines arrivent au balai comme l'indique la figure.

Lorsque le balai quitte la lame sur laquelle il se trouvait le courant  $i$  qui a encore une certaine valeur est brusquement interrompu.

L'interruption s'accompagne d'une étincelle entre lame et balai (fig. 176).

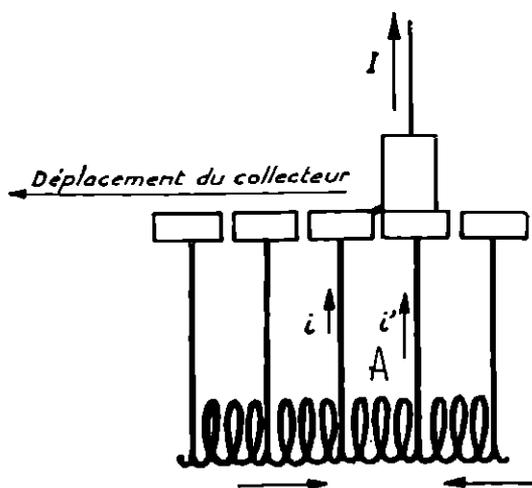


Fig. 176.

L'étincelle qui se produit lors de la coupure brusque du courant dans un circuit est due à ce que l'on nomme « self-induction » de ce circuit. Sans entrer dans le détail de l'étude de la self-induction, sachons cependant que plus les caractéristiques magnétiques d'un circuit sont grandes, c'est-à-dire plus il comporte de bobinages et de circuits magnétiques perméables (fer), plus sa self-induction est grande et, par conséquent, plus l'étincelle à la coupure du courant est forte.

Cette étincelle est également plus forte pour un même circuit si l'intensité interrompue est plus grande.

L'étincelle peut parfois devenir un véritable arc électrique susceptible d'endommager les contacts des appareils d'interruption du courant.

Dans des moteurs tels que ceux des locomotives, les intensités de courant sont importantes; on s'efforce donc de supprimer les étincelles qui nuiraient aux collecteurs.

Le moyen le plus efficace pour obtenir une bonne commutation est l'usage de pôles auxiliaires. Nous avons vu sur la figure 153 que les pôles auxiliaires sont des pôles inducteurs de petites dimensions placés sur le stator, entre les pôles principaux. Les bobinages de ces pôles sont branchés en série avec l'induit.

Le rôle des pôles auxiliaires est de créer dans les bobines d'induit, à l'instant où elles sont commutées, une force électromotrice induite qui s'oppose à la circulation d'un courant de rupture entre lame de collecteur et balai. Ils s'opposent donc à la création des étincelles.

Les moteurs de traction des locomotives fonctionnent à des régimes de marche très variables, et malgré les pôles auxiliaires, la commutation n'est pas toujours parfaite. Pour cette raison les constructeurs utilisent des balais ayant une assez grande résistance électrique de manière à s'opposer à la circulation des courants d'étincelles. C'est pour cela qu'il faut toujours remplacer les balais usés par des balais de même origine.

Parfois, les liaisons entre bobines d'induit et lames du collecteur sont réalisées avec des connexions présentant une certaine résistance électrique pour créer encore un obstacle au passage des étincelles.

NOTA. — Vous aurez l'occasion d'observer sur certains moteurs des enroulements réalisés par de gros conducteurs logés dans des rainures pratiquées sur les pôles inducteurs. Ce sont les enroulements de compensation. Expliquons brièvement leur rôle : l'induit d'un moteur est une masse de fer entourée de conducteurs parcourus par des courants. Ces courants produisent un champ magnétique que l'on nomme « champ de réaction d'induit ». Ce champ magnétique pouvant nuire à la répartition du champ inducteur, les enroulements de compensation ont pour rôle de créer un champ égal et opposé, afin d'annuler ses effets.

## DÉMARRAGE DES MOTEURS

Nous avons vu que, à cause de la force contre-électromotrice développée dans l'induit d'un moteur en fonctionnement, l'intensité dans ce moteur est donnée par la relation :

$$I = \frac{U - E}{r}$$

Dans l'exemple précédent nous avons noté qu'une tension de 1 500 V appliquée à un moteur dont la résistance était de 0,05  $\Omega$  produisait une intensité de 500 A. La force contre-électromotrice du moteur tournant alors à sa vitesse normale (ou vitesse nominale) était de 1 475 V.

Considérons ce moteur à l'arrêt. Aucune force contre-électromotrice n'existe tant que l'induit est immobile.

Dans l'intention de le faire démarrer, si nous appliquons aux bornes de ce moteur la tension de 1 500 V, l'intensité serait limitée uniquement par la résistance ohmique; elle serait

$$I = \frac{U}{r} = \frac{1\,500}{0,05} = 30\,000 \text{ A.}$$

C'est une intensité bien trop importante pour que le moteur puisse la supporter même pendant un temps très court; l'échauffement qui en résulterait détruirait les isolants et les conducteurs.

Les moteurs peuvent juste supporter pendant quelques instants une intensité double de l'intensité normale.

Pour le démarrage d'un moteur puissant, puisque la force contre-électromotrice n'existe pas et ne peut par conséquent pas s'opposer à l'établissement d'une intensité de courant trop importante, il est nécessaire d'employer un moyen capable de maintenir cette intensité à une valeur convenable.

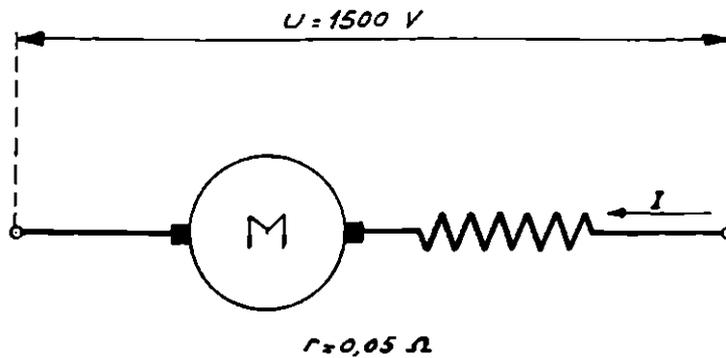


Fig. 177.

La résistance ohmique du moteur à l'arrêt est invariable. L'intensité qu'il absorbe à l'instant de sa mise sous tension est uniquement déterminée par la valeur de la tension à ses bornes.

$$I = \frac{U}{r}$$

Si nous voulons limiter l'intensité à 750 A par exemple, nous aurons :

$$750 \text{ A} = \frac{U \text{ volts}}{0,05 \Omega}$$

Cela sera obtenu si la tension  $U$  entre les bornes du moteur est :

$$U = 750 \times 0,05 = 37,5 \text{ V}$$

Il faut donc considérablement réduire la tension aux bornes du moteur afin que celui-ci n'absorbe pas une intensité au démarrage trop importante.

Considérons maintenant ce moteur à bord d'une locomotive. Il est à remarquer que dès le démarrage il devra entraîner les roues, et par conséquent exercer un gros effort. On dit que ce moteur démarre en charge. Sa mise en vitesse ne pourra se faire que lentement.

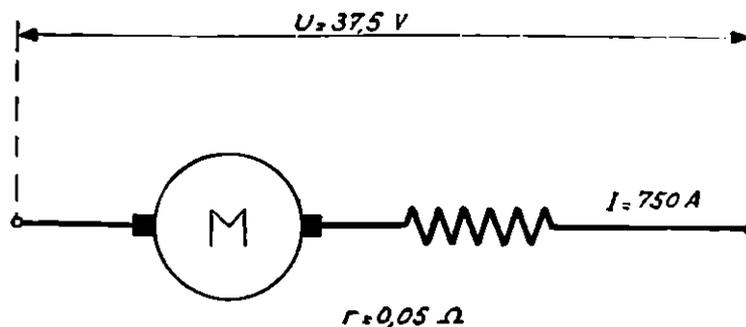


Fig. 178.

Appliquons-lui pour le faire démarrer une tension  $U = 37,5 \text{ V}$ . Observons ce qui se passe : l'intensité indiquée par l'ampèremètre est  $750 \text{ A}$ . Le moteur démarre, mais peu de temps après nous constatons que l'intensité diminue et que le moteur cesse d'accélérer pour se stabiliser à une faible vitesse.

Expliquons ces faits.

L'intensité de  $750 \text{ A}$  qui a parcouru les inducteurs et l'induit du moteur a permis le démarrage (création de forces électromagnétiques sur les conducteurs de l'induit). Mais dès la mise en route la force contre-électromotrice a pris naissance (déplacement des conducteurs induits dans le champ magnétique des inducteurs) et s'est opposée à la tension d'alimentation, ce qui a entraîné une diminution de l'intensité.

L'intensité ayant diminué, l'effort fourni par le moteur a également diminué; ce qui explique que la vitesse se soit stabilisée à une faible valeur.

La locomotive se déplace mais le démarrage n'est pas entièrement réalisé. Pour le poursuivre, il faut augmenter à nouveau l'intensité et le seul moyen pour cela est d'augmenter la tension.

L'augmentation de tension ne doit pas être trop forte afin de ne pas provoquer une intensité trop grande et aussi pour ne pas provoquer une accélération trop brutale du moteur (à-coup de traction).

Nous pourrions par exemple passer de  $37,5 \text{ V}$  à  $80 \text{ V}$ ; ce qui augmentera la vitesse jusqu'à une certaine valeur où elle se stabilisera. Si nous voulons continuer à augmenter la vitesse, nous pourrions passer successivement à  $150 \text{ V}$ ,  $250 \text{ V}$ , etc., réalisant ainsi à chaque augmentation une étape du démarrage qui peut se poursuivre jusqu'à la vitesse maximale correspondant à la tension maximale.

En conclusion, nous retiendrons que le démarrage des moteurs puissants qui doivent développer un gros effort dès leur mise en marche doit être réalisé à partir d'une tension basse que l'on augmente progressivement afin d'obtenir une augmentation progressive de la vitesse. L'augmentation de tension doit être suffisamment lente pour que l'intensité ne dépasse jamais la valeur maximale admise par le moteur.

Un moyen commode et très utilisé pour faire varier la tension aux bornes des moteurs, ou, ce qui revient au même, pour limiter l'intensité, est l'usage de résistances dites résistances de démarrage.

La figure 179 donne le schéma de principe du démarrage par résistances. La résistance  $R$  est branchée en série avec le moteur. Des interrupteurs  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$  permettent, lorsqu'on les ferme, de court-circuiter chacun une partie de la résistance  $R$ .

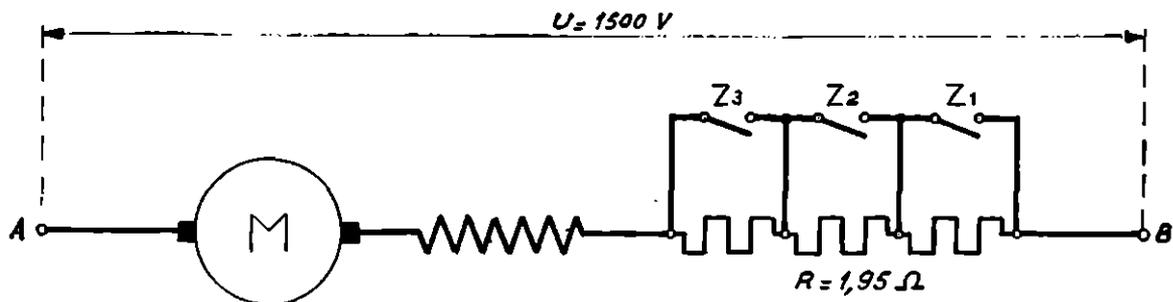


Fig. 179.

Soit  $R = 1,95 \Omega$ , la résistance du moteur étant  $r = 0,05 \Omega$  et son intensité normale  $500 \text{ A}$ . Appliquons une tension  $U$  de  $1\ 500 \text{ V}$  entre les extrémités  $A$  et  $B$  du circuit. Le moteur démarre, l'intensité est :

$$I = \frac{U}{R + r} = \frac{1\ 500}{1,95 + 0,05} = 750 \text{ A}$$

valeur acceptable pendant quelques instants.

Quand l'intensité a diminué par suite du démarrage on ferme l'interrupteur Z1; une partie de la résistance R étant supprimée l'intensité croît et le démarrage se poursuit. Après chaque baisse d'intensité consécutive à un accroissement de la vitesse, on peut fermer un interrupteur d'élimination de la résistance R. Lorsque cette résistance est complètement éliminée le moteur fonctionne sous la pleine tension de 1 500 V.

L'élimination de la résistance R doit être suffisamment progressive pour ne pas provoquer d'à-coups dans la traction.

La résistance de démarrage peut être réalisée sous la forme d'un rhéostat dont le principe est donné par la figure 180. Le démarrage est obtenu en déplaçant le contact mobile de plot en plot jusqu'à l'élimination de la résistance.

Nous reviendrons plus en détail par la suite sur la commande du démarrage des moteurs.

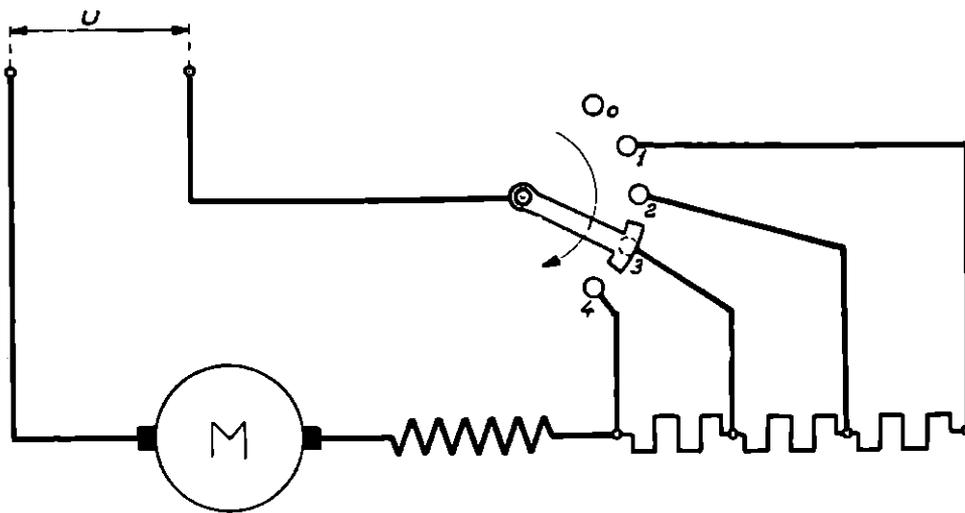


Fig. 180.

## RÉSUMÉ

On distingue dans l'installation électrique d'une locomotive :

- le circuit de traction (ou circuit de puissance) aboutissant aux moteurs;
- le circuit de commande qui réunit les appareils de commande à distance, de contrôle, de protection;
- le circuit des auxiliaires comprenant les appareils auxiliaires nécessités par la marche de la locomotive et du train (frein, ventilation, chauffage...).

Les inducteurs des moteurs de traction sont des bobines plates constituées par des enroulements de fil de cuivre. Elles sont soigneusement isolées et munies de bornes de branchement. Les bobines sont disposées autour des masses métalliques feuilletées fixées à la carcasse : les pôles inducteurs.

Les pôles inducteurs principaux se font toujours face suivant un diamètre.

Les pôles auxiliaires sont des pôles de petites dimensions non feuilletés placés entre les pôles principaux.

Le rotor ou induit des moteurs de traction est constitué par une armature magnétique feuilletée munie d'encoches longitudinales destinées à recevoir les conducteurs induits, un manchon muni de flasques destiné à recevoir l'armature magnétique, un arbre, un collecteur muni de lames de cuivre disposées concentriquement à l'arbre et isolées par des feuilles de mica; les lames sont maintenues par un manchon et des cônes de serrage.

L'enroulement induit est constitué par des conducteurs en cuivre disposés dans les encoches d'armature et reliés aux lames du collecteur. Ces conducteurs font partie de bobines. La fin de chaque bobine est soudée sur une lame du collecteur avec le commencement de la suivante.

L'alimentation électrique de l'induit est assurée par l'intermédiaire des balais en charbon qui frottent sur le collecteur. Les balais sont guidés par des porte-balais solidaires de la carcasse; ils sont appliqués sur le collecteur par des doigts de pression munis de ressorts réglables.

Une bobine parcourue par un courant produit un champ magnétique dont le sens dépend du sens du courant et du sens d'enroulement.

Le fer offre un chemin facile au champ magnétique; il est perméable.

Un conducteur parcouru par un courant et placé dans un champ magnétique perpendiculairement à la direction de ce champ est soumis à l'action d'une force électromagnétique.

Un conducteur se déplaçant dans un champ magnétique perpendiculairement à la direction de ce champ est le siège d'une force électromotrice induite qui donne naissance à un courant induit si le conducteur est placé dans un circuit fermé.

Lorsqu'elles sont parcourues par un courant, les bobines inductrices d'un moteur produisent le champ magnétique inducteur. Les pôles inducteurs présentent successivement des pôles nord et sud vers l'intérieur du stator.

Sous chaque pôle principal des conducteurs d'induit sont placés dans le champ magnétique inducteur. Lorsqu'ils sont parcourus par un courant, il se crée des forces électromagnétiques qui font tourner l'induit.

Les moteurs de traction des locomotives sont du type série : les inducteurs et l'induit sont parcourus par le même courant.

Lorsqu'un moteur tourne, il se crée dans l'induit une force électromotrice induite due au déplacement des conducteurs induits dans le champ inducteur. Cette force électromotrice s'oppose à la tension appliquée aux bornes du moteur; pour cela on la nomme force contre-électromotrice.

Pendant la rotation de l'induit d'un moteur, chaque fois qu'un balai change de lame de collecteur, le courant s'inverse dans la bobine d'induit branchée sur cette lame, c'est la commutation.

Si la commutation est mauvaise il se produit une étincelle chaque fois qu'un balai quitte une lame du collecteur. L'étincelle est due à la self-induction des bobines d'induit. Les pôles auxiliaires ont pour rôle de s'opposer à la circulation des courants d'étincelles.

*La force contre-électromotrice d'un moteur n'existant pas lorsque l'induit est immobile, pour faire démarrer un moteur puissant qui doit fournir un gros effort dès sa mise en route, il est nécessaire de ne lui appliquer qu'une faible tension afin de limiter l'intensité à une valeur convenable.*

*L'augmentation de vitesse est obtenue en augmentant la tension aux bornes du moteur; mais cette augmentation doit être suffisamment lente pour que l'intensité ne dépasse pas le maximum permis.*

*Un moyen très employé pour le démarrage d'un moteur est l'usage de résistances branchées en série avec ce moteur. On les élimine au fur et à mesure du démarrage. Les résistances limitent l'intensité passant dans le moteur et par conséquent la tension entre ses bornes.*

*L'élimination par étapes des résistances de démarrage provoque l'augmentation de la tension aux bornes du moteur.*

## QUESTIONNAIRE

---

### **PREMIÈRES NOTIONS SUR L'ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE DESCRIPTION ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES MOTEURS**

- 1° *Citez les trois catégories de circuits composant l'équipement électrique d'une locomotive.*
- 2° *Décrivez un pôle inducteur principal de moteur.*
- 3° *Énumérez les différentes parties constituant le rotor.*
- 4° *A quoi sert le collecteur d'un moteur?*
- 5° *Quel est le rôle des pôles inducteurs principaux d'un moteur?*
- 6° *Qu'est-ce que la force contre-électromotrice d'un moteur?*
- 7° *Pourquoi un moteur à l'arrêt n'a-t-il pas de force contre-électromotrice?*
- 8° *Quelle est la précaution à prendre pour faire démarrer un moteur puissant?*
- 9° *Dans le cas d'un démarrage par résistances, quel est le rôle des résistances?*



# PANTOGRAPHES

---

## ROLE

### DESCRIPTION

Le système articulé

L'archet

### COMMANDE DES PANTOGRAPHES

## ROLE

Le pantographe, premier élément en tête du circuit électrique des locomotives, a pour rôle de capter le courant sur le fil de contact de la ligne aérienne. Par sa forme et son emplacement c'est un organe dont la fonction apparaît avec évidence mais qui, contrairement à ce que l'on pourrait en penser à première vue n'est pas si simple.

Il suffit d'examiner les conditions dans lesquelles il capte le courant pour se rendre compte qu'un pantographe remplit un rôle assez délicat.

Il est en effet assez surprenant de voir que le simple contact d'une bande d'acier ou de carbone frottant sur un fil de cuivre gros comme le doigt et cylindrique puisse assurer l'alimentation des moteurs de locomotives dont la puissance est de plusieurs milliers de chevaux.

Dans les appareils électriques on s'ingénie à supprimer toute résistance électrique de contact susceptible de s'opposer au libre passage du courant vers son utilisation, d'autant plus que ce courant est important. C'est ainsi que le moindre appareil d'interruption inséré dans un circuit où circulent quelques centaines d'ampères est muni de contacts, dont la portée soigneusement établie a une surface de plusieurs centimètres carrés, appuyés par une poussée de 100 à 150 N ( $\approx$  10 à 15 kgf). C'est une poussée de cet ordre qu'une caténaire peut supporter, mais la surface de contact est beaucoup plus petite et moins parfaite.

Pendant la marche de la locomotive le pantographe se déplace sur le fil de contact, et c'est parce qu'il glisse, parce que le contact n'échauffe pas toujours le même point, qu'il peut capter des intensités importantes.

En courant continu 1 500 V l'intensité absorbée par les puissantes locomotives modernes atteint 3 500 A. En courant monophasé à la tension de 25 000 V l'intensité captée n'atteint pas 300 A.

Le glissement du pantographe sur le fil de contact favorise le captage du courant, mais il faut considérer que ce glissement se fait à une vitesse pouvant atteindre 160 km/h. En effet, si la vitesse des trains rapides est limitée à 140 et 150 km/h, les locomotives rapides actuelles sont prévues pour circuler à 160 km/h et le captage doit être correct à cette vitesse.

160 km/h, c'est l'ordre de grandeur de la vitesse d'un balai sur un collecteur de moteur électrique.

Mais le fil de contact est loin d'avoir la régularité d'un collecteur. Il a une flexibilité qui, malgré toutes les précautions prises, ne peut pas être la même au milieu d'une portée et au droit d'un support. Sans compter les points particuliers existant au passage des ouvrages d'art et des aiguillages, et la hauteur du fil de contact qui peut varier de 5 m à 6,50 m.

Les archets qui supportent les barres de frottement des pantographes et qui doivent suivre toutes les dénivellations du fil de contact ne peuvent être assimilés à des porte-balais.

Ainsi apparaît avec quel soin la mise au point des pantographes a dû être faite et quelle est l'importance de ces appareils.

Le captage en vitesse doit se faire sans rupture de contact malgré toutes les occasions de décollements, de chocs, de rebondissement, et aussi sans usure trop importante du fil de contact ou des barres de frottement.

La pression d'application des bandes de frottement doit être assez forte pour assurer un bon contact en toutes circonstances, mais rester assez faible pour ménager la caténaire. La forme des archets doit être prévue de telle manière que l'action de l'air résultant du déplacement rapide soit sans influence importante sur la pression.

## DESCRIPTION

Il existe d'assez nombreux types de pantographes mais tous comprennent les mêmes organes essentiels que celui représenté sur la figure 181.

- un bâti métallique qui supporte le système articulé et est fixé sur la toiture de la locomotive par l'intermédiaire d'isolateurs;
- un système articulé déformable qui assure, quelle que soit la hauteur de la caténaire, l'application de l'archet sur le fil de contact;
- un archet muni de barres d'usure (ou barres de frottement) qui frottent sur le fil de contact;
- des ressorts de travail qui assurent la montée du pantographe et la pression de contact;
- un mécanisme de commande qui permet d'obtenir à volonté la descente ou la montée du pantographe.

PANTOGRAPHE TYPE G

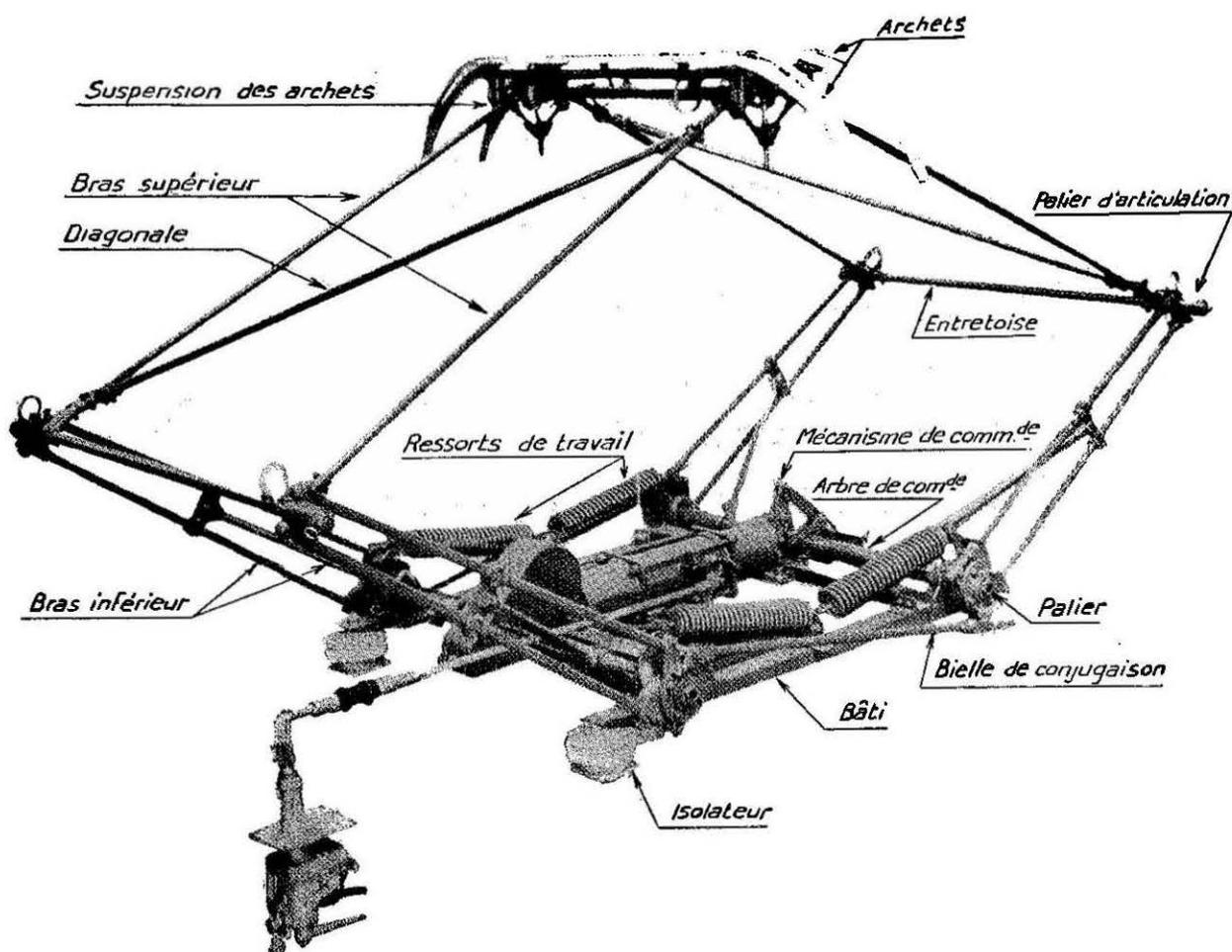


Fig. 181.

## 1. LE SYSTÈME ARTICULÉ

Est constitué par :

- deux arbres de commande horizontaux tourillonnant sur des paliers solidaires du bâti;
- quatre bras inférieurs constitués par des tubes et fixés aux extrémités des arbres de commandes;
- quatre bras supérieurs articulés d'une part sur les bras inférieurs et d'autre part à leur extrémité supportant l'archet;
- un certain nombre de diagonales et d'entretoises destinées à assurer la rigidité du système;
- une ou deux bielles de conjugaison articulées aux extrémités de manetons solidaires des arbres de commande et qui imposent à ces arbres des rotations égales;
- quatre ressorts à boudin dits « ressorts de travail », dont la tension s'applique sur des manivelles solidaires des arbres de commande. Le système articulé monte sous l'action des ressorts de travail.

Les articulations sont munies de roulements à billes. Des shunts flexibles en cuivre assurent la continuité électrique des articulations.

## 2. L'ARCHET

L'archet est fixé élastiquement à la partie supérieure du système articulé. Son profil est constitué par une partie centrale rectiligne ou de faible courbure de longueur égale à la zone normale de captage (nous avons vu que le fil de contact est disposé en ligne brisée; le contact se déplace sur le pantographe) et terminée à chaque extrémité par une partie courbe appelée « corne ». Les cornes assurent le guidage et la remontée du fil de contact dans les courbes et aiguillages.

En courant continu à la tension de 1 500 V, en raison des intensités importantes captées par les locomotives modernes, l'archet des pantographes doit être muni de 4 lignes de barres d'usure. C'est un pantographe de ce type qui est représenté sur la figure 181.

Les quatre lignes de barres d'usure sont réparties sur deux semelles (fig. 182). L'archet comprend deux balanciers articulés sur l'arbre supérieur du pantographe.

Chaque balancier est muni à ses extrémités de bolsseaux à ressorts sur lesquels sont montées élastiquement les tiges supports des semelles.

Le pivotement des balanciers est limité par des ergots qui viennent buter sur un guide. Le guide est maintenu constamment en position verticale par un système constitué par un parallélogramme formé par les bras supérieurs et par des biellettes à chapes articulées sur une noix. La tige du guide coulisse dans la noix.

Les semelles peuvent pivoter légèrement sur leurs tiges-supports; leur déplacement est limité par des butées.

La figure 183 représente un pantographe de construction plus légère (pantographe type MT). Il est utilisé en courant alternatif à la tension de 25 000 V. Dans ce système d'alimentation, l'intensité captée par les locomotives les plus puissantes n'atteint pas 300 A.

ARCHET I 500 V  
(Pantographe type G)

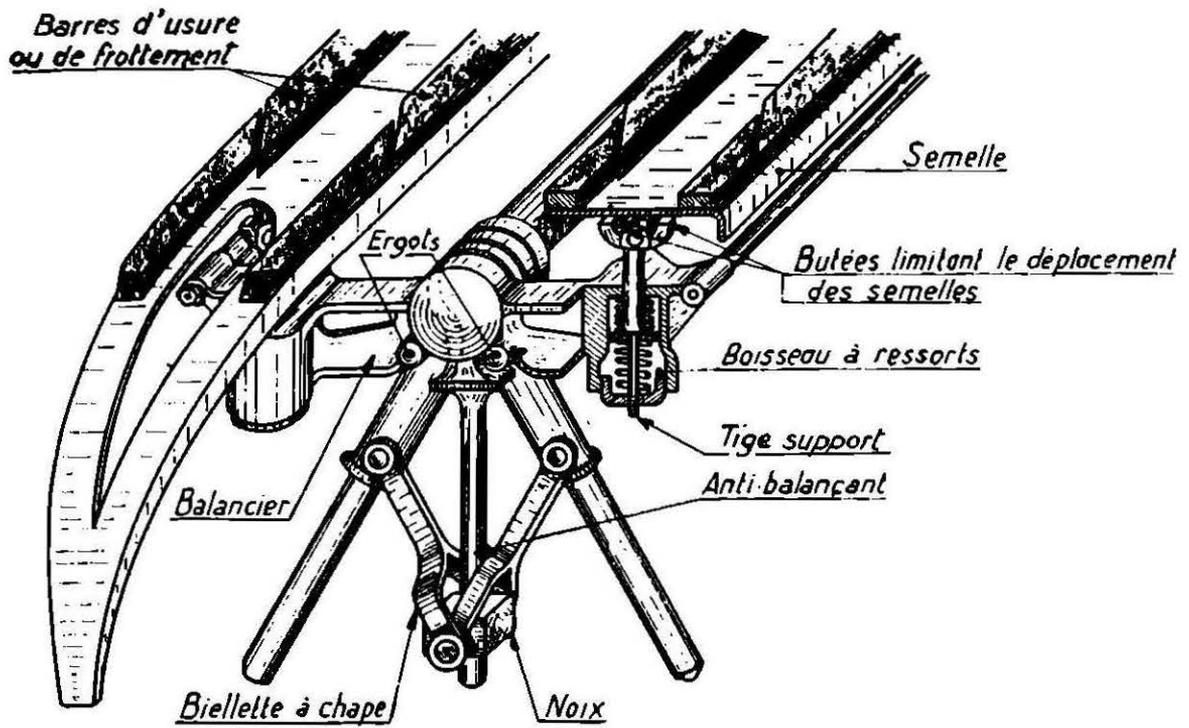


Fig. 182.

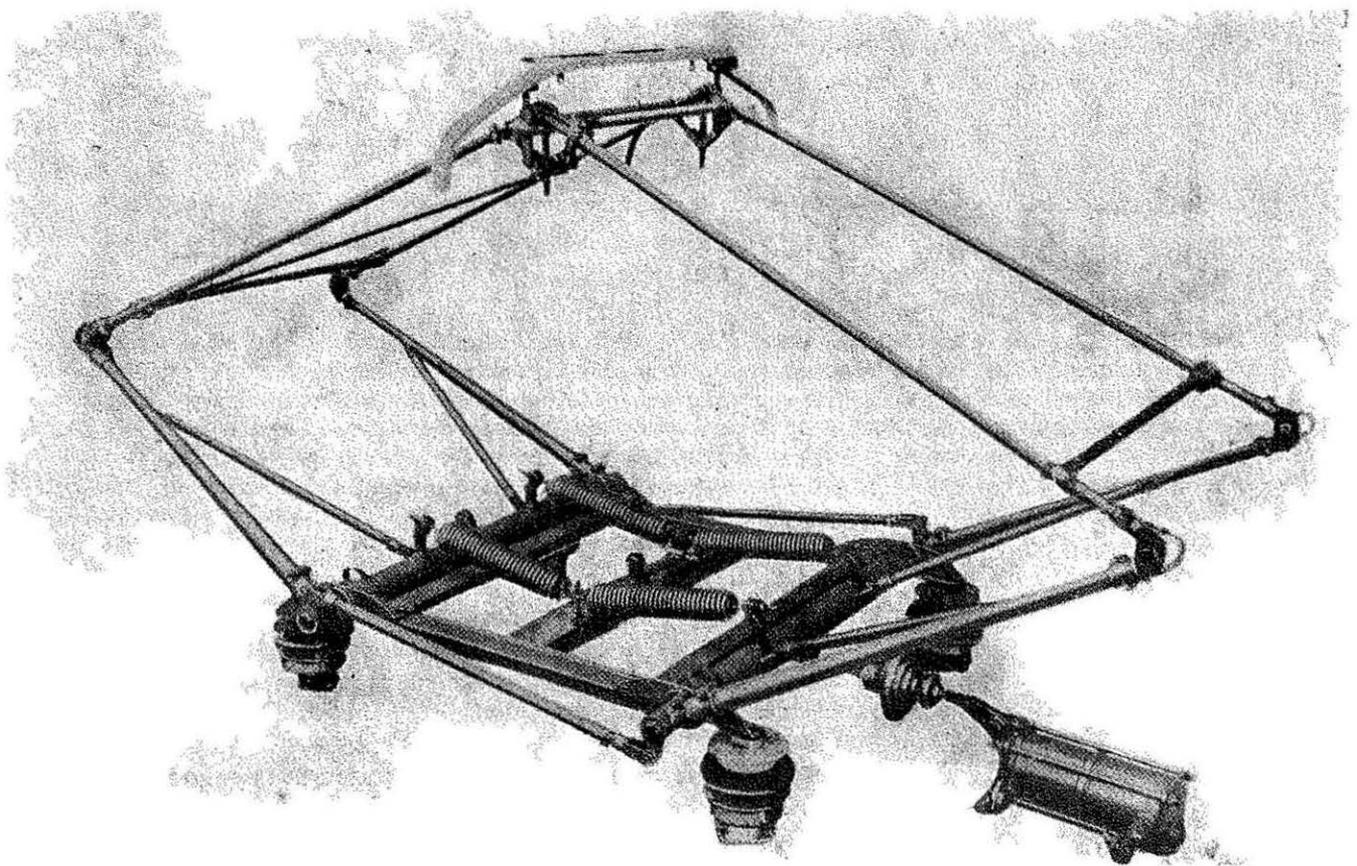


Fig. 183.

L'archet représenté sur la figure 184 est constitué par une armature légère en duralinox (alliage d'aluminium, de magnésium et de manganèse) munie à chacune de ses extrémités d'une corne en matière isolante. Il est relié par deux paliers de fixation aux tiges-supports guidées élastiquement par des boisseaux à ressorts. Le plan de contact est maintenu horizontal par un dispositif à biellettes à chapes et noix analogue à celui du pantographe décrit précédemment.

Il n'y a que deux barres d'usure; elles sont fixées par vis sur l'armature de l'archet.

ARCHET 25 000 V 50 Hz  
(Pantographe type MT)

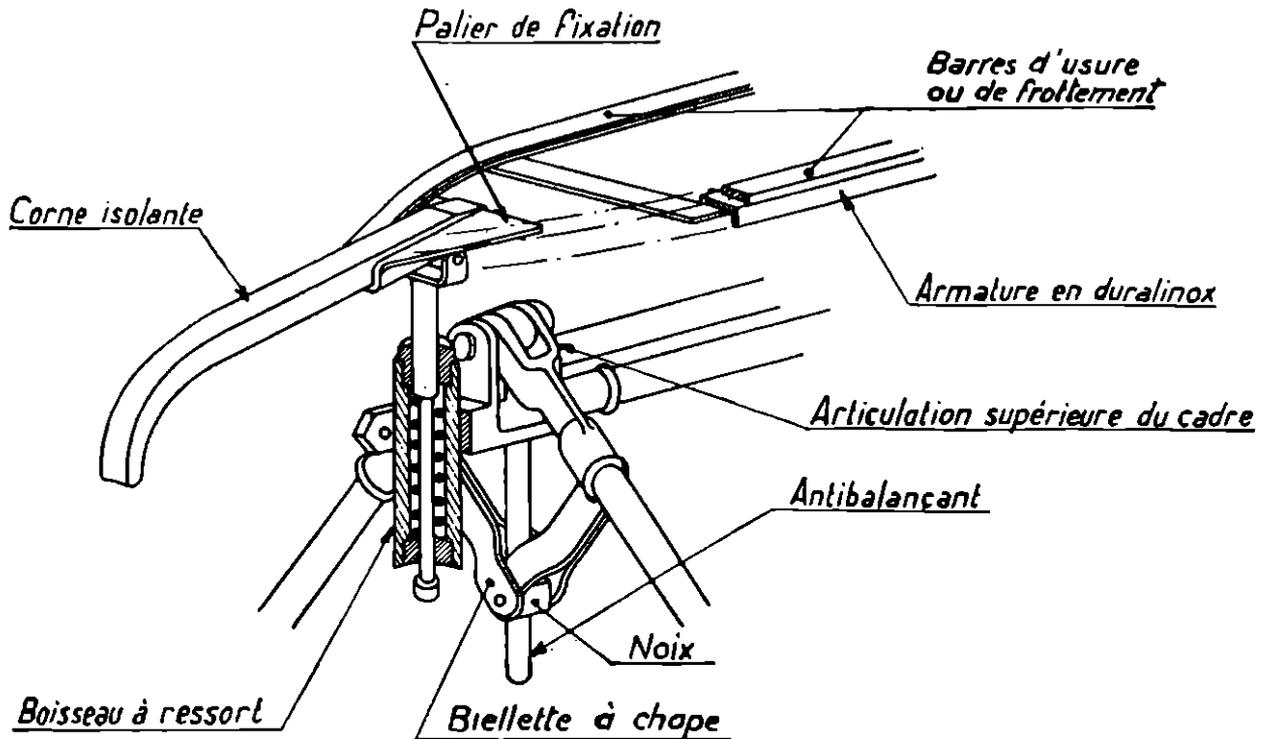


Fig. 184.

Nous avons vu que le nombre des barres d'usure varie avec l'importance de l'intensité à capter. Leur nature varie également. Les barres métalliques (en cuivre ou en acier) permettent les intensités élevées tant en marche qu'à l'arrêt, mais elles usent le fil de contact malgré leur graissage. Les barres en carbone (charbon graphitique) usent beaucoup moins le fil de contact, mais leur résistance électrique assez élevée nécessite des précautions en courant continu à 1 500 V lorsque la machine capte du courant à l'arrêt (chauffage du train) car le passage du courant en un point fixe du fil de contact provoque un échauffement assez élevé du fait de la résistance du carbone. L'échauffement peut provoquer la fusion de la caténaire. Les barres de carbone, très fragiles, exigent une caténaire bien rodée et en parfait état. On ne les utilise que très peu en courant continu.

### COMMANDE DES PANTOGRAPHES

Le mécanisme de commande permet au conducteur d'obtenir à volonté la montée ou la descente des pantographes de la locomotive. Il est actionné par de l'air comprimé.

La montée des pantographes est toujours assurée par les ressorts de travail.

La figure 185 représente schématiquement le dispositif de commande du pantographe de la figure 181.

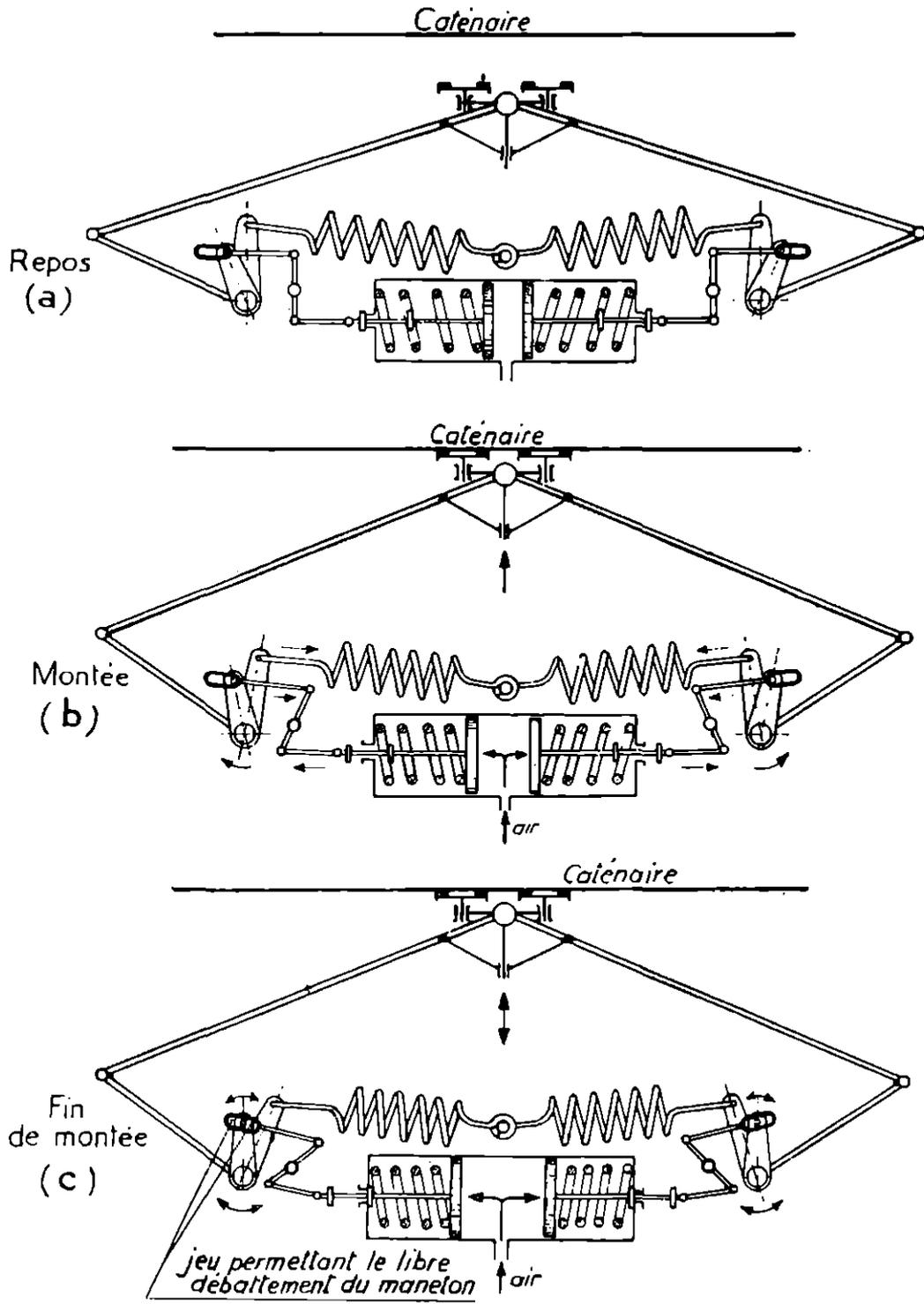


Fig. 105.

Ce dispositif comprend un cylindre contenant deux pistons. L'air comprimé arrive entre les pistons qui sont rappelés vers le milieu du cylindre par de puissants ressorts dits « ressorts de descente ».

Les ressorts de descente agissent par l'intermédiaire de bielles à boutonnères sur des manivelles solidaires des arbres de commande horizontaux.

Dans la position de la figure 185 a, en l'absence d'air comprimé les pistons sont rapprochés par les ressorts de descente. Les bielles à boutonnères poussent les manivelles vers l'extérieur, ce qui maintient le pantographe baissé malgré les ressorts de travail.

L'effort développé par les ressorts de descente est beaucoup supérieur à celui développé par les ressorts de travail qui tendent à faire monter l'archet.

Pour la montée, l'air comprimé admis dans le cylindre exerce sur les pistons une poussée supérieure à la tension des ressorts de descente qui sont refoulés (fig. 185 b). Le mouvement des pistons entraîne celui des bielles à boutonnères qui cessent de pousser sur les manivelles des arbres horizontaux, permettant ainsi la rotation de ces arbres sous l'action des ressorts de montée.

Le pantographe monte jusqu'à ce que l'archet arrive sur le fil de contact; le système articulé s'immobilise tandis que les pistons parcourent la totalité de leur course quelle que soit la hauteur à laquelle le contact s'est établi.

Arrivés en fin de course, les pistons s'immobilisent et conservent cette position durant toute la période de service (fig. 185 c).

Par leur longueur, les boutonnères des bielles permettent au pantographe de suivre toutes les dénivellations du fil de contact en travaillant uniquement sur les ressorts de montée.

Pour provoquer la descente, il suffit de mettre le cylindre à l'atmosphère; les pistons reculent sous l'effort des ressorts de descente, les bielles à boutonnères appuient sur les manivelles des arbres principaux et entraînent l'abaissement du pantographe.

Les mécanismes de commande sont souvent solidaires du bâti, donc sous tension lorsque le pantographe est monté. En courant continu 1 500 V le raccord en caoutchouc entre le cylindre et la canalisation d'air suffit à réaliser l'isolement nécessaire. En courant alternatif à haute tension, il est indispensable d'intercaler entre la tuyauterie et le cylindre un raccord isolant de dimension appropriée à la tension. Cet organe doit être nettoyé périodiquement car les impuretés contenues dans l'air (eau, huile, oxydes) se déposent sur la paroi interne, la rendent conductrice et engendrent des amorçages.

Cet inconvénient peut être évité en fixant le mécanisme moteur directement sur la toiture, donc à la masse, la transmission du mouvement se faisant par l'intermédiaire d'une bielle isolante.

La figure 186 montre cette disposition maintenant utilisée sur les pantographes équipant le matériel moteur à courant alternatif à 25 000 V (schéma du pantographe type MT).

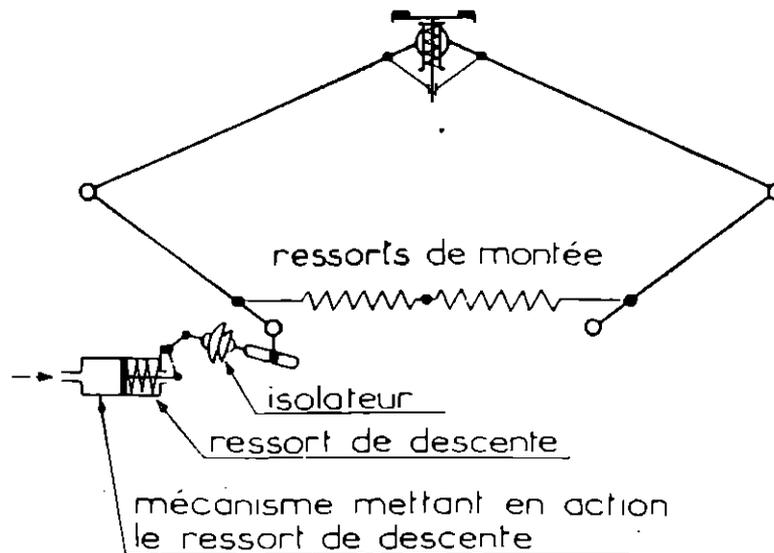


Fig. 186.



Les pantographes de forme classique présentent l'inconvénient d'avoir un encombrement assez important (fig. 187). L'équipement des locomotives modernes a conduit la S. N. C. F. à rechercher un pantographe ayant un encombrement plus réduit (fig. 188).

La forme classique a été abandonnée au profit d'un système articulé plus simple représenté sur la figure 189 et constitué essentiellement par :

- un arbre de commande fourmillonnant sur deux paliers solidaires du bâti;
- un bras inférieur solidaire de l'arbre de commande;
- un cadre supérieur, articulé à l'extrémité du bras;
- une bielle de poussée articulée d'une part sur un point fixe du bâti et d'autre part sur le palier du cadre;
- une bielle de positionnement de l'archet, articulée d'une part sur un maneton fixé à l'extrémité de la bielle de poussée et d'autre part à l'extrémité d'une manivelle calée sur l'arbre support d'archet. Cette bielle maintient le plan de contact horizontal.

Le dispositif de montée par ressort de travail, la suspension de l'archet et le mécanisme de commande sont de conceptions identiques à celle des pantographes décrits précédemment.

PANTOGRAPHE TYPE AM

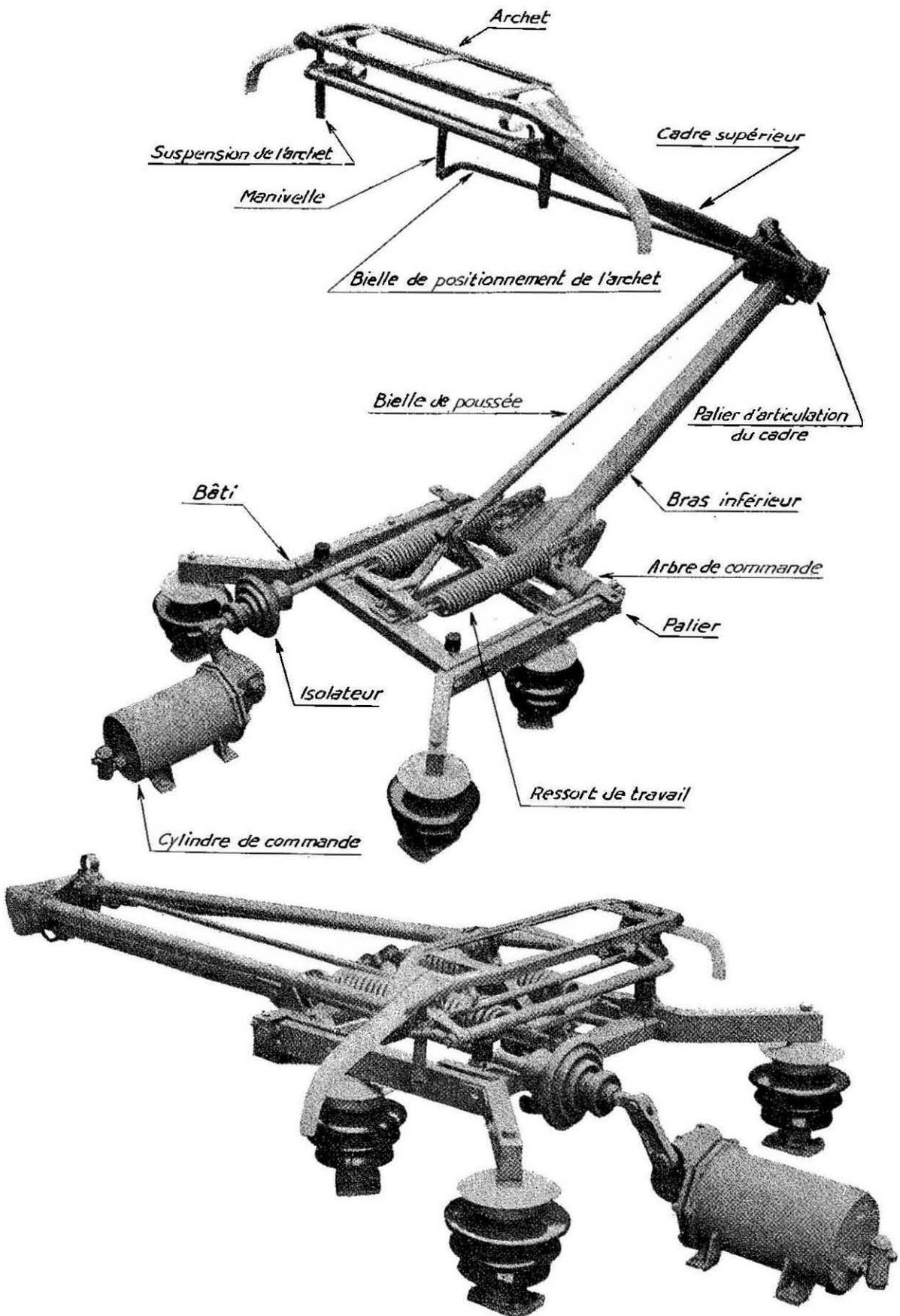


Fig. 189.

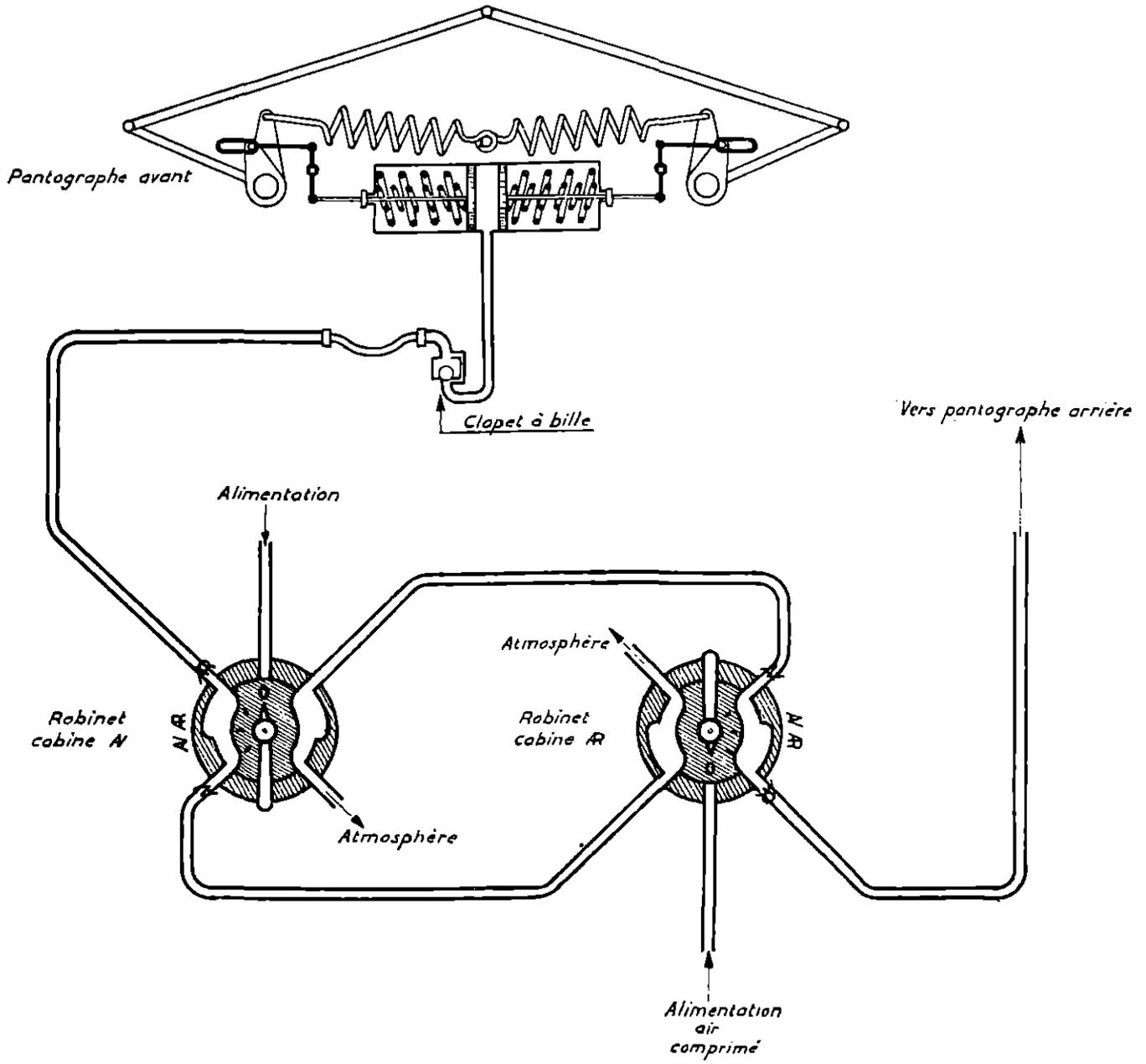


Fig. 190.

Pour la commande le mécanicien dispose d'un manipulateur qui lui permet d'obtenir soit la montée de l'un ou de l'autre des pantographes de la locomotive, soit la montée simultanée des pantographes avant et arrière, soit la descente.

Quand la commande est entièrement pneumatique, le manipulateur est un robinet dit « robinet-sélecteur ». La manœuvre de ce robinet permet l'envoi d'air comprimé (air prélevé dans les réservoirs principaux et détendu à la pression de 5 bars) vers les cylindres de commande des pantographes, ou la mise à l'atmosphère de ces cylindres.

La figure 190 schématise ce dispositif dans le cas d'une locomotive bicabine. Le robinet sélecteur de chaque cabine de conduite est muni d'une alimentation d'air comprimé. Sur la figure 190 les robinets sont représentés en position O, les cylindres des pantographes sont reliés à l'atmosphère.

Le clapet à bille placé dans le circuit d'alimentation en air de chaque pantographe a pour rôle à la montée d'obliger l'air comprimé à passer par un peill orifice, permettant ainsi à l'archet de monter sans à-coup et de ne pas heurter le fil de contact. A la descente, obtenue par la mise à l'atmosphère du cylindre, l'air soulève la bille du clapet et s'échappe rapidement, permettant ainsi la descente rapide de l'archet.

La figure 191 représente l'alimentation du pantographe arrière obtenue par la mise au premier cran du robinet de la cabine avant; le robinet de l'autre cabine étant maintenu en position neutre.

Vous remarquerez que le circuit emprunté par l'air comprimé passe par le robinet de la cabine arrière

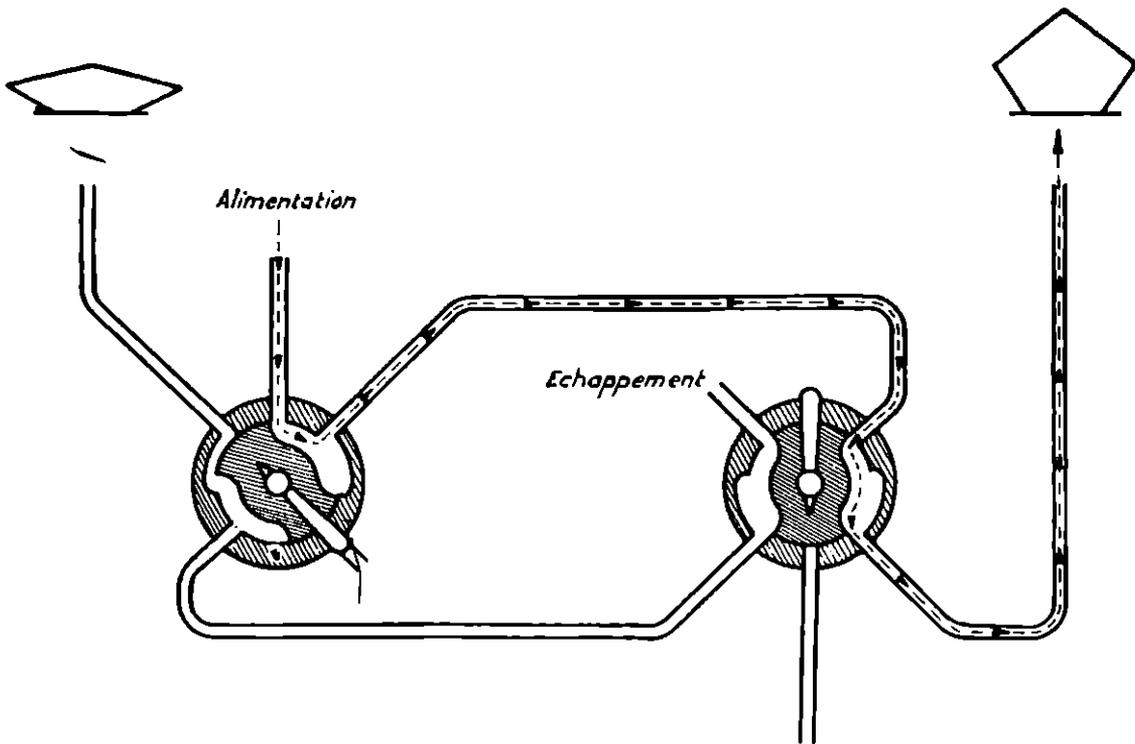


Fig. 191.

La figure 192 représente l'alimentation des pantographes avant et arrière obtenue par le passage en deuxième position du robinet de la cabine avant.

La figure 193 représente l'alimentation du pantographe avant obtenue par le passage en 3<sup>e</sup> position du robinet; le pantographe arrière étant relié à l'atmosphère.

En observant la figure 190 vous pouvez vous rendre compte que la manœuvre du robinet de la cabine arrière permet aussi la montée simultanée ou séparée des pantographes.

Sur une locomotive il n'y a qu'une poignée de manœuvre de robinet sélecteur; cette poignée est amovible lorsque le robinet est en position neutre. Ceci explique pourquoi un robinet ne peut être manœuvré que lorsque l'autre est en position neutre.

Les locomotives monocabine n'ont qu'un robinet sélecteur.

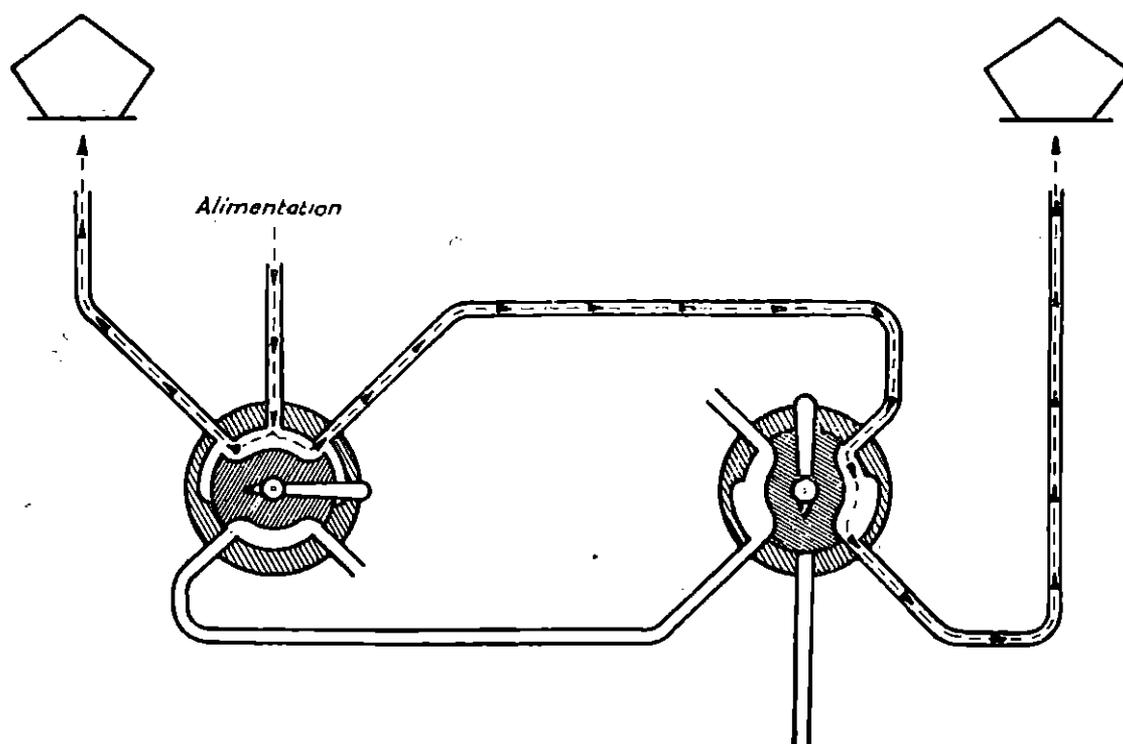


Fig. 192.

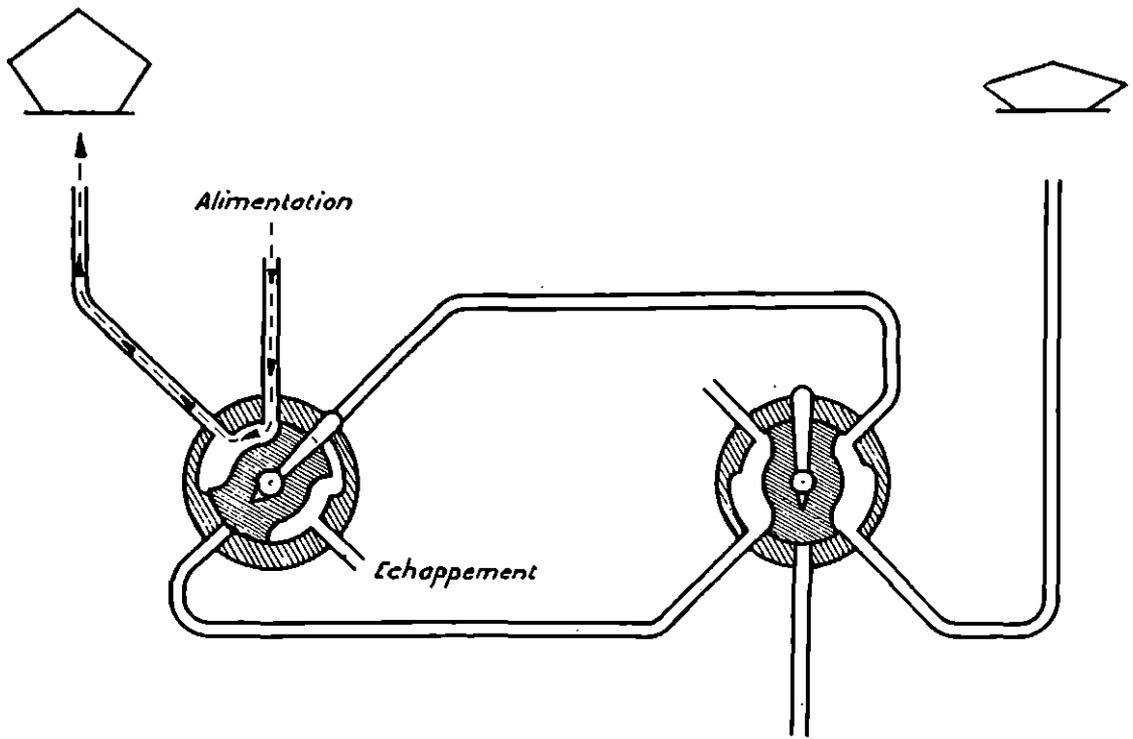


Fig. 193.

## RÉSUMÉ

Les pantographes ont pour rôle de capter le courant sur le fil de contact de la ligne caténaire aérienne. Le fil de contact présentant de nombreuses irrégularités, le mécanisme d'un pantographe est conçu de telle manière que les barres de frottement dont il est muni puissent suivre toutes ces irrégularités tout en exerçant une pression de contact aussi constante que possible.

Un pantographe du type classique est constitué par :

- un bâti métallique fixé sur la toiture de la locomotive par l'intermédiaire d'isolateurs;
- un système articulé déformable constitué par des tubes; les articulations sont munies de roulements à billes;
- un archet muni de barres d'usure (ou barres de frottement);
- des ressorts de travail qui assurent la montée du pantographe et la pression de contact;
- un mécanisme de commande à air comprimé qui permet d'obtenir à volonté la montée ou la descente du pantographe.

On distingue sur le système articulé :

- deux arbres de commande horizontaux tourbillonnant sur des paliers solidaires du bâti;
- quatre bras inférieurs constitués par des tubes et fixés aux extrémités des arbres de commande;
- quatre bras supérieurs articulés sur les bras inférieurs et à leurs extrémités supportant l'archet;
- un certain nombre de diagonales et d'entretoises destinées à assurer la rigidité du système;
- une ou deux bielles de conjugaison articulées aux extrémités de manivelles solidaires des arbres de commande et qui imposent à ces arbres des rotations égales;
- quatre ressorts dits « ressorts de travail » dont la tension s'applique sur des manivelles solidaires des arbres de commande;
- des shunts flexibles assurant la continuité électrique aux articulations.

L'archet est fixé élastiquement à la partie supérieure du système articulé. Son profil est constitué par une partie rectiligne égale à la zone de captage et munie d'une corne à chacune de ses extrémités.

Il est constitué par :

- deux balanciers articulés sur l'arbre supérieur du pantographe. Le déplacement des balanciers est limité par un guide maintenu en position verticale par un système de bielles à chapes articulées sur des noix;
- des boisseaux à ressorts solidaires des balanciers qui supportent élastiquement les semelles;
- les semelles munies des barres d'usure.

Les pantographes qui doivent capter des intensités importantes sont munis de quatre lignes de barres d'usure. Pour le captage d'intensités plus faibles deux lignes de barres d'usure sont suffisantes.

Les barres d'usure sont soit en cuivre, soit en acier, soit en carbone.

Le mécanisme de commande est actionné par de l'air comprimé. Il est constitué par un cylindre contenant un ou plusieurs pistons. Dans le cylindre des ressorts de descente repoussent les pistons, ce qui provoque, par l'intermédiaire des bielles à boutonnères, une poussée sur des manivelles solidaires des arbres de commande. Cette poussée tend à baisser le pantographe.

Les ressorts de descente étant plus puissants que les ressorts de montée, le pantographe reste en position basse en l'absence d'air comprimé.

Lorsqu'on admet de l'air comprimé dans le cylindre, les ressorts de descente sont comprimés par les pistons, ce qui permet la montée du pantographe sous l'action des ressorts de travail.

## QUESTIONNAIRE

---

### PANTOGRAPHES

- 1° *Qu'est-ce que l'archet d'un pantographe ?*
- 2° *Enumérez les parties constitutives d'un pantographe.*
- 3° *Comment les ressorts de travail agissent-ils pour provoquer la montée du système articulé ?*
- 4° *Pourquoi le bâti d'un pantographe est-il supporté par des isolateurs ?*
- 5° *Décrivez le mécanisme de commande d'un pantographe.*
- 6° *La pression de contact du pantographe sur le fil de contact dépend-elle de la pression de l'air admis dans le cylindre de commande ?*
- 7° *Dans le cas d'une installation pneumatique, comment la commande des pantographes est-elle assurée à partir des cabines de conduite ?*



# APPAREILLAGE DE CIRCUITS DE PUISSANCE

---

CONTACTEURS ÉLECTROMAGNÉTIQUES  
SOUFFLAGE DES ARCS  
CONTACTEURS ÉLECTRO-PNEUMATIQUES  
ÉLECTRO-VALVES  
CONTACTEURS A CAMES  
RÉSISTANCES

A partir du courant rendu disponible à bord de la locomotive grâce à la montée d'un pantographe, il faut, pour obtenir à volonté le fonctionnement des divers appareils récepteurs constituant l'équipement électrique, fermer dans un ordre convenable les circuits de tous ces appareils.

Le moyen le plus simple pour mettre un appareil sous tension consiste à fermer à la main un interrupteur placé en série dans son circuit tout comme on provoque par exemple l'allumage d'une lampe d'éclairage ou la mise en marche d'une petite machine-outil en manœuvrant son interrupteur.

Ceci est valable dans les mêmes conditions sur les locomotives pour les circuits alimentés en basse tension et dans lesquels ne circulent que de faibles intensités de courant (lampes d'éclairage, signaux, petits moteurs auxiliaires alimentés par la batterie...). Les interrupteurs utilisés sont identiques dans leur principe de fonctionnement à ceux que vous avez pu observer dans les petites installations de votre atelier : le contact commandé est réalisé par des doigts en cuivre susceptibles d'être appliqués l'un sur l'autre grâce à un ressort ou par des lames en laiton ou en cuivre qui peuvent s'engager dans des mâchoires élastiques fixes. La commande s'effectue soit par basculement d'un levier, soit par rotation d'un axe supportant un équipage mobile à ressorts ou un tambour cylindrique muni de secteurs en cuivre.

Quoique placés dans des circuits à basse tension, ces appareils ont leurs poignées et leviers de commande soigneusement isolés des parties métalliques traversées par le courant. Il ne faut en effet pas perdre de vue qu'une simple tension de 24 V peut être dangereuse pour le personnel.

Mais ces petits appareils que l'on rencontre sur les locomotives ne se trouvent que dans une partie de l'installation qui comporte surtout des appareils récepteurs fonctionnant sous des tensions beaucoup plus élevées et absorbant des courants intenses (appareils puissants des circuits de traction et des auxiliaires).

Pour les circuits des récepteurs puissants on peut utiliser des interrupteurs manœuvrés à la main, mais ceux-ci doivent alors assurer en position de fermeture une surface de contact importante; les contacts sans aspérités doivent être appliqués assez fortement afin d'éviter tout défaut susceptible de provoquer une résistance au passage du courant. Rappelons à cet effet que le passage du courant dans une résistance produit un échauffement proportionnel au carré de l'intensité.

La conséquence d'un mauvais contact dans un circuit est d'abord une perte de puissance par échauffement dans la résistance du contact, mais aussi, ce qui est plus important, la détérioration des contacts qui peuvent être rendus inutilisables d'autant plus rapidement que l'intensité en jeu est plus importante.

La figure 194 représente un interrupteur pouvant être incorporé dans un circuit de puissance.

La partie mobile, large et régulière, s'engage entre des mâchoires conductrices élastiques qui assurent une pression de contact suffisante. La poignée de manœuvre et la plaque-support sont en matière isolante.

Mais ces appareils présentent de nombreux inconvénients qui expliquent pourquoi on ne les utilise que très peu sur les locomotives :

- pour la sécurité du personnel, on ne peut utiliser des appareils à commande manuelle qui soient constamment reliés à la haute tension à cause de la proximité entre les contacts et la poignée de manœuvre;

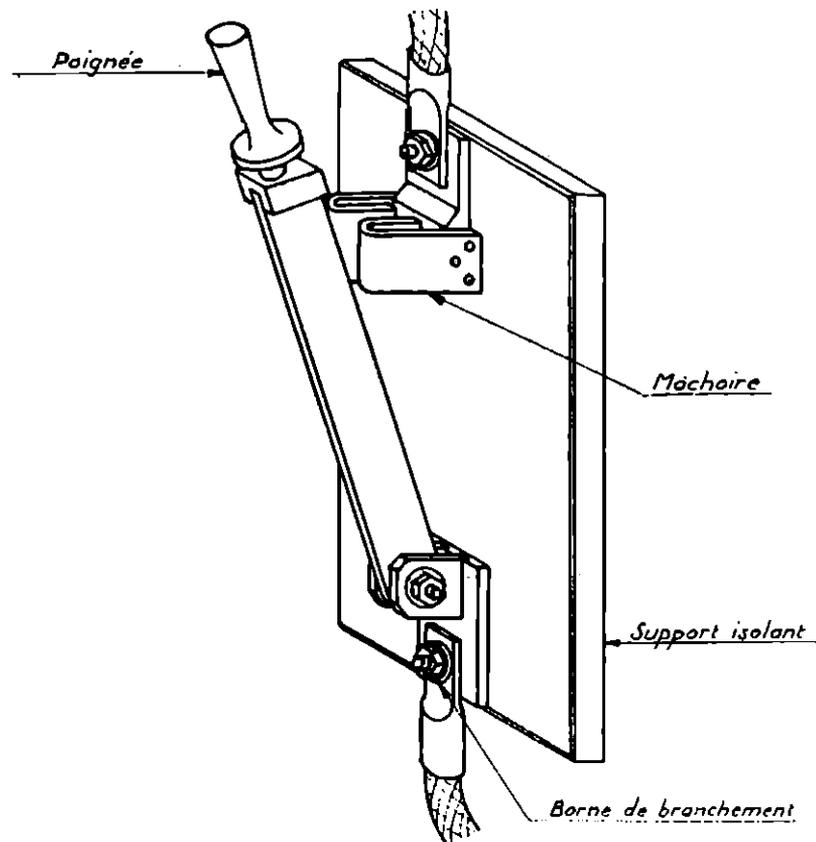


Fig. 194.

- les circuits des locomotives comportant de nombreux appareils d'interruption du courant, il est difficile de les faire manœuvrer tous par un conducteur sans risquer des erreurs qui entraîneraient des avaries dans les récepteurs. D'autant plus qu'un conducteur doit aussi porter son attention ailleurs que sur le fonctionnement de la locomotive;
- les circuits à grandes intensités des locomotives comportent pour la plupart des récepteurs magnétiques. Par conséquent, l'ouverture des contacts mobiles placés dans les circuits de ces récepteurs s'accompagne inévitablement d'une étincelle de rupture, effet de la self-induction. Nous avons vu qu'une telle étincelle peut, dans certaines conditions, devenir un arc électrique capable d'entraîner une érosion rapide des parties conductrices entre lesquelles il jaillit, et pouvant persister si l'ouverture des contacts n'est pas assez grande et si elle s'effectue trop lentement (les parties conductrices qui s'écartent ont dans ce cas le temps de s'échauffer).

Avec des interrupteurs simples, la vitesse d'ouverture n'est pas constante et la manœuvre est susceptible d'être mal effectuée. Un contact tel que celui de la figure 194 serait rapidement déterioré par les arcs électriques.

Pour les grandes intensités telles que celles qui circulent dans les moteurs de traction, il faudrait, pour pouvoir interrompre le circuit en charge (pendant le passage du courant), disposer de contacts et de distances d'ouverture telles que les interrupteurs deviendraient des appareils volumineux difficiles à manœuvrer.

On n'utilise donc les interrupteurs dans les circuits importants que lorsqu'ils doivent être manœuvrés pendant l'absence de courant (par exemple interrupteurs permettant d'isoler des récepteurs en cas d'avarie).

Les appareils réalisant les connexions mobiles des circuits de puissance à haute et moyenne tension sont commandés à distance par des accessoires réduits, n'offrant aucun danger pour le personnel, respectant automatiquement l'ordre correct des manœuvres, assurant aux contacts mobiles les qualités de surface de contact et de sûreté d'ouverture nécessaires; ce sont les contacteurs.

## CONTACTEURS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

La figure 195 représente schématiquement un contacteur électromagnétique.

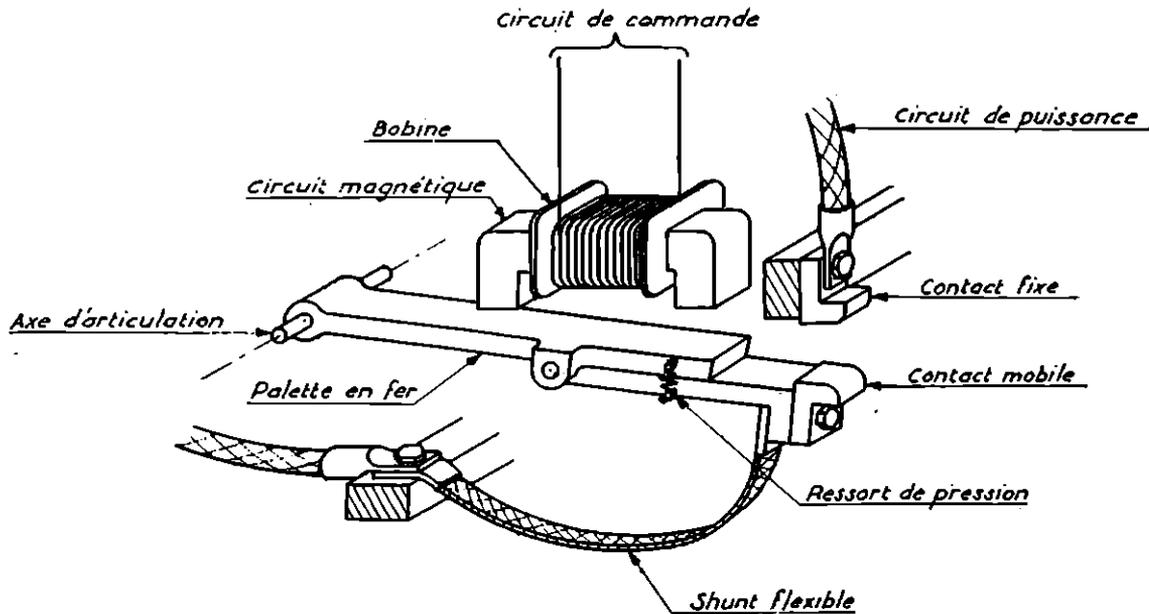


Fig. 195.

Les câbles du circuit de puissance commandé par cet appareil sont branchés l'un sur le contact fixe supporté par une barre isolante, l'autre sur le contact mobile supporté par un levier articulé. Un shunt flexible constitué par une tresse de fils de cuivre très fins est intercalée dans le circuit afin de laisser l'équipage mobile libre de se mouvoir.

Le levier mobile est constitué par une palette en fer articulée autour d'un axe. Le levier support de contact est articulé sur le levier précédent et maintenu accolé par un ressort.

La commande est réalisée par une bobine de fil fin à grand nombre de spires enroulées autour d'un noyau en fer qui forme le circuit magnétique.

Lorsque, à l'aide d'une batterie d'accumulateurs par exemple, on envoie du courant dans la bobine celle-ci donne naissance à un champ. Le circuit magnétique qui est aimanté attire alors la palette mobile. La palette vient rapidement se coller contre le noyau magnétique et réalise la fermeture du circuit de puissance.

La commande peut se réaliser à très longue distance à l'aide d'une source de courant à basse tension et par l'intermédiaire d'un interrupteur ou commutateur de petites dimensions. Seuls deux fils de faible diamètre faciles à installer assurent la liaison entre le contacteur et sa commande.

La vitesse d'ouverture et de fermeture du contact ne dépend pas de la vitesse de manœuvre du système de commande mais de l'appareil lui-même ; elle est donc invariable.

Il est à remarquer que la pression de contact ne dépend pas de la force d'attraction de la palette mais du ressort de pression ; elle est donc réglable si la tension du ressort est réglable ; la palette effectue toujours le même mouvement.

Avec un tel système contacteur, lorsque la distance d'ouverture nécessaire devient importante (elle doit être d'autant plus grande que la tension est élevée et le courant plus intense), il faut, pour pouvoir attirer la palette, une bobine de grandes dimensions car l'attraction d'un aimant diminue rapidement avec l'éloignement. Elle est inversement proportionnelle au carré de la distance. On peut alors utiliser le système représenté sur la figure 196.

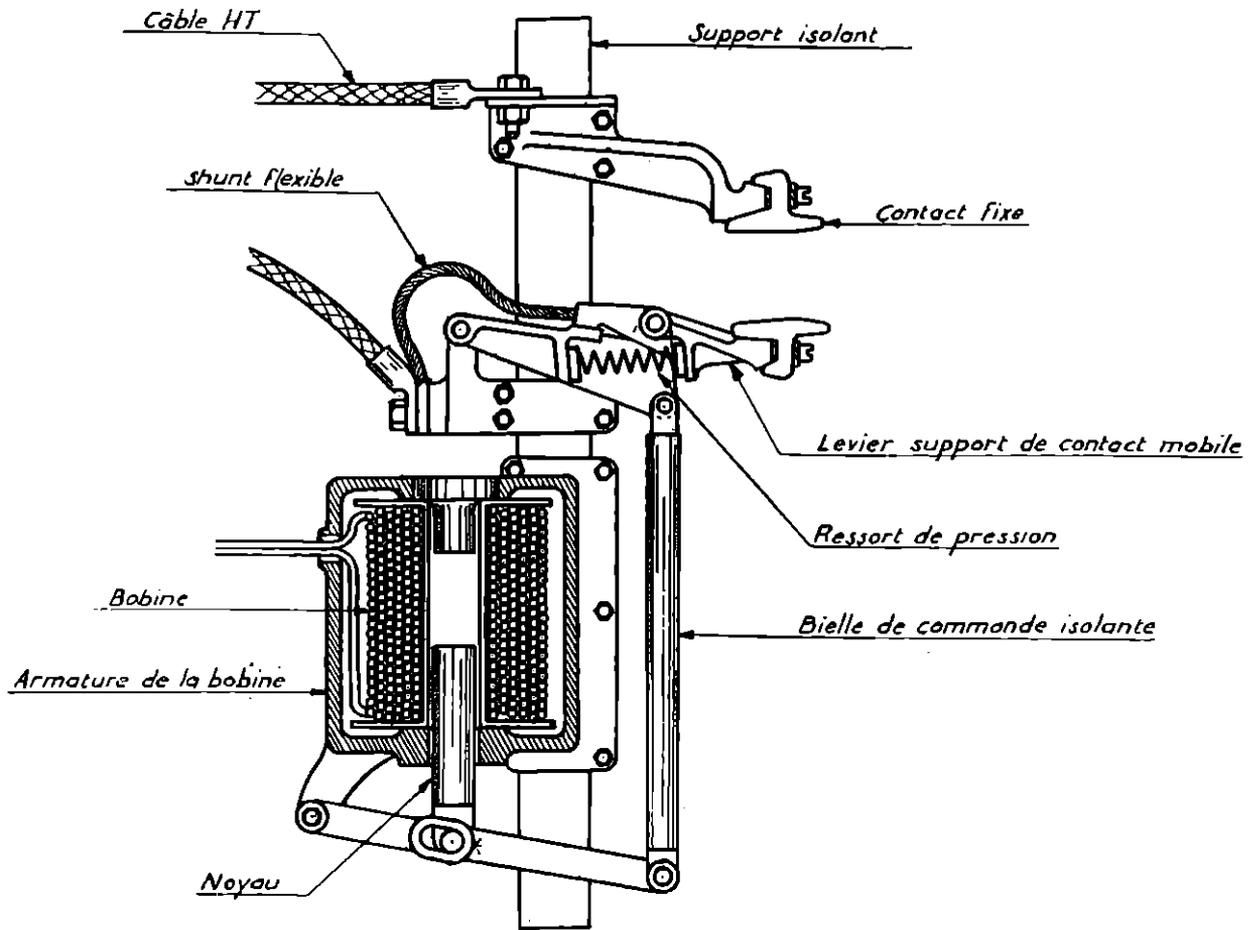


Fig. 196.

Ce contacteur possède aussi une bobine de commande mais l'action magnétique s'exerce sur un noyau cylindrique mobile en fer qui peut pénétrer à l'intérieur de la bobine. C'est le système à noyau plongeant.

Le noyau mobile communique son mouvement au support de contact mobile par l'intermédiaire d'un levier et d'une bielle de commande. La bielle est en matière isolante afin d'éviter la mise sous tension du noyau et de l'armature de la bobine lors de la fermeture. Ce système permet une distance d'ouverture plus grande. La bielle de commande fait pivoter un levier sur lequel le levier support de contact mobile est articulé. Le ressort intercalé entre ces deux leviers détermine la pression d'application des contacts qui est par conséquent réglable alors que la course du noyau plongeant est constante.

Il est à remarquer que les différents éléments de ce contacteur sont fixés sur un montant vertical isolant; c'est une disposition souvent adoptée pour les gros contacteurs.

Sur les contacteurs, afin d'éviter que les étincelles de rupture ne détruisent la régularité des surfaces de contact, on donne à celles-ci une forme particulière afin de reporter ailleurs que sur les parties actives les points entre lesquels les étincelles se produisent.

La figure 197 a représente deux contacts en position de fermeture.

Chacun des contacts possède une partie plane sur laquelle s'effectue la portée. C'est cette surface qui assure le passage du courant, elle doit donc être très régulière afin de s'appliquer exactement sur la portée de l'autre contact. Les portées sont terminées vers l'extérieur du contacteur par des becs légèrement arrondis.

Lors de l'interruption du circuit, les contacts ne se séparent pas d'un seul coup; ils roulent d'abord l'un sur l'autre pour prendre la position de la figure 197 b. Le courant continue à circuler mais les portées

planes sont séparées. L'interruption du circuit a alors lieu comme l'indique la figure 197 c, et l'étincelle se produit entre les becs.

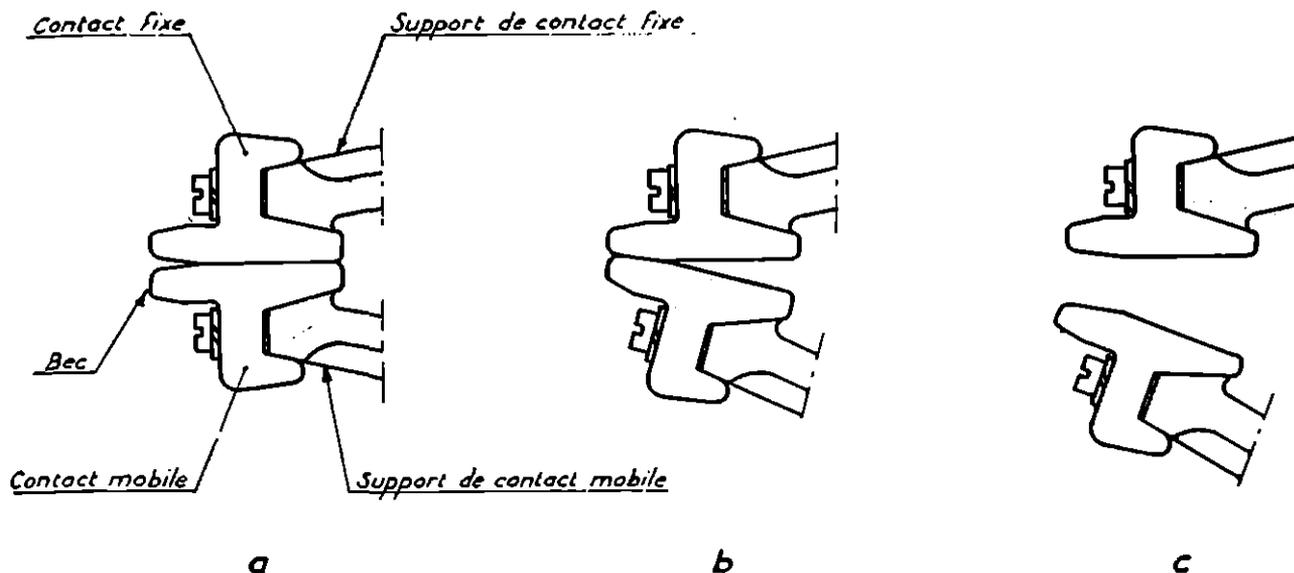


Fig. 197.

Les traces d'amorçage se produisent sur les becs, ce qui ne risque pas d'influer sur la qualité des contacts, même si les étincelles sont très violentes et marquent fortement le métal.

Le mouvement de roulement des contacts l'un sur l'autre est permis par l'articulation du levier porte-contact (revoir la figure 196) et le ressort de pression. Dès l'ouverture du contacteur il se produit une rotation du levier autour de son articulation.

Le système de fixation des contacts de la figure 197 n'est qu'un exemple; à part le profil de la surface intérieure, la forme des contacts est variable suivant le type d'appareil. La fixation de la figure 197 est cependant très utilisée en raison de sa résistance à l'ébranlement.

La forme étudiée des contacts et le mouvement particulier qui leur est imprimé lors des ouvertures ne suffisent pas pour assurer le fonctionnement parfait d'un contacteur. En effet, si un contacteur placé dans un circuit inductif s'ouvre à un instant où l'intensité est particulièrement importante, il peut se produire le phénomène suivant :

L'étincelle violente qui se produit entre les becs de contacts provoque un échauffement tel qu'un arc électrique s'amorce et persiste même lorsque l'ouverture du contacteur est terminée. Dans ces conditions les contacts ne tardent pas à être détruits, mais, ce qui est bien plus important, le courant continue à traverser le contacteur.

On conçoit tous les inconvénients qui peuvent en résulter tant pour la sécurité du personnel que pour les récepteurs.

Pour que la persistance d'un arc ne puisse se produire entre les contacts, les contacteurs sont munis d'un dispositif de soufflage.

### SOUFFLAGE DES ARCS

Le principe du soufflage est une application des forces électromagnétiques que nous avons vues lors de l'étude du fonctionnement d'un moteur.

Rappelons qu'un courant placé dans un champ magnétique perpendiculairement aux lignes de force reçoit une poussée dirigée perpendiculairement au plan champ-courant.

Un arc électrique est un courant, avec cette particularité qu'au lieu d'emprunter un support métallique, il passe dans l'air. Si nous soumettons un arc à l'action d'un champ magnétique, la force électromagnétique agissant sur lui va le déformer comme le ferait un violent courant d'air. Il va s'allonger, et dès que sa longueur sera suffisante, il va s'éteindre.

La figure 198 représente le schéma de principe du soufflage magnétique.

En position de fermeture du contacteur, le courant arrive par le shunt flexible au contact mobile, passe dans le contact fixe, et de là, avant de se rendre au récepteur, il traverse une bobine dite « bobine de soufflage » constituée par quelques spires enroulées autour d'un noyau en fer.

Le champ magnétique créé dans le noyau est canalisé par deux joues en tôle de fer et emprunte le trajet figuré par un trait pointillé dans le sens indiqué par les flèches.

A l'ouverture du contacteur, si un arc s'amorce entre les becs des contacts, le champ magnétique persiste et l'arc est soufflé dans le sens indiqué par la flèche (application de la règle des 3 doigts).

Le soufflage est d'autant plus fort que le courant interrompu est plus intense puisque c'est ce courant qui produit le champ magnétique.

Il est à remarquer que si on inverse le sens du courant dans le contacteur, le sens du champ magnétique est aussi inversé et la force électromagnétique de soufflage agit dans les mêmes conditions. Il n'y a donc pas de polarité à respecter dans le branchement.

Pendant le soufflage qui est très rapide, l'arc peut devenir très long et atteindre une partie métallique voisine ou présenter un danger pour le personnel du fait de sa violence. Afin d'éviter ces inconvénients, et aussi provoquer l'extinction au plus vite, on adapte sur les contacteurs des cornes de soufflage et une cheminée de soufflage.

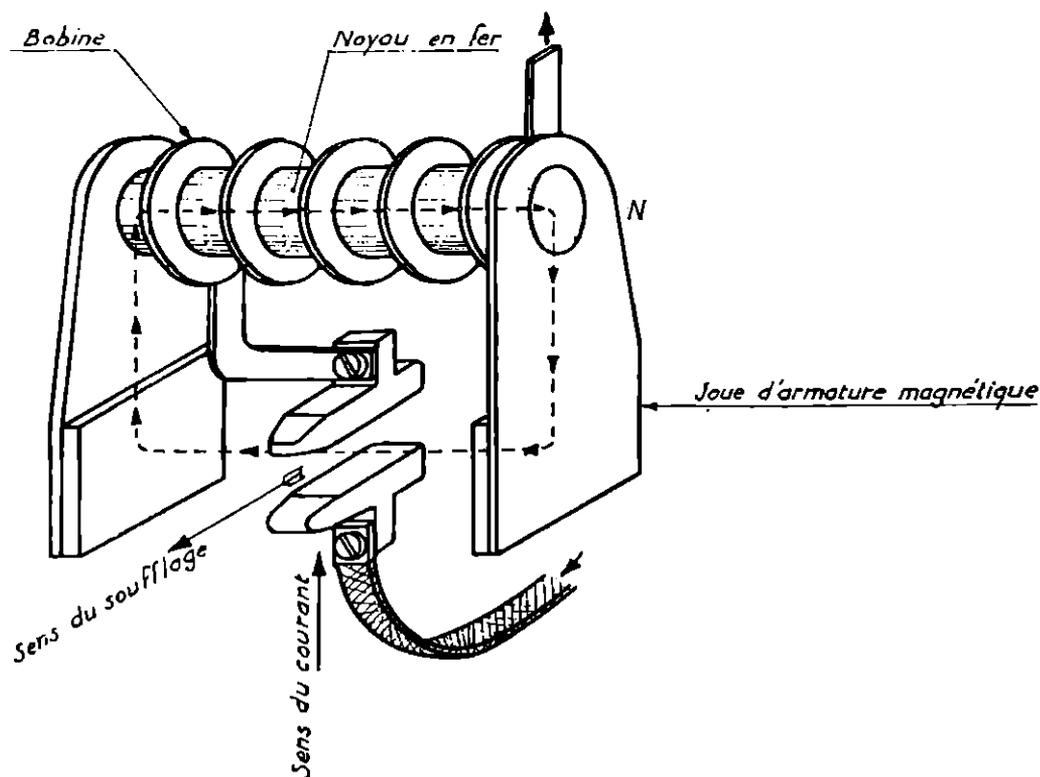


Fig. 198.

La figure 199 représente toute la partie à haute tension d'un contacteur.

En plus des dispositifs de support et de fermeture des contacts que nous avons déjà vus, on distingue tout le système de soufflage.

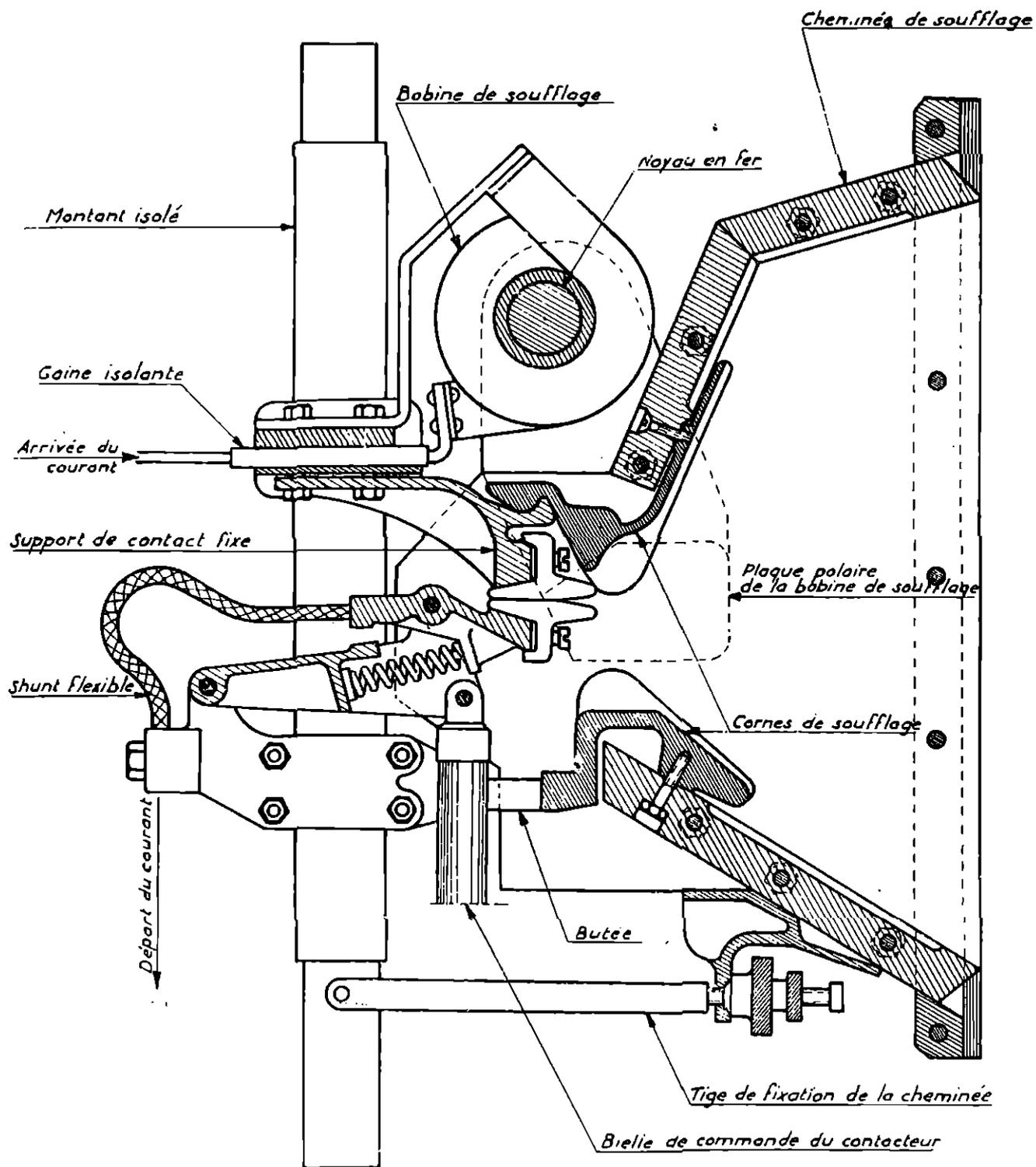


Fig. 199.

Les cornes de soufflage sont deux pièces métalliques allongées; l'une est posée sur le support de contact fixe, l'autre est placée sous le contact mobile, contre une bulée fixe.

La cheminée de soufflage est une boîte en matière isolante incombustible (fibro-ciment ou matière réfractaire moulée). Solidaire des cornes de soufflage, elle entoure les contacts et tout l'espace susceptible d'être traversé par l'arc de rupture.

L'ensemble cheminée-cornes de soufflage est amovible; il repose sur le support de contact fixe et est maintenu à la partie inférieure par une tige de fixation.

Lorsque le contacteur s'ouvre, le contact mobile vient se placer près de la corne de soufflage inférieure ainsi que l'indique la figure 200.

Si un arc s'amorce entre les becs des contacts, le soufflage magnétique le chasse et l'oblige à se déplacer sur les cornes où il s'éteint très vite pour les raisons suivantes :

- à cause de la forme des cornes de soufflage il s'allonge très vite;
- les cornes étant froides il ne peut persister (un arc électrique ne peut se maintenir que si une de ses électrodes au moins est chaude);
- des cloisons isolantes de la cheminée de soufflage (non représentées sur la figure 199) se trouvent sur son chemin et le fractionnent.

NOTA. — Sur les petits contacteurs, les cornes de soufflage sont fixées sur les contacts; elles sont indépendantes de la cheminée de soufflage.

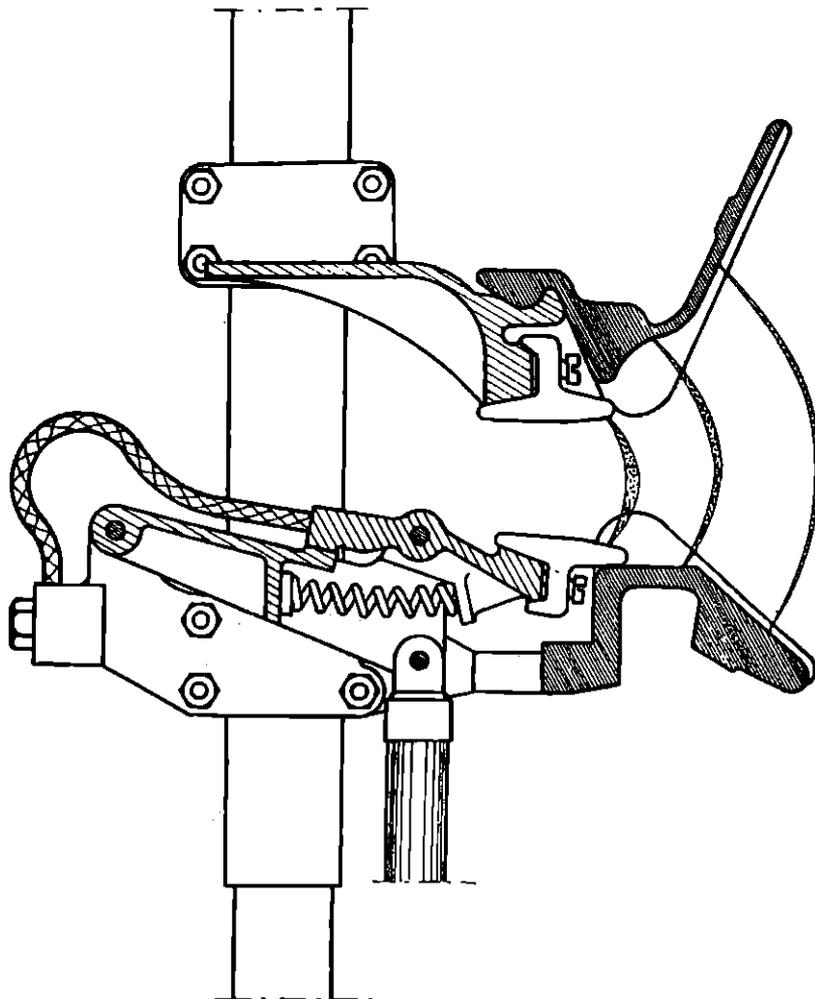


Fig. 200.

Les parties à haute tension des contacteurs étant examinées, revoyons les systèmes de commande.

Nous avons vu la commande par bobine et circuit magnétique des contacteurs électromagnétiques. Le système de commande à distance de ces appareils est facile à installer et permet une grande facilité de manœuvre.

Il présente cependant un inconvénient.

Pendant la fermeture d'un contacteur électromagnétique la bobine d'attraction qui applique les contacts doit maintenir son action; c'est-à-dire qu'elle doit toujours être parcourue par un courant. Il y a là une dépense d'énergie qui peut être considérable pour les gros contacteurs.

Afin de réduire cette dépense qui est en fait une perte, on utilise pour les gros contacteurs les systèmes de commande électropneumatiques et à cames.

Avant d'en aborder l'étude, signalons une amélioration de la commande des contacteurs électromagnétiques qui permet de réaliser une réduction sensible de l'énergie consommée : la résistance d'économie.

L'attraction magnétique nécessaire pour fermer un contacteur est plus grande que celle qui suffit à le maintenir fermé (à cause de l'éloignement de la palette ou du noyau au début de la fermeture). On peut donc réduire l'intensité du courant passant dans la bobine d'attraction lorsque le contacteur est fermé.

Il suffit pour cela d'insérer en série dans le circuit de la bobine une résistance de valeur convenable dès la fermeture des contacts.

La mise en circuit de la résistance d'économie est faite par le contacteur au moyen d'un contact auxiliaire ou « Interlock ».

La figure 201 représente un contact auxiliaire à lame flexible. Le contact fixe est supporté par une vis de réglage, le contact mobile est fixé à l'extrémité d'une lame flexible en acier.

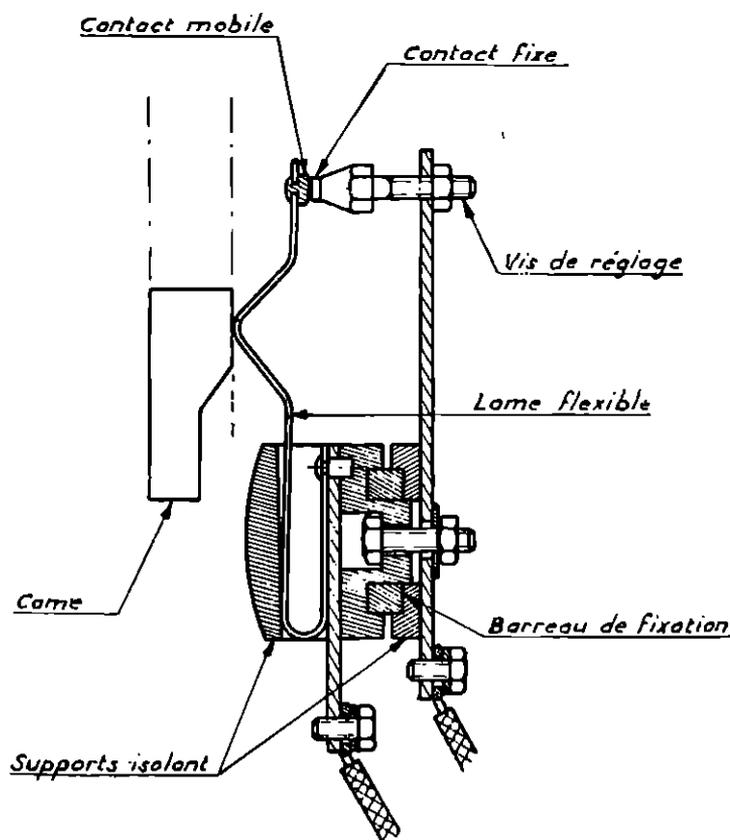


Fig. 201.

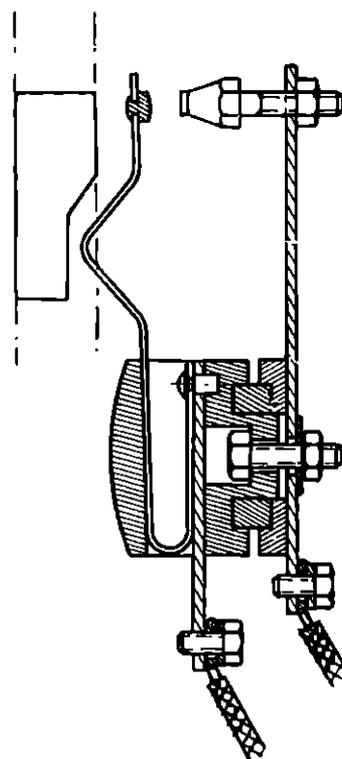


Fig. 202.

L'ensemble du contact auxiliaire est supporté par un barreau solidaire du bâti du contacteur.

Lorsque le contacteur est ouvert, une came en matière isolante appuie sur la lame flexible et applique les contacts (fig. 201).

Lorsque le contacteur se ferme, la came, entraînée par l'équipage mobile du contacteur se soulève et libère la lame flexible qui, par son élasticité éloigne les contacts (fig. 202).

Les contacts auxiliaires sont de petites dimensions; les intensités qui les traversent sont peu importantes. Il en existe de nombreux modèles; la figure 201 n'est qu'un exemple.

Pour mettre la résistance d'économie en série dans le circuit de la bobine d'attraction dès la fermeture du contacteur, il suffit de la brancher comme l'indique le schéma de la figure 203. Avant la fermeture du contacteur le courant d'excitation de la bobine arrive directement à celle-ci. Dès que le contacteur est fermé, l'ouverture du contact auxiliaire oblige le courant à traverser la résistance d'économie avant d'aboutir à la bobine.

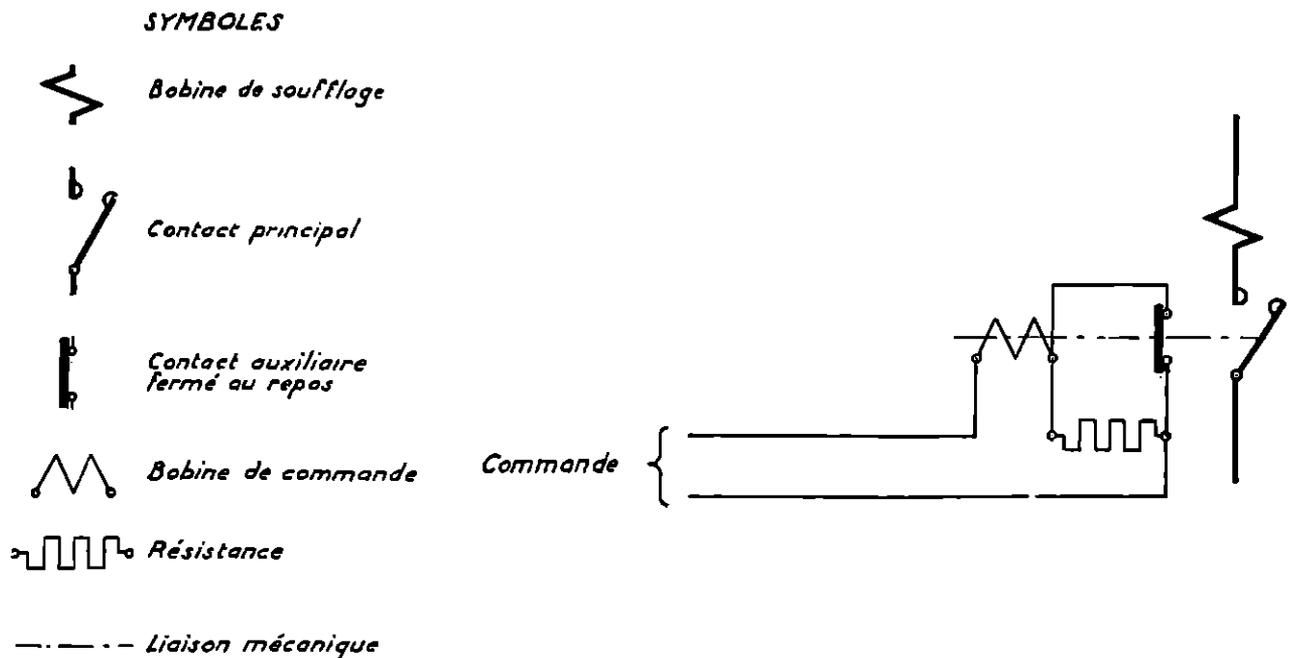


Fig. 203.

Les contacts auxiliaires ont de nombreux autres usages que nous verrons par la suite. Leur fonctionnement peut être l'inverse de celui de la figure 201; c'est-à-dire qu'ils peuvent être ouverts lorsque le contacteur est ouvert et fermés lorsque le contacteur est fermé.

### CONTACTEURS ÉLECTRO-PNEUMATIQUES

La figure 204 montre le principe du fonctionnement.

Le levier de commande du contact mobile est entraîné par une tige solidaire à sa partie inférieure d'un piston coulissant dans un cylindre à air. En l'absence d'air comprimé, l'ensemble de l'équipage mobile est maintenu en position basse par un ressort de rappel.

Pour fermer le contacteur on envoie de l'air comprimé dans le cylindre. La poussée exercée par l'air comprimé sur la face inférieure du piston est supérieure à la tension du ressort de rappel et le piston monte. La tige entraîne le levier de commande qui ferme le contacteur.

Remarquez que le contact mobile de ce contacteur est également supporté par un levier articulé sur lequel agit un ressort. Le ressort détermine la pression de contact; le mouvement du levier pendant l'ouverture ou la fermeture permet le roulement des contacts sur leurs becs.

Dans ce type de contacteur le ressort de rappel s'impose car le piston pourrait ne pas revenir au repos par son propre poids. Les contacteurs de tous types sont d'ailleurs souvent munis de ressorts de rappel afin d'éviter le collage des contacts qui pourrait se produire sur des portées irrégulières et échauffées par le passage du courant.

Sur les locomotives l'air comprimé nécessaire aux contacteurs électro-pneumatiques est prélevé sur l'installation de frein; il est utilisé à la pression de 5 hpz. Une fois fermé, un contacteur électro-pneumatique ne nécessite plus qu'une petite dépense d'énergie pour se maintenir dans cette position.

L'envoi d'air comprimé à un contacteur pourrait se faire par l'intermédiaire d'un robinet actionné par le conducteur de la locomotive; mais ce serait un système de commande bien peu commode et d'ailleurs inutilisable en raison du nombre de contacteurs équipant une locomotive.

On a alors recours à un système auxiliaire qui utilise le courant électrique à basse tension; c'est l'électro-valve.

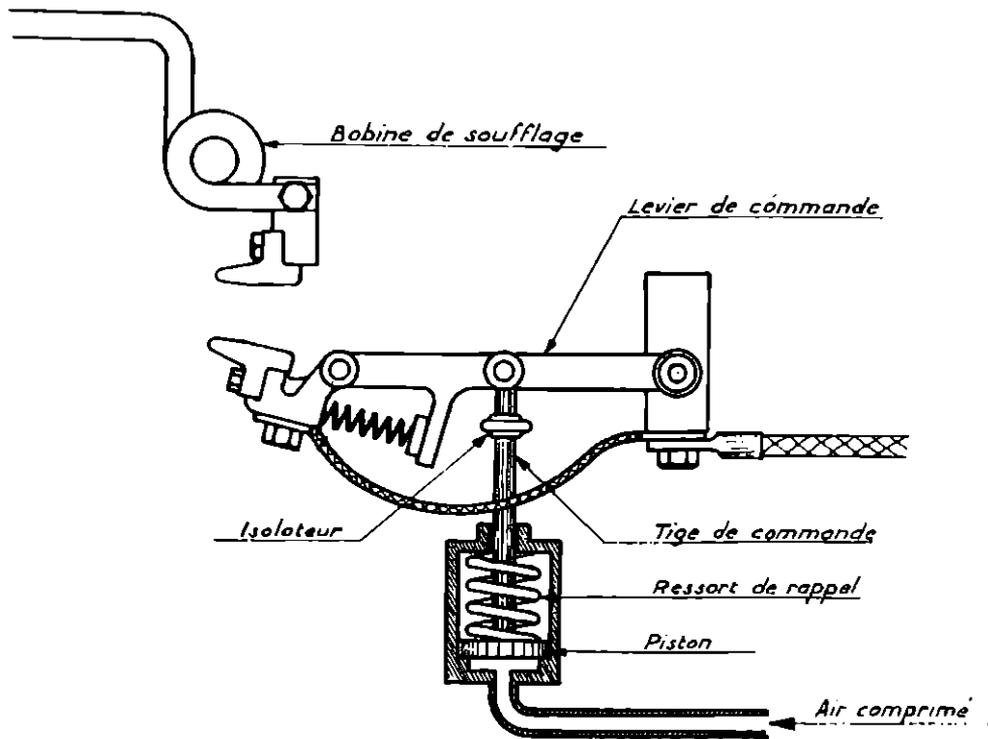


Fig. 204.

## ÉLECTRO-VALVES

Une électro-valve est un robinet actionné par un courant électrique.

La figure 205 représente schématiquement ce dispositif sur lequel on distingue à la partie inférieure (partie pneumatique) :

- une conduite alimentée en permanence par de l'air comprimé;
- une conduite aboutissant au cylindre à air du contacteur à commander;
- un orifice débouchant à l'atmosphère;
- une tige centrale munie de deux clapets opposés réglant les communications pneumatiques;
- un ressort.

Dans la position de la figure qui est la position de repos de l'appareil, le ressort maintient la tige à clapets soulevée. Il en résulte que le clapet inférieur ferme la communication entre le cylindre à commander et l'arrivée d'air, et que le clapet supérieur soulevé établit la mise à l'atmosphère du cylindre.

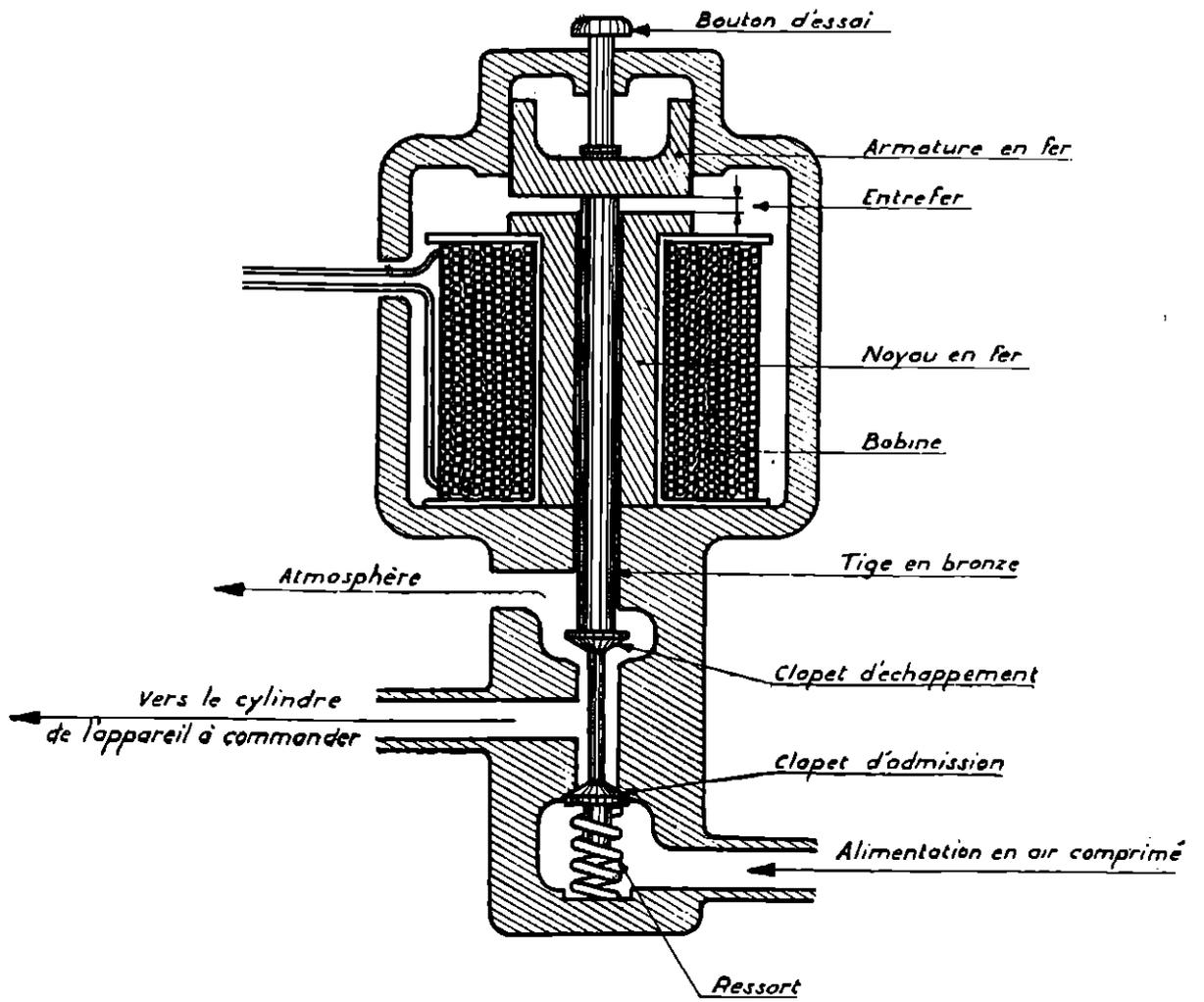


Fig. 205.

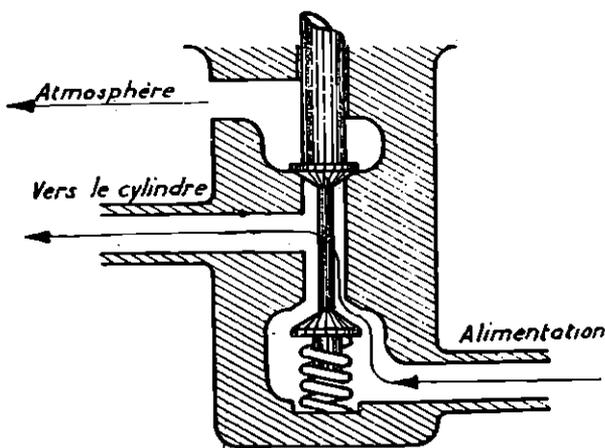


Fig. 206.

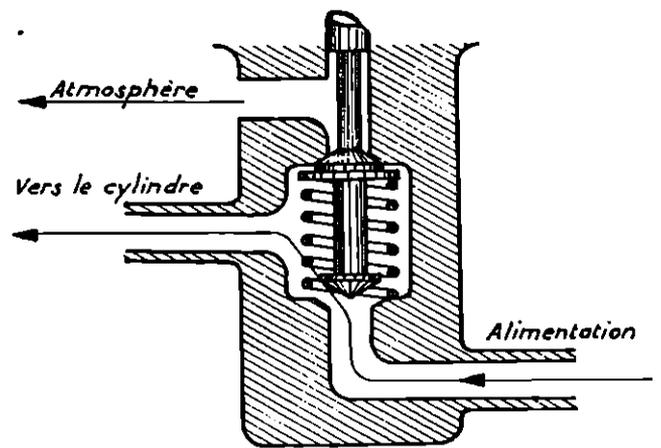


Fig. 207.

Sur la partie supérieure de l'électro-valve on distingue :

- une bobine constituée par un grand nombre de spires de fil fin;
- un noyau en fer placé verticalement dans l'axe de la bobine et percé d'un trou par lequel passe une tige en bronze qui est le prolongement de la tige à clapets;
- une pièce mobile en fer, l'armature, placée à l'extrémité de la tige en bronze.
- une carcasse entoure l'ensemble et est munie d'un bouton-poussoir à sa partie supérieure.

Lorsqu'on envoie du courant dans la bobine, il se crée un champ magnétique particulièrement intense dans le noyau; celui-ci attire l'armature mobile en fer qui, en venant s'appliquer sur la face supérieure du noyau, pousse la tige à clapets qui vient alors occuper la position de la figure 206.

La communication entre le cylindre et l'atmosphère est interrompue par le clapet supérieur tandis que le clapet inférieur, par son ouverture, permet le passage de l'air comprimé vers le cylindre de commande du contacteur.

La manœuvre obtenue par l'alimentation de la bobine est équivalente à celle d'un robinet à trois voies reliant le cylindre à commander, le réservoir d'air comprimé et l'atmosphère.

Lorsqu'on désexcite la bobine, la tige à clapets remonte sous l'action du ressort qui a été comprimé pendant le mouvement de descente, et le cylindre du contacteur se vide de l'air comprimé qui lui a été envoyé.

Le bouton-poussoir placé à la partie supérieure de l'électro-valve permet d'actionner la tige à clapets à la main pour effectuer une vérification d'étanchéité de l'électro-valve ou un essai de fonctionnement du contacteur. La distance qui sépare l'armature mobile du noyau de la bobine est l'entrefer; il est réglé à une valeur légèrement supérieure à la course des clapets.

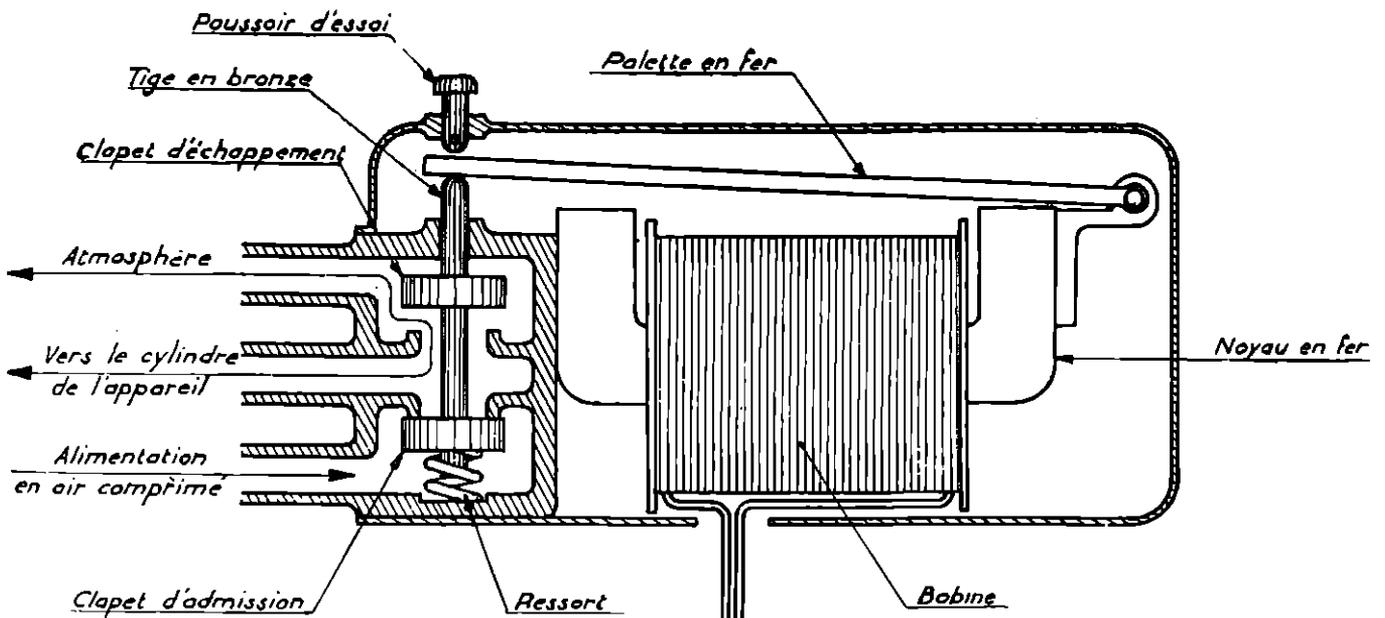


Fig. 208.

L'électro-valve qui vient d'être décrite est dite « électro-valve directe » parce qu'il faut envoyer du courant dans la bobine pour obtenir l'envoi d'air dans le cylindre du contacteur. C'est le type d'électro-valve le plus utilisé.

La figure 207 représente la partie pneumatique d'une électro-valve du type « Inverse ». Les conduits d'alimentation et de mise à l'atmosphère sont disposés de la même manière, mais les clapets sont inversés. En position de repos la tige à clapets soulevée par un ressort assure l'alimentation du cylindre commandé et ferme l'orifice de mise à l'atmosphère. La descente de la tige à clapets obtenue comme sur l'électro-valve directe provoque l'interruption de l'alimentation et la mise à l'atmosphère du cylindre. Il faut donc exciter la bobine pour obtenir la vidange d'air du cylindre.

Les électro-valves directes et inverses assurent à la fois plusieurs communications; ce sont des électro-valves doubles. Il existe aussi des électro-valves simples munies d'un seul clapet qui assure ou interrompt le passage de l'air. Sur les locomotives on trouve ces électro-valves sur la commande des sablières par exemple. Dans cette installation il suffit de pouvoir envoyer de l'air comprimé.

Les électro-valves ne sont pas toutes munies d'un noyau axial, attirant une armature. La figure 208 représente le schéma d'un système à palette articulée.

Lorsque la bobine est excitée, le noyau en fer est aimanté et attire la palette en fer articulée sur un axe. La palette entraîne dans son mouvement une tige à clapets qui assure les communications pneumatiques comme celle de la figure 205.

On trouve sur les locomotives des électro-valves de ce type dont la bobine est placée dans un bloc de matière plastique qui lui assure une bonne protection.

Les électro-valves ne sont pas uniquement utilisées pour la commande des contacteurs; nous aurons l'occasion d'en voir les différents usages.

Sur les contacteurs électro-pneumatiques l'électro-valve est fixée sur le cylindre qu'elle commande. La longueur des conduites d'air est donc très réduite. La commande à distance offre les mêmes facilités d'installation que pour les contacteurs électromagnétiques. L'avantage est même aux électro-valves qui absorbent une intensité moindre que les bobines des contacteurs électromagnétiques. Mais, par contre, il y a l'inconvénient de l'installation pneumatique pour laquelle il faut disposer d'air comprimé à une pression aussi constante que possible.

Il est inexact de dire qu'une fois fermé un contacteur électro-pneumatique ne nécessite plus de dépense d'énergie; l'alimentation de la bobine de son électro-valve doit être maintenue. Mais la puissance dépensée est bien inférieure à celle qu'absorbe un gros contacteur électromagnétique.

La figure 209 montre une représentation simplifiée des électro-valves souvent utilisée dans les schémas.



Fig. 209.

## CONTACTEURS A CAMES

Nous avons vu la fermeture des contacteurs obtenue par effet magnétique, puis par effet pneumatique; voyons-la maintenant obtenue par effet mécanique dans les contacteurs à cames.

La figure 210 représente un contacteur à came sur lequel on distingue d'abord des parties déjà rencontrées sur les autres contacteurs sous des formes peu différentes : un levier de commande articulé sur un axe, un levier support de contact mobile articulé sur le levier de commande; un ressort, un shunt flexible, un contact fixe sur son support et une bobine de soufflage. La cheminée, les cornes et les plaques polaires de soufflage ne sont pas représentées.

La particularité est dans le système de fermeture qui se compose d'un galeet tournant sur un axe solidaire du levier de commande et d'une came fixée sur un arbre, l'arbre de commande.

Par la tension du ressort le galeet se trouve constamment appliqué sur la came. La fermeture du contacteur s'obtient en faisant tourner l'arbre de commande d'un angle convenable de telle manière que le galeet monte sur le bossage de la came. La montée du galeet provoque la rotation du levier de commande qui applique

les contacts. La pression est déterminée par la tension du ressort. Le contacteur s'ouvre dès que le galet peut descendre par suite d'une nouvelle rotation de la came.

Le ressort de pression joue aussi le rôle de ressort de rappel du contacteur.

Le profil de la came est prévu pour obtenir la manœuvre rapide du levier de commande et la longueur du bossage est fonction de l'angle de rotation de l'arbre de commande entre l'ouverture et la fermeture.

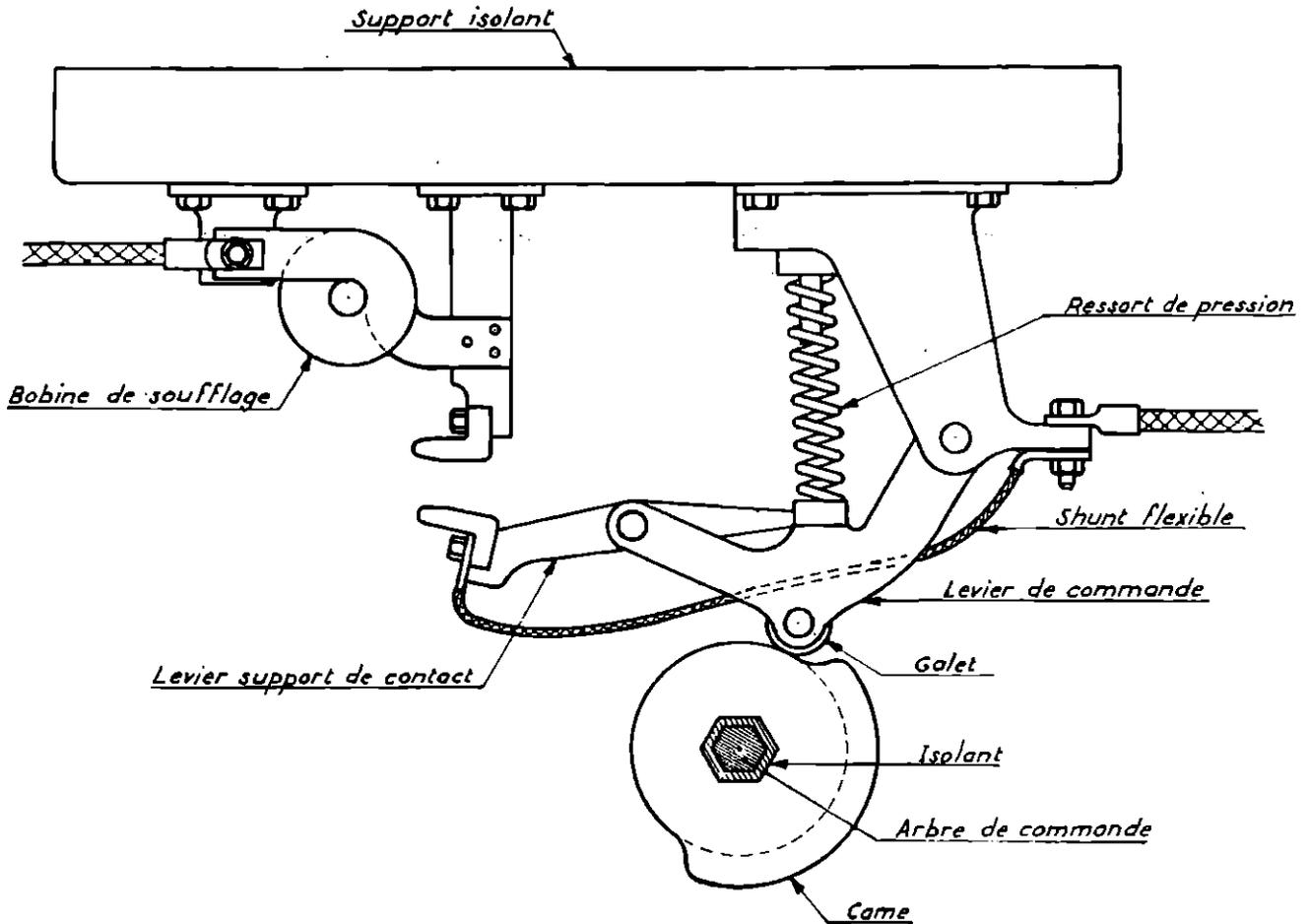


Fig. 210.

La forme de la came dépend de la façon dont on veut faire fonctionner le contacteur; par exemple, avec une came différente de celle de la figure 210, on pourrait maintenir le contacteur ouvert pendant 3/4 de tour de l'arbre de commande et fermé pendant 1/4 de tour.

Les contacteurs à cames ne sont pas tous de construction identique à celui schématisé sur la figure 210 qui est du type à moyenne puissance; il en existe de nombreuses variantes.

La figure 211 représente un contacteur pour grosse puissance en haute tension. Observez en particulier le profil de la came qui permet une grande ouverture des contacts et le montage des différents éléments sur un montant vertical recouvert d'un manchon isolant.

Un arbre de commande peut actionner plusieurs contacteurs ainsi que le montre la figure 212. La succession des manœuvres est fixée par la position des cames. L'arbre est isolé électriquement des cames; parfois les cames sont en matière isolante.

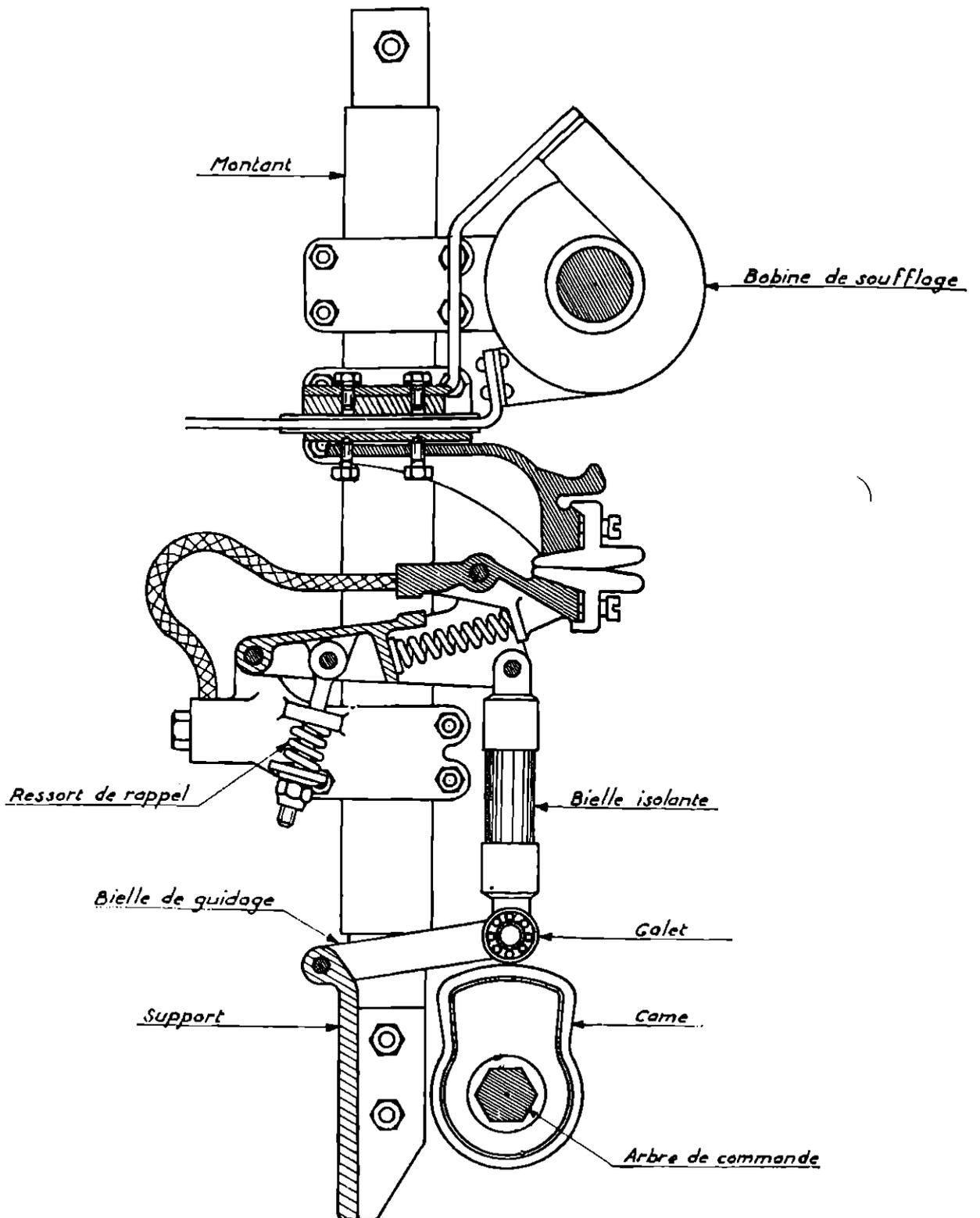


Fig. 211.

### COMMANDE DE CONTACTEURS PAR ARBRE A CAMES

(Principe)

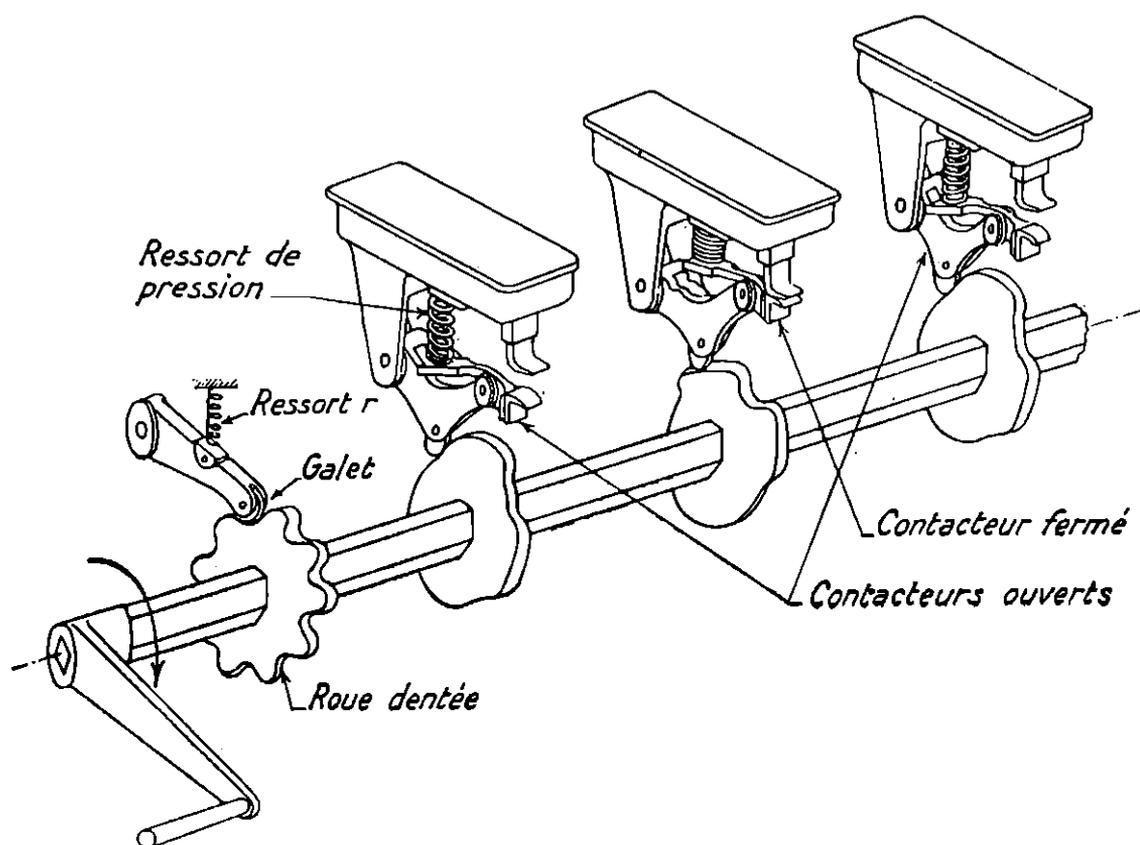


Fig. 212.

Les contacteurs à cames sont de construction plus simple que les autres contacteurs; leur usage est particulièrement intéressant lorsque les ouvertures et fermetures de plusieurs contacteurs doivent toujours se succéder dans le même ordre. C'est le cas par exemple sur certaines locomotives pour la mise en marche des auxiliaires tels que compresseur, ventilateurs, pompes, moteur-générateur de charge batterie... ou pour réaliser le démarrage des moteurs de traction par court-circuitage des résistances placées en série dans leurs circuits ainsi que nous l'avons vu dans le premier chapitre. On dispose alors de batteries de contacteurs à cames actionnés par un même arbre de commande.

Les systèmes d'entraînement des arbres à cames sont munis soit d'un moteur électrique, soit d'un dispositif pneumatique commandé par électro-valves, soit d'une commande manuelle.

Le schéma de la figure 213 montre le principe de constitution d'un système électro-pneumatique simple (servo-moteur) permettant de faire occuper trois positions à un arbre à cames.

Il vous sera aisé de constater que lorsqu'on alimente successivement et individuellement les électro-valves 1, 2 et 3, l'arbre à cames est placé sur trois positions successives. (Sur la figure, l'électro-valve 1 est excitée.) L'arbre à cames tourne dans des paliers.

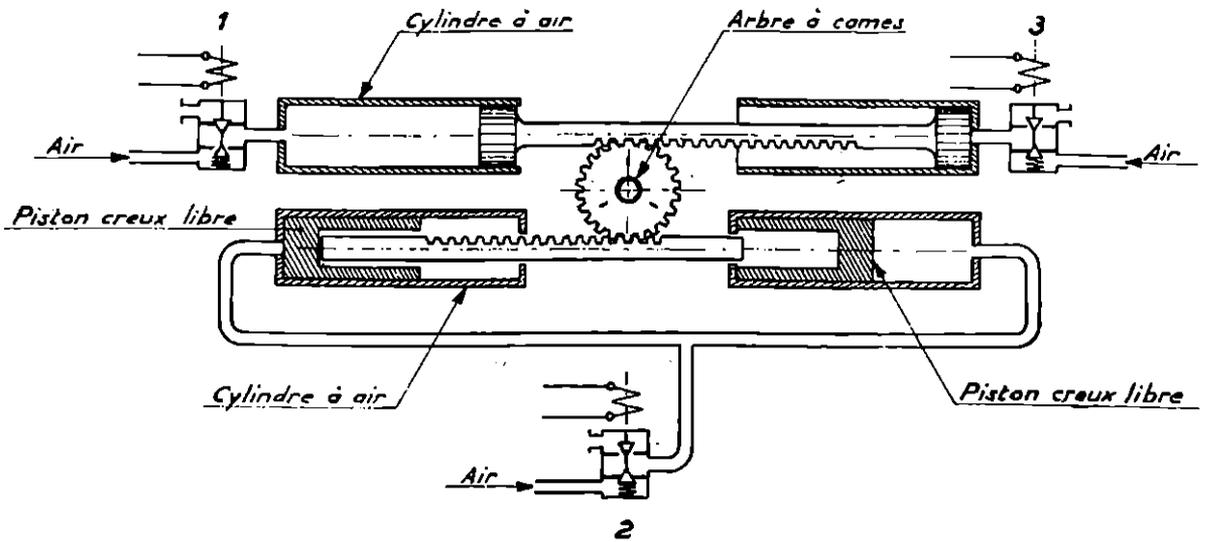
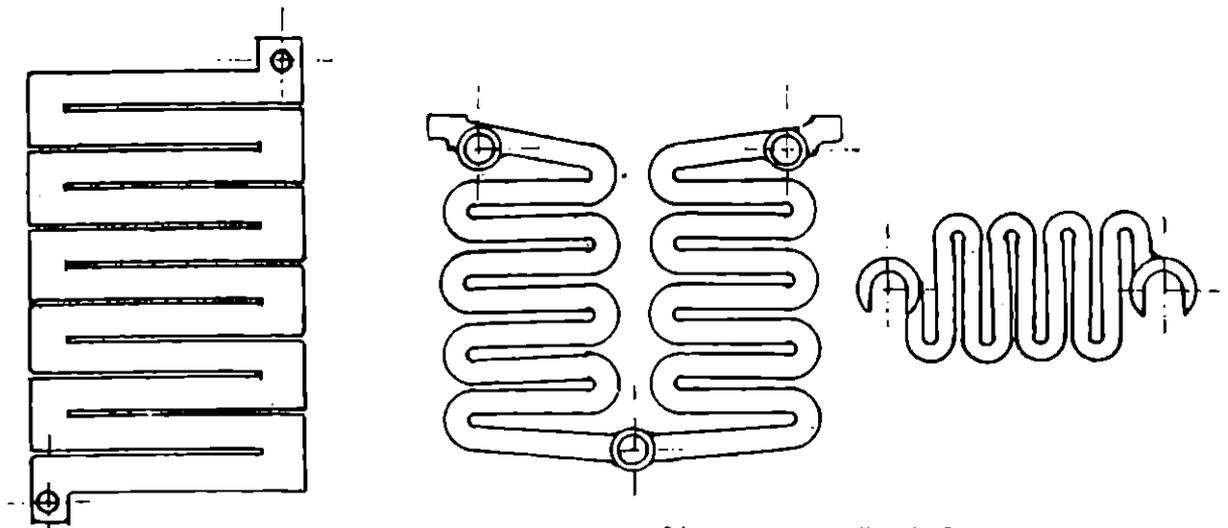


Fig. 213.

### RÉSISTANCES

Nous avons déjà vu l'usage de résistances dans les circuits électriques; insérées momentanément en série avec des récepteurs, elles permettent d'obtenir une baisse de la tension d'alimentation, ou, ce qui revient au même, elles limitent l'intensité du courant qui traverse les récepteurs.

Une résistance parcourue par un courant s'échauffe; elle transforme en chaleur l'énergie électrique qu'elle absorbe. Pour que l'échauffement ne conduise pas à une température trop élevée il faut que la chaleur puisse se dissiper facilement. L'encombrement des résistances doit donc être suffisant pour permettre un refroidissement intense par aération. Au besoin, le refroidissement est activé par une ventilation forcée



Résistance « Mécano »  
en tôle découpée

Fig. 214.

Résistances en grilles de fonte

Fig. 215.

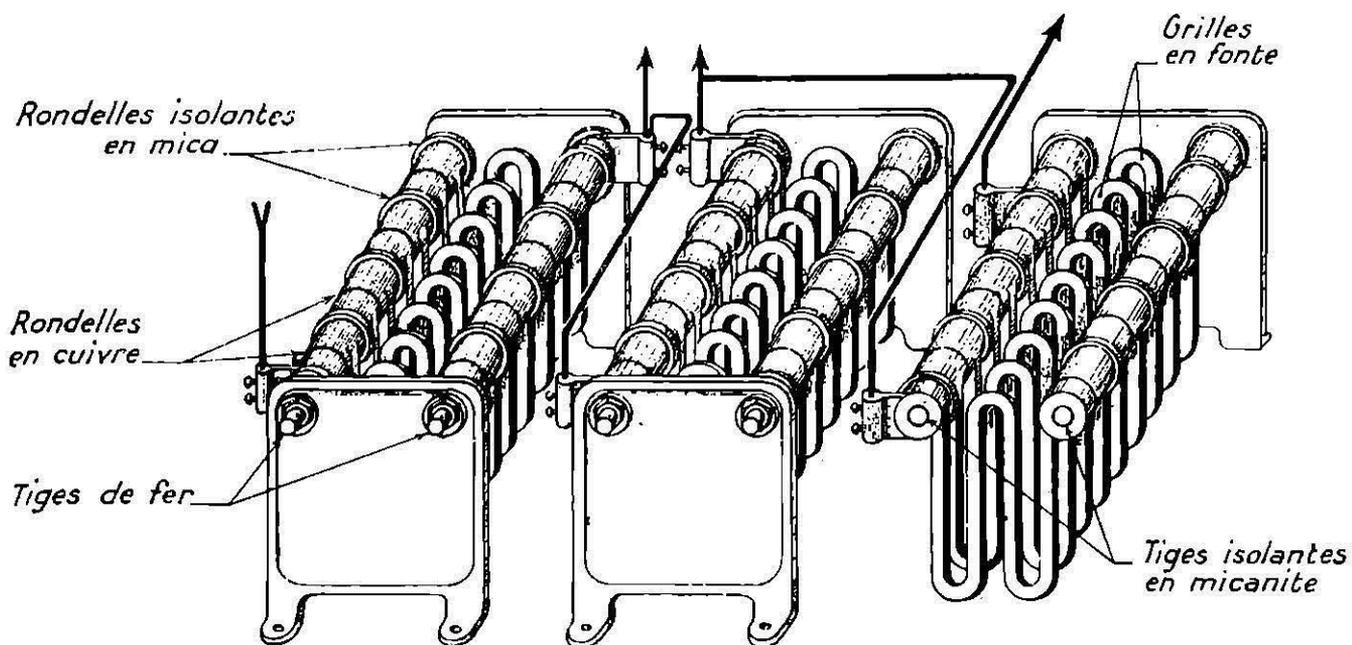


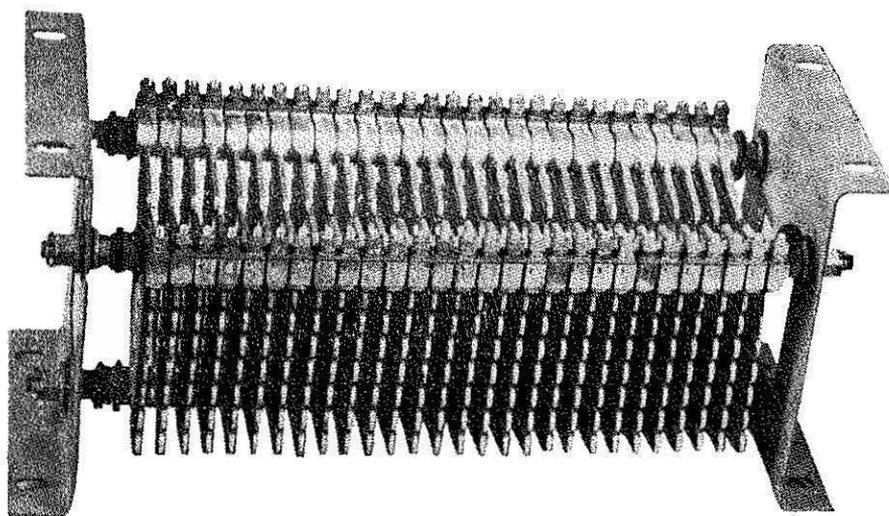
Fig. 216.

Pour les circuits à moyenne intensité, les résistances sont souvent constituées par du fil de maillechort enroulé en spirale sur un cadre en matière isolante. Parfois le maillechort est utilisé en lames minces.

Pour les fortes intensités des circuits de puissance les résistances sont constituées soit par des plaques de tôle convenablement découpées (fig. 214), soit par des grilles en fonte (fig. 215).

Ces résistances sont habituellement assemblées et groupées par caisses dans lesquelles elles sont supportées par des tiges métalliques entourées de tubes isolants en micanite (fig. 216). Pour assurer un bon contact entre les grilles consécutives, des rondelles de cuivre sont intercalées entre les portées. Lorsqu'il est nécessaire d'isoler les portées pour obliger le courant à passer dans les grilles, on intercale des rondelles en mica.

Les tiges métalliques sont supportées par des flasques en tôle ou en fonte. Chaque caisse ainsi constituée est isolée des ferrures qui la supportent dans la locomotive par des isolateurs. Il y a ainsi double isolement des résistances par rapport à la masse de la locomotive.



Cliché de la Compagnie électro-mécanique

## RÉSUMÉ

Les interrupteurs à commande manuelle sont très peu utilisés dans les circuits de puissance des locomotives en raison des nombreux inconvénients qu'ils présentent.

Ces inconvénients sont relatifs à la sécurité du personnel, au grand nombre d'appareils que le conducteur d'une locomotive devrait manœuvrer, aux arcs électriques de rupture, aux surfaces de contact et aux distances de coupure nécessaires, à la vitesse d'ouverture.

Pour réaliser les connexions mobiles dans les circuits de puissance à haute et moyenne tension on utilise des appareils commandés à distance.

Ces appareils n'offrent aucun danger pour le personnel, ils assurent automatiquement l'ordre requis des manœuvres et possèdent les qualités de surface de contact, de rapidité et de distance d'ouverture nécessaires au fonctionnement correct des récepteurs puissants; ce sont les contacteurs.

On distingue les contacteurs électromagnétiques, les contacteurs électro-pneumatiques, les contacteurs à cames. Ces trois types de contacteurs diffèrent par leur système de commande.

Les contacteurs sont munis d'un équipage mobile essentiellement constitué par :

- un levier de commande articulé sur un axe fixe;
- un levier porte-contact mobile articulé sur le levier de commande et relié à celui-ci par un ressort de pression;
- un contact mobile fixé sur le levier porte-contact;
- un shunt flexible reliant le contact mobile à une des bornes du contacteur.

L'équipage mobile, entraîné par le système de commande, assure l'application du contact mobile sur un contact fixe.

Le profil des contacts est prévu de telle manière que les étincelles de rupture ne se produisent pas sur les surfaces planes qui assurent le passage du courant en position de fermeture. Des becs arrondis prolongent les portées des contacts; c'est à l'extrémité de ces becs que s'effectue la rupture. Le mouvement de roulement des contacts au cours de l'ouverture est permis par l'articulation du levier porte-contact sur le levier de commande.

Dans un contacteur électromagnétique le système de commande est constitué par un électro-aimant qui exerce une attraction magnétique sur l'équipage mobile lorsqu'il est alimenté. L'équipage mobile est soit une bobine munie d'un noyau coudé qui attire une palette en fer solidaire du levier de commande, soit une bobine qui attire un noyau plongeur relié au levier de commande par un levier et une bielle.

Les contacteurs électromagnétiques nécessitent une dépense d'énergie assez importante pour l'alimentation de leur bobine de commande pendant tout le temps de fermeture. On peut diminuer cette dépense en insérant une résistance d'économie en série dans le circuit de la bobine lorsque le contacteur est fermé. Le changement de connexions est réalisé par un contact auxiliaire actionné par l'équipage mobile au moyen d'une came.

Pour les gros contacteurs on préfère utiliser le système de commande électro-pneumatique.

Dans un contacteur électro-pneumatique le levier de commande est entraîné par une tige isolante solidaire à sa partie inférieure d'un piston coulissant dans un cylindre à air. En l'absence d'air comprimé l'équipage mobile est maintenu en position basse par un ressort de rappel. Pour fermer le contacteur on envoie de l'air comprimé dans le cylindre.

L'envoi d'air comprimé aux contacteurs électro-pneumatiques est effectué au moyen d'électro-valves.

Une électro-valve est un robinet de commande électrique qui réalise des communications pneumatiques au moyen d'une tige à clapets. La tige à clapets est manœuvrée par l'armature mobile d'un électro-aimant; un ressort la maintient en position de repos lorsque l'électro-aimant n'est pas alimenté.

La commande des contacteurs électro-pneumatiques est obtenue par l'alimentation des bobines de leurs électro-valves. Cette alimentation se fait en basse tension et ne nécessite qu'une petite dépense d'énergie électrique.

Le troisième type de contacteur est le contacteur à came dont le levier de commande est entraîné par un galet qui roule sur une came. Lorsque la came tourne le galet suit son profil et communique son mouvement au levier de commande, réalisant ainsi la manœuvre du contacteur. Le galet est soit solidaire du levier de commande, soit relié à celui-ci par une bielle.

Les contacteurs à cames, de construction simple, sont particulièrement utilisés lorsque les ouvertures et fermetures de plusieurs contacteurs doivent toujours se succéder dans le même ordre. On trouve sur les locomotives des batteries de contacteurs actionnés par un arbre de commande sur lequel sont calées toutes les cames. Le profil des cames est déterminé en fonction de l'ordre désiré pour les manœuvres.

Pour qu'un arc électrique ne puisse s'amorcer et se maintenir entre les becs de leurs contacts, les contacteurs sont munis d'un dispositif de soufflage magnétique constitué par :

- une bobine de quelques spires munie d'un noyau en fer et parcourue par le courant principal;
- une armature en fer qui canalise le champ magnétique de la bobine de manière à le diriger sur les contacts perpendiculairement à la direction du courant.

Lorsqu'un arc électrique se produit à l'ouverture d'un contacteur, il est soufflé par le champ magnétique de la bobine.

Une cheminée de soufflage en fibro-ciment ou en matière réfractaire moulée entoure l'espace susceptible d'être traversé par un arc. Des cornes de soufflage permettent aux arcs de quitter les contacts et de s'interrompre plus rapidement.

Les résistances utilisées dans les circuits de puissance sont constituées soit par des tôles découpées, soit par des grilles en fonte. Elles sont assemblées et groupées par caisses dans lesquelles elles sont supportées par des tiges métalliques entourées de tubes isolants. Les tiges sont supportées par des flasques en tôle ou en fonte.

## QUESTIONNAIRE

### APPAREILLAGE DE CIRCUITS DE PUISSANCE

- 1° *Quels sont les principaux avantages qui justifient l'emploi des contacteurs dans les circuits à haute tension des locomotives ?*
- 2° *Décrivez l'équipage mobile d'un contacteur.*
- 3° *Faites le schéma de principe d'un contacteur électromagnétique.*
- 4° *Comment s'effectue l'ouverture des contacts d'un contacteur ?*
- 5° *Expliquez le fonctionnement du dispositif de soufflage magnétique des arcs sur un contacteur.*
- 6° *Faites le schéma de principe d'un contacteur électro-pneumatique.*
- 7° *Expliquez le fonctionnement d'une électro-valve directe.*
- 8° *Faites le schéma de principe d'un contacteur à came.*
- 9° *Qu'est-ce qu'une batterie de contacteurs à cames ?*
- 10° *Décrivez les résistances utilisées dans les circuits de puissance des locomotives.*

# DÉMARRAGE DES MOTEURS

## RÉGLAGE DE LA VITESSE

---

### DÉMARRAGE DES MOTEURS

En courant continu  
En courant alternatif

### RÉGLAGE DE LA VITESSE

Couplage des moteurs en courant continu  
Changements de couplage  
Couplage et alimentation des moteurs en courant alternatif  
Shuntage

## DÉMARRAGE DES MOTEURS

C'est au démarrage que les moteurs de traction des locomotives doivent développer l'effort le plus important.

Pour parcourir les quelques premiers mètres du déplacement, la locomotive doit vaincre l'inertie de la masse à remorquer. On peut même considérer que c'est le « décolllement » du train qui demande le plus gros effort aux moteurs; l'effort nécessaire pour entretenir le mouvement et même pour l'accélérer est souvent plus faible.

C'est pour cette raison que des patinages se produisent parfois au démarrage lorsque le rail est légèrement humide ou gras; l'effort développé aux jantes des roues motrices dépasse alors le maximum permis par l'adhérence.

L'aptitude au démarrage des locomotives détermine le tonnage maximal susceptible d'être remorqué; elle est donc très importante. C'est une qualité que les constructeurs et techniciens des chemins de fer se sont toujours efforcés d'améliorer. Actuellement les locomotives modernes peuvent démarrer des trains plus lourds que les anciennes locomotives d'égale puissance.

En étudiant le principe du fonctionnement des moteurs nous avons vu que la tension à appliquer aux bornes d'un moteur puissant pour le faire démarrer doit être assez basse pour que l'intensité du courant qui traverse alors l'induit et les inducteurs n'entraîne pas un échauffement supérieur à ce que les bobinages peuvent supporter.

Le moteur à l'arrêt ne possédant pas de force contre-électromotrice, l'intensité est uniquement limitée par la résistance ohmique de l'induit et du bobinage inducteur branchés en série.

$$I = \frac{U}{r}$$

Nous savons que dans un moteur série, les forces électromagnétiques qui sont la cause du mouvement de rotation de l'induit seront d'autant plus fortes que l'intensité du courant traversant le moteur sera plus grande.

Pour obtenir un démarrage puissant, on fera donc passer dans le moteur une intensité la plus grande possible (plus de 1 000 A pour beaucoup de moteurs).

Pourquoi ne peut-on pas accepter une intensité supérieure à une certaine limite? A cause de l'échauffement, cela a déjà été dit. Examinons cependant de plus près les causes et effets de cet échauffement.

L'échauffement des conducteurs constituant les bobinages d'Induit et d'Inducteur d'un moteur est dû à l'effet Joule qui se manifeste dans tout conducteur parcouru par un courant. Lorsque la chaleur apportée par le courant électrique ne peut plus se disperser assez rapidement, la température augmente.

Que le cuivre des conducteurs soit porté à une température assez élevée, cela n'aurait d'importance que par la perte d'énergie électrique tant que l'échauffement n'allèrerait pas la solidité du métal. Mais bien avant cette température beaucoup des isolants se carbonisent. On doit donc s'en tenir à une intensité qui correspond à une limite de sécurité pour le moteur.

Les intensités limites sont fixées par le constructeur. Le conducteur d'une locomotive doit s'y conformer constamment.

Pour le décollage d'un train et pour le début de la mise en vitesse, c'est-à-dire pendant une période n'excédant pas quelques minutes, on admet une intensité plus élevée que l'intensité en régime continu, sans toutefois dépasser le double.

C'est donc l'échauffement des moteurs qui limite leur puissance.

Pour construire des moteurs de plus en plus puissants sans dépasser les limites d'encombrement et le poids compatibles avec l'espace disponible sur les locomotives et la répartition des charges sur les essieux, on a utilisé des isolants qui peuvent supporter une température élevée sans perdre leurs qualités mécaniques et électriques (c'est ainsi que l'on admet souvent une température de l'ordre de 120° C). Par une ventilation énergique on a augmenté la dispersion de chaleur.

Les locomotives modernes sont munies de puissants groupes moteurs-ventilateurs de refroidissement dont le débit d'air est de l'ordre de 120 m<sup>3</sup> d'air par minute et par moteur.

La nécessité de donner au conducteur d'une locomotive la possibilité d'agir à volonté sur l'intensité traversant les moteurs conduit à la réalisation du circuit de traction.

Pour simplifier, supposons une locomotive munie d'un seul moteur de traction.

## I. EN COURANT CONTINU

La disposition la plus utilisée est représentée par le schéma de la figure 217.

Le courant capté sur la ligne aérienne par le pantographe alimente l'Induit et l'inducteur du moteur après avoir traversé les résistances  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ .

La valeur des résistances est telle que l'intensité du courant qui traversera le circuit dès la fermeture du contacteur  $C_1$  sera inférieure à la limite maximale admissible par le moteur.

Au démarrage, le conducteur fermera successivement les contacteurs  $CR_1$ ,  $CR_2$ ,  $CR_3$  qui éliminent chacun une résistance. Pour démarrer le plus rapidement possible, il s'efforcera de maintenir l'intensité à la valeur maximale en fermant un contacteur après chaque période d'accélération en observant l'ampèremètre qui indique à chaque instant la valeur de l'intensité.

$$\text{L'intensité est } I = \frac{U - E}{r + R}$$

$U$  : tension au pantographe.

$E$  : force contre-électromotrice qui croît avec la vitesse.

$r$  : résistance invariable du moteur.

$R$  : résistance variable au démarrage.

A l'instant de la mise sous tension du moteur  $E$  est nul,  $R$  est maximum.

Au fur et à mesure de la mise en vitesse,  $E$  augmente et  $R$  diminue par suite de l'intervention du conducteur.

Le démarrage est achevé lorsque  $R$  est éliminé.

Les variations d'intensité consécutives aux variations de la résistance  $R$  sont brusques; elles entraînent des variations brusques de l'effort développé par les moteurs. Lorsqu'on démarre une locomotive en élimi-

nant à chaque fermeture de contacteur une grosse partie de la résistance, comme dans le cas de la figure 217, la mise en vitesse est saccadée.

Pour éviter cet inconvénient on est conduit à augmenter considérablement le nombre des contacteurs de démarrage de manière à n'éliminer la résistance  $R$  que par petites fractions.

Cela complique le circuit de traction.

Les résistances de démarrage sont constituées par des grilles en fonte ou des plaques en tôle découpée (chapitre précédent). Un espace assez important leur est nécessaire à bord des locomotives. Elles ne sont pas

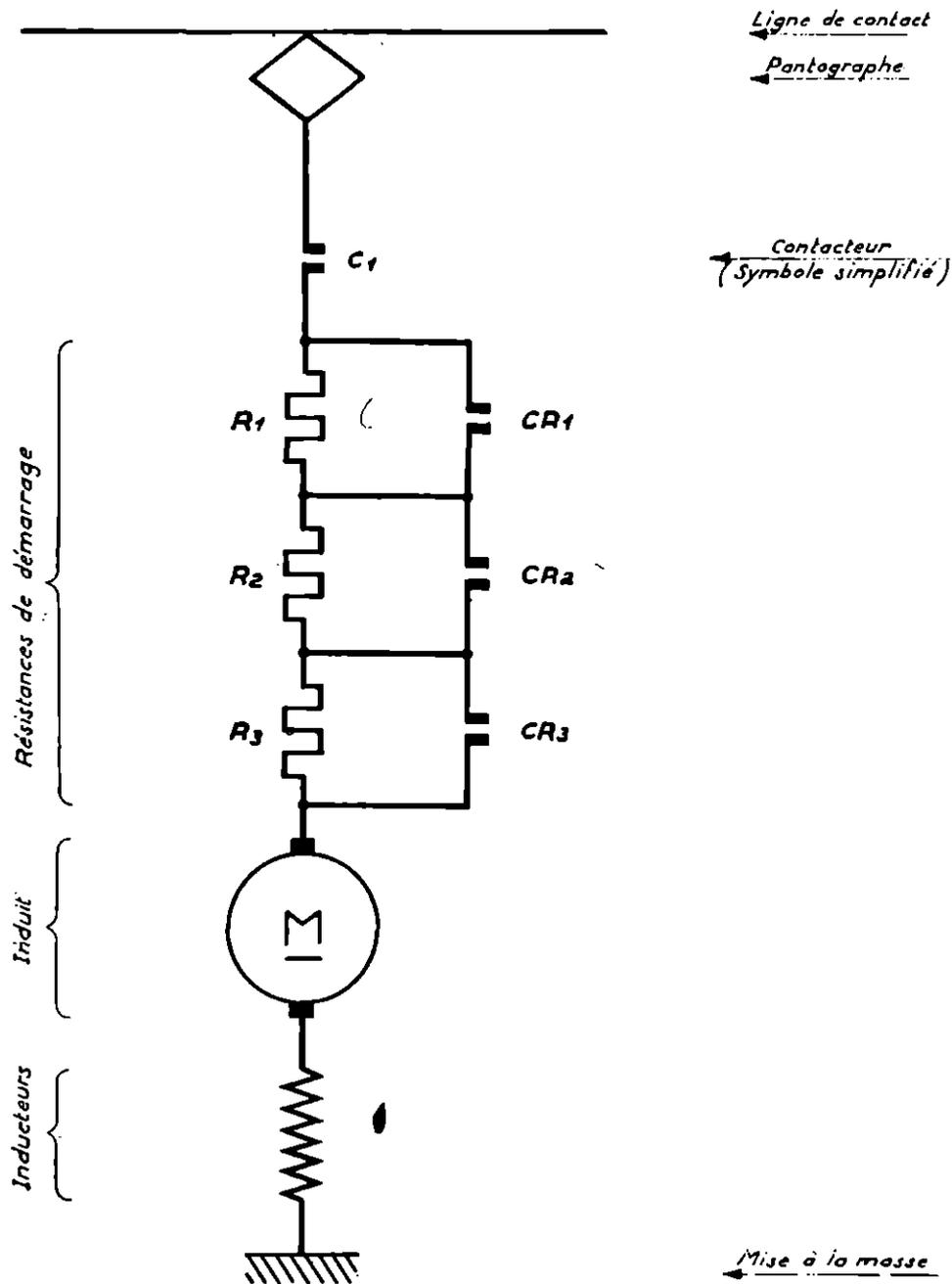


Fig. 217.

conçues pour supporter en permanence le passage du courant; la période de démarrage d'une locomotive ne doit pas se prolonger.

La période de démarrage ne permet d'ailleurs pas d'utiliser convenablement la puissance électrique absorbée au pantographe. En effet, lorsque les résistances sont dans le circuit des moteurs, le courant qui les traverse y produit un échauffement. L'énergie électrique ainsi transformée en chaleur est une perte qu'on ne peut accepter en permanence.

Le conducteur d'une locomotive doit donc s'efforcer d'obtenir un démarrage rapide sans patinage pour laisser les moteurs fonctionner sans résistance le plus longtemps possible.

La marche sans résistance est dite « marche économique ».

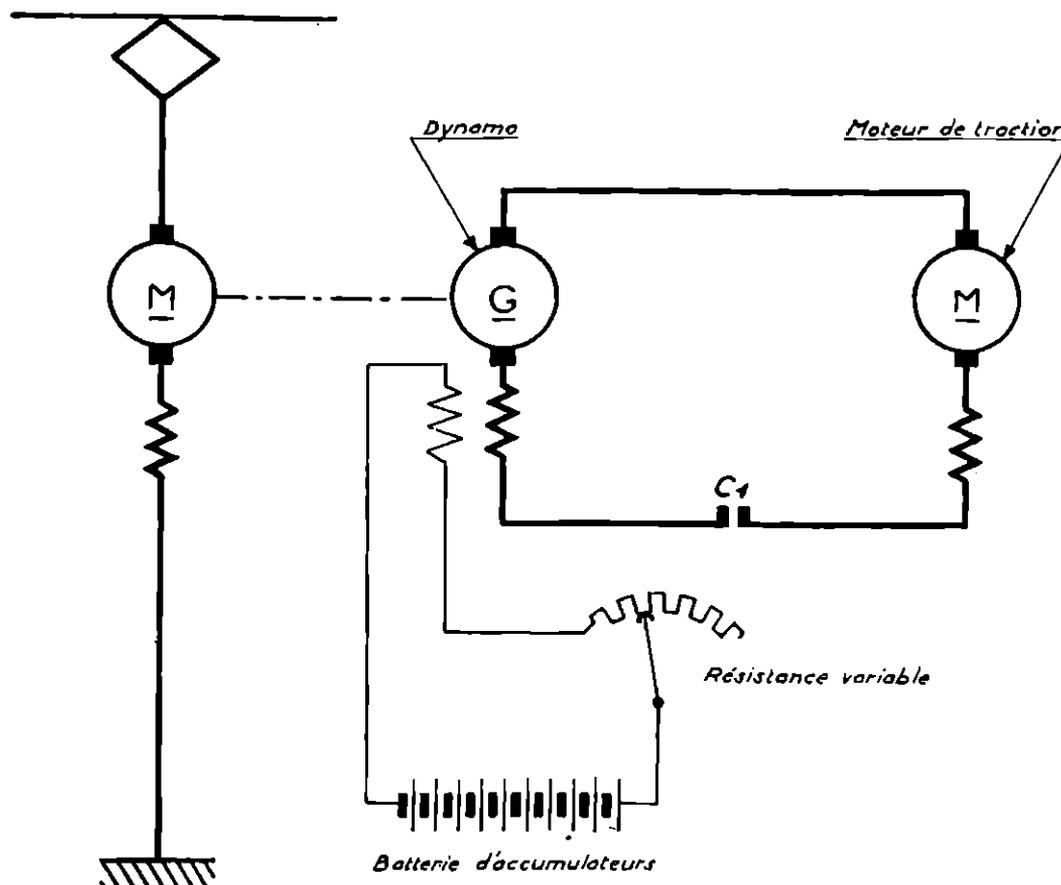


Fig. 218.

Pour tout ce qui concerne les moteurs de traction il ne faut pas perdre de vue que ce sont des machines puissantes démarrant en charge.

La mise en marche de petits moteurs tels que ceux des machines-outils est souvent réalisée en mettant directement ces moteurs sous la pleine tension d'alimentation. L'intensité du courant qui s'établit est alors supérieure à l'intensité normale, mais cela est aisément supporté par les bobinages car le démarrage est rapide, la vitesse normale est atteinte en peu de temps. Les conducteurs du moteur n'ont pas le temps de s'échauffer beaucoup; et d'ailleurs, les intensités en jeu n'ont pas l'importance de celles qui parcourent les moteurs de traction des locomotives.

NOTA. — Le circuit de traction simplifié représenté à la figure 217 peut être réalisé avec les divers types de contacteurs que nous avons étudiés. Pour le court-circuitage des résistances de démarrage, les contacteurs à cames sont particulièrement intéressants car les manœuvres s'effectuent toujours dans le même ordre.

Le contacteur  $C_1$  qui commande la mise sous tension du circuit (contacteur de tête ou contacteur de ligne) ne doit se fermer que lorsque les trois contacteurs  $CR_1$ ,  $CR_2$ ,  $CR_3$  sont ouverts. C'est une condition dont il nous faudra tenir compte en étudiant le circuit de commande.

Il existe en courant continu un moyen d'éviter l'emploi de résistances de démarrage pour limiter l'intensité dans les moteurs.

La figure 218 représente le principe de ce système.

Un moteur puissant placé dans la locomotive est alimenté par le courant à haute tension capté à la ligne aérienne (son circuit de démarrage n'est pas représenté). Ce moteur entraîne mécaniquement une dynamo qui fournit le courant aux moteurs de traction (un seul moteur est représenté).

Le groupe moteur-dynamo tourne constamment.

Une partie du bobinage inducteur de la génératrice est alimentée au moyen d'une batterie d'accumulateurs par l'intermédiaire d'une résistance variable. En faisant varier la résistance on peut faire varier le champ des inducteurs de la dynamo, et par conséquent la tension qu'elle débite dans les moteurs.

On a donc la possibilité d'alimenter les moteurs sous une tension assez basse lors du démarrage pour que l'intensité soit limitée à une valeur convenable (après fermeture du contacteur  $C_1$ ), puis de faire varier progressivement cette tension pour accélérer.

Ce système utilisé sur certaines locomotives de manœuvre qui effectuent de nombreux démarrages et circulent toujours à faible vitesse (triage) leur permet de ne pas fonctionner sans arrêt avec des résistances dans le circuit de puissance. On ne l'utilise plus actuellement en raison de nombreux inconvénients qui rendraient même son application impossible sur les locomotives puissantes.

En courant continu on préfère donc utiliser des résistances en s'efforçant de les éliminer le plus rapidement possible des circuits en fonctionnement.

## 2. EN COURANT ALTERNATIF

Les moyens utilisés pour alimenter les moteurs de traction à partir d'une tension assez basse sont assez différents de ceux décrits ci-dessus pour le courant continu en raison de la nature de ce nouveau courant capté par les pantographes.

Le courant alternatif a sur le courant continu l'avantage de pouvoir être transformé assez facilement. A partir d'un courant à haute tension on peut obtenir une basse tension sans recourir à l'usage des groupes tournants.

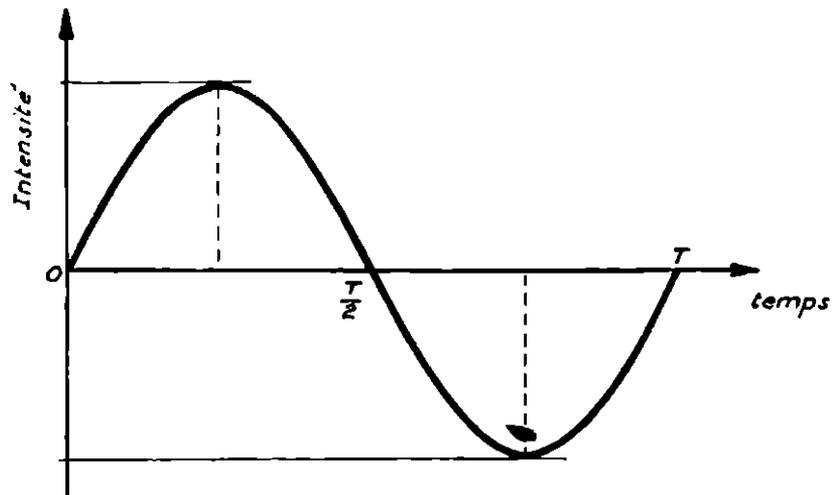


Fig. 219.

Rappelons d'abord quelques notions théoriques indispensables.

Le courant alternatif est un courant qui change périodiquement de sens.

Alors qu'en continu le courant dans un récepteur va par convention de la borne positive à la borne négative de la source, en alternatif le courant va tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre.

La période d'un courant alternatif est le temps constant qui s'écoule entre deux reprises consécutives du même sens par ce courant.

La fréquence d'un courant alternatif est le nombre de périodes par seconde. On dit un courant alternatif à 50 périodes par seconde (P/s) ou à 50 hertz (Hz).

L'intensité d'un courant alternatif varie constamment. A chaque instant l'intensité dans un circuit a une valeur que l'on nomme « intensité instantanée ». Entre un instant quelconque et l'instant immédiatement suivant, l'intensité a changé de valeur.

Pour fixer une image de cette variation traçons un graphique des différentes valeurs de l'intensité (fig. 219).

Sur un axe horizontal portons la valeur du temps à partir de l'instant O. Chaque instant suivant l'instant O peut être repéré sur cet axe.

Sur un axe vertical portons les valeurs de l'intensité du courant à partir du point O correspondant à une intensité nulle.

Lorsque le courant circule dans un sens choisi arbitrairement, nous portons les valeurs des intensités au-dessus de l'axe des temps; lorsqu'il circule en sens inverse, nous portons ces valeurs en-dessous.

Chaque intensité instantanée est représentée sur le graphique par le point de rencontre de la perpendiculaire à l'axe des temps élevée au point qui figure l'instant considéré et de la perpendiculaire à l'axe des intensités élevée au point qui figure la valeur de l'intensité à cet instant.

Si nous considérons l'instant O au moment précis où le courant change de sens, l'intensité au temps O est nulle. Au bout du temps T, durée d'une période, l'intensité a la même valeur.

En joignant tous les points qui figurent les intensités instantanées entre les instants O et T, nous obtenons une courbe.

L'examen de cette courbe nous montre que entre les instants O et T le courant croît jusqu'à atteindre une valeur maximale, puis décroît pour s'annuler au temps  $\frac{T}{2}$ ; à cet instant il change de sens et augmente jusqu'à un maximum pour décroître ensuite jusqu'au temps T où il est nul.

Si la fréquence du courant est de 50 périodes par seconde, la même variation se poursuit 50 fois en une seconde.

En courant alternatif comme en courant continu c'est la tension d'une source qui permet l'établissement d'un courant dans un récepteur branché sur cette source. La tension d'un courant alternatif suit donc les mêmes variations que l'intensité.

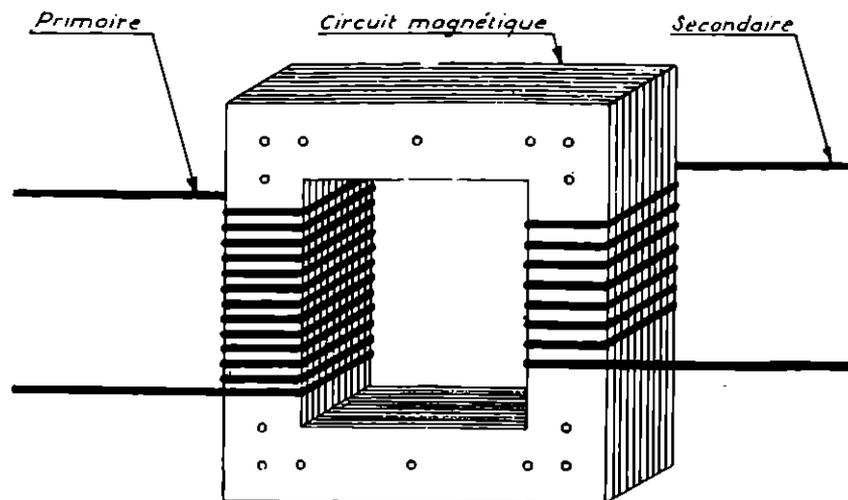


Fig. 220.

Après ces définitions, voyons maintenant le principe du transformateur.

La figure 220 représente un transformateur simplifié sur lequel on distingue :

- un circuit magnétique fermé (ou armature) constitué par un empilage de tôles minces en fer isolées les unes des autres;
- deux enroulements constitués par des bobines disposées sur l'armature.

L'un des enroulements est l'enroulement primaire. l'autre est le secondaire. Le primaire se branche aux bornes d'une source de courant alternatif. Le secondaire fournit du courant à un récepteur (non représenté sur la figure).

Supposons que ce transformateur possède 600 spires au primaire et 150 spires au secondaire. Branchons le primaire aux bornes d'une source de courant alternatif dont la tension est de 110 V (courant des installations domestiques) et branchons un voltmètre aux bornes du secondaire. Le voltmètre nous indique une tension de 27,5 V.

Remplaçons maintenant la bobine du secondaire par une bobine de 120 spires. Le voltmètre branché sur le secondaire indique une tension de 22 V.

Le tableau ci-dessous résume les mesures.

Tension primaire	Nombre de spires au primaire	Nombre de spires au secondaire	Tension au secondaire
110 V	600	150	27,5 V
110 V	600	120	22 V

Il apparaît que la tension fournie par le secondaire a varié dans le même sens que le nombre de spires. D'autres mesures avec des nombres de spires différents confirmeraient ce résultat.

On verrait de même que si le nombre de spires du secondaire devenait supérieur à celui du primaire, la tension recueillie au secondaire serait supérieure à la tension appliquée au primaire.

Pour un primaire donné, la tension recueillie aux bornes du secondaire est proportionnelle au nombre de spires du secondaire.

Le transformateur offre donc en courant alternatif le moyen d'obtenir une tension quelconque à partir d'une tension d'alimentation.

Le principe de fonctionnement du transformateur peut s'expliquer assez simplement :

Le courant alternatif qui circule dans le primaire y crée un champ magnétique. Ce champ trouve un chemin facile dans le circuit magnétique en fer; il passe donc à travers le secondaire.

Puisque l'intensité du courant primaire varie sans cesse, le champ magnétique créé suit la même variation.

Considérons une spire du bobinage secondaire. Elle est traversée par un champ magnétique sans cesse variable. Si au lieu d'être fixe dans un champ magnétique variable celle spire se déplaçait constamment dans un champ magnétique fixe, le phénomène serait exactement identique. La spire secondaire fixe est donc le siège d'une force électromotrice induite qui donne lieu à la circulation d'un courant induit lorsque son circuit est fermé sur un récepteur.

Comme le courant qui lui donne naissance, le champ magnétique varie tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre; il est alternatif. La force électromotrice induite dans la spire secondaire est donc alternative.

Toutes les spires du secondaire sont reliées entre elles; les forces électromotrices induites dans ces spires s'additionnent et on recueille aux bornes du secondaire une tension alternative qui est la somme de toutes les forces électromotrices induites.

La tension au secondaire dépend donc du nombre de spires de ce secondaire.

Le transformateur qui vient d'être décrit nous donne le moyen d'obtenir une tension donnée aux bornes d'un secondaire spécialement prévu. Mais ce qui nous intéresse sur une locomotive, pour l'alimentation des moteurs pendant la période de démarrage, c'est la possibilité de faire varier à volonté la tension d'alimentation de ces moteurs.

Le dispositif de principe schématisé sur la figure 221 permet de réaliser cette alimentation.

Le courant alternatif à haute tension capté par le pantographe alimente le primaire d'un transformateur (le circuit magnétique n'est pas représenté). Le secondaire de ce transformateur est muni d'un certain nombre de bornes branchées en divers points du bobinage.

Les moteurs de traction (dont un seul est représenté) sont branchés entre une extrémité du secondaire et un curseur mobile ou « gradateur » susceptible de se déplacer sur les bornes intermédiaires du secondaire. Lorsque le conducteur de la locomotive déplace le gradateur sur les plots, il change à chaque « cran » le nombre des spires actives du secondaire, et par conséquent la tension appliquée aux moteurs.

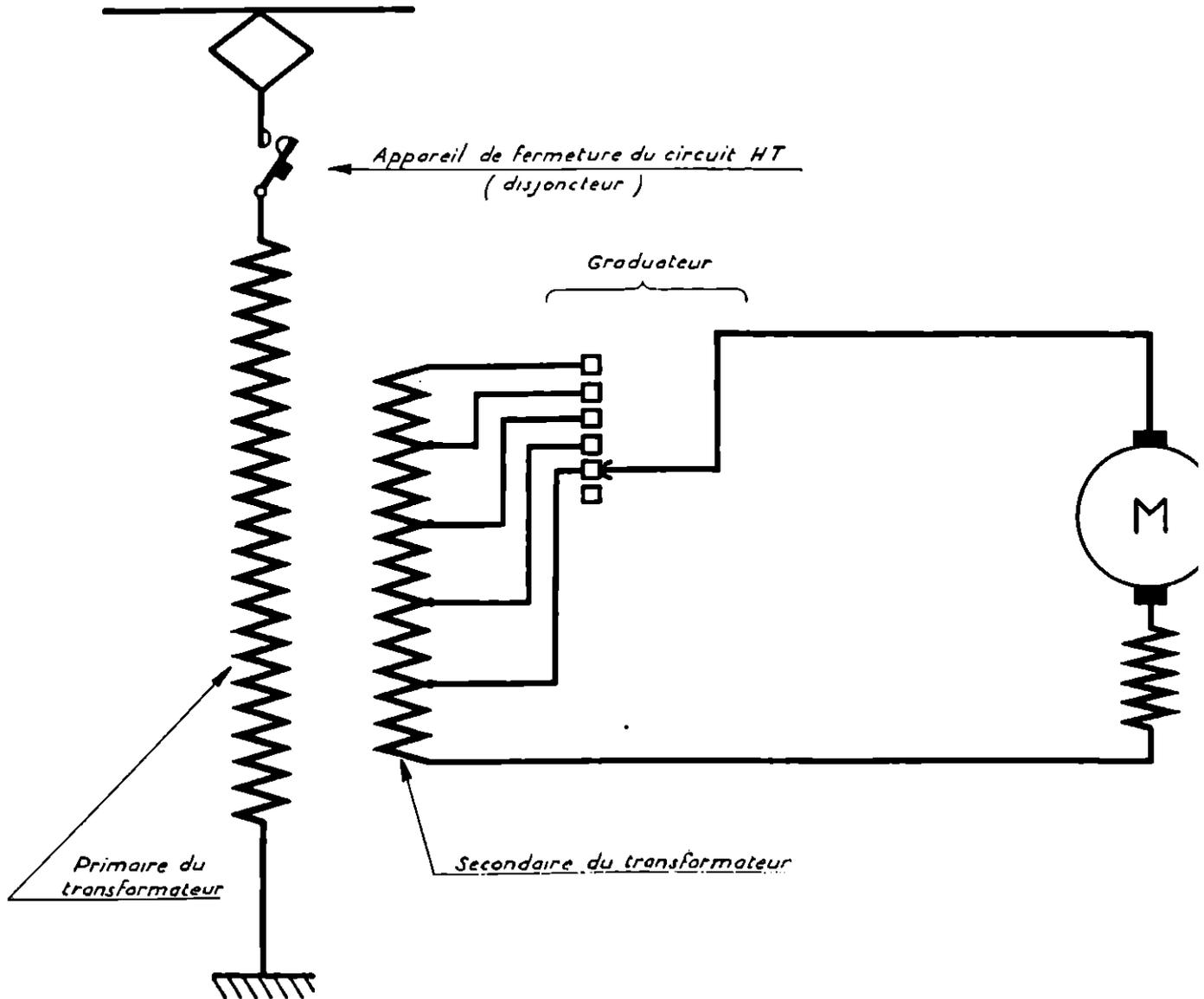


Fig. 221.

Au démarrage de la locomotive, le gradateur sera placé sur le premier plot qui fournira une tension suffisamment basse pour que l'intensité du courant s'établissant alors dans les moteurs soit limitée à une valeur convenable.

L'accélération sera obtenue en déplaçant le graduateur de manière à augmenter progressivement la tension d'alimentation tout en surveillant l'intensité.

Le transformateur à prises multiples donne le moyen d'alimenter les moteurs en tension variable et de réaliser le démarrage sans l'usage de résistances.

Un transformateur fonctionne en ne provoquant que très peu de pertes d'énergie; la tension débitée par le secondaire étant directement appliquée aux moteurs, toutes les positions de marche d'une locomotive sont économiques car, à part des pertes minimales, toute l'énergie captée au pantographe est utilisée par les moteurs.

Les locomotives alimentées en courant alternatif à haute tension ont une grande souplesse de fonctionnement et la possibilité de circuler aux basses vitesses.

Cinq bornes sont représentées sur le secondaire de la figure 221; en réalité les graduateurs des locomotives possèdent au moins vingt crans de marche.

Pratiquement le principe du transformateur à rapport variable des locomotives est un peu différent de celui de la figure 221. Le dispositif réel est schématisé sur la figure 222.

Le courant à haute tension capté par le pantographe alimente un auto-transformateur qui est muni du graduateur de tension.

Le principe de fonctionnement d'un auto-transformateur est identique à celui d'un transformateur ordinaire muni d'un primaire et d'un secondaire. Sa particularité essentielle est que l'enroulement secondaire est confondu avec une partie de l'enroulement primaire.

Le graduateur de tension permet de prélever une tension variable sur l'auto-transformateur pour alimenter un transformateur fixe abaisseur de tension qui fournit le courant aux moteurs de traction.

Donnons quelques chiffres en exemple (locomotives BB 12000).

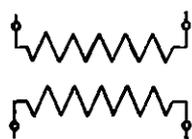
Tension au pantographe 25 000 V 50 P/s.

Tension variable prélevée par le graduateur 0 à 15 000 V.

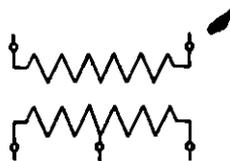
Tension fournie aux moteurs par le transformateur fixe 0 à 960 V.

Les moteurs de traction branchés sur des transformateurs sont alimentés en courant alternatif. Pour l'instant, considérez que ces moteurs fonctionnent comme ceux alimentés en courant continu. Vous apprendrez plus tard les particularités de fonctionnement et de construction qui les distinguent. Nous n'étudions ici que des principes essentiels, et tout ce que nous avons vu à propos du fonctionnement des moteurs alimentés en courant continu s'applique aux moteurs alimentés en courant alternatif.

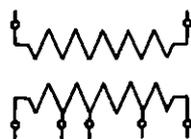
SYMBOLES UTILISÉS POUR LA REPRÉSENTATION DES TRANSFORMATEURS



*Transformateur à deux enroulements*



*Transformateur à prise médiane*



*Transformateur à prises multiples*



*Symbole simplifié*

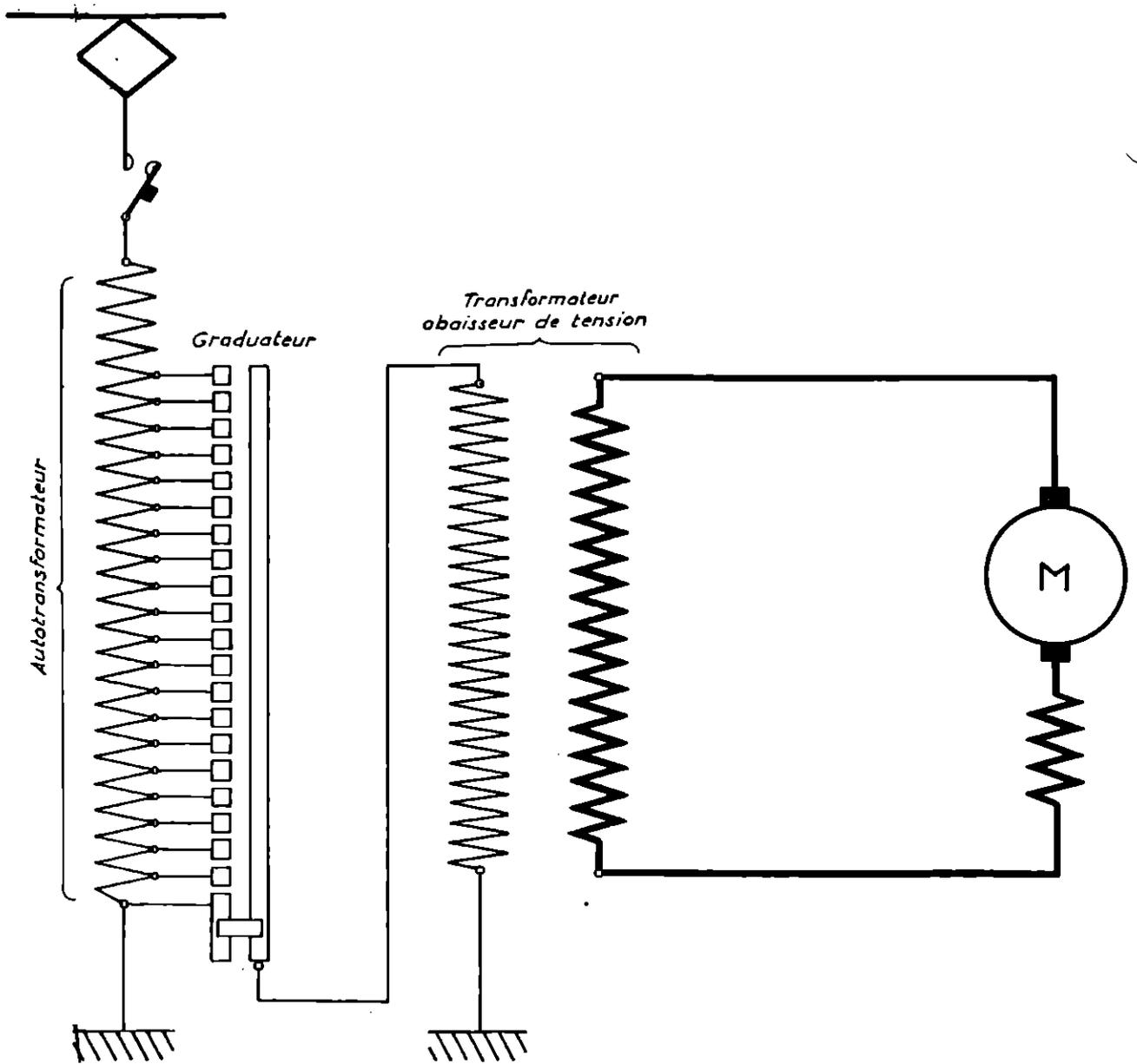
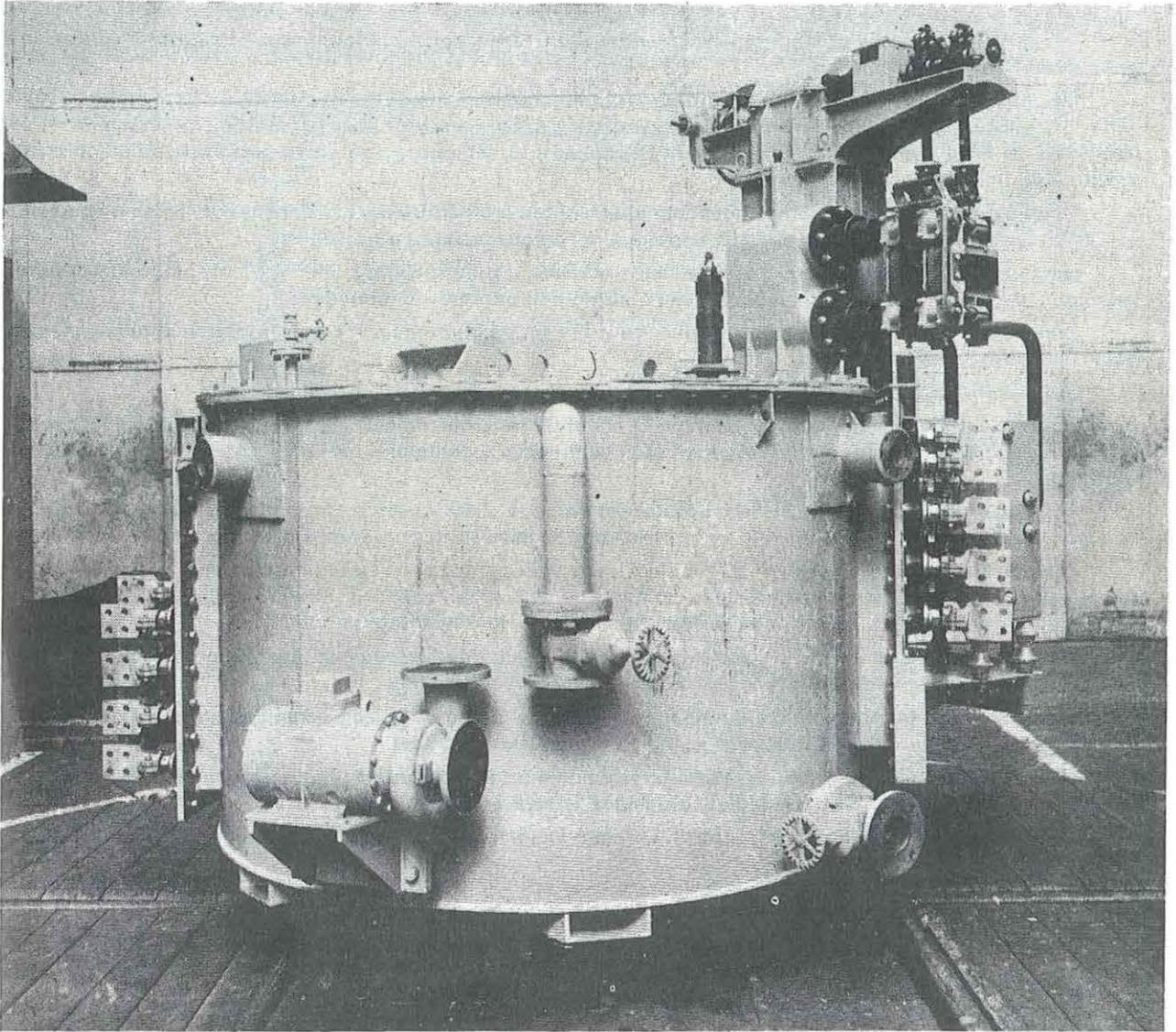


Fig. 222



(Cliché C. E. M.)

**ENSEMBLE TRANSFORMATEUR-GRADUATEUR D'UNE LOCOMOTIVE A COURANT ALTERNATIF**

## RÉGLAGE DE LA VITESSE

### I. COUPLAGES DES MOTEURS EN COURANT CONTINU

En courant continu le démarrage des moteurs est obtenu par élimination des résistances placées en série dans le circuit de traction.

Si une locomotive n'était munie que d'un seul moteur comme nous l'avons admis au paragraphe précédent, il n'y aurait qu'une marche économique. Autrement dit, une seule allure normale de circulation (correspondant à la fin du démarrage), puisque les résistances de démarrage ne doivent pas être maintenues en circuit plus qu'il n'est indispensable.

Il est évident qu'une locomotive fonctionnant ainsi pourrait difficilement remorquer un train en assurant un horaire et en respectant les vitesses imposées en certains points de la voie.

Les locomotives sont munies de plusieurs moteurs; le plus souvent quatre ou six. Nous allons voir comment, avec ces moteurs, on peut obtenir plusieurs marches économiques.

On est obligé de maintenir des résistances dans le circuit d'un moteur lorsque la tension dont on dispose pour l'alimenter est trop élevée.

La tension est trop élevée tant que le moteur ne tourne pas assez vite.

En effet, le conducteur de la locomotive, en observant son ampèremètre, doit attendre que chaque période d'accélération soit réalisée avant de continuer à éliminer des résistances pour accélérer davantage.

A chaque position du circuit de traction, avec ou sans résistances en service, correspond une tension aux bornes d'un moteur. Tension qui va en croissant à mesure que la vitesse de la locomotive augmente.

Plus la tension aux bornes de ses moteurs est élevée, plus la vitesse d'une locomotive se stabilise à une valeur élevée. On peut donc dire que la vitesse est proportionnelle à la tension appliquée aux moteurs. Si on double ou triple la tension aux bornes des moteurs la vitesse double ou triple.

Mais n'oublions pas qu'on ne peut augmenter la tension que lorsque cela ne risque pas de provoquer une intensité de courant supérieure à la valeur maximale admissible.

Sur une locomotive munie de 4 moteurs, réalisons le circuit de traction comme l'indique la figure 223. Les moteurs sont alors branchés en série; on dit « couplés en série ».

La locomotive étant à l'arrêt, les résistances de démarrage sont en circuit. Les 4 moteurs et les 4 groupes de résistances constituent des récepteurs électriques absolument identiques.

Pendant le démarrage, si nous désignons par  $U$  la tension captée à la ligne aérienne, en application de la loi d'Ohm, que la tension aux bornes de chaque groupe moteur-résistance est  $\frac{U}{4}$ .

Quand le démarrage est terminé, les résistances sont hors-circuit, et la tension  $\frac{U}{4}$  est appliquée aux bornes de chaque moteur (fig. 224).

A cette tension correspond une vitesse et une position de marche économique.

Une marche économique est atteinte pour une tension  $\frac{U}{4}$ . Sur la locomotive supposée à 1 moteur nous avons vu que la marche économique unique n'était réalisée que pour la tension  $U$ .

On a donc avec le couplage série des 4 moteurs la possibilité de circuler à basse vitesse. Soit  $V$  cette vitesse.

Pour pouvoir circuler à une vitesse supérieure il faut augmenter la tension aux bornes des moteurs. Puisque la tension  $U$  à la ligne aérienne est constante il faut changer de couplage.

On modifie alors les connexions du circuit de traction pour réaliser le couplage « série parallèle » représenté sur la figure 225.

Les résistances de démarrage sont replacées dans le circuit de chaque moteur et la tension aux bornes de chaque groupe moteur-résistance est  $\frac{U}{2}$ .

En éliminant graduellement les résistances on peut réaliser une nouvelle période d'accélération qui se termine par une position de marche économique lorsque la tension  $\frac{U}{2}$  est appliquée à chaque moteur (fig. 226).

La vitesse à laquelle se stabilise le mouvement de la locomotive est double de la vitesse correspondant à la première marche économique puisque la tension  $\frac{U}{2}$  est double de  $\frac{U}{4}$ . Cette vitesse est  $2V$ .

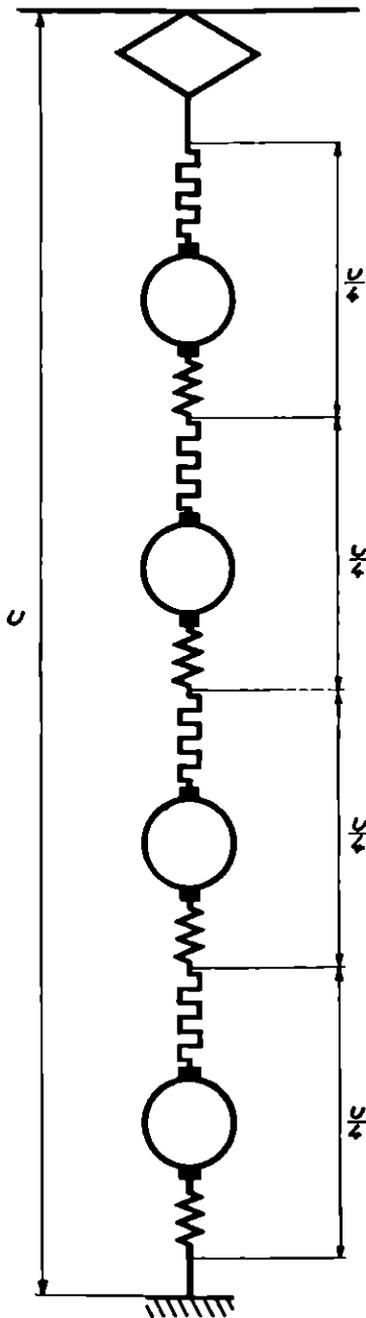


Fig. 223.

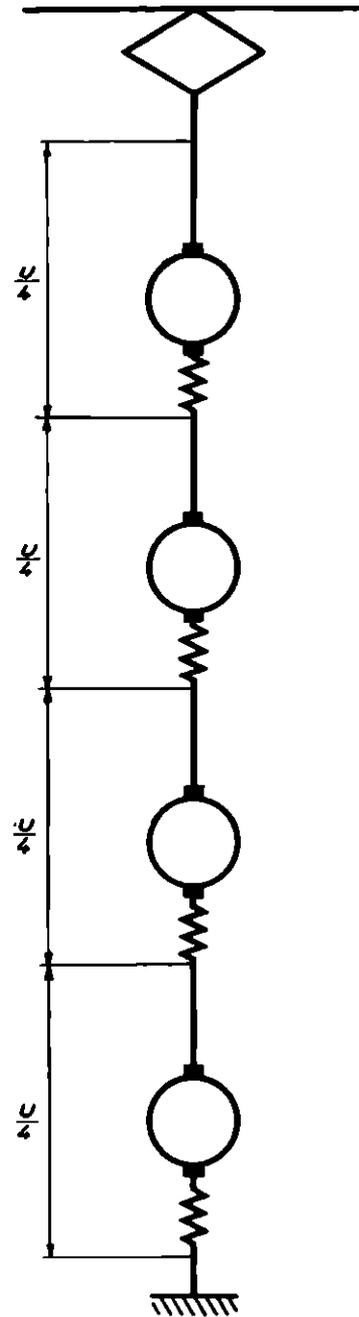


Fig. 224.

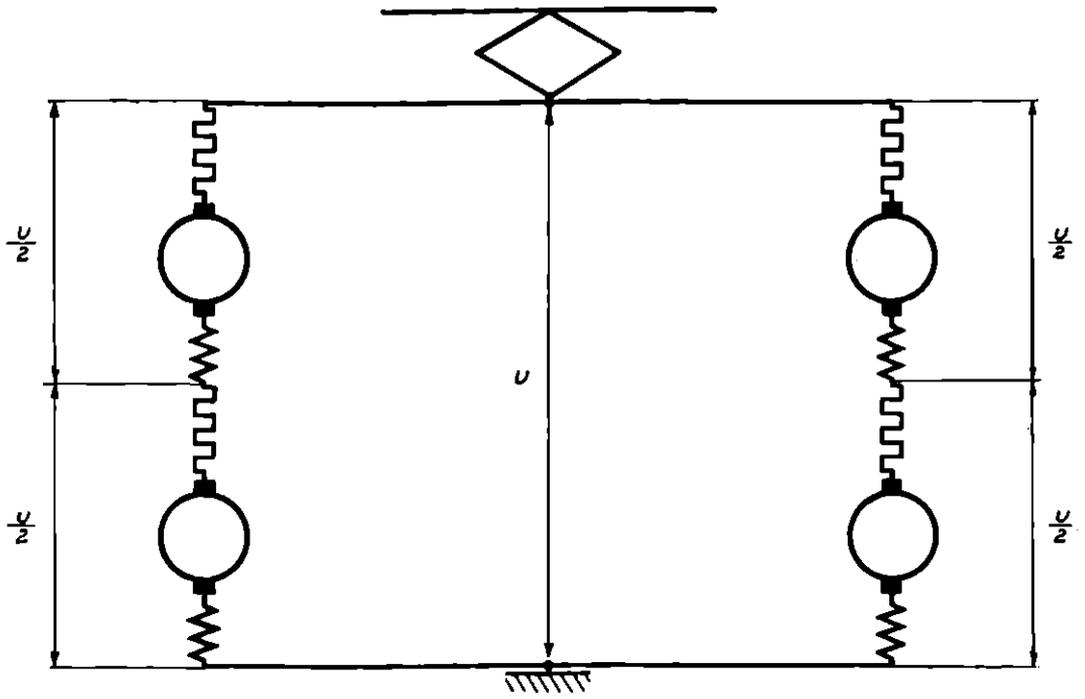


Fig. 225.

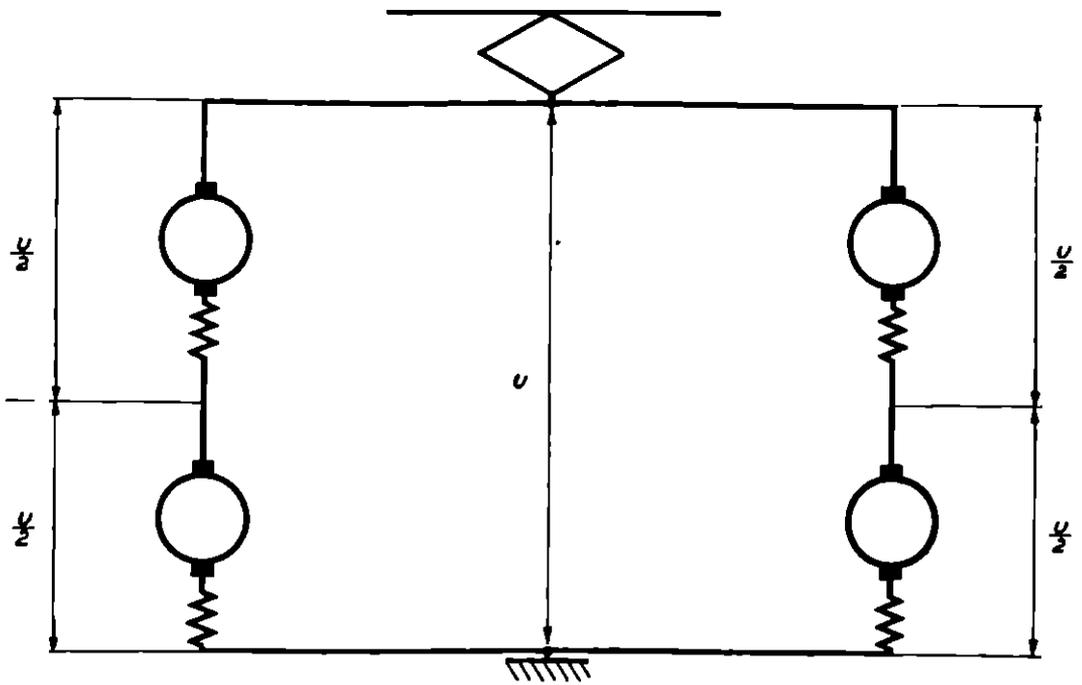


Fig. 226.

Une troisième disposition du circuit de traction, le couplage « parallèle » permet d'augmenter encore la tension aux bornes des moteurs. Les résistances de démarrage sont d'abord réinsérées dans le circuit de chaque moteur, puis la pleine tension  $U$  est appliquée à chaque groupe moteur-résistances, comme l'indique la figure 227.

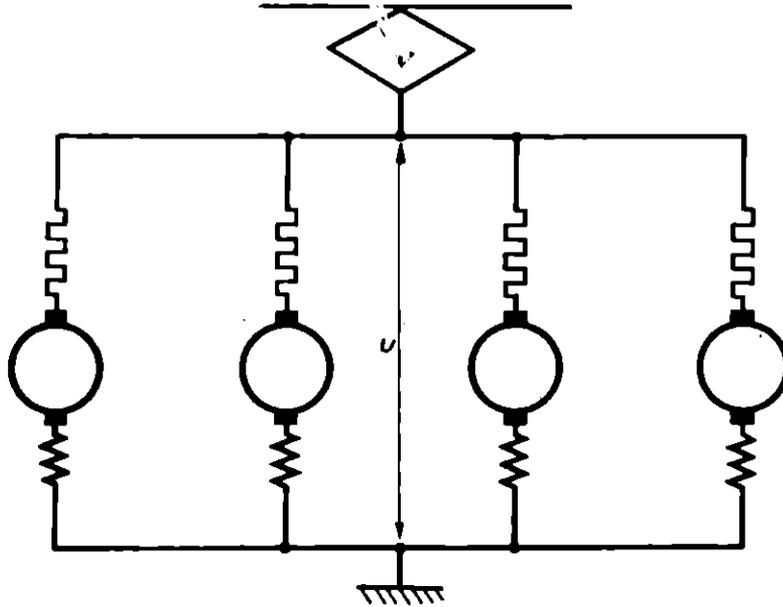


Fig. 227.

Une troisième période d'accélération est réalisée par l'élimination des résistances. Lorsqu'elle est achevée, chaque moteur est soumis à la pleine tension  $U$  (fig. 228). Le circuit est alors en position de marche économique. La tension aux bornes des moteurs ayant doublé par rapport à la marche économique précédente, la vitesse de la locomotive est  $4 V$ .

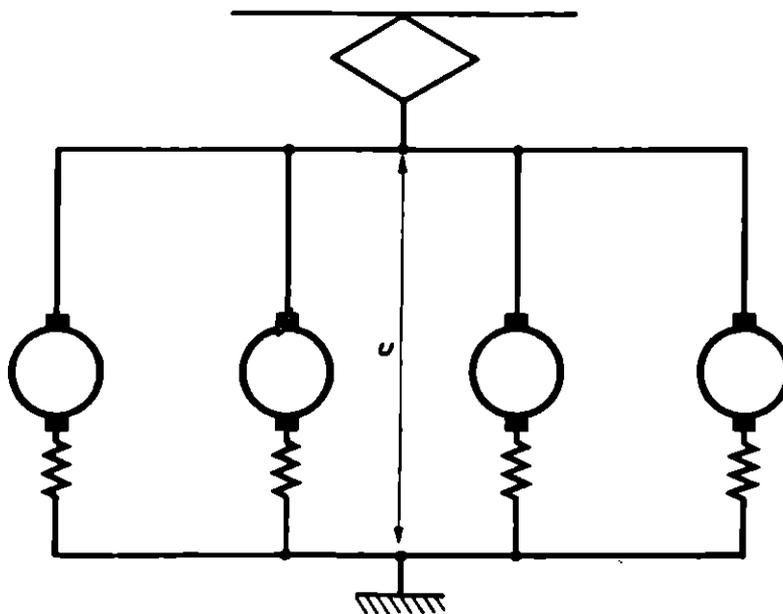


Fig. 228.

Les changements de couplage permettent un réglage de la vitesse d'une locomotive. Les diverses modifications apportées successivement aux circuits des moteurs permettent de réaliser trois périodes d'accélération que le conducteur de la locomotive ne doit pas interrompre ni prolonger plus qu'il n'est indispensable car les résistances sont en service et consomment de l'énergie en pure perte. Chaque période d'accélération se termine par une marche économique qui peut être maintenue à volonté.

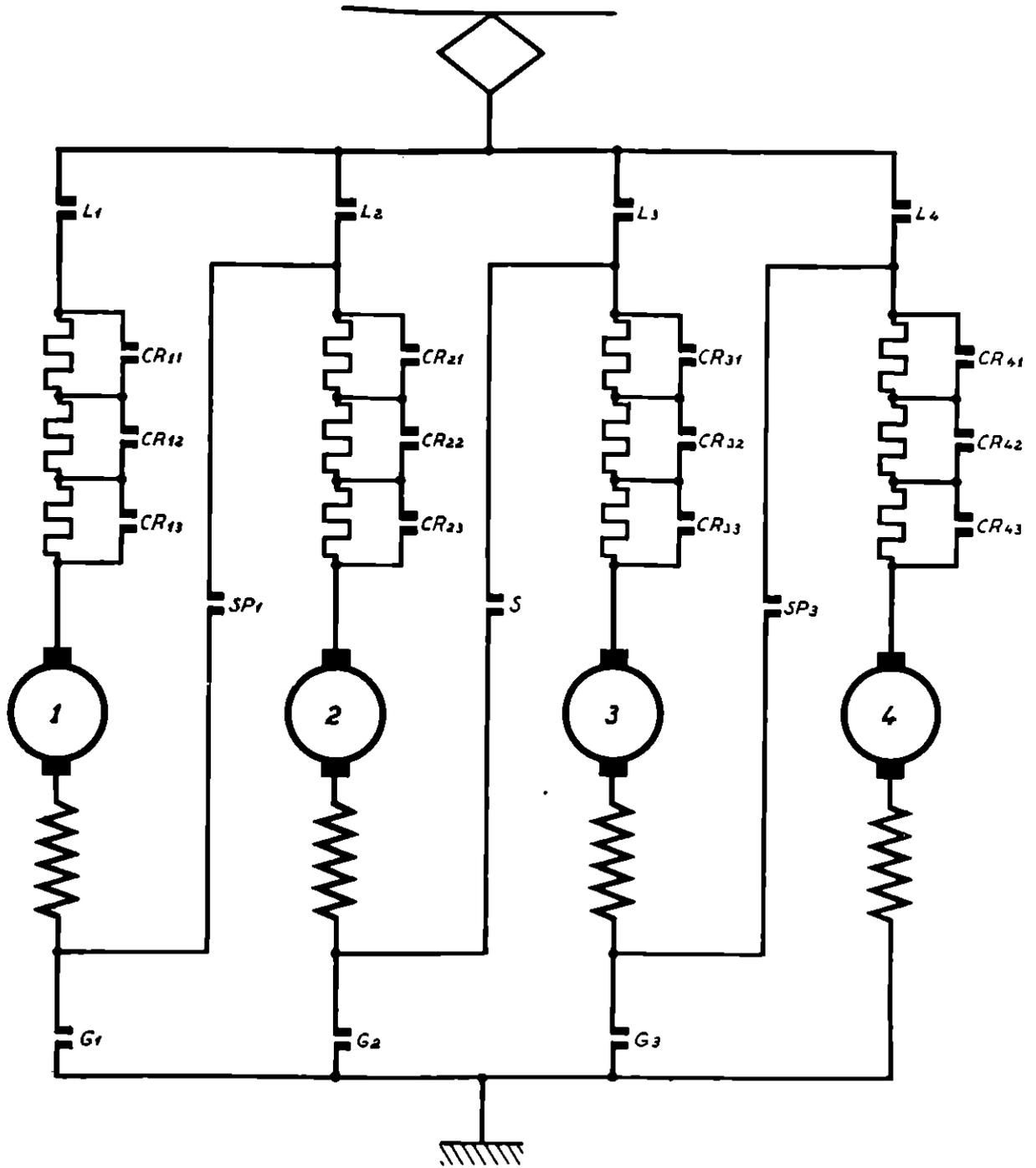


Fig. 229

Fig. 230.

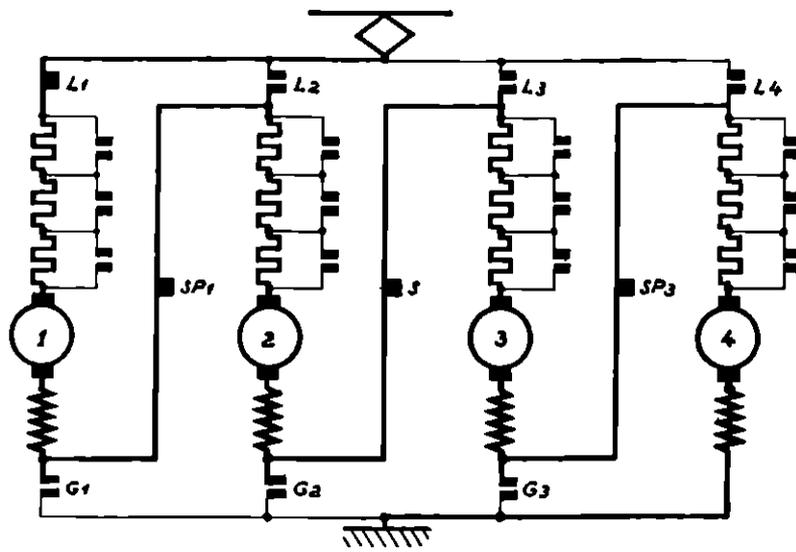


Fig. 231.

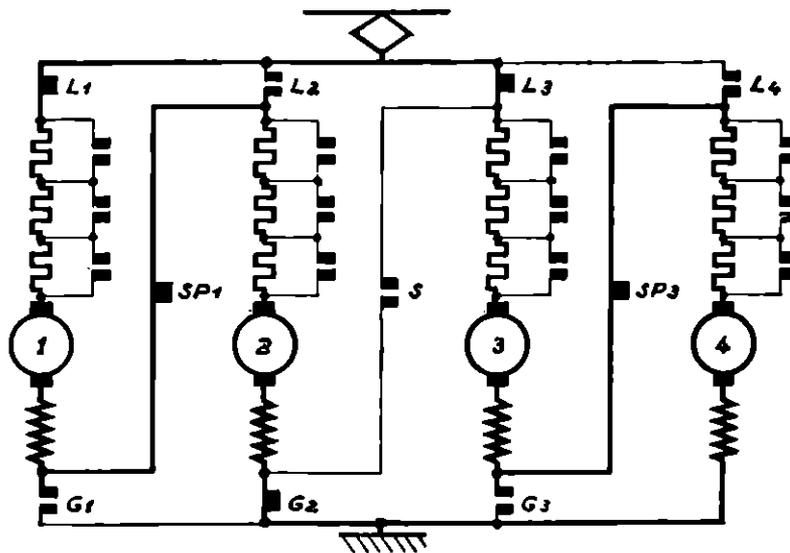
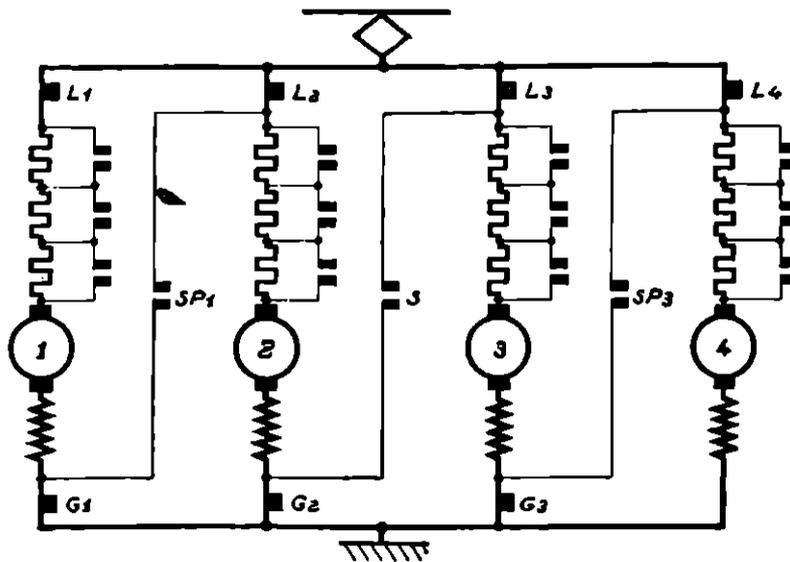


Fig. 232.



A chaque changement de couplage il faut que les résistances de démarrage soient replacées dans le circuit des moteurs.

C'est une condition très importante car les passages du couplage série au couplage série-parallèle et du couplage série-parallèle au couplage parallèle ont pour effet immédiat de doubler la tension disponible pour chaque moteur. Si les résistances de démarrage restent court-circuitées lors du passage d'un couplage au couplage suivant, les moteurs seraient brusquement soumis à un important accroissement de tension qui ne manquerait pas de provoquer une avarie par suite d'une intensité démesurée.

Les résistances réintroduites jouent le rôle de tampons contre un accroissement trop brutal de la tension aux moteurs; elles laissent le conducteur de la locomotive maître du réglage précis de l'intensité.

On peut dire que chaque changement de couplage est suivi d'une étape de démarrage qui permet le passage de la locomotive d'un régime de vitesse économique au régime suivant.

Pratiquement, toutes les résistances ne sont pas réintroduites à chaque changement de couplage. Il suffit d'en réintroduire une partie judicieusement déterminée en fonction des caractéristiques des moteurs.

Il faut qu'entre le dernier cran de marche du couplage série ( 4 moteurs en série sans résistances, tension  $\frac{U}{4}$  aux moteurs) et le premier cran de marche série-parallèle (2 séries de 2 moteurs avec résistances, tension  $\frac{U}{2}$  à chaque groupe moteur-résistances) la tension aux bornes des moteurs ne change pas. Les résistances réintroduites absorbent l'augmentation de tension.

Dans ces conditions, l'effort développé par la locomotive au premier cran série-parallèle a la même valeur que l'effort développé au dernier cran série. La reprise de la traction après le changement de couplage s'effectue avec souplesse.

La reprise de traction au premier cran du couplage parallèle s'effectue dans les mêmes conditions.

Les connexions mobiles du circuit de traction qui permettent la mise sous tension des moteurs, l'élimination des résistances et les changements de couplage sont réalisées avec des contacteurs.

La figure 229 représente le schéma simplifié du circuit de traction d'une locomotive à 4 moteurs.

Au début du couplage série (démarrage de la locomotive) les contacteurs  $L_1$ ,  $SP_1$ ,  $S$ ,  $SP_3$  sont fermés. Le circuit en service est représenté en traits forts sur la figure 230. Le passage des différents crans de marche série est obtenu par fermeture des contacteurs des résistances (CR). Au dernier cran série toutes les résistances sont court-circuitées; c'est la marche économique série.

Au premier cran de marche du couplage série-parallèle les résistances sont remises en service par ouverture des contacteurs CR et les contacteurs  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $SP_1$ ,  $G_2$ ,  $SP_3$  sont fermés. Le circuit en service est représenté en traits forts sur la figure 231.

Après élimination des résistances le circuit est en position de marche économique série-parallèle.

Au premier cran de marche du couplage parallèle les résistances sont encore remises en service et les contacteurs  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $L_4$ ,  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  sont fermés. Le circuit en service est représenté sur la figure 232.

La marche économique est obtenue après élimination des résistances.

Le tableau de la figure 233 permet de connaître la position des contacteurs du schéma de la figure 229 pour chaque cran de marche.

Sur la ligne horizontale relative à chaque cran de marche les contacteurs fermés sont repérés par des points.

L'examen de ce tableau montre qu'au couplage série les résistances de démarrage sont éliminées en six crans. Au premier cran série-parallèle les résistances sont partiellement réintroduites, les contacteurs CR 11, 21, 31, 41 restant fermés. L'élimination des résistances s'effectue en cinq crans.

Au premier cran parallèle toutes les résistances sont réintroduites puis éliminées en quatre crans.

Ce tableau n'est qu'un exemple de fonctionnement. A chaque locomotive correspond un ordre d'enclenchement des contacteurs qui dépend des caractéristiques des circuits et du nombre de contacteurs.

Les locomotives à courant continu sont parfois munies de six moteurs de traction (locomotives CC). La figure 234 montre le schéma du circuit de traction des six moteurs pour chaque couplage (les contacteurs ne sont pas représentés).

crans de marche	cont. de ligne				contacteurs des résistances									contacteurs de couplage								
	L1	L2	L3	L4	CR11	CR12	CR13	CR21	CR22	CR23	CR31	CR32	CR41	CR42	CR43	SP1	S	SP3	G1	G2	G3	
série	1	●														●	●	●				
	2	●														●	●	●				
	3	●														●	●	●				
	4	●														●	●	●				
	5	●														●	●	●				
	6	●														●	●	●				
série parallèle	1	●	●													●	●	●				
	2	●	●													●	●	●				
	3	●	●													●	●	●				
	4	●	●													●	●	●				
	5	●	●													●	●	●				
parallèle	1	●	●	●	●														●	●	●	●
	2	●	●	●	●														●	●	●	●
	3	●	●	●	●														●	●	●	●
	4	●	●	●	●														●	●	●	●

Fig. 233.

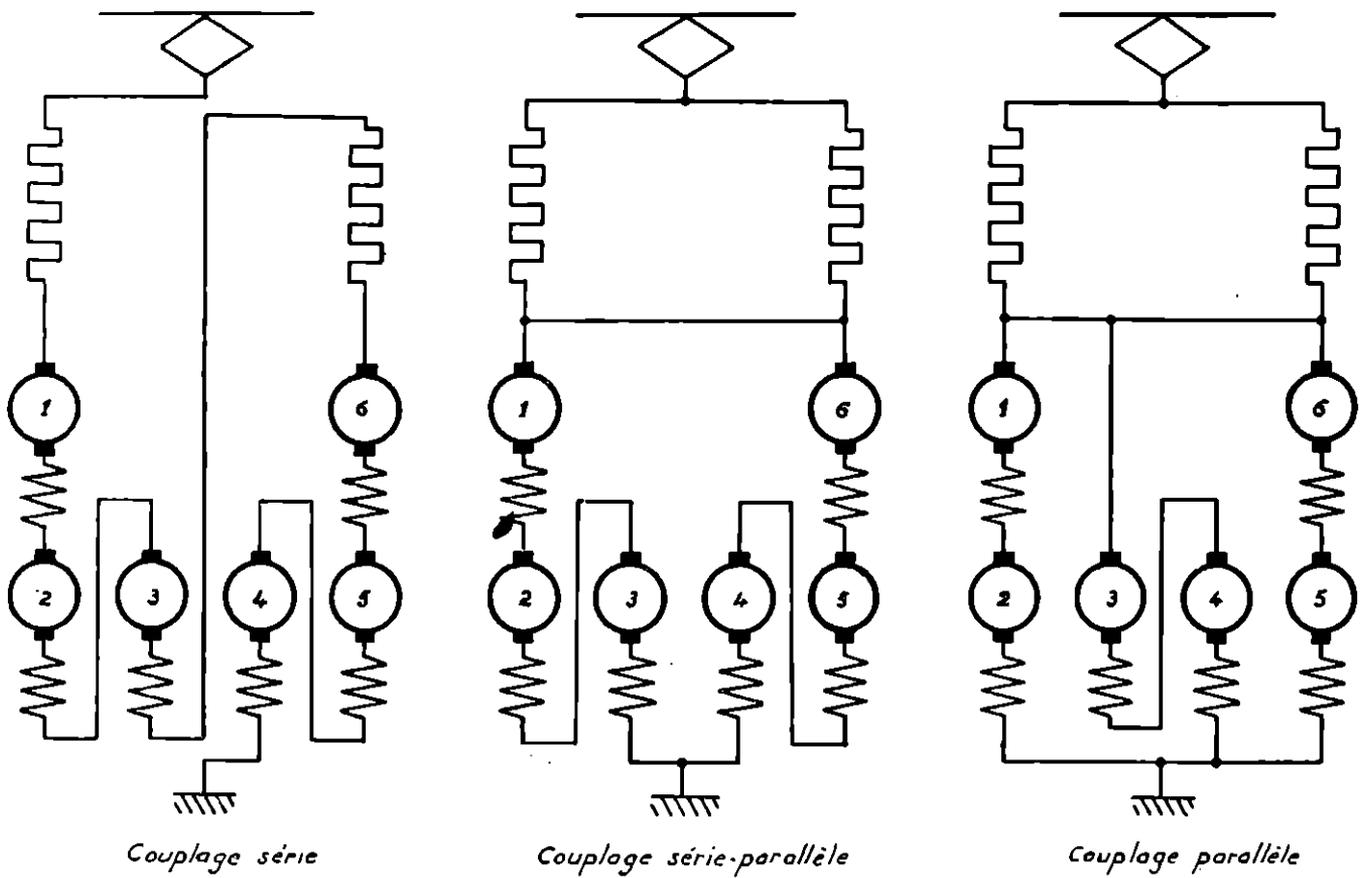


Fig. 234.

Il est à remarquer que les résistances de démarrage ne sont pas réparties entre tous les moteurs; elles sont placées en deux groupes. Cette disposition n'apporte aucune modification dans le fonctionnement; elle est souvent adoptée à cause des commodités d'installation de la câblerie.

Au couplage série-parallèle les moteurs sont répartis en deux branches de trois moteurs. La connexion reliant les deux branches à la sortie des résistances est destinée à égaliser les tensions appliquées aux deux groupes de moteurs.

Au couplage parallèle les moteurs sont répartis en trois branches de deux moteurs. Les tensions appliquées à chaque branche sont égalisées par la connexion citée ci-dessus.

Avec ce mode de disposition les moteurs sont soumis à une tension maximale égale à  $\frac{U}{2}$  en fin de couplage parallèle; soit 750 V si la tension à la ligne aérienne est de 1 500 V. Ce sont des moteurs dits à « demi-tension ».

## 2. CHANGEMENTS DE COUPLAGE (courant continu)

Pour passer d'un couplage à un autre il est nécessaire d'ouvrir et de fermer des contacteurs. Si on interrompt la circulation du courant dans les moteurs il peut se produire une réaction violente entre les attelages des véhicules remorqués du fait de la suppression de l'effort de traction. Cette réaction produit des à-coups désagréables pour les voyageurs et nuisibles pour le matériel.

De plus, pendant tout le temps que dure la manœuvre des contacteurs pour la modification du couplage, la locomotive ne tire plus sa charge.

Bien que la manœuvre des contacteurs s'effectue assez rapidement, il se peut que la vitesse de la locomotive ait un peu diminué avant la reprise de l'effort de traction. Cette reprise s'accompagne alors d'un nouvel à-coup de traction.

Ces inconvénients se produiraient dans le circuit de la figure 229 avec l'ordre d'enclenchement des contacteurs du tableau de la figure 233, c'est-à-dire avec passage direct d'un cran de fin de couplage au premier cran du couplage suivant.

Pour éviter ou atténuer les à-coups on emploie diverses méthodes de changement de couplage désignées sous le nom de « transition » ou « passage ».

Ces méthodes permettent de passer d'un couplage à un autre sans interrompre l'effort moteur pendant le changement des connexions.

### MÉTHODE DU PONT

Les manœuvres effectuées entre le dernier cran série et le premier cran série-parallèle sont schématisées sur la figure 235.

Au dernier cran du couplage série (a) les résistances de démarrage sont éliminées; c'est la marche économique série. L'ensemble des quatre moteurs est soumis à la tension U captée au pantographe.

Pour passer de cette position de marche au début du couplage série-parallèle on branche d'abord une résistance avec chaque groupe de moteurs comme l'indique le schéma b. Jusque-là le circuit des moteurs ne subit aucune modification.

Les résistances sont alors insérées dans le circuit de traction (schéma c). Il ne reste plus ensuite qu'à supprimer le « pont » existant entre les deux branches de moteurs pour que le circuit se trouve en position de marche série-parallèle avec résistances comme l'indique le schéma d (1<sup>er</sup> cran série-parallèle).

Pendant le changement de couplage les quatre moteurs ne cessent pas d'être alimentés; l'effort de traction n'est donc pas interrompu.

Si les résistances que l'on branche en parallèle avec chaque groupe de moteurs (schéma c) ont une valeur convenable, le courant qui traverse ces moteurs reste inchangé et l'effort moteur ne subit pas de perturbation (avec une intensité I dans les moteurs au couplage série, cette condition est réalisée si chaque résistance est telle que  $Ri = \frac{U}{2}$ )

Il n'y a alors aucun courant dans le pont qui peut être supprimé sans difficulté.

Pratiquement il est difficile de réaliser une transition aussi parfaite (sans aucune variation d'effort moteur) car le courant I dans les moteurs au début du changement de couplage n'a pas toujours la même

valeur et la tension  $U$  à la ligne aérienne varie. Le pont est souvent parcouru par un courant dont l'interruption provoque une légère perturbation dans le circuit. Il se produit donc de petites variations d'effort de traction, mais elles sont aisément absorbées par l'élasticité des attelages entre véhicules.

Un perfectionnement de la méthode consiste à faire varier les résistances avant d'interrompre le pont jusqu'à ce que celui-ci ne soit plus traversé par aucun courant. L'interruption s'effectue alors sans difficulté. Cette méthode est la méthode du « pont équilibré ».

Le passage du couplage série-parallèle au couplage parallèle s'effectue suivant le même principe que le passage de série à série-parallèle.

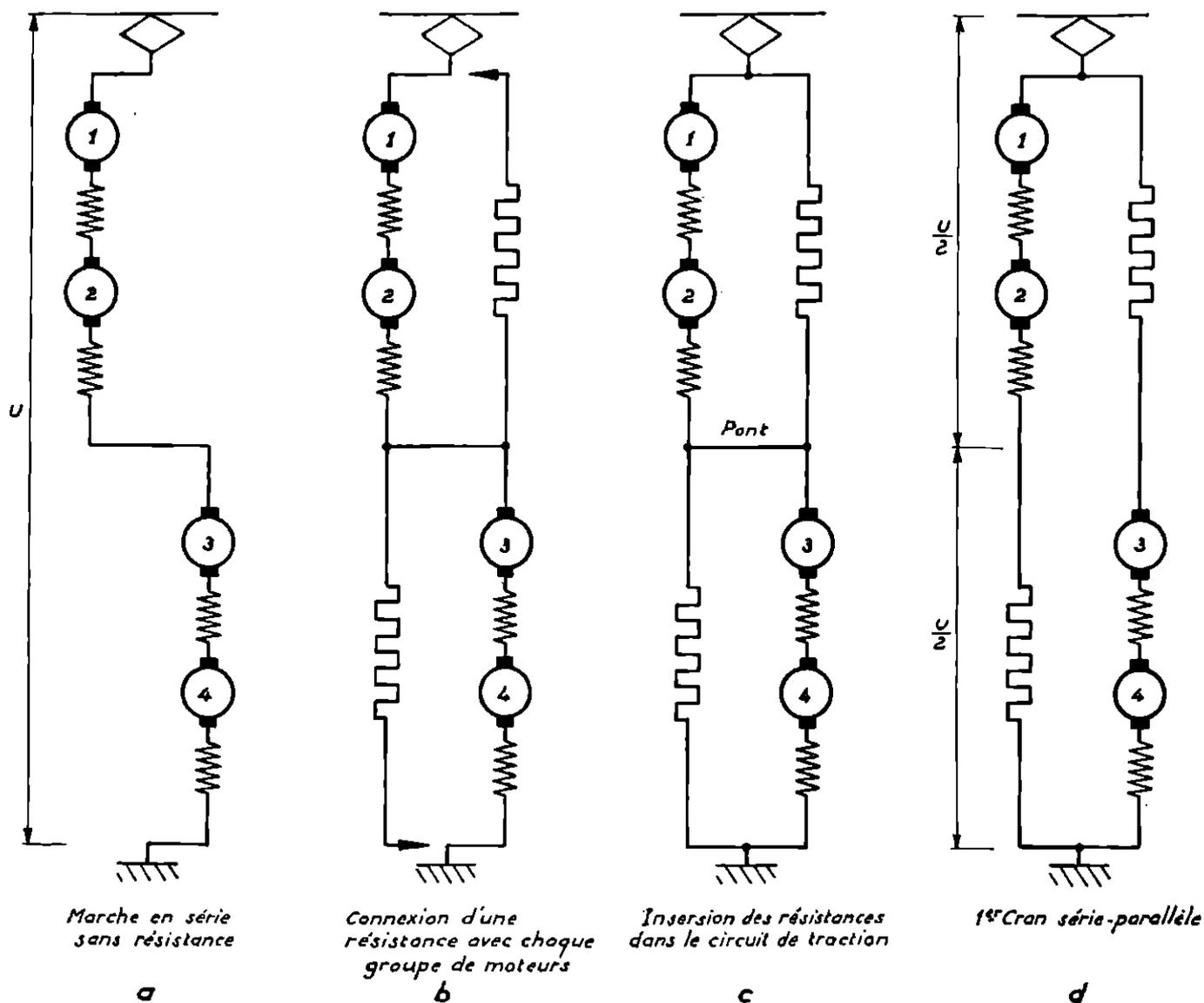


Fig. 235.

#### MÉTHODE DU SHUNT

Les manœuvres effectuées pour passer du couplage série sans résistance au premier cran du couplage série-parallèle sont schématisées sur la figure 236.

Une résistance est d'abord introduite dans le circuit des quatre moteurs en même temps que la mise en place d'une autre résistance est préparée par le branchement d'une de ses extrémités. Cette résistance est alors utilisée pour « shunter » les moteurs 1 et 2. Seuls les moteurs 3 et 4 continuent d'être alimentés normalement.

Les moteurs 1 et 2 qui ne participent plus à la traction peuvent être débranchés puis placés, avec leur résistance, en parallèle avec la branche des moteurs 3 et 4. Le circuit est alors en position de marche série-parallèle avec résistances.

L'élimination de ces résistances permet l'accélération du mouvement.

Pendant ce changement de couplage les moteurs 3 et 4 ne cessent pas d'être alimentés; l'effort de traction développé par la locomotive subit donc une variation momentanée. La réaction susceptible d'être

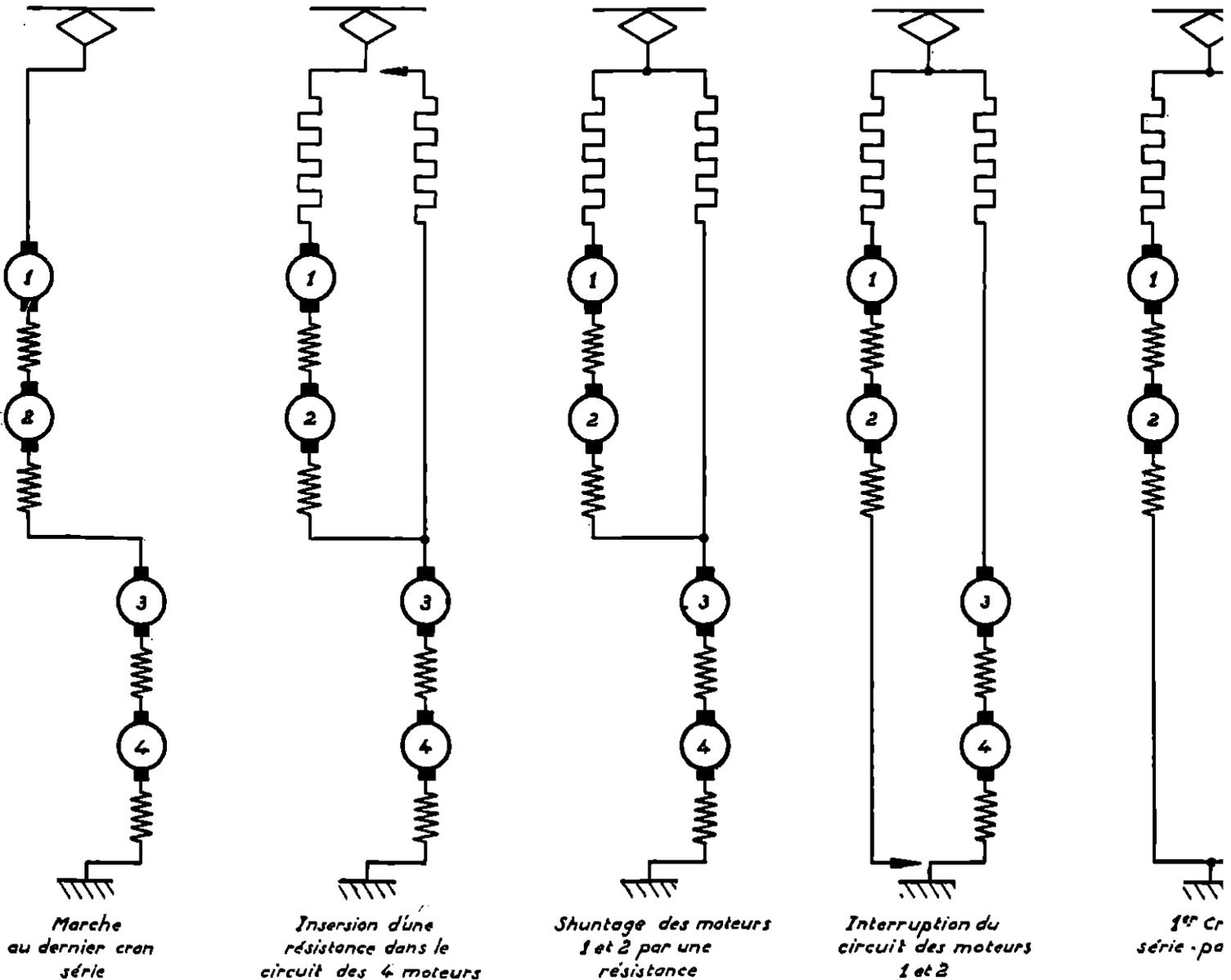


Fig. 236.

provoquée est absorbée par l'élasticité des atelages. La variation d'effort se produit au moment du shuntage des moteurs 1 et 2 puis pendant l'interruption et le rétablissement du circuit de ces moteurs.

Le passage du couplage série-parallèle au couplage parallèle s'effectue suivant la même méthode.

#### MÉTHODE DU COURT-CIRCUIT

C'est une simplification de la méthode précédente.

La figure 237 schématise les manœuvres de transition.

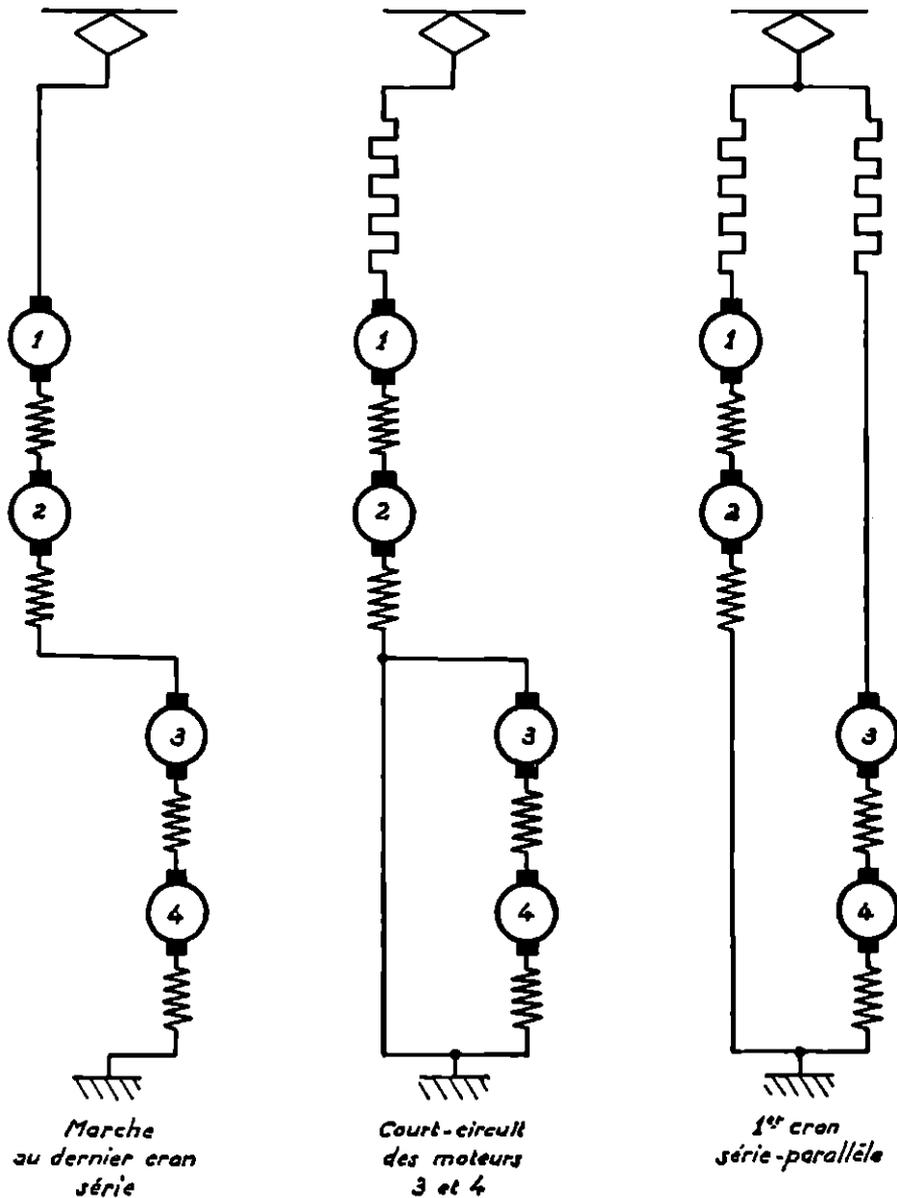


Fig. 237.

Pour passer de la marche économique du couplage série au premier cran du couplage série-parallèle on introduit des résistances dans le circuit et on court-circuite les moteurs 3 et 4. Cela équivaut à shunter ces moteurs par une connexion de résistance pratiquement nulle.

Les moteurs 3 et 4 qui ne participent plus à la traction sont ensuite débranchés et placés, avec une résistance, en parallèle avec la branche des moteurs 1 et 2. Le circuit se trouve alors en position de marche série-parallèle avec résistances.

Pendant les manœuvres de transition la moitié des moteurs reste en service. Les réactions sont donc peu importantes; l'élasticité des altelages suffit à les absorber.

L'introduction des résistances qui précède le court-circuit des moteurs 3 et 4 évite un accroissement trop brutal de la tension aux bornes des moteurs restant en service dès que ce court-circuit est réalisé. En somme, les résistances sont substituées aux moteurs 3 et 4.

Le rétablissement du circuit des moteurs 3 et 4 avec une résistance en série, en parallèle avec les moteurs restés en service rétablit l'effort de traction à la valeur qu'il avait au couplage série. L'accélération est réalisée par élimination des résistances.

Le passage au couplage parallèle s'effectue suivant le même principe.

Le tableau de la figure 238 Indique l'ordre d'enclenchement des contacteurs pour le circuit de traction à quatre moteurs que nous avons vu à la figure 229.

Cran	Cont. de ligne			Contacteurs des résistances								Contacteurs de couplage						
	L1	L2	L3	CR11	CR12	CR13	CR21	CR22	CR31	CR32	CR33	CR41	CR42	CR43	SP1	SP3	GP1	GP3
Série	1	●													●	●		
	2	●													●	●		
	3	●			●										●	●		
	4	●			●	●									●	●		
	5	●			●	●	●								●	●		
	6	●			●	●	●	●							●	●		
Passage	1	●													●	●		
	2	●			●										●	●		
Série Parallèle	1	●	●												●	●		
	2	●	●												●	●		
	3	●	●		●										●	●		
	4	●	●		●	●									●	●		
	5	●	●		●	●	●								●	●		
Passage	1	●	●												●	●		
	2	●	●												●	●		
Parallèle	1	●	●	●													●	●
	2	●	●	●													●	●
	3	●	●	●													●	●
	4	●	●	●													●	●

Fig. 238. — Les changements de couplage sont réalisés par la méthode de court-circuit. (Ce tableau complète celui de la figure 233).

L'essentiel à retenir des méthodes de transition est qu'elles ont pour but d'éviter l'annulation de l'effort de traction en maintenant l'alimentation d'au moins une partie des moteurs pendant le changement de couplage, et de s'opposer à toute variation importante de la tension entre le dernier cran d'un couplage et le premier cran du couplage suivant.

Les locomotives à courant continu n'ont pas toutes un circuit de traction permettant les trois couplages série, série-parallèle et parallèle. Cela dépend de la vitesse maximale de circulation et aussi des caractéristiques des moteurs qui sont variables d'un type d'engin à l'autre. Sur certaines locomotives le circuit de traction n'est prévu que pour des couplages série et série-parallèle.

### 3. COUPLAGE ET ALIMENTATION DES MOTEURS EN COURANT ALTERNATIF

Pour les locomotives à courant continu, les changements de couplage des moteurs sont justifiés par la nécessité d'obtenir plusieurs marches économiques (marches sans résistance) correspondant à des vitesses de circulation différentes.

En ce qui concerne les locomotives à courant alternatif nous avons vu que le transformateur variable évite l'usage de résistances pour abaisser la tension appliquée aux moteurs pendant le démarrage.

Cette tension pouvant être augmentée progressivement jusqu'au maximum admissible par simple manœuvre du gradateur (fig. 222), il n'y a pas lieu de changer le couplage des moteurs. Ceux-ci sont donc constamment branchés en parallèle sur le secondaire du transformateur qui les alimente. La vitesse de circulation de la locomotive peut être maintenue à un grand nombre de valeurs intermédiaires entre le démarrage et la vitesse maximale. Le réglage est plus facile qu'en courant continu.

La figure 239 montre le schéma de principe du circuit de traction d'une locomotive à courant alternatif munie de 4 moteurs.

Les moteurs sont branchés en parallèle sur le secondaire du transformateur fixe dont le primaire reçoit une tension variable par l'intermédiaire du gradateur.

Il faut remarquer l'absence de contacteurs dans le circuit des moteurs; ce circuit est mis sous tension par le passage au premier cran du gradateur.

Les locomotives équipées suivant ce principe sont dites locomotives à « moteurs directs » parce que les moteurs sont alimentés par du courant de même nature que le courant capté sur la ligne aérienne par le pantographe; il y a simplement transformation de tension.

La construction des moteurs alimentés directement en courant alternatif est assez délicate et ce n'est que depuis quelques années, à force de perfectionnements, qu'on a pu les faire fonctionner d'une manière satisfaisante.

La figure 241 montre le principe de fonctionnement d'un autre type de circuit de traction.

Ce système d'alimentation des moteurs équipe les locomotives dites à « redresseurs ».

Comme dans le circuit précédent, le courant alternatif à haute tension capté par le pantographe alimente un autotransformateur muni d'un gradateur qui permet d'appliquer une tension variable au primaire du transformateur fixe d'alimentation des moteurs. Le démarrage de la locomotive et le réglage de sa vitesse s'obtient par la manœuvre du gradateur.

Des redresseurs sont intercalés dans le circuit d'alimentation des moteurs.

SYMBOLE D'UN REDRESSEUR

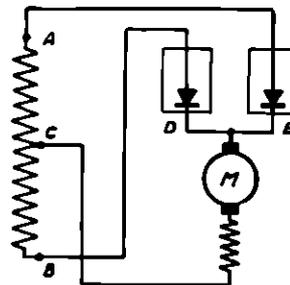
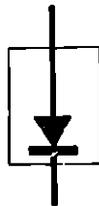


Fig. 240.

Ces appareils dont le fonctionnement de détail sort du cadre de notre étude ont pour rôle de ne permettre le passage du courant que dans un seul sens. Chacun d'eux est figuré sur le schéma par un triangle dont une pointe est dirigée sur une barre. Le courant peut passer sans difficulté dans le sens triangle-barre, comme s'il passait dans un conducteur de résistance négligeable, mais ne peut passer dans l'autre sens.

Chaque moteur est muni de deux redresseurs.

Voyons pour simplifier l'alimentation d'un seul moteur sur la figure 240.

Le secondaire du transformateur comporte une prise médiane C. Les redresseurs sont branchés aux extrémités A et B.

A chaque instant, seule une moitié du transformateur est utilisée.

Lorsque la borne A est positive le courant part de cette borne, traverse le redresseur E, l'inductif du moteur, et aboutit à la borne médiane C du transformateur.

La moitié AC du transformateur débite dans le moteur.

Pendant le même temps la moitié BC de ce transformateur tendrait à faire circuler un courant de la borne C à la borne B en passant par le moteur et le redresseur D dans le sens barre-triangle, mais dans ce sens le redresseur s'oppose au passage du courant.

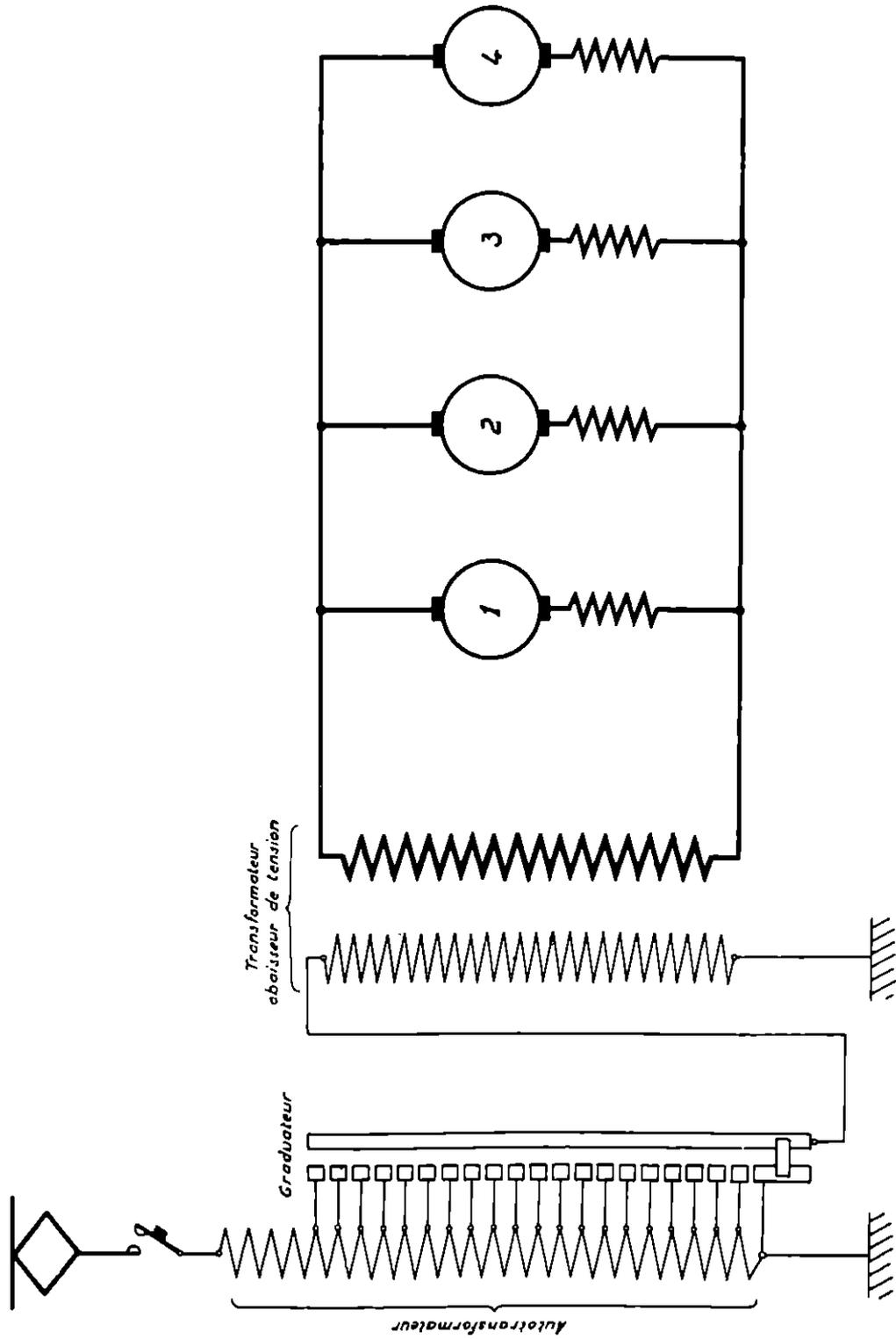


Fig. 239.

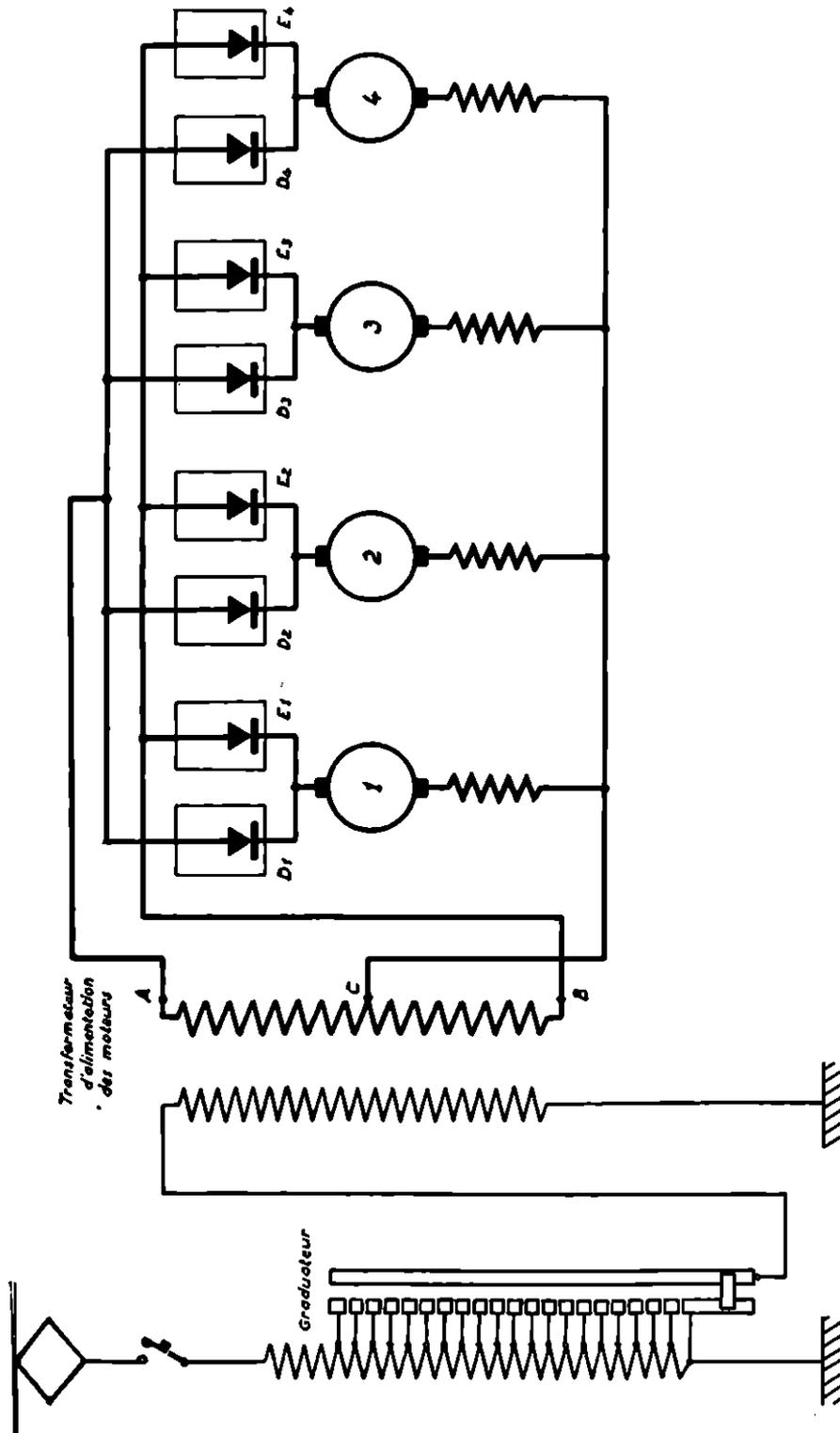


Fig. 241.

Lorsque la borne B est positive, le courant part de cette borne, traverse le redresseur D, l'induit et l'inducteur du moteur et aboutit à la borne médiane C.

La moitié BC du transformateur débite dans le moteur.

Pendant le même temps, la moitié AC tendrait à faire circuler un courant de la borne C à la borne A en passant par le moteur et le redresseur E dans le sens barre-triangle, mais dans ce sens le redresseur s'oppose au passage du courant.

Le courant créé dans le transformateur est alternatif, les bornes A et B sont alternativement positives et négatives, mais le courant dans le moteur passe toujours dans le même sens, en empruntant tantôt le redresseur D, tantôt le redresseur E, et aboutit toujours à la borne médiane C.

Le courant dans le moteur n'est pas continu, mais il circule toujours dans le même sens; c'est un courant redressé. Ses propriétés sont très voisines de celles du courant continu.

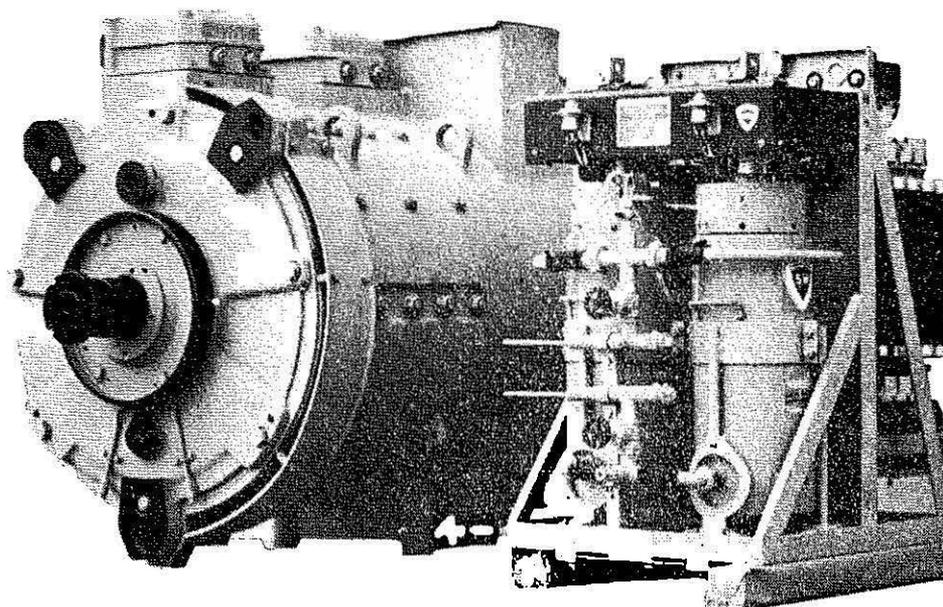
Ce système d'alimentation permet d'utiliser des moteurs de traction possédant les qualités très intéressantes des moteurs à courant continu : constitution simple et robuste, aptitude au démarrage des fortes charges, aptitude à supporter les surcharges momentanées et les variations rapides.

Sur le schéma de la figure 241 les quatre moteurs et leurs groupes de redresseurs sont branchés en parallèle sur le transformateur.

Beaucoup de locomotives sont équipées de circuits de traction à redresseurs. Suivant leur constitution les redresseurs portent les noms « d'ignitrons » ou « d'excitrons ». Ce sont des appareils assez complexes dont l'utilisation à bord des locomotives n'a été rendue possible que par des perfectionnements techniques récents.

Les locomotives à redresseurs permettent de profiler à la fois des avantages de l'alimentation des caténales en courant industriel à haute tension, et des avantages du circuit de traction à courant continu aux points de vue de l'économie sur la distribution du courant au réseau électrifié et des performances de traction.

Les gradateurs de tension de ces locomotives sont soit à commande manuelle, soit à commande semi-automatique. Vous étudierez plus tard le détail de ces appareils.



*Moteur de locomotive à courant alternatif et son groupe de deux redresseurs (ignitrons)*

Nous ne pouvons terminer ce paragraphe sans voir le principe de fonctionnement des locomotives CC à groupe convertisseur de courant.

La figure 242 donne le schéma simplifié du circuit de traction qui équipe ces locomotives.

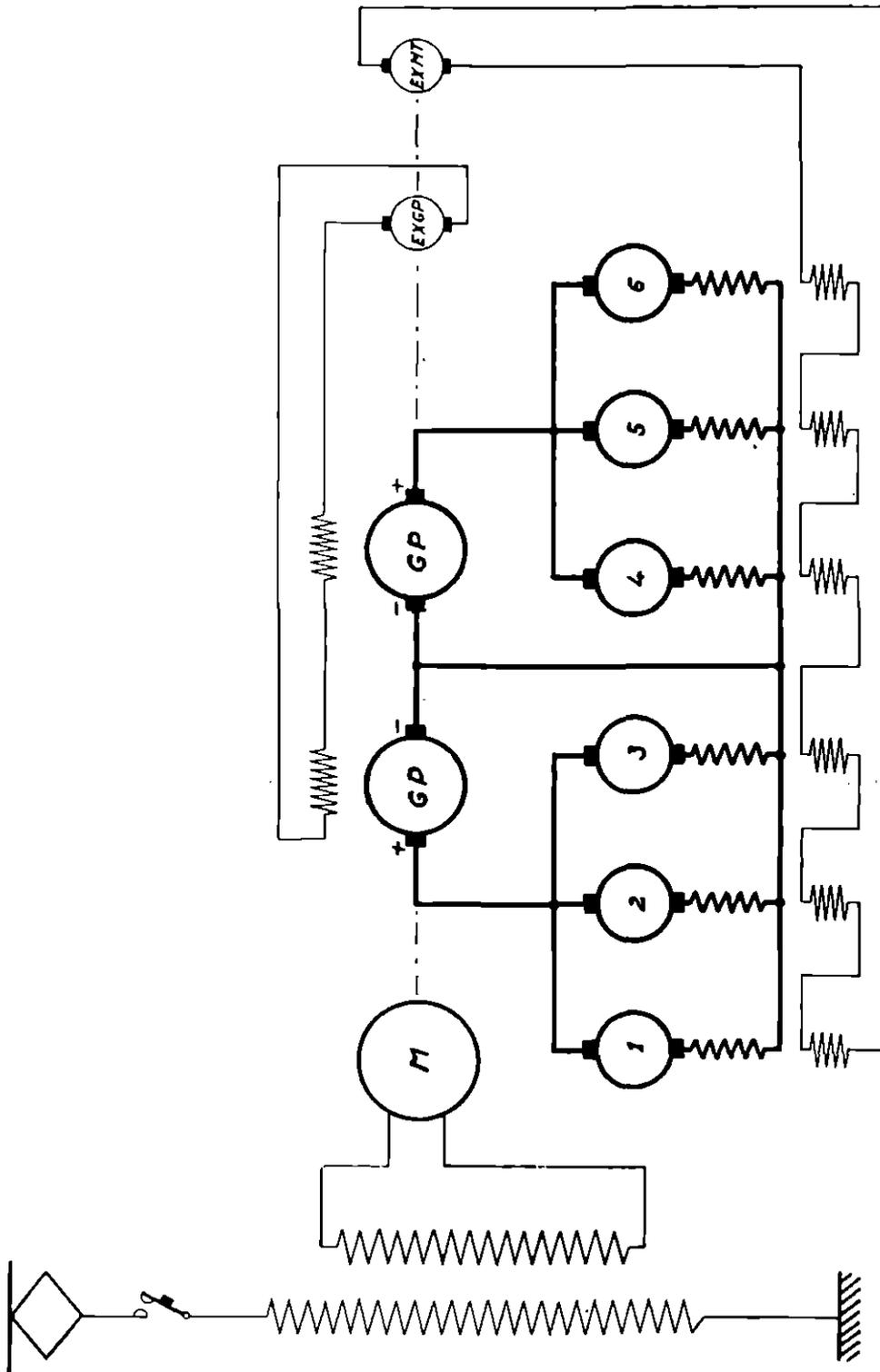


Fig. 242.

Le courant alternatif à haute tension capté par le pantographe alimente le primaire d'un transformateur fixe. Le secondaire de ce transformateur fournit du courant alternatif en moyenne tension à un gros moteur.

Ce moteur est assez différent dans sa constitution et son principe de fonctionnement de ceux que nous avons vu jusqu'à présent. Nous ne pouvons en aborder ici l'étude détaillée. Il vous suffit pour l'instant de savoir que c'est un moteur puissant placé dans la caisse de la locomotive et qu'il tourne en permanence à vitesse constante tant que son circuit d'alimentation est sous tension. Sa représentation sur le schéma a été simplifiée dans ce but.

Le moteur entraîne mécaniquement quatre génératrices à courant continu; deux grosses (GP) et deux petites (EXGP, EXMT). La liaison mécanique est figurée sur le schéma par un trait mixte.

Ces génératrices sont placées sur le châssis de la locomotive et le tout constitue un volumineux groupe tournant.

Les six moteurs de traction à courant continu sont branchés sur les grosses génératrices en deux groupes de trois moteurs. Le courant issu du pôle positif de chaque génératrice principale alimente en parallèle trois moteurs puis aboutit au pôle négatif par une connexion commune à tous les moteurs.

Le groupe tournant utilise donc le courant alternatif de la ligne aérienne pour se mouvoir et il restitue du courant continu au moyen des génératrices principales. Il y a conversion de courant.

Le circuit des génératrices principales et des six moteurs de traction est figuré en traits forts; c'est là que circulent les intensités de courant les plus importantes.

Les locomotives à groupe tournant permettent d'utiliser le système d'alimentation des caténaires en courant alternatif à haute tension tout en ayant un circuit de traction à courant continu, avec tous les avantages que cela comporte.

Mais l'intérêt de ce système est aussi dû aux très grandes possibilités de réglage de l'alimentation des moteurs pour le démarrage et le maintien d'une vitesse de circulation.

Observons de nouveau le schéma (Fig. 242). Nous voyons que les bobinages Inducteurs des génératrices principales sont alimentés par une petite génératrice EXGP. Les génératrices principales sont à excitation séparée. Cette alimentation séparée des Inducteurs permet, en faisant varier le débit de EXGP, d'agir à volonté sur la tension fournie aux moteurs de traction.

La variation du débit de EXGP est obtenue par action sur une résistance variable qui, pour simplifier, n'a pas été figurée sur le schéma.

Le conducteur de la locomotive a donc la possibilité de réaliser le démarrage et le réglage de la vitesse des moteurs de traction dans les meilleures conditions; basse tension pour le décollage du train, puis variation progressive pour augmenter la vitesse. Ce réglage est obtenu par action sur un circuit indépendant, à basse tension.

Une autre petite génératrice à courant continu; EXMT, entraînée comme EXGP par le moteur du groupe tournant, alimente des bobinages Inducteurs des moteurs. Ces bobinages séparés ont pour rôle d'apporter un complément de champ magnétique aux inducteurs des moteurs.

Le réglage du débit de EXMT permet donc au conducteur de la locomotive d'agir à volonté sur le champ magnétique des Inducteurs; champ maximal au démarrage lorsque l'effort développé par les moteurs est maximal, champ réduit lorsque la vitesse augmente. Nous reviendrons d'ailleurs sur ce point par la suite.

Ce système d'alimentation des moteurs de traction procure une grande souplesse de marche, un réglage précis des efforts et des vitesses. Il est utilisé sur les puissantes locomotives CC qui remorquent des trains de forts tonnages à petite vitesse.

..

Nous venons d'examiner brièvement les trois principaux types de circuits de traction utilisés sur les locomotives à courant alternatif.

Chacun de ces types a été réalisé en vue d'alimenter les moteurs de traction dans les meilleures conditions en se servant du courant capté à la ligne aérienne. En cela les buts poursuivis sont identiques à ceux qui ont conduit à la réalisation des locomotives à courant continu : possibilité d'alimenter les moteurs avec une tension suffisamment basse au démarrage, puis d'augmenter progressivement cette tension jusqu'au maximum supporté par les moteurs pour permettre de faire varier la vitesse.

Les moyens utilisés en courant alternatif résultent de la nature de ce courant et des possibilités qu'il offre.

En raison de l'intérêt que présentent les circuits de traction à courant continu, on a cherché à les utiliser soit par modification du courant alternatif sur les locomotives à redresseurs, soit par conversion sur les locomotives à groupe tournant.

#### 4. SHUNTAGE

En courant continu, les changements de couplage des moteurs de traction permettent au maximum d'obtenir trois marches économiques après élimination des résistances. Ce sont les marches économiques série, série-parallèle et parallèle.

Ces trois marches permettent un réglage appréciable de la vitesse, mais sont quand même insuffisantes pour qu'il soit possible de régler convenablement la vitesse d'un train tout en évitant le plus possible de laisser des résistances en service dans le circuit des moteurs.

Avec le shuntage des inducteurs des moteurs on peut augmenter le nombre de marches économiques

L'explication théorique précise du shuntage est assez complexe. Voyons d'abord en quoi consiste cette manœuvre et ce qu'elle permet d'obtenir; c'est le plus important à retenir.

Lorsqu'on diminue le champ magnétique des inducteurs d'un moteur en fonctionnement, la vitesse de rotation de ce moteur augmente.

Le shuntage est donc une modification du circuit électrique des moteurs qui permet de diminuer le champ inducteur. Au lieu de shuntage il serait plus exact de dire « réduction du champ magnétique ».

Ce procédé donne le moyen de faire varier la vitesse de circulation d'une locomotive dans une assez large mesure tout en conservant le circuit de traction en position de marche économique.

Les moteurs d'une locomotive peuvent être maintenus soit en marche « plein champ » (après élimination des résistances), soit en marche à champ « réduit ».

Voyons une explication simplifiée de ce qui se passe dans un moteur lorsqu'on réduit le champ des inducteurs.

Nous savons que l'intensité dans un moteur en fonctionnement lorsque les résistances de démarrage sont éliminées satisfait à la relation :

$$I = \frac{U - E}{r}$$

$U$  = tension appliquée au moteur,  $E$  = force contre-électromotrice,  $r$  = résistance ohmique.

On peut écrire cette relation sous la forme  $U - E = rI$  ou  $U = E + rI$ .

La résistance ohmique des moteurs série des locomotives est très faible; la quantité  $rI$  est elle aussi très faible. En négligeant cette petite quantité on peut écrire :  $U = E$ .

La force contre-électromotrice  $E$  du moteur est proportionnelle au champ magnétique des inducteurs et à la vitesse de rotation. Ce qui peut s'exprimer par  $E = KN\Phi$  où  $N$  est la vitesse de rotation,  $\Phi$  le champ magnétique des inducteurs (plus exactement le flux magnétique) et  $K$  un facteur constant qui dépend des caractéristiques de construction.

Puisque  $U = E$ , on a  $U = KN\Phi$ ,

d'où  $N = \frac{U}{K\Phi}$  ou  $N = K \frac{U}{\Phi}$  puisque  $K$  est une constante.

Lorsqu'on diminue la quantité  $\Phi$  qui caractérise le champ magnétique, la vitesse  $N$  augmente.

On ne peut diminuer le champ magnétique jusqu'à le supprimer car le moteur ne pourrait plus alors fournir aucun effort du fait de l'annulation des forces électromagnétiques qui sont la cause de son mouvement.

La réduction possible dépend des caractéristiques de construction de chaque type de moteur (elle est souvent comprise entre 50 et 70 p. 100). D'ailleurs, lorsqu'on a augmenté la vitesse d'un moteur par réduction du champ de ses inducteurs, à sa nouvelle vitesse ce moteur ne peut plus développer un effort maximal aussi grand. Ce que l'on gagne en vitesse est perdu en effort maximal.

Le shuntage n'est pas utilisé en début de période de démarrage, au moment où les moteurs doivent développer un très gros effort. Ce procédé d'augmentation de la vitesse n'est utile que lorsque les moteurs ont atteint une certaine stabilité de fonctionnement; c'est-à-dire en fin de période d'élimination des résistances, lorsque l'intensité est au-dessous de sa valeur maximale.

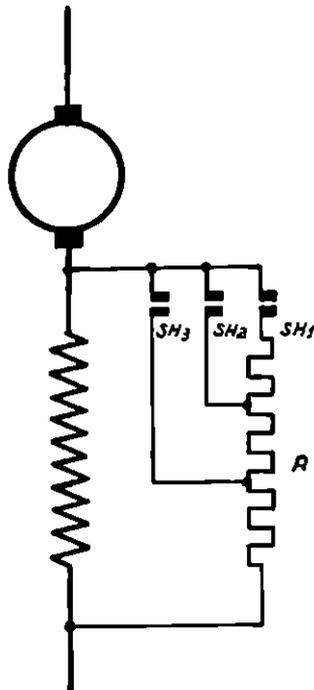


Fig. 243.

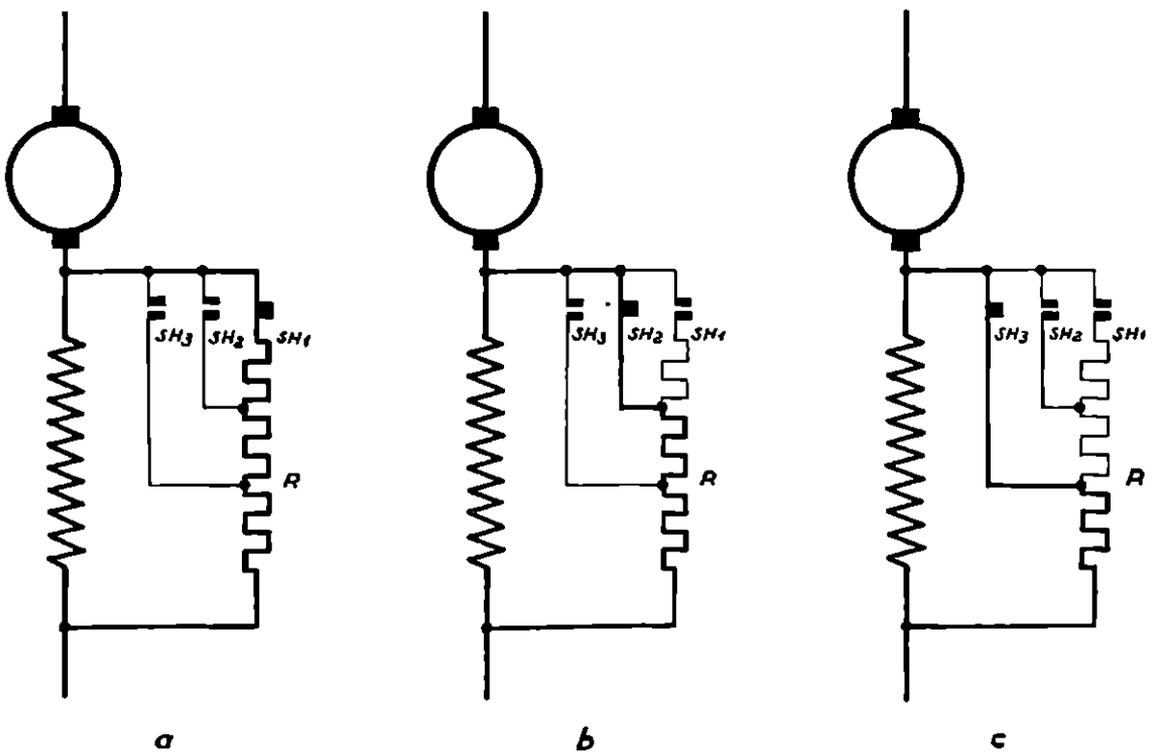


Fig. 244.

Il existe plusieurs moyens de réaliser la réduction du champ magnétique des inducteurs.

La figure 243 montre le principe du shuntage par résistance.

Lorsqu'on branche la résistance  $R$  en parallèle avec les inducteurs du moteur, une partie du courant qui passait dans ces inducteurs est dérivée par la résistance.

La réduction de l'intensité du courant passant dans les inducteurs entraîne une réduction du champ magnétique qui provoque l'augmentation de la vitesse de rotation du moteur.

Les contacteurs de shuntage  $SH_1$ ,  $SH_2$ ,  $SH_3$  permettent de shunter les inducteurs soit par la résistance  $R$  entière, soit par une portion plus ou moins petite de celle-ci.

L'intensité dérivée est d'autant plus grande que la résistance de shuntage est plus petite. On peut donc régler l'accélération du moteur par la manœuvre des contacteurs.

La figure 244 montre les branchements réalisés aux différents crans de shuntage.

Au premier cran (schéma a) le contacteur  $SH_1$  fermé branche la résistance entière en dérivation aux bornes des inducteurs.

Au deuxième cran (b) le contacteur  $SH_2$  réduit la valeur de la résistance; au troisième cran (c) le shuntage est maximal avec une portion encore plus petite de la résistance.

Sur les locomotives il y a parfois plus de trois crans de shuntage. La précision du réglage de la vitesse par réduction du champ dépend de la précision du réglage des résistances; mais on ne peut augmenter beaucoup le nombre des contacteurs car cela complique le circuit de traction.

Le passage des crans de shuntage provoque des variations brusques de l'intensité dans les inducteurs; il peut en résulter des à-coups dans le fonctionnement des moteurs.

Pour éviter cet inconvénient on ajoute une bobine de self en série avec la résistance de shuntage (fig. 245). L'ensemble résistance-bobine de self constitue alors un « shunt inductif ».

La bobine de self a pour rôle de s'opposer aux variations brusques de l'intensité du courant qui la traverse, elle freine ces variations et permet un accroissement progressif de la vitesse des moteurs.

La réduction du champ magnétique des inducteurs est parfois obtenue par réduction du nombre des spires du bobinage traversé par le courant.

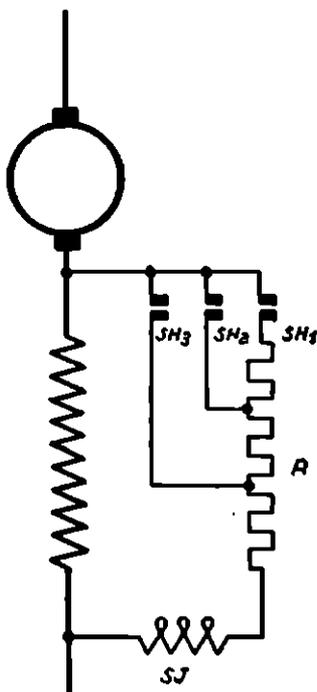


Fig. 245.

La figure 246 montre la disposition utilisée.

En marche à plein champ, seul le contacteur  $SH_1$  est fermé; la totalité des inducteurs est parcourue par le courant de traction. Au premier cran de shuntage le contacteur  $SH_2$  est seul fermé, ce qui a pour effet d'éliminer un certain nombre de spires du bobinage. Le champ des inducteurs est réduit et la vitesse du moteur augmente.

Au deuxième puis au troisième cran de marche à champ réduit, les contacteurs  $SH_3$  et  $SH_4$  permettent chacun d'éliminer une portion supplémentaire des inducteurs.

La figure 247 représente le schéma de principe du circuit de traction à courant continu de la figure 229 complété par un dispositif de shuntage des inducteurs. L'ordre d'enclenchement des contacteurs est indiqué par le tableau de la figure 248.

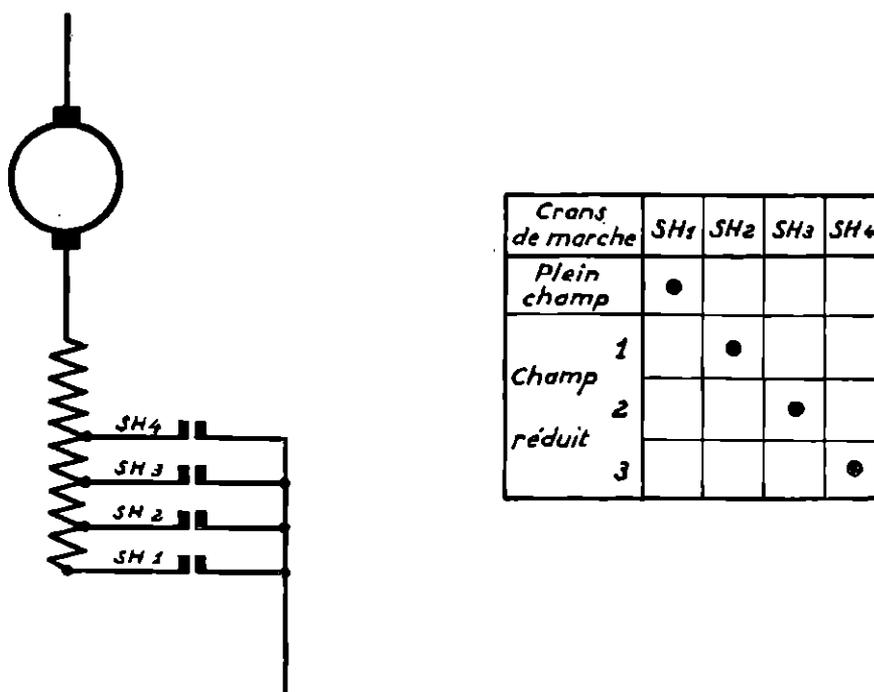


Fig. 246.

Le shuntage des inducteurs est très utilisé sur les locomotives à courant continu. Mais ce procédé n'est pas sans intérêt pour les locomotives à courant alternatif sur lesquelles il est utilisé, non pas pour augmenter le nombre de marches économiques, puisqu'il n'est pas fait usage de résistances dans l'alimentation des moteurs, mais pour permettre d'augmenter la vitesse lorsque la tension appliquée aux moteurs atteint le maximum admissible.

En effet, sur ces locomotives, l'augmentation de vitesse depuis le démarrage est obtenue par augmentation de la tension aux bornes des moteurs. Cette augmentation peut se poursuivre jusqu'à ce que la tension atteigne une valeur à laquelle il faut se limiter car elle correspond au maximum admis par la constitution des moteurs. Le shuntage des inducteurs permet alors de poursuivre l'augmentation de vitesse.

Sur les locomotives CC à groupe tournant dont nous avons vu le schéma de principe à la figure 242 le réglage de la vitesse par réduction du champ inducteur des moteurs peut être réalisé dans de très bonnes conditions. La possibilité de régler le débit de la petite génératrice EXMT qui alimente les inducteurs séparés des moteurs permet d'agir avec précision sur le champ magnétique de ces inducteurs, et par conséquent d'obtenir une variation de vitesse très progressive des moteurs en marche à champ réduit.



## R É S U M É

*Au démarrage les moteurs de traction des locomotives doivent fournir un très gros effort.*

*L'effort développé par un moteur est d'autant plus grand que l'intensité qui le traverse est plus grande, mais l'échauffement des conducteurs impose pour chaque type d'engin une limite maximale à cette intensité.*

*La ventilation forcée permet une plus grande évacuation de chaleur.*

*Pendant les premiers instants du démarrage on admet une intensité plus grande qu'en régime continu.*

*En courant continu l'intensité du courant qui traverse les moteurs d'une locomotive pendant la période de démarrage est réglée au moyen de résistances placées en série dans le circuit de traction et progressivement éliminées par des contacteurs.*

*Cette période de fonctionnement avec résistances doit être aussi courte que possible pour laisser les moteurs fonctionner en marche économique.*

*En courant alternatif l'usage d'un transformateur à prises multiples donne le moyen d'alimenter les moteurs en tension variable et de réaliser le démarrage sans l'usage de résistances. Grâce à la manœuvre du gradateur les moteurs sont d'abord alimentés à une tension suffisamment basse pour que l'intensité qui les traverse soit limitée à une valeur convenable, puis cette tension est progressivement augmentée pour réaliser l'accélération du mouvement.*

*Pratiquement, les nombreuses locomotives qui fonctionnent selon ce procédé sont munies d'un autotransformateur à rapport variable constitué par un seul enroulement alimenté en haute tension. Le gradateur permet l'alimentation variable d'un transformateur fixe de traction qui alimente à son tour les moteurs.*

*Les changements de couplage des moteurs de traction permettent d'augmenter le nombre de marches économiques des locomotives à courant continu. A chaque changement de couplage correspond une étape d'accélération réalisée par élimination des résistances de démarrage préalablement réintroduites totalement ou partiellement dans le circuit des moteurs.*

*Sur une locomotive à quatre moteurs les trois couplages possibles, série, série-parallèle et parallèle, permettent trois marches économiques pour lesquelles la tension aux bornes de chaque moteur est successivement le quart, la moitié et la pleine tension de la ligne aérienne.*

*Les changements de connexions nécessaires pour passer d'un couplage à un autre sont effectués suivant des méthodes désignées sous les noms de « transition » ou « passage ». Ces méthodes ont pour but d'éviter l'annulation momentanée de l'effort de traction en maintenant l'alimentation d'au moins une partie des moteurs pendant les changements de couplage et de s'opposer à toute variation importante de la tension entre le dernier cran d'un couplage et le premier cran du couplage suivant.*

*Les principales méthodes sont celles du « pont », du « shunt » et du « court-circuit ».*

*Du fait de l'absence de résistances de démarrage dans leurs circuits les moteurs des locomotives à courant alternatif fonctionnent constamment en marche économique. Leur couplage n'a donc pas lieu d'être modifié en cours de marche. Le réglage de leur vitesse est obtenu par variation continue de leur tension d'alimentation.*

*Les principaux types de circuits de traction utilisés en courant alternatif sont les circuits à moteurs directs, à redresseurs et à groupes convertisseurs de courant.*

*Le shuntage est un procédé qui permet d'accroître la vitesse des moteurs de traction par réduction du champ magnétique de leurs inducteurs.*

*Le fonctionnement à champ réduit permet d'augmenter le nombre de marches économiques des locomotives à courant continu. Le réglage de la vitesse peut alors être très précis. Ce procédé est utilisé après élimination des résistances, lorsque l'intensité est au-dessous de sa valeur maximale.*

*La réduction du champ magnétique des inducteurs des moteurs est réalisée soit par shuntage de ces inducteurs au moyen d'une résistance soit par réduction du nombre de spires de bobinage traversées par le courant.*

*Le shuntage des inducteurs est également utilisé sur les locomotives à courant alternatif. Il permet d'augmenter la vitesse lorsque la tension appliquée aux moteurs atteint le maximum.*

## QUESTIONNAIRE

---

### DÉMARRAGE DES MOTEURS

### RÉGLAGE DE LA VITESSE

- 1° Pourquoi la puissance des moteurs est-elle limitée par leur échauffement ?
- 2° Quel est le rôle des résistances de démarrage ?
- 3° Pourquoi la période de démarrage avec résistances doit-elle être aussi courte que possible ?
- 4° Qu'est-ce qu'une marche économique ?
- 5° Qu'est-ce que le gradateur de tension des locomotives à courant alternatif ?
- 6° Que permettent les changements de couplage des moteurs de traction sur les locomotives à courant continu ?
- 7° Quel est le but des méthodes de transition d'un couplage au couplage suivant ?
- 8° Pourquoi faut-il qu'à chaque changement de couplage des moteurs à courant continu des résistances soient réintroduites dans leurs circuits ?
- 9° Faites le schéma de principe d'une locomotive à courant alternatif à quatre moteurs du type à moteurs directs.
- 10° Dans les locomotives à courant alternatif à redresseurs, quel est le rôle des redresseurs ?
- 11° Quelle est la nature du courant d'alimentation des moteurs de traction dans les locomotives à courant alternatif à groupe convertisseur de courant ?
- 12° Qu'est-ce que le shuntage des inducteurs des moteurs de traction ?  
Que permet-il ?



# INVERSION DU SENS DE MARCHÉ

---

## PRINCIPE

### INVERSEURS

Inverseurs à contacteurs, à cames, à tambour

Marche d'une locomotive avec un ou plusieurs moteurs avariés

### COMMANDE ET MANŒUVRE DES INVERSEURS

## PRINCIPE

Pour inverser le sens de marche d'une locomotive il faut inverser le sens de rotation de ses moteurs de traction. Il est donc nécessaire d'intervenir dans le circuit électrique de tous les moteurs.

Nous avons vu que le mouvement d'un moteur résulte de l'action de forces électromagnétiques sur les conducteurs de l'induit. Le sens de ces forces dépend du sens du champ magnétique issu des inducteurs et du sens du courant que l'on fait passer dans les conducteurs d'induit.

Si on inverse soit le champ magnétique des inducteurs, soit le courant des conducteurs d'induit, le sens de toutes les forces motrices est inversé et change le sens de rotation de l'induit.

Le principe est donc simple; pour inverser le sens de rotation d'un moteur il suffit d'inverser le sens du courant soit dans les inducteurs, soit dans l'induit. Le changement de connexions est obtenu à l'aide d'appareils commandés depuis les cabines de conduite : les inverseurs.

## INVERSEURS

### I. INVERSEURS A CONTACTEURS

Les inverseurs des locomotives peuvent être réalisés avec des contacteurs.

La figure 249 (a) montre la disposition utilisée pour permettre l'inversion du sens du courant dans les inducteurs.

Lorsque les contacteurs 1 et 2 sont fermés le courant traverse les inducteurs dans le sens F, FF (schéma b). Lorsque les contacteurs 3 et 4 sont fermés le courant passe en sens inverse (schéma c). Le sens du courant dans l'induit ne change pas.

La même disposition peut être utilisée pour permettre l'inversion du courant dans l'induit; la figure 250 en montre le schéma de principe.

Sur de tels inverseurs les contacteurs sont ouverts ou fermés deux à deux. On utilise des contacteurs à cames qui offrent l'avantage d'empêcher toute fausse manœuvre (fermeture des contacteurs 1 et 4 par exemple), puisque leur ordre d'enclenchement est invariable. Ces contacteurs sont groupés et commandés par un seul arbre à cames qui est normalement immobilisé soit en position de marche avant, soit en position de marche arrière.

Les inverseurs de plusieurs moteurs sont souvent réunis en un seul appareil; cette disposition simplifie les systèmes de commande des arbres à cames.

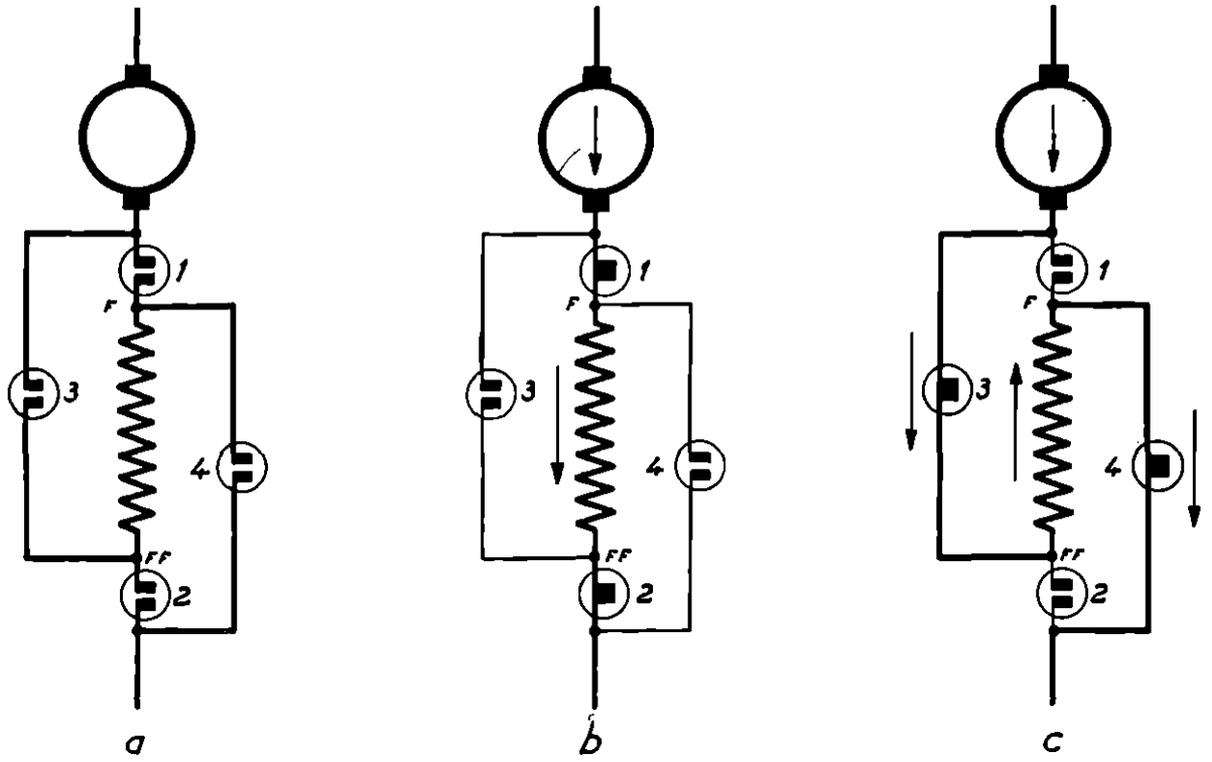


Fig. 249.

*Symbole d'un contacteur à dispositif de manœuvre commun à plusieurs contacteurs*

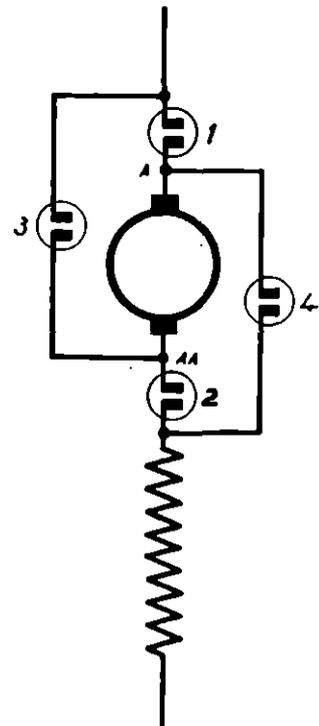


Fig. 250.

## 2. INVERSEURS A CAMES

Un type courant d'inverseur, également commandé par arbre à cames, est représentés chématiquement sur la figure 251.

Il comporte deux contacts mobiles susceptibles chacun d'assurer la liaison entre une borne O et l'une des bornes B ou C.

La comparaison des figures 251 et 252 montre que la manœuvre des contacts mobiles provoque le changement de sens du courant dans les Inducteurs du moteur, tandis que le courant dans l'Induill ne change pas de sens; condition suffisante pour que le sens de rotation de ce moteur soit inversé.

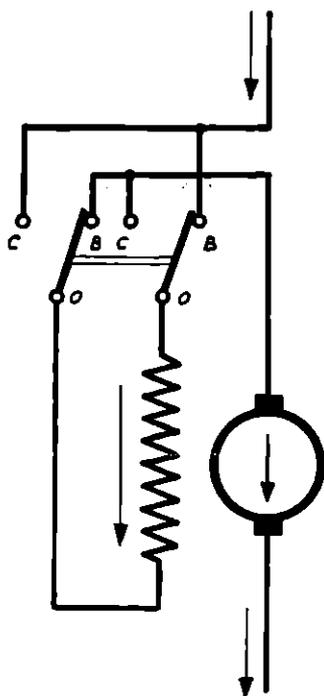


Fig. 251.

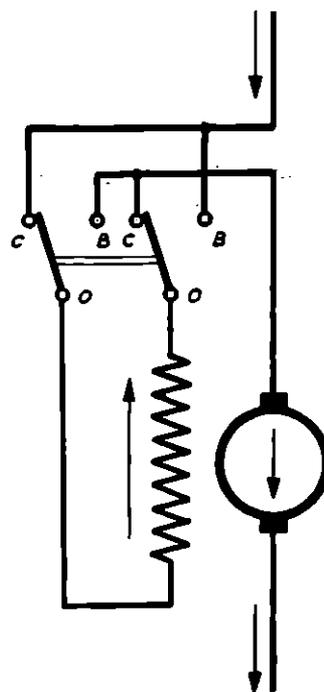


Fig. 252.

La figure 253 montre la constitution de chaque contact mobile.

On y distingue :

- un levier de contact mobile autour d'une articulation O. Ce levier peut être appliqué sur l'un des contacts fixes B et C. L'articulation O sert au passage du courant;
- un balancier articulé en O' sur le levier de contact.

Un ressort R comprimé agit de haut en bas sur une extrémité du balancier dont l'autre extrémité est munie d'un gale sur lequel agit une came. La came est calée sur un arbre dont la rotation assure la commande de l'inverseur.

Lorsque l'arbre de commande place la came dans la position indiquée sur la figure 254, la tension du ressort R agit sur l'extrémité O' du levier par l'intermédiaire du balancier. Le levier pivote autour de l'articulation O et s'applique sur le contact supérieur fixe C. La pression du contact est assurée par la tension du ressort R.

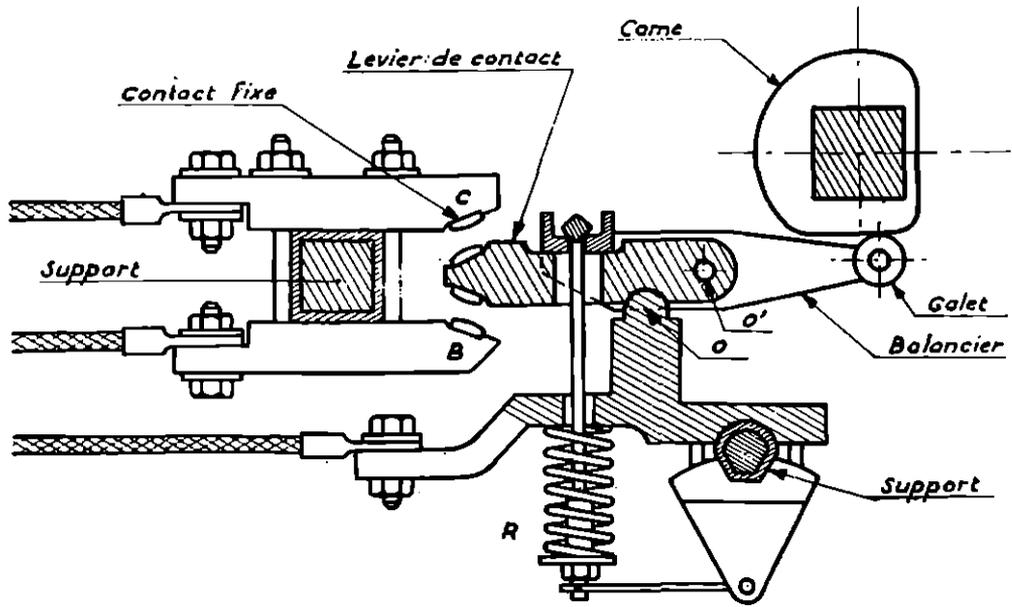


Fig. 253.

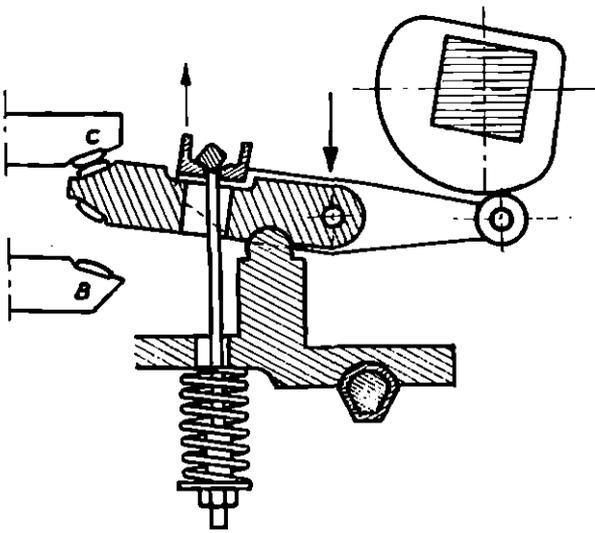


Fig. 254.

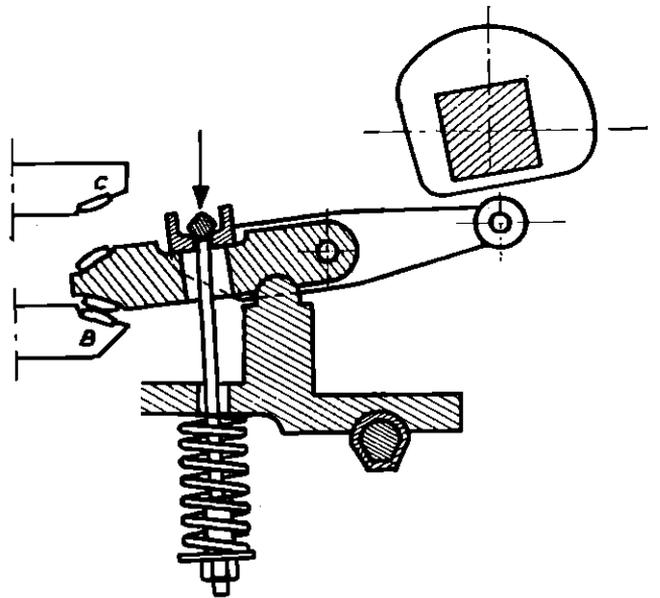


Fig. 255.

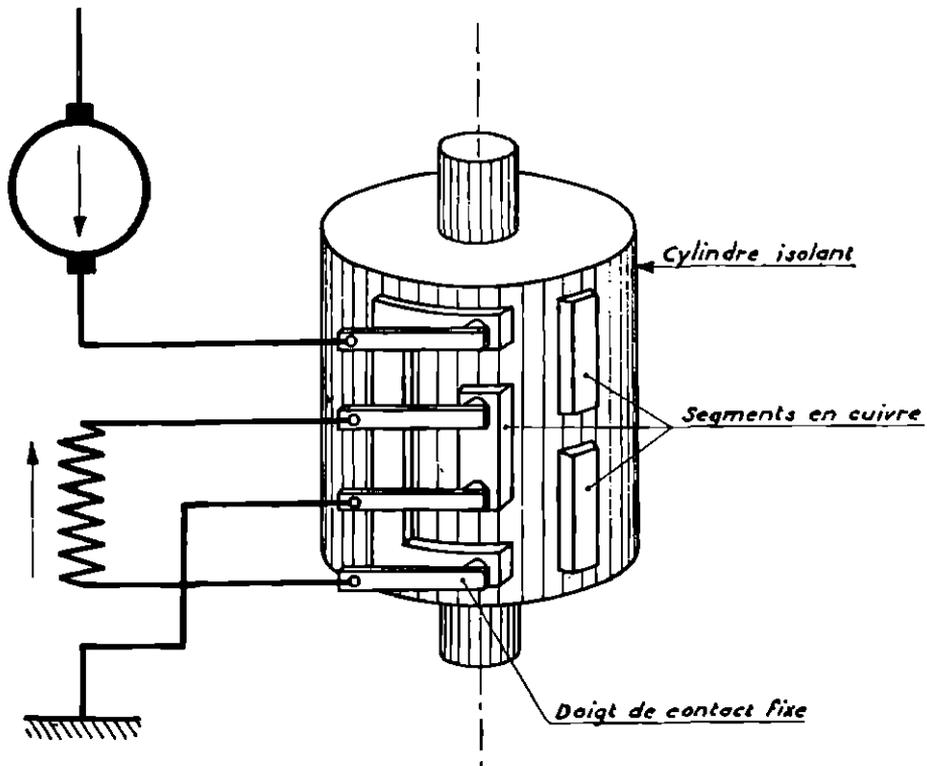


Fig. 256.

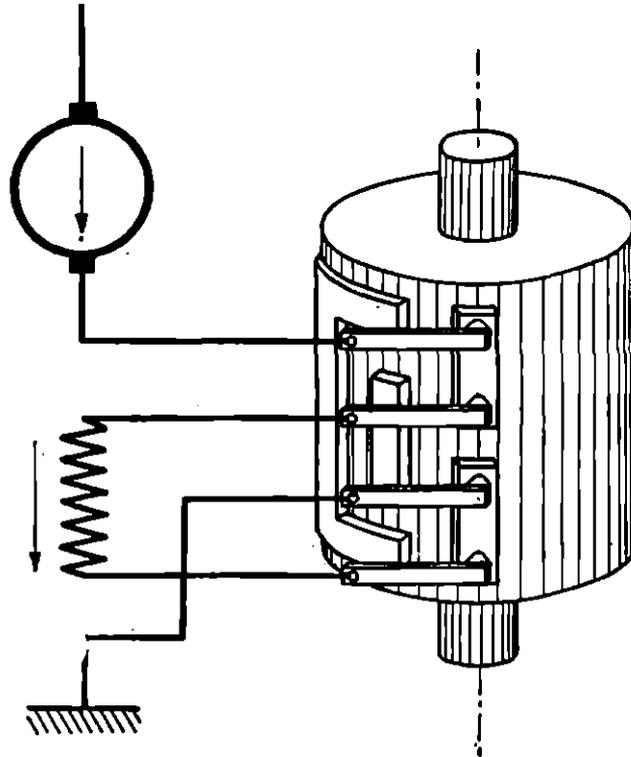


Fig. 257.

Lorsque l'arbre de commande place la came dans la position indiquée sur la figure 255, le balancier pivote sous l'action du ressort, le galet ne bute plus contre la came, et le levier est directement soumis à l'action du ressort R qui l'applique sur le contact inférieur fixe B.

Dans la position de la figure 253 le levier est maintenu en position médiane; aucun contact n'est assuré. Cette position est utilisée lorsqu'il est nécessaire d'isoler le moteur correspondant, à la suite d'une avarie.

### 3. INVERSEURS A TAMBOUR

Un autre type d'inverseur est également très utilisé, c'est l'inverseur à tambour. La figure 256 en donne une représentation simplifiée.

Des segments de cuivre sont convenablement disposés sur un cylindre en matière isolante que l'on nomme « tambour ». Le tambour est mobile autour de son axe. Pendant la rotation les segments de cuivre viennent en contact avec des doigts fixes et établissent ainsi les connexions nécessaires dans le circuit de chaque moteur.

Les figures 256 et 257 montrent que la manœuvre du tambour permet l'inversion du sens du courant dans les inducteurs d'un moteur.

Il serait également possible, en changeant les liaisons, d'obtenir l'inversion du courant dans l'induit; ce qui donnerait le même résultat.

Comme pour les appareils à contacts à cames, plusieurs inverseurs peuvent être commandés par un seul arbre qui entraîne les différents tambours.

Pratiquement, les segments de cuivre sont souvent fixés sur des supports métalliques calés sur l'arbre de commande par l'intermédiaire d'un tube en matière isolante. La figure 258 en donne un exemple. Les supports des segments servent au passage du courant.

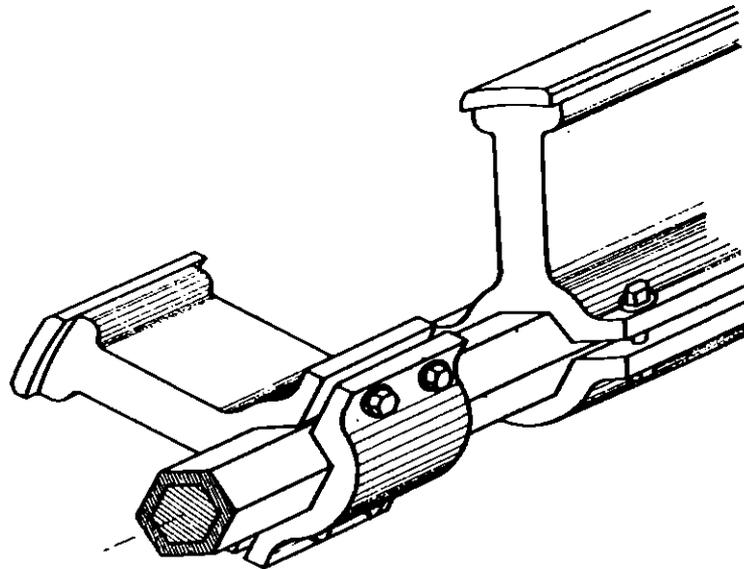


Fig. 258.

Les doigts de contact des inverseurs à tambour sont disposés de manière à pouvoir s'appliquer sur les segments mobiles avec une pression convenable. La figure 259 donne un exemple de disposition souvent utilisée.

Le support de contact est en deux parties articulées l'une sur l'autre et maintenues accolées au repos par un ressort de pression. Un shunt flexible en cuivre assure la continuité électrique entre la partie fixe et la partie mobile. L'ensemble est fixé sur une tige-support par l'intermédiaire d'un revêtement isolant.

La figure 260 représente le contact en position de travail. Le contact mobile du tambour a repoussé le doigt de contact qui a pivoté autour de l'articulation. Le ressort comprimé assure la pression de contact. Cette pression peut être réglée au moyen de l'écrou qui maintient la rondelle d'appui du ressort.

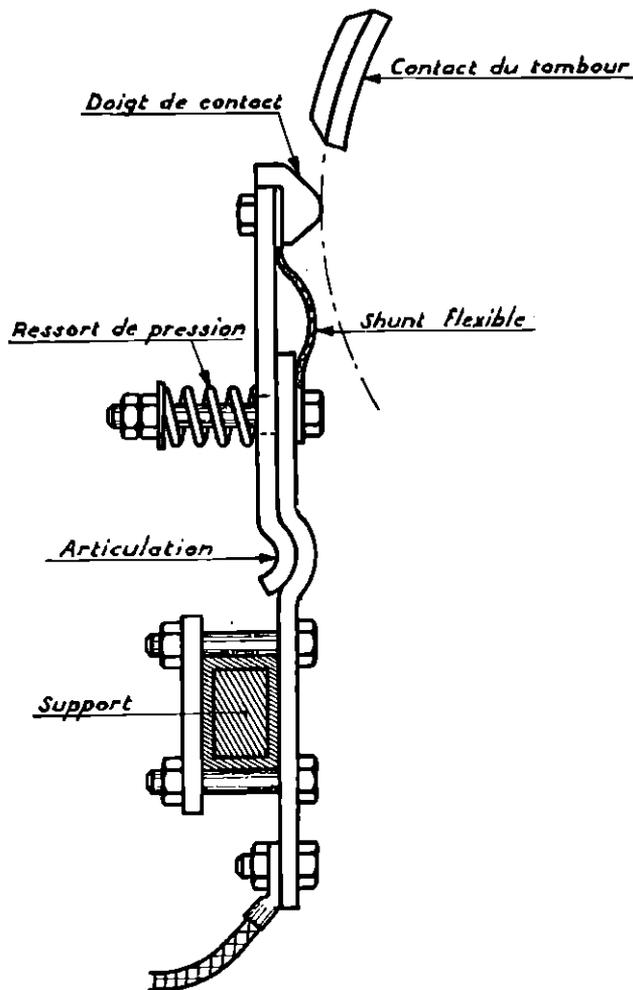


Fig. 259.

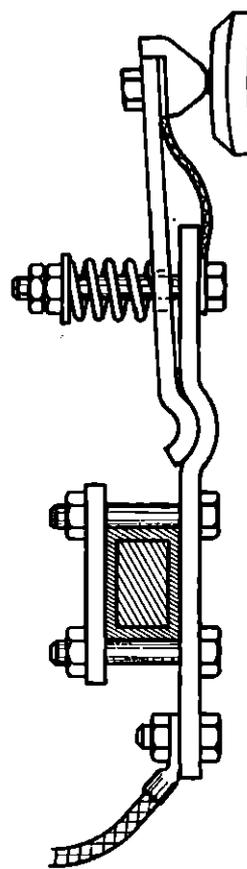


Fig. 260.

Les inverseurs à tambour peuvent être représentés schématiquement comme l'indique la figure 261. On suppose alors que le cylindre a été développé. Les parties hachurées figurent les segments de cuivre. Les génératrices du tambour qui viennent s'appliquer sur les contacts fixes pour chaque sens de marche sont repérées AV et AR.

La position intermédiaire correspond à l'isolement du moteur.

Sur un schéma de circuit de traction, lorsqu'il n'est pas nécessaire de préciser comment sont constitués les inverseurs, on utilise le symbole en traits pointillés de la figure 262. Ce symbole veut dire que le courant peut passer soit en suivant les diagonales, soit en suivant les deux côtés verticaux.

#### 4. MARCHES D'UNE LOCOMOTIVE AVEC UN OU PLUSIEURS MOTEURS AVARIÉS

Sur les locomotives à courant continu qui démarrent avec les moteurs couplés en série, il est nécessaire d'éviter que l'isolement d'un moteur avarié empêche les autres moteurs de fonctionner. Une locomotive

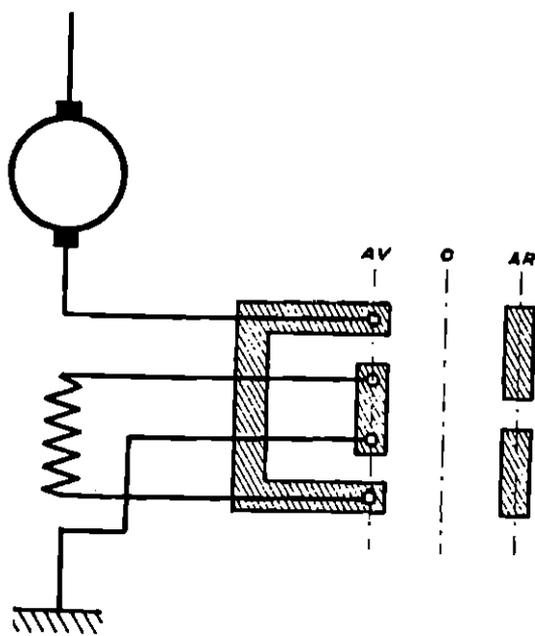


Fig. 261.

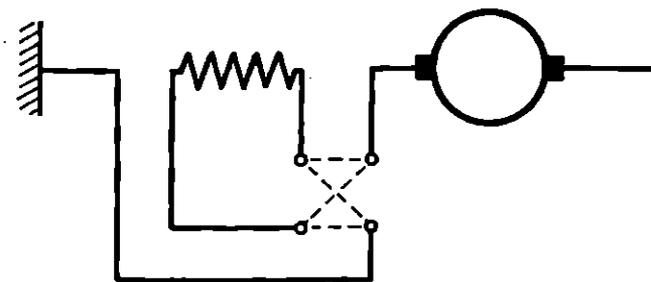


Fig. 262.

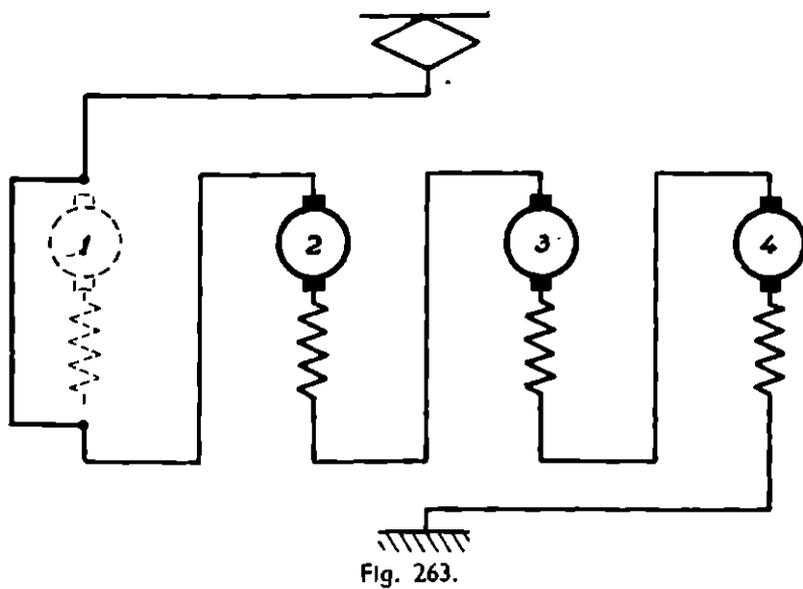


Fig. 263.

dont un moteur est hors service doit pouvoir circuler par ses propres moyens soit pour assurer la remorque de son train à vitesse réduite jusqu'au premier point de relais, soit pour rejoindre l'établissement où elle sera réparée.

A cet effet, les inverseurs sont souvent munis de contacts qui assurent des liaisons convenables dans le circuit lorsqu'ils sont placés en position d'isolement.

C'est ainsi qu'une locomotive à quatre moteurs ayant un moteur avarié pourra démarrer avec trois moteurs couplés en série (fig. 263).

Les liaisons sont aussi parfois réalisées par des interrupteurs spéciaux d'isolement manœuvrés à la main.

Lorsqu'une locomotive à courant continu circule avec un ou plusieurs moteurs isolés, il ne faut absolument pas que le conducteur puisse passer du couplage série au couplage série-parallèle. En effet, la figure 264 montre que dans ce cas les moteurs seraient soumis à des tensions très différentes, et cela ne manquerait pas de provoquer des avaries importantes.

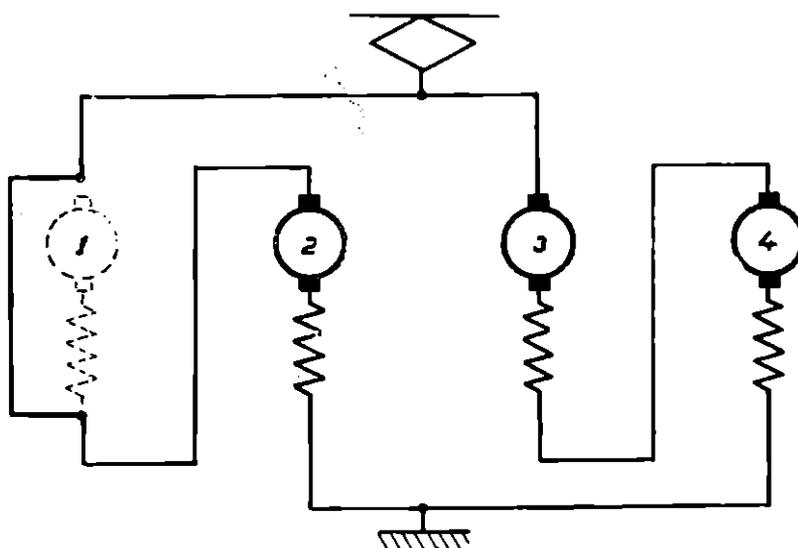


Fig. 264.

Par contre, la marche au couplage parallèle est possible.

Sur les locomotives à courant alternatif l'isolement d'un moteur ne pose pas de difficulté, il suffit que le circuit de ce moteur soit interrompu. Une locomotive peut circuler avec un ou plusieurs moteurs isolés; la puissance qu'elle peut développer dépend du nombre de moteurs restant en service.

### COMMANDE ET MANŒUVRE DES INVERSEURS

La figure 265 représente le schéma de principe complet du circuit de traction d'une locomotive à courant continu à quatre moteurs. Chaque moteur est muni d'un inverseur.

La figure 266 représente le schéma de principe du circuit de traction d'une locomotive à courant alternatif équipée de redresseurs complété par l'adjonction des inverseurs. Le dispositif de shuntage des inducteurs n'est pas figuré.

Dans tous les types d'inverseurs, qu'ils soient munis de contacteurs à cames, de leviers oscillants ou de tambours, l'ouverture et la fermeture des contacts est obtenue par rotation d'un arbre de commande.

Les arbres de commande sont manœuvrés à distance depuis les cabines de conduite.

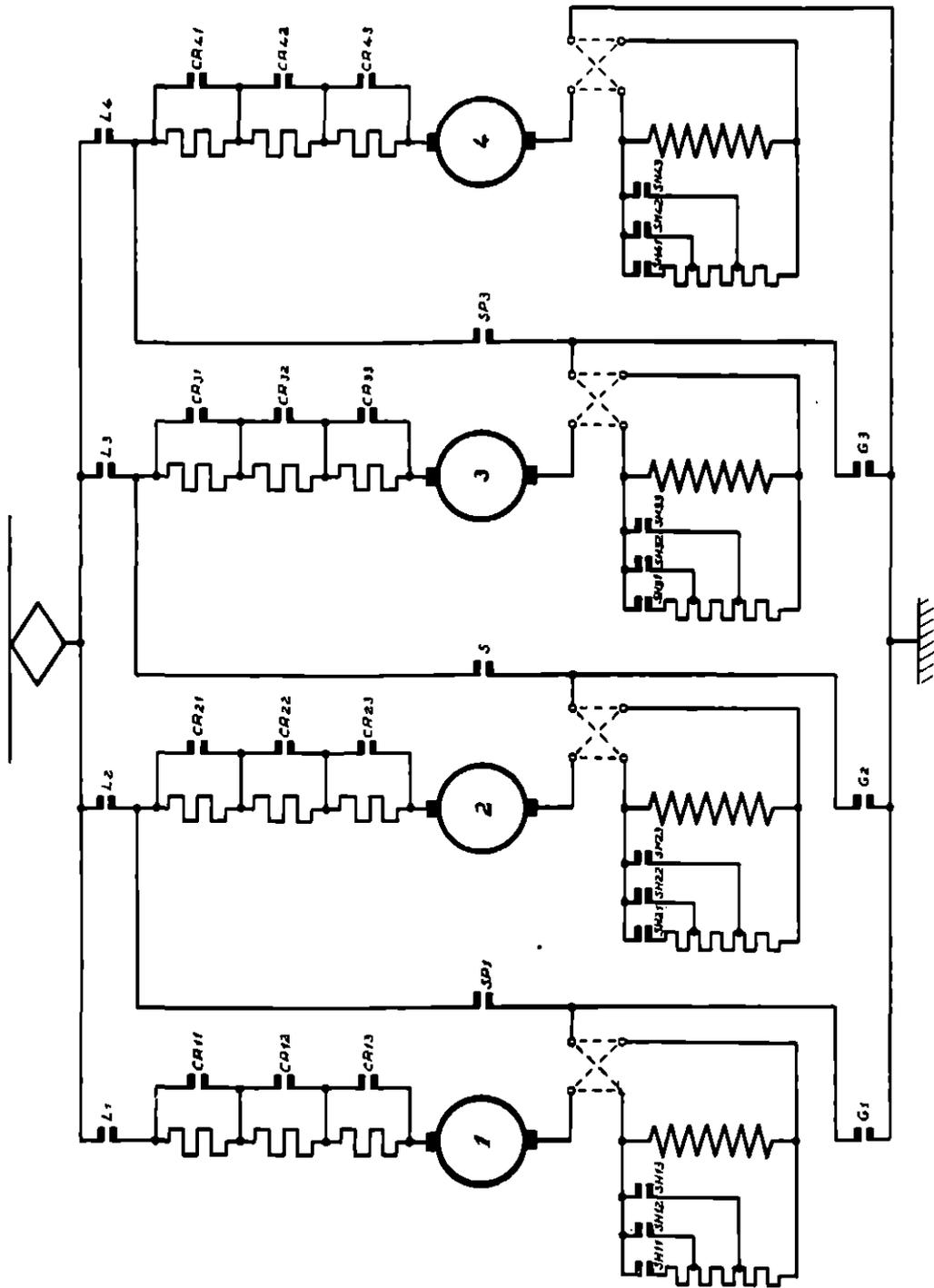


Fig. 265.

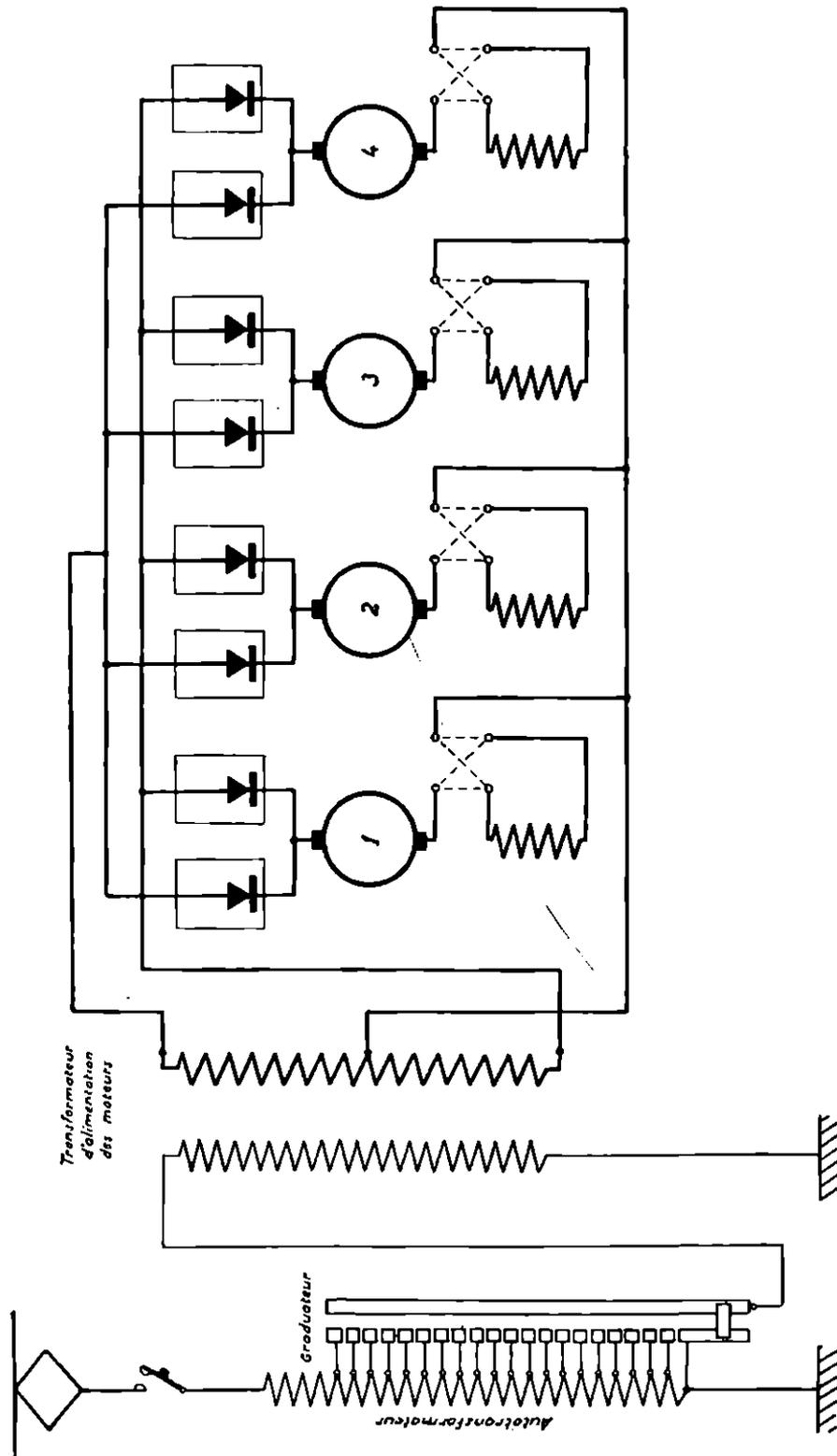


Fig. 266.

Technologie matériel moteur.

Cette manœuvre est parfois réalisée par l'Intermédiaire d'un système mécanique. La figure 267 en donne un schéma simplifié.

Le déplacement de la poignée de commande permet de faire tourner les arbres de commande d'un angle convenable.

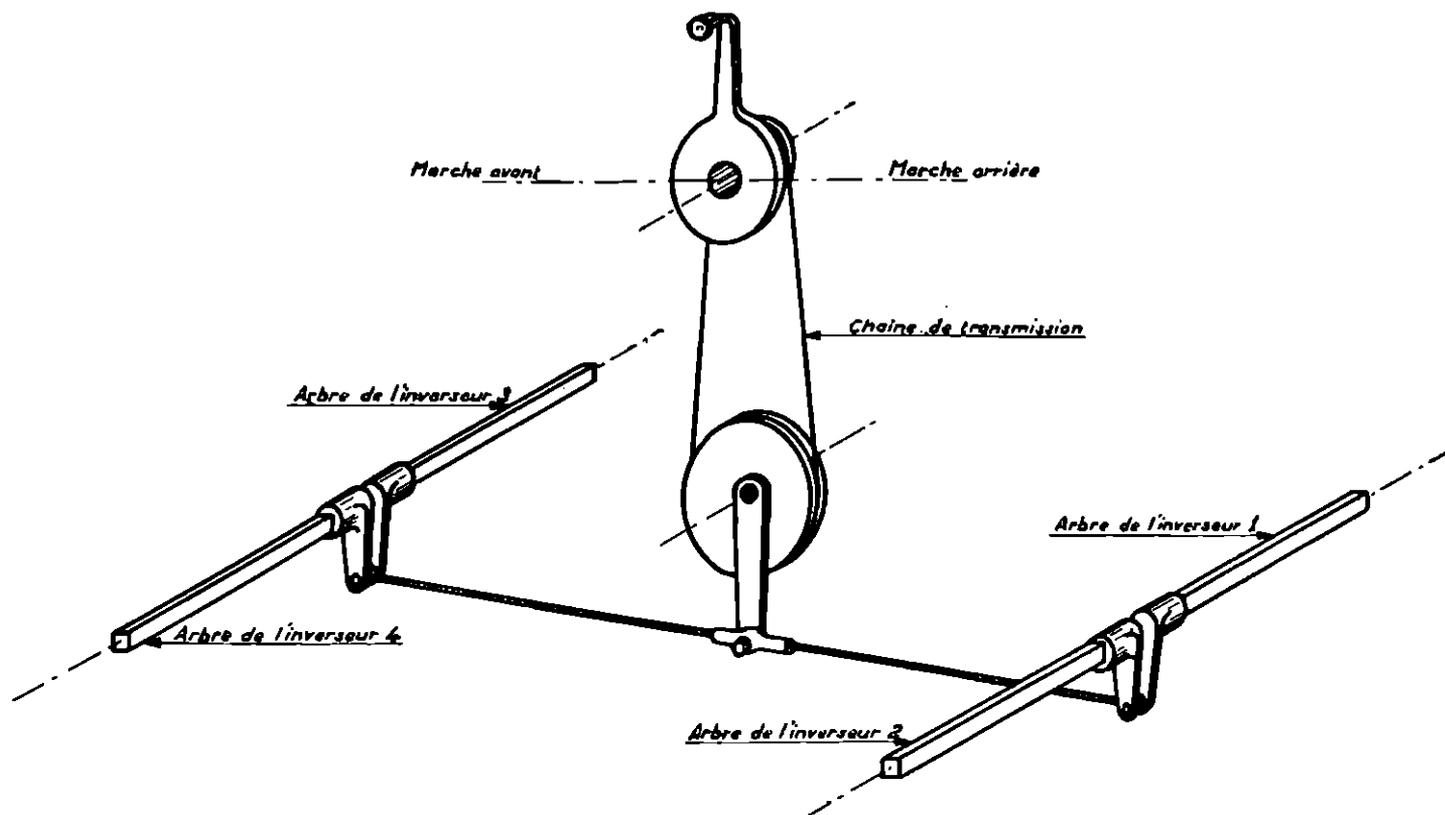


Fig. 267.

Le plus souvent les Inverseurs sont manœuvrés par un système pneumatique commandé au moyen d'électro-valves. Ce dispositif porte le nom de « servo-moteur électropneumatique ».

Les servo-moteurs d'inverseurs les plus utilisés sont constitués par un cylindre à air comprimé contenant deux pistons (fig. 268). Les deux pistons sont solidaires d'une tige munie d'une fourchette en son milieu. Par l'intermédiaire de cette fourchette les déplacements de la tige sont communiqués à une manivelle solidaire de l'arbre de l'Inverseur.

L'admission d'air comprimé dans le cylindre est réglée par deux électro-valves. L'alimentation de l'une ou l'autre des électro-valves provoque le déplacement des pistons d'une extrémité à l'autre du cylindre, et par suite le passage de l'inverseur d'une position de sens de marche à l'autre.

Le servo-moteur ne peut occuper que deux positions correspondant aux marches avant et arrière.

Les inverseurs d'une locomotive peuvent être groupés et commandés par un seul servo-moteur.

La commande à distance des servo-moteurs depuis les cabines de conduite est réalisée par des commutateurs qui permettent l'alimentation électrique des électro-valves. Cette alimentation s'effectue en courant à basse tension issu le plus souvent d'une batterie d'accumulateurs (batterie à 72 V).

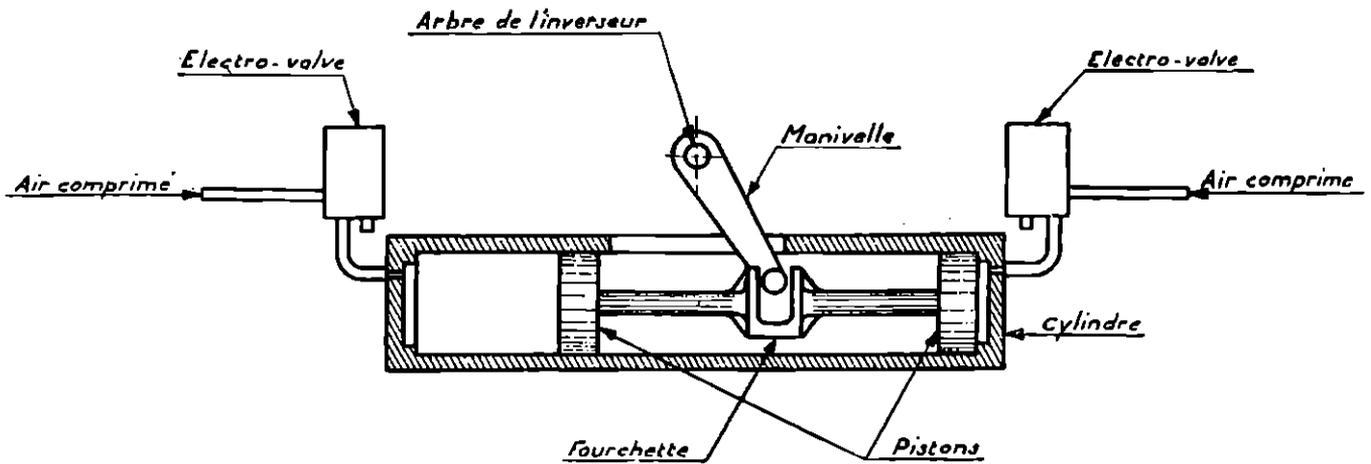


Fig. 268.

La figure 269 donne un exemple simplifié de la commande d'un servo-moteur. La manette d'inversion actionne un commutateur à tambour dont les segments établissent l'alimentation de l'une ou l'autre des électro-valves par la batterie d'accumulateurs (dans le symbole du servo-moteur, les corps des électro-valves et leurs liaisons pneumatiques avec les cylindres à air ne sont pas représentés).

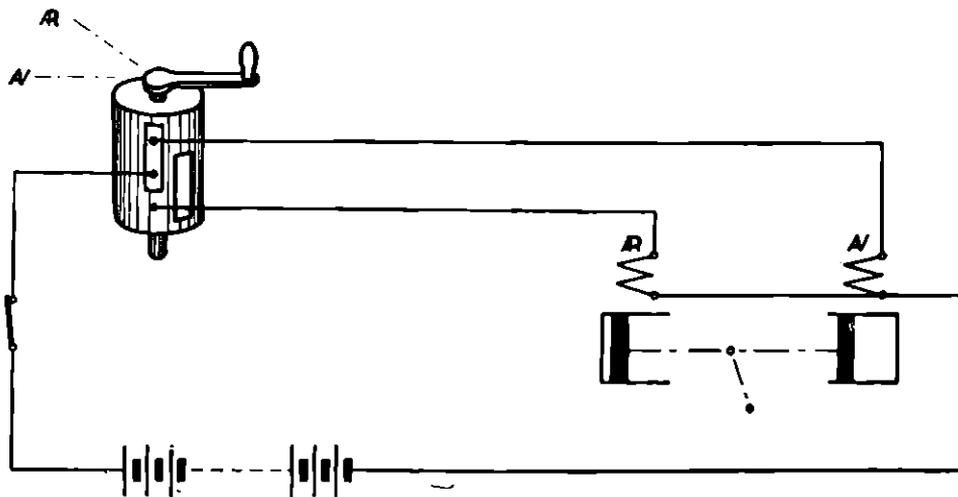


Fig. 269.

Le système de manœuvre des inverseurs par servo-moteurs électro-pneumatiques est très utilisé en raison de ses commodités d'installation et de sa sûreté de fonctionnement. En effet, seuls les fils d'alimentation en basse tension des électro-valves relient le commutateur de commande placé à la portée du conducteur et l'inverseur qui doit être enfermé dans un des compartiments à haute tension dont l'accès est interdit en cours de marche. Alors que la manœuvre d'un système de commande mécanique risque d'être mal effectuée, les servo-moteurs agissent rapidement et invariablement. Par contre, pour les servo-moteurs, il est nécessaire de disposer d'une alimentation en air comprimé à une pression aussi constante que possible.

La manœuvre des inverseurs d'une locomotive ne doit être effectuée qu'à l'arrêt et lorsque les moteurs sont hors tension.

C'est une condition très importante, car si en cours de marche le courant dans les inducteurs ou dans l'induit de chaque moteur était brusquement inversé il en résulterait immédiatement une inversion des forces contre-électromotrices. Au lieu de s'opposer à la tension d'alimentation ces forces électromotrices s'y ajouteraient et provoqueraient la circulation d'un courant très intense susceptible de détruire en quelques instants les isolants et les bobinages des moteurs.

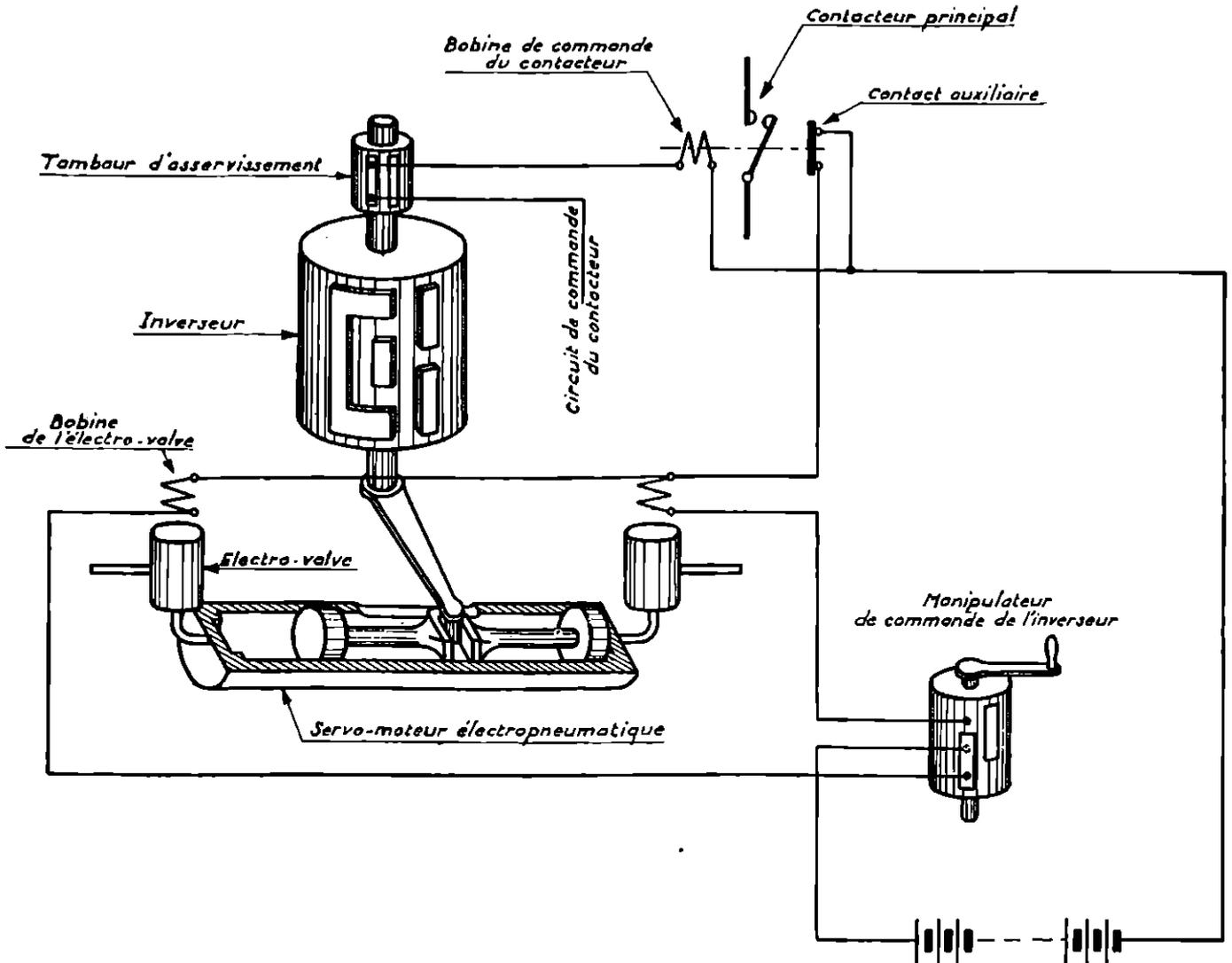


Fig. 270.

Il est d'ailleurs parfaitement compréhensible qu'on ne peut changer le sens de rotation des moteurs d'une locomotive qui circule; cela demanderait un effort que ces moteurs ne peuvent développer.

De plus, les inverseurs ne sont pas conçus pour interrompre la circulation d'un courant; ce sont des appareils essentiellement destinés à changer des connexions en l'absence de tout courant. Ils ne sont pas munis de contacts roulants et de dispositifs de soufflage des arcs de rupture.

Pour éviter toute fausse manœuvre des inverseurs beaucoup de locomotives sont munies d'un dispositif d'asservissement électrique. Le schéma de la figure 270 en donne le principe.

Un contact auxiliaire (ou interlock) du contacteur de mise sous tension des moteurs (contacteur principal ou contacteur de ligne) est placé dans le circuit des électro-valves de l'inverseur. Ce contact est fermé

lorsque le contacteur est ouvert; c'est-à-dire lorsque les moteurs ne sont pas alimentés. Il est ouvert lorsque le contacteur est fermé et assure la mise sous tension des moteurs.

Les électro-valves avant et arrière de l'Inverseur ne peuvent être alimentés que lorsque le contact auxiliaire est fermé. Il est donc certain que l'Inverseur ne peut être changé de position que lorsque les moteurs ne sont pas alimentés. Il y a asservissement du fonctionnement de l'Inverseur à la position du contacteur de mise sous tension.

D'autre part, l'arbre de l'Inverseur est muni d'un petit tambour dit « tambour d'asservissement » sur lequel sont disposés des segments de culvre. Ces segments n'assurent la liaison entre deux doigts de contact que lorsque l'Inverseur occupe une position de marche, avant ou arrière.

Le circuit d'alimentation du contacteur principal de mise sous tension passe par les doigts de contact.

Ce contacteur ne peut donc être fermé et mettre les moteurs sous tension que lorsque l'Inverseur a bien achevé son changement de position.

Il y a asservissement du fonctionnement du contacteur à la position de l'Inverseur.

Dans ces conditions les inverseurs ne peuvent être manœuvrés lorsque les moteurs sont en charge et la locomotive ne peut démarrer si les Inverseurs ne sont pas en position.

La figure 270 n'est qu'un exemple de système d'asservissement dont il existe plusieurs variantes; notamment avec des contacts à cames au lieu d'un tambour d'asservissement.

Lorsqu'un Inverseur a été placé en position convenable par son servo-moteur, il est souvent inutile de maintenir l'action de l'air comprimé, et par conséquent l'alimentation électrique de l'électro-valve. L'arbre de l'Inverseur est immobilisé par un verrouillage mécanique qui le maintient dans sa position de marche tant que le servo-moteur n'agit pas dans l'autre sens.

Pour interrompre l'alimentation des électro-valves lorsqu'un Inverseur s'est placé dans la position commandée il est fait usage du tambour d'asservissement.

La figure 271 schématise une disposition souvent utilisée.

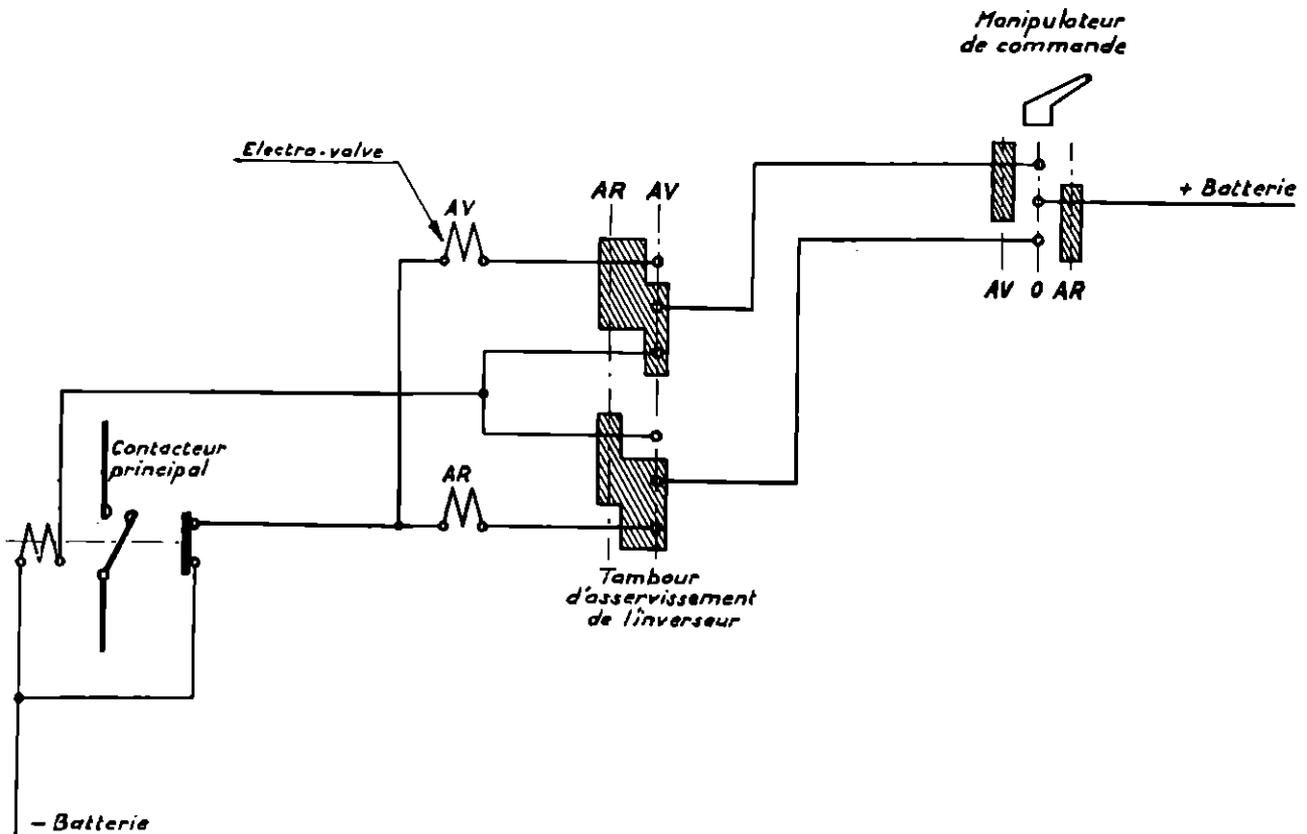


Fig. 271.

L'alimentation des électro-valves par le manipulateur de commande se fait par l'intermédiaire des segments en culvre du tambour d'asservissement. Ces segments sont disposés de manière à interrompre l'alimentation de l'électro-valve commandée lorsque le servo-moteur arrive en fin de course.

Sur le schéma de la figure 271 l'inverseur est immobilisé en position de marche avant.

Si le conducteur place le manipulateur en position de marche arrière, l'électro-valve AR du servo-moteur est alimentée par l'intermédiaire du segment inférieur du tambour d'asservissement. Le servo-moteur entre en action, le tambour tourne et interrompt le circuit de l'électro-valve juste avant d'arriver en fin de course.

Cette manœuvre n'est possible que si le contacteur principal est ouvert car son contact auxiliaire est placé dans le circuit des électro-valves (asservissement de l'inverseur)

La fermeture du contacteur principal n'est possible que si l'inverseur est immobilisé dans la position pour laquelle il a été commandé (asservissement du contacteur).

Le dispositif de la figure offre une particularité en ce qui concerne l'alimentation de la bobine du contacteur principal.

Cette bobine et le servo-moteur ont une alimentation commune; le contacteur se ferme dès que l'inverseur est en bonne position. Autrement dit, la commande du démarrage de la locomotive s'effectue dès que l'inverseur s'est placé s'il y a lieu en bonne position.

Ce principe de fonctionnement peut être réalisé avec des contacts à cames au lieu d'un tambour.

## RÉSUMÉ

*Pour Inverser le sens de rotation d'un moteur il suffit d'inverser le sens du courant soit dans les inducteurs, soit dans l'induit.*

*Ce changement de connexions est réalisé au moyen des inverseurs qui sont des appareils commandés à distance.*

*Les inverseurs sont parfois réalisés avec des contacteurs à cames au nombre de quatre par moteur. Ces contacteurs sont commandés par un seul arbre à cames. Les inverseurs de plusieurs moteurs sont souvent groupés et commandés par le même arbre.*

*Les inverseurs à contacts à cames sont munis chacun de deux leviers de contacts oscillants. Chaque levier est manœuvré au moyen d'une came par l'intermédiaire d'un balancier à galet et d'un ressort de pression. Ces inverseurs peuvent être immobilisés en position d'isolement.*

*Dans les inverseurs à tambour les contacts sont des segments en cuivre disposés suivant la surface d'un cylindre concentrique à l'arbre de commande de l'inverseur. La rotation de l'arbre permet d'amener les segments en face de doigts de contact élastiques fixes et de réaliser ainsi les connexions nécessaires dans le circuit de chaque moteur pour la marche avant ou la marche arrière. Une position intermédiaire permet l'isolement du moteur.*

*Les segments mobiles sont fixés soit sur un tambour cylindrique en matière isolante, soit sur des supports métalliques calés sur l'arbre de commande.*

*Sur les locomotives à courant continu lorsqu'un moteur avarié est placé hors circuit par mise en position d'isolement de son inverseur, cet inverseur réalise les connexions nécessaires pour que les moteurs restant en service puissent fonctionner en couplage série et éventuellement en couplage parallèle. Quelquefois ces connexions sont réalisées par des interrupteurs spéciaux d'isolement.*

*Les changements de position des inverseurs sont obtenus par rotation de leurs arbres de commande. Ces arbres sont commandés à distance depuis les cabines de conduite.*

*La commande est quelquefois réalisée à l'aide d'un système mécanique, mais le plus souvent par un servomoteur électro-pneumatique dont les électro-valves sont alimentées en basse tension depuis les cabines de conduite par l'intermédiaire de commutateurs.*

*La manœuvre des inverseurs d'une locomotive ne doit être effectuée qu'à l'arrêt et lorsque les moteurs sont hors tension.*

*Pour éviter toute fausse manœuvre les inverseurs sont souvent munis d'un dispositif d'asservissement électrique. Grâce à ce dispositif les inverseurs ne peuvent être changés de position que lorsque les moteurs ne sont pas alimentés et inversement, les moteurs ne peuvent être alimentés tant que les inverseurs ne sont pas immobilisés en bonne position.*

*Les asservissements sont réalisés le plus souvent à l'aide de contacts auxiliaires et de tambours d'asservissement. Les tambours d'asservissement peuvent être utilisés pour interrompre l'alimentation des électro-valves de servomoteurs dès que les inverseurs se sont placés en bonne position.*

## QUESTIONNAIRE

---

### INVERSION DU SENS DE MARCHE

- 1° *Que faut-il faire pour inverser le sens de rotation d'un moteur ?*
- 2° *Dans un Inverseur à contacteurs pourquoi est-il préférable d'employer des contacteurs à cames ?*
- 3° *Comment sont constitués les contacts mobiles des Inverseurs à tambours ?*
- 4° *Une locomotive à courant continu peut-elle démarrer avec un moteur isolé ? A quelle condition ?*
- 5° *Décrivez un servo-moteur électro-pneumatique de commande d'inverseur.*
- 6° *Pourquoi les inverseurs des locomotives ne doivent-ils être manœuvrés qu'à l'arrêt et lorsque les moteurs sont hors tension ?*

# APPAREILLAGE DE PROTECTION DES CIRCUITS

---

ROLE  
DISJONCTEURS  
RELAIS DE PROTECTION

## ROLE

Il est indispensable d'éviter que des surintensités et surtensions puissent se produire dans les circuits et récepteurs électriques des locomotives.

Lorsque l'intensité du courant qui traverse un récepteur devient pour une cause quelconque très supérieure à l'intensité normale, les conducteurs et isolants ne tardent pas à être mis hors d'usage par suite du dégagement de chaleur trop rapide auquel il sont soumis. Quant à la tension d'alimentation, lorsqu'elle dépasse exagérément la valeur normale d'utilisation, outre le fait qu'il peut en résulter une surintensité, il y a risque de « claquage » des isolants (amorçage d'une étincelle électrique au travers des isolants) ou d'amorçage d'un arc entre organes électriques voisins.

Il y a sur toute locomotive des valeurs limites d'intensité et de tension qu'il ne faut ni dépasser ni tolérer en permanence. Les appareils de protection ont pour rôle d'interrompre automatiquement l'alimentation électrique pour protéger les récepteurs et circuits lorsque ces limites sont atteintes.

Les causes les plus courantes des surintensités sont :

- erreur de manœuvre de la part du conducteur qui augmente trop rapidement la tension aux bornes des moteurs en période de démarrage;
- freinage effectué alors que les moteurs continuent à être alimentés;
- court-circuit accidentel survenant dans la câblerie ou les récepteurs;
- surtension momentanée à la ligne aérienne;
- amorçage d'arcs dans les circuits à haute tension.

Une surintensité peut également se produire après une importante baisse ou une suppression momentanée de la tension à la ligne aérienne au moment du rétablissement de la tension normale. En effet, si la diminution ou la suppression a duré assez longtemps pour que le mouvement d'une locomotive en marche ait ralenti, la réalimentation brutale des moteurs s'accompagne d'une surintensité.

L'appareillage de protection doit donc interrompre l'alimentation des circuits dès que la tension à la ligne aérienne descend à une certaine valeur minimale, et s'opposer à son rétablissement.

Une mise à la masse accidentelle d'une partie des circuits d'une locomotive peut présenter un danger pour le personnel et perturber le fonctionnement de certains récepteurs. Il doit donc y avoir aussi dans ce cas interruption automatique de l'alimentation des circuits en cause.

Les interventions du système de protection des circuits à haute tension se traduisent par l'interruption de l'alimentation en tête de l'installation, c'est-à-dire juste après les pantographes. Sur la plupart des locomotives cette interruption est effectuée par un « disjoncteur ».

## DISJONCTEURS

Le moyen le plus simple pour protéger un circuit contre les surintensités est de l'alimenter par l'intermédiaire d'un fusible dont les dimensions sont prévues en fonction de l'intensité maximale admissible. Dès que cette intensité est dépassée la chaleur dégagée dans le fusible par effet Joule entraîne sa fusion, et par conséquent l'interruption du circuit.

Outre le fait que les fusibles n'agissent pas rapidement, ils ne peuvent satisfaire à toutes les conditions que nous avons énumérées pour assurer une protection parfaite des circuits à haute tension d'une locomotive. Aussi ne sont-ils le plus souvent utilisés sur les locomotives que pour assurer la protection de circuits de moindre importance tels que ceux des ventilateurs, des compresseurs, de l'éclairage, de la signalisation, de la batterie d'accumulateurs, des appareils de commande à distance..., ou pour assurer une protection supplémentaire susceptible d'agir en cas de mauvais fonctionnement du dispositif principal.

Les plupart des locomotives sont munies d'un disjoncteur qui peut interrompre l'alimentation à haute tension de tous les circuits soit à la volonté du conducteur, soit automatiquement en cas d'anomalie survenant dans un des circuits protégés.

Ce sont des appareils dont la réalisation est assez complexe; il en existe plusieurs types assez différents dont nous n'examinerons que le principe de constitution et de fonctionnement.

Les disjoncteurs s'apparentent aux contacteurs en ce sens qu'ils doivent assurer un bon contact pour le passage du courant et que leur système de commande à distance s'effectue par l'intermédiaire d'un circuit à basse tension.

En plus de cela ils sont capables d'interrompre rapidement des courants très intenses, plus rapidement que les contacteurs, d'agir automatiquement, et de s'opposer au rétablissement de l'alimentation après rupture tant que les circuits à haute tension n'ont pas été ramenés en position d'arrêt de fonctionnement.

La figure 272 représente le schéma de principe très simplifié d'un disjoncteur.

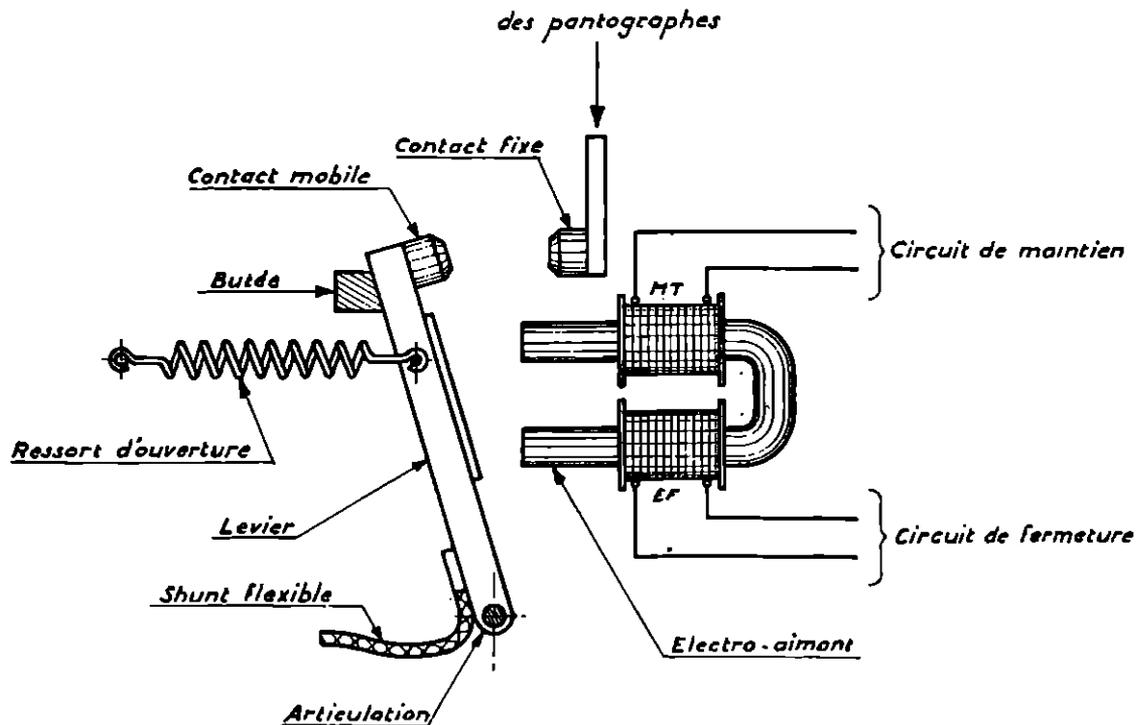


Fig. 272.

Le circuit d'alimentation en haute tension de la locomotive peut être établi par un contact mobile supporté par un levier articulé sur un axe. Ce levier est maintenu en position d'ouverture du circuit par un ressort puissant.

Un électro-aimant muni de deux bobines peut, lorsque celles-ci sont alimentées, attirer l'équipage mobile et établir l'application des contacts à haute tension (fig. 273).

Les bobines sont prévues pour être alimentées en basse tension, le plus souvent par une batterie d'accumulateurs. L'une d'elles est la bobine de fermeture ou électro de fermeture (EF); l'autre est la bobine ou électro de maintien (MT).

L'ensemble du système a été conçu de telle manière que pour amener l'équipage mobile en position de fermeture (fig. 273) il est nécessaire d'alimenter les deux bobines (le champ magnétique de l'électro-aimant est alors très intense et l'attraction qu'il exerce est supérieure à la tension du ressort).

Une fois le disjoncteur fermé il suffit que la bobine de maintien soit seule alimentée pour maintenir le levier appliqué sur l'électro-aimant.

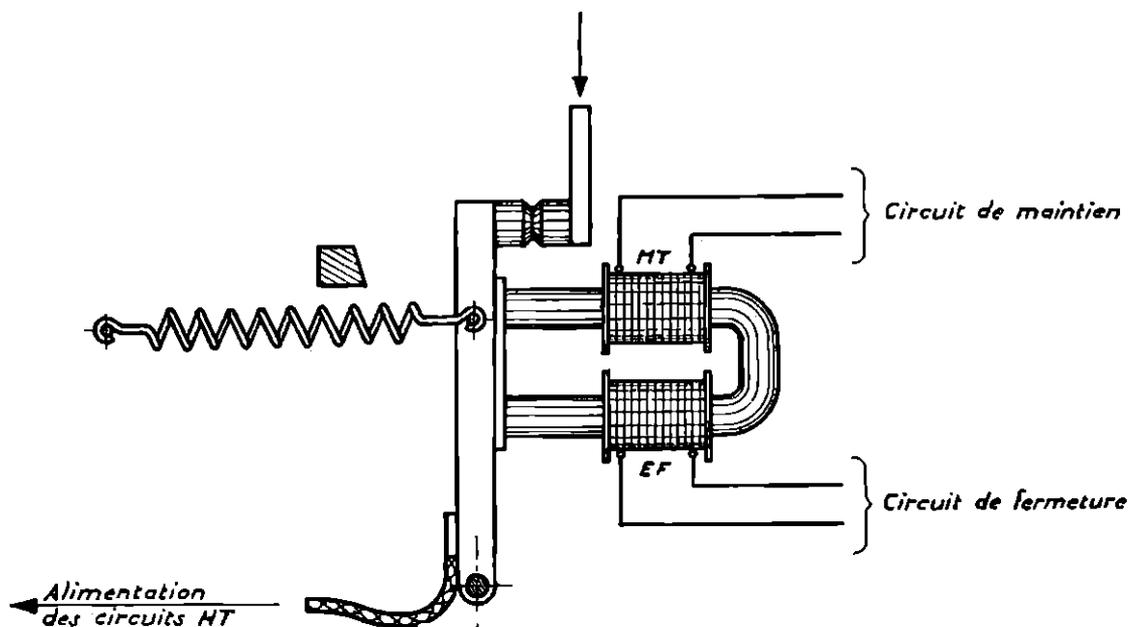


Fig. 273.

Pour provoquer l'ouverture du disjoncteur il suffit alors d'interrompre le circuit de la bobine de maintien. Cette interruption peut être effectuée soit volontairement par le conducteur au moyen d'un bouton-poussoir, soit automatiquement par des « relais » dont nous verrons le fonctionnement.

L'ouverture du disjoncteur s'effectue sous l'action du ressort; elle est très rapide car le ressort est puissant.

Le dispositif de la figure 272 présente cependant un inconvénient.

Si un court-circuit existe dans l'installation électrique de la locomotive les bobines EF et MT peuvent être alimentées et provoquer la fermeture du disjoncteur. Dès que le contact est établi l'intensité du courant dépasse le maximum admissible, mais le disjoncteur ne peut interrompre le passage du courant malgré l'interruption automatique du circuit de la bobine MT tant que l'alimentation de la bobine EF est maintenue, car le champ magnétique de cette bobine suffit à retenir le levier de contact.

Il ne peut y avoir disjonction immédiatement après la fermeture des contacts.

En modifiant le schéma comme l'indique la figure 274 cet inconvénient est supprimé. L'alimentation de la bobine de fermeture est interrompue dès que le disjoncteur arrive en position de fermeture grâce à un contact auxiliaire manœuvré par le levier. Une interruption automatique du circuit de la bobine de maintien entraîne alors la disjonction immédiate.

En plus de cela un dispositif non représenté sur la figure empêche le disjoncteur de se refermer aussitôt, par suite de la fermeture du contact auxiliaire, et de battre sans arrêt.

Nous venons de voir le principe essentiel du fonctionnement des disjoncteurs. En ce qui concerne les dispositions pratiques des organes de ces appareils il existe de nombreuses variantes. Chaque type de disjoncteur a ses caractéristiques particulières; les moyens employés pour assurer la rapidité d'ouverture, la sensibilité au déclenchement et la sûreté de fonctionnement sont assez variables. Il faut surtout retenir que la fermeture d'un disjoncteur ne peut être obtenue qu'à condition d'alimenter simultanément son circuit de fermeture et son circuit de maintien juste pendant le temps nécessaire à cette fermeture, et que seule l'alimentation permanente du circuit de maintien permet de maintenir le disjoncteur fermé.

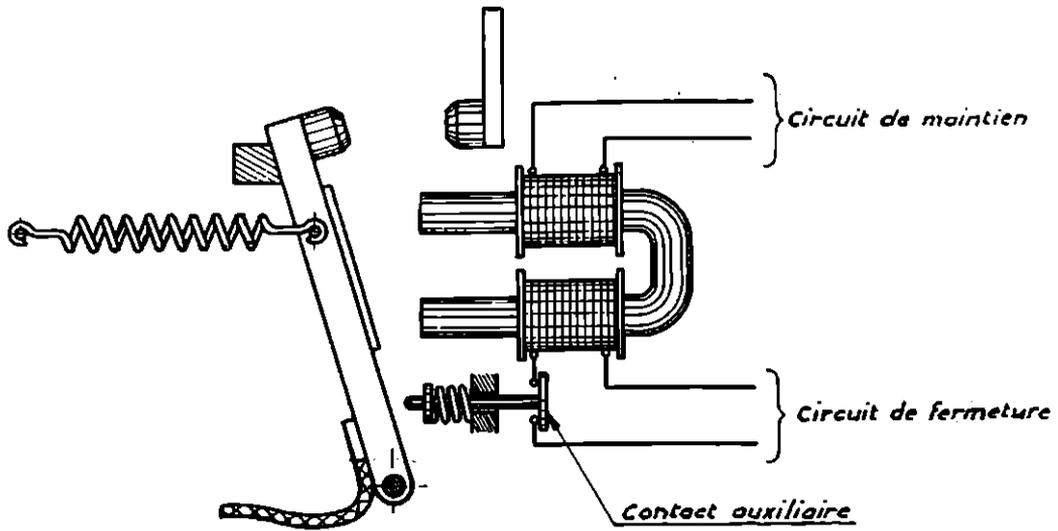


Fig. 274.

La disjonction peut être obtenue soit volontairement par interruption du circuit de maintien au moyen d'un bouton-poussoir, soit automatiquement par action des relays qui interrompent ce circuit dès qu'apparaît un défaut dans le fonctionnement électrique de la locomotive.

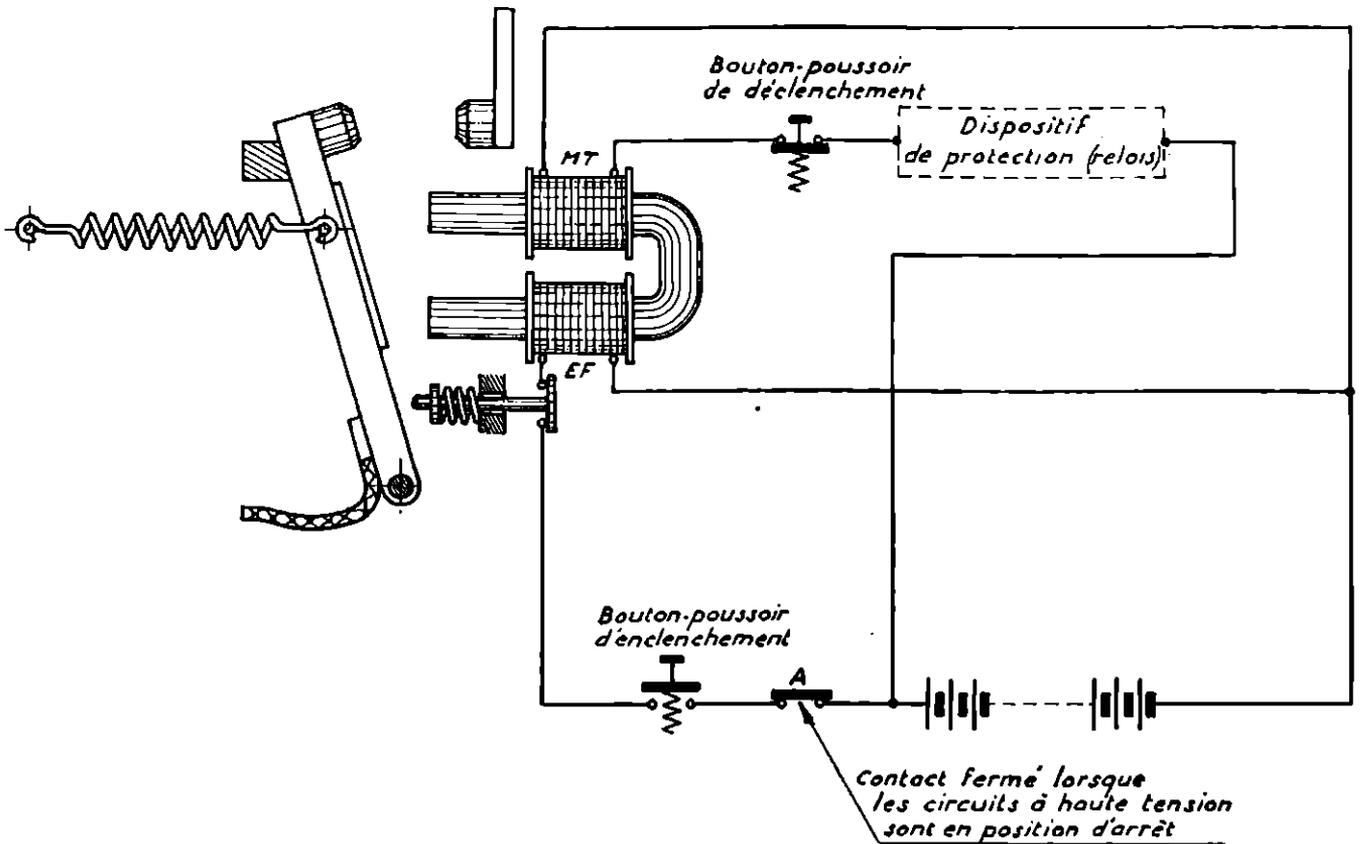


Fig. 275.

Le schéma de principe de la figure 275 résume ces caractéristiques de fonctionnement. Il faut remarquer la présence du contact A qui s'oppose à la fermeture du disjoncteur si les appareils des circuits à haute tension ne sont pas en position d'arrêt. Cette disposition offre une protection supplémentaire en ce sens qu'elle évite la mise sous tension brutale de récepteurs dont l'alimentation aurait été interrompue en période de démarrage (moteurs dont les résistances de démarrage sont partiellement éliminées) ou la fausse manœuvre qui consisterait à mettre sous tension les circuits de traction placés par erreur en position de marche.

Voyons quelques dispositifs parmi les plus caractéristiques utilisés sur différents types de disjoncteurs.

Le circuit de fermeture n'agit pas toujours par attraction magnétique pour amener l'équipage mobile en position de contact; il peut agir au moyen d'un système électro-pneumatique comme l'indique le schéma de la figure 276. Le circuit électrique de fermeture est alors celui de l'électro-valve qui a pour rôle d'admettre l'air comprimé dans un cylindre. L'air comprimé déplace un piston qui fait pivoter l'équipage mobile par l'intermédiaire d'une lige et d'un levier de poussée.

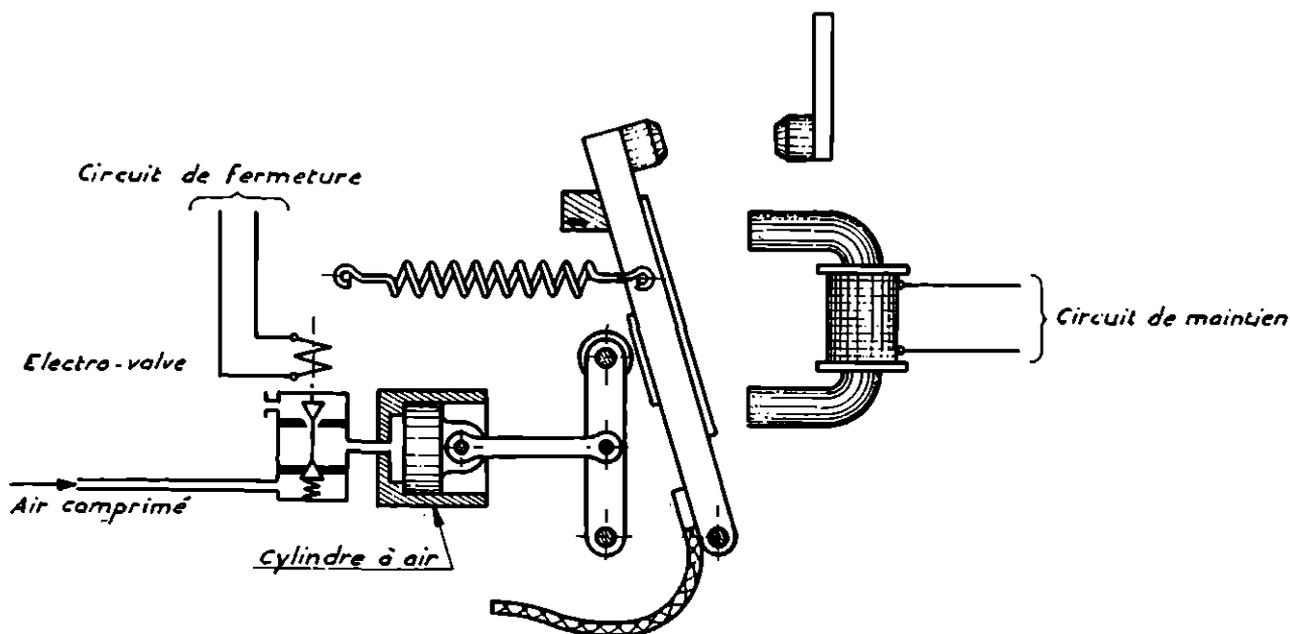


Fig. 276.

En réalité, pour que le disjoncteur puisse s'ouvrir immédiatement après sa fermeture et assurer ainsi en permanence une protection efficace des circuits de la locomotive, l'équipage mobile est en deux parties articulées l'une sur l'autre comme l'indique la figure 277.

Le levier porte-contact C est articulé en O sur le levier B lui-même mobile autour de l'axe fixe O'. Un puissant ressort de rappel maintient l'équipage mobile dans la position de la figure 277 lorsque le disjoncteur est ouvert.

Lors de la fermeture qui s'effectue sous l'action du dispositif pneumatique, le levier de poussée fait d'abord pivoter le levier C autour de O pour l'amener dans la position de la figure 278.

L'ensemble mobile tourne alors autour de l'axe O' pour venir dans la position de la figure 279. Puis le levier B étant maintenu contre l'électro-aimant par l'action de la bobine de maintien excitée, la fermeture du disjoncteur s'effectue par rotation du levier C autour de l'axe O, sous l'action du ressort, lorsque l'air comprimé s'échappe du cylindre et permet le recul du piston (fig. 280).

Dès l'instant de la fermeture, si le circuit de la bobine de maintien est interrompu, rien ne s'oppose à l'ouverture du disjoncteur sous l'action du ressort.

Il est impossible de maintenir le disjoncteur fermé même en alimentant l'électro-valve de fermeture si un défaut de l'installation s'oppose à l'alimentation de la bobine de maintien.

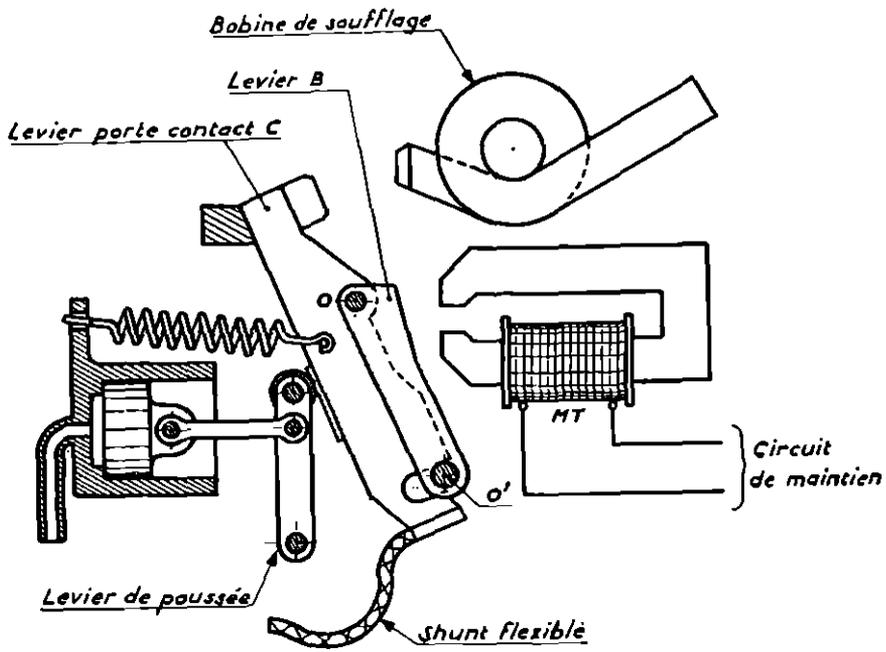


Fig. 277.

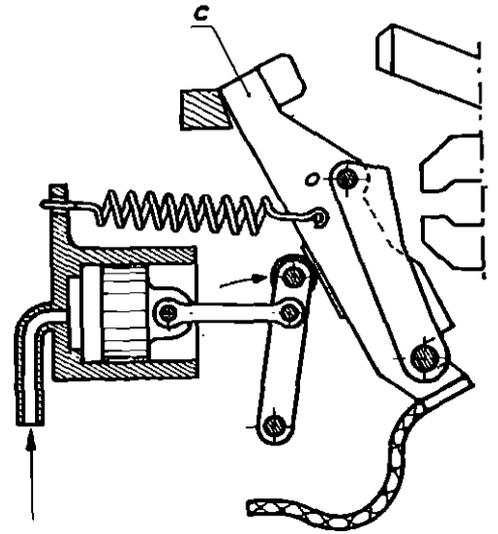


Fig. 278.

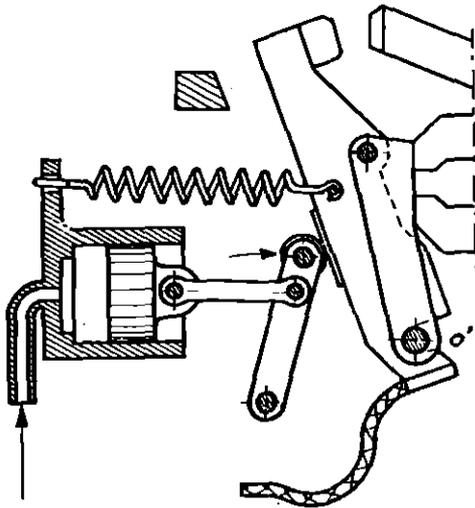


Fig. 279.

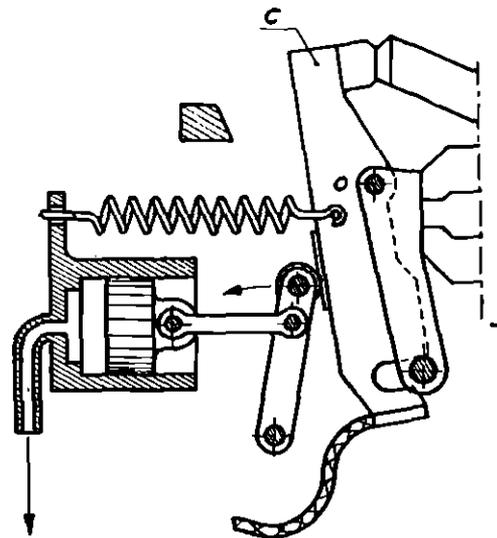


Fig. 280.

En courant continu certains disjoncteurs sont munis d'un dispositif qui leur permet de déclencher automatiquement en cas de surintensité, sans qu'aucun appareil auxiliaire n'intervienne. Le disjoncteur ouvre de lui-même le circuit lorsque l'intensité du courant capté par la locomotive dépasse le maximum permis. Le schéma de la figure 281 donne le principe de ce dispositif.

L'électro-aimant du disjoncteur est muni d'une bobine supplémentaire constituée par quelques spires à grosse section branchée dans le circuit d'alimentation à haute tension de la locomotive. C'est la bobine de déclenchement.

Les spires de cette bobine sont enroulées dans un sens tel que le champ magnétique qu'elles produisent lors du passage du courant est opposé au champ magnétique de la bobine de maintien.

Lorsque le disjoncteur est fermé et que l'intensité du courant capté par la locomotive a une valeur normale, le champ magnétique de la bobine de maintien est prépondérant et maintient le disjoncteur fermé.

Lorsque l'intensité croît au-delà du maximum permis, le champ magnétique de la bobine de déclenchement croît en même temps et arrive à annuler l'action du champ de la bobine de maintien. Le disjoncteur s'ouvre alors sous l'action du ressort qui tend constamment à écarter les contacts.

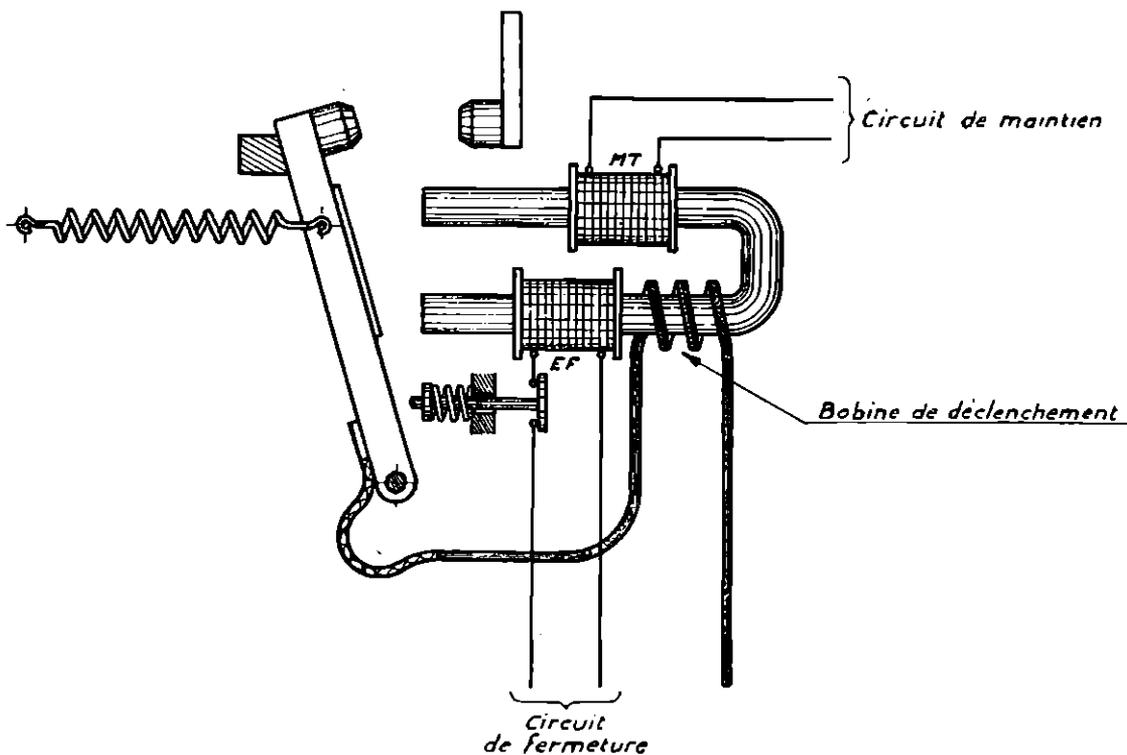


Fig. 281.

Cette disposition donne aux disjoncteurs une plus grande rapidité d'action en cas de surintensité. En effet, l'ouverture des contacts à haute tension n'est pas soumise à l'action préalable d'un relais, il y a donc le minimum de retard entre l'instant où l'intensité dépasse le maximum et l'instant de la disjonction.

On ne peut utiliser ce système en courant alternatif car il y aurait opposition entre un champ alternatif et un champ continu, ce qui ne permet pas un réglage rigoureux.

Les disjoncteurs sont susceptibles d'interrompre des courants très intenses; ils doivent donc être munis d'un dispositif de soufflage des arcs de rupture.

Il est nécessaire que les disjonctions s'effectuent très rapidement, car lorsqu'un défaut survient dans l'installation d'une locomotive et provoque une surintensité (court-circuit par exemple) il faut que l'interrupteur

de l'alimentation ait lieu avant que des avaries importantes ne puissent se produire. Mais l'arc de rupture entre les contacts à haute tension du disjoncteur n'en est que plus violent (en particulier à cause de la self-induction des circuits), et il s'accompagne d'une surtension qui rend sa coupure plus difficile et présente un danger pour les appareils.

Pour éviter ces inconvénients, les disjoncteurs sont souvent conçus pour effectuer l'interruption de l'alimentation en deux temps. Un sectionneur ou un contacteur leur est associé comme l'indique le schéma de la figure 282.

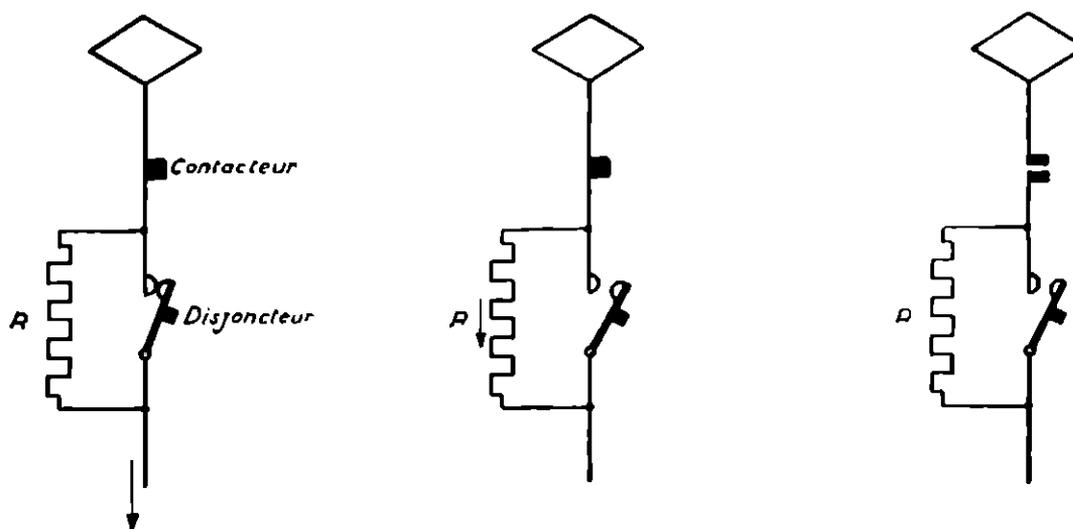


Fig. 282.

Dès l'ouverture du disjoncteur la résistance  $R$  qui était court-circuitée se trouve placée dans le circuit. Le courant est alors limité à une valeur convenable, et le contacteur, en s'ouvrant immédiatement après le disjoncteur, effectue sans difficulté l'interruption complète.

La disjonction s'effectue donc en deux temps, interruption de la plus grosse partie du courant par le disjoncteur, puis interruption du courant qui continue à circuler par le contacteur.

La résistance introduite par le disjoncteur limite le courant à une valeur presque normale pour que le contacteur puisse l'interrompre facilement. Sa présence en dérivation aux bornes du disjoncteur limite beaucoup les effets de surtension à la rupture et par conséquent la violence des arcs. L'ouverture du contacteur s'effectue automatiquement après celle du disjoncteur.

Sur les disjoncteurs le soufflage des arcs n'est pas toujours obtenu au moyen d'un dispositif magnétique analogue à celui que nous avons vu sur les contacteurs. Certains appareils sont munis d'un système pneumatique qui assure à la fois l'ouverture du disjoncteur et le soufflage de l'arc par un violent courant d'air.

La figure 283 donne un schéma très simplifié de ce dispositif.

Le contact fixe à haute tension est constitué par l'extrémité sphérique d'une tige. Le contact mobile est placé à l'extrémité de la tige creuse d'un piston mobile dans un cylindre à air comprimé. Un ressort maintient les contacts appliqués.

L'ouverture du disjoncteur est obtenue par un brusque envoi d'air comprimé dans la canalisation inférieure (fig. 284). L'air comprimé agit sur le piston qui se déplace aussitôt malgré la poussée du ressort et écarte les contacts à haute tension. Dès que les contacts sont écartés l'arc de rupture est violemment soufflé par l'air qui s'engouffre dans la tige creuse du piston pour s'échapper à l'atmosphère.

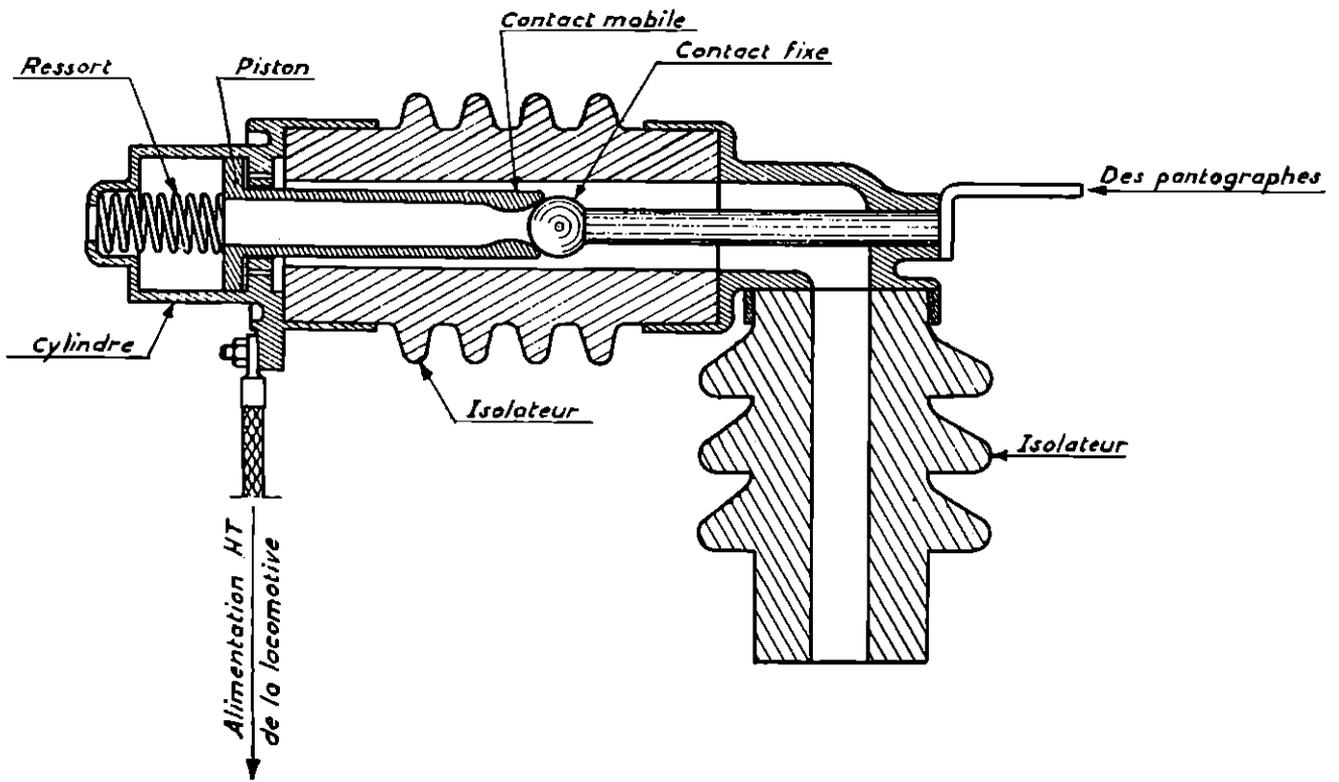


Fig. 283.

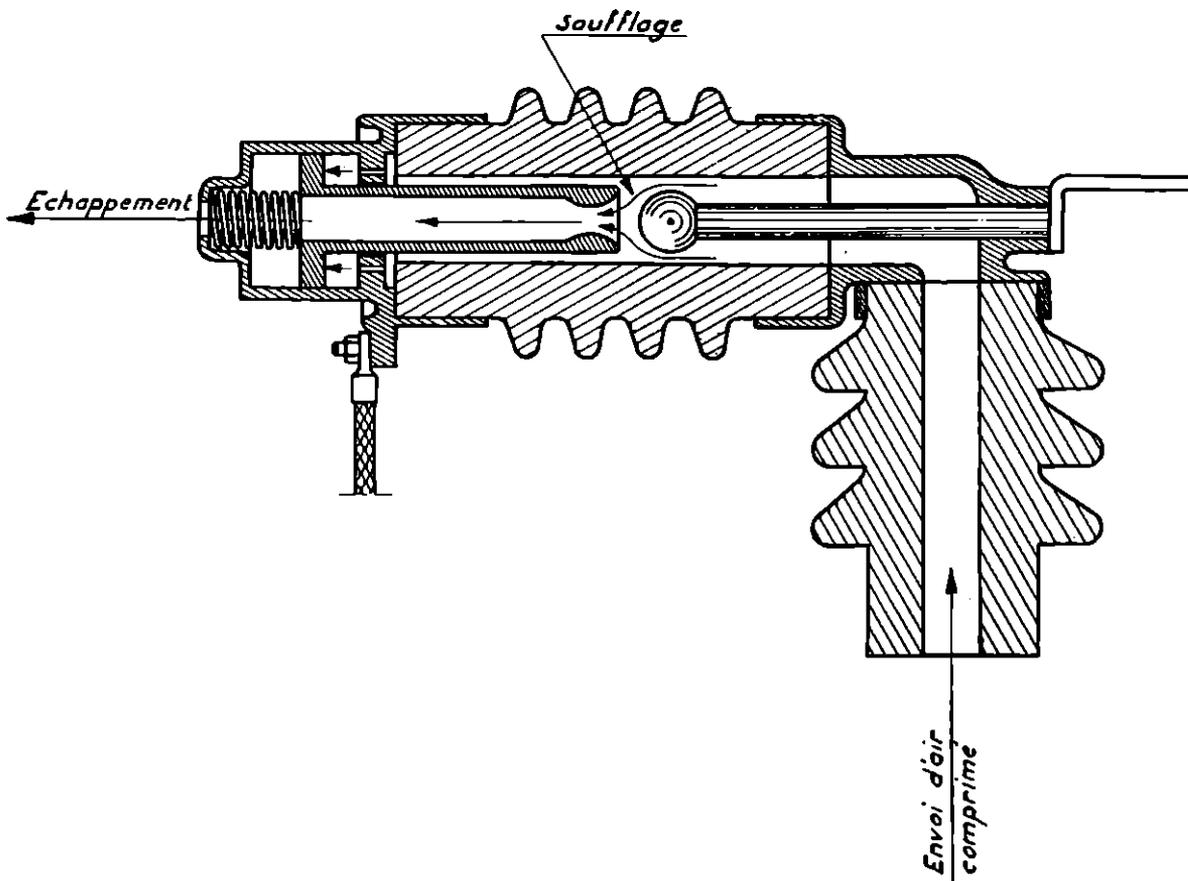


Fig. 284.

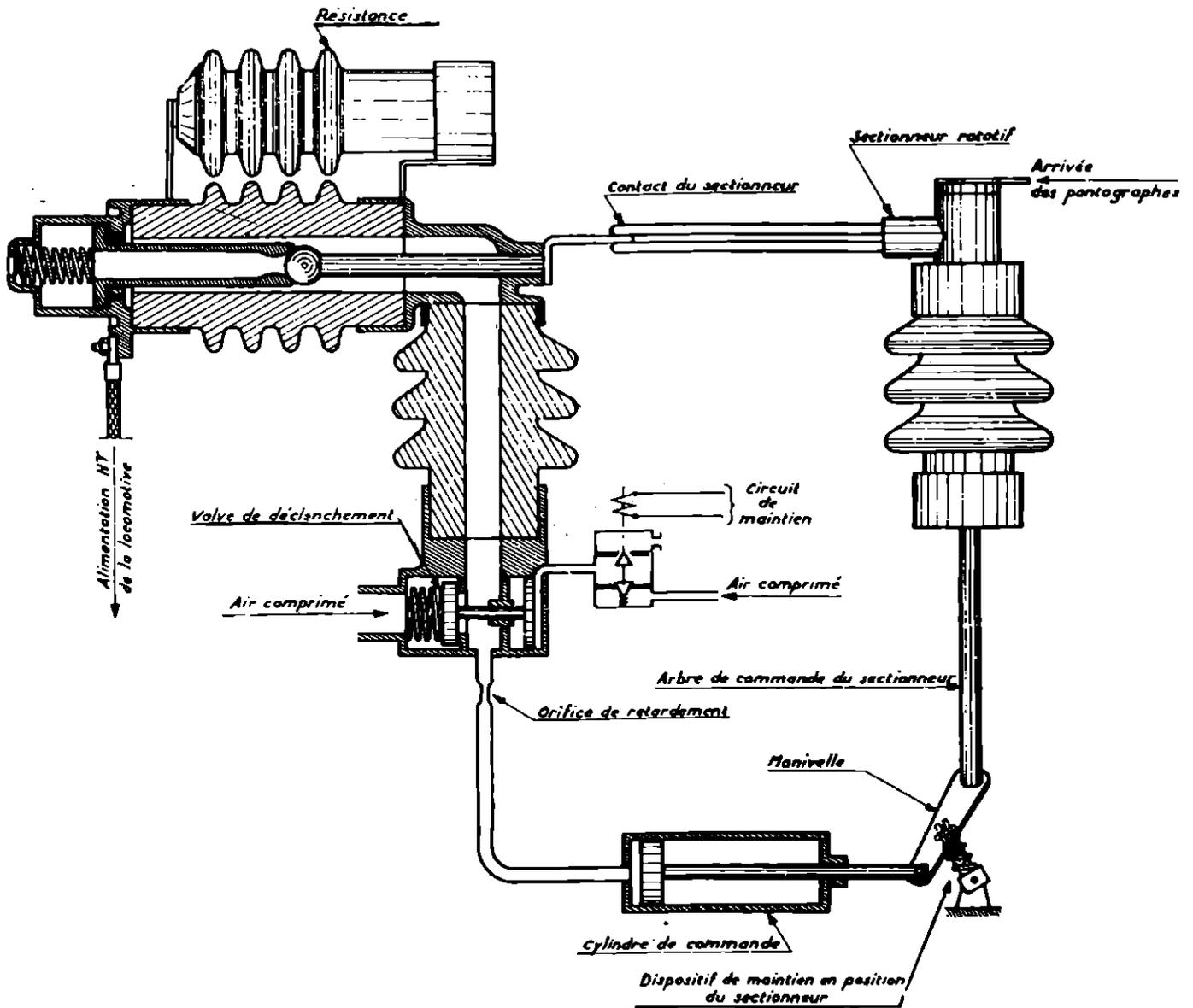


Fig. 285.

Le circuit de maintien d'un tel disjoncteur aboutit à une électro-valve inverse. Lorsque ce circuit est interrompu, soit par la manœuvre d'un bouton-poussoir, soit automatiquement par le dispositif de protection, l'air comprimé est admis dans le disjoncteur qui s'ouvre.

Ce système est utilisé sur les locomotives à courant alternatif; il est associé à un sectionneur rotatif. Le disjoncteur à air comprimé a pour rôle d'interrompre la plus grosse partie de l'intensité du courant en introduisant une résistance. L'interruption est achevée par le sectionneur qui entre en action immédiatement après.

La figure 285 donne un schéma de principe simplifié de l'ensemble du dispositif.

Le débit d'une électro-valve étant insuffisant, l'admission d'air vers le disjoncteur est réalisée par une « valve de déclenchement ». Cette valve est constituée par deux pistons de diamètres différents solidaires d'une tige. En position de repos la valve est maintenue fermée par le petit piston poussé par un ressort et l'air comprimé qui arrive par un large conduit.

Lorsque l'alimentation de l'électro-valve de maintien est interrompue, de l'air comprimé est admis sur la face du grand piston de la valve. La poussée qui s'exerce alors sur ce piston provoque l'ouverture de la valve (à cause de la différence des diamètres des pistons) qui livre un large passage à l'air comprimé venant directement du réservoir. Cet air actionne d'abord le disjoncteur, puis le système de commande du sectionneur constitué par un cylindre dans lequel se déplace un piston.

Pour que le sectionneur ne s'ouvre qu'après le dispositif principal, l'alimentation en air comprimé de son cylindre de commande se fait par l'intermédiaire d'un petit orifice qui a pour effet d'en retarder le remplissage.

Lorsque l'admission d'air comprimé cesse, le dispositif principal se referme sous l'action de son ressort de rappel, mais le sectionneur rotatif reste en position d'ouverture. Il y est maintenu par un dispositif oscillant à ressort.

Le système de fermeture du disjoncteur n'est pas figuré.

Comme pour les autres types de disjoncteurs, la fermeture de cet appareil nécessite l'alimentation simultanée d'un circuit de fermeture et d'un circuit de maintien. En position de marche, seul le circuit de maintien doit être alimenté. L'interruption volontaire ou automatique de ce circuit provoque la disjonction.

Dans les cabines de conduite des locomotives le conducteur a la possibilité de contrôler la position du disjoncteur au moyen d'une lampe-témoin qui s'éteint ou s'allume lorsque le disjoncteur s'ouvre ou se ferme. Cette lampe est commandée par un contact auxiliaire du disjoncteur.

## RELAIS DE PROTECTION

Les relais de protection ont pour rôle d'interrompre le circuit de maintien du disjoncteur dès qu'une anomalie survient dans le fonctionnement des récepteurs de la locomotive.

Nous avons vu qu'une telle interruption provoque immédiatement l'ouverture du disjoncteur. Les relais assurent donc un contrôle constant du fonctionnement de l'installation.

Chaque relais est désigné par la fonction de protection qui lui est assignée.

Le relais de surcharge est prévu pour intervenir lorsque l'intensité du courant HT capté dépasse le maximum permis.

Le relais de surtension, ou relais à maximum de tension, fonctionne lorsque la tension à la ligne aérienne dépasse une certaine valeur.

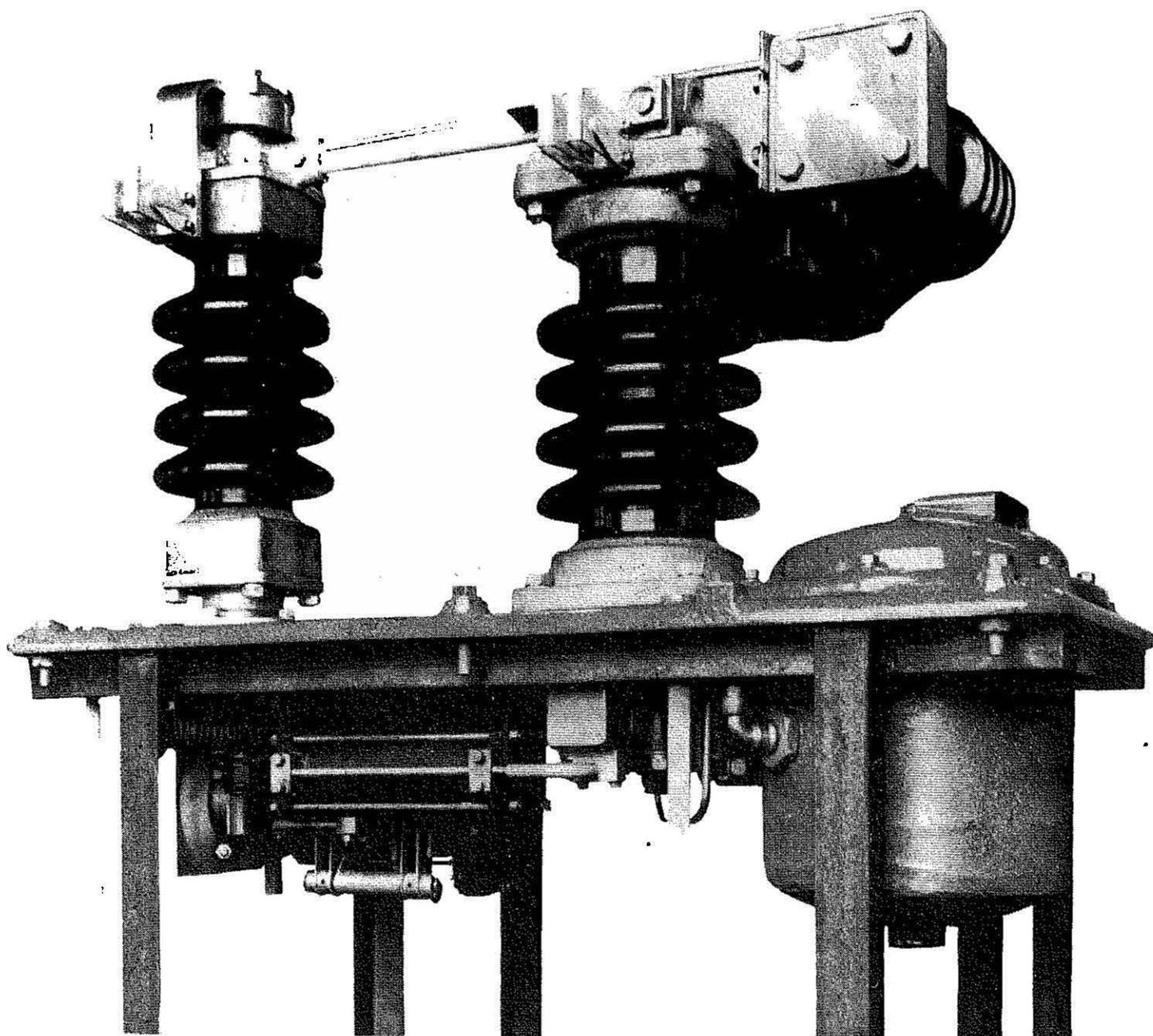
Le relais à minimum de tension fonctionne lorsque cette même tension descend au-dessous d'une valeur minimale.

Le relais de masse entre en action dès qu'une partie des circuits se trouve reliée accidentellement à la masse.

Outre ces quelques relais qui se trouvent sur presque toutes les locomotives et qui contrôlent chacun l'ensemble des circuits à haute tension, il existe des appareils semblables qui sont affectés à des circuits particuliers, tels que le relais de surcharge du chauffage, les relais de fonction des appareils auxiliaires, les relais de surcharge individuels des moteurs...

La plupart des relais, ceux qui agissent pour des valeurs précises d'intensité de courant ou de tension entre différents points d'un circuit, sont à commande électromagnétique.

Ils sont essentiellement constitués par une bobine susceptible d'exercer une attraction magnétique sur une armature mobile en fer lorsqu'elle est alimentée.



*DISJONCTEUR A AIR COMPRIMÉ D'UNE LOCOMOTIVE A COURANT ALTERNATIF*

La figure 286 donne un exemple de disposition.

Lorsque le courant qui traverse la bobine est suffisant, l'armature mobile est attirée malgré l'opposition du ressort et s'applique contre le noyau. Dans son mouvement elle entraîne une lame porte-contacts dont elle est solidaire.

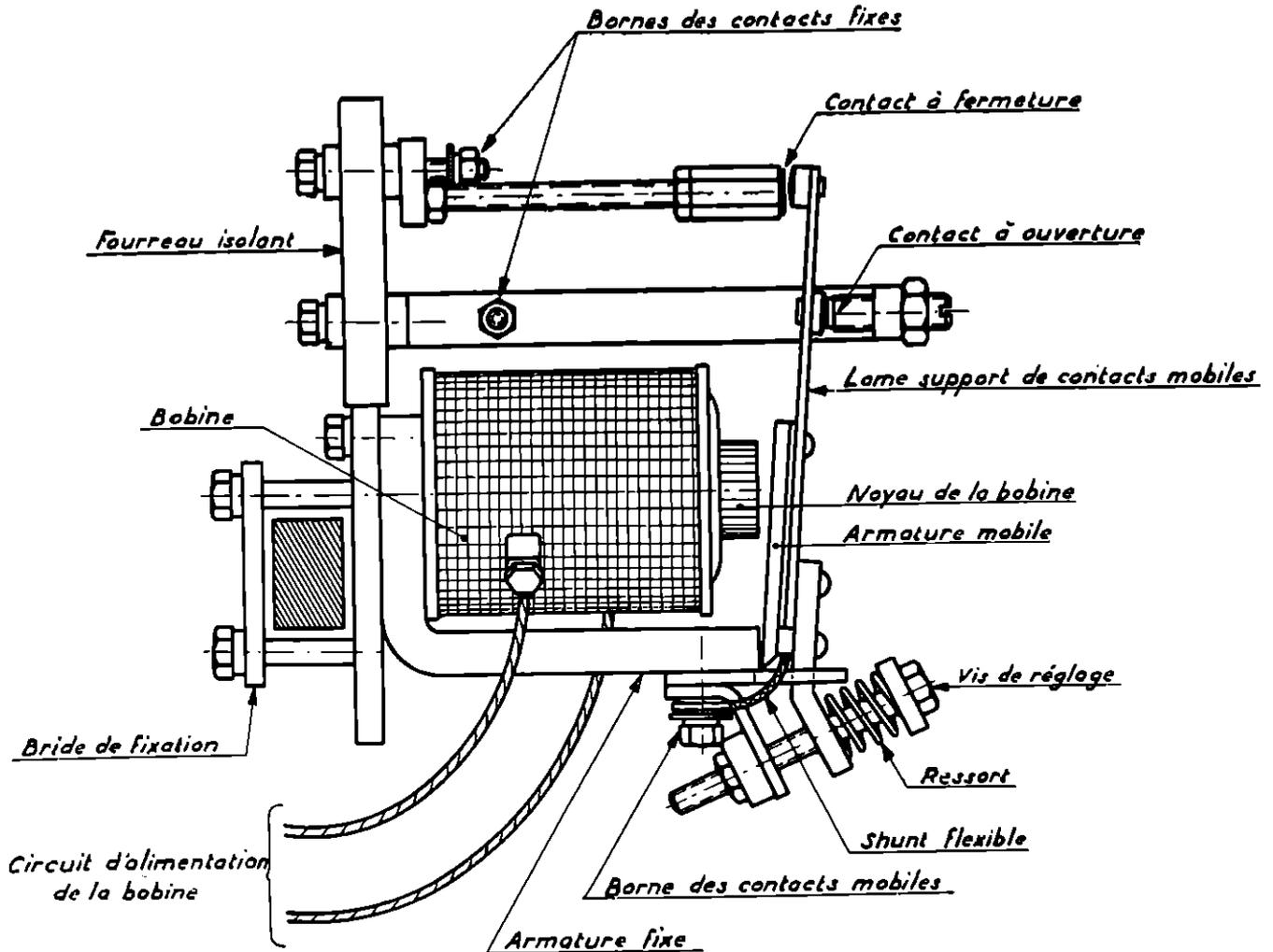


Fig. 286.

Suivant leur disposition les contacts s'ouvrent ou se ferment lorsque le relais s'enclenche.

Dans l'exemple de la figure le contact inférieur est un contact à ouverture, le contact supérieur est à fermeture.

La vis de réglage du ressort permet d'obtenir l'enclenchement du relais pour une certaine valeur de l'intensité du courant dans la bobine (suivant la tension du ressort l'attraction magnétique de la bobine qui est fonction de l'intensité doit être plus ou moins grande pour enclencher le relais).

Les relais tels que celui de la figure 286 peuvent dans une certaine mesure être comparés à un petit contacteur électromagnétique, avec cependant les particularités fondamentales suivantes :

- ils ne s'enclenchent ou déclenchent que pour des valeurs très précises et réglables de leur courant d'excitation;

- ce sont de petits appareils; les courants qu'ils établissent ou interrompent sont toujours faibles et en basse tension;
- les armatures mobiles des relais ne se déplacent que de quelques millimètres, les contacts sont souvent en argent et leur pression d'application est assez faible; les équipages mobiles sont très légers.

Sur certains relais les contacts mobiles ne sont pas supportés par l'armature mobile mais actionnés par celle-ci au moyen d'une came ainsi que l'indique la figure 287.

Le contact mobile est supporté par une lame flexible munie d'un bossage. La came fixée sur l'armature mobile du relais agit sur le bossage pour ouvrir ou fermer le contact. La figure 287 représente un contact à ouverture (qui s'ouvre lorsque le relais s'enclenche), la figure 288 représente un contact à fermeture.

Les relais diffèrent entre eux par les caractéristiques de leur bobine de commande et par la disposition de leurs contacts.

Prenons le cas du relais de surcharge.

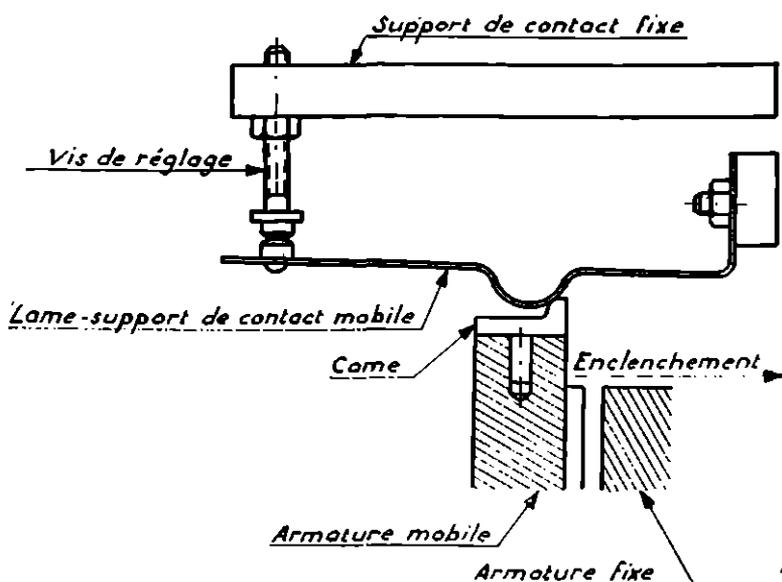


Fig. 287.

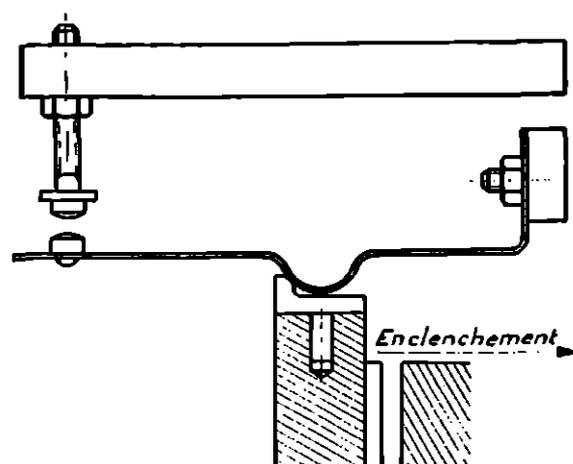


Fig. 288.

### I. RELAIS DE SURCHARGE (surcharge ligne)

En situation normale ce relais est insuffisamment excité pour attirer son armature. Il s'enclenche dès que l'intensité du courant HT capté par les pantographes dépasse une certaine valeur. Son contact s'ouvre à l'enclenchement et provoque la disjonction.

En courant continu la bobine de commande du relais de surcharge est constituée par un petit nombre de spires à forte section. Ceci parce qu'elle doit être branchée en série dans le circuit d'alimentation de la locomotive et parcourue par la totalité du courant de traction.

Le schéma de la figure 289 montre le principe de branchement de ce relais.

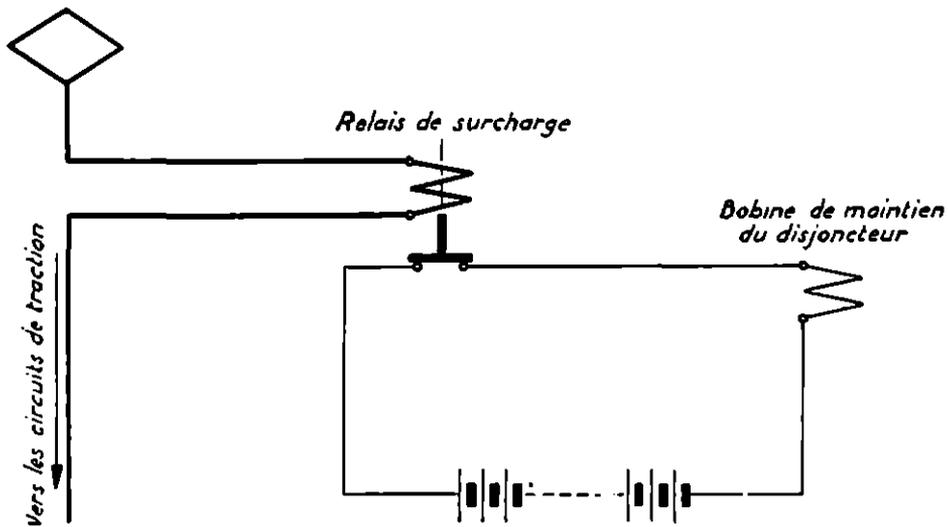


Fig. 289.

(Sur les locomotives munies d'un disjoncteur à bobine de déclenchement il n'y a pas de relais de surcharge ligne.)

En courant alternatif la présence d'une bobine avec noyau de fer en série dans le circuit d'alimentation y provoquerait des perturbations (à cause de la self-Induction) et il serait surtout très difficile d'isoler convenablement une bobine soumise à la tension très élevée de 25 000 V par rapport à la masse.

Le relais de surcharge est alimenté par l'intermédiaire d'un transformateur spécial dit « transformateur d'intensité » dont le primaire est constitué par le câble d'alimentation HT. Le secondaire alimente en basse tension la bobine du relais de surcharge constituée par un assez grand nombre de spires de moyenne section.

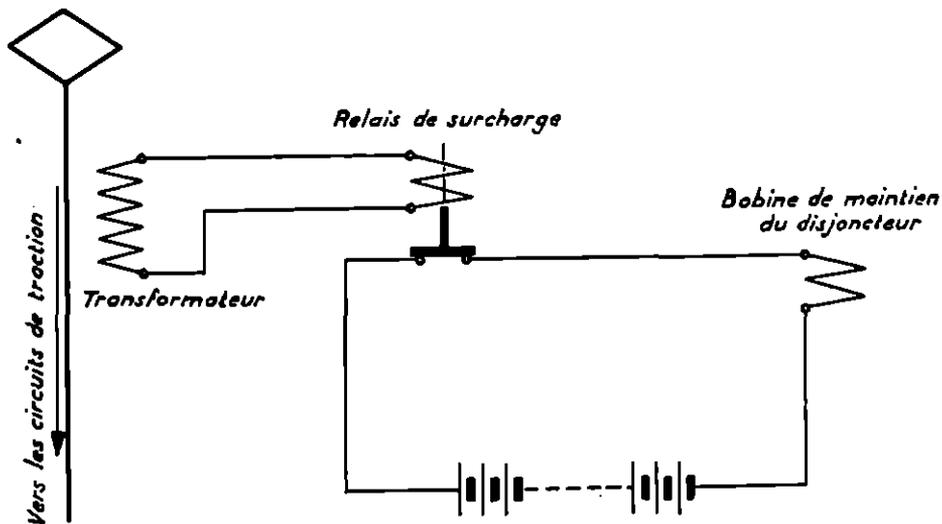


Fig. 290.

Lorsque l'intensité du courant HT atteint la limite maximale (de l'ordre de 300 A) le relais est parcouru par un courant de quelques ampères qui correspond à l'intensité d'enclenchement.

La figure 290 donne le schéma de principe de cette installation.

Sur toutes les locomotives munies d'un disjoncteur l'ouverture de celui-ci s'effectue immédiatement après l'enclenchement du relais de surcharge. Ce relais est alors désexcité et rétablit son contact, mais le disjoncteur ne se referme pas tant que son circuit de fermeture n'a pas été réalimenté par suite de l'intervention du conducteur, ainsi que nous l'avons vu au paragraphe précédent.

Sur certaines anciennes locomotives des contacteurs électromagnétiques spéciaux placés en tête de l'installation tiennent lieu de disjoncteur.

Le dispositif de protection provoque l'interruption du circuit HT en coupant le circuit d'alimentation des bobines de commande de ces contacteurs.

Dans ce cas, pour éviter que les contacteurs ne se referment immédiatement après leur ouverture par suite de la retombée des relais munis de contacts à ouverture (surcharge, surtension...), ces relais sont maintenus enclenchés par un verrouillage mécanique à cliquet. Le conducteur de la locomotive doit intervenir pour obtenir le déverrouillage.

Lorsqu'un relais a fonctionné et provoqué l'ouverture du disjoncteur, il est nécessaire que le conducteur puisse se rendre compte de l'anomalie qui s'est produite.

A cet effet les relais actionnent souvent lors de leur fonctionnement un dispositif de signalisation.

Ce dispositif est soit constitué par une lampe-témoin allumée par un contact secondaire du relais, soit un simple voyant qui bascule dès que l'armature mobile du relais s'est déplacée et présente une face colorée.

La figure 291 montre le principe de la signalisation par lampe-témoin. Il est à remarquer qu'un relais de maintien de signalisation est nécessaire pour éviter que la lampe s'éteigne dès que le relais de protection est retombé. L'extinction de la lampe est réalisée par intervention du conducteur (contact A).

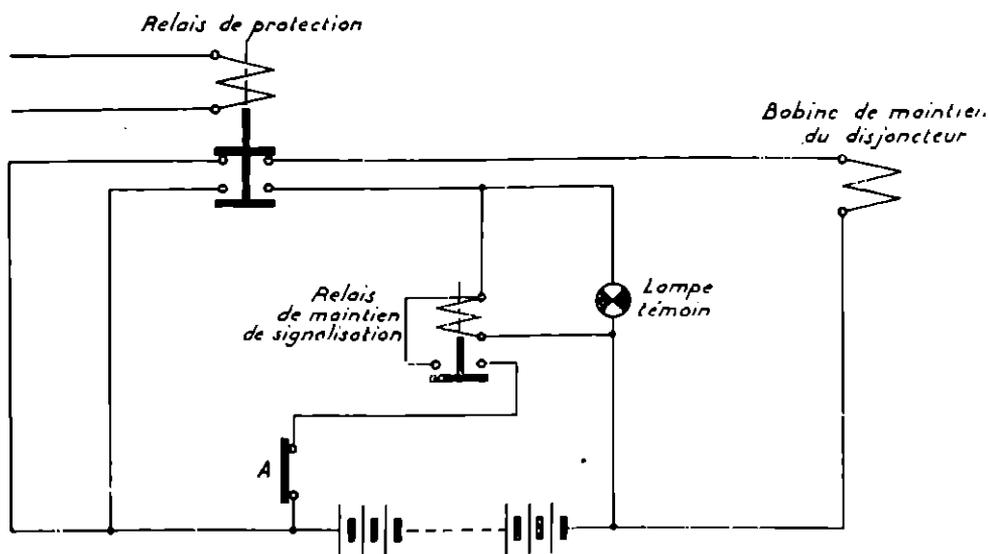


Fig. 291.

La signalisation par voyant est plus simple. La figure 292 en montre le principe.

Le voyant mobile tourne librement sur un axe fixe. En position normale il s'appuie sur l'extrémité d'un taquet solidaire de l'armature mobile du relais. Lorsque le relais s'enclenche le voyant tourne sous l'action de son propre poids et vient occuper la position figurée en pointillés. Dans cette position il présente sa face colorée. Après avoir constaté que ce relais a fonctionné le conducteur replace le voyant en bonne position.

## 2. RELAIS A MINIMUM DE TENSION

Ce relais interrompt le circuit de maintien du disjoncteur lorsque la tension à la ligne aérienne descend au-dessous d'une valeur minimale.

Il est normalement enclenché et s'ouvre lorsque l'alimentation de sa bobine de commande est insuffisante pour maintenir l'armature contre le noyau.

Soumise à une tension assez élevée la bobine de ce relais est constituée par un grand nombre de spires de fil fin, elle ne doit être parcourue que par une très faible intensité.

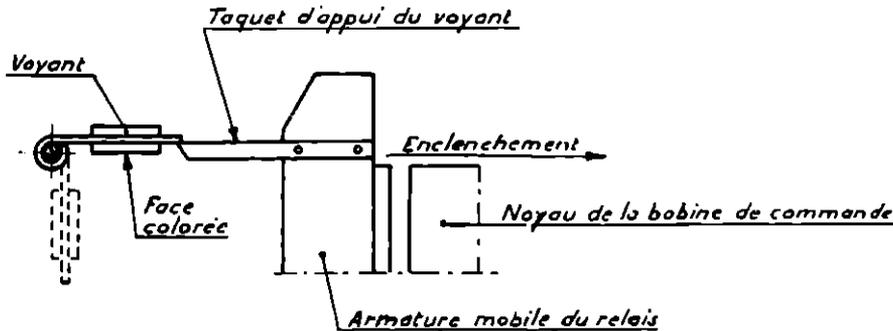


Fig. 292.

Le schéma de la figure 293 montre le principe d'installation du relais à minimum de tension sur les locomotives à courant continu.

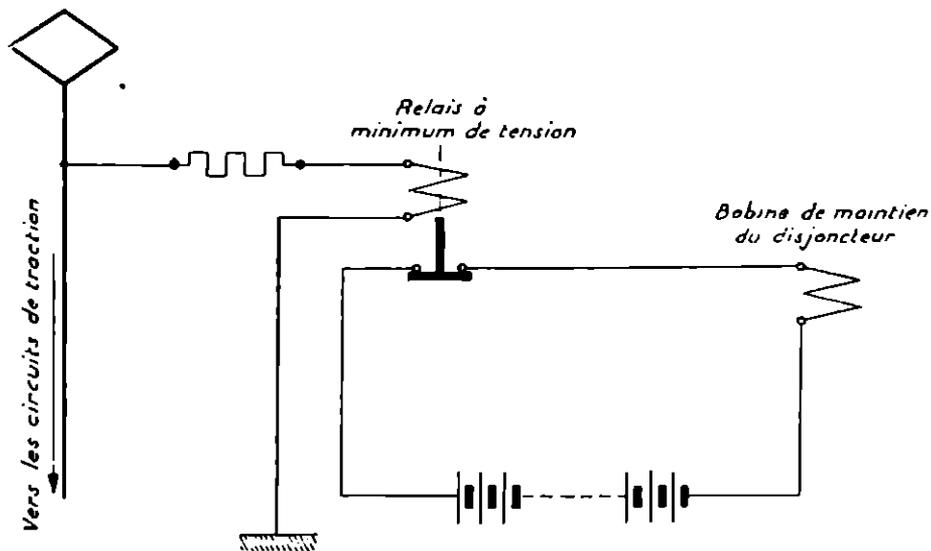


Fig. 293.

Pour éviter que la bobine de commande ne soit soumise à la tension de 1 500 V (ce qui compliquerait la construction du relais pour obtenir un bon isolement) une résistance de plusieurs milliers d'ohms est placée en série. Le courant d'excitation du relais est toujours proportionnel à la tension en ligne.

En courant alternatif la tension à la ligne aérienne est trop élevée pour permettre d'installer le relais à minimum de tension comme dans le schéma précédent, même avec une très grande résistance en série. Ce relais est alimenté par un transformateur abaisseur de tension comme l'indique le schéma de la figure 294.

Le rôle principal de ce transformateur est d'alimenter les auxiliaires de la locomotive, ventilateurs, compresseur, groupe de charge-batterie... Le primaire est constitué par l'enroulement HT du transformateur principal.

Le courant dans le relais est donc toujours proportionnel à la tension à la ligne aérienne.

Cette installation présente cependant un inconvénient. Pour que le disjoncteur puisse être fermé il faut que le contact du relais soit fermé, or ce relais ne peut être alimenté que lorsque le disjoncteur est fermé.

La solution est apportée par un contact auxiliaire A qui shunte le contact du relais à minimum de tension uniquement pendant le temps de fermeture du disjoncteur.

Un tel contact doit être utilisé également en courant continu lorsque l'alimentation du relais est branchée après le disjoncteur.

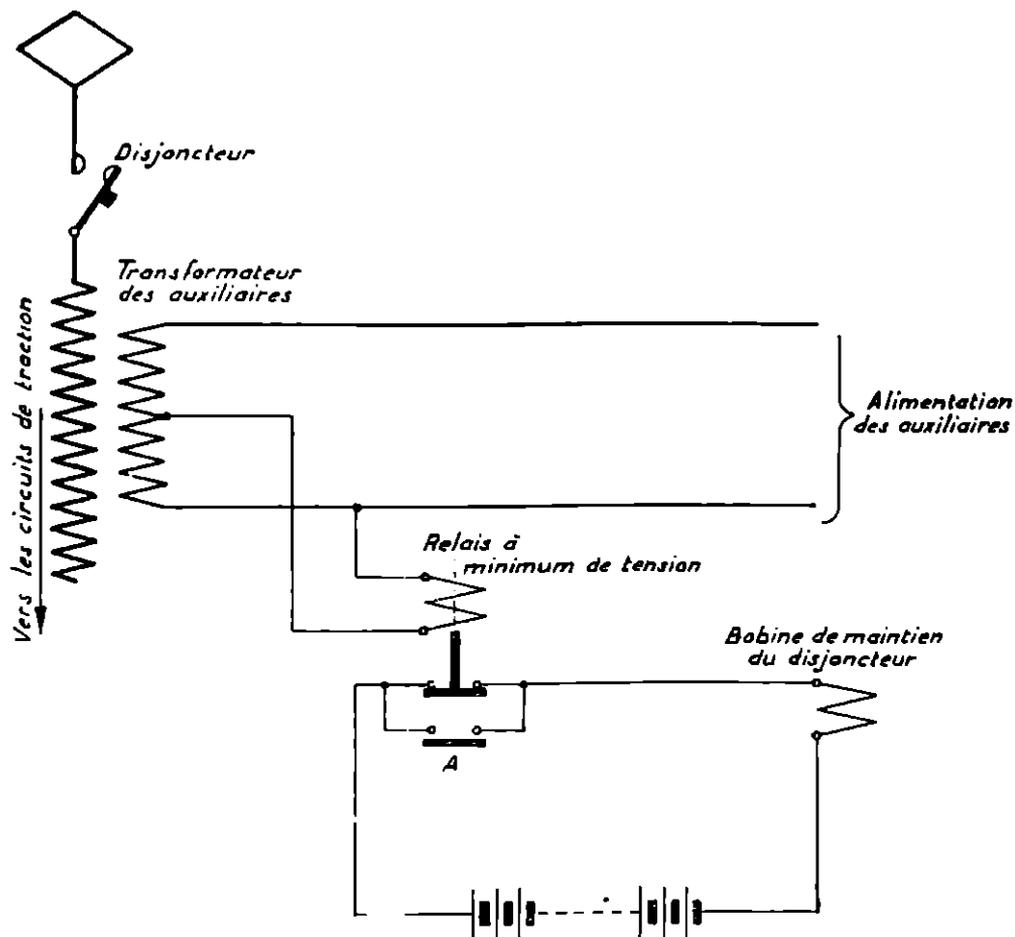


Fig. 294.

### 3. RELAIS A MAXIMUM DE TENSION

Utilisé sur certaines locomotives à courant continu ce relais provoque l'ouverture du disjoncteur lorsque la tension à la ligne aérienne dépasse une valeur maximale.

Il est installé comme le relais à minimum de tension mais son contact est disposé différemment, il s'ouvre à l'enclenchement comme l'indique le schéma de la figure 295.

### 4. RELAIS DIFFÉRENTIEL OU RELAIS DE MASSE

Ces relais ont pour fonction de provoquer l'ouverture du disjoncteur lorsqu'un point des circuits de la locomotive se trouve accidentellement relié à la masse.

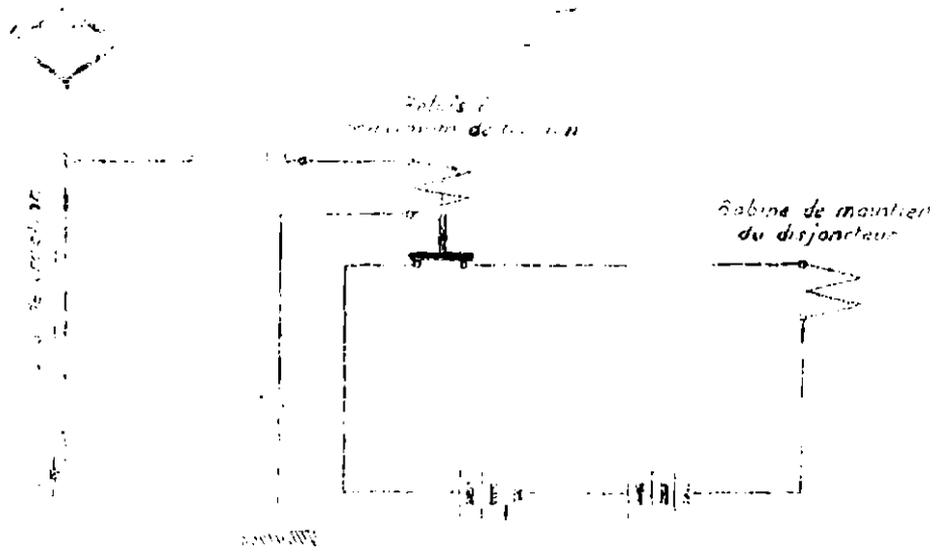


Fig. 1

En passant cette bobine différentiel, ainsi nommée à cause de son mode de fonctionnement, est reliée au système de commande de la figure 128.

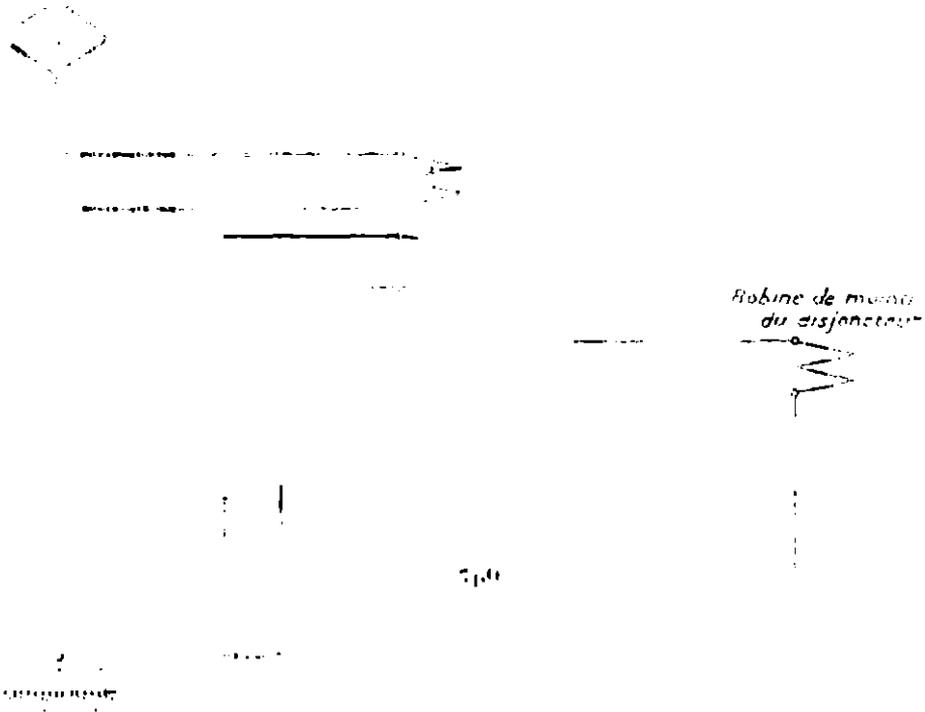


Fig. 2

Un tel système de commande est utilisé dans les relais différentiels à actionnement électromécanique.

Ce înțeles este pentru noi? În primul rând, că trebuie să avem în vedere și aspectul financiar al proiectului. Dacă proiectul este rentabil, atunci este posibil să îl realizăm. Dacă nu este rentabil, atunci este posibil să îl abandonăm.

În al doilea rând, trebuie să avem în vedere și aspectul social al proiectului. Dacă proiectul este benefic pentru societate, atunci este posibil să îl realizăm. Dacă nu este benefic, atunci este posibil să îl abandonăm.

„Economic and Social Justice”

„Economic and Social Justice”

Concept	Problema	Soluția	Impact
Problema	De ce este o problemă?	De ce este o soluție?	De ce este un impact?
Soluția	De ce este o soluție?	De ce este o soluție?	De ce este un impact?
Impact	De ce este un impact?	De ce este un impact?	De ce este un impact?



„Economic and Social Justice”

„Economic and Social Justice”

1. The following is a list of the names of the members of the committee. The names are listed in alphabetical order. The names are: Mr. A, Mr. B, Mr. C, Mr. D, Mr. E, Mr. F, Mr. G, Mr. H, Mr. I, Mr. J, Mr. K, Mr. L, Mr. M, Mr. N, Mr. O, Mr. P, Mr. Q, Mr. R, Mr. S, Mr. T, Mr. U, Mr. V, Mr. W, Mr. X, Mr. Y, Mr. Z.

2. The following is a list of the names of the members of the committee. The names are listed in alphabetical order. The names are: Mr. A, Mr. B, Mr. C, Mr. D, Mr. E, Mr. F, Mr. G, Mr. H, Mr. I, Mr. J, Mr. K, Mr. L, Mr. M, Mr. N, Mr. O, Mr. P, Mr. Q, Mr. R, Mr. S, Mr. T, Mr. U, Mr. V, Mr. W, Mr. X, Mr. Y, Mr. Z.

3. The following is a list of the names of the members of the committee. The names are listed in alphabetical order. The names are: Mr. A, Mr. B, Mr. C, Mr. D, Mr. E, Mr. F, Mr. G, Mr. H, Mr. I, Mr. J, Mr. K, Mr. L, Mr. M, Mr. N, Mr. O, Mr. P, Mr. Q, Mr. R, Mr. S, Mr. T, Mr. U, Mr. V, Mr. W, Mr. X, Mr. Y, Mr. Z.

4. The following is a list of the names of the members of the committee. The names are listed in alphabetical order. The names are: Mr. A, Mr. B, Mr. C, Mr. D, Mr. E, Mr. F, Mr. G, Mr. H, Mr. I, Mr. J, Mr. K, Mr. L, Mr. M, Mr. N, Mr. O, Mr. P, Mr. Q, Mr. R, Mr. S, Mr. T, Mr. U, Mr. V, Mr. W, Mr. X, Mr. Y, Mr. Z.

5. The following is a list of the names of the members of the committee. The names are listed in alphabetical order. The names are: Mr. A, Mr. B, Mr. C, Mr. D, Mr. E, Mr. F, Mr. G, Mr. H, Mr. I, Mr. J, Mr. K, Mr. L, Mr. M, Mr. N, Mr. O, Mr. P, Mr. Q, Mr. R, Mr. S, Mr. T, Mr. U, Mr. V, Mr. W, Mr. X, Mr. Y, Mr. Z.

Name		Address		City		State		Zip		Phone	
First	Last	Street	City	State	Zip	Area	Code	Area	Code	Area	Code
Mr.	A	123 Main St.	New York	NY	10001	212	555	212	555	212	555
Mr.	B	456 Elm St.	Los Angeles	CA	90001	213	555	213	555	213	555
Mr.	C	789 Oak St.	Chicago	IL	60601	312	555	312	555	312	555
Mr.	D	101 Pine St.	Houston	TX	77001	713	555	713	555	713	555
Mr.	E	202 Maple St.	Phoenix	AZ	85001	602	555	602	555	602	555
Mr.	F	303 Cedar St.	Philadelphia	PA	19101	215	555	215	555	215	555
Mr.	G	404 Birch St.	San Antonio	TX	78201	214	555	214	555	214	555
Mr.	H	505 Walnut St.	San Diego	CA	92101	619	555	619	555	619	555
Mr.	I	606 Elm St.	Dallas	TX	75201	214	555	214	555	214	555
Mr.	J	707 Oak St.	San Jose	CA	95101	408	555	408	555	408	555
Mr.	K	808 Pine St.	Austin	TX	78701	512	555	512	555	512	555
Mr.	L	909 Maple St.	San Francisco	CA	94101	415	555	415	555	415	555
Mr.	M	1010 Cedar St.	Portland	OR	97201	503	555	503	555	503	555
Mr.	N	1111 Birch St.	Seattle	WA	98101	206	555	206	555	206	555
Mr.	O	1212 Walnut St.	Denver	CO	80201	303	555	303	555	303	555
Mr.	P	1313 Elm St.	San Jose	CA	95101	408	555	408	555	408	555
Mr.	Q	1414 Oak St.	San Francisco	CA	94101	415	555	415	555	415	555
Mr.	R	1515 Pine St.	San Jose	CA	95101	408	555	408	555	408	555
Mr.	S	1616 Maple St.	San Francisco	CA	94101	415	555	415	555	415	555
Mr.	T	1717 Cedar St.	San Jose	CA	95101	408	555	408	555	408	555
Mr.	U	1818 Birch St.	San Francisco	CA	94101	415	555	415	555	415	555
Mr.	V	1919 Walnut St.	San Jose	CA	95101	408	555	408	555	408	555
Mr.	W	2020 Elm St.	San Francisco	CA	94101	415	555	415	555	415	555
Mr.	X	2121 Oak St.	San Jose	CA	95101	408	555	408	555	408	555
Mr.	Y	2222 Pine St.	San Francisco	CA	94101	415	555	415	555	415	555
Mr.	Z	2323 Maple St.	San Jose	CA	95101	408	555	408	555	408	555

6. The following is a list of the names of the members of the committee. The names are listed in alphabetical order. The names are: Mr. A, Mr. B, Mr. C, Mr. D, Mr. E, Mr. F, Mr. G, Mr. H, Mr. I, Mr. J, Mr. K, Mr. L, Mr. M, Mr. N, Mr. O, Mr. P, Mr. Q, Mr. R, Mr. S, Mr. T, Mr. U, Mr. V, Mr. W, Mr. X, Mr. Y, Mr. Z.

7.

8.

9. The following is a list of the names of the members of the committee. The names are listed in alphabetical order. The names are: Mr. A, Mr. B, Mr. C, Mr. D, Mr. E, Mr. F, Mr. G, Mr. H, Mr. I, Mr. J, Mr. K, Mr. L, Mr. M, Mr. N, Mr. O, Mr. P, Mr. Q, Mr. R, Mr. S, Mr. T, Mr. U, Mr. V, Mr. W, Mr. X, Mr. Y, Mr. Z.

10. The following is a list of the names of the members of the committee. The names are listed in alphabetical order. The names are: Mr. A, Mr. B, Mr. C, Mr. D, Mr. E, Mr. F, Mr. G, Mr. H, Mr. I, Mr. J, Mr. K, Mr. L, Mr. M, Mr. N, Mr. O, Mr. P, Mr. Q, Mr. R, Mr. S, Mr. T, Mr. U, Mr. V, Mr. W, Mr. X, Mr. Y, Mr. Z.

11. The following is a list of the names of the members of the committee. The names are listed in alphabetical order. The names are: Mr. A, Mr. B, Mr. C, Mr. D, Mr. E, Mr. F, Mr. G, Mr. H, Mr. I, Mr. J, Mr. K, Mr. L, Mr. M, Mr. N, Mr. O, Mr. P, Mr. Q, Mr. R, Mr. S, Mr. T, Mr. U, Mr. V, Mr. W, Mr. X, Mr. Y, Mr. Z.

12. The following is a list of the names of the members of the committee. The names are listed in alphabetical order. The names are: Mr. A, Mr. B, Mr. C, Mr. D, Mr. E, Mr. F, Mr. G, Mr. H, Mr. I, Mr. J, Mr. K, Mr. L, Mr. M, Mr. N, Mr. O, Mr. P, Mr. Q, Mr. R, Mr. S, Mr. T, Mr. U, Mr. V, Mr. W, Mr. X, Mr. Y, Mr. Z.

13. The following is a list of the names of the members of the committee. The names are listed in alphabetical order. The names are: Mr. A, Mr. B, Mr. C, Mr. D, Mr. E, Mr. F, Mr. G, Mr. H, Mr. I, Mr. J, Mr. K, Mr. L, Mr. M, Mr. N, Mr. O, Mr. P, Mr. Q, Mr. R, Mr. S, Mr. T, Mr. U, Mr. V, Mr. W, Mr. X, Mr. Y, Mr. Z.

14.

15.

16.

17.

18.

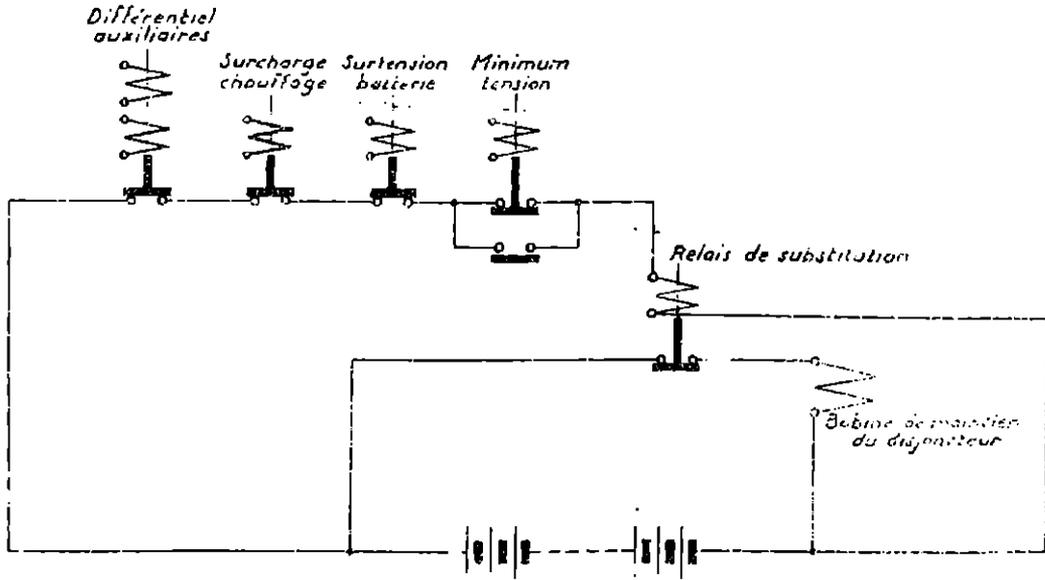


Fig. 299.

Le relais de substitution placé en intermédiaire entre le relais à minimum de tension et le circuit de maintien est alors temporisé à l'ouverture. C'est-à-dire qu'il est prévu pour ne s'ouvrir qu'un certain temps après l'interruption du circuit de sa bobine. Cette temporisation étant de l'ordre de 0,4 à 0,6 seconde, les légers décollements de pantographe provoquent des ballements du relais à minimum de tension mais sans influence sur le disjoncteur.

### 6. BATTERIES DE RELAIS

Un autre moyen de supprimer les inconvénients de multiples contacts mobiles est l'emploi de batteries de relais.

La figure 300 donne une représentation schématique d'une batterie de quatre relais.

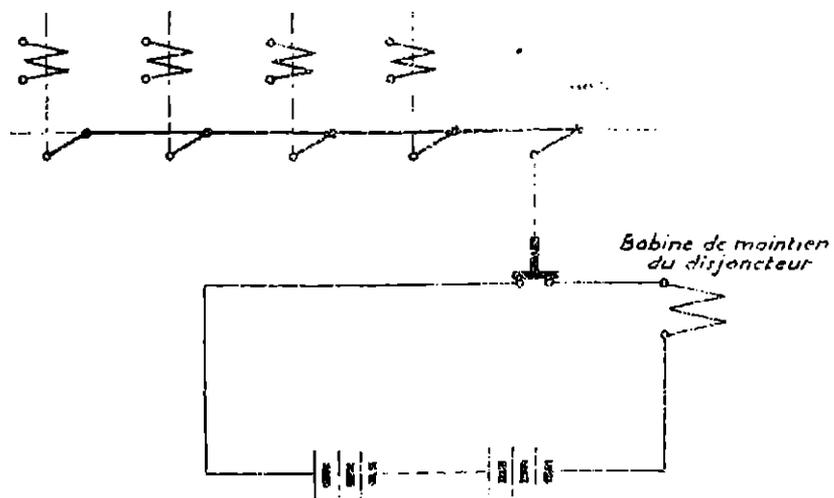


Fig. 300.

Lorsque l'un quelconque de ces relais s'enclenche il agit sur une liaison mécanique à leviers qui entraîne l'ouverture de l'unique contact de la batterie.

Ce système ne peut être utilisé qu'en groupant dans une même batterie des relais dont les actions sont identiques (ouverture du contact à l'enclenchement ou au déclenchement), de façon à obtenir sur la liaison mécanique des efforts toujours dirigés dans le même sens lorsqu'un relais fonctionne.

## RÉSUMÉ

L'appareillage de protection des locomotives a pour rôle d'interrompre automatiquement l'alimentation à haute tension en tête des circuits dès qu'il se produit une anomalie importante dans le fonctionnement électrique de l'installation.

Les principales anomalies sont les surintensités, sursensions, baisses de tension, masses accidentelles.

Sur la plupart des locomotives l'interruption est réalisée par un disjoncteur.

La fermeture d'un disjoncteur ne peut être obtenue qu'à condition d'alimenter simultanément son circuit de fermeture et son circuit de maintien juste pendant le temps nécessaire à cette fermeture. Seule l'alimentation permanente du circuit de maintien permet de maintenir le disjoncteur fermé.

La disjonction peut être obtenue soit volontairement par interruption du circuit de maintien au moyen d'un bouton-poussoir, soit automatiquement par action des relais qui interrompent ce circuit dès qu'apparaît un défaut dans le fonctionnement électrique de la locomotive.

Sur certains disjoncteurs la manœuvre de l'équipage mobile n'est pas obtenue par attraction magnétique d'un électro-aimant, mais par action d'un système électropneumatique. Une électro-valve a pour rôle d'admettre de l'air comprimé dans un cylindre dont le piston agit par l'intermédiaire d'un levier de poussée sur l'équipage mobile en deux parties.

En courant continu les disjoncteurs peuvent être munis d'une bobine de déclenchement qui leur permet de s'ouvrir sans aucune intervention extérieure en cas de surintensité.

Lorsque les disjoncteurs sont susceptibles d'interrompre des courants très intenses un contacteur ou un sectionneur leur est associé pour réaliser la coupure en deux temps. Le premier temps de coupure provoque l'insertion d'une résistance dans le circuit.

Sur les disjoncteurs des locomotives à courant alternatif l'ouverture des contacts est obtenue par un brusque envoi d'air comprimé. Cet air agit d'abord pour éloigner les contacts puis pour souffler l'arc de rupture. Le disjoncteur est associé à un sectionneur rotatif manœuvré par un cylindre (coupure en deux temps avec insertion d'une résistance au premier temps par le disjoncteur). Au repos les contacts du disjoncteur sont appliqués l'un sur l'autre par un ressort. Le sectionneur rotatif est immobilisé soit en position d'ouverture, soit en position de fermeture.

Les relais de protection ont pour rôle d'interrompre le circuit de maintien du disjoncteur dès qu'une anomalie survient dans le fonctionnement des récepteurs de la locomotive.

Les relais sont pour la plupart à commande électromagnétique. Une bobine de commande agit par attraction magnétique sur une armature mobile dont le déplacement provoque l'ouverture ou la fermeture de petits contacts. Un ressort rappelle l'armature mobile en position de repos. Le réglage précis de l'intensité d'enclenchement ou de déclenchement est obtenu par variation de la tension du ressort de rappel.

Les relais diffèrent entre eux par les caractéristiques de leurs bobines de commande et par la disposition de leurs contacts.

Les dispositifs de signalisation du fonctionnement des relais sont constitués soit par des lampes-témoins allumées par des contacts auxiliaires, soit par des voyants mécaniques. Dans le cas de signalisation par lampe-témoin un relais de maintien de signalisation est nécessaire pour maintenir chaque lampe allumée.

Sur les locomotives à courant continu la bobine du relais de surcharge ligne est branchée en série dans le circuit d'alimentation de la locomotive.

Sur les locomotives à courant alternatif ce relais est branché sur le secondaire d'un transformateur d'intensité dont le primaire est constitué par le câble d'alimentation HT.

es reche a muniti... .. solu... .. 10 cont... ..

(... ..)

...

...

...

...

...

## QUESTIONNAIRE

— — —

### APPAREILLAGE DE PROTECTION DES CIRCUITS

- 1° *Quel est le rôle du dispositif de protection ?*
- 2° *Quelles sont les principales anomalies qui provoquent l'intervention du dispositif de protection automatique ?*
- 3° *Quels circuits faut-il alimenter pour fermer un disjoncteur et le maintenir fermé ?*
- 4° *Comment le conducteur d'une locomotive peut-il obtenir l'ouverture du disjoncteur ?*
- 5° *Comment le dispositif de protection automatique agit-il sur le disjoncteur ?*
- 6° *Qu'est-ce que la bobine de déclenchement dont sont munis certains disjoncteurs ?*
- 7° *Quel est le rôle du système de coupure en deux temps ?*
- 8° *Quels sont les dispositifs de signalisation du fonctionnement des relais ?*
- 9° *Quels sont les principaux éléments constitutifs d'un relais à commande électromagnétique ?*
- 10° *Faites le schéma de principe de l'installation d'un relais de surcharge, d'un relais à minimum de tension.*

# TABLE DES MATIÈRES

## GÉNÉRALITÉS SUR LES ENJEUX DE TRACTION

Le matériel moteur.....	
La traction à vapeur.....	
Les engins de traction à moteurs Diesel.....	15
Le moteur Diesel.....	19
Les transmissions.....	32
La traction électrique.....	45

## ORGANES MÉCANIQUES DES LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES

<b>Essieux.....</b>	<b>59</b>
Généralités.....	59
Description.....	60
Axe ou essieu nu.....	60
Roues.....	62
Bandages.....	62
Essieux porteurs, essieux moteurs.....	66
<b>Boîtes d'essieux.....</b>	<b>71</b>
Généralités.....	71
Description.....	72
Coussinet.....	72
Corps de boîte.....	74
Dispositif de graissage.....	76
Obluteur.....	76
Graissage par lanpons.....	77
Boîtes à rouleaux.....	78
<b>Châssis de caisse et caisse.....</b>	<b>83</b>
Châssis de caisse.....	83
Généralités.....	83
Description.....	85
Principales variantes.....	85
Caisse.....	88
Généralités.....	88
Description.....	88
Différentes dispositions.....	90
Protection du personnel.....	90











***Ce cours est uniquement destiné à la formation  
professionnelle des agents de la S. N. C. F.  
Il ne peut être cédé à une personne étrangère  
à cet organisme sans son autorisation.***

UNION PARISIENNE D'IMPRIMERIES W 1.4.0337