21 22

8

SOCIETE NATIONALE DES CHEMINS DE FER BELGES

Direction du Matériel et des Achats

BUREAU 22-33

Section 3.

Bruxelles, le 26 juillet 1958.

AVIS N° 29 M.

Distribution prévue pour le livret du machiniste — Fasc. 9 et 10.

LIVRET DES INSTRUCTIONS CONCERNANT LE SERVICE DES MACHINISTES ET CHAUFFEURS, DES CONDUCTEURS DE DIESEL ET DE TRAINS ELECTRIQUES.

La réglementation ci-jointe constitue le chap. III du fasc. 10 du livret des instructions concernant le service des machinistes et chauffeurs, des conducteurs de Diesel et de trains électriques.

Cette réglementation abroge et remplace les dispositions antérieures publiées en la matière. Elle entre immédiatement en vigueur et doit être distribuée au personnel intéressé contre décharge sur I.C. 24.

Le Directeur du Matériel
et des Achats,

BROUCKAERT.

(B) — 65750.7.58 (5720).

2 1 22
8

SOCIETE NATIONALE DES CHEMINS DE FER BELGES

Direction du Matériel et des Achats

BUREAU 22-33

Section 3

Bruxelles, le 12 juin 1958.

AVIS N° 23 M.

Distribution prévue pour le livret hlt, fascicule 9.

LIVRET DES INSTRUCTIONS CONCERNANT LE SERVICE DES MACHINISTES ET CHAUFFEURS, DES CONDUCTEURS DE DIESEL ET DE TRAINS ELECTRIQUES.

La réglementation ci-jointe constitue le chapitre IV du fascicule 9 du Livret des machinistes et chauffeurs, des conducteurs de Diesel et de trains électriques.

Cette réglementation abroge et remplace les dispositions antérieures publiées en la matière. Elle entre immédiatement en vigueur et doit être distribuée au personnel intéressé contre décharge sur I.C. 24.

Le Directeur du Matériel
et des Achats,

BROUCKAERT.

B — 65760.5.58 (5720).

SOCIETE NATIONALE DES
CHEMINS DE FER BELGES

**Direction du Matériel
et des Achats**
BUREAU 22-33
Section 3

Bruxelles, le 8 mars 1958.

AVIS N° 12 M.

Distribution prévue pour le « Livret hlt », fascicule 9.

LIVRET DES INSTRUCTIONS CONCERNANT LE SERVICE DES MACHINISTES ET CHAUFFEURS, DES CONDUCTEURS DE DIESEL ET DE TRAINS ELECTRIQUES.

La réglementation ci-jointe constitue le Chapitre I du fascicule 9 du Livret des instructions concernant le service des machinistes et chauffeurs, des conducteurs Diesel et de trains électriques.

Cette réglementation abroge et remplace les dispositions antérieures publiées en la matière. Elle entre immédiatement en vigueur et doit être distribuée au personnel intéressé contre décharge sur I.C. 24.

Le Directeur du Matériel
et des Achats,

BROUCKAERT.

Ⓑ — 63271.3.58 (5000).

2122

SOCIETE NATIONALE DES CHEMINS DE FER BELGES

Direction du Matériel et des Achats

BUREAU 22-33

Section 3

Bruxelles, le 5 mars 1958.

AVIS N° 11 M.

Distribution prévue pour le « Livret hlt », fascicules 9 et 10.

LIVRET DES INSTRUCTIONS CONCERNANT LE SERVICE DES MACHINISTES ET CHAUFFEURS, DES CONDUCTEURS DE DIESEL ET DE TRAINS ELECTRIQUES.

Suite à l'Avis 44 M du 29.9.56.

La réglementation ci-jointe constitue le chapitre IV du fascicule 10 du Livret des instructions concernant le service des machinistes et chauffeurs, des conducteurs de Diesel et de trains électriques.

Cette réglementation abroge et remplace les dispositions antérieures publiées en la matière. Elle entre immédiatement en vigueur et doit être distribuée au personnel intéressé contre décharge sur I.C. 24.

Le Directeur du Matériel
et des Achats,

BROUCKAERT.

B 63269.3.58 (5335).

SOCIETE NATIONALE DES
CHEMINS DE FER BELGES

Direction du Matériel
et des Achats
BUREAU 22-33
Section 3

Bruxelles, le 7 octobre 1957.

48.

AVIS N° 42 M.

Distribution prévue pour le livret Hlt, fascicule 9.

LIVRET DES INSTRUCTIONS CONCERNANT LE SERVICE DES MACHINISTES ET CHAUFFEURS, DES CONDUCTEURS DE DIESEL ET DE TRAINS ELECTRIQUES.

La réglementation ci-jointe constitue le Chapitre VII du fascicule 9 du livret des machinistes et chauffeurs, des conducteurs Diesel et de trains électriques.

Cette réglementation abroge et remplace les dispositions antérieures publiées en la matière. Elle entre immédiatement en vigueur et doit être distribuée au personnel intéressé contre décharge sur I.C. 24.

Le Directeur du Matériel
et des Achats,

BROUCKAERT.

Ⓑ — 150237.9.57 (5720).

SOCIETE NATIONALE DES
CHEMINS DE FER BELGES
**Direction du Matériel
et des Achats**
BUREAU 22-53
Section 3

Bruxelles, le 29 septembre 1956.

AVIS N° 44 M.

Distribution prévue pour le Livret du Machiniste, fasc. 9 et 10.

LIVRET DES INSTRUCTIONS CONCERNANT LE SERVICE DES MACHINISTES ET CHAUFFEURS, DES CONDUCTEURS DE DIESEL ET DE TRAINS ELECTRIQUES.

La mise en service récente de nombreux types de locomotives Diesel de ligne et de manœuvre nécessite le remaniement des fasc. 9 et 10 du Livret du Machiniste, intitulés :

Fasc. 9 — Traction Diesel — Préparation et utilisation.

Fasc. 10 — Traction Diesel — Instructions techniques.

Sont annexés, leurs sommaires qui devront être complétés par le numéro et la date des avis, au fur et à mesure de la parution des chapitres.

Ils comprendront des notions générales applicables à tous les engins Diesel. Ces notions seront suffisamment précises pour que le machiniste puisse se faire une idée d'ensemble du matériel dont il aura la conduite.

***

En outre, il sera publié pour chaque type de matériel Diesel, une brochure ne faisant pas partie intégrante du livret hlt et contenant la description, le fonctionnement et les instructions détaillées de conduite et de dépannage. Ces brochures seront distribuées uniquement au personnel desservant le type d'engin considéré. Une première liste en est donnée en annexe.

***

Ⓑ — 52828.9.56 (6100).

Cette nouvelle réglementation abrogera et remplacera les dispositions antérieures publiées en la matière. Les Avis 91 M/50, 42 M, 54 M et 80 M/52, 5 M et 37 M/54 seront donc abrogés.

Le présent avis est à distribuer au personnel intéressé contre décharge sur I.C. 24.

Le Directeur du Matériel
et des Achats,

BROUCKAERT.

FASCICULE 10.

Traction Diesel — Instructions techniques.

SOMMAIRE.

Avis no 15 M. — Avril 1960.

Livret hlt

ANNEXES AU FASCICULE 10.

TRACTION DIESEL (INSTRUCTIONS TECHNIQUES DETAILLEES A PUBLIER SEPAREMENT).

1. AR légers Brossel types 553 et 554.
2. AR A.M.N./SEM types 602 et 603.
3. AR Germain/GM types 604 et 605.
4. AR FUF-BM/SEM simples t. 608 et doubles t. 620.
5. AR triples S.N.C.B./SEM type 630.
6. AR triples BM/SEM Maybach types 654 et 655.
7. AR triples La Brugeoise/Maybach type 670.
8. .....
9. Locotracteurs D.H. Cockerill type 230 (240 ch).
10. Loc. D.H. de man. BN/SEM type 232 (350 ch).
11. » BM/ABC type 250 (550 ch).
12. » FUF-BM/SEM type 252 (550 ch).
13. » Cockerill type 253 (550 ch).
14. » BN-FUF/Mayb. type 260 (650 ch).
15. » Cockerill type 261 (650 ch).
16. Loc. D.E. de man. BM/ABC type 270 (700 ch).
17. Loc. D.H. de man. BM/SEM type 271 (750 ch).
18. » BN/SEM type 272 (750 ch).
19. .....
20. Loc. D.E. de ligne CC Cockerill type 200 (2150 ch).
21. » BB Cockerill type 201 (1750 ch).
22. » CC AFB/GM type 203 (1750 ch).
23. » CC AFB/GM type 204 (1950 ch).
24. » CC BN/GM type 205 (1950 ch).
25. » Cockerill type 210 (1400 ch).
26. Loc. D.H. de ligne Cockerill type 211 (1400 ch).
27. Loc. D.E. de ligne BN/GM type 212 (1400 ch).
28. » Cockerill type 220 (950 ch).
29. .....
30. Loc. D.H. de ligne FUF/MAN type 222 (950 ch).
31. .....
32. .....
33. .....
34. .....

SOCIETE NATIONALE DES CHEMINS DE FER BELGES

LIVRET HLT

FASCICULE 10 — Traction Diesel.

Instructions techniques.

Chapitre I

Eléments de mécanique et d'électricité.

Table des matières.

Livret hlt

10. I.

Table des matières.

Page 2.

Mars 1957.

Chapitre I.

ELEMENTS DE MECANIQUE ET D'ELECTRICITE.

A. MECANIQUE ELEMENTAIRE.

1 Force.

Pour soulever verticalement un poids de 5 kg, il faut développer un effort, ou une **force** égale à ce poids.

On dit qu'il faut développer une force de 5 kg.

Lorsqu'on pose un poids de 7 kg sur une surface, ce poids exerce sur cette surface une force de 7 kg.

Un wagon à deux essieux pesant 8 t, et portant une charge de 12 t pèse au total 20 t. Si la charge est uniformément répartie sur le plancher du wagon, chaque essieu porte 10 t et chaque roue exerce sur le rail une force de 5 t.

On donne le nom de **force** à toute cause capable de provoquer ou de modifier le mouvement d'un corps.

L'unité pratique de force est le kilogramme (kg). Elle a comme multiple fréquemment utilisé la **tonne,** qui vaut 1000 kg.

2 Vitesse.

Chacun sait que les vitesses de déplacement suivantes sont facilement atteintes :

piéton : 5 km/h;
cycliste : 20 km/h;
auto : 100 km/h;
train : 120 km/h et pour certains express 140 km/h;
avion : 300 à 1000 km/h.

Cela veut dire qu'en une heure, un piéton parcourt 5 km, un cycliste 20 km, etc.

Comme 1 heure = 60 minutes,
= 3600 secondes,
on peut transformer les vitesses exprimées en km/h en m/s. Les vitesses citées ci-dessus deviennent :

piéton : 5 km/h = 5000 m/h = 5000/3600 m/s = 1,39 m/s;
cycliste : 20 km/h = 20 000/3600 = 5,56 m/s;
auto : 27,8 m/s;
train : 33,3 à 39 m/s;
avion : 83 à 278 m/s.

Un train que roule à 120 km/h parcourt donc 33,3 m par seconde.

La vitesse est le chemin parcouru (exprimé en km ou en m) pendant l'unité de temps (exprimée en heures ou en secondes) ; elle s'exprime en km par heure (km/h) ou en mètres par seconde (m/s).

1 km/h = 1000 m/3600 s = 0,278 m/s = 27,8 cm/s.
10 km/h = 2,78 m/s.
100 km/h = 27,8 m/s, etc.

3 Accélération.

En réalité, la vitesse d'un cyliste, d'une auto, d'un train ne reste pas toujours constante pendant tout le parcours.

Au départ d'une gare, la vitesse d'un train est nulle. Elle augmente progressivement jusqu'à atteindre la vitesse maximum nécessaire ou autorisée sur la ligne.

On dit que le train accélère.

On nomme **accélération,** l'accroissement de la vitesse (exprimée en cm/s) pendant l'unité de temps (exprimée en secondes).

Lorsque l'accélération est constante, on dit que le mouvement est **uniformément** accéléré.

Exemple : un train démarre dans une gare. Après 10 secondes, il a atteint 9 km/h en mouvement uniformément accéléré.

Exprimée en cm/s, la vitesse est égale à

$$\frac{900\,000}{3\,600} = 250 \text{ cm/s.}$$

Comme cette vitesse est atteinte après 10 secondes, l'accélération est $\frac{250 \text{ cm/s}}{10 \text{ s}} = 25$ cm/s/s.

Si un train atteint 120 km/h (ou 33,3 m/s) en 2 minutes (120 secondes), l'accélération moyenne de ce train est égale à $\frac{3330}{120} = 27{,}8$ cm/s/s.

4 Travail.

Pour soulever un poids à une certaine hauteur, il faut effectuer un **travail,** qui est proportionnel au poids et à la hauteur du transport.

L'unité de poids étant le kg et celle du chemin parcouru étant le mètre, l'unité de travail sera exprimée par le produit kg × m appelé **kilogrammètre** (kgm).

Quand une force agit sur un corps, elle effectue un **travail.** Celui-ci dépend de la grandeur de la force et de la longueur du chemin parcouru.

Le kilogrammètre est le travail accompli par une force de 1 kg qui a déplacé un corps sur une distance de 1 m.

Pour lever un poids de 7 kg à 21 m de hauteur, il faut développer un travail de 7 × 21 = 147 kgm.

Il est à remarquer qu'il s'agit du travail **utile.** Si un manœuvre, pesant 60 kg porte ce poids de 7 kg jusqu'à 21 m de hauteur, il faut, pour obtenir le travail total, ajouter le travail qu'il a développé pour s'élever lui-même, soit 60 × 21 = 1260 kgm.

5 Puissance.

Le travail défini dans l'exemple ci-dessus sera effectué plus rapidement par un homme que par un enfant, parce que l'homme est plus « fort » ou plus « puissant ».

D'où la notion de **puissance.**

L'unité de puissance est égale à l'unité de travail (kgm) développée pendant l'unité de temps (s) : elle est donc exprimée en kgm/s.

On utilise souvent, comme unité pratique, les multiples suivants :

le cheval vapeur (ch) = 75 kgm/s;

le kilowatt (kW) = 1,36 ch = 102 kgm/s.

Lorsqu'on dit qu'un moteur (d'automobile par exemple) a une puissance de 12 ch, cela veut dire qu'il peut développer un travail de 12 × 75 = 900 kgm/s cela correspond à la levée :

d'un poids de 900 kg à 1 m de hauteur en 1 s ou

d'un poids de 90 kg à 10 m de hauteur en 1 s ou

d'un poids de 9 kg à 100 m de hauteur en 1 s.

Lorsqu'on dit qu'un moteur a une puissance de 20 kW, cela veut dire qu'il peut développer un travail de 20 × 102 = 2040 kgm en une seconde.

6 Couple.

Lorsqu'une pièce quelconque (arbre, poulie, roue dentée, etc.) est soumise à un mouvement de rotation, elle tourne autour d'un point ou d'un axe qui reste immobile.

Pour obtenir ce mouvement de rotation, il est nécessaire d'appliquer à la pièce un effort en un point non situé sur l'axe de rotation.

Le produit de cet effort par la distance de sa direction à l'axe de rotation constitue le **couple.** Il s'exprime en kgm. Un effort de 100 kg exercé à 2 m de l'axe de rotation donne un couple de 100 kg × 2 m ou 200 kgm.

En général, l'effort s'exerce tangentiellement à la circonférence d'une poulie ou au milieu d'une dent d'engrenage; la distance à faire intervenir ou **bras de levier** est alors le rayon de la poulie ou le rayon moyen de la roue dentée.

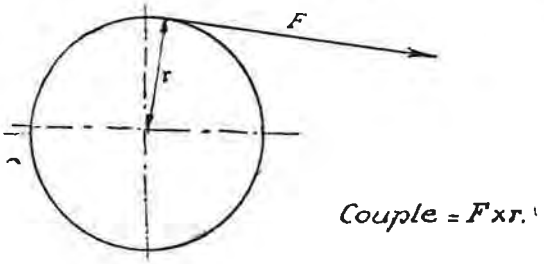


Fig. 1

7 Boulons et écrous.

Le boulon avec écrou est un organe destiné à assembler deux organes de machines par une liaison dont le montage et le démontage sont faciles.

Ils sont généralement fabriqués en acier ou en bronze.

Le boulon présente une tête et un corps (dont une partie plus ou mois longue est filetée).

La tête du boulon peut avoir diverses formes : ronde avec un méplat, carrée, exagonale, en forme de marteau, etc.

Le corps du boulon est cylindrique.

Le filet peut avoir une forme triangulaire (généralité des cas), ou carrée.

La forme extérieure de l'écrou est généralement hexagonale; le filet est identique à celui du boulon avec lequel il est utilisé.

Pour assurer l'indesserrabilité de l'écrou, on applique couramment les procédés suivants :

— écrou avec contre-écrou, écrou à créneaux avec goupille, rondelle Grower.

8 Arbres et accouplements.

Un moteur électrique, un moteur à essence ou Diesel comportent des organes en mouvement qui entraînent l'arbre de la machine.

Cet arbre est constitué par une longue barre ronde en acier. Il sert à transmettre le mouvement aux appareils que le moteur doit entraîner (un moteur d'auto entraînera le véhicule automobile, un moteur Diesel entraînera le camion, l'autorail ou la locomotive Diesel, le moteur électrique entraînera des transmissions, des machines-outils, une automotrice électrique).

Lorsque l'appareil à entraîner comporte également un arbre, situé dans le prolongement de celui du moteur, et que les 2 machines doivent tourner à la même vitesse, la liaison entre les deux arbres se fera au moyen d'un manchon, également en acier.

Si les deux arbres ne sont pas parfaitement dans le prolongement l'un de l'autre, on fait usage d'accouplements élastiques ou avec joint à cardan.

9 Paliers.

Dans une machine, les organes soumis à un mouvement de rotation sont soutenus par des supports qu'on appelle **paliers.**

Il en existe de nombreux exemples dans le matériel utilisé dans les installations de chemin de fer : paliers des moteurs électriques, paliers des moteurs Diesel, paliers d'essieux de locomotives, voitures et wagons (généralement appelés boîtes d'essieux).

Dans la généralité des cas, l'arbre repose dans des demi-coquilles en bronze, garnies de métal antifriction; l'ensemble est graissé au moyen d'huile. Le système de graissage peut se présenter sous différentes formes (bague de graissage, packing, canaux amenant dans chaque palier de l'huile sous pression, etc.).

Parfois l'huile est remplacée par de la graisse consistante, une réserve de graisse étant prévue dans un godet approprié (système Staufer, etc.).

Dans certains cas, on fait usage de paliers avec roulements à billes ou à rouleaux; ils comportent une bague intérieure, une bague extérieure, une ou plusieurs rangées de billes ou de rouleaux, parfois maintenus ensemble dans une cage.

10 Poulies, courroies.

Pour donner à une machine outil par exemple un mouvement de rotation, on se sert souvent d'un moteur qui transmet son mouvement à la machine grâce à une courroie (fig. 2).

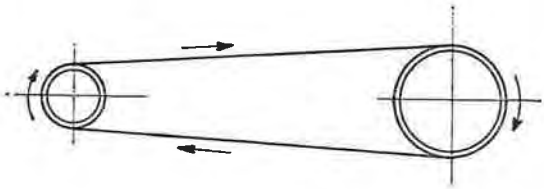


Fig. 2.

A titre d'exemple, citons les machines-outils dans certains ateliers, les dynamos d'éclairage de trains sous les voitures à voyageurs, le compresseur et les ventilateurs dans certaines locomotives Diesel.

Ces courroies sont faites en cuir, en caoutchouc, en toile imprégnée.

On distingue principalement les courroies plates et les courroies trapézoïdales.

Les courroies passent sur des **poulies** fixées sur le moteur et sur la machine à entraîner.

Les poulies sont généralement en acier, en fonte ou en bois.

L'entraînement de la machine se fait grâce à la propriété de la courroie d'adhérer (rester collée) aux poulies.

Lorsque, pour une courroie de dimensions données, on dépasse une certaine puissance à transmettre, la courroie **glisse.**

Ce glissement doit être empêché, car il provoque un échauffement de la courroie.

Il est donc nécessaire de choisir les dimensions de la courroie, donc des poulies, en fonction de la puissance à transmettre.

Dans certains cas, on enduit la courroie d'une matière spéciale, afin d'augmenter l'adhérence.

C'est également pour augmenter l'adhérence que dans certains cas on fait usage de courroies avec **brins** croisés (fig. 3). Dans ce cas, l'angle embrassé par la courroie sur la poulie est plus grand.

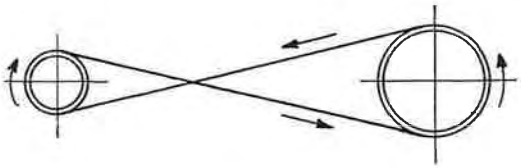


Fig. 3.

On remarquera que dans ce dernier cas, les deux poulies ont des sens de rotation opposées.

Lorsque, dans une transmission à courroie, les poulies ont le même diamètre, leurs vitesses de rotation sont **égales.**

Il n'en est pas de même lorsque les diamètres des poulies sont différents. On en profite souvent pour donner à la machine une vitesse différente de celle du moteur qui l'entraîne.

Le rapport des vitesses des deux engins est égal à l'inverse du rapport des diamètres; la poulie ayant le plus petit diamètre tourne le plus vite.

11 Engrenages.

Nous distinguerons les engrenages droits, les engrenages coniques, la vis sans fin.

a) ENGRENAGES DROITS.

Un ensemble de deux poulies munies de dents ayant des profils scientifiquement établis peut servir à transmettre à un arbre le mouvement que subit l'autre (fig. 4).

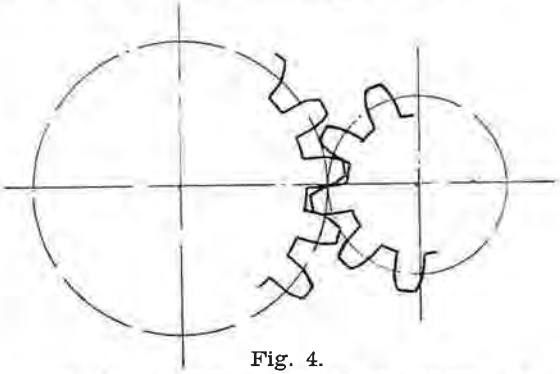


Fig. 4.

Le rapport des vitesses des deux arbres est égal à l'inverse du rapport des nombres de dents. Mais le rapport des couples transmis est proportionnel au rapport du nombre de dents. Si par exemple une roe de 20 dents engrène avec une roue de 40 dents, la roue de 20 dents tournera 2 fois plus vite que l'autre, mais la roue de 40 dents sera soumise à un couple 2 fois plus grand que celle de 20 dents. Ce qu'on perd en vitesse, on le regagne en couple et réciproquement.

Dans beaucoup de cas, les dents sont droites. Dans certains cas les dents sont obliques (fig. 5), ou même en forme de chevrons (fig. 6).

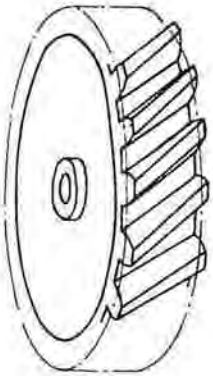


Fig. 5.

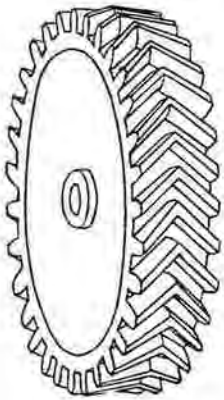


Fig. 6.

b) ENGRENAGES CONIQUES.

Lorsqu'il s'agit de lier les mouvements de deux arbres perpendiculaires, on se sert d'engrenages coniques (fig. 7).

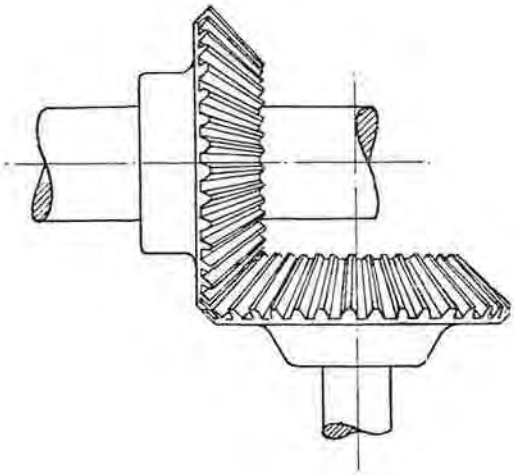


Fig. 7.

c) VIS SANS FIN ET ROUES A VIS SANS FIN.

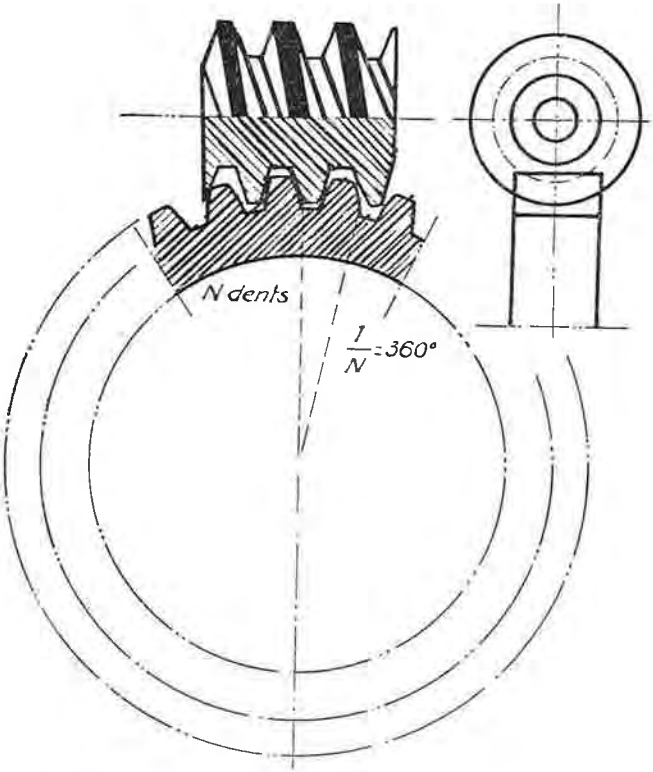
Pour lier les mouvements de deux arbres perpendiculaires, on utilise également une vis sans fin et une roue à vis sans fin (fig. 8), on peut obtenir de cette façon une démultiplication beaucoup plus grande qu'avec des engrenages coniques.

12 Application des engrenages. — Inversion du sens de marche.

Cette inversion peut être réalisée de 2 façons différentes.

a) INVERSEUR A PIGNONS CONIQUES.

Ce type d'inverseur (fig. 9) est constitué par un pignon conique A constamment en prise avec 2 couronnes dentées B et C montées folles sur un arbre D (faux-essieu ou essieu moteur lui-même).



Quand la vis fait 1 tour la roue dentée fait 1/N tour

Fig. 8

Un manchon d'embrayage à griffes, manœuvré mécaniquement ou pneumatiquement peut se déplacer sur l'arbre D portant les 2 couronnes et rendre cet arbre solidaire de l'une ou de l'autre couronne B ou C.

Pour une rotation de sens donné de l'arbre du pignon moteur A, on obtient ainsi à volonté une rotation de l'arbre conduit D dans l'un ou l'autre sens.

La fig. 9 : point mort.

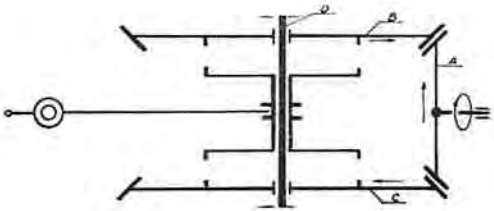


Fig. 9

La fig. 10 : marche dans un sens (AV).

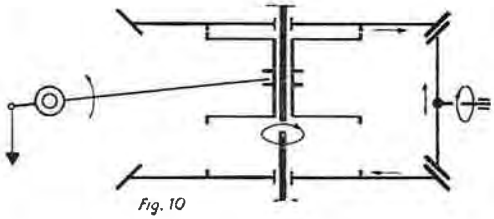


Fig. 10

La fig. 11 : marche dans l'autre sens (AR).

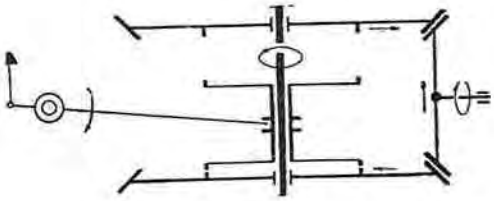


Fig 11

b) INVERSEUR A ENGRENAGES CYLINDRIQUES AVEC PIGNON DE RENVOI.

Dans ce type d'inverseur, l'effort moteur est transmis à l'arbre conduit par des engrenages cylindriques.

Pour un sens de marche, la transmission de l'effort s'effectue directement au moyen d'un train d'engrenages

(fig. 12). Pour l'autre sens de marche, la transmission de l'effort s'effectue par l'intermédiaire de un ou plusieurs pignons de renvoi qui inversent le sens de rotation (fig. 13).

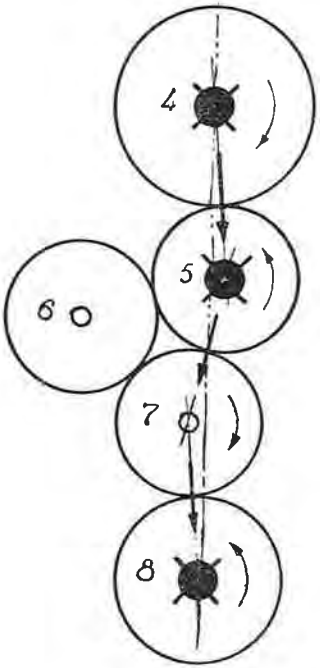


Fig. 12

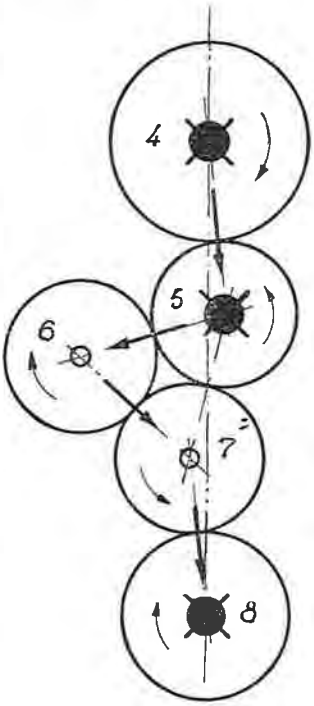


Fig. 13

13 Frottement de glissement.

Pour faire glisser un corps appuyant sur un autre, il faut vaincre une résistance qui dépend de la nature des deux corps, de la pression d'appui et de l'état de leurs surfaces.

Cette résistance sera très élevée pour des corps rugueux, moyenne pour deux pièces dures et unies, faible lorsqu'il y a interposition d'une couche de graisse ou d'huile.

Cette résistance est appelée **frottement de glissement.**

Pour vaincre ce frottement, il faut développer du travail, qui est transformé en chaleur (ex. : échauffement d'une boîte d'essieu, d'une tête de bielle, en cas de graissage insuffisant).

14 Frottement de roulement.

Pour faire **rouler** une pièce sur une autre, il faut également vaincre une résistance, mais beaucoup plus faible que dans le cas précédent : c'est le **frottement de roulement.**

C'est pour cela qu'il est plus facile de déplacer une lourde charge en la faisant rouler sur des bouts de tubes ou sur des rondins de bois par exemple, plutôt que de la traîner sur des pavés ou sur un sol rugueux.

15 But du graissage.

Le principe même du graissage consiste à interposer entre deux surfaces qui glissent l'une sur l'autre (coussinet et arbre dans un palier, coussinet et fusée dans une boîte d'essieu, etc.), une matière grasse (huile ou graisse).

Chaque fois que des surfaces se touchent sans intermédiaires gras, la résistance augmente et il en résulte un échauffement de l'organe (boîte chauffante, etc.).

16 Résistance au roulement des trains.

La résistance au roulement d'un train peut se décomposer en deux termes :

a) résistance de la locomotive;

b) résistance de la charge remorquée (voitures, wagons).

Ces résistances comportent une partie propre au véhicule, et une autre dépendant de la configuration de la voie (rampes, pentes, courbes).

Elles s'expriment généralement en kg/t (kilogramme d'effort résistant par tonne de poids du véhicule).

a) RESISTANCES PROPRES AU VEHICULE.

Le frottement du véhicule sur le rail et les chocs provenant des inégalités de la voie et des bandages provoquent la **résistance de roulement.**

Le frottement des essieux sur les coussinets provoque une **résistance interne,** propre au véhicule.

Dès que la vitesse du véhicule dépasse une certaine valeur, de l'ordre de 30 km/h, l'air agit d'une manière importante, principalement sur la surface frontale du véhicule : c'est la **résistance de l'air.**

Les **mouvements perturbateurs** (lacet, etc.) provoquent également une certaine résistance.

L'ensemble de ces résistances peut être déterminé par des essais et varie avec la vitesse et avec la nature du véhicule.

Le tableau ci-dessous indique quelques valeurs à titre d'exemple.

Vitesse en km/h	Résistance en kg/t			
	locomotive Diesel	voiture à bogies	wagon vide	wagon chargé
10	3,8	2,80	3,61	1,65
50	5,1	3,40	7,04	3,15
100	10,8	5,20	—	—

La résistance d'un train composé d'une locomotive Diesel de 108 t remorquant 6 voitures à bogies de 50 t à 100 km/h peut se calculer comme suit :

résistance de la locomotive : 108 × 10,8 kg/t = 1166,4 kg;

résistance de la charge : 6 × 50 t × 5,20 kg/t = 1560 kg;

résistance totale : 1166,4 kg + 1560 kg = 2726, 4 kg.

La puissance à développer peut se calculer comme suit :

$$100 \text{ km/h} = \frac{100\,000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 27{,}8 \text{ m/s.}$$

Puissance : 2726,4 kg × 27,8 m/s = 76 000 kgm/s

soit $\frac{76\,000}{75}$ ch ou 1010 ch environ.

Il suffit de se rappeler en effet que la puissance est égale au travail par seconde, et que le travail est égal à la force développée multipliée par la longueur du déplacement.

b) RESISTANCES EXTERNES.

Un véhicule se déplacera plus difficilement en courbe qu'en ligne droite parce que les roues frottent latéralement contre les rails.

La courbe provoque une résistance **supplémentaire**, exprimée en kg/t et égale à $\frac{750}{R}$, où R est le rayon de la courbe.

Ex. : la résistance d'une voiture de 45 t dans une courbe de 1250 m est égale à

$$45 \text{ t} \times \frac{750}{1250} \text{ kg/t} = 27 \text{ kg.}$$

La théorie montre que chaque mm de **rampe** augmente la résistance du véhicule de 1 kg/t.

Chaque mm de **pente** diminue au contraire la résistance de 1 kg/t.

Ex. : un train de 600 t (locomotive comprise) a une résistance totale de 4200 kg en palier et en alignement droit (7 kg/t).

Que devient la résistance lorsqu'il roule sur une rampe de 16 mm par mètre ?

Elle devient (600 × 7 kg/t) + (600 × 16 kg/t) = 600 × 23 kg/t = 13 800 kg.

Lorsque le même train monte le plan incliné de Liège à Ans (environ 33 mm/m), sa résistance devient

$$600 \times (7 + 33) = 24\,000 \text{ kg}.$$

Elle est donc plus que quintuplée.

La résistance d'un train composé d'une locomotive Diesel de 108 t remorquant une charge de 900 t de wagons trémies chargés (talbots) peut être estimée, en palier, alignement droit et à la vitesse de 50 km/h, de la façon suivante :

résistance de la locomotive : 108 t × 5,1 kg/t = 551 kg;

résistance des wagons : 900 t × 3,15 kg/t = 2835 kg;

résistance totale : 551 kg + 2835 kg = 3386 kg.

Il y correspond une puissance de

$$\frac{50\,000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} \times 3386 \text{ kg} = 46\,800 \text{ kgm/s}$$

soit $\frac{46\,800}{75}$ ou 620 ch.

Lorsque ce même train monte en rampe de 16 mm/m et en courbe de 500 m de rayon, la résistance à l'avancement va augmenter considérablement et la puissance de la locomotive ne sera plus suffisante pour maintenir la vitesse de 50 km/h; cette vitesse va tomber à environ 20 km/h.

La résistance à l'avancement se compose des termes suivants :

résistance du train en palier : elle a été calculée ci-dessus et trouvée égale à 3386 kg, mais à 50 km/h; à 20 km/h, les résistances à l'avancement vont tomber à 4 kg/t pour la locomotive et 2,65 kg/t pour les wagons ce qui donnera : 108 t × 4 kg/t + 900 t × 2,65 kg/t ou 2817 kg;

résistance due à la rampe : (108 t + 900 t) × 16 kg/t = 16 128 kg;

résistance due à la courbe : $(108\ t + 900\ t) \times \frac{750}{500}$ $= 1512$ kg;

résistance totale : $2817 + 16\,128 + 1512 = 20\,457$ kg

puissance : $\frac{20\,000\ m}{3600\ s} \times 20\,457$ kg $= 114\,800$ kgm/s ou $\frac{114\,800}{75}$ ch soit 1520 ch.

17 Adhérence.

La surface du rail et de la roue d'une locomotive, bien qu'apparemment polie, présente des aspérités.

Grâce à celles-ci, la roue s'agrippe sur le rail et, en tournant, fait avancer la locomotive.

Pour vaincre la résistance au roulement ainsi que les autres résistances qui s'opposent au mouvement d'un train, il faut mettre en jeu une force qu'on nomme effort de traction.

L'effort devra être d'autant plus élevé que le train est plus lourd, contient plus d'essieux, etc. : mais l'effort de traction que peut développer une locomotive est limité.

Une roue pivote si on lui applique une force suffisante pour vaincre le frottement de glissement. Cette force est égale à la partie du poids de la locomotive supportée par les essieux moteurs (P) multipliée par un coefficient (f) dépendant du frottement de glissement entre roue et rail.

Ce coefficient est appelé coefficient d'adhérence.

Tout effort de traction plus grand que fP provoquera le glissement appelé pivotement.

Par temps très sec $f = 0{,}25$.

Par temps brumeux $f = 0{,}15$.

Sur rail gras $f = 0{,}10$ et parfois moins.

On peut augmenter l'adhérence en sablant les rails. Un exemple fera mieux apprécier l'importance de ce facteur f.

L'ensemble des essieux moteurs d'une locomotive est chargé à 108 000 kg.

L'adhérence sera :

— par temps sec : 0,25 × 108 000 = 27 000 kg;
— par temps brumeux : 0,15 × 108 000 = 16 200 kg;
— sur rails gras : 0,10 × 108 000 = 10 800 kg.

18 Rendement.

Un kg de charbon contient une certaine quantité de chaleur.

Lorsqu'on brûle un kg de charbon dans un poêle, on n'obtient pratiquement pas toute la chaleur qu'il contient.

En effet, les cendres recueillies contiennent une proportion de charbon non brûlé, les fumées qui s'échappent du poêle sont chaudes et emportent donc la chaleur non utilisée, etc.

Il y a donc des pertes.

La quantité totale de chaleur contenue dans le charbon pourrait être décomposée comme suit :

chaleur totale = chaleur utile + pertes.

Dans le cas considéré, on appelle **rendement,** le rapport

$$R = \frac{\text{chaleur utile}}{\text{chaleur totale}}$$

Ce rapport est toujours plus petit que l'unité, puisque la chaleur utile sera toujours inférieure à la chaleur totale.

Le rendement est généralement exprimé en % (pour-cent) et sera donc toujours inférieur à 100 %.

Ce n'est pas seulement dans les opérations de combustion que des pertes apparaissent.

Dans une locomotive à vapeur par exemple, on **brûle** du charbon pour chauffer de l'eau et la vaporiser.

Cette première opération se fait avec pertes.

La chaudière rayonne une partie de la chaleur contenue dans l'eau et la vapeur : nouvelles pertes.

L'énergie contenue dans la vapeur sous pression n'est pas complètement utilisée dans les cylindres, car la vapeur s'échappe sous pression et emporte ainsi une partie de la chaleur qui a été nécessaire pour chauffer l'eau et la vaporiser : nouvelles pertes.

Le mouvement du mécanisme de la locomotive (pistons, tiroirs, bielles) est accompagné de phénomènes de frottement, ce qui provoque des pertes supplémentaires.

Toutes ces pertes font que le rendement global de la locomotive est petit.

La notion de rendement peut être considérée d'une manière générale dans n'importe quelle machine complexe (automobile, autorail, automotrice et locomotive électrique ou Diesel) ou simple (moteur à essence, moteur Diesel, moteur électrique, etc.)

B. ELECTRICITE ELEMENTAIRE.

1 Les piles électriques.

L'électricité se manifeste quelquefois sous forme de phénomènes naturels, tels que la foudre. On la produit industriellement, afin de l'utiliser pour l'**éclairage,** le **chauffage,** la **force motrice,** etc.

La source industrielle la plus simple de l'électricité est la **pile.**

Une pile se compose d'un récipient, rempli d'un liquide dans lequel plongent deux corps métalliques, appelés **électrodes.** Le liquide est appelé **électrolyte.**

On peut constituer une pile comme suit :

Dans un vase en verre, rempli d'acide sulfurique dilué, on plonge une plaque en cuivre et une plaque en zinc, en ayant soin de ne pas les mettre en contact. Une petite ampoule de lampe de poche, placée dans un socket et reliée aux électrodes par des fils de cuivre, s'allumera, démontrant ainsi l'existence d'un courant électrique.

On donne un nom à chaque électrode; l'une est appelée **positive,** l'autre **négative.** On les appelle également **pôle positif** et **pôle négatif.**

On admet conventionnellement que le **courant** circule de l'électrode positive vers l'électrode négative à l'extérieur de la pile.

Pour faciliter le transport des piles, on y incorpore des corps poreux (dans certains cas de la sciure de bois).

Ces piles sont alors appelées **piles sèches.** On les emploie pour alimenter des lampes de poche, des sonneries, etc.

Sur les schémas électriques, la pile est représentée comme indiqué à la fig. 1 (les deux traits verticaux représentent les électrodes).

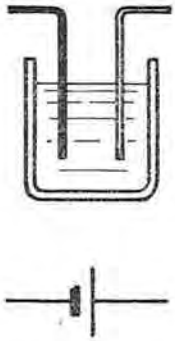


Fig. 1.

On peut augmenter l'effet des piles en raccordant plusieurs d'entre elles en **série** : à cette fin, on raccorde le pôle positif de la première au négatif de la seconde, le positif de la seconde au négatif de la troisième, etc. (fig. 2).

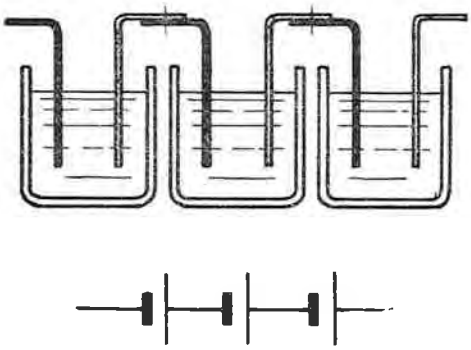


Fig. 2.

Le résultat d'un tel groupement peut être mis en évidence en comparant l'éclat d'une même ampoule, branchée une première fois sur une pile, une deuxième fois sur deux piles en série.

Les piles ne peuvent pas produire indéfiniment de l'énergie électrique. Au bout d'un certain temps, elles perdent leurs propriétés à cause de la modification chimique de leurs constituants.

On dit que la pile est **épuisée.**

2 Les accumulateurs.

Il existe des piles qui peuvent être régénérées après épuisement. On les appelle **accumulateurs.**

Le plus simple est constitué d'électrodes en plomb, plongées dans de l'acide sulfurique dilué.

Les accumulateurs peuvent, comme les piles, être raccordés en série.

On les représente sur les schémas comme les piles.

A la S.N.C.B. les accumulateurs sont utilisés notamment pour l'éclairage des voitures, pour le démarrage des moteurs Diesel des autorails et des locomotives, pour certains tracteurs à bagages des gares, pour certains tracteurs d'ateliers, pour l'alimentation de certains circuits d'automotrices, d'autorails et de locomotives électriques et Diesel.

Il s'agit, dans ces applications, toujours de groupement de plusieurs accumulateurs en série. Un tel groupement est appelé **batterie** d'accumulateurs.

3 La dynamo.

La dynamo est une machine rotative, entraînée par un moyen quelconque et produisant de l'énergie électrique.

Le principe de son fonctionnement sera expliqué plus loin.

On s'en sert à la S.N.C.B. pour régénérer ou **recharger** des batteries d'accumulateurs. La plupart des voitures à voyageurs de la S.N.C.B. sont équipées avec une dynamo d'éclairage entraînée par une courroie et qui alimente les lampes et la batterie d'accumulateurs de chaque voiture.

Une dynamo présente également un pôle positif et un pôle négatif. Ce sont les **bornes** de la dynamo.

La fig. 3 indique comment une dynamo est représentée sur les schémas.

Fig. 3.

4 La tension.

Le fait qu'une lampe raccordée aux deux pôles d'une pile s'allume, prouve que ces pôles sont dans des états différents.

On dit que les pôles sont à des potentiels différents, qu'il existe entre les pôles une **différence de potentiel,** une **tension** ou une **force électromotrice.**

On a défini une unité de tension qui est le **volt.**

Une pile donne environ 1,4 V et un élément d'accumulateur au plomb 2 V.

L'éclairage des anciennes voitures de la S.N.C.B. est, dans la plupart des cas, assuré à 24 V (il y a donc 12 accumulateurs au plomb, en série, dans une batterie de voiture).

Les réseaux d'éclairage des locaux, des gares et des ateliers sont généralement alimentés à 110, 130 ou 220 V.

Les génératrices principales utilisées sur les locomotives Diesel-électriques fournissent une tension maximum d'environ 1000 V.

Sur les lignes électrifiées de la S.N.C.B., le fil aérien est alimenté à 3000 V.

5 Dangers de l'électricité.

Il faut éviter de venir en contact avec les pôles d'une source d'électricité, dès qu'elle dépasse quelques dizaines de volts.

Le danger est aggravé par certaines circonstances : corps en transpiration, etc.

Le contact avec des lignes à basse et surtout à haute tension peut entraîner des brûlures très graves ou la mort par électrocution.

L'intérieur des armoires d'appareillage des locomotives et des autorails Diesel-électriques, les lignes de traction et les appareils à 3000 V des locomotives et des automotices électriques, sont particulièrement dangereuses.

Des règlements spéciaux de la S.N.C.B. précisent les mesures de sécurité à appliquer pour se prémunir contre les dangers de l'électricité.

Le personnel a pour devoir, dans son propre intérêt, et dans celui de ses compagnons de travail, de s'y conformer scrupuleusement.

6 Le voltmètre.

La tension (c'est-à-dire le nombre de volts) d'une pile, d'une batterie d'accumulateurs, ou de n'importe quelle source d'énergie électrique, se mesure au moyen d'un appareil appelé **voltmètre.**

Le voltmètre est muni d'un cadran gradué devant lequel se déplace une aiguille. Le voltmètre possède deux bornes qu'on réunit, au moyen de fils, aux deux points entre lesquels on veut mesurer la tension; l'aiguille dévie et la tension se lit sur l'échelle du cadran (fig. 4).

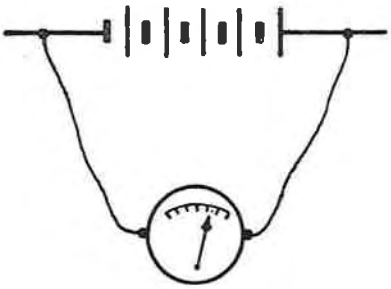


Fig. 4.

N'importe quel voltmètre ne convient pas pour mesurer n'importe quelle valeur de la tension.

Les appareils sont construits pour une tension maximum qui est indiquée en fin d'échelle. Il faut avoir soin, par exemple, de ne pas brancher sur une dynamo de 220 V, un voltmètre dont la limite est de 100 V car on risque de brûler les organes délicats de l'appareil.

7 Le courant.

Si nous raccordons une lampe aux deux pôles d'un réseau d'éclairage, elle s'allume.

Si nous raccordons un radiateur ou un réchaud électrique à une prise de courant, les fils de l'appareil rougissent.

On dit qu'un **courant** électrique circule dans la lampe, dans le réchaud, dans le radiateur.

On admet conventionnellement que dans les parties extérieures à la source d'énergie électrique, le courant circule du pôle positif vers le pôle négatif (fig. 5 — les flèches indiquent le sens du courant).

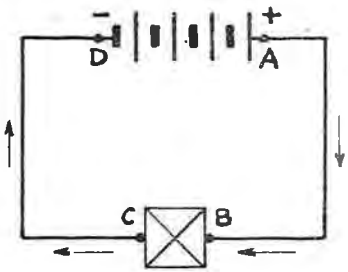


Fig. 5.

On dit que le courant est plus ou moins intense suivant ses effets.

L'intensité du courant est exprimée en **ampères**. L'ampère est une unité de courant.

On se sert quelquefois d'une unité plus petite, égale à la millième partie de l'ampère, et dénommée **milliampère.**

8 L'ampèremètre.

L'intensité du courant électrique se mesure au moyen d'un **ampèremètre.** Il se présente extérieurement sous la même forme qu'un voltmètre, mais le raccordement d'un ampèremètre est différent de celui d'un voltmètre.

En effet, un voltmètre se raccorde par exemple aux deux bornes ou pôles de la source d'électricité, tandis que l'ampèremètre doit être intercalé dans le circuit, dans lequel on veut mesurer le courant, de manière à ce que le courant le traverse (fig. 6).

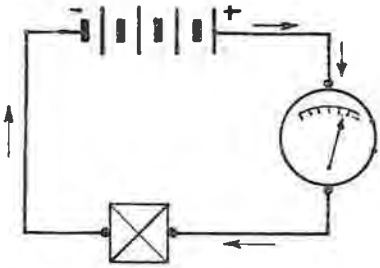


Fig. 6.

La fig. 7 représente le raccordement d'un voltmètre V et d'un ampèremètre A à un même circuit constitué d'une batterie alimentant un appareil R.

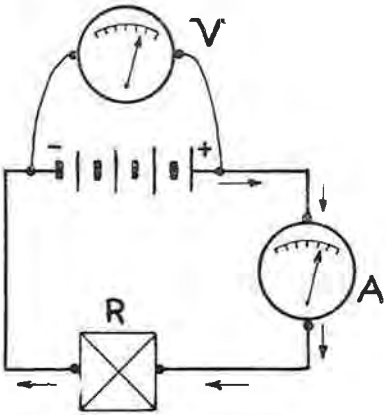


Fig. 7.

Lorsqu'on veut pouvoir lire la tension d'une source d'électricité en deux endroits différents (par exemple dans les deux cabines de conduite d'une locomotive), on doit raccorder deux voltmètres comme il est indiqué à la fig. 8.

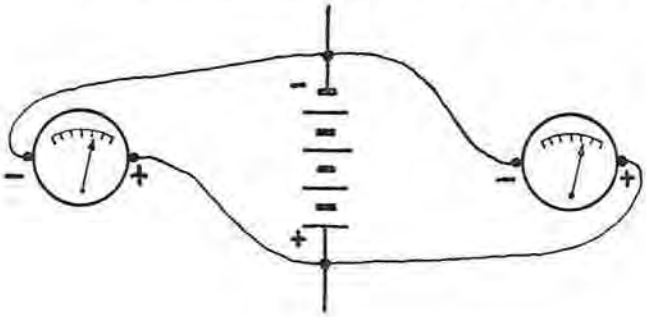


Fig. 8.

Lorsqu'on veut mesurer le courant qui circule dans un circuit, en deux endroits différents, il faut raccorder les ampèremètres comme il est indiqué à la fig. 9.

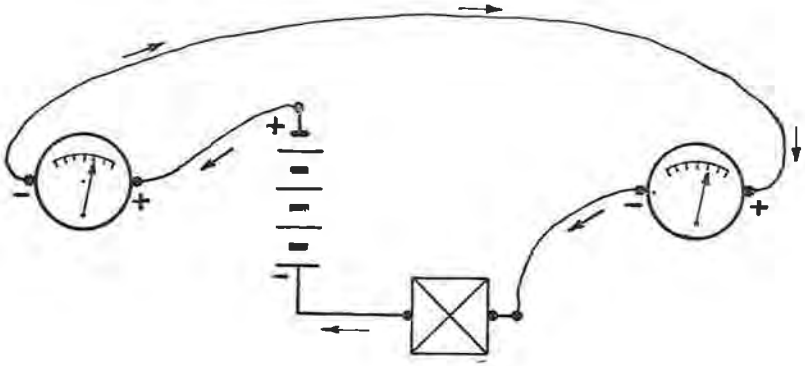


Fig. 9.

9 Les conducteurs et les circuits.

Considérons l'ensemble composé d'une source d'énergie électrique, de conducteurs pour le transport de l'énergie, et d'un récepteur (une lampe d'éclairage, un radiateur, un réchaud, etc.).

Ce système est analogue à celui constitué par une pompe P raccordée à une turbine T, au moyen de tuyauteries dans lesquelles circule l'eau (fig. 10a et 10b).

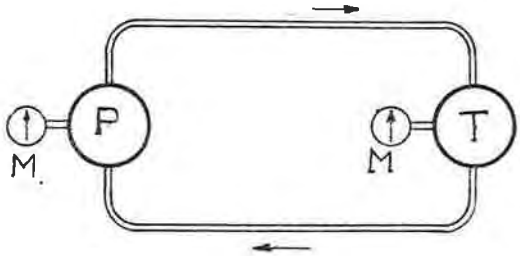


Fig. 10a.

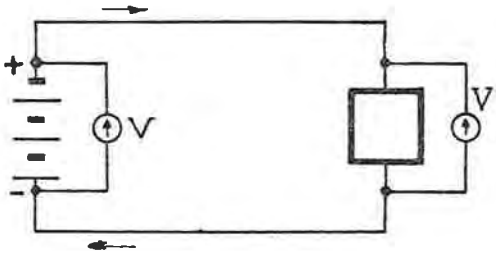


Fig. 10b.

L'ensemble des canalisations et machines dans lesquelles circule l'eau est appelé **circuit.** Pour que le liquide circule, il faut que le circuit ne soit interrompu en aucun point.

Il en est de même en électricité. Pour que le courant électrique circule, il faut que la source et le récepteur soient réunis par les canalisations qui laissent passer le courant et que ces canalisations ne soient interrompues en aucun point.

Aux **manomètres M** qui indiquent la pression d'eau, correspondent les **voltmètres V** qui indiquent la valeur de la **tension.**

L'ensemble des canalisations et des appareils électriques est appelé **circuit électrique.**

Les métaux sont les **bons conducteurs** d'électricité. La propriété de conduire l'électricité diffère suivant la nature du métal

Le cuivre est meilleur conducteur que le fer.

Pour des canalisations aériennes, on se sert quelquefois de **bronze,** parce que le bronze a une meilleure résistance **mécanique** que le cuivre.

10 Les isolants.

Les corps autres que les métaux ne laissent pas passer le courant électrique; on les appelle des **isolants.**

On s'en sert pour protéger les conducteurs, afin d'éviter qu'on ne puisse toucher le métal nu (danger d'électrocution), ou pour **isoler** les conducteurs des parois ou des pièces sur lesquels on veut les fixer, ou entre eux.

Les propriétés et les applications de quelques isolants sont énumérées ci-dessous : **l'amiante** est un produit naturel qui se présente sous forme fibreuse. Elle a l'avantage d'être incombustible. On s'en sert pour isoler les conducteurs des moteurs de traction.

L'amiante est également utilisée, après broyage et mélange avec des produits agglomérants pour la fabrication d'**éternit.** L'éternit lorsqu'il est bien sec, est isolant.

La **bakélite** est une laque artificielle, incombustible. On s'en sert pour fabriquer des pièces moulées (tubes, barres, coffrets, etc.), soit à l'état pur, soit après incorporation de fibres de coton, de soie, etc.

La bakélite est également utilisée pour imprégner des tissus afin de les rendre non hygroscopiques, et sous forme de vernis isolants.

Le **bois,** à l'état sec est un bon isolant. On l'imprègne souvent de bakélite afin de le rendre non hygroscopique.

Le **caoutchouc** est un produit naturel, constitué par la sève de certains arbres. C'est un excellent isolant, utilisé à l'état naturel ou après addition de produits spéciaux. Il a l'inconvénient d'être combustible, attaquable par l'huile et il s'altère au contact de l'air. On produit du **caoutchouc artificiel** qui ne présente pas ces défauts.

Dans les câbles utilisés sur le matériel Diesel, l'isolement est généralement double; le cuivre étamé de conducteur est recouvert d'une 1re couche de caoutchouc servant à l'isolement et d'une 2e couche de caoutchouc synthétique (néoprène) pour la protection contre l'huile et la chaleur.

Le **coton** est un excellent isolant lorsqu'il est parfaitement sec. On s'en sert sous forme de fil (pour entourer les conducteurs), soit sous forme de tissus. Pour le préserver contre l'humidité, le coton est imprégné d'huile, de vernis, ou recouvert d'une gaine en caoutchouc.

L'eau chimiquement pure est un isolant. Dès qu'elle contient la moindre impureté, ce qui est pratiquement toujours le cas, elle devient conductrice. C'est ce qui explique son effet néfaste sur les isolants hygroscopiques (amiante, coton, bois).

L'**ébonite** est un dérivé du caoutchouc (mélange de caoutchouc est de soufre, comprimé à chaud). Elle se présente sous l'aspect d'une substance dure et noire, et est utilisée sous forme de plaques, tubes, etc, On peut la mouler à chaud. Depuis l'invention de la bakélite et d'autres isolants analogues, l'ébonite n'est plus que rarement utilisée dans l'industrie électrique.

La **fibre** est un mélange de bois et d'agglomérants. Elle perd ses propriétés isolantes par l'humidite.

Le **marbre** est une pierre naturelle utilisée comme tableaux sur lesquels on fixe des appareils à basse tension (moins de 500 V).

Le **mica** est un produit naturel et se présente sous forme de plaques brillantes qui peuvent aisément être divisées en feuilles minces. C'est un excellent isolant. Il est parfois utilisé à l'état pur, et on le mélange souvent, après broyage, avec du vernis. On peut ainsi le mouler en forme de feuilles, tubes, etc.

L'**huile** est un liquide isolant lorsqu'elle est pure. On s'en sert dans certains appareils à haute tension.

Le **papier** est un bon isolant. Pour supprimer son hygroscopicité, on l'imprègne d'huile. Il a l'inconvénient d'être très combustible.

La **porcelaine** est utilisée pour la fabrication de supports isolants appelés **isolateurs**, et dans les appareils électriques.

Le verre est également utilisé pour la fabrication d'isolateurs. Il est plus fragile que la porcelaine. On l'utilise également sous forme de soie de verre pour isoler des conducteurs.

Certains **vernis** spéciaux sont d'excellents isolants, dont on se sert pour imprégner le bois, le coton, etc, de manière à les rendre imperméables à l'eau.

Les **matières plastiques** sont utilisées soit sous forme d'émail pour l'isolement des fils constituant le bobinage des petits moteurs, soit sous forme de polyvinyl pour l'isolement des câbles particulièrement exposés à l'huile.

Le **silicone** est une résine qui, additionnée avec le mica ou la fibre de verre, constitue un isolant résistant à très haute température.

11 Fils et câbles. — Raccordement.

Les conducteurs sont constitués de fils (généralement ronds), de câbles (constitués par un toronnage de fils) ou de barres.

Sur le matériel roulant, les fils et les câbles sont généralement isolés.

Pour pouvoir facilement relier les conducteurs aux points des appareils auxquels ils doivent être raccordés, ceux-ci sont munis de tiges filetées avec écrous, appelées **bornes.**

Les extrémités des conducteurs sont raccordées aux bornes après enlèvement éventuel du guipage isolant, soit directement, soit après avoir été munis d'une **cosse** ou d'un **soulier.**

Les fig. 11, 12 et 13 représentent quelques types de conducteurs préparés pour le raccordement et quelques types de bornes.

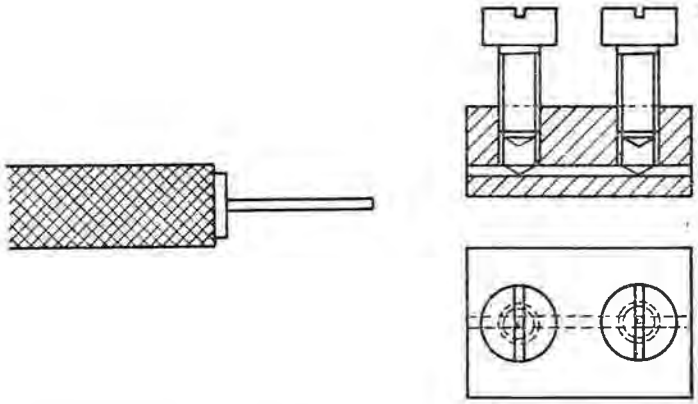


Fig. 11.

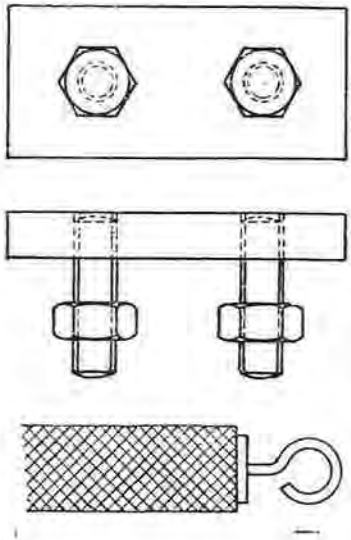


Fig. 12.

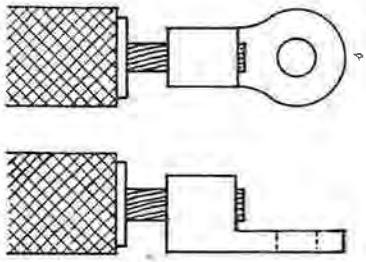


Fig. 13.

La fig. 14 indique comment on représente une borne sur les schémas.

Fig. 14.

12 Les interrupteurs.

Afin de pouvoir interrompre et rétablir facilement le courant circulant dans un appareil électrique, on se sert d'**interrupteurs.** Ils correspondent aux robinets et vannes dans les conduites d'eau, vapeur, gaz, etc.

Il est utile de faire remarquer que lorsqu'une vanne ou un robinet ne laissent pas passer le fluide dans le conduit, on dit qu'ils sont **fermés.**

En électricité au contraire, lorsqu'un interrupteur ne permet pas le passage du courant, on dit qu'il est **ouvert.**

Il y a divers types d'interrupteurs.

Dans un interrupteur **rotatif,** une pièce en cuivre peut occuper soit une position d'isolement (fig. 15a), soit une position dans laquelle elle relie les deux bornes de l'interrupteur (fig. 15b).

Fig. 15a.

Fig. 15b.

D'autres types d'interrupteurs sont constitués par des leviers (fig. 16).

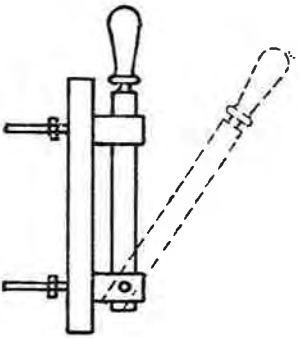


Fig. 16.

On les représente sur les schémas comme indiqué à la fig. 17.

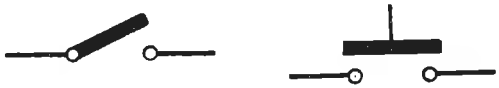


Fig. 17.

Lorsqu'un interrupteur coupe un seul circuit, on l'appelle **unipolaire.**

On utilise quelquefois des appareils **bipolaires** (2 circuits), ou **multipolaires** (plusieurs circuits).

Certains interrupteurs sont agencés de manière à former un circuit pour une position et un autre circuit pour une autre position, on les appelle interrupteurs à deux directions ou inverseurs.

Les schémas renseignés ci-après représentent quelques applications pour l'allumage de lampes d'éclairage, couramment appliqués dans les installations :

Fig. 18 : Allumage d'une lampe au moyen d'un interrupteur unipolaire.

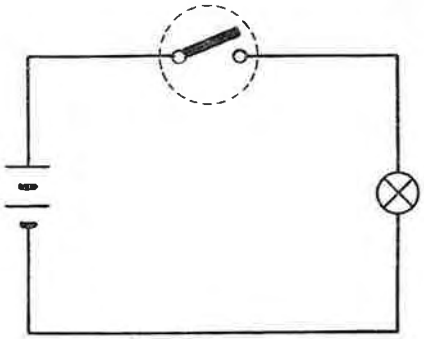


Fig. 18.

Fig. 19 : Allumage simultané de 2 lampes, au moyen d'un interrupteur unipolaire.

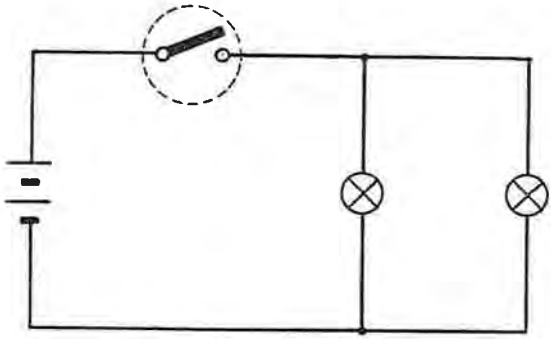


Fig. 19.

Fig. 20 : Allumage indépendant de 2 lampes.

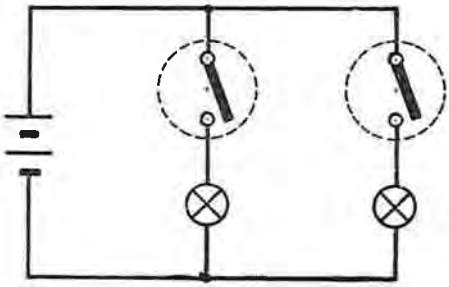


Fig. 20.

Fig. 21 : Allumage d'une ou de 2 lampes, séparément ou ensemble, au moyen d'un seul interrupteur (dit à double allumage). Dans la position 1, la lampe A seule brûle; dans la position 2, la lampe B

brûle; dans la position 3 les 2 lampes sont allumées simultanément (application dans les lustres).

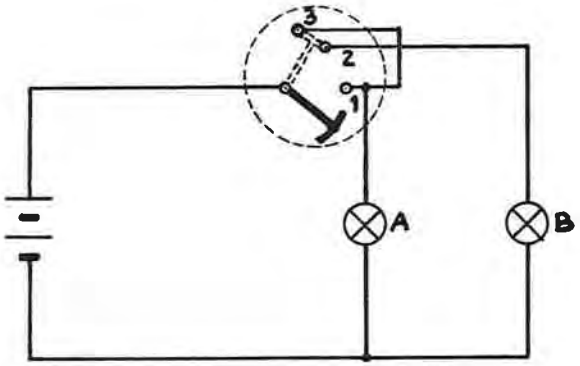


Fig. 21.

Fig. 22 : Allumage d'une lampe au moyen d'un interrupteur (à 2 directions) et extinction au moyen d'un autre (application dans les cages d'escalier).

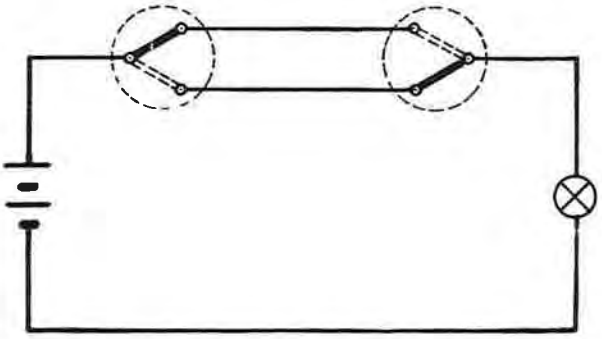


Fig. 22.

Fig. 23 : Raccordement d'un appareil quelconque R au moyen d'un interrupteur bipolaire à une batterie.

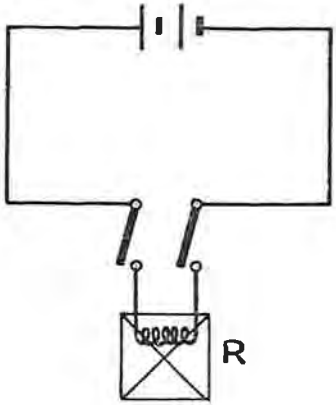


Fig. 23.

13 La résistance.

Considérons (fig. 24) un circuit comprenant une force électromotrice E (mesurable au moyen d'un voltmètre), un appareil consommateur R (lampe à incandescence, réchaud, etc.), et un ampèremètre A.

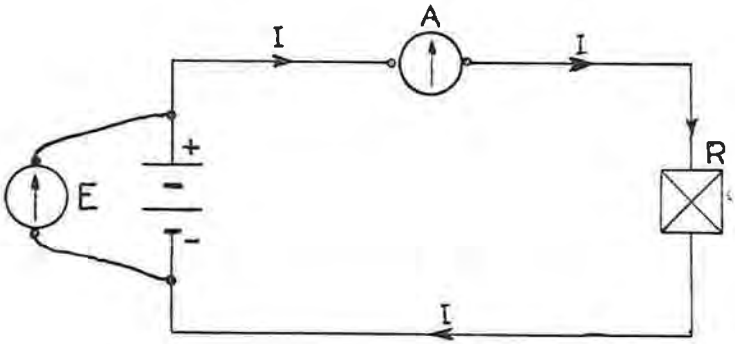


Fig. 24.

Dans ce circuit circule un courant que nous appelons I.

Admettons, pour fixer les idées, que E = 220 V.

Supposons que R soit une lampe d'éclairage; l'ampèremètre indiquera un courant de 0,45 A par exemple.

Remplaçons la lampe par un réchaud électrique; l'ampèremètre indiquera 2,2 A par exemple.

On constate donc que la lampe et le réchaud laissent passer un courant qui est différent pour chacun d'eux.

Le réchaud laisse passer un courant plus fort; il oppose une **résistance** plus faible au passage du courant. On dit qu'il a une résistance électrique plus faible que la lampe.

14 La loi d'Ohm.

Considérons le même circuit dans lequel nous conservons un appareil consommateur R qui pour une tension de 220 V, laisse passer un courant de 2,2 A.

Remplaçons la source de 220 V par une autre de 110 V; on constatera que le courant n'atteint plus que 1,1 A.

Remplaçons la source de 110 V par une autre de 440 V; on constatera que le courant atteint 4,4 A.

Pour un appareil donné, on voit que la tension E et le courant I sont dans un rapport constant :

$$\frac{220\ \text{V}}{2{,}2\ \text{A}} = \frac{110\ \text{V}}{1{,}1\ \text{A}} = \frac{440\ \text{V}}{4{,}4\ \text{A}}\ (= 100).$$

Ce rapport, constant pour un appareil donné, définit ce qu'on appelle la **résistance** électrique R de l'appareil.

On a donc :

$$\frac{\text{Tension (E)}}{\text{Courant (I)}} = \text{résistance (R)}$$

ou $\frac{E}{I} = R.$

C'est la **loi d'Ohm.**

On peut aussi l'écrire :

$$I = \frac{E}{R}$$

et $E = I \times R$.

L'unité de résistance est appelée **ohm** (Ω). C'est une résistance telle que lorsqu'on applique une tension d'un volt à ses bornes, le courant qui circule dans la résistance est de un ampère. On se sert parfois des multiples et sous-multiples **megohm** (1 million d'ohms) et **microhm** (1 millionième d'ohm).

La fig. 25 indique divers modes de représentation d'une résistance sur les schémas.

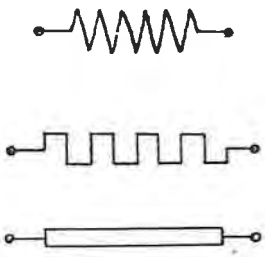


Fig. 25.

15 Application de la loi d'Ohm.

a) En appliquant aux bornes d'un fer à repasser électrique une tension E de 130 V, il y circule un courant I de 3,9 A.

Quelle est la résistance R de ce fer à repasser ?

Réponse : $R = \frac{E}{I} = \frac{130\ V}{3{,}9\ A} = 33\ \Omega$.

b) Aux extrémités d'un appareil ayant une résistance R de 4 Ω, on applique une tension E de 100 V. Quel est le courant I qui circulera dans l'appareil ?

Réponse : $I = \frac{E}{R} = \frac{100\ V}{4\ \Omega} = 25\ A$.

c) Quelle tension E faut-il appliquer à un appareil de 127 Ω pour qu'il circule un courant I de 2 A ?

Réponse : $E = I \times R = 2 \times 127 = 254$ V.

16 Chute de tension dans un conducteur.

Dans le conducteur AB (fig. 26), aux extrémités duquel on a appliqué une tension de 36 V, il circule un courant :

$$I = \frac{36\ V}{3\ \Omega} = 12\ A.$$

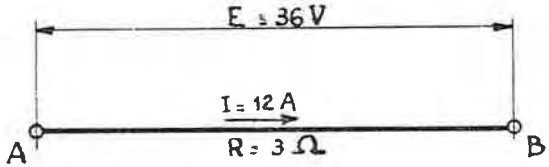


Fig. 26.

Lorsque 12 A circulent dans un conducteur, 36 V sont absorbés.

On dit que ce conducteur provoque une **chute de tension** de 36 V.

Exemple :

Considérons (fig. 27) une source de courant S alimentant un appareil consommateur R par deux conducteurs AB et CD présentant ensemble une résistance de 0,5 Ω.

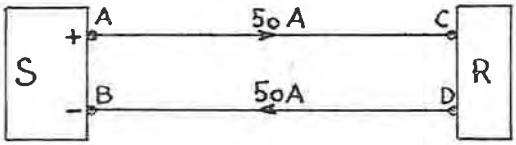


Fig. 27.

La tension aux bornes A et C de S est de 220 V; le récepteur absorbe 50 A. Quelle est la tension aux bornes B et D du récepteur ?

La chute de tension est (loi d'Ohm) :

$E = IR = 50 \times 0{,}5 = 25$ V.

La tension aux bornes du récepteur est donc :

220 V — 25 V = 195 V.

17 La résistivité.

Considérons encore la fig. 24, et supposons que l'appareil consommateur soit constitué par un fil de fer de 1 m de long et 1 mm² de section.

Supposons que E soit une force électromotrice (f.e.m.) de 2 V. On constatera, grâce à l'ampèremètre que le courant qui circule dans le circuit atteint 20 A.

Remplaçons ce fil par un autre, de même nature et de même section, mais ayant 2 m de longueur; le courant n'est plus que de 10 A.

Remplaçons finalement ce fil par un fil de fer de 1 m et ayant une section de 2 mm²; le courant atteint maintenant 40 A.

En renouvelant cette expérience avec des fils de diverses longueurs et de diverses sections, on trouve que la résistance R d'un conducteur est proportionnelle à sa longueur l et inversement proportionnelle à sa section s.

On écrit donc en formule :

$$R = r \frac{l}{s}$$

dans laquelle r est un coefficient dépendant de la nature du corps. Ce coefficient est appelé **résistivité.**

Sa valeur dépend des unités choisies pour l et s.

Pour le cuivre :

$r = 0{,}017\ \Omega/m/mm^2$.

Pour le fer :

$r = 0{,}10\ \Omega/m/mm^2$.

Cela revient à dire qu'un fil de cuivre de 1 mm² de section et de 1 km de longueur a une résistance de 17 Ω. Dans les mêmes conditions, le fil de fer a une résistance de 100 Ω.

18 Branchement de résistances en série.

Deux résistances R_1 et R_2 sont en **série** lorsqu'elles sont raccordées comme indiqué à la fig. 28.

Fig. 28.

On peut démontrer que la résistance de l'ensemble est égale à la **somme** des résistances partielles.

Cette loi est générale pour un nombre quelconque de résistances branchées en série.

On se sert de cette propriété pour la constitution de résistances variables, appelées **rhéostats.**

Un rhéostat (fig. 29) se compose de plusieurs résistances branchées en série et raccordées à des **plots** 1, 2, 3, 4, 5. Sur ces plots peut s'appuyer un contact mobile relié à la borne A du rhéostat.

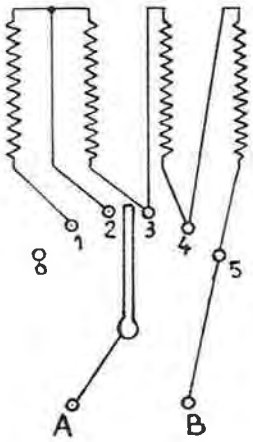


Fig. 29.

Lorsque le contact mobile est sur le plot 0, le circuit est coupé. Sur le plot 1 toutes les résistances sont intercalées. En déplaçant le contact mobile sur 2, une résistance est éliminée, etc.

Sur le plot 5, la résistance est entièrement hors du circuit.

Sur les schémas, un rhéostat est souvent dessiné comme indiqué à la fig. 30.

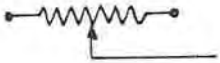


Fig. 30.

19 Branchement de résistances en parallèle.

On dit que deux résistances R_1 et R_2 sont branchées en **parallèle** lorsqu'elles sont raccordées comme l'indique la fig. 31.

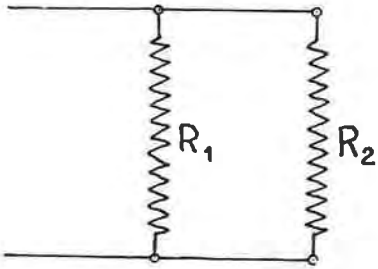


Fig. 31.

On peut démontrer que dans ce cas, la valeur de la résistance R de l'ensemble est donnée par la relation :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

Cette loi est générale pour un nombre quelconque de résistances.

Dans le cas particulier de deux résistances, on peut écrire :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_2 + R_1}{R_1 \times R_2}$$

ou

$$R = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}.$$

Lorsque $R_1 = R_2$ on a $R = \frac{R_1}{2} = \frac{R_2}{2}$.

Exemple :

Une résistance de 0,2 Ω et une résistance de 0,3 Ω sont branchées en parallèle.

La résistance de l'ensemble sera :

$$R = \frac{0{,}2 \times 0{,}3}{0{,}2 + 0{,}3} = \frac{0{,}06}{0{,}5} = 0{,}12\ \Omega.$$

On remarquera que la résistance de l'ensemble est plus petit que chacune des résistances mises en parallèle.

20 L'effet Joule.

Lorsqu'on fait passer un courant I à travers une résistance R, celle-ci s'échauffe.

C'est comme si le courant électrique éprouvait des difficultés à passer à travers la résistance. Pour le faire passer, il faut développer un certain travail et ce travail est transformé en chaleur.

Ce travail est proportionnel à la résistance et au carré du courant.

L'échauffement de la résistance est appelé **effet Joule.**

Ce phénomène est mis à profit dans les radiateurs et réchauds électriques.

On l'applique également dans les lampes à incandescence, qui comportent un filament porté à une température telle qu'il devient lumineux.

Dans les autres cas, l'effet Joule dû au passage du courant dans les conducteurs est **nuisible,** puisqu'il provoque une perte d'énergie.

Afin de limiter les échauffements de conducteurs dans lesquels passe du courant, donc limiter I^2 R, il faut limiter R.

$$\text{Comme } R = r \frac{l}{s}$$

il faut choisir des conducteurs ayant une résistivité faible (donc du cuivre) et une section s suffisamment grande.

21 **Le court-circuit.**

Considérons une source S de 110 V reliée à un récepteur ayant une résistance de 10 Ω par des conducteurs ayant une résistance totale de 1 Ω (fig. 32).

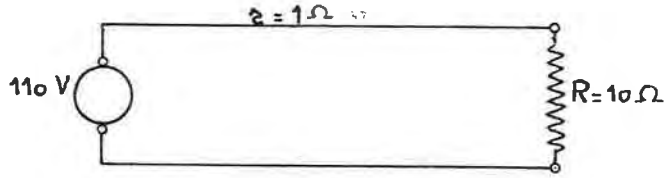


Fig. 32.

La résistance totale est 10 + 1 = 11 Ω.

Le courant qui circule dans les conducteurs et le récepteur atteint :

$$I = \frac{E}{R} = \frac{110}{11} = 10 \text{ A.}$$

Supposons que les deux bornes du récepteur soient reliées par un conducteur sans résistance. On dit que le récepteur a été mis en **court-circuit.**

Dans ces conditions, le courant dans les conducteurs devient :

$$I = \frac{110}{1} = 110 \text{ A.}$$

Ce courant est nuisible pour les conducteurs qui n'ont pas été prévus pour laisser passer ce courant anormal.

La même chose se passerait si, en un point quelconque entre la source et le récepteur, ces deux conducteurs venaient en contact entre eux.

Pour protéger les conducteurs contre un échauffement dangereux, on intercale des **fusibles.**

22 Les fusibles.

Un fusible est constitué par un bout de fil, de section calibrée pour une intensité de courant déterminée.

Lorsque le courant qui passe dans le fusible dépasse cette valeur, il fond après un temps plus ou moins court, interrompant ainsi le circuit.

Sur les schémas, les fusibles sont dessinés comme l'indique la fig. 33.

Fig. 33.

On utilise différents types de fusibles dans les installations. Ils sont brièvement décrits ci-dessous.

Le **fusible sur mica** est utilisé sur certains tableaux d'éclairage de voitures à la S.N.C.B.

Il est composé (fig. 34) d'une lame de mica sur laquelle sont fixés deux souliers réunis par un fil fusible, en argent. On le fixe sur des bornes constituées par des tiges filetées munies d'écrous.

Fig. 34.

Le **fusible à bouchon** est composé d'un petit cylindre creux en porcelaine, muni de plaques métalliques à ses extrémités. Le fil fusible relie les deux plaques (fig. 35).

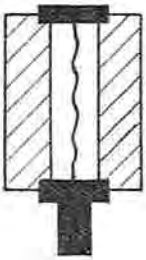


Fig. 35.

On le place dans un support fixe, en procelaine, dont la base est munie d'une pièce métallique constituant une des bornes, tandis qu'on visse sur le fusible un bouchon fileté qui est relié à l'autre borne.

L'ensemble est appelé **coupe-circuit** (fig. 36).

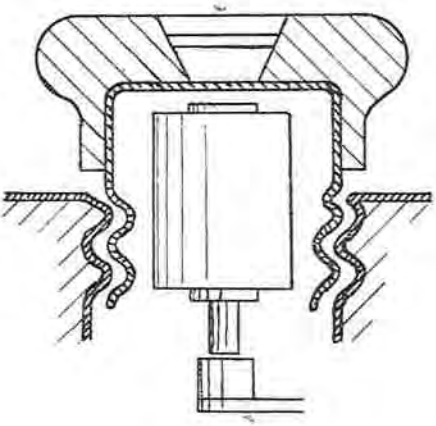


Fig. 36.

Dans le **coupe-circuit à cartouche,** le fusible est placé dans un cylindre creux en matière isolante telle que porcelaine, fibre ou bakélite (fig. 37).

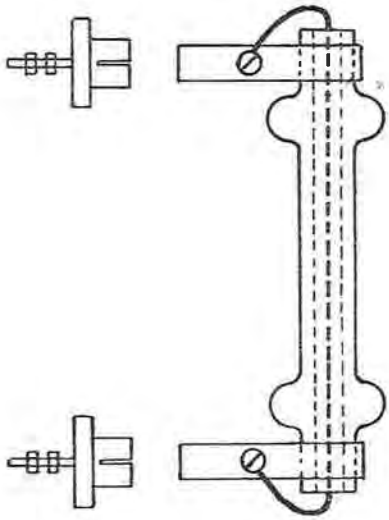


Fig. 37.

Les **fusibles type Gardy** sont constitués par un fil relié à deux fiches montées sur une pièce en porcelaine (fig. 38).

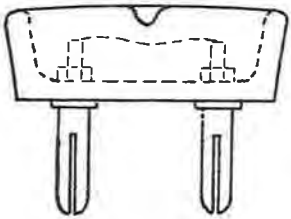


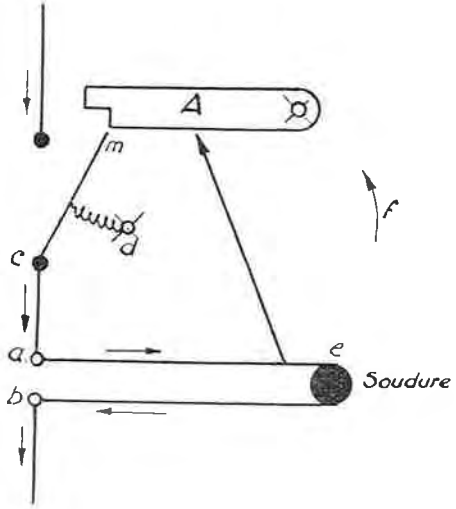
Fig. 38.

Pour la basse tension, les calibres commerciaux courants sont de 2, 4, 6, 10, 25 et 50 A.

Sur le matériel Diesel-électrique on utilise des fusibles de 80, 100, 250 et 400 ampères dans les circuits basse tension. Ce sont des fusibles à cartouche se présentant sensiblement sous le même aspect que ceux représentés à la fig. 37; ils sont remplis d'une matière inerte destinée à éteindre l'arc en cas de fusion.

On utilise également, pour les circuits principaux à basse tension, des disjoncteurs servant à la fois d'interrupteurs et de fusibles. Ils sont du type magnétique ou du type thermique et sont calibrés soit à 15, soit à 35 A.

Le type thermique est représenté à la fig. 39. Le courant suit le chemin indiqué par les flèches, échauffe les 2 lames et par suite de la différence de dilatation, fait pivoter l'ensemble vers le haut (flèche f) et pousse la pièce A au

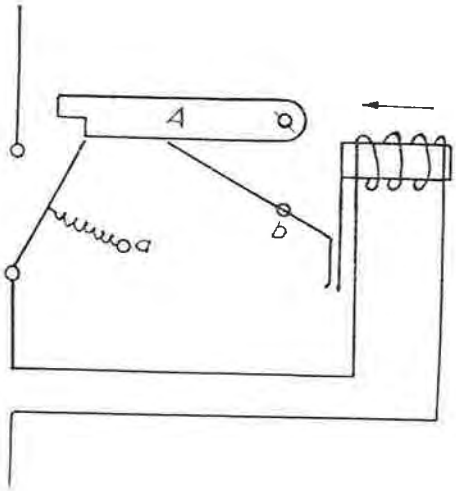


a, b, c, d : points fixes.
a e : lame à faible coefficient de dilatation
b e : lame à fort coefficient de dilatation.

Fig. 39

cas où le courant dépasse la valeur de déclenchement prévue; la pièce A, en se soulevant dégage la pièce mobile m qui est attirée par un ressort.

Dans le type magnétique (fig. 40), le courant traverse un électro-aimant (voir nº 33) ; lorsque la valeur de déclenchement est atteinte, l'armature est attirée; elle soulève la pièce A et le déclenchement s'opère comme dans le type thermique.



a, b, c, d: points fixes

fig. 40

23 Les lampes à incandescence.

Une lampe à incandescence est constituée par un filament enfermé dans un globe de verre dans lequel on a fait le vide.

65 Organes de commande.

Les organes ne sont autres, le plus souvent, que des interrupteurs destinés, soit à la mise sous tension des fils de train de tous les engins moteurs accouplés, soit à des commandes bien particulières à chaque engin moteur (par exemple l'éclairage).

Les interrupteurs sont placés sur le tableau de bord, à portée de la main du machiniste, s'ils doivent être manœuvrés pendant la marche du train ou sont rassemblés sur un tableau spécial, souvent dans l'armoire d'appareillage, s'ils ne doivent être manœuvrés qu'au début et à la fin de chaque service. Les fusibles sont placés également sur ce tableau.

Il existe aussi des commandes à air comprimé : ce sont des détendeurs qui utilisent de l'air à 5 kg/cm^2 et l'abaissent à une pression variable d'après la position de la manette; ce système est souvent utilisé pour la commande de la vitesse du moteur Diesel.

Les interrupteurs qui permettent indirectement la mise en circuit des moteurs de traction, et qui doivent donc être manœuvrés fréquemment pendant la marche du train, se présentent sous forme de balais appuyant sur des pièces de contact fixées sur des tambours (fig. 98). Ces tambours sont munis d'une manivelle.

Pour fermer un des interrupteurs, il faut faire tourner le tambour.

On distingue :

— le tambour d'inversion du sens de marche, destiné à réaliser la marche avant ou arrière;

— le tambour d'accélération, destiné au réglage de la vitesse du moteur Diesel;

— le tambour de sélection destiné à choisir soit la traction, soit le freinage rhéostatique (locomotives types 202 et 203 seulement).

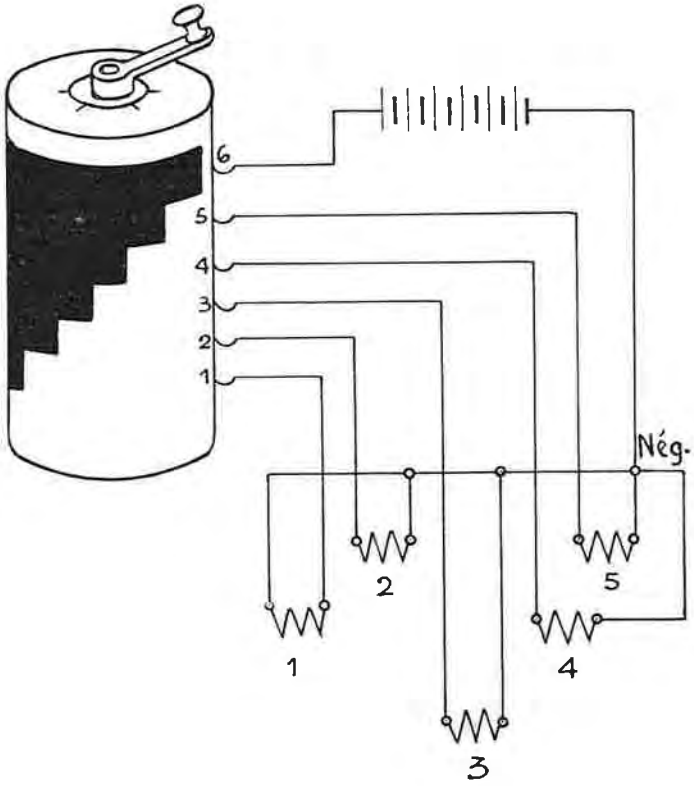


Fig. 98.

Remarque.

Dans certains cas, plusieurs interrupteurs disposés en série, doivent tous être fermés avant que la bobine de l'organe commandé ne soit alimentée.

La longueur et le diamètre du filament sont fonction de l'intensité lumineuse désirée et du voltage.

Les extrémités du filament sont raccordées au culot de la lampe (généralement en laiton).

On distingue 2 types de culot : le culot **Edison** et le culot **Swan.**

Le culot **Edison** a la forme d'une vis; le métal de la vis constitue une des bornes. L'autre borne est constituée par le plot extrême, et est isolée de l'autre borne (fig. 41).

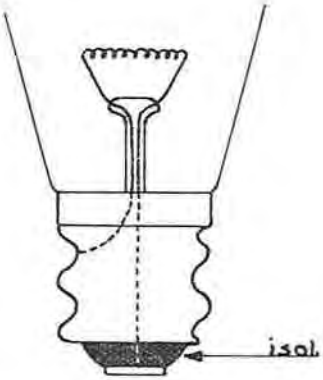


Fig. 41.

Le culot **Swan** au contraire est cylindrique et le fond est constitué d'une matière isolante; les 2 bornes du filament sont raccordées sur le fond du culot (fig. 42).

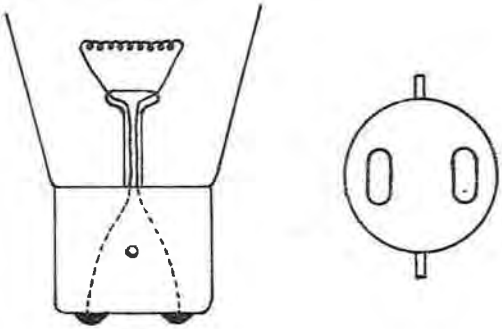


Fig. 42.

Les lampes sont fixées dans des **sockets** de forme différente selon qu'il s'agit de lampes à culot Edison ou Swan.

Les dimensions des culots et des sockets sont standardisées.

24 **Le travail et la puissance en électricité.**

Rappelons que, pour soulever un poids de F kg à h mètres de hauteur, il faut développer un **travail** de F × h, exprimé en kilogrammètres (kgm).

La **puissance** est, par définition, égale au travail développé par seconde (unités : 1 kgm/s et **cheval** = 75 kgm/s).

Considérons une pompe, refoulant de l'eau à 11 m de hauteur, à raison de 3,6 m^3 par minute (ou 3600 l/min).

Le débit de 3,6 m^3/min correspond à un poids d'eau de 3600 kg/min, ou 60 kg par seconde.

La pompe développera donc une puissance utile de

$$60 \times 11 = 660 \text{ kgm/s ou } 8{,}8 \text{ ch } \left(\frac{660}{75} = 8{,}8\right).$$

On remarque que cette puissance est proportionnelle à la hauteur et au débit.

En électricité, le courant peut être comparé au débit de l'eau, tandis que la tension est comparable à la hauteur de refoulement de la pompe.

En électricité, on a adopté le **watt** (W) comme unité de **puissance.**

1 W = 1 V × 1 A.

On se sert souvent d'un multiple : kilowatt (kW).

1 kW = 1000 W.

En électricité, comme en mécanique, le **travail** est égal à la puissance multipliée par le temps pendant lequel cette puissance est développée.

L'unité de travail est le watt × seconde.

On se sert souvent d'un multiple : le **kilowattheure** (kWh).

$$1\ \text{kWh} = 1\ \text{kW} \times 1\ \text{h}$$
$$= 1000\ \text{W} \times 3600\ \text{s}$$
$$= 3\,600\,000\ \text{Ws}.$$

Ce travail est souvent appelé **consommation** d'électricité.

Entre les unités de puissance utilisées en mécanique et en électricité existe la relation suivante :

1 ch = 736 W.

On peut en déduire que :

$$1\ \text{W} = \frac{1}{736}\ \text{ch}$$

$$1000\ \text{W} = 1\ \text{kW} = \frac{1000}{736}\ \text{ch}$$

ou **1 kW = 1,36 ch.**

La relation 1 ch = 736 W peut également s'écrire :

75 kgm/s = 736 W

d'où 75 kgm = 736 Ws.

1 kgm = 9,8 Ws.

25 Exemples de calcul de puissance et de consommation.

a) Un fer à repasser électrique absorbe 2,27 A sous 220 V. Quelle est sa puissance ?

2,27 A × 220 V = 500 W.

b) Un réchaud électrique de 1000 W est alimenté à 110 V. Quel est le courant absorbé ?

$$\frac{1000\ \text{W}}{110\ \text{V}} = 9{,}1\ \text{A}.$$

c) Une lampe à incandescence de 60 W brûle pendant 3,5 h. La Société qui fournit le courant facture le kWh à 2,50 F. Quelle est la dépense ?

La consommation est :

$60 \times 3{,}5 = 210$ Wh $= 0{,}21$ kWh.

La dépense est :

$2{,}50 \times 0{,}21 = 0{,}52$ F.

d) Une locomotive comporte 6 moteurs, qui à un instant donné absorbent chacun 400 A sous 470 V.

Quelle est la puissance totale absorbée ?

6×470 V $\times$ 400 A $= 1\,128\,000$ W
$= 1128$ kW ou 1535 ch.

26 Les compteurs ampèreheuremètres.

La consommation d'electricité est mesurée au moyen d'appareils généralement appelés compteurs.

Il en existe de différents types.

On se sert de compteurs dits **ampèreheuremètres** lorsqu'il s'agit de mesurer l'énergie consommée sous tension constante.

Rappelons que :

wattheure = volt $\times$ ampère $\times$ heure.

Si la tension est constante, on peut ne pas tenir compte de la tension et mesurer une consommation en ampères-heures.

L'indication marquée sur le compteur est à multiplier par la tension pour déterminer l'énergie consommée.

27 Les compteurs wattheuremètres.

Dans ces appareils, il est tenu compte de la tension, ce qui est nécessaire lorsque cette tension est variable.

Un wattheuremètre comporte notamment un disque animé d'un mouvement de rotation lorsque le circuit sur lequel le compteur est branché absorbe ou débite du courant.

Ce disque entraîne une minuterie qui fait tourner des aiguilles devant les cadrans gradués ou des voyants portant des chiffres.

Les cadrans gradués se présentent sous une des formes indiquées aux fig. 43 et 44.

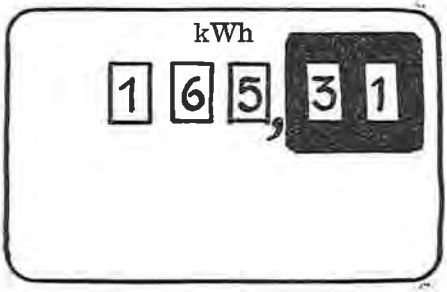


Fig. 43.

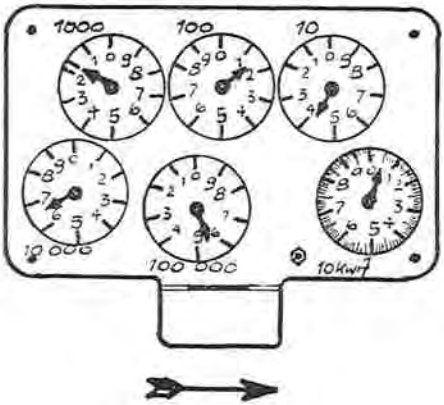


Fig. 44.

28 L'aimant.

Certains minerais de fer possèdent la propriété naturelle d'attirer le fer, l'acier, le nickel. Ce sont des **aimants naturels.**

On peut communiquer cette propriété à du fer ordinaire et à l'acier.

On obtient alors un **aimant artificiel.**

On donne généralement aux aimants la forme d'un barreau (cylindrique ou prismatique), d'un fer à cheval, ou d'une aiguille.

29 L'aiguille aimantée.

Une aiguille aimantée, disposée sur un pivot vertical de manière à être libre autour d'un axe vertical, possède la propriété de s'orienter toujours dans la même direction Nord-Sud.

L'une des extrémités indique la direction pôle Nord, tandis que l'extrémité opposée indique la direction du pôle Sud.

C'est pour ce motif que les extrémités de l'aiguille sont appelées les pôles. L'extrémité qui se dirige vers le Nord est appelée **pôle Nord** de l'aiguille aimantée (fig. 45).

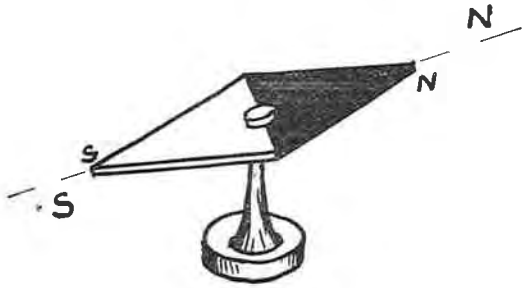


Fig. 45.

Lorsqu'on dévie l'aiguille de cette direction générale Nord-Sud, elle reprend automatiquement sa direction.

Une aiguille aimantée s'appelle **boussole.**

La ligne qui relie les pôles est appelée **axe magnétique.**

Un barreau aimanté quelconque possède les mêmes propriétés et possède donc lui aussi deux pôles.

30 Phénomènes d'attraction et de répulsion.

Lorsqu'on dispose d'un aimant et d'une boussole, il est facile de constater que :

a) deux pôles de nom contraire s'attirent;

b) deux pôles de même nom se repoussent.

Dans tout bon aimant, la propriété d'attirer le fer est localisée aux extrémités.

Lorsqu'on plonge un barreau aimanté dans de la limaille de fer, celle-ci reste uniquement collée aux extrémités (fig. 46).

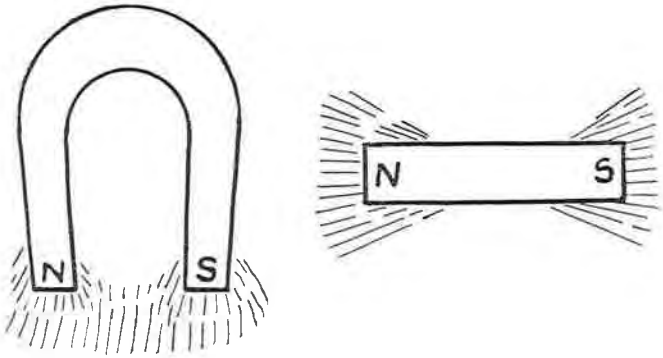


Fig. 46.

Cependant, lorsqu'on scie un barreau aimanté, par le milieu, on obtient deux aimants (fig. 47).

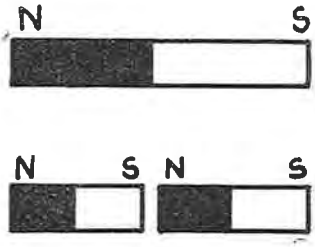


Fig. 47.

31 Le spectre magnétique.

Lorsqu'on place un barreau aimanté sous une feuille de papier, et que l'on saupoudre de la limaille de fer sur cette feuille, on constate que celle-ci ne se dispose pas d'une façon quelconque, mais s'oriente au contraire en formant un dessin régulier (fig. 48).

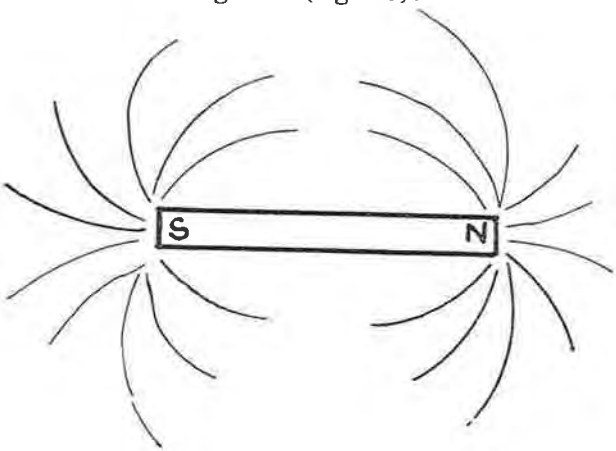


Fig. 48.

C'est ce qu'on appelle un **spectre magnétique.**

Chacune des particules de fer est devenue un petit aimant (fig. 49), et tous ces aimants élémentaires se sont orientés sous l'influence des forces magnétiques de leurs voisins.

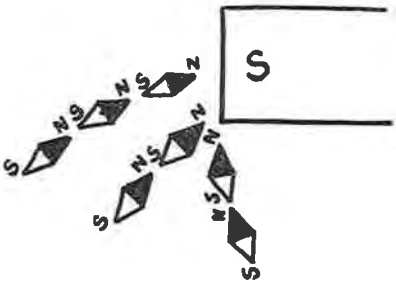


Fig. 49.

32 L'induction ou l'influence magnétique.

L'espace qui environne un aimant, et dans lequel il exerce son action, est le **champ magnétique.**

En disposant un corps magnétique dans ce champ, il s'aimante à son tour, par **influence.**

Ce phénomène est appelé **induction magnétique.**

33 Les électro-aimants.

Un conducteur enroulé en hélice, et dans lequel on fait circuler un courant électrique (fig. 50) se comporte comme un aimant.

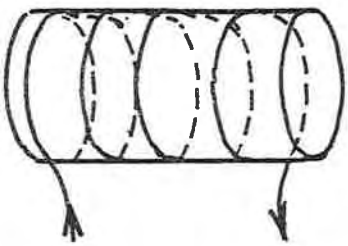


Fig. 50.

C'est ce qu'on apelle un **solénoïde.**

Lorsqu'on introduit dans ce solénoïde un barreau en fer ou en acier, celui-ci est fortement aimanté; on obtient ainsi un **électro-aimant.**

La puissance d'attraction de cet électro-aimant est proportionnelle au nombre de tours n de l'hélice et au courant I; ce produit (n × I) est appelé nombre d'**ampère-tours.**

Les propriétés des électro-aimants sont très employées en électrotechnique.

La sonnerie électrique en est une simple application.

Elle est constituée (fig. 51) par un électro-aimant A, dont le noyau peut attirer une armature mobile B fixée sur une lame de ressort R. Cette armature mobile porte une tige avec boule, pouvant frapper sur le timbre C.

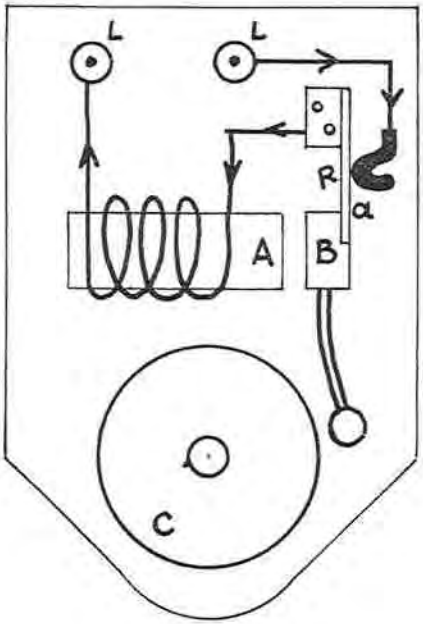


Fig. 51.

Lorsqu'on applique une tension aux bornes L de la sonnerie, le courant circule dans le sens des flèches par exemple. L'électro-aimant A est excité et attire l'armature mobile. Dès ce moment le circuit est interrompu en **a**, l'armature revient au repos grâce à l'action du ressort, ce qui referme le circuit, etc.

34 **Expériences d'Oersted.**

Considérons un conducteur rectiligne, parcouru par un courant I, disposé **au-dessus** d'une boussole.

On constate que l'aiguille dévie.

Si nous renversons le sens du courant, le sens de rotation de l'aiguille est renversé.

Le sens de rotation de l'aiguille est également renversé si, en conservant le sens du courant, nous plaçons le conducteur **sous** l'aiguille.

Réciproquement, si le conducteur est mobile, et que l'aimant est fixe, le conducteur tend à se disposer perpendiculairement à l'aimant.

Ces expériences sont à la base du fonctionnement des appareils de mesure (ampèremètres, voltmètres, etc.) et des moteurs.

35 L'ampèremètre.

L'**ampèremètre** est un appareil destiné à la mesure des intensités de courant. Lorsqu'il sert à la mesure de courants faibles inférieurs à un ampère, on l'appelle généralement milliampèremètre.

Il en existe de deux types.

Dans le premier, un aimant mobile, autour d'un axe est disposé à l'intérieur d'une bobine dans laquelle on fait circuler le courant à mesurer.

Sous l'action du courant, qui produit un champ magnétique, l'aimant tourne.

Une aiguille fixée à l'aimant se meut devant une échelle graduée (fig. 52).

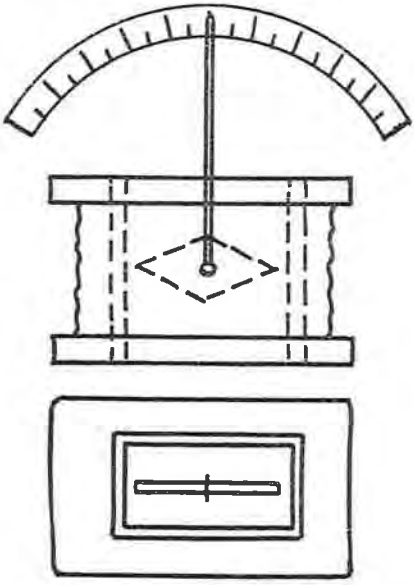


Fig. 52.

Dans le deuxième type d'ampèremètre, c'est au contraire une bobine mobile qui est placée entre les pôles d'un aimant en fer à cheval (fig. 53).

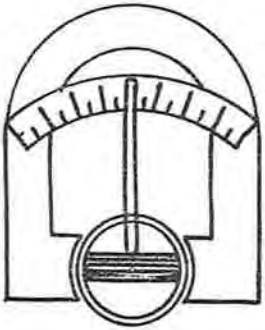


Fig. 53.

36 Le shunt.

Etant donné les dimensions réduites qu'il faut donner aux appareils de mesure, et aux ampèremètres en particulier, les bobinage utilisés sont réalisés au moyen de fil fin, et ne peuvent donc supporter que des courants faibles.

Pour mesurer les intensités élevées, on se sert d'un artifice, qui consiste à ne faire passer dans l'appareil qu'une partie du courant.

A cet effet, on dérive aux bornes de l'ampèremètre une résistance, appelée **shunt** (fig. 54).

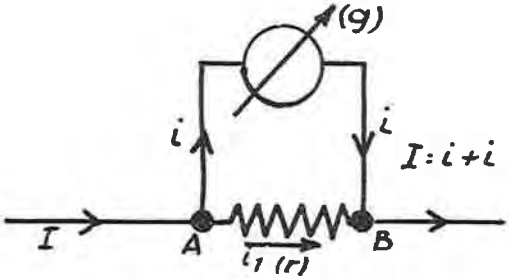


Fig. 54.

Le courant total à mesurer I se divise en i (qui passe dans l'appareil) et i_1.

Si g et r sont respectivement la résistance de l'appareil et du shunt, on peut, connaissant g, et le courant maximum i que supporte l'appareil, déterminer la valeur à donner à r pour qu'on puisse mesurer un courant I.

37 Le voltmètre.

Supposons une batterie E de 100 V (fig. 55), dont nous voulons mesurer la tension. Branchons aux bornes de cette batterie une résistance R de 10 000 Ω et un milliampèremètre mA.

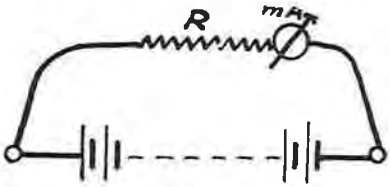


Fig. 55.

Le courant qui circule dans le milliampèremètre sera, d'après la loi d'Ohm et en négligeant la résistance interne très faible, du milliampèremètre

$$I = \frac{E}{R} = \frac{100}{10\,000} = 0{,}01 \text{ A} = 10 \text{ mA}.$$

En face de cette graduation nous marquerons : 100 V.

Reprenons l'ensemble « résistance — mA » et branchons-le aux bornes d'une batterie de 50 V.

Le courant sera de 5 mA : on marquera 50 V sur l'échelle, etc.

Nous avons ainsi réalisé un voltmètre.

38 Définition de courants induits.

Considérons (fig. 56) un tube en matière isolante sur lequel on a enroulé à spires jointives, un conducteur isolé. Les deux extrémités de ce conducteur aboutissent à des bornes auxquelles on raccorde un milliampèremètre mA.

Si l'on fait plonger par un mouvement brusque un barreau aimanté NS dans le tube, on constate que l'aiguille du milliampèremètre dévie.

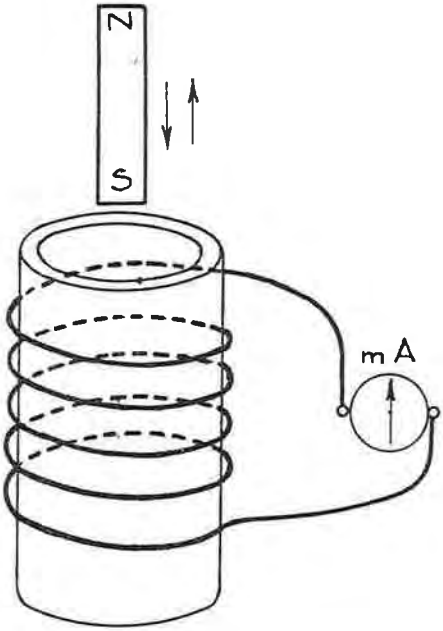


Fig. 56.

Si on retire l'aimant, l'aiguille milliampèremètre dévie à nouveau, mais la déviation se fait cette fois dans un sens opposé à celui de l'expérience précédente.

Les déviations du milliampèremètre démontrent l'existence d'un courant dans le conducteur de la bobine, courant qui naît du déplacement de l'aimant par rapport aux conducteurs.

Ce courant existerait également si le conducteur se déplaçait par rapport au barreau aimanté.

C'est un **courant induit.**

La naissance du courant prouve l'existenc d'une force électromotrice (f.e.m.).

On retiendra que :

Lorsqu'un conducteur se déplace par rapport à un aimant (ou réciproquement), il naît une f.e.m. induite dans ce conducteur.

Ce principe est à la base de la théorie des dynamos ou générateurs d'énergie électrique.

39 Courants inducteurs et induits.

On a vu plus haut (art. 33) qu'un conducteur enroulé en hélice (solénoïde) et dans lequel on fait circuler un courant, se comporte comme un aimant.

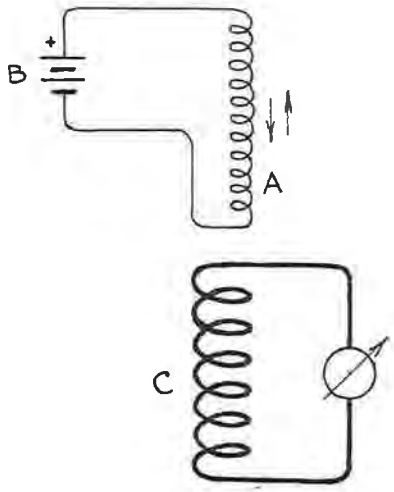


Fig. 57.

Remplaçons (fig. 57) le barreau aimanté de l'expérience précédente par un solénoïde, alimenté par une batterie ou une pile B, et faisons le plonger dans le solénoïde C relié à un milliampèremètre.

L'aiguille dévie.

En retirant le solénoïde A, l'aiguille du milliampèremètre dévie en sens opposé.

Le courant qui circule dans A et qui provoque la f.e.m. dans C est appelé **courant inducteur,** par opposition au courant **induit** qui naît dans C.

40 Principe des génératrices.

La dynamo est une machine rotative, entraînée par un moyen quelconque, et produisant de l'énergie électrique (voir art. 3).

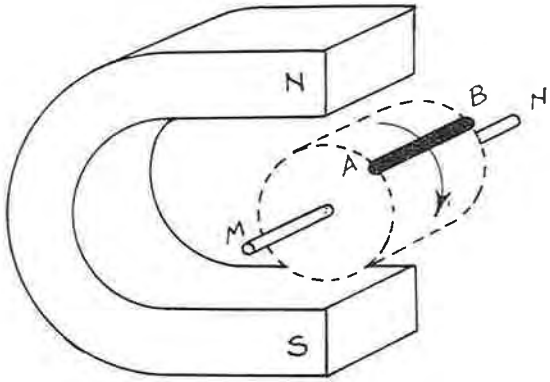


Fig. 58.

Considérons (fig. 58) un conducteur AB fixé sur un tambour isolant animé d'un mouvement de rotation (schématisé sur la figure) entre les pôles d'un aimant permanent NS.

En vertu de ce qui a été expliqué à l'art. 38, il naît une f.e.m. dans ce conducteur.

Comme il serait pratiquement difficile de relier les extrémités du conducteur mobile à un appareil de mesure fixe, il faut user d'un artifice.

On relie le conducteur à deux bagues E et F, en cuivre, fixées sur l'arbre MN et isolées de celui-ci (fig. 59).

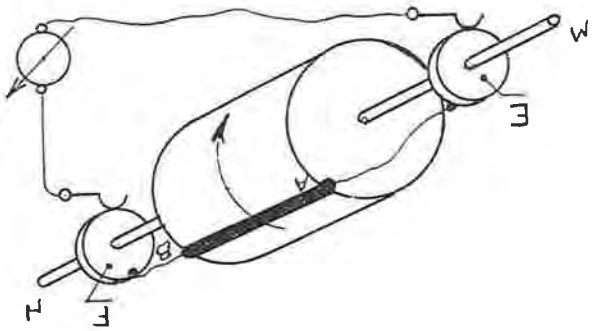


Fig. 59.

On pourra dès lors, faire frotter les pièces de contact (appelées **balais**) sur ces bagues et relier ces balais à l'appareil de mesure.

On constate que la déviation du milliampèremètre change continuellement de sens, ce qui prouve que la f.e.m. n'a pas un sens constant, mais est **alternative.**

On a obtenu une génératrice d'énergie électrique à courant alternatif.

Ce genre de courant est utilisé industriellement. On ne l'emploie cependant pas sous cette forme pour la traction électrique en Belgique.

Le courant dont en veut disposer pour cette application doit être **continu,** c'est-à-dire qu'il doit toujours circuler dans le même sens.

41 La dynamo.

L'artifice dont on se sert pour produire du courant continu constitue le **collecteur.**

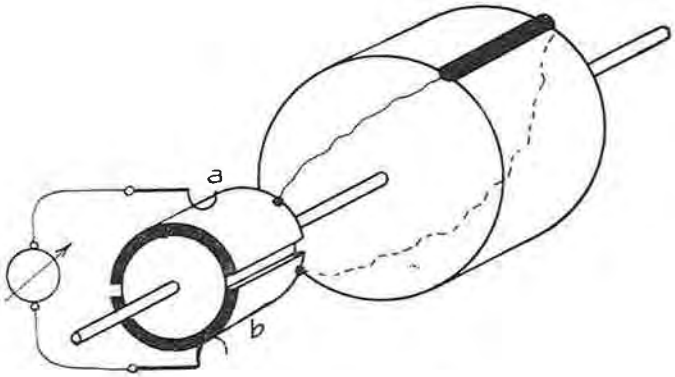


Fig. 60.

Fixons (fig. 60) sur l'arbre de la machine un petit tambour en matière isolante, sur lequel sont fixés deux demi-coquilles a, b en cuivre, isolées l'une de l'autre. Relions les extrémités A et B du conducteur à ces demi-coquilles, sur lesquelles appuient des balais fixes, qui constituent les bornes de la dynamo.

Dans la position de la fig. 60a, l'extrémité A sera donc, par **a,** relié à la borne 1 du milliampèremètre.

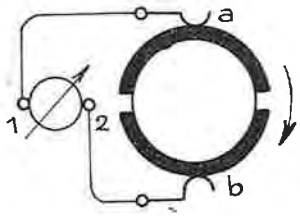


Fig. 60a

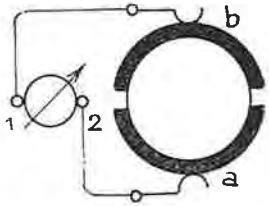


Fig. 60b

Un demi-tour plus tard (fig. 60b), **a** est au contraire relié à la borne 2, et c'est **b** qui se trouve relié à la borne 1.

On constate donc, qu'en même temps que le sens de la f.e.m. sera inversé, les connexions à l'appareil de mesure ont également été permutées.

Le courant recueilli sera **continu.**

On appelle **collecteur** l'ensemble des lamelles métalliques fixées dans un tambour isolé.

La tension recueillie aux bornes d'une dynamo construite ainsi serait très faible.

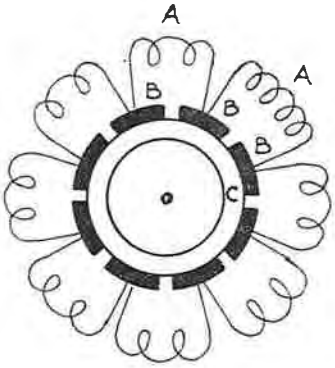


Fig. 61.

On peut l'augmenter en remplaçant (fig. 61) le conducteur par un solénoïde (ensemble de spires) et en disposant plusieurs bobines A en série. Les extrémités des bobines aboutissent à des lames B du collecteur, fixées sur un tambour isolant C porté par l'arbre du moteur.

42 Constitution d'une dynamo.

Dans la pratique, les dynamos sont construites comme suit.

L'aimant permanent est remplacé par un électro-aimant (par exemple : deux masses de fer, reliées par une armature qui constitue la carcasse de la dynamo, et sur lesquelles on enroule du fil isolé) (fig. 62).

C'est le **stator.**

Entre ces pôles tourne le **rotor.** Il est constitué par une **armature** cylindrique en fer, fixée sur un **arbre.** Le cylindre est muni d'**encoches** dans lesquelles on place des conducteurs en cuivre isolés, et reliés aux lames d'un **collecteur.**

Sur ce collecteur appuient des **balais,** généralement en charbon, qui sont maintenus dans des **porte-balais** munis de ressorts.

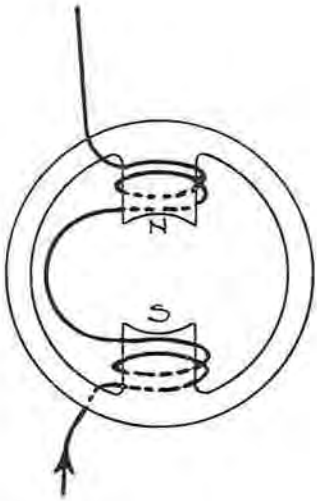


Fig. 62.

Les balais sont reliés aux bornes de la dynamo.

Les paliers du rotor sont à coussinets ou avec roulements à billes ou à rouleaux.

La dynamo peut être entraînée par un moteur quelconque (machine à vapeur, moteur à gaz, à essence ou Diesel).

A la S.N.C.B., on utilise notamment des dynamos entraînées par un essieu d'une voiture; lorsque la voiture roule, elles chargent les batteries d'éclairage électrique de la voiture. La puissance de ces dynamos, varie le plus souvent entre 5 et 10 kW.

Sur les locomotives Diesel et les autorails à transmission électrique, le moteur Diesel entraîne, une dynamo dite génératrice principale qui alimente les moteurs de traction entraînant les essieux; la puissance de ces dynamos atteint, à la S.N.C.B., 1100 kW (locomotives types 201, 202, 203 et 204).

43 Principe des moteurs.

On a vu (art. 34) qu'un conducteur libre, dans lequel circule un courant, tend à se déplacer lorsqu'il est soumis à l'influence d'un aimant.

Ce phénomène constitue le principe du moteur électrique.

Si les balais de la machine représentée à la fig. 60 sont reliés à une source de courant, le conducteur AB se mettra à tourner entre les pôles de l'aimant.

44 Constitution de l'inducteur.

En pratique, l'aimant permanent est, tout comme dans les dynamos industrielles, remplacé par un électro-aimant.

Cet électro-aimant sera alimenté par la même source de courant que l'induit.

Ces deux alimentations peuvent se faire en série, ou en parallèle (ou shunt) et l'on obtiendra ainsi des **moteurs série** (fig. 63) et des **moteurs shunt** (fig. 64).

Les moteurs série sont employés en **traction électrique** et en **traction Diesel-électrique,** car leurs caractéristiques conviennent très bien à cet usage.

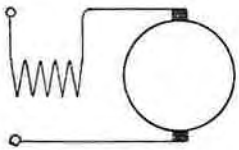


Fig. 63.

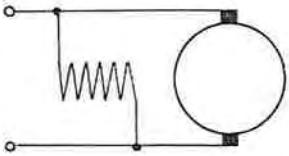


Fig. 64.

Dans tout ce qui suit il sera question uniquement du moteur série.

45 Propriétés du moteur série.

Le moteur série utilisé en traction doit être capable de développer des efforts importants depuis l'arrêt jusque la vitesse maximum.

Plus le courant absorbé est élevé, plus les efforts seront grands.

Par contre, pour augmenter la vitesse, il est nécessaire d'accroître la tension aux bornes du moteur.

Du démarrage du train, une grande accélération est recherchée ce qui implique un effort de traction élevé et par suite un courant important.

Si la tension reste constante, le courant absorbé décroît au fur et à mesure que la vitesse du moteur augmente.

46 Démarrage du moteur série.

Au moment de l'application de la tension aux bornes d'un moteur série arrêté, le courant absorbé est excessif.

Afin de le diminuer, il faut réduire la tension appliquée au moteur. Cela se fait différemment en traction électrique et en traction Diesel-électrique.

1) En traction électrique, on dispose d'une tension constante, celle de la caténaire. Le machiniste n'a aucune action sur cette tension, car elle est produite par une source indépendante de la locomotive, mais il lui est quand même possible de limiter la tension aux bornes des moteurs de traction; cela peut se faire de 2 manières :

a) en intercalant une **résistance de démarrage** en série avec le moteur (fig. 65) ; une chute de tension Ri est produite dans la résistance, et la tension appliquée au moteur devient (U-Ri), plus petite que U;

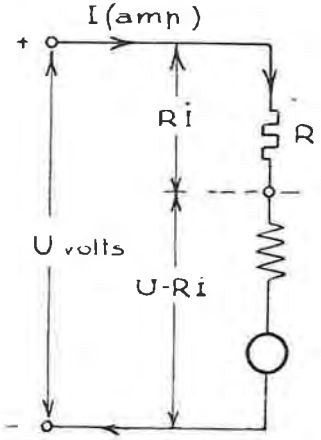


Fig. 65.

Ce procédé est coûteux car une fraction importante de l'énergie électrique sert à échauffer la résistance de démarrage;

b) on peut, si l'on dispose de plusieurs moteurs identiques sur le même véhicule (cas général en traction), placer ces moteurs en série, au démarrage.

Dans le cas de deux moteurs (fig. 66), la tension appliqué à chaque moteur sera $\frac{U}{2}$; dans le cas de quatre moteurs elle sera $\frac{U}{4}$;

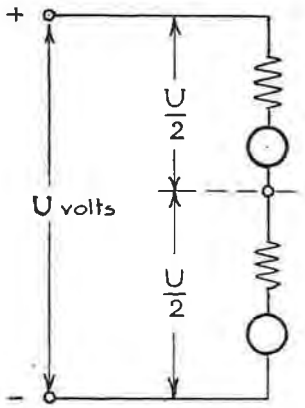


Fig. 66.

c) généralement les deux procédés ci-dessus sont employés simultanément (fig. 67).

Dès que les moteurs ont acquis une certaine vitesse et que le courant absorbé a donc diminué (art. 45), on peut progressivement éliminer les résistances et changer le couplage des moteurs.

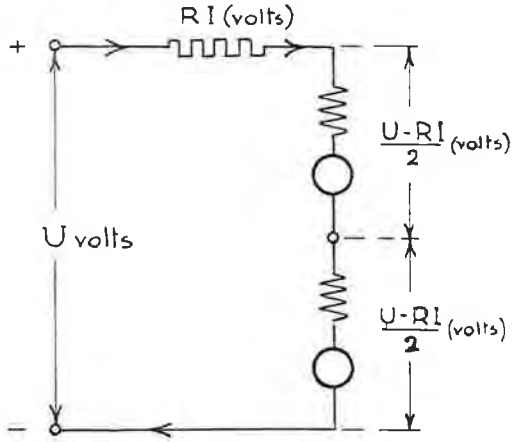


Fig. 67.

Sur le matériel roulant à 3000 V à 4 moteurs de la S.N.C.B., on rencontre successivement les couplages suivants :

— 4 moteurs en série, avec résistance (fig. 68a) ;
— élimination progressive de la résistance jusqu'à suppression complète (fig. 68b) ;

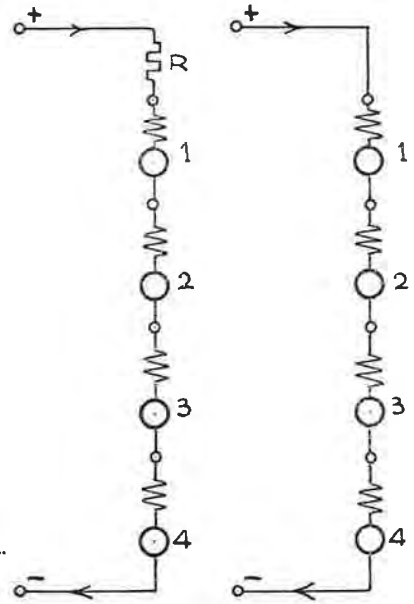


Fig. 68a. Fig. 68b.

— 2 groupes de 2 moteurs en série, ces groupes étant mis en parallèle, l'ensemble est précédé d'une résistance (couplage dit « **série-parallèle** » — fig. 68c) ;
— suppression progressive de la résistance du couplage précédent (fig. 68d).

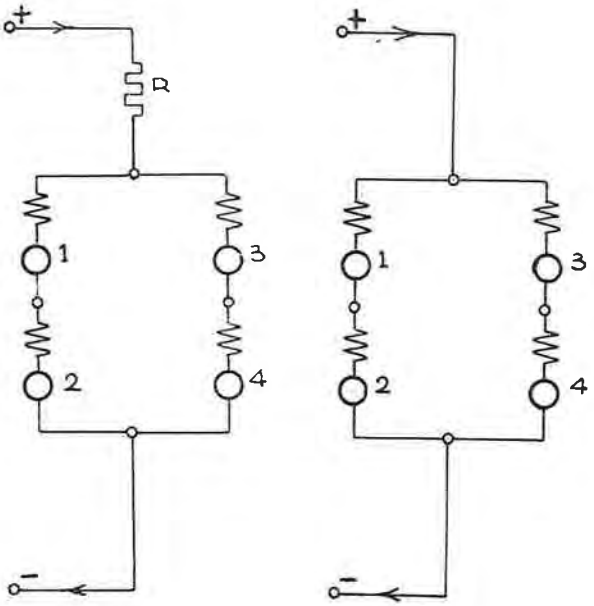


Fig. 68c. Fig. 68d.

Si on intercalait un ampèremètre dans le circuit d'alimentation, on constaterait ce qui suit.

Au moment du démarrage, le courant indiqué sera par exemple de 200 A. Comme les moteurs commencent à tourner, le courant diminue (art. 45) et après un certain temps on peut supprimer une partie des résistances.

De ce fait, le courant augmente brusquement (puisque la tension appliquée aux moteurs augmente à ce moment) puis diminue à nouveau.

Après un certain temps, on supprime à nouveau une partie de la résistance restée en circuit, d'où nouvelle augmentation de courant, etc.

Finalement, toute la résistance est éliminée (fig. 68b).

A ce moment on abandonne le couplage des moteurs en série, et on adopte le couplage série-parallèle de la fig. 66c, avec résistances de démarrage en série.

On élimine progressivement la résistance et finalement toute la résistance aura été éliminée. A partir de ce moment, l'intensité du courant continue à décroître, au fur et à mesure que la vitesse des moteurs augmente.

Le couplage « parallèle » (fig. 68e) n'est pas utilisé en traction électrique, à la S.N.C.B.

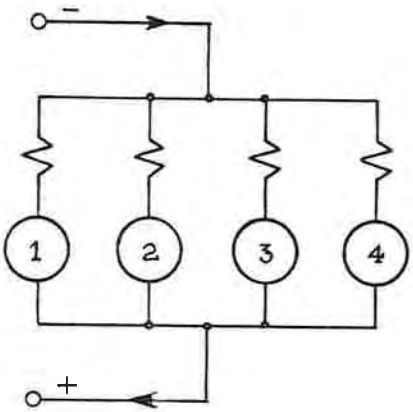


fig 68 e

2) En traction Diesel, le moteur série est utilisé dans la transmission électrique.

Sur une locomotive ou un autorail Diesel-électrique, le moteur Diesel entraîne une dynamo dite « génératrice principale »; cette génératrice alimente comme en traction électrique, des moteurs série entraînant les essieux.

Toutefois, ici il est possible de régler directement la tension à la génératrice, puisque cette dernière est placée dans la locomotive (ou l'autorail).

Deux moyens sont également utilisés pour le démarrage des moteurs série :

a) on limite d'abord la tension de la génératrice à une valeur telle que le courant débité ne soit pas excessif; au fur et à mesure que les moteurs prennent de la vitesse, le courant diminue et on augmente la tension de façon à réaliser une puissance constante aux moteurs de traction, soit courant × tension = constante.

Comme le courant serait néanmoins exagéré à très faible vitesse, on démarre en utilisant seulement une partie de la puissance du moteur Diesel et on augmente progressivement la puissance au fur et à mesure que le courant diminue.

La variation de la tension en fonction de la vitesse est automatique. Par contre, la variation de la puissance est sous la dépendance du machiniste;

b) on peut également démarrer en connectant 2 moteurs en série, puis en parallèle (fig. 69a et 69b).

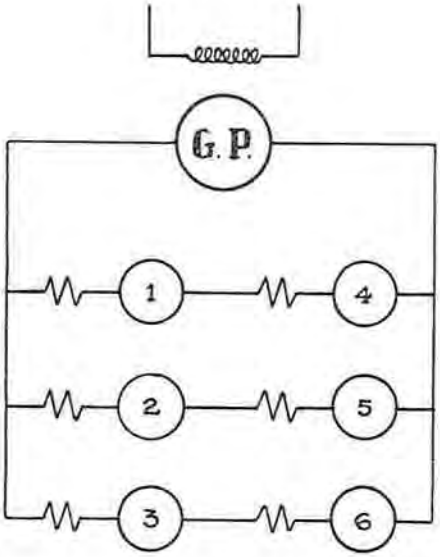


fig. 69a.

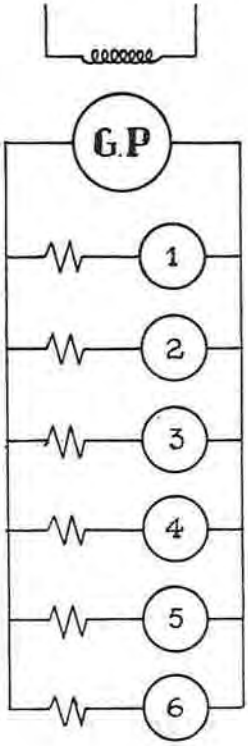


fig 69 b

Toutefois, ce 2e moyen n'est pas toujours utilisé. Il existe des équipements où l'on ne change pas de couplage.

47 Inversion du sens de marche des moteurs série.

On sait (voir art. 34) que le sens de rotation d'un aiguille aimentée placée dans le voisinage d'un conducteur parcouru par un courant électrique peut être inversé :

a) soit en inversant le sens du courant dans le conducteur;
b) soit en déplaçant l'aiguille aimentée d'un côté du conducteur à l'autre côté.

Un moteur n'est autre chose qu'un ensemble de conducteurs placés dans un champ magnétique. On peut donc conclure que, pour inverser le sens de rotation d'un moteur, il suffit :

— d'inverser le sens du courant dans l'induit du moteur, ou bien;

— d'inverser le sens du champ magnétique des pôles en renversant le sens du courant dans ceux-ci.

Considérons (fig. 70) un moteur série tournant dans le sens indiqué sur la figure et dans lequel le courant circule comme indiqué par les flèches 2 et 3.

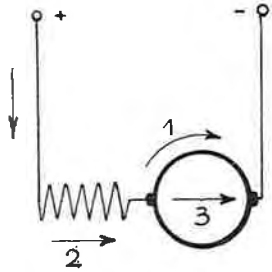


Fig. 70.

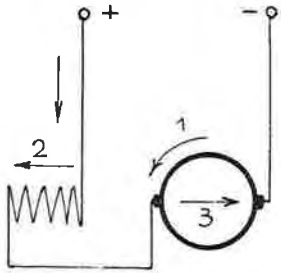


Fig. 71.

Si nous inversons le sens du courant dans l'inducteur (fig. 71) tout en ne changeant pas le sens du courant dans l'induit, le moteur tournera en sens inverse.

Le même résultat serait obtenu en conservant le sens du courant dans l'inducteur, mais en inversant le courant dans l'induit (fig. 72).

Si l'on inversait en même temps le sens du courant dans l'inducteur et dans l'induit, par exemple en permutant les bornes du moteur (fig. 73), le sens de rotation du moteur ne serait pas modifié.

Donc, pour modifier le sens de rotation d'un moteur série, il ne suffit pas de permuter les bornes du moteur; il faut modifier les connexions de l'inducteur par rapport à l'induit.

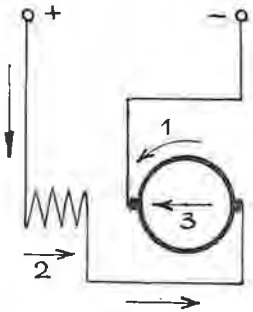


Fig. 72.

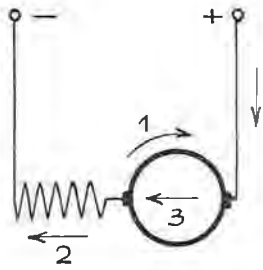


Fig. 73.

A l'art. 55 on verra comment cela se réalise pratiquement dans les moteurs de traction des automotrices de la S.N.C.B.

48 Shuntage.

Au démarrage, le moteur série absorbe un courant important. Au fur et à mesure que sa vitesse augmente, le courant diminue, car le moteur produit une force contre-électromotrice qui s'oppose à celle fournie par la génératrice. Pour continuer à utiliser toute la puissance du moteur Diesel, on doit garder le produit

$$\text{tension} \times \text{courant} = \text{constante}$$

et puisque le courant diminue, il est nécessaire d'augmenter la tension en augmentant le champ magnétique produit par l'inducteur de la génératrice. Toutefois, il n'est pas possible d'augmenter la tension d'une façon illimitée, car lorsque le champ magnétique est suffisamment intense, l'inducteur se « sature » et la tension n'augmente plus.

Si à ce moment, le courant continue à diminuer, la tension restant constante, le produit tension × courant va diminuer et la puissance du moteur Diesel ne sera plus complètement utilisée.

Pour éviter cet inconvénient, on peut soit changer le couplage des moteurs (passer de série en parallèle, c'est-à-dire doubler le courant de la génératrice et diminuer sa

tension de moitié — voir fig. 69 b) soit réduire le courant dans les inducteurs des moteurs série en les shuntant au moyen d'une résistance (fig. 74).

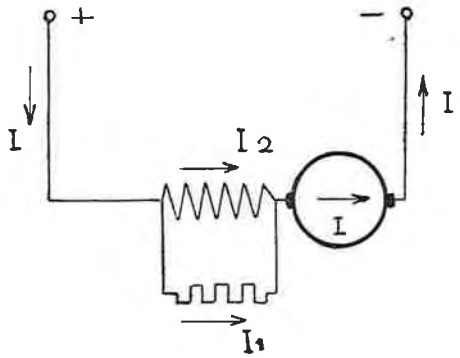


Fig. 74.

Cette modification dans les connexions aura pour effet d'augmenter fortement le courant; la tension pourra être ramenée à une valeur telle que la saturation ne se produise plus. La puissance totale du moteur Diesel continuant à être transmise, la vitesse des moteurs série continuera à augmenter.

Le shuntage des moteurs série est appliqué dans tous les équipements Diesel-électriques.

49 Les contacteurs.

On peut conclure des articles précédents que différentes modifications doivent être apportées dans les connexions des moteurs de traction, pendant leur marche.

Lors de ces changements de connexions, les courants atteignant plusieurs centaines d'ampères doivent être interrompus. Ceci, ajouté au fait que les tensions sont très élevées, exclut totalement l'emploi d'interrupteurs simples tels que ceux en usage dans les installations d'éclairage.

L'appareil le plus fréquemment utilisé est le **contacteur**; grâce à l'existence de puissants ressorts, il ouvre rapidement les circuits, et de plus il possède certains organes spéciaux qui étouffent les étincelles (boîtes de soufflage).

50 Le contacteur électromagnétique.

Une bobine A (fig. 75) est enroulée autour d'un noyau K qui fait partie d'un circuit magnétique comportant un levier mobile H sur lequel est fixée la pièce de contact mobile b.

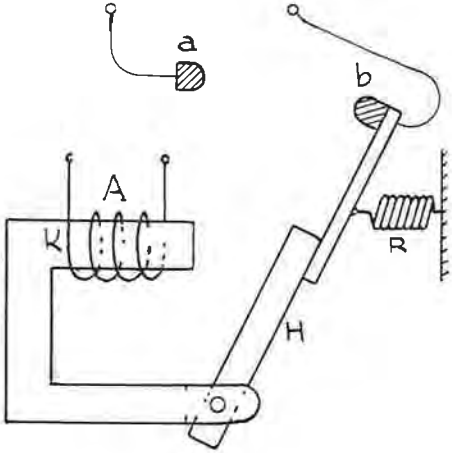


Fig. 75.

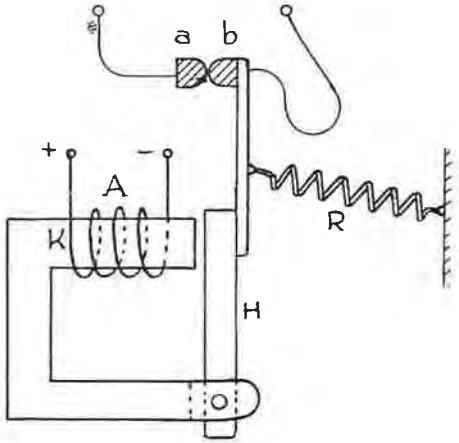


Fig. 76.

Aussi longtemps que la bobine A n'est pas alimentée, le ressort R maintient les deux pièces de contact a et b séparées.

Dès que la bobine A est alimentée en courant basse tension, il va naître un champ magnétique intense dans le noyau K.

L'effort de rappel du ressort R devient insuffisant pour empêcher l'attraction du levier H (fig. 76) et les contacts a et b se rapprochent.

Lors d'une interruption de l'alimentation de la bobine A, les contacts sont rapidement séparés grâce à l'action du ressort.

La fig. 77 représente un contacteur électromagnétique tel qu'il est figuré sur les schémas.

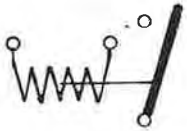


Fig. 77.

Presque tous les contacteurs utilisés sur le matériel Diesel sont du type électromagnétique.

51 Le contacteur électropneumatique.

Dans un corps cylindrique A (fig. 78) muni d'une conduite d'alimentation i peut se mouvoir un piston B, relié par sa tige S à un levier mobile H qui porte la pièce de contact mobile b.

Le cylindre est alimenté en air comprimé grâce à la manœuvre d'un robinet K.

Si le robinet est ouvert (fig. 78), le piston se déplacera vers le haut et les deux pièces de contact a et b se rapprochent, formant ainsi le circuit dans lequel est intercalé le contacteur.

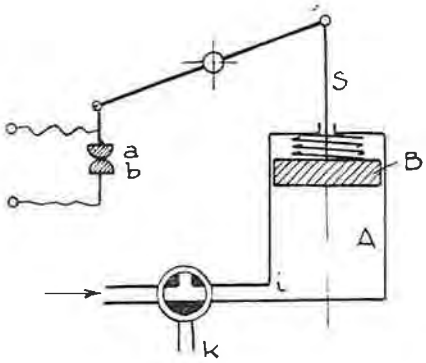


Fig. 78.

Si, au contraire, le robinet est placé dans la position de la fig. 79, l'air comprimé peut s'échapper du cylindre. Le piston est ramené vers le bas par suite de l'action d'un puissant ressort; les contacts a et b sont séparés et le circuit dans lequel est intercalé le contacteur est ouvert.

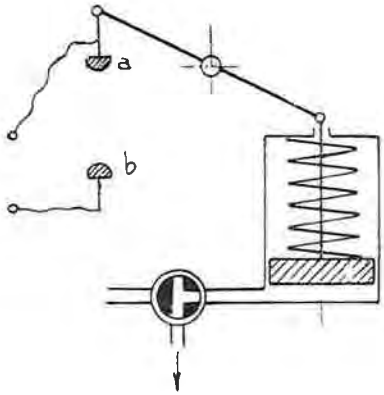


Fig. 79.

Exemples de contacteurs électropneumatiques sur les locomotives Diesel : les contacteurs de couplage (P_1 et P_2 sur les locomotives type 201; P_1, P_2 et S sur les locomotives types 202, 203, 204).

52 Le contacteur à commande par arbre à cames.

Les contacteurs décrits ci-dessus sont à commande individuelle.

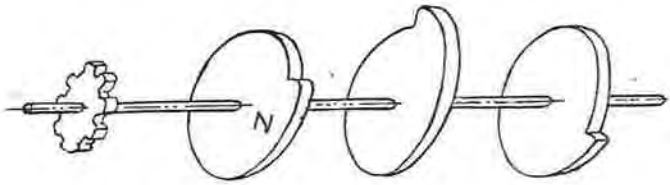


Fig. 80.

Dans certains cas, il y a intérêt à commander la manœuvre d'une série de contacteurs juxtaposés le long d'un arbre à cames (fig. 80) mis en mouvement, dans l'un ou l'autre sens de rotation, par un moteur.

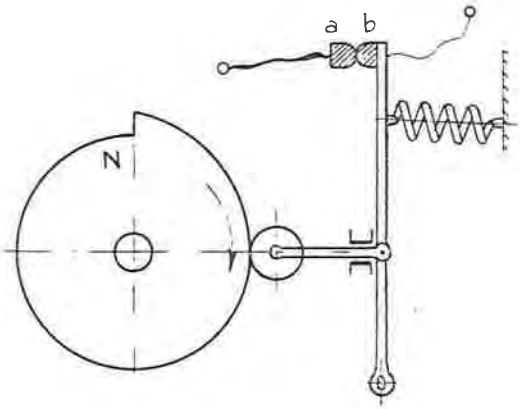


Fig. 81.

Considérons le contacteur de la fig. 81. Dans cette position, les pièces de contact a et b se touchent : le contacteur **est fermé.**

Si l'arbre à cames, entraîné par son moteur, tourne d'un certain angle dans le sens indiqué par la flèche, la

came N viendra à un moment déterminé appuyer sur le levier mobile 4 et le contacteur **s'ouvrira** (fig. 82).

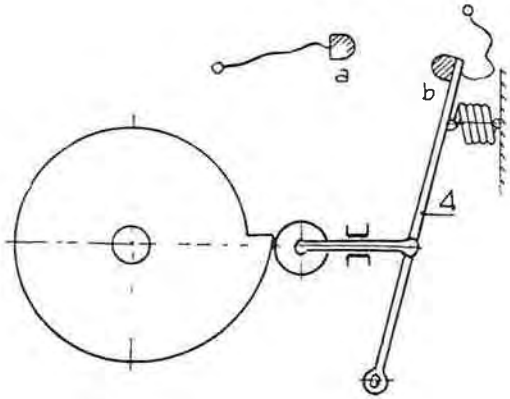


Fig. 82.

On voit qu'en orientant les diverses cames de manière convenable, chacun des contacteurs sera ouvert ou fermé au moment opportun.

Le système est utilisé dans le servo-moteur de shuntage des locomotives type 201.

53 Les électrovalves.

Diverses connexions dans les circuits à haute tension peuvent être réalisées au moyen de contacteurs électro-pneumatiques.

Pour modifier les connexions, il faut donc ouvrir certains robinets (ou valves) de contacteurs, et en fermer d'autres.

Ces valves sont commandées électriquement et à distance; on les appelle **électrovalves.**

Il existe des électrovalves type **admission** (admission d'air lorsqu'elles sont alimentées en courant BT), et des électrovalves type **échappement** (échappement de l'air lorsqu'elles sont alimentées).

Les fig. 83 et 84 représentent une électrovalve « admission », en coupe, dans ses deux positions.

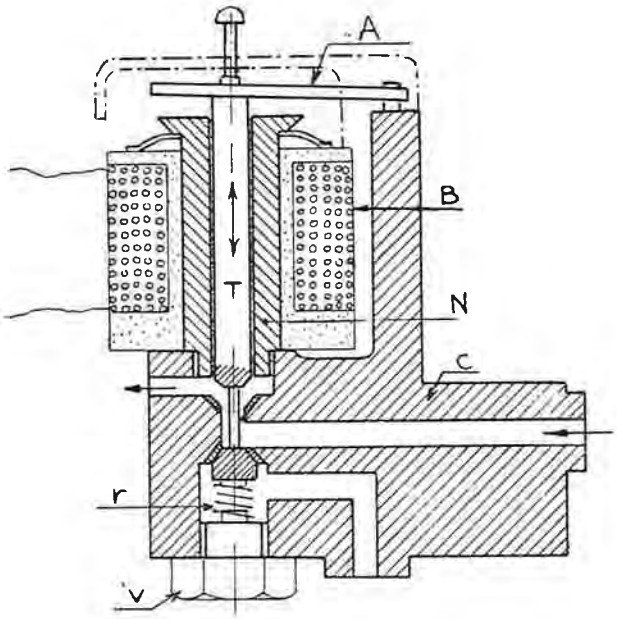


Fig. 83.

L'électrovalve (fig. 83) est constitué comme suit :

— un corps en fonte (C) dans lequel sont forées les conduites à air comprimé, et dans lequel sont chassés les sièges des valves (laiton) ;

— un noyau magnétique (N) en acier doux, vissé dans le corps et portant la bobine d'excitation (B);

— une tige de valve d'échappement (T), en bronze, coulissant dans le noyau (N) et dont la base, de forme conique, constitue la valve d'échappement;

— une armature mobile (A), en acier, qui commande la tige susdite; elle est protégée par un couvercle en aluminium avec bouton d'essai à la main;

— la tige de soupape d'admission (bronze) soudée dans cette soupape et actionnée par la tige de valve d'échappement;

— le ressort (r) de soupape d'admission, s'appuyant sur le bouchon de visite (V).

Lorsque la bobine est excitée (fig. 84), c'est-à-dire lorsqu'elle est parcourue par un courant, son noyau s'aimante, l'armature mobile A est attirée et pousse la tige vertica-

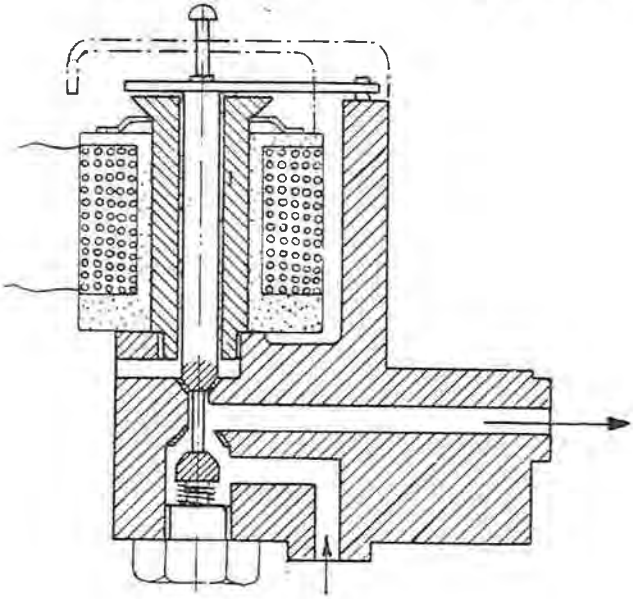


Fig. 84.

lement vers le bas. Dans son mouvement, celle-ci ouvre la valve d'admission, mettant en communication l'appareil avec l'arrivée d'air comprimé, tandis qu'elle ferme l'orifice d'échappement.

Lorsqu'on coupe le courant de la bobine, la tige T, sous l'action du ressort, reprend sa place au repos; l'alimentation de l'appareil est coupée et il est mis à l'échappement.

Les fig. 85 et 86 représentent une électrovalve type échappement, respectivement en position désexcitée et excitée.

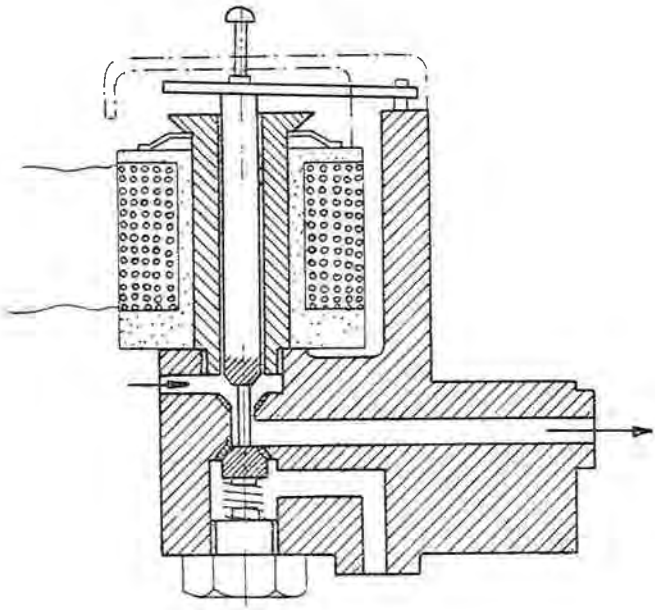


Fig. 85.

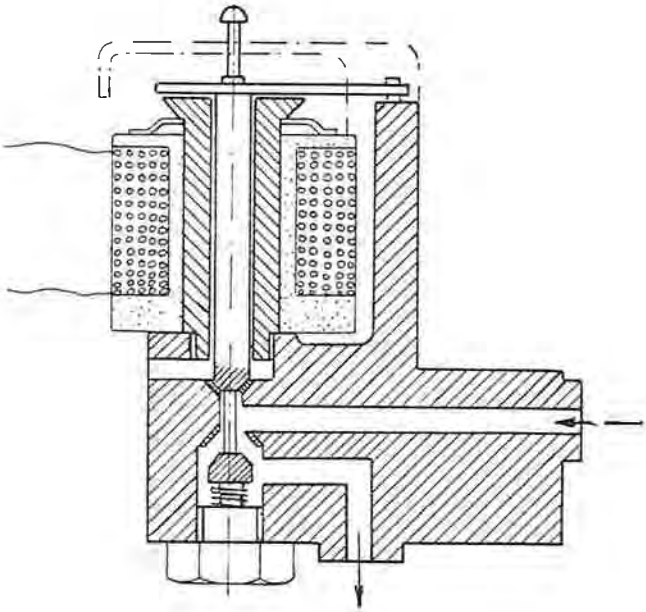


Fig. 86.

54 Le moteur pneumatique.

Différentes espèces de moteurs pneumatiques sont appliqués sur le matériel Diesel, notamment pour la commande des inverseurs.

55 Moteur à pistons égaux et course complète.

Dans un corps cylindrique se déplacent deux pistons de même diamètre, solidaires d'une crémaillère (fig. 87).

L'appareil comporte à chaque extrémité une alimentation en air comprimé, contrôlée par une électrovalve type admission.

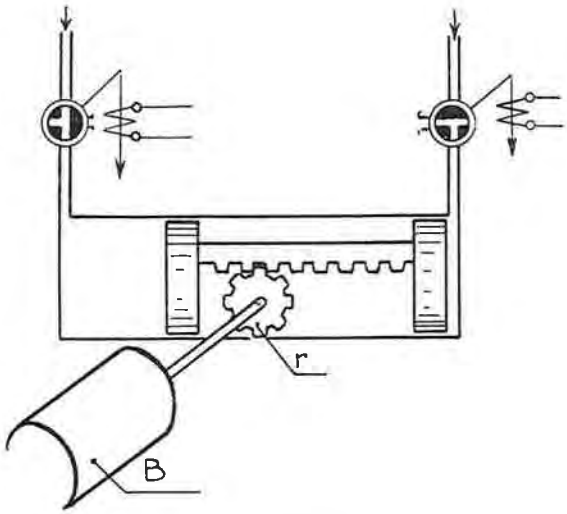


Fig. 87.

Si l'électrovalve de gauche est excitée, l'air comprimé rentrera dans le cylindre par l'extrémité de gauche, et l'ensemble des pistons va se déplacer.

Le tambour B, sur l'arbre duquel est fixé le pignon r qui engrène avec la crémaillère, tournera d'un certain angle.

56 Moteur à pistons inégaux.

Un corps cylindrique contient 3 pistons; 2 petits pistons sont rendus solidaire par une tige portant en son milieu une denture hélicoïdale et engrenant avec un secteur denté qui commande la position de l'inverseur. Le 3e piston a un diamètre plus grand que celui des 2 autres.

Les déplacements de ces 3 pistons sont commandés par 3 électrovalves qui contrôlent les 3 arrivées d'air comprimé dans les différentes chambres du moteur pneumatique.

Cet inverseur à 3 positions représentées aux fig. 88, 89 et 90 : I, II qui correspondent à AV et AR et une position intermédiaire o; les figures montrent clairement les arrivées d'air comprimé dans chacun des 3 cas.

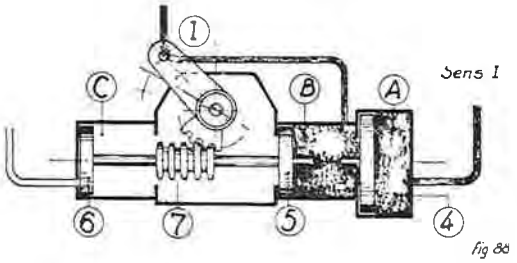


fig 88

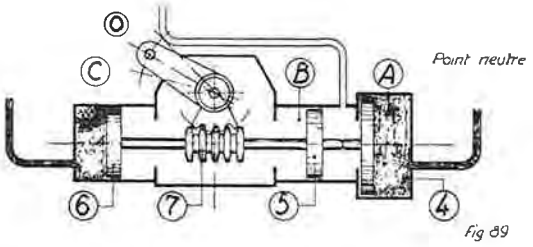


fig 89

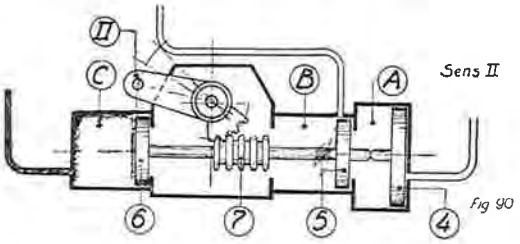


fig 90

Il est à remarquer qu'un inverseur à 3 positions peut être réalisé également au moyen d'un moteur à 2 pistons égaux; dans ce cas, il existe une 3e électrovalve servant à ramener l'inverseur au centre. Cette commande pneumatique est doublée d'une commande et d'un verrouillage manuels (locomotives type 204).

57 Inversion du sens de marche.

On a vu à l'art. 47 que pour inverser le sens de rotation d'un moteur série, il faut inverser le sens du courant dans l'induit ou dans l'inducteur.

Dans les moteurs de traction de la S.N.C.B., on opère par inversion du sens de courant dans l'inducteur.

Le moyen le plus simple d'effectuer cette opération est représenté dans les fig. 91 et 92. Suivant la position du sectionneur à couteaux bipolaire A, le courant dans l'inducteur B du moteur circulera dans l'un ou l'autre sens; dans l'induit c au contraire, le sens du courant n'est pas inversé.

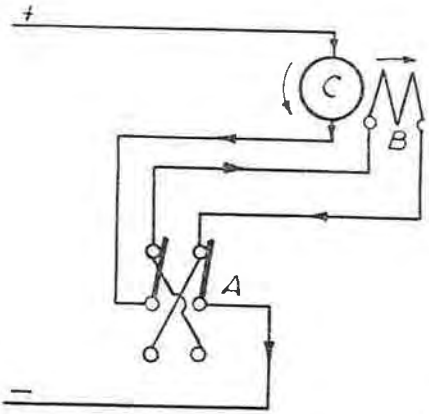


Fig. 91

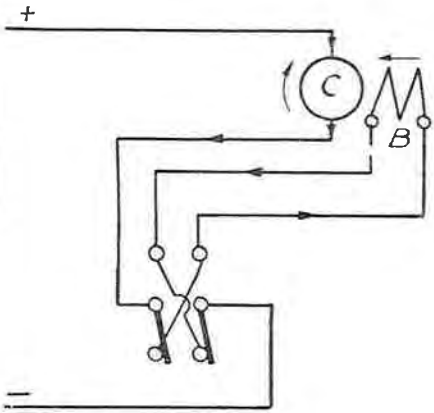


Fig. 92

Ce procédé n'est pas appliqué en traction Diesel parce qu'il n'est pratiquement pas possible de commander à distance un sectionneur à partir d'un poste de conduite.

On emploie d'habitude des tambours (fig. 93 et 94) munis de pièces de contact a, sur lesquelles appuient des balais b.

Les fig. 93 et 94 montrent clairement comment, en tournant le tambour d'un certain angle, le courant sera inversé dans l'inducteur du moteur de traction, sans modifier le sens du courant dans l'induit.

Ce tambour, appelé **tambour d'inversion,** est commandé par un servo-moteur.

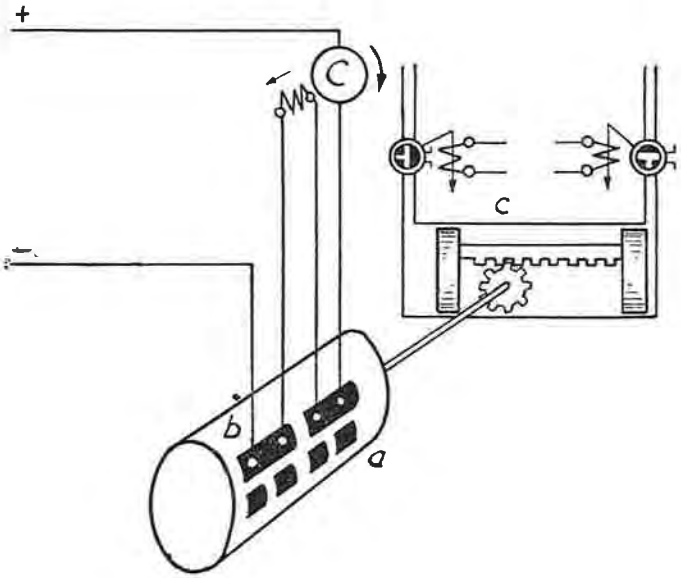


Fig. 93

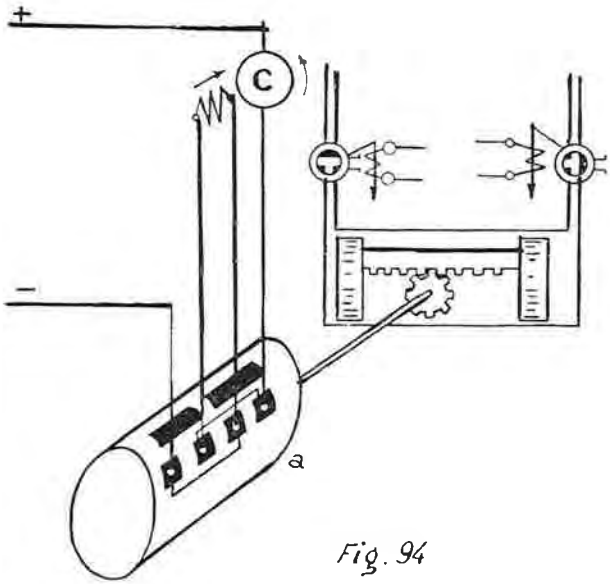


Fig. 94

58 Elimination d'un moteur de traction.

Il peut arriver que pendant la marche de l'autorail ou de la locomotive, l'un des moteurs de traction subisse des avaries. Il est intéressant que ce moteur puisse être éliminé du circuit de traction haute tension afin de pouvoir continuer la marche avec les autres moteurs de traction.

Il n'est pas possible d'entrer dans le détail des circuits : la réalisation diffère d'un matériel à l'autre.

1) La modification des circuits peut se faire dans la partie **haute tension** (en général voisine de 1000 volts) ; on utilise soit des sectionneurs, soit un ou plusieurs tambours analogues à celui de l'inverseur.

2) Parfois, il est plus simple de couper, au moyen d'un interrupteur **basse tension,** l'alimentation du contacteur amenant le courant haute tension au moteur de traction à éliminer.

3) Vu la complexité des circuits à réaliser, certains constructeurs estiment préférable de ne pas introduire dans leur équipement la possibilité d'éliminer un ou plusieurs moteurs de traction. Il est à remarquer que cette élimination, quand elle existe, ne peut jamais s'effectuer à distance.

59 Protection de l'appareillage.

Il faut considérer de façon différente l'appareillage haute tension et l'appareillage basse tension.

En haute tension, on trouve la génératrice principale, les moteurs de traction et de l'appareillage.

Un **excès de puissance** n'est pas à craindre : le moteur Diesel pourrait, en cas de déréglage de son régulateur, donner seulement 5 à 10 % en plus de sa puissance maximum.

Une **surtension** n'est pas possible : la vitesse maximum de la génératrice est imposée par le moteur Diesel et une excitation même double de la normale, n'aurait pas de conséquence puisqu'à l'excitation maximum, la génératrice principale est saturée et n'augmente plus sa tension.

Il reste à prévoir une protection contre un **courant exagéré.** Un courant trop fort dans les moteurs de traction se traduit par un échauffement mais aussi par un effort considérable qui fera, en général, pivoter l'autorail ou la locomotive, ou si tel n'est pas le cas, augmentera rapidement la vitesse de façon à ce que le courant descende au-dessous de la valeur dangereuse. Dans la plupart des cas, cette vitesse est assez faible, 20 à 25 km/h et il n'est prévu, en général aucune protection contre un courant trop fort. Il est toutefois recommandé de ne pas utiliser des courants trop intenses quand le moteur Diesel fonctionne à charge partielle car dans ce cas la ventilation est également réduite.

Par contre, il peut arriver que la génératrice principale en cas de couplage parallèle notamment, soit amenée à débiter momentanément un courant nettement supérieur

à celui prévu en service continu. Dans ce cas, il est prévu un relais à maxima temporisé, qui intervient après quelques minutes si le courant n'est pas descendu à une valeur acceptable. Cette intervention se traduit soit par une diminution de l'excitation, soit par un changement de couplage, soit les deux à la fois.

Signalons également que sur certains types d'autorails la génératrice et les moteurs de traction sont protégés par des fusibles haute tension.

Sur les équipements importants, on utilise 2 protections supplémentaires : un relais de masse (ou de terre) et un relais d'antipatinage.

60 Relais de masse.

Les circuits à haute tension sont normalement soumis à des tensions de l'ordre de 900 à 1000 volts et sont isolés de la masse de l'autorail ou de la locomotive. Si un défaut d'isolement vient à se produire en un point tel que A (fig. 95), il n'y aura aucun incident. Mais si un 2e défaut se produit en un point B, les 2 pôles de la

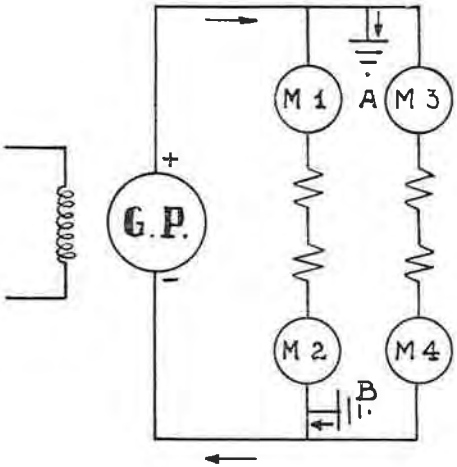


fig.95

génératrice principale sont réunis à travers une très faible résistance (câbles + masse), ce qui équivaut pratiquement à un court-circuit et risque de détruire complètement la génératrice.

Pour parer à cette possibilité, l'équipement est muni d'un relais de masse qui, au 1er défaut d'isolement, supprime la traction et même la possibilité d'exciter la génératrice.

61 Relais d'antipatinage.

L'effort de traction des essieux moteurs n'est possible que lorsque les roues « adhèrent » au rail. Au cas où cette adhérence disparaît, plus aucun effort résistant n'agit sur le moteur série et celui-ci s'emballe. Cet emballement doit être arrêté immédiatement si l'on veut éviter la destruction du moteur, par rupture des frettages de l'induit.

On utilise à cet effet un relais d'antipatinage qui décèle tout début d'emballement et l'arrête instantanément en coupant, soit la tension aux moteurs, soit l'excitation de la génératrice principale.

62 Protection basse tension.

En basse tension, les circuits sont protégés contre des courants exagérés soit par des fusibles soit par des disjoncteurs magnétiques ou thermiques servant d'interrupteurs et pouvant être enclenchés ou déclenchés à la main.

63 Fils de train.

Plusieurs appareils sont commandés, à partir d'une cabine de conduite, par l'alimentation d'électrovalves à basse tension.

A cette fin, le conducteur dispose d'une source de courant à basse tension B et de divers interrupteurs (S_1 à S_7).

En manœuvrant des interrupteurs déterminés, il alimente les électrovalves E correspondantes et peut commander le fonctionnement des appareils (fig. 96).

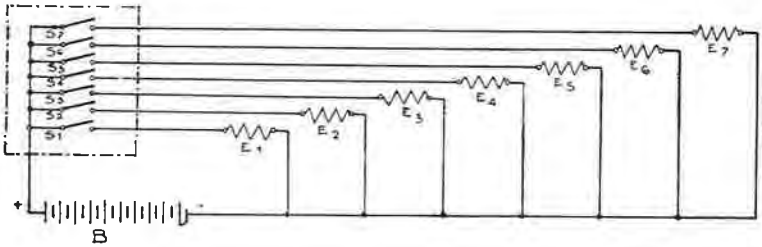


Fig. 96.

Souvent deux autorails ou locomotives sont accouplés pour constituer un train.

Afin de permettre la conduite du train à partir d'une seule cabine de conduite, la manœuvre des interrupteurs dans celle-ci doit avoir pour effet d'alimenter simultanément des appareils analogues sur chacun des engins moteurs; de plus, la conduite du train doit pouvoir se faire à partir de n'importe quelle cabine de conduite.

La solution qui est adoptée est représentée à la fig. 97.

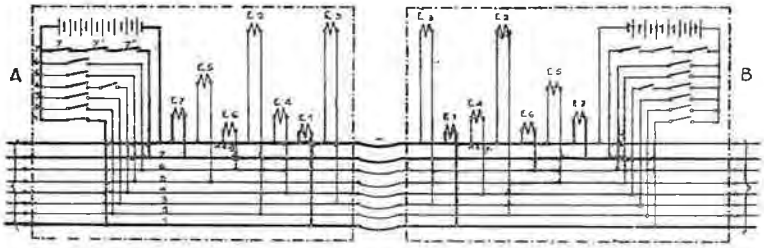


Fig. 97.

Supposons que le conducteur occupe la cabine A et qu'il ait fermé l'interrupteur 1.

Le fil 1 est mis sous tension. Ce fil court tout le long du train et est appelé fil de train.

Toutes les électrovalves 1 sont alimentées.

La fig. 97 montre également que le même résultat peut être obtenu en fermant l'interrupteur 1 dans la cabine de conduite B.

On remarquera que certains fils de train sont alimentés à travers plusieurs interrupteurs en série (exemple : fils 7 du schéma 97 — interrupteurs 7, 7' et 7").

Il est évident que, dans ces conditions, le fil n'est mis sous tension qu'après fermeture de tous les interrupteurs.

Puisque les fils de train doivent exister sur toute la longueur des locomotives ou des autorails accouplés, des connexions doivent être établies entre ces engins moteurs. Les fils nécessaires sont assemblés sous une même gaine et raccordés à chaque extrémité à une fiche multipolaire pouvant être engagée dans une boîte fixée sur le pignon des voitures.

64 Appareils de la cabine de conduite.

Ces appareils peuvent se diviser en 3 grandes catégories :

a) **organes de commande :** vitesse et puissance du moteur Diesel, inverseur, transmission : par exemple, levier de changement de vitesse, etc.;

b) **organes de contrôle,** principalement appareils de mesure : vitesse du moteur Diesel, pression dans les conduites pneumatiques, éventuellement ampèremètre indiquant le courant de traction, etc.;

c) **organes d'alarme et de sécurité :** frein, trompe, lampes de signalisation; une lampe de signalisation va s'allumer ou une sonnerie va tinter en cas d'incident dans la motorisation : par exemple manque de pression d'huile, température trop forte ou survitesse au moteur Diesel, emballement des moteurs électriques, avarie dans les circuits électriques, etc.

SOCIETE NATIONALE DES CHEMINS DE FER BELGES

LIVRET HLT

FASCICULE 10

Chapitre II

Généralités sur la Traction Diesel

Table des matières.

Chapitre II.

GENERALITES SUR LA TRACTION DIESEL.

A. INTRODUCTION.

1 DIVERS MODES DE TRACTION.

Trois modes de traction sont actuellement utilisés par les chemins de fer : la traction vapeur, la traction électrique et la traction Diesel.

La **traction vapeur** date de l'origine du chemin de fer. Elle utilise comme engins de traction les locomotives à vapeur. Celles-ci comportent un certain nombre de cylindres à vapeur dont les pistons attaquent directement les trains de roues moteurs par un mécanisme à bielles et manivelles; ceci implique l'obligation pour la locomotive de transporter un générateur de vapeur de grandes dimensions : la chaudière, et aussi généralement de prévoir un véhicule complémentaire contenant la réserve d'eau et de charbon : le tender.

La **traction électrique** a commencé à se répandre à partir de 1920. Elle utilise deux espèces de véhicules moteurs : les automotrices et les locomotives électriques. Dans ces engins, les trains de roues moteurs sont entraînés par des moteurs électriques, en général individuellement par l'intermédiaire d'un couple démultiplicateur d'engrenages droits. Les moteurs sont alimentés par du courant prélevé sur une ligne aérienne, ou caténaire, disposée tout au long de la ligne. A la S.N.C.B., la tension de la caténaire est de 3000 V (courant continu). Dans les lignes électrifiées du Nord de la France, cette tension est de 25 000 V (courant alternatif). La traction électrique comporte des engins moteurs relativement simples et puissants, mais nécessite des installations fixes importantes, dont le coût ne se justifie que pour les lignes à trafic suffisamment dense.

La **traction Diesel** est la dernière venue : le commencement de son développement date, en effet, seulement de 1930. Elle utilise, comme la traction électrique, deux espèces de véhicules moteurs : les autorails et les locomotives Diesel. Mais ici, la force motrice nécessaire à la propulsion est obtenue à l'aide d'un ou éventuellement deux moteurs Diesel transportés par l'engin lui-même.

Le moteur Diesel consomme un combustible liquide (gasoil), qui est brûlé directement à l'intérieur même des cylindres. La réserve de combustible, qui atteint au maximum 4000 litres sur les locomotives les plus puissantes, peut aisément être transportée sur le véhicule moteur lui-même.

2 DEFINITION DES ENGINS A MOTEURS DIESEL.

Comme indiqué ci-dessus, les engins propulsés par moteur Diesel se classent en deux grandes catégories : les autorails et les locomotives.

Un **autorail** est constitué d'une ou plusieurs voitures spécialement aménagées, formant un tout inséparable en service courant; il est destiné au transport des voyageurs et comporte souvent un compartiment fourgon pour les bagages et les petits colis.

Une **locomotive Diesel** constitue un engin de traction autonome, tout comme une locomotive à vapeur. On distingue :

— les **locomotives de ligne,** utilisées essentiellement à la remorque en ligne des trains de voyageurs et de marchandises;

— les **locomotives de manœuvre,** utilisées essentiellement aux services de manœuvre dans les gares à marchandises et à voyageurs, à des services de transfert de rames et également, le cas échéant, à la remorque de certains trains de marchandises.

3 CONSTITUTION GENERALE D'UN ENGIN A MOTEUR DIESEL.

Les parties essentielles d'un autorail ou d'une locomotive Diesel sont :

— le véhicule, qui assure la circulation sur les rails;
— l'équipement moteur, dit souvent « motorisation », qui sert à propulser le véhicule.

On distingue encore :

— le système de freinage, au moyen duquel on peut ralentir ou arrêter le train selon les besoins;
— les services auxiliaires tels que chauffage, éclairage, ventilation, etc.

Le **véhicule** comprend essentiellement :

— la caisse;
— les bogies (le cas échéant);
— les organes de roulement et la suspension élastique par l'intermédiaire desquels la caisse et les bogies reposent sur la voie.

La **motorisation** comprend essentiellement :

— le moteur Diesel;
— la transmission, c'est-à-dire l'ensemble des organes qui transmettent la puissance développée par le Diesel aux roues motrices du véhicule;
— les auxiliaires, notamment ceux indispensables au fonctionnement du moteur Diesel (radiateurs de refroidissement, batterie d'accumulateurs, réservoir à gasoil, dispositif de lancement, etc.);
— les organes de commande et de contrôle, notamment ceux disposés aux postes de conduite, qui exercent leur action à distance sur le moteur et la transmission.

4 PUISSANCE.

La puissance d'un autorail ou d'une locomotive Diesel est celle du ou des moteurs Diesel installés sur l'engin. Elle se mesure donc sur l'arbre de sortie de ceux-ci, et est dite **puissance nominale.**

La puissance des autorails est très variable selon l'importance du véhicule et les performances exigées : certains petits autorails pour lignes secondaires n'ont, en effet, qu'un moteur de 125 ch, tandis que les grands autorails destinés aux services internationaux et comportant plusieurs voitures, sont équipées de deux moteurs de 1000 ch chacun, soit 2000 ch au total.

Quant aux locomotives, leur puissance est habituellement comprise entre les limites ci-après :

— locomotives de ligne : 1000 à 2000 ch;

— locomotives de manœuvre : 350 à 750 ch.

B. LA MOTORISATION.

5 I. LE MOTEUR DIESEL.

L'étude détaillée du moteur Diesel et de ses auxiliaires fait l'objet du chapitre III.

Bien que son invention soit relativement ancienne (peu avant 1900), le moteur Diesel resta pendant longtemps un moteur à faible vitesse de rotation, et par conséquent, de grandes dimensions et très lourd. Ainsi son usage était limité aux applications maritimes et stationnaires, pour lesquelles le poids et l'encombrement n'entraient guère en ligne de compte.

Dans les véhicules de chemin de fer, par contre, ces facteurs jouent un rôle essentiel. Aussi, l'application du Diesel à la traction ferroviaire n'a pu être envisagée qu'à partir du moment où les constructeurs ont réussi à construire des moteurs dont, grâce à l'augmentation de la vitesse de rotation, le poids et les dimensions étaient ramenés à des limites acceptables.

Actuellement, les moteurs d'usage courant en traction ferroviaire peuvent se classer en deux catégories :

a) les moteurs à grande vitesse de rotation, dits **moteurs rapides,** tournant entre 1350 et 1800 tours/minute; ils se construisent pour des puissances unitaires allant jusque 1000 ch et leur poids est généralement compris entre 4 et 8 kg par ch;

b) les moteurs à vitesse de rotation modérée, dits souvent, par opposition aux précédents, **moteurs lents,** tournant entre 600 et 1000 tours/minute; ils se construisent pour des puissances unitaires allant jusque 2000 ch et leur poids est généralement compris entre 8 et 15 kg par ch.

Les autorails sont équipés d'un ou de deux moteurs Diesel, toujours du type rapide.

Les locomotives Diesel peuvent être équipées :

a) soit d'un ou de deux moteurs Diesel du type rapide;

b) soit, ce qui jusqu'à présent est le cas général pour les locomotives Diesel de la S.N.C.B., d'un seul moteur du type lent.

II. LA TRANSMISSION.

6 Rôle de la transmission.

Un moteur Diesel ne peut être relié de façon invariable aux trains de roues moteurs à entraîner, ou trains de roues moteurs, par un mécanisme simple, par exemple une démultiplication fixe d'engrenages. Ceci résulte des propriétés caractéristiques de ce moteur, qui sont illustrées par les diagrammes de la fig. 1.

a) Le couple maximum (C) que le moteur Diesel peut développer sur son arbre de sortie est sensiblement constant quelle que soit sa vitesse de rotation (n), et cela depuis le ralenti (c'est-à-dire la vitesse minimum à partir de laquelle il peut fonctionner normalement) jusqu'à sa vitesse maximum (dite aussi vitesse nominale).

b) La puissance (N) développée par le moteur Diesel correspondant au produit du couple par la vitesse, elle croît à peu près proportionnellement à cette dernière; autrement dit la pleine puissance (dite aussi puissance nominale) ne peut être développée que lorsque le moteur tourne à sa vitesse maximum.

Que se passerait-il si le moteur Diesel était relié de façon invariable aux essieux ?

a) Le couple exercé sur les roues motrices, et par conséquent l'effort de traction, resterait constant quand la vitesse de marche varie; or, on sait que cet effort de traction doit être aussi élevé que possible aux faibles vitesses de marche, et notamment au démarrage, de façon à obtenir une accélération rapide du train et une bonne aptitude à gravir les rampes; l'effort de traction peut ensuite aller en diminuant au fur et à mesure que la vitesse de marche augmente;

b) Aux faibles vitesses de marche du véhicule, le moteur Diesel tournerait à bas régime, de sorte qu'il ne serait capable de développer qu'une faible partie de sa puissance; sa vitesse de rotation pourrait même descendre en dessous du ralenti, où son fonctionnement ne serait plus possible; en d'autres termes, l'utilisation de la puissance disponible du Diesel deviendrait mauvaise dès qu'on s'écarterait des environs de la vitesse maximum du véhicule.

On voit donc qu'il est indispensable d'insérer entre le Diesel et les essieux un mécanisme jouant le rôle de « **transformateur de couple** » capable de faire varier la valeur du couple transmis aux roues motrices selon la vitesse de marche du véhicule, et cela en réalisant une démultiplication variable de la vitesse de rotation du Diesel. Ce transformateur de couple doit permettre, à tout moment, d'utiliser le mieux possible la puissance disponible du Diesel.

On donne le nom de **transmission** à l'ensemble des organes insérés entre le Diesel et les trains de roues moteurs dans le but de transmettre à ces derniers la puissance développée sur l'arbre du Diesel. Les organes assurant la

transformation du couple constituent l'élément fondamental de la transmission. Celle-ci doit permettre également d'isoler provisoirement les essieux du Diesel, de façon à pouvoir laisser celui-ci continuer de tourner au ralenti à l'arrêt du véhicule.

Le moteur Diesel ne pouvant tourner que dans un seul sens, la transmission comporte encore un dispositif permettant au véhicule de rouler indifféremment dans les deux sens de marche : c'est l'inverseur de marche. Enfin, elle doit être complétée par des organes de liaison aux trains de roues moteurs.

7 Classification des transmissions.

Il existe de nombreux systèmes de transmission, qui se classent en trois catégories, à savoir :

— la transmission mécanique;
— la transmission électrique;
— la transmission hydraulique.

L'étude détaillée des systèmes de transmission fait l'objet du chapitre IV. Pour comprendre la constitution générale d'un autorail ou d'une locomotive Diesel, il faut cependant connaître les principes fondamentaux sur lesquels est basé leur fonctionnement et qui sont exposés dans les art. 8 à 10 ci-après.

Remarquons que les fig. 2, 3 et 6 illustrant ces articles sont destinées seulement à faire comprendre la manière dont est réalisée la transformation du couple, sans représenter de façon complète l'ensemble des organes constituant chaque système de transmission.

8 La transmission mécanique (fig. 2).

Dans la transmission mécanique, la transformation du couple est réalisée à l'aide de combinaisons d'engrenages, réalisant un certain nombre de rapports de démultiplication différents de la vitesse du Diesel selon la vitesse de marche du véhicule (généralement 4 ou 5). Les engrenages sont contenus dans un carter, formant ce qu'on appelle « **la boîte de vitesses** ». Un dispositif d'embrayage,

inclus ou non dans la boîte de vitesse, permet d'isoler le moteur à l'arrêt du véhicule ou lors des changements de vitesse.

Pour chaque rapport de démultiplication, ou, en termes d'usage courant, pour chacune des **vitesses,** le moteur Diesel reste relié de façon invariable à l'essieu. On n'obtient donc, avec ce type de transmission, qu'une variation discontinue de l'effort de traction en fonction de la vitesse du véhicule, comme représenté au diagramme fig. 4.

Le domaine d'utilisation de la transmission mécanique est essentiellement celui des faibles puissances (jusque 200 ch).

A la S.N.C.B., elle équipe les petits autorails légers pour lignes secondaires (types 551 — 552 : 125 ch et types 553 — 554 : 165 ch), ainsi que quelques autorails de moyenne puissance (simple type 608 : 370 ch et double type 620 : 2 × 370 ch).

9 La transmission électrique (fig. 3).

La transmission électrique comporte essentiellement une dynamo à courant continu, ou génératrice principale, entraînée par le moteur Diesel. Le courant produit par cette génératrice principale alimente des moteurs électriques de traction, lesquels attaquent chacun un essieu moteur par l'intermédiaire d'un train d'engrenages droits démultiplicateurs. L'énergie mécanique du Diesel est donc communiquée aux essieux par l'intermédiaire d'une transformation en énergie électrique.

Ici toute liaison rigide entre le Diesel et les essieux est supprimée. Grâce à la souplesse de réglage des machines électriques, on peut obtenir une variation absolument continue et progressive de l'effort de traction, comme représenté au diagramme fig. 5.

A l'opposé de la transmission mécanique, le domaine d'utilisation de la transmission électrique est principalement celui des fortes puissances (au delà de 800 ch).

A la S.N.C.B., la transmission électrique équipe toutes les locomotives de ligne (types 201 à 204 : 1750 ch ou 1900 ch) ainsi que quelques locomotives de manœuvre (type 270 : 700 ch) et quelques autorails triples (type 653 : 2 × 370 ch et type 654 : 2 × 410 ch).

10 La transmission hydraulique.

Dans la transmission hydraulique, la transformation du couple est réalisée à l'aide du convertisseur de couple hydraulique (fig. 6). Celui-ci qui est rempli d'huile fluide, comporte principalement :

— une pompe centrifuge, entraînée par le Diesel, qui met l'huile en mouvement;
— une turbine, qui reçoit l'huile en mouvement et actionne le train de roues moteur;
— un stator pourvu d'ailettes, qui supporte le couple de réaction.

En fait, la transmission hydraulique ne peut être constituée uniquement d'un convertisseur de couple, mais comporte un ensemble d'organes hydrauliques et mécaniques contenus dans un carter, formant ce que nous appellerons la « boîte hydraulique », laquelle se substitue à la boîte de vitesse de la transmission mécanique.

Ainsi, la structure générale des engins à transmission mécanique et hydraulique est assez semblable. Mais la transmission hydraulique permet, dans les limites d'emploi du convertisseur de couple, d'obtenir une variation continue et progressive de l'effort de traction, tout comme avec une transmission électrique.

Le domaine d'utilisation de la transmission hydraulique est principalement celui des moyennes puissances (300 à 800, voire 1000 ch au maximum). A la S.N.C.B., elle équipe notamment :

— la plupart des autorails simples de moyenne puissance (type 603 : 400 ch et types 604-605 : 350 ch);
— certains autorails triples (type 630 : 2 × 400 ch et type 670 : 2 × 600 ch);
— la plupart des locomotives de manœuvre (types 250 à 253 : 550 ch et types 271-272 : 750 ch).

C. LE VEHICULE.

I. PARTICULARITES PROPRES AUX VEHICULES SUR RAILS.

La circulation sur voie ferrée d'un véhicule implique que celui-ci réponde à certaines conditions, très différentes de celles imposées aux véhicules sur route.

11 **a) Rouler dans les deux sens.**

Sauf les locomotives à vapeur, pour lesquelles la marche arrière ne peut souvent s'effectuer qu'à vitesse réduite, tous les véhicules sur rails sont conçus pour pouvoir rouler indifféremment dans les deux sens, de façon à ne pas devoir les virer aux points terminus. Cette propriété caractéristique porte le nom de **réversibilité.**

Pour être réversible, le véhicule doit évidemment présenter une certaine symétrie. De plus, s'il s'agit d'un véhicule moteur, le conducteur doit pouvoir occuper, pour chacun des sens de marche, un emplacement permettant une bonne visibilité de la voie et des signaux.

Dans ce but, les autorails et les locomotives Diesel de ligne sont munis d'un poste de conduite à chaque extrémité.

Par contre, les locomotives de manœuvre, qui doivent changer très fréquemment de sens de marche au cours du service, ne comportent qu'une seule cabine de conduite, soit à l'extrémité, soit vers le centre de la machine, mais cette cabine est pourvue de deux emplacements de conduite situés respectivement du côté droit et du côté gauche de la cabine.

Les fig. 7, 8 et 9 représentent schématiquement l'emplacement des cabines de conduite respectivement sur un autorail de modèle récent (types 603 à 605), sur une locomotive Diesel électrique de ligne (type 201) et sur une locomotive Diesel hydraulique de manœuvre (types 250 à 253).

12 **b) Gabarit.**

Tout véhicule de chemin de fer doit pouvoir circuler sans heurter les obstacles extérieurs (ouvrages d'art, ponts, trottoirs des gares, signaux, appareils placés entre les rails, etc.) et cela, malgré les oscillations pendant la marche et l'inclinaison possible sur les ressorts.

Pour atteindre ce résultat, le contour extérieur du véhicule (section transversale) doit être contenu à l'intérieur d'un polygone de dimensions bien définies : c'est le **gabarit.**

Les gabarits des différents réseaux sont cependant quelque peu différents. Un véhicule ne peut évidemment être admis à circuler sur un réseau étranger s'il ne répond au gabarit de ce réseau. Pour faciliter les choses, on a également créé un gabarit international (gabarit RIC) : les véhicules qui y sont conformes peuvent circuler sur les réseaux des principaux pays d'Europe occidentale.

13 **c) Position des roues sous la caisse.**

Un véhicule de chemin de fer risque moins de verser qu'un véhicule sur route, la charge se trouvant généralement plutôt à la partie inférieur et la voie offrant une assise parfaitement régulière. De plus, dans les courbes, pour limiter les effets de la force centrifuge, le rail extérieur est surhaussé par rapport au rail intérieur : c'est ce qu'on appelle le **dévers.**

Dès lors, on peut faire déborder assez largement la caisse au-dessus des roues de façon à utiliser au maximum la largeur permise par le gabarit (fig. 10). La largeur des véhicules de chemin de fer est généralement de l'ordre de 3 m, tandis que l'écartement entre les bords intérieurs des deux fils de rails est de 1,435 m.

14 **d) Guidage du véhicule sur la voie** (fig. 10).

Dans les véhicules sur rails, les deux roues opposées sont calées sur un même essieu.

Ces deux roues se déplacent donc toujours parallèlement. Dans les courbes, la roue circulant sur le rail extérieur doit donc parcourir un chemin un peu plus grand

que l'autre, d'où il résulte un certain glissement qui augmente la résistance à l'avancement, et cela d'autant plus que le rayon en est petit. Ceci explique, entre autres, que le démarrage d'un train lourd est toujours plus difficile dans une courbe qu'en ligne droite.

Pour guider le véhicule sur la voie, les bandages des roues sont munis de boudins sur leur côté intérieur. De plus, la surface d'appui sur le rail, dite surface de roulement, est légèrement conique, le diamètre le plus faible étant situé du côté extérieur de la voie. Cette disposition a pour effet de communiquer à l'essieu la tendance à revenir continuellement dans l'axe de la voie et de faciliter le passage dans les courbes.

15 **e) Application de la charge sur les essieux** (fig. 10).

Le poids du véhicule est appliqué sur les essieux par des dispositifs plus ou moins compliqués, comportant toujours des boîtes d'essieu et un système de suspension à ressorts, lequel amortit les chocs dus aux inégalités de la voie et permet de répartir convenablement la charge sur les différents essieux.

16 **f) Charge par essieu.**

La charge maximum admise par essieu est conditionnée par la résistance de la voie et des ouvrages d'art. Elle atteint 22 t au plus pour certains types de locomotives Diesel, 18 t au plus pour les autorails.

Les véhicules moteurs à forte charge par essieu (en principe au-delà de 20 t) peuvent être soumis à des interdictions de circulation ou, le cas échéant, à des ralentissements, sur certaines sections de ligne ou au passage de certains ouvrages d'art.

II. CONCEPTION GENERALE DU VEHICULE.

D'une manière générale, on distingue :

— le matériel à essieux parallèles, ou matériel rigide;
— le matériel à bogies, ou matériel articulé.

17 a) Matériel rigide.

Dans le matériel rigide (fig. 11) la caisse repose sur des essieux invariablement solidaires du châssis, de sorte que le véhicule peut être considéré comme un bloc rigide. L'écartement entre les axes des essieux extrêmes, ou entre les points de contact avec le rail des roues extrêmes, est appelé « **empattement** ».

La circulation en courbe du matériel rigide est rendue possible grâce aux moyens suivants :

— on augmente légèrement l'écartement entre les rails, mais on ne peut toutefois dépasser une certaine limite (35 mm maximum pour les courbes à faible rayon);
— on permet un certain jeu latéral aux trains de roues, mais on est très limité dans cette voie parce que cela nuit à la stabilité de marche en alignement droit;
— pour les véhicules dont le nombre d'essieux est supérieur à 2, on utilise pour les roues intermédiaires des bandages dont le boudin présente un profil spécial aminci.

Il est clair cependant que l'inscription en courbe devient de plus en plus difficile au fur et à mesure que l'empattement augmente, les boudins des roues frottant contre les rails de même que les boîtes d'essieu forçant sur leurs guides. Dès lors, le système à essieux parallèles ne convient que pour des véhicules à empattement limité (et par conséquent de longueur totale relativement faible), ne devant pas circuler à vitesse élevée et desquels on n'exige pas une grande douceur de marche. Il est appliqué :

1) sur certains petits autorails à deux essieux pour lignes secondaires (type 551 : empattement = 5,5 m; longueur = 11,3 m; vitesse maximum = 58 km/h);

2) sur les locomotives Diesel-hydrauliques de manœuvre, lesquelles comportent trois ou quatre essieux couplés par bielles (empattement = 4 à 5 m; longueur = 8 à 11 m; vitesse maximum = 50 km/h).

La fig. 11 représente schématiquement l'inscription en courbe d'une locomotive de manœuvre à trois essieux couplés (types 250 à 253).

18 **b) Matériel à bogies.**

Dans le matériel à bogies (fig. 12), la caisse ne repose plus directement sur les essieux, mais sur deux chariots, appelés bogies, constituant chacun une sorte de petit véhicule composé d'un châssis reposant sur deux ou trois essieux.

L'écartement entre les essieux extrêmes d'un même bogie, c'est-à-dire l'empattement du bogie est toujours relativement faible (4 m maximum). Les bogies pivotent autour d'un axe vertical de sorte que, dans les courbes, ils peuvent s'orienter selon des rayons différents.

Le système à bogies permet de réaliser des véhicules de grande longueur (jusque 25 m environ), pouvant aisément circuler en courbe, et il procure une plus grande douceur de marche.

Il est d'usage général sur toutes les locomotives de ligne ainsi que sur la grande majorité des autorails.

La fig. 12 représente schématiquement l'inscription en courbe d'une locomotive de ligne munie de deux bogies à deux essieux (type 201).

III. LA CAISSE.

La caisse doit évidemment être de construction appropriée au type d'engin considéré : autorail ou locomotive.

19 **a) Caisses d'autorails.**

Une caisse d'autorail est construite selon les mêmes principes que celle d'une voiture métallique à voyageurs.

On y distingue :

— l'ossature;

— les revêtements.

L'ossature est composée d'éléments métalliques longitudinaux, transversaux et verticaux, assemblés par soudure ou rivure. La partie inférieure de l'ossature constitue le **châssis.** Celui-ci comprend deux éléments longitudinaux principaux, dénommés **longerons,** entretoisés de façon

appropriée. Les extrémités du châssis dénommées souvent avant-corps, sont spécialement renforcées et entretoisées notamment par les traverses de tête, qui portent les organes de choc et d'attelage et par les traverses de pivot, qui servent à l'appui sur les bogies.

Les parois latérales de l'ossature au long pan sont assemblées au châssis de façon à former réellement corps avec lui et participent ainsi activement à la résistance de l'ensemble.

Les parois latérales de l'ossature reçoivent un revêtement extérieur en tôle d'acier et un revêtement intérieur généralement en bois contre-plaqué, entre lesquels sont insérés des matériaux spéciaux pour l'isolation acoustique et thermique. La partie supérieure ou toiture reçoit également un revêtement extérieur en tôle et un revêtement intérieur constituant le plafond; dans certains cas, une partie de ce dernier est constituée par de la tôle perforée en vue de compléter l'insonorisation. Enfin, la partie inférieure de l'ossature est recouverte par le plancher; celui-ci comporte généralement un certain nombre d'ouvertures, fermées par des trappes amovibles, pour permettre l'accès à certains organes de la motorisation.

Selon le cas, ces derniers sont supportés par le châssis de la caisse ou bien ils sont installés dans le bogie.

Enfin, les caisses d'autorails comportent des aménagements intérieurs, variables évidemment avec le type d'autorail. Des dispositions sont prises pour éviter la présence de matériaux combustibles au voisinage des équipements moteurs.

20 b) Caisses de locomotives.

Une caisse de locomotive comporte un châssis particulièrement robuste, qui en forme l'ossature rigide. Ce châssis est généralement constitué de deux longerons formés par des caissons en tôle ou par des poutrelles en acier, fortement entretoisés notamment par les traverses de tête, qui portent les organes de choc et d'attelage et, dans le cas du matériel à bogies, par les traverses de pivot. C'est encore le châssis qui supporte les principaux organes de la motorisation, en particulier le moteur Diesel.

Dans les locomotives de ligne (fig. 8 et 12), le châssis est surmonté d'une caisse occupant toute la largeur de la machine et dont les parois participent, le cas échéant, à la résistance de l'ensemble. La caisse comporte une cabine de conduite à chaque extrémité, et un grand compartiment central abritant les principaux organes de la motorisation, formant la **salle des machines.**

Dans les **locomotives de manœuvre** (fig. 9 et 13), par contre, le châssis est surmonté d'un simple capot n'occupant pas toute la largeur de la machine et abritant la motorisation. Une cabine de conduite unique débordant latéralement de chaque côté du capot est installée à une extrémité de la locomotive.

IV. LES ORGANES DE ROULEMENT.

21 Définition.

Les organes de roulement sont :

— les **trains de roues,** qui assurent le déplacement du véhicule sur la voie;

— les **boîtes d'essieu,** qui supportent le poids du véhicule par l'intermédiaire du système de suspension et s'appuient sur les trains de roues.

Parmi les trains de roues, on distingue :

— les trains de roues **porteurs,** qui servent uniquement à supporter le poids du véhicule;

— les trains de roues **moteurs,** qui servent en outre à assurer la propulsion du véhicule, et auxquels est transmise dans ce but la puissance du moteur Diesel.

Les locomotives de la S.N.C.B. ne comportent que des trains de roues moteurs : elles sont dites à adhérence totale, tout le poids de la locomotive servant à l'adhérence.

Les autorails, par contre, comportent généralement des trains de roues moteurs et des trains de roues porteurs.

Trains de roues porteurs.

22 Un train de roues porteur d'autorail est semblable à celui d'une voiture ordinaire (fig. 13). Il comprend un essieu et deux roues. Chaque roue se compose des parties ci-après :

— le centre de roue;
— les bandages;
— les cercles d'attache.

23 **L'essieu** est d'une pièce en acier forgé et traité. On y distingue :

— le corps de l'essieu, c'est-à-dire l'espace compris entre les roues;
— les portées de calage pour les centres de roues;
— les fusées, qui prolongent l'essieu à l'extérieur des roues et reçoivent les boîtes d'essieu.

Parfois l'essieu est foré intérieurement ce qui permet, à résistance égale, d'en diminuer le poids.

24 **Le centre de roues** est emmanché à force sur la portée de l'essieu. Il est d'une pièce, généralement en acier moulé.

On y distingue :

— le moyeu, alésé cylindriquement pour le calage sur la portée de l'essieu;
— la jante, sur laquelle se fixe le bandage;
— les rayons (fig. 14) ou bien un voile plein (fig. 15) reliant la jante au moyeu.

25 **Le bandage** (fig. 16) est une couronne en acier très dur qui entoure la jante. Pour qu'il fasse corps avec la roue, il est posé à chaud sur la jante de façon que la contraction du métal au refroidissement provoque le serrage désiré. Pour éviter qu'en cas de rupture du bandage les fragments ne puissent en être projetés et provoquer des accidents, le bandage est appliqué d'un côté sur la jante par un talon et emprisonné de l'autre côté par un **cercle d'attache**, encastré en partie dans une gorge du bandage.

La face externe du bandage, en contact avec le rail, possède une forme spéciale. On y distingue :

— le boudin, qui guide les roues à l'intérieur des rails;
— la surface de roulement, légèrement conique, par laquelle le bandage porte sur le rail.

Le profil de la face externe du bandage doit respecter des règles bien définies en vue d'empêcher les déraillements. Lorsque par suite de l'usure au contact du rail, ces conditions ne sont plus remplies, on rétablit un profil convenable par tournage; cette opération est dite : reprofilage. Après un certain nombre de reprofilages, il devient impossible de rétablir le profil normal tout en respectant la cote minimum imposée pour l'épaisseur du bandage (25 à 40 mm selon le cas). On est alors dans l'obligation de le remplacer.

26 **Remarque.** — On a donné au type de roue décrit ci-dessus le nom de **roue à bandage rapporté,** pour le distinguer de certaines roues coulées en une seule pièce, appelées **roues monobloc.** Ces dernières doivent être remplacées entièrement lorsqu'elles arrivent à limite d'usure. Elles ne sont utilisées sur notre réseau qu'en nombre très limité, à titre d'essai.

27 **Trains de roues moteurs.**

Un train de roues moteur se compose des mêmes parties constitutives qu'un train de roues porteur. En plus, il comporte un pignon calé sur une portée ménagée dans le corps de l'essieu de façon à pouvoir être entraîné par les organes de la transmission (fig. 17). On peut rencontrer :

— un engrenage droit lorsque l'essieu est entraîné par un moteur électrique disposé parallèlement à l'essieu (cas de la transmission électrique) ;
— un engrenage conique, ou une couronne actionnée par vis sans fin, lorsque l'essieu est entraîné par un arbre qui lui est perpendiculaire (cas de la transmission mécanique ou hydraulique).

Les dispositifs utilisés pour l'entraînement font partie de la transmission et sont décrits plus en détail au chapitre IV.

Les trains de roues moteurs des locomotives Diesel-hydrauliques de manœuvre (fig. 18), qui sont entraînés par bielles, sont différents du type habituel. Les bielles doivent, en effet, être complétées par des manivelles motrices, constituées à l'aide des boutons de manivelle calés dans les centres de roues. De plus, les bielles étant extérieures aux roues, les fusées et les boîtes d'essieu sont disposées à l'intérieur des roues au lieu de l'extérieur comme dans les autres cas.

28 Les boîtes d'essieu.

Les boîtes d'essieu sont conçues pour répartir sur les fusées le poids du véhicule et entraîner le châssis dans la direction que suivent les essieux.

Les boîtes d'essieu à coussinets lisses graissés par tampon ou au perfect packing, telles qu'elles existent encore sur une grande partie du matériel remorqué, ne sont pas en usage sur les autorails et locomotives Diesel.

Ces engins sont généralement équipés de **boîtes à rouleaux** (S.K.F., Timken, Hyatt) comprenant un corps de boîte et un ou deux roulements à rouleaux, grâce auxquelles le frottement de glissement du coussinet est remplacé par le frottement de roulement d'un ensemble de rouleaux maintenus à distance constante les uns des autres par une cage et insérés entre deux bagues formant chemin de roulement (fig. 19). De telles boîtes contiennent une provision de graisse suffisante pour une très longue période et ne demandent aucun graissage de la part du conducteur.

Certains autorails sont aussi équipés de **boîtes à graissage mécanique** (Isothermos, Athermos, Friedmann). Ce sont des boîtes à coussinets lisses comprenant un corps de boîte dont la partie inférieure constitue réservoir d'huile (fig. 20). Le graissage du coussinet s'effectue automatiquement à l'aide d'une palette tournante fixée en bout de la fusée, qui plonge dans l'huile à chaque tour de roue; grâce à la forme coudée de la palette, qui sur-

plombe le bec du coussinet, l'huile est continuellement déversée dans les canaux d'adduction au coussinet pendant la marche du véhicule. Sous réserve qu'elle soit parfaitement étanche notamment au joint du couvercle, ce type de boîte contient une réserve d'huile suffisante pour une longue période, et n'exige aucun graissage de la part du conducteur.

29 Guides de boîtes.

Tant sur le matériel rigide que sur le matériel à bogies, les boîtes d'essieu doivent être maintenues dans leur position normale par un dispositif de guidage approprié. Celui-ci doit permettre le mouvement vertical alternatif au châssis par rapport aux boîtes qui résultent des oscillations de la suspension, tout en empêchant le mouvement transversal de ces boîtes.

Le système classique (fig. 21) consiste à munir les longerons du châssis (châssis de caisse dans le cas du matériel rigide, ou châssis de bogie dans le cas du matériel à bogies) de **guides de boîte,** qui s'emboîtent dans des glissières en forme de U pratiquées sur les faces latérales de la boîte. Les guides sont adaptés aux échancrures percées dans les longerons pour recevoir les boîtes ou, le cas échéant, sont formés à l'aide de pièces spéciales fixées au longeron, appelées plaques de garde. Une pièce amovible, appelée sous-garde, réunit les extrémités inférieures de l'échancrure du longeron ou des plaques de garde.

Dans le matériel de conception récente, les guides proprement dits sont en acier spécial au manganèse **(Manax)** et ils frottent sur des appliques de même matière rapportées sur les glissières des boîtes d'essieu. En principe, grâce aux propriétés du Manax qui résiste à l'usure sans lubrifiant, de tels guides ne doivent pas être graissés en service.

Les guides de boîtes supportent des poussées dans le sens longitudinal et dans le sens latéral. Ils doivent présenter des jeux bien déterminés, longitudinalement et latéralement. Ces jeux sont indispensables, à la fois pour faciliter le passage en courbe et pour que ce soient bien

les ressorts de suspension et non les guides, qui transmettent au châssis les chocs reçus par la boîte pendant la marche.

Mentionnons encore quelques particularités, qui présentent un caractère plus exceptionnel.

Certains guides (par exemple ceux des locomotives type 201) n'ont qu'une seule joue latérale de guidage, c'est-à-dire que les glissières sont en forme de L; le guidage transversal est assuré par la combinaison des joues latérales des deux roues opposées de l'essieu.

Dans certains cas, on prévoit un dispositif permettant de rattraper l'usure des guides et glissières au fur et à mesure qu'elle se produit, à l'aide d'un coin mobile réglable par tige filetée et écrou.

30 Guidage par bielles (fig. 22).

Dans les bogies modernes, on a imaginé d'autres systèmes de guidage qui permettent d'éliminer les guides de boîtes et glissières.

C'est ainsi que, dans les bogies moteurs des autorails type 603, la liaison des boîtes d'essieu au châssis de bogie est réalisée à l'aide de deux petites bielles, articulées d'une part, sur deux oreilles situées aux extrémités d'un diamètre oblique de la boîte, d'autre part sur le châssis. Les pivots d'articulation sont garnis de bagues en caoutchouc (silent-blocs). Les bielles guident l'essieu dans ses déplacements verticaux sans intervention de pièces sujettes à frottement et à usure. Elles sont conjuguées avec l'emploi de ressorts en hélice disposés de part et d'autre de la boîte, formant la suspension primaire du bogie.

Ce dispositif porte le nom de système Alsthom, du nom de la firme qui l'a imaginé. Il est représenté schématiquement à la fig. 22, tandis que la fig. 23 représente l'essieu du bogie porteur du même autorail (type 603) dont les boîtes sont guidées de façon classique à l'aide de plaques de garde et glissières.

V. LA SUSPENSION.

31 **Rôle de la suspension.**

La suspension élastique du matériel roulant a pour but :

— d'amortir les chocs dus aux inégalités de la voie et d'adoucir le roulement;
— de diminuer les chocs des roues sur la voie pour éviter sa détérioration trop rapide;
— de répartir convenablement la charge sur les différents essieux.

Ressorts de suspension.

32 Les éléments constitutifs essentiels de toute suspension sont les ressorts. On distingue deux types de ressorts très différents : les ressorts à lames et les ressorts en hélice. Tous deux sont en acier spécial à haute résistance et grande élasticité.

33 Les **ressorts à lames** (fig. 24) sont formés d'un certain nombre de lames cintrées, de longueur décroissante, superposées les unes sur les autres, et maintenues en leur milieu par une bride placée à chaud. Les lames les plus longues, à l'extrémité desquelles la charge est appliquée, s'appellent lames maîtresses. Toutes les lames comportent une rainure longitudinale au centre pour empêcher leur déplacement transversal. Les ressorts à lames présentent la propriété d'amortir rapidement les oscillations de grande amplitude, grâce au frottement des lames les unes contre les autres.

34 Les **ressorts en hélice** sont formés par l'enroulement en hélice d'une barre de section généralement ronde, ou parfois rectangulaire. Ils absorbent mieux que les ressorts à lames les trépidations rapides et brutales, mais ne présentent aucune aptitude à l'amortissement, de sorte qu'ils donnent lieu, s'ils sont employés seuls, à des oscillations prolongées. Les ressorts en hélice sont souvent utilisés par groupes de deux ressorts emboîtés l'un dans l'autre, appelés **nids de ressorts,** de façon à éviter un accident grave en cas de rupture.

35 La suspension du matériel rigide.

Le matériel rigide est généralement muni d'un système de suspension très simple par des ressorts à lames.

Dans les autorails à deux essieux (type 551), la bride de chaque ressort à lames prend appui dans un logement pratiqué à la partie supérieure de la boîte d'essieu, les extrémités des lames maîtresses supportant le châssis. La suspension est dite **supérieure.**

Dans les locomotives de manœuvre à 3 essieux couplés (types 250 à 253) dont la suspension est représentée schématiquement à la fig. 25, les longerons du châssis sont intérieurs aux roues et échancrés au droit des boîtes d'essieux. Ils portent des guides soudés, avec plaques d'usure en Manax. Les brides des ressorts à lames sont fixées à la partie inférieure des boîtes d'essieu. Les extrémités dese lames maîtresses supportent le poids du châssis par l'intermédiaire de tiges de suspension filetées, munies d'écrous de réglage permettant de régler la tension des ressorts de chaque boîte. La suspension est dite **inférieure.**

On remarque également que l'action des ressorts des deux premiers trains de roues (côté avant de la locomotive) est conjuguée par des balanciers longitudinaux de sorte que, dans l'ensemble, la suspension se fait en quatre points.

36 La suspension du matériel à bogies.

La suspension du matériel à bogies est conçue en vue de procurer une plus grande douceur de marche que celle du matériel rigide.

Sauf sur certains autorails légers pour lignes secondaires (types 552 à 554), les bogies comportent, dans ce but, deux étages de suspension. Dans un tel bogie, le châssis de bogie repose sur les boîtes d'essieu par l'intermédiaire d'un premier jeu de ressorts, ou **suspension primaire.** La traverse centrale, au lieu d'être rigidement solidaire du châssis de bogie, est elle-même suspendue à ce châssis par un second jeu de ressorts, ou **suspension secondaire.** Cette traverse appellée **traverse danseuse** supporte la

charge de la caisse, soit en son centre, soit sur des appuis latéraux. Dans tous les cas, un pivot central assure l'entraînement de la caisse. La traverse danseuse pivote en même temps que le bogie.

Cette disposition de principe donne lieu, dans sa réalisation pratique, à de nombreuses variantes. Très souvent, l'ensemble de la suspension comporte à la fois des ressorts à lames et des ressorts en hélice, de façon à combiner les propriétés des deux types de ressorts. Une disposition caractéristique à cet égard consiste à réaliser la suspension primaire par ressorts en hélice et la suspension secondaire par ressorts à lames.

Dans certains bogies de conception récente, on utilise cependant exclusivement des ressorts en hélice (par exemple bogies moteurs à 3 essieux des locomotives types 202 — 204). Dans ce cas, la suspension doit être complétée par des amortisseurs destinés à freiner les oscillations de grande amplitude, ce dont, comme nous l'avons vu, les ressorts en hélice seuls sont incapables.

A noter aussi que, pour en améliorer l'élasticité et surtout atténuer les vibrations, la suspension des bogies modernes est souvent complétée par certains éléments en caoutchouc, notamment aux points de liaison entre caisse et traverse danseuse (pivot central et appuis latéraux).

De nombreux bogies à double suspension équipant les autorails et locomotives Diesel sont apparentés soit au type dit **Pensylvania,** soit au type dit **Goerlitz.**

C'est pourquoi nous décrirons sommairement, outre les bogies simples des autorails légers types 552 à 554 cités ci-dessus, ces deux types de bogies.

37 **Bogies des autorails légers types 552 à 554** (fig. 26).

Ces bogies comportent un système de suspension simple analogue à celui du châssis principal des autorails à deux essieux.

Le châssis de bogie, formé de tôles soudées, comporte deux longerons réunis par deux traverses d'extrémité et une traverse centrale renforcée, et il est muni de plaques de garde pour le guidage des boîtes d'essieu à rouleaux.

Il repose sur les deux trains de roues par des ressorts à lames dont la bride s'appuie à la partie supérieure des boîtes d'essieu. Un train de roues est porteur et l'autre moteur (entraîné par l'arbre de transmission à l'aide d'une vis sans fin engrenant avec une couronne calée sur l'essieu).

La caisse repose sur la traverse centrale du bogie par un pivot s'engageant dans une crapaudine; deux appuis latéraux, constitués par des galets ou par des patins de glissement en Manax, limitent le balancement de la caisse.

Pour améliorer la souplesse de ce type de suspension, dans certains bogies, la crapaudine centrale et les patins de glissement latéraux sont montés par l'intermédiaire d'éléments en caoutchouc jouant le rôle d'une suspension secondaire.

38 Bogies Pensylvania.

Le bogie Pensylvania est de conception relativement ancienne. Il est en usage sur la plupart des voitures métalliques construites avant 1940, ainsi que comme bogie porteur sur les autorails doubles type 620 et triples type 670.

Nous décrirons plus en détail le bogie moteur des locomotives Diesel-électriques de ligne type 201, qui constitue également une variante du type Pensylvania.

Ce bogie (fig. 27) comporte deux trains de roues moteurs, portant chacun une couronne dentée engrenant avec un pignon calé en bout d'arbre d'un moteur électrique de traction installé dans le bogie.

Les boîtes d'essieux à rouleaux (S.K.F.) sont reliées deux par deux par des jougs longitudinaux à col de cygne. Le châssis de bogie, d'un seul bloc en acier coulé, repose sur les jougs par l'intermédiaire de 4 groupes de deux nids de ressorts en hélice (suspension primaire). La traverse danseuse est montée sur deux ressorts à lames doubles, dits ressorts à pincettes, disposés dans le sens transversal (suspension secondaire). Ces ressorts à pincettes sont eux-mêmes suspendus par des biellettes à deux traverses fixes du châssis de bogie situées de part et d'autre de la traverse danseuse.

Cette dernière supporte la charge de la caisse sur deux appuis latéraux fermés par des patins de glissement (ou lisoirs) en Manax soudés sur la traverse, tandis que les patins correspondant sur la caisse sont montés sur caoutchouc. Un pivot central fixé à la caisse et muni d'un amortisseur en caoutchouc s'engage dans le logement correspondant de la traverse danseuse; il sert uniquement à entraîner la caisse, sans supporter la charge.

39 Bogies Goerlitz.

La bogie du genre dit Goerlitz est utilisé sur d'assez nombreux types d'autorails, en particulier comme bogie moteur dans lequel est installé le moteur Diesel, et, selon le type de transmission, la boîte de vitesse mécanique, la boîte hydraulique ou la génératrice principale.

Dans la conception originale de ce bogie (par exemple le bogie moteur des autorails triples type 670, fig. 28), le châssis repose sur chacune des boîtes d'essieu par l'intermédiaire d'un ressort à lames combiné avec de petits ressorts en hélice disposés autour des tiges de suspension aux extrémités du ressort à lames (suspension primaire). La traverse danseuse repose sur les brides centrales de deux forts ressorts à lames disposés dans le sens longitudinal et dont les extrémités sont accrochées au châssis par des menottes (suspension secondaire); elle est guidée par des glissières verticales.

Dans d'autres variantes (par exemple bogie moteur des autorails types 608 et 620, bogies porteurs et moteurs des autorails types 604 et 605, bogie porteur des autorails type 603), la suspension primaire est réalisée uniquement par des ressorts en hélice disposés latéralement de part et d'autre de la boîte d'essieu (fig. 23). La traverse danseuse proprement dite est supprimée, la caisse reposant sur des appuis latéraux montés à la partie supérieure des brides des ressorts à lames longitudinaux; ces appuis sont guidés par des glissières verticales; le pivot central pour l'entraînement de la caisse est solidaire du châssis de bogie.

Le bogie moteur des autorails type 603 appartient également à cette catégorie, mais avec cette différence que les boîtes d'essieu (fig. 22) et aussi les appuis latéraux sont guidés par bielles au lieu de guides et glissières.

VI. LES APPAREILS DE CHOC ET D'ATTELAGE.

40 Rôle.

Tout véhicule de chemin de fer doit, en principe, pouvoir être tiré ou poussé. C'est pourquoi il doit être muni sur chacune de ses faces d'extrémité, d'appareils de choc et d'attelage. Ceux-ci permettent notamment, dans le cas d'une locomotive, de l'accoupler au matériel à remorquer. Il est indispensable de munir ces appareils de ressorts pour amortir les effets des chocs qui peuvent se produire.

Les appareils de choc et d'attelage décrits ci-après et représentés à la fig. 29 sont ceux du type normal. Signalons cependant qu'un assez grand nombre d'autorails de la S.N.C.B. ont été conçus uniquement pour rouler isolément et, qu'en conséquence, ils ne sont pas pourvus de ces appareils; ils ne comportent qu'un système rudimentaire permettant seulement, en cas de besoin, de les remorquer à vitesse réduite (voir art. 48).

41 Les appareils de choc.

Les appareils de choc ont pour rôle :

— de maintenir un espace libre entre les véhicules de façon à permettre de réaliser en sécurité l'accouplement des attelages, des boyaux de frein et de chauffage;
— d'amortir les chocs occasionnés soit lors de l'accostage, soit en cours de route, en particulier lors des démarrages et des arrêts.

Ils sont constitués par deux tampons, dits aussi butoirs (fig. 29).

Un tampon de choc (fig. 30) comporte un plongeur terminé par le plateau de contact, guidé dans un boisseau boulonné sur la traverse de tête. Il peut être muni intérieurement d'un fort ressort en hélice, mais, dans le matériel de conception récente, on utilise un ressort spécial à friction. Celui-ci est formé d'anneaux en acier s'emboîtant les uns dans les autres sur des surfaces coniques graissées. Ce tampon est dit du type à bagues **(Ringfeder).** Il présente l'avantage d'absorber, lors de la compression, une grande partie du travail développé par déformation élastique et frottement, et de le transformer en chaleur; contrairement au ressort en hélice, le travail libéré par la détente est fortement réduit, ce qui atténue considérablement les réactions mutuelles entre choc et traction.

Les plateaux situés sur une même face du véhicule sont différents : l'un est bombé et l'autre plat. Ainsi, il y a toujours un plateau bombé en contact avec un plateau plat. Cette disposition permet d'une part de garder un contact correct et d'éviter toute usure anormale lors du passage en courbe (fig. 30) d'autre part, d'éviter des poussées vers le haut lorsque les axes des deux plateaux arrivent à ne pas se trouver à la même hauteur (fig. 31).

42 Les appareils d'attelage.

Les appareils d'attelage servent à établir la liaison entre les différents véhicules d'un train; en particulier, ils doivent permettre à la locomotive d'exercer son effort sur le train. Ils comprennent (fig. 29) :

— le crochet de traction;
— le tendeur d'attelage, dont l'étrier vient s'accrocher au crochet du véhicule voisin, et permet de réaliser un serrage entre les tampons des véhicules.

Le crochet de traction (fig. 32) est constitué d'une barre terminée par un crochet; la barre peut généralement coulisser dans un orifice approprié de la traverse de tête pour que le crochet puisse se déplacer quelque peu latéralement lors du passage en courbe. La barre est reliée élastiquement à la traverse de tête par un ou plus géné-

ralement, deux ressorts à volute (ressort à lame de section rectangulaire, mais enroulé en forme de spirale conique), dits ressorts de traction.

Le tendeur d'attelage (fig. 33) est composé d'une vis à filets opposés sur chaque demi-vis et sur laquelle peuvent se déplacer deux écrous avec tourillons. D'un côté, les tourillons passent dans les brides qui maintiennent le tendeur au crochet au moyen d'un pivot, tandis que de l'autre côté ils passent dans un étrier destiné à s'accrocher dans le crochet de l'autre véhicule. Le tendeur se manœuvre à l'aide d'un levier monté sur la vis et terminé par un contrepoids. Celui-ci maintient le levier vers le bas et évite le desserrage en cours de route.

43 **Conditions de l'attelage.**

Les conditions de l'attelage sont différentes selon qu'il s'agit d'un train de voyageurs ou de marchandises.

Aux trains de voyageurs, qui sont courts et circulent à vitesse relativement élevée, les attelages doivent toujours être tendus de façon à serrer les tampons les uns contre les autres; ainsi on évite les mouvements de lacet et les réactions dans le train lors des démarrages ou au freinage.

Aux trains de marchandises, qui sont longs et circulent à vitesse plus faible, les attelages doivent, au contraire, être lâchés de façon que les tampons ne viennent en contact qu'irrégulièrement; ainsi le démarrage est facilité, la traction s'effectuant successivement de véhicule à véhicule.

44 VII. POSTES DE CONDUITE.

Le nombre et l'emplacement des postes de conduite ont été indiqués à l'art. 11. Chacun des postes de conduite est équipé de tous les organes nécessaires à la conduite du véhicule moteur. Ceux-ci comprennent notamment :

a) les organes de **commande de la motorisation :** manette ou volant pour le réglage de la puissance, levier pour l'inversion du sens de marche, commutateur ou bouton-poussoir pour le lancement et l'arrêt du Diesel, etc.;

b) les organes de **contrôle de la motorisation :** appareils de mesure divers, lampe-témoins avec éventuellement sonnerie d'alarme pour avertir le conducteur de certaines anomalies, etc.;

c) les appareils **de commande et de contrôle du frein :** robinets de mécanicien, manomètres de contrôle;

d) les organes **de commande et de contrôle des auxiliaires :** sablières, chauffage, éclairage, etc.

Sauf certains petits autorails pour lignes secondaires (types 552 à 554), tous les autorails et locomotives Diesel sont munis à chacun des postes de conduite d'un dispositif de sécurité dit « **d'homme mort** ». Celui-ci comporte soit une pédale, soit une manette, soit parfois pédale et manette conjuguées. Si le conducteur cesse d'y appuyer le pied (ou la main), ce dispositif a pour effet, au bout d'un délai de quelques secondes, de couper la traction et de provoquer automatiquement le freinage du train.

D. LES AUTORAILS.

I. GENERALITES.

45 Classification des autorails.

Les autorails ont été définis à l'art. 2. Selon le nombre de voitures constitutives, on distingue :

— les autorails **simples,** à une seule voiture;

— les autorails à **éléments multiples,** composés de plusieurs voitures distinctes, reliées entre elles par passerelles et soufflet d'intercommunication, et formant un tout indivisible en service courant; les plus couramment utilisés sont les autorails **doubles** (deux voitures) et les autorails **triples** (trois voitures).

D'autre part, il existe des autorails à transmission mécanique, hydraulique et électrique.

46 Caractéristiques principales.

Le tableau annexe I indique quelques caractéristiques importantes des principaux types d'autorails composant l'effectif de la S.N.C.B. Ces autorails ont été classés en 4 catégories selon leurs possibilités d'utilisation.

Ci-dessous la définition des caractéristiques figurant au tableau :

a) Puissance. C'est la puissance nominale du ou des moteurs Diesel équipant l'autorail.

b) Capacité. C'est le nombre total de places offertes aux voyageurs (assis et debout). Les autorails des catégories (a) et (b), destinés à l'exploitation des lignes secondaires, ne comprennent que des places de 2e classe; ceux des catégories (c) et (d) comprennent des places de 1re et de 2e classe.

c) Poids. Le poids indiqué est le poids à vide en ordre de marche, c'est-à-dire le poids constructif de l'autorail (tare) plus celui des approvisionnements au complet (gasoil, eau, sable, outils, etc.).

d) Puissance spécifique. La puissance spécifique s'obtient en divisant la puissance de l'autorail par le poids global en charge, c'est-à-dire y compris la charge utile (voyageurs et bagages). Elle s'exprime en chevaux par tonne (ch/t).

Exemple. Autorail simple type 603 :

Puissance nominale du moteur Diesel...	400 ch.
Poids à vide en ordre de marche	42 t.
Charge utile :	
voyageurs 139 × 75 = ...	10,5 t.
bagages	0,5 t.
Poids global en charge	53 t.

Puissance spécifique 400 : 53 = 7,5 ch/t.

La puissance spécifique est déterminante pour les performances de l'autorail (rapidité au démarrage et aptitude en côte).

e) **Vitesse maximum.** C'est la vitesse maximum autorisée pour le type d'autorail considéré.

f) **Rayon d'action.** C'est le parcours le plus grand que l'autorail peut effectuer avec son plein de combustible sans devoir se réapprovisionner dans les conditions normales de service.

Il dépend de la contenance des réservoirs à combustible et de la consommation kilométrique moyenne. Cette dernière variant avec différents facteurs (charge horaire, conditions atmosphériques, etc.), la valeur indiquée pour le rayon d'action est évidemment approximative.

Couplage des autorails.

47 Si on considère les possibilités d'attelage et de couplage des autorails, ceux-ci se classent en trois catégories :

a) les autorails aptes seulement à rouler isolément;
b) les autorails couplables;
c) les autorails jumelables.

48 a) **Les autorails aptes seulement à rouler isolément** forment encore une grande partie de l'effectif de la S.N.C.B. Ils sont dépourvus d'appareils de choc et d'attelage du type normal, chacune de leurs faces terminales n'étant pourvue que de deux tampons légers et d'un simple œillet de traction. Ce dernier sert, en cas de détresse, à remorquer l'autorail soit par une locomotive, soit par un autre autorail, moyennant un attelage de secours spécial qui fait partie de l'outillage de bord. Le placement de l'attelage, de même que la remorque de l'autorail avarié, ne peuvent s'effectuer qu'en observant certaines précautions (cf fasc. 9).

49 b) **Les autorails couplables** (cas des autorails simples types 603, 604 et 605) sont conçus de façon à pouvoir

être accouplés entre eux et former un train de deux autorails conduits par un seul agent à partir de l'une ou l'autre des cabines d'extrémité.

A cet effet, les traverses de tête de ces autorails sont munies d'appareils de choc et d'attelage du type normal et de boyaux flexibles avec robinet d'arrêt et tête à valve destinés à relier les conduites d'air comprimé pour le frein. De plus, ils portent au centre de chacune des parois frontales, une boîte terminale pour le placement entre les deux autorails d'un **câblot** de liaison. Ce câblot assure les raccordements électriques nécessaires à la commande et au contrôle simultané à distance des deux motorisations à partir de l'un quelconque des postes de conduite.

On ne peut coupler entre eux que des autorails pourvus d'une motorisation similaire (types 603 d'une part, 604 et 605 d'autre part).

Ces autorails ont aussi été conçus pour qu'on puisse y atteler des remorques légères de construction spéciale, ou, le cas échéant, un wagon de marchandises de 20 t. Les remorques sont de deux types : celles à 2 essieux et celles à bogies. Elles sont pourvues de canalisations électriques pouvant être reliées par câblot à l'autorail, de sorte qu'il est également possible d'intercaler une ou deux remorques entre deux autorails. Ainsi, selon le nombre de voyageurs à transporter, on peut constituer des rames comprenant jusqu'à 4 véhicules (deux autorails et deux remorques), conduites par un seul agent. La fig. 34 représente les différentes compositions possibles (A = autorail, R = remorque).

50 **Les autorails jumelables** (autorail triple type 630) constituent une catégorie intermédiaire entre les précédentes. Ils peuvent être accouplés ensemble au moyen d'appareils de choc et d'attelage du type normal et de boyaux flexibles pour les conduites d'air comprimé. Mais ils ne permettent pas la commande simultanée des motorisations. On ne peut donc former un train de deux autorails qu'à la condition qu'un conducteur soit présent sur chacun d'eux.

II. LES AUTORAILS SIMPLES.

51 Constitution générale.

Les autorails simples sont constitués d'une voiture métallique à voyageurs spécialement aménagée en vue de pouvoir y loger la motorisation, et comportant un poste de conduite à chaque extrémité.

Ils sont généralement équipés d'un seul moteur Diesel (seuls les autorails type 605 font exception) fixé au châssis de la caisse ou installé dans un bogie.

La transmission est mécanique ou hydraulique. La puissance varie entre 125 et 400 ch.

La transmission comporte essentiellement :

— une boîte de vitesse (cas de la transmission mécanique) ou une boîte hydraulique (cas de la transmission hydraulique) ;

— un inverseur mécanique du sens de marche, souvent inclus dans le même carter que la boîte;

— des organes de liaison aux essieux moteurs (arbres à cardans et ponts d'essieu).

L'agencement de la motorisation dans le véhicule peut être réalisé de différentes façons. Nous citerons à ce sujet les principales dispositions que l'on rencontre sur les autorails de la S.N.C.B.

52 Moteur vertical fixé au châssis de la caisse.

Cette disposition est adoptée dans les autorails légers de faible puissance, types 551 à 554 (Brossel, 125 ou 165 ch) (fig. 35).

Dans les autorails types 551 à 553, le moteur Diesel (D) est fixé directement au châssis principal de la caisse par l'intermédiaire de blocs en caoutchouc (silent-bloc) ; il émerge au-dessus du niveau du plancher à l'intérieur d'un coffre aménagé sous une banquette du compartiment unique de la voiture.

La boîte de vitesse mécanique (M) est également fixée au châssis de la caisse, mais sous le niveau du plancher.

Dans les autorails à deux essieux (type 551), chacun de ces derniers est entraîné à l'aide d'arbres à cardan et d'un pont d'essieu à vis sans fin et couronne calée sur l'essieu; les deux essieux sont donc moteurs.

Dans les autorails à bogies (types 552 et 553), seul l'essieu intérieur de chacun des bogies est entraîné comme ci-dessus.

Enfin, les autorails à bogies type 554 sont analogues au type 553, sauf que, pour atténuer les vibrations, le moteur Diesel est fixé sur un châssis auxiliaire, ou faux-châssis, fixé lui-même élastiquement au châssis principal de caisse.

53 Moteur vertical installé dans un bogie.

Par suite de leur encombrement, les moteurs verticaux de puissance plus grande ne peuvent généralement plus être installés comme ci-dessus.

La solution classique, que l'on retrouve également dans les autorails doubles et triples, consiste à installer le moteur dans un bogie d'extrémité.

C'est ainsi que dans les autorails simples type 608 (SEM 370 ch) (fig. 36), le moteur Diesel (D) et la boîte de vitesse mécanique (M) sont montés dans un bogie, dit bogie moteur, dont un essieu est entraîné à l'aide d'un arbre à cardans et d'un pont d'essieu à engrenages coniques, tandis que l'autre bogie est simplement porteur.

Le moteur Diesel émerge au-dessus du niveau du plancher à travers une ouverture dans ce dernier, de façon à permettre les déplacements relatifs lors du passage en courbe.

Cette ouverture est surmontée d'un coffre, solidaire de la caisse et entourant le moteur, le tout se trouvant dans un compartiment séparé formant salle des machines, aménagé à l'extrémité de l'autorail. Dans la salle des machines, sont également installés les réservoirs à gasoil et le poste de conduite.

54 Moteur horizontal sous plancher installé dans un bogie.

Cette disposition se rencontre dans les autorails type 603 (SEM 400 ch) (fig. 37). Elle est analogue en principe à la précédente, mais grâce à l'emploi d'un moteur horizontal disposé entre les essieux du bogie moteur, l'ensemble de l'équipement moteur ne dépasse pas le niveau du plancher. Ainsi la salle des machines est supprimée et toute la superficie du plancher, à l'exception d'une petite cobine de conduite à chaque extrémité, est disponible pour les voyageurs et le compartiment bagages.

55 Moteur sous plancher fixé au châssis de la caisse.

Cette disposition implique généralement, comme dans le cas ci-dessus, l'emploi d'un moteur horizontal.

Cependant, elle a pu, à titre exceptionnel, être réalisée dans les autorails types 604 et 605, équipés de moteurs « General Motors » à deux temps du type vertical, et cela grâce au faible encombrement en hauteur de ces derniers. Le ou les moteurs sont fixés élastiquement sur un faux-châssis, suspendu lui-même au châssis principal de caisse vers le centre de la voiture, le tout entièrement installé en dessous du plancher.

L'aménagement intérieur de ces autorails est analogue à celui des autorails type 603 cités ci-dessus.

III. LES AUTORAILS DOUBLES ET TRIPLES.

56 Constitution générale.

A l'exception de l'autorail triple type 630, qui présente une disposition spéciale, les autorails doubles et triples sont constitués respectivement de deux ou trois voitures métalliques à voyageurs (cf. art. 40), aménagées de façon à pouvoir y loger la motorisation, avec un poste de conduite à chaque extrémité de la rame.

Les autorails de la S.N.C.B. sont généralement équipés de deux moteurs Diesel, dont la puissance peut varier

entre 370 et 600 ch. La transmission est mécanique, hydraulique ou électrique. Les moteurs Diesel sont logés dans les bogies d'extrémité.

57 Autorails à transmission mécanique ou hydraulique.

Ces autorails comportent un bogie moteur à chaque extrémité, dans chacun desquels est installé un moteur Diesel (D) avec la boîte de vitesse (M) ou la boîte hydraulique (H), et dont un ou les deux essieux moteurs sont entraînés, selon la disposition rencontrée dans certains autorails simples (type 608, art. 48). Citons :

a) les autorails doubles type 620 (SEM 2 × 370 ch) à transmission mécanique (fig. 38);

b) les autorails triples type 670 (Maybach 2 × 600 ch) à transmission hydraulique (fig. 39).

En ce qui concerne les bogies porteurs, deux cas peuvent se présenter :

a) les abouts de deux caisses voisines reposent sur un bogie intermédiaire commun (cas de l'autorail double type 620, fig. 38);

b) chaque caisse repose sur deux bogies qui lui sont propres (cas de l'autorail triple type 670, fig. 39).

58 Autorails à transmission électrique.

Les autorails triples à transmission électrique, du type 653 (Maybach 2 × 410 ch) ou 654 (SEM 2 × 365 ch) comportent 4 bogies (fig. 40). Dans chacun des bogies d'extrémité est logé un moteur Diesel (M) entraînant sa génératrice principale (G) formant ce qu'on appelle le groupe électrogène; les essieux de ces bogies sont de simples essieux porteurs.

Dans chacun des bogies intermédiaires, communs à deux caisses, sont logés deux moteurs électriques de traction (T) alimentés par la génératrice principale du bogie d'extrémité le plus proche et entraînant chacun un essieu par un train démultiplicateur d'engrenages droits.

59 Autorails triples type 630.

L'autorail triple type 630 comporte (fig. 41) :

— une voiture motrice, avec poste de conduite en tête et compartiment bagages, propulsée par deux motorisations à moteur horizontal SEM de 400 ch et transmission hydraulique; les moteurs Diesel sont fixés au châssis principal sous le niveau du plancher;
— deux voitures métalliques à voyageurs remorquées, dont une voiture médiane et une voiture d'extrémité dans laquelle un poste de conduite a été aménagé, avec commandes à distance des motorisations, de façon à assurer la réversibilité.

Cet autorail présente encore la particularité suivante : la voiture motrice comporte un second poste de conduite, quelque peu simplifié, disposé côté des voitures remorquées; elle peut être scindée de ces dernières et évoluer seule, par exemple pour rentrer à l'atelier en vue d'opérations d'entretien; elle peut aussi servir à effectuer certaines manœuvres dans les gares, de la même manière qu'une locomotive.

E. LOCOMOTIVES DIESEL ELECTRIQUES DE LIGNE.

60 CONSTITUTION GENERALE.

La transmission électrique est actuellement la plus répandue pour les locomotives Diesel de ligne. Dans sa conception classique, telle qu'elle a été adoptée dans les machines de la S.N.C.B., une telle locomotive comporte une caisse reposant sur deux bogies (fig. 42).

La caisse, entièrement carénée, comporte une cabine de conduite à chaque extrémité, et un grand compartiment central formant salle des machines. Celle-ci contient notamment : le moteur Diesel accouplé à la génératrice principale (groupe électrogène), les radiateurs de refroidissement de l'eau du Diesel avec leurs ventilateurs. La plupart des auxiliaires sont disposés également dans

la salle des machines; d'autres, tels que le réservoir à combustible et la batterie d'accumulateurs, sont installés sous la caisse, entre les bogies.

Les bogies contiennent les moteurs électriques de traction qui entraînent les essieux par l'intermédiaire d'un train démultiplicateur d'engrenages droits. Deux cas peuvent se présenter :

a) les bogies sont à deux essieux : la locomotive comporte alors en tout 4 moteurs de traction; elle est du **type B.B.** C'est le cas de la locomotive type 201 (Cockerill 1750 ch) (fig. 42);

b) les bogies sont à 3 essieux : la locomotive comporte alors en tout 6 moteurs de traction; elle est du **type C.C.** C'est le cas des locomotives types 202 à 204 (Anglo-Franco-Belge) lesquelles sont représentées de façon un peu plus détaillée à la fig. 43.

61 CHAUFFAGE DES TRAINS DE VOYAGEURS.

Pour être aptes à remorquer les trains de voyageurs, une locomotive Diesel doit comporter un moyen de chauffer ces trains. Dans ce but, on installe dans la salle des machines une chaudière à vapeur de construction spéciale, alimentée au gasoil; le fonctionnement de cette chaudière est entièrement automatique, c'est-à-dire qu'il ne nécessite pas de surveillance de la part du conducteur pendant la marche, sauf les purges qui peuvent être effectuées à distance à partir de la cabine.

Un réservoir à eau contenant une réserve suffisante (3000 à 4000 l) doit évidemment être prévu également.

Ce système présente l'avantage de ne nécessiter aucune modification des équipements de chauffage habituels des voitures remorquées par locomotives à vapeur.

A la S.N.C.B. seules les locomotives type 203, par ailleurs identiques au type 202, ne sont pas munies de ces chaudières.

62 CARACTERISTIQUES PRINCIPALES.

La tableau annexe II indique quelques caractéristiques importantes des locomotives Diesel-électriques de ligne de la S.N.C.B. Ces locomotives sont conçues pour services mixtes, c'est-à-dire qu'elles sont aptes à la remorque des trains de voyageurs et de marchandises (sauf type 203, non muni d'une chaudière de chauffage).

Ci-dessous la définition des caractéristiques figurant au tableau :

a) **Puissance.** C'est la puissance nominale du moteur Diesel équipant la locomotive.

b) **Poids.** Le poids indiqué est le poids global en ordre de marche, y compris les approvisionnements au complet (gasoil, eau, sable, outils, etc.).

c) **Vitesse maximum.** C'est la vitesse maximum autorisée pour le type de locomotive considéré.

d) **Vitesse minimum de régime continu.** C'est la vitesse minimum à partir de laquelle l'effort de traction correspondant à la pleine puissance du Diesel peut être développé pendant un temps indéfini sans provoquer d'échauffement excessif des moteurs de traction. En dessous de cette vitesse, la pleine puissance de la locomotive ne peut être utilisée que pendant un temps limité à cause de la grande intensité du courant dans les moteurs de traction, qui en provoquerait l'échauffement.

Cette notion est importante pour la remorque des trains de marchandises lourds, en particulier sur les lignes accidentées, lorsqu'on gravit les rampes à faible vitesse.

e) **Rayon d'action.** C'est le parcours approximatif que la locomotive peut effectuer avec son plein de combustible sans devoir se réapprovisionner, dans les conditions normales de service.

63 ATTELAGE ET COUPLAGE.

Les locomotives de ligne sont conçues pour la marche en unités multiples. En pratique cependant seule la marche

en **unités doubles** est utilisée : dans ce cas, deux locomotives accouplées en tête d'un train sont conduites entièrement par un seul conducteur, installé normalement dans la cabine à l'avant de la locomotive menante.

Chacune des traverses de tête de la locomotive est munie des appareils nécessaires pour l'attelage au train et le couplage des locomotives (fig. 43), soit :

— les appareils de choc et d'attelage du type normal (tampons, crochet de traction et tendeur d'attelage) ;
— un demi-accouplement avec robinet d'arrêt pour la conduite de chauffage à vapeur;
— un boyau flexible d'accouplement avec robinet d'arrêt et tête à valve pour la conduite générale du frein automatique;
— les boyaux flexibles d'accouplement avec robinet d'arrêt et tête à valve pour la conduite principale d'alimentation en air comprimé et la conduite générale du frein direct.

En outre, il est prévu sur chacune des faces frontales de la locomotive une boîte de raccordement de façon à permettre le placement entre deux machines d'un **câblot** de liaison, assurant les raccordements électriques nécessaires à la commande et au contrôle à distance simultanés des deux motorisations. Sur les locomotives type 201, sur lesquelles le réglage de la puissance du Diesel s'effectue par commande pneumatique, il faut en outre raccorder entre elles les conduites prévues à cet effet sur chaque locomotive (conduite d'accélération) à l'aide de boyaux flexibles avec robinet d'arrêt et tête à valve de modèle identique aux boyaux de frein.

N.B. — En cas de besoin, il est évidemment toujours possible également de remorquer un train avec deux locomotives accouplées, si chaque unité est commandée séparément par son conducteur propre; la puissance de chaque locomotive est alors contrôlée de façon indépendante, mais toutefois les freins sont sous le contrôle du conducteur de la locomotive menante. Ce mode de conduite, dit marche en **double traction,** n'est adopté qu'exceptionnellement.

F. LOCOMOTIVES DIESEL DE MANŒUVRE.

64 CLASSIFICATION.

Les locomotives Diesel de manœuvre sont les plus généralement à transmission hydraulique. Quelques-unes d'entre elles cependant sont à transmission électrique.

Les locomotives Diesel-hydrauliques de manœuvre sont à essieux couplés par bielles : celles à 3 essieux sont dites du type C et celles à 4 essieux du type D.

Les locomotives Diesel-électriques de manœuvre sont le plus souvent à bogies (type B.B.).

Dans tous les cas, le véhicule comporte un châssis très robuste reposant sur les organes de roulement. Ce châssis est surmonté d'un capot n'occupant pas toute la largeur de la machine et abritant les principaux organes de la motorisation. Une cabine de conduite unique est installée à une extrémité de la locomotive, avec commandes principales dédoublées à droite et à gauche.

65 LOCOMOTIVES DIESEL-ELECTRIQUES.

Une locomotive Diesel-électrique type B.B. pour services de manœuvre présente une constitution générale analogue à celle d'une locomotive Diesel-électrique de ligne (voir art. 55). Elle n'est pas munie de chaudière de chauffage.

66 LOCOMOTIVES DIESEL-HYDRAULIQUES (fig. 45).

Dans le cas des locomotives Diesel-hydrauliques, la transmission est du type Voith ou du type SEM.

Avec la boîte hydraulique **Voith,** l'ensemble de la transmission comporte essentiellement :

— une boîte hydraulique, dont l'arbre primaire est entraîné par le moteur Diesel;
— un inverseur-réducteur à engrenages accolé à la boîte hydraulique, par l'intermédiaire duquel celle-ci attaque un faux-essieu disposé transversalement soit entre les deux derniers essieux, soit à l'arrière du dernier essieu;

— un mécanisme à bielles pour l'entraînement des essieux par le faux-essieu.

L'inverseur-réducteur a un double rôle :

— permettre l'inversion du sens de marche;

— permettre d'établir deux régimes de vitesse maximum différents pour la locomotive : le régime « ligne » (vitesse maximum = 50 km/h), et le régime « manœuvre » (vitesse maximum = 30 km/h) dans lequel les performances à basse vitesse sont améliorées.

Avec la boîte hydraulique **SEM** (locomotives types 251 et 271), la structure générale de la locomotive est analogue, mais la boîte hydraulique contient des circuits séparés pour chacun des sens de marche, et les engrenages de réduction pour l'attaque du faux-essieu; l'inverseur-réducteur est donc supprimé et il n'y a qu'un seul régime de vitesse maximum (65 km/h).

67 CARACTERISTIQUES PRINCIPALES.

Elles sont données au tableau annexe II. La définition des caractéristiques est analogue à celles prévues pour les locomotives de ligne (voir art. 62), sauf pour le rayon d'action.

Celui-ci est remplacé par le nombre de jours de services de manœuvre que la locomotive est capable d'effectuer sans devoir se réapprovisionner. Celui-ci est évidemment très variable selon la nature des services effectués. Sauf cas exceptionnels, il n'est généralement pas inférieur à 6, ce qui permet de ne faire rentrer les machines au dépôt qu'une fois par semaine.

La vitesse minimum de régime continu est celle à partir de laquelle la locomotive peut développer sa pleine puissance pendant un temps indéfini sans échauffement anormal de la boîte hydraulique ou des moteurs de traction selon le type de transmission. On remarque qu'elle est plus élevée avec la transmission électrique qu'avec la transmission hydraulique. Les locomotives de manœuvre à transmission électrique nécessitent donc de la part du conducteur une surveillance plus attentive sur ce point.

L'expérience montre cependant que la vitesse indiquée (10 km/h) permet l'exécution sans difficulté de tous les services de manœuvre, y compris le débranchement sur les buttes de triage, qui s'effectue à très basse vitesse, mais ne requiert qu'une fraction de la puissance de la locomotive.

68 ATTELAGE ET COUPLAGE.

Les locomotives de manœuvre ne sont pas conçues pour la marche en unités multiples, mais permettent cependant le fonctionnement en double traction, c'est-à-dire que chaque locomotive doit être conduite par son propre conducteur.

Les traverses de tête sont munies d'appareils de choc et de traction du type normal, et de boyaux flexibles d'accouplement avec robinet d'arrêt et tête à valve pour la conduite générale du frein automatique et la conduite générale d'alimentation.

G. INTERET DE LA TRACTION DIESEL.

L'intérêt de la traction Diesel réside notamment dans les points suivants :

69 a) CONSOMMATIONS DE COMBUSTIBLE.

Parmi les différentes machines motrices d'usage industriel, connues à ce jour, le moteur Diesel est celui qui offre le rendement le plus élevé (35 % environ). Les pertes occasionnées par les marches à vide, lesquelles, sauf en période de gel, sont de courte durée, sont peu importantes. Les pertes dans la transmission et la puissance absorbée par les auxiliaires (ventilateurs, dynamo, compresseur, etc.) ne représentent, en tout, pendant le fonctionnement à pleine charge, que 20 à 25 % de la puissance développée sur l'arbre du Diesel.

Ainsi, le rendement global à la jante des roues motrices d'un engin à moteur Diesel est très supérieur à celui d'une locomotive à vapeur. Par exemple, pour un même travail utile produit, cette dernière consomme 6 à 8 kg de charbon au lieu de 1 kg de gasoil avec une locomotive Diesel. En dépit du coût unitaire plus élevé des combustibles liquides, la traction Diesel procure ainsi des économies considérables.

70 b) UTILISATION.

Un engin à moteur Diesel est, sauf opérations d'entretien, toujours prêt au service moyennant un temps de préparation réduit.

Il n'exige pas, comme la locomotive à vapeur, de délai pour l'allumage et la mise en pression, ni d'intervalles pour nettoyages des feux, prises d'eau, virages aux points terminus. Il est capable d'effectuer des parcours relativement longs avant de devoir être réapprovisionné.

Tous ces facteurs et, en outre, dans le cas des locomotives de ligne, la possibilité de remorquer indifféremment des trains de voyageurs et de marchandises, permettent de réaliser avec les engins Diesel des parcours journaliers beaucoup plus importants; l'utilisation plus intensive du matériel moteur permet généralement de remplacer les locomotives à vapeur par un nombre moindre d'engins Diesel.

71 c) SERVICE DES REMISES.

Les installations à prévoir dans les dépôts pour l'approvisionnement en combustible liquide sont beaucoup plus simples que celles nécessaires à la traction vapeur pour le chargement du charbon, l'évacuation des cendrées, le lavage des chaudières, etc. Les manutentions correspondantes et les services généraux d'une remise Diesel sont également simplifiés, ce qui permet des économies appréciables.

72 d) CONDUITE ET CONFORT DU PERSONNEL.

La conduite des engins à moteur Diesel peut aisément être confiée à un seul agent. Celui-ci est assis dans une cabine fermée, chauffée en hiver, assurant une bonne visibilité de la voie et des signaux. Il accomplit ainsi son travail dans des conditions plus confortables que le machiniste et le chauffeur de la locomotive à vapeur.

73 e) PERFORMANCES.

En général, les engins à moteur Diesel sont capables, surtout dans la zone des basses vitesses (démarrage et sur les rampes) de performances supérieures à celles de la locomotive à vapeur. En outre, la puissance développée est plus régulière et peu affectée par les conditions atmosphériques.

CARACTERISTIQUES DES PRINCIPAUX TYPES D'AUTORAILS DE LA S.N.C.B.

	Effectif	Constr. du moteur	Transmission		Puissance	Capacité	Poids à vide	Puissance spéc.	Vitesse max.	Rayon d'action
			Nature	Constructeur	ch		t	ch/t	km/h	km
a) Autorails simples légers pour services omnibus sur lignes secondaires (1) :										
type 551	53	Brossel	Méc.	Brossel	125	80	15	5.8	58	500
» 552	6	»	»	»	125	120	21,5	4	65	450
» 553	50	»	»	»	165	120	23	5.1	65	550
» 554	20	»	»	»	165	106	24	5.1	80	550
b) Autorails simples, couplables, pour services omnibus et semi-directs, sur lignes secondaires (2) :										
type 603	36	S.E.M.	Hydr.	S.E.M.	400	139	42	7.5	90	550
types 604-605	20	G.M.	»	Twin Disc.	350 ou 2 × 175	139	42	6,6	80	550
c) Autorails divers pour services omnibus et semi-directs :										
simple type 608	6	S.E.M.	Méc.	S.L.M. Winterthur	370	124	45.5	6,7	100	900
double type 620	10	»	»	»	2 × 370	196	94	6,7	120	1200
triple type 630 (3)	20	»	Hydr.	S.E.M.	2 × 400	274	102	6.5	100	1200
d) Autorails triples pour services directs et semi-directs :										
type 653	2	Mayb.	Electr.	ACEC/Jeumont	2 × 410	269	138	5.2	120	1200
» 654	2	S.E.M.	»	S.E.M.	2 × 370	269	138	4.6	120	1200
» 670	5	Mayb.	Hydr.	Voith	2 × 600	259	139	7.5	140	1200

(1) Autorails à deux essieux. — (2) 5 de ces autorails, qui ont reçu provisoirement un aménagement intérieur spécial en vue de l'exploitation de la liaison à l'aérodrome de Melsbroek, portent le numéro de type 602. — (3) Autorails à mettre en service en 1958.

LOCOMOTIVES DIESEL-ELECTRIQUES DE LIGNE.

	Effectif	Disposition des essieux	Constructeur du moteur	Constructeur de la transmission	Puissance ch	Poids t	Vitesse maximum km/h	Vitesse minimum rég. cont. km/h	Rayon d'action km
Type 201	55	B.B.	Cockerill Baldwin	ACEC/Westinghouse	1750	87	120	22	1000 à 1200
Types 202-203 (1)	32	C.C.	Electromotive Division	Electromotive Division	1750	108	120	22	
Type 204	8	C.C.	»	»	1900	108	140	30	

LOCOMOTIVES DIESEL-ELECTRIQUES DE MANŒUVRE.

Type 270	6	B.B.	A.B.C.	ACEC/Westinghouse	700	84	50	10	

LOCOMOTIVES DIESEL-HYDRAULIQUES DE MANŒUVRE.

Type 250	25	C.	A.B.C.	Voith	550	57	30/50	4/8	
» 251	10	C.	S.E.M.	S.E.M.	550	57	65	—	
» 252	25	C.	S.E.M.	Voith	550	57	30/50	4/8	
» 253	25	C.	Cockerill Hamilton	Voith	550	57	30/50	4/8	
» 271	6	D.	S.E.M.	S.E.M.	750	88	65	—	
» 272	15	D.	S.E.M.	Voith	750	80	30/50	4/8	

(1) Locomotives type 203, sans chaudière de chauffage.

FASCICULE 10

CHAPITRE II

Généralités sur la traction Diesel

FIGURES

Juin 1957.

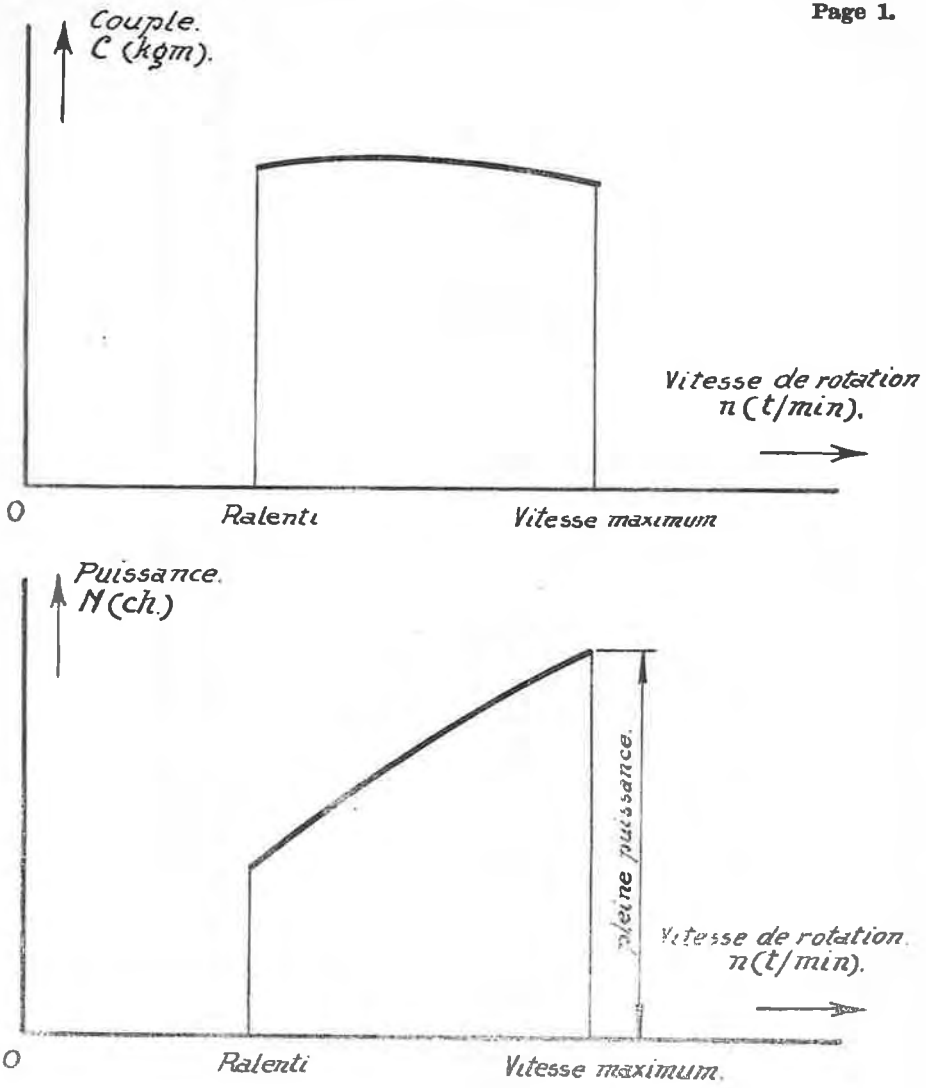


Fig. 1. Courbes caractéristiques d'un moteur Diesel.

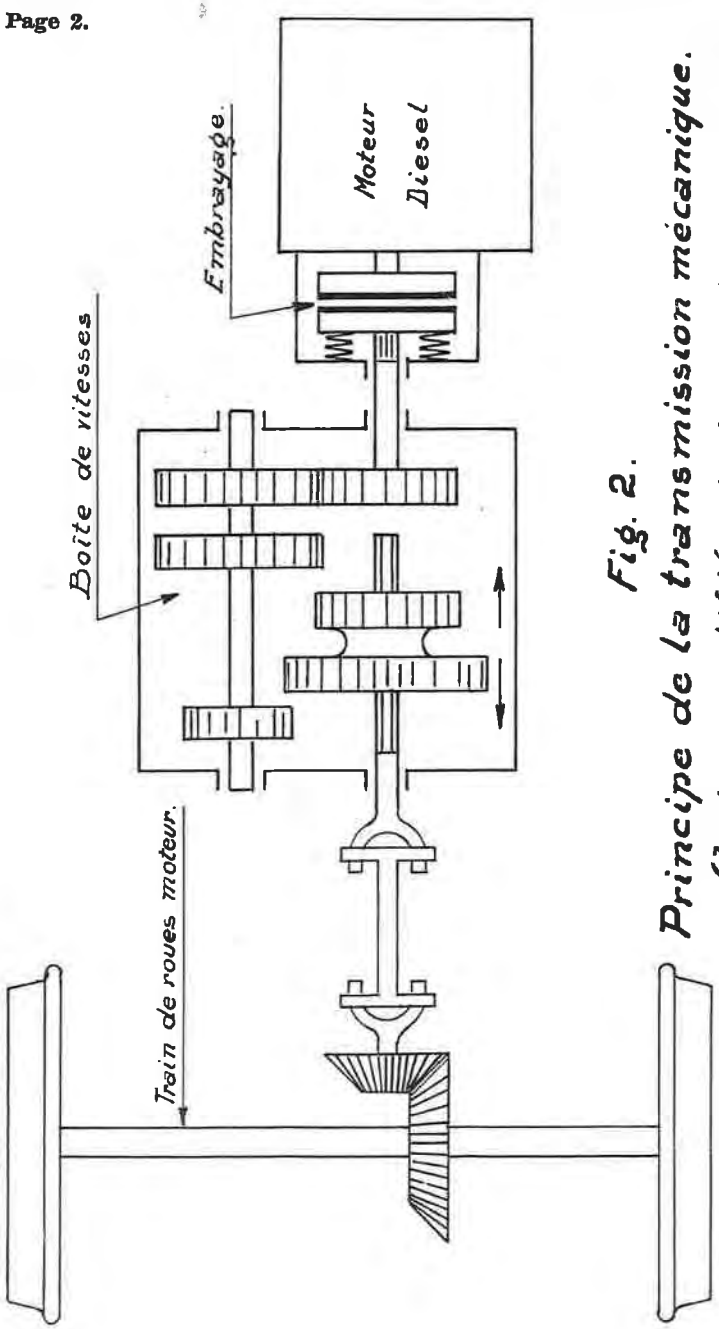


Fig. 2.
Principe de la transmission mécanique.
(Boîte simplifiée à deux vitesses).

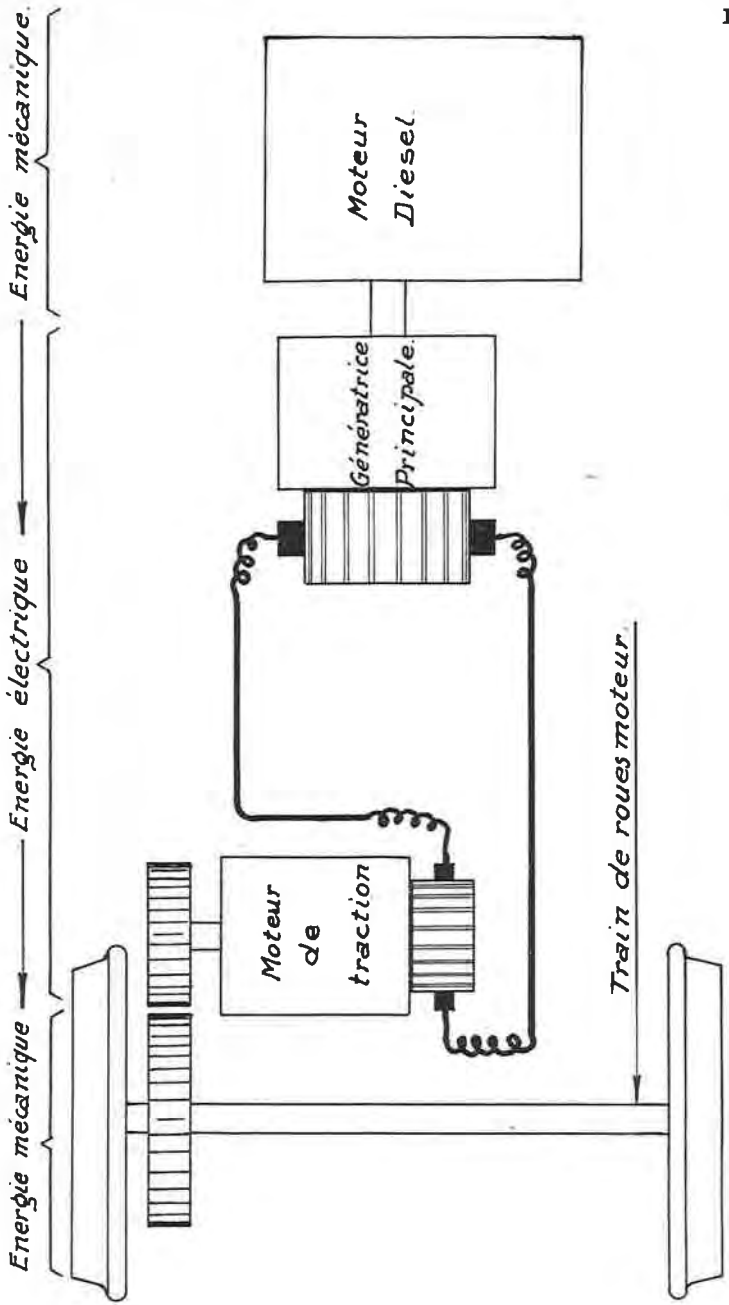
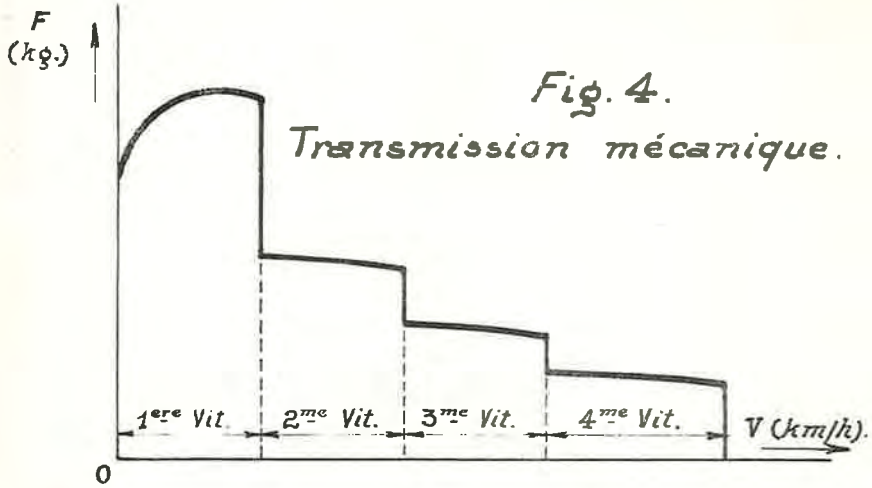
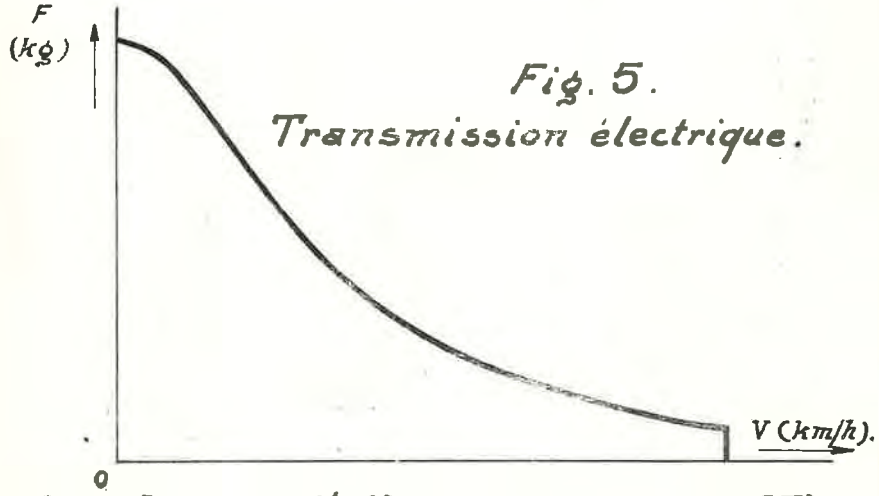
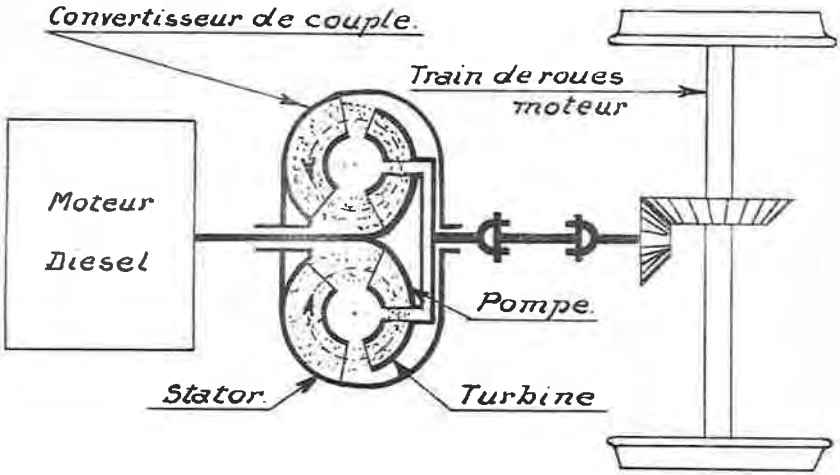


Fig. 3.
Principe de la transmission électrique.





Courbes de l'effort de traction (F) en fonction de la vitesse de marche (V) du véhicule.



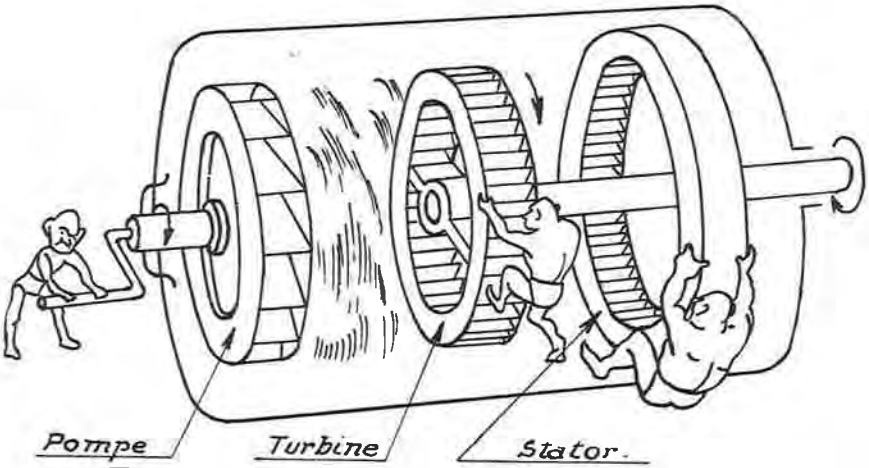


Fig. 6. Principe du convertisseur de couple hydraulique.

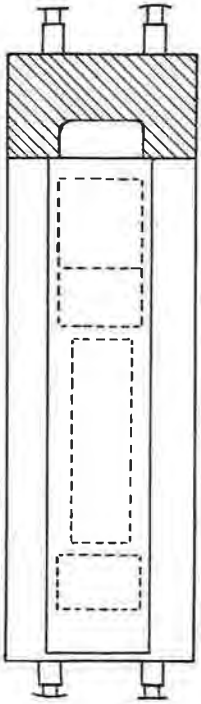


Fig. 9.- Locomotive de manoeuvre.

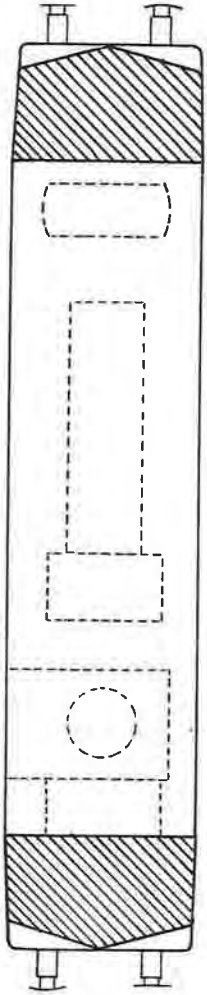


Fig. 8.- Locomotive de ligne.

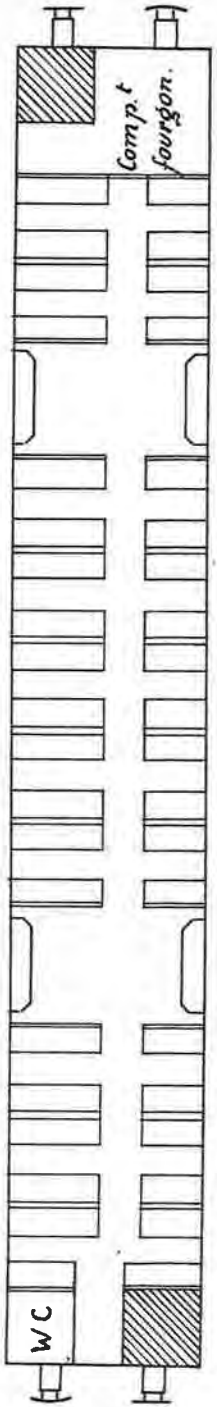


Fig. 7.- Autorail.

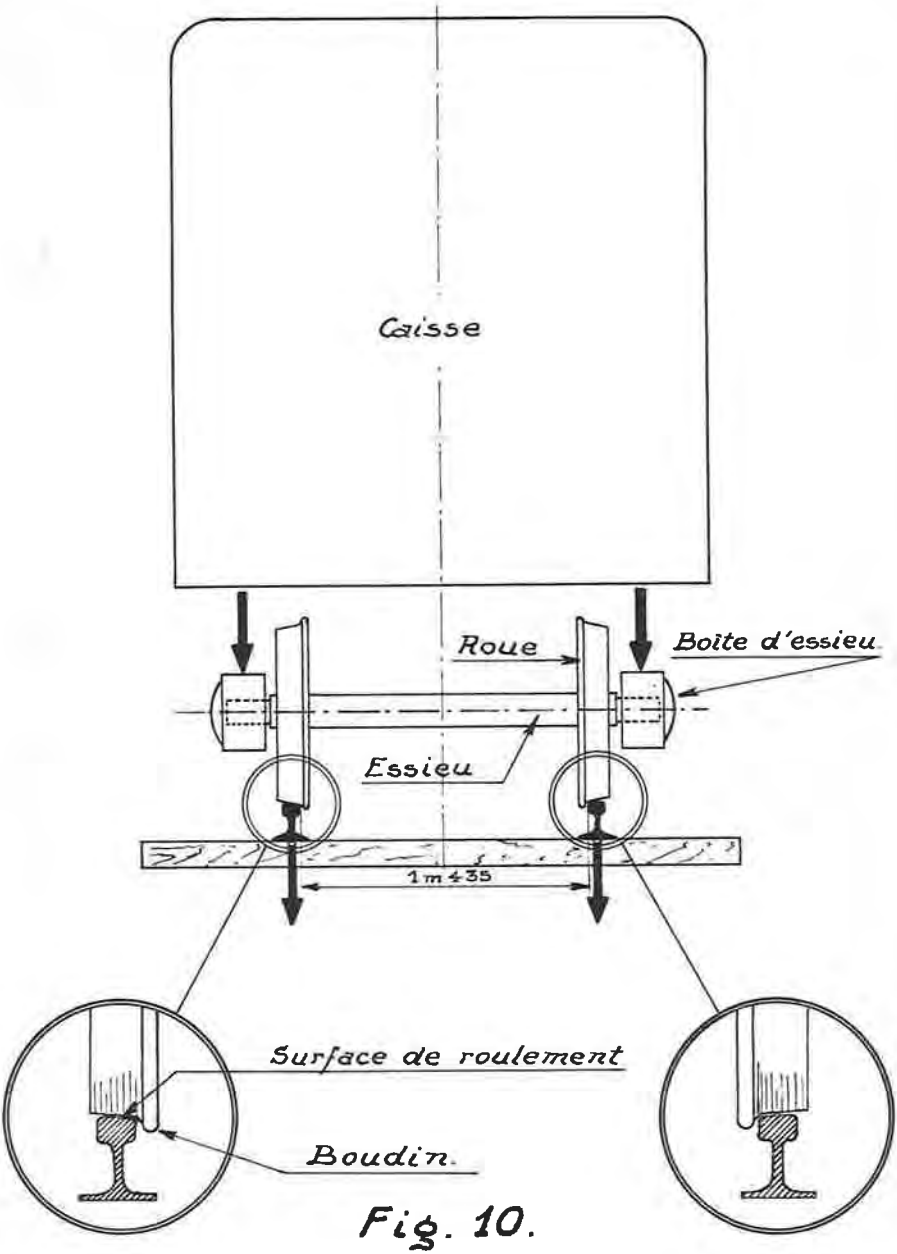

Caisse
Roue
Boite d'essieu
Essieu
1m435
Surface de roulement
Boudin.

Fig. 10.

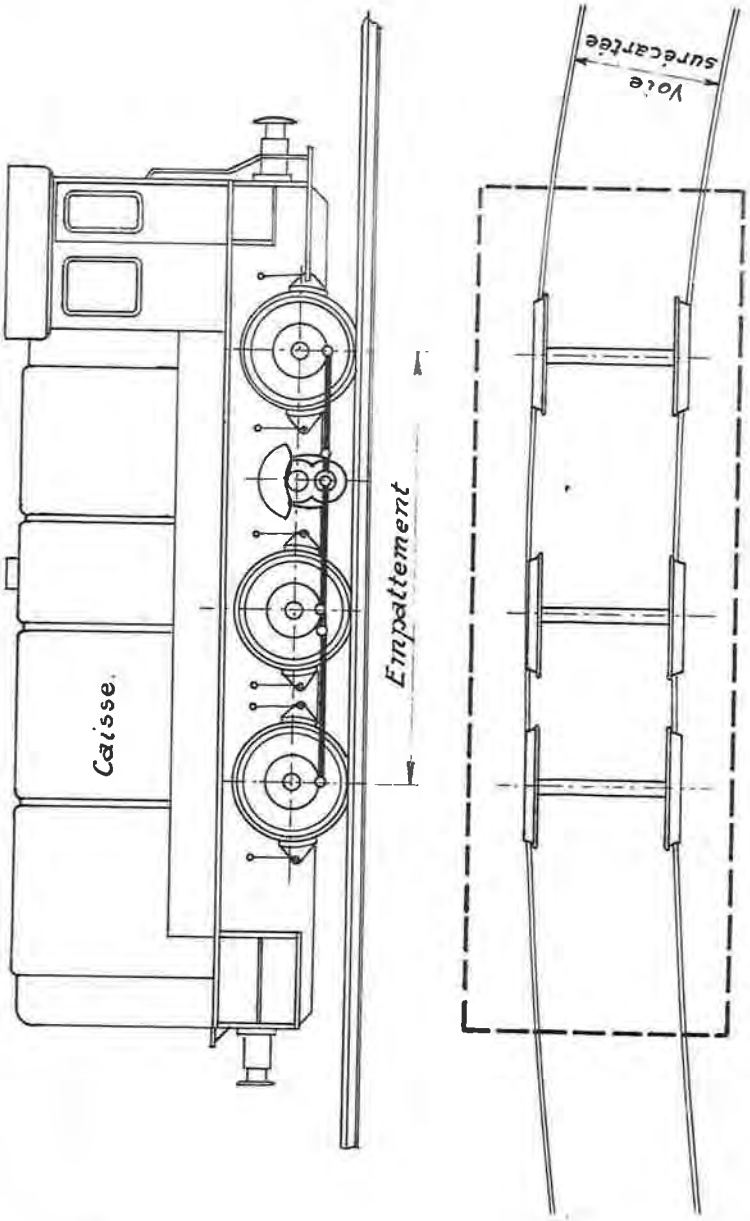


Fig.11 - Véhicule à essieux parallèles. (Locomotive de manoeuvre).

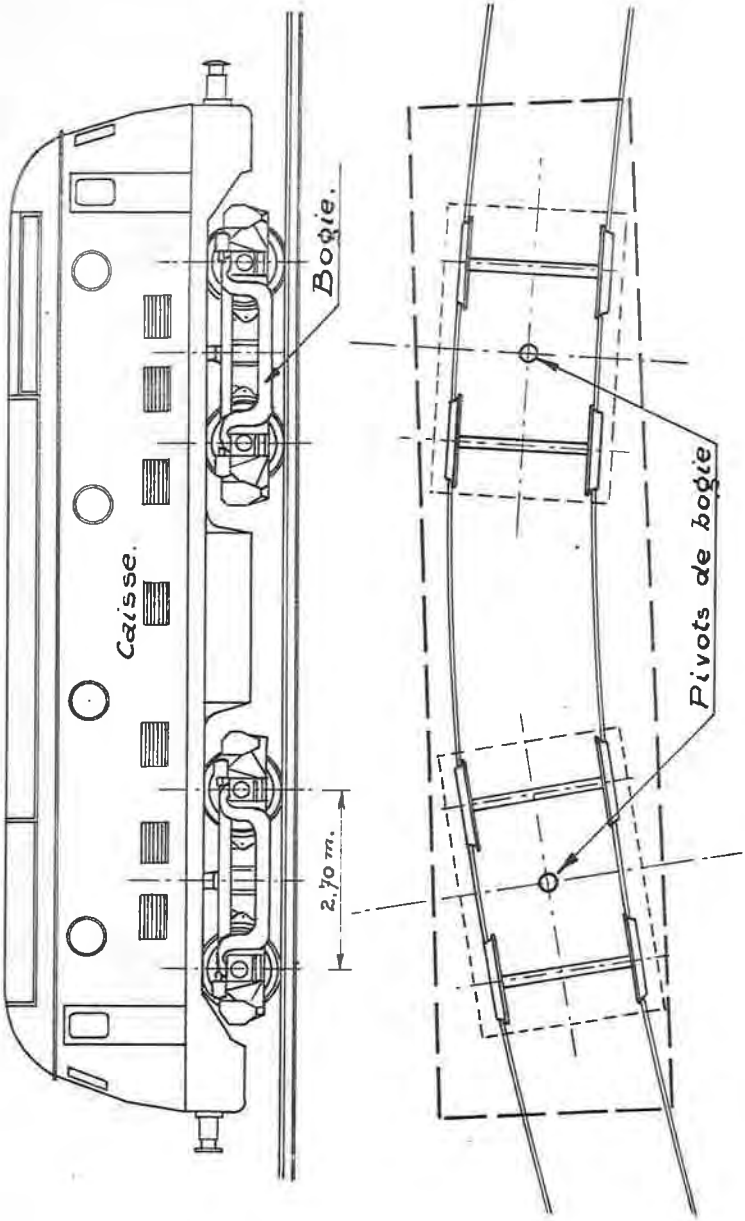


Fig. 12 - Véhicule à bogies. (Locomotive de ligne).

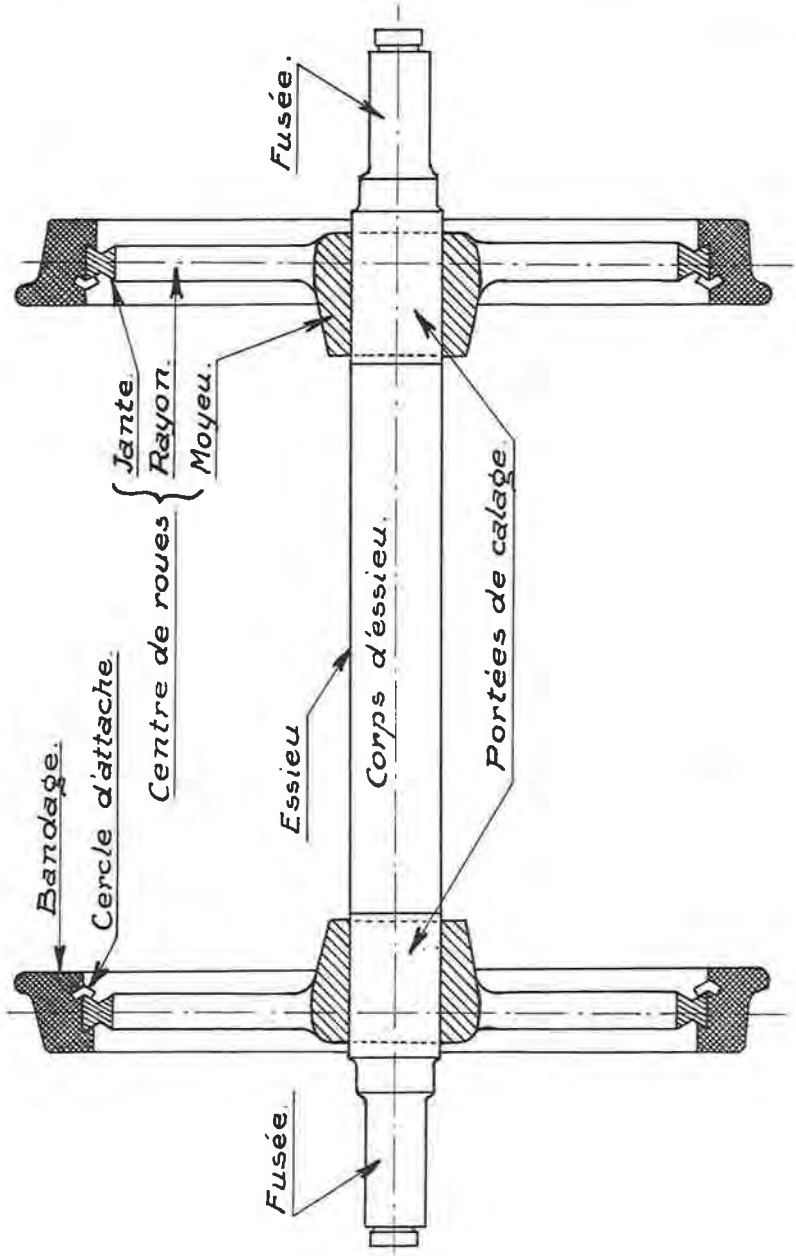


Fig.-13 - Train de roues porteur.

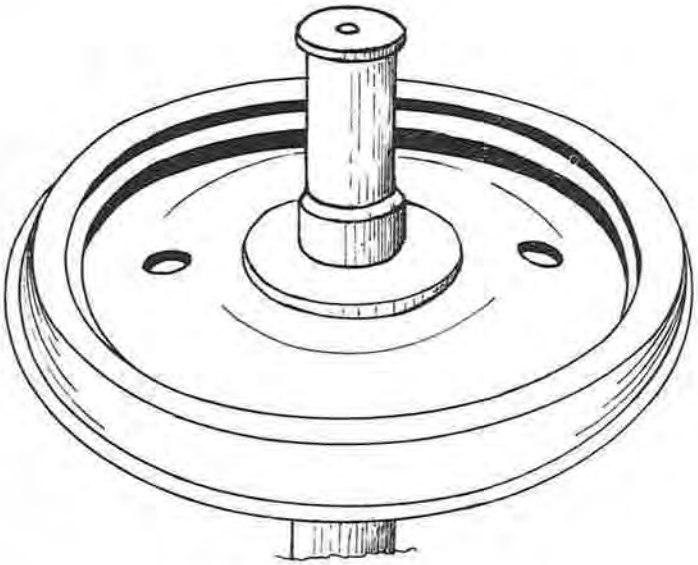


Fig. 15 - Centre de roues à voile (Type 603).

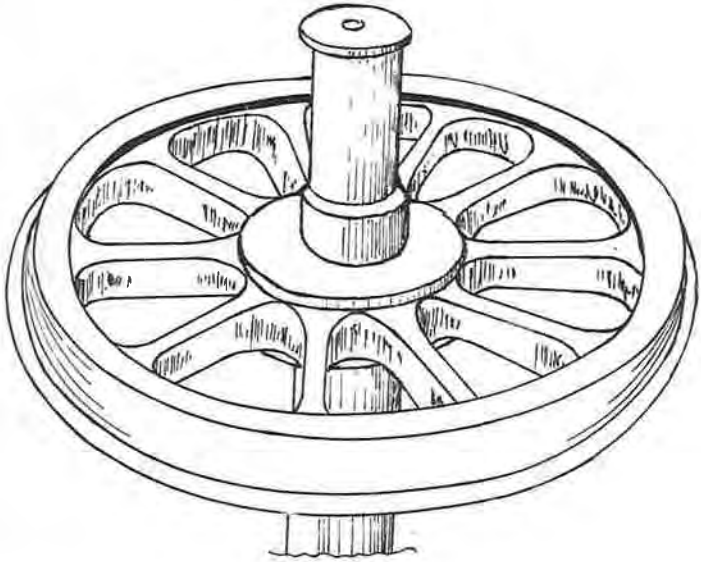


Fig. 14 - Centre de roues à rayons. (Type 201).

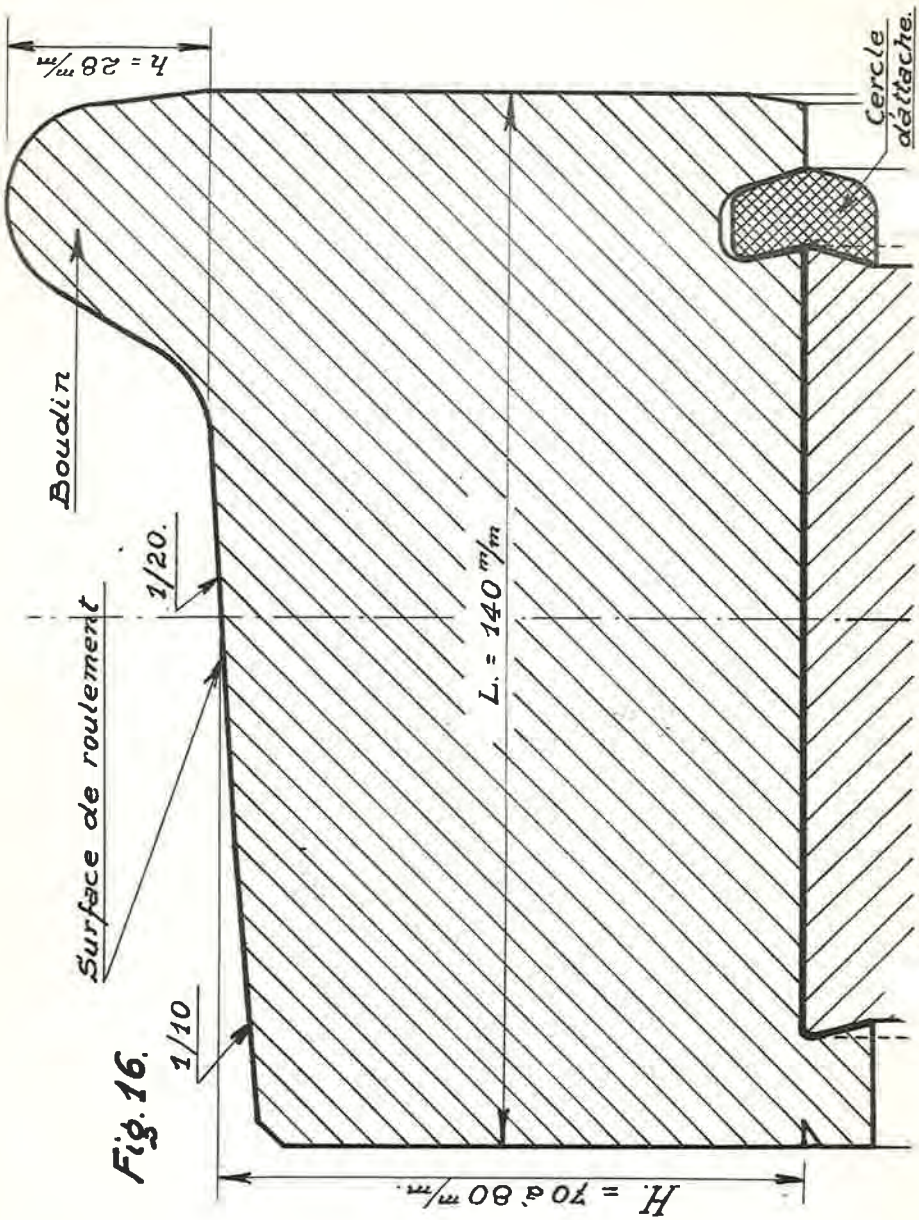

h = 28 m/m
Cercle d'attache.
Boudin
1/20.
Surface de roulement
L. = 140 m/m
1/10
H. = 70 à 80 m/m.

Fig. 16.

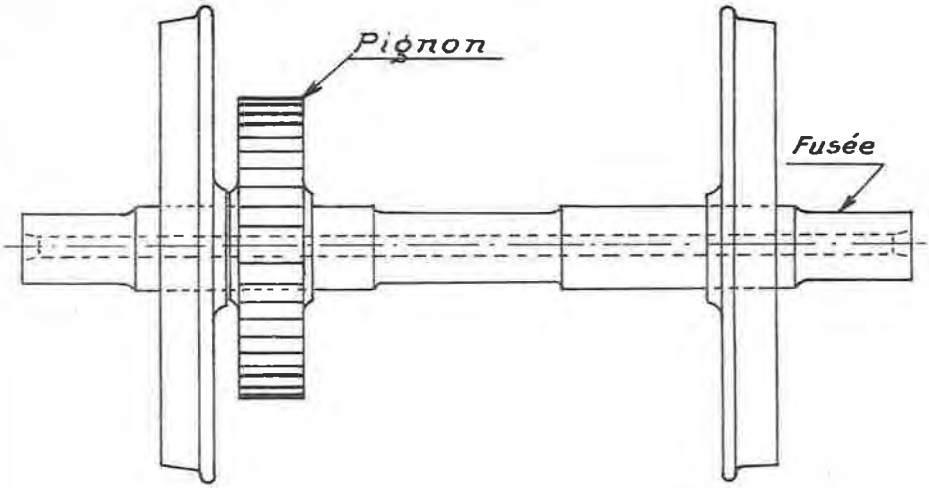


Fig. 17.

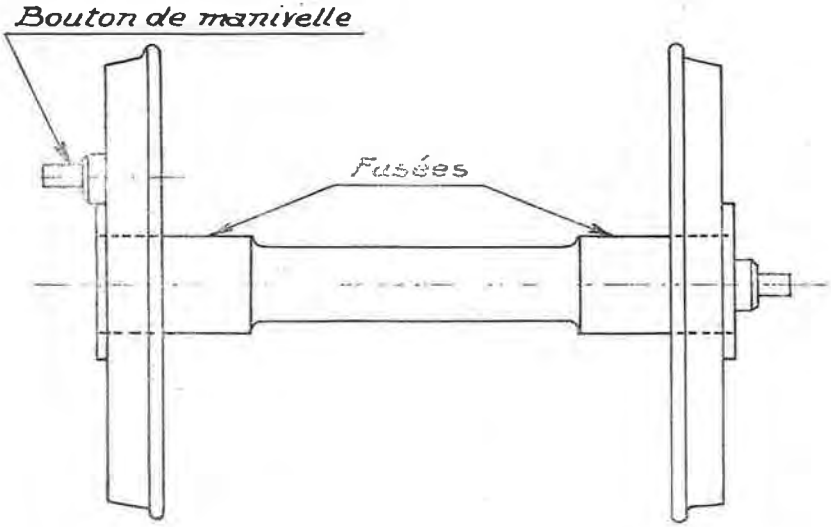


Fig. 18.

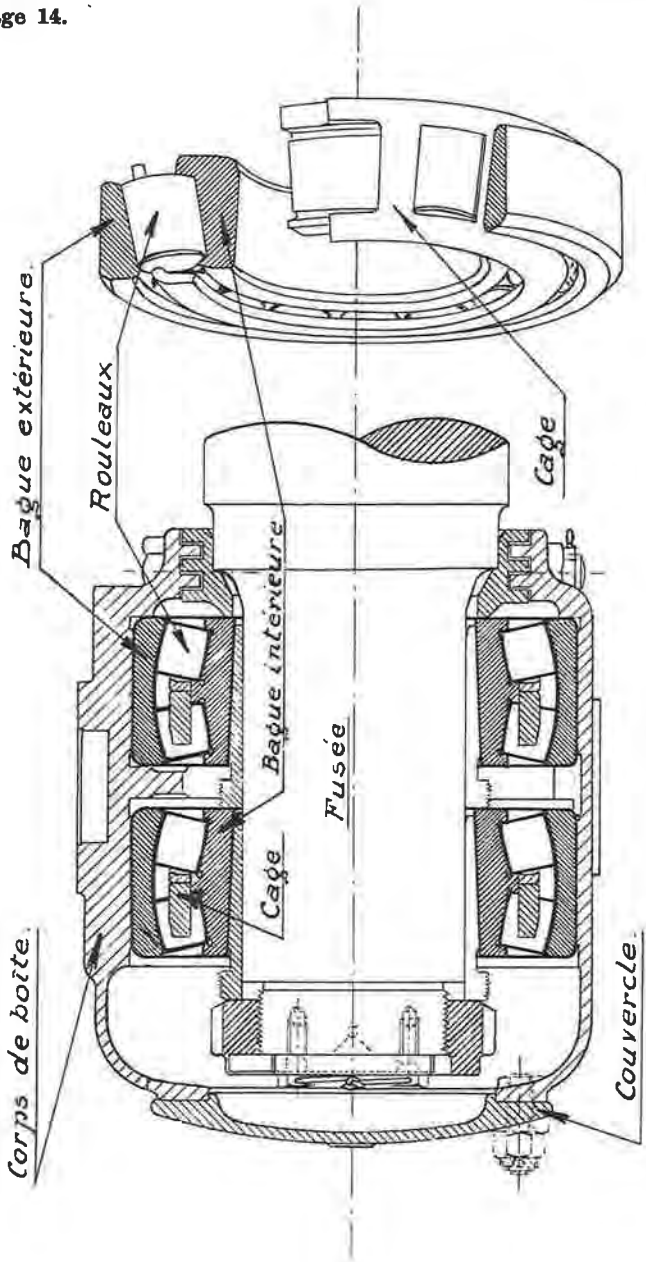


Fig. 19 - Boîte à rouleaux S.K.F.

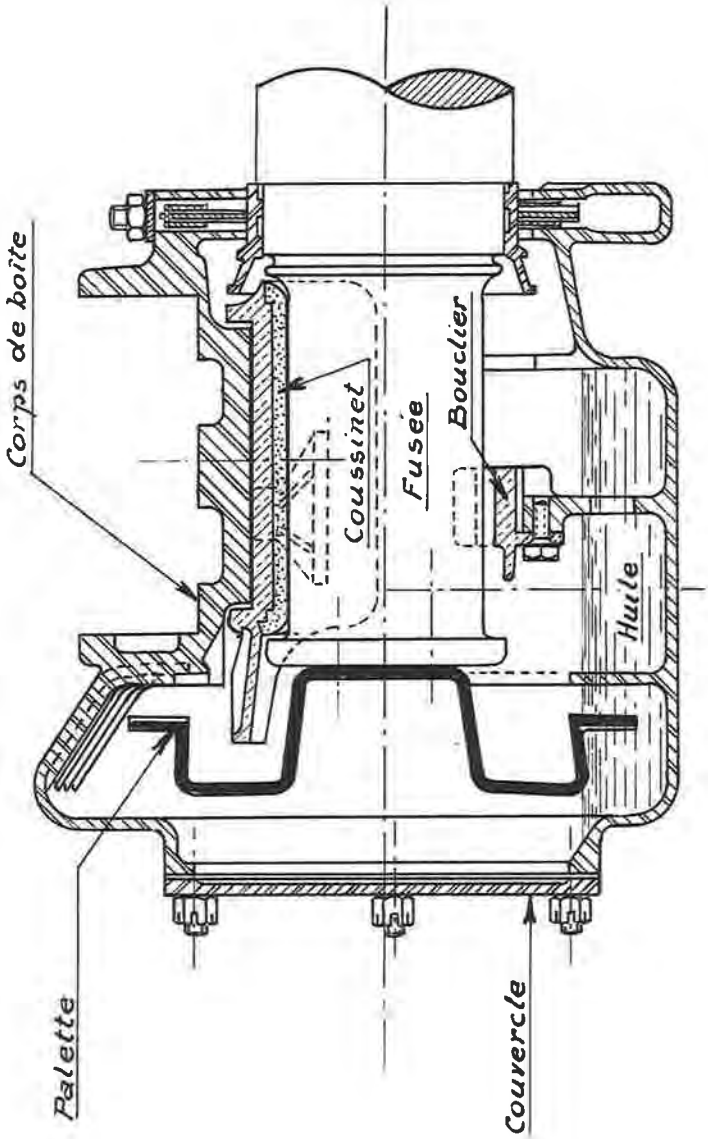


Fig. 20 - Boîte à graissage mécanique "Isothermos".

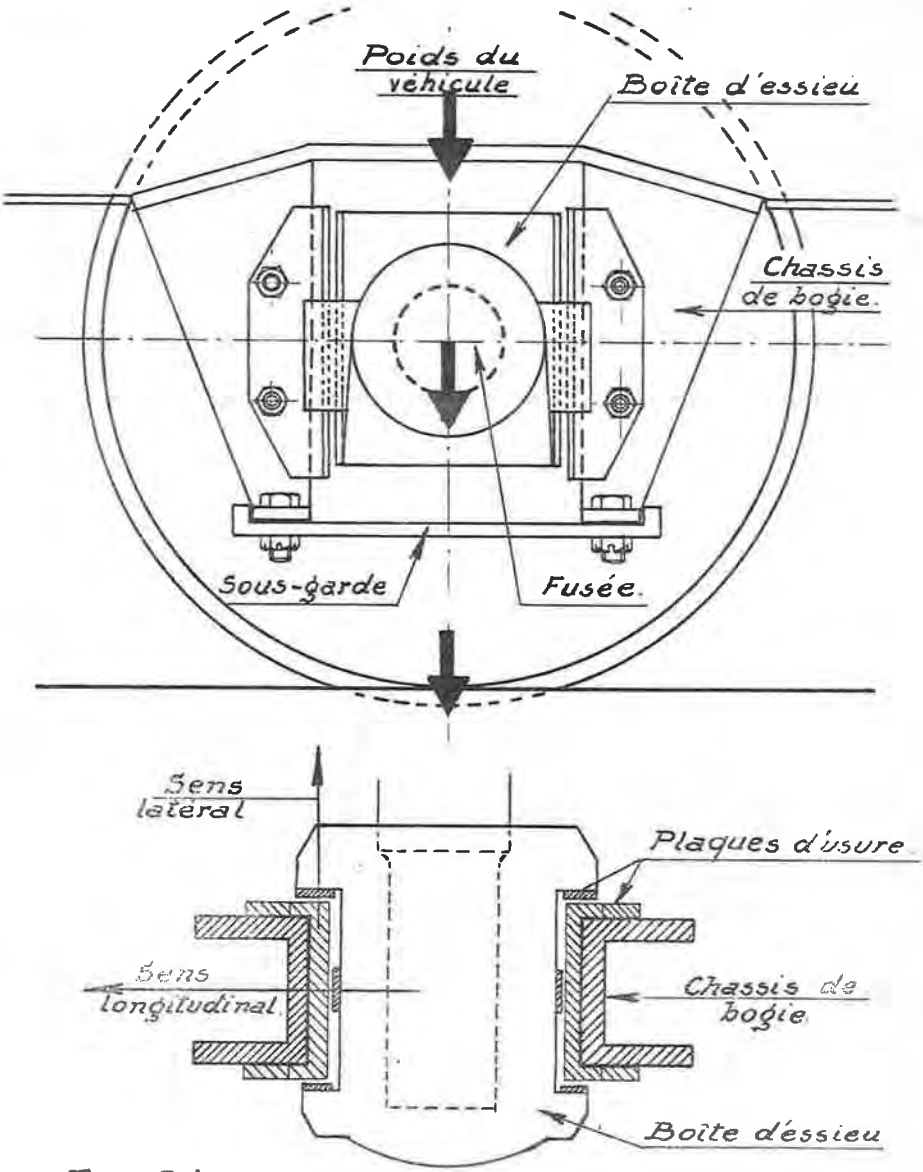


Fig. 21. Type 202-203.

Guide de boîte.

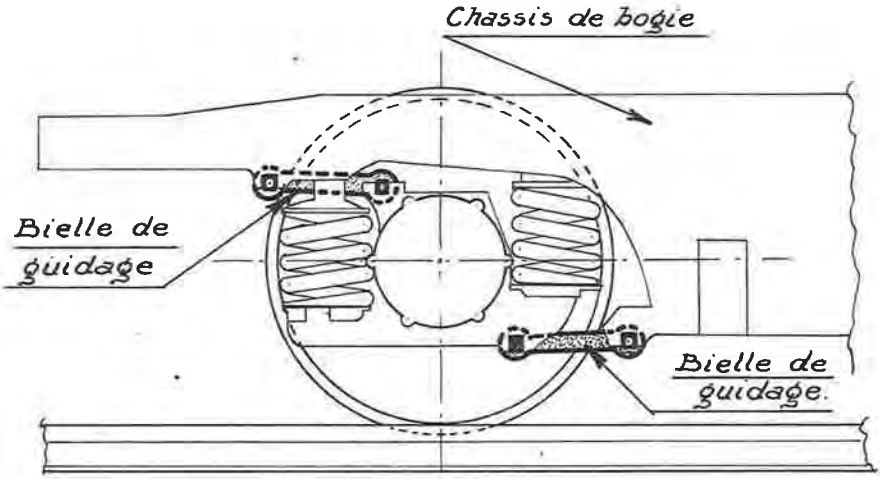

Chassis de bogie
Bielle de guidage
Bielle de guidage.

Fig. 22.

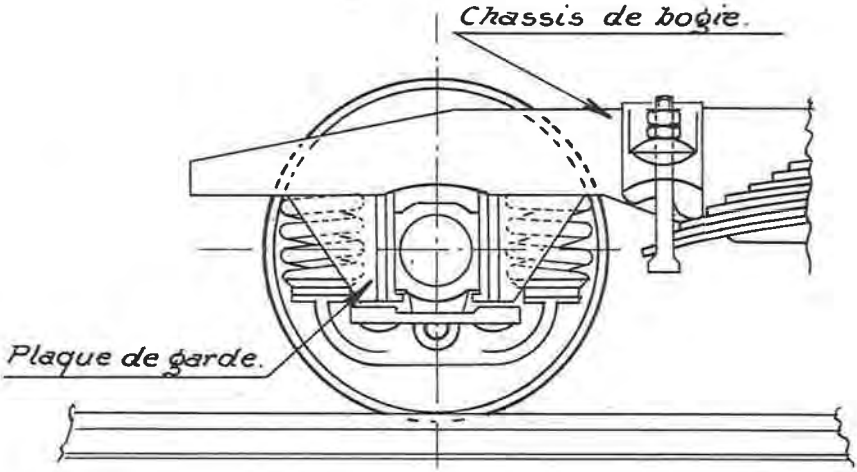

Chassis de bogie.
Plaque de garde.

Fig. 23

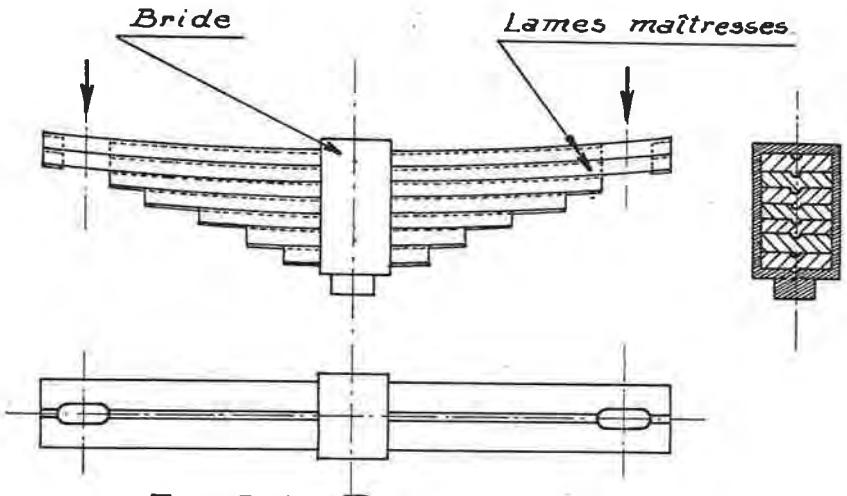


Fig. 24- Ressort à lames.

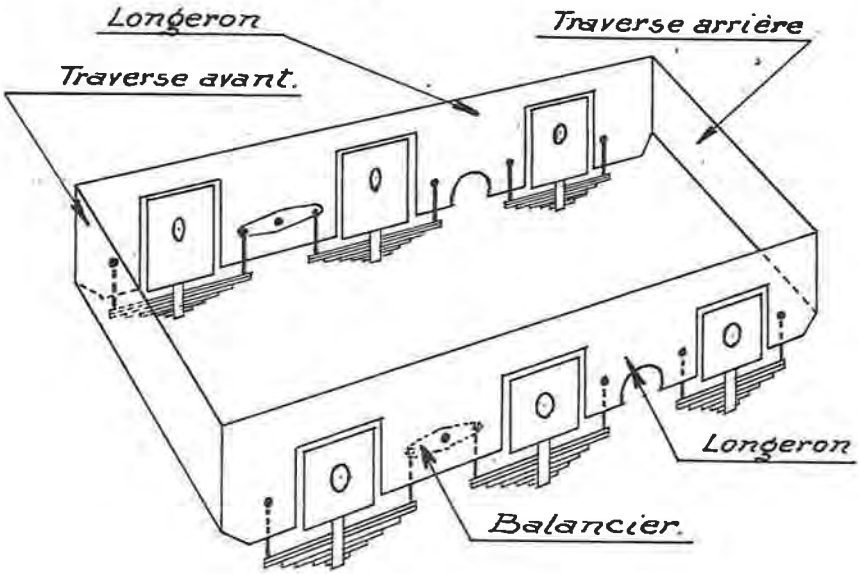


Fig. 25.

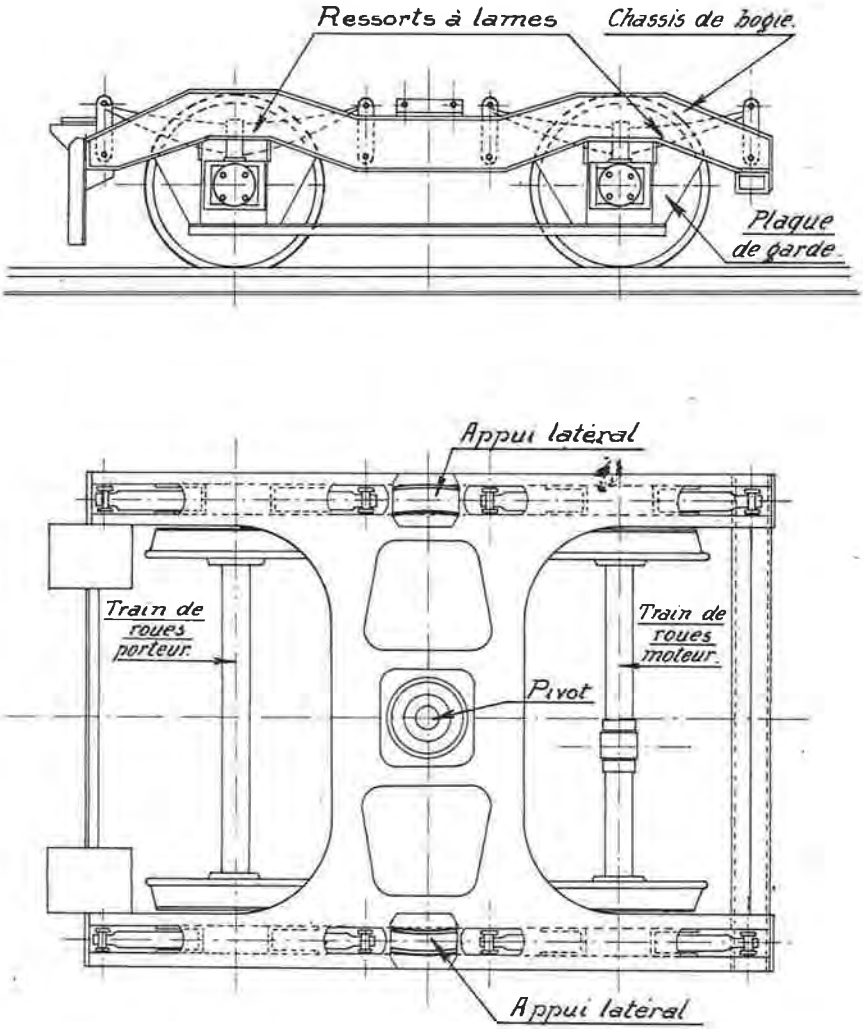


Fig. 26 - Bogie à simple étage de suspension.
(Autorails types 552 à 554).

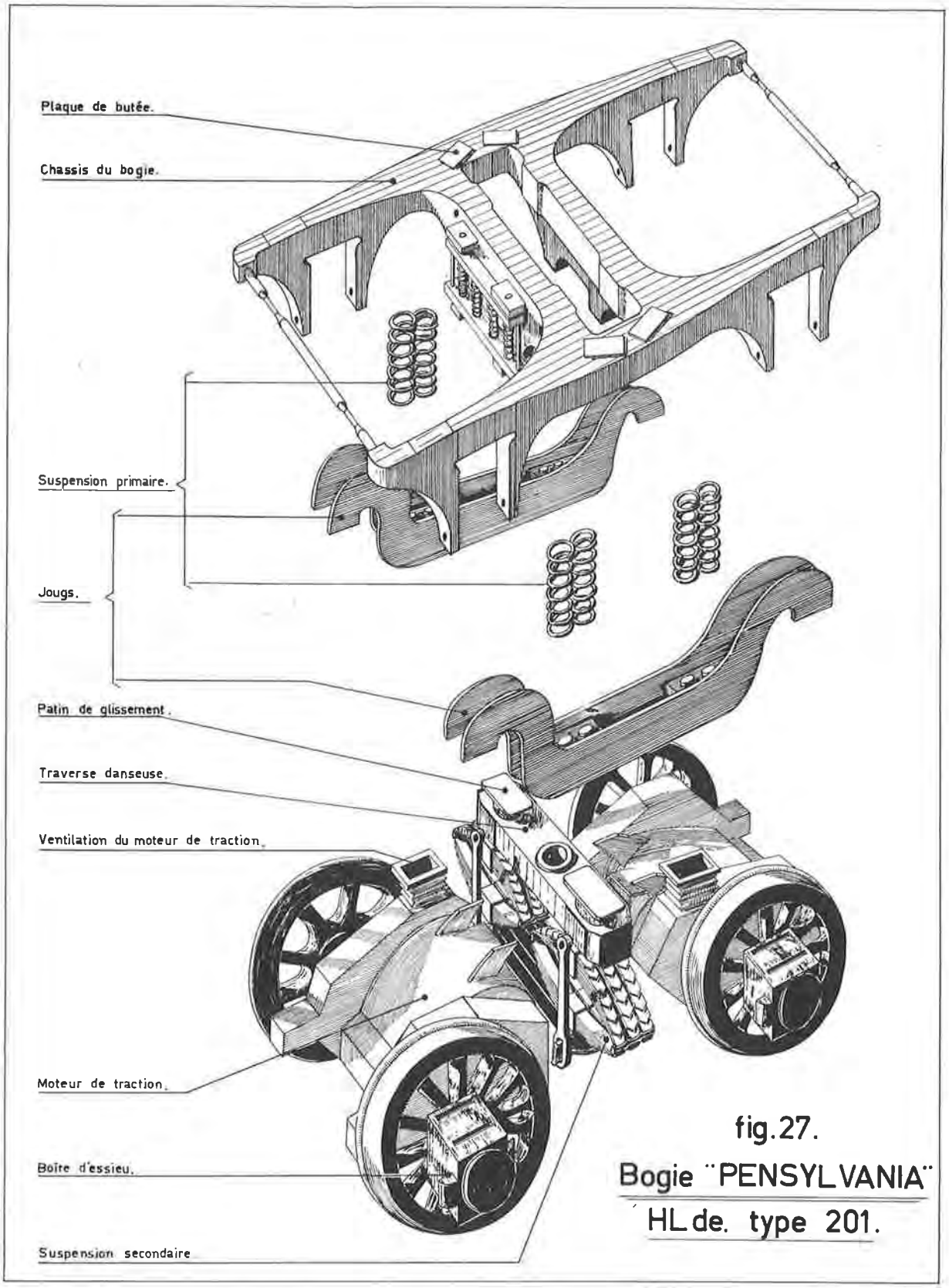


fig.27.
Bogie "PENSYLVANIA"
HL de. type 201.

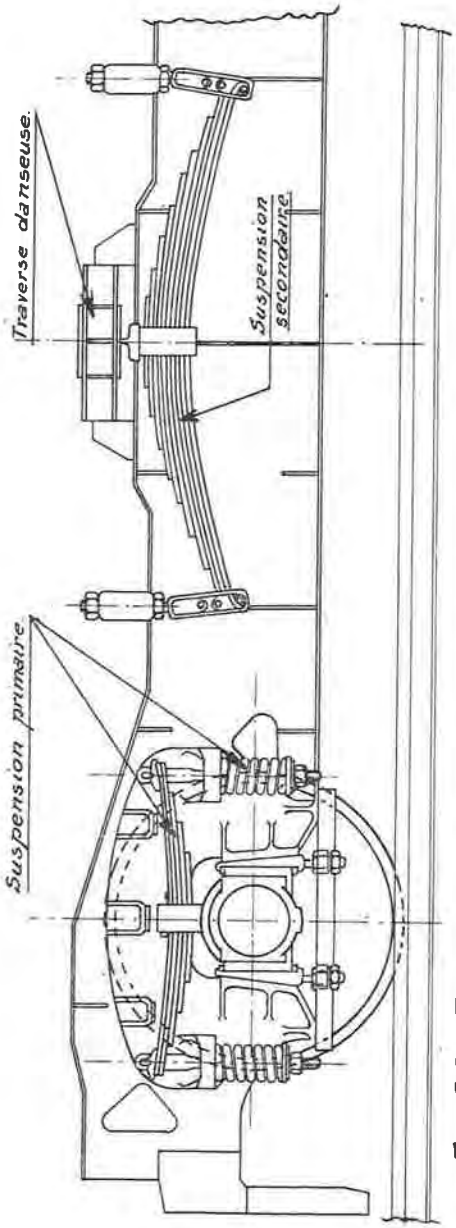


Fig. 28 - Bogie Goerlitz (Bogie moteur, autorail type 670.)

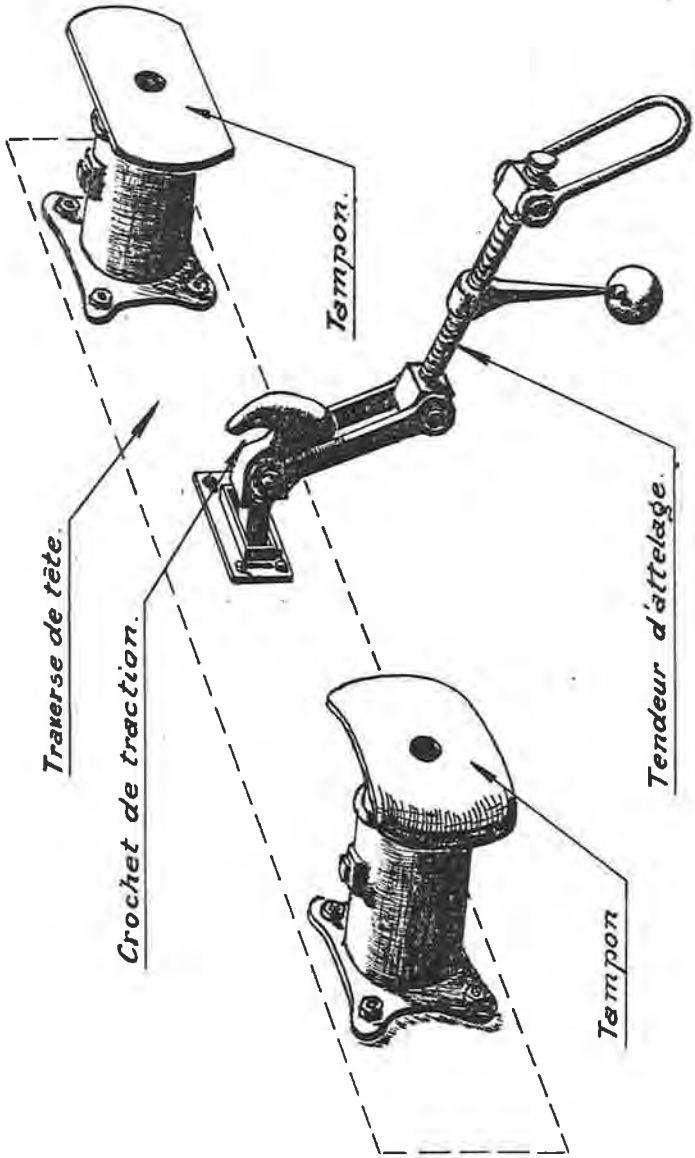


Fig. 29 - Appareils de choc et d'attelage.

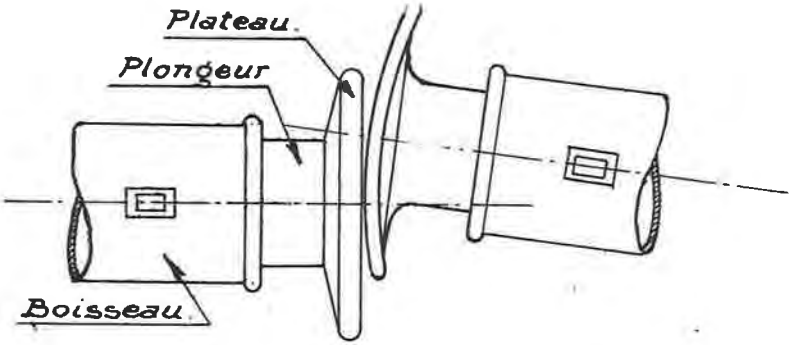


Fig. 30-(vue de dessus).

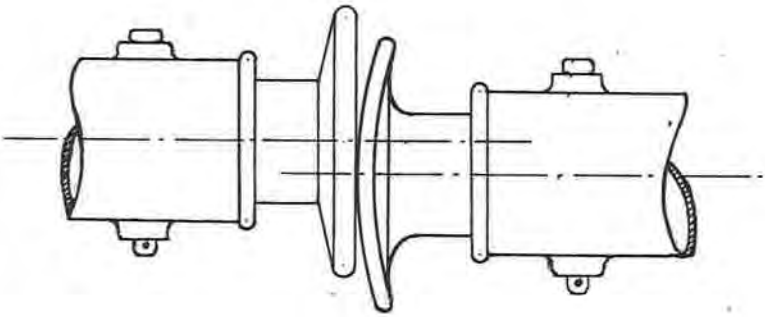


Fig. 31-(vue latérale).

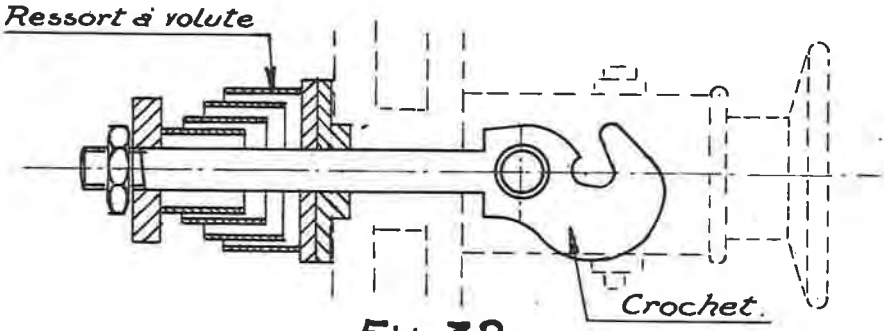


Fig. 32.

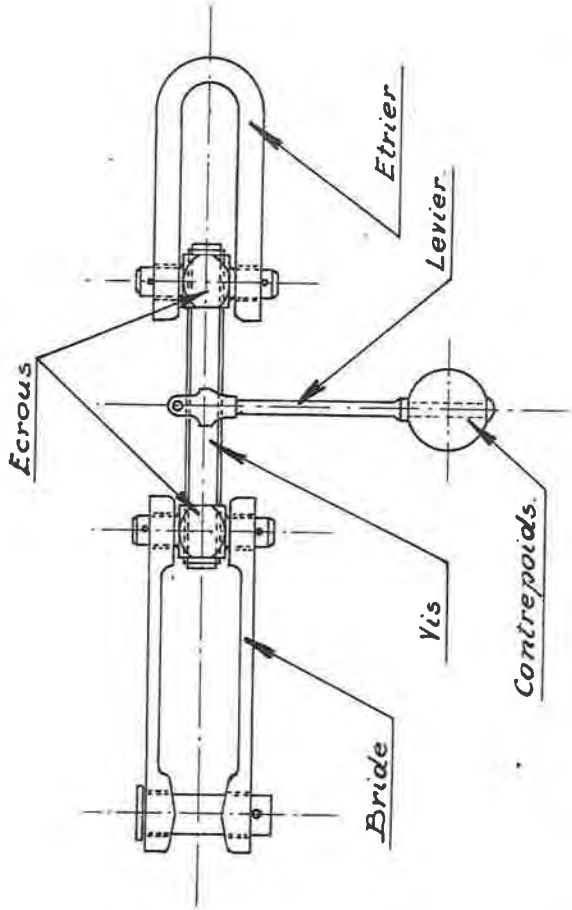


Fig. 33.- Tendeur d'attelage.

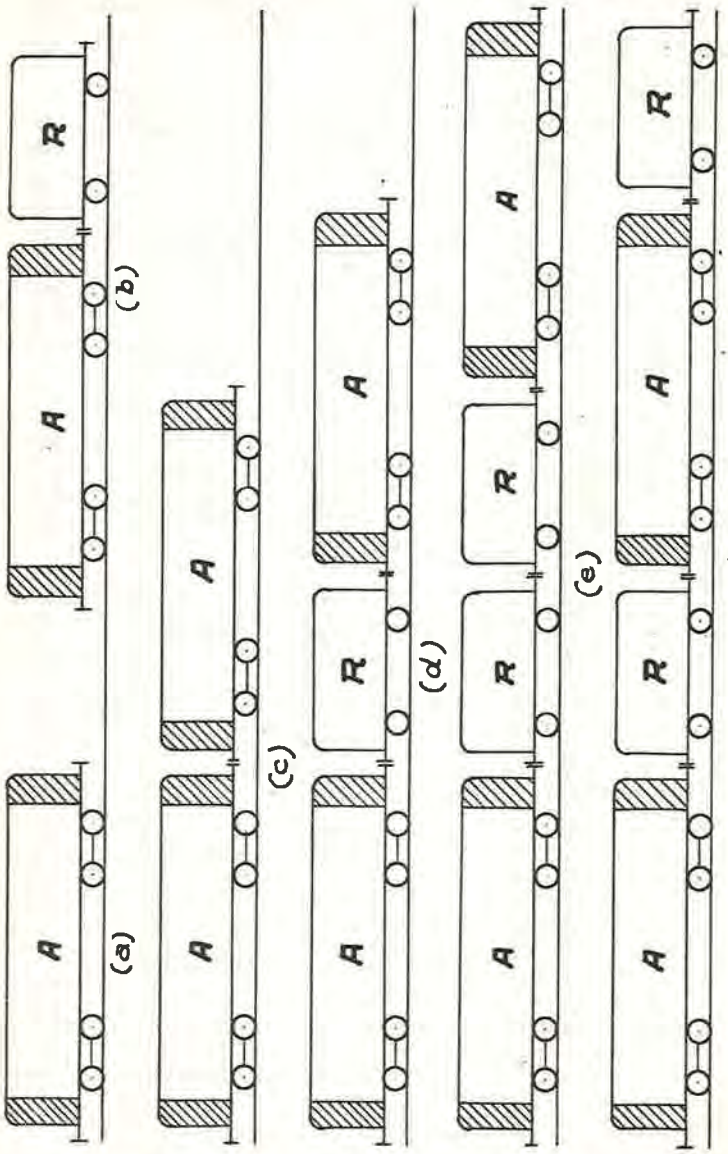


Fig. 34. Couplage des autorails.

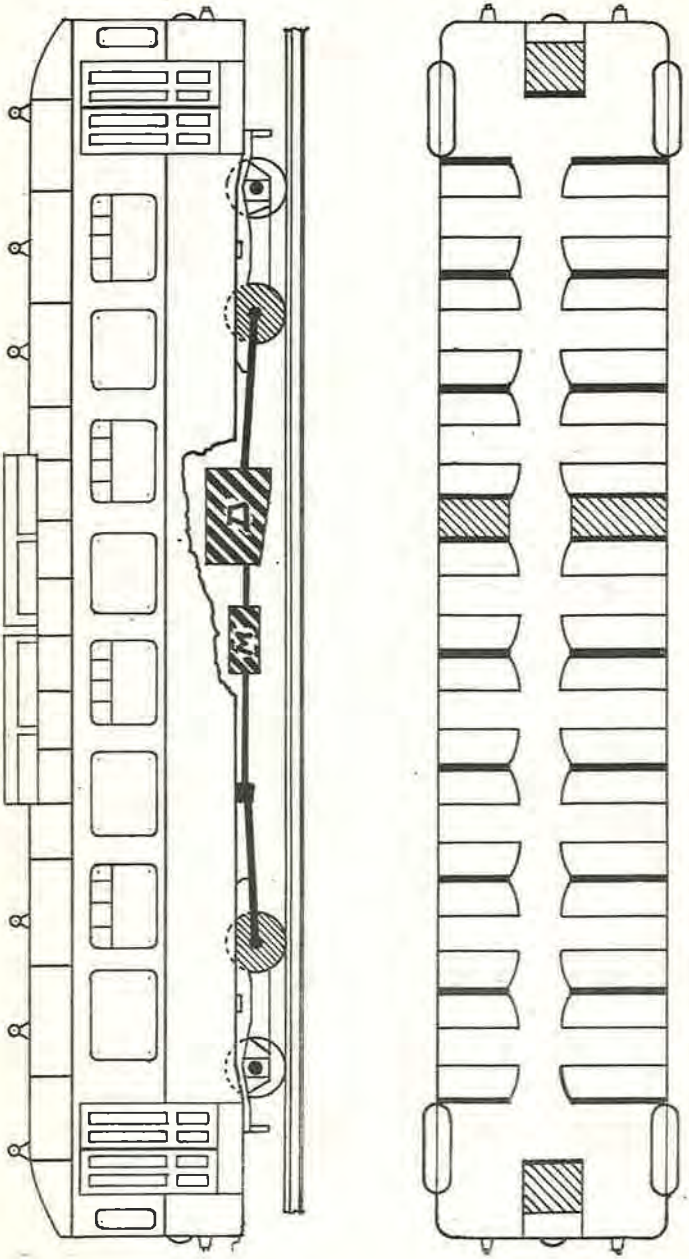


Fig. 35 - Autorail type 553. (Brossel 165 ch.).

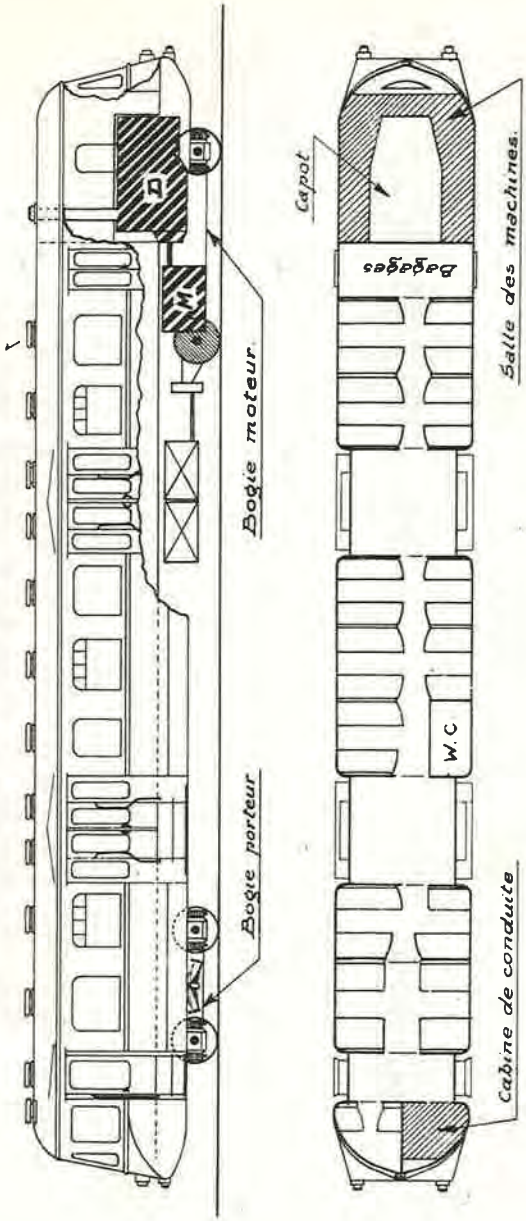


Fig. 36 - Autorail type 608. (Sem 370 ch.).

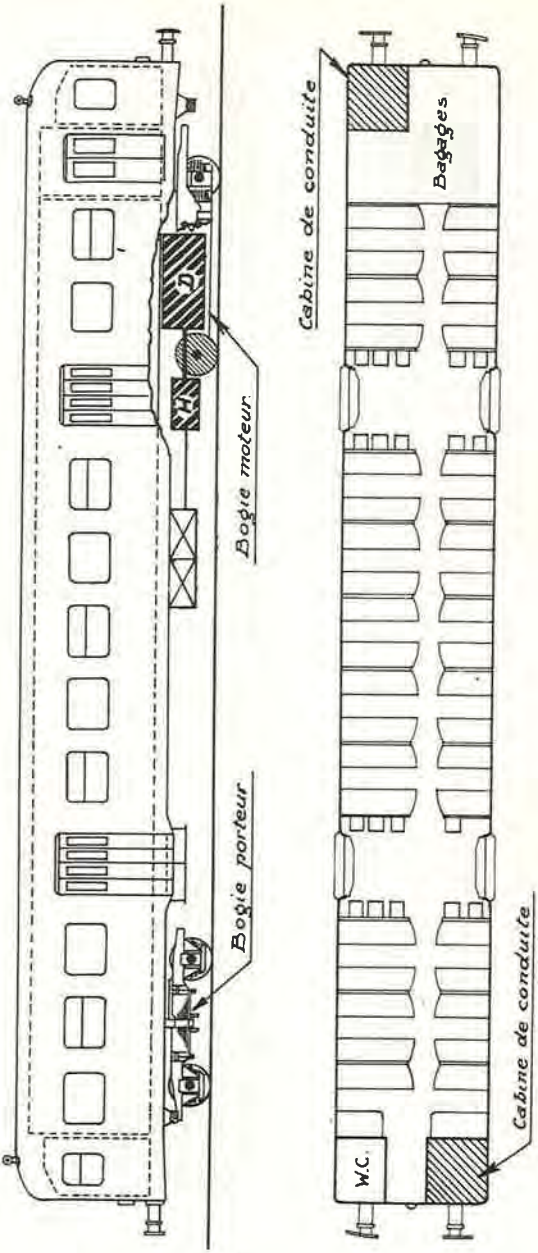


Fig. 37 - Autorail type 603 - (SEM - 400 ch.).

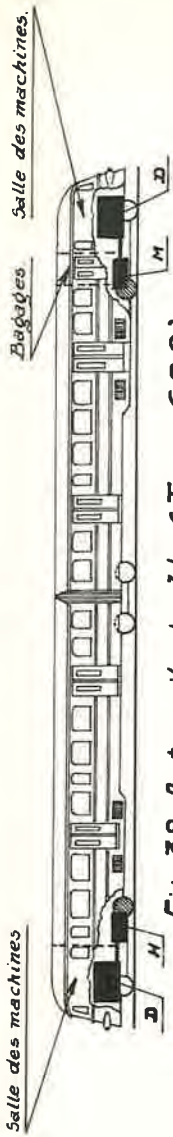


Fig. 38 - Autorail double. (Type 620).
à transmission mécanique.

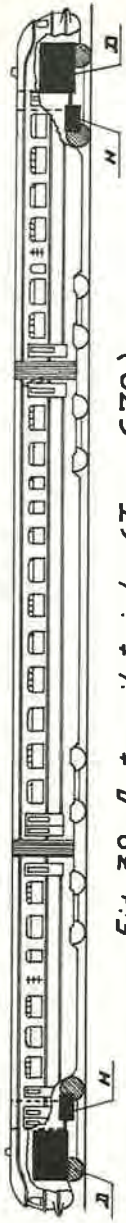


Fig. 39 - Autorail triple. (Type 670).
à transmission hydraulique.

Fig. 40 - Autorail triple. (Type 653 ou 654).
à transmission électrique.

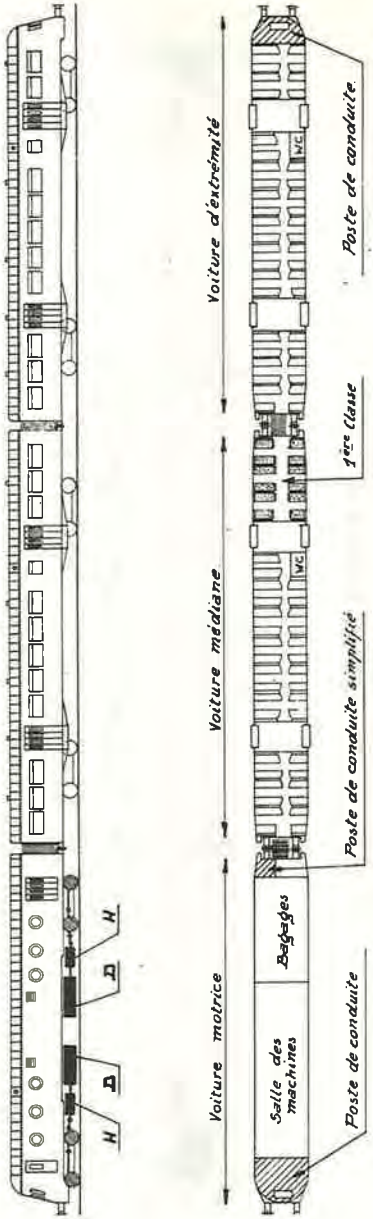
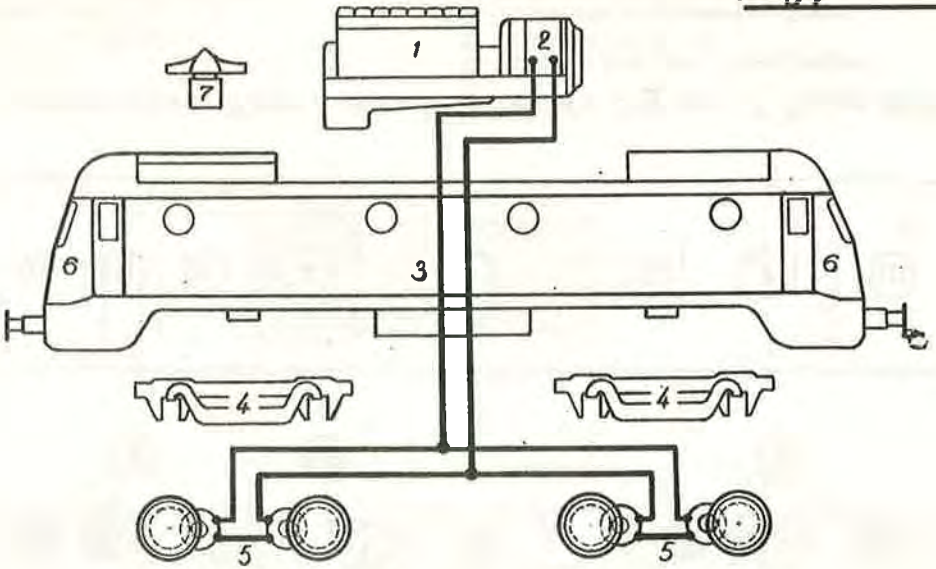


Fig. 41 - Autorail triple, type 630 (SEM. 2 x 400 ch.) à transmission hydraulique.

Elements constitutifs d'une locomotive Diesel électrique

(Type 201)



1_ Moteur Diesel.
2_ Génératrice principale.
3_ Caisse de la locomotive.
4_ Chassis des bogies.
5_ Essieux moteurs.
6_ Cabines de conduite.
7_ Ventilateurs.

Fig. 42.

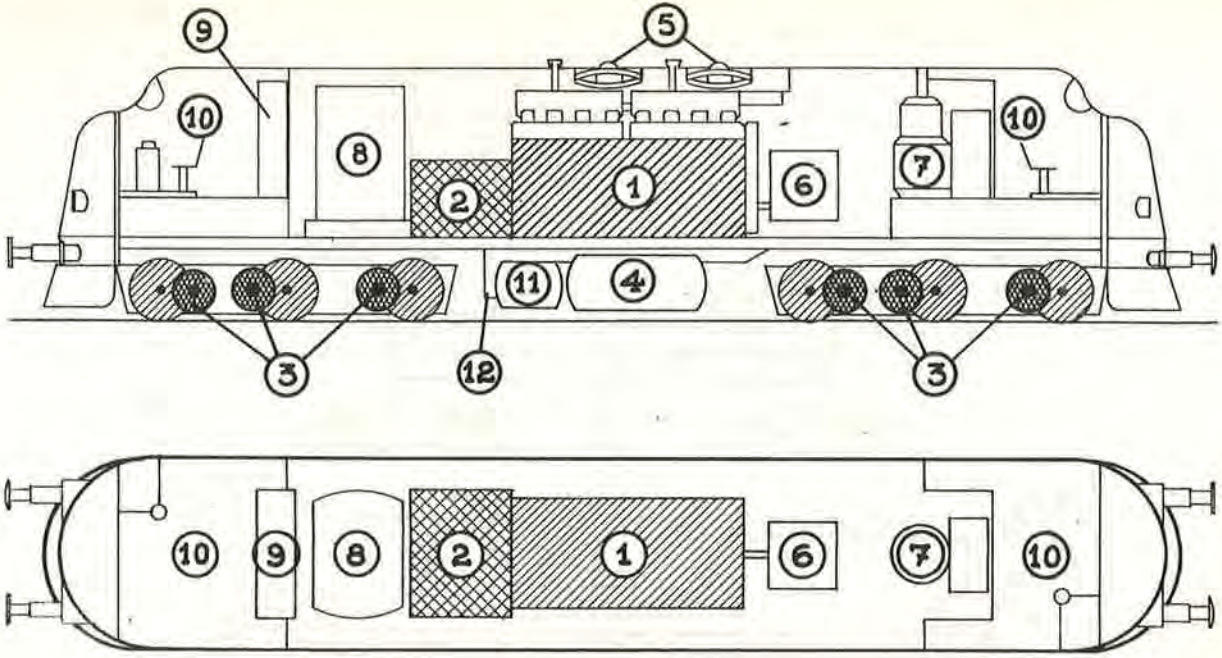


Fig. 43 - Locomotive Diesel-électrique de ligne. (Type 202-204.).

1 Moteur diesel.
2 Génératrice principale.
3 Moteurs de traction.
4 Réservoir à combustible.
5 Ventilateurs.
6 Compresseur.
7 Chaudière de chauffage.
8 Réservoir à eau.
9 Armoire à appareillage.
10 Cabine de conduite.
11 Réservoir à air comprimé.
12 Batterie d'accumulateurs.

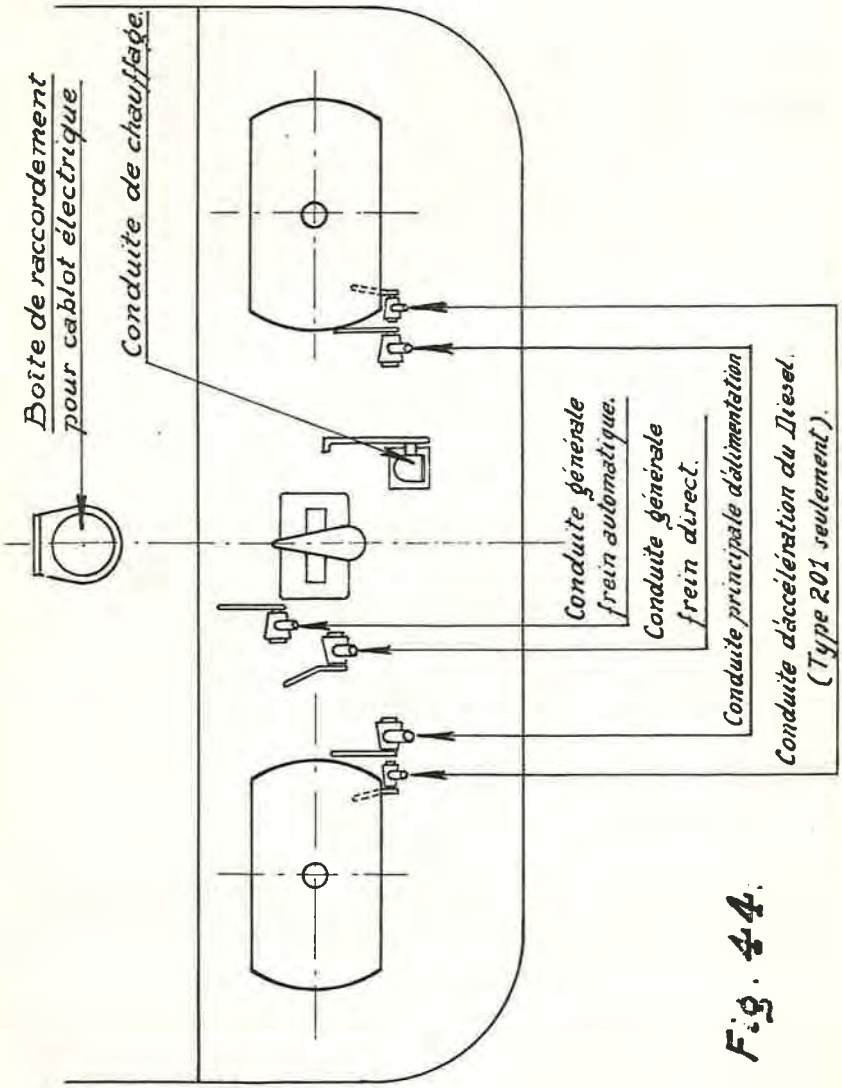
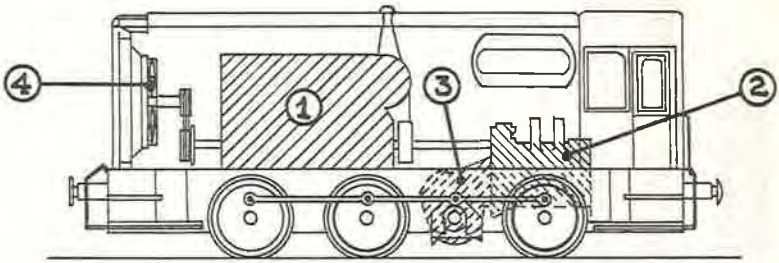

Boîte de raccordement pour cablot électrique
Conduite de chauffage.
Conduite générale frein automatique.
Conduite générale frein direct.
Conduite principale d'alimentation
Conduite d'accélération du Diesel. (Type 201 seulement).

Fig. 44.



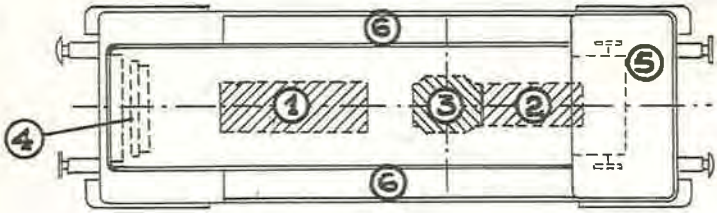


Fig. 45.
Locomotive diesel-hydraulique de manoeuvre (Type 250 - 550 ch.).

1 *Moteur diesel.*
2 *Boîte hydraulique.*
3 *Inverseur-réducteur.*
4 *Radiateur et ventilateur.*
5 *Cabine de conduite.*
6 *Réservoirs à gasoil.*

Table des Matières.

CHAPITRE III.

LE MOTEUR DIESEL.

A. GENERALITES SUR LES MOTEURS A COMBUSTION INTERNE.

1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT.

D'une manière générale, un moteur à combustion interne est un moteur dans lequel le combustible et l'air nécessaire à la combustion sont amenés dans les cylindres mêmes du moteur. Le combustible y brûle en dégageant des gaz à haute température et à forte pression, lesquels exercent directement la force motrice sur le piston. A l'inverse de la machine à vapeur, la combustion s'opère donc à l'intérieur des cylindres.

Les moteurs à combustion interne consomment des combustibles liquides ou gazeux. Ils se divisent en deux grandes catégories.

a) Les moteurs **à mélange préalable,** dits moteurs à explosion, dans lesquels l'air est mélangé au combustible avant son introduction dans le cylindre et l'allumage produit par une étincelle électrique; tel est le cas des moteurs à gaz utilisés surtout comme moteurs fixes dans l'industrie, et celui des moteurs à essence utilisés principalement en automobile et en aviation.

b) Les moteurs **à injection,** tels que les moteurs Diesel, dans lesquels l'air est aspiré seul dans le cylindre; le combustible, finement pulvérisé, est injecté au moment opportun dans la charge d'air comprimé et il s'y enflamme spontanément par suite de la haute température atteinte dans le cylindre. Les moteurs Diesel sont utilisés dans l'industrie, la marine, les autobus, certains camions lourds et dans les chemins de fer (locomotives de ligne, de manœuvre et autorails).

2 AVANTAGES DU MOTEUR DIESEL.

Le moteur Diesel est actuellement utilisé sur une grande échelle en traction ferroviaire. Le moteur Diesel a éliminé le moteur à essence pour les raisons suivantes :

a) le rendement du moteur Diesel est plus élevé que celui du moteur à essence, ce qui veut dire que pour un même travail utile développé, ce moteur consomme une moins grande quantité de combustible;

b) le moteur Diesel consomme du gasoil, combustible liquide moins coûteux que l'essence;

c) le gasoil est également beaucoup moins inflammable que l'essence, ce qui réduit les risques d'incendie inhérents à l'emploi de l'essence.

En contrepartie, la construction du moteur Diesel est plus compliquée et son poids plus élevé que celui du moteur à l'essence. Une légèreté suffisante pour permettre son adaptation au véhicule n'a pu être obtenue que par l'emploi de grandes vitesses de rotation.

3 DEFINITIONS (Fig. 1).

Le moteur Diesel comprend un certain nombre de cylindres C, dans chacun desquels se meut un piston P, animé d'un mouvement de va-et-vient. Le piston attaque, par l'intermédiaire d'une bielle B, la manivelle M d'un arbre-moteur A, dénommé arbre-vilebrequin.

Le mécanisme bielle-manivelle transforme le mouvement de va-et-vient du piston en un mouvement de rotation uniforme de l'arbre-vilebrequin.

A la partie supérieure du cylindre sont disposés :

— une soupape d'admission S, reliée à une tubulure d'aspiration d'air;

— une soupape d'échappement S', reliée à une tuyauterie d'échappement des gaz brûlés;

— un injecteur i, relié à une tubulure de refoulement du combustible.

On appelle **alésage** (D) le diamètre intérieur du cylindre; il s'exprime généralement en millimètres.

On appelle **course de piston** (L) le chemin parcouru par le piston entre ses deux positions extrêmes; la course s'exprime généralement en millimètres.

On appelle **points morts** les deux positions extrêmes du piston dans le cylindre; on distingue le point mort haut (par abréviation P.M.H.) correspondant à la position extrême du piston du côté des soupapes et le point mort bas (par abréviation P.M.B.) correspondant à la position extrême du piston du côté du vilebrequin. La course est donc égale à la distance parcourue par le piston entre le point mort haut et le point mort bas. Elle vaut deux fois le rayon de manivelle r.

On appelle **taux de compression** le rapport entre le volume occupé par les gaz dans le cylindre quand le piston est au point mort bas (volume maximum) et le volume occupé par les mêmes gaz quand le piston est au point mort haut (volume minimum). C'est donc un rapport de volumes, et non pas un rapport de pressions. Dans les moteurs Diesel utilisés en traction ferroviaire, la valeur de ce taux de compression est généralement comprise entre 14 et 18.

On appelle **cylindrée,** le volume engendré par le piston réalisant une course. La cylindrée est donc la différence entre le volume maximum et le volume minimum. Elle s'exprime habituellement en litres.

4 CLASSIFICATION DES MOTEURS.

Tous les moteurs en usage sur les autorails et les locomotives Diesel fonctionnent à **simple effet,** c'est-à-dire que la force motrice ne s'exerce que sur une seule face du piston, à savoir la face supérieure (côté soupapes).

Ces moteurs peuvent être classés de différentes manières :

a) Selon le cycle de fonctionnement.

A cet égard, on distingue les moteurs à **4 temps** et les moteurs à **2 temps.**

On appelle temps, chacune des courses, ascendante ou descendante, du piston. A chaque temps correspond donc une rotation d'un demi-tour de l'arbre-vilebrequin.

On dit qu'un moteur fonctionne à 4 temps lorsqu'il fournit un temps moteur sur quatre temps, ou en d'autres termes, une course motrice sur quatre courses consécutives de piston. Le cycle de travail d'un moteur à 4 temps comprend donc 4 courses consécutives de piston, ce qui correspond à deux tours complets de l'arbre-vilebrequin.

On dit qu'un moteur fonctionne à 2 temps lorsqu'il fournit un temps moteur sur deux temps. Le cycle de travail d'un moteur à 2 temps comprend donc seulement deux courses consécutives de piston, ce qui correspond à un tour complet de l'arbre-vilebrequin.

D'autre part, les moteurs à 4 temps peuvent être **non suralimentés** ou **suralimentés.**

Dans un moteur non suralimenté, l'air nécessaire à la combustion du gasoil est aspiré dans les cylindres directement à la pression atmosphérique.

Dans un moteur suralimenté, cet air est préalablement comprimé et refoulé sous pression dans les cylindres à l'aide d'un compresseur rotatif spécial.

b) Selon la disposition des cylindres.

On distingue :
— les moteurs en ligne (du type vertical ou horizontal) ;
— les moteurs en V.

Dans un **moteur en ligne,** tous les axes des cylindres sont disposés dans un même plan. Ce plan peut être vertical ou horizontal.

Les cylindres sont donc disposés en une seule rangée.

Les moteurs en ligne d'usage le plus courant en traction ferroviaire sont à 6 ou 8 cylindres. Les plus répandus sont ceux du type vertical, les moteurs horizontaux n'étant employés que dans les cas ou un faible encombrement en hauteur est requis (par exemple sur les autorails à moteur sous plancher).

Dans un **moteur en V,** les axes des cylindres sont situés dans 2 plans différents se coupant suivant une droite

correspondant à l'axe du vilebrequin. Les cylindres sont donc groupés en deux rangées inclinées formant entre elles un certain angle (45° ou 60°). De cette manière, la longueur du moteur est réduite de moitié par rapport à celle du moteur en ligne qui possèderait le même nombre de cylindres.

Les moteurs en V d'usage courant en traction ferroviaire sont à 12 ou 16 cylindres.

c) Selon la vitesse de rotation.

La vitesse maximum des moteurs Diesel utilisés en traction ferroviaire est généralement comprise entre 600 et 2000 tours/minute.

On peut diviser ces moteurs en deux groupes :

— les moteurs à grande vitesse, ou moteurs rapides proprement dits (1200 à 2000 tr/min) ;
— les moteurs à vitesse moyenne (600 à 1200 tr/min).

Sur les autorails, où le poids et l'encombrement des moteurs doivent être strictement limités, on n'emploie que des moteurs à grande vitesse.

Sur les locomotives, on emploie souvent des moteurs à vitesse moyenne, plus lourds et plus encombrants, mais généralement très robustes.

Dans l'exposé qui suit, pour la simplification du texte, ces deux groupes reçoivent l'appellation « moteurs rapides », l'appellation « moteurs lents » étant réservée aux moteurs à basse vitesse (moins de 400 tr/min) utilisés dans la marine et l'industrie.

B. LE MOTEUR DIESEL A 4 TEMPS.

5 . FONCTIONNEMENT THEORIQUE DU MOTEUR DIESEL A 4 TEMPS.

Les 4 temps du cycle de travail sont :

1. L'admission;
2. La compression;
3. La combustion et la détente;
4. L'échappement.

a) Premier temps — Admission — Course descendante (fig. 2).

Au début du cycle, le piston se trouve au point mort haut (P.M.H.).

Pendant le premier temps, il descend du point mort haut (P.M.H.) jusqu'au point mort bas (P.M.B.). Pendant toute cette course descendante, la soupape d'admission est ouverte, tandis que la soupape d'échappement reste fermée.

La dépression causée par la descente du piston provoque l'aspiration dans le cylindre, par la soupape d'admission, d'air frais.

b) Deuxième temps — Compression — Course ascendante (fig. 3).

Le piston remonte du point mort bas (P.M.B.) jusqu'au point mort haut (P.M.H.). La soupape d'admission s'est refermée de sorte que les deux soupapes restent fermées pendant cette course. L'air emprisonné dans le cylindre est fortement comprimé par le mouvement ascendant du piston (environ au seizième de son volume initial).

En fin de compression, l'air s'est échauffé par la compression et sa température est de l'ordre de 550° C à 650° C; la pression atteint 30 à 40 kg/cm^2.

c) Troisième temps — Combustion et détente — Course descendante (fig. 4).

Théoriquement, au moment où le piston atteint le point mort haut, on procède à l'injection du combustible (gasoil); celui-ci est projeté par l'injecteur, sous forme de fines gouttelettes liquides, dans le cylindre; le gasoil s'enflamme spontanément au contact de l'air comprimé à haute température.

La combustion du gasoil produit des gaz à forte pression et à haute température, lesquels chassent le piston avec force vers le bas. Le piston redescend du point mort haut vers le point mort bas. Au fur et à mesure qu'il se rapproche de ce dernier, le volume occupé par les gaz augmente progressivement; la pression diminue de même que la température; c'est la détente.

A noter que la pression maximum dans le cylindre à la fin de la combustion peut atteindre 60 à 70 kg/cm^2.

Le troisième temps constitue le temps moteur au cours duquel le piston reçoit l'impulsion qui lui permet de parcourir le cycle complet.

d) Quatrième temps — Echappement — Course ascendante (fig. 5).

Le piston remonte du point mort bas vers le point mort haut. Pendant cette course, la soupape d'échappement est ouverte, tandis que la soupape d'admission reste fermée. Le piston chasse devant lui les gaz brûlés, qui sont évacués vers l'atmosphère par le conduit d'échappement.

Lorsque le piston est arrivé au point mort haut, le cycle est terminé et la même série d'opérations se reproduit dans le même ordre.

Le tableau ci-après résume la position des soupapes au cours des différentes phases du cycle théorique à 4 temps.

	I admission	II compression	III combustion et détente	IV échappement
Soupape d'admission	**OUVERTE**	Fermée	Fermée	Fermée
Soupape d'échappement	Fermée	Fermée	Fermée	**OUVERTE**

6 PRINCIPE DE LA REPRESENTATION GRAPHIQUE.

Soit un système de deux axes de coordonnées O V et O P (fig. 6).

Sur l'axe O V, nous portons une longueur proportionnelle à la distance du fond du cylindre à la tête du piston; comme la section du cylindre est constante, cette longueur est aussi proportionnelle au volume v de l'espace compris entre le fond du cylindre et la tête de piston.

Sur l'axe O P, nous portons une longueur proportionnelle à la pression p des gaz dans le cylindre.

Pour une position donnée du piston, correspondant à un volume v^1, la valeur de la pression est, par exemple, p^1. Le point A représente l'état des gaz (pression-volume) pour cette position du piston.

Quand le piston se déplace, le point A décrit une ligne, généralement courbe, qui représente la variation de la pression des gaz contenus dans le cylindre en fonction du volume occupé par ces mêmes gaz (fig. 7). Cette ligne porte le nom de diagramme pression-volume ou par abréviation, diagramme pv.

7 REPRESENTATION GRAPHIQUE DU CYCLE THEORIQUE DU MOTEUR DIESEL A 4 TEMPS.

La représentation graphique du cycle de fonctionnement d'un moteur consiste à tracer le diagramme pression-volume pour chacune des phases de fonctionnement.

a) **Premier temps. L'admission** (fig. 8a et 8b).

Lorsque le piston se déplace de sa position supérieure à sa position inférieure, on aspire de l'air par la soupape d'admission ouverte. Le cylindre reste donc en communication avec l'atmosphère et la pression dans le cylindre est théoriquement de 1 kg/cm2.

Dans le diagramme (p v), l'admission peut donc être représentée par une ligne A B parallèle à l'axe O V.

O a porté par une certaine échelle, représente le volume minimum représenté par (v) ;

O b porté par une certaine échelle, représente le volume maximum qui vaut (v + V).

La longueur a b représente donc le volume de la cylindrée (V).

La longueur O c, portée à une certaine échelle, représente la pression de 1 kg/cm^2.

b) **Deuxième temps. La compression** (fig. 8c).

Théoriquement, en admettant qu'elle s'effectue sans échange de chaleur avec l'extérieur, (transformation adiabatique), la compression est représentée par la ligne B C.

O c est la longueur représentative de la pression dans le cylindre (1 kg/cm^2) au début de la compression;

O b est la longueur représentative du volume maximum ou volume initial (v + V) au début de la compression;

O a est la longueur représentative du volume minimum ou volume final de compression (v);

O d est la longueur représentative de la pression finale.

Théoriquement, sans tenir compte de l'effet refroidissant des parois, cette pression atteindrait 45 à 50 kg/cm^2.

c) **Troisième temps. La combustion** (fig. 8d et 8e).

Théoriquement la combustion commence lorsque le piston atteint le point mort haut.

Dans les moteurs Diesel lents (moins de 400 tr/min), la combustion est relativement lente et on peut admettre avec une suffisante approximation qu'elle se produit à pression constante (fig. 8d).

On la représente par une droite C E dont le point E est déterminé par la position du piston à la fin de la combustion.

Dans les moteurs Diesel rapides utilisés en traction ferroviaire (600 tr/min et plus), la combustion s'effectue en un temps beaucoup plus court et on ne peut plus admettre, sans une grosse erreur, qu'elle s'effectue selon une loi aussi simple.

On considère dès lors que la combustion s'effectue en deux phases :

1) la combustion rapide à volume constant des composés légers, contenus dans le combustible;
2) la combustion plus lente à pression constante des composés lourds contenus dans le combustible.

L'ensemble de la combustion est représenté par deux droites, C D et D E (fig. 8e).

Le point D est déterminé par la pression maximum obtenue pendant la combustion (par ex. 60 kg/cm^2 dans la fig. 8e) et le point E par la durée de la combustion (position du piston à la fin de la combustion).

d) **Troisième temps** (suite). **La détente** (fig. 8f).

Théoriquement, en admettant qu'elle s'effectue sans échange de chaleur avec l'extérieur (transformation adiabatique), la détente est représentée par une courbe E F, le point F étant déterminé par la pression finale alors que le piston atteint le point mort bas.

e) **Quatrième temps. L'échappement** (fig. 8g).

A l'instant où la soupape d'échappement s'ouvre, la pression tombe immédiatement de sa valeur O f, à la valeur de pression atmosphérique 1 kg/cm^2. Cette dernière pression se maintient pendant toute la durée de l'échappement. La ligne brisée F B G représente donc l'échappement.

f) **Diagramme pression-volume.**

Nous pouvons maintenant grouper sur un même diagramme les différentes phases d'un cycle complet et nous obtenons le diagramme pression-volume (p v) correspondant au fonctionnement théorique d'un moteur Diesel à 4 temps, à savoir :

a) Pour le moteur lent, le diagramme fig. 9 dans lequel :
   A B représente l'admission;
   B C représente la compression;
   C E F représente la combustion et la détente;
   F B G représente l'échappement.

b) pour le moteur rapide, (600 tours/minute au moins), le diagramme fig. 10 dans lequel :
   A B représente l'admission;
   B C représente la compression;
   C D E F représente la combustion et la détente;
   F B G représente l'échappement.

Le diagramme (p v) sert notamment à déterminer le travail développé par le moteur pendant un cycle.

On peut démontrer, en effet, que la surface du diagramme représente le travail développé au cours d'un cycle. Cette surface est hachurée dans les fig. 9 et 10. L'échelle à

laquelle la surface représente le travail dépend bien entendu des échelles choisies pour les volumes et les pressions.

8 FONCTIONNEMENT REEL DU MOTEUR DIESEL A 4 TEMPS.

Pratiquement, le cycle de fonctionnement du moteur à quatre temps n'est pas aussi simple que nous l'avons exposé ci-dessus. Nous allons voir point par point en quoi le cycle pratique diffère du cycle théorique.

a) **Premier temps. L'admission** (fig. 11 et 12).

Pression pendant l'admission. Théoriquement, on considère que la pression dans le cylindre, pendant l'admission, est de 1 atm, soit environ 1 kg/cm2.

En réalité, cette pression est légèrement inférieure, soit 0,95 à 0,97 kg/cm^2. Il y a donc dépression dans le cylindre d'environ 0,05 à 0,03 kg/cm^2. Elle est due aux résistances offertes au passage de l'air.

Avance à l'ouverture de la soupape d'admission. La soupape d'admission ne s'ouvre pas instantanément et au moment précis où le piston atteint le point mort haut. Elle commence à s'ouvrir avant que le piston n'atteigne le P.M.H. Il y a **avance à l'admission.** L'avance à l'admission est indispensable en raison du temps dont la soupape a besoin pour s'ouvrir. D'autre part, pour remplir le cylindre, il faut mettre en mouvement la colonne d'air, ce qui exige aussi un certain temps. Si l'on ne commençait à ouvrir la soupape d'admission que lorsque le piston est ou point mort haut, le piston aurait parcouru une importante partie de sa course d'admission, avant que de l'air ne pénètre dans le cylindre.

Retard à la fermeture de la soupape d'admission. On ne peut pas fermer la soupape d'admission dès que le piston atteint le point mort bas, car à cet instant précis, il y a encore dépression dans le cylindre (0,03 à 0,05 kg/cm^2) et l'air continue à affluer vers le cylindre. Ce n'est que lorsque le piston aura parcouru une fraction de sa course

de compression que l'air cesse de s'introduire dans le cylindre. A ce moment, il faut fermer la soupape d'admission sinon l'air sortirait du cylindre.

Conclusion. En donnant de l'avance à l'admission et du retard à la fermeture de la soupape d'admission, on cherche à obtenir le meilleur remplissage du cylindre en air. Plus il y a d'air dans le cylindre, plus grande pourra être la quantité de combustible injectée. C'est aussi la raison pour laquelle on préfère aspirer l'air de combustion dans un espace non chauffé afin qu'il soit plus dense.

Certains moteurs, dits « **suralimentés** » portent un compresseur relatif spécial, qui souffle de l'air vers le cylindre à une certaine pression, dans le but d'augmenter la quantité d'air introduite dans le cylindre (voir plus loin art. 11).

Représentation graphique de la phase d'admission (fig. 11). La représentation graphique de l'admission ou aspiration, au lieu d'avoir la forme d'une ligne droite A B (1 kg/cm^2) aura la forme A' B'.

La soupape d'admission s'ouvre en A' et se ferme en B'.

Angle d'avance à l'ouverture et angle de retard à la fermeture de la soupape d'admission (fig. 12). Au lieu de représenter l'ouverture et la fermeture de la soupape d'admission, par rapport à la position du piston, représentons les par rapport à la position de la manivelle.

Si la soupape s'ouvre et se ferme respectivement en position O A' et O B' de la manivelle (au lieu des positions théoriques O A et O B), les angles A' O A et B' O B sont respectivement l'angle d'avance à l'ouverture et l'angle de retard à la fermeture de la soupape d'admission.

On les nomme par abréviation : A.O.A. et R.F.A.

L'admission a donc lieu au cours de la période pendant laquelle la manivelle se déplace de A' à B'.

b) **Deuxième temps. La compression** (fig. 13 et 14).

Commencement de la compression (fig. 13). De ce qui précède, il résulte que la compression au lieu de commencer en O B, commence en O B'.

Fin de la compression (fig. 13). La compression au lieu de finir en position O A de la manivelle se termine en O C', position où l'on commence à injecter le combustible (voir sous c) ci-après).

L'angle C' O A est l'angle d'avance à l'injection.

Evolution de la compression. Nous avons admis que la compression s'effectue sans échange de chaleur avec l'extérieur (transformation adiabatique). Ce n'est pas le cas en réalité puisque l'air froid pénétrant dans le cylindre est réchauffé en empruntant de la chaleur aux parois chaudes du cylindre. Dès que la température de l'air dépasse la température des parois, l'air cède de la chaleur aux parois.

Représentation graphique (fig. 14). Si la courbe B C (trait pointillé) représente la compression théorique, la compression effective aura la forme B' C' (trait plein).

c) **Troisième temps. Injection et combustion** (fig. 15 à 17).

Délai d'allumage. Nous avons admis dans le cycle théorique que le combustible est injecté au moment où le piston atteint le point mort haut (position O A de la manivelle). Cela suppose que le combustible s'enflamme instantanément dès l'injection, ce qui pratiquement n'est pas le cas. Le temps nécessaire à l'allumage est sensiblement constant dans le temps et dépend de l'espèce de combustible utilisé. Ce retard à l'allumage ou délai d'allumage aura donc d'autant plus d'influence que la vitesse de rotation du moteur sera plus grande (voir art. 10).

Avance à l'injection (fig. 15). Pour que la combustion commence réellement au point mort haut du piston, il faut donner de l'avance à l'injection. Si l'injection a lieu en position O C' de la manivelle, l'angle C' O A est l'angle d'avance à l'injection, par abréviation A.I.

Représentation graphique (fig. 16 et 17). Si théoriquement la combustion se produit suivant C D E pour un moteur rapide, et suivant C E pour un moteur lent, en raison du délai d'allumage, de la durée de la combustion et de

l'effet des parois froides du cylindre, elle se produira pratiquement suivant les lignes C' D' E'.

d) **Troisième temps** (suite). **La détente** (fig. 18).

Evolution de la détente. Théoriquement, on admet que les gaz brûlés se détendent sans échange de chaleur avec l'extérieur (transformation adiabatique). Pratiquement, ce n'est jamais le cas à cause du refroidissement en permanence du cylindre et de la culasse par circulation d'eau. D'autre part le piston est refroidi par l'huile de graissage.

Une importante quantité de chaleur produite par la combustion (environ 1/3) est évacuée par l'eau et l'huile.

Au cours de la détente, la chute de pression est donc plus importante que celle considérée dans le cas théorique d'une détente adiabatique.

Fin de la détente. La détente cesse, non pas lorsque le piston atteint le point mort bas, mais avant cette position, à cause de l'avance donnée à l'ouverture de la soupape d'échappement.

Représentation graphique. La fig. 18 représente la courbe de détente théorique E F (trait pointillé) et la courbe réelle E' F' (trait plein).

e) **Quatrième temps. L'échappement** (fig. 19 à 21).

Ouverture de la soupape d'échappement. L'avance à l'ouverture de la soupape d'échappement est indispensable, en raison du temps que nécessite l'ouverture.

Pression d'échappement. Alors que théoriquement on considérait que la pression pendant la période d'échappement est de 1 kg/cm2 environ, elle sera en réalité de 1,3 à 1,4 kg/cm^2. La surpression de 0,3 à 0,4 kg/cm^2 est nécessitée par la résistance offerte au passage des gaz dans la tuyauterie d'échappement.

Retard à la fermeture de la soupape d'échappement. Les gaz d'échappement ont une certaine inertie. Pour faci-

liter l'expulsion complète des gaz brûlés et assurer un meilleur remplissage d'air frais du cylindre, on ne ferme la soupape d'échappement que lorsque le piston a dépassé le point mort haut.

Balayage du cylindre (fig. 19 et 20). Par suite du retard donné à la fermeture de la soupape d'échappement et de l'avance donnée à l'ouverture de la soupape d'admission, il apparaît une courte période pendant laquelle les deux soupapes sont ouvertes. Au moment où la soupape d'admission s'ouvre, il se produit un afflux d'air vers la soupape d'échappement qui balaie le cylindre et produit l'évacuation des derniers gaz brûlés.

Représentation graphique (fig. 21). Dès l'instant où la soupape d'échappement s'ouvre, la pression dans le cylindre tombe et n'est plus que de 1,7 à 2 kg/cm^2 lorsque le piston atteint le point mort bas.

Lorsque le piston commence à remonter, la pression tombe davantage n'atteignant plus que 1,3 à 1,4 kg/cm^2 pendant la course d'échappement. Dès que la soupape d'admission s'ouvre (A') la pression diminue jusque 1 kg/cm^2 et même jusque 0,97 kg/cm^2 au moment où la soupape d'échappement est complètement fermée. Pratiquement, l'échappement est représenté sur la fig. 21 par la courbe en traits pleins F' G'.

Angle d'avance à l'ouverture et angle de retard à la fermeture de la soupape d'échappement (fig. 19). Ces angles sont sur la fig. 19 représentés respectivement par F' O B et G' O A. On les nomme par abréviation A.O.E. et R.F.A.

f) **Conclusions.**

Les 4 phases du fonctionnement réel du moteur sont représentées schématiquement sur les figures 22a à 22d. Elles peuvent être résumées par un diagramme circulaire, représentant la position de la manivelle, comme indiqué à la fig. 23.

g) **Diagramme pression-volume.**

Des considérations qui précèdent, on déduit également le cycle réel de fonctionnement du moteur, dans le diagramme pression-volume. Il est représenté par la fig. 24 dans laquelle :

A' B' représente l'admission;
B' C' représente la compression;
C' E' F' représente la combustion et la détente;
F' G' représente l'échappement.

Le diagramme pression-volume réel peut être relevé à l'aide d'un appareil indicateur spécial que l'on installe sur le moteur en fonctionnement. Les indicateurs sont cependant des appareils d'autant plus complexes et plus coûteux que la vitesse de rotation du moteur est plus grande.

Ce diagramme permet de déterminer le travail réel développé par le moteur au cours d'un cycle, ou **travail indiqué** (fig. 25).

Pendant les périodes d'admission et d'échappement, il existe dans le cylindre respectivement une dépression et une pression, et elles entraînent une perte de travail dont l'importance est représentée par la surface Z 2. Le travail développé pendant la combustion et la détente, diminué du travail que nécessite la compression de l'air, est représenté par la surface Z 1.

Le travail réel développé au cours d'un cycle complet est donc représenté par la différence de ces deux surfaces : Z = Z 1 — Z 2.

9 REGLAGE DE LA DISTRIBUTION.

Les angles d'avance et de retard à l'ouverture et à la fermeture des soupapes d'admission et d'échappement représentés sur le diagramme circulaire de la fig. 23, doivent avoir, chacun, pour un type de moteur donné, une valeur bien déterminée, qui a été fixée une fois pour toutes par le constructeur.

Le ou les arbres à cames qui commandent l'ouverture et la fermeture des soupapes étant entraînés par le vile-

brequin à l'intervention d'engrenages, il faut que ces derniers occupent l'un par rapport à l'autre une position bien déterminée, pour que les angles soient corrects.

Le fait de régler la position de l'arbre à cames par rapport au vilebrequin constitue le réglage de la distribution.

Le réglage correct de la distribution peut, si nécessaire, être vérifié par le personnel des remises à l'aide d'une graduation angulaire tracée sur le volant.

10 AVANCE A L'INJECTION.

Pour un moteur et un combustible donné, le délai d'allumage est sensiblement constant dans le temps. Or, à un même temps correspond un angle de rotation d'autant plus grand que la vitesse de rotation du moteur est plus grande.

Pour que, à tous les régimes de vitesse du moteur, la combustion commence toujours au même point de la course du piston (au voisinage du point mort haut), il faut faire augmenter l'angle d'avance à l'injection (A. I.) au fur et à mesure que la vitesse de rotation s'accroît.

En pratique, pour éviter des complications, certains moteurs fonctionnent avec une avance à l'injection fixe, réglée une fois pour toutes au banc d'essai à une valeur moyenne pouvant convenir aux différents régimes de marche.

D'autres moteurs sont munis d'un dispositif automatique faisant varier l'avance à l'injection en fonction de la vitesse de rotation.

Une avance à l'injection mal réglée entraîne de sérieux inconvénients dans le fonctionnement du moteur.

Si l'angle est trop grand, la combustion est prématurée, d'où fatigue anormale des organes du moteur (le moteur cogne) et perte de puissance.

Si l'angle est trop petit, la combustion est tardive et incomplète, d'où perte de puissance, échappement coloré (fumées noires), encrassement des organes internes et danger d'échauffement du moteur.

11 SURALIMENTATION DU MOTEUR A 4 TEMPS.

La suralimentation consiste à comprimer légèrement (de 1,3 à 1,5 kg/cm²) l'air de combustion avant son admission dans le cylindre. Le volume d'air admis restant la même, le cylindre contient de ce fait, au début de la phase de compression, une plus grande quantité d'air en poids. Il est donc possible, à chaque cycle de travail, de brûler dans le cylindre une plus grande quantité de combustible, d'où augmentation de la surface du diagramme pression-volume, donc du travail produit par cycle.

Un moteur suralimenté permet de développer une puissance supérieure (jusqu'à 50 %) à celle du moteur non suralimenté possédant les mêmes cylindres et tournant à la même vitesse. Moyennant un réglage convenable de la distribution et de l'avance à l'injection, ce résultat peut s'obtenir sans augmenter sensiblement la pression et la température maxima atteintes en fin de la phase de combustion.

La compression préalable de l'air est réalisée au moyen d'une turbo-soufflante de suralimentation, comprenant :

— une turbine à ailettes actionnée par les gaz d'échappement du moteur;

— un ventilateur (soufflante) accouplé directement à la turbine et réalisant la compression de l'air.

Ce groupe forme un ensemble tournant à très grande vitesse (généralement 10 000 à 20 000 tr/min) et fonctionnant par récupération de l'énergie cinétique contenue dans les gaz d'échappement.

C. LE MOTEUR DIESEL A 2 TEMPS.

12 FONCTIONNEMENT DU MOTEUR DIESEL A 2 TEMPS.

Tandis que dans un moteur à 4 temps, le cycle de fonctionnement s'effectue en quatre courses consécutives de piston, dans un moteur à 2 temps, le même cycle s'effectue sur 2 courses consécutives, ce qui correspond à un tour du vilebrequin.

Les phases d'admission et d'échappement se passent simultanément; dans ce but, on les intercale entre la fin de la phase de détente et le début de la phase de compression.

Autrement dit, les phases d'admission et d'échappement s'étendent sur la fin de la course descendante et le début de la course remontante du piston.

On distingue :

1) les moteurs dans lesquels la distribution entière (admission et échappement) s'effectue au moyen de lumières pratiquées dans le bas du cylindre et découvertes par le piston au bas de sa course descendante;
2) les moteurs dans lesquels une des phases de la distribution seulement (en général l'admission) est assurée par des lumières pratiquées dans le cylindre et l'autre par des soupapes disposées en tête du cylindre.

Les moteurs à deux temps en service sur notre réseau étant du second type c'est uniquement ce dernier que nous décrirons.

Dans un tel moteur (fig. 26), l'admission se fait par des lumières (B) pratiquées dans le cylindre, dites lumières de balayage, tandis que l'échappement se fait par une ou plusieurs soupapes (S) disposées en tête du cylindre.

Les lumières de balayage sont en communication avec un compresseur rotatif à engrenages (C) entraîné par le moteur Diesel et qui sert à comprimer l'air frais à la pression de 1,3 kg/cm^2 environ.

La ou les soupapes d'échappement sont actionnées au moyen d'un arbre à cames par l'intermédiaire de tige-poussoirs et de culbuteurs comme dans un moteur à 4 temps, sauf que l'arbre à cames doit tourner à la même vitesse que l'arbre-vilebrequin puisqu'il y a un cycle complet de travail par tour.

La fig. 27 montre les différentes phases du cycle réel de fonctionnement de ce moteur.

1 - 2 représente l'admission;
2 - 3 représente la compression;
3 - 3' - 4 représente la combustion et la détente;
4 - 5 représente l'échappement.

Vers la fin de la phase de détente (course descendante du piston), la soupape d'échappement s'ouvre (en 4), un peu avant que le piston ne découvre les lumières de balayage (en 1). A partir du point (1), l'air frais mis sous pression par le compresseur de balayage pénètre dans le cylindre par les lumières et chasse les gaz brûlés qui s'échappent par la soupape.

La soupape d'échappement se referme en (5), un peu avant que le piston ne recouvre complètement les lumières de balayage (en 2).

La compression commence donc au point (2), mais avec de l'air frais qui est à la pression d'environ 1,3 kg/cm², de sorte que le remplissage du cylindre n'est que de peu inférieur à celui obtenu dans un moteur à 4 temps non suralimenté (où la compression commence plus tôt, mais avec de l'air à la pression atmosphérique).

La période de (1) à (5), hâchurée dans la fig. 27, pendant laquelle les lumières de balayage (admission) et la soupape d'échappement sont ouvertes en même temps, constitue la **période de balayage.**

13 COMPARAISON ENTRE LES MOTEURS A 2 TEMPS ET A 4 TEMPS.

Le moteur à 2 temps présente les avantages suivants :

1) Avec un même nombre de cylindres, de mêmes dimensions, et à égalité de vitesse de rotation, un moteur à 2 temps devrait théoriquement développer une puissance double de celle du moteur à 4 temps (non suralimenté). En réalité, il n'en sera pas tout-à-fait ainsi à cause du moins bon degré de remplissage dans le cycle à 2 temps et de la puissance absorbée par les compresseurs de balayage.

En pratique, à égalité de puissance et de vitesse de rotation, le moteur à 2 temps permet de réaliser un gain de poids et d'encombrement appréciable sur le moteur à 4 temps non suralimenté (de l'ordre de 40 %).

Sur le moteur à 4 temps suralimenté, toutefois, ce gain est beaucoup moindre (10 à 20 %).

2) Le couple moteur développé dans chaque cylindre est deux fois plus régulier que celui du moteur à 4 temps.

Les désavantages du moteur à 2 temps sont les suivants :

1° Son rendement thermique est inférieur à celui du moteur à 4 temps.

Dans un moteur Diesel, le balayage s'effectue au moyen d'air pur et n'entraîne aucune perte de combustible. Néanmoins, la consommation au cheval-heure d'un moteur Diesel à 2 temps est d'environ 10 % supérieure à celle d'un moteur à 4 temps.

2° La sollicitation thermique des organes constitutifs (pistons, culasses, etc.) qui, à régime de vitesse égal, doivent subir un nombre de combustions doubles, est plus élevée que dans le moteur à 4 temps, et rend la construction du moteur plus difficile.

D. COURBES CARACTERISTIQUES DU MOTEUR DIESEL.

Ces courbes montrent la variation du couple et de la puissance du moteur Diesel en fonction de la vitesse de rotation. On y adjoint parfois les courbes de consommation.

La vitesse minimum du moteur, appelée **ralenti,** varie entre la moitié et le tiers de la vitesse maximum.

14 COUPLE DEVELOPPE (fig. 28).

Le réglage du **couple** développé, ou **charge,** s'obtient en faisant varier la quantité de combustible injecté dans le cylindre au cours de chaque cycle; la quantité d'air admise dans le cylindre déterminée pour la cylindrée reste constante aux différents degrés d'injection.

Pour un degré d'injection donné, le couple développé est sensiblement constant quelle que soit la vitesse de rotation. Toutefois, aux faibles vitesses, le couple est nul et il est indispensable de prévoir un dispositif spécial destiné à lancer le moteur jusqu'à ce qu'il atteigne la vitesse d'allumage.

La fig. 28 représente les courbes du couple à différents degrés d'injection.

15 PUISSANCE (fig. 29).

La puissance est proportionnelle au produit de la vitesse par le couple. Comme ce dernier est à peu près constant, la puissance varie de façon sensiblement linéaire avec la vitesse de rotation. La fig. 29 représente les courbes de puissance à différents degrés d'injection.

16 CONSOMMATION (fig. 30).

La consommation en gasoil peut s'exprimer soit par la consommation horaire totale, ou mieux par la consommation spécifique, en grammes par cheval-heure (un cheval-heure est le travail développé par un moteur de 1 cheval-vapeur pendant 1 heure). Cette consommation varie en proportion inverse du rendement (voir art. 17).

La fig. 30 représente les courbes de **consommation spécifique** à différents degrés d'injection. On remarque ce qui suit :

1) A pleine charge et jusque vers la demi-charge, c'est-à-dire dans la zone normale d'utilisation, la consommation varie assez peu quand la vitesse de rotation varie;
2) La consommation est minimum aux environs de la pleine charge; elle augmente très peu jusque la demi-charge pour devenir nettement plus forte à faible charge.

La consommation **minimum** est généralement comprise entre 160 et 185 g/ch.-heure pour les moteurs à 4 temps; entre 175 et 210 g/ch.-heure pour les moteurs à 2 temps. Elle est plus forte, pour un petit moteur que pour un gros moteur, pour un moteur à grande vitesse que pour un moteur à vitesse moyenne.

La consommation spécifique permet aisément de déterminer la consommation horaire à **pleine puissance,** par exemple :

Moteur Cockerill-Baldwin des locomotives type 201 :
— puissance : 1750 chevaux;
— consommation spécifique : 160 g/ch.-heure;

— consommation horaire $\frac{1750 \times 160}{1000} = 280$ kg.

Ou, en tenant compte du poids spécifique du gasoil
280 : 0,85 = 330 litres.

Moteur Brossel des autorails types 553-554 :

— puissance : 170 chevaux;

— consommation spécifique : 185 grammes;

— consommation horaire : $\frac{170 \times 185}{1000} = 21{,}5$ kg.

ou, en tenant compte du poids spécifique du gasoil
21,5 : 0,85 = 25 litres.

La consommation horaire, au ralenti, et à vide varie entre les limites suivantes :

10 à 12 kg pour un gros moteur de locomotive de 1750 ch
1 à 2 kg pour un petit moteur d'autorail de 100 à 200 ch.

17 RENDEMENT.

Le rendement effectif d'un moteur Diesel est le rapport entre la quantité de chaleur réellement transformée en travail sur son arbre de sortie et la quantité de chaleur apportée par la combustion du combustible consommé. Pour un combustible donné, il est inversement proportionnel à la consommation spécifique.

Le rendement varie donc quelque peu avec la nature du moteur (voir art. 16).

En régime de pleine charge, il se situe généralement entre 32 % et 38 %.

La chaleur perdue, soit en moyenne environ 65 % de la chaleur totale apportée par la combustion, se répartit **à peu près** comme suit :

— chaleur emportée par les gaz d'échappement 30 % ;

— chaleur évacuée par l'eau de refroidissement et l'huile (30 %) ;

— chaleur rayonnée par les parois (5 %).

18 E. ORGANES CONSTITUTIFS DU MOTEUR DIESEL.

Le moteur Diesel proprement dit comporte :

1) **Les organes moteurs :** des pistons animés d'un mouvement de va-et-vient dans les cylindres entraînent en rotation, à l'aide de bielles, un arbre-vilebrequin; celui-ci est logé dans un bâti appelé carter ou soubassement selon le cas; à la partie supérieure des cylindres sont installées les culasses contenant la distribution par soupapes; le mécanisme de distribution assure le synchronisme entre le mouvement des soupapes et des pistons de façon à respecter le cycle du moteur tel qu'il a été décrit précédemment;

2) Les **organes d'injection** du combustible, à savoir les pompes d'injection et les injecteurs.

D'autre part, tout moteur Diesel est pourvu d'un certain nombre d'installations auxiliaires indispensables à son fonctionnement. Ce sont :

3) Le **circuit d'alimentation en combustible;**
4) Le **circuit de graissage;**
5) Le **circuit de refroidissement;**
6) Le **circuit d'air** (pour l'admission) ;
7) Le **régulateur;**
8) L'**appareillage de protection;**
9) Les **appareils de contrôle et de mesure;**
10) Les **organes de lancement.**

1. LES ORGANES MOTEURS.

19 GENERALITES.

Les principaux organes du moteur sont :

— les cylindres;
— les pistons avec segments;
— les bielles;
— l'arbre-vilebrequin et ses paliers;
— le carter ou le soubassement;
— les culasses;
— le mécanisme de distribution.

20 CYLINDRES.

Le cylindre est l'organe dans lequel se meut le piston.

Dans les moteurs rapides, les cylindres sont souvent constitués de blocs coulés en fonte, munis de parois à circulation d'eau pour le refroidissement. Leur surface intérieure est alésée, de forme parfaitement cylindrique. Après usure, on place habituellement des **fourreaux,** dits aussi **chemises,** qui sont des pièces en fonte rapportées et emmanchées à force dans l'alésage du cylindre. Ces fourreaux, qui ne sont pas en contact avec l'eau de refroidissement, sont dits du type **sec.**

Fig. 31 : Coupe à travers un bloc-cylindre de moteur SEM (autorail type 603) ; les blocs sont coulés en fonte par groupes de 2 cylindres venus d'une seule pièce.

Dans les gros moteurs à vitesse moyenne (locomotives), les cylindres sont généralement constitués par des **fourreaux, ou chemises,** en fonte, qui sont des pièces rapportées montées dans un **bâti** dit aussi bloc-cylindre, lequel est constitué par une pièce coulée en fonte ou plus souvent en acier soudé formant les chambres d'eau. Ces fourreaux, qui sont en contact avec l'eau de refroidissement sont dits du type **humide.** Leur surface intérieure est parfois chromée pour en augmenter la dureté superficielle et réduire l'usure.

Fig. 32 : Fourreau d'un moteur Cockerill-Baldwin (locomotive type 201).

21 PISTONS ET SEGMENTS.

Les pistons sont soit en alliage léger d'aluminium, soit en fonte.

Leur face supérieure comporte généralement une cavité de façon à former avec la face inférieure de la culasse la chambre de combustion.

Ils sont munis d'un certain nombre de segments, qui sont des cercles en fonte s'engageant dans des gorges pratiquées dans la surface extérieure du piston et s'appuyant par leur propre élasticité sur la paroi du cylindre. Il y a 2 espèces de segments.

1) Les segments d'étanchéïté généralement au nombre de 3 ou 4, de section rectangulaire disposés à la partie supérieure et destinés à empêcher les gaz brûlés ou à l'air de repasser vers le carter du moteur; ils ont donc pour rôle d'assurer l'étanchéité de la chambre de combustion;

2) Les segments racleurs d'huile, souvent au nombre de 2, parfois 3, de forme variable avec le type de moteur, disposés à la partie inférieure du piston et destinés à empêcher l'huile d'arriver en excès à la tête du piston, ce qui donnerait lieu à une consommation excessive et à la formation de dépôts charbonneux sur le piston et les soupapes.

Dans le piston est monté un axe de piston, en acier à haute résistance, sur lequel s'articule le petit côté de bielle.

Fig. 33 : Piston et segments du moteur Baldwin (locomotive 201).

Fig. 34 : Segment d'étanchéité.

Fig. 34bis et 34ter : Segments racleurs.

22 BIELLES.

Les bielles reçoivent la poussée des gaz exercée sur les pistons et la transmettent au vilebrequin en transformant le mouvement rectiligne alternatif des pistons en un mouvement circulaire continu au vilebrequin. Elles sont en acier à haute résistance, forgé et traité.

Chaque bielle est articulée d'une part sur l'axe du piston par le pied de bielle et sur le maneton correspondant du vilebrequin par la tête de bielle. A cet effet, le pied de bielle est muni d'une bague en bronze s'articulant sur l'axe du piston et la tête de bielle renferme deux demi-coussinets constitués d'une carcasse en acier garnie d'un métal d'usure (bronze au plomb ou métal blanc, ou les deux). La partie centrale de la bielle, réunissant le pied de bielle à la tête de bielle, est appelée corps de bielle. Ce dernier est foré pour la circulation de l'huile de graissage.

Fig. 35 : bielle du moteur SEM (autorails 603-608-620).
Fig. 36 : bielle du moteur EMD (locomotives 202-203-204).

23 ARBRE-VILEBREQUIN.

L'arbre-vilebrequin en acier spécial traité tourne dans un certain nombre de paliers (généralement, il y a un palier à chaque extrémité et un palier intermédiaire entre tous les cylindres) logés dans le carter ou le soubassement. Il comporte autant de portées qu'il y a de paliers et autant de coudés que le moteur comporte de cylindres, sauf pour les moteurs en V où les bielles s'articulent 2 par 2 suivant le V sur un même coudé. Chaque coudé est formé d'un maneton, sur lequel s'articule la tête de bielle, et de deux manivelles. Les paliers renferment chacun deux demi-coussinets constitués d'une carcasse en acier garnie d'un métal d'usure (bronze au plomb ou métal blanc) comme les coussinets de tête de bielle.

Habituellement, le vilebrequin porte :

— à une extrémité, un amortisseur à disques de friction destiné à amortir les vibrations de torsion;

— à l'autre extrémité, un volant destiné à régulariser le couple moteur et un pignon entraînant les jeux d'engrenages qui commandent l'arbre à cames pour la distribution et certains auxiliaires.

L'accouplement de la transmission à l'arbre-vilebrequin se fait du côté du volant, appelé conventionnellement côté **arrière** du moteur; l'amortisseur de vibrations est donc disposé du côté **avant** du moteur.

Fig. 37 : vilebrequin du moteur SEM à 6 cylindres (autorails type 603).

Fig. 38 : vue partielle du vilebrequin du moteur EMD (locomotives types 202-203-204) montrant les forages pratiqués pour la circulation de l'huile de graissage.

24 CARTER OU SOUBASSEMENT.

Dans les moteurs rapides, le carter est constitué en 2 parties coulées en alliage léger d'aluminium ou en fonte :

a) Le carter supérieur, qui constitue la pièce de résistance, supporte les cylindres et est muni de traverses qui reçoivent les paliers supports de vilebrequin;

b) Le sous-carter qui ferme le carter à sa partie inférieure et sert de réservoir pour l'huile de graissage.

Dans les gros moteurs à vitesse moyenne (locomotive) les paliers de vilebrequin sont supportés par une pièce confectionnée le plus souvent en tôles soudées parfois coulée en fonte, appelée **soubassement**. Celui-ci supporte le bâti contenant les fourreaux et il contient également à sa partie inférieure la réserve d'huile de graissage (sauf dans le cas du moteur ABC où celle-ci est contenue dans un réservoir séparé : moteur dit à carter sec).

Fig. 39 : Carter et sous-carter en aluminium du moteur horizontal SEM (autorail 603).

Fig. 40 : Soubassement en tôles soudées du moteur Baldwin (locomotive 201).

25 CULASSES.

La culasse ferme le cylindre à sa partie supérieure; c'est généralement une pièce coulée en fonte. La culasse est le plus souvent soit individuelle par cylindre, soit commune à 2 cylindres. Un joint du type métallo-plastique ou en cuivre plein assure l'étanchéité entre la culasse et le carter.

Une circulation d'eau, formant circuit continu avec celle du cylindre est ménagée dans la culasse.

Au-dessus de chaque cylindre, la culasse comporte :

— une ou deux soupapes d'admission (sauf dans les moteurs à deux temps où l'admission s'effectue par des lumières distribuées autour de la chemise);

— une ou deux soupapes d'échappement;

— le dispositif d'injection du combustible c'est-à-dire l'injecteur (et, le cas échéant, une chambre de précombustion).

Fig. 41 : Culasse du moteur SEM (avec chambre de précombustion) (autorails types 603-608-620).

Fig. 42 : Culasse du moteur Baldwin (locomotive 201).

26 MECANISME DE DISTRIBUTION.

Dans sa disposition classique, le mécanisme de distribution comporte essentiellement un arbre à cames (fig. 43) en acier (A) parallèle à l'arbre-vilebrequin et entraîné par l'intermédiaire d'un train d'engrenages cylindriques à la moitié de la vitesse de rotation du vilebrequin dans le cas du moteur 4 temps et à la vitesse de rotation du vilebrequin pour le moteur 2 temps.

Dans les moteurs en V, il y a généralement un arbre à cames par rangée de cylindres.

Au droit de chaque cylindre, l'arbre à cames porte des bossages (ou cames) pour les soupapes d'admission et pour les soupapes d'échappement, disposées parallèlement à l'axe du cylindre.

Les soupapes (S) sont formées d'une tête à siège conique et d'une tige; cette dernière coulisse dans un guide en fonte (G). Les soupapes sont en acier allié de manière à résister aux hautes températures et à l'action corrosive des gaz d'échappement.

Les ressorts (R) maintiennent les soupapes normalement fermées; celles-ci s'ouvrent à l'intervention des cames par une tige-poussoir (T) et un levier dit « culbuteur » (C). La came exerce son action sur la tige-poussoir par l'intermédiaire d'un poussoir (P) ou mieux, d'un galet tournant librement autour de son axe. Le cas échéant, une pièce intermédiaire, dite pont de commande des soupapes, permet la commande de deux soupapes par un seul culbuteur (fig. 42).

Il doit toujours exister lorsque le moteur est froid un certain jeu (J) (0,2 à 0,5 mm), fixé de façon précise pour chaque type de moteur, entre la tige de soupape et la surface d'appui du culbuteur, pour tenir compte des dilatations. Ce jeu peut se régler par la vis de réglage (V). Sa valeur correcte doit être contrôlée périodiquement par le service d'entretien des remises. Si le jeu est trop faible, lorsque le moteur s'échauffe, par suite des dilatations, les soupapes ferment mal, d'où compression insuffisante et mauvaise combustion. Si le jeu est trop fort, l'ouverture et

la fermeture des soupapes ne se produisent plus au moment prévu; les chocs des culbuteurs sur les tiges rendent le fonctionnement du moteur plus bruyant que la normale.

La partie supérieure du mécanisme de distribution est recouverte par des capots légers, généralement en tôle d'aluminium, facilement amovibles pour permettre la visite.

2. LES ORGANES D'INJECTION.

27 GENERALITES.

Les organes d'injection sont les pompes d'injection et les injecteurs.

La pompe d'injection dose le gasoil en quantité appropriée au régime de fonctionnement du moteur et le refoule à haute pression, au moment opportun, vers l'injecteur.

L'injecteur pulvérise très finement le combustible et le distribue de façon uniforme à travers la chambre de combustion du cylindre ou, le cas échéant, la chambre de précombustion.

Il y a toujours un injecteur par cylindre, disposé dans la culasse et une pompe monocylindrique correspondant à chaque injecteur. On rencontre trois dispositions caractéristiques :

a) les pompes alimentant les différents cylindres sont groupées en un seul bâti et reliées aux injecteurs par des tuyauteries appropriées;
b) les pompes sont individuelles et placées chacune au voisinage du cylindre correspondant;
c) pour chaque cylindre, la pompe et l'injecteur sont combinés en un seul organe disposé sur la culasse, ce qui évite l'emploi de tuyauteries parcourues par du combustible à haute pression entre la pompe et l'injecteur; chaque cylindre est alors doté d'un « injecteur-pompe ».

Ajoutons que les pompes d'injection et les injecteurs sont des organes de haute précision dont le bon fonctionnement est d'une importance essentielle pour le rendement et la conservation du moteur.

28 DIFFERENTS MODES D'INJECTION.

Selon la manière dont est injecté le combustible dans le cylindre, on distingue :

a) les moteurs à injection directe;

b) les moteurs à chambre de précombustion.

Dans les moteurs à **injection directe** (fig. 44), le combustible est injecté directement dans le cylindre; l'injecteur est habituellement logé au milieu de la culasse et le fond du piston présente un creux pour former la chambre de combustion. On obtient une pulvérisation très fine du combustible par l'emploi de fortes pressions d'injection (200 à 400 kg/cm^2) et d'orifices d'injection très petits (0,1 à 0,2 mm).

Dans les moteurs à **chambre de précombustion** (fig. 44bis), le combustible est injecté dans une chambre séparée du cylindre, de forme variable avec le type de moteur, logée dans la culasse et communiquant avec le cylindre par des orifices appropriés. Cette chambre porte le nom de chambre de précombustion. Ce système ne nécessite pas une pulvérisation aussi poussée du combustible que l'injection directe, ce qui permet l'emploi de pressions d'injection moins élevées (100 à 150 kg/cm^2).

Il est employé par exemple sur les moteurs SEM d'autorails (fig. 44bis). Lorsque la chambre de précombustion est de forme sphérique, en vue de favoriser le brassage de l'air et du combustible injecté (cas des moteurs Brossel) (fig. 59), elle est dite aussi **chambre de turbulence.**

29 POMPES D'INJECTION.

Les pompes d'injection modernes sont du type à piston plongeur. Les pistons sont animés d'un mouvement alternatif qu'ils reçoivent de cames disposées sur un arbre (arbre de commande des pompes d'injection) entraîné par le vilebrequin à une vitesse de rotation uniforme (la moitié de la vitesse du vilebrequin pour le moteur à 4 temps; la vitesse du vilebrequin pour le moteur à 2 temps).

Nous décrirons la pompe Bosch, qui est une des plus répandue. Cette pompe est du type à ouvertures d'aspiration et de décharge contrôlées par le mouvement du piston lequel fait lui-même office de distributeur (fig. 45 et 46).

Dans ce système, la course du piston est constante.

Le réglage de la quantité de combustible injecté s'obtient par rotation du piston autour de son axe.

A cet effet, une partie de la surface du piston (1) est évidée, la partie évidée comportant une bordure de forme hélicoïdale et étant en communication avec la face supérieure du piston par une rainure verticale. Lorsque le piston est au bas de sa course, la cavité du cylindre au-dessus du piston est remplie de combustible qui y arrive de la chambre d'aspiration par les orifices d'admission latéraux (4) et (5).

Quand le piston remonte sous l'action de la came, il obture ces deux orifices et le combustible est refoulé à travers la soupape de retenue (2), la tuyauterie de refoulement et l'injecteur. L'injection commence au moment où le bord supérieur du piston dépasse le niveau des orifices d'admission. Elle cesse à l'instant où le bord de la rampe hélicoïdale découvre la lumière d'aspiration de droite (5) faisant ainsi communiquer le cylindre de pompe avec la chambre d'aspiration par la rainure verticale du piston, ce qui fait cesser le refoulement.

Pour régler le débit d'injection, on fait tourner le piston dans le cylindre en déplaçant longitudinalement la tige de réglage (6), laquelle est munie d'une crémaillère engrenant avec une couronne dentée calée sur le manchon de réglage (7). Cette tige est placée sous la dépendance de la manette d'accélération et du régulateur. Ainsi que le montre la fig. 46, on fait varier ainsi le point où se produit la fin de l'injection, le début de l'injection étant fixe.

30 LES INJECTEURS.

On distingue :

a) les injecteurs ouverts, constitués d'un simple bouchon percé d'un trou, selon leur axe;

b) les injecteurs fermés, dans lesquels l'ajutage de la base servant à l'injection est fermé par un pointeau (gicleur) fermé sous l'action d'un ressort et s'ouvrant sous la pression du combustible refoulé par la pompe d'injection.

Les injecteurs fermés sont de beaucoup les plus répandus, parce qu'ils évitent tout suintement de combustible en dehors de la période d'injection proprement dite.

Nous décrirons l'injecteur Bosch, équipant une grande partie de notre matériel (fig. 47).

L'injecteur proprement dit comporte le corps d'injecteur et le pointeau (ou gicleur) ajustés entre eux très étroitement. Le corps d'injecteur est fixé au porte-injecteur par un écrou-raccord.

Le porte-injecteur sert à monter l'injecteur dans la culasse. Il comporte une canalisation pour l'admission du combustible refoulé par la pompe d'injection ainsi qu'une canalisation destinée à recueillir les fuites (trop-plein).

Le pointeau est normalement appuyé sur son siège par l'intermédiaire d'une tige-poussoir et d'un fort ressort. La tension du ressort peut être réglée à l'aide de la vis de réglage, à laquelle on peut avoir accès en dévissant le capuchon.

Le combustible refoulé par la pompe d'injection entre dans le porte-injecteur par l'orifice situé à gauche de la fig. 47 et parvient à la chambre située au-dessus du siège du pointeau. Au moment où la pression engendrée par la pompe, en s'exerçant sur l'épaulement du pointeau, dépasse la force exercée par le ressort, le pointeau se soulève et l'injection commence. Dès que la pression tombe, le pointeau obture à nouveau l'orifice.

La vis de réglage permet de régler la pression d'injection à la valeur prescrite.

Les gicleurs pour injecteurs Bosch sont de deux types différents : le gicleur à tenon (fig. 48) et le gicleur à trou (fig. 49).

31 ORDRE DE MARCHE.

Le raccordement des injecteurs aux pompes d'injection doit s'effectuer de façon que les injections se suivent dans un ordre bien déterminé correspondant à une succession régulière des temps moteurs. L'ordre dans lequel s'effectue les injections s'appelle ordre de marche du moteur.

Citons, à titre d'exemple, le cas des moteurs à 6 et 8 cylindres en ligne (cycle à 4 temps).

Moteur à 6 cylindres (fig. 50).

Pendant un cycle complet de travail d'un cylindre, le vilebrequin décrit 2 tours. Dans un moteur comprenant 6 cylindres, il y aura donc en tout 6 cycles de travail pour 2 tours du vilebrequin, soit pour un angle de rotation du bras de manivelle de :

$$2 \times 360^{o} = 720^{o}.$$

En vue d'assurer une répartition uniforme des temps moteurs au cours de ces 2 tours et d'obtenir ainsi le couple moteur le plus régulier possible, il convient donc que les bras de manivelle des différents coudés du vilebrequin fassent entre eux un angle de :

$$720^{o} : 6 = 120^{o}.$$

Le vilebrequin aura la forme représentée schématiquement à la fig. 50. On remarque qu'il est symétrique par rapport à son plan médian.

Les injections dans les différents cylindres doivent se produire de façon que chaque temps moteur soit décalé de 120° par rapport à celui qui précède.

Il y a plusieurs ordres de marche possibles, le plus fréquemment adopté étant : 1 - 5 - 3 - 6 - 2 - 4.

Moteur à 8 cylindres (fig . 51).

Ici il y aura 8 cycles de travail pour 2 tours de l'arbre-vilebrequin, de sorte que les bras de manivelle doivent faire entre eux un angle de :

$$720^{o} : 8 = 90^{o}$$

Ils seront donc calés à angle droit.

Le vilebrequin a généralement la forme représentée schématiquement à la fig. 51. Il est également symétrique par rapport à son plan médian. Ici encore les injections doivent s'effectuer dans un ordre bien déterminé pour que chaque temps moteur soit décalé de 90° par rapport à celui qui précède.

L'ordre de marche le plus souvent adopté est le suivant : 1 - 5 - 7 - 3 - 8 - 4 - 2 - 6.

Remarque. — Dans les deux exemples ci-dessus (fig. 50 et 51), le vilebrequin est représenté par un observateur regardant le moteur du côté avant (côté opposé au volant et à la transmission) ; le moteur tourne donc dans le sens horlogique (c'est-à-dire dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre), pour cet observateur et les cylindres sont numérotés 1, 2, 3, etc. en partant du côté avant vers l'arrière. Ce sens de rotation, ainsi que ce mode de numérotation, sont les plus fréquemment rencontrés.

32 3. LE CIRCUIT D'ALIMENTATION EN COMBUSTIBLE.

Le circuit d'alimentation en combustible comprend les organes destinés à amener le gasoil du réservoir aux pompes d'injection, tout en assurant une filtration efficace de celui-ci. Il est indispensable que le gasoil soit en parfait état de propreté pour la bonne conservation des pompes d'injection et d'injecteurs.

La disposition du circuit d'alimentation varie avec la nature du moteur et du véhicule (autorail et locomotive). Deux cas sont à considérer :

1) Le ou les réservoirs à gasoil sont placés en contrebas par rapport aux pompes d'injection.

   Dans ce cas, le plus fréquemment rencontré, une disposition caractéristique du circuit d'alimentation est représentée à la fig. 52 :

   C = crépine retenant les grosses impuretés;
   p A : pompe d'alimentation : aspire le combustible du réservoir et le refoule vers la pompe d'injection;
   p f = filtre disposé sur l'aspiration de la pompe;

f = filtre disposé sur le refoulement de la pompe;
p i = pompe d'injection;
i = injecteur.

La pompe d'alimentation peut être entraînée par un moteur électrique indépendant (cas des gros moteurs de locomotives Diesel-électriques par exemple) ou bien être actionnée par une came disposée sur le même arbre de commande que la pompe d'injection, à laquelle elle est alors souvent boulonnée (cas des moteurs rapides d'autorails).

Les filtres à gasoil comportent des éléments en feutre, en tissu ou parfois à mailles métalliques très serrées.

2) Le ou les réservoirs à gasoil sont placés à la partie supérieure de la salle des machines, en surélévation par rapport aux pompes d'injection.

Dans ce cas, qui se rencontre sur certains autorails, la pompe d'injection est alimentée directement par gravité, par l'intermédiaire d'un filtre approprié. La pompe d'alimentation est donc supprimée. Un raccord flexible permet le déplacement relatif entre le réservoir fixé à la caisse de l'autorail et le moteur Diesel, installé dans le bogie.

4. LE CIRCUIT DE GRAISSAGE.

33 ROLE DU GRAISSAGE.

Le graissage d'un moteur à combustion interne a pour but :

1° d'interposer un film d'huile entre les surfaces glissant les unes sur les autres (segments piston sur cylindre — portées d'arbre et coussinets de palier, etc.) afin d'éviter l'échauffement violent et le grippage de ces organes;

2° assurer l'étanchéité de la chambre de combustion grâce au film d'huile entre les segments et le cylindre;

3° contribuer à l'évacuation des calories produites, en particulier dans certains moteurs l'huile refroidit directement le fond des pistons.

A remarquer que les frottements des surfaces en contact sont plus importants lorsque le moteur est neuf ou révisé.

Le rodage consiste à accommoder les surfaces en contact de manière que le film d'huile interposé soit stable et régulier.

34 CIRCUIT DE GRAISSAGE.

Le graissage de tous les organes des moteurs modernes est toujours assuré par de l'huile sous pression, circulant en circuit fermé.

Le circuit de graissage du moteur varie suivant le type et la puissance du moteur. Une disposition caractéristique est schématisée sur la fig. 53.

L'huile est aspirée par une pompe (p) dans le fond du carter ou du soubassement à travers une crépine (c) et refoulée vers le filtre principal ou filtre fin; de ce dernier, vers l'échangeur de chaleur où l'huile est refroidie, puis vers les différents points de graissage après être passée à travers un 2e filtre (filtre à tamis).

La fig. 54 représente schématiquement la distribution de l'huile aux principaux organes du moteur.

Une rampe principale de graissage distribue l'huile aux paliers de vilebrequin. Des forages dans le vilebrequin amènent l'huile aux paliers de tête de bielle. L'huile chemine à travers les bielles qui sont également forées jusqu'aux pieds de bielle. L'huile projetée des têtes de bielle sur la paroi des cylindres graissent ces derniers. Les segments racleurs enlèvent l'huile en excès.

L'excédent d'huile retombe dans le carter où elle est reprise par la pompe à huile. Le mécanisme de distribution est graissé au moyen d'une rampe spéciale (rampe auxiliaire).

Dans certains moteurs, en outre, le piston est refroidi soit par de l'huile projetée d'une tuyère disposée dans le pied de bielle (fig. 35), soit par une circulation d'huile ménagée dans le piston lui-même.

35 DESCRIPTION DES ORGANES CONSTITUTIFS.

Pompe à huile.

La pompe à huile est commandée par le vilebrequin. Elle travaille dans l'huile pour éviter tout danger de désamorçage. Une soupape de décharge tarée évite, surtout au

démarrage quand l'huile est fort visqueuse, que la pression n'atteigne une valeur excessive et permet alors à l'huile de retomber dans le carter.

On distingue deux sortes de pompes à huile :

1) pompe à engrenages (fig. 55) ;
2) pompe à palettes (fig. 56).

Dans la pompe à engrenages, qui est la plus répandue, deux pignons engrènent à frottement doux, l'huile suit le parcours représenté sur la fig. 55.

Dans la pompe à palettes (fig. 56), un arbre excentré tourne dans un corps de pompe. Deux palettes sont appuyées contre le corps de pompe par un ressort.

L'huile entre dans la pompe dans le compartiment dont le volume croît et sort du compartiment dont le volume diminue.

Filtre à huile.

Ces filtres doivent débarrasser l'huile de ses impuretés : parties métalliques, carbone, impuretés, etc. Les filtres sont de types divers. Ils contiennent soit des éléments à remplacer périodiquement (cartouches en tissu et coton), soit des éléments à nettoyer périodiquement (manchon cylindrique en feutre ou tamis métallique, empilages de plaques métalliques, etc.).

Les filtres sont souvent munis de soupapes de by-pass, permettant à l'huile, en cas d'obstruction, de contourner l'élément filtrant.

Réfrigérant d'huile.

Le réfrigérant d'huile souvent appelé échangeur est utilisé dans de nombreux moteurs pour éviter que la température de l'huile ne dépasse 90° C à 95° C. Cet appareil est généralement constitué par un faisceau tubulaire à l'intérieur duquel circule l'huile, les tubes étant refroidis extérieurement par l'eau du moteur.

36 PARTICULARITES PROPRES AU GRAISSAGE.

Pour assurer un graissage régulier, il faut observer des règles dont voici les plus importantes :

a) Le niveau d'huile dans le sous-carter doit être suffisant. Pour le contrôler, une jauge métallique passe à travers un orifice aménagé dans le carter. Sur cette jauge sont indiqués les niveaux minima et maxima admissibles pour l'huile;

b) La valeur normale de la pression d'huile varie avec le type de moteur et sa vitesse de rotation (en général elle est comprise entre 2 et 5 kg/cm^2). En aucun cas cette pression ne peut tomber en-dessous d'un minimum fixé (0,3 à 1 kg/cm^2 selon le cas). Continuer à laisser tourner le moteur lorsque la circulation d'huile fait défaut, même pendant une courte période, est de nature à occasionner des avaries très graves;

c) Il est interdit de mélanger des huiles de viscosité ou de nature différentes. Le mélange de ces huiles de nature distincte risque d'entraîner des réactions chimiques défavorables pour le moteur;

d) Quelle que soit la qualité de l'huile employée, celle-ci se dégrade progressivement et perd ses propriétés lubrifiantes. On doit renouveler périodiquement le bain d'huile; cette opération est appelée « vidange »; la périodicité des vidanges varie considérablement selon le type de moteur et la nature de l'huile.

5. CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT.

37 GENERALITES.

Le refroidissement des cylindres et des culasses du moteur Diesel est indispensable, sans quoi l'échauffement excessif de tous les organes en contact avec les gaz de combustion rendrait le graissage impossible et amènerait rapidement la destruction de ces organes.

D'une manière générale, les moteurs Diesel peuvent être refroidis, soit à l'air, soit par une circulation d'eau.

Le refroidissement à l'air, employé par certains constructeurs pour de petites unités, n'est pas utilisé sur notre matériel.

Tous nos moteurs Diesel sont refroidis par une circulation d'eau.

38 CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT.

En principe, tout circuit de refroidissement comporte :

— un vase d'expansion contenant une réserve d'eau, placé en surélévation par rapport au moteur Diesel;

— une pompe de circulation, du type centrifuge, commandée à partir du vilebrequin qui assure la circulation de l'eau dans le circuit;

— des radiateurs qui servent à évacuer à l'air les calories récoltées dans le moteur;

— le cas échéant, un réfrigérant de l'huile de graissage du moteur, voire un réfrigérant de l'huile de la transmission hydraulique.

En principe, la pompe aspire l'eau du vase d'expansion et la refoule à travers les chambres d'eau des cylindres et des culasses vers le réfrigérant d'huile et les radiateurs, d'où elle retourne à l'aspiration de la pompe ou au vase d'expansion.

Dans les autorails Brossel, dont la puissace est inférieure à 200 chevaux, les radiateurs sont disposés sur la toiture et refroidis simplement par le courant d'air de la marche : c'est la **ventilation naturelle.**

Dans tous les autres engins, autorails et locomotives, la ventilation est forcée, c'est-à-dire que les radiateurs sont refroidis à l'aide de ventilateurs en forme d'hélice, qui peuvent être entraînés soit mécaniquement par le moteur Diesel (arbres à cardans, courroies, etc.), soit électriquement à l'aide de petits moteurs électriques.

D'une manière générale, le vase d'expansion porte un niveau à lecture directe en verre ou en plexiglass, du type à vases communicants, qui permet au conducteur de vérifier si le circuit d'eau est suffisamment rempli.

Signalons que dans certains autorails, l'eau de refroidissement est utilisée pour le chauffage de la voiture ou encore, le circuit de chauffage à eau chaude de cette dernière, comportant un brûleur à gasoil peut être, à l'aide d'un robinet à 4 voies, soit rendu indépendant du circuit de refroidissement, soit relié à ce dernier.

39 REGLAGE DE LA TEMPERATURE D'EAU.

En service, la température de l'eau de refroidissement est normalement comprise entre 70° C et 85° C. Elle ne peut en aucun cas dépasser 95° C.

D'autre part, il est hautement souhaitable, pour que la combustion s'effectue dans de bonnes conditions, que la température de l'eau se maintienne toujours à un niveau suffisamment élevé (65° C au moins) et, cela, même pendant le fonctionnement au ralenti ou à faible charge.

Pour satisfaire à cette condition, les circuits de refroidissement comportent généralement un **thermostat.** Cet appareil comporte essentiellement un élément sensible à dilatation, influencé par la température de l'eau. Il se présente sous deux variantes.

1. **Thermostat de by-pass.** Dans ce cas, l'élément sensible actionne une soupape double qui règle la circulation de l'eau en fonction de la température, comme illustré par le schéma de principe fig. 57.

Lorsque le moteur est froid, toute l'eau refoulée par la pompe retourne directement au vase d'expansion sans passer par les radiateurs (by-pass ou petit circuit) ; elle s'échauffe donc rapidement.

Lorsque la température atteint une certaine valeur (par exemple 70° C) la soupape ouvre progressivement le passage vers les radiateurs, tout en fermant le retour direct. Lorsque le moteur est chaud (80° C par exemple), toute l'eau est dirigée vers les radiateurs (grand circuit) ; elle est donc alors refroidie normalement.

2. **Thermostat à contact électrique agissant sur les ventilateurs.**

Dans ce cas, l'élément sensible actionne un contact électrique, inséré dans le circuit de commande du dispositif d'entraînement des ventilateurs (moteur électrique ou coupleur hydraulique). En d'autres termes, le thermostat agit sur la vitesse de rotation des ventilateurs. Ceux-ci restent complètement arrêtés tant que la température de l'eau n'atteint pas une valeur déterminée (70° C par exemple).

En général, des volets de protection, coupant toute circulation d'air autour des radiateurs, s'ouvrent automatiquement en même temps que les ventilateurs se mettent en marche et se ferment dès que ceux-ci s'arrêtent.

Ce système présente sur le précédent les avantages suivants :

— l'eau chaude circule toujours à travers les radiateurs, d'où diminution du danger de gel en hiver;
— économie d'énergie et partant diminution de la consommation de combustible, les ventilateurs ne tournant que lorsque c'est nécessaire.

40

6. CIRCUIT D'AIR.

Le moteur Diesel doit être alimenté en air aussi pur que possible. Les poussières, particulièrement le sable en suspension dans l'air atmosphérique, forment avec l'huile un mélange abrasif qui accélère l'usure des cylindres, segments et soupapes. Pour cette raison l'air doit être filtré avant son entrée dans le moteur.

Sur les locomotives de ligne, la filtration est double : l'air aspiré à l'intérieur de la salle des machines, est filtré à travers les filtres installés dans les parois latérales de la caisse. A l'entrée de la turbo-soufflante ou du compresseur de balayage dans le cas du moteur à 2 temps, l'air est filtré une deuxième fois.

Sur les locomotives de manœuvre et les autorails, la filtration est généralement simple, avant l'entrée de l'air dans le moteur. Toutefois, dans de nombreux cas, la prise d'air se fait sur la toiture de manière à aspirer un air plus pur et éviter la zone des poussières près du niveau du rail.

Les filtres à air sont de trois espèces :

1) **Filtres « humides » :** l'élément filtrant est constitué de chicanes ou tressages métalliques imprégnés d'huile épaisse; les poussières sont retenues dans le film d'huile; ce type de filtre est notamment d'usage général comme filtre de paroi sur les locomotives de ligne;
2) **Filtres secs :** l'élément filtrant est généralement constitué d'une étoffe filtrante supportée par une fine toile métallique.

3) **Filtres à bain d'huile** (fig. 58) : l'air aspiré à travers le filtre subit un brusque changement de direction en léchant un bain d'huile contenu dans le fond du filtre. Les grosses particules sont projetées directement au fond du filtre, les fines sont retenues par le film d'huile. Les gouttelettes d'huile entraînées par l'air sont retenues par un élément en tressage métallique contenu dans le filtre.

Quel que soit le type de filtre employé, il convient, pour assurer leur efficacité, de les nettoyer convenablement et à intervalles réguliers. Les filtres « humides » doivent en outre être réimprégnés d'huile après nettoyage et séchage.

7. LE REGULATEUR.

41 GENERALITES.

En pratique, la puissance demandée au moteur est très variable selon la charge du train, le profil de la ligne et l'horaire à respecter. Le rôle du régulateur est de permettre au conducteur de régler à volonté la puissance développée par le moteur Diesel selon les besoins, tout en maintenant la vitesse de rotation entre des limites déterminées.

Le régulateur comporte toujours un mécanisme à force centrifuge agissant sur le tringlage de commande des pompes d'injection, donc sur le débit de ces pompes, en fonction de la vitesse de rotation. Le débit des pompes d'injection est également influencé par la position de la manette d'accélérateur (ou de la pédale d'accélérateur dans le cas des autorails Brossel) au poste de conduite, par l'intermédiaire d'un système de commande à distance approprié. Ce systême peut être mécanique, pneumatique, électrique ou électro-pneumatique.

La régulation peut s'effectuer selon deux procédés caractéristiques :
— le réglage de l'injection, ou throttle control;
— le réglage de la vitesse, ou speed control.

42 REGLAGE DE L'INJECTION (throttle control).

Ce système s'utilise lorsque la vitesse du véhicule est étroitement liée à la vitesse de rotation du moteur Diesel,

ce qui est le cas avec les transmissions mécaniques en général et avec les transmissions hydrauliques comportant, pour certains étages de vitesse, des coupleurs hydrauliques (la majorité des autorails et les locomotives Diesel-hydrauliques de manœuvre).

A chaque position de la manette d'accélérateur, ou à chaque cran de marche, correspond un degré d'injection déterminé. Autrement dit, le conducteur règle à volonté la quantité de combustible en agissant sur le tringlage de commande des pompes d'injection.

La vitesse du moteur varie librement entre le ralenti et la valeur maximum admise pour le moteur. Le régulateur, qui est dit « **de ralenti et de vitesse maximum** », réduit automatiquement le débit d'injection dès que la vitesse maximum est atteinte; il maintient également la vitesse constante lors de la marche à vide (ralenti).

43 REGLAGE DE LA VITESSE (speed control).

Ce système s'utilise lorsque la vitesse du véhicule n'est pas étroitement liée à celle du moteur Diesel, ce qui est le cas avec les transmissions électriques en général et avec les transmissions hydrauliques ne comportant que des convertisseurs de couple (toutes les locomotives Diesel électriques et certains autorails).

A chaque position de la manette d'accélérateur, ou à chaque cran de marche correspond une vitesse bien déterminée du moteur Diesel. Les différents régimes de fonctionnement s'échelonnent entre le ralenti et la vitesse maximum du moteur. Pour chacun d'eux, le régulateur qui est dit « **de vitesse** », maintient cette vitesse sensiblement constante quelles que soient les variations de charge en agissant sur le débit des pompes d'injection.

La transmission est conçue de façon à absorber pour une vitesse donnée du moteur Diesel, un couple également à peu près constant. A chaque position de la manette d'accélération correspond donc une **puissance constante.**

Dans le cas de la transmission électrique, ne pas confondre le régulateur de vitesse du Diesel avec le régulateur de charge de la transmission placé sous la dépendance du

précédent, qui a précisément pour rôle d'adapter à tout moment la puissance absorbée par la génératrice principale à la puissance constante disponible sur l'arbre du Diesel.

44 8. DISPOSITIFS DE PROTECTION

A l'exception des moteurs de faible puissance équipant les autorails légers Brossel (types 551 à 554 — moins de 200 chevaux), les moteurs Diesel comportent généralement un certain nombre de dispositifs de protection, qui ont pour effet de les ramener automatiquement à l'arrêt ou au ralenti, dès qu'une anomalie de fonctionnement susceptible d'occasionner des avaries graves endéans un temps réduit se produit.

Ces dispositifs agissent en cas de :

— survitesse;

— manque de pression d'huile de graissage;

— température d'eau trop élevée;

— manque d'eau (sur les engins de conception récente seulement).

Le mode d'action de ces dispositifs est décrit plus en détail au fascicule 9, chapitre IX, art. 3 à 7.

45 9. APPAREILS DE CONTROLE ET DE MESURE.

Le moteur Diesel est toujours muni d'un certain nombre d'appareils destinés à permettre au conducteur de contrôler son bon fonctionnement.

On distingue :

— les appareils à distance, c'est-à-dire ceux transmettant des indications au poste de conduite, et que le conducteur a constamment sous les yeux pendant la marche;

— les appareils placés directement sur le moteur ou dans son voisinage immédiat, que le conducteur ne peut contrôler que pendant les stationnements.

Les **appareils à distance** peuvent être constitués soit par des appareils de mesure proprement dits, indiquant la valeur de l'élément mesuré (pression, température, etc.), soit simplement par des lampes-témoins, indiquant par allumage ou extinction si une valeur critique est atteinte. Souvent, le fonctionnement de la lampe-témoin correspond au déclenchement du dispositif de protection correspondant; dans certains cas, il est accompagné d'un signal acoustique (sonnerie d'alarme).

Les éléments suivants sont habituellement contrôlés à distance :

— vitesse de rotation : tachymètre;
— pression d'huile : manomètre ou lampe-témoin;
— température d'eau : thermomètre ou lampe-témoin.

Parfois on contrôle aussi la température de l'huile de graissage, voire la pression dans le circuit d'alimentation en combustible.

Les **appareils installés** sur le moteur sont généralement :

— un manomètre indiquant la pression de l'huile de graissage;
— un thermomètre indiquant la température de l'eau;
— un thermomètre indiquant la température de l'huile de graissage.

10. APPAREILS DE LANCEMENT.

46 DIFFERENTS MODES DE LANCEMENT.

Rappelons qu'un moteur Diesel ne peut tourner par ses propres moyens qu'à partir d'une certaine vitesse, dite vitesse minimum d'allumage, en-dessous de laquelle l'allumage spontané du combustible injecté ne se produit pas.

Il est donc indispensable d'amener le moteur à cette vitesse à l'aide d'une source de force extérieure. Cette opération porte le nom de **lancement.**

Trois modes de lancement sont utilisés.

1) **Lancement par la génératrice principale.** Ce mode de lancement n'est applicable qu'aux engins à transmission électrique (les locomotives de ligne en général et certains autorails). Il consiste à faire fonctionner momentanément la génératrice principale accouplée au moteur Diesel comme moteur électrique alimenté par la batterie d'accumulateurs. Le circuit de lancement est nettement séparé du circuit des moteurs de traction.

   La commande du lancement est réalisée par bouton-poussoir, ou manette de commutateur, à l'intervention de contacteurs automatiques.

2) **Lancement par démarreur électrique.** Ce mode de lancement s'emploie pour les moteurs rapides des engins à transmissions mécanique ou hydraulique (la majorité des autorails).

   Le démarreur est un petit moteur électrique à excitation série ou compound portant, en bout d'arbre, un pignon. Au moment du lancement, grâce à un dispositif spécial, le pignon s'engage temporairement dans une couronne dentée calée sur le volant du moteur Diesel. Le démarreur, alimenté par la batterie d'accumulateurs, entraîne alors le vilebrequin du moteur. Dès que les allumages se produisent et que le moteur accélère par ses propres moyens, le pignon est dégagé automatiquement du volant, à l'aide d'un dispositif spécial.

   La commande du démarreur est réalisée par un bouton-poussoir ou un commutateur, provoquant la fermeture du circuit du démarreur par l'intermédiaire d'un relais.

3) **Lancement à l'air comprimé.** Ce mode de lancement s'emploie pour les gros moteurs à vitesse moyenne des locomotives à transmission hydraulique. Il consiste à faire fonctionner momentanément le moteur Diesel comme moteur à air comprimé, alimenté par des bonbonnes à haute pression montées sur la locomotive (30 kg/cm^2). Le moteur Diesel est muni à cet effet d'un

distributeur général d'air comprimé et d'une soupape spéciale de démarrage par cylindre, montée dans la culasse. Un petit compresseur spécial est prévu pour le remplissage des bonbonnes.

Le lancement se fait à l'intervention d'une soupape de lancement manœuvrée à l'aide d'un levier ou d'un volant.

47 PRECAUTIONS POUR LE LANCEMENT A FROID.

Un moteur Diesel est d'autant plus difficile à lancer qu'il est plus froid. En effet, à l'état froid, non seulement la viscosité accrue de l'huile augmente la résistance opposée par le frottement des organes, mais encore l'allumage du combustible injecté se produit difficilement par suite de la température moins élevée atteinte par l'air contenu dans le cylindre en fin de compression.

Certains moteurs, en particulier ceux à chambre de précombustion, comportent un dispositif destiné à faciliter le lancement à froid, par exemple, une bougie de réchauffage (moteurs Brossel des autorails types 551 à 554) : cette bougie consiste en une spirale métallique logée dans la chambre de précombustion et parcourue momentanément par un courant électrique au moment du lancement de façon à être portée au rouge et réchauffe l'air contenu dans la chambre (fig. 59).

Dans d'autres moteurs, en particulier sur les autorails, l'eau de refroidissement peut être préchauffée, soit par un brûleur à gasoil prévu à cet effet, soit par le brûleur à gasoil normalement utilisé pour l'installation de chauffage à eau chaude; on peut alors éviter le lancement à froid.

Dans beaucoup de moteurs cependant, surtout les moteurs à vitesse moyenne équipant les locomotives, aucun dispositif spécial n'est prévu.

D'une manière générale, il faut être prudent lors du lancement d'un moteur froid : le laisser d'abord tourner un certain temps au ralenti, ne pas « l'emballer », c'est-à-dire le porter à grande vitesse, ni le charger fortement avant que l'eau n'ait atteint une température suffisante (50° C au moins).

FASCICULE 10

CHAPITRE III.

Le Moteur Diesel

FIGURES

Juillet 1958.

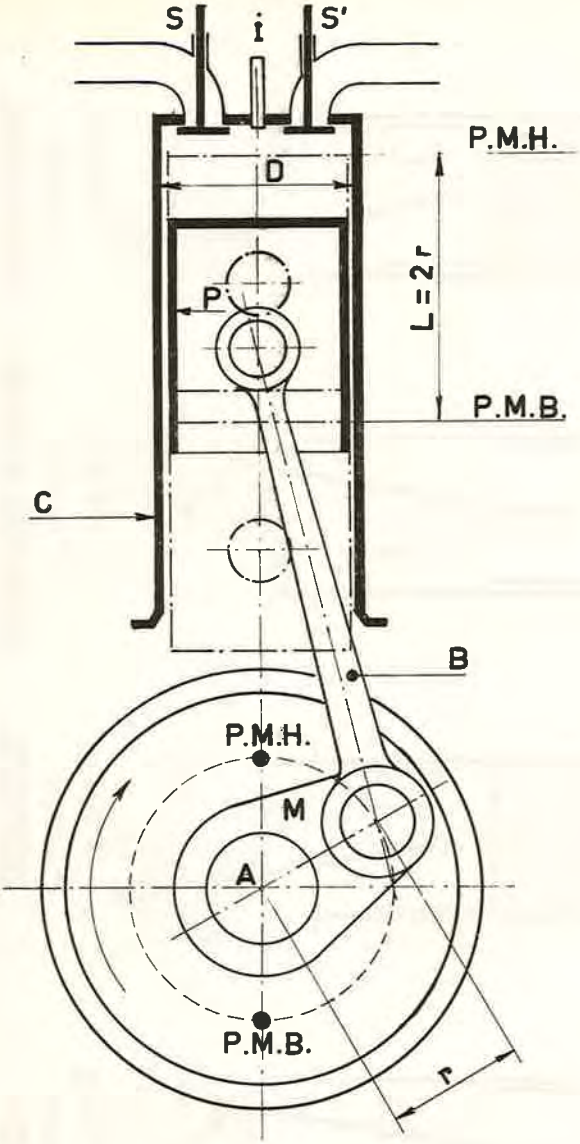
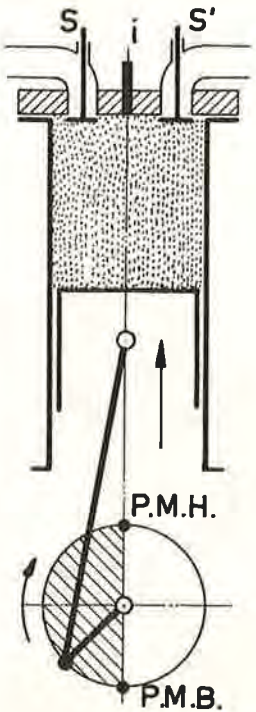


Fig.1.

1r temps
Admission.

Fig. 2.

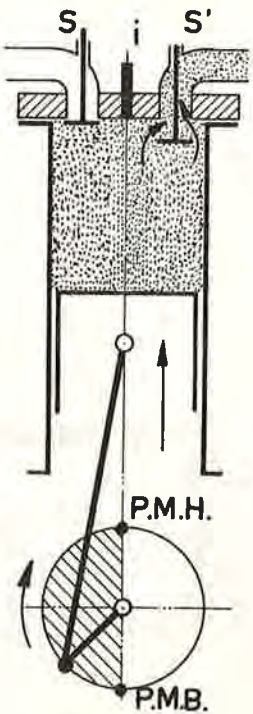


2e temps
Compression.

Fig. 3.

3e temps
Combustion et détente.

Fig. 4.



4e temps
Echappement.

Fig. 5.

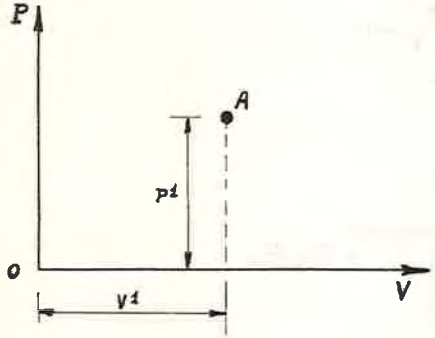


Fig.6.

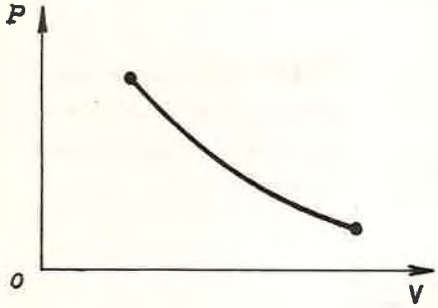


Fig.7. *Diagramme de l'évolution du gaz dans le cylindre.*

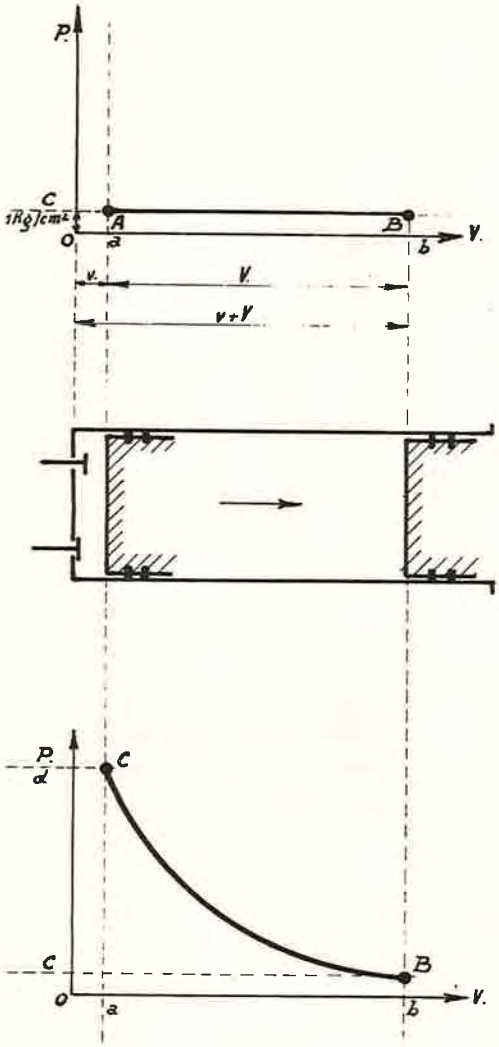


Fig.8a. *Représentation graphique de l'admission dans un moteur 4 temps.*

Fig.8b.

Fig.8c. *Représentation graphique de la compression dans un moteur à 4 temps.*

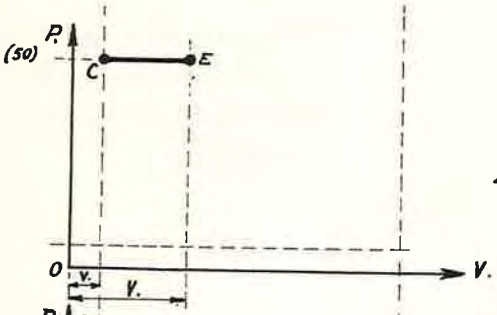


Fig.8d. *Représentation graphique de la combustion dans un moteur Diesel lent.*

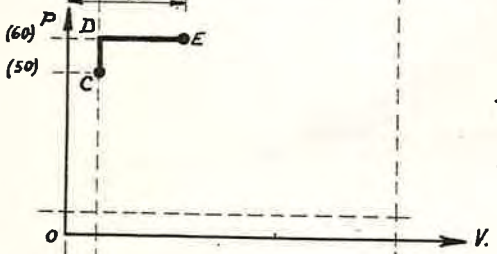


Fig.8e. *Représentation graphique de la combustion dans un moteur Diesel rapide.*

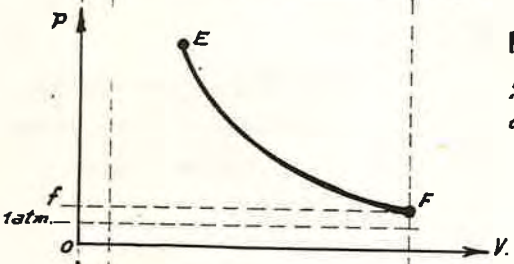


Fig.8f. *Représentation graphique de la détente dans un moteur 4 temps.*

Fig.8g. *Représentation graphique de l'échappement dans un moteur à 4 temps.*

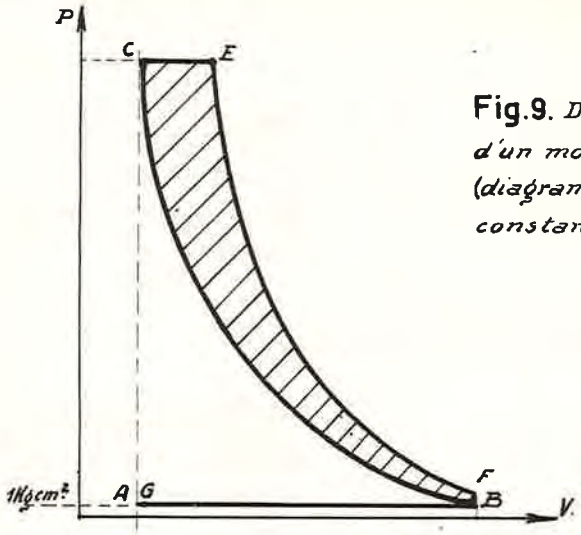


Fig.9. *Diagramme "PV" d'un moteur Diesel lent. (diagramme à pression constante).*

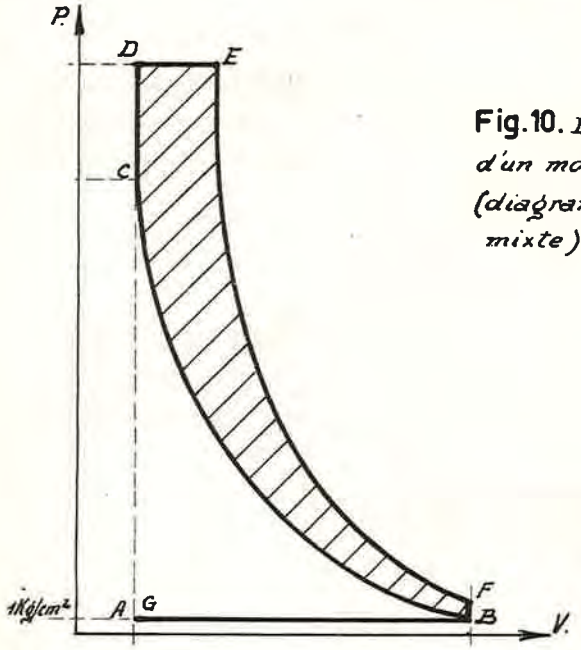


Fig.10. *Diagramme "PV" d'un moteur Diesel rapide (diagramme à cycle mixte).*

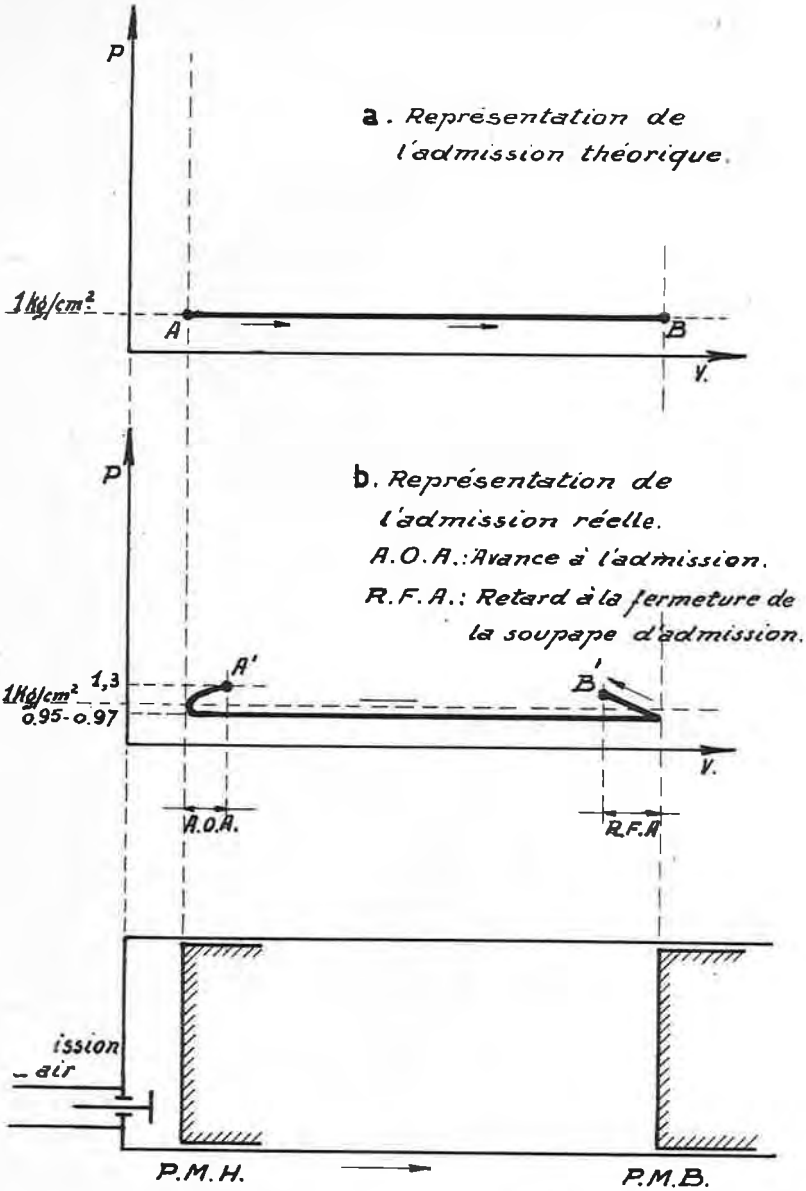


Fig.11. Admission.

Fig. 12.

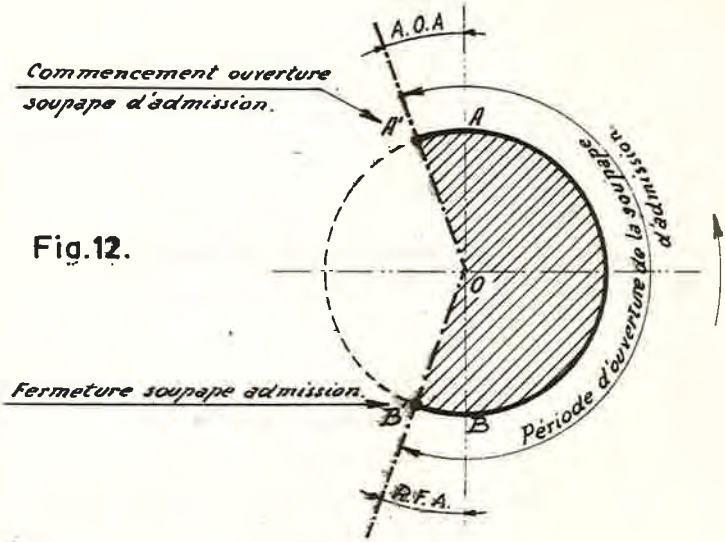
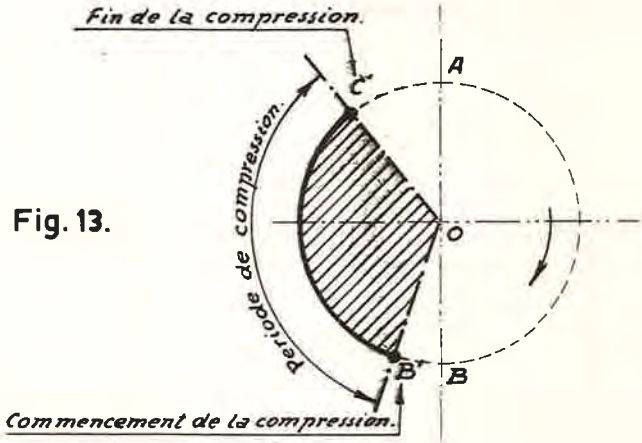

A.O.A
Commencement ouverture
soupape d'admission.
A'
A
Période d'ouverture de la soupape d'admission.
O
Fermeture soupape admission.
B'
B
R.F.A.

Fig. 13.


Fin de la compression.
C'
A
Période de compression.
O
B'
B
Commencement de la compression.

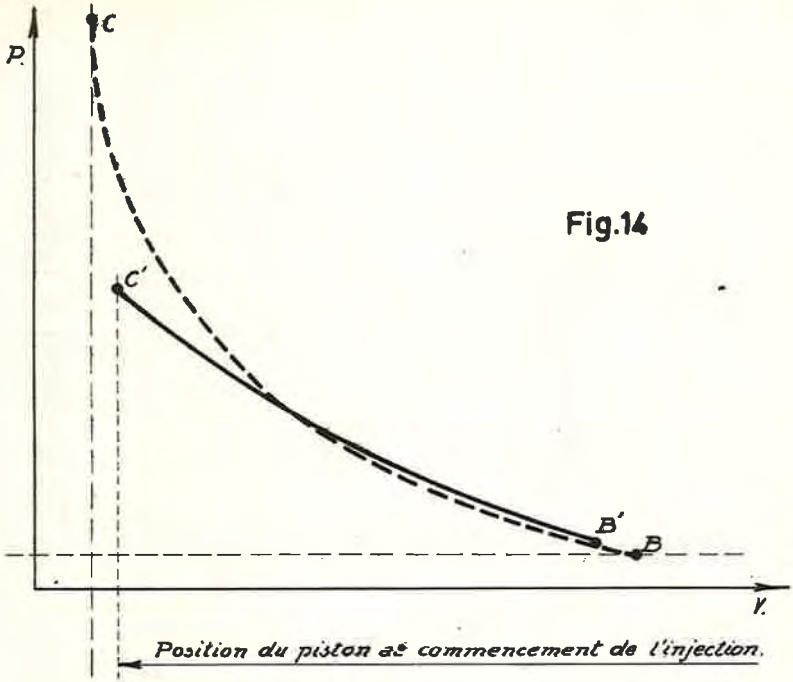

P.
C
C'
B'
B
V.
Position du piston au commencement de l'injection.

Fig.14

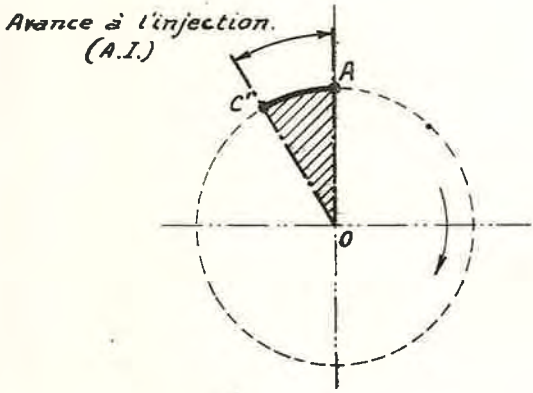

Avance à l'injection.
(A.I.)
A
C''
O

Fig.15.

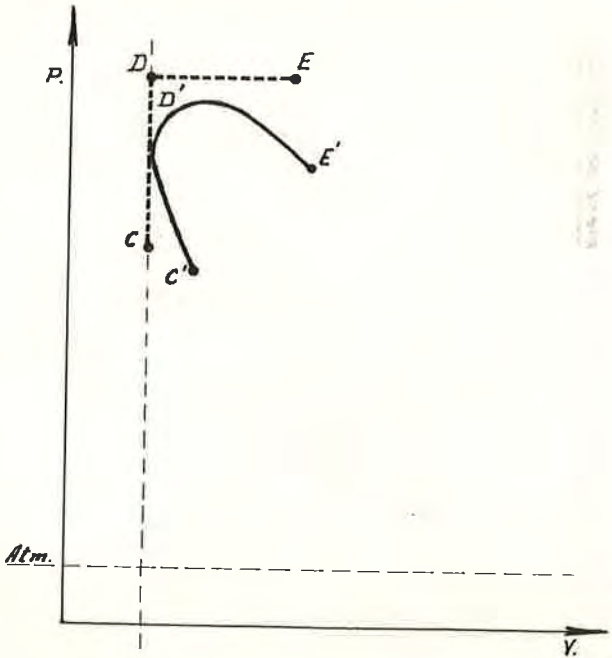


Fig.16. Diesel à grande vitesse.

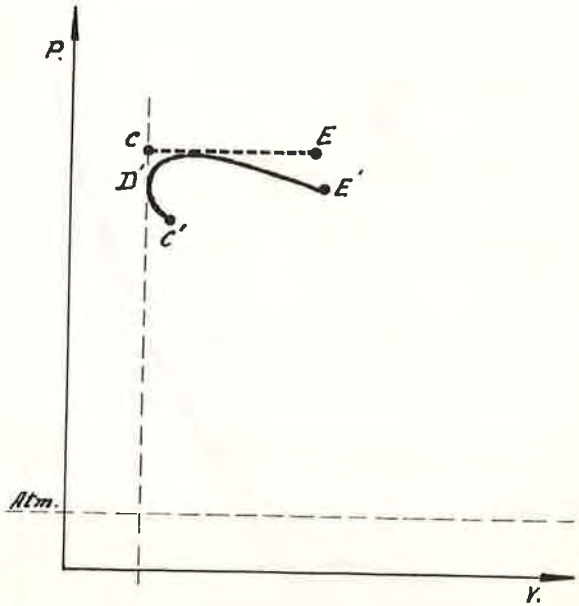


Fig.17. Diesel à faible vitesse.

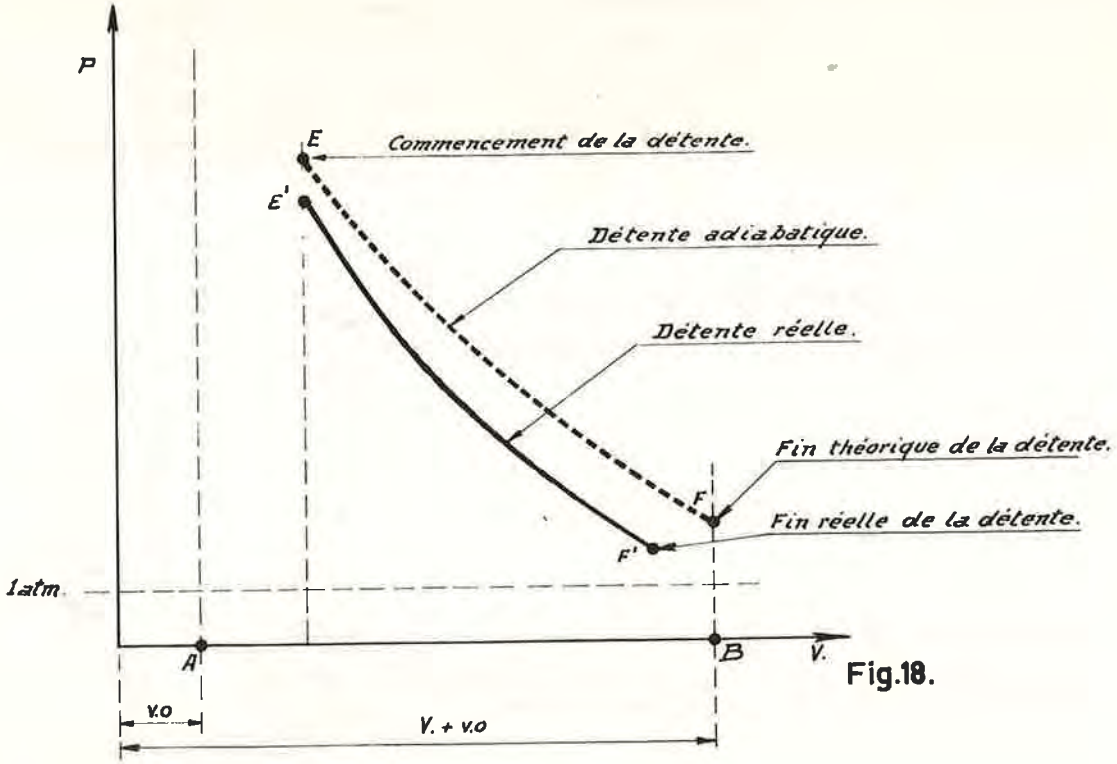

P
E
Commencement de la détente.
E'
Détente adiabatique.
Détente réelle.
Fin théorique de la détente.
F
Fin réelle de la détente.
F'
1atm.
A
B
V.
v.o
V. + v.o

Fig.18.

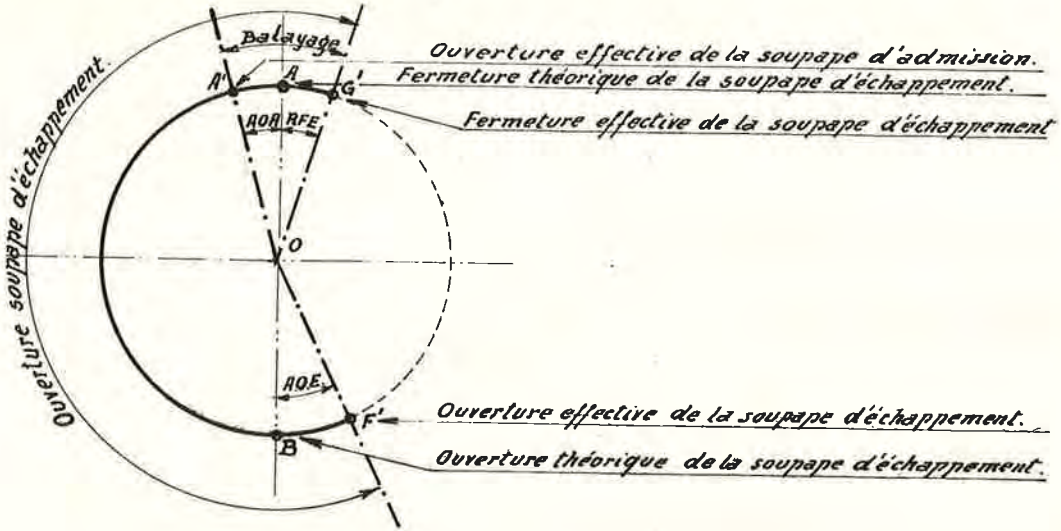


Fig.19. Positions de la manivelle pendant l'échappement.

A.O.A. : *Angle d'avance ouverture admission.*

R.F.E. : *Angle retard fermeture échappement.*

A.O.E. : *Angle d'avance ouverture échappement.*

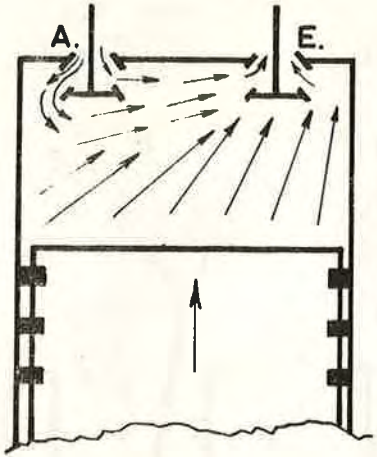


Fig. 20.

Principe du balayage du cylindre.

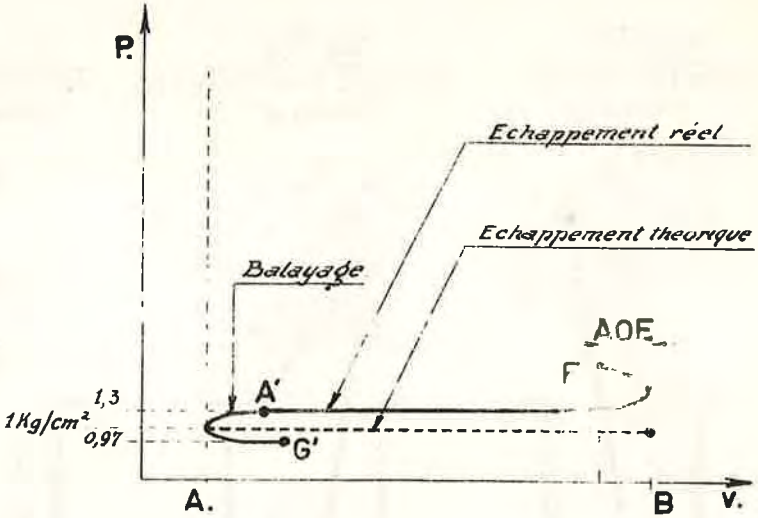
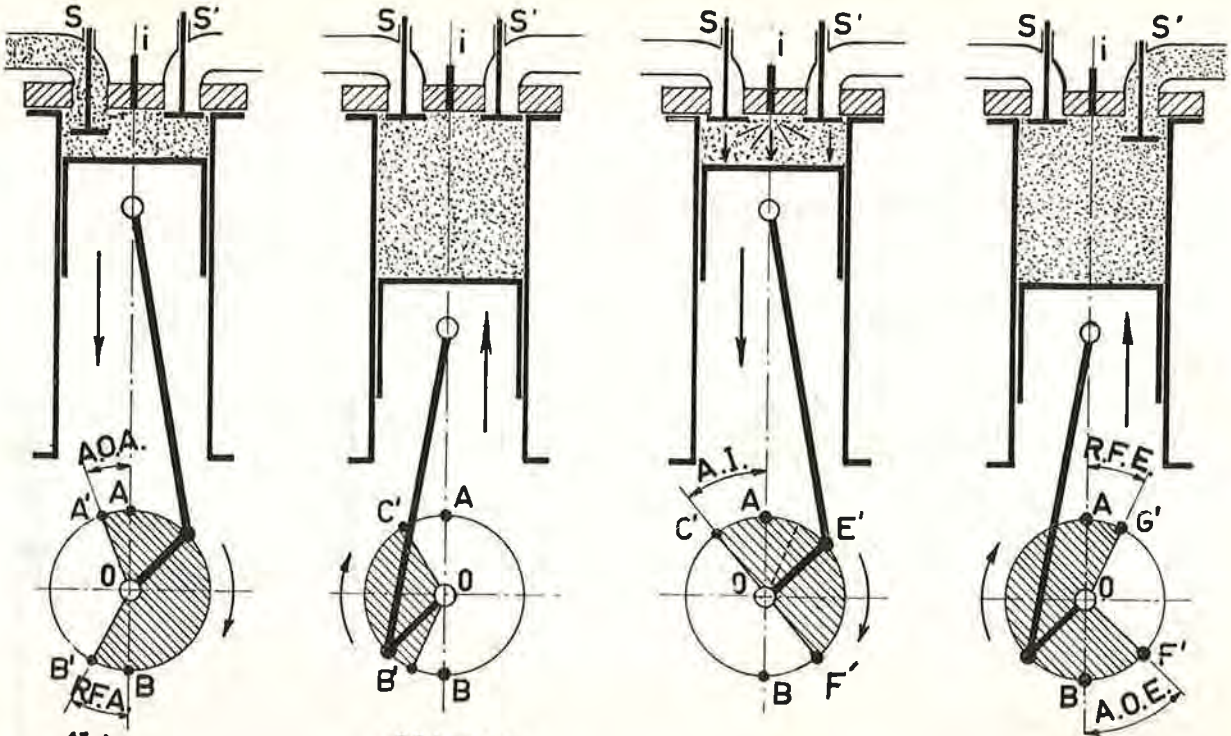


Fig. 21.

A.O.E. : *Angle d'avance ouverture échappement.*



1er temps
Admission.
Fig. 22 a.

2e temps
Compression.
Fig. 22 b.

3e temps
Combustion et détente.
Fig. 22 c.

4e temps
Echappement.
Fig. 22 d.

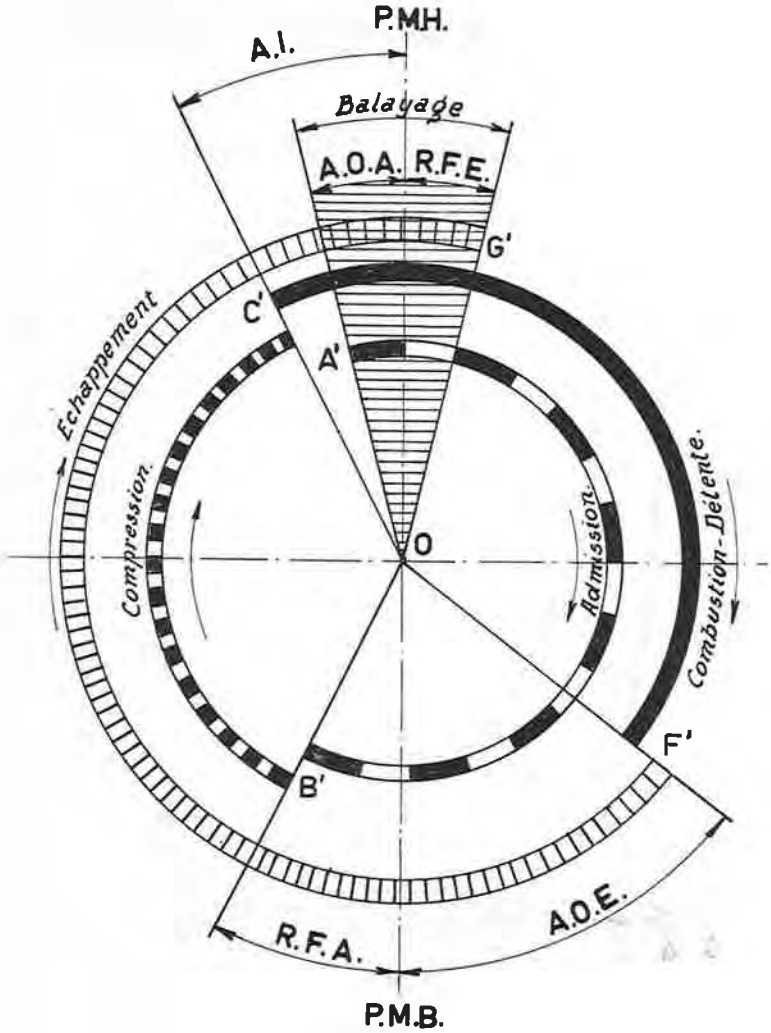

P.M.H.
A.I.
Balayage
A.O.A.
R.F.E.
G'
C'
A'
Echappement
Compression
O
Admission
Combustion-Détente
F'
B'
A.O.E.
R.F.A.
P.M.B.

Fig.23.

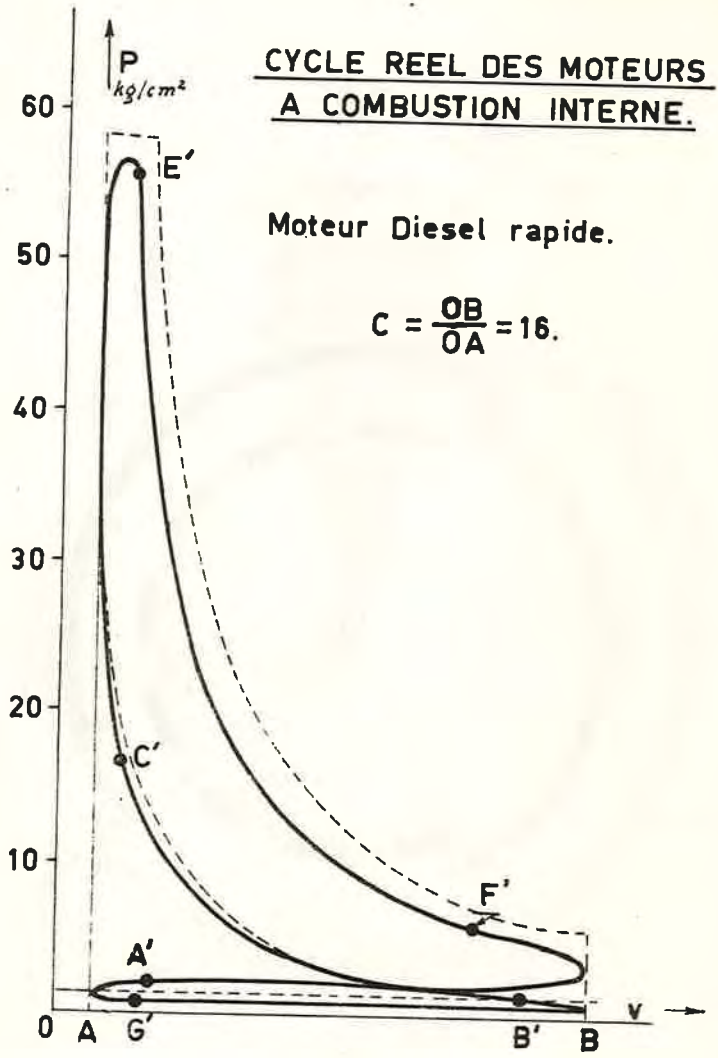

CYCLE REEL DES MOTEURS
A COMBUSTION INTERNE.
Moteur Diesel rapide.
C = OB/OA = 16.
P
kg/cm²
60
50
40
30
20
10
0
E'
C'
F'
A'
G'
A
B'
B
V

Fig. 24.

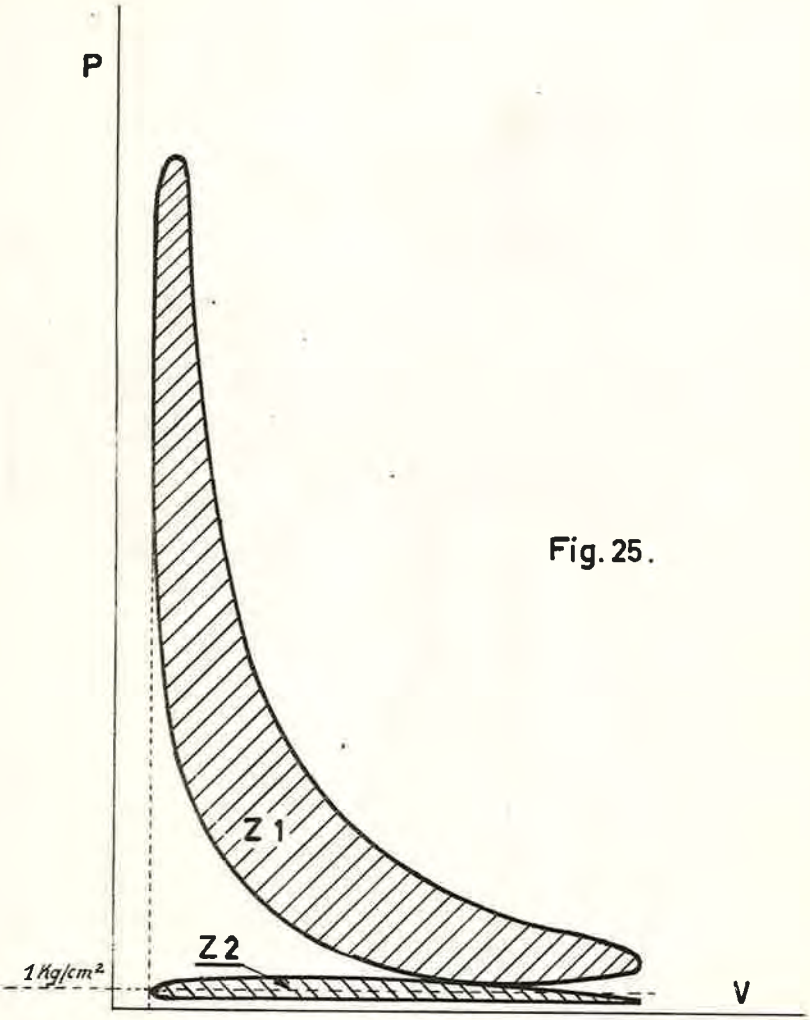


Fig. 25.

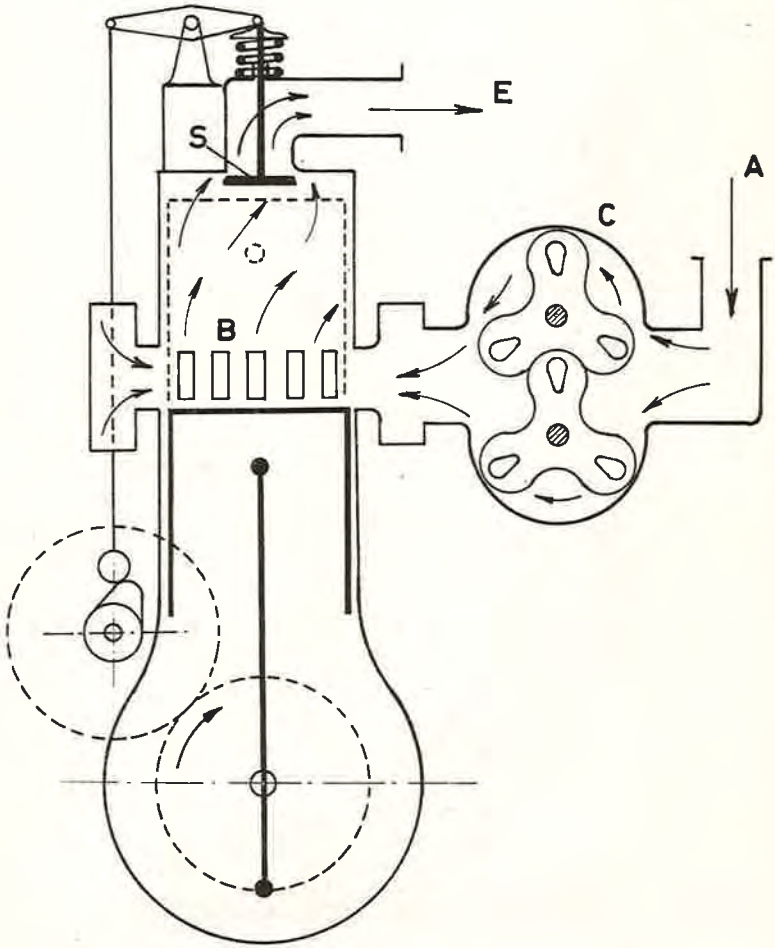


Fig. 26.

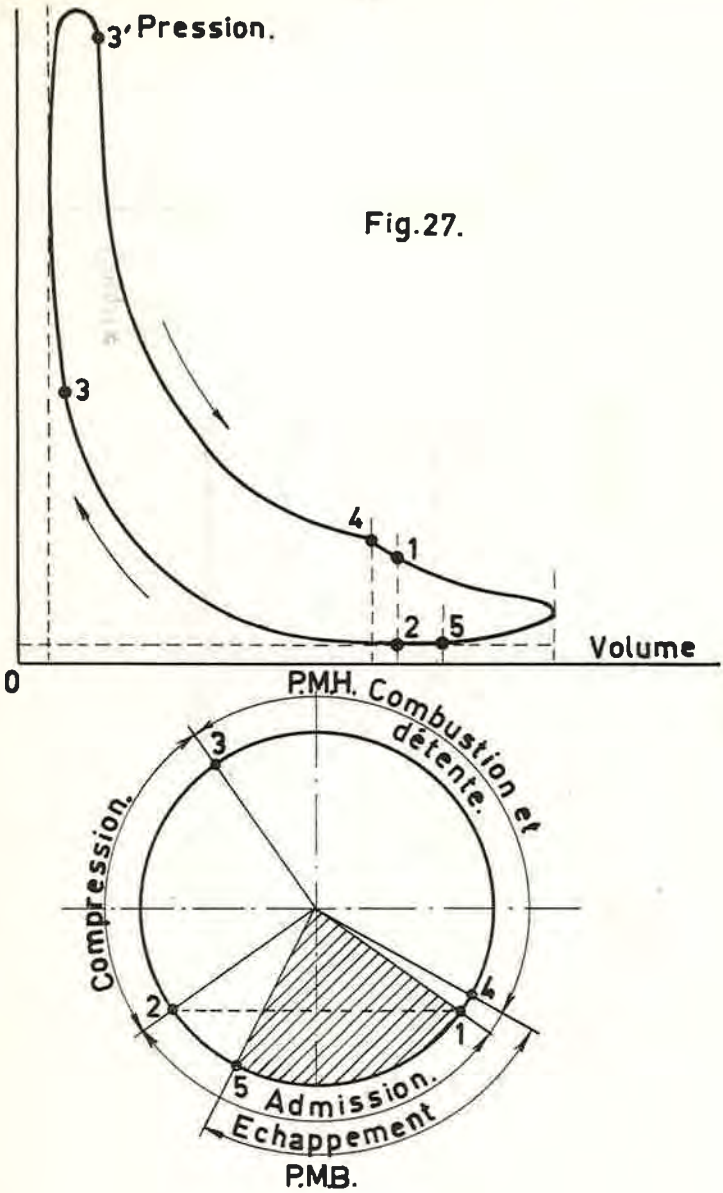

3' Pression.
3
4
1
2
5
Volume
0
P.M.H.
Combustion et détente.
Compression.
3
2
4
1
5
Admission.
Echappement
P.M.B.

Fig.27.

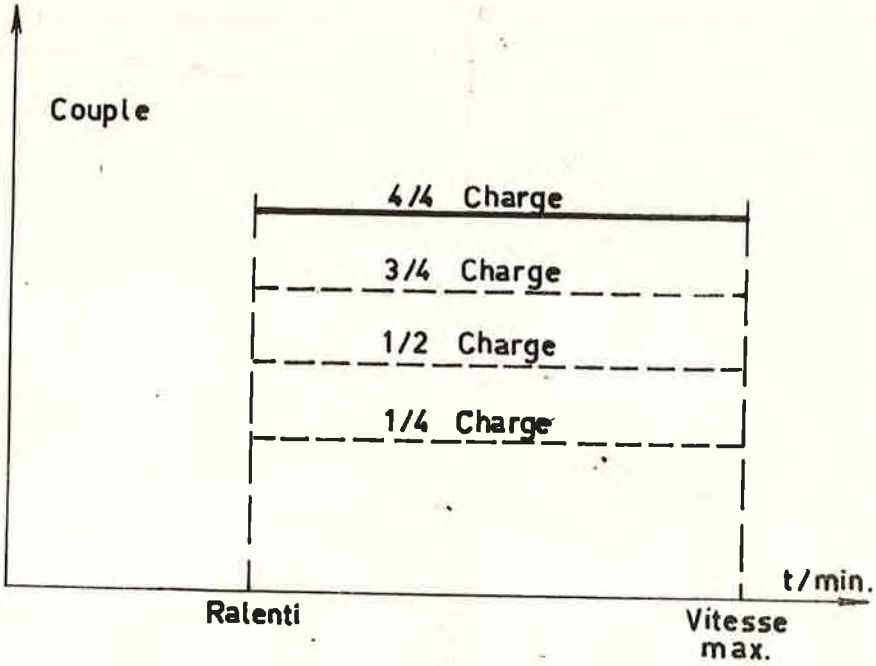

Couple
4/4 Charge
3/4 Charge
1/2 Charge
1/4 Charge
t/min.
Ralenti
Vitesse
max.

Fig. 28.

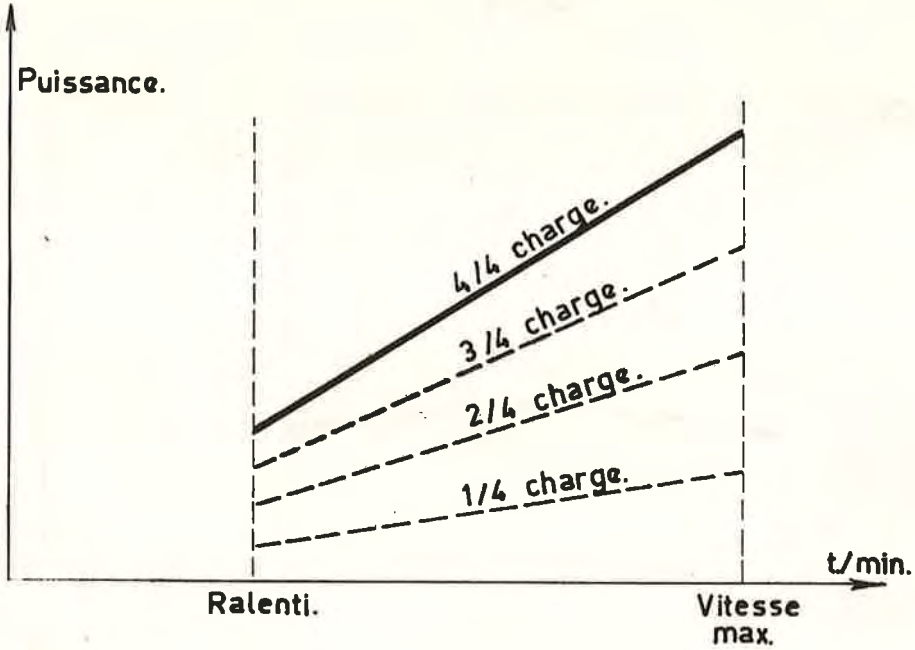

Puissance.
4/4 charge.
3/4 charge.
2/4 charge.
1/4 charge.
t/min.
Ralenti.
Vitesse max.

Fig. 29.

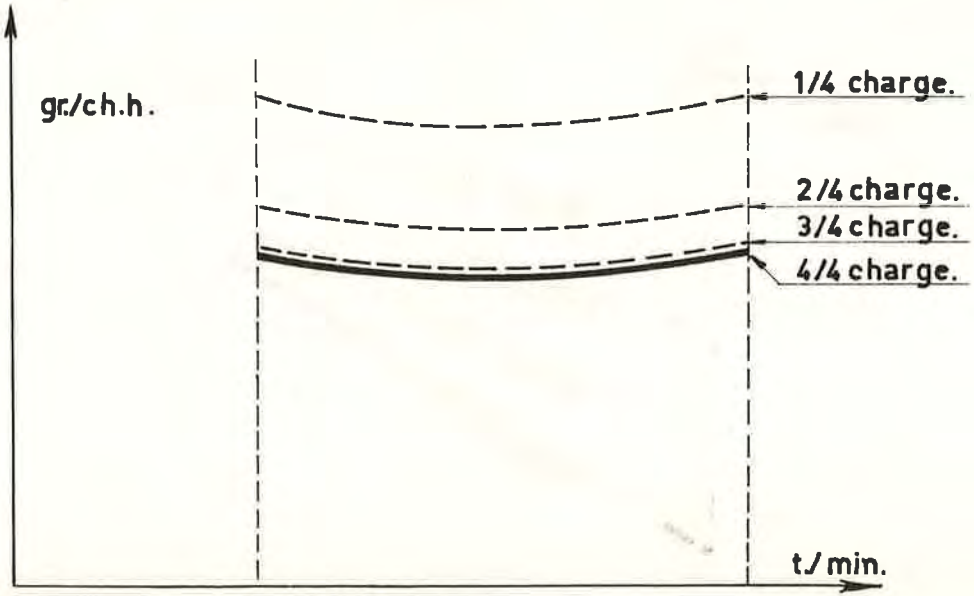


Fig. 30.

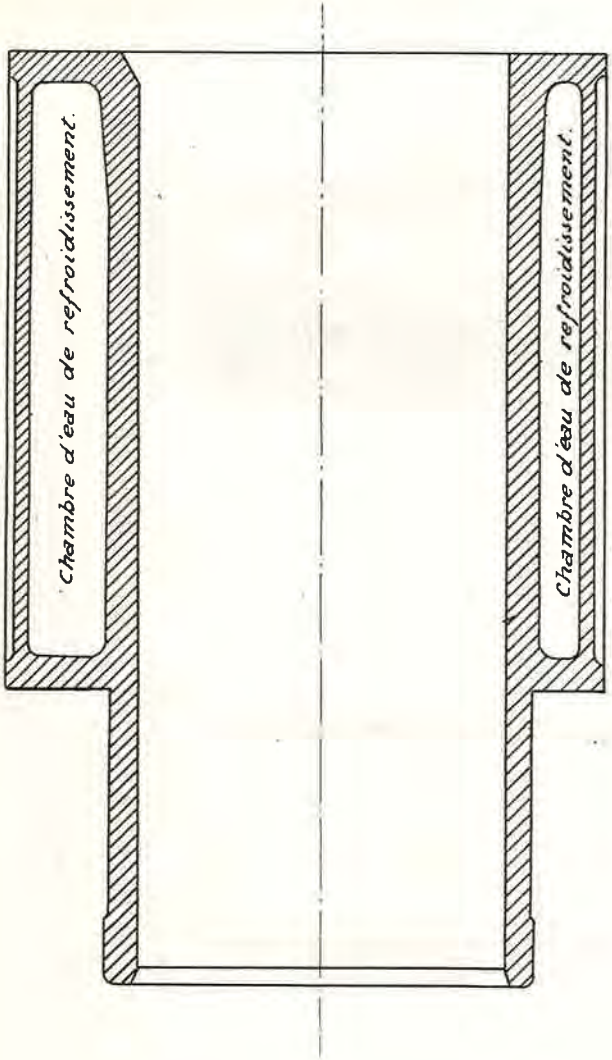
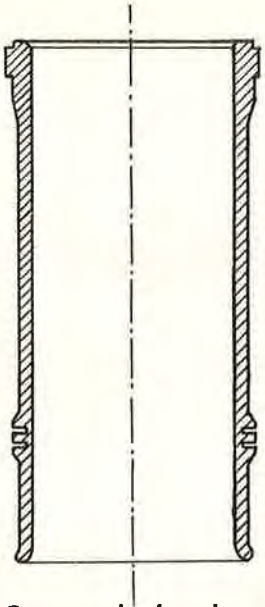


Fig. 31.

COUPE D'UN BLOC CYLINDRE DU MOTEUR SEM.

Autorails type 603.



Coupe de la chemise.

Vue extérieure.

Fig. 32. CHEMISE D'UN MOTEUR BALDWIN.

HL de. type 201.

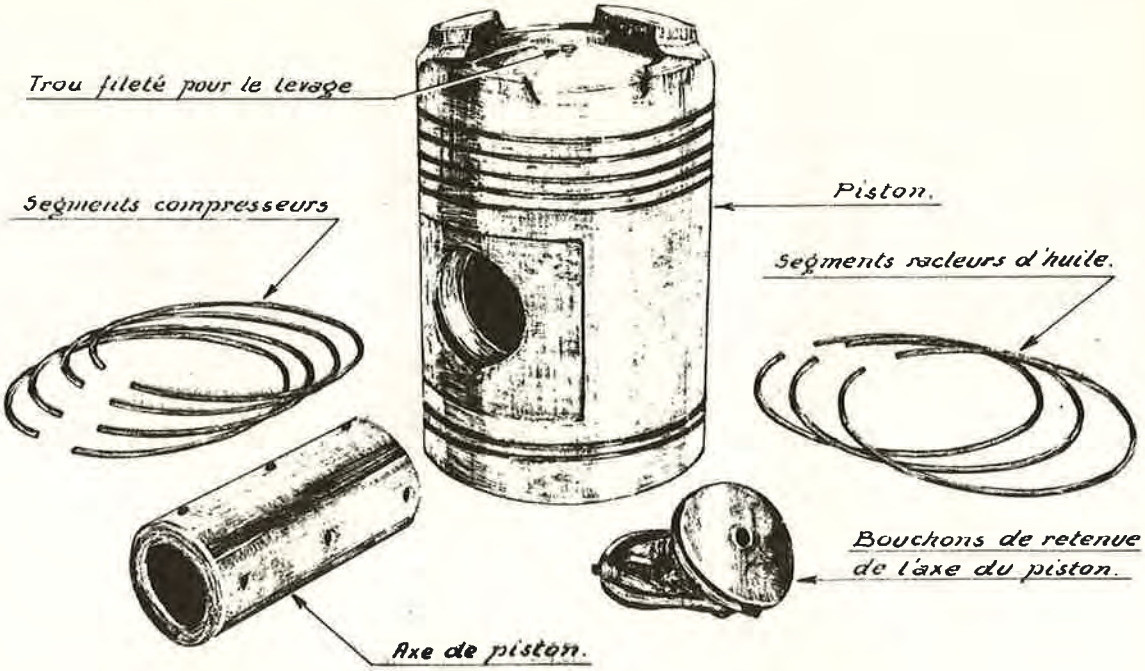


Fig. 33. PISTON ET SEGMENTS DU MOTEUR BALDWIN.

HL de. type : 201.

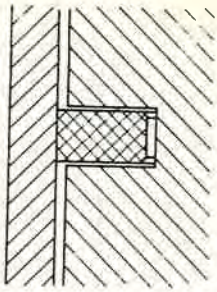


Fig. 34.
SEGMENT D'ETANCHEITE.

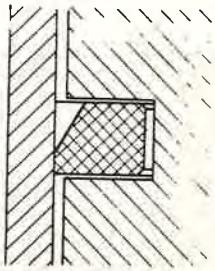


Fig. 34 bis.
SEGMENT RACLEUR (à biseau).

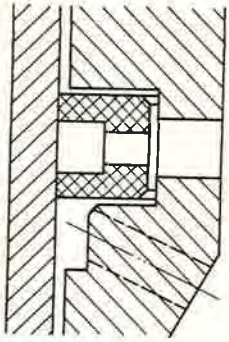


Fig. 34 ter.
SEGMENT RACLEUR (ventilé).

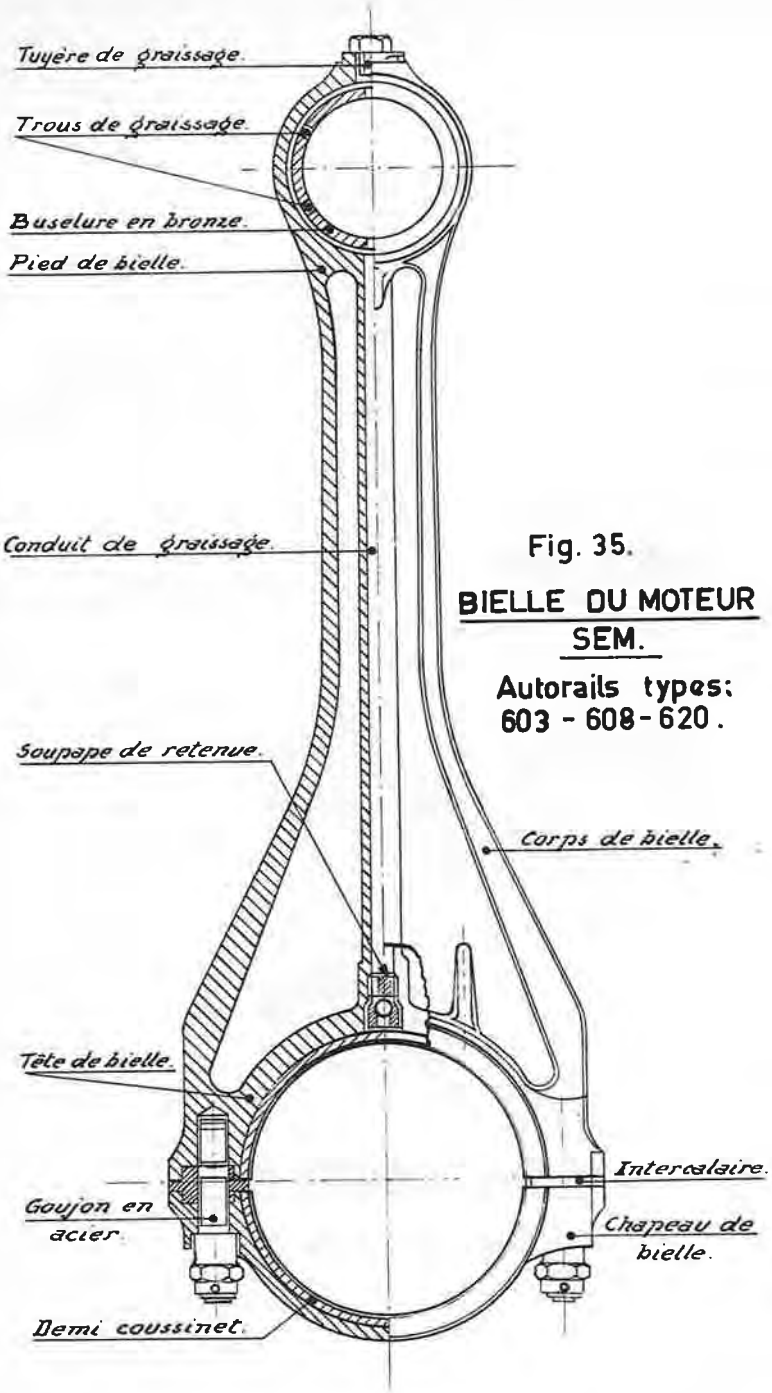


Fig. 35.

BIELLE DU MOTEUR SEM.

Autorails types: 603 - 608 - 620.

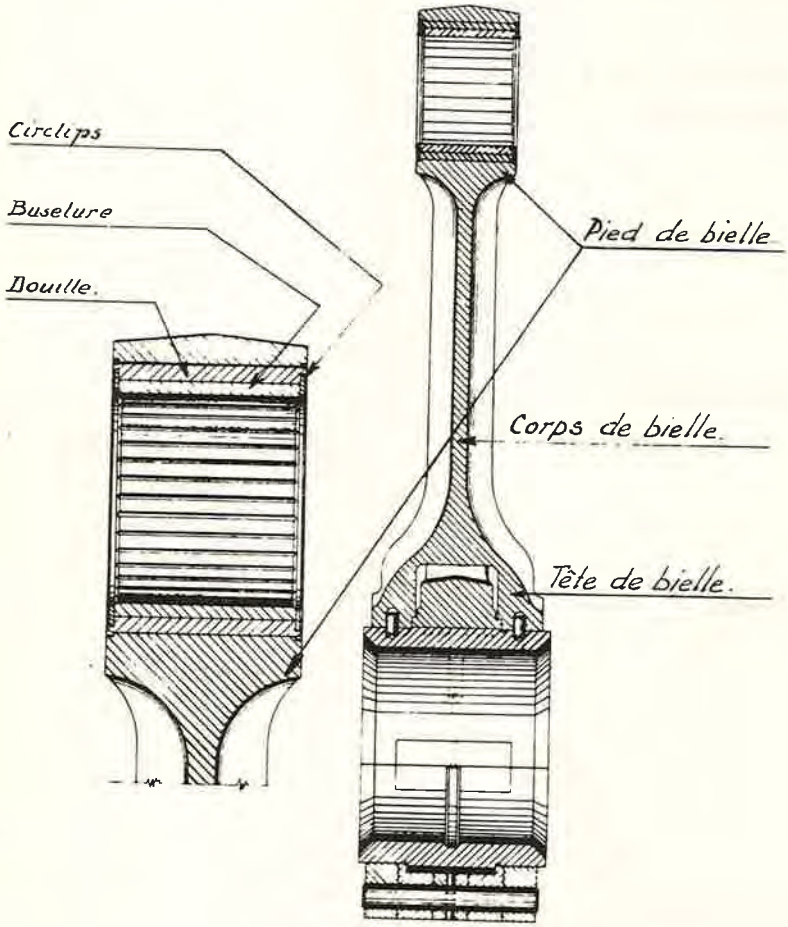


Fig. 36. BIELLE DU MOTEUR EMD.

HL de. types : 202 - 203 - 204.

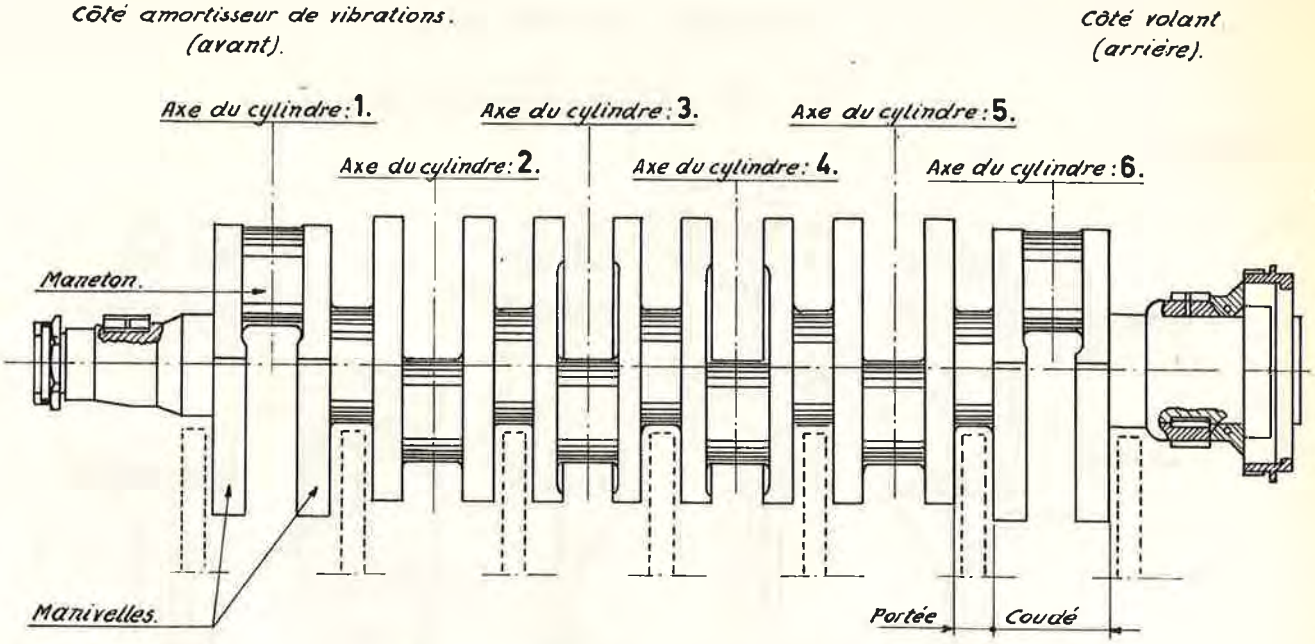


Fig. 37. VILEBREQUIN DU MOTEUR SEM.
A 6 CYLINDRES.

Autorails type 603.

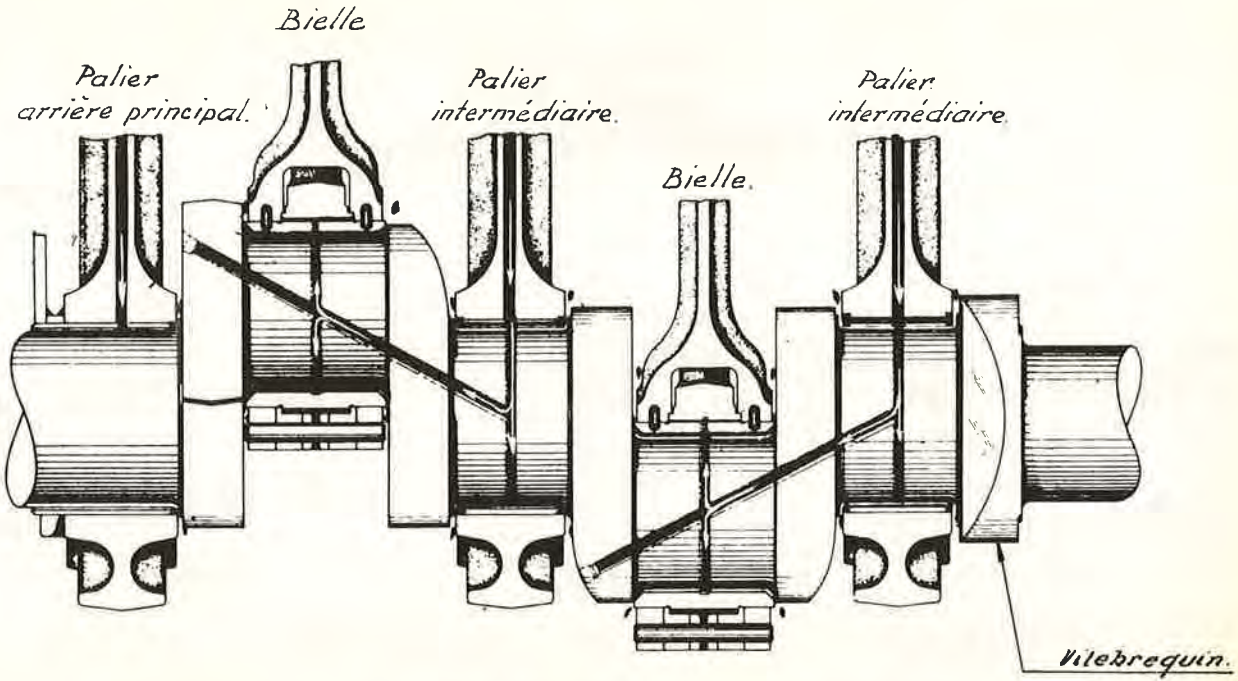


Fig. 38. VILEBREQUIN MOTEUR EMD.

HL de. types: 202 - 203 - 204.

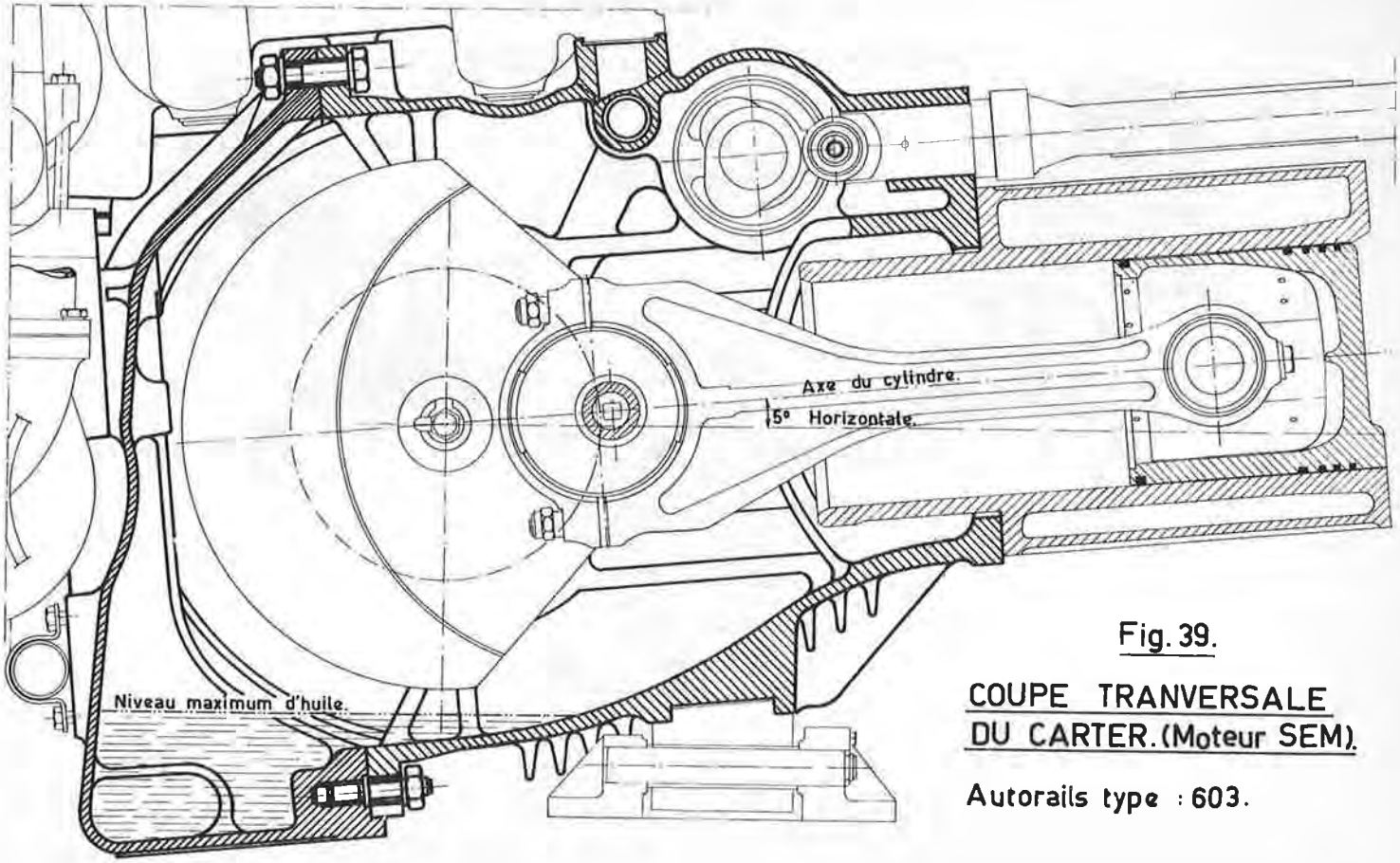


Fig. 39.

COUPE TRANVERSALE DU CARTER. (Moteur SEM).

Autorails type : 603.

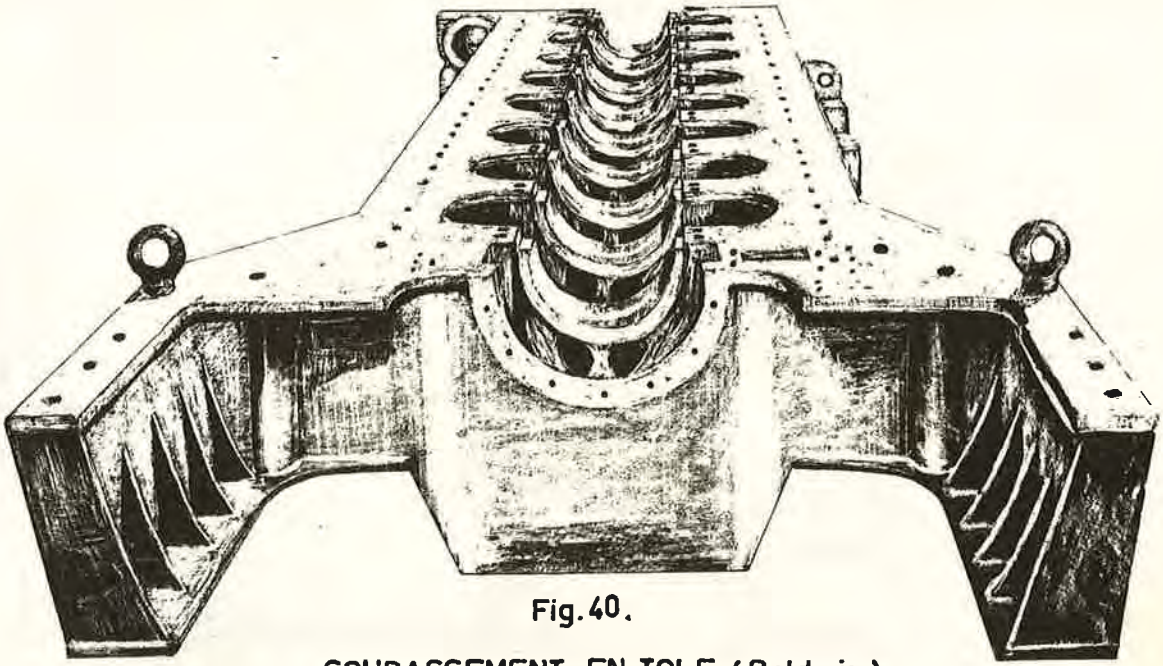


Fig. 40.

SOUBASSEMENT EN TOLE .(Baldwin).

HL de. type : 201.

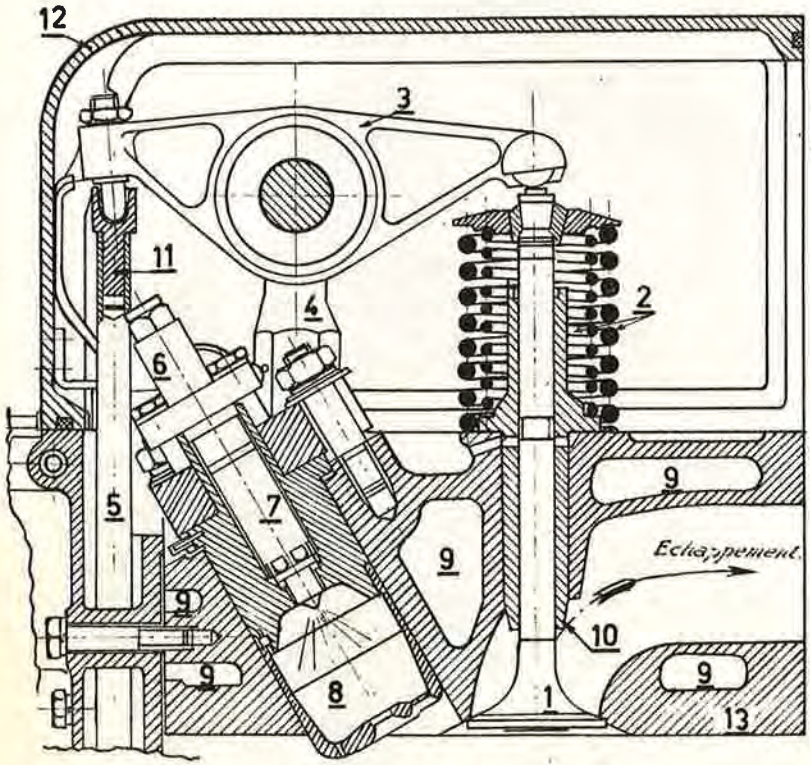


Fig. 41.

COUPE TRANSVERSALE DE LA CULASSE: MOTEUR SEM.

1. *Soupape.*
2. *Ressorts de rappel de la soupape.*
3. *Culbuteur.*
4. *Support du levier de commande.*
5. *Tige poussoir.*
6. *Porte injecteur.*
7. *Injecteur.*
8. *Chambre de précombustion.*
9. *Chambre, eau de refroidissement.*
10. *Guide de soupape.*
11. *Crapaudine.*
12. *Capot de la culasse.*
13. *Culasse.*

Autorails types: 603-608-620.

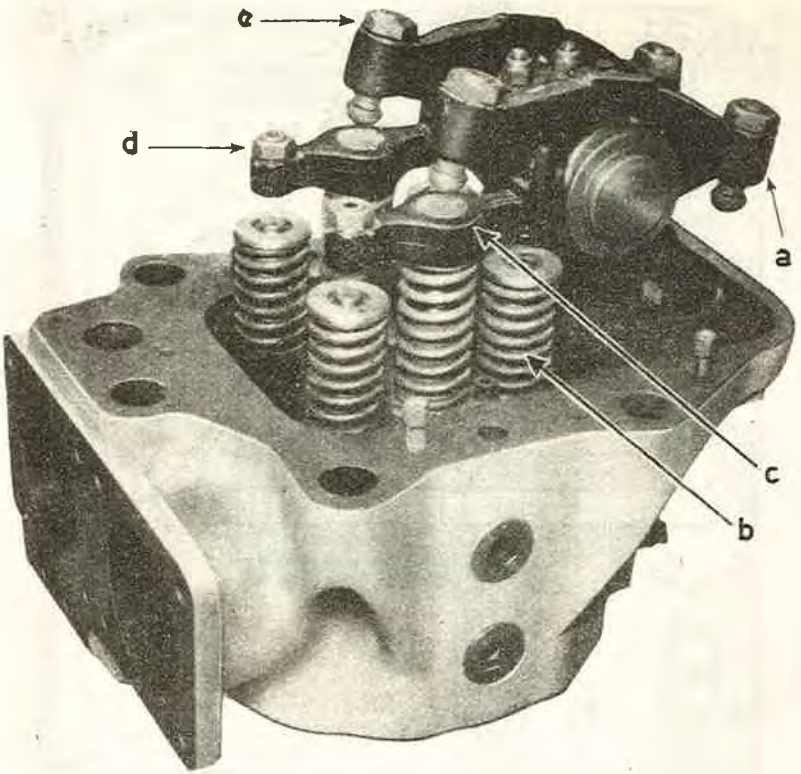


Fig. 42.

CULASSE DU MOTEUR BALDWIN.

HLde. type 201.

a. Bras de culbuteur.
b. Ressort de soupape.
c. Pont de commande des soupapes.
d. Vis de réglage et écrou de blocage du pont des soupapes.
e. Vis de réglage et écrou de blocage du poussoir.

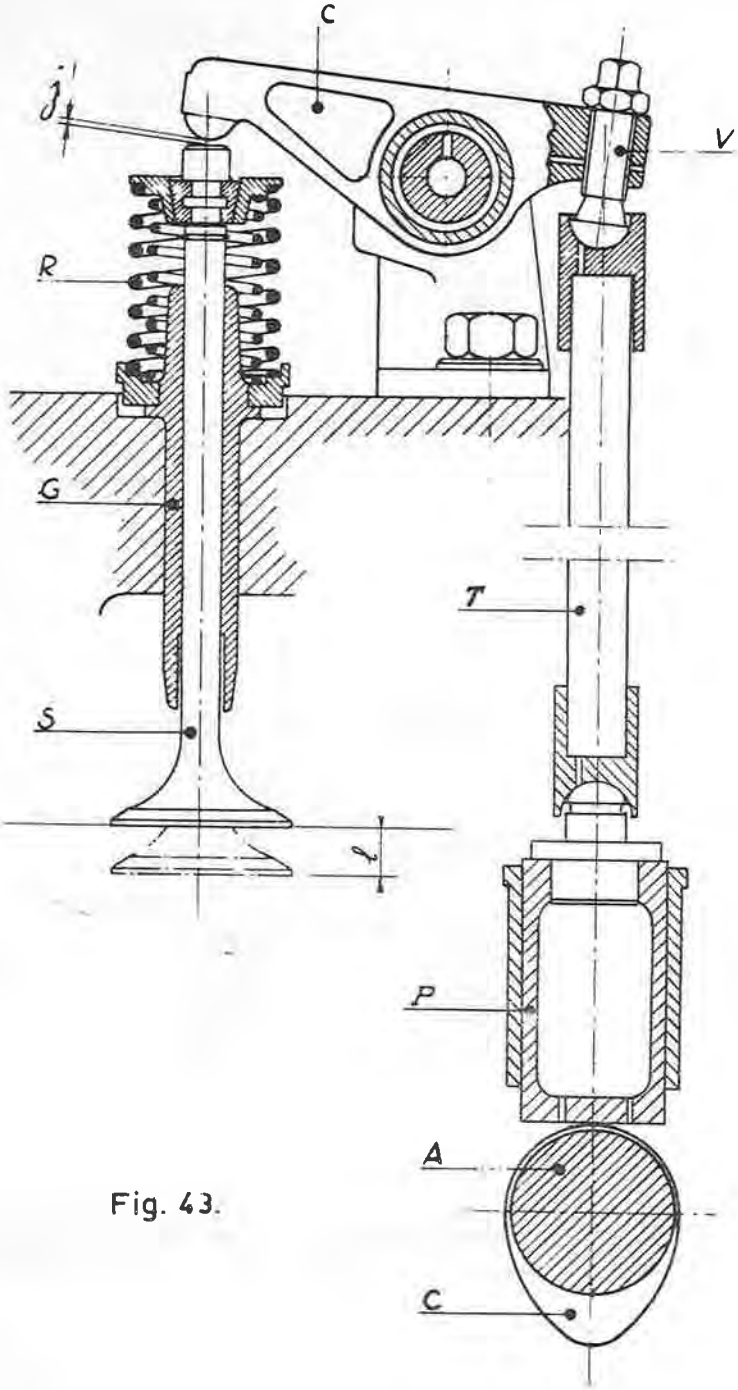


Fig. 43.

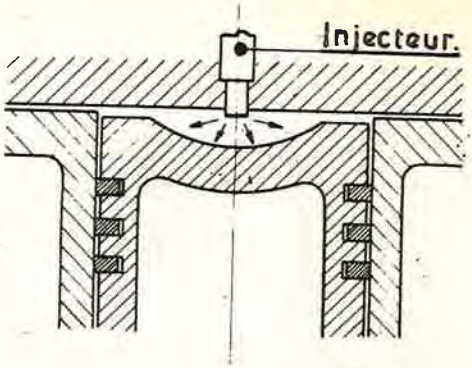


Fig 44. INJECTION DIRECTE.

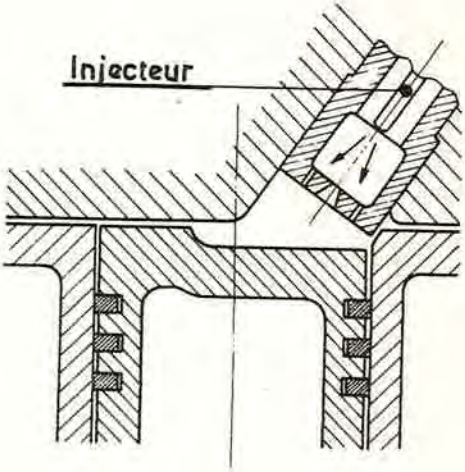


Fig. 44 bis.

INJECTION AVEC CHAMBRE DE PRECOMBUSTION.

(moteurs Carels).

POMPE D'INJECTION BOSCH.

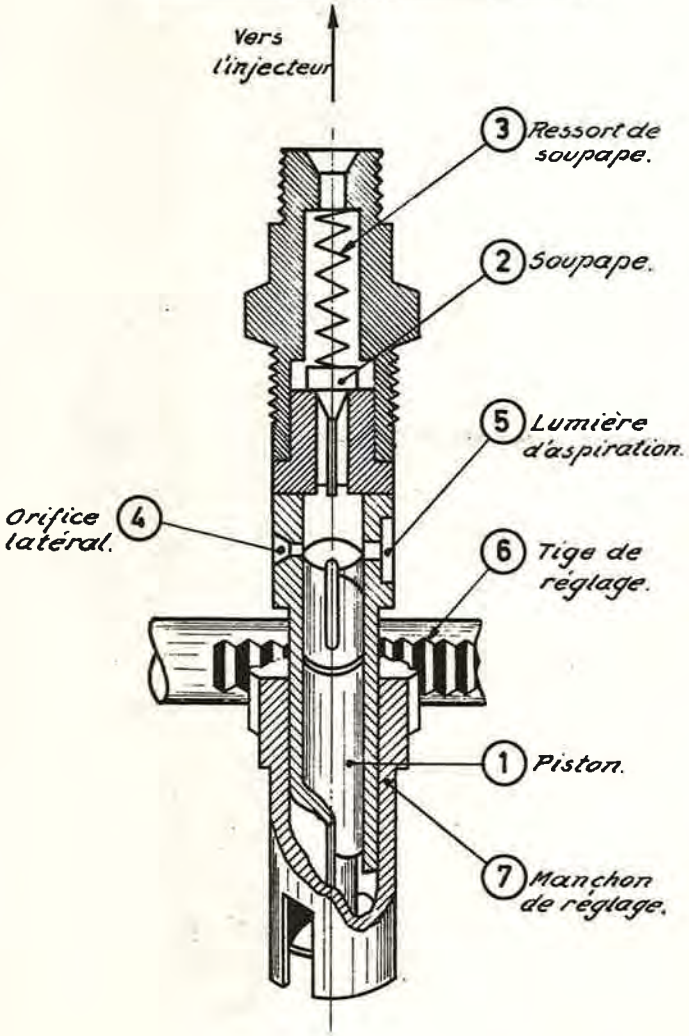


Fig. 45.

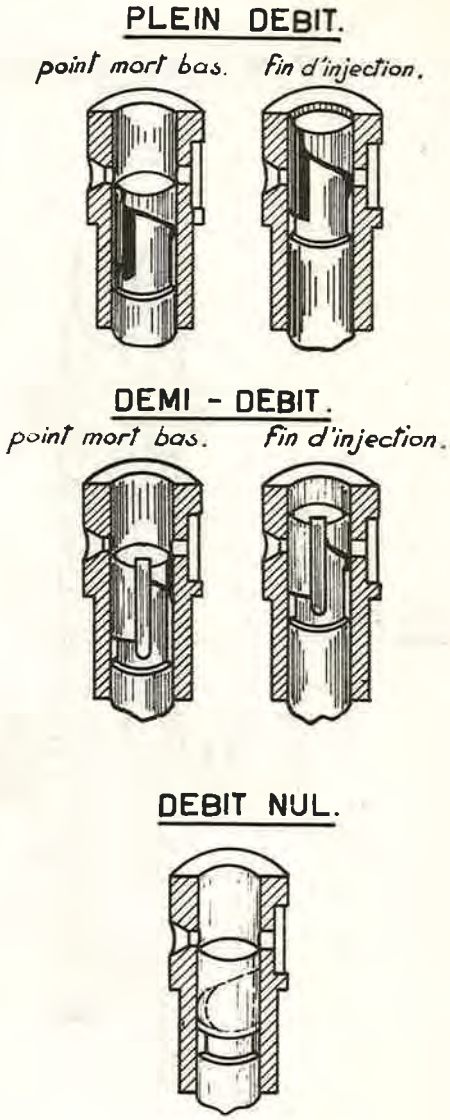

PLEIN DEBIT.
point mort bas.
fin d'injection.
DEMI - DEBIT.
point mort bas.
fin d'injection.
DEBIT NUL.

Fig. 46.

INJECTEUR BOSCH. (Moteur Brossel).

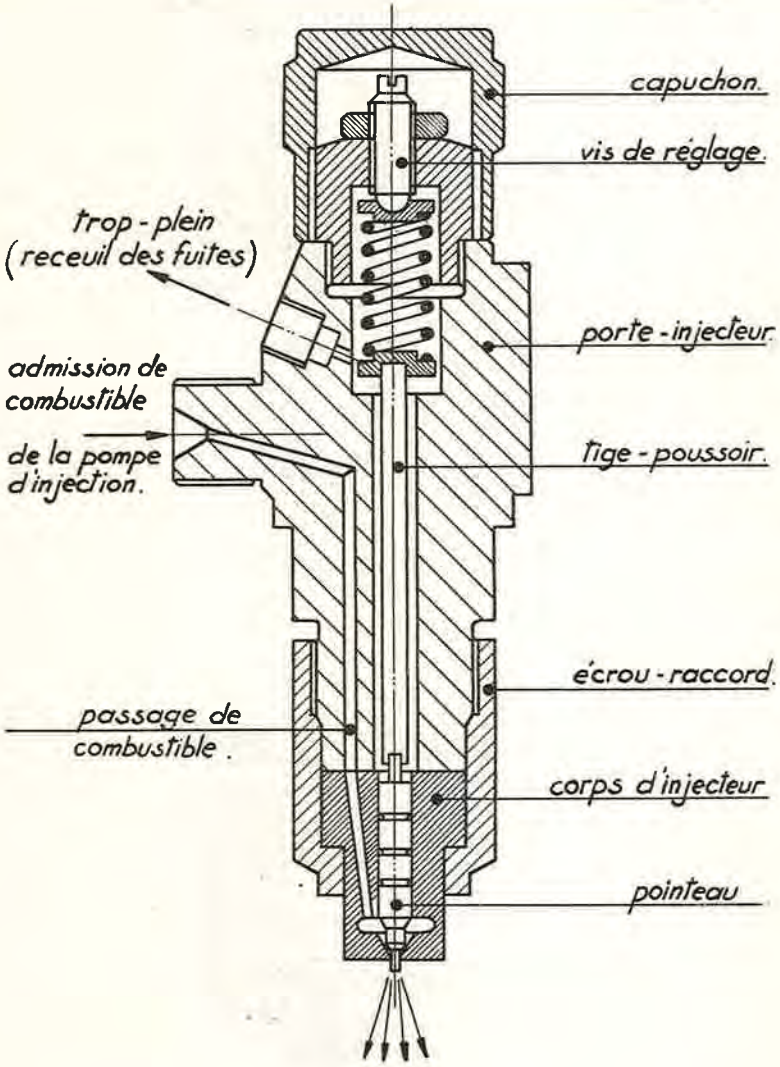


Fig. 47.

GIGLEUR A TENON.

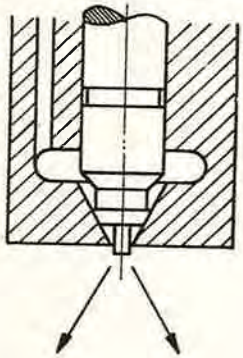


Fig. 48.

GIGLEUR A TROUS.

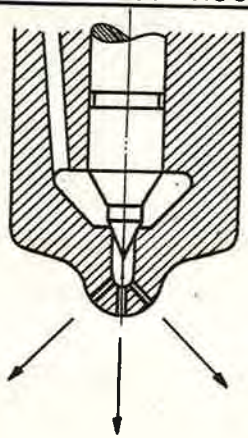


Fig. 49.

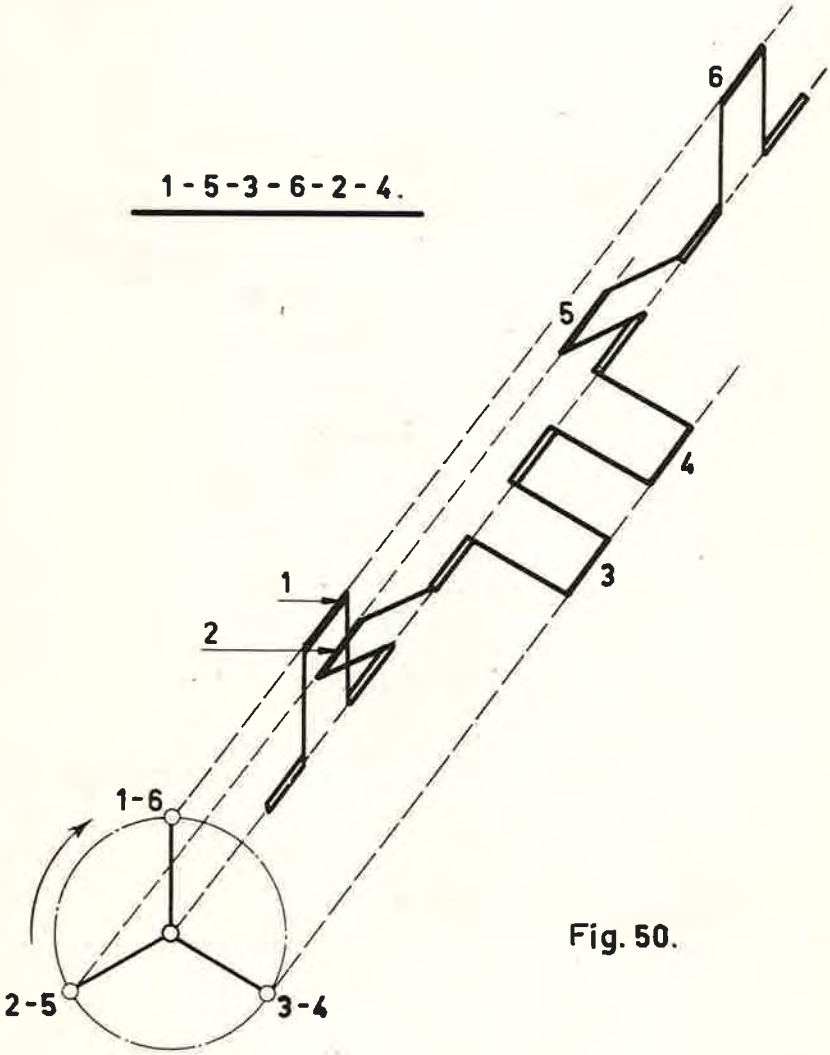


Fig. 50.

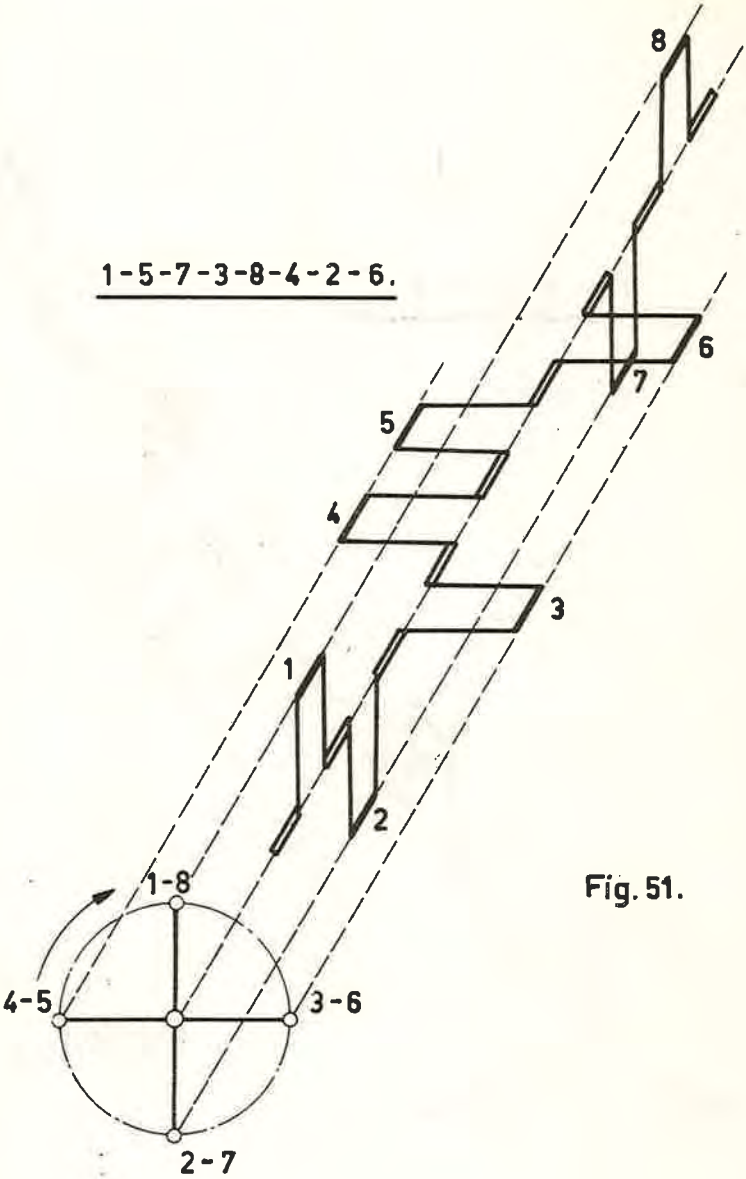


Fig. 51.

CIRCUIT D'ALIMENTATION D'UN MOTEUR DIESEL.

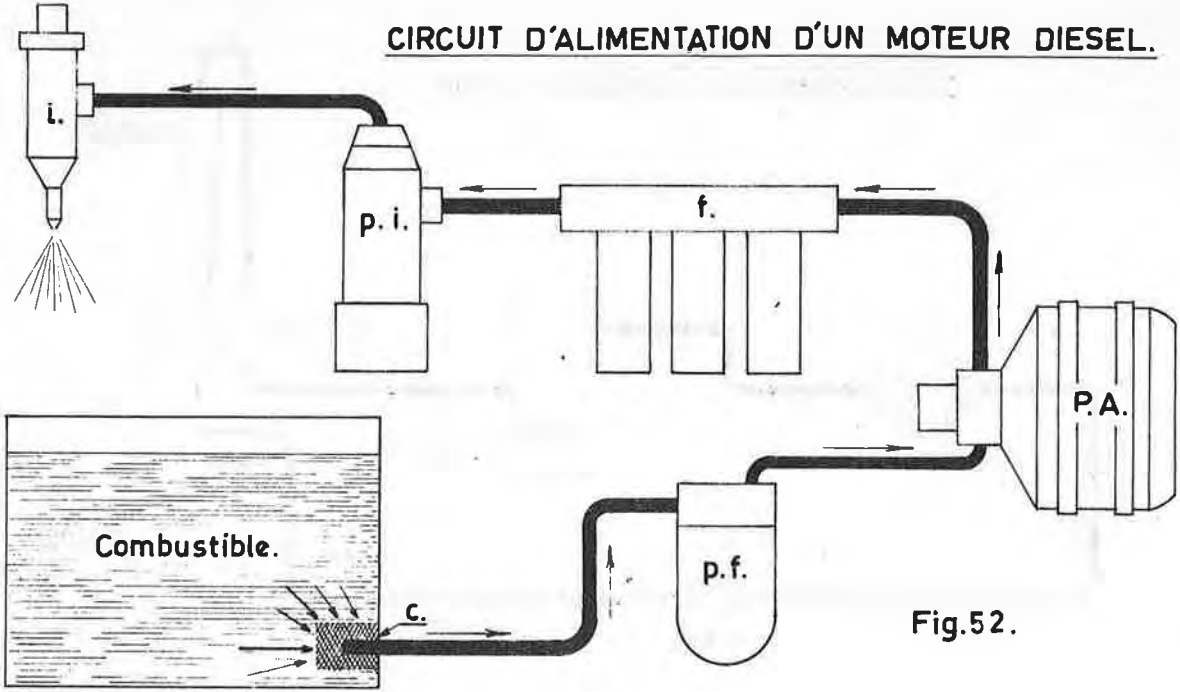


Fig.52.

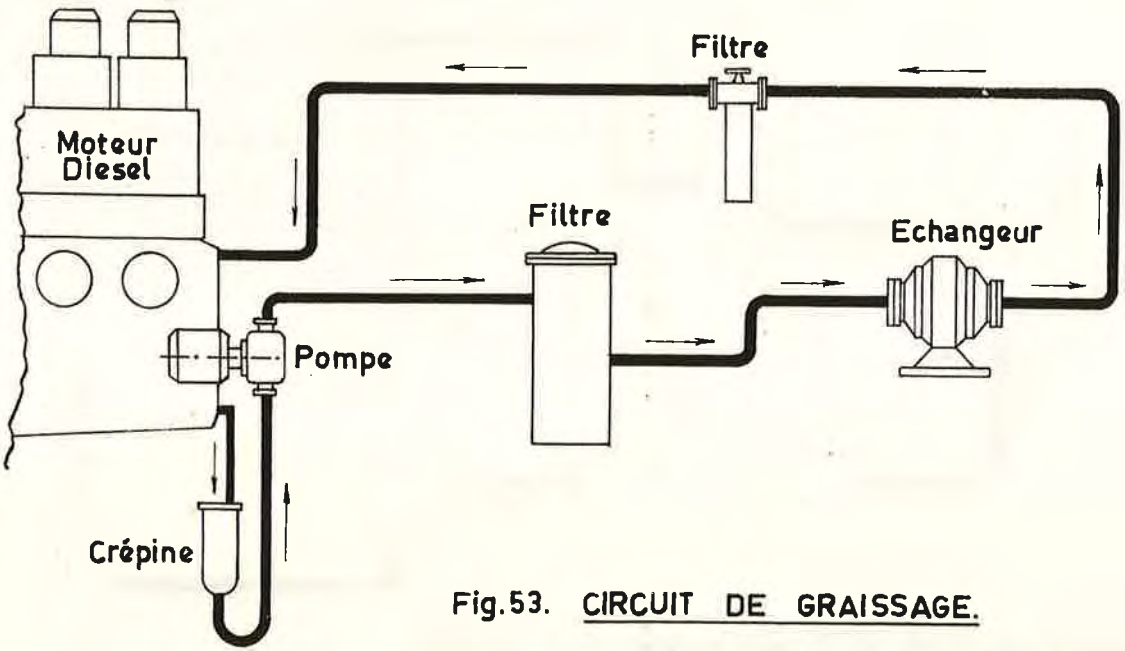


Fig.53. CIRCUIT DE GRAISSAGE.

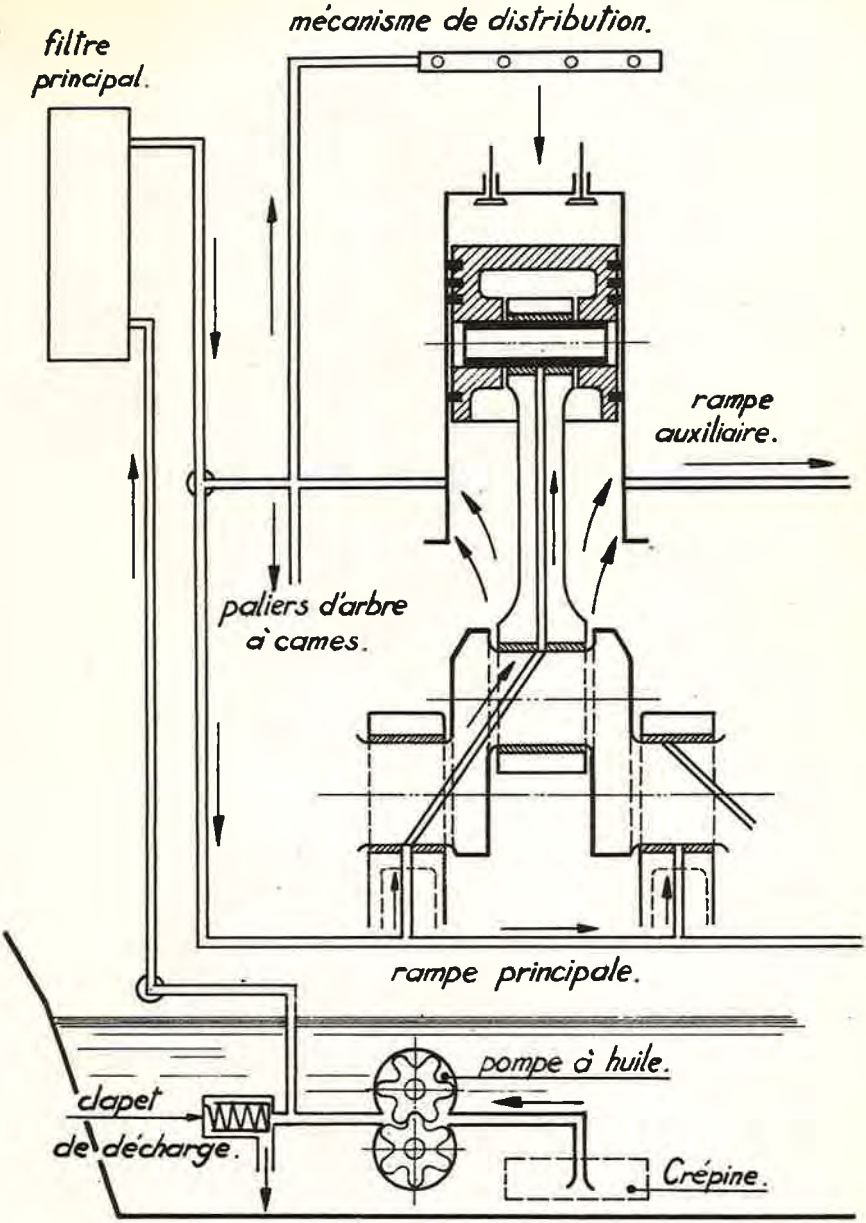

mécanisme de distribution.
filtre principal.
rampe auxiliaire.
paliers d'arbre à cames.
rampe principale.
pompe à huile.
clapet de décharge.
Crépine.

Fig. 54.

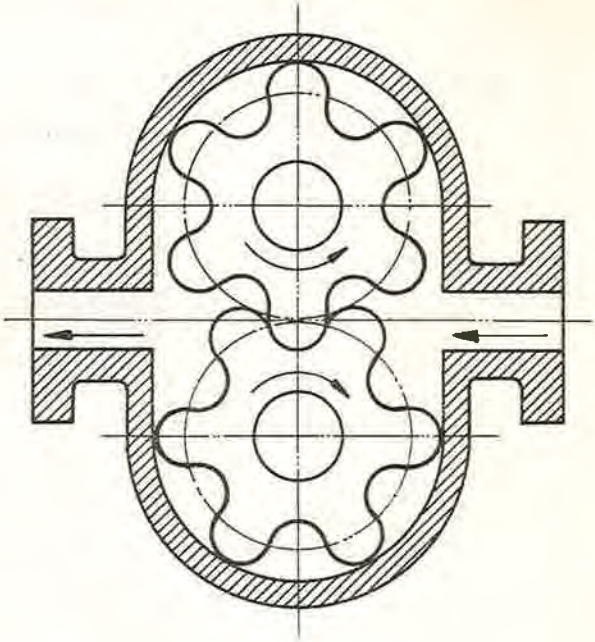


Fig. 55.

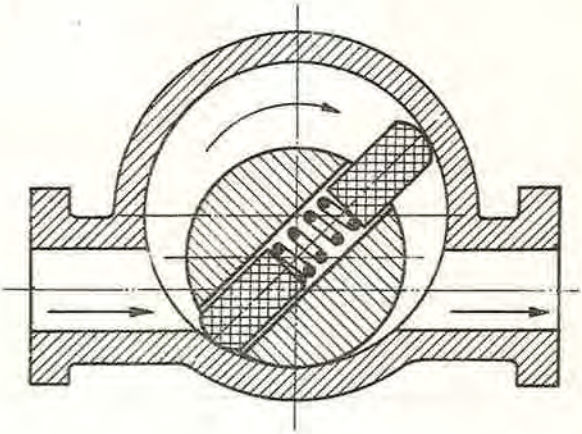


Fig. 56.

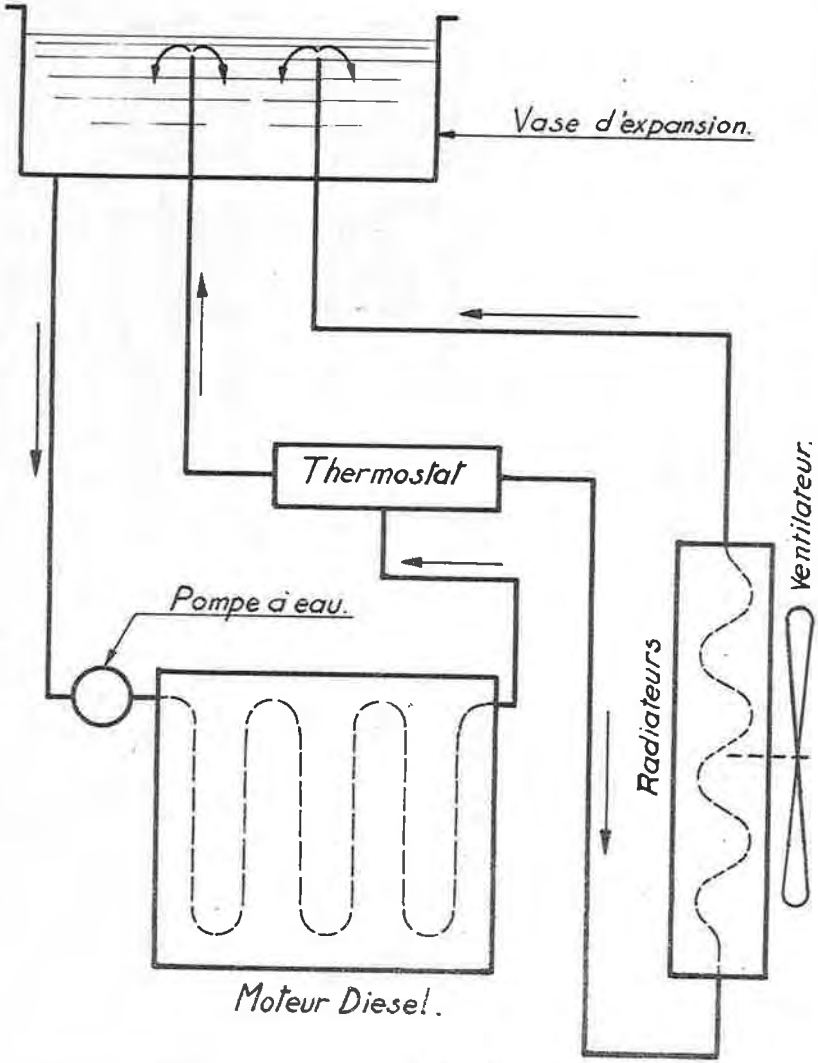


Fig. 57. SCHEMA DU REFROIDISSEMENT PAR CIRCULATION D'EAU AVEC THERMOSTAT DE BY-PASS.

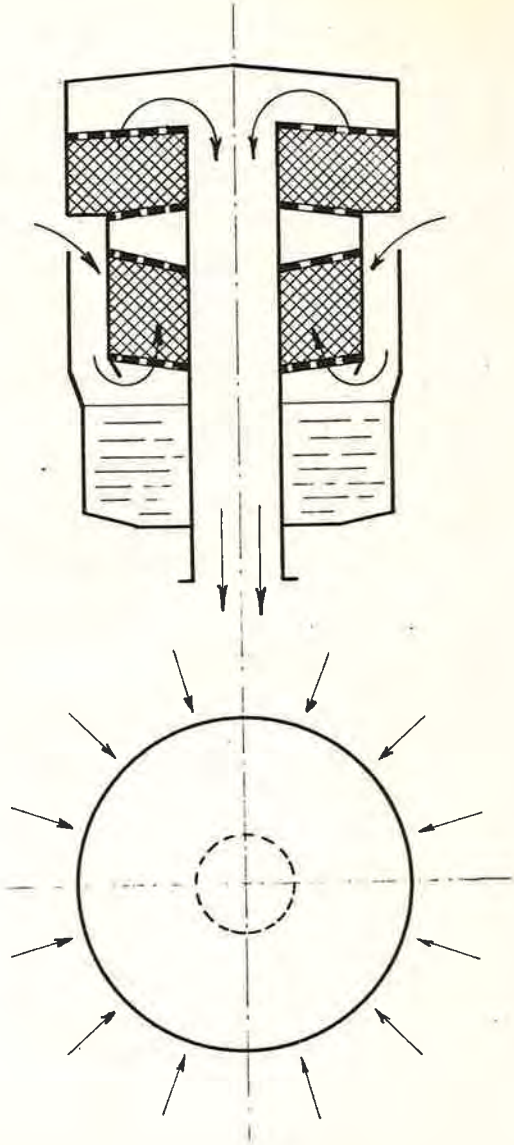


Fig. 58.

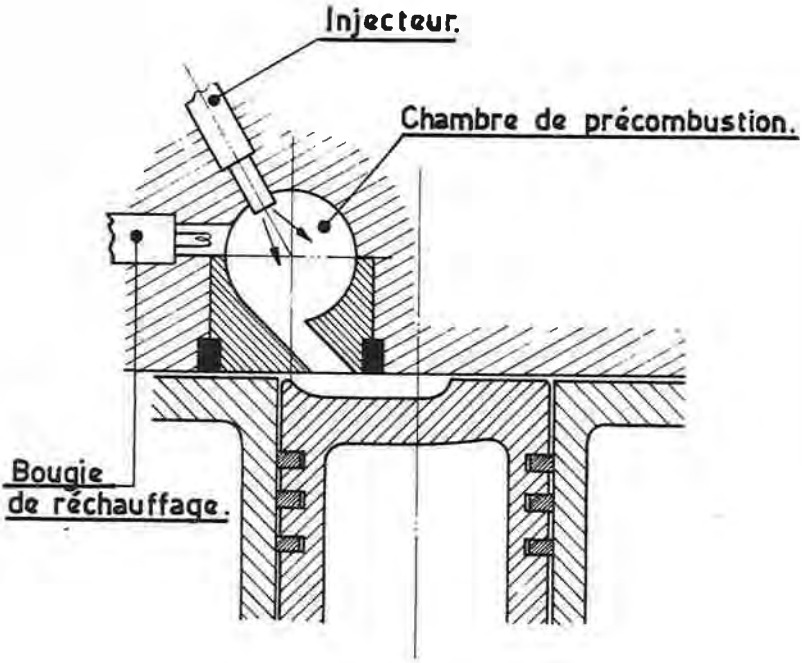

Injecteur.
Chambre de précombustion.
Bougie
de réchauffage.

Fig. 59.