المعهد الوطني للوقود والكيمياء

INSTITUT NATIONAL
DES HYDROCARBURES ET DE LA CHIMIE

# Essai du moteur Diesel

Par les professeurs agrégés

E. BESCHAROV

S. NETCHAEV

Boumerdès بومرداس

1974

-o- TABLE DES MATIERES -o-


pages

Introduction 2

I.- COURBES CARACTERISTIQUES DU MOTEUR..... 3

Considérations préalables

1. Courbes caractéristiques naturelles..... 4

1a. Caractéristique en charge..... 4

1b. Courbes caractéristiques fonction de la vitesse de rotation du moteur..... 6

2. Courbes caractéristiques du moteur avec le régulateur..... 8

II.- INSTALLATION EXPERIMENTALE ET APPAREILS DE MESURE 10

1. Objet d'essai .....

2. Frein électrique .....

3. Rhéostat de réglage.....

4. Dispositif pour déterminer le débit de combustible.....

5. Appareils de mesure et de contrôle .....

III.- ORDRE D'ESSAI..... 13

1. Lancement du moteur .....

2. Caractéristique en charge.....

3. Caractéristique externe.....

IV.- TRAITEMENT DES DONNEES EXPERIEMENTALES..... 15

## -o- AVANT PROPOS -o-

Le présent travail pratique est conforme au programme du cours, "Moteurs thermique". Il est destiné aux élèves Ingénieurs et Techniciens de l'Institut National des Hydrocarbures et de la Chimie.

Le but essentiel du travail consiste à approfondir et à élargir les connaissances des élèves dans le domaine des moteurs à combustion interne.

Lors de l'essai du moteur, les élèves font connaissance avec la construction de celui-ci, apprennent les méthodes d'essai, les appareils de mesure et le traitement des données expérimentales. En se basant sur ces données, les élèves obtiennent les courbes caractéristiques essentielles du moteur diesel, ce qui permet d'apprendre la variation des performances du moteur en fonction des facteurs différents.

Le travail est composé par les professeurs E. BESTCHAROV et S. NETCHAEV.

## I N T R O D U C T I O N.

Les essais au banc servent à mesurer les performances des moteurs à divers régimes de fonctionnement pour déterminer leurs caractéristiques de puissance, de couple, de consommation de combustible et autres.

Les moteurs sont soumis aux essais dans les cas suivants :

1°) Après la fabrication ou la réparation, lorsque le montage du moteur est terminé. Le but d'essai est de contrôler la qualité de fabrication ou de réparation et les performances du moteur. On exécute également pendant cet essai un rodage préalable des pièces en mouvement.

2°) Les essais d'un nouveau type de moteur ou d'un moteur modernisé ont pour but d'établir si les performances réelles du moteur correspondent à celles prévues dans le projet.

3°) Les essais de recherches qu'on mène dans les laboratoires de recherches ont pour but de préparer un nouveau type de moteur ou de moderniser le moteur existant.

En général, on mesure pendant les essais les performances du moteur pour obtenir les courbes caractéristiques.

I.- COURBES CARACTERISTIQUES DU MOTEUR .. Considérations préalables :

Les performances du moteur varient suivant le régime de fonctionnement qui peut être déterminé par la vitesse de rotation du vilebrequin (ou le nombre de tour du vilebrequin par minute "n") et par la puissance effective du moteur Ne.

Considérons un moteur fonctionnant en régime permanent nominal, quand sa puissance Nen est égale à celle appliquée au vilebrequin par les forces extérieures, et le nombre de tour par minute $n_n$ est constant. Représentons ce régime graphiquement par le point A (fig.1).

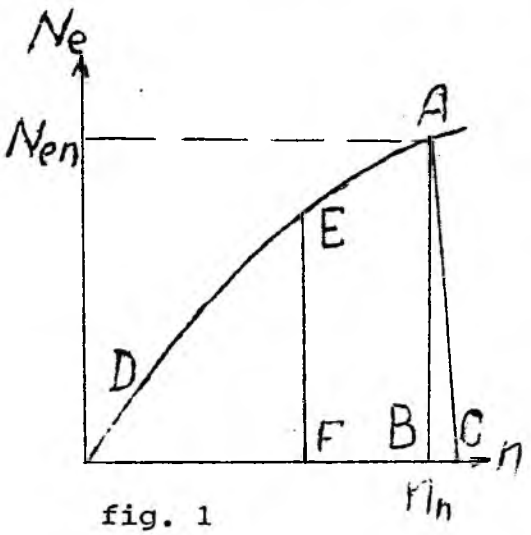


fig. 1

Supposons maintenant, que la vitesse de rotation du moteur reste invariable ($n_n$ = const) mais que la puissance varie par suite du changement de résistance extérieure. Dans ce cas, la variation de puissance du moteur est représentée par une droite AB qui se nomme la caractéristique en charge. Cette caractéristique est partielle EF quand le nombre de tour de vilebrequin est inférieur à $n_n$.

Notons, qu'en réalité, le régulateur ne peut pas maintenir la vitesse de rotation constante dans tous les intervalles de puissance. C'est pourquoi la vitesse de rotation augmente un peu avec l'abaissement de la charge du moteur et cette variation est représentée par la courbe AC (caractéristique permise par le régulateur).

En faisant varier la vitesse de rotation du moteur, à condition que la position de crémaillère soit fixe, on obtient la courbe caractéristique fonction de la vitesse de rotation.

Ladite courbe caractéristique AD (fig. 1) est externe, si elle passe par le point du régime nominal. La modification de la vitesse de rotation est dûe à la variation de la résistance extérieure.

1.- Courbes caractéristiques naturelles.

On peut obtenir ces courbes par expérience même si le moteur n'est pas soumis à l'action du régulateur.

1a.- Caractéristique en charge.

Elle représente la variation des performances du moteur en fonction de la puissance effective Ne à condition que le nombre de tour de vilebrequin par minute reste constant.

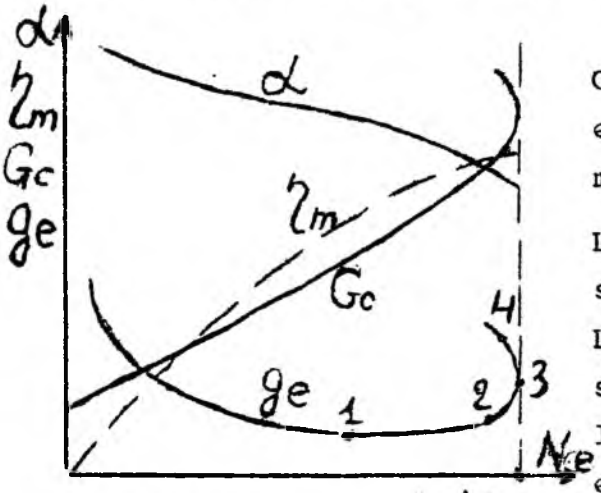


fig. 2

Considérons un exemple de caractéristique en charge obtenue lors de l'essai d'un moteur diesel (fig. 2)

Le point 1 correspond à la consommation spécifique mininale de combustible ($g_e$). L'augmentation de la consommation spécifique $g_e$ à partir du point 1 quand la puissance du moteur diminue est dûe essentiellement à l'abaissement du rendement mécanique $\eta_m$ du moteur

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} = \frac{N_i - N_m}{N_i} = 1 - \frac{N_m}{N_e + N_m}$$

La puissance des pertes mécaniques $N_m$ est presque constante, si la vitesse de rotation du moteur ne varie pas. Il en résulte que la partie négative $\frac{N_m}{N_e + N_m}$ augmente et que $\eta_m$ diminue quand la puissance effective $N_e$ décroit. Cette diminution de $\eta_m$ entraine à son tour l'abaissement du rendement effectif $\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m$ malgré l'élevation du rendement indiqué $\eta_i$.

Il est évident que la consommation spécifique $g_e$ augmente puisqu'elle est inversement proportionnelle au rendement effectif ($g_e \sim \frac{1}{\eta_e}$).

A la limite quand le moteur marche à vide ($N_e = 0$), la consommation spécifique tend vers l'infini $g_e = \frac{G_c}{0} = \infty$ car le débit horaire de combustible $G_c$ a une valeur bien déterminée.

L'augmentation de la consommation spécifique quand la charge du moteur croît (à droite du moteur 1) s'effectue par suite de l'abaissement du coefficient d'excès d'air $\alpha$ ce qui entraine la diminution du rendement indiqué qui dépasse l'augmentation du rendement mécanique. En somme le rendement effectif $\eta_e$ s'abaisse et $g_e$ augmente.

La diminution notable de $\alpha$ provoque la conbustion incomplète et à partir du point 2 (fig. 2) le moteur commence à fumer. On voit que la puissance maximale, du point (point 3, fig. 2) se trouve en zone de fumée. Dans les moteurs diesel la puissance correspondante au début de fonctionnement avec fumée est inférieure à la puissance maximale à la même vitesse de rotation. La différence entre les deux puissances peut-être égale à environ 10 ÷ 15%.

Quant à la puissance maximale, elle est limitée à son tour par les phénomènes de formation du mélange et de combustion qui dépendent essentiellement du coefficient d'excès d'air $\alpha$. A partir d'une certaine valeur $\alpha$ variable suivant le type du moteur et la vitesse de rotation, la combustion peut devenir si mauvaise que la puissance du moteur commence à tomber avec une augmentation simultanée de la consommation spécifique $g_e$ (point 4, fig. 2).

Il est à remarquer qu'en somme la variation de consommation spécifique du diesel en fonction de la charge est telle qu'il existe un large "palier" ou $g_e$ varie faiblement (fig. 2) et reste inférieur à $g_e$ à pleine charge. Cela détermine l'économie sensible du combustible lors de l'exploitation des moteurs diesels.

1b.- Courbes caractéristiques fonctions de la vitesse de rotation du moteur.

On peut obtenir par expérience une série de courbes caractéristiques représentatives de la variation de la puissance, du couple, de la consommation spécifique de combustible et d'autres performances en fonction de la vitesse de rotation du moteur, à condition que la position de crémaillère reste invariable.

Si la position de crémaillère correspond au régime de fonctionnement nominal (caractérisé par $N_{en}$ et $n_n$) on obtient la caractéristique externe (courbe 1, fig. 3) du moteur qui limite la surface OAB (fig. 3) où se trouvent les points de tous les régimes possibles de fonctionnement du moteur. C'est pourquoi on l'appelle parfois caractéristique complète.

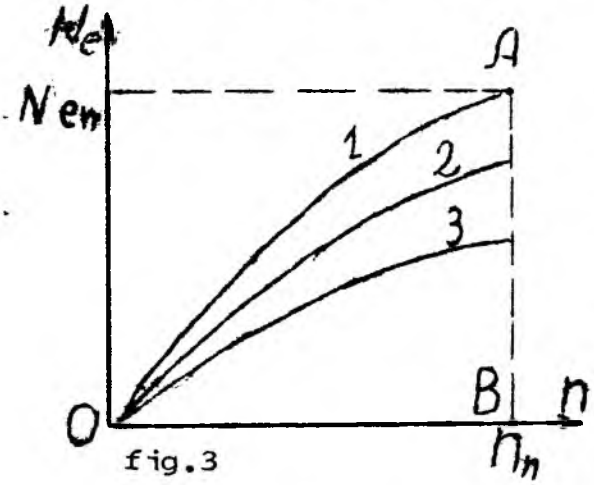

fig.3

Les courbes 2, 3 obtenues aux positions intermédiaires de crémaillère sont appelées parfois caractéristiques partielles.
Considérons une caractéristique représentative de la variation du couple moyen du moteur en fonction du nombre de tour par minute (fig. 4). Cette courbe $M_e = f(n)$ (caractéristique mécanique du moteur) détermine les qualités dynamiques du moteur, en particulier la stabilité de fonctionnement.

Soit un véhicule qui roule à vitesse constante sur une route droite horizontale. Son moteur fournit un coupe $M_{e1}$ égal et de signe contraire au couple résistant $M_{r1}$ (point 1; fig. 4).

Supposons que le véhicule aborde une côte.

Le couple résistant augmente et devient $M_{r2}$ ce qui provoque la diminution de la vitesse du véhicule et par conséquent de la vitesse de rotation du moteur.

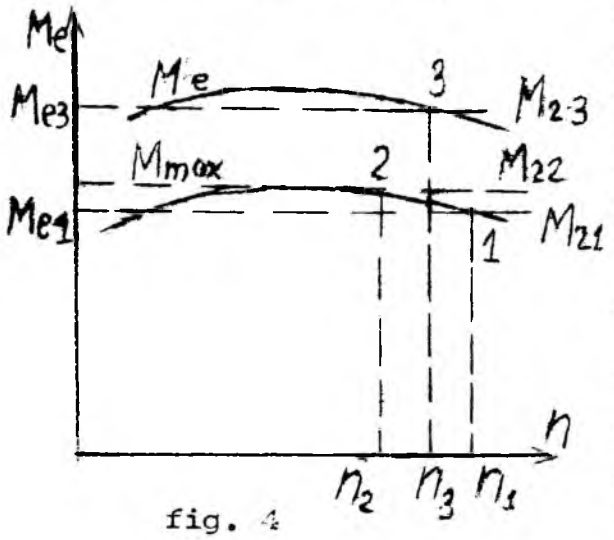


fig. 4

Quand cette dernière diminue, le couple du moteur augmente et en fin de compte un nouveau régime de fonctionnement (point 2, fig. 4) s'établit. On peut dire que le moteur s'accoutume lui-même au nouveau couple résistant $M_{r2}$.

Si le couple résistant augmente de telle façon que $M_{r3}$ dépasse le couple du moteur $M_{emax}$ il y a un ralentissement progressif du moteur qui peut finir par son arrêt.

C'est ici qu'est nécessaire une intervention du conducteur pour déplacer la crémaillère dans le sens de l'augmentation du débit du combustible.

A une nouvelle position de la crémaillère correspond une autre courbe $M'_e$ et l'égalité entre le couple résistant $M_{r3}$ et le couple moteur $M_{e3}$ peut être rétablie (point 3, fig. 4)

Il est évident que la fréquence d'intervention du conducteur augmente quand la caractéristique $M_e = f(n)$ est moins incurvée (courbe b; fig. 5).

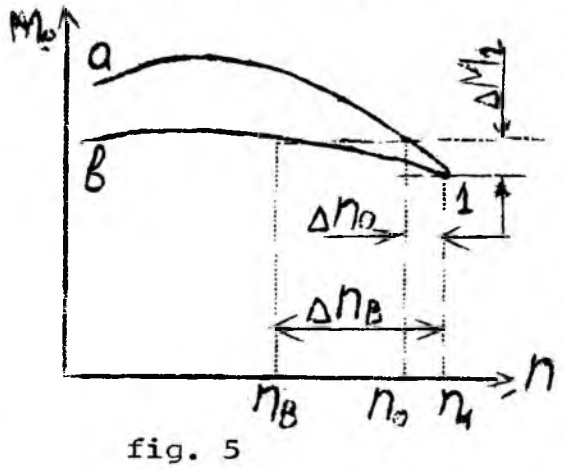


fig. 5

On voit qu'une petite variation du couple résistant $\Delta M_r$ entraine une grande variation de la vitesse de rotation $\Delta n_B$ ce qui rend le fonctionnement du moteur "b" instable. Le moteur "a" est stable puisque la même variation du couple résistant provoque une petite variation ( $\Delta n_a$) de la vitesse de rotation.

L'allure des courbes caractéristiques de puissance $N_e$, de la consommation spécifique $g_e$ et du couple $M_e$ en fonction de la vitesse de rotation du moteur est donnée sur la figure 6.

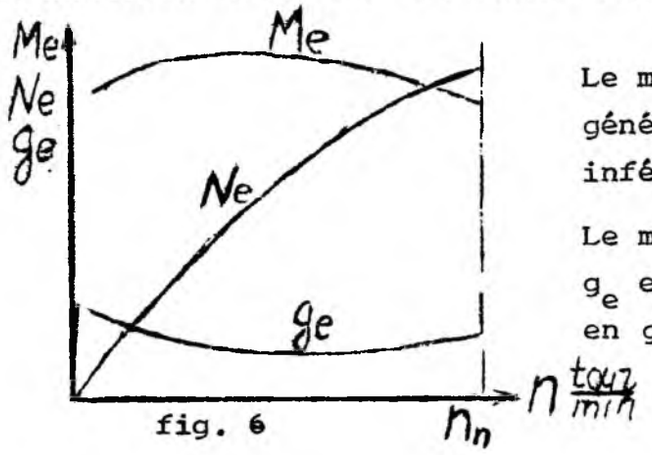


fig. 6

Le maximum de couple $M_e$ se trouve en général à une vitesse de rotation inférieure à la nominale.

Le minimum de consommation spécifique $g_e$ et le maximum de $M_e$ n'ont pas lieu, en général à la même vitesse.

Les courbes caractéristiques du moteur permettent de choisir la zone de régimes de fonctionnement en fonction du but envisagé : maximum d'économie ou maximum de puissance.

2.- <u>Courbes caractéristiques du moteur avec le régulateur.</u>

Le plupart des moteurs diesels sont pourvus du régulateur de vitesse. Le rôle du régulateur est de maintenir la vitesse de rotation du moteur à une valeur voisine de celle déterminée par la position de l'organe de commande de crémaillère (par exemple la pédage d'accélération) et de limiter les vitesses "maxi" et "mini" du moteur. C'est le régulateur "toutes vitesses" qui assume ces fonctions. Considérons un exemple de caractéristique du moteur avec ce régulateur. Supposons que le moteur entraine une installation de forage. Soit 1 un régime de fonctionnement du moteur déterminé par la position 1 d'organe de commande de crémaillère et par le couple résistant $M_r$.

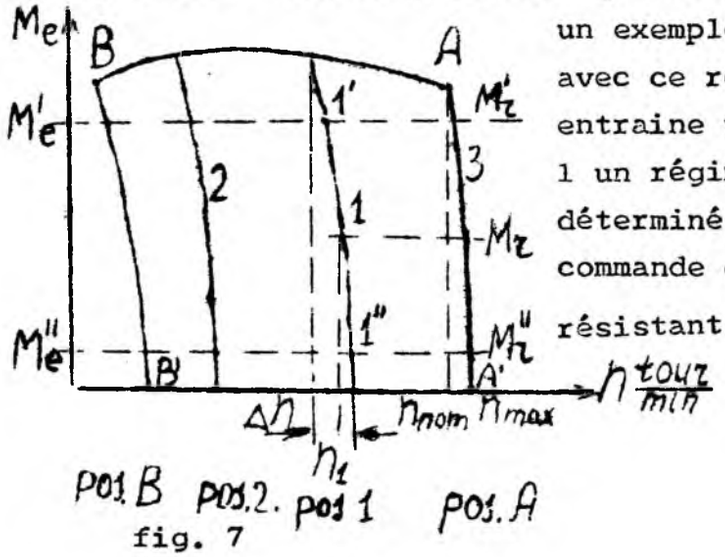


fig. 7

Quand la dureté de la roche forée augmente le couple résistant augmente aussi et devient égal à $M'_r$. Comme le régulateur tend à garder la vitesse de rotation constante, il fait déplacer la crémaillère dans le sens de l'augmentation du débit de combustible, le couple moteur devient $M'_e$ et un nouveau régime 1' s'établit à une vitesse de rotation $n'_1$ légèrement inférieure à $n_1$. Quand la roche forée devient plus souple, la résistance extérieure peut tomber jusqu'à $M''_r$. Le régulateur diminue la dose de combustible injectée, le couple moteur devient égale à $M''_e$ et on obtient un nouveau régime de fonctionnement 1" où la vitesse de rotation $n''_1$ est un peu supérieure à $n_1$. L'augmentati de la vitesse de rotation $\Delta n$ quand le couple $M_e$ varie de $M_{en}$ à O n'est pas grande (20 ÷ 60 tr/min) et dépend du degré de statisme du régulateur.

La courbe 2 (fig. 7) détermine la variation de la charge du moteur de O à $M_{en}$ à une autre position d'organe de commande de crémaillère (pos. 2)

Donc, le moteur fonctionne suivant les courbes imposées par le régulateur à chaque position d'organe de commande de crémaillère. Cette position correspond à un intervalle assez étroit des vitesses de rotation.

Pour obtenir la vitesse maximale du moteur, le mécanicien doit pousser l'organe de commande jusqu'à sa position extrême (pos. A) limitée par la butée spéciale. En faisant varier le couple du moteur de $M_{eA}$ à O on obtient la courbe 3 qui limite les vitesses maximales du moteur.

Une autre position extrême de commande de crémaillère (pos. B) correspond à la vitesse de rotation minimale du moteur. Donc le moteur ne peut fonctionner que dans la zone B'BAA' (fig. 7)

## II.- INSTALLATION EXPERIMENTALE ET APPAREILS DE MESURE.

Le banc d'essai du moteur (fig. 8) se compose des parties essentielles suivantes :

1. Moteur diesel;
2. frein électrique;
3. Rhéostat de réglage;
4. Dispositif pour déterminer le débit de combustible;
5. Appareils de contrôle et de mesure.

### 1°) Objet d'essai.

C'est un diesel de tracteur à chambre de turbulence.
Ses caractéristiques principales sont les suivantes :

| | |
|---|---|
| Marque du moteur | D 54 A |
| Type du moteur | à 4 temps |
| Nombre de cylindres | 4 |
| Puissance effective nominale | 54 ch |
| Vitesse de rotation nominale | 1300 tour/min |
| Alésage | 125 mm |
| Course de piston | 152 mm |
| Taux de compression | 16 |

Le moteur lui-même est installé à l'aide des supports réglables 4 (fig. 8) sur une plaque d'appui (fig. 8).

### 2°) Frein électrique.

C'est une machine électrique asynchrone triphase de puissance nominale 30 kw. Elle fonctionne sur le banc à deux régimes :

1) Au régime moteur elle sert à démarrer le moteur diesel
2) Au régime générateur elle fonctionne comme frein électrique qui absorbe la puissance du diesel.

Lors du lancement, le passage du régime moteur électrique au régime générateur (frein électrique) s'effectue automatiquement dès que la vitesse de rotation de l'arbre du diesel dépassera la vitesse synchrone (1000 tours/min).

Le frein électrique (fig. 8) se compose comme toutes les machines électriques tournantes d'un rotor 6 dans une cage de stator 7. Le rotor est accomplé à l'arbre du diesel par l'intermédiaire d'un réducteur et d'un manchon flexible 8. Il tourne dans ses propres paliers et n'a pas de liaison mécanique avec le stator. Ce dernier est installé à l'aide des tourillons 9 et des montants spéciaux 10 de façon à pouvoir osciller.

Quand le rotor est tourné par le diesel l'interaction des champs électro-magnétiques du rotor et du stator crée un couple de freinage qui agit sur le stator et l'entraine dans le sens de déplacement du rotor. Pour pouvoir mesurer le couple résistant, le stator est relié au bras d'une balance et la valeur de couple est lisible sur le cadran 11. Donc, finalement, le couple du moteur $M_e$ est équilibré par le couple résistant qui est mesuré.

3°) Rhéostat de réglage.

Il est destiné à régler le couple résistant du frein électrique. Le rhéostat comprend un bac 12 (fig. 8) rempli d'une faible solution aqueuse de soude calcinée. Au-dessus du bac se trouvent trois plaques métalliques (électrodes) fixées à un arbre tournant. Chacune des électrodes 13 (fig. 8) est isolée de l'arbre et communique à une des phases de l'enroulement rotorique. Quand les électrodes se plongent dans la solution le circuit de l'enroulement du rotor se ferme. La résistance essentielle de ce circuit est celle de la solution baignant les électrodes. Quand on plonge progressivement les électrodes dans la solution, la surface de celle-ci baignée par la solution augmente et la résistance électrique du circuit du rotor diminue. Cela entraine

l'élevation du courant électrique et la force d'interaction entre les champs électre-magnétiques du rotor et du stator augmente.

Donc, le couple résistant augmente aussi. Si l'on veut réduire le couple de freinage, on sort les électrodes de la solution. Quand les électrodes se trouvent hors de la solution, le couple de freinage (résistant) a une valeur nulle.

4°) Dispositif pour déterminer le débit de combustible.

L'installation pour mesurer la consommation de combustible comprend les parties suivantes (fig. 9) :

1) Balance à cadran:
2)Réservoir de combustible;
3)Robinet de réservoir;
4)Tuyau de réservoir;
5)Récipient en verre;
6)Tuyau du moteur;
7)Poids d'équilibrage.

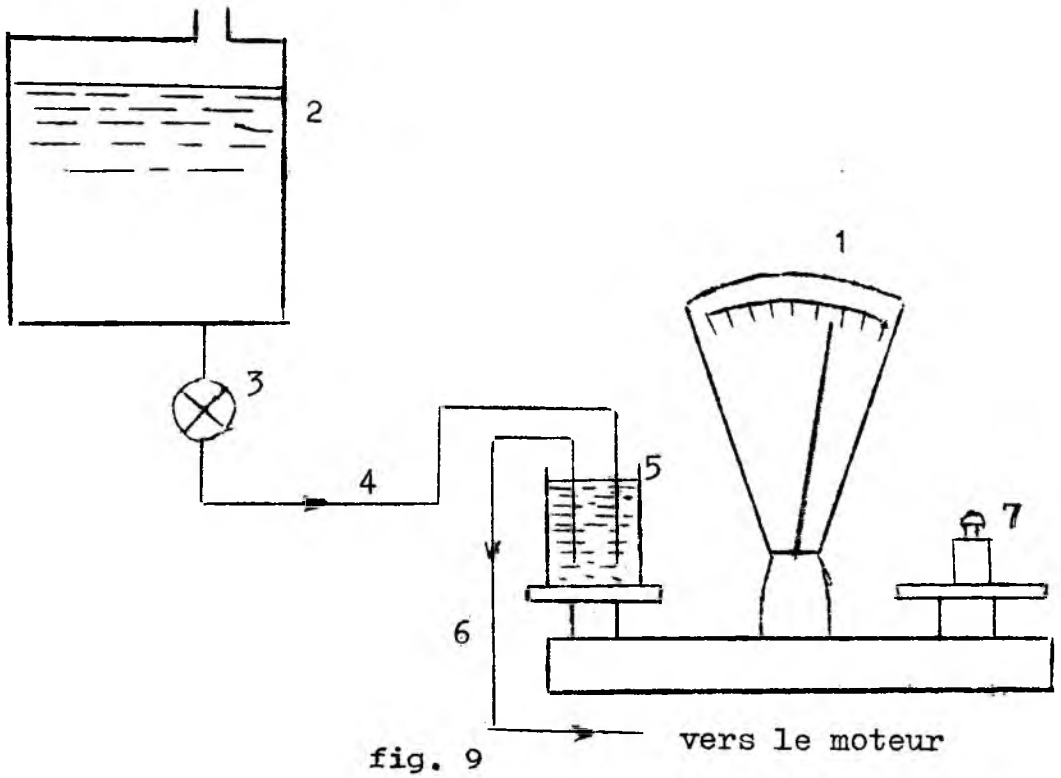


fig. 9

Pour mesurer la consommation de combustible du moteur, il faut remplir d'abord le récipient 5 à partir du réservoir 2. Dès qu'on ferme le robinet 3 le moteur est alimenté par le combustible se trouvant dans le récipient. Il est facile maintenant de mesurer à l'aide du chronomètre la durée $\tau$ en seconde de consommation d'une masse $\Delta G$ gramme de combustible.

5°) Appareils de mesure et de contrôle.

Le nombre de tours par minute du moteur est mesuré à l'aide du tachimètre électrique à deux aiguilles (14 fig. 8). La valeur d'une division d'échelle du tachimètre est égale à 20 tours/Min pour la grande aiguille et à 200 tours/min pour la petite.

Le nombre de tours est déterminé comme la somme des indications de deux aiguilles.

On mesure la température des gaz d'échappement d'après le cadran d'un thermomètre à couple thermo-électrique 16 (fig. 8).La valeur d'une division d'échelle est de 20°C.

Les températures de l'eau de refroidissement et de l'huile de graissage sont mesurées à l'aide des thermomètres à distance (15, 17, fig. 8). La valeur d'une division d'échelle de ces thermomètres est égale à 5°C.

On contrôle la pression de l'huile dans le système de graissage d'après le manomètre à distance 18 (fig. 8). Chaque division de son échelle correspond à 0,5 kg/cm$^2$.

III.- ORDRE D'ESSAI.

On relève sur le banc d'essai deux caractéristiques : en charge et externe.

1) Lancement du moteur :

Pour mettre le moteur diesel en marche il est nécessaire d'abord de brancher le frein électrique au réseau. Ensuite on tourne le levier du mécanisme de décompression à la position extrême inférieure pour supprimer la compression dans les cylindres du moteur. En plongeant les électrodes dans le bac on fait tourner le moteur à vide sans compression. Quand le nombre de tours par minute du moteur devient égal à 500 ÷ 600 tr/min on déplace le levier du mécanisme de décompression à la position extrême supérieure pour rétablir la compression dans les cylindres. Après cela en agissant sur la manivelle d'accélération on met le moteur en marche.

2) Caractéristique en charge:

On obtient les courbes caractéristiques en charge à la vitesse de rotation n = 1200 tr/min à partir du ralenti jusqu'à la charge maximale. Avant l'essai on réchauffe le moteur sous la charge moyenne jusqu'à la température de l'huile $t_h$ = 50 ÷ 65°C et celle de l'eau 70 ÷ 80°C. Ensuite on fixe le régime initial d'essai qui correspond approximativement à 5 ÷ 7 divisions d'après le cadran du frein. Après la stabilisation des températures de l'eau et de l'huile on fait les mesures suivantes :

1) l'indication de la balance F kg
2) la vitesse de rotation n tr/min
3) la durée $\tau$ en secondes de la consommation de $\Delta G$ grammes de combustible.
4) Les températures des gaz d'échappement tg, de l'eau $t_e$ et de l'huile $t_h$.

Ensuite on augmente le couple résistant à l'aide du rhéostat de réglage et simultanément on corrige la vitesse de rotation du moteur en agissant sur la manivelle d'accélération pour maintenir le nombre de tours par minute (n = 1200 tr/min) constant. Donc on obtient un nouveau régime de fonctionnement. Après la stabilisation du régime on

fait les mesures mentionnées ci-dessus.

Pour obtenir une bonne caractéristique en charge il faut relever au moins 5 - 6 régimes. Les grandeurs mesurées à chaque régime sont recueillies dans la feuille d'essai:

| N° du regime | $n$ $\frac{tour}{min}$ | $F$ Kg | $\Delta G$ grammes | $\tau$ sec | $t_g$ °C | $t_e$ °C | $t_h$ °C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | |

3) Caractéristique externe.

Après avoir chauffé le moteur jusqu'aux températures habituelles de l'huile ($t_h$ = 50 ÷ 65°C) et de l'eau ($t_e$ = 70 ÷ 80°C) on l'amène au régime de plein charge. On met pour cela la manivelle d'accélération à la position extrême correspondante au débit de combustible maximal et on la fixe. On augmente ensuite le couple résistant à l'aide du rhéostat de réglage pour atteindre la vitesse de rotation minimale possible (1050 ÷ 1060 tours/min). Après la stabilisation du régime on mesure les mêmes grandeurs que pour la caractéristique en charge. En diminuant successivement le couple résistant on obtient 5 ÷ 6 régimes à position de manivelle d'accélération (position de crémaillère) constante.

On introduit les données obtenues pour chaque régime dans la feuille d'essai.

## IV.- TRAITEMENT DES DONNES EXPERIMENTALES.

On calcule pour chaque régime de fonctionnement du moteur les performances suivantes :

1. couple effectif du moteur $M_e = F \cdot 0{,}716$ [kgfm]
2. puissance effective du moteur $N_e = \frac{F.n}{1000}$ [ch]

3. consommation horaire de combustible $G_c = \frac{\Delta G}{\tau} .3,6 \left[\frac{kg}{heure}\right]$

4. consommation spécifique de combustible $g_e = \frac{G_c}{N_e}.10^3 \left[\frac{gramme}{ch\ heure}\right]$

Lors des calculs les grandeurs F, n, $\Delta G$, sont prises aux mêmes unités que dans la feuille d'essai. Le nombre 0,716 exprime la longueur de bras du frein électrique en mètres. On introduit les résultats des calculs et de l'expérience dans le tableau ci-dessous

| N° du regime | $n$ tour/min | $N_e$ ch | $M_e$ Kg fm | $G_c$ Kg/heure | $g_e$ gramme/ch heure | tg °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | |

En se basant sur les données du tableau on construit les courbes caractéristiques du moteur.

Des exemples de ces courbes sont donnés sur la figure 10.

REMARQUE :

Dans le travail considéré les appareils de mesure du banc d'ssai sont gradués en unités du système technique. Si ces appareils sont gradués en unités du système SI il sera nécessaire d'utiliser pour le calcul des performances les formules suivantes :

1. couple effectif du moteur $M_e = F \cdot L \left[N \cdot m\right]$
2. puissance effective du moteur $Ne = \frac{F.L.N}{9550} \left[KW\right]$
3. consommation horaire de combustible $G_c = \frac{\Delta G}{\tau} \left[\frac{kg}{heure}\right]$
4. Consommation spécifique de combustible $g_e = \frac{G_c}{N_e}.10^3 \left[\frac{gramme}{KWheure}\right]$

Dans ces formules :

F- est la force de freinage en Newton;

L - La longueur de bras de labance en mètres;

n - le nombre de tours par minute du moteur;

$\tau$ - la durée en seconde de consommation de $\Delta G$ grammes de combustible.