

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de La Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie Mécanique

PROJET DE FIN D'ETUDES

Présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat
en Génie Mécanique

Thème

*Mise en marche du banc d'essai TD 43
et expérimentations*

Encadré par :
M^r.M.BENBRAIKA

Présenté par :
AGOUDJIL Ramzi

Promotion : 2003/2004

DEDICACES

A ma mère et mon père ;

A mes frères et mes sœurs ;

A toute ma famille ;

A, mes deux oncles et leurs familles ;

A tous mes amis ;

A mon promoteur, M.BENBRAIKA ;

A tous mes camarades de promotion

Je dédie ce travail.

Ramzi.

REMERCEMENTS

Je remercie dieu le tout puissant de m'avoir donné la volonté et le courage afin d'arriver à la finalité de ce modeste travail.

Je remercie aussi ma famille, à qui revient la gloire de m'avoir éduqué, encouragé et soutenu.

Je tiens tout particulièrement à remercier mon promoteur Monsieur Benbraika d'avoir accepté de diriger cette étude.

Je remercie également les membres du jury, qui ont accepté de discuter et d'examiner ce modeste travail.

Mes remerciements vont aussi à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation.

J'adresse aussi ma profonde reconnaissance à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Sans oublier, mes camarades de promotion pour leurs aides, leurs encouragements et leurs disponibilité, la promotion juin 2004

Que tout le personnel de la bibliothèque de l'ENP.

الموضوع: تشغيل منضدة تجارب (TD43) و القيام بتجارب.

الملخص: يهدف هذا المشروع إلى إعادة تشغيل منضدة التجارب لمحرك ذي نسبة انضغاط متغيرة (TD43). وذلك قصد استغلاله لأعمال مختلفة.

لقد قمنا إلى حد بعيد بمحاولة تشغيل المنضدة, ونظرا لمشكلة لم نتمكن من القيام بالتجارب على (TD43). ورغبة منا في إكمال عملنا و القيام بأعمال في مستوى المهندس, قمنا بتجارب على منضدة تجارب أخرى (TE16) لمحرك بنزين من نوع فورد. وقرنت النتائج المتحصل عليها مع النتائج المقدمة من طرف صانع المحرك.

كلمات مفتاحيه: منضدة تجارب, محرك ذو احتراق داخلي, الفحص, النجاعة.

Sujet: Mise en marche du banc d'essai TD 43 et expérimentations.

Résumé: Notre projet consiste à la mise en marche du banc d'essai d'un moteur à taux de compression variable (TD43) en vue de son exploitation pour différents travaux (travaux pratiques et de recherche).

Nous avons tenté la mise en marche du banc d'essai. Après plusieurs tentatives et comme nous avons buté à un problème, nous avons voulu terminer notre travail digne d'ingénieur. Pour cela, nous avons réalisé des expériences sur un autre banc (TE 16) équipé du moteur Ford.

Les résultats obtenus sur le banc d'essai TE16 seront comparés avec ceux fournis par le constructeur.

Mots clés: Banc d'essai, Moteur à combustion interne, Diagnostic, Performances.

Subject: Starting of the test bench TD43 and experiments.

Summary: Our project consists with the starting of the test bench of an engine at variable compression ratio (TD43) for its exploitation for various work (practical work and of research).

We tried the starting of the test bench. After several attempts and as we butted with a problem, we wanted to complete our work worthy of engineer. For that, we carried out experiments on another bench (TE 16) equipped with the Ford engine.

The results obtained on the test bench (TE16) will be compared with those provided by the manufacturer.

Key words: Test bench, Internal combustion engine, Diagnosis, Performances.

PARTIE.I

Chapitre I

I. Historique des moteurs	3
I.1. Généralités	3
I.2. Classification.....	3
I.3. Fonctionnement.....	4
I.3.1. Cycle à quatre temps	4
I.3.2. Cycle à deux temps.....	7
I. Généralités	10
II. Les différents organes du banc.....	12
II.1. Le moteur	12
II.1.1. Modification des taux de compression	12
II.1.2. Principe de fonctionnement des poussoirs hydrauliques.....	13
II.1.3. Protection du moteur.....	14
II.2. Système d'allumage.....	15
II.3. Dynamomètre.....	15
II.4. Tachymètre	15
II.5. Système de refroidissement du moteur	16
II.6. Instruments de mesure	16
II.7. Accessoires supplémentaires.....	16
I. Introduction	17
II. Puissance indiquée.....	17
III. Puissance effective	18
IV. Puissance de friction.....	18
V. Consommation spécifique de carburant.....	18
VI. Rendements.....	19
VI.1. Rendement mécanique	19
VI.2. Rendement thermique	19
VI.3. Rendement volumétrique	20
VI.4. Rapport air/carburant	21
I. Introduction	22
II. Moteur	22
III. Culbuteurs-tiges poussoirs.....	22
III.1. Conclusion	23
IV. Système de graissage	23
IV.1. Conclusion	25
V. Partie électrique.....	25
V.1. Dynamomètre.....	25
V.2. Les consoles:.....	25
V.3. L'armoire de commande :	26
V.3.1. Transformateur :	26
V.3.2. Le contacteur:	26

V.3.3. Carte électronique (ANYSPEED).....	26
VI. Conclusion.....	27
I. Introduction.....	28
II. Introduction.....	29
III. Description du banc d'essai TE 16.....	29
III.1. Généralités.....	29
III.2. Les différents organes du banc d'essai.....	29
III.2.1. Le moteur.....	29
III.2.2. Dynamomètre.....	30
III.2.3. Console de commande.....	31
III.2.4. Oscilloscope.....	31
III.2.5. Réservoir d'air.....	31
III.2.6. Système de refroidissement.....	31
III.2.7. Calorimètre des gaz d'échappement.....	32
III.2.8. L'analyseur de gaz d'échappement.....	32
III.2.9. Réservoir de carburant.....	33
I. But des essais à réaliser.....	34
II. Test de performance du moteur.....	34
III. Constatation.....	40
IV. Interprétation.....	41
Conclusion.....	43

Liste des figures

Fig.1.1	Cycle à quatre temps	6
Fig.1.2	Moteur a deux temps.....	8
Fig.2.1	Banc d'essai TD43.....	11
Fig.2.2	Courbe d'étalonnage des taux de compression.....	13
Fig.2.3	Schéma de fonctionnement des poussoirs hydrauliques.....	14
Fig.3.1	Diagramme P-V	17
Fig.4.1	Circuit électrique principal du banc.....	24
Fig.5.1	Analyseur de gaz.....	32
Fig.6.1	Courbes de variation du couple moteur en fonction de la vitesse de rotation pour différentes positions de l'accélérateur.....	35
Fig.6.2	Courbes de variation de puissance en fonction de la vitesse de rotation pour différentes positions de l'accélérateur.....	36
Fig.6.3	Courbes de variation de la consommation spécifique en fonction de la vitesse de rotation pour différentes positions de l'accélérateur.....	37
Fig.6.4	Courbes de variation de rendement volumétrique en fonction de la vitesse de rotation pour différentes positions de l'accélérateur.....	38
Fig.6.5	Courbes de variation de rendement thermique en fonction de la vitesse de rotation pour différentes positions de l'accélérateur.....	39

Liste des symboles

W_i	Travail net	joule
\bar{P}_{mi}	Pression moyenne indiquée	daN/cm ²
V_h	Cylindrée	cm ³
p_i	Puissance indiquée	W
N	Vitesse de rotation	tours/mn
p_e	Puissance effective	W
C	Couple	N.m
C_f	Couple de friction	N.m
p_f	Puissance au frein	W
Sfs	Consommation spécifique de carburant	kg/kWh
\dot{m}_f	Débit massique de carburant	kg/h
Sgf	Poids spécifique	Kg/m ³
\dot{m}_{gaz}	Débit massique de gaz	Kg/h
t	Temps	s
T	Température	K
P	Pression	daN/cm ²
$P_{réel}$	Pression réelle	daN/cm ²
$T_{réel}$	Température réelle	K
η_m	Rendement mécanique	
η_b	Rendement thermique	
η_v	Rendement volumétrique	
\dot{m}_{th}	Masse d'air théorique	Kg/h
P_{ci}	Pouvoir calorifique inférieur	kcal/kg
ρ_{air}	Masse volumique d'air	Kg/m
R	Constante des gaz	
T_a	Température ambiante	K
P_a	Pression ambiante	daN/cm ²
L	Rapport air/carburant	
pme	Pression moyenne indiquée	kN/m ²

Introduction

Les moteurs thermiques sont conçus pour transformer le pouvoir énergétique en puissance avec le meilleur rendement possible, la puissance, le couple et la consommation de carburant sont des paramètres voulus dans un moteur. [1]

La recherche de ces paramètres est conditionnée par le respect des exigences des normes actuelles sur la protection de l'environnement, ce qui a poussé les chercheurs vers la conception des moteurs utilisant des carburants adéquats et qui donnent de bons résultats sur le plan énergétique et environnemental.

Au début, les recherches s'appuyaient sur des études expérimentales mais avec les progrès connus dans le domaine informatique la tendance vers la simulation numérique des phénomènes qui interviennent dans les moteurs a pris une grande part dans la recherche.

La recherche des paramètres voulus dans un moteur tels que le rendement, la puissance et les émissions des gaz d'échappement obéit à des logiciels dits performants et le recours à la simulation des phénomènes qui interviennent dans un moteur s'avère insuffisant et cela est dû à la complexité des phénomènes d'un côté et la non maîtrise de ce qui se passe à l'échelle réelle de ces phénomènes; ce qui implique le retour à l'expérimental afin de vérifier l'étude théorique ou de confirmer un résultat simulé.

Dans ce contexte débouche notre étude qui consiste en premier lieu à la mise en marche du banc d'essai TD43 afin de déterminer les performances du moteur monocylindre à 4 temps tournant avec trois versions (essence, gas-oil et GPL).

N'ayant pu amener à terme notre travail nous avons été orienté à faire des expériences sur un autre banc d'essai TE16.

Notre présent projet est une amorce du projet de recherche initié par le groupe du laboratoire thermo fluides qui consiste à redémarrer le banc d'essai afin de l'exploiter à divers niveaux.

Malheureusement nous n'avons pas pu aboutir au but tracé au début et cela par manque de soutien matériel. Le département ne pouvant pas fournir les besoins en temps opportun, nous avons été obligé de changer de sujet et on est passé à l'étude des performances du moteur FORD 2271-E 1098 CC, équipant le banc d'essai TE 16.

Pour bien présenter notre travail nous avons divisé notre projet en deux parties:

- Nous débutons par une introduction générale ensuite nous passons à la première partie qui consiste à présenter le banc d'essai TD 43 et les différentes manipulations effectuées (entretien du banc d'essai) en citant à la fin les différentes pannes détectées.

- Dans la deuxième partie, nous avons travaillé sur un autre banc équipé d'un moteur essence type FORD 2271-E 1098 CC. Notre travail consiste à l'étude des performances de ce moteur à travers les résultats des études expérimentales effectuées sur ce banc. Nous terminons par l'interprétation des ces résultats.

A la fin nous présentons une conclusion générale.

I. Historique des moteurs

I.1. Généralités

Un moteur est une machine qui reçoit de l'énergie sous une forme et la restitue sous une autre forme plus aisément utilisable pour le but recherché.

Les moteurs à combustion interne sont des machines thermiques, donc transformant de la chaleur en travail mécanique destiné à équilibrer le travail résistant d'un véhicule qui se déplace. Cette transformation est obtenue au moyen d'un fluide qu'on fait évoluer entre deux températures extrêmes.

Si le fluide est inerte et simplement transporteur de calories (cas de la machine à vapeur) le moteur est dit à *combustion externe* ; s'il produit lui-même, en brûlant à l'intérieur d'organes appropriés du moteur, l'énergie nécessaire au fonctionnement, le moteur est dit à *combustion interne*.

I.2. Classification

Beaucoup de moteurs à combustion interne utilisent l'essence comme combustible, celle-ci étant introduite dans les cylindres préalablement mélangée à l'air. Ces moteurs dits moteurs à explosions ou simplement moteurs à essence peuvent fonctionner également avec un combustible gazeux (gaz pauvre, gaz de ville, butane, etc.).

Au lieu d'être alimentés à l'aide d'un carburateur effectuant le mélange carburé, certains moteurs peuvent être alimentés à la façon des Diesel par une pompe d'injection : on les appelle moteurs à injection d'essence.

Lorsque les moteurs sont conçus pour utiliser un combustible lourd (gaz-oil) qui est introduit directement dans les cylindres à l'aide d'une pompe d'injection en fin de compression très élevée d'air pur préalablement admis, ils fonctionnent soit à pression constante : moteur Diesel ; soit, dans le cas du moteur rapide d'automobiles, suivant un cycle intermédiaire entre le cycle Diesel et le cycle à explosion : cycle mixte. On les appelle moteurs à combustion par opposition aux moteurs à explosions, ou encore moteurs à huile lourde, moteurs à injection ou moteurs Diesel.

Parmi ces moteurs quelques-uns ont des taux de compression se rapprochant de ceux des moteurs à explosion, l'allumage est alors assuré par une paroi mal refroidie portée à incandescence : ce sont les semi-diesel.

Tous ces moteurs thermiques fonctionnent suivant un cycle à quatre temps ou deux temps (moteur à 4 temps, moteurs à 2 temps) suivant que les opérations successives d'admission, de compression, de combustion et détente, et d'échappement s'effectuent en deux tours ou en un seul tour de l'arbre moteur.

Pour terminer, il faut citer les moteurs à combustion interne à huile lourde pour lesquels la transformation de l'énergie s'effectue à l'aide d'une turbine (turbo-moteur). Pour ces derniers la combustion s'effectue soit dans une chambre à volume constant alimentée par un compresseur centrifuge, soit dans des chambres de volume variable (générateur à pistons libres).

Ces deux types de « turbines automobiles » ne sont pas encore utilisés sur les voitures de type courant.

Dans la pratique, pour différencier les deux principaux types de moteurs dont l'emploi s'est généralisé, on les désigne sous la dénomination de :

- Moteur à explosion ou moteur à essence (4 ou 2 temps) ;
- Moteur à injection ou à huile lourde ou Diesel.

Les premiers sont encore appelés : moteurs à combustion à volume constant, ou encore moteur à carburation externe.

Les seconds sont parfois appelés : moteurs à combustion à pression constante [2].

I.3. Fonctionnement

I.3.1. Cycle à quatre temps

La grande majorité des moteurs à combustion fonctionne selon le cycle à quatre temps, qui dure deux tours de moteur et dont les phases caractéristiques sont les suivantes (figure (1.1)).

➤ Temps 1. Admission

Elle se produit alors que le piston descend du PMH au PMB, créant ainsi une dépression dans le cylindre et l'aspiration du mélange carburé ou de l'air dans le cas particulier des moteurs à injection directe. Les vitesses des gaz sont plutôt élevées (la *vitesse du son* peut être atteinte au passage des soupapes) et l'inertie des masses gazeuses ne peut pas être négligée. De ce fait et aussi parce qu'il y a des pertes de charge sur le circuit d'admission (papillon, soupapes...), le remplissage des cylindres ne se réalise pas complètement : le remplissage naturel d'un moteur est inférieur à l'unité. Pour améliorer ce taux, les inerties des

masses gazeuses sont prises en compte en avançant l'ouverture de la soupape d'admission avant le PMH (AOA = avance ouverture admission). Ces décalages sont de quelques degrés et leur importance dépend de la gamme du régime de fonctionnement du moteur : ils sont plus élevés pour les hauts régimes.

La tendance moderne est de promouvoir des distributions variables en calage et en ouverture, actionnées au moyen de commandes magnétiques ou hydrauliques, de manière à pouvoir bénéficier d'un remplissage optimal sur toute la gamme des régimes. De tels systèmes existent déjà en série et sont présentés comme une des clés ouvrant la voie vers les moteurs à faible consommation et à pollution zéro.

Un calage d'admission bien adapté peut entraîner une légère suralimentation du moteur en un point de régime tandis que l'accroissement du nombre de soupapes par cylindre améliore le remplissage à tout régime. La suralimentation par compresseur permet des accroissements plus substantiels du remplissage avec des pressions d'admission largement supérieures à l'atmosphère.

Quelle que soit la pression à l'entrée du circuit d'admission, la quantité de mélange admis dépend de l'ouverture du papillon, qui détermine aussi la pression régnant en amont des soupapes. Dans un moteur à allumage commandé la charge du moteur est donc en rapport (fortement non linéaire) avec la pression d'admission, appelée habituellement « dépression admission » puisqu'elle est le plus souvent inférieure à la pression atmosphérique.

➤ Temps 2. Compression-allumage

Les soupapes étant fermées, le piston remonte vers le PMH en comprimant la masse gazeuse enfermée. La pression dans le cylindre croît et, sans combustion, elle atteindrait à pleine ouverture 10 à 20 bars au PMH, selon le taux de compression. L'allumage intervient quelques instants (avance à l'allumage) avant le PMH (10 à 20 °V), afin de prendre en compte le délai nécessaire au développement de la combustion.

Les moteurs à injection directe réalisent leurs charges partielles en modulant la quantité de carburant injectée, ce qui signifie que dans la chambre de combustion la répartition de la charge est hétérogène pour que localement une faible quantité de carburant puisse être associée à une faible part de l'air et que le mélange soit combustible. Le dessin et l'aérodynamique interne des chambres de combustion déterminent la formation du mélange et sa localisation, qui doit être impérativement proche d'une bougie d'allumage. Les pleines charges sont par contre obtenues en revenant à une charge homogène remplissant le volume entier du cylindre.

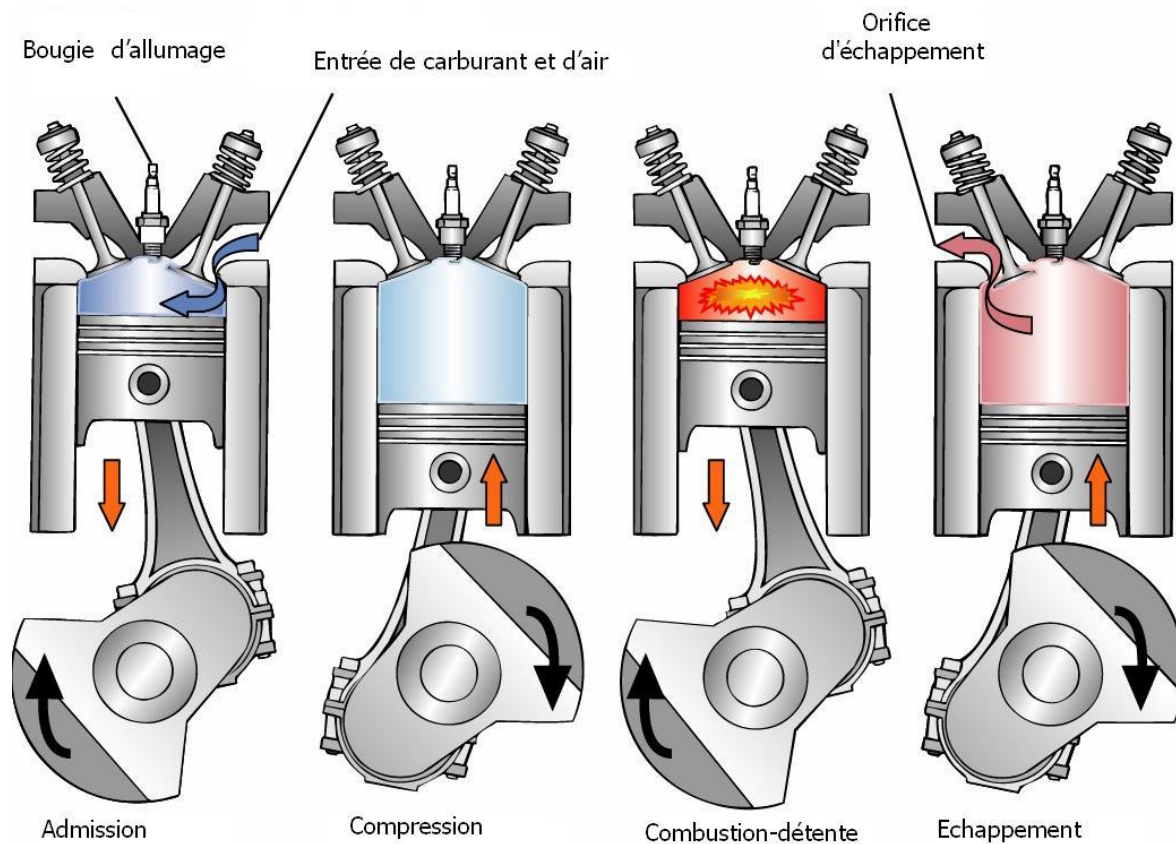


Fig.1.1 Cycle à quatre temps

➤ Temps 3. Combustion-détente

La combustion se développe et la pression croît rapidement pour arriver normalement à son maximum une dizaine de degrés après le PMH, atteignant des valeurs supérieures à 60 bars à pleine charge. Les gaz sont à ce moment très chauds (2 000 à 3 000 K) et les transferts thermiques vers les parois sont intenses. Le piston descend ensuite vers le PMB, la pression et la température des gaz décroissent en même temps que du travail est fourni au piston. Le taux de détente est déterminant pour le rendement et certains concepts ont été imaginés pour profiter au mieux de cette phase (cycle de Miller).

➤ Temps 4. Échappement

La soupape d'échappement s'ouvre lorsque le piston atteint le PMB, les gaz de combustion s'évacuent, au début sous l'effet de leur propre pression, puis sous la poussée du piston qui remonte. Pour tenir compte des inerties des gaz, l'échappement peut s'ouvrir quelque peu avant le PMB (AOE = avance ouverture échappement), et se fermer après le PMH (RFE = retard fermeture échappement). Il peut se trouver ainsi quelques instants pendant lesquels les soupapes d'admission et d'échappement sont ouvertes simultanément : c'est le **croisement de soupapes**. Il est d'autant plus important que le moteur doit être performant à haut régime.

1.3.2. Cycle à deux temps

Le cycle 2 temps ne dure qu'un tour moteur et ses phases de fonctionnement se distinguent par la présence ou non d'échanges gazeux avec l'extérieur.

➤ Temps 1. Échappement-admission

C'est la phase clé pour un moteur 2 temps ; les ouvertures d'admission et d'échappement restent simultanément ouvertes pendant la plus grande partie de cette période qui voit le piston descendre du PMH vers le PMB, ce qui implique que l'admission des gaz frais et l'expulsion des gaz brûlés s'effectuent en même temps : c'est la phase dite de **balayage**. Les gaz de combustion s'échappent sous leur propre pression et les gaz d'alimentation doivent être comprimés pour pouvoir pénétrer dans le cylindre. Cette légère compression, quelques dizaines de millibars, peut être obtenue soit en profitant de la course vers le bas du piston et en comprimant les gaz dans le carter (admission par le carter (figure (1.2)), soit en utilisant un compresseur. L'alimentation en carburant peut s'effectuer en amont du cylindre, par carburation ou injection, pour permettre au mélange de se réaliser au préalable avec cependant le risque qu'une partie soit court-circuitée à l'échappement.

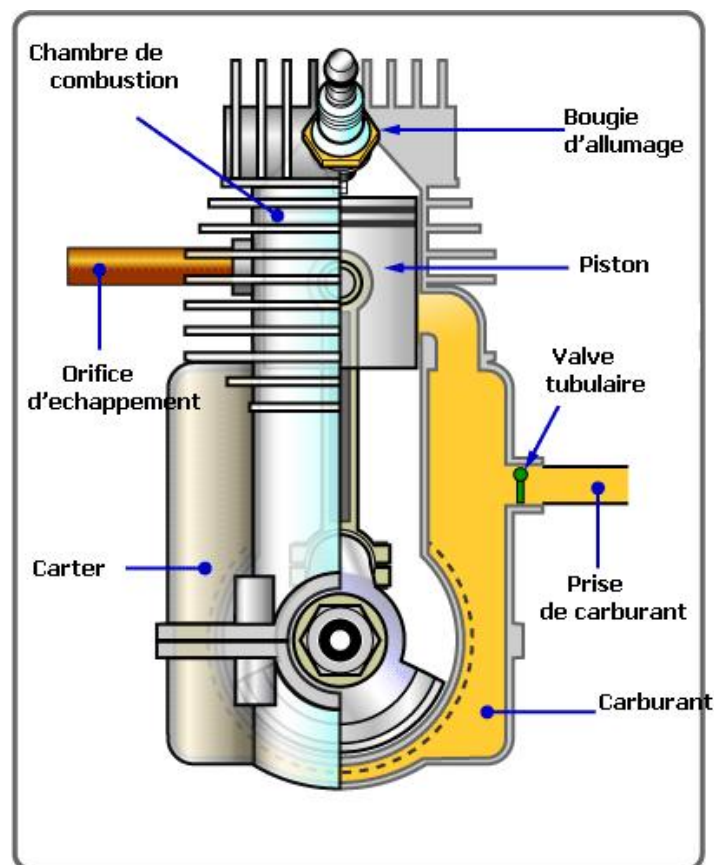


Fig.1.2 Moteur a deux temps

Cet inconvénient peut être évité par une injection directe dans le cylindre pendant la compression, solution plus coûteuse mais qui place alors le moteur à deux temps au même niveau que celui à quatre temps pour les consommations et la pollution.

La phase de balayage caractérise le moteur deux temps dont elle détermine le bon fonctionnement ; elle en a fait le succès par la simplicité de construction qu'elle permet, mais aussi la mauvaise réputation sur les plans rendement et pollution par les pertes à l'échappement qui en ont été longtemps la conséquence.

➤ Temps 2. Compression-allumage-détente

Les ouvertures d'admission et d'échappement sont fermées ; si l'alimentation n'est pas effectuée en amont du cylindre, le carburant peut être alors injecté lorsque le piston remonte. La fin de compression et de combustion se déroulent d'une manière identique à celle du moteur à quatre temps. Le travail est récupéré pendant la détente qui se termine dès

l'ouverture de l'échappement. Souvent, pour un moteur 2 temps, le taux de compression est évalué en partant d'une cylindrée comprise entre le PMH et l'ouverture de l'échappement : c'est donc un taux de détente [3].

I. Généralités

Le banc d'essai TD 43 est construit à partir d'un moteur Diesel marin à quatre temps Farryman A30, refroidi par eau, transformé par TecQuipement en vue de lui conférer une certaine universalité. Le taux de compression peut-être varié entre 5:1 et 18:1, ce qui permet en alimentation normale de faire fonctionner le moteur à l'essence, au gas-oil, au propane ou au gaz naturel.

Le banc d'essai dispose d'un surpresseur qui peut être utilisé en version diesel et injection d'essence.

Un dynamomètre électrique est accouplé au moteur et sert à démarrer ce dernier et à le faire tourner lors des essais de friction.

Un socle rigide en acier reposant librement sur quatre pieds anti-vibration sert de support au moteur ainsi qu'au dynamomètre.

Deux consoles sont montées derrière le moteur; celle de gauche regroupe les commandes électriques du dynamomètre en mode moteur et en mode générateur, ainsi que les commandes de sélection de instruments de mesures des performances du moteur; au-dessus de cette console sont fixés les réservoirs d'essence, de gas-oil ainsi que le réservoir d'eau de refroidissement. Derrière la console sont montés un débitmètre visqueux destiné à mesurer la consommation d'air du moteur et l'ensemble radiateur-ventilateur assurant le refroidissement. [4] (fig.2.1).

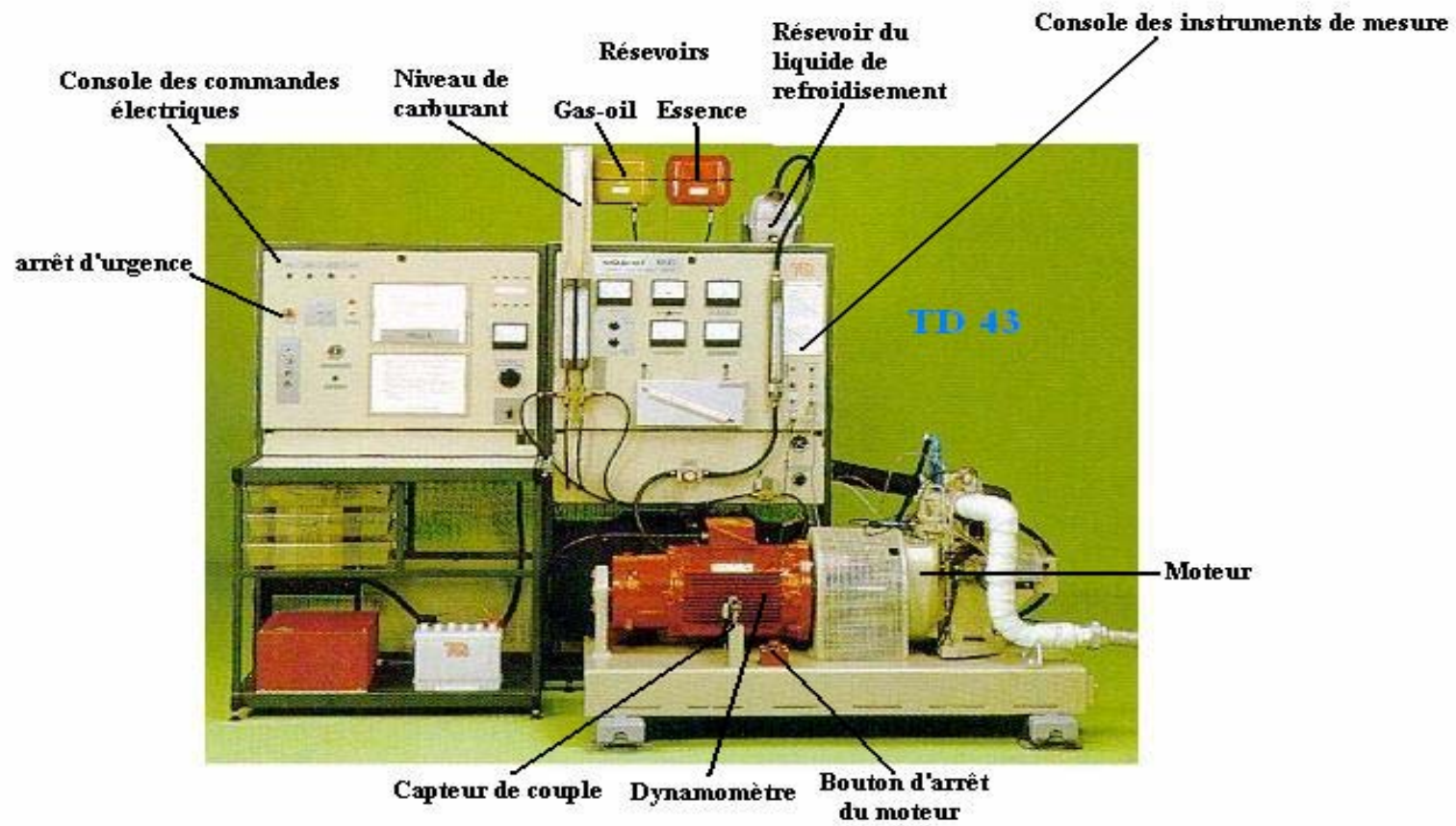


Fig.2.1 Banc d'essai TD43

II. Les différents organes du banc

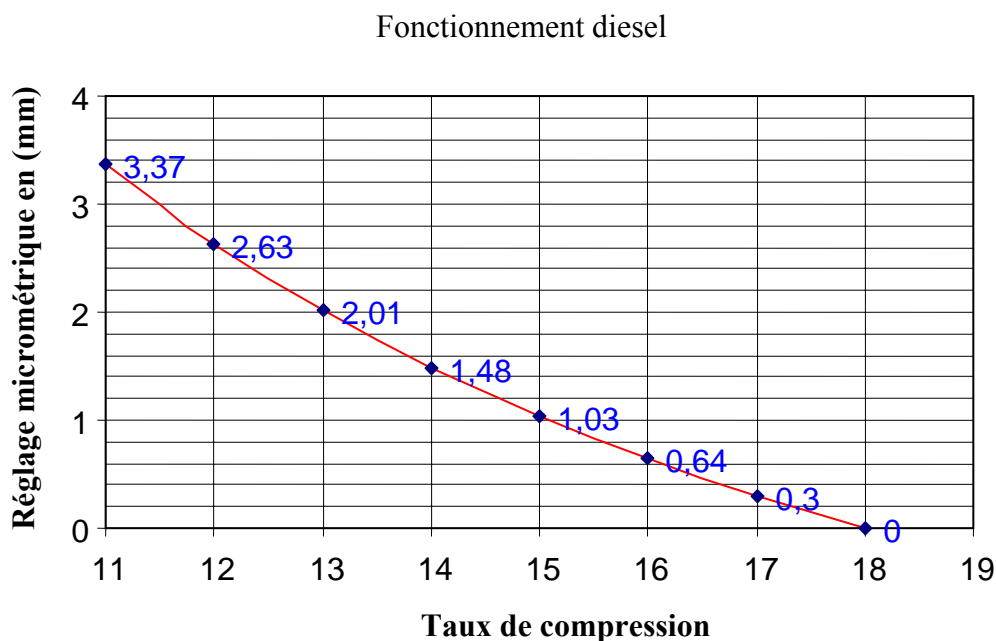
II.1. Le moteur

Le moteur est à quatre temps, robuste et moderne, de conception traditionnelle, mis à part le fait que le taux de compression peut-être modifié. L'ensemble complet-culasse, cylindre et soupapes peut se déplacer par rapport au carter-moteur à l'aide de manette à cliquet. Les tiges poussoirs des soupapes sont entraînées par des poussoirs hydrauliques qui se règlent automatiquement quand on modifie le taux de compression.

II.1.1. Modification des taux de compression

Le taux de compression varie si le volume de la chambre de combustion varie, pour cela il suffit de déplacer la partie supérieure du moteur par rapport au carter. Deux butées préréglées sont prévues pour éliminer tout risque de programmer des taux sortant de la plage autorisée de 5 à 18.

Le déplacement du cylindre est mesuré à l'aide d'un micromètre. La courbe d'étalonnage attachée à la console droite nous donne le réglage micrométrique correspondant au taux de compression voulu. (fig.2.2). réglage micrométrique



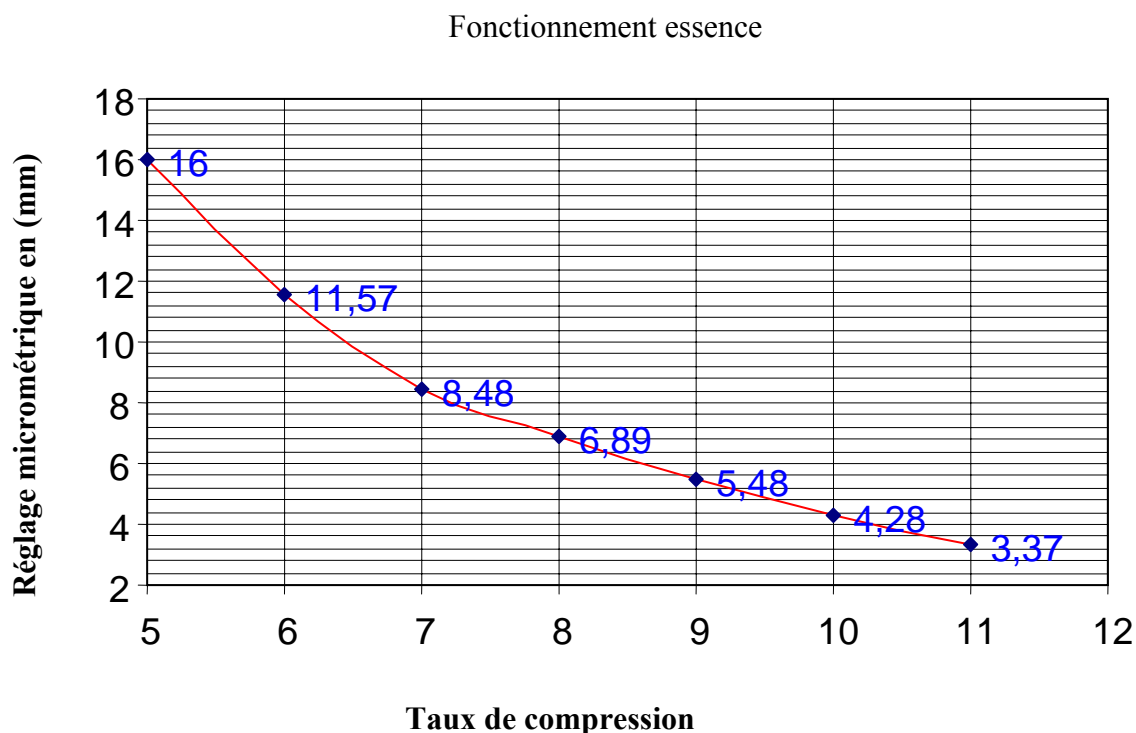


Fig.2.2 Courbe d'étalonnage des taux de compression

II.1.2. Principe de fonctionnement des poussoirs hydrauliques

Les deux contre-cames coulissent vers le haut et vers le bas à l'intérieur du corps des poussoirs et sont maintenues en contact avec les cames par les petits ressorts montés entre-elles et les pistons. Quand la contre-came est en contact avec le dos de la came (point le plus bas), l'orifice de graissage se trouve en regard du canal d'arrivée d'huile ménagé dans le corps du poussoir et l'huile sous pression, remplit la cavité séparant le piston de la contre-came.

A mesure que la contre-came monte, l'arrivée d'huile dans la partie inférieure de celle-ci se trouve coupée et l'ensemble devient rigide. La contre-came continue à monter, entraînant avec elle la tige-poussoir, le culbuteur et la soupape, ainsi il est évident que pendant un tour complet, les différents éléments cités restent en contact et il n'y aurait aucun jeu de poussoirs.

Cependant pour un taux de compression de 18 :1 la distance entre le piston et la contre-came doit être plus grande que le déplacement nécessaire pour obturer l'arrivée d'huile. Pour un tel taux le jeu correct est réglé en usine et il convient automatiquement pour tous les autres rapports volumétriques. Le ressort et l'arrêt de la tige poussoir empêche celle-ci de tomber quoiqu'en cas de baisse de la pression d'huile, le moteur s'arrête automatiquement par mesure de sécurité. (fig.2.3)

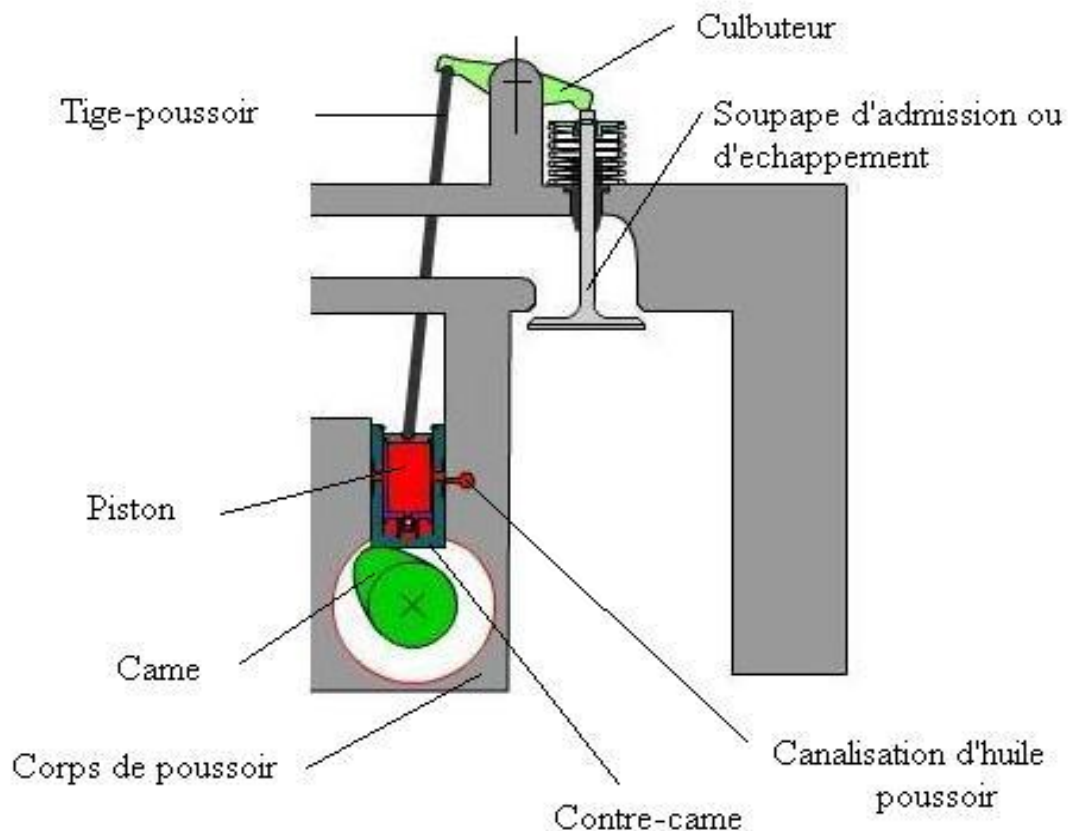


Fig.2.3 Schéma de fonctionnement des poussoirs hydrauliques

II.1.3. Protection du moteur

Le moteur est protégé contre les deux phénomènes suivants:

La surchauffe et la survitesse. En effet contre la surchauffe, le moteur est équipé d'un dispositif automatique qui coupe les alimentations et arrête complètement le banc dès que la

excède la valeur de 85°C. Et contre la survitesse en raison des forces centrifuges la vitesse maximale du moteur est limitée à 2750 tr/mn et pour ce le banc est pourvu d'un contacteur centrifuge de survitesse qui active l'arrêt du moteur dès que la vitesse atteint la valeur suscitée.

II.2. Système d'allumage

Le système d'allumage est composé d'une bobine automobile traditionnelle de 12V et un rupteur dont la commande est assurée par une came.

L'allumage peut-être calé entre 30° avant le P.M.H et 10° après.

II.3. Dynamomètre

Le dynamomètre est un appareil électrique conventionnel à courant continu qui, outre son rôle de frein d'essai du moteur, sert également à mettre celui-ci en marche et à le faire tourner lors des essais de mesure des frictions.

Les Commandes du dynamomètre sont situées sur la console de gauche.

En plaçant le sélecteur Motor-Generate en position et en branchant un jeu de résistances électriques en parallèle 'Banc de charge', le dynamomètre oppose au moteur une résistance qui permet de contrôler sa vitesse à pleine ouverture. La variation de l'intensité de charge s'effectue à l'aide du bouton on LOAD CURRENT CONTROL.

Le dynamomètre est conçu pour supporter en permanence une intensité de 25A. Toutefois, il est permis de dépasser cette valeur pendant des périodes très courtes mais un fonctionnement prolongé sous une intensité trop élevée risque de provoquer une surchauffe de l'appareil; un coupe-circuit de surintensité protège le dynamomètre contre les surcourants.

Le carter du dynamomètre repose sur deux paliers à roulements et peut pivoter entre deux limites très étroites.

II.4. Tachymètre

Le banc d'essai est muni d'un tachymètre électronique qui sert à mesurer la vitesse du moteur en comptant les impulsions, ceci grâce à un disque, pourvu à sa périphérie de fentes et monté sur un arbre intermédiaire entraîné par l'arbre du boîtier d'allumage à l'aide d'une roue dentée et d'une courroie. Pour ce qui est de l'étalonnage il est facile à vérifier. Il suffit en effet de se munir d'un tachymètre mécanique qu'il faudra maintenir contre l'arbre du dynamomètre

après avoir enlevé la protection. Comme il est utile aussi de nettoyer de temps à autre les fentes du disque, des impuretés qui atténuent la fiabilité du tachymètre.

II.5. Système de refroidissement du moteur

L'eau est pompée dans le collecteur de tête vers le radiateur qui dissipe la chaleur dans l'atmosphère et contribue à harmoniser l'écoulement. Elle passe ensuite dans la chemise d'eau du cylindre où elle se charge de la chaleur dégagée par le moteur. Les températures de l'eau sont mesurées à l'entrée et à la sortie par des capteurs installés dans la chemise. L'eau poursuit son chemin à travers la vanne de commande et le rotamètre et retourne finalement au collecteur de tête.

II.6. Instruments de mesure

Parmi les autres instruments que comporte le banc, on distingue le couple-mètre qui mesure le couple, les thermocouples qui donnent les différentes températures (eau de refroidissement du moteur, eau de calorimètre, gaz d'échappement etc..).

Le circuit de mesure de la puissance qui, grâce aux signaux électriques communiqués par le couple-mètre et le tachymètre, évalue électroniquement la valeur de la puissance au frein. Un calorimètre relié aux thermocouples, alimenté en eau du robinet du laboratoire permet la mesure de la température des gaz d'échappement. Et enfin le banc est équipé également d'un débitmètre visqueux relié à un manomètre dont le rôle est de mesurer la consommation d'air du moteur. [4]

II.7. Accessoires supplémentaires

Pour son fonctionnement en versions essence et propane ou gaz naturel, le banc est équipé respectivement d'un circuit d'allumage et d'un compteur de gaz avec pour chacun des cas un carburateur adéquat (carburateur à essence et carburateur à gaz).

Dans le but d'accroître la puissance de sortie du moteur par l'amélioration du rendement volumétrique (augmentation de la masse d'air aspirée dans la chambre de combustion), le banc d'essai dispose alors d'un compresseur électrique permettant la suralimentation du moteur.[5]

I. Introduction

A partir du cycle de fonctionnement d'un moteur à explosion quatre temps qui comprend les quatre phases, admission (air-combustible) compression du mélange explosion et enfin détente des gaz brûlés, On peut définir de ces cycles thermodynamiques les grandeurs qui caractérisent les moteurs.

La surface définie par la boucle pression /volume représente le travail fourni par le moteur à chaque cycle. La puissance utile est celle fournie par la boucle principale, la petite boucle représentant l'énergie perdue pendant la phase d'aspiration.

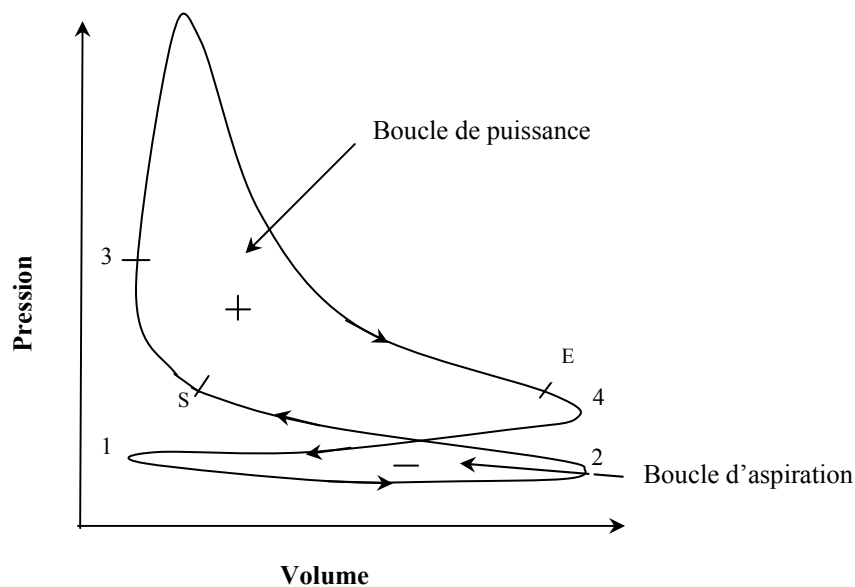


Fig.3.1 Diagramme P-V

II. Puissance indiquée

La puissance indiquée est la puissance correspondante au travail fourni par le moteur qui est représenté par l'aire du cycle de fonctionnement. Cette puissance est supérieure à celle effectivement disponible au vilebrequin du moteur, puisqu'elle ne tient pas compte des pertes mécaniques.

Le travail net fourni par cycle :

$$W_i = 0.1 \bar{P}_{mi} V_h \quad \text{III.1}$$

Avec \bar{p}_{mi} : pression moyenne indiquée (daN/cm²) ;

V_h : La cylindrée du moteur, égale à 582.10^{-6} m³ pour le TD43.

La puissance indiquée dépend de la fréquence des phases motrices. Dans un moteur à quatre temps, le cycle s'effectue en deux tours complets. [7]

La puissance indiquée est :

$$P_i = \bar{p}_{mi} V_h \frac{N}{2} \frac{1}{60} \quad (\text{III.2})$$

Avec

N : vitesse du moteur en tours/mn

III. Puissance effective

La puissance effective est la puissance au frein disponible au vilebrequin du moteur. Cette puissance s'obtient en mesurant le couple du moteur qui travaille contre l'action d'un frein. Le banc d'essai TD 43 dispose d'un frein électrique «dynamomètre ».

La formule de la puissance effective est :

$$P_e = \frac{2 \pi N C}{60} \quad (\text{III.3})$$

Avec C : couple indiqué par le potentiomètre ($N.m$)

IV. Puissance de friction

La puissance de friction représente les pertes d'énergie dues aux frictions mécaniques. Elle est soit déduite de la différence entre la puissance indiquée et la puissance au frein:

$$P_f = P_i - P_e \quad (\text{III.4})$$

Soit calculée à partir du couple C_f nécessaire pour faire tourner le moteur,

$$P_f = \frac{2 \pi N C_f}{60} \quad (\text{III.5})$$

Avec C_f : couple de friction indiqué par l'instrument de mesure ($N.m$)

V. Consommation spécifique de carburant

La consommation spécifique de carburant constitue un critère utile pour l'appréciation du caractère économique de l'énergie délivrée. Elle se définit comme suit :

$$Sfc = \frac{\dot{m}_f}{P_e} = \frac{\text{consommation de carburant (masse/unité de temps)}}{\text{puissance effective}} \quad (\text{III.6})$$

La consommation de carburant se mesurant le temps t nécessaire au moteur pour consommer un volume V_i ; V_i peut être de 8 ml, 16 ml ou 32 ml. Pour une densité d'eau de 1000 kg/m^3 , et un poids spécifique S_{gf} de $0,741 \text{ kg/m}^3$ pour l'essence et de $0,84 \text{ kg/m}^3$ pour le Gas-oil, on aura :

$$\dot{m}_f = \frac{S_{gf} 10^3 V_i 10^{-6}}{t} = \frac{S_{gf} V_i 10^{-3}}{t} \quad (\text{III.7})$$

Il convient de mesurer le temps de consommation de 10 litres ($0,01 \text{ m}^3$) de gaz. Le poids spécifique du propane est d'environ $1,92 \text{ kg/m}^3$ à 15° et $1,01325 \text{ bar}$, de sorte que

$$\dot{m}_{\text{gaz}} = \frac{0,0192}{t} \quad (\text{III.8})$$

Il y a lieu d'appliquer une correction quand la température et la pression du gaz ne sont pas standards.

$$\dot{m}_{\text{gaz}} = \frac{0,0192}{t} \frac{P_{\text{réel}}}{1013} \frac{(173 + 15)}{T_{\text{réel}}} \quad (\text{III.9})$$

VI. Rendements

VI.1. Rendement mécanique

Les pertes d'énergie dues aux frictions mécaniques font que la puissance recueillie sur l'arbre soit inférieure à la puissance indiquée ; d'où la notion du rendement mécanique :

$$\eta_m = \frac{\text{puissance effective}}{\text{puissance indiquée}} = \frac{P_e}{P_i} \quad (\text{III.10})$$

Puisque :

$$P_i = P_e + P_f \quad (\text{III.11})$$

$$\eta_m = \frac{1}{1 + \frac{P_f}{P_e}} \quad (\text{III.12})$$

VI.2. Rendement thermique

Le rendement thermique fournit une appréciation sur le rendement global du moteur, et se définit comme suit:[4]

$$\eta_b = \frac{\text{puissance effective}}{\text{puissance fournie}} = \frac{\text{puissance effective}}{\dot{m}_f \cdot \text{pouvoir calorifique inférieur}}$$

$$\eta_b = \frac{P_e}{\dot{m}_f P_{ci}} \quad (\text{III.13})$$

Puisque $P_e = \frac{\dot{m}_f}{Sgf}$

Alors

$$\eta_b = \frac{1}{Sfc P_{ci}} \quad (\text{III.14})$$

Sfc se mesure en kg/kWh et P_{ci} en kcal/kg. Pour obtenir une valeur correcte de η_b , on multiplie l'équation (III.14) par 861. [6]

VI.3. Rendement volumétrique

La puissance délivrée par un moteur dépend de la charge qu'il est possible d'introduire dans le cylindre. Dans la pratique, le moteur n'aspire pas une pleine cylindrée d'air à chaque course d'admission, et il convient de définir le rendement volumétrique de la manière suivante :

$$\eta_v = \frac{\text{masse d'air admise réellement}}{\text{masse d'air nécessaire pour remplir le volume de la cylindrée aux conditions atmosphériques}}$$

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_{th}} \quad (\text{III.15})$$

En assimilant l'air à un gaz parfait on a:

$$\dot{m}_{th} = \frac{\rho_{air} V_h}{t_{cycle}} \quad (\text{III.16})$$

Or on a $N \longrightarrow 60 \text{ s}$
 $1 \text{ cycle} \longrightarrow 2 \text{ tours} \longrightarrow x?$

Donc,

$$x = \frac{60.2}{N} \text{ (s)} \quad (\text{III.17})$$

Pour un gaz parfait

$$PV = nRT \quad (\text{III.18})$$

D'où

$$\rho_{air} = \frac{P_a}{rT_a} \quad (\text{III.18})$$

Alors

$$\dot{m}_{th} = \frac{P_a V_h}{120 r T_a} N \quad (\text{III.19})$$

Si l'on exprime: P_a (mbars)
 T_a (K)
 N (tours/mn)
 } $\rightarrow \dot{m}_{th}$ (kg/h)

La cylindrée du moteur TD43 est de 582 cm^3 . La masse d'air nécessaire pour remplir ce volume par unité de temps est de :

$$\dot{m}_{th} = \frac{582 \cdot 10^{-6} 10^{-2} \cdot 3600 P_a N}{120 \cdot 287 T_a} = 0.00608 \frac{P_a N}{T_a} \quad (\text{III.20})$$

\dot{m}_a étant la masse d'air réelle déterminée à partir de la courbe d'étalonnage.

On aura

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_a T_a}{0.00608 P_a N} = 164,47 \frac{\dot{m}_a T_a}{P_a N} \quad (\text{III.21})$$

VI.4. Rapport air/carburant

Le rapport air /carburant est le rapport du débit massique d'air par le débit massique de carburant.

D'où

$$L = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} \quad (\text{III.22})$$

Dans les conditions idéales, le rapport L doit être dans l'ordre de 14,6 :1 pour obtenir une combustion complète. [8]

I. Introduction

Dans cette partie nous avons procédé à l'entretien du banc d'essai afin de localiser les pannes et de changer les pièces défectueuses dans le but de le mettre en marche afin de l'exploiter à divers niveaux (travaux pratiques et recherche).

Nos manipulations ont touché les différents organes du banc d'essai à savoir le moteur, le système de graissage, le dynamomètre, la console de commande, la console de mesure, et l'armoire de commande.

Un nettoyage préalable de tous ces organes a été fait avant de passer à leur entretien.

II. Moteur

Dans le premier temps, nous avons procédé à la vérification des organes du moteur à savoir le piston, les segments et la culasse.

On a été amené au démontage de la culasse ensuite au démontage des soupapes et à la vérification de l'état du piston et des segments.

Après démontage et nettoyage des pièces, nous avons opéré un remontage des différentes pièces.

Nous avons constaté que ces pièces étaient en bon état.

III. Culbuteurs-tiges poussoirs

L'ensemble culbuteurs-tiges poussoirs commande l'ouverture et la fermeture des soupapes d'échappement.

Dans ces organes nous avons remarqué l'absence de raccordement culbuteur-tige poussoir.

Nous avons procédé à ce manque en proposant un modèle de raccordement.

Après avoir monté toutes les pièces du moteur nous avons procédé à la rotation du moteur sans allumage à l'aide de notre propre force en tournant le volant moteur.

Nous avons remarqué le libre déplacement du piston dans la chemise ainsi que l'ouverture et la fermeture des soupapes.

III.1. Conclusion

A part le raccordement (culbuteur - tige - poussoir) qui a été modifié on peut conclure que:

Les différents organes du moteur sont en bon état.

IV. Système de graissage

La pompe à huile est l'organe responsable de la lubrification des différents organes de moteur. La pompe à huile alimente le circuit de graissage en fournissant le débit nécessaire afin d'assurer le bon fonctionnement et la protection des organes.

Cette pompe est entraînée par un moteur électrique alimenté au moyen d'une tension de 220 volts.

Lors de la vérification de cette pompe, nous avons procédé à la vérification de la pompe en tant qu'organe mécanique et le moteur qui l'entraîne en tant qu'organe électrique.

La vérification de la pompe n'a révélé aucune anomalie dans son fonctionnement, l'organe mécanique du système de graissage était en bon état.

La vérification du moteur électrique a touché le bobinage. Le résultat de la vérification n'a relevé aucun défaut ou anomalie à signaler.

Après la vérification de chaque organe séparément la pompe et son moteur, nous avons procédé au changement de l'huile de graissage afin de passer à l'essai de l'ensemble.

Dans l'essai de l'ensemble, nous avons procédé à la vérification de l'ensemble du système de graissage dans le circuit complet (banc d'essai).

A l'aide des indicateurs qui permettent de donner l'information sur l'état de chaque organe.

Cette procédure de vérification n'a pas donné de résultat à cause de l'absence d'indications fournies par les indicateurs de la console de commande.

Pour cela nous avons opté à l'isolement du circuit de graissage du circuit complet (banc d'essai), c'est-à-dire, on alimente la pompe à huile directement à partir de la source de tension par l'intermédiaire de son moteur électrique. Cet essai a donné un bon résultat; ce qui signifie que l'ensemble est en bon état. (fig.4.1)

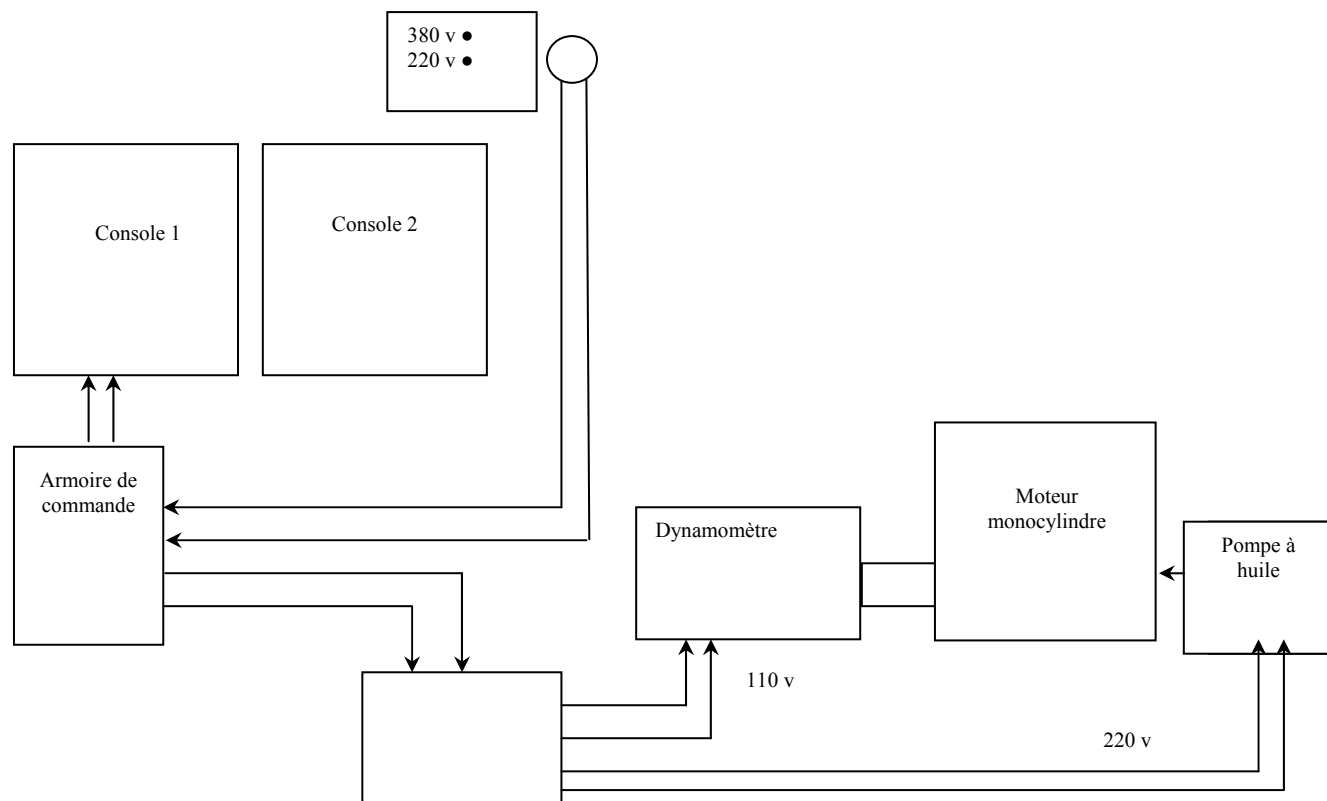


Fig.4.1 Circuit électrique principal du banc

IV.1. Conclusion

La vérification de l'ensemble pompe-moteur (système de graissage) a permis de conclure que:

- L'ensemble du système de graissage est en bon état.
- L'absence d'indications fournies par les indicateurs de la console de commande ne permettent aucune information sur les organes de moteur, ce qui nous a empêché de donner une conclusion sur l'état des organes concernés.

V. Partie électrique

Dans cette partie nous avons commencé par une vérification visuelle de tous les circuits, ensuite nous avons procédé à la vérification par un appareillage de mesure approprié.

Nous avons commencé notre vérification par le dynamomètre ensuite les deux consoles et enfin l'armoire de commande.

V.1. Dynamomètre

Dans cet organe nous avons vérifié :

- ✓ Le bobinage
- ✓ Le fonctionnement (démarrage, connexions).

V.2. Les consoles:

Ces deux consoles représentent l'interface de l'armoire de commande.

- ✓ Console des instruments de mesures.
- ✓ Console de commande électrique.

Nous avons vérifié la partie puissance (câble, connexions, et présence des tensions).

Cette vérification a permis de confirmer :

- Que les câbles sont en bons états,
- Que la connexion entre les différents composants électriques est bonne,
- La présence des tensions dans chaque borne.

Nous sommes ensuite passés à la vérification de la partie commande.

Dans cette partie nous avons vérifié les contacteurs et les relais.

Ayant constaté l'absence d'indications sur les deux consoles, nous avons conclu l'absence du signal de commande qui sort de l'armoire de commande.

V.3. L'armoire de commande :

L'armoire de commande représente une carte électronique (ANYSPEED), un contacteur et un transformateur (fig.4.3).

V.3.1. Transformateur :

La vérification a touché

- La partie puissance (présences des tensions).
- Le bobinage.

La vérification du transformateur a montré :

- La présence des tensions au niveau de ces bornes.
- Le bobinage du transformateur est en bon état.

V.3.2. Le contacteur:

Dans le contacteur nous avons vérifié

- La partie puissance (tension, contacts).
- La bobine.

Nous avons constaté :

- La présence des tensions aux bornes du contacteur.
- La bobine étant en bon état.

V.3.3. Carte électronique (ANYSPEED)

Elle représente des circuits électroniques.

Nous n'avons pas pu vérifier cette carte à cause de l'absence de son schéma d'implantation et de fonctionnement.

VI. Conclusion

L'entretien qui a touché les différents organes du banc d'essai a permis de cerner les pannes existantes.

Cette vérification a montré que les organes suivants : moteur, système de graissage, et quelques organes de la partie électronique étaient en bon état. La panne dans ce banc d'essai se localise au niveau de l'armoire de commande plus exactement dans la carte électronique dite (ANYSPEED).

Après la vérification de la partie puissance, nous avons constaté que le signal arrive à la carte. Ce signal doit sortir sous forme d'un signal de commande qui s'affiche sur son interface. Mais dans notre cas, nous avons remarqué l'absence du signal de commande, ce qui nous a conduit à localiser la panne dans cette boîte et plus exactement au niveau de la carte.

I. Introduction

Dans ce travail, nous présentons l'étude expérimentale que nous avons menée sur le banc d'essai moteur TE16 équipé d'un moteur FORD 2271-E à 4 cylindre en ligne, à taux de compression de 8:1 ayant une cylindrée de 1098 cm³. Il s'agit d'étudier, ici, les performances d'un moteur essence.

Deux séries d'expériences ont été effectuées pour différentes positions de l'accélérateur (position minimale et position maximale).

Les essais ont été faits avec la position maximale. Par la suite, nous avons comparé les résultats des performances obtenus pour le moteur essence avec les caractéristiques fournies par le constructeur.

II. Introduction

Le travail qui nous a été confié porte sur l'étude des performances du moteur Ford 2217E. Cette étude consiste à prendre en différents points les mesures de température, de pression ainsi que d'autres facteurs jouant sur la détermination des performances du moteur à partir du banc d'essai TE16.

III. Description du banc d'essai TE 16

III.1. Généralités

Le banc d'essai est conçu pour les moteurs standard FORD à essence, PETER PJ 1600 CC diesel, ou autres moteurs en option. Dans cette étude, on s'intéresse uniquement au premier moteur FORD. Il faut remarquer que les calculs restent valables pour les autres à part certains cas (vitesse, puissance, ...).

Le banc d'essai dispose de :

- un moteur Ford 1100 CC à essence.
- un dynamomètre électrique accouplé au moteur, qui sert à démarrer ce dernier. Une fois que le moteur est mis en marche, le dynamomètre devient générateur de courant.
- Une console de commande portant les instruments de mesure de certains paramètres du moteur.
- Un oscilloscope qui permet l'obtention des diagrammes pression en fonction du volume $P(v)$ et de l'angle $P(\theta)$.
- Un réservoir d'air relié au carburateur par un tube flexible.
- Un système de refroidissement comportant une pompe électrique.
- Un réservoir de carburant placé à un niveau supérieur du sol.
- Un calorimètre permettant le refroidissement des gaz d'échappement avant qu'ils soient évacués vers l'extérieur.

III.2. Les différents organes du banc d'essai

III.2.1. Le moteur

Le moteur qui fait l'objet de notre étude se caractérise par :

- Marque Ford (essence).
- Type 2217E.

- Cylindrée 1098 CC.
- Taux de compression constant 8.
- Course 53.29 mm.
- Alésage 80.98 mm.
- 4 temps, 4 cylindres.
- Refroidi à l'eau.

Sur la culasse se trouve un capteur de pression (piézoélectrique). L'ouverture du papillon du carburateur se fait à l'aide d'un bouton se trouvant sur la console marqué THROTTLE (accélérateur).

Le moteur est relié au dynamomètre par un manchon élastique. La poulie du moteur est marquée d'un trait blanc sur sa circonférence pour nous permettre de repérer le P.M.H.

Le contacteur d'allumage et les jauges de pression et de température d'huile du moteur sont disposées à proximité du moteur thermique. Pour une vitesse de rotation de 3600 tr/mn, il délivre une puissance de 22 kW.

III.2.2.Dynamomètre

Les caractéristiques du dynamomètre sont :

- capacité 22.5 kW.
- Vitesse maximale 3600 tr/mn.
- Bras de levier 368 mm.
- Puissance disponible lors de l'entraînement des moteurs thermiques égale à 0.85 fois celle de la puissance de freinage.

Le dynamomètre est conçu pour fonctionner dans les deux sens de rotation. Il comporte un régulateur à thyristor; c'est une unité de récupération à quatre secteurs qui retourne l'énergie générée sous forme de courant alternatif au réseau.

Avec cet arrangement, il est possible de faire varier la vitesse, en appliquant un couple constant sur le régulateur et vice-versa.

Un tacho-générateur est monté sur le dynamomètre et est en liaison avec le régulateur à thyristor. La précision de la vitesse est réalisée à 0.1 % de la pleine échelle. Une cellule de charge, reliée au carter du dynamomètre, mesure le couple de renversement de ce dernier.

III.2.3. Console de commande

La console est montée séparément au banc d'essai. Elle comporte les équipements nécessaires à l'ajustement de la charge et de la vitesse.

Le courant de charge et la vitesse sont donnés par des indicateurs analogiques.

Quatre indicateurs à affichage digital donnent.

- Le couple en N.m
- La vitesse en tr/mn.
- Le temps en sec.
- Le nombre total de tours.

Un boîtier est situé sur le coté gauche de la console pour l'alimentation en électricité. [9]

III.2.4. Oscilloscope

Comme il a été déjà signalé, l'oscilloscope nous permet d'avoir les digrammes $P = f(V)$ et $P = f(\theta)$ du moteur ceci après un réglage minutieux du codeur.

Le codeur est fixé sur un cache de sécurité, ce dernier est fixé au moteur du coté poulie où un axe en provenance de l'intérieur du moteur, plus précisément de l'axe du vilebrequin dépasse la poulie, pour que le codeur puisse être accouplé avec celui-ci.[10]

III.2.5. Réservoir d'air

Le réservoir d'air est relié au carburateur par l'intermédiaire d'un tube flexible après passage par le filtre à air. Sur le réservoir se trouve un débitmètre visqueux d'eau colorée, gradué en millimètre d'eau ($\text{mm } H_2O$) donnant la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur du réservoir.

Du coté gauche de ce dernier se trouve un orifice de décharge, de coefficient k_3 .

III.2.6. Système de refroidissement

L'eau provenant du robinet est récupérée dans un bac, la pompe la fait monter vers le débitmètre en passant dans les conduites où se trouve un thermomètre.

Une fois l'eau traverse le débitmètre, elle entre dans le moteur en passant en premier lieu par la pompe qui la fait circuler dans le bloc moteur ainsi que la culasse. Un échange de chaleur se produit, l'eau froide venant de l'extérieur gagne de la chaleur par contre celle se trouvant à

l'intérieur en perd, c'est le thermomètre qui le mentionne quand l'eau quitte le moteur pour regagner une autre fois le bac. Le surplus d'eau est évacué grâce à un orifice sur la partie supérieure du bac.

III.2.7. Calorimètre des gaz d'échappement

Le calorimètre est en matière métallique ; c'est un échangeur de chaleur cylindrique contenant de l'eau qui circule de haut en bas. Dans ce cylindre existe plusieurs autres cylindres de diamètre inférieur permettant l'évacuation des gaz d'échappement.

La circulation de l'eau est à contre-courant, juste à l'entrée et sortie du calorimètre se trouvent deux thermomètres, sur la partie inférieure et la partie supérieure du calorimètre se trouvent deux fils de connexion au thermocouple. [9]

III.2.8. L'analyseur de gaz d'échappement

L'analyseur de gaz d'échappement **ETT 8.55** sert à l'analyse des gaz d'échappement de voitures, au contrôle ou au diagnostic du moteur.

L'appareil peut être utilisé sur les moteurs à essence à 4 temps et le moteur WANKEL à 4 temps.

En outre l'appareil **ETT** permet la mesure de la vitesse de rotation et de la température du moteur.

Les composants des gaz d'échappement analysés sont *CO*, *HC*, *CO₂* et *O₂*.

Cet appareil peut être utilisé individuellement ou en liaison avec des systèmes de test, des interfaces correspondantes sont prévues à cet effet. [11]



Fig.5.1 Analyseur de gaz

III.2.9. Réservoir de carburant

Le réservoir de combustible est placé sur un support en acier comprenant un réservoir de 25 litres de combustible avec jauge de niveau, un filtre et un débitmètre volumétrique à une capacité 50, 100 et 200 centimètre cubes. A l'aide d'un chronomètre on peut mesurer la durée de la consommation de 50 CC donc le débit volumétrique. La liaison réservoir carburateur est assurée par un tuyau en matière plastique transparent.

I. But des essais à réaliser

Au cours de la partie expérimentale les essais réalisés pour tester les performances du moteur, tels que puissance, consommation spécifique et rendement thermique et volumétrique afin de suivre leurs évolutions en fonction de la fréquence de rotation, et de comparer les résultats obtenus avec ceux du constructeur.

Pour compléter notre étude sur le banc d'essai, nous avons envisagé de faire des analyse des gaz d'échappement pour évaluer la quantité d'énergie perdue avec les gaz d'échappement, malheureusement l'analyseur de gaz dont dispose le laboratoire n'étant pas étalonné donc non fiable quant aux résultats qu'il fournirait, nous avons alors bondonné cet axe.

II. Test de performance du moteur

Le test de performance du moteur consiste à effectuer des mesures d'un certain nombre de paramètres pour différents modes de fonctionnement du moteur. Ces paramètres sont : le couple développé, la consommation de combustible par unité de temps, et le débit d'air en fonction de la fréquence de rotation. Ils seront ensuite utilisés pour déterminer la puissance et la consommation spécifique.

Afin d'effectuer les tests de performances, nous disposons d'une génératrice couplée à l'arbre du moteur. Lors des essais, cette génératrice servira de frein électrique qui permet en même temps la mesure du couple développé par le moteur. De cette façon, on réalisera des mesures du couple et aussi de la vitesse de rotation pour différentes charges et différentes positions de l'accélérateur. On effectuera par la même occasion des mesures de débit d'air et de combustible. Ces paramètres permettront de tracer les courbes explicitant l'évolution de la puissance, et de la consommation spécifique en fonction de la vitesse pour différentes charges.

Le tableau [1] (Annexe B) présente les résultats des mesures et les figures (fig.6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5), illustrent l'évolution de la puissance, du couple moteur, de la consommation

spécifique, du rendement volumétrique et du rendement thermique en fonction de la vitesse de rotation.

Le graphe présenté sur la (fig. 6.2) montre que pour un fonctionnement à plein régime et à pleine charge, c'est-à-dire l'accélération en position maximale et à 3600 tr/mn le moteur développe une puissance de 21,22 kW. Les résultats obtenus sont acceptable, très significatifs et dans leur majorité conformes à ceux donnés par le constructeur (Annexe A) avec une erreur de 3,6%.

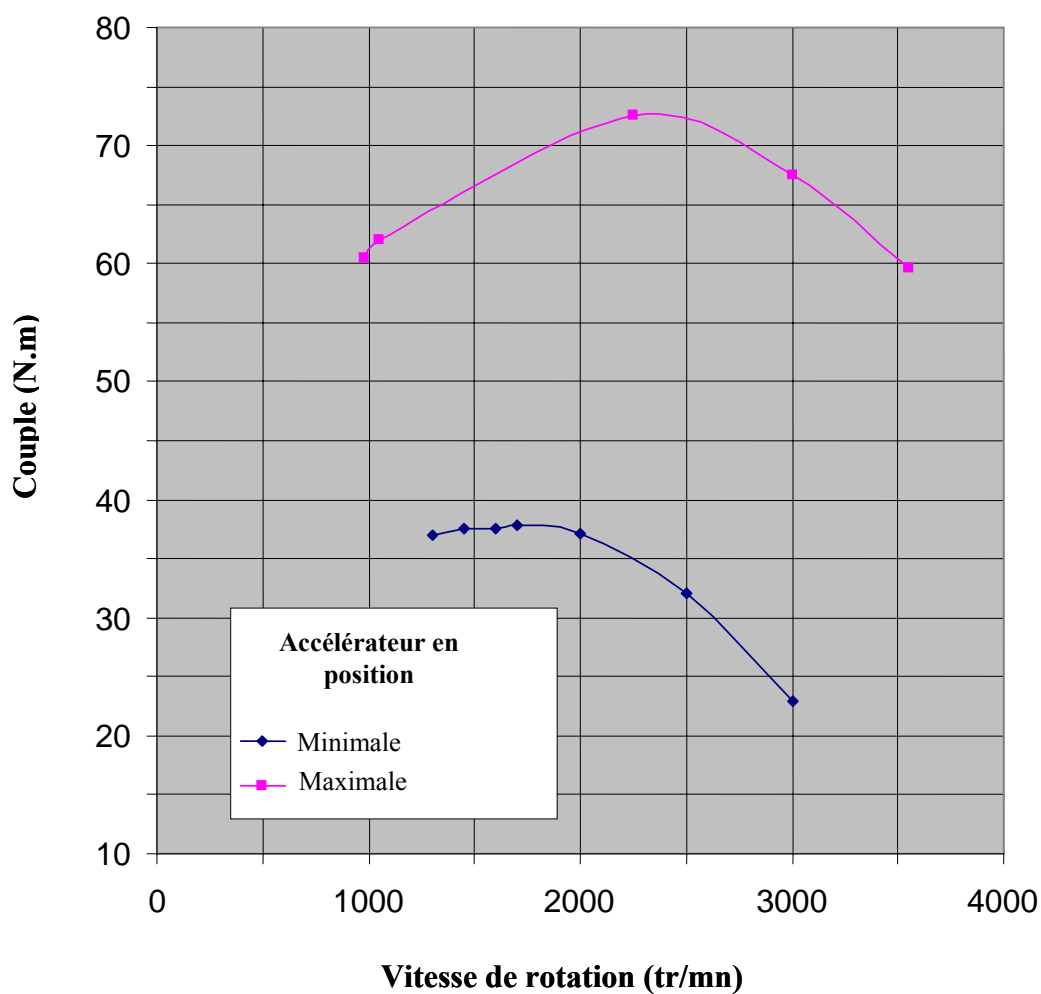


Fig.6.1 Courbes de variation du couple moteur en fonction de la vitesse de rotation pour différentes positions de l'accélérateur

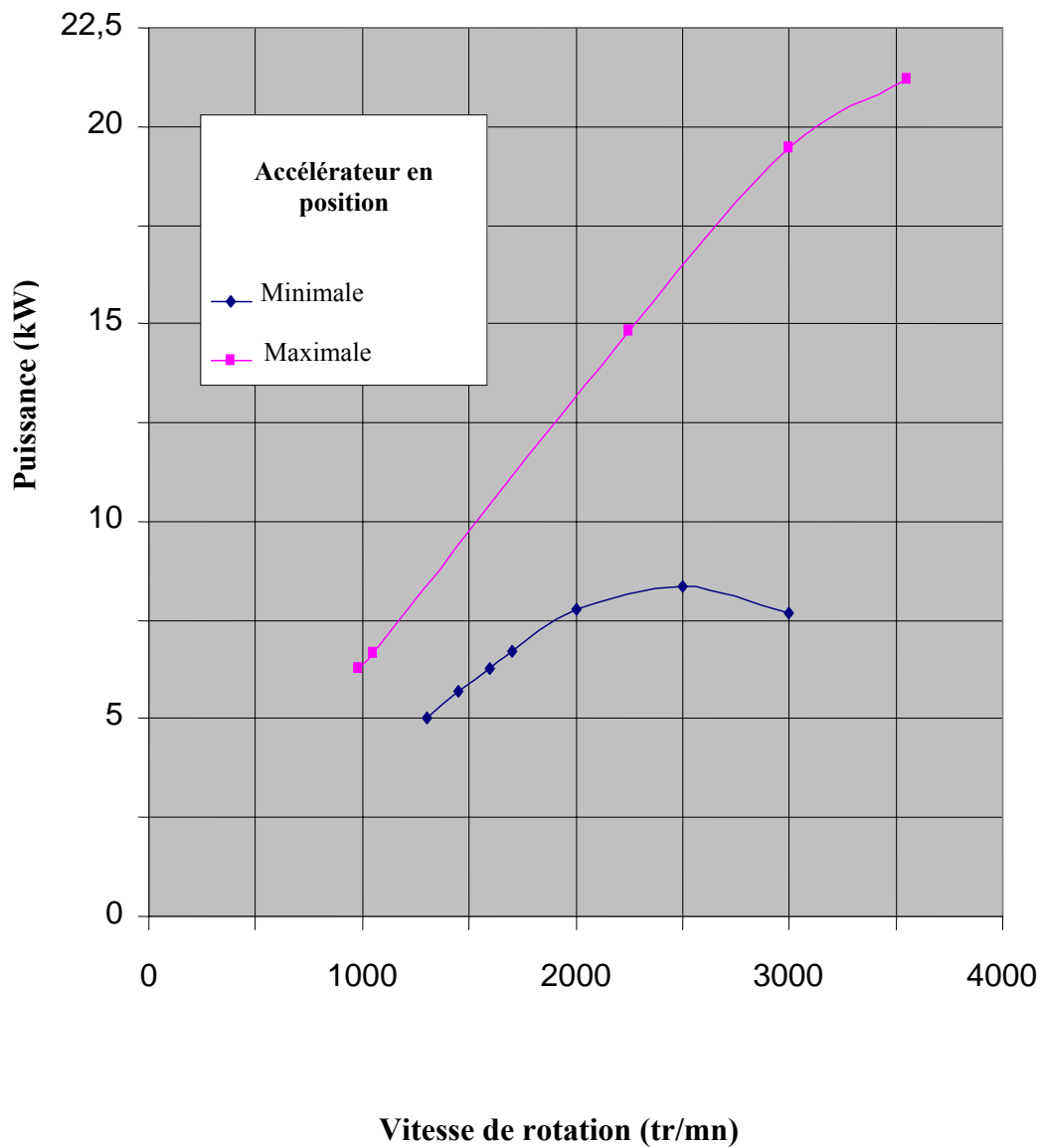


Fig.6.2 Courbes de variation de puissance en fonction de la vitesse de rotation pour différentes positions de l'accélérateur

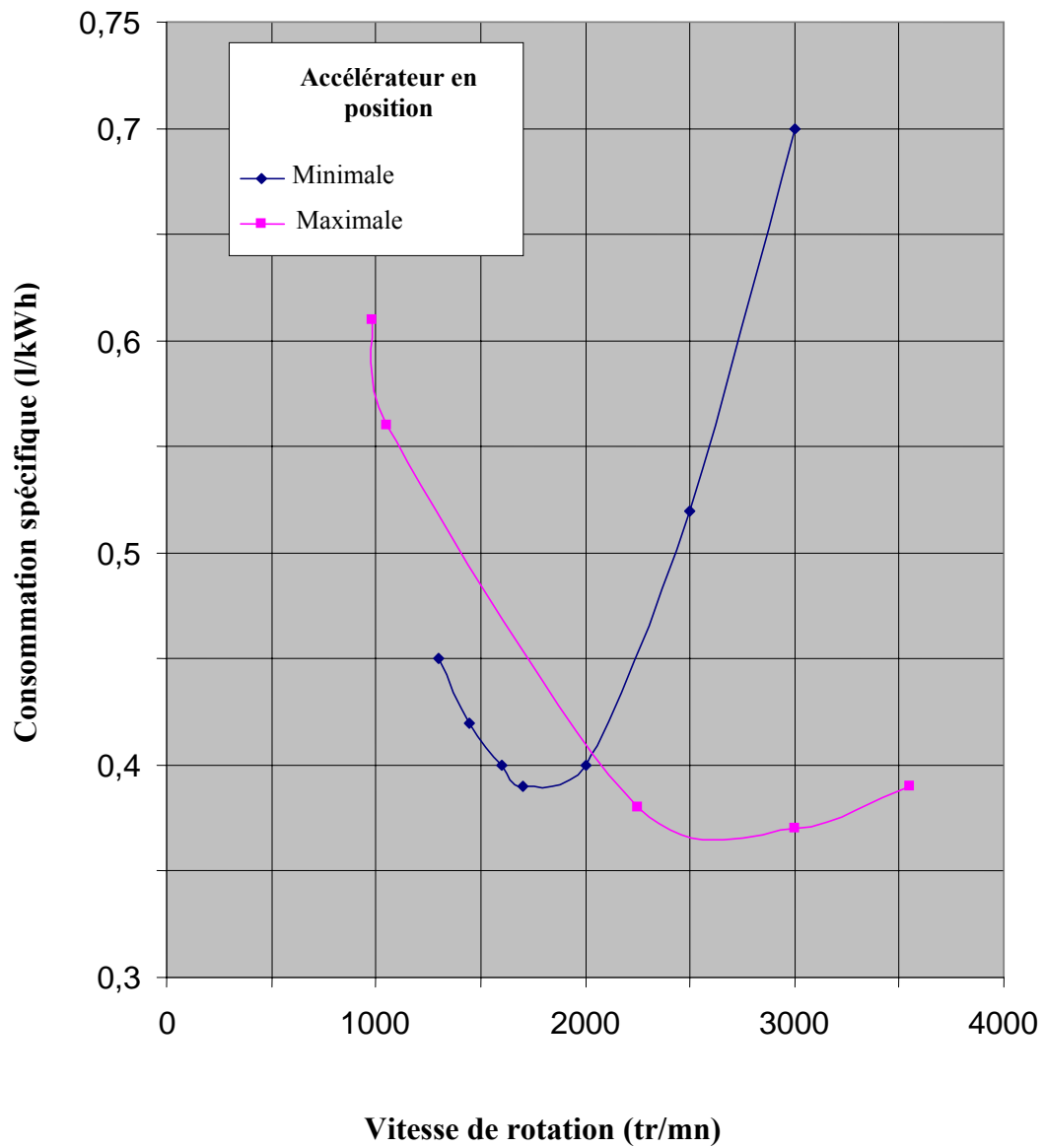


Fig.6.3 Courbes de variation de la consommation spécifique en fonction de la vitesse de rotation pour différentes positions de l'accélérateur

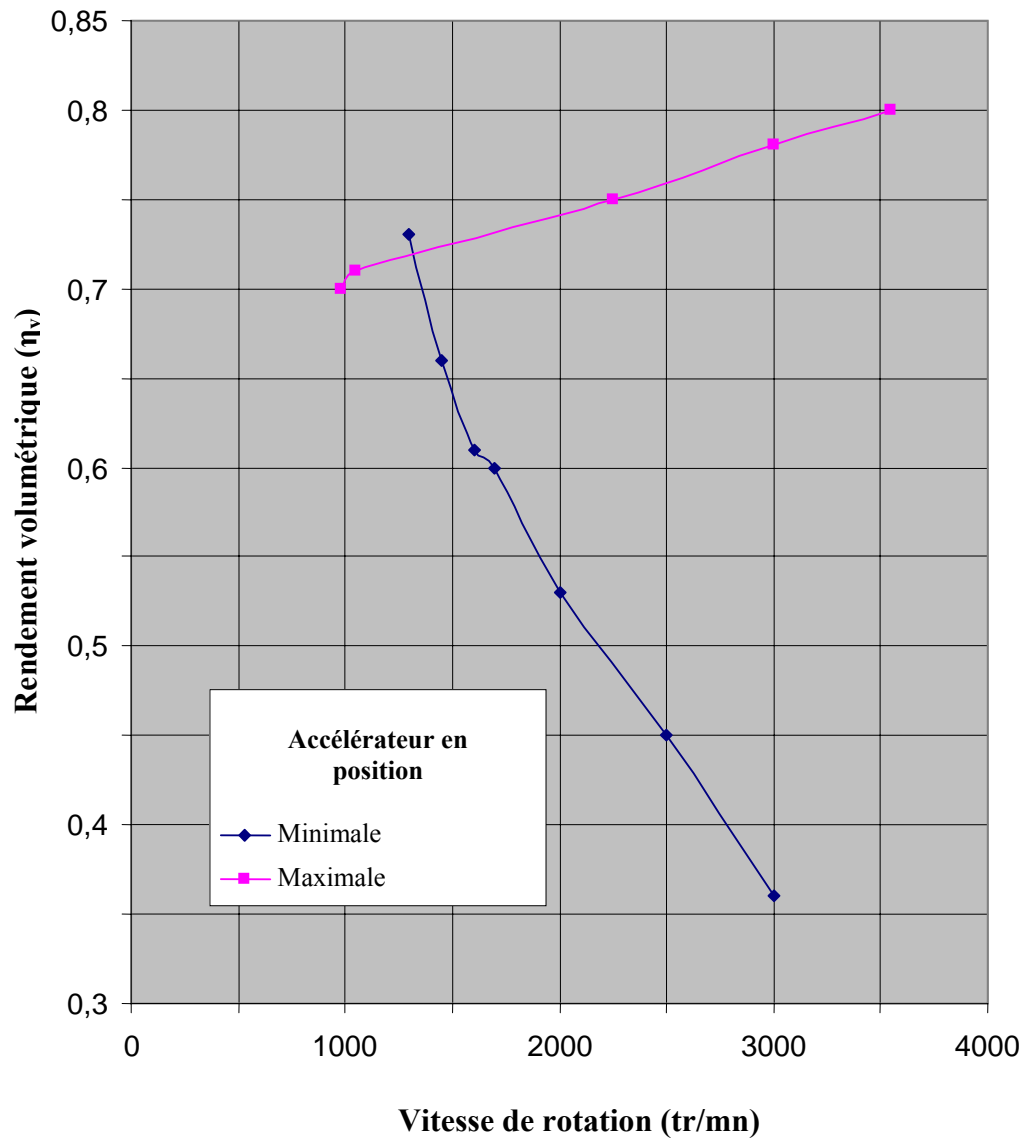


Fig.6.4 Courbes de variation de rendement volumétrique en fonction de la vitesse de rotation pour différentes positions de l'accélérateur

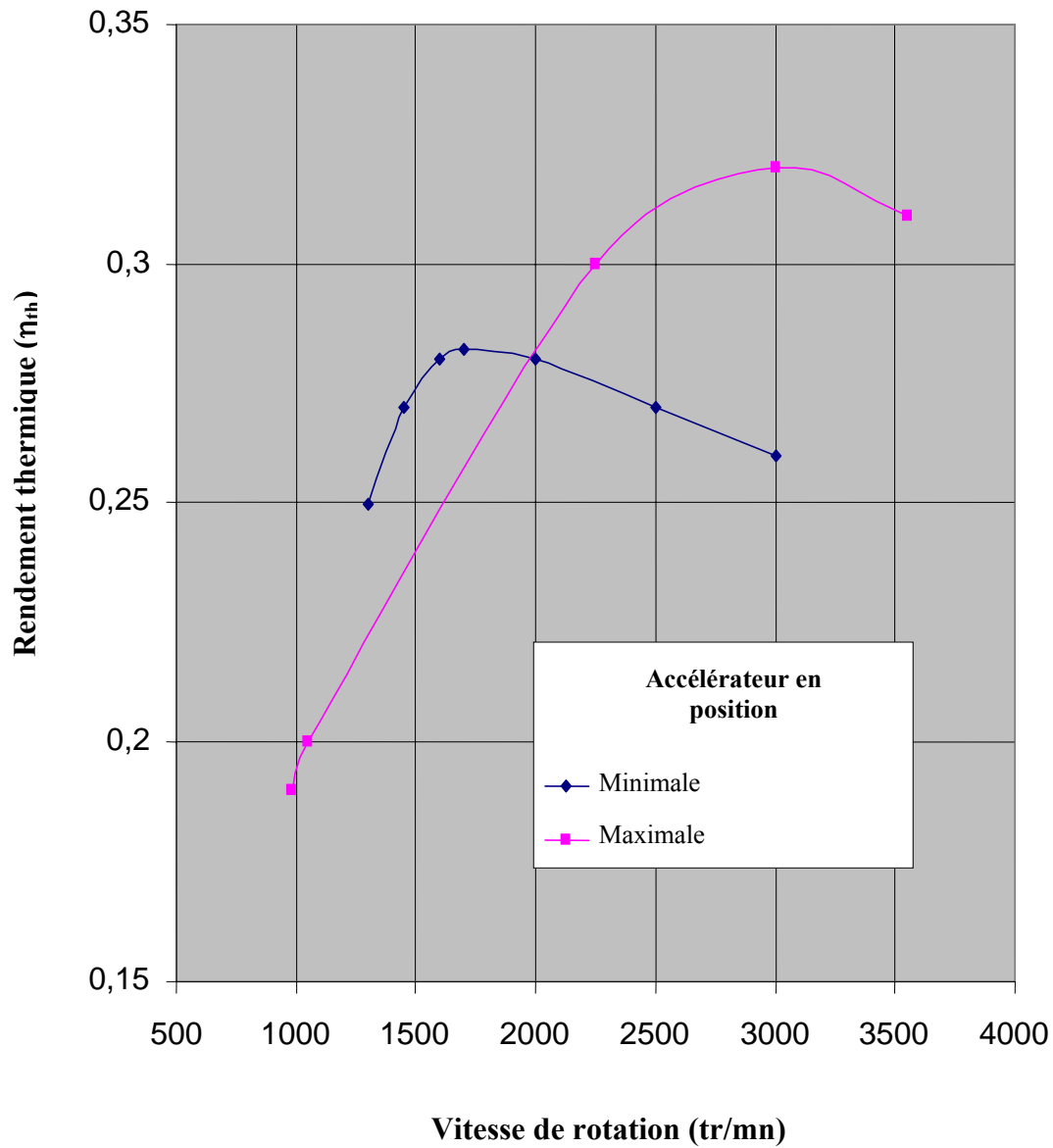


Fig.6.5 Courbes de variation de rendement thermique en fonction de la vitesse de rotation pour différentes positions de l'accélérateur

III. Constatation

Dans cette partie on impose une vitesse et on suit l'évolution de la puissance, couple, consommation spécifique et rendements (pour deux positions de l'accélérateur) en fonction de la vitesse de rotation ; on dit qu'on travaille à vitesse constante.

Les courbes de puissance, sont approximativement des droites de pente positive, dans les intervalles, compris entre 1000-3000 tr/mn et 1000-2000 tr/mn respectivement pour une position maximale et minimale de l'accélérateur, puis s'incurve à des régimes élevés.

Plus la position de l'accélérateur est grande plus le couple est important, pour une position maximale de l'accélérateur la courbe (fig.6.1) montre que le couple augmente proportionnellement à l'augmentation de la fréquence de rotation, jusqu'à atteindre un maximum, puis diminue au régime élevé.

Le couple augmente légèrement puis diminue rapidement lorsqu'il s'agit d'une position minimale.

La consommation spécifique est une courbe parabolique présentant un minimum, les courbes diminuent puis augmentent légèrement pour une position maximale et une augmentation rapide, pour une position minimale. Ce minimum qui se manifeste en chaque position de l'accélérateur correspond à la valeur économique de fonctionnement.

Le rendement volumétrique varie d'une manière plus ou moins linéaire, proportionnellement et inversement respectivement aux positions maximale et minimale de l'accélérateur.

Le rendement thermique augmente à chaque position de l'accélérateur pour atteindre un maximum puis diminue.

IV. Interprétation

Le fonctionnement du moteur est stable et régulier uniquement aux régimes compris entre 2250 tr/mn et 3550 tr/mn. Au-dessous de 1050 tr/mn le fonctionnement est instable et même impossible, cependant qu'au-dessus de 3550 tr/mn le moteur s'emballe.

Par exemple, la courbe de couple d'un moteur normal à essence atteint son maximum pour un certain nombre de tours 2250 tr/mn, appelé régime de couple maximal ; enfin, elle s'incurve vers le bas (ce développement résulte essentiellement de la variation du rendement volumétrique).

Théoriquement, pour un régime inférieur à celui du couple maximal, le fonctionnement du moteur est instable. Si une cause extérieure quelconque, telle qu'une charge, provoque l'augmentation du couple résistant, l'équilibre entre le couple moteur et le couple résistant est rompu et le nombre de tours du moteur diminue. L'effet de la diminution du couple moteur est compensé par l'augmentation de la vitesse ce que veut dire augmentation de débit de combustible. Cela est valable pour une plage de fonctionnement stable. [12]

De ce fait, le fonctionnement du moteur sera plus constant à partir d'un certain nombre de tours 1050 tr/mn. Il est évidemment possible d'augmenter la puissance en agissant sur l'accélérateur et en se déplaçant ainsi suivant une courbe de couple plus élevée.

Lorsqu'on manipule à un débit maximal, dans la plage qui définit le régime de fonctionnement souple dans notre cas 2250-3550 tr/mn, c'est-à-dire au-dessus du régime de couple maximal, s'il y a demande de couple résistant la vitesse de rotation diminue, le couple moteur augmente et un nouvel équilibre s'établit ; en revanche, si le couple résistant diminue, le moteur accélère.

Ensuite, le couple moteur diminue et l'équilibre est rétabli à un nouveau régime supérieur au précédent. Il existe toutefois une limite à la vitesse de rotation du moteur, limite que l'on ne peut dépasser sans risque pour les organes mécaniques.

La consommation spécifique et la puissance varient inversement donc le maximum de puissance correspond au minimum de consommation spécifique. On détermine ainsi la vitesse économique du moteur.

A vitesse élevée, le moteur n'aspire pas une pleine charge d'air à chaque course d'admission ; ceci explique le fait de la décroissance du rendement volumétrique. En contre-partie et avec les mêmes vitesses de rotation, le rendement thermique augmente, car, comme il a déjà été signalé, les pertes par friction deviennent importantes.

L'augmentation de la quantité de carburant admise dans le cylindre due à l'élévation de la pression d'admission entraîne une augmentation de l'énergie fournie par combustion, par conséquent l'effet de la détente reçue par le piston est plus important, ce qui explique l'amélioration de la puissance et du couple donc les performances du moteur.

Conclusion

L'entretien et la maintenance des équipements mécaniques et électriques sont des opérations essentielles pour assurer la continuité de leur fonctionnement.

C'est de ce contexte que découle le but de notre projet qui consiste à la mise en marche du banc d'essai.

Malheureusement nous n'avons pas pu atteindre notre objectif tracé au début malgré que nous ayons localisé la panne au niveau de l'armoire de commande.

Comme la remise en marche de ce banc d'essai nécessite le changement d'une carte électronique. Le département ne pouvant fournir cette carte en temps opportun, nous n'avons malheureusement pas pu faire démarrer le banc.

Nous dirons que l'occasion qui nous a été offerte de travailler sur un tel banc d'essai, a été bénéfique à plus d'un titre. Nous sommes arrivés à assimiler son principe de fonctionnement, ainsi que beaucoup de notions d'électricité.

Pour des études ultérieures, nous proposons de changer la carte électronique pour le banc d'essai TD43 et d'étalonner l'analyseur des gaz d'échappement, afin de l'exploiter à divers travaux de recherche ; ce qui permettra aux promotions à venir de réaliser des manipulations très utiles pour leur formation et qui renforcera davantage leurs connaissances dans le domaine des moteurs.

Moteur FORD 2271-E Industriel Engine-1.0981-Essence

Type	4 cylindres en ligne	Ouverture des soupapes	
Alésage	80.98 mm	Admission	0.20 mm
Course	53.29 mm	Echappement	0.56 mm
Cylindrée	1098 cm ³	Système électrique	
Taux de compression	8 :1	Ouverture contacteur	0.60 mm
Ordre d'allumage	1 2 4 3	Avance à l'allumage	6° avant PMH
Essence recommandée	91 Octane	Puissance	22 kW à 3600 tr/mn

Caractéristiques techniques du moteur

Annexe B

Date : 26/05/2004				Baromètre : 759 mm		Température d'air: 22°C				Volts: 380/3/50 Hz				S2741	
Moteur : FORD 2271-E				Alésage : 80,98 mm	Course : 53.29 mm	Cylindrée : 1098 CC	Nb.Cylin 4			Carburant. Essence	Ind.Octane 91		Huile : SAE50		
Puissance.kw = $\frac{\text{N.m} \cdot \text{tr/min}}{9549,29}$				p.m.e =11,45 .N.m .KN/m ²		Débit.carb [L/h]=180/t _{50cc}				Φ.Orifice = 43.85 mm				Réser.d'air: 0.69/1.07 m	
Tachy [tr/mn]	Compteur			Couple N.m	Puissance K.W	Pme KN/m	Tps.moy 50 CC [sec]	carburant		Rendes.		Air		Huile	
	Tours	Temps [s]	Tr/mn					[L/h]	SFC [l/KWh]	Volum	Therm.	mm H2O	L/s	°C	Bar
Position minimale															
1300	431	1.9	1299	37.00	5.03	423.65	79.65	2.26	0.45	0.73	0.25	5.5	8.6	62	1.6
1450	200	8.3	1446	37.50	5.69	429.37	75.31	2.39	0.42	0.66	0.27	5.7	8.76	64	1.8
1600	361	13.5	1604	37.50	6.28	429.37	72.00	2.50	0.40	0.61	0.28	6	8.99	66	1.8
1700	1574	55.2	1682	37.80	6.70	432.81	69.77	2.58	0.39	0.60	0.282	6.5	9.35	68	1.8
2000	538	16.3	1980	37.10	7.77	424.79	58.06	3.10	0.40	0.53	0.28	7	9.70	70	1.8
2500	131	3.18	2500	32.00	8.37	366.40	41.38	4.35	0.52	0.45	0.27	7.25	9.88	72	2
3000	1337	25.9	3097	23.00	7.70	263.35	33.40	5.39	0.70	0.36	0.26	7.5	10.00	72	2
Position maximale															
980	294	17.9	985	60.40	6.26	691.60	47.47	3.79	00.61	00.70	00.19	2.75	6.08	72	1.8
1050	223	12.9	1037	62.00	6.67	709.90	47.19	3.81	00.56	00.71	00.20	3.6	6.92	72	1.8
2250	684	18.3	2243	72.50	14.84	830.12	27.63	6.51	00.38	00.75	00.30	17.71	15.44	74	2
3000	286	5.28	2948	67.50	19.45	772.87	23.34	7.71	00.37	00.78	00.32	34.05	21.41	79	2.2
3550	314	5.37	3510	59.6	21.22	682.42	22.90	7.86	00.39	00.80	00.31	50.19	25.99	80	2.2

Tableau.1 Résultats des mesures pour le test de performance, essais réalisés à vitesses constantes

V. Partie expérimentale

V.1. Formules de calcul utilisées

Pour les définitions voir CHAPITRE III :

V.1.1. Puissance effective

$$P_e = \frac{2\pi N}{60} C$$

p_e : Puissance effective [Watt]

C : Couple [N.m]

N : Vitesse de rotation [tr/mn]

V.1.2. Consommation spécifique du carburant

$$cfs = \frac{\dot{m}_f}{p_e}$$

La consommation volumique du carburant est calculée :

$$\dot{m}_f = 3600 \frac{V_c}{t}, \text{ dans notre cas } V_c = 50 \text{ cm}^3, \dot{m}_f = 180/t$$

\dot{m}_f : débit volumique du combustible [L/h]

t : temps [s]

V_G : volume [L]

V.1.3. Puissance moyenne indiquée

$$\text{En regroupant les deux équations} \left\{ \begin{array}{l} P_e = \frac{2\pi N}{60} C \\ P_e = \frac{pme N V_c}{120 \cdot 10^4} \end{array} \right. \Rightarrow pme = 11.44C$$

pme : pression moyenne effective [kN/m²]
 V_C : cylindrée [Cm³]

V.1.4. Débit d'air admis réellement

$$Q_a = 3.536.10^{-3} D^2 \sqrt{(h_0 T_a / P_a)}$$

Q_a : débit d'air admis dans les conditions ambiantes [l/s]
 P_a : pression ambiante [KN/m²]
 T_a : température ambiante [K]
 h_0 : différence de pression [cm H₂O]
 D^2 : diamètre de l'orifice [mm]

V.1.5. Rendement volumétrique

$$\eta_v = \frac{\text{quantité d'air admise réellement}}{\text{quantité d'air pour contenir le cylindre}}$$

$$\eta_v = \frac{120 Q_a}{N V_C}$$

$$\eta_v = \frac{120.10^3}{N 1098} \cdot Q_a$$

V.1.6. Rendement thermique

$$\eta_{th} = \frac{\text{puissance effective}}{\text{puissance fournie}}$$

$$\eta_{th} = \frac{P_e}{\dot{m}_f \cdot Sgf P_{ci}}$$

P_{ci} : pouvoir calorifique inférieur 10400 Kcal/kg
 Sgf : poids spécifique du carburant 0.75 kg/m³

Tout calcul fait, on aboutit à :

$$\eta_{th} = \frac{0.1146}{\dot{m}_f}$$

Spécification du moteur équipé le banc d'essai TD43

Moteur diesel marin à quatre temps Farryman A30 refroidi par eau.

Caractéristiques :

Taux de compression	5:1 à 11:1 (essence)
	12:1 à 18:1 (diesel)
Alésage	95 mm
Course	82 mm
Cylindrée	582
Régime	1000 à 2500 tr/mn
Puissance maximale	7 kW
Coulpe maximum	50 Nm
Calage de l'allumage (essence)	de 30° avant à 10° après le PMH
Venturi (essence)	19, 21, 23, 25

Bibliographie

- [1] J.Chagette. « Technique automobile ». Le moteur, Dunod, 1977, Paris.

- [2] J.R. Heywood. « Internal combustion engines fundamentals ». Mc Graw-Hill , Inc, 1988.

- [3] J.Tray. « Moteur à allumage commandé ». Technique de l'ingénieur, BM 2540

- [4] Delta-lab : Bulletin technique du banc d'essai TD43

- [5] Baleh, R. Banc d'essai d'un moteur C.F.R à taux de compression variable. Mémoire de fin d'étude 1987.

- [6] A.J.Labadi . Performance d'un moteur à taux de compression variable. Mémoire de fin d'étude 1988.

- [7] Bosch: MEMOTHECH Technique Automobile.

- [8] Groupement Scientifique Moteurs. « La combustion dans les moteurs d'automobile », Editions technip, 1987, Paris.

- [9] Bulletin technique du banc d'essai TE16

- [10] PLINT ENGINEERS : ELECTRIC ENGINE INDICATOR TE.28

- [11] Bosch operating instruction exhaust-gas analyser ETT 8.55 EU
Robert Bosch GmbH ALLEMAGNE

- [12] <http://www.leclubclio.free.fr>