



ROYAUME DU MAROC

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل
Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail
DIRECTION RECHERCHE ET INGENIERIE DE FORMATION

**RESUME THEORIQUE
&
GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES**

MODULE N° 8 **ETUDE DES MOTEURS
THERMIQUES**

SECTEUR :

REPARATION DES ENGIN A MOTEUR

SPECIALITE :

DEEA

NIVEAU :

TECHNICIEN SPECIALISE

Document élaboré par :

Nom et prénom
MICU Constantin

EFP
ISTA KHOURIBGA

DR
CT

SOMMAIRE

	Page
<i>Présentation du module</i>	6
Résumé de théorie	7
I. <i>Etude du cycle à quatre temps des moteurs à essence et diesel</i>	8
I.1. <i>Moteurs à piston alternatif.</i>	8
I.2. <i>Cycle à quatre temps du moteur à piston alternatif.</i>	9
I.3. <i>Fonctionnement du moteur à essence à quatre temps.</i>	10
I.4. <i>Fonctionnement du moteur diesel à quatre temps.</i>	13
I.5. <i>Diagramme du cycle à quatre temps</i>	15
I.6. <i>Moteur multicylindrique</i>	17
II. <i>Distinction entre les moteurs à essence et diesel.</i>	18
II.1. <i>Comparaison entre les moteurs à essence et diesel.</i>	18
II.2. <i>Avantages du moteur diesel.</i>	19
II.3. <i>Inconvénients du moteur diesel.</i>	20
III. <i>Fonctionnement de la distribution.</i>	21
III.1. <i>Nécessite et structure de la distribution.</i>	21
III.2. <i>Diagramme de distribution.</i>	21
III.3. <i>Architecture de la distribution.</i>	22
III.4. <i>Commande de l'arbre à cames.</i>	23
III.5. <i>Commande des soupapes.</i>	26
IV. <i>Fonctionnement des systèmes de graissage et de refroidissement</i>	29
IV.1. <i>Nécessité et fonctionnement du système de refroidissement</i>	29
IV.2. <i>Nécessité et fonctionnement du système de graissage</i>	31
V. <i>Contrôle de l'étanchéité de la chambre de combustion.</i>	33
V.1. <i>Etanchéité de la chambre de combustion.</i>	33
V.2. <i>Compressiomètre.</i>	34
V.3. <i>Contrôle des pressions</i>	35
Guide de travaux pratique	36
I. <i>TP.1 Diagnostic de l'état du moteur</i>	37
I.1. <i>Objectifs visés.</i>	37
I.2. <i>Durée du TP</i>	37
I.3. <i>Matériel par équipe</i>	37
I.4. <i>Description du TP.</i>	37
I.5. <i>Déroulement du TP</i>	37
<i>Evaluation de fin de module</i>	39
 <i>Liste bibliographique</i>	 40
 <i>Annexes</i>	

MODULE: 08

ETUDE DES MOTEURS THERMIQUES

Durée : 60 H

90 % : théorique

10 % : pratique

**OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT**

COMPORTEMENT ATTENDU

*Pour démontrer sa compétence, le stagiaire doit **faire l'étude du moteur thermique**, selon les conditions, les critères et les précisions qui suivent :*

CONDITIONS D'EVALUATION

- Travail individuel
- A partir de :
 - Consignes, directives et instructions
 - Schémas et dessins à compléter
 - Diagrammes à tracer
 - Contrôle de connaissances
 - Cas réels ou simulés
- A l'aide de :
 - D'une bibliographie technique de référence : documentation technique et les manuels de réparation
 - Des outils d'atelier
 - Des équipements
 - Matière d'œuvre

CRITERES GENERAUX DE PERFORMANCE

- Interprétation des différentes phases du diagramme ;
- Application correcte des connaissances pour le traçage des diagrammes ;
- Utilisation des données du constructeur pour la réalisation du diagramme propre pour chaque type du moteur ;
- Calcul exact des caractéristiques du moteur ;

**OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT (suite)**

**PRECISIONS SUR LE
COMPORTEMENT ATTENDU**

**CRITERES PARTICULIERS DE
PERFORMANCE**

- | | |
|--|--|
| A. <i>Etudier le cycle à 4 temps pour moteurs à essence et diesel.</i> | § <i>Explication correcte du diagramme d'un cycle à 4 temps essence et diesel.</i> |
| B. <i>Expliquer le fonctionnement et distinguer entre moteurs à essence et diesel.</i> | § <i>Explication correcte.</i>
§ <i>Distinction correcte entre parties et composantes.</i> |
| C. <i>Expliquer le fonctionnement de la distribution.</i> | § <i>Explication et dessin correct de l'épure.</i>
§ <i>Enumération exacte des différents types de distribution.</i> |
| D. <i>Expliquer le fonctionnement des Systèmes de graissage et de Refroidissement.</i> | § <i>Explication juste des systèmes de graissage et de refroidissement.</i> |
| E. <i>Effectuer un diagnostic d'approche.</i> | § <i>Choix et utilisation corrects des instruments appropriés</i>
§ <i>Détection et interprétation juste des anomalies de fonctionnement.</i> |

OBJECTIFS OPERATIONNELS DE SECOND NIVEAU

LE STAGIAIRE DOIT MAITRISER LES SAVOIRS, SAVOIR-FAIRE, SAVOIR-PERCEVOIR OU SAVOIR-ETRE JUGES PREALABLES AUX APPRENTISSAGES DIRECTEMENT REQUIS POUR L'ATTEINTE DE L'OBJECTIF DE PREMIER NIVEAU, TELS QUE :

Avant d'apprendre à étudier le cycle à 4 temps d'un moteur à essence et moteur diesel (A) :

1. .Définir le cycle à 4 temps du moteur thermique.
2. .Décrire le principe de fonctionnement d'un moteur à essence et d'un moteur diesel.

Avant d'apprendre à expliquer le fonctionnement et distinguer entre un moteur à essence et un moteur diesel (B) :

3. . Connaître les spécifications de chacun des moteurs.
4. .Citer les avantages et les inconvénients d'un moteur à essence devant un moteur diesel.

Avant d'apprendre à expliquer le fonctionnement de la distribution (C) :

5. .Décrire les éléments de la distribution et ses différents types.

Avant d'apprendre à expliquer le fonctionnement des systèmes de graissage et de refroidissement (D) :

6. .Connaître la nécessité de chacun des systèmes.
7. Décrire les organes de chacun.

Avant d'apprendre à effectuer un diagnostic d'approche (D) :

8. .Maîtriser le fonctionnement des moteurs thermiques.
9. Maîtriser l'utilisation et le fonctionnement des compressiomètres et des manomètres.

PRESENTATION DU MODULE

Le module «**Etude des moteurs thermiques** » permet d'acquérir les savoirs, savoirs-faire et savoir-être nécessaires à la maîtrise de la compétence générale : «**Analyse du fonctionnement du moteur thermique** ».

Le concept d'apprentissage repose sur une pédagogie de réussite qui favorise la motivation du stagiaire, il s'agit donc de progresser à petits pas et de faire valider son travail.

Ce résumé de théorie et recueil de travaux pratiques est composé des éléments suivants :

Le projet synthèse faisant état de ce que le stagiaire devra **savoir-faire** à la fin des apprentissages réalisés dans ce module, est présenté en début du document afin de bien se situer. La compréhension univoque du projet synthèse est essentielle à l'orientation des apprentissages.

Les objectifs de premier niveau (les précisions sur le comportement attendu) sont marqués d'un préfixe alphabétique alors les objectifs de second niveau (les préalables) sont identifiés par un préfixe numérique.

Viennent ensuite, le résumé de théorie et le guide de travaux pratiques à réaliser pour chacun des objectifs du module suivis de l'évaluation de fin de module.

***Module : 8.
ETUDE DES MOTEURS THERMIQUES
RESUME THEORIQUE***

Chapitre I

FONCTIONNEMENT DES MOTEURS A ESSENCE ET DIESEL A QUATRE TEMPS

1.1. MOTEURS A PISTON ALTERNATIF

Les moteurs à combustion sont des machines thermiques émettant de l'énergie utile développée par la combustion de carburant. Le carburant, sous forme gazeuse ou pulvérisé préalablement, doit être bien mélangé à l'air afin de permettre une combustion aussi complète que possible.

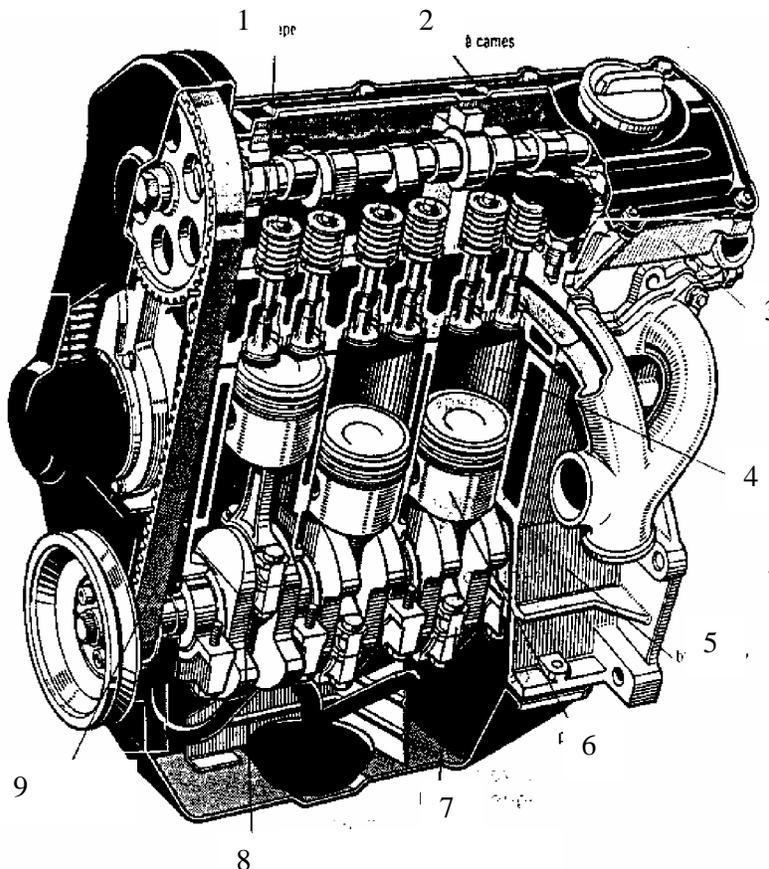
On distingue les moteurs à pistons alternatifs, les moteurs à pistons rotatifs et les moteurs à turbine.

Dans le cas du moteur à piston alternatif, très répandus, le mélange air/carburant combustible est comprimé, allumé et brûlé à l'intérieur d'une chambre de combustion. La pression élevée, qui apparaît lors de la combustion, s'exerce sur la partie mobile constituée par le piston. L'embiellage, l'ensemble mobile piston/bielle/vilebrequin, transforme le mouvement alternatif du piston en mouvement rotatif du vilebrequin. Ce mouvement rotatif est exploitable par la transmission du véhicule pour actionner les roues.

L'embiellage est entouré par le bloc moteur, avec les cylindres, la culasse et le carter. Les pistons coulissent dans les cylindres.

La culasse porte les soupapes. L'ouverture et la fermeture des soupapes sont commandées par l'arbre à cames. Les soupapes commandent l'admission du mélange combustible et l'échappement des gaz brûlés aux orifices du cylindre. C'est le vilebrequin qui entraîne l'arbre à cames ; le rapport de tours est de 2 : 1.

Les moteurs à piston alternatif se divisent essentiellement en moteurs à essence et moteurs diesel.



1. Soupape
2. Arbre à cames
3. Culasse
4. Cylindre
5. Bloc moteur
6. Piston
7. Bielle
8. Vilebrequin
9. Courroie crantée

Fig. 1. Schéma d'un moteur à piston alternatif

1.2. CYCLE A QUATRE TEMPS DU MOTEUR A PISTON ALTERNATIF

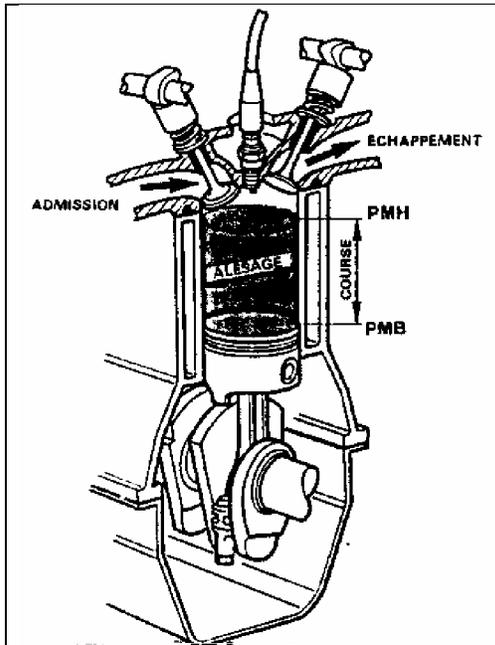


Fig. 2. Schéma du moteur à piston alternatif monocylindrique

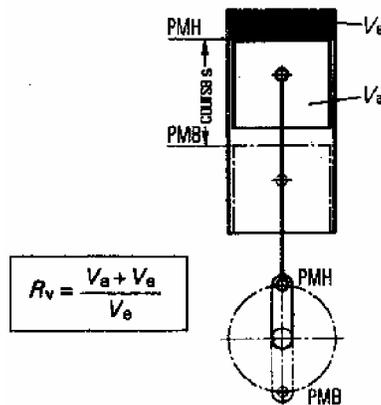


Fig. 3. Rapport volumétrique ou taux de compression

Un moteur à piston alternatif monocylindrique est défini par ses caractéristiques principales :

§ Course : c'est le déplacement du piston entre PMH (point mort haut, la position la plus approchée par rapport à la culasse) et le PMB (point mort bas, la position la plus éloignée par rapport à la culasse).

§ Alésage, c'est le diamètre intérieur du cylindre.

§ Cylindrée, c'est le volume maximal de mélange combustible pouvant être admis à l'intérieur du cylindre, et qui représente la somme du volume engendré par le déplacement du piston et le volume de la chambre de combustion, délimité par la culasse au-dessus du piston en PMH.

- Rapport volumétrique (taux de compression), c'est le rapport entre la cylindrée et le volume de la chambre de combustion.

Le moteur à piston alternatif fonctionne par la répétition d'un cycle de travail de quatre temps. Les gaz brûlés, résultants de la combustion, sont échangés après chaque cycle de travail par un nouveau mélange

Le cycle est l'ensemble des temps moteurs nécessaires pour transformer l'énergie calorifique du combustible en énergie mécanique.

Le cycle moteur s'effectue en deux rotations de vilebrequin et quatre courses du piston.

Les quatre temps (courses du piston) d'un cycle moteur sont :

- Admission du mélange combustible.
- Compression du mélange.
- Allumage, explosion et détente.
- Echappement des gaz brûlés.

1.3. FONCTIONNEMENT DU MOTEUR A ESSENCE A QUATRE TEMPS

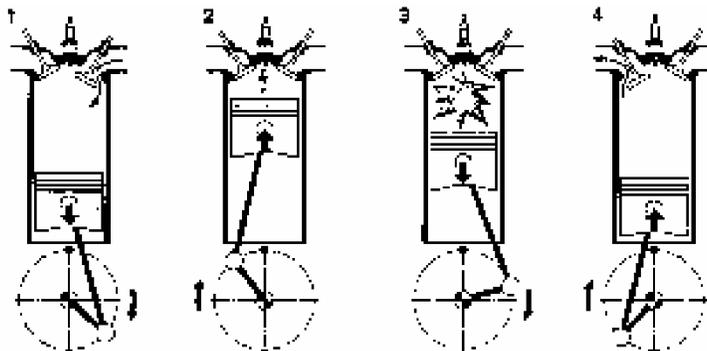


Fig. 4. Les quatre temps du cycle moteur.

Premier temps – admission

Le piston descend du PMH vers le PMB (demi-tour 0 à 180° rotation de vilebrequin). La soupape d'admission est ouverte, la soupape d'échappement est fermée.

L'augmentation du volume du cylindre crée une dépression. Cette dépression provoque l'aspiration du mélange air/essence, formé à l'extérieur, par le carburateur ou par le système d'injection.

La colonne de mélange aspirée est freinée par des accidents de parcours comme le filtre à air et la soupape d'admission

Afin d'augmenter la durée de l'admission et de ce fait d'améliorer le remplissage du cylindre à 70 % à 90 % de son volume :

- La soupape d'admission s'ouvre en avance par rapport au PMH (AOA = 10 à 45° rotation de vilebrequin). Cette avance tient compte du temps nécessaire à la levée de la soupape. L'ouverture doit être totale au moment où le piston se trouve au PMH.
- La soupape d'admission se ferme en retard par rapport au PMB (RFA = 35 à 90° rotation vilebrequin). Ce retard met au profit l'inertie des gaz aspirés à grande vitesse. Le mélange air/essence continue à affluer à l'intérieur du cylindre pendant une fraction de la course ascendante du piston (jusqu'à ce qu'ils soient freinés par la pression résultant de la montée du piston).

Deuxième temps – compression

Le piston monte du PMB vers le PMH (demi-tour de rotation 180 à 360° rotation de vilebrequin). Les soupapes d'admission et d'échappement sont fermées.

Par le déplacement du piston se réalise la compression du mélange dans la chambre de combustion. Grâce au rapport volumétrique de 6 : 1 à 10 : 1, la pression de fin de compression est de 8 à 16 bars et la température atteint 400 à 500°C. La compression favorise la vaporisation du carburant et son mélange avec l'air. Ainsi est favorisée l'inflammabilité du mélange.

On ne peut pas réduire le volume de la chambre de combustion pour accroître la compression parce que la température de gaz s'élève très rapidement. Un rapport volumétrique excessif peut entraîner l'auto-allumage. L'explosion qui commence partout à la fois, est beaucoup plus violente que celle amorcée en un seul point par l'allumage ordinaire et est possible de voir la

combustion achevée avant que le piston a atteint le PMH. Pour cette raison les constructeurs adoptent des taux de compression variant de 6 : 1 à 10 : 1.

En fin de course de compression, se réalise l'inflammation du mélange par une étincelle électrique. Cette étincelle, produite par le système d'allumage, amorce la combustion du mélange par un apport de chaleur.

- Air + essence



- Allumage
- Apport de chaleur

L'étincelle électrique se produit en avance par rapport au PMH (avance à l'allumage, AA = 0 à 40° rotation de vilebrequin) afin que la combustion sous forme d'explosion atteigne sa pression maximale à 5 à 10° vilebrequin après le PMH. Cette avance tient compte de la durée qui s'écoule entre le déclenchement de l'allumage et l'apparition de l'étincelle et surtout de la durée de la combustion.

Le moment où se produit l'étincelle électrique (point d'allumage) influe sur la pression dans la chambre de combustion :

- Allumage anticipé. La pression dans le cylindre est obtenue avant que le piston soit au PMH. Cela provoque un «freinage» de la rotation et une fatigue importante des organes mécaniques.
- Allumage retardé. La pression sur le piston est plus faible, car la descente du piston a augmenté le volume du cylindre. Comme la combustion se fait en partie dans le cylindre, le moteur chauffe.

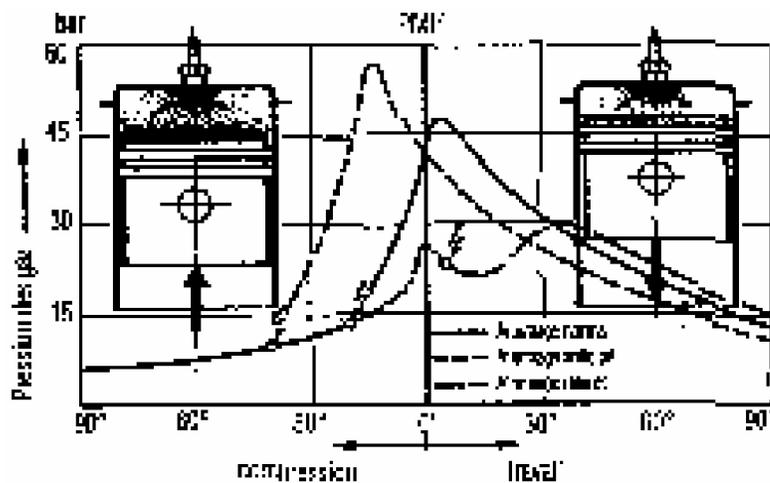


Fig. 5 Influence du point d'allumage.

Troisième temps – explosion (combustion et détente)

La combustion produit une très importante élévation de la température, 2000 à 2500° C, et de la pression, 30 à 60 bars, dans la chambre de combustion. La détente des gaz agit sur le piston et crée la force motrice. Le piston est poussé du PMH vers le PMB (demi-tour 360 à 540° rotation de vilebrequin). La descente du piston, le temps moteur, transforme l'énergie

thermique en travail mécanique. Peu avant le PMB, la pression dans le cylindre est de 3 à 5 bar et la température de 800 à 900° C.

Quatrième temps – échappement

Le piston monte du PMB vers le PMH (demi-tour 540 à 720° rotation de vilebrequin). La soupape d'admission est fermée, la soupape d'échappement est ouverte.

Les gaz brûlés sont expulsés par le mouvement du piston.

Afin d'augmenter la durée de l'échappement et de ce fait d'obtenir une meilleure évacuation des gaz et donc un meilleur remplissage du cylindre :

- La soupape d'échappement s'ouvre en avance par rapport au PMB (AOE = 40 à 90° rotation de vilebrequin). Cette avance permet à la soupape de s'ouvrir complètement lorsque le piston arrive au PMB (durée de la levée de la soupape).
- La soupape d'échappement se ferme en retard par rapport au PMH (RFE = 0 à 30° rotation de vilebrequin). La vitesse de sortie des gaz brûlés est suffisante pour qu'ils continuent à s'échapper par inertie.

En fin de cycle, la soupape d'échappement se ferme en retard (RFE) par rapport au PMH, alors que la soupape d'admission s'ouvre en avance (AOA). Ce balancement des soupapes favorise le balayage et le refroidissement de la chambre de combustion et améliore le remplissage.

Remarque concernant le fonctionnement du moteur à piston alternatif, à essence et diesel, durant les quatre temps. Le vilebrequin ne reçoit pas de l'énergie pendant toute la durée du cycle : seul le troisième temps est moteur, les autres trois temps sont résistants.

D'ici résultent deux conséquences :

- Le fonctionnement autonome du moteur à piston alternatif n'est pas possible qu'à partir d'un régime minimum. Le moteur à piston alternatif doit être lancé de l'extérieur à l'aide du démarreur.
- On dispose sur le vilebrequin un volant capable d'emmagasiner de l'énergie pendant le temps moteur et de la restituer pendant les temps résistants.

Exercice

1. Quelle est l'importance de l'augmentation de la durée de l'admission par AOA et RFA ?
2. Quelles caractéristiques du mélange sont-elles influées par la compression ?
3. Comment se réalise l'inflammation du mélange air / essence ?
4. Quelle est l'influence de l'avance à l'allumage sur la pression dans la chambre de combustion ?

1.4. FONCTIONNEMENT DU MOTEUR DIESEL A QUATRE TEMPS

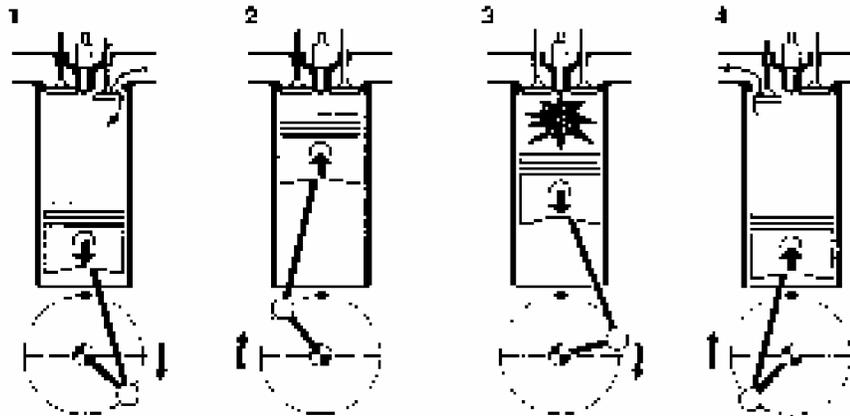


Fig. 6 Les quatre temps du cycle moteur

Premier temps – admission

Le piston descend du PMH vers le PMB. La soupape d'admission est ouverte, la soupape d'échappement est fermée.

L'air pur pénètre dans le cylindre à la suite du déplacement du piston.

Afin d'obtenir un meilleur remplissage du cylindre, la soupape d'admission s'ouvre en avance (AOA) par rapport au PMH et se ferme en retard (RFA) par rapport au PMB.

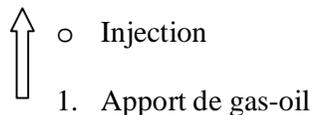
Deuxième temps – compression

Le piston monte du PMB vers le PMH. Les soupapes d'admission et d'échappement sont fermées.

L'air est comprimé. Le rapport volumétrique étant de 18 : 1 à 24 : 1, il en résulte une forte compression, de 30 à 55 bar, de même qu'une température très élevée de 700 à 900° C.

En fin de course de compression, du gas-oil, finement pulvérisé, est injecté sous forte pression. Par l'apport des premiers éléments du gas-oil, le mélange combustible se forme à l'intérieur du cylindre. Le gas-oil s'enflamme spontanément (auto-allumage) au contact de l'air surchauffé.

- Air + chaleur



L'injection du gas-oil se produit en avance par rapport au PMH (avance à l'injection, AI = 20 à 30° rotation de vilebrequin). Cette avance tient compte de la durée qui s'écoule entre la levée de la soupape de refoulement de la pompe d'injection et le début d'injection (délai d'injection) et aussi de la durée qui s'écoule entre le début d'injection et le début de la combustion (délai d'inflammation).

Si le délai d'inflammation est trop grand, par exemple quand le moteur est froid ou si l'avance à l'injection est inexacte, une très grande quantité de gas-oil s'enflamme et il en résulte les «forts cognements» nuisibles du moteur diesel.

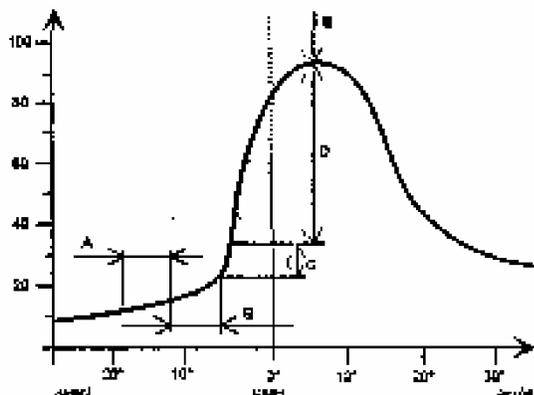


Fig. 7 Graphique de pression du moteur diesel

Troisième temps – combustion

La combustion de la quantité injectée provoque une forte libération de chaleur accompagnée d'une augmentation rapide de pression. Il en résulte un «dur» bruit de combustion, les «cognements». L'injection est réglée de telle sorte que la plus grande partie du gas-oil ne parvienne dans le cylindre que lorsque les premiers éléments de celui-ci y sont déjà enflammés. Après l'auto-allumage, le gas-oil continue à être injecté et à brûler pendant une durée de 25 à 40° rotation de vilebrequin. Ceci maintient la pression de combustion à une valeur élevée, 60 à 100 bar, malgré l'augmentation de volume due à la descente du piston. Cette pression de gaz pousse le piston du PMH vers le PMB (temps moteur).

Quatrième temps – échappement

Le piston monte du PMB vers le PMH. La soupape d'admission est fermée, la soupape d'échappement est ouverte.

Les gaz brûlés sont expulsés par le mouvement du piston.

Pour obtenir une meilleure évacuation des gaz et par suite un meilleur remplissage du cylindre, la soupape d'échappement s'ouvre en avance (AOE) par rapport au PMB et se ferme en retard (RFE) par rapport au PMH.

Exercice

1. Quelle est la raison de valeurs 18 : 1 à 24 : 1 du rapport volumétrique pour les moteurs diesel ?
2. Comment se réalise l'auto-allumage et quelles sont les conséquences pour le fonctionnement du moteur diesel ?
3. Quelle est l'importance de l'augmentation de la durée de l'échappement par AOE et RFE ?
4. Quelles sont les conséquences du fait que, durant le cycle à quatre temps, seulement le troisième temps est moteur ?

1.5. DIAGRAMME DU CYCLE A QUATRE TEMPS

Un diagramme pression-volume permet de visualiser les variations de pression agissant dans la chambre de combustion en fonction de la position du piston :

- L'admission, entre les points AOA et RFA, pendant laquelle il y a une dépression. En principe, le point RFA correspond à l'instant où la pression des gaz égale la pression atmosphérique.
- La compression, entre les points RFA et AI, pendant laquelle la pression augmente en raison de la diminution du volume du cylindre.
- La combustion et détente, entre les points AI et AOE, pendant laquelle la pression augmente en raison de l'augmentation de la température des gaz, atteint son maximum quelques degrés après le PMH, puis diminue progressivement en raison de l'augmentation du volume et de la chute de la température des gaz.
- L'échappement, entre les points AOE et RFE, pendant lequel la pression continue à diminuer.

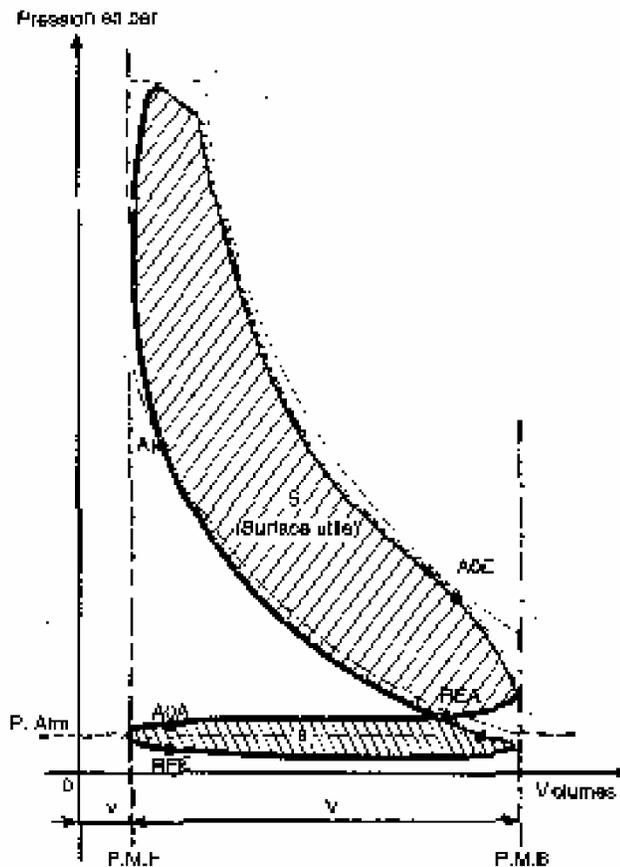


Fig. 8 Pression dans la chambre de combustion

Le diagramme présente deux zones bien distinctes : l'une S, supérieure, correspond au travail effectivement accompli par les gaz de combustion ; l'autre s, inférieure, correspond au travail absorbé par le remplissage et l'évacuation des gaz. La différence de la surface de ces deux zones représente le travail disponible fourni par un cycle à quatre temps.

$$T = S - s$$

Sur la base de ce diagramme, les constructeurs déterminent par le calcul la pression moyenne indiquée qui, en agissant de manière constante pendant toute la course de détente du piston, produit exactement le même travail. Les constructeurs indiquent généralement la pression moyenne effective qui est légèrement inférieure à la pression moyenne indiquée car le rendement mécanique du moteur η est inclus.

La pression moyenne effective multipliée par la surface plane du piston (surface de la base du cylindre) se traduit par une force fournie par le piston qui agit, par l'intermédiaire de la bielle, sur le vilebrequin.

Cette force multipliée par la longueur du bras de manivelle du vilebrequin donne le moment de rotation ou couple réel du moteur.

La puissance effectivement fournie par le moteur est le travail fourni par le couple moteur pendant l'unité de temps.

Intitulé	Formule	Unité	Unité des données
Cylindrée unitaire (V_u)	$V_u = V_a + V_e = \pi A/4 \times c + V_e$	Cm^3	$\pi = 3,14$ A : alésage : cm C : course : cm Ve : volume de la chambre de combustion : cm^3
Cylindrée totale (V_t)	$V_t = V_u \times n$ cylindres	Cm^3	$V_u : \text{cm}^3$
Rapport volumétrique (R_v)	$R_v = V_a + V_e / V_e$		V_a : volume généré par le déplacement du piston : cm^3
Longueur du bras de manivelle du vilebrequin (L)	$L = C / 2$	cm	C : cm
Vitesse moyenne du piston (v_m)	$v_m = 2 C \times N / 60 \times 1000$	m / s	C : cm N : vitesse de rotation : tr / min.
Force fournie par le piston (F)	$F = P \times S$	N ou kgf	P : pression des gaz : bars S : surface de la tête du piston : cm
Couple moteur (C_m)	$C_m = F \times L$	Nm	F : N L : m
Puissance (P_i)	$P_i = C_m \times 2 \pi N / 60$	kW	$C_m : \text{Nm}$ N : tr / min.
Rendement mécanique	$\eta = P_u / P_i$ $\eta = 0,8$ à $0,9$ pour un moteur en bon état $\eta = 0,6$ pour un moteur usagé		P_u : puissance utile fournie à l'extérieur du moteur : kW P_i : puissance indiquée produite à l'intérieur du moteur : kW

Exercice

1. Tracez le diagramme du cycle à quatre temps et expliquez les variations de pression agissant dans la chambre de combustion.
2. Définissez le travail disponible fourni par le cycle à quatre temps.
3. Définissez la pression moyenne indiquée.
4. Définissez le couple moteur et la puissance fournie par le moteur.

1.6. MOTEUR MULTICYLINDRIQUE

Pour assurer un mouvement régulier du véhicule automobile, il est indispensable de fournir un couple moteur sans à coups à sa transmission. Il est nécessaire de régulariser le couple à la sortie du moteur.

Pour que la rotation soit plus régulière et la puissance plus grande, les moteurs comportent plusieurs cylindres. La régularisation de la rotation résulte du fait que les cycles de travail se suivent à des intervalles plus rapprochés.

Les quatre temps du cycle de travail sont repartis sur deux rotations du vilebrequin.

L'intervalle de l'allumage est par conséquent sur les moteurs à deux cylindres de 360° , sur les quatre-cylindres de 180° , sur les six-cylindres de 120° et sur les huit-cylindres de 90° . Ceci est réalisé par une disposition appropriée des cylindres et des manetons du vilebrequin. La position, suivant une certaine succession, des comes sur l'arbre à cames donne l'ordre de fonctionnement des cylindres. Le système d'allumage produit les étincelles électriques suivant un certain ordre d'allumage.

monocylindre vertical	intervalle d'allumage 720°		
boxer à 2 cylindres	intervalle d'allumage 360°		
4 cylindres en ligne	intervalle d'allumage 180° ordre d'allumage 1-3-4-2 1-2-4-3		
boxer à 4 cylindres opposés	intervalle d'allumage 180° ordre d'allumage 1-4-3-2		
5 cylindres en ligne	intervalle d'allumage 144° ordre d'allumage 1-2-4-5-3		
6 cylindres en ligne	intervalle d'allumage 120° ordre d'allumage 1-5-3-6-2-4 (ou 1-2-4-6-5-3, ou 1-5-4-6-2-3)		
8 cylindres en V	intervalle d'allumage 90° ordre d'allumage normal 1-8-2-7-4-5-3-6		

Fig. 9 Ordre d'allumage

Chapitre II

DISTINCTION ENTRE LES MOTEURS A ESSENCE ET DIESEL**2.1. COMPARAISON ENTRE LES MOTEURS A ESSENCE ET DIESEL**

A partir de l'étude du cycle à 4 temps du moteur à essence et du moteur diesel, on peut dresser le tableau comparatif suivant :

Temps du cycle	Fonctions assurées dans le moteur à essence	Organes en fonctionnement	Fonctions assurées dans le moteur diesel	Organes en fonctionnement
1. Admission	Admission d'un mélange air/essence préparé et dosé par le carburateur.	Soupapes d'admission. Carburateur ou système d'injection d'essence.	Aspiration d'air	Soupapes d'admission.
2. Compression	Compression du mélange 8 à 16 bar d'ou échauffement à 300°C environ. Rapport volumétrique 6 : 1 à 10 : 1.		Compression de l'air très forte 20 à 35 bar d'ou échauffement à 800°C environ. Rapport volumétrique 16 : 1 à 24 : 1.	
En fin de course de compression	Allumage du mélange par étincelle électrique à la bougie (explosion).	Allumeur et bougies d'allumage	Injection sous forte pression (100 à 300 bar) du combustible qui s'enflamme spontanément au contact de l'air surchauffé.	Pompe d'injection. Injecteurs
3. Combustion ou explosion	Combustion et détente		Combustion et détente.	
4. Echappement	Evacuation des gaz brûlés.	Soupapes d'échappement.	Evacuation des gaz brûlés.	Soupapes d'échappement

L'étude comparative montre que le moteur à essence et le moteur diesel ont des organes qui assurent les mêmes fonctions :

- Organes qui établissent l'espace nécessaire à l'évolution du cycle moteur et transforment le mouvement rectiligne alternatif du piston en mouvement de rotation du vilebrequin. Ces organes sont les organes fixes (bloc-cylindres, cylindre, culasse) et les organes mobiles (piston, bielle, vilebrequin) du mécanisme moteur.
- Organes qui assurent l'admission et l'échappement des gaz dans les cylindres. Ces organes sont les soupapes et l'arbre à cames du mécanisme de distribution.

L'étude comparative montre aussi que les moteurs à essence et diesel ont des organes qui assurent de fonctions différentes :

- Le moteur à essence comporte un carburateur ou une injection d'essence qui est la composante du système d'alimentation en essence. Ce système prépare le mélange air/essence à l'extérieur du cylindre. La combustion dans le cylindre est provoquée par un système d'allumage à allumeur et à bougies. Une étincelle électrique jaillit entre les électrodes de la bougie afin d'enflammer le mélange par un apport de chaleur.
- Le moteur diesel comporte une pompe d'injection et des injecteurs qui sont les composantes du système d'alimentation en gas-oil. Ce système introduit dans le cylindre une quantité précise de gas-oil sous pression. L'apport du gas-oil forme le mélange à l'intérieur du cylindre. La combustion dans le cylindre se déclenche par auto-allumage contrôlé.

La différence essentielle entre le moteur à essence et le moteur diesel réside dans le mode de formation du mélange et le mode d'allumage.

Le tableau ci-dessous indique comparativement les valeurs moyennes des données qui caractérisent le fonctionnement des moteurs à essence et diesel :

Exemples de valeurs	Moteur à essence	Moteur diesel pour voiture	Moteur diesel pour camion
Pression moyenne, bars	8 à 11	6 à 8	7 à 10
Couple moteur, Nm	20 à 200	50 à 200	1000 à 1500
Puissance, kW	20 à 200	40 à 100	200 à 400

2.2. AVANTAGES DU MOTEUR DIESEL

- Le rendement (le rapport entre l'énergie chimique utilisée et l'énergie mécanique fournie) est meilleur, le taux de compression étant plus élevé, une proportion plus grande d'énergie chimique est convertie en énergie mécanique. Le refroidissement est moins énergique car on ne craint pas l'auto-allumage.

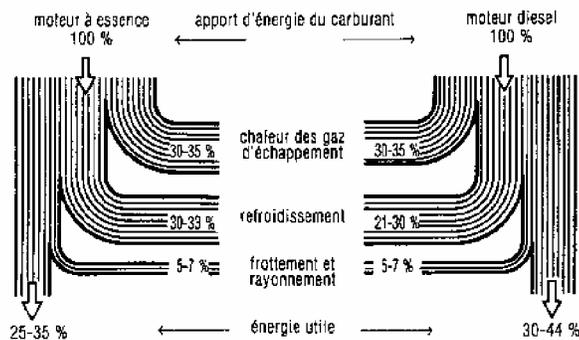


Fig. 10 Rendement des moteurs à piston alternatif

- Le couple moteur est plus important et il reste sensiblement constant pour les faibles vitesses car le remplissage est plus régulier.
- Le combustible utilisé coûte moins cher.
- Les risques d'incendie sont moindres car le point d'inflammation du gas-oil est moins élevé que celui d'essence.
- Les gaz d'échappement sont beaucoup moins toxiques car ils contiennent moins d'oxyde de carbone (la combustion est plus complète).

2.2. INCONVENIENTS DU MOTEUR DIESEL

- Les organes du moteur sont largement calculés car ils sont soumis à des températures élevées et à des pressions très fortes.
- L'étanchéité entre le cylindre et le piston est plus difficile à réaliser (l'utilisation de 4 à 6 segments).
- L'aptitude au démarrage à froid est moins bonne.
- Il faut assurer un refroidissement suffisant du moteur pour assurer une bonne tenue des métaux.
- Le graissage est plus délicat du fait de hautes températures atteintes et des charges plus fortes des organes mobiles.
- Le moteur est plus coûteux à l'achat (la pompe d'injection et les injecteurs sont des organes de construction délicate et très précise).
- La marche du diesel est plus bruyante et l'on perçoit un bruit caractéristique dû aux fortes pressions dans les cylindres.

Exercice

1. Quelle est la différence entre un moteur à essence et un moteur diesel selon la formation du mélange ?
2. Quelle est la différence entre un moteur à essence et un moteur diesel selon le mode de l'allumage ?
3. Donnez quatre avantages du moteur diesel.
4. Donnez quatre inconvénients du moteur diesel.

Exercice d'évaluation

Durée : 1 heure 30 minutes

Questions :	Barème / 20
1. Tracez le diagramme du cycle à quatre temps et expliquez la variation de la pression dans la chambre de combustion durant la compression et la combustion et détente.	.../ 04 pts
2. Quelles sont les conséquences pour le moteur si l'allumage est anticipé ou retardé ?	.../ 04 pts
3. Comment réalise-t-on l'auto-allumage contrôlé pour un moteur diesel ?	.../ 02 pts
4. Quels sont les critères selon lesquels on distingue les moteurs à essence et les moteurs diesel ?	.../ 02 pts
5. Expliquez deux avantages du moteur diesel.	.../ 02 pts
6. Expliquez deux inconvénients du moteur diesel.	.../ 02 pts
7. Comment réalise-t-on la régularisation du couple moteur ?	.../ 02 pts

Chapitre III

FONCTIONNEMENT DE LA DISTRIBUTION

3.1. NECESSITE ET STRUCTURE DE LA DISTRIBUTION

L'étude du cycle à quatre temps du moteur à piston alternatif montre que l'ouverture et la fermeture des soupapes d'admission et d'échappement doit se faire au bon moment par rapport à la position montante ou descendante du piston. Le mouvement des soupapes doit être donc rigoureusement synchronisé avec le mouvement du piston, commandé par le vilebrequin.

Le mécanisme qui relie les soupapes au vilebrequin est le mécanisme de distribution. Ce mécanisme comprend :

- La commande de l'arbre à cames, une première transmission de mouvement (rotative) reliant le vilebrequin à l'arbre à cames ;
- La commande des soupapes, une deuxième transmission de mouvement (alternative) entre les cames de l'arbre à cames et les soupapes elles-mêmes.

L'ouverture et la fermeture des soupapes sont réalisées par les cames de l'arbre à cames. Leur profil spécial détermine le soulèvement des soupapes et la durée de ce soulèvement.

3.2. DIAGRAMME DE DISTRIBUTION

L'ouverture et la fermeture des soupapes se réalisent par rapport au PMH et au PMB pour une position précise du piston dans le cylindre. Cette position est indiquée en angle de rotation du vilebrequin :

- Avance à l'ouverture de l'admission (AOA) est l'angle dont tourne le vilebrequin entre l'instant où la soupape d'admission s'ouvre et celui où le piston passe le PMH.
- Retard à la fermeture de l'admission (RFA) est l'angle dont tourne le vilebrequin entre l'instant où le piston passe le PMB et celui où se ferme la soupape d'admission.
- Avance à l'ouverture de l'échappement (AOE) est l'angle dont tourne le vilebrequin entre l'instant où la soupape d'échappement s'ouvre et celui où le piston passe le PMB.
- Retard à la fermeture de l'échappement (RFE) est l'angle dont tourne le vilebrequin entre l'instant où le piston passe le PMH et celui où se ferme la soupape d'échappement.

En traçant les angles d'ouverture et de fermeture des soupapes par rapport à la rotation du vilebrequin et des PMH et PMB, on obtient le diagramme de distribution.

Le diagramme de distribution permet de procéder au calage de la distribution, ainsi qu'au contrôle précis de la distribution (jeu des soupapes).

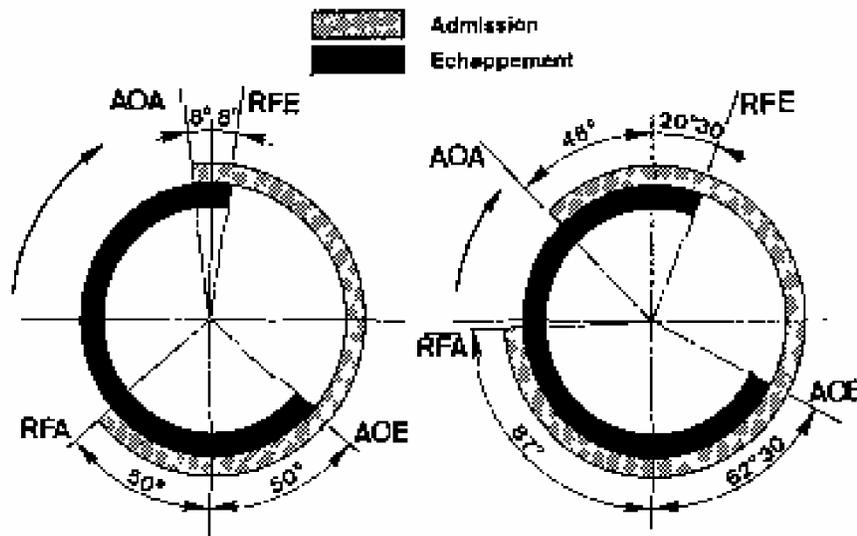


Fig. 11 Diagramme de distribution

3.3. ARCHITECTURE DE LA DISTRIBUTION

La conception de la distribution détermine le type de moteur.

Suivant la position des soupapes, on distingue les moteurs à soupapes latérales et les moteurs à soupapes en tête.

Les moteurs à soupapes latérales ont les soupapes disposées sur le côté du cylindre. Cette disposition donne à la chambre de combustion une forme défavorable. Le système, moins coûteux, donne un fonctionnement silencieux et il est généralement utilisé sur des moteurs monocylindriques à régime lent.

Les moteurs à soupapes en tête ont les soupapes placées au-dessus du cylindre. Cette disposition permet de donner à la chambre de combustion une forme plus favorable et améliore l'admission ; en effet, le mélange combustible tombe par gravité dans le cylindre. Le système favorise les hauts régimes de rotation des moteurs poussés à rapport volumétrique élevé. Le moteur est plus nerveux, il a un rendement thermique supérieur.

Suivant la position de l'arbre à cames, on distingue les moteurs à arbre à cames latéral et les moteurs à arbre à cames en tête.

Les moteurs à arbre à cames latéral ont l'arbre à cames logé dans le bloc-cylindres, parallèlement au vilebrequin.

Les moteurs à arbre à cames en tête ont l'arbre à cames logé dans la culasse.

La commande de l'arbre à cames et la commande des soupapes sont réalisées différemment en fonction de la position de l'arbre à cames et la position des soupapes.

Exercice

- Tracez le diagramme d'un moteur ayant : $AOA = 12^\circ$, $RFA = 52^\circ$, $AOE = 45^\circ$, $RFE = 10^\circ$, $AA = 8^\circ$ et calculez la durée de l'admission et de l'échappement ?
- Quel est le but de la distribution ?
- Quelles sont les composantes de la distribution ?

4. Quels sont les types de moteurs suivant la position de l'arbre à cames et la position des soupapes ?

3.4. COMMANDE DE L'ARBRE A CAMES

La commande de l'arbre à cames est assurée avec grande exactitude afin que le rapport de sa vitesse avec celle du vilebrequin reste rigoureusement égale à 0,5.

Il y a une aspiration et un échappement pour chaque cylindre tous les deux tours de vilebrequin. Chaque soupape se soulève aussi tous les deux tours de vilebrequin : l'arbre à cames fait un tour quand le vilebrequin en fait deux.

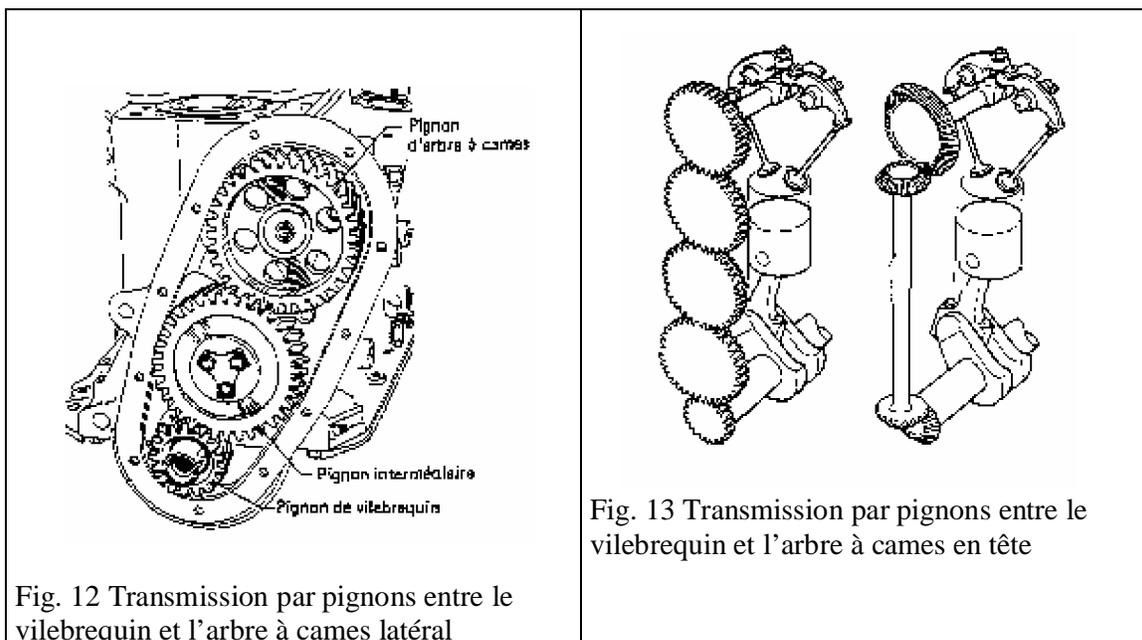
La commande de l'arbre à cames est réalisée par l'intermédiaire d'engrenages hélicoïdaux, d'une chaîne ou d'une courroie crantée.

A. COMMANDE PAR PIGNONS

Un simple couple de pignons hélicoïdaux, donnant le rapport de démultiplication, assure la transmission si l'arbre à cames est placé près du vilebrequin.

Si l'arbre à cames est éloigné de vilebrequin (moteur à arbre à cames latéral et soupapes en tête) on utilise un trio de pignons, dont un pignon intermédiaire.

Pour les moteurs à arbre à cames en tête et les soupapes en tête on utilise une cascade de pignons qui facilite la démultiplication entre le vilebrequin et l'arbre à cames, et qui peut être utilisée comme prise de force pour entraîner les auxiliaires : pompe à eau, compresseur, etc.



B. COMMANDE PAR CHAÎNE

Pour réduire le bruit du couple de pignons, une chaîne courte à rouleaux relie le pignon du vilebrequin de celui d'arbre à cames (moteur à arbre à cames latéral et soupapes en latéral).

Si l'arbre à cames est rapproché du plan de joint bloc-cylindres/culasse (moteur à arbre à cames latéral et soupapes en tête), on utilise une chaîne à rouleaux longue. Pour éviter les battements de cette chaîne, on règle sa tension par un tendeur. Le contact du patin du tendeur,

qui exerce un appui progressif, est automatiquement assuré par l'action combinée d'un ressort et de la pression d'huile variable avec le régime du moteur.

Une longue chaîne double à rouleaux relie directement le vilebrequin à l'arbre à cames situé en tête (moteur à arbre à cames en tête et soupapes en tête). Le tendeur présente un long patin caoutchouté en vue de supprimer les bruits et les battements et d'assurer le guidage. Cette chaîne nécessite un graissage abondant.

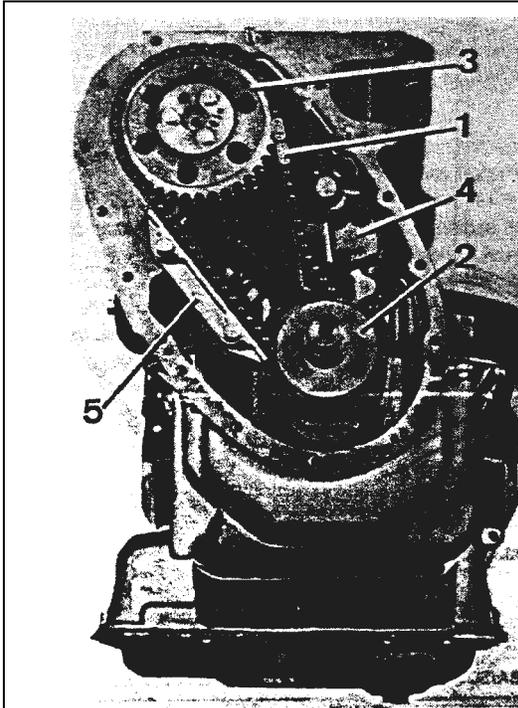


Fig. 14 Transmission par chaîne entre le vilebrequin et l'arbre à cames latéral

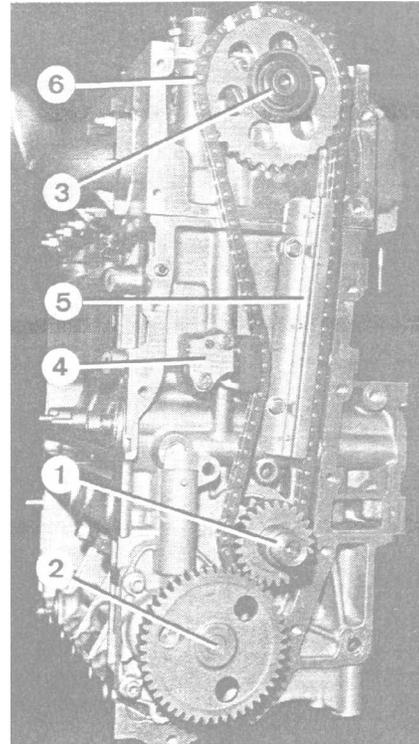


Fig. 15 Transmission par chaîne entre le vilebrequin et l'arbre à cames en tête

C. COMMANDE PAR COURROIE CRANTÉE

Les moteurs à arbre à cames en tête et soupapes en tête comportent une transmission primaire par courroie crantée fonctionnant à sec. Cette commande silencieuse est assurée par une courroie en caoutchouc, très souple, très légère et plus économique. Un seul tendeur réglable ou auto-réglable suffit car la courroie crantée accepte de serpenter à condition que ses déformations correspondent aux possibilités de sa section. .

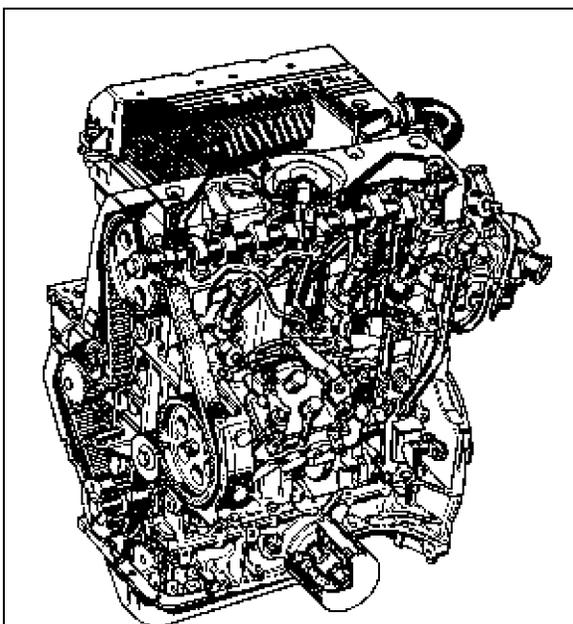


Fig. 16 Transmission par courroie crantée le vilebrequin et l'arbre à came en tête.

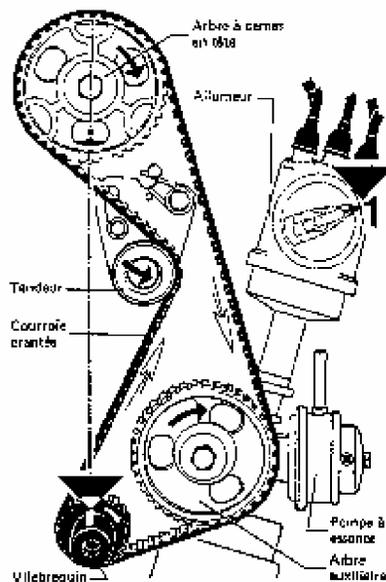


Fig. 17 Tendeur auto réglable

Exercice : Localisation des composants

Durée : 1 heure 30 minutes

But : Reconnaître et localiser les différents types de commande de l'arbre à cames.

Matériel requis : Moteurs différents

Marche à suivre : Inspectez les moteurs, localisez les composants demandés puis complétez le tableau ci-dessous.

Moteur type		
Soupapes en tête		
Arbre à cames en latéral		
Arbre à cames en tête		
Double arbre à cames en tête		
Commande par pignons	Nombre de pignons	
	Repère du pignon du vilebrequin	
	Repères du pignon intermédiaire	
	Repère du pignon de l'arbre à cames	
Commande par chaîne	Chaîne simple	
	Tendeur à patin	
	Chaîne double	
	Tendeur à patin de guidage	
	Repère du pignon du vilebrequin	
	Repère du pignon de l'arbre à cames	
Commande par courroie crantée	Tendeur réglable	
	Tendeur auto réglable	
	Repère de la poulie du vilebrequin	
	Repère de la poulie de l'arbre à cames	

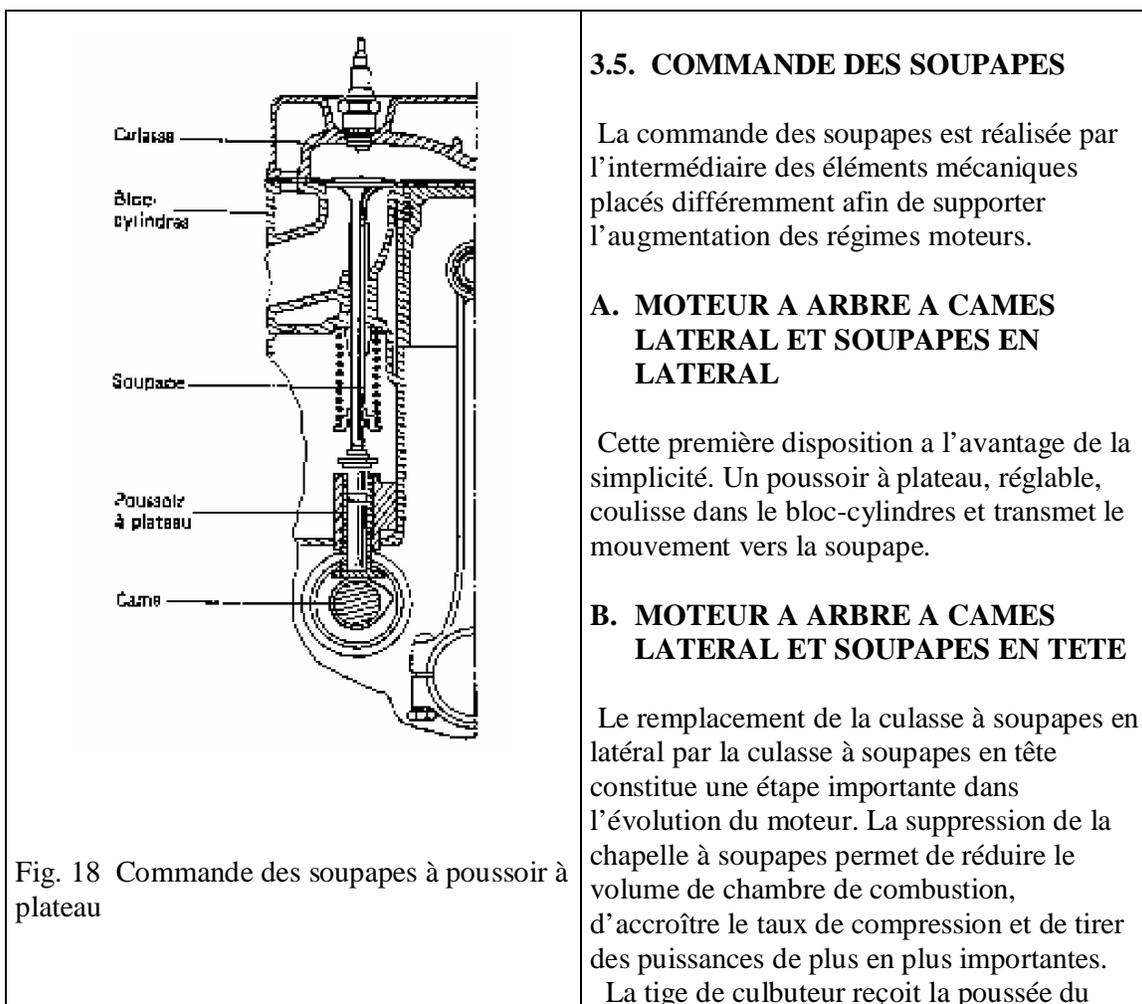


Fig. 18 Commande des soupapes à poussoir à plateau

3.5. COMMANDE DES SOUPAPES

La commande des soupapes est réalisée par l'intermédiaire des éléments mécaniques placés différemment afin de supporter l'augmentation des régimes moteurs.

A. MOTEUR A ARBRE A CAMES LATERAL ET SOUPAPES EN LATERAL

Cette première disposition a l'avantage de la simplicité. Un poussoir à plateau, réglable, coulisse dans le bloc-cylindres et transmet le mouvement vers la soupape.

B. MOTEUR A ARBRE A CAMES LATERAL ET SOUPAPES EN TETE

Le remplacement de la culasse à soupapes en latéral par la culasse à soupapes en tête constitue une étape importante dans l'évolution du moteur. La suppression de la chapelle à soupapes permet de réduire le volume de chambre de combustion, d'accroître le taux de compression et de tirer des puissances de plus en plus importantes.

La tige de culbuteur reçoit la poussée du

Poussoir et communique ce mouvement au culbuteur. Renversant de 180° la direction de l'effort, le culbuteur actionne la soupape. Les culbuteurs peuvent être placés en rampe unique ou en double rampe.

B. MOTEUR A ARBRE A CAMES LATERAL ET SOUPAPES EN TETE

Le remplacement de la culasse à soupapes en latéral par la culasse à soupapes en tête constitue une étape importante dans l'évolution du moteur. La suppression de la chapelle à soupapes permet de réduire le volume de chambre de combustion, d'accroître le taux de compression et de tirer des puissances de plus en plus importantes.

La tige de culbuteur reçoit la poussée du poussoir et communique ce mouvement au culbuteur. Renversant de 180° la direction de l'effort, le culbuteur actionne la soupape.

Les culbuteurs peuvent être en rampe unique ou en double rampe.

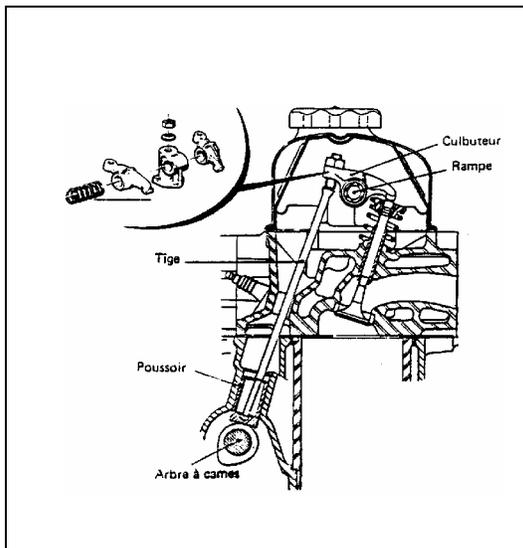


Fig. 19 Soupapes en ligne commandées par culbuteurs en rampe unique.

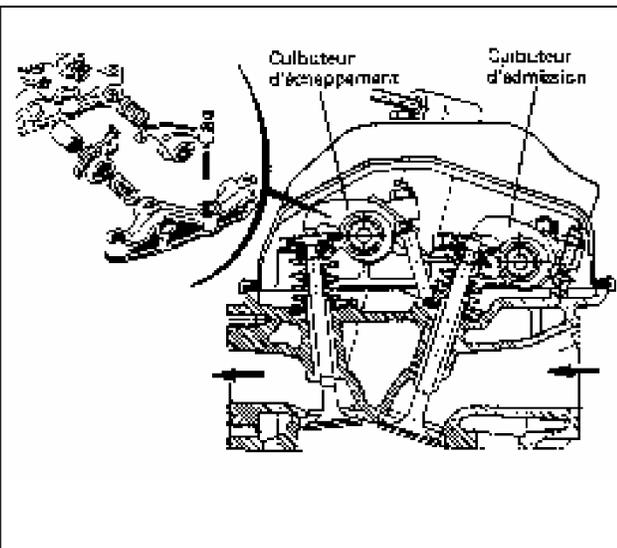


Fig. 20 Soupapes en V commandées par culbuteurs en double rampe

A. MOTEURS A ARBRE A CAMES EN TETE ET SOUPAPES EN TETE

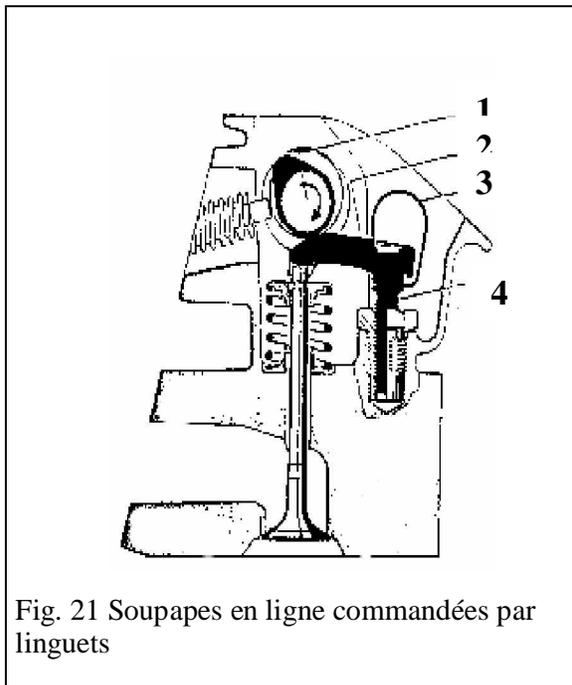


Fig. 21 Soupapes en ligne commandées par linguets

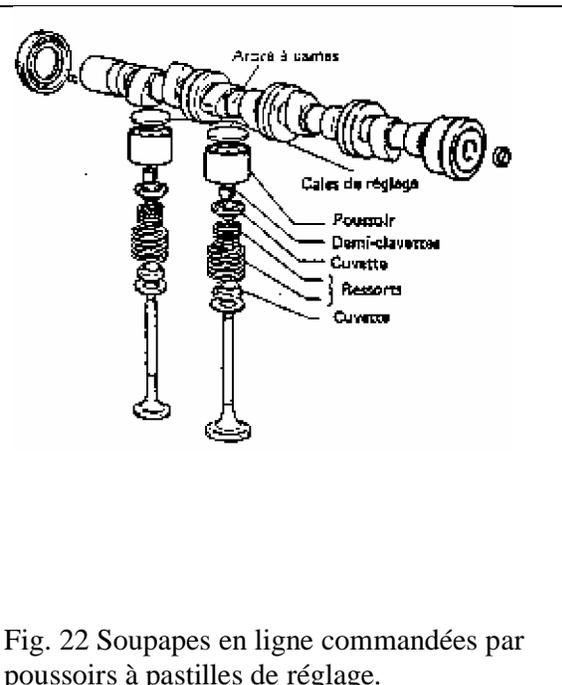


Fig. 22 Soupapes en ligne commandées par poussoirs à pastilles de réglage.

Les moteurs des années 70 comportent une distribution convenant à l'alimentation par carburateur. Un seul arbre à cames commande des soupapes placées en ligne. Les soupapes sont commandées soit par l'intermédiaire des linguets appuyés sur des plots réglables, soit par l'intermédiaire des poussoirs cylindriques présentant une pastille (cales) amovible d'épaisseur variable.

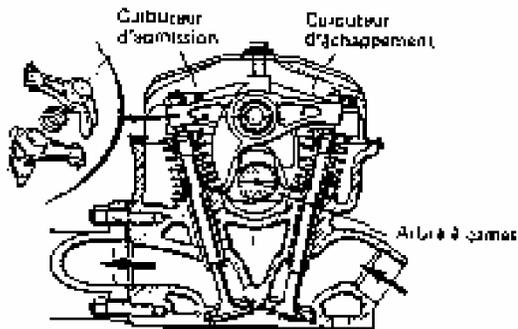


Fig. 23 Soupapes en V commandées par culbuteurs en rampe unique

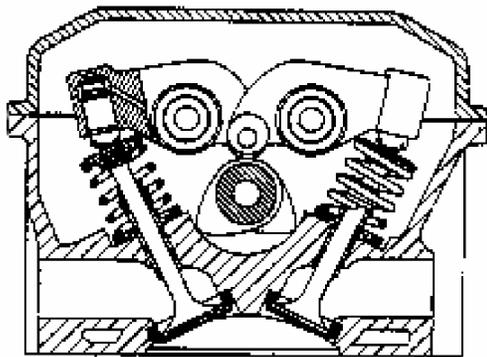
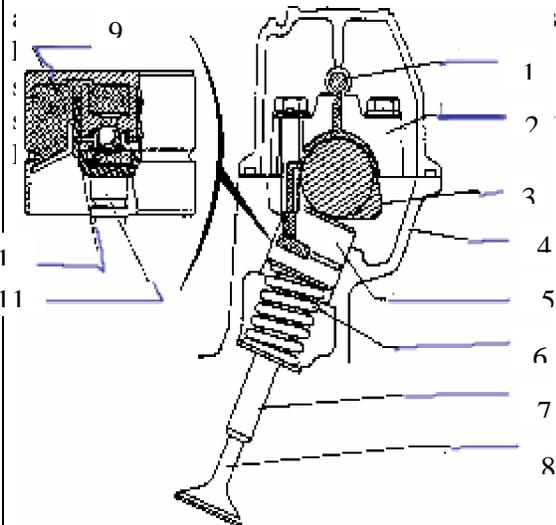


Fig. 24 Soupapes en V commandées par culbuteurs en double rampe

Les moteurs des années 80 comportent des soupapes disposées en V pour améliorer le remplissage et le rendement. Un seul arbre à cames commande les soupapes par l'intermédiaire des culbuteurs. Les culbuteurs peuvent être disposés sur une seule rampe ou en rampe double.

Les moteurs des années 90 comportent une distribution convenant à l'alimentation par injection d'essence. Deux arbres à cames actionnent les 4 soupapes par cylindre. L'écartement des soupapes en V permet de loger la bougie au centre d'une chambre dessinée pour obtenir une haute turbulence, source d'économie de carburant par



1. Huile sous pression
2. Palier d'arbre à cames
3. Came
4. culasse
5. Poussoir hydraulique
6. ressort de soupape
7. Guide de soupape
8. Soupape
9. Huile sous pression
10. Partie coulissante
11. Queue de soupape

Fig. 25 Soupapes en V commandées par poussoirs hydrauliques

Exercice : Localisation des composants**Durée :** 1 heure 30 minutes**But :** Reconnaître et localiser les différents types de commande de soupapes.**Matériel requis :** Moteurs différents**Marche à suivre :** Inspectez les moteurs, localisez les composants demandés puis complétez le tableau ci-dessous.

Moteur type		
Soupapes disposées en ligne		
Soupapes disposées en V		
Arbre à cames latéral	Poussoirs	
	Tiges	
	Culbuteurs en rampe unique	
	Culbuteurs en double rampe	
Arbre à cames en tête	Linguets	
	Poussoirs à pastille de réglage	
	Culbuteurs en rampe unique	
	Culbuteurs en double rampe	
Double arbre à cames en tête	Poussoirs à pastille de réglage	
	Culbuteurs	
	Poussoirs hydrauliques	

Chapitre IV**FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES DE GRAISSAGE ET DE REFROIDISSEMENT****4.1. NECESSITE ET FONCTIONNEMENT DU SYSTEME DE REFROIDISSEMENT**

L'étude du cycle à quatre temps du moteur à piston alternatif montre que, durant la combustion, les organes du moteur s'échauffent fortement, particulièrement le piston, le cylindre et la culasse. Cet échauffement a les conséquences suivantes :

- la dilatation des pièces, et par suite une diminution des jeux de montage ;
- la modification des propriétés des matériaux selon la température atteinte et la durée de l'échauffement ;
- l'altération du lubrifiant ;
- la diminution du taux de remplissage des cylindres par suite de la dilatation des gaz frais ;
- des risques accrus d'auto-allumage

Afin de limiter l'échauffement, les moteurs sont équipés d'un système de refroidissement qui conduit la chaleur entre le moteur et l'air atmosphérique. Les cylindres et la culasse sont pourvus d'une double paroi. L'espace entre les parois est rempli d'un liquide de refroidissement

Le système de refroidissement du moteur à essence ou diesel a pour buts :

- Mettre en température de fonctionnement le moteur aussi rapide que possible après sa mise en marche.
 - Maintenir constante la température de fonctionnement du moteur.
- Le système de refroidissement le plus couramment utilisé est de type «a circulation forcée du liquide ».

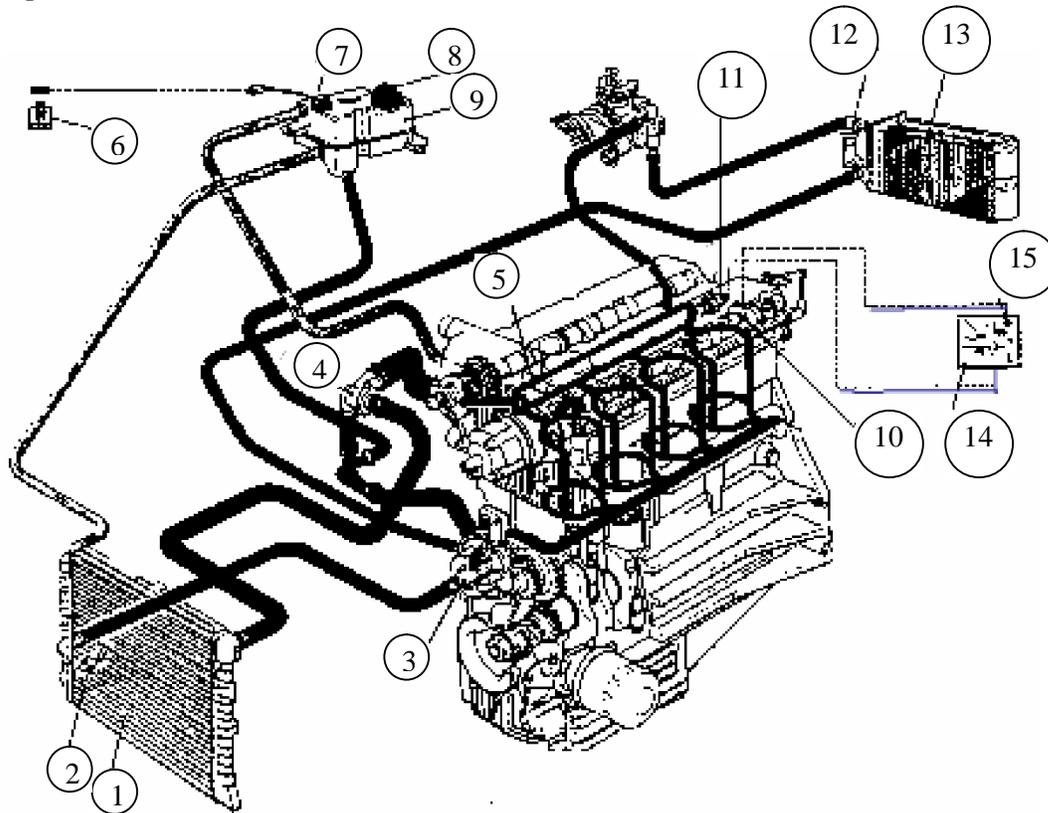


Fig. 26 Composants du système de refroidissement

1. Radiateur – 3. Pompe à eau – 4. Thermostat – 5. Chambres à eau du bloc cylindres et de la culasse – 7. Jauge à niveau de liquide - 8. Vase d'expansion – 10,11. Sondes de température – 13. Radiateur de chauffage.

La pompe à eau refoule le liquide vers les chambres à eau du bloc-cylindres et de la culasse. La circulation se fait en entrant par la partie inférieure du bloc-cylindres et en sortant par la partie supérieure de la culasse. Ainsi, le liquide s'échauffe au contact des parois du moteur et sorte vers le thermostat.

Si la température du liquide est inférieure à 80°C , le thermostat dirige le liquide vers la pompe à eau (canal by-pass). Ainsi, il s'établit un circuit dans le moteur qui active le réchauffement rapide et simultané de tout le moteur.

Si la température du liquide est supérieure à 80°C , le thermostat dirige le liquide vers le radiateur. Aspiré par la pompe à eau, le liquide traverse le radiateur et se refroidit au contact du courant d'air établi par le ventilateur. Ainsi, la différence de température entre l'entrée et la sortie du liquide du moteur n'est que de 5 à 7°C (température normale, environ 90°C).

Un vase d'expansion maintient constant le niveau de liquide et permet de dégazer le système.

Des dispositifs de contrôle permettent de vérifier en permanence : le niveau de liquide (jauge de niveau), la température du liquide (sondes de température).

Exercice : Localisation des composants**Durée :** 1 heure 30 minutes**But :** Reconnaître et localiser les différents composants du système de refroidissement.**Matériel requis :** Moteurs différents**Marche à suivre :** Inspectez les moteurs, localisez les composants demandés puis complétez le tableau ci-dessous.

Moteur type	
Chambres à eau du bloc-cylindres	
Chambres à eau de la culasse	
Thermostat	
Canal by-pass vers la pompe à eau	
Durites vers le radiateur	
Radiateur	
Durites vers la pompe eau	
Pompe à eau	

4.2. NECESSITE ET FONCTIONNEMENT DU SYSTEME DE GRAISSAGE

L'étude du cycle à quatre temps du moteur à piston alternatif montre que les différents organes glissent l'un sur l'autre : le piston et le cylindre, etc. Afin d'éviter le frottement à sec, l'échauffement considérable et la forte usure qui s'ensuivent, les moteurs sont équipés d'un système de graissage qui amène une couche de lubrifiant entre les organes en mouvement. La couche de lubrifiant qui adhère au métal d'un organe se déplace par glissement sur la couche de lubrifiant qui recouvre l'autre organe. Le frottement n'a donc lieu qu'à l'intérieur du lubrifiant : c'est le frottement fluide.

Le système de graissage du moteur à essence ou diesel a pour buts :

- Réduire les frottements et éviter l'usure des organes en contact ;
- Participer à l'équilibre thermique du moteur ;
- Améliorer l'étanchéité piston
- Nettoyer et évacuer les résidus de combustion et les impuretés ;
- Atténuer le bruit des organes en contact.

Le système de graissage le plus couramment utilisé est de type «a circulation d'huile sous pression ».

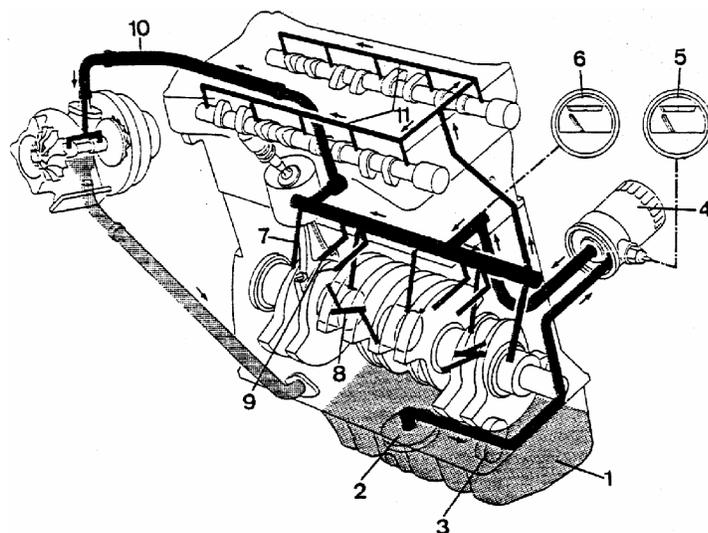


Fig. 27 Composants du système de graissage

1. Carter inférieur – 2. Crépine d'aspiration – 3. Pompe à huile – 4. Filtre à huile – 5. Manomètre de pression – 6. Thermomètre – 7, 8. Canalisations vers les paliers du vilebrequin – 9. Arrosage des pistons – 10. Graissage des paliers du turbocompresseur – 11. Canalisations vers l'arbre à cames et la commande des soupapes.

Le carter inférieur constitue la réserve d'huile. Une pompe aspire l'huile de carter à travers une crépine. L'huile est refoulée, à une pression dont la valeur maximale (4 à 5 bars) est contrôlée par une soupape de décharge incorporée à la pompe, à travers le filtre à huile vers la rampe principale.

D'ici l'huile est distribuée :

- Aux canalisations alimentant les paliers et les manetons du vilebrequin.
- Aux canalisations alimentant les paliers de l'arbre à cames et la commande des soupapes.
- A la canalisation alimentant le tendeur de la chaîne de distribution.
- A la canalisation alimentant les paliers du turbocompresseur.
- A la canalisation alimentant les gicleurs de refroidissement (arrosage) de fonds de pistons.

L'huile retombe ensuite par gravité dans le carter inférieur par de retours prévus à cet effet.

Des dispositifs de contrôle permettent de vérifier : le niveau d'huile (jauge de niveau), pression d'huile (manomètre, au niveau de la rampe principale), température d'huile (thermomètre).

Exercice : Localisation des composants

Durée : 1 heure 30 minutes

But : Reconnaître et localiser les différents composants du système de graissage.

Matériel requis : Moteurs différents

Marche à suivre : Inspectez les moteurs, localisez les composants demandés puis complétez le tableau ci-dessous.

Moteur type	
Pompe à huile	
Filtre à huile	
Rampe principale	
Canalisations vers les paliers du vilebrequin	
Canalisations vers l'arbre à cames et les soupapes	
Canalisations vers le tendeur de la chaîne	
Carter inférieur	
Dispositifs de contrôle	Jauge de niveau
	Manomètre
	Thermomètre

Exercice d'évaluation

Durée : 1 heure 30 minutes

Questions :	Barème / 20
1. Tracez le diagramme de distribution d'un moteur ayant $AOA = 10^\circ$, $RFA = 40^\circ$, $AOE = 35^\circ$, $RFE = 8^\circ$, $AA = 6^\circ$ et calculez la durée de l'admission et de l'échappement.	.../ 04 pts
2. Dessinez le schéma d'une commande de l'arbre à cames utilisant un trio de pignons ?	.../ 02 pts
3. Quel est l'avantage de la commande de l'arbre à cames par chaîne par rapport à celle à pignons ? Précisez aussi les types de chaîne utilisés.	.../ 02 pts
4. Quels sont les avantages de la commande de l'arbre à cames par courroie crantée par rapport à celle à chaîne ?	.../ 02 pts
5. Quelles sont les composants de la commande des soupapes d'un moteur à arbre à cames latéral et soupapes en tête ?	.../ 02 pts
6. Quelle est le composant qui assure la commande des soupapes disposées en ligne / en V pour un moteur à arbre à cames en tête ?	.../ 02 pts
7. Quelles sont la nécessité et les buts du système de refroidissement?	.../ 03 pts
8. Quelles sont la nécessité et les buts du système de graissage ?	.../ 03 pts

Chapitre V

CONTROLE DE L'ETANCHEITE DE LA CHAMBRE DE COMBUSTION

5.1. ETANCHEITE DE LA CHAMBRE DE COMBUSTION

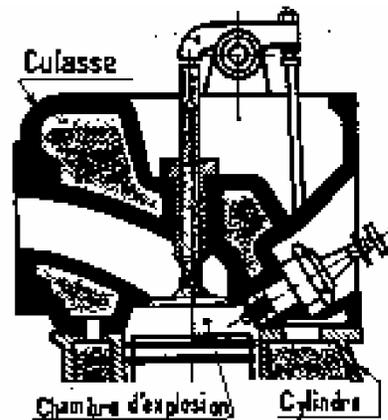


Fig. 28 Etanchéité de la chambre de combustion

Pour un moteur donné, la force qui agit sur le piston, et par la suite le couple moteur et la puissance du moteur, est en fonction de la pression qu'atteint les gaz du fait de la combustion. La combustion elle-même, est en fonction de la pression de compression. La température du mélange combustible et son homogénéité, pour le moteur à essence, ou la température de l'air, pour le moteur diesel, sont influées par la pression de compression.

La pression de compression et la force qui agit sur le piston dépendent de l'absence des fuites de pression, c'est-à-dire, de l'étanchéité de la chambre de compression.

Les fuites de pression, en fin de compression, peuvent se manifester :

- au niveau des segments, entre le piston et le cylindre ;
- au niveau des soupapes, entre la soupape et son siège.

Le contrôle de la pression en fin de compression donne un aperçu concernant l'étanchéité de la chambre de combustion.

5.2. COMPRESSIOMETRE

Le compressiomètre, généralement équipé d'un enregistreur, est un appareil qui mesure la pression dans la chambre de combustion en fin de compression. La valeur est donnée en bar.

Le compressiomètre enregistreur est disponible en deux versions : version moteurs à essence et version moteurs diesel.

Un raccord rapide pour moteurs à essence permet le branchement du compressiomètre sur le trou de la bougie.

Un raccord rapide pour moteur diesel permet le branchement du compressiomètre sur le faux injecteur.

En agissant sur le bouton démarreur, après avoir branché la pince rouge sur la borne positive de la batterie et la pince bleue sur le contact 50 du démarreur, le dispositif incorporé commande la rotation du moteur.

Par l'intermédiaire du raccord rapide, un cylindre incorporé reçoit la pression d'air de fin de compression. Le système piston et tige à ressort du cylindre convertit la pression en déplacement d'une aiguille. Ce déplacement enregistre l'essai sur un diagramme gradué en bars. Le diagramme, positionné sur une porte-diagramme, permet la lecture comparative de 8 essais.

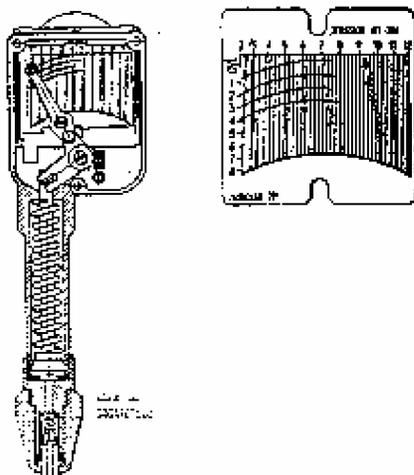


Fig. 29 Compressiomètre enregistreur

5.3. CONTROLE DES PRESSIONS

Le contrôle des pressions consiste à effectuer les mesures comparatives entre les différents cylindres du moteur afin d'établir un diagnostic.

L'étanchéité des chambres de combustion est normale si les valeurs des pressions sont au dessus d'un minimum admis et la différence entre chaque cylindre ne dépasse pas 1.5 bars pour un moteur à essence et 3 bars pour un moteur diesel.

Rapport volumétrique	Valeurs de pressions
Moteur à essence 7.5 à 8.3	10 à 9 bars, min. 7.5 bars
9.0 à 9.4	12 à 10 bars, min. 8.5 bars
10	15,5 à 13,5 bars, min. 12 bars
10,5	16 à 14 bars, min. 12,5 bars
Moteur diesel 21.5 à 22	30 à 24 bars, min. 18 bars

Si toutes les valeurs des pressions sont au-dessous d'un minimum admis, on est en présence d'une usure uniforme du moteur.

Le défaut peut être détecté par l'injection d'un peu d'huile à moteur dans la chambre de combustion du cylindre à contrôler. Si la valeur de la pression augmente, on est en présence d'une usure de la paroi du cylindre ou des segments de piston. Dans le cas contraire, le défaut peut provenir de soupapes, de sièges de soupapes ou de joint de culasse défectueux.

Si deux cylindres côte à côte indiquent une même valeur, pourtant inférieure de beaucoup à celle des autres cylindres, le défaut peut provenir d'un joint de culasse non étanche entre les deux cylindres ou d'une culasse fissurée.

Module : 8.
ETUDE DES MOTEURS THERMIQUES
GUIDE DES TRAVAUX PRATIQUES

I. TP. 1 : **DIAGNOSTIC DE L ETAT DU MOTEUR**

I.1. Objectifs visés :

- Utiliser correctement le compressiomètre.
- Détecter et interpréter les anomalies de fonctionnement.

I.2. Durée du TP:

6 heures

I.3. Matériel par équipe :

a) Equipement :

- Moteur à essence en état de marche.
- Moteur diesel en état de marche.
- Compressiomètre enregistreur version moteurs à essence.
- Compressiomètre enregistreur version moteurs diesel.

b) Matière d'œuvre :

- Essence
- Gasoil
- Chiffon
- Huile

I.4. Description du TP :

Dans une première étape, les stagiaires doivent préparer le moteur pour la mesure des compressions.

Dans une seconde étape, les stagiaires doivent mesurer les compressions des cylindres du moteur et inscrire les valeurs dans une fiche.

Dans une troisième étape, les stagiaires doivent effectuer le diagnostic de l'état du moteur.

I.5. Déroulement du TP

5.1. Préparation du moteur.

Contrôler les jeux des soupapes et régler si nécessaire.

Mettre le moteur en marche et le faire tourner jusqu'à sa température de fonctionnement.

Pour le moteur à essence, déposer toutes les bougies et mettre le papillon du carburateur en pleine ouverture.

Pour le moteur diesel, déposer tous les injecteurs, monter les faux injecteurs et mettre la pompe d'injection en position « stop ».

5.2. Mesure des compressions :

Brancher les pinces conformément à la notice d'emploi du compressiomètre.

Placer sur le porte-diagramme une nouvelle fiche-diagramme et introduire entièrement le porte-diagramme dans le compressiomètre. L'aiguille sera ainsi

correctement positionnée pour l'enregistrement au même niveau de l'inscription « cylindre 1 ».

Presser fortement le raccord rapide du compressiomètre contre l'orifice de bougie ou contre le faux injecteur.

Actionner le démarreur par le bouton du compressiomètre jusqu'à la stabilisation complète de l'aiguille.

Décharger la pression en agissant sur le curseur de décharge et débrancher le raccord rapide.

Faire avancer la fiche-diagramme d'un pas en agissant sur le bouton prévu à cet effet.

Faire l'essai de compression du deuxième cylindre et procéder de la même façon jusqu'à dernier cylindre.

Comparer les valeurs des compressions à la valeur donnée par le constructeur.

Si une ou plusieurs valeurs sont faibles, verser un peu d'huile dans le trou de la bougie ou dans le trou de l'injecteur de cylindres concernés.

Changer la fiche- diagramme.

Refaire l'essai de compression pour les cylindres concernés.

5.3. Diagnostic de l'état du moteur :

Inscrire les valeurs des compressions dans la fiche ci-dessous.

Comparer les valeurs des deux essais et établir l'origine du défaut.

Type de moteur.....

Jeux des soupapes : A.....E.....

Valeur de compression donnée par le constructeur :.....

	Essai no. 1	Essai no. 2	Origine du défaut
Cylindre 1			
Cylindre 2			
Cylindre 3			
Cylindre 4			
Cylindre 5			
Cylindre 6			

Evaluation de fin de module

Durée : 3 heures

Observations et jugements	Barème / 40
1. Explication correcte du diagramme du cycle moteur à quatre temps	
1.1. Définir le cycle moteur à quatre temps	/ 06
1.1.1. Tracer le diagramme du cycle à quatre temps.	/ 02
1.1.2. Expliquer la signification de la pression moyenne indiquée, du couple moteur et de la puissance.	/ 04
1.2. Expliquer le fonctionnement du moteur thermique.	/ 06
1.2.1. Comment au niveau du cycle moteur améliore-t-on le remplissage du cylindre et de ce fait le travail mécanique ?	/ 04
1.2.2. Quelle est la raison du fait que le rapport volumétrique d'un moteur à essence a des valeurs limitées de 6 : 1 à 10 : 1 ?	/ 02
2. Distinction correcte entre les moteurs à essence et diesel	
2.1. Comparer les moteurs à essence et diesel.	/ 08
2.2.1. Quelle est la différence entre le moteur à essence et le moteur diesel selon la formation du mélange ?	/ 02
2.2.2. Quelle est la différence entre le moteur à essence et le moteur diesel selon le mode d'allumage ?	/ 06
2.2. Expliquer les avantages et les inconvénients du moteur diesel.	/ 04
2.2.1. Expliquer deux avantages du moteur diesel en utilisant les paramètres : rendement thermique et couple moteur.	/ 02
2.2.2. Expliquer deux inconvénients du moteur diesel en utilisant les paramètres : prix et masse.	/ 02
3. Explication et dessin corrects du diagramme de distribution.	
3.1. Dessiner le diagramme de distribution	/ 04
Tracer le diagramme de distribution pour un moteur ayant : AOA = 17°, RFA = 37°, AOE = 59°, RFE = 15° et AA = 10°.	/ 02
Calculer la durée de l'admission et de l'échappement.	/ 02
4. Enumération exacte des différents types de distribution.	
4.1. Distinguer les différents types de distribution.	/ 04
4.1.1. Comment le tendeur d'une commande de l'arbre à cames par chaîne réalise-t-il son appui progressif ?	/ 02
4.1.2. Quelle est la commande de soupapes convenant aux moteurs à alimentation par injection d'essence ?	/ 02

5. Explication juste des systèmes de refroidissement et de graissage.	
5.1. Décrire le fonctionnement des systèmes de refroidissement et de graissage.	/ 04
5.1.1. Expliquer le principe du fonctionnement du système de refroidissement.	/ 02
5.1.2. Expliquer le principe du fonctionnement du système de graissage.	/ 02
6. Détection et interprétation juste des anomalies de fonctionnement.	
6.1. Effectuer le diagnostic de l'état du moteur.	/ 04
6.1.1. Mesurer les compressions du moteur.	/ 02
6.1.2. Diagnostiquer l'état du moteur.	/ 02

