LA LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Les éléments d'un moteur à 4 temps [1]..... 17

LISTE DES SYMBOLES

d : L'alésage

c : la course

v : La cylindrée unitaire

Vt : La cylindrée totale

n **:** le nombre de cylindres

P : pression

V : volume

J : Jeu entre pastille et arbre à cames.

LA LISTE DES ABREVIATION

A1 : Angle d'ouverture des soupapes d'admission avant le PMH

A2 : Angle de fermeture des soupapes d'admission après le PMB

CA : Centre de la came d'admission par rapport au PMH, égale DA/2 – A1

CE : Centre de la came d'échappement par rapport au PMH, égale DE/2 – E2

CCAE : Centre-centre des centres de came admission et échappement, égale DA/2 + DE/2 – A1 – E2

CHAE : Chevauchement des ouvertures des soupapes d'admission et d'échappement, égale A1 + E2

DA : Durée de la came d'admission, égale A1 + A2 + 180

DE : Durée de la came d'échappement, égale E1 + E2 + 180

E1 : Angle d'ouverture des soupapes d'échappement avant le PMB

E2 : Angle de fermeture des soupapes d'échappement après le PMH

PMB : Point mort bas

PMH : Point mort haut

S1 : la modélisation d'une soupape

S0 : la modélisation d'un moteur

S2 : la modélisation d'une came

Ω : Le vecteur de pivotement

Ωr : Le vecteur de roulement

V : la vitesse de glissement

SOMMAIRE

Remerciement
Dédicace
Résume
La liste des figures
La liste des tableaux
Liste des symboles
Introduction générale

Chapitre I : Généralité sur les moteurs à combustion interne

Introduction ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.2.Aspect générales du moteur (diesel, essence) ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.2.1. Le Bâti du moteur ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.2.2. Le système d'embiellage ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.2.3. Définition principale ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.3.Principe de fonctionnement d'un moteur à deux temps ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.4. Principe de fonctionnement d'un moteur à quatre temps ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.4.1.Moteur Diesel ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.4.1.1. Le système d'alimentation dans le moteur Diesel ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.4.1.2. types des moteurs Diesel ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.4.2. Moteur à essence ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.4.3. Comparaison entre le moteur Diesel et moteur essence ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.5. Le système de refroidissement ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.5.1.Refroidissement par liquide ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.5.2.Refroidissement par air ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.6.Le système de graissage ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Conclusion ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Chapitre II: Système de distribution

Introduction ..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.2. Définition de la distribution ..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.3. Diagramme de distribution ..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.4. Eléments de la distribution ..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.4.1. Arbre à cames ..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.4.1.1 Emplacement de l'arbre à cames ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.4.1.2. Entraînement de l'arbre à came ..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.4.2. Les soupapes..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.4.2.1. Matière de construction..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.4.3. Les ressorts de soupapes..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.5. Les actionneurs..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.6. Calage de la distribution..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.7. Jeu des soupapes..... **Erreur ! Signet non défini.**
Conclusion ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Chapitre III: Etude et conception l'arbre à came

Introduction..... **Erreur ! Signet non défini.**
III.2.Définition ..... **Erreur ! Signet non défini.**
III.3.Principe de fonctionnement ..... **Erreur ! Signet non défini.**
III.4. Implantation des arbres à cames ..... **Erreur ! Signet non défini.**
III.5. Les came ..... **Erreur ! Signet non défini.**
III.5.1. Définition ..... **Erreur ! Signet non défini.**
III.5.2. La forme d'une came ..... **Erreur ! Signet non défini.**
III.5.3. Phasage et levée ..... **Erreur ! Signet non défini.**
III.5.4. Mesure de la forme de la came ..... **Erreur ! Signet non défini.**
III.6. Etude cinématique..... **Erreur ! Signet non défini.**
III.6.1. Schématisation ..... **Erreur ! Signet non défini.**
III.6.2. Modélisation des vitesses de glissement ..... **Erreur ! Signet non défini.**
III.6.3. Matériaux et procède de fabrication..... **Erreur ! Signet non défini.**
III.7. Conception assistée par ordinateur ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Conclusion ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Conclusion générale

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Le moteur à combustion se compose de plusieurs pièces qui travaillent ensemble pour le faire tourner, tel que le piston, chemise, bielle, vilebrequin, soupapes, arbre à came ; cette dernière (qui est commandée par une poulie à son extrémité et son rôle est d'ouvrir les soupapes d'admission et d'échappement les unes après les autres) été le choix de notre thème.

L'organisation de ce mémoire est présentée par trois chapitres :

- ✓ Le premier chapitre donne une présentation des moteurs à combustion interne et leurs organes de fonctionnement.

Les moteurs à combustions internes sont l'ensemble des organes qui transforment l'énergie calorifique d'un combustible en énergie mécanique.

L'énergie calorifique du moteur provient de l'énergie chimique potentielle du mélange air carburant où la combustion se fait à l'intérieur même du moteur (moteur d'automobile, de camion, de locomotive).

On s'intéresse dans cette chapitre à l'étude des moteurs combustion interne, pour distinguer le fonctionnement des moteurs (diesel, essence) et leurs l'organe.

- ✓ Le deuxième chapitre constitue une généralité sur système distribution

On nomme" distribution, l'ensemble des éléments qui permettent de réaliser l'ouverture et la fermeture des cylindres dans les conditions définies par l'épure circulaire du moteur.

Dans les moteurs à quatre temps, l'ouverture et la fermeture des cylindres sont réalisées par les soupapes .Une ouverture est réalisée par des cames montées sur un ou plusieurs arbres à cames .La fermeture est assurée, en général, par des ressorts de rappel nommés " ressorts de soupapes)).Des poussoirs sont interposés entre les cames et les queues de soupapes.

- ✓ Le troisième chapitre décrit étude de l'arbre à came et leur conception par ordinateur

Aujourd'hui, l'arbre à cames est une pièce essentielle du moteur à combustion. L'arbre à cames, appelé également « arbre de distribution », commande l'ouverture des soupapes, en transformant le mouvement rotatif issu du moteur en mouvement longitudinal actionnant les soupapes. Il s'agit d'un arbre, entrainé par des pignons, une chaîne ou une courroie crantée.

Chapitre I : Généralité sur les moteurs à combustion interne

RapportGratuit.com

Introduction

Le moteur à combustion interne est un enchainement des processeurs et systèmes .un moteur peut se réaliser à deux temps ou quatre temps .dans les deux cas, il peut être à essence ou diesel. Nous allons voir une vue générale de l'architecteur des moteurs et le principe de fonctionnement de ces derniers tout introduisant les systèmes nécessaires à leurs fonctionnements

I.2.Aspect générales du moteur (diesel, essence)

A part certains de composants qui différent du type du moteur, un moteur à combustion interne comprendre les composants essentiels énumérés sur la figure I.1.

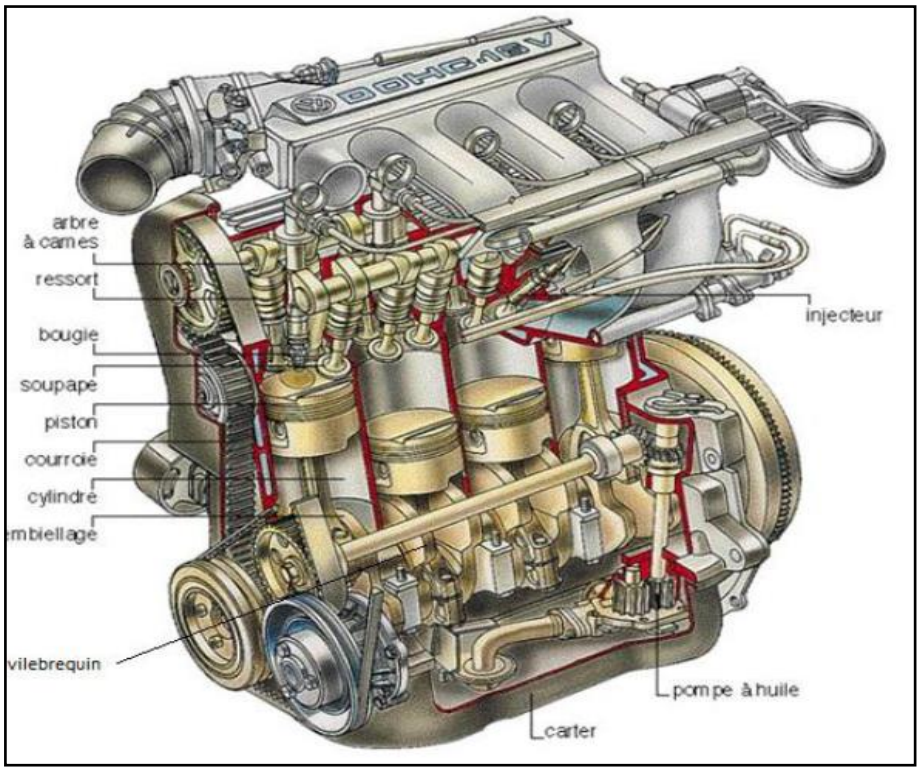

Figure I.1.Composition générale d'un moteur à piston [A]

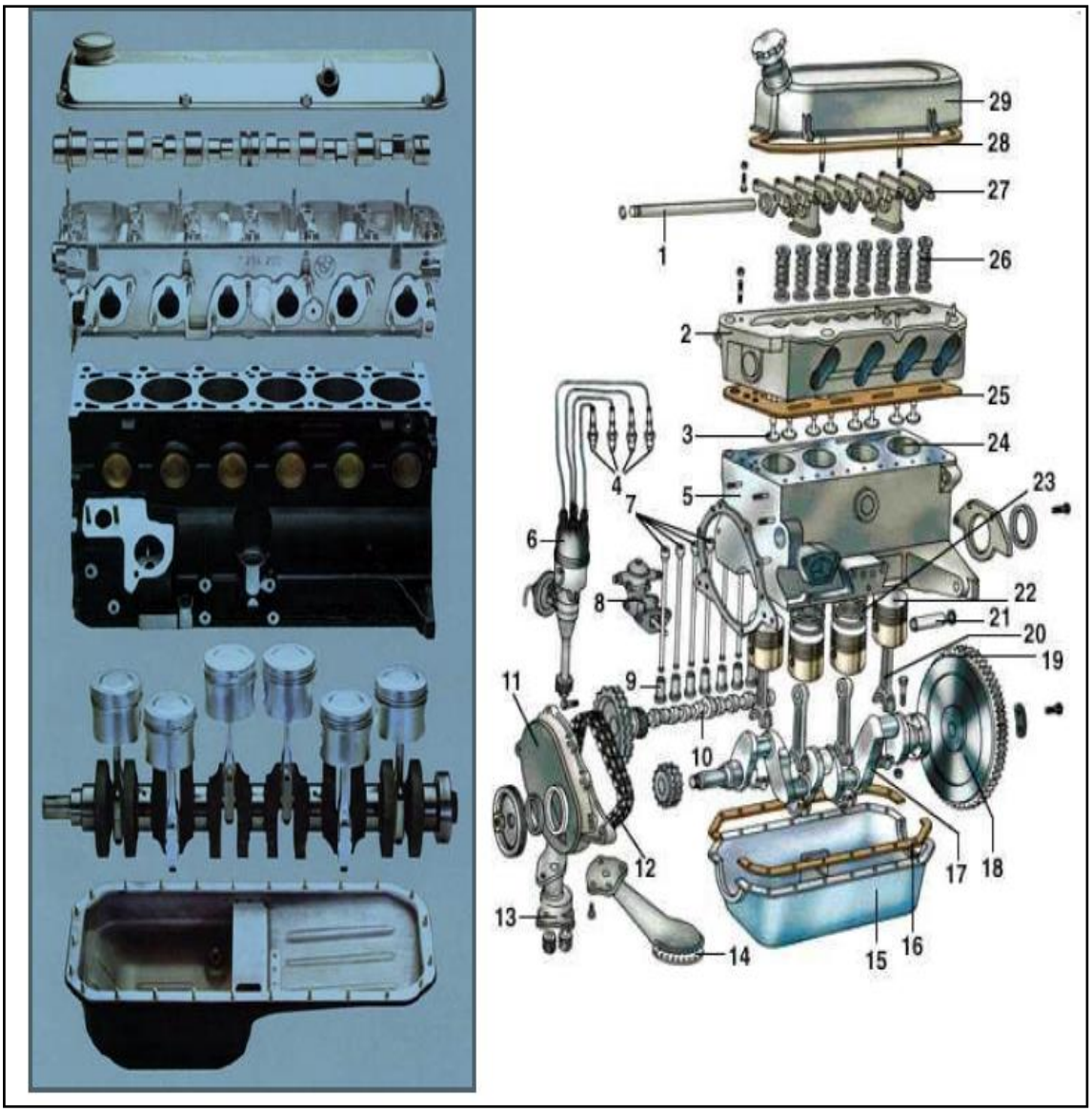

Figure I.2 : Aspect générale d'un moteur [1].

Numéro	Elément
1	axe de culbuteur
2	Culasse
3	Soupapes
4	Bougie
5	Bloc
6	Allumeur

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

7	tige de commande de culbuteur
8	pompe a essence
9	Poussoirs
10	arbre a cames
11	carter de distribution
12	chaine de distribution
13	pompe à d'huile
14	crépine de pompe a huile
15	carter d'huile
16	joint de carter
17	Vilebrequin
18	volant moteur
19	couronne dentée entrainée par démarreur
20	Bielle
21	axe de piston
22	Piston
23	Segment
24	Cylindre
25	joint de culasse
26	ressort de soupape
27	Culbuteur
28	joint de cache –culbuteur

cache culbuteur

29

Tableau I.1 : Les éléments d'un moteur à 4 temps [1].

Pour le bon fonctionnement d'un moteur et du type de celui-ci le moteur doit être muni de [2]:

- ✓ Le Bâti du moteur
- ✓ Un système d'embiellage
- ✓ Un système de distribution
- ✓ Un système d'alimentation

I.2.1. Le Bâti du moteur

Le bâti du moteur représenta le corps qui porte, intérieurement et extérieurement, les pièces et les mécanismes du moteur .Il est composé des éléments suivants :

- **Bloc carter**

  Le bloc carter intérieurement, est composé de cloison, qui le partagent en compartiment.la parie supérieure constitue le bloc cylindre.

- **Culasse**

  La culasse est montée sur la partie supérieure du bloc carter. Elle représente une plaque épaisse, généralement, en fonte .des orifices et des passages pour soupapes, les injecteurs les canaux d'admission et d'échappement.

- **Cuvette inférieure**

  La Cuvette inférieure est montée sur le plan inférieur du bloc carter .D'une part, elle renferme la partie inférieure du moteur et d'autre part, elle joue le rôle du réservoir d'huile de graissage.

- **Carter de distribution**

  Ce carter renferme les pignons transmettant le mouvement de rotation du vilebrequin vers l'arbre de distribution, la pompe à eau, et la pompe d'injection et autres.

- **Carter du volant**

  Il enferme le volant et permet la fixation du moteur sur le cadre.

I.2.2. Le système d'embiellage

Le système d'embiellage a pour rôle de transformer le mouvement alternatif du piston en mouvement de rotation du vilebrequin. Il est composé de :

- **Cylindres**

  Les cylindres peuvent appartenir au même corps que le bloc cylindre ou fabriqués séparément. Dans le dernier cas, ils sont appelés chemise.

- **Pistons**

  Les pistons ont pour rôle de transmettre les efforts exercés par les gaz, vers le vilebrequin à travers la bielle.

- **Axe du piston**

  L'axe du piston a pour rôle d'assurer la liaison mécanique entre la bielle et le piston .Le déplacement longitudinal est empêché par des joncs d'arrêt.

- **Segments du piston**

  Selon la destination, les segments peuvent être de compression assurant l'étanchéité de la chambre de combustion en empêchant les fuites des gaz ou racleur empêchant la pénétration de l'huile de graissage vers la chambre de combustion.

- **Bielles**

  La bielle assure la liaison mécanique entre le piston et le vilebrequin .elle transmet l'effort des gaz agissant sur le piston, vers le vilebrequin .la partie de la bielle liée au piston est appelée pied de la bielle, la partie liée au vilebrequin est appelée tète de la bielle.

- **Vilebrequin**

  Le vilebrequin reçoit l'effort et le transforme en mouvement de rotation.il est composé des tourillonnes sur quoi repose le vilebrequin dans le bloc carter. Des manetons recevant les bielles des flasques reliant les manetons aux tourillons.des contrepoids pour l'équilibrage, le volant qui sert pour accumuler l'énergie cinétique dépensée durant les temps résistant.

I.2.3. Définition principale

Le schéma d'un moteur à combustion interne peut se représenté par le figure I.3.

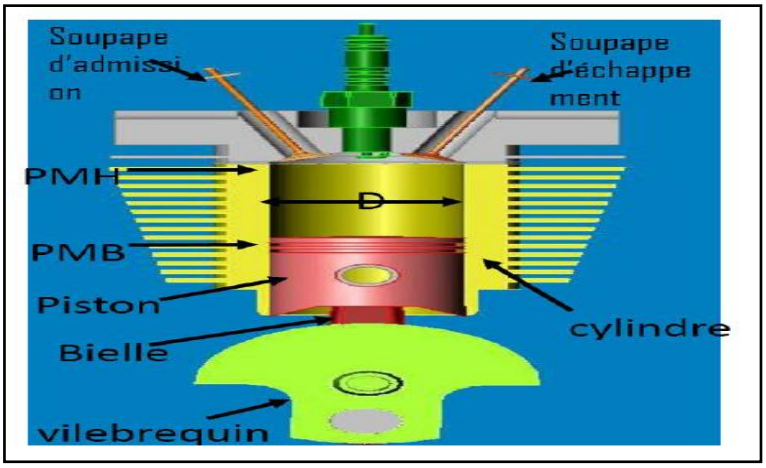

Figure I.3.Schéma d'un moteur à pistions [3]

Le piston coulisse entre deux point, le point haut (PMH) et le point bas (PMB).cette distance parcourue par le piston du PMH au PMB dans le cylindre d'alésage d est appelée course du piston [4].

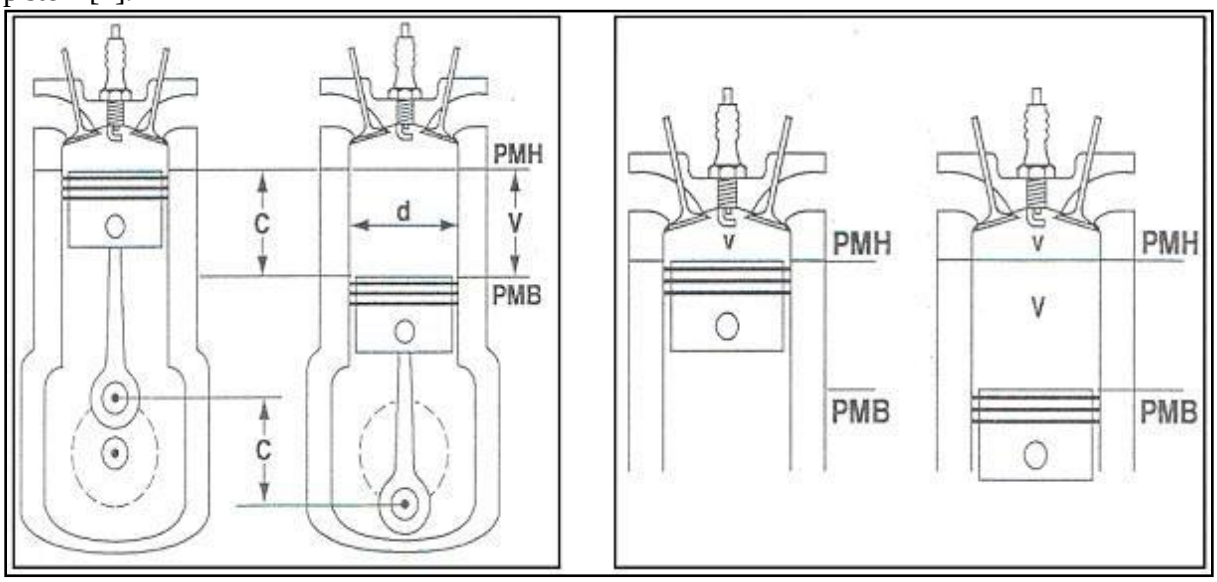

Figure II.4.Caractéristiques du moteur

- **L'alésage** :

  L'alésage « d »(en centimètre) est le diamètre intérieur du cylindre

- **La course** :

  La course « C »(en centimètre) est la distance parcourue par le piston entre son Point Mort Haut (PMH) et son Point Mort Bas (PMB).

- **La cylindrée** :

  La cylindrée unitaire « V »(en centimètre cube) est le volume compris dans un cylindre entre la PMH et le PMB. $\mathbf{V= (\pi.d^2/4).C}$

- **La cylindrée totale** :

  La cylindrée totale « Vt »(en centimètre cube) est égale à la cylindrée unitaire multipliée par le nombre de cylindres n. $\mathbf{Vt=V.n}$

- **Le rapport volumétrique** :

  C'est le rapport entre le volume total dans le cylindre (quand le piston est au PMB) et le volume restant quand le piston est au PMH (volume mort ou volume de la chambre de combustion).

I.3.Principe de fonctionnement d'un moteur à deux temps

Le cycle à deux temps ayant seulement deux mouvements linéaires du piston au lieu de quatre, bien que les mêmes opérations (admission, compression, combustion/détente et échappement) soient toujours effectuées et le cycle moteur se réalise en un tour au lieu de deux tours du vilebrequin. Les différentes étapes du cycle deux temps [5].

- Dans un premier temps (Détente), le piston (5), est au point mort haut.

La bougie initie la combustion et le piston descend en comprimant en même temps le mélange présent dans le carter, sous le piston. C'est la partie motrice du cycle, le reste du parcours sera dû à l'inertie créée par cette détente. Cette étape est la détente. Lors de cette descente du piston, l'entrée (6) du mélange dans le carter se ferme [6].

- Arrivé à proximité point mort bas (Admission et échappement), le piston débouche les lumières d'échappement (2) et d'arrivée de mélange dans le cylindre (3) : le mélange en pénétrant dans le cylindre chasse les gaz de la combustion (zone 1). Il s'agit de l'étape d'admission - échappement.

En remontant (Compression), le piston compresse le mélange dans le cylindre. Au passage, il rebouche l'échappement (2) et l'entrée de mélange dans le cylindre (3), tout en créant une dépression dans le carter (4) qui va permettre l'arrivée du mélange air-essence par la soupape d'arrivée (6), dont l'entrée a été libérée par la position du piston proche du point mort haut. Cette étape est celle de la compression. Une fois arrivé à nouveau au point mort haut, le cycle peut recommencer à partir du premier point [7].

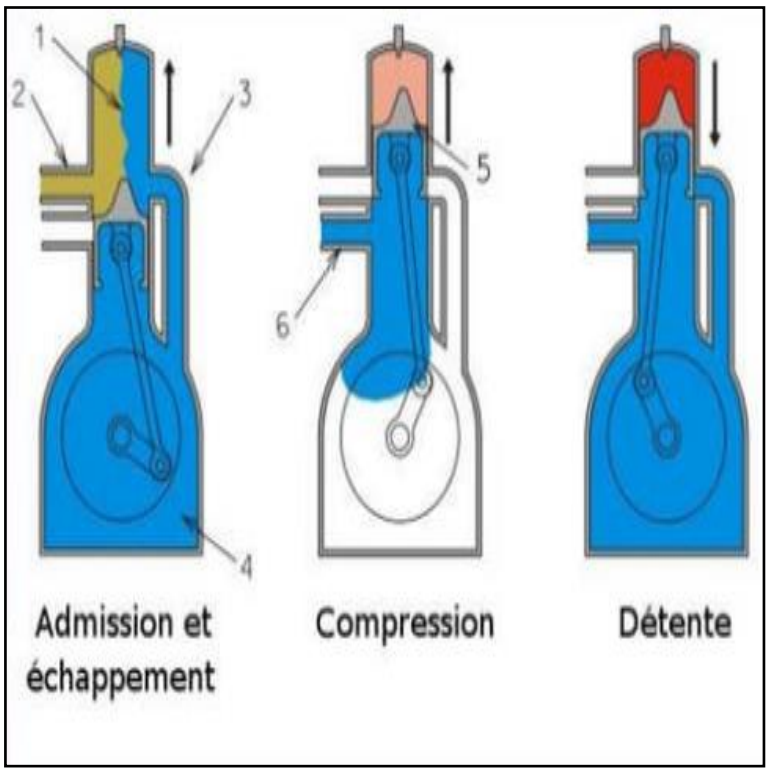

Figure I.5.Principe de fonctionnement d'un moteur à deux temps

I.4. Principe de fonctionnement d'un moteur à quatre temps

Tous les moteurs à combustion interne à quatre temps fonctionnent sur le même principe .ils ont quatre temps :

- ✓ Admission
- ✓ Compression
- ✓ Combustion /Explosion
- ✓ Echappement

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

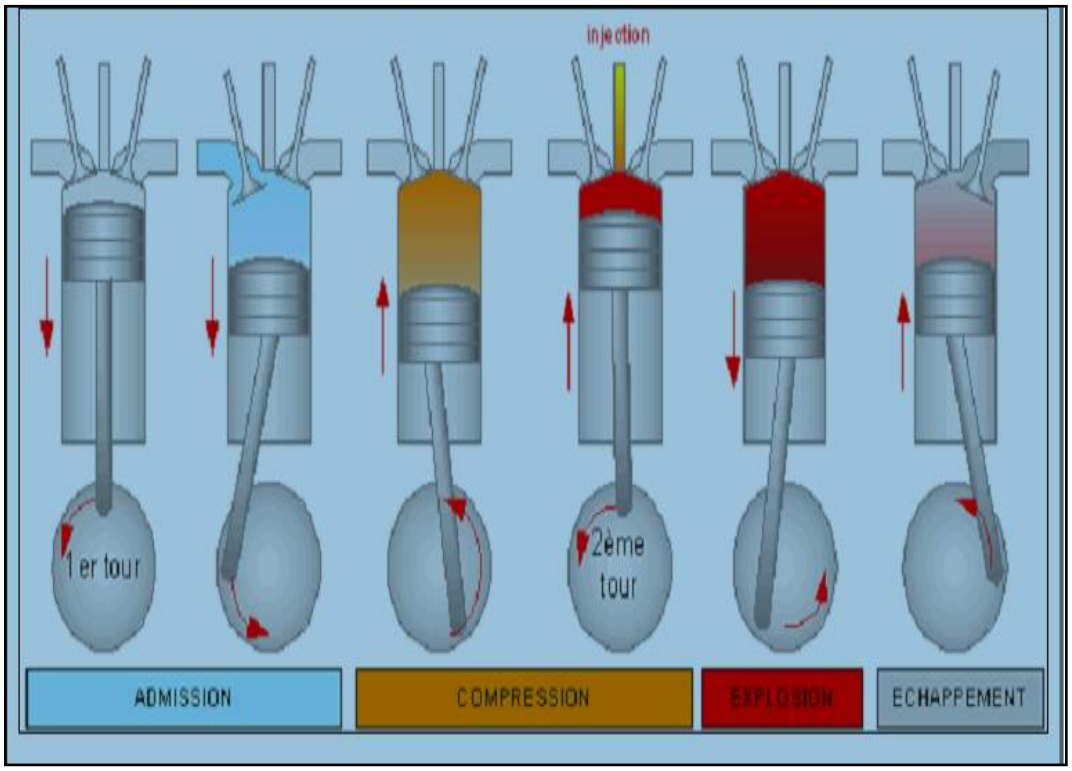

Figure I.6.Les quatre temps du moteur [8].

I.4.1.Moteur Diesel

Le moteur diesel est un moteur alternatif à piston .Il a été mis au point en 1980 par Rudolf Diesel. Ses quatre phases sont

-1) Admission

- Ouverture de la soupape d'admission au point mort haut (PMH) mise à la pression l'entrée du cylindre,
- Descente du piston (entraîné par l'inertie du cycle précédent),
- Remplissage du cylindre par le mélange gazeux,
- Fermeture de la soupape d'admission au point mort bas (PMB),
- Cycle : Augmentation du volume à pression constante (droite AB).

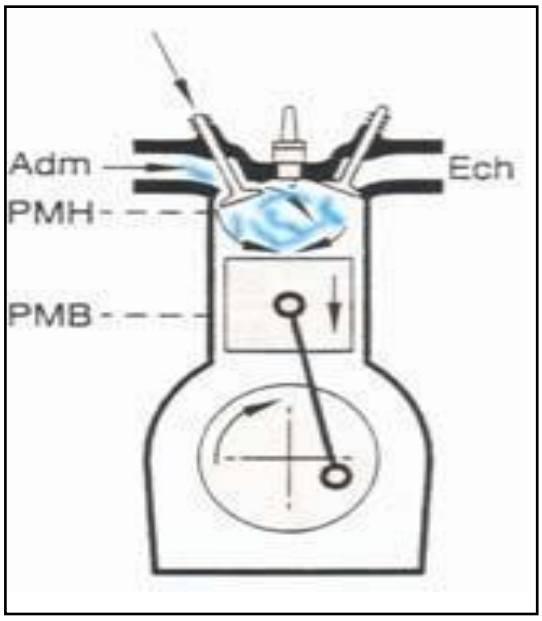

Figure III.7.Schéma d'admission

- 2) Compression

- Les soupapes d'admission et de d'échappement sont fermées,
- Le piston remonte vers le point PMH d'où une forte élévation de pression due à la diminution de volume accompagnée par une élévation importante de la température (celle-ci doit atteindre, au PMH, au minimum 500ºC pour assurer l'inflammation spontanée du mélange au moment d'injection),
- Cycle : Montée en pression (courbe BC).

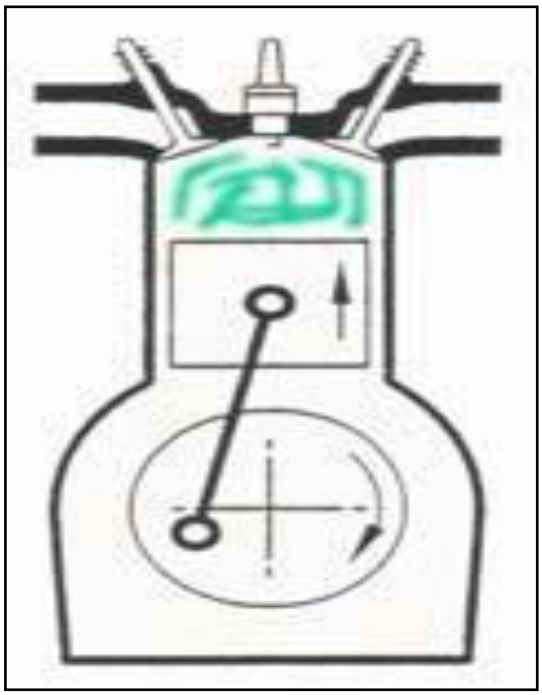

Figure I.8.Schéma de compression

-3) Explosion

- Les soupapes d'admission et d'échappement sont fermées,
- Le combustible est injecté dans le cylindre au PMH avant que la pression maximum du cycle soit atteinte,
- Temps de combustion : Au PMH, une combustion primaire à volume constant se déclenche par auto-inflammation permet d'atteindre la pression maximum dans le cylindre et qui sous laquelle se déclenche une deuxième combustion (à pression constante),
- Temps de détente : Le piston propulsé vers le bas par la forte pression fait tourner le vilebrequin (temps moteur),
- Cycle : Montée en pression à volume constant (droite CD), augmentation du volume à pression constante (droite DE), Chute de pression (détente : courbe EF).

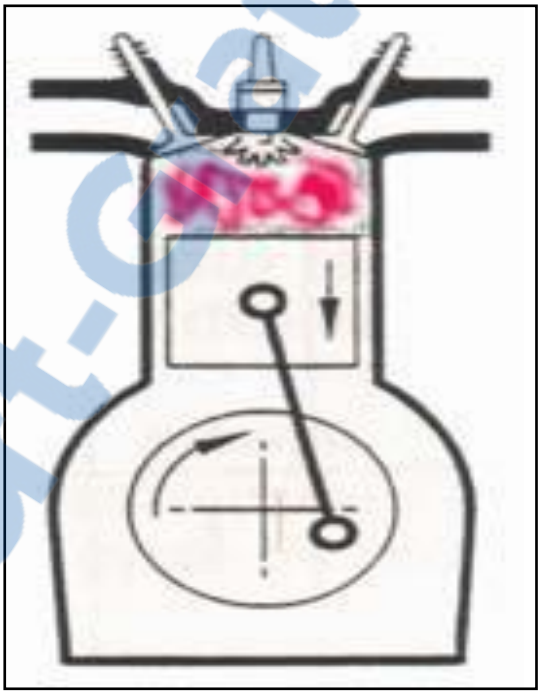

Figure I.9.Schéma explosion

Rapport-Gratuit.com

- 4) Échappement

- Ouverture de la soupape d'échappement,
- Le piston remonte et chasse vers l'atmosphère les gaz brûlés,
- Cycle : Échappement primaire à volume constant (droite EB), Échappement secondaire à pression constante (droite BA).

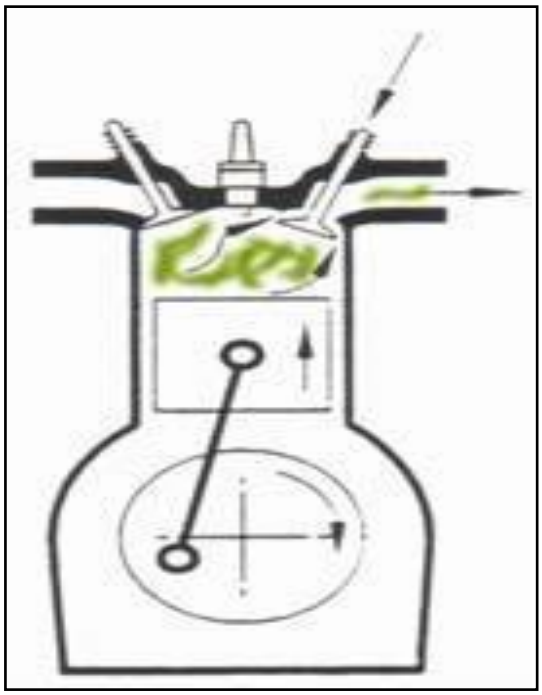

Figure I.10.Schéma d échappement

Remarque : pour effectuer les 4 temps le vilebrequin effectue 2 tours.

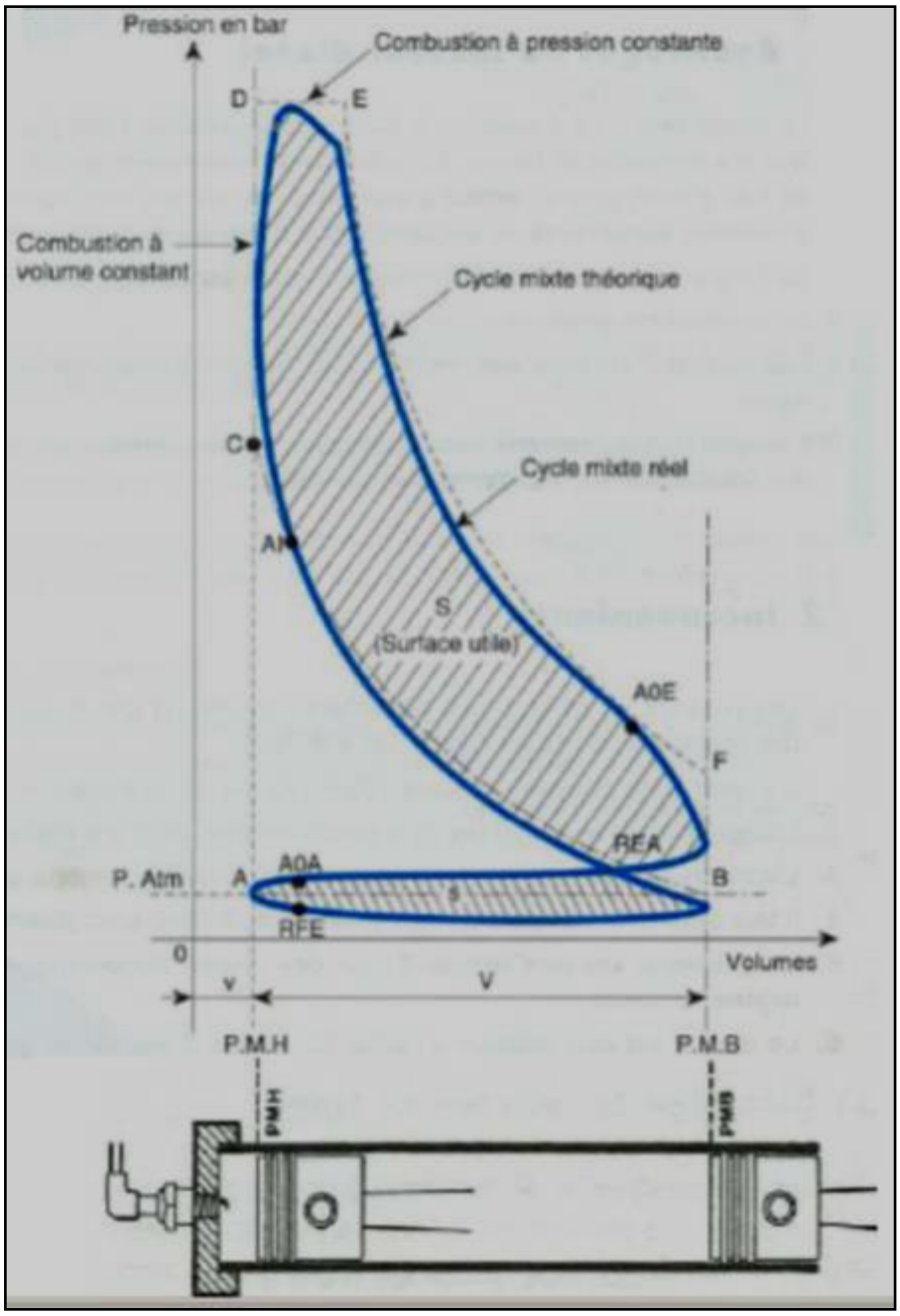

Figure I.11.Cycle mixte (réel et théorique) représenté sur un diagramme (p – v)

AOA=avance ouverture Admission

AOE= avance ouverture Echappement

REF=retard à la fermeture d'échappement

REA= retard à la fermeture d'admission

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

I.4.1.1. Le système d'alimentation dans le moteur Diesel

I.4.1.2. types des moteurs Diesel

Selon le mode d'injection du combustible, on clase les moteurs diesel en deux catégories : les moteur à injection directe et les moteurs à injection indirecte [9].

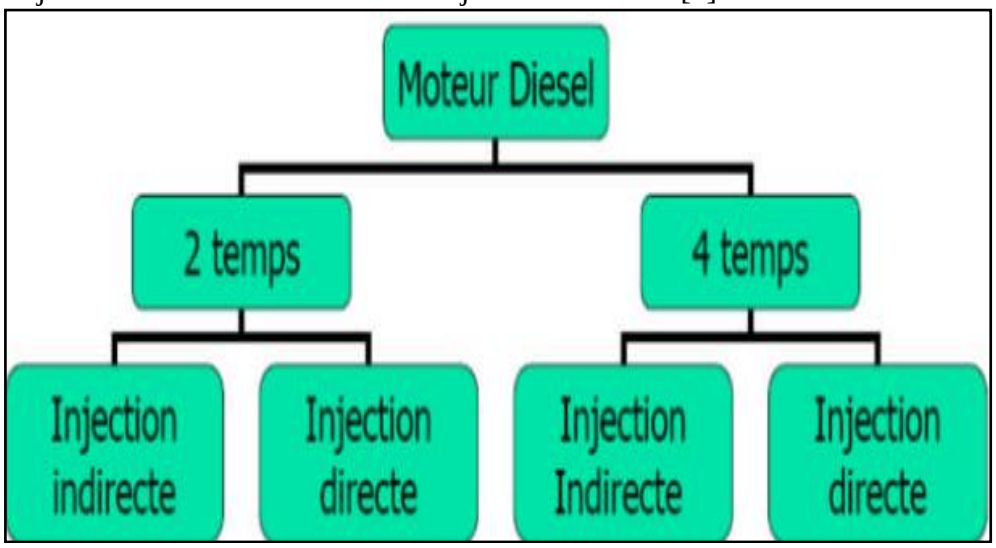

Figure I.12.Classification des moteurs diesel

I.4.2. Moteur à essence

Le moteur à essence dans lequel la combustion de l'essence est amorcée par l'étincelle d'une bougie, possède un système d'allumage commandé, le mélange d'air et d'essence se fait en deux phases, soit par carburateur, soit par injection. Depuis 1993, tous les véhicules neufs vendus en Europe sont équipés d'un système d'injection [9].

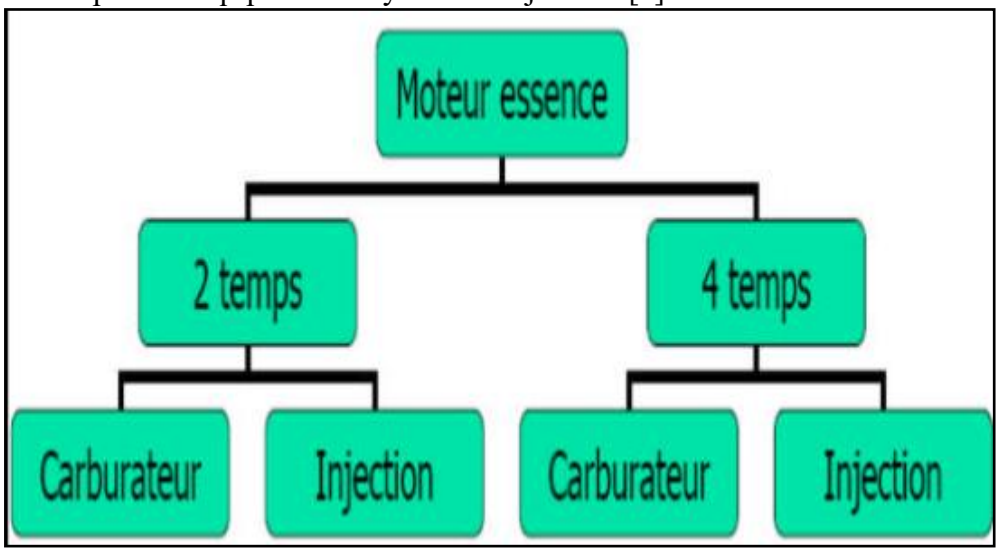

Figure I.13.Classification des moteurs à essence

I.4.3. Comparaison entre le moteur Diesel et moteur essence

Le moteur diesel se différencie du moteur à explosion par plusieurs points. Dans le moteur à explosion, le mélange air-essence est formé dans le carburateur à l'extérieur du cylindre. Par contre, dans le moteur Diesel, il se fait dans le cylindre, l'air étant aspiré et le combustible injecté ensuite, à l'aide d'un "injecteur" alimenté par une "pompe d'injection" qui lui communique une pression supérieure à celle régnant dans le cylindre en fin de compression pour permettre son introduction. Dans le moteur à explosion on essaie d'augmenter le taux de compression mais on est limité par le phénomène "d'auto-allumage". Dans le moteur Diesel, seul l'air est aspiré et on peut le comprimer sans inconvénient pour atteindre des pressions et des températures très élevées. Le taux de compression est plus élevé dans le moteur diesel que dans le moteur à explosion, ce qui permet d'obtenir un rendement de l'ordre de 35 % alors que le rendement d'un moteur à explosion ne dépasse pas 25 %. C'est au contact de cet air comprimé que le combustible alors injecté s'enflamme. Comparativement au moteur à explosion, le moteur Diesel ne possède ni carburateur, ni système d'allumage, mais chaque cylindre a un système d'alimentation propre qui comprend : un injecteur et un élément de la pompe d'injection [10].

I.5. Le système de refroidissement

I.5.1.Refroidissement par liquide

Pour le fonctionnement normal, le moteur doit être maintenu dans un régime thermique détermine. Pour cette raison, le moteur est refroidi .le refroidissement exagéré, ainsi que la surchauffe provoquent la dégradation des performances économiques. Le refroidissent du moteur peut être par liquide ou par air .le refroidissement par liquide est obtenu par la circulation liquide (eau ou antigel) dans les parties chaudes du moteur .le système de refroidissement par liquide composé par [2] :

- **Radiateur**

  Le radiateur est un échangeur thermique qui assure le refroidissement du liquide. Il comprendre deux réservoirs supérieur et inférieur, un faisceau de tubes et des éléments de fixation.

- **Ventilateur**

Le ventilateur, placé devant le radiateur, permet de refouler plus d'air à travers le radiateur et de cette manière accélérée le refroidissement du liquide.

- **Pompe à eau**

  La pompe à eau est destinée pour refouler le liquide de refroidissement vers les parties lointaines du moteur .elle est composé d'un arbre, d'une roue à aubages, d'un corps et de deux tubulures.

- **Thermostat**

  Le thermostat a pour rôle de régler, automatiquement, la température du liquide de refroidissement .Il représente un soufflet remplit volatil (mélange d'eau et d'alcool éthylique)

I.5.2.Refroidissement par air

Le refroidissement par air, est obtenu par soufflage des cylindres par l'air. Le flux d'air peut être crée un ventilateur refoulent l'air sous une gaine .Le refroidissement peut être réglé, automatiquement par la variation de la vitesse de rotation du ventilateur .Dans les moteurs à refroidissement par air, les cylindres sont séparés l'un de l'autre et ils sont équipés par des ailettes augmenter surface de refroidissement [2].

I.6.Le système de graissage

Le système de graissage est prévu pour réduire les frottement et en même temps ,pour participer au refroidissement des pièces en contacts.une partie des pièces du moteur ,est graissée sous pression et une autre partie par barbotage .les pièces graissée sous pression, sont les paliers principaux ,les manetons les pièces du mécanismes de commende des soupapes les douilles de l'arbre à cames et les pignons .les parois des cylindres et des pistons ,ainsi que les axes des pistons sont graissée par barbotage[2] .

Conclusion

Les deux moteurs à combustion interne: moteur à essence et moteur diesel, ont le même principe de fonctionnement et ils présentent quatre phases. D'autre part seule la phase de l'admission et de l'explosion sont différentes par rapport aux autres phases. Ajoutons aussi que dans les moteurs diesel, le débit du carburant est assuré par des injecteurs alors que dans les moteurs à essence le papillon règle le débit air carburant. Ainsi, ajoutons que la suralimentation est la particularité du moteur Diesel.

Chapitre II : Système de distribution

Introduction

L'étude du cycle à quatre temps du moteur à combustion interne 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 [11].

II.2. Définition de la distribution

On appelle "distribution" l'ensemble des organes qui réalisent l'ouverture et la fermeture des conduits d'admission et d'échappement, et des éléments qui effectuent leur commande.

Le rôle de la distribution est de commander l'ouverture et la fermeture des soupapes, imposer leur instant de l'ouverture, l'amplitude et la durée du mouvement [12].

Le principe de fonctionnement de la distribution est suivant :

- L'ouverture et la fermeture des cylindres sont réalisées par les soupapes.
- L'ouverture est possible grâce à des cames, la fermeture est assurée par des ressorts.
- La transmission du mouvement de l'arbre à cames aux soupapes est assurée par des poussoirs. Elle peut comprendre également des tiges de culbuteurs et des culbuteurs.
- La synchronisation avec le vilebrequin est réalisée par des pignons reliés entre eux par un système indéréglable (ex. chaîne, courroie...).

II.3. Diagramme de distribution

Les positions angulaires du vilebrequin correspondant à l'ouverture et à la fermeture des soupapes d'admission et d'échappement pour une levée donnée définissent le diagramme de distribution.

Cette définition à partir d'une levée arbitraire n'a pas de sens physique mais permet, dans la pratique, lors d'essais de mise au point motrice, un contrôle immédiat du calage. Dans cet

exemple (*Fig. II.1*), les lois d'admission et d'échappement ont le même étalement (242O vilebrequin) mais présentent un calage légèrement différent. Compte tenu des angles AOA et RFE, les soupapes d'admission et d'échappement sont ouvertes simultanément au voisinage du PMH pendant un laps de temps appelé croisement (26 o vilebrequin). Dans ce paragraphe, les différents problèmes liés au choix d'un diagramme de distribution sont abordés : adaptation en termes de perméabilité et étude de l'influence du diagramme sur les caractéristiques de fonctionnement du moteur [13].

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

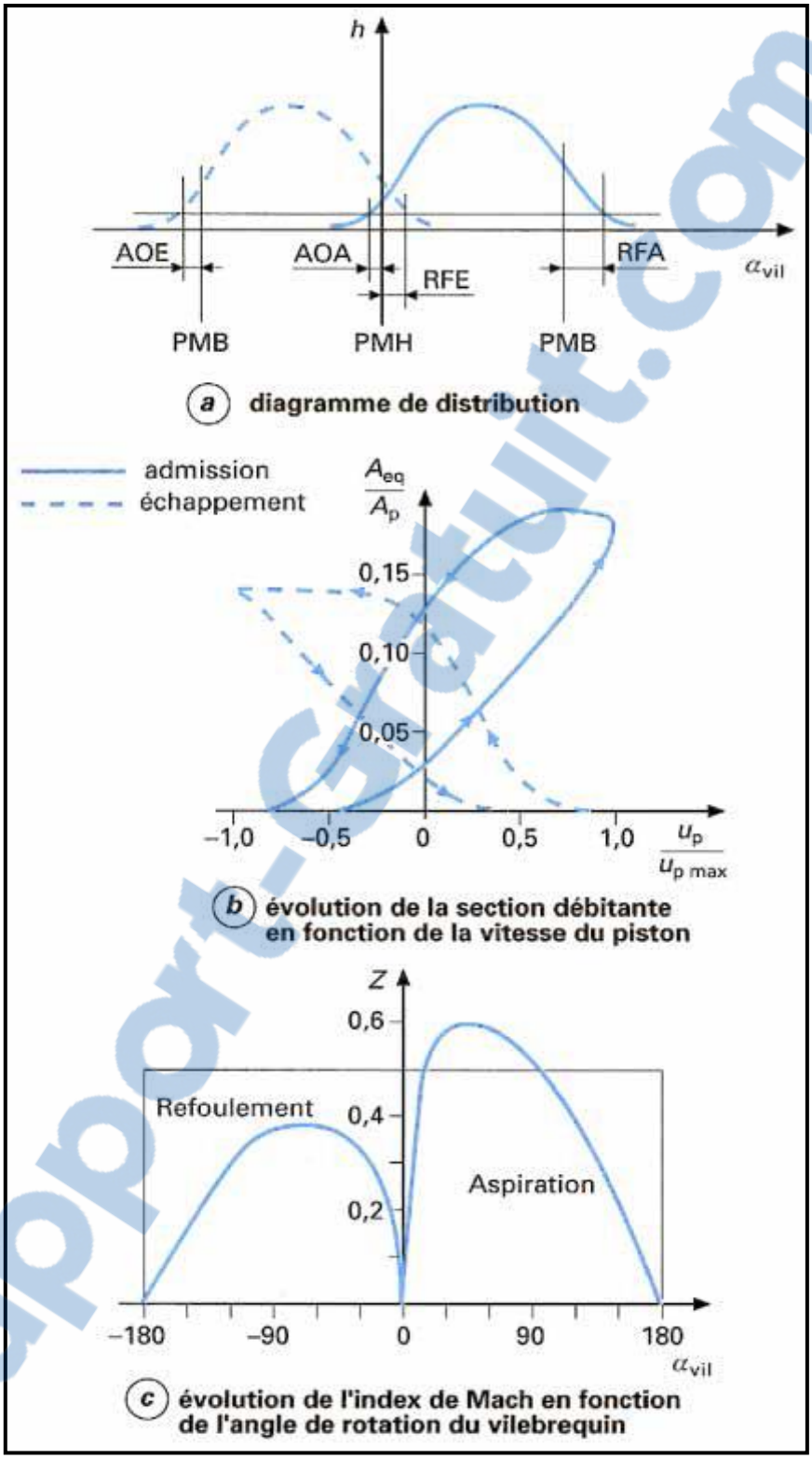

Figure II.1.Adaptation du diagramme de distribution [13].

Prenons l'exemple d'un diagramme défini sans jeu pour une levée de 0,5 mm

Rapport-Gratuit.com

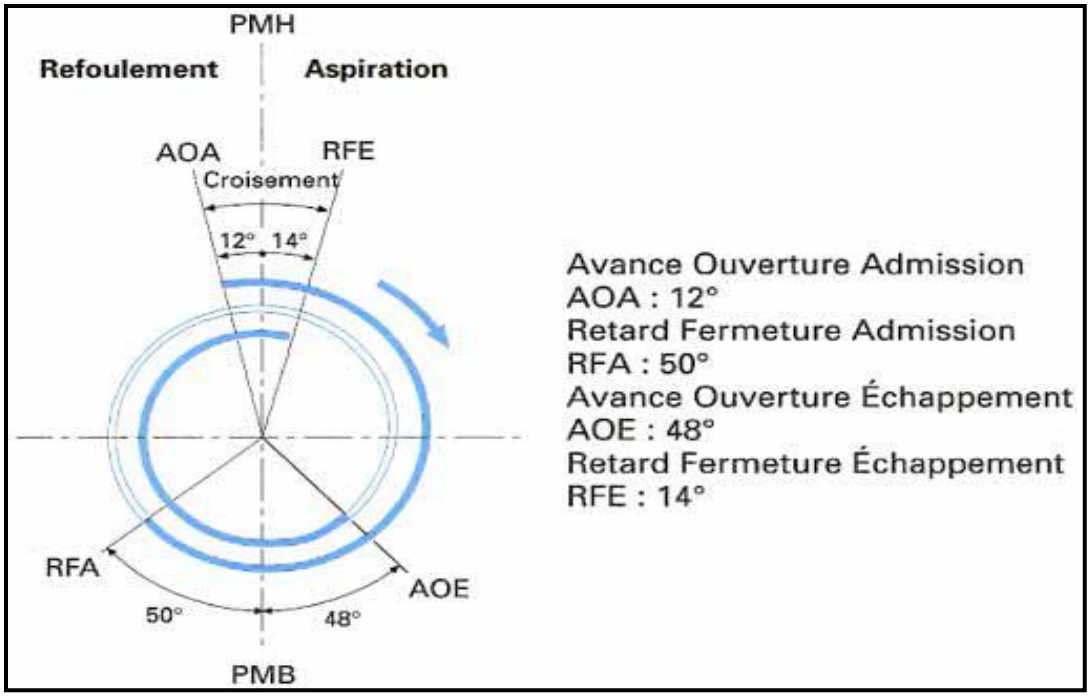

Figure II.2.Diagramme de distribution sans jeu [13].

II.4. Eléments de la distribution

II.4.1. Arbre à cames

L'arbre à cames est l'élément le plus important de la commande de distribution. Il est chargé de commander de façon très précise la levée des soupapes et d'assurer cette levée pendant une durée bien déterminée, correspondant au diagramme de distribution du moteur. Il doit résister aux torsions provenant de la poussée des ressorts et à l'usure par frottement.

L'arbre à cames peut être en fonte spéciale moulée ou en acier forgé ou cémenté trempé [12].

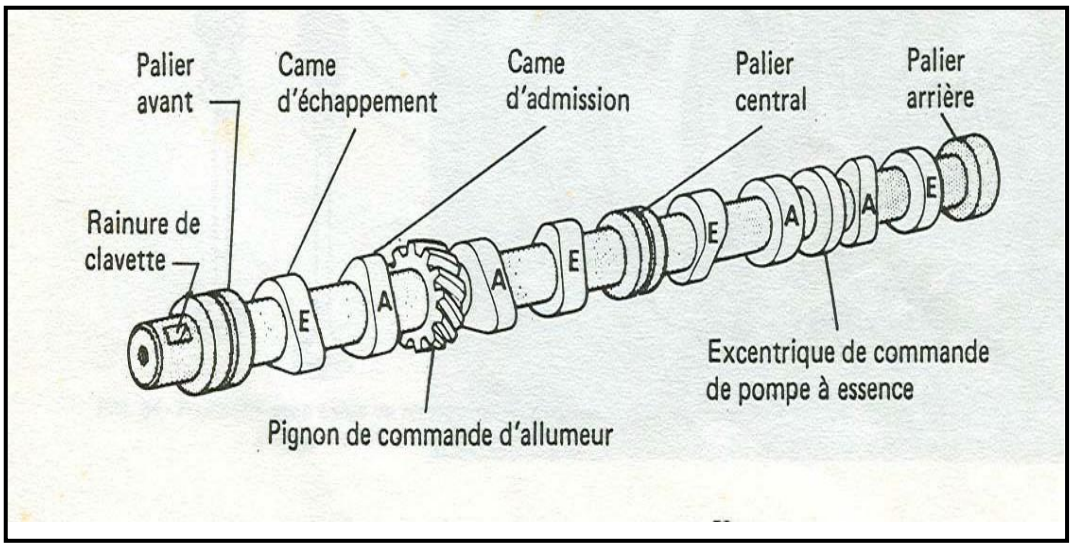

Figure II.3.Arbre à cames [12].

II.4.1.1 Emplacement de l'arbre à cames

Quatre solutions sont utilisées [12]:

1. L'arbre à cames est appelé ***latéral*** lorsqu'il est situé sur le côté du bloc moteur.
2. Il est appelé ***arbre à cames en tête*** lorsqu'il est placé sur la culasse à proximité immédiate des soupapes.
3. Double arbre à cames en tête entraînant directement les soupapes grâce à des poussoirs hydrauliques.
4. Arbre à cames en tête avec commande des soupapes par leviers (très peu utilisé).

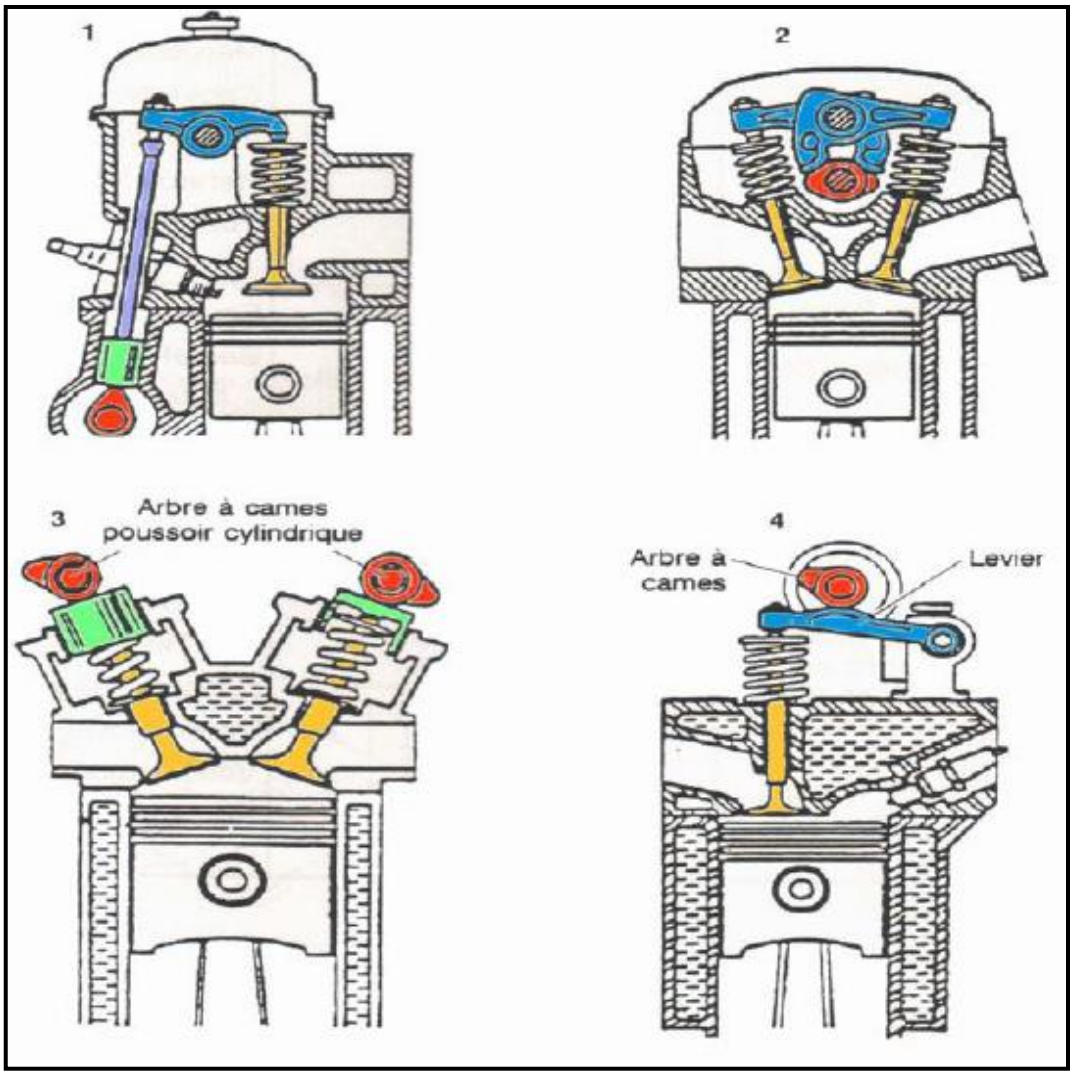

Figure II.4.Emplacement de l'arbre à cames [12].

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

II.4.1.2. Entraînement de l'arbre à came

Pour assurer le fonctionnement correct d'un moteur à la fois enferme de performances et de pollution, il faut que le mouvement des soupapes et celui des pistons soient parfaitement synchronisés. Cela n'est possible que si certaines conditions soient respectées :

— le calage angulaire entre le vilebrequin et le (ou les) arbre(s) à cames effectué lors du montage initial doit être le plus précis possible. Pour cela, des organes de réglage sont parfois nécessaires pour compenser des dispersions dues aux tolérances de fabrication ;

— la chaîne cinématique composée du vilebrequin, du (ou des) arbre(s) à cames et du système de transmission de mouvement entre eux doit présenter des caractéristiques de raideur et d'inertie telles que le comportement dynamique de l'ensemble (modes propres) n'altère pas le diagramme de distribution ;

— le vieillissement du système de commande des arbres à cames doit avoir une faible influence sur le diagramme de distribution.

Les systèmes de commande se classent en trois familles : engrenages, chaînes et courroies crantées.

Le comportement dynamique du système d'entraînement dépend de ses caractéristiques propres (raideur, inertie, amortissement) et des sollicitations auxquelles il est soumis : irrégularité de la vitesse d'entraînement du vilebrequin et variation des couples instantanés des récepteurs. Dans le cas particulier des moteurs diesel, l'entraînement de la pompe à injection par le même système de commande que l'arbre à cames est une source d'excitation de première importance [12].

- **Les entraînements par courroie crantée:**

  Par rapport à la chaîne, la **courroie** présente les avantages suivants : masse linéique réduite qui autorise la suppression des guides et silence au cours du fonctionnement.

  Son principal inconvénient est la largeur nécessaire pour transmettre le couple et assurer une durée de vie suffisante. Cela augmente la longueur du groupe motopropulseur, ce qui peut possèdes problèmes pour le montage transversal des moteurs. Le fonctionnement sec de la courroie nécessite des étanchéités dynamiques supplémentaires (une par arbre à cames entraîné). En contrepartie, aucun système de lubrification n'est nécessaire.

Pour répartir l'effort à transmettre au niveau de la denture sur un nombre de dents élevé, l'arc d'enroulement de la courroie sur chaque poulie doit être d'autant plus grand que le diamètre de la poulie est faible. On utilise à cette fin des galets enrouleurs agissant sur le dos de la courroie. Le réglage de la tension de courroie s'effectue par un galet monté soit sur un excentrique, soit sur un support mû par un ressort. Par rapport à une chaîne, l'allongement dû au vieillissement est réduit, ce qui limite le décalage. Il s'accompagne cependant d'une baisse de la tension de courroie qui peut, dans les cas extrêmes, provoquer des sauts de dents [12].

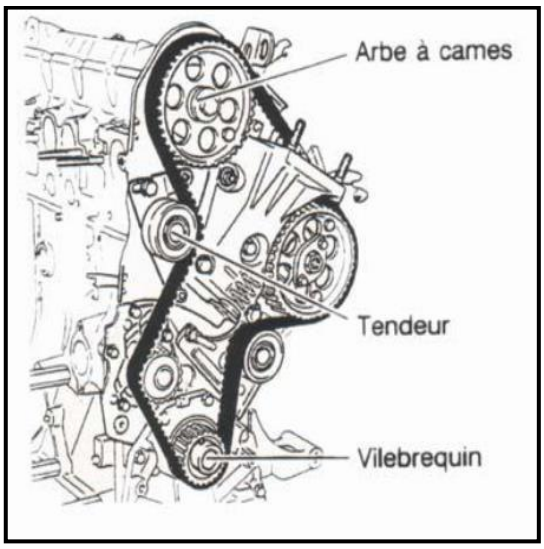

Figure II.5.Entraînement par courroie crantée [12].

Avantage :

- silencieuse
- pas de système de lubrification
- peut entraîner plusieurs poulies
- remplacement facile
- faible coût de fabrication

Inconvénients :

- la rupture ne prévient pas
- échange plus fréquent et obligatoire (risque rupture moteur)

➢ **Les entraînements par chaîne :**

En ce qui concerne les chaînes, leur masse linéique élevée rend indispensable le guidage des portions rectilignes. Les phénomènes de battement des brins sont ainsi réduits et le synchronisme entre les arbres assuré .Pour compenser l'usure des pignons et de la chaîne, un système de réglage de la tension agit sur le brin mou. Ce système

peut être automatique (hydraulique ou à ressort) à action continue ou manuel. L'allongement de la chaîne dû à l'usure génère une variation progressive du calage de distribution. Celle-ci est d'autant plus importante que le brin *tendu* est long [12].

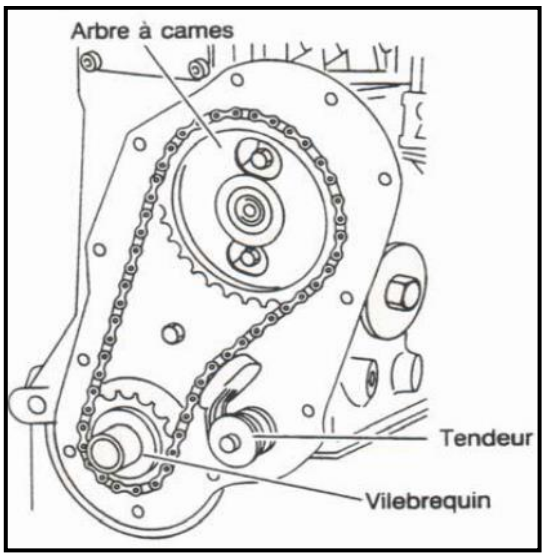

Figure II.6.Entraînement par chaîne [12].

Avantage :

- remplacement peu fréquent
- coût abordable - longue durée de vie
- grande fiabilité (haut régime)

Inconvénients :

- bruyant
- graissage par projection
- possibilité d'entraîner qu'une poulie.
- remplacement difficile

➢ **Les entraînements par engrenages :**

Parmi les entraînements par engrenages, l'architecture la plus répandue est la cascade de pignons .Dans le passé, les transmissions par arbre et couples coniques étaient aussi utilisées. Les commandes par engrenages n'équipent plus désormais que les moteurs très rapides (moteurs de Formule 1) ou au contraire les gros moteurs industriels (camions, machinisme agricole, etc.). Dans le premier cas, elles remplacent les chaînes et les courroies qui ne peuvent subir des vitesses linéaires très élevées et ne présentent pas une raideur suffisante. Dans le second cas, le critère de choix est

l'architecture (arbre à cames latéral proche du vilebrequin), la précision du calage et la fiabilité.

L'entraînement des arbres à cames par engrenages présente une grande rigidité, mais nécessite un jeu de fonctionnement réduit pour diminuer l'amplitude des chocs, néfastes à la tenue mécanique et source de bruit. Des systèmes de réglage de jeu doivent donc être prévus. Comme les commandes par chaîne, les transmissions par engrenages nécessitent une lubrification adaptée, ce qui rend l'architecture du moteur un peu plus complexe et encombrante [12].

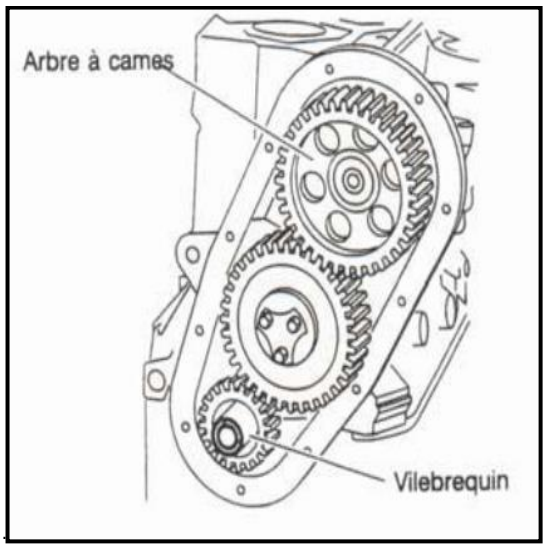

Figure II.7.Entraînement par engrenage [12].

Avantage :

-Solidité, fiabilité

Inconvénients :

- bruyant
- lubrification obligatoire
- coût de fabrication important.

II.4.2. Les soupapes

La soupape est finalement l'élément dont il est nécessaire de contrôler le déplacement de façon précise, puisque c'est elle qui régit les échanges gazeux entre la chambre de combustion et l'atmosphère. La soupape se compose de deux parties : la tête et la queue (ou tige). La tête est l'élément qui permet d'obturer le passage des gaz et qui est au contact de la chambre de combustion. Elle repose sur le siège : pièce spécifique insérée dans la culasse (cette dernière étant en aluminium) pour résister au contact intermittent. Le contact de la tête

de soupape avec le siège permet également de refroidir la soupape. La surface de la soupape en contact avec le siège est appelé la portée. La queue de soupape est raccordée à la tête par un congé de grand rayon en forme de tulipe. La queue est une tige cylindrique qui coulisse dans le guide (en laiton ou en acier fritté). Ce dernier est serti dans la culasse et permet également de refroidir la soupape. De façon à améliorer le transfert de chaleur entre la tête et le guide, la tige peut être creuse et remplie de sodium (moteur Volkswagen TFSI). La tige peut être conçue pour optimiser la dynamique ou faciliter le passage des gaz. Pour cela, elle peut être en titane (Suzuki GSX-R 2004), afin de réduire la masse, ou bien avoir une restriction de section avant tulipe [14].

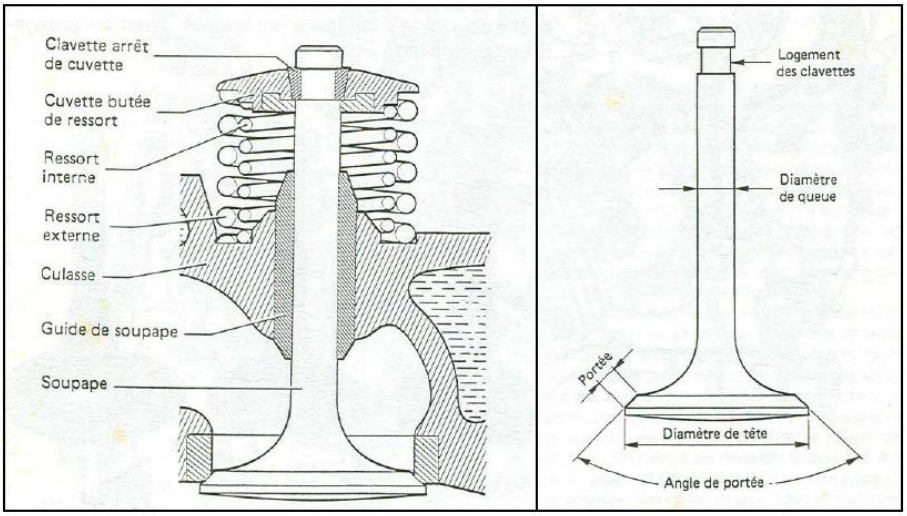

Figure II.8.Détails d'une soupape [12].

II.4.2.1. Matière de construction

Les soupapes de grande série son en acier au nickel-chrome et obtenues par matriçage avec chauffage électrique. Ils sont tournés puis rectifiées. Les queues et les portées reçoivent un traitement qui accroît leur dureté. Pour les moteurs présentant des surchauffes au niveau des soupapes, on dispose de soupapes à tige creuse et partiellement remplies de sodium ou des sels de lithium et potassium [12].

II.4.3. Les ressorts de soupapes

Le ressort a pour rôle de maintenir la soupape en contact avec l'actionneur, en phase de levée, ou avec le siège, en dos de came (phase de fermeture). La soupape est rattachée au ressort par l'intermédiaire d'une coupelle. Deux clavettes (ou demi-lunes) permettent de fixer la coupelle à la soupape. Le ressort de soupape est de type hélicoïdal, et les deux spires extrêmes sont meulées et rapprochées, afin que l'appui du ressort sur la culasse ou la coupelle soit plat et

avec une surface assez importante. Ces deux spires sont qualifiées de spires mortes car elles servent uniquement pour les appuis, les autres spires sont dites actives car ce sont elles qui créent les efforts. Le ressort est généralement à pas variable : lors de sa compression, les spires rentrent en contact et modifient donc sa raideur. Cette raideur variable permet de diminuer les amplitudes des oscillations des spires centrales du ressort. La pré charge du ressort doit être suffisante pour éviter que les contre-pressions dans les conduits ne provoquent la réouverture de la soupape quand elle est fermée, et assurer que la soupape ne va pas trop décoller de l'actionneur sous l'effet de son inertie à haut régime. Le ressort permet également de faire tourner la soupape autour de son axe, grâce au couple généré par son écrasement alternatif, afin de nettoyer la portée de la soupape sur le siège et de répartir uniformément l'usure [14].

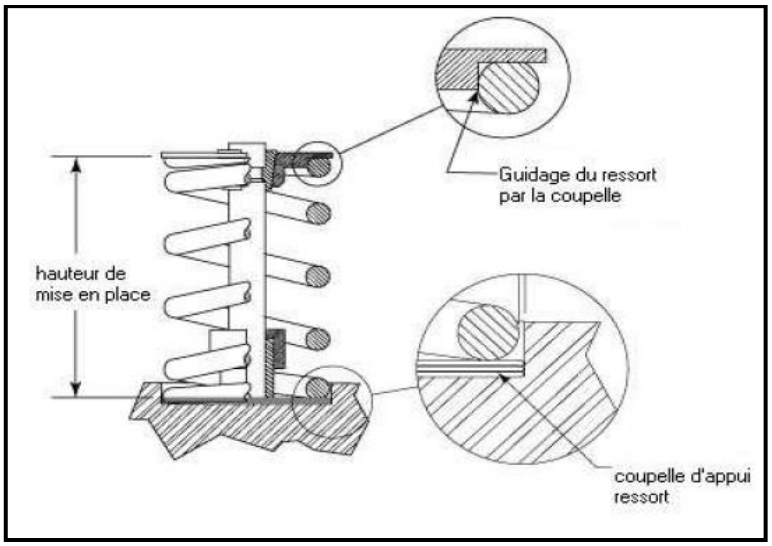

Figure II.9.Ressort de soupape en place [14].

II.5. Les actionneurs

L'arbre à cames peut commander trois types d'actionneurs : le poussoir, le linguet et le culbuteur [14].

1) Le poussoir

La distribution est alors qualifiée de distribution à attaque directe : cet actionneur est celui qui offre la meilleure rigidité, même si sa raideur varie selon l'excentration du point de contact avec la came. Le poussoir est guidé par la culasse. Le plateau supérieur du poussoir possède aujourd'hui un revêtement permettant de diminuer largement le frottement et donc l'usure. Cela permet de ne plus faire de réglage de jeu au cours de la vie du moteur.

2) Le linguet

Le mouvement du linguet est défini par :

– une rotation à l'une de ses extrémités, présentant éventuellement une butée hydraulique

– le contact avec la came, le linguet peut posséder soit un roulement à aiguilles afin de diminuer les frottements, soit un simple patin (BMW M3) pour réduire la masse

– le contact à la soupape à l'autre extrémité du linguet ;

Le linguet est conçu pour avoir une faible masse mobile, et permet une implantation des arbres à cames moins contraignante par rapport à une distribution à poussoirs. En revanche, l'usinage de la came est plus délicat car elle contient des concavités.

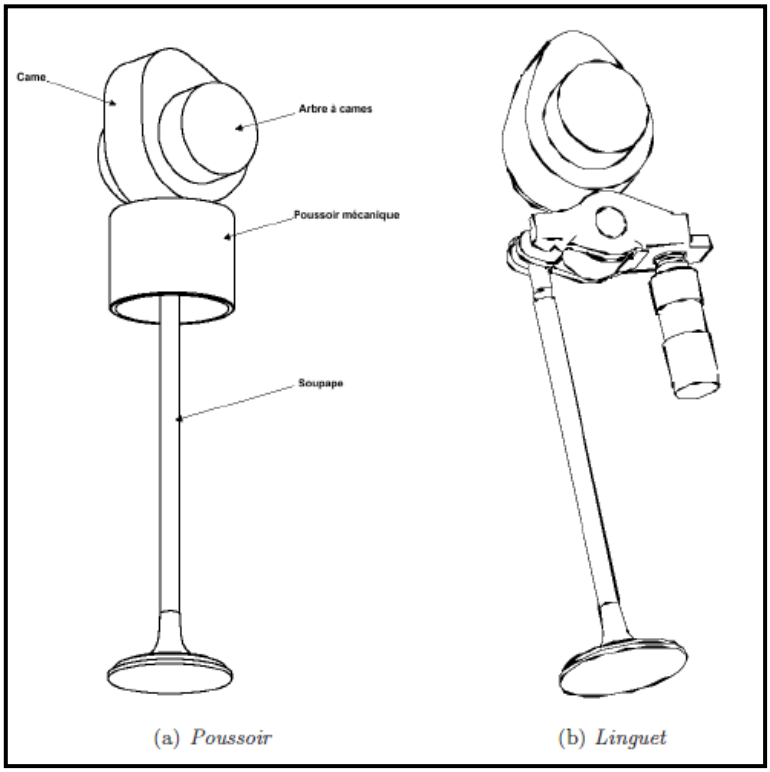

Figure II.10.Schémas de distribution à poussoir et linguet [14].

3) Le culbuteur

Contrairement au linguet, son axe de rotation se trouve au centre, les deux extrémités étant en contact avec la came et la soupape. Pour des raisons géométriques, le culbuteur est l'actionneur qui offre la rigidité la plus faible et la masse mobile la plus importante. L'axe de rotation est généralement une «rampe» permettant la lubrification de l'axe de rotation. Le culbuteur permet de n'utiliser qu'un seul arbre à cames pour actionner les soupapes d'admission et d'échappement. Le culbuteur «fourche», possédant deux bras côté soupapes, permet même, sur une culasse multisoupapes, d'actionner deux soupapes en même temps (Renault 1,2L 16S).

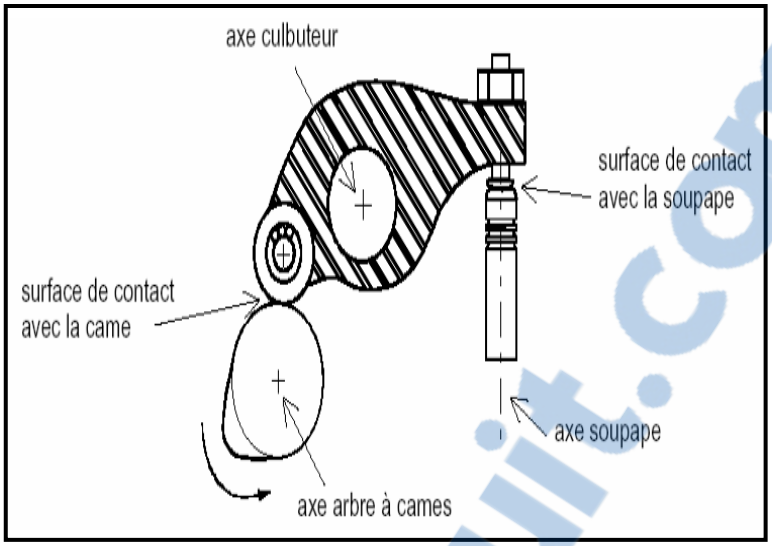

Figure II.11.Eléments intermédiaire [14].

Ces deux derniers types d'actionneur sont également appelés de façon générique basculeurs.

Les équations cinématiques permettant de définir leur mouvement sont identiques.

Le rapport de culbuteriez, rapport entre la distance (centre de rotation du basculeur/point de contact avec la soupape-basculeur) et la distance (centre de rotation du basculeur/point de contact came-basculeur), varie au cours de la levée de soupape, et peut ainsi modifier la raideur entre la came et la soupape.

II.6. Calage de la distribution

Quel que soit le système de commande de la distribution, le monteur ou le réparateur se trouve confronté au problème du positionnement relatif des éléments afin que le mouvement de l'arbre à cames soit coordonné avec celui du vilebrequin de sorte que les soupapes se lèvent et se ferment au moment où les pistons passent par un point donné de leur cycle.

Cette opération de positionnement est appelée : "calage de la distribution".

Dans la pratique les constructeurs prévoient des repères sur les différents éléments de la commande de distribution : pignons, roues de chaîne, roues dentées, chaînes et courroies.

Il suffit que le monteur associe ces repères pour que le montage soit correct [12].

Rapport-Gratuit.com

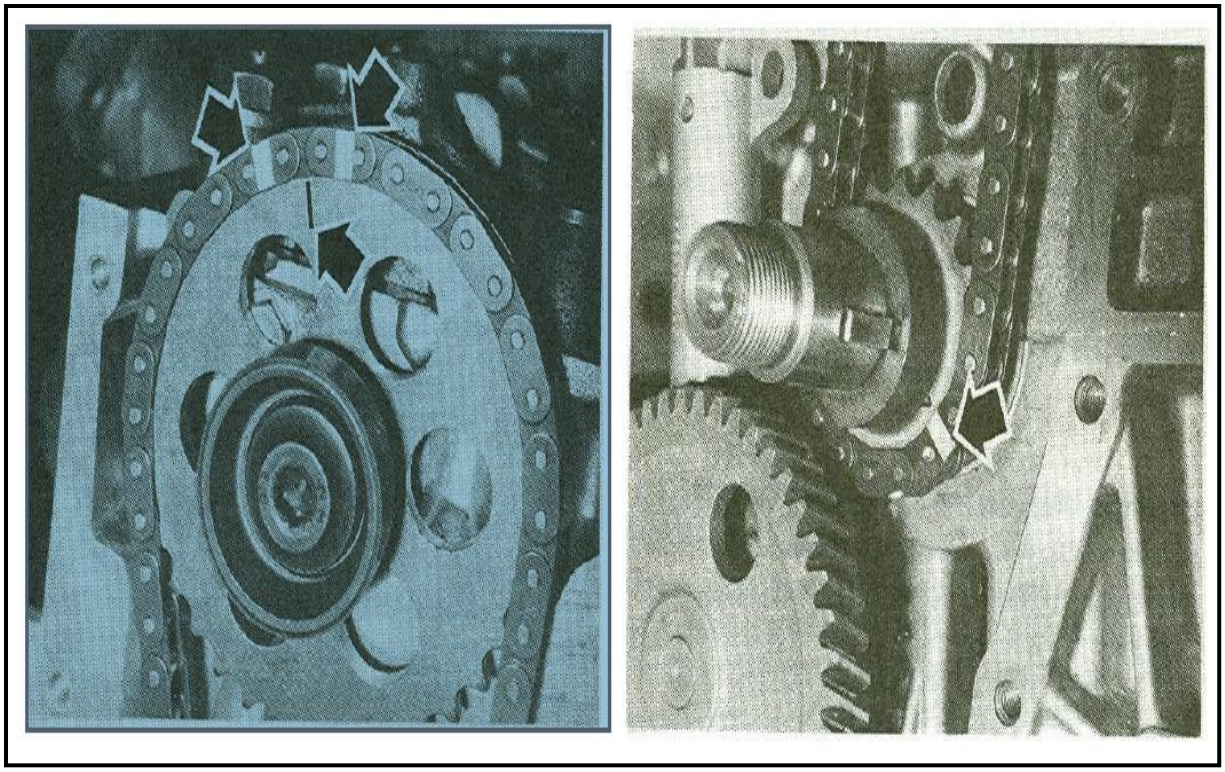

Figure II.12.Calage de la distribution [12].

II.7. Jeu des soupapes

On appelle "jeu des soupapes" l'espace qu'il convient de laisser, moteur arrêté, entre l'extrémité de la queue de soupape et sa commande pour garantir l'appuie de la tête de soupape sur son siège, malgré les variations de température auxquelles sont soumis les éléments du moteur [12].

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Ce jeu a pour buts :

- d'assurer une fermeture parfaite des soupapes quelles que soient les dilatations;
- d'assurer avec exactitude l'ouverture et la fermeture des soupapes aux points définis par le constructeur.

Par exemple, un jeu trop important produit une usure anormale par chocs et une diminution des performances du moteur par diminution des angles de distribution.

Le constructeur préconise un jeu à froid généralement compris entre :

• 0.10 et 0.30 mm pour l'admission;

• 0.20 et 0.40 mm pour l'échappement.

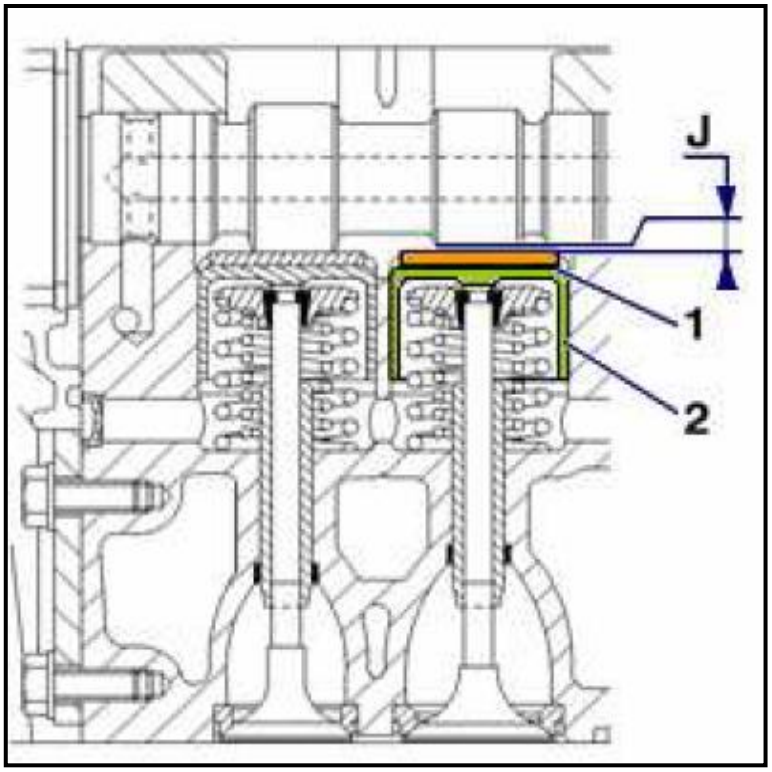

Figure II.13.Jeu des soupapes [12].

1 Pastille de réglage

2 Poussoir

J Jeu entre pastille et arbre à cames

Conclusion

La fonction de la distribution est de permettre l'ouverture et la fermeture des cylindres suivant la recommandation du constructeur. Le système doit assurer l'admission du mélange, sa combustion en rendant étanche l'enceinte thermique et l'évacuation des gaz brûlés à des moments précis du cycle de fonctionnement du moteur. Le cycle 4 temps se réalise sur 2tours vilebrequin, et 1 tour arbre à cames. Il est nécessaire que le dispositif d'entraînement autorise une démultiplication et un calage précis avec le vilebrequin. L'épure circulaire représente graphiquement les angles de la distribution du moteur.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Chapitre III : Etude et conception d’un l’arbre à came

Introduction

Le ou les arbres à cames constituent la pièce distinctive des moteurs à 4 temps. L'arbre à cames contrôle l'ouverture des soupapes, par contrôle on sous-entend qu'il ouvre les soupapes selon des phasages déterminés par le concepteur. Les arbres à cames sont ce qui donne le côté fantastique du moteur 4 temps. C'est aussi la composante qui le rend plus complexe et plus lourd qu'un moteur 2 temps. Dans un moteur, toutes les composantes ont un effet sur le dynamiste d'un moteur, oui, mais l'arbre à cames est dans un cas à part. Il influence l'attitude du moteur, la puissance, mais aussi le niveau d'émission polluante. C'est un peu pourquoi on retrouve de plus en plus de contrôles sophistiqués de phasage d'arbre à cames sur les voitures de production [15].

III.2.Définition

Un arbre à cames est un dispositif mécanique permettant de transformer un mouvement rotatif en mouvement longitudinal.

L'arbre à cames est une découverte du Moyen Âge pendant lequel il a été principalement utilisé dans les moulins à eau spécialisés dans le battage du fer ou le tannage du cuir (transformation du mouvement rotatif, issu de l'entraînement de la roue à aubes par l'eau, en mouvement longitudinal).

Aujourd'hui, l'arbre à cames est une pièce essentielle du moteur à combustion. L'arbre à cames, appelé également « arbre de distribution », commande l'ouverture des soupapes, en transformant le mouvement rotatif issu du moteur en mouvement longitudinal actionnant les soupapes. Il s'agit d'un arbre, entrainé par des pignons, une chaîne ou une courroie crantée [18, B].

Figure III.1.Arbre à cames [19].

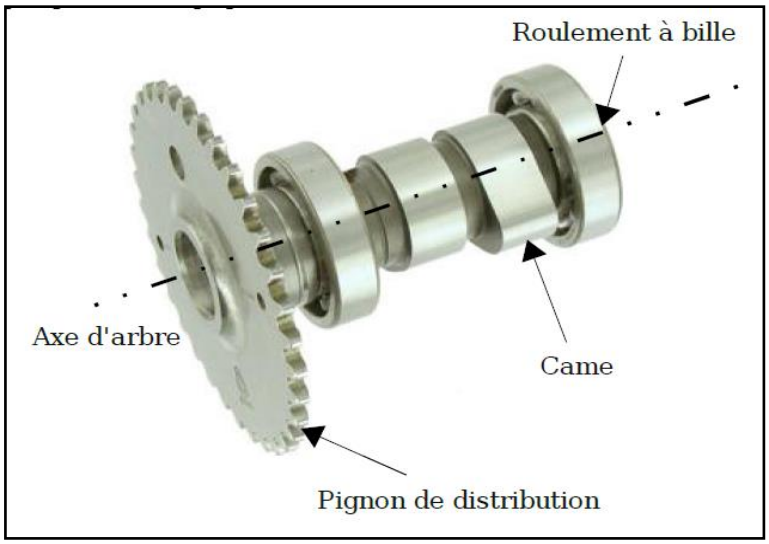

Figure III.2.Arbre à cames pour 2 soupapes [16].

III.3.Principe de fonctionnement

Le mouvement est transmis du vilebrequin jusqu'à l'arbre à cames par l'intermédiaire de la courroie de distribution à partir du pignon de vilebrequin puis le mouvement de rotation est transformé en mouvement de translation à travers l'arbre à cames qui fait actionner les soupapes.

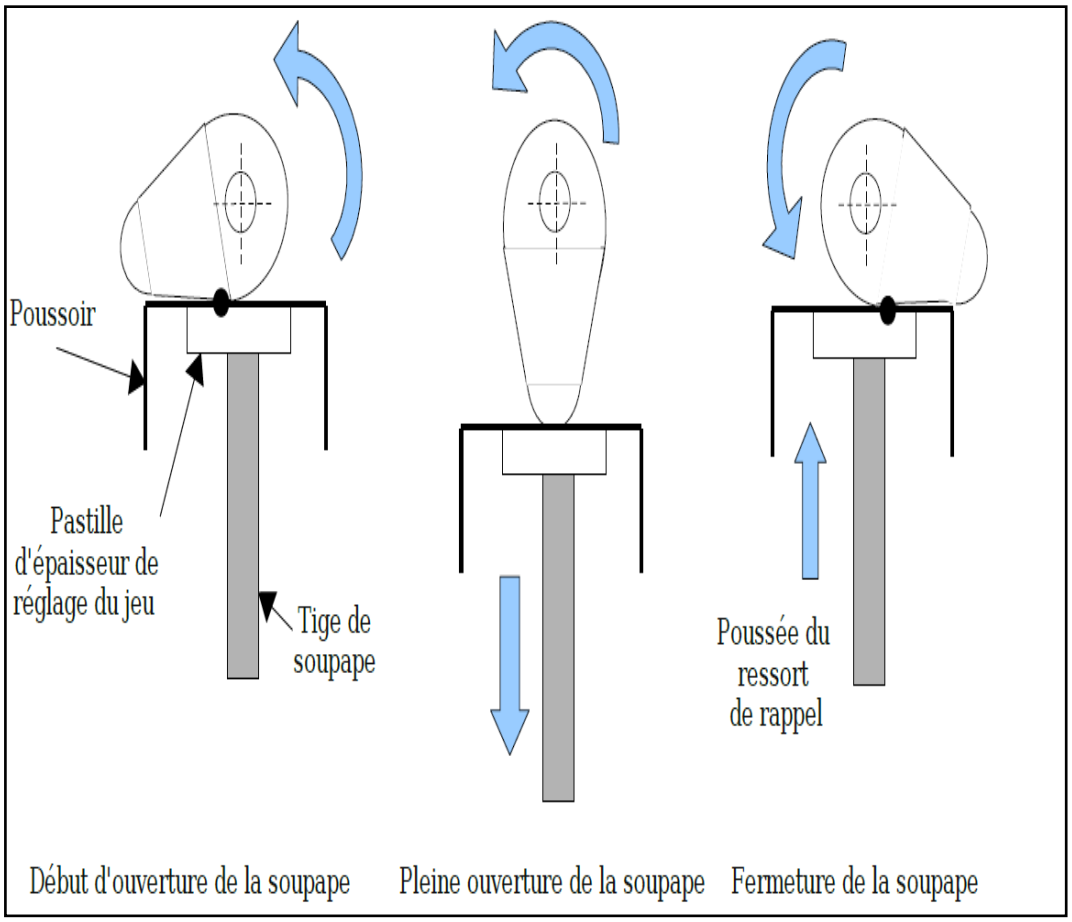

Figure III.3.Fonctionnement du l'arbre à cames [16].

La came doit parcourir un certain angle de rotation avant l'ouverture complète de la soupape.

III.4. Implantation des arbres à cames

Selon la disposition des cylindres et celle des soupapes on peut trouver des moteurs ayant un ou deux, voire plus pour les moteur en V, arbres à cames en tête. Les arbres à cames en tête permettent une attaque plus directe sur les soupapes. Le nombre de pièces en mouvement, les jeux et les usures sont ainsi diminués.

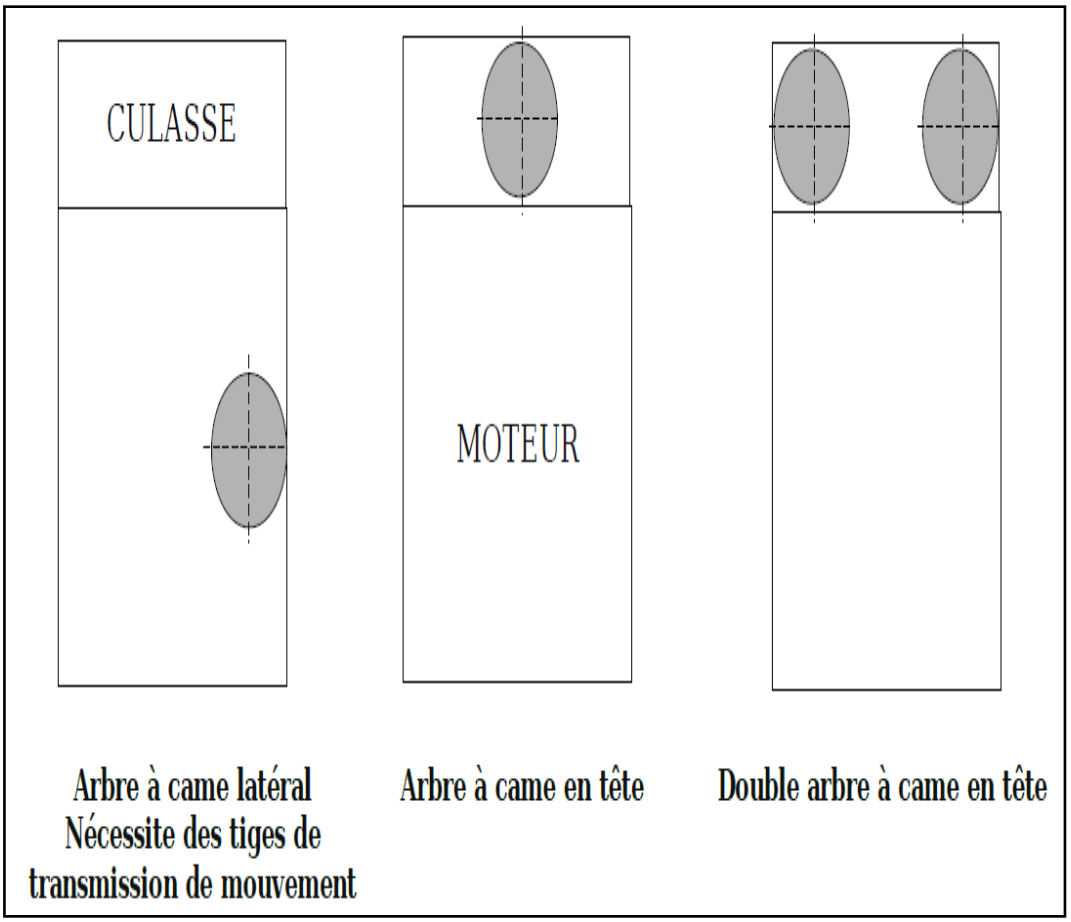

Figure III.4. Types d'arbre à cames [16].

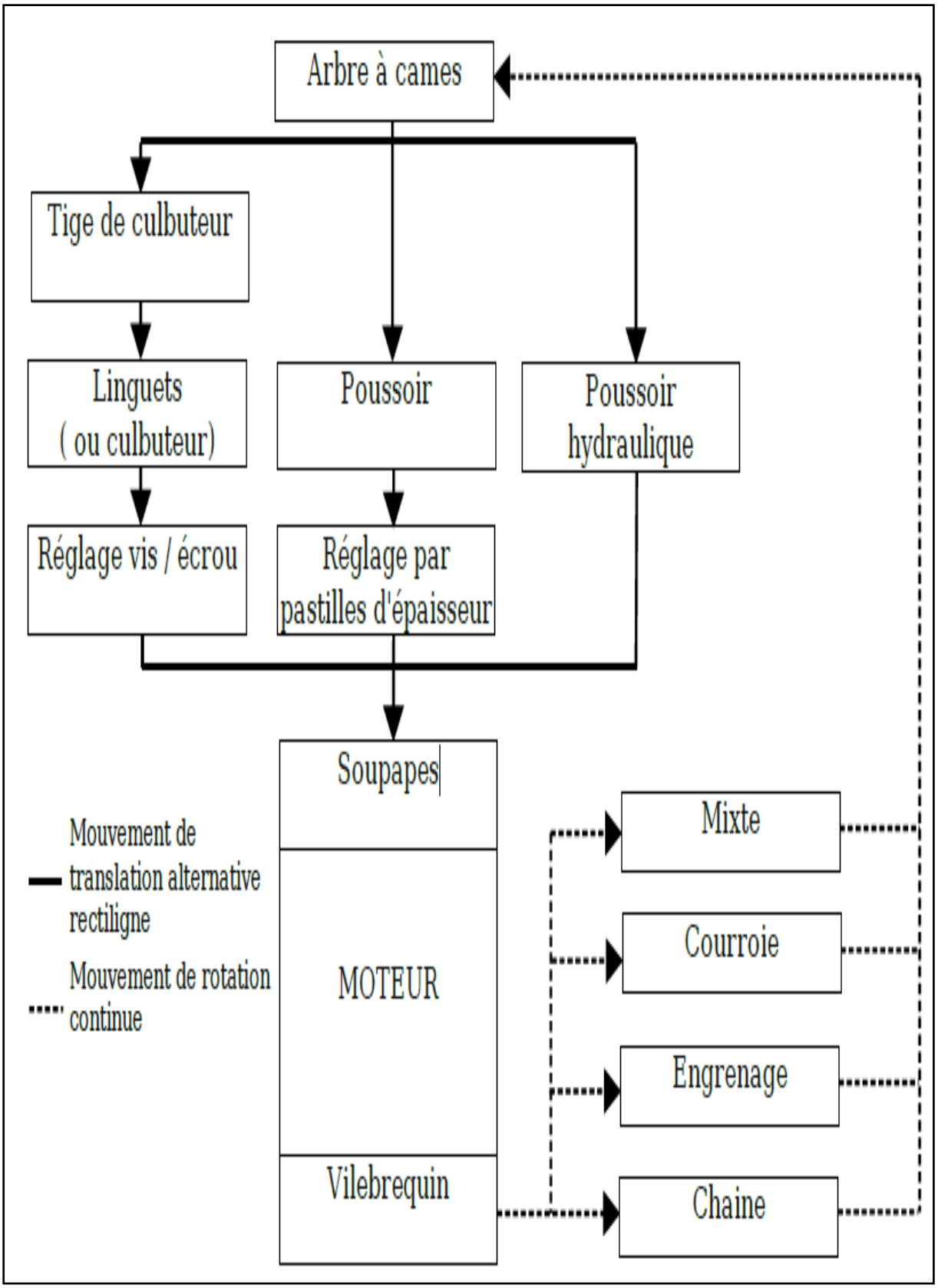

Figure III.5. D'implantation possible [19].

III.5. Les came

III.5.1. Définition

Les cames sont les parties de l'arbre venant commander l'ouverture des soupapes. Leurs formes est très importantes dans le rendement du moteur.

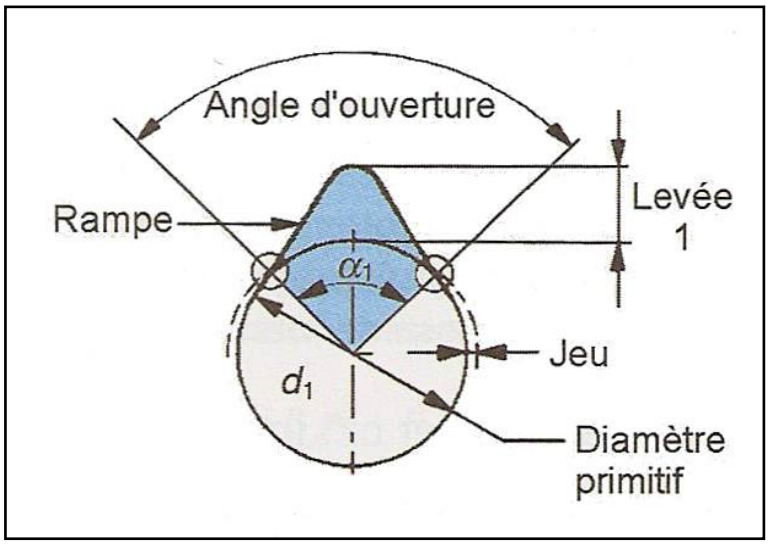

Figure III.6. Cames une tête [14].

- **L'angle d'ouverture :** angle pendant lequel la soupape est ouverte. Cet angle n'est pas obligatoirement symétrique par rapport à l'axe médian.
- **La rampe :** pente de la came permettant l'ouverture et la fermeture progressive de la soupape. Si cette pente est trop brutale, il y a risque d'affolement des soupapes par une accélération trop élevée.
- **La levée de soupape :** hauteur d'ouverture maximale de la soupape
- **Le diamètre primitif :** diamètre de base du cercle de la came. Le diamètre primitif n'est pas en contact avec la soupape dû au jeu de fonctionnement pour permettre une fermeture totale de la soupape.

III.5.2. La forme d'une came

La forme d'une came se décompose en différentes sections. La base est la section où la soupape est appuyée sur son siège. À ce stade, la came ne touche pas le système de poussoir, ou à peine. Ensuite il y a le flanc, à ce stade la soupape est en mouvement et s'ouvre graduellement en vue d'atteindre la tête. La transition entre la base et le flanc est parfois difficile à percevoir, car il y a une zone de transition très fine. La tête de la came représente le sommet, c'est là que la soupape atteint son maximum d'ouverture avant d'entreprendre de nouveau sa descente vers la base [15].

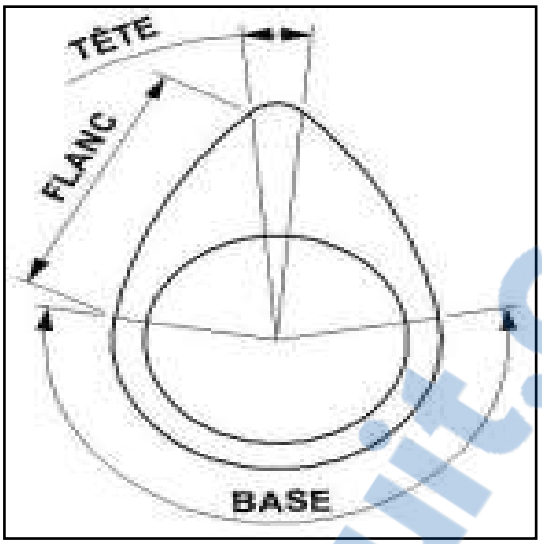

Figure III.7. Forme d'une came [15].

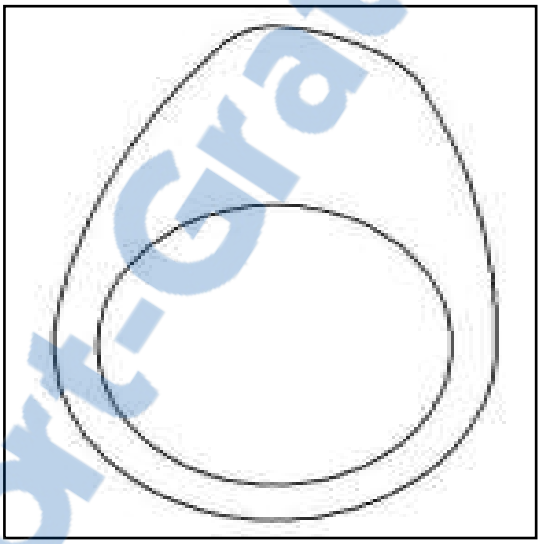

Figure III.8. Forme typique d'une came asymétrique [15].

Il est possible de voir des cames qui n'ont pas une forme symétrique tel que présenté à la Figure III.8. Généralement, la forme de la came est ainsi faite afin de compenser une géométrie de poussoir non usuelle. Malgré la forme asymétrique de la came, le parcours des soupapes respectera le même profil de déplacement que lorsque la came est symétrique poussant sur un poussoir plat à mouvement linéaire.

Rapport-Gratuit.com

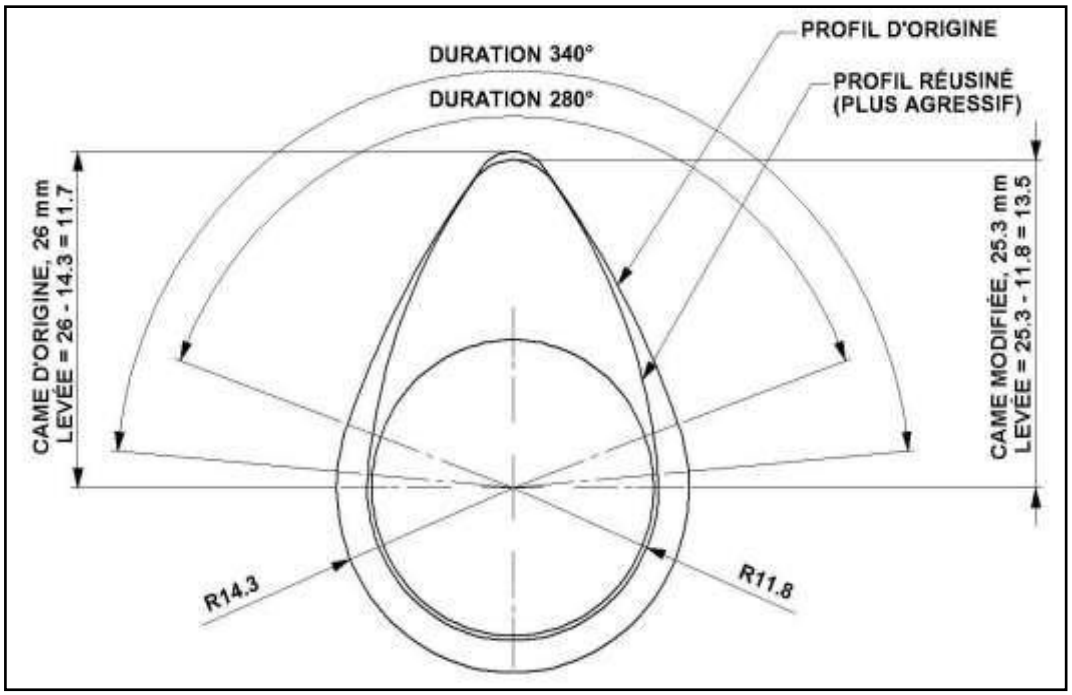

Figure III.9. Profil de came ré-usiné versus d'origine [15].

Pour les applications avec poussoir à rouleau, la forme de la came sera différente avec une tête ayant un rayon important, cela est dû au fait que la came attaque une forme en rond. En pratique, le mouvement de levée sera similaire à une courbe normale, car en définitive, l'important est le contrôle de l'accélération d'ouverture des soupapes, limitée par la force des ressorts.

III.5.3. Phasage et levée

L'arbre à cames tourne en relation avec le vilebrequin avec une vitesse deux fois plus faible. En effet, le cycle 4 temps se fait sur deux tours de vilebrequin alors que l'arbre à cames tourne un seul tour. Ici, je parlerais toujours d'un arbre à cames alors que le nombre peut aller bien souvent de 1 à 4 sur un seul moteur. Lorsqu'on parle du phasage d'un arbre à cames, on se réfère toujours au vilebrequin. Ainsi, le phasage complet d'un arbre à cames se fait sur 720 degrés alors qu'en fait il tourne de seulement 360 degrés (il y a 360 degrés dans un tour complet). Un arbre à cames comprend plusieurs cames, bien souvent une came par soupape, mais cela peut varier en fonction de la configuration de la culasse. On appelle durée d'une came le nombre de degrés total où la came assure la levée de la soupape associée. La référence est souvent dès le début d'ouverture des soupapes, mais parfois on verra la durée par rapport à une levée précise, la norme est souvent d'utiliser 0.050" (1.27mm). On retrouve bien souvent la durée exprimée comme suit : durée @ 0.004": 280 degrés, durée @ 0.050": 235 degrés [15].

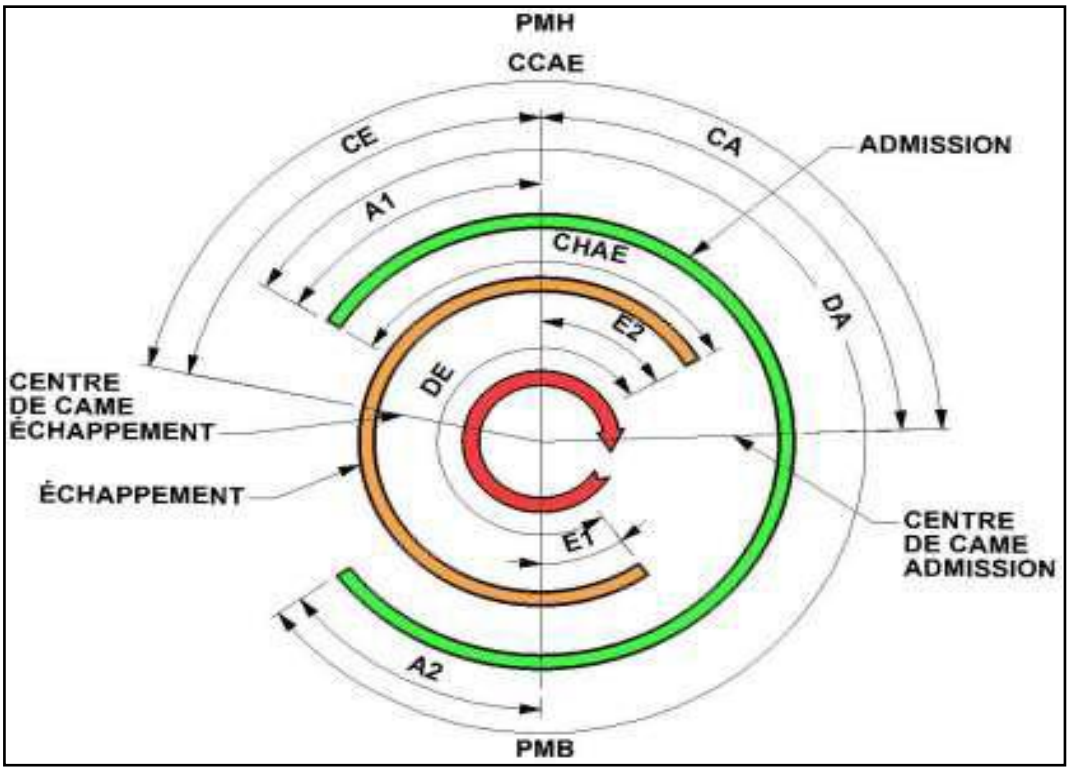

Figure III.10. Diagramme de phasage d'un arbre à cames [15].

La Figure III.10. Montre le diagramme de phasage des arbres à cames ainsi que plusieurs angles utilisés afin d'aider à l'interprétation.

A1 : Angle d'ouverture des soupapes d'admission avant le PMH

A2 : Angle de fermeture des soupapes d'admission après le PMB

CA : Centre de la came d'admission par rapport au PMH, égale DA/2 – A1

CE : Centre de la came d'échappement par rapport au PMH, égale DE/2 – E2

CCAE : Centre-centre des centres de came admission et échappement, égale DA/2 + DE/2 – A1 – E2

CHAE : Chevauchement des ouvertures des soupapes d'admission et d'échappement, égale A1 + E2

DA : Durée de la came d'admission, égale A1 + A2 + 180

DE : Durée de la came d'échappement, égale E1 + E2 + 180

E1 : Angle d'ouverture des soupapes d'échappement avant le PMB

E2 : Angle de fermeture des soupapes d'échappement après le PMH

PMB : Point mort bas

PMH : Point mort haut

Les caractéristiques des cames donnent souvent la valeur CA et CE. Ces valeurs sont souvent les mêmes sur les moteurs à simple arbre à cames. Il ne faut donc pas confondre ces

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

caractéristiques avec CCAE. Sur les moteurs à arbre à cames unique par banc de cylindre, nous ne retrouvons très souvent que A1 égale E2. Dans ces moteurs, lorsque A1 est plus grand que'E2, on dit normalement que le phasage est en avance. On dit qu'il y a du retard lorsque'E2 est plus grand que A1. Lorsqu'on avance ou recule l'arbre à cames, ces actions ne changent en rien le chevauchement (CHAE) ainsi que le centre-centre des centres de cames (CCAE). Dans ce type de configuration, avancer la came aidera généralement à obtenir plus de puissance à bas et moyen régime. Retarder la came donnera légèrement plus de puissance à haut régime. Il est d'usage normal d'avancer de quelques degrés la came.

Figure III.11. Système d'avance hydraulique de came [15].

Évidemment, lorsqu'un moteur possède des cames séparées pour l'admission et l'échappement, il est possible de faire varier indépendamment beaucoup de paramètres. De plus en plus de moteurs possèdent des arbres à cames dont l'ECU contrôle le phasage. On retrouve une multitude de recettes et les phasages dans ces cas deviennent extrêmes. Pour les moteurs atmosphériques, on verra de faibles chevauchements afin de réduire les émissions à bas régime. Cela en vue de pouvoir obtenir des régimes au ralenti plus stable pour des moteurs ayant toutes les caractéristiques de moteurs devant éprouver de la difficulté dans cet état de fonctionnement. Le moteur recevra ensuite une avance importante de la came d'admission afin d'augmenter le couple aux régimes moyens lorsque le moteur est sous charge. À haut régime, l'avance de la came d'admission sera réduite à un niveau intermédiaire pour un maximum de puissance à haut régime. Encore ici, il faut visualiser le mouvement de l'air entrant dans le cylindre.

En général, le fait d'avancer la came d'admission permet d'accroître le couple à bas régime. Le fait de retarder la came d'admission permet d'augmenter la puissance à haut régime. Pour ce qui est de la came d'échappement, c'est un peu différent. Afin d'accroître le couple à

moyen régime, il y a un gain à retarder la came. Le fait d'avancer la came d'échappement permet d'accroître la puissance à haut régime. Pour les moteurs suralimentés avec doubles cames avec phasage ajustable par l'ECU, il peut être pertinent d'augmenter l'avance à haut régime. Le fait que le moteur fonctionne avec une admission forcée le rend moins sensible aux notions qui utilisent la vélocité et l'inertie du débit d'air pour le remplissage des cylindres. Et à la limite, trop de retard créera un retour des gaz dans les tubulures d'admission lorsque le piston amorce sa remontée, alors que le cylindre est déjà emplit à pleine capacité. Enfin, avec le phasage en avance sur la came d'admission, le taux de compression réel devient plus élevé, car le mélange air-essence commence réellement sa compression lorsque les soupapes sont toutes fermées. Évidemment, cela aura aussi un effet sur l'avance à l'allumage que le moteur doit avoir. Toute cette dynamique des débits d'air avec le phasage crée toujours un compromis, idéalement, la dynamique d'ouverture serait entièrement ajustable en fonction des régimes. Ce compromis crée bien souvent des retours de gaz dans les tubulures provoquant un encrassement des soupapes.

Lorsqu'on joue avec les réglages du phasage des arbres à cames, puis que le résultat permet d'observer un AFR plus riche qu'auparavant alors que les temps d'injection n'ont pas encore été ajustés, vous pouvez suspecter que vous êtes dans la mauvaise direction. En effet, le fait que le mélange devient soudainement plus riche nous renseigne sur le fait qu'il y a moins d'air qui a pénétré le cylindre. Ultimement, s'il y a moins d'air la puissance sera potentiellement plus faible.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

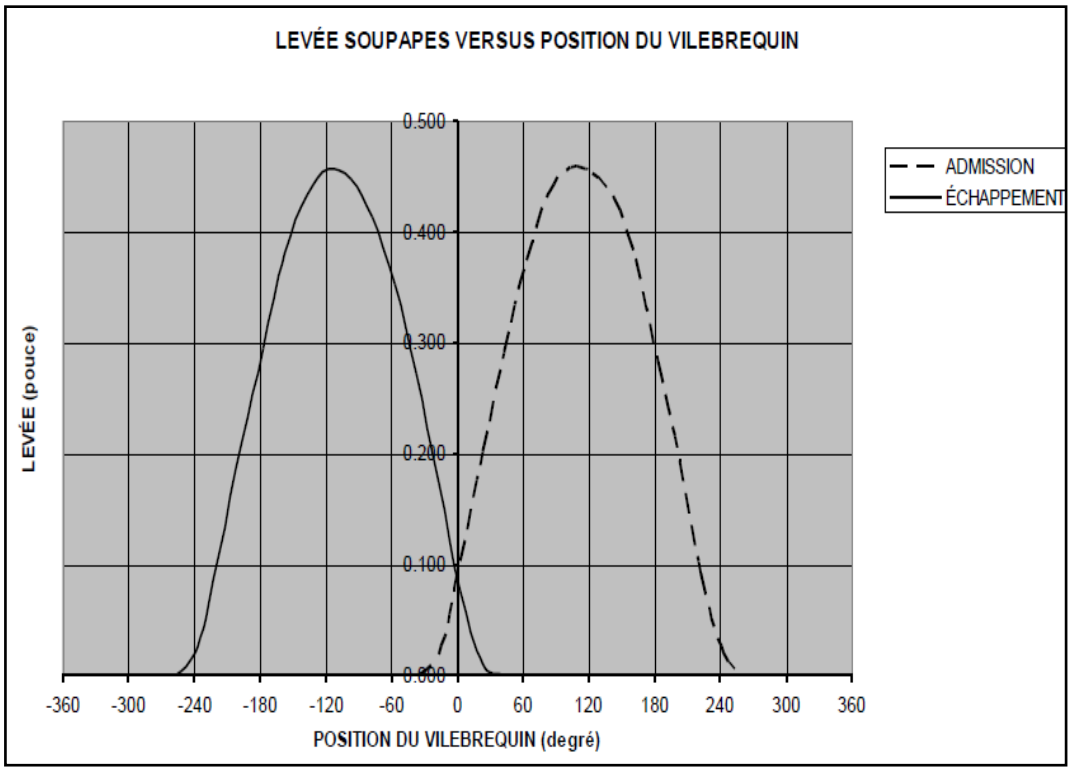

Figure III.12. Graphique de la levée de soupape versus la position du vilebrequin [15].

Les moteurs utilisant des courroies pour entrainer les arbres à cames procurent un réglage facilité lorsqu'on utilise des poulies ajustables. Les moteurs ayant des chaines de distribution donnent toutefois plus de mal, le réglage doit se faire en démontant une partie du moteur, ce n'est pas le genre d'ajustement qu'on fait en quelques secondes avec l'auto sur le dynamomètre. Les chaines de distribution sont de plus en plus utilisées, car elles procurent un encombrement réduit du moteur, en permettant l'usage de système de gestion du phasage des cames avec des systèmes hydrauliques tels que la Figure III.11. Dans cette figure, il est possible de distinguer des vannes fixes et mobiles. L'huile est acheminée de chaque côté de la vanne mobile, l'ECU contrôle en boucle fermée la position de l'arbre à l'aide d'une sonde de position et d'une valve contrôlant le débit d'huile des deux côtés des vannes. On peut aussi apercevoir une cavité dans une des branches de la section de vannes fixes. Cette cavité reçoit un plongeur qui à l'arrêt du moteur bloque la came en position de retard maximal. L'exemple de cette figure fait varier le phasage de la came d'admission d'un total de 43 degrés, ce n'est pas rien! Lorsqu'on souhaite vérifier le phasage d'une came d'un moteur ayant un système d'avance hydraulique, ainsi que les jeux entre les soupapes et le piston, il peut être nécessaire de démonter le mécanisme d'avance et de le bloquer en position d'avance maximale. La Figure III.12. Montre un profil typique de levée d'un arbre à cames et du phasage de ce dernier en fonction de la position du vilebrequin. Lorsque la forme de la came devient très

agressive, il arrive bien souvent que le manufacturier recommande un jeu très important au niveau des soupapes. La raison est d'obtenir une montée rapide des soupapes, la forme de la came devient très évasée ce qui conduit à une durée excessive à 0 d'ouverture. Afin d'atténuer cet effet, ils recommandent donc de faire le réglage avec un jeu important. Évidemment, le bruit mécanique du moteur s'en trouvera augmenté, créant un claquement. C'est normal et souhaitable. Cela crée néanmoins un impact important des soupapes sur leur siège, ne causant pas de problème dans la majorité des cas.

III.5.4. Mesure de la forme de la came

Avant d'entreprendre une série de mesure, il faut d'abord s'assurer de savoir ce qu'on cherche. La modification du système d'entrainement des soupapes et des soupapes elles-mêmes peut créer plusieurs effets néfastes. La liste des problèmes et des mesures appropriées est la suivante :

- Contact des soupapes avec le piston : Le contact peut être causé par un flottement des soupapes ou par un jeu insuffisant entre les soupapes et le piston. Le jeu sert essentiellement de facteur de sécurité lié à un manque de confiance sur le régime moteur qui sera atteint et la capacité des ressorts à suivre la forme de la came. Plus le système d'entrainement est flexible et plus on demandera un jeu important. De plus, ce jeu varie et n'est pas le même pour les soupapes d'admission versus celle d'échappement. Il faut au minimum un jeu pour compenser entre autres l'accumulation future de carbone sur le piston. Il y a trois façons de mesurer ce jeu : soit par calcul, mais c'est déconseillé; en utilisant de la gomme à mâcher ou de la pâte à modeler, en l'apposant sur la surface du piston, en assemblant la culasse et toutes les composantes du système de commande des soupapes, puis en faisant tourner le moteur lentement à la main avec soin; la troisième façon est celle que je préfère, qui est similaire à la méthode 2 mais au lieu de mettre de la gomme sur le piston, il s'agit de pousser manuellement la soupape et de noter la distance qu'elle parcourt avant contact, pour ce faire, il faut idéalement installer un ressort très mou que vous trouverez dans une quincaillerie. Lorsque vous prenez la méthode 2, si le mouvement demande un effort anormal, cessé de tourner, il se peut que la soupape soit déjà en contact avec le piston. Le jeu nécessaire varie donc d'un moteur à l'autre et de votre niveau d'incertitude. On parle donc d'un jeu d'environ 1 à 2 mm pour la soupape d'échappement et un peu moins pour la soupape d'admission. J'ai déjà mesuré un moteur d'origine avec un jeu de moins de .75 mm pour une soupape d'admission. Un jeu plus important est toujours le bienvenu. Noter que l'endroit où la

soupape d'échappement sera le plus près du piston arrive normalement avant le point mort haut. Maintenant, si le jeu est insuffisant, vous avez quelques choix : vous pouvez enlever du matériel sur le piston, c'est tout de même beaucoup de travail; changer les pistons par des pistons avec plus de dégagement est une option, mais un peu dispendieux; usiner le siège de soupape pour entrer plus profondément la soupape dans la culasse, mais cette solution devient très complexe avec les moteurs à arbre en tête, car cela demande de modifier la longueur de la soupape. Noter que certaines anciennes voitures comme des Aston Martin d'époque demandaient de modifier les soupapes pour faire l'ajustement du jeu.

- Contact entre les soupapes d'échappement et d'admission : Si vous avez installé des cames plus agressives, que vous avez changé la dimension des soupapes, puis qu'enfin les soupapes sont selon un aménagement de type Hémi avec un angle important, il y a un risque de contact. Idéalement, il faut faire l'analyse par calcul avant de décider d'usiner la culasse pour recevoir des soupapes plus grandes. Dans ce cas, il faut le diagramme de levée détaillé des soupapes, puis il faut modélisez la culasse, c'est un travail particulièrement théorique. La vérification pratique est quant à elle très simple. Il faut assembler le système de commande au complet dans le moteur avec la culasse, puis mesurer la distance entre les soupapes dans un cylindre où il n'y a pas de piston ni de bielle. Je me suis déjà fait un bloc d'essai où le côté était coupé pour donner une meilleure visibilité. Un bloc moteur endommagé peut toujours resservir [15].

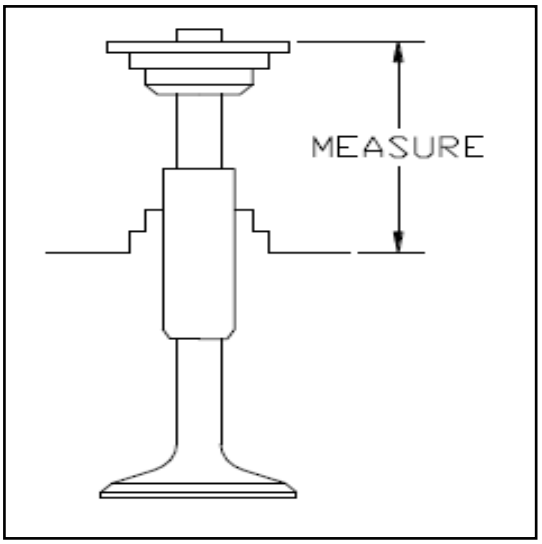

Figure III.13. Mesure de la levée d'une soupape [15].

- Contact entre la soupape et le piston dû au risque de flottement. Si vous prévoyez faire les calculs de ressort, il n'est pas nécessaire de prendre toute la courbe de levée en détail, mais seulement la section légèrement avant le haut de la tête de la came et jusqu'à ce que la soupape touche son siège. Vous devrez néanmoins le faire pour l'admission et l'échappement

si vous croyez que ce n'est pas pareil. Vous n'avez pas non plus besoin de vous assurer du phasage exact avec le vilebrequin. L'analyse par calcul devient assez complexe et représente une approche extrêmement théorique pour une personne qui n'est pas à l'aise avec les mathématiques. Évidemment, si vous voulez connaitre et vérifier le phasage exact de la levée avec le vilebrequin, il faudra assembler le moteur, puis le faire tourner en prenant des mesures de levée de soupape en fonction de la position exacte du vilebrequin. Une mesure à tous les 15 degrés du vilebrequin est normalement suffisante, débutée au point mort haut au temps d'allumage. Vous devrez prendre les mesures sur deux tours complets de vilebrequin. Vous pouvez opter pour une plus grande précision, mais un angle de moins de 10 degrés entre les lectures n'apporte plus grand gain. Le but est de prendre une lecture précise en utilisant une position de mesurage qui ne change pas d'une mesure à l'autre. Personnellement, j'utilise normalement la mesure telle que montrée à la Figure III.13. Prenez les mesures avec un jeu de soupape d'au plus .001" (.025mm).

III.6. Etude cinématique

III.6.1. Schématisation

Intéressons nous à la modélisation d'une soupape, notée S1 en liaison glissière d'axe (A, y0) avec le moteur S0. La came S2 est en liaison pivot d'axe (O, z0) avec S0.S1 et S2 sont en liaison sphère – plan de normale (I, y0) [19].

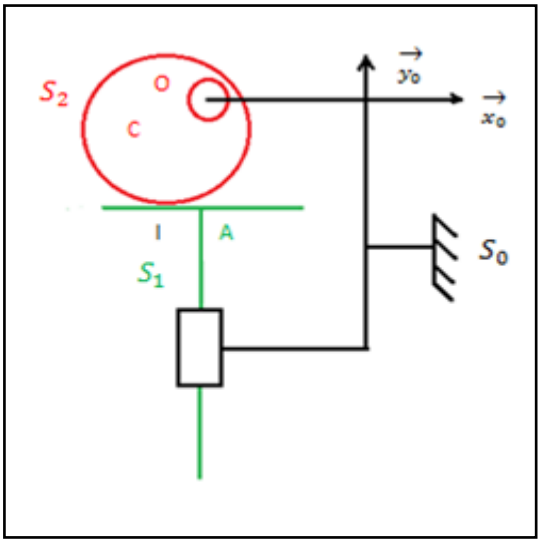

Figure III.14. Schéma cinématique [19].

III.6.2. Modélisation des vitesses de glissement

On a vu que dans le cas d'un contact ponctuel il existait 3 degrés de libertés de rotation paramétrables par les angles d'Euler. Nous ne cherchons pas ici à calculer directement le vecteur Ω (S2/S1) en fonction de ces angles. Cependant, ce vecteur est décomposable en une somme de deux vecteurs.

Le vecteur de pivotement est normal au plan P. On le note Ωp (S2/S1).

On a donc : Ωp (S2/S1) = ||Ω (S2/S1) · n_{12}|| · n_{12}

Le vecteur de roulement est contenu dans le plan P. On le note Ωr (S2/S1).

La vitesse de rotation se compose donc ainsi : Ω (S2/S1) =Ωp (S2/S1) +Ωr (S2/S1)

Cinématiquement, le point I n'est pas unique. En effet, on peut distinguer l'existence de 3 points différents :

– le point I matériel appartenant au solide S1 ;

– le point I matériel appartenant au solide S2 ;

– le point I (non matériel) correspondant au point de contact entre les deux solides.

À l'instant t, ces points peuvent être confondus. À t + d t ils peuvent être distincts.

En conséquence : $V\ (I,S2/S0) \neq$V (I, S1/S0) ont indéformables.

En conséquence : V (I, S2/S1) ∈ P

Dans de très nombreux mécanismes (dans les engrenages, lors du contact entre la roue et le sol etc.) on peut faire L'hypothèse que le glissement est nul.

On alors : V (I, S2/S1) = 0

Le calcul de la vitesse de glissement peut se calculer à l'aide de la procédure suivante.

1. Paramétrer le système
2. Décomposition du mouvement : V (I, S1/S2) =V (I, S1/S0) + V (I, S0/S2)
3. Calcul de {V (S1/S0)} au point I
4. Calcul de {V (S2/S0)} au point I
5. Calcul V (I, S1/S2)

III.6.3.Matériaux et procède de fabrication

Les matériaux qu'on peut utiliser à la fabrication de l'arbre à came sont la fonte grise et l'acier. L'invention a pour objectif de fournir un procédé de fabrication d'arbre à came obtenu par stabilisation de résultat d'amélioration de caractéristiques d'usure telles que la résistance au tangage, à l'éraillure, ou similaire. Afin d'atteindre cet objectif, le procédé de fabrication d'arbre à came pour moteur à combustion interne de l'invention comporte : une étape de

traitement thermique au cours de laquelle un arbre à came formé par assemblage d'une pièce de came en matériau fritté sur un corps principal d'arbre en tube métallique est chauffé jusqu'à une température de frittage par un dispositif de traitement thermique; et une étape de traitement de refroidissement au cours de laquelle l'arbre à came ayant subi un traitement thermique, est refroidi par un dispositif de traitement de refroidissement. Lors de l'étape de traitement de refroidissement, le refroidissement est effectué à travers deux niveaux d'étapes : une étape de traitement de refroidissement de premier niveau au cours de laquelle l'arbre à came est disposé dans un état dans lequel il est entouré de plaques de graphite sur la périphérie interne du dispositif de traitement de refroidissement, puis un refroidissement lent est effectué; et une étape de traitement de refroidissement de second niveau au cours de laquelle un gaz de refroidissement est injecté à l'intérieur du dispositif de traitement de refroidissement, et mis en circulation par un ventilateur afin d'effectuer un refroidissement rapide[19].

III.7. Conception assistée par ordinateur

Pour la conception assistée par ordinateur on n'a choisie CATIA comme logiciel de CAO. Et pour la réalisation de la pièce on n'a choisie l'arbre à cames du moteur a combustion interne PEUGEOT 206-TU1.

Comme première étape on a dessiné un cercle D26 ensuit on sélectionné la surface de cette cercle et on appuis sur icône d'ajouter matière pour une longueur de 26mm

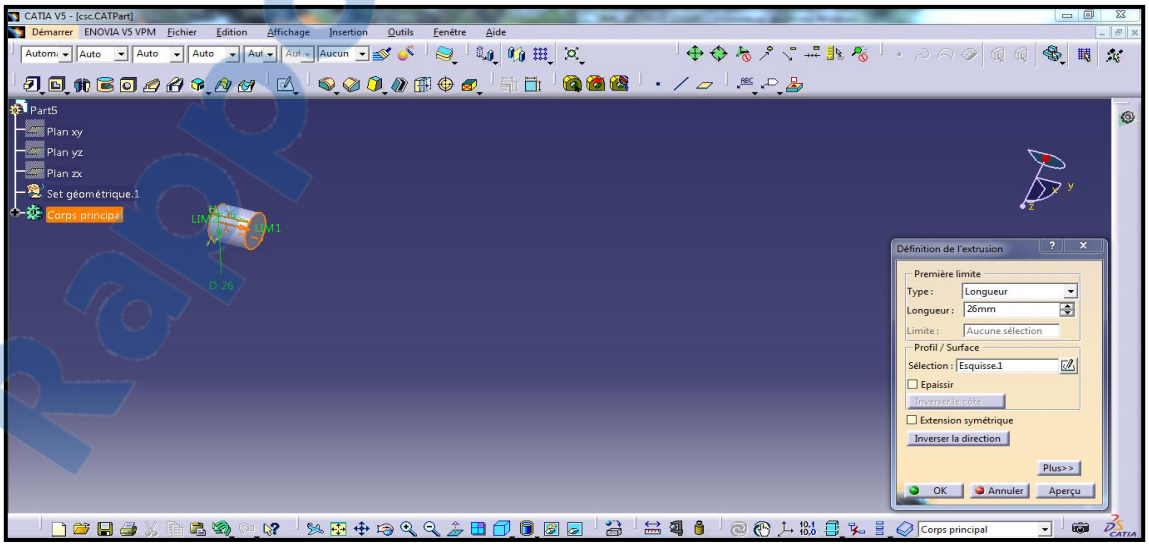

Figure III.15. Arbre de pignon de distribution

Pour le palier avant ont dessiné un cercle D36 ensuit ont sélectionné la surface de cette cercle et on appuis sur icône d'ajouter matière pour une longueur de 24.3mm

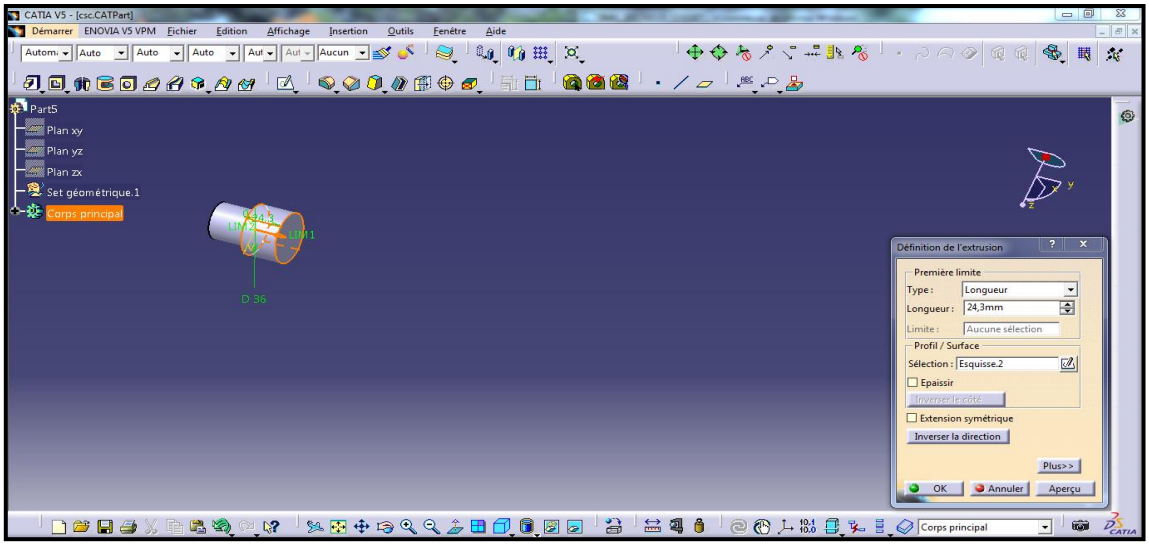

Figure III.16.Palier avant

Les mêmes étapes pour dessiné la pièce 1 avec cercle D24 et LIM=9.2

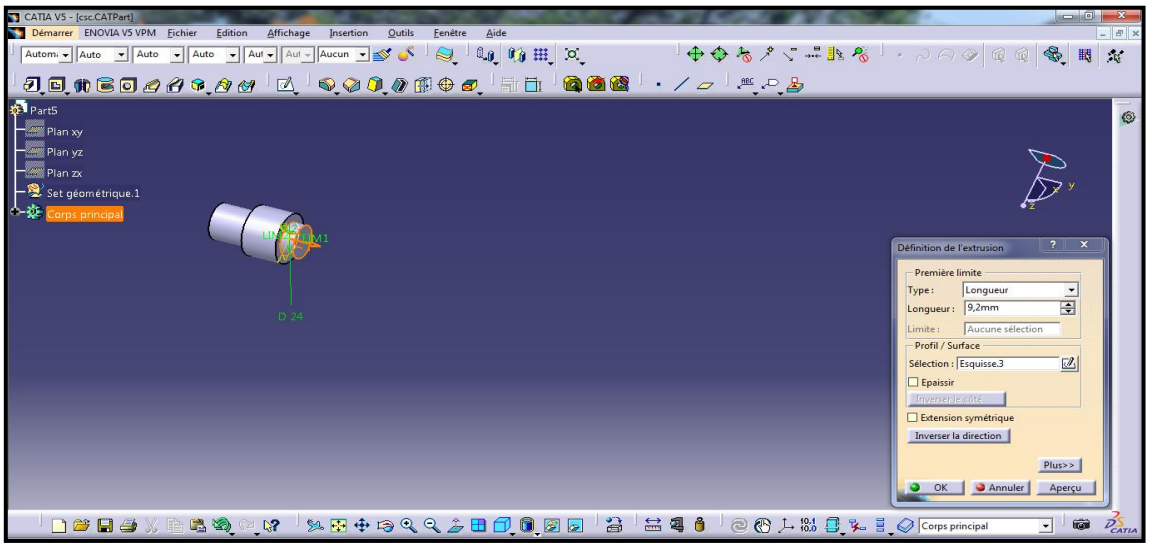

Figure III.17. Pièce 1

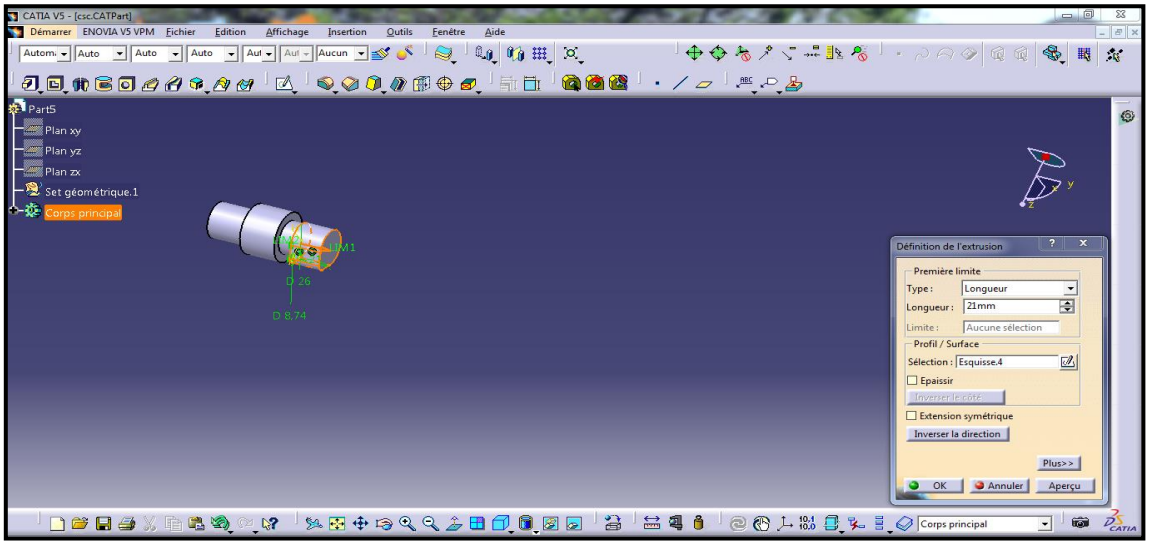

Figure III.18. Came d'échappement

La pièce 2 avec une cercle D24 et LIM=6mm

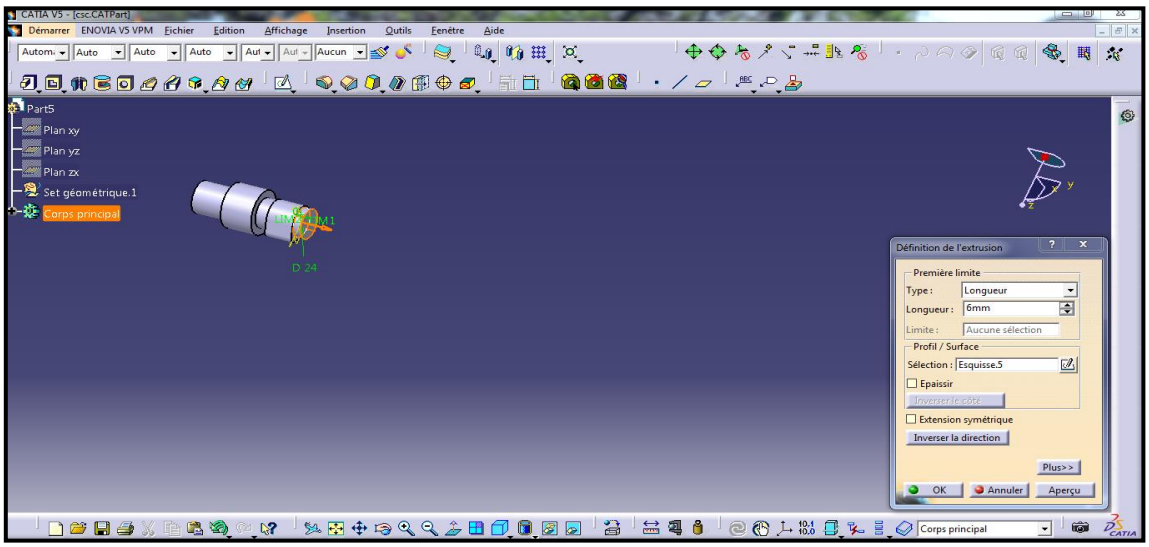

Figure III.19. Pièce 2

Pour faire profile de came d'admission on a dessiné deux cercles D26 et D8.74, ensuit on a dessiné les deux autres cercles D68 et D42 pour définir le centre de l'arc, en orange, qui est l'intersection de ces deux derniers. L'arc est tangent sur le D12 et D38.

Après la réalisation des arcs on a supprimé tous les traits de telle façon à avoir la face d'une came.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

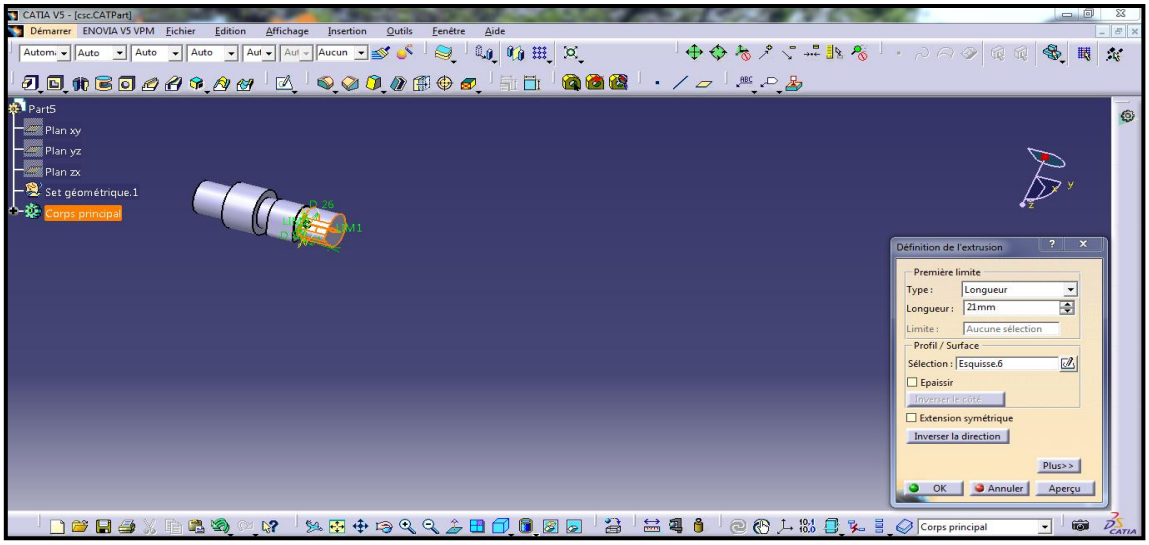

Figure III.20. Came d'admission

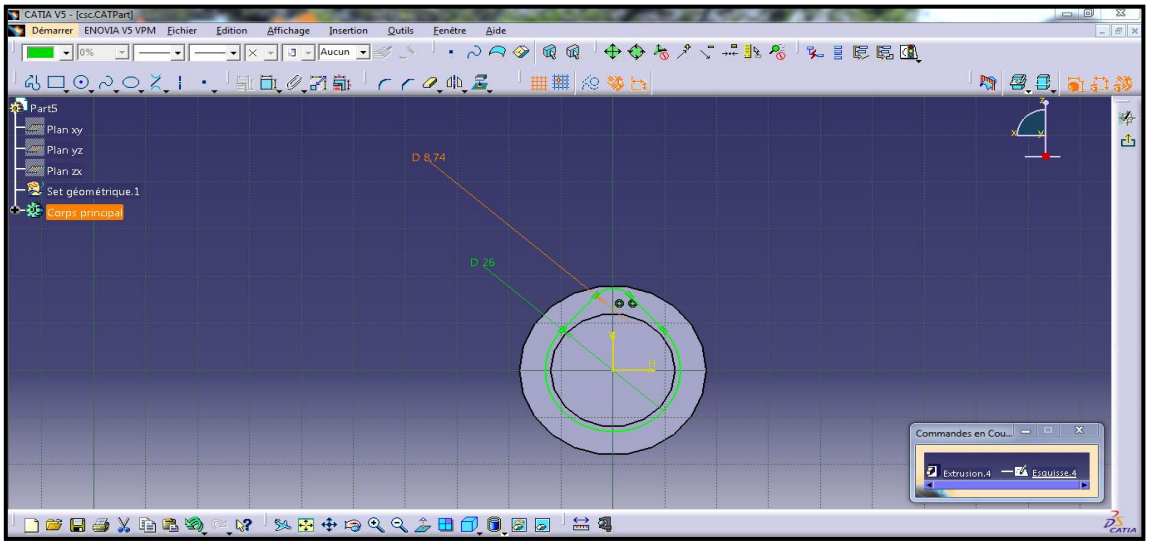

Figure III.21. Profile de came

La pièce 3 avec une cercle D24 et LIM=9.2mm

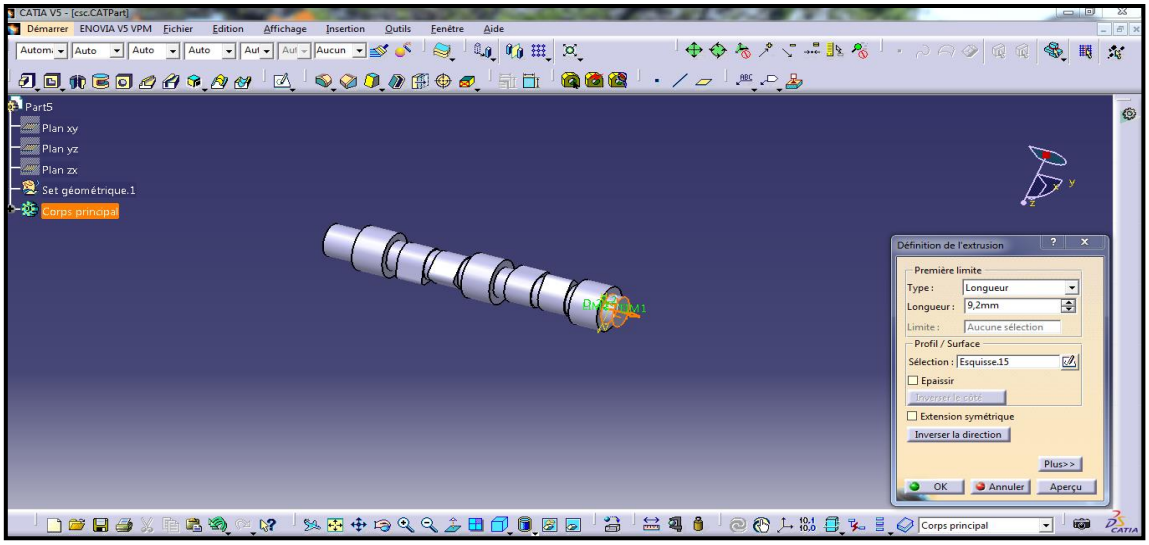

Figure III.22. Pièce 3

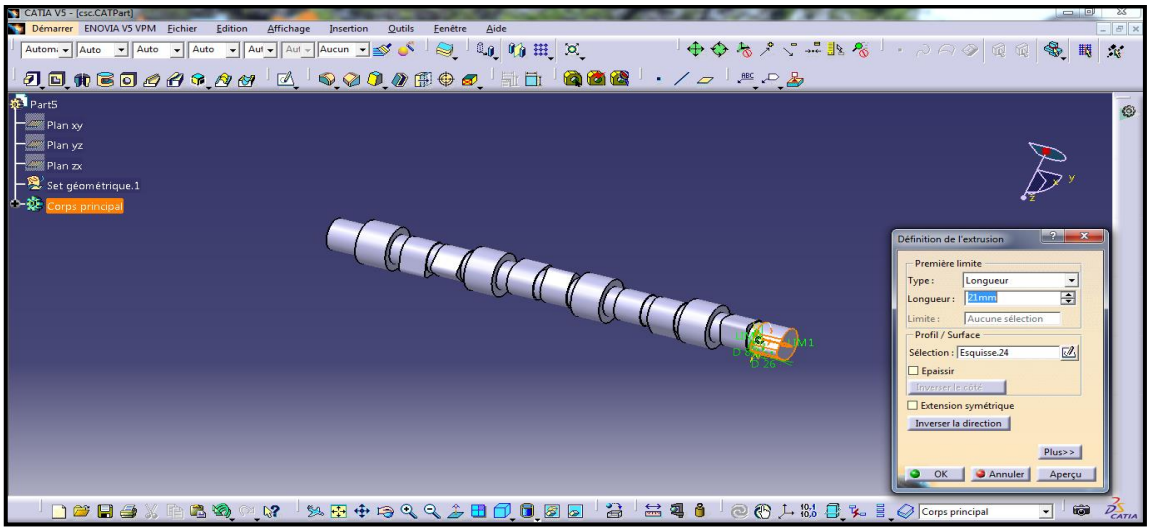

Figure III.23. Came d'admission

Refaire la même démarche 3 fois successives pour avoir les 8 cames, qu'on a assemblées avec une tige.

Chaque deux cames sont pivoté de 90° par rapport au suivante (0°, 90°, 180°, 270°).

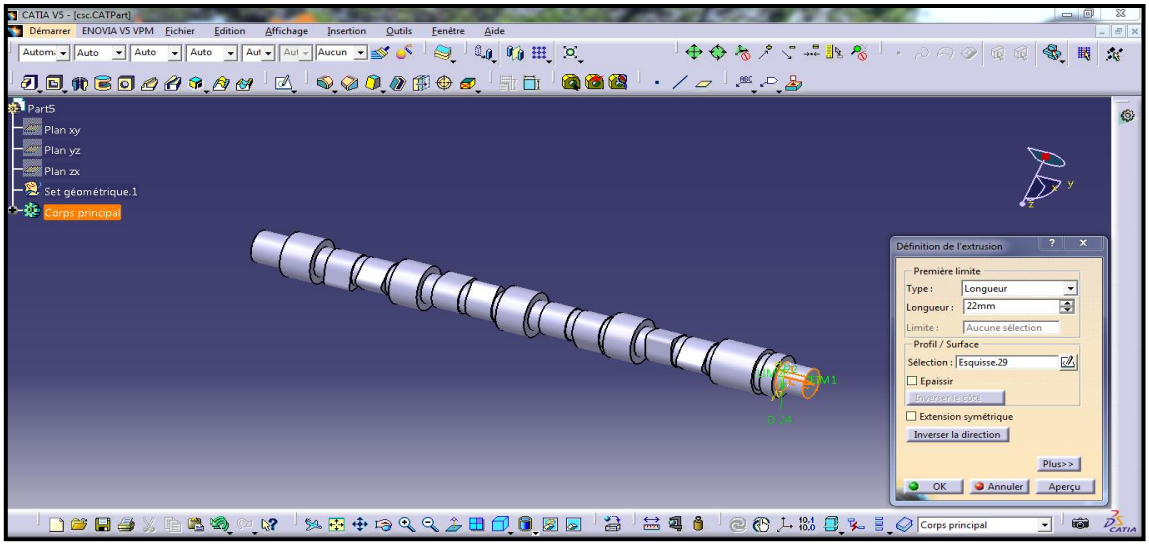

Figure III.24. Palier arrière

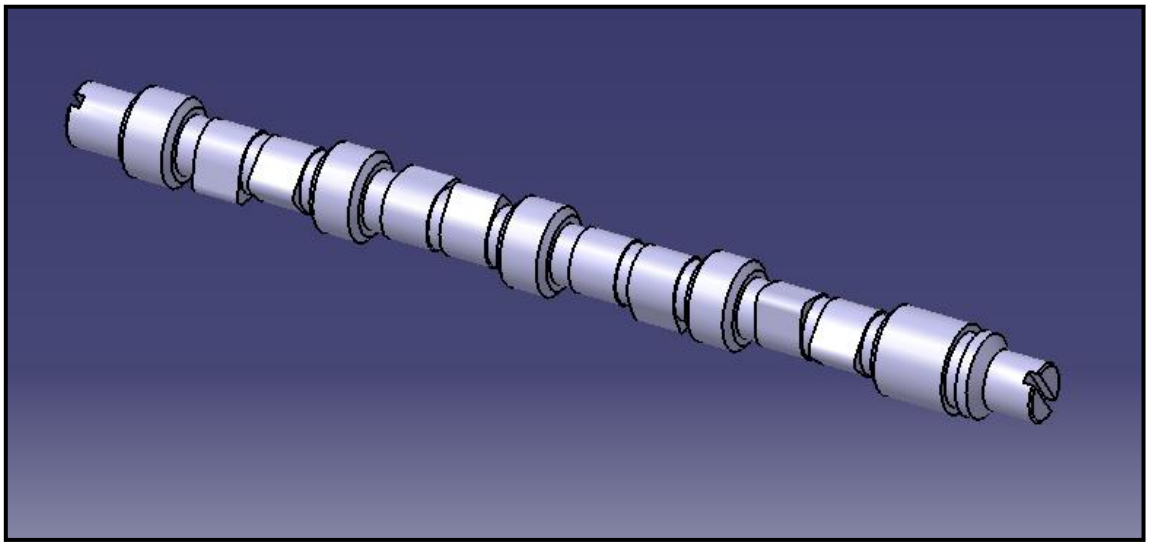

Figure III.25. Arbre à cames complet

Sur l'écran ci dessus le résultat finale de l'arbre à came

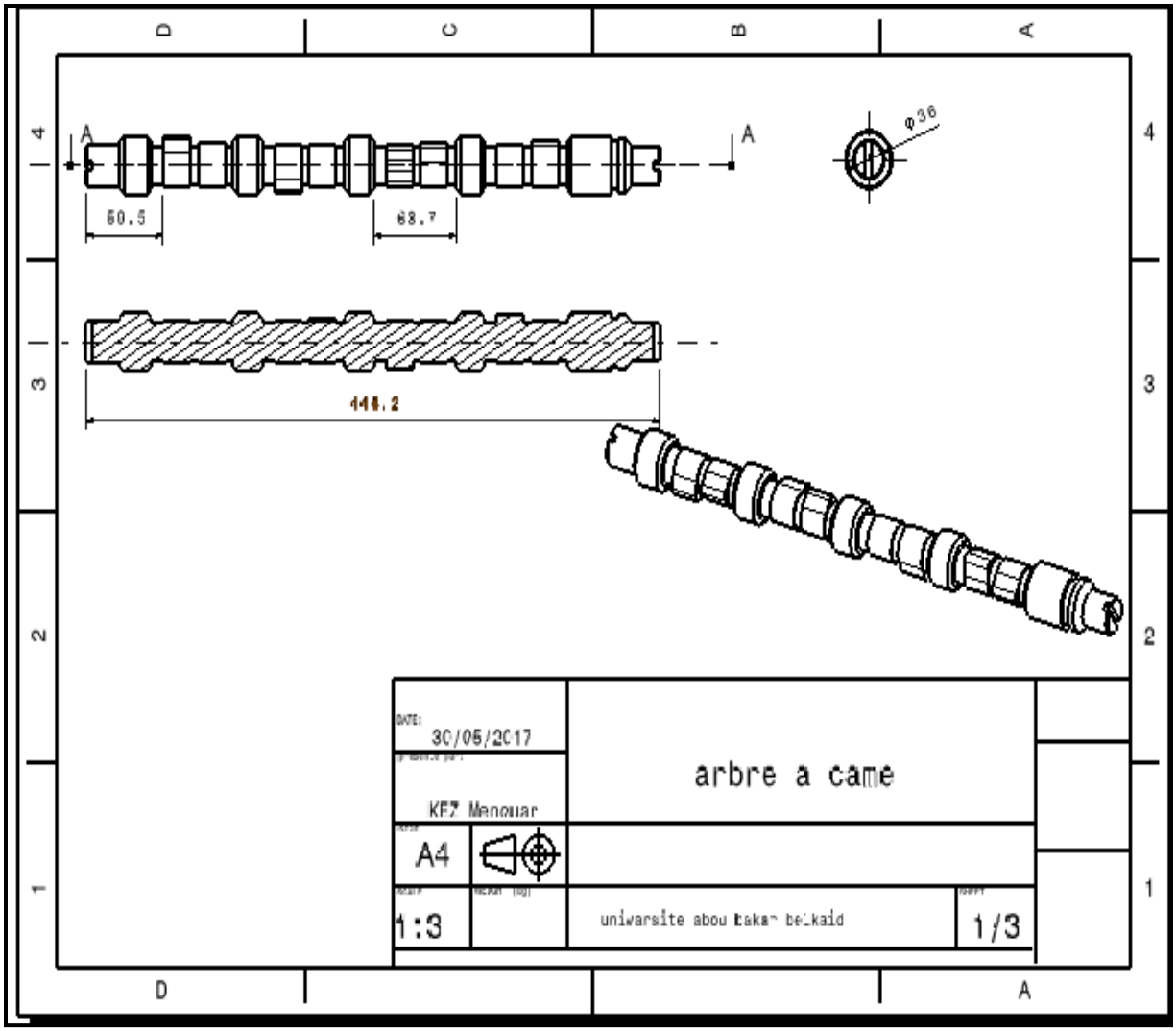

Figure III.26. Dessin technique de l'arbre à came

Conclusion

L'arbre à cames est une pièce maitresse du moteur à combustion interne. L'arbre à cames, appelé également « arbre de distribution », commande l'ouverture des soupapes, en transformant le mouvement rotatif issu du moteur en mouvement longitudinal actionnant les soupapes. Il s'agit d'un arbre, entrainé par des pignons, une chaîne ou une courroie crantée.

Le dessin des cames est très important, car leurs profils déterminent : le moment d'ouverture des soupapes, la durée d'ouverture, la physionomie de levée des soupapes (diagramme de distribution). Le profil des cames de soupapes d'admission est différent de celui d'échappement, en raison des lois qui régissent leur fonctionnement. Les matériaux utilisés pour la fabrication des arbres à cames doivent être capables de résister à l'usure, compte tenu des frottements importants avec les poussoirs ou les culbuteurs, et ce surtout lors des démarrages à froid lorsque la lubrification n'est pas encore assurée sous pression. On utilise en général, notamment pour les moteurs de grande série, des fontes trempées sur les cames et les portées.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Plusieurs évolutions concernant la distribution et les arbres à cames sont à noter. Les moteurs à distribution variable permettent de modifier les lois de distribution en fonction du régime moteur et de l'action du conducteur sur l'accélérateur, dans le but d'améliorer le rendement du moteur à haut comme à bas régime. Ainsi, des systèmes de décalage d'arbre à cames, celui d'allongement du temps d'ouverture ou de passage de 2 à 4 soupapes par cylindre.

La technologie calmes est également liée à la distribution variable, les soupapes étant dans ce cas commandées non par un arbre à cames, mais par des actuateurs électromagnétiques. Cette technologie permet, via un calculateur, de commander indépendamment chaque soupape en fonction de tous les paramètres connus du moteur à un instant donné, ce qui permet de gérer aux mieux le couple, le rendement.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Patrick Michel, éditeur, E-T-A-I, la préparation des moteurs (Auto service), 1 juillet 1996.
[2] Benabbassi A. Les moteurs à combustion interne, Introduction à la théorie, Alger, OPU. 2002.
[3] Kaffel Mohamed , Technologies et maintenance des machines thermiques, EMSE, Année 2014-2015.
[4] Anndolsi Fouad et Amdouni, cours mécanique automobile, HATEM ISET NABEUL 2009.
[5] Brun Raymond, science et technique du moteur diesel industriel et de transport, tom1, Edition Technip , Année 1981.
[6] Moteurs thermiques, Edition castilla-Paris Tom 1 et Tom 2, Année 1992.
[7] Cours de moteur thermique, LAEMA2, Année 2013.
[8] Pierrick Calvet et Labella Florent, le moteur turbo diesel à injection direct, 17 mai 2002.
[9] Gustave Maillard, Technologie de l'automobile, Edition Casteilla ,1 juin 1997.
[10] Merabet Abderrezak, thèse « Contribution a l'étude des échanges Thermiques dans un moteur diesel atmosphérique taux de compression variable », juin 1986.
[11] Tarik Moumen, cours moteur thermique « Analyse fonctionnelle du moteur thermique », CPFA, Année 2010.
[12] Guesmi Lamine & Zitouni Sabri, cours moteur thermique, ISET du Kef, 20 décembre 2014.
[13] Bruno GEOFFROY, cours « Distribution à soupapes », Doc. B 2 805, Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique, 10 nov1995.
[14] Xavier Ritter, thèse « Modélisation de la distribution d'un moteur à arbre à cames en tête », Année 12 janvier 2006.
[15] Marc Julien, performance 4 temps, Edition Configtech, 31 décembre 2012.
[17] Steve Coon, cours « Arbres à cames: À propos de quoi est-ce que l'on parle? »,21 /3/2009.
[18] Technique : L'arbre à cames, page 2, Motorlegend, 2 août 2005.

Rapport-Gratuit.com

WEBOGHRPHIE

[16] **http://lpjp.moto.free.fr/images/file/MA/distributioncommandeprof.pf**
[19] **http://i68.servimg.com**
[20] **http://www.tpmaint.com/dosmoteur/calagepiston.swf**