

## ETUDE THERMODYNAMIQUE DU MOTEUR

### 1. Généralité

Tous les moteurs à combustion font appel aux transformations thermodynamiques d'une masse gazeuse pour passer de l'énergie chimique contenue dans le combustible à l'énergie mécanique directement exploitable sur l'arbre de sortie du moteur.

Cette idée fondamentale a été émise par le physicien français S. Carnot.

Selon le principe de Carnot :

Une machine thermique ne peut produire du travail que si elle possède deux sources de chaleur à des températures différentes :

- La source chaude (à température absolue  $T_2$ ) où a lieu la combustion du carburant.
- La source froide à température  $T_1$  (gaz d'échappement, radiateur, milieu extérieur très proche du moteur).

### 2. Diagramme théorique

Le diagramme théorique d'un moteur à 4 temps est le diagramme idéal. Il ne tient pas compte des facteurs suivants :

- Temps mis par les soupapes à s'ouvrir.
- Délai d'inflammation du mélange.
- Inertie des gaz.
- Echanges de chaleur avec l'extérieur.

Les variations qui se produisent dans le diagramme sont liées aux lois de la thermodynamique (Cycle Beau de Rochas).

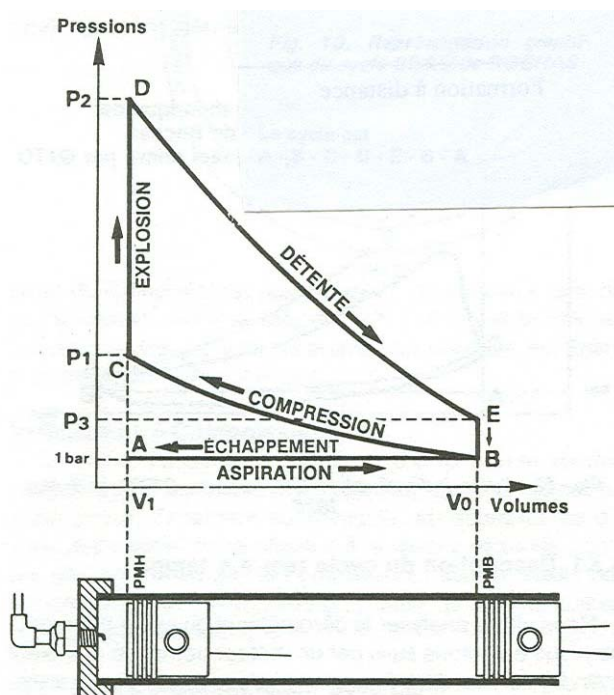


Fig. 3.1. Cycle Beau de Rochas

- Le travail moteur est représenté par l'aire ADEBA.
- Les temps résistants sont représentés par l'aire ABCA.
- Le travail utile - l'aire CDEBC.

- a) Aspiration du gaz à la pression atmosphérique dans le cylindre le long de la droite isobare AB ( $P_0 = 1 \text{ Bar}$ ,  $V_1 V_0$ ).
- b) Compression adiabatique BC jusqu'au volume minimal  $V_1$ , la pression devenant  $p_1$ .
- c) Combustion instantanée du gaz à volume constant le long de la droite isochore CD avec une forte élévation de température à  $T_2$  et de la pression à  $p_2$ .
- d) Détente du gaz chaud le long de l'adiabatique DE qui ramène le volume à  $V_0$ , mais à une pression  $p_3$  supérieure à celle de l'atmosphère.
- e) Ouverture de l'échappement des gaz dont la pression tombe instantanément à la pression atmosphérique le long de l'isochore EB, la température redescendant à  $T_1$ .
- f) Reste à vider le cylindre, des gaz brûlés, en décrivant l'isobare BA, pour revenir au point de départ A.

### 3. Diagramme réel

#### 3.1. Diagramme réel avant réglage (Cycle OTTO)

La première réalisation pratique d'un moteur à piston fonctionnant suivant le cycle à 4 temps a été réussie par OTTO en 1876. Mais le graphique des pressions qu'il releva sur le moteur monocylindrique à piston tournant à 180 tr/min s'écartait assez nettement du cycle théorique de Beau de Rochas; le rendement pratique était inférieur au rendement théorique.

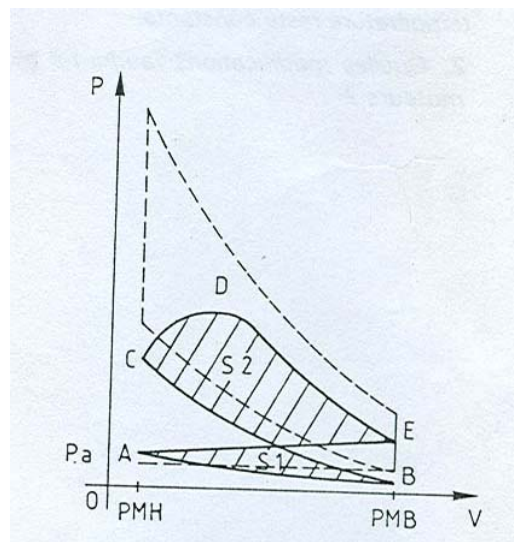


Fig. 3.2 Diagramme réel avant réglage

- Admission (Courbe AB) :  
La pression  $p$  est supérieure à  $p_a$  du fait de l'accumulation des gaz dans la tubulure d'admission, puis le recule rapide du piston crée une baisse de pression dans la deuxième partie de AB.  
 $p_B < p_a$  au point B.

- Compression (Courbe BC) :  
La courbe de compression se trouve en dessous de la courbe théorique, puisque son point de départ B est en dessous de  $p_a$ . Elle est également modifiée par les échanges de chaleur.
- Inflammation-détente (Courbe CDE) :  
Pendant le temps que dure la combustion, le piston recule. La verticale va s'abaisser en une courbe dont la pression maximale sera plus faible.  
De plus, pendant la détente, les gaz chauds perdent une partie de leur chaleur. La pression décroît plus rapidement que dans le moteur théorique.
- Echappement (Courbe EA) :  
La chute de pression se fait progressivement pour n'approcher la pression à l'admission qu'en fin de course piston. Pendant toute la course il règne une contre-pression due à la poussée rapide du piston.

Dans le diagramme réel on voit que les temps utiles perdent une partie de leur surface. Les temps résistants augmentent.

$$S_2 - S_1 = \text{Travail utile insuffisant.}$$

#### Défauts constatés :

- Remplissage insuffisant,
- Compression insuffisante,
- Pression d'explosion trop faible,
- Echappement incomplet (contre-pression).

#### Causes :

- Ecoulement défectueux des gaz : lent et difficile (coudes, soupapes),
- Inflammation non instantanée (durée  $t$ ) des gaz frais en général  $t \leq 0.001$  s.
- Compression et détente non adiabatiques.
- Vitesse  $v$  du piston assez grande.

### 3.2. Diagramme réel après réglage

Il est nécessaire, pour remédier à ces inconvénients d'augmenter le temps d'ouverture des soupapes afin d'éviter le freinage des gaz.

Le point d'allumage devra être avancé pour tenir compte du délai d'inflammation.

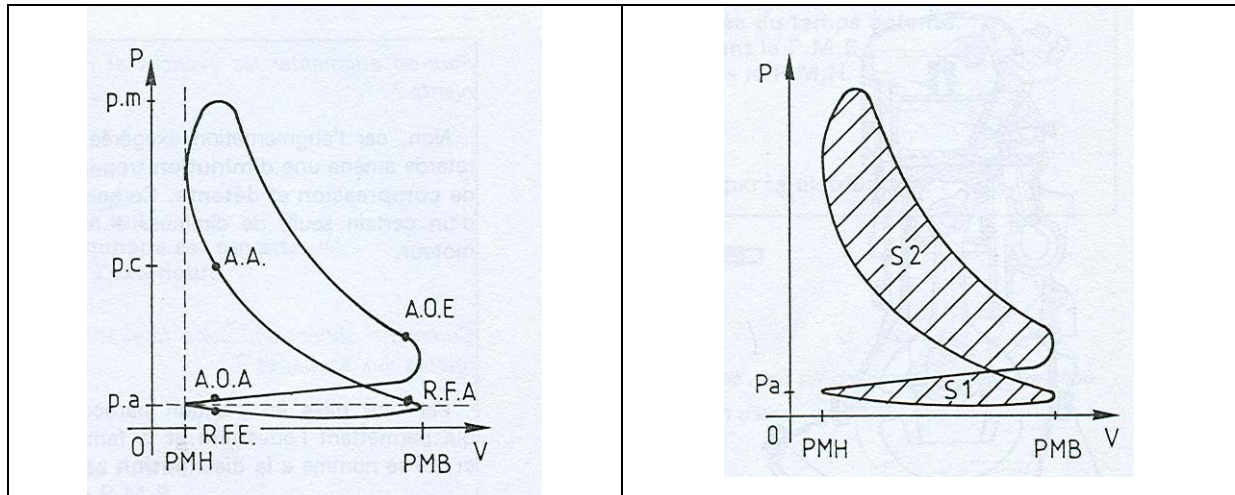


Fig. 3.3. Diagramme réel après réglage

- Avance à l'ouverture de l'admission (AOA) :  
Cette avance évite l'arrêt de la veine gazeuse devant une soupape fermée et améliore ainsi le taux de remplissage.
- Retard à la fermeture de l'admission (RFA) :  
On profite de l'inertie des gaz pour augmenter le remplissage et ne refermer la soupape qu'après le PMB. La diminution du temps de compression est compensée par une pression de début de compression plus élevée.
- Avance à l'allumage (AA) :  
Elle permet de répartir l'explosion de part et d'autre du PMH. La pression maximale se trouve ainsi augmentée.
- Avance à l'ouverture de l'échappement (AOE) :  
Elle permet d'avancer la chute de pression des gaz brûlés afin de limiter leur tendance à la contre-pression.
- Retard à la fermeture de l'échappement (RFE) :  
On profite de l'inertie des gaz pour faciliter leur évacuation complète. La soupape d'échappement se ferme donc au début du temps admission.

En conclusion, l'aire  $S_2$  a augmenté, l'aire  $S_1$  a diminué.  
Le travail utile du moteur est plus important.