

Chapitre 3

Cycle réel d'un moteur à combustion interne de type diesel

3.1 Introduction

Durant un cycle thermodynamique réel d'un moteur à combustion interne:

- La quantité et la composition du fluide moteur ne sont plus constantes, les capacités calorifiques sont déterminées en fonction de la température et de la composition du fluide moteur.
- Les opérations de compression et de détente ne sont plus adiabatiques, la perte de chaleur entre fluide moteur et les parois est prise en considération.
- Les pertes de charges dans les canaux d'admission et d'échappement, pendant l'écoulement du fluide moteur, sont aussi considérées.

Dans ce cas le cycle réel du moteur est composé de transformations suivantes :

- a) Admission du fluide moteur
- b) Compression polytropique du fluide moteur
- c) Combustion du mélange
- d) Détente polytropique des produits de combustion
- e) Echappement des gaz brûlés

3.2 Diagramme Indiqué

On représente le cycle réel d'un moteur à combustion interne par un diagramme dit « diagramme indiqué », illustrant la variation de la pression dans le cycle soit en fonction du volume (v) figure3.1, soit en fonction de l'angle de rotation du vilebrequin (θ) figure3.2.

AOE : Avance à l'ouverture d'échappement (début de l'ouverture de la soupape d'échappement SE)

RFE : Retard à la fermeture d'échappement (fin de la fermeture de la soupape d'échappement SE)

AOA : Avance à l'ouverture d'admission (début de l'ouverture de la soupape d'admission SA)

RFA : Retard à la fermeture d'admission (fin de la fermeture de la soupape d'admission SA)

3.3 Croisement des soupapes

A la fin de l'échappement et au début de l'admission, les deux soupapes d'admission SA et d'échappement SE se maintiennent ouvertes en même temps, cette situation s'appelle « croisement des soupapes » figure 3.3, elle a pour effet de :

- Favoriser le balayage du cylindre par les produits de combustion
- Effectuer un soufflage de la chambre de combustion par l'air frais (participant au refroidissement de cette partie du moteur).

3.4 Admission : C'est l'étape de remplissage du cylindre par la charge fraîche (air pour le moteur diesel, air + essence pour le moteur à allumage commandé).

Dans les moteurs réels, la masse de la charge fraîche est plus petite que celle théorique qui pourrait remplir le cylindre à cause de la détente des gaz résiduels se trouvant dans la chambre de combustion du cycle précédent (M_r). Pour augmenter la masse de la charge fraîche on utilise la suralimentation des moteurs.

Les paramètres caractérisant les processus d'admission et d'échappement sont essentiellement :

➤ Le coefficient de remplissage η_v

C'est le rapport de la quantité réelle (M_1 en K_{mole} ou G_1 en Kg) de la charge fraîche admise dans le cylindre et occupant le volume (V_1) à la quantité théorique (M_{th} en K_{mole} ou G_{th} en Kg) qui pourrait remplir la cylindrée (V_h) sous les paramètres d'entrée (p_{en} , T_{en})

$$\eta_v = \frac{M_1}{M_{th}} = \frac{G_1}{G_{th}} = \frac{\rho_{en} V_1}{\rho_{en} V_h} = \frac{V_1}{V_h}$$

(3.1)

Les paramètres à l'entrée du cylindre dépendent du type de moteur :

- Pour un moteur Diesel à 4 temps non suralimenté (naturellement aspiré):

$$p_{en} = p_0 - \Delta p_f \quad (3.2)$$

$$T_{en} = T_0$$

$\Delta p_f = 0.02$ à 0.07 bar : résistance aérodynamique du filtre à air.

avec $p_0 = 1 \text{ bar}$: pression atmosphérique

et $T_0 = 293\text{K}$: Température ambiante standard

- Pour un moteur Diesel à 4 temps suralimenté (utilisation d'un compresseur)

$$p_{en} = p_s \quad \text{et} \quad p_s = 0.35 + 0.15p_e \quad (3.2)$$

p_e : la pression moyenne effective est calculée comme suit :

$$p_e = \frac{0,6 \cdot N_e \cdot z}{V_h \cdot n \cdot i} \quad (3.3)$$

N_e : puissance effective du moteur (kw)

z : nombre de tours du vilebrequin pour un cycle

V_h : cylindrée du moteur (m^3)

n : vitesse de rotation du vilebrequin (tr/mn)

i : nombre de cylindres

$$T_{en} = T_s \quad (T_s \text{ ne doit pas dépasser } 360\text{K})$$

T_s et p_s : température et pression à la sortie du compresseur.

➤ Le coefficient des gaz résiduels γ_r

C'est le rapport de la quantité (M_r en K_{mole} ou G_r en Kg) des gaz brûlés qui occupent le cylindre depuis le cycle précédent à la quantité réelle de la charge fraîche introduite dans le cylindre (M_1 en K_{mole} ou G_1 en Kg).

$$\gamma_r = \frac{M_r}{M_1} \quad (3.4)$$

Les paramètres des gaz résiduels : T_r et p_r dépendent des phases de distribution, du nombre de soupapes, des pertes de charge à l'échappement et du régime de rotation.

La température des gaz résiduels pour les moteurs diesel est admise dans l'intervalle suivant :

$$T_r = 700 \dots 900 \text{ K}$$

La pression des gaz résiduels peut être approximativement calculée comme suit :

$$p_r = p_{ech} \left(1 + a \cdot \frac{n \cdot C}{T_r} \right) \text{ avec } a = 0.3 \text{ à } 0.5 \quad (3.5)$$

et

$$p_{ech} = p_0(1 + b) \text{ avec } b = 0.01 \text{ à } 0.05$$

On admet les valeurs des coefficients de remplissage η_v et des gaz résiduels γ_r dans les limites suivantes :

Type de moteur	γ_r	η_v
Moteurs à allumage commandé (essence)		0.75...0.90
Sans suralimentation	0.06...0.12	
Suralimentés	0.04...0.08	
Moteurs diesel à 4 temps sans suralimentation	0.03...0.06	0.80...0.90
Suralimentés	0.01...0.03	0.85...1.15

Paramètres de la charge fraîche à la fin d'admission (T_a , p_a)

A cause des pertes de charge (Δp_a) dans les canaux d'admission, la pression p_a à la fin d'admission est inférieure à la pression p_{en} à l'entrée du cylindre.

$$p_a = p_{en} - \Delta p_a \quad (3.6)$$

- Pour un moteur Diesel à 4 temps non suralimenté (naturellement aspiré):

$$\Delta p_a = (0,03 \dots 0,18)p_0$$

On admet aussi

$$p_a = (0.80 \dots 0.92) \cdot p_{en}$$

- Pour un moteur Diesel à 4 temps suralimenté :

$$\Delta p_a = (0,03 \dots 0,10)p_0$$

On admet aussi

$$p_a = (0.90 \dots 0.96) \cdot p_{en}$$

La valeur de la température T_a en fin d'admission dépend de l'échauffement (ΔT_a) à cause du contact avec les parois chaudes du canal d'admission, de la quantité des gaz résiduels (γ_r) et de la température T_r .

$$T_a = T_{en} + \Delta T_a \quad (3.7)$$

- Pour un moteur Diesel à 4 temps non suralimenté (naturellement aspiré):

$$\Delta T_a = 10 \dots 40$$

On admet aussi

$$T_a = (??????) \cdot T_{en}$$

- Pour un moteur Diesel à 4 temps suralimenté :

$$\Delta T_a = -5 \dots 10$$

On admet aussi

$$T_a = (????????) \cdot T_{en}$$

Pour calculer T_a on utilise le bilan thermique avant et après formation de la charge fraîche. La quantité (M_1) arrivant dans le cylindre durant l'admission et possédant la température ($T_{en} + \Delta T_a$) se mélange avec la quantité (M_r) des gaz résiduels à la température T_r pour former la quantité ($M_1 + M_r$) possédant la température (T_a)

$$M_1(T_{en} + \Delta T_a) + M_r T_r = (M_1 + M_r)T_a \quad (3.8)$$

divisons par M_1 et tenant compte de la formule (3.4) de γ_r

on obtient

$$(T_{en} + \Delta T_a) + \gamma_r Tr = (1 + \gamma_r)T_a \quad (3.9)$$

on aura

$$T_a = \frac{(T_{en} + \Delta T_a) + \gamma_r Tr}{(1 + \gamma_r)} \quad (3.10)$$

d'après la définition (3.1) de $\eta_v = \frac{V_1}{V_h}$

L'équation d'état au point (a) fin d'admission s'écrit

$$p_a V_a = (M_1 + M_r)RT_a \quad (3.11)$$

on tire

$$M_1 = \frac{p_a V_a}{RT_a} - M_r \quad (3.12)$$

en remplaçant T_a et M_r par leurs expressions, on obtient

$$M_1(1 + \gamma_r) = \frac{p_a V_a}{RT_a} = \frac{p_a V_a}{R(T_{en} + \Delta T_a + \gamma_r Tr)} \quad (3.13)$$

D'autre part, la quantité théorique (M_{th}) occupant la cylindrée unitaire V_h sous les paramètres (T_{en} , p_{en}) a pour équation d'état :

$$p_{en} V_h = M_{th} R T_{en} \quad (3.14)$$

$$M_{th} = \frac{p_{en} V_h}{R T_{en}} \quad (3.15)$$

On remplace les expressions de M_1 et M_{th} dans la formule de η_v on obtient :

$$\eta_v = \frac{V_a}{V_h} \cdot p_a \cdot \frac{T_{en}}{p_{en}} \cdot \frac{1}{(T_{en} + \Delta T_a + \gamma_r Tr)} \quad (3.16)$$

Avec

$$\frac{V_a}{V_h} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1}$$

(3.17)

Finalement

$$\eta_v = \frac{\varepsilon}{(\varepsilon - 1)} \cdot p_a \cdot \frac{T_{en}}{p_{en}} \cdot \frac{1}{(T_{en} + \Delta T_a + \gamma_r T_r)}$$

(3.18)