

# Chapitre I : Rappel de la thermodynamique technique

## I.1 Introduction

Pour analyser les performances d'une machine thermique deux bilans seront appliqués :

- a) Bilan énergétique
- b) Bilan entropique

## I.2 Bilan énergétique (premier principe de la thermodynamique)

Le premier principe de la thermodynamique est le principe de la conservation d'énergie.

- Pour un système fermé :

L'énergie totale  $E$  d'un système est la somme de l'énergie cinétique  $E_C$ , de l'énergie potentielle  $E_P$  et de l'énergie interne  $U$

$$E = E_C + E_P + U \quad (\text{II.1})$$

Les énergies cinétique et potentielle sont communes entre la mécanique et la thermodynamique, mais, l'énergie interne est une énergie propre à la thermodynamique.

Pour un système fermé, l'énergie totale  $E$  échangée avec l'environnement est divisée en deux parties : l'apport de chaleur  $Q$  au système et le travail effectué  $W$  par le système. Dans ce cas, l'équation II. 1 s'écrit

$$\Delta E_C + \Delta E_P + \Delta U = Q + W \quad (\text{II.2})$$

Généralement, en thermodynamique, les variations de l'énergie cinétique et potentielle sont nulles, et l'équation précédente devient

$$\Delta U = Q + W \quad (\text{II.3})$$

Avec:

$Q$  : Energie transférée à travers les limites du système causé par la différence de température.

$W$  : Le travail est une autre forme d'énergie causé par le mouvement ou la déformation du système (détente ou compression)

- Pour un système ouvert :

L'Expression du premier principe pour un système ouvert s'écrit comme suit:

$$\Delta h + \Delta E_C + \Delta E_P = Q + W \quad (\text{II.4})$$

Ou

$$\dot{m}(\Delta h + \Delta E_C + \Delta E_P) = \dot{Q} + \dot{W} \quad (\text{II.5})$$

Avec:

$\dot{m}$ : Débit massique s'écoulant dans le système ouvert

$h = u + Pv$  : Enthalpie du système

### I.3 Bilan entropique (deuxième principe de la thermodynamique)

Le premier principe de la thermodynamique exprime la conservation de l'énergie au cours d'une transformation quelconque. Il ne fait aucune distinction entre les diverses formes d'énergie, et n'impose aucune restriction quant au sens dans lequel chaleur et travail sont échangés. Ainsi un transfert de chaleur d'un corps chaud vers un corps froid s'effectue sans travail, mais pas l'inverse. Le second principe de la thermodynamique établit précisément un critère permettant de distinguer entre les transformations possibles et impossibles.

Il existe deux formulations classiques du second principe de la thermodynamique, qui décrivent le comportement des machines thermiques.

#### ❖ **Énoncé de Kelvin Planck**

*" Il est impossible de réaliser un appareil décrivant un cycle qui fournirait du travail en échangeant de la chaleur avec une seule source".*

Cet énoncé se réfère aux machines thermiques et stipule qu'une machine ne peut transformer intégralement la chaleur reçue d'une source chaude en travail. Il faut qu'une certaine quantité de chaleur soit cédée à une source froide.

#### ❖ **Énoncé de Clausius " Il est impossible de réaliser un appareil décrivant un cycle dont le seul effet serait de transférer une quantité de chaleur d'une source froide à une source chaude".**

### I.3.1 Entropie

Le deuxième principe de la thermodynamique est basée sur l'entropie  $S$  qui est une fonction d'état en  $J/K$  mesure la dégradation de l'énergie du système macroscopiquement ou le désordre dans le système microscopiquement. La variation d'entropie d'un système au cours d'une transformation peut être décomposée en deux termes:

$$dS = dS_e + S_g \quad (II.6)$$

où  $dS$  : variation d'entropie du système;  $dS_e$  est la variation d'entropie due aux échanges de chaleur du système avec l'environnement et  $S_g$  est la variation d'entropie due aux phénomènes irréversibles internes du systèmes.

- Pour un système fermé :

Le bilan entropique du système fermé s'écrit comme suit:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \sum \frac{Q}{T_e} + S_g \quad (II.7)$$

- Pour un système ouvert :

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \sum \frac{Q}{T_e} + S_g \quad (II.8)$$

Ou

$$\Delta S = \dot{m}(S_2 - S_1) = \sum \frac{\dot{Q}}{T_e} + \dot{S}_g \quad (II.9)$$

Avec :

$T_e$  : température de la source externe

$S_g \geq 0$  : mesure la génération d'entropie dans le système ou le degré d'irréversibilité du système.  $S_g = 0$  : transformation réversible,  $S_g \neq 0$  : transformation irréversible.

Les causes d'irréversibilités sont : Internes : frottement fluide –fluide, fluide –paroi et externes: pertes d'énergie par transfert de chaleur ou gradient de température ( $T_{sys} \neq T_e$ ).

#### I.4 Loi des gaz parfaits

La loi des gaz parfaits est donnée par la formule suivante:

$$PV = n.R.T \quad (\text{II.10})$$

Avec

$P$  : la pression en Pascals ( $\text{N/m}^2$ ),  $V$  : le volume en  $\text{m}^3$ ,

$n$  : le nombre de moles,

$R$  : la constante égale à  $8,315 \text{ J/mole.K}$ ,  $T$  : la température en Kelvin

La loi des gaz parfaits peut aussi être exprimée en unité de masse :

$$PV = m.r.T \quad (\text{II.11})$$

Où  $r$  est la constante  $R$  ramenée à un kg de gaz :  $r = R/M$  et  $M$  est la masse molaire du gaz. Pour l'air, la masse molaire est de  $M = 29 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$ , et  $r = 287 \text{ J/kg.K}$ .