

Chapitre III

Définition thermodynamique de la chaleur et du travail

1. Introduction

Dans ce chapitre nous étudierons le travail et la chaleur. Il est essentiel que l'étudiant en thermodynamique comprenne clairement les définitions du travail et de la chaleur, car l'analyse correcte de plusieurs problèmes thermodynamique dépend de la direction (orientation) que l'on fait entre ces deux grandeurs.

2. Définition du travail

Le travail est habituellement défini comme une force agissant sur un déplacement x , ce déplacement étant fait dans la direction de la force c'est-à-dire :

$$W = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{x} \quad \left[\underset{\text{Joule}}{J} \equiv N \cdot m \right]$$

Où :

$\vec{F}$: Le vecteur force

$d\vec{x}$: Le vecteur déplacement

- **La puissance** est la vitesse avec laquelle le travail est effectué, on la désigne par le symbole $\dot{W}$:

$$\dot{W} = \frac{\partial W}{\partial t} \quad \left[\underset{\text{Watts}}{W} \equiv \frac{J}{s} \right]$$

- **Le travail massique** est définie par :

$$w = \frac{W}{m} \quad \left[\frac{J}{kg} \right]$$

Pour évaluer le travail, il faut connaître la force F en fonction de x . Dans cette section, nous montrons des exemples avec des dispositions physiques qui conduisent à des évaluations simples de la force, donc l'intégration est simple, néanmoins certains systèmes réels peuvent être très complexes.

Dans l'exemple **Fig. III.1**, l'énergie électrique est transformée en énergie mécanique, où l'électricité générant un champ magnétique (Batterie, moteur), faisant tourner un arbre solidaire à une poulie, permettant de soulever le poids à travers un fil attaché. Ce système (dispositif) peut fonctionner dans le sens inverse c.-à-d. autant qu'alternateur et accumulateur.

Par l'intermédiaire d'un moteur le passage d'un courant électrique (travail électrique) à travers la frontière d'un système est équivalent à du travail mécanique fait par le déplacement du poids (travail mécanique).

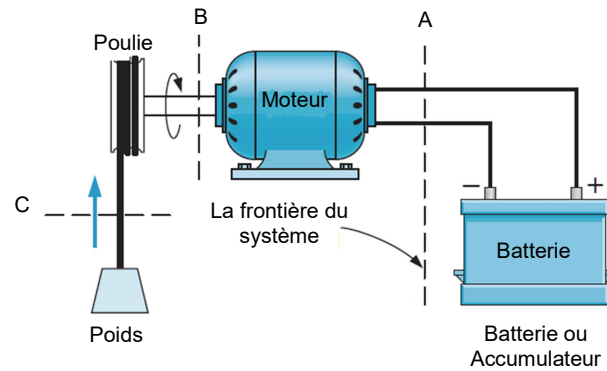


Figure III.1 Exemple du travail traversant la frontière d'un système.

Le travail peut être réalisé lors d'une évolution, due à une combustion d'un mélange de carburant et de comburant engendrant une explosion permettant le déplacement d'un piston (détente). On observe le transfert de l'énergie calorifique à une énergie mécanique.

■ Principes de fonctionnement

■ Cycle à 4 temps allumage commandé

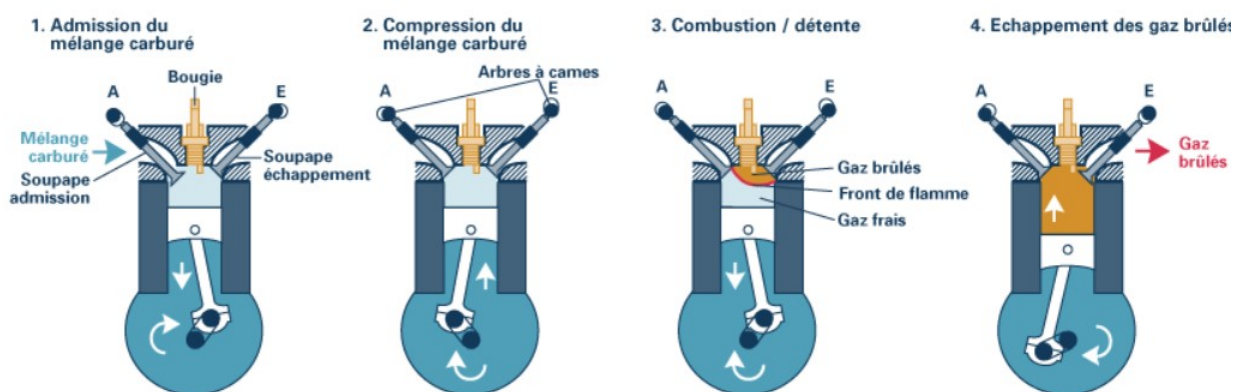


FIGURE 3.2.a Exemple du travail d'un système bielle manivelle.

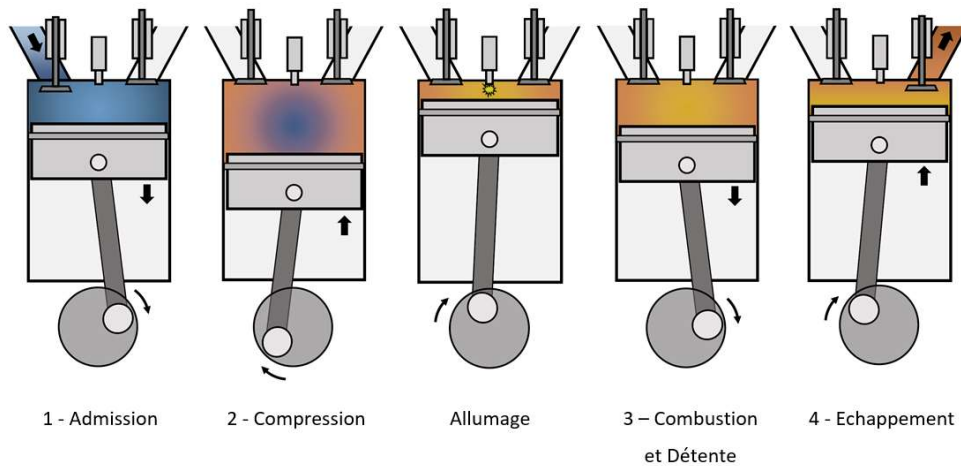
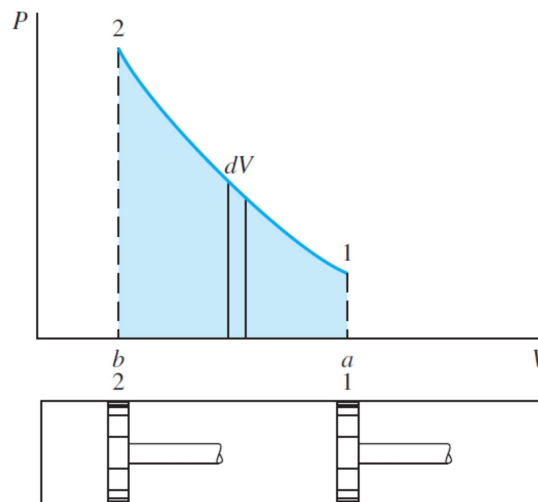


FIGURE 3.2.b Exemple du travail d'un système bielle manivelle.

3. Travail effectué à la frontière mobile d'un système simplement compressible au cours d'une évolution quasi statique

Le travail effectué à la frontière mobile au cours d'une évolution **quasi statique** donner peut-être déterminé en intégrant l'équation. Cependant cette intégration ne peut être effectuée que si nous connaissons la relation entre la pression P et le volume V durant l'évolution. Cette relation de peut s'exprimer sous la forme d'une équation ou peut être donnée graphiquement.

Considérons la détente d'un gaz dans un cylindre de l'état (2) à l'état (1):



L'expression du travail lorsque le système passe d'un **état (1)** à l'**état (2)** entre deux instants t et $t+\Delta t$:

$$\delta W = P \underbrace{A dx}_{dV}$$

P : La pression du gaz.

A : La surface de la section du piston.

dx : Le déplacement selon l'axe x .

$$\delta W = P dV$$

$$dV = A dx \quad \text{La variation du volume.}$$

$$W = \int_1^2 \delta W = \int_1^2 P dV$$

Cette équation valable pour les systèmes fermés, au cours des évolutions quasi-statique

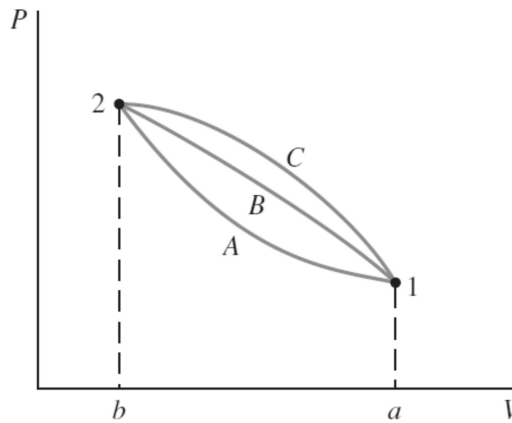
$$P = f(V)$$

W représente l'aire sous la courbe $P = f(V)$

$$W_{A(2 \rightarrow 1)} \neq W_{B(2 \rightarrow 1)} \neq W_{C(2 \rightarrow 1)}$$

Donc :

- le travail **dépend du chemin suivi**,
- le travail **n'est pas une variable d'état** car il dépend du chemin suivi,
- le travail n'est pas une différentielle totale exacte,
- le travail ne peut être déterminé qu'à travers un changement d'état au cours d'une évolution (on ne peut pas dire qu'un système dans un état donné, possède une quantité de travail).



3.1. Convention de signe

- Si un système fournit du travail il sera compté positivement.
- si un système reçoit du travail il sera content négativement.

Ou bien :

- *Le système cède du travail* $\Rightarrow W > 0$
- *Le système reçoit du travail* $\Rightarrow W < 0$

Les paramètres d'état les plus utilisés pour décrire l'état d'un système sont : la température absolue, la pression absolue et le volume spécifique (la densité) du corps.

4. Définition de la chaleur

Le transfert de la chaleur est l'un des modes les plus courants d'échange d'énergie. Il intervient naturellement entre deux systèmes dès qu'il existe entre eux une différence (écart) de températures. Le transfert de la chaleur s'effectue entre deux zones, une chaude vers une autre moins chaude, d'où le gradient de température.

- le transfert de chaleur est uniquement le résultat de la différence de température entre deux systèmes.
- La chaleur **n'est pas une variable d'état** (car elle dépend du chemin suivi).
- la chaleur au cours d'une évolution dépend du chemin suivi.
- d'un point de vue mathématique la chaleur n'est pas une différentielle totale exacte (car elle dépend du chemin suivi).

La quantité de chaleur échangée au cours de l'évolution 1→2 :

$$Q = \int_1^2 \delta Q \quad \left[\underset{\text{Joule}}{J} \right]$$

$$1 \text{ kJ} = 10^3 \text{ J}$$

- la chaleur massique ou la quantité de chaleur par unité de masse :

$$q = \frac{Q}{m} \quad \left[\frac{J}{kg} \right]$$

- La quantité de chaleur échangée par unité de temps (taux de chaleur):

$$\dot{Q} = \frac{\partial Q}{\partial t} \quad \left[\frac{J}{s} \equiv \underset{\text{Watts}}{W} \right]$$

4.1. Convention de signe de la chaleur

- Si la chaleur est reçue par un système est compté positivement
- Si la chaleur cédée par un système est compté négativement

Ou bien :

- **Le système cède de la chaleur $\Rightarrow Q < 0$**
- **Le système reçoit de la chaleur $\Rightarrow Q > 0$**

On retient souvent cette convention en parlant du "*principe de l'égoïsme*" : ce qui est donné est négatif, ce qui est reçu est positif.

Une évolution au cours de laquelle la quantité de chaleur est nulle est dite **adiabatique**.

Par convention, l'énergie échangée (W ou Q) entre le système et le milieu extérieur est :

- *Le système cède de l'énergie* $\Rightarrow W > 0$, $Q < 0$
- *Le système reçoit de l'énergie* $\Rightarrow W < 0$, $Q > 0$

Ou bien :

$$\begin{aligned} \text{Le système cède de l'énergie} &\Rightarrow \begin{cases} W > 0 \\ Q < 0 \end{cases} \\ \text{Le système reçoit de l'énergie} &\Rightarrow \begin{cases} W < 0 \\ Q > 0 \end{cases} \end{aligned}$$

5. Comparaison entre le travail et la chaleur un système d'enceinte n'est pas contient un travail

Un système dans un état ne contient ne travaille ni chaleur :

- Le travail et la chaleur **ne sont pas des variables d'état**, on ne peut pas parler de ces deux formes d'énergie que lorsqu'il y a un changement d'état au cours d'une évolution
- Le travail et la chaleur sont liés aux frontières du système (ils ne peuvent être observés qu'à la frontière du système).
- Le travail et la chaleur dépendent du chemin suivi.
- Le travail et la chaleur ne sont pas des différentielles totales exactes.