

# LP28 : MACHINES THERMIQUES

## Bibliographie

1. Salamito : Physique tout-en-un PCSI Dunod
2. Bocquet : Toute la Thermodynamique, la Mécanique des fluides et les ondes mécaniques

## Introduction pédagogique

**Niveau :** BCPST 1

**Prérequis :**

- Grandeurs d'état : énergie interne, enthalpie, entropie [BCPST 1]
- Travail et transfert thermique [BCPST 1]
- Premier et second principe de la thermodynamique en système fermé. [BCPST 1]
- Aspects thermodynamiques des changements d'état [BCPST 1]

**Place dans la séquence :** A la toute fin de la séquence de la thermodynamique

**Difficulté :** Concepts thermodynamiques : énergie interne, transferts thermiques, entropie.

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Machines thermiques idéales : machine ditherme</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Rendement et efficacité d'une machine ditherme</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Machines thermiques réelles</b>	<b>4</b>

# 1 Machines thermiques idéales : machine ditherme

**Définition :** Une machine thermique est un système thermodynamiques pouvant échanger de la chaleur avec un ou plusieurs thermostats ainsi que du travail avec l'extérieur selon un cycle.

**Application des deux principes de la thermodynamique à une machine thermique :**

Sur un cycle de fonctionnement :

- $\Delta U = W + \sum_i Q_i = 0$
- $\Delta S = S_c + \sum_i \frac{Q_i}{T_i} = 0$

Par définition les travaux et les transferts thermiques sont comptés positivement quand l'énergie est apporté à la machine.

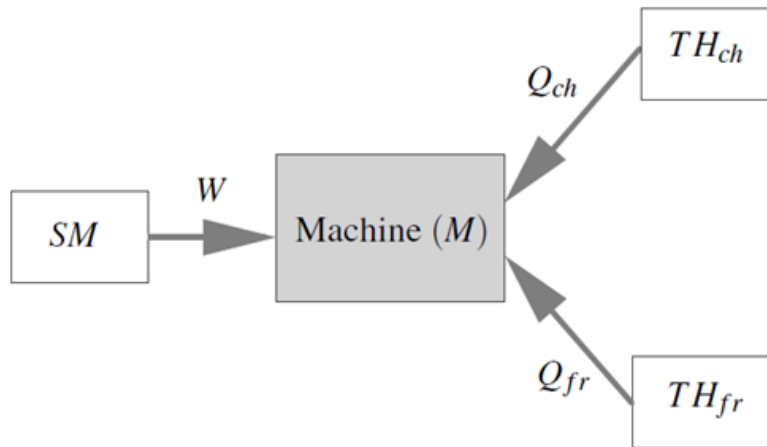


FIGURE 1 – Caption

Machine ditherme : machine thermique composée de plusieurs éléments :

1. Le système mécanique  $SM$  qui apporte (où reçoit) du travail
2. La source chaude : thermostat de température  $T_{ch}$
3. La source froide : thermostat de température  $T_{fr}$

On applique les deux principes de la thermo :

$$\begin{cases} \Delta U = W + Q_{ch} + Q_{fr} \\ \Delta S = \frac{Q_{ch}}{T_{ch}} + \frac{Q_{fr}}{T_{fr}} + S_{créée} \end{cases} \quad (1)$$

Comme d'après le second principe  $S_{créée} \geq 0$  on a l'inégalité de Clausius :

$$\frac{Q_{ch}}{T_{ch}} + \frac{Q_{fr}}{T_{fr}} \leq 0$$

**Remarque :** l'égalité est atteinte si et seulement si le cycle est réversible

Deux possibilités :

- La machine fournit du travail ( $W > 0$ ) : c'est un moteur  $\rightarrow$  reçoit du transfert thermique de la source chaude
- La machine fournit du transfert thermique à la source chaude ( $Q_{ch} < 0$ ) et en absorbe à la source froide ( $Q_{fr} > 0$ ) et reçoit du travail : c'est un frigo (si le but

et de refroidir la source froide) ou une pompe à chaleur si on cherche à chauffer la source chaude

## 2 Rendement et efficacité d'une machine ditherme

### 2.1 Rendement d'un moteur

Le rendement d'un moteur est défini par :

$$\rho = \left| \frac{\text{énergie Utile}}{\text{énergie consommée}} \right| \quad (2)$$

$$\rho = \left| \frac{W}{Q_c} \right| = -\frac{W}{Q_{ch}} \quad (3)$$

$$\rho = 1 + \frac{Q_{fr}}{Q_{ch}} \quad (4)$$

Si on écrit le second principe de la thermo :

$$\frac{Q_{ch}}{T_{ch}} + \frac{Q_{fr}}{T_{fr}} + S_c = 0 \quad (5)$$

$$\frac{T_{fr}}{T_{ch}} + \frac{Q_{fr}}{Q_{ch}} + \frac{T_{fr}}{Q_{ch}} S_c = 0 \quad (6)$$

Donc :

$$\rho = 1 - \frac{T_{fr}}{T_{ch}} - \frac{T_{fr}}{Q_{ch}} S_c \quad (7)$$

$$\rho \leq 1 - \frac{T_{fr}}{T_{ch}} \quad (8)$$

L'égalité est atteinte pour un cycle réversible ou cycle de Carnot : on parle alors de rendement de Carnot.

### 2.2 Efficacité d'une pompe à chaleur ou d'un frigo

**Machine frigorifique** : l'efficacité est définie par :

$$\eta = \left| \frac{Q_{fr}}{W} \right| = \frac{Q_{fr}}{W} \quad (9)$$

En appliquant le second principe on obtient :

$$\eta \leq \frac{T_{fr}}{T_{ch} - T_{fr}} \quad (10)$$

Avec égalité pour un cycle réversible.

**Pompe à chaleur** : l'efficacité est définie par :

$$\eta = \left| \frac{Q_{ch}}{W} \right| = -\frac{Q_{ch}}{W} \quad (11)$$

En appliquant le second principe on obtient :

$$\eta \leq \frac{T_{ch}}{T_{ch} - T_{fr}} \quad (12)$$

Avec égalité pour un cycle réversible.

### 2.3 Machine thermique idéale

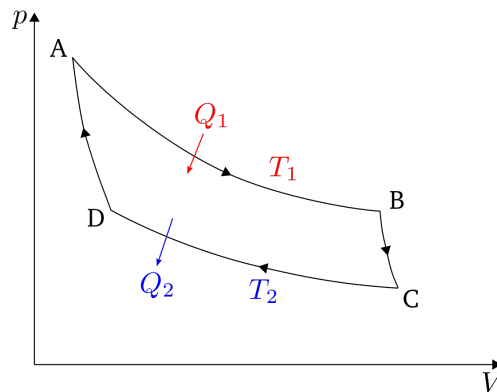


FIGURE 2 – Cycle idéal de Carnot

Le cycle de Carnot est composé de 4 étapes :

1. **C** → **D** : compression isotherme réversible
2. **D** → **A** : compression adiabatique réversible
3. **A** → **B** : détente isotherme réversible
4. **B** → **C** : détente adiabatique réversible

L'inégalité de Clausius devient une égalité :  $\frac{Q_f}{T_f} + \frac{Q_c}{T_c} = 0$

On peut regarder l'efficacité de cette machine.

$$\rho = 1 + \frac{Q_{fr}}{Q_{ch}}$$

$$\rho = 1 - \frac{T_{ch}}{T_{fr}} \text{ car l'inégalité de Carnot est ici une égalité}$$

De même on peut s'intéresser aux efficacité de cette machine en tant que pompe à chaleur ou machine frigorifique et on a :

### 3 Machines thermiques réelles

Pour les frigo ou les pompes à chaleur on dit efficacité et pas rendement car l'efficacité elle peut tendre vers l'infini alors que pour un rendement ça serait chelou

## Remarques/Questions

Intro pédagogique trop rapide

Attention à la gestion du tableau.

Calculs fait trop rapidement : peut-être aurait-il fallu plus détailler vos calculs.

Attention aux calculs d'efficacité pour le cycle de Carnot : pas de °C il faut le faire en Kelvin !

Tracé de l'efficacité sur le graphe  $T = f(t)$

L'efficacité dépend du temps ? C'est pas étrange ?

Vous vaez parlé des machines thermiques en général avec vos conventions de signe. Extérieur c'est ce qui n'est pas dans le système c'est différent du système mécanique qui échange du travail avec les sources. Au lieu de  $T_c$  et  $T_f$  on peut écrire source chaude ( $T_c$ ) et source froide ( $T_f$ ).

Vous avez fait le choix de parler direct des dithermes ? Pourquoi c'est intéressant ? Monotherme ca ne peut être qu'un radiateur.

Peut-on imaginer des machine avec plusieurs sources ? Oui on peut mais plus difficile.

Tu as dit "la machine revient à son état initial" peux tu préciser ? Le fluide caloporteur réalise un trajet et revient dans son état initial à chaque fois qu'il repasse par ce point. Peut-être passer plus de temps sur la définition de la machine et sur le fait que le système soit bien fermé !

Travail positif, négatif... qu'est-ce que ca représente exactement ?

Au contact source chaude et froide. Pourquoi on utilise des changements d'états ?

Comment est-ce que vous définiriez le rendement ? Energie qui sort sur énergie qui rentre. On peut pas sortir plus que ce qui entre.

On a forcément des cycles avec des systèmes fermés ? Non réacteur ouvert avec un fluide qui passe. Premier principe industriel

Efficacité pour une PAC domicile élevée. Il vaut mieux avoir des températures élevées ou proche ? PAC + chaudière pour aider la PAC que  $T_f$  (extérieur) diminue.  $T_c$  ici ca serait la température de l'eau qui va passer dans les radiateurs et chauffer la maison.

Passer plus de temps sur le cycle PV

Apporter de l'énergie par convection ca vous dit qqchse ? Expérience de Joule transformer de l'énergie mécanique en énergie thermique. Utiliser des grandes pales pour chauffer un peu l'eau.

Peux tu dessiner le cycle de Carnot pour un GP ? TS et PV

**TS** : Isentropique : forcément réversible ?? Il faut qu'elle soit adiabatique en plus. Il faut relier les deux isentropique par d'autres transfo réversibles : isothermes

**PV** : isentropique : PV puissance gamma = cste et les isothermes : PV = cste. Le côté réversible est jamais totalement vrai. On a pas qqchse de quasistatique. Pour apporter bcp d'énergie faut aller assez vite. Si c'est trop lent on aura une puissance quasi nulle...