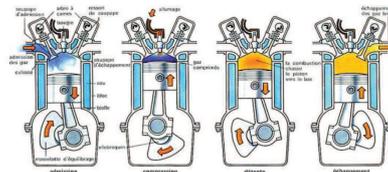


Machines Thermiques

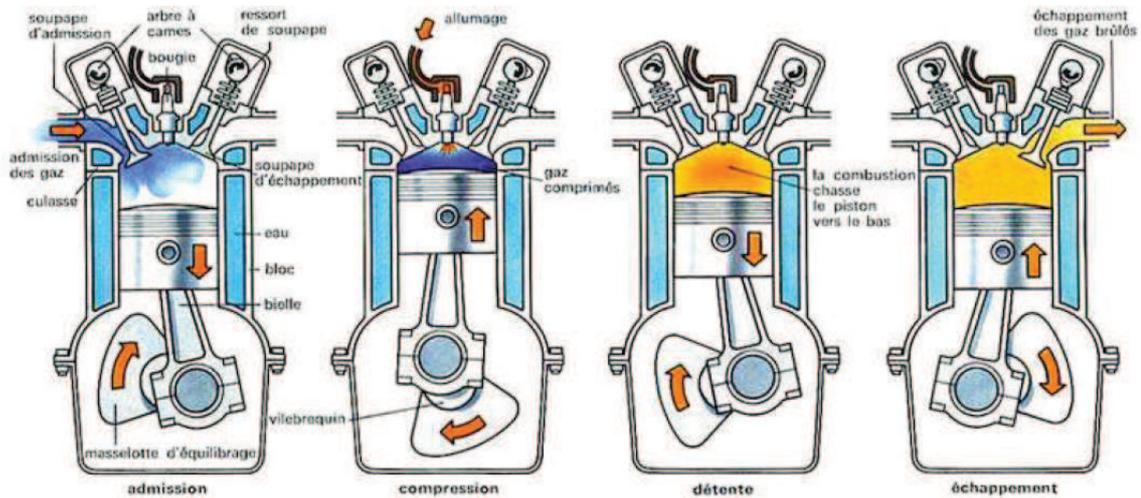


		1
1	Définitions	1
2	Inégalité de Clausius-Carnot	2
3	Machine monotherme	2
3.1	Définitions	2
3.2	Conséquences des 2 principes	2
4	Machines dithermes	3
4.1	Principe du moteur ditherme	3
4.2	Conséquences des 2 principes	3
4.3	Théorème de Carnot	5
4.4	Cycle de Carnot - gaz parfait	5
4.5	Cycle de Carnot - pour un système diphasé	7
4.6	Diagramme de Raveau	8
5	Les différents types de Machine ditherme	9
5.1	Machines frigorifiques	9
5.2	Moteur à explosion à 4 temps - Cycle Beau de Rochas	12
6	Tableau récapitulatif	14

Le but d'un moteur thermique est de transformer la chaleur produite par la combustion de bois, de charbon ou d'hydrocarbure en un travail mécanique. Pour récupérer le travail il faut envisager la détente d'un gaz dans un cylindre fermé par un piston mobile.

De plus, pour que le moteur thermique puisse fonctionner pendant un temps important, il est nécessaire que le mouvement du piston soit cyclique, c'est à dire que la phase de détente soit suivie par une phase de refoulement du gaz hors du cylindre.

Le travail de la force pressante exercée par le gaz sur le piston est récupéré par un système mécanique composé de bielles transformant en général le mouvement de translation du piston en un mouvement de rotation de l'arbre moteur.



1. Définitions

- Une **transformation cyclique** est une suite de transformations partant d'un état initial pour finir à ce même état initial.
- Une **machine** est un système qui permet de réaliser une conversion d'énergie.
- Une **machine thermique** est un dispositif dans lequel un fluide qualifié « d'agent thermique » subit une transformation cyclique, ce qui permet une conversion continue d'énergie.
- Une **source de chaleur (ou thermostat)** à la température T_{ext} est un système capable de céder ou d'absorber de la chaleur sans que sa température T_{ext} varie. Un système en équilibre avec une source de chaleur a donc pour température $T = T_{ext} = Cte$.
- Une **source mécanique** est un système qui est capable de fournir du travail W en l'absence de tout échange thermique.

Définition

- Une machine thermique qui transforme un transfert thermique en travail est un **moteur thermique** : $W < 0$. Il s'agit alors d'un moteur ditherme.
- Une machine thermique qui permet de réaliser un transfert thermique d'un corps froid vers un corps chaud est une **machine frigorifique ou une pompe à chaleur** : $W > 0$

2. Inégalité de Clausius-Carnot

Le système est mis en contact avec n sources successives, chacune cédant la chaleur Q_i à la température T_{Si} . En tenant compte des n transformations successives :

$$\Delta S_{\Sigma} \geq \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{T_{Si}}$$

En particulier, si le système décrit un cycle, c'est à dire qu'après avoir été mis en contact avec les n sources il revient à son état initial,

$$\Delta S_{\Sigma} = 0$$

Inégalité de Clausius-Carnot

Inégalité de Clausius-Carnot pour un cycle

$$\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{T_{Si}} \leq 0$$

3. Machine monotherme

3.1. Définitions

Un système n'échangeant de la chaleur qu'avec une seule source (de température constante) est le siège d'une transformation monotherme.

Cycle monotherme : cycle au cours duquel le système reçoit de la chaleur d'une seule source.

3.2. Conséquences des 2 principes

On considère un fluide subissant une transformation monotherme cyclique.

- Système : le fluide (Σ).
- Energie reçue : le transfert thermique Q de la part de la source à la température T_S .

1^{er} principe appliqué au fluide au cours d'un cycle :

.....

.....

2^e principe appliqué au fluide :

.....

.....

.....

.....

Conclusion

Le système reçoit de l'énergie mécanique et cède de la chaleur à l'extérieur.

Énoncé de Lord Kelvin

Un système qui subit une transformation cyclique monotheurme reçoit nécessairement du travail et fournit nécessairement de la chaleur.

$$W \geq 0 \quad \text{et} \quad Q \leq 0$$

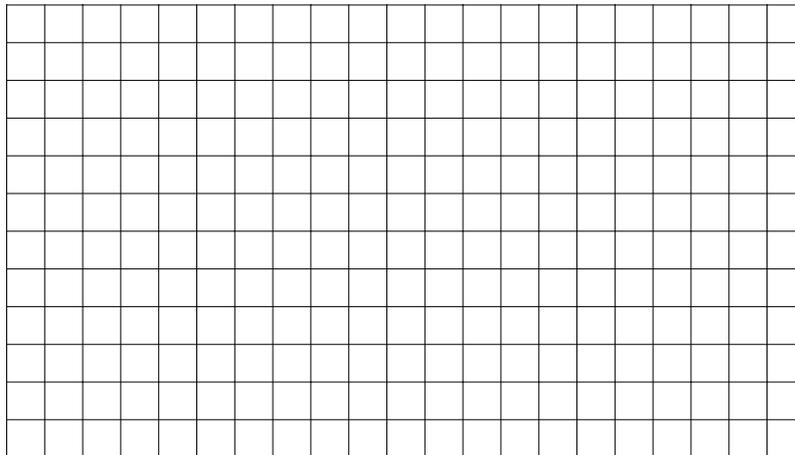
En résumé, il est impossible de trouver un moteur fonctionnant de manière cyclique qui produise du travail à partir d'une seule source de chaleur.

⇒ Un bateau muni d'un tel moteur s'il existait avancerait en puisant de l'énergie dans la mer et en laissant un sillage de glace derrière lui.

4. Machines dithermes

4.1. Principe du moteur ditherme

- D'un point de vue industriel, il est intéressant de connaître les lois qui régissent la conversion de la chaleur (provenant de combustion) en énergie mécanique directement utilisable.
- **Cycle ditherme** : le système thermodynamique subit une transformation cyclique au cours de laquelle il est mis en contact successivement avec deux sources.
- **Schéma**



4.2. Conséquences des 2 principes

- Système : le fluide (Σ) subissant une transformation cyclique ditherme.
- Σ reçoit :
 - le transfert thermique Q_C de la part de la source chaude à la température T_C .
 - le transfert thermique Q_F de la part de la source froide à la température T_F .
 - le travail W .

▪ **Hypothèse** : Cycle moteur : $W < 0$

◇ **1^{er} principe appliqué au fluide au cours d'un cycle :**

.....

.....

.....

◇ **2^e principe appliqué au fluide :**

.....

.....

.....

◇ **Signe de Q_C :**

.....

.....

.....

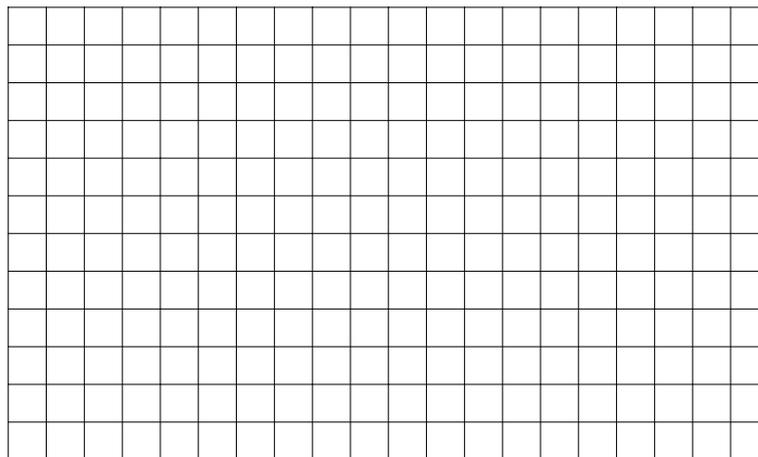
◇ **Signe de Q_F :**

.....

.....

.....

◇ **Schéma :**



Énoncé de Carnot

Pour qu'un système décrivant un cycle fournisse du travail, il doit nécessairement échanger de la chaleur avec au moins deux sources ayant des températures différentes.

Le plus simple des moteurs thermiques utilise deux sources de chaleur.

Area with horizontal dotted lines for writing.

4.6. Diagramme de Raveau

Le fluide parcourt un cycle ditherme. Il reçoit :

- ◇ Q_C de la part de la source chaude à la température T_C .
- ◇ Q_F de la part de la source froide à la température T_F .

Dans le diagramme de Raveau, on représente Q_C en fonction de Q_F . Un point du diagramme est caractéristique du cycle décrit par la machine.

Les deux premiers principes doivent être vérifiés :

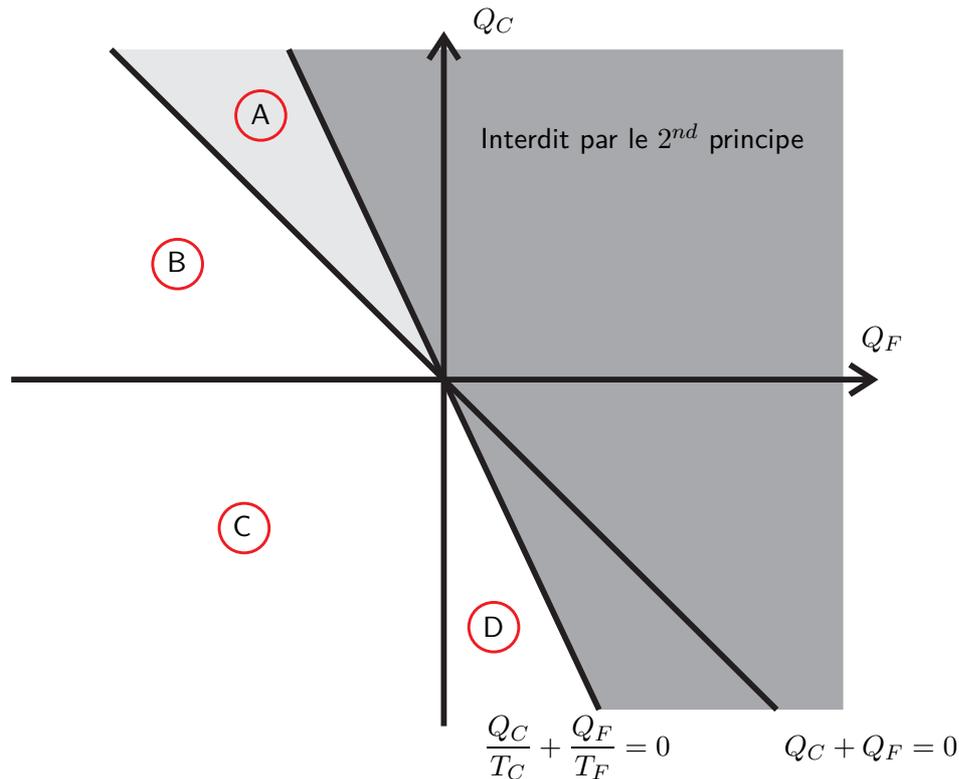
→ Premier principe : $0 = W + Q_C + Q_F$, et fonctionnement moteur : $W < 0$

→ Second Principe : $\frac{Q_C}{T_C} + \frac{Q_F}{T_F} \leq 0$.

Le demi-plan situé au-dessus de la droite d'équation $\frac{Q_C}{T_C} + \frac{Q_F}{T_F} = 0$ de pente $-\frac{T_C}{T_F} \leq -1$ est une zone interdite pas le second principe.

Un cycle moteur $W < 0$ vérifie d'après le premier principe $Q_F + Q_C > 0$: zone au-dessus de la droite de pente -1 .

Il suffit de connaître Q_F et Q_C pour calculer W par le premier principe : $W = -Q_C + Q_F$.



- ▷ Zone A : Fonctionnement moteur : $W < 0$. Lecture du diagramme : $Q_C > 0$ et $Q_F < 0$.
- ▷ Zone D : $W > 0$, $Q_C < 0$ et $Q_F > 0$: machine frigorifique. Le système fournit plus de chaleur à la source chaude qu'il n'en prélève à la source froide.
- ▷ Zone B et Zone C : sans intérêt pratique : la source froide reçoit de la chaleur en partie prélevée à la source chaude.

5. Les différents types de Machine ditherme

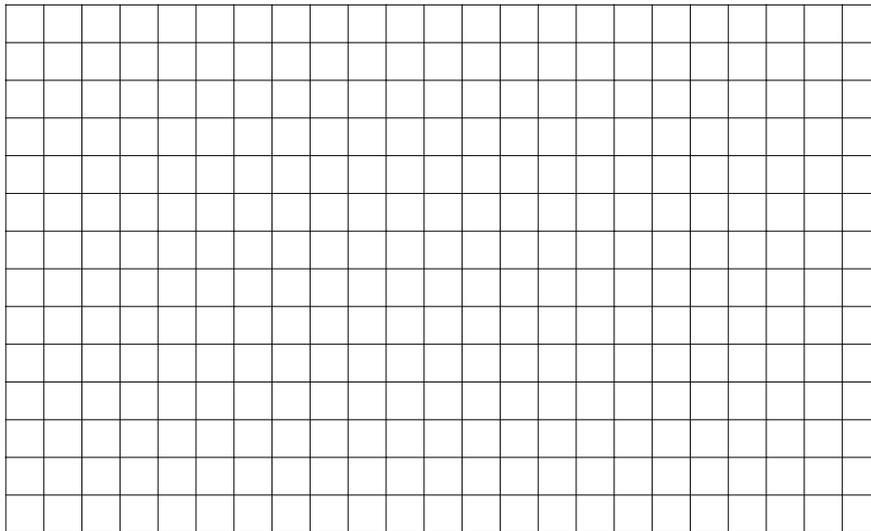
5.1. Machines frigorifiques

5.1.1. Exemple du réfrigérateur ou climatiseur

On s'intéresse à la chaleur retirée à la source froide $Q_F > 0$.

- Source froide : intérieur du réfrigérateur.
- Source chaude : la pièce.

- ◇ **Principe** : un fluide frigorifique (Fréon CF_2Cl_2 , NH_3 , ou autre) est initialement à l'état gazeux. Il est comprimé grâce au compresseur (C) et refoulé dans le condenseur où il se liquéfie (dégagement de chaleur à la source chaude). Le liquide est ensuite introduit dans le détendeur D puis dans l'évaporateur où il se vaporise (phénomène qui absorbe de la chaleur).



Définition

Coefficient d'efficacité :

Comme pour toute machine commerciale, on ne parle pas de rendement mais de coefficient d'efficacité :

$$e = \frac{\text{gain}}{\text{dépense}} = \frac{\text{ce que l'on obtient}}{\text{dépense}}$$

Remarque : alors que le rendement est toujours inférieur à 1, le coefficient d'efficacité est juste positif.

- ▷ Système : le fluide (Σ) subissant une transformation cyclique ditherme.
- ▷ Σ reçoit :
 - le transfert thermique Q_C de la part de la source chaude à la température T_C .
 - le transfert thermique Q_F de la part de la source froide à la température T_F .
 - le travail W .
- ▷ Transformation : cycle ditherme.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

L'efficacité maximale est appelée efficacité de Carnot, elle est obtenue dans le cas des machines réversibles :

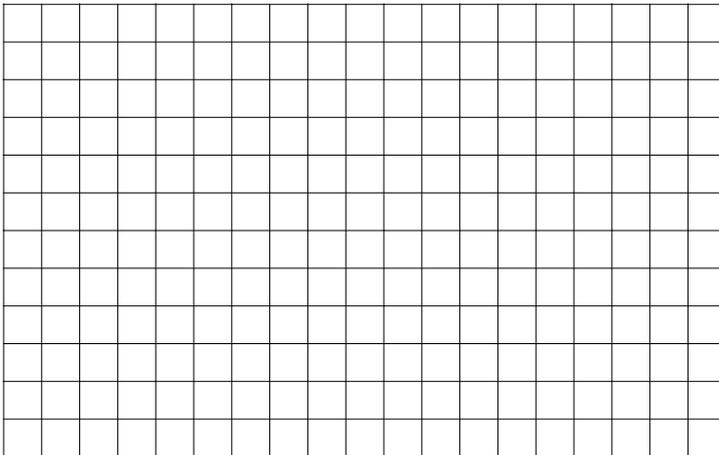
$$e_c = \frac{T_F}{T_C - T_F}$$

L'efficacité est d'autant plus grande que la différence de température est faible.

5.1.2. Cas de la pompe à chaleur

On s'intéresse à la chaleur rejetée à la source chaude $Q_C < 0$.

- Source froide : extérieur de la pièce.
- Source chaude : la pièce.



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Les calculs sont analogues à ceux menés dans le cas du réfrigérateur. On obtient un coefficient d'efficacité :

$$e \leq \frac{T_C}{T_C - T_F}$$

L'efficacité maximale est appelée efficacité de Carnot, elle est obtenue dans le cas des machines réversibles :

$$e_c = \frac{T_C}{T_C - T_F}$$

6. Tableau récapitulatif

	Moteur ditherme	Réfrigérateur	Pompe à chaleur
W			
Q_C			
Q_F			
Grandeur valorisable			
Coût			
Efficacité ou Rendement			