

Chapitre 5

Machines Thermiques Dithermes

Rappel

- Enoncé du 2nd principe par Thomson :
 - Un système en contact avec un seul thermostat ne peut, au cours d'un cycle, fournir du travail
 - Dit autrement, un tel système monotherme ne peut que recevoir du travail et céder de la chaleur
 - On se focalisera donc sur des **cycles dithermes** !

Définitions

- Une **machine thermique** est un dispositif dans lequel un fluide décrit un cycle de transformations
- Une machine thermique **ditherme** échange de l'énergie avec deux sources de chaleur à des températures différentes :
 - T_c : **source chaude** (échange Q_c)
 - $T_f < T_c$: **source froide** (échange Q_f)

Attention : Q algébriques !

Inégalité de Clausius

- Pour un cycle ditherme :

$$\Delta U = W + Q_c + Q_f = 0$$

$$\Delta S = S_e + S_c = 0$$

$$S_e = \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} \quad S_c \geq 0$$

$$\frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} \leq 0$$

Égalité si cycle réversible

Classification

- Un **moteur thermique** :
 - Cède du travail ($W < 0$)
 - Reçoit de la chaleur ($Q_c + Q_f > 0$)
- Une **pompe à chaleur** (y compris réfrigérateur)
 - Reçoit du travail ($W > 0$)
 - Cède de la chaleur ($Q_c + Q_f < 0$)

Toujours pour un cycle...

On a toujours Q_c et Q_f de signes opposés

Efficacité

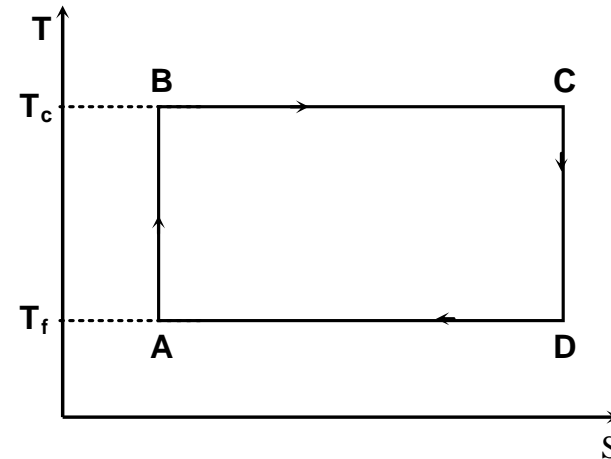
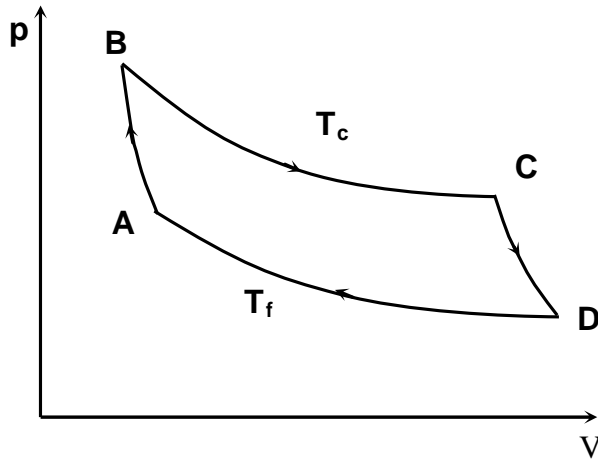
- L'efficacité d'une machine thermique est le rapport (en valeur absolue) :
 - Du transfert d'énergie utile
 - Sur transfert d'énergie dépensé

$$e = \left| \frac{\text{Utile}}{\text{Dépense}} \right| > 0$$

La définition dépend donc de la nature de la machine

Cycle de Carnot

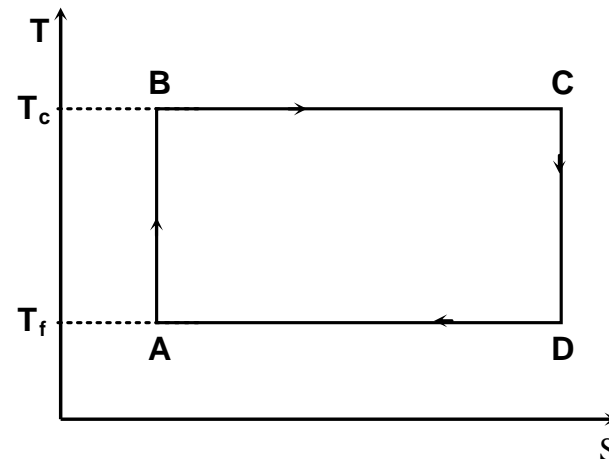
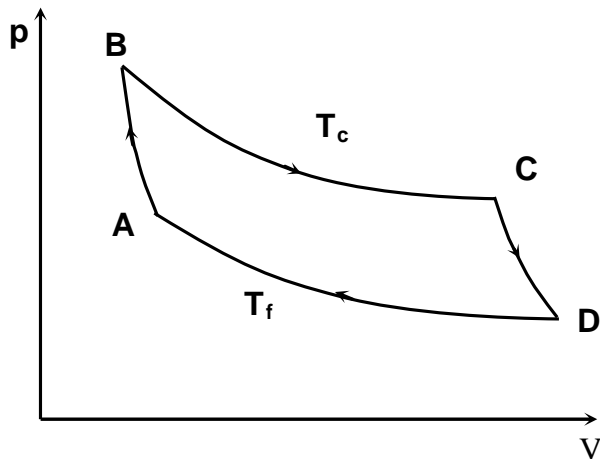
- C'est un cycle **réversible** qui comporte :
 - Deux isothermes (T_f et T_c) :
 - Deux adiabatiques (isentropes donc) :



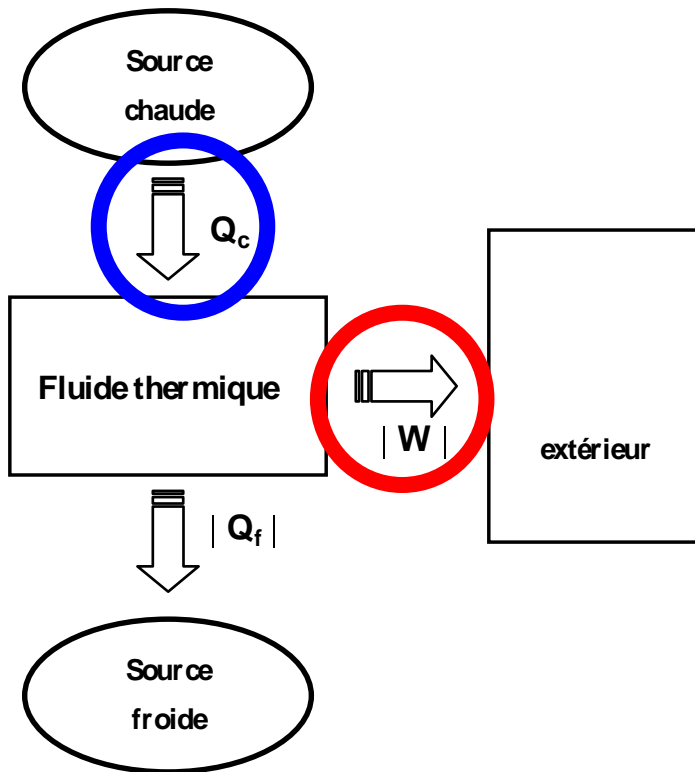
C'est le cycle de référence qui admet l'efficacité maximale

Cycle de Carnot

- C'est également un cycle **renversible** car on peut le parcourir dans les deux sens :
 - Sens trigo \rightarrow cycle récepteur/résistant ($W > 0$)
 - Sens anti-trigo \rightarrow cycle moteur ($W < 0$)



Moteur thermique ditherme



$$e = \frac{-W}{Q_c}$$

$$e = 1 + \frac{Q_f}{Q_c} \leq 1$$

$$e \leq 1 - \frac{T_f}{T_c}$$

Efficacité de Carnot

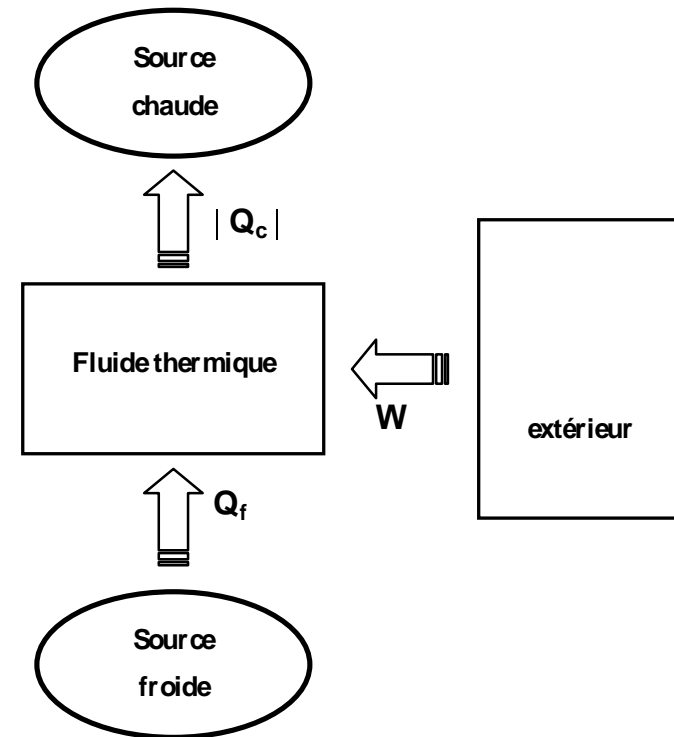
- L'efficacité d'un moteur thermique est maximale lorsque le cycle est décrit de façon réversible.
- L'efficacité maximale, appelée **efficacité de Carnot** ne dépend que des températures T_c et T_f des thermostats

$$e_c = 1 - \frac{T_f}{T_c}$$

Pompe à chaleur ou Réfrigérateur

- Ce sont des machines dithermes qui :

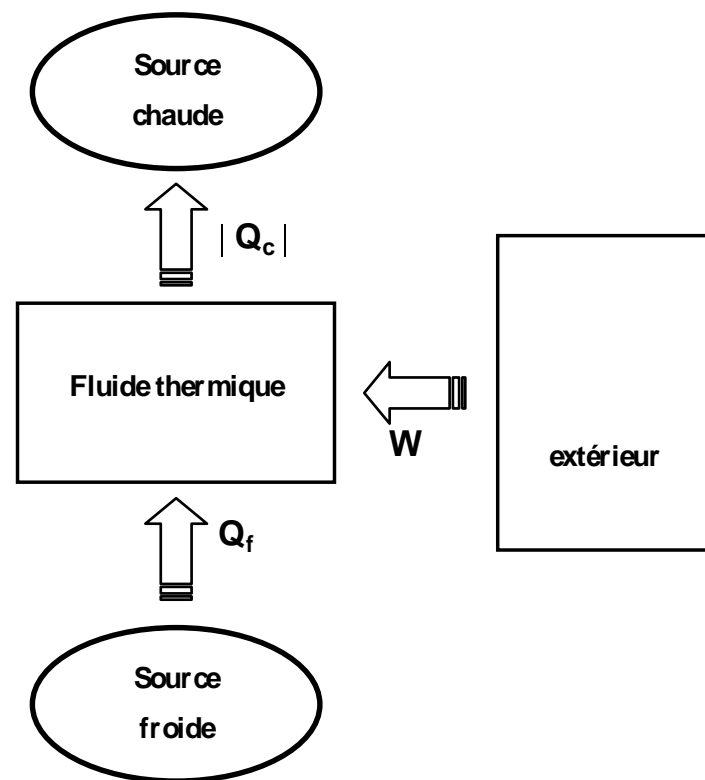
- Reçoivent du travail ($W > 0$)
- Cède de la chaleur à la source chaude ($Q_c < 0$)
- Reçoivent de la chaleur de la source froide ($Q_f > 0$)



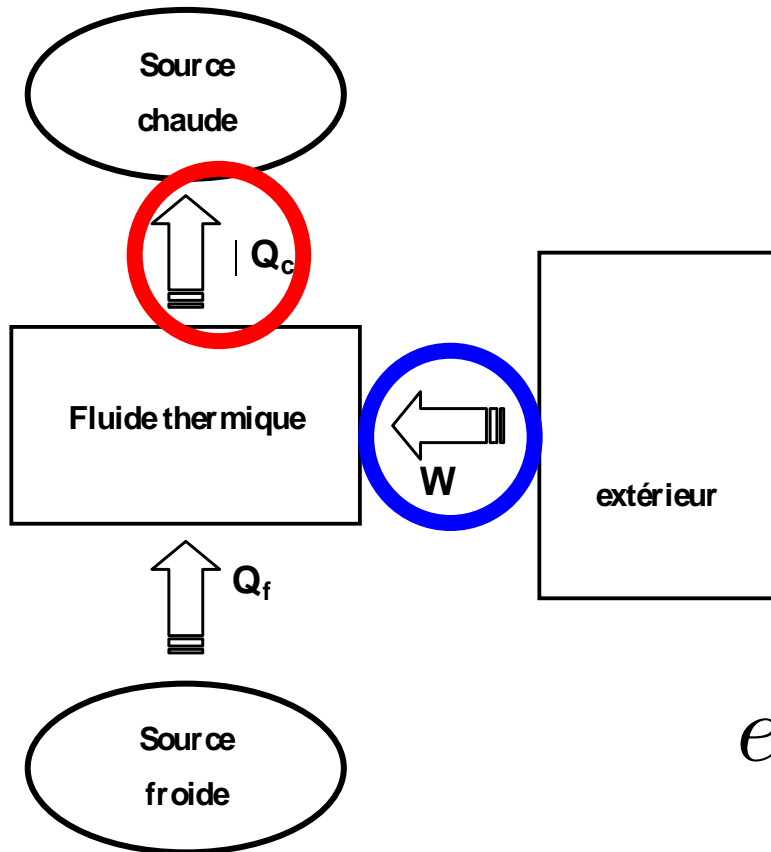
Pompe à chaleur ou Réfrigérateur

- La seule différence entre une pompe à chaleur et un réfrigérateur est l'échange de chaleur utile :

- Pour une PAC, on cherche à transférer de l'énergie-chaleur vers la source chaude donc Q_c est la grandeur utile
- Pour le réfrigérateur, on cherche à extraire de l'énergie-chaleur de la source froide donc Q_f est la grandeur pertinente



Efficacité d'une Pompe à chaleur

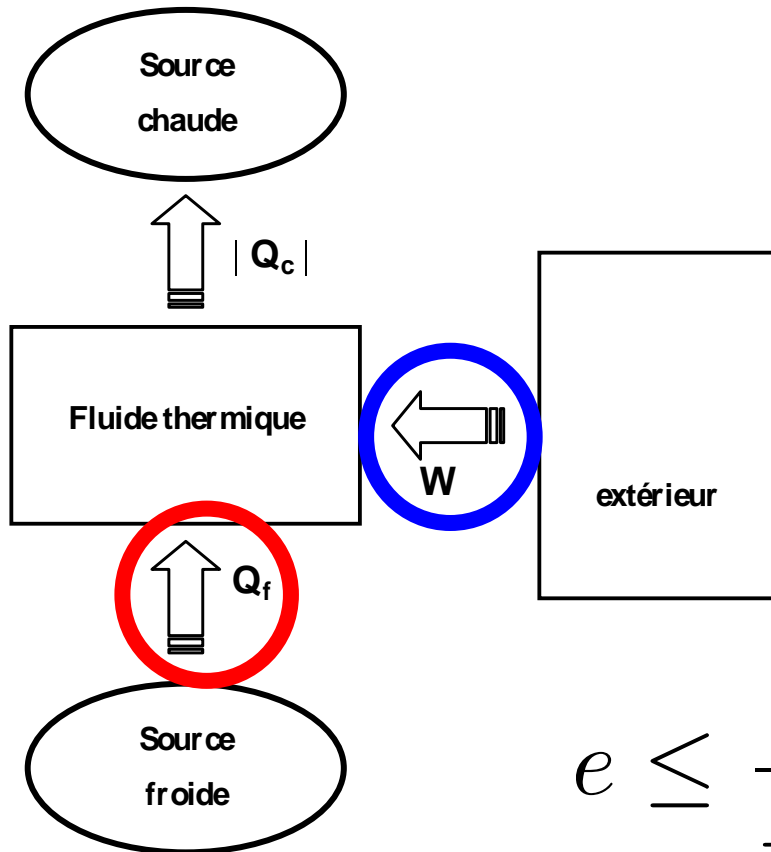


$$e = \frac{-Q_c}{W}$$

$$e = \frac{-Q_c}{-Q_f - Q_c}$$

$$e \leq \frac{1}{1 - \frac{T_f}{T_c}} = \frac{T_c}{T_c - T_f}$$

Efficacité d'un réfrigérateur



$$e = \frac{Q_f}{W}$$

$$e = \frac{Q_f}{-Q_f - Q_c}$$

$$e \leq \frac{1}{-1 + \frac{T_c}{T_f}} = \frac{T_f}{T_c - T_f}$$

Récapitulatif

Machine thermique	W	Q_c	Q_f	Efficacité	Efficacité de Carnot
Moteur	< 0	> 0	< 0	$e = -\frac{W}{Q_c}$	$e_C = 1 - \frac{T_f}{T_c}$
Réfrigérateur	> 0	< 0	> 0	$e = \frac{Q_f}{W}$	$e_C = \frac{T_f}{T_c - T_f}$
Pompe à chaleur	> 0	< 0	> 0	$e = -\frac{Q_c}{W}$	$e_C = \frac{T_c}{T_c - T_f}$