Machines thermiques

Historiquement, les premières machines sont à vapeur.

I Définitions

1 Source = thermostat

Syst de grande $\begin{cases} \text{taille} \\ \text{cap. thermique} \end{cases}$ tel que

$T = \text{const}$

Il évolue de manière réversible.

$$\Delta S_{\text{thermostat}} = \cancel{S_c} + S_e = \frac{Q_{th}}{T_{th}}$$

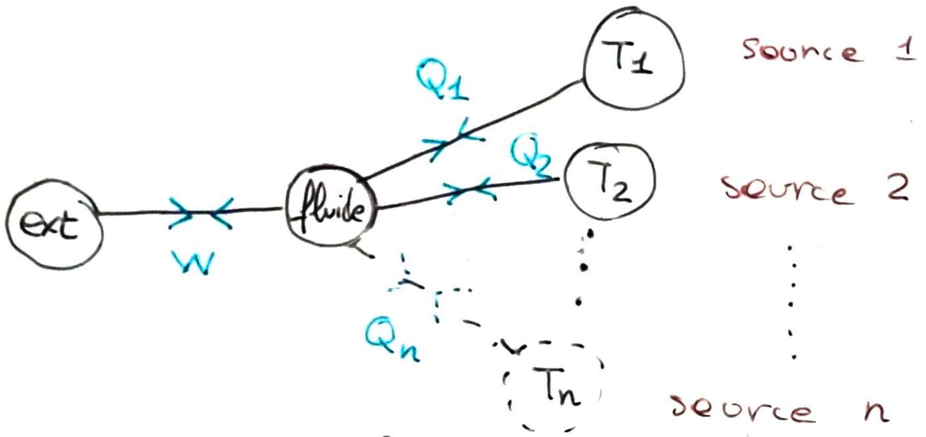
$$\boxed{\Delta S_{th} = \frac{Q_{th}}{T_{th}}}$$

2 Machines thermiques

permet la conversion d'énergie thermique en énergie mécanique et inversement

Au sein d'une machine thermique, le syst est un fluide (locomotive : de l'eau, voiture : mélange air-essence
: fluide frigorigène)

qui subit un cycle de transformation tel que



$\begin{cases} W > 0 \Rightarrow \text{récep.} \\ W < 0 \Rightarrow \text{moteur} \end{cases}$

W, Q_i : énergies (transférées $\Rightarrow$ algébriques)

3 Bilan d'énergie, d'entropie

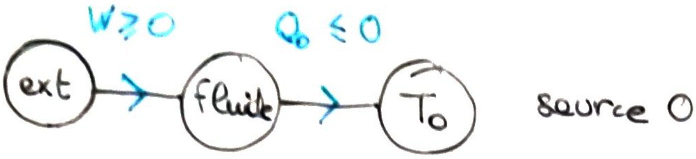
$$\Delta U = \boxed{0 = W + Q_1 + \dots + Q_n}$$

$$\begin{cases} \Delta S = 0 = S_e + S_c = \dfrac{Q_1}{T_1} + \dots + \dfrac{Q_n}{T_n} + S_c \\ \text{or } S_c \geq 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{Q_1}{T_1} + \dots + \frac{Q_n}{T_n} \leq 0}$$

Inégalité de Clausius (ancien énoncé du 2^{e} principe)

4 Machine $\underbrace{\text{monotherme}}_{\text{une seule source}}$



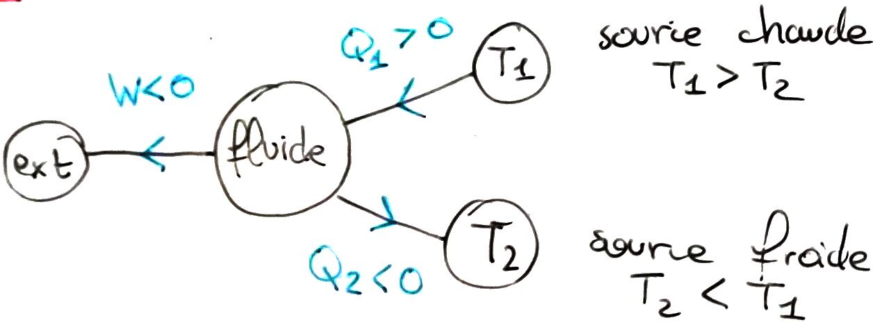
$$\begin{cases} \Delta U = W + Q_0 = 0 \\ \dfrac{Q_0}{T_0} \leqslant 0 \end{cases}$$

$$Q_0 \leqslant 0 \Rightarrow W \geqslant 0$$

Une machine monotherme ne peut être qu'un récepteur (et non pas un moteur)

ex le radiateur électrique. rendement : 100 %
(effet Joule, la $-\boxed{R}-$ "perds" tout)

II Moteur ditherme



Grâce au transfert thermique Q_1 reçu par le fluide de la source chaude, le fluide fourni une énergie mécanique W et un transfert thermique Q_2 vers la source froide.

le moteur sera d'autant plus rentable que

$$\begin{cases} W & \text{grand} \\ Q_1 & \text{petit} \end{cases}$$

ie $$\boxed{r := \left|\frac{W}{Q_1}\right| = -\frac{W}{Q_1}}$$

or

$$\begin{cases} W + Q_1 + Q_2 = 0 \\ \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0 \Rightarrow \frac{Q_2}{T_2} \leq -\frac{Q_1}{T_1} \Rightarrow \frac{Q_2}{Q_1} \leq -\frac{T_2}{T_1} \end{cases}$$

$$r = \left|\frac{W}{Q_1}\right| = -\frac{-(Q_1+Q_2)}{Q_1} = 1 + \frac{Q_2}{Q_1}$$
$$\leq 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

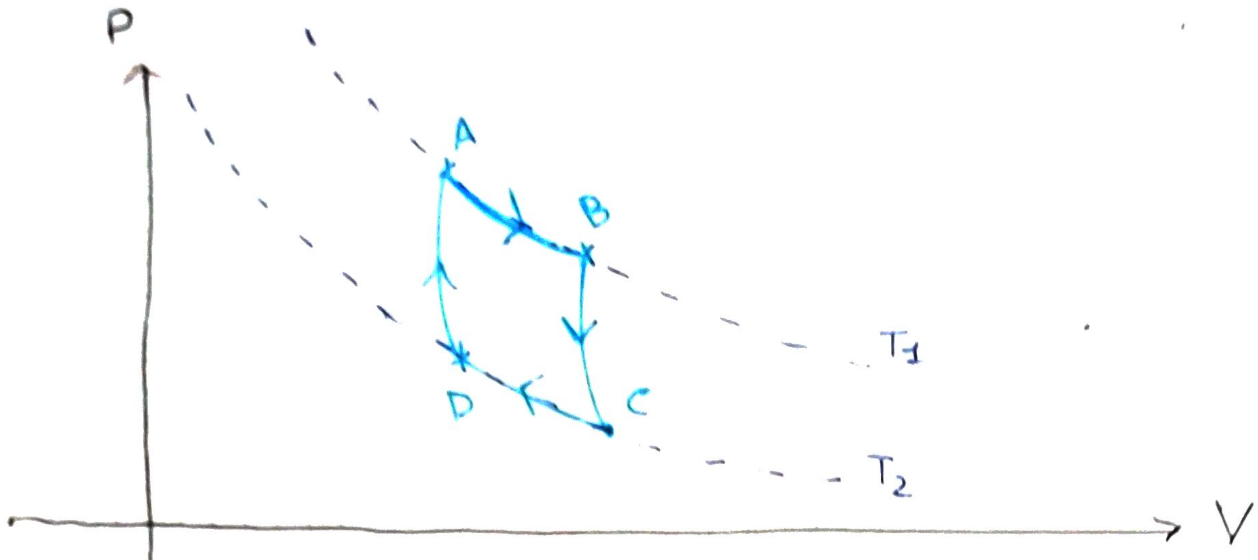
thm de Carnot

$$\boxed{r \leq \overbrace{r_c}^{\text{rdt. de Carnot}} = 1 - \frac{T_2}{T_1}}$$

2 Cycle idéal de Carnot

Il est constitué de 2 adiabatiques réversibles et de 2 isothermes (T_1, T_2).

le fluide est un GP



cycle moteur (sens horaire)

$$\underset{A\to B}{Q} = -\underset{A\to B}{W} = -\int -P_{ext}\, dV = +nRT_1 \ln\frac{V_B}{V_A} > 0$$

le fluide reçoit de la chaleur de source chaude

$$\underset{B\to C}{Q} = 0$$

$$\underset{C\to D}{Q} = -\underset{C\to D}{W} = +nRT_2 \ln\frac{V_D}{V_C} < 0$$

le fluide cède à la source froide

$$\underset{D\to A}{Q} = 0$$

$$r = -\frac{W}{Q_1} = 1 + \frac{Q_2}{Q_1} = 1 + \frac{T_2 \ln\frac{V_D}{V_C}}{T_1 \ln\frac{V_B}{V_C}}$$

$B \to C$ et $D \to A$ sont Adiab. rév. GP ; donc

$$\begin{cases} T_B V_B^{\gamma-1} = T_C V_C^{\gamma-1} \\ T_A V_A^{\gamma-1} = T_D V_D^{\gamma-1} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} T_1 V_B^{\gamma-1} = T_2 V_C^{\gamma-1} \\ T_1 V_A^{\gamma-1} = T_2 V_D^{\gamma-1} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{V_B}{V_A}\right)^{\cancel{\gamma-1}} = \left(\frac{V_C}{V_D}\right)^{\cancel{\gamma-1}}$$

d'où $$\frac{\ln \frac{V_D}{V_C}}{\ln \frac{V_B}{V_A}} = -1$$

d'où

$$r = 1 - \frac{T_2}{T_1} = r_c$$

donne le meilleur rendement !

le cycle de carnot (isothermes ×2, isentropiques ×2) est le seul cycle qui permet d'obtenir le rendement de Carnot

3 Cycle de Beau de Rochas ou d'Otto

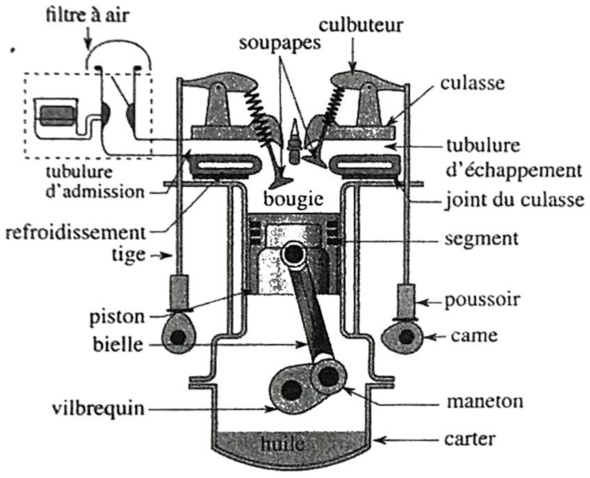
[TD Machines thermiques: exo 1]

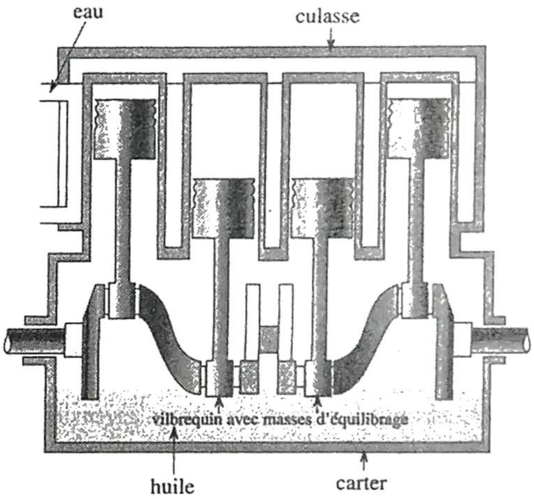
et toi ! vil brequin !

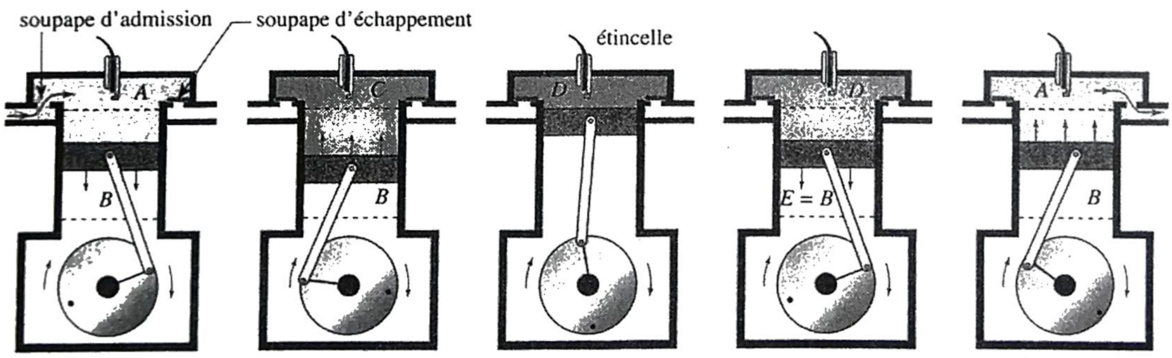
TD 4 Machines thermiques

Ai Ohto

Exercice 1 : Cycle de Beau de Rochas ou d'Otto. Principe du moteur à essence. Etude d'un cylindre (sur les quatre)
Grâce à la forme du vilebrequin, tous les cylindres parcourent le même cycle avec un décalage temporel constant (quatre-temps).Un cycle nécessite 2 tours de vilebrequin.

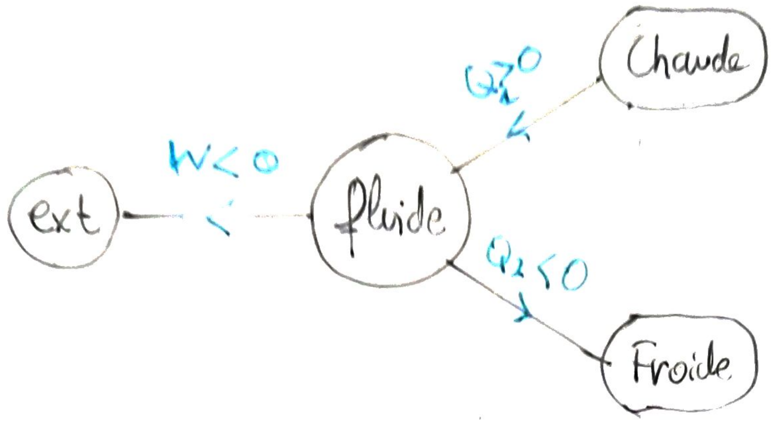






Doc. a. *Admission.* **Doc. b.** *Compression.* **Doc. c.** *Combustion.* **Doc. d.** *Détente.* **Doc. e.** *Échappement.*

- Doc a : 1[er] temps : admission du mélange (≈ 1 bar) : AB
- Doc b/c : 2[ème] temps : compression adiabatique (BC) et combustion (CD) grâce à l'étincelle produite par la bougie.
- Doc d : 3[ème] temps : détente adiabatique DE.
- Doc e : 4[ème] temps : échappement EB puis BA.



meth 1. Identifier $\begin{cases} Q_1 > 0 \\ Q_2 < 0 \end{cases}$

$$Q_{BC} = 0$$

$$Q_{CD} = \Delta U - \cancel{W} = \overbrace{C_v(T_D - T_C)}^{\text{combustion} : T \nearrow} > 0$$

$$Q_{DE} = 0$$

$$Q_{EB} = \Delta U - \cancel{W} = C_v(T_B - T_E) < 0$$

meth 2. EB ⇔ source froide ; CD ⇔ source chaude

meth 3. Rendement $\left|\frac{W}{Q_1}\right|$

or $\Delta U = 0 = W + \cancel{Q_{BC}} + Q_{CD} + \cancel{Q_{DE}} + Q_{EB}$

$$0 = W + Q_1 + Q_2$$

$$r = -\frac{-(Q_1+Q_2)}{Q_1} = 1 + \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$= 1 + \frac{Q_{EB}}{Q_{CD}} = 1 + \frac{\cancel{C_V}(T_B - T_E)}{\cancel{C_V}(T_D - T_C)}$$

$$\begin{cases} T_B V_B^{\gamma-1} = T_C V_C^{\gamma-1} \\ T_E V_E^{\gamma-1} = T_D V_D^{\gamma-1} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} T_B = \left(\frac{V_C}{V_B}\right)^{\gamma-1} T_C = a^{1-\gamma} T_C \\ T_E = \left(\frac{V_D}{V_E}\right)^{\gamma-1} T_D = a^{1-\gamma} T_D \end{cases}$$

$$\Rightarrow r = 1 + \frac{a^{1-\gamma} T_C - a^{1-\gamma} T_D}{T_D - T_C}$$

$$= 1 - a^{1-\gamma}$$

$$= 1 - \left(\frac{240}{40}\right)^{1-1,4}$$

$$= 0,51$$ ↖ très élevé

remq rendement idéal de Carnot

$$r = r_c = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

liq de refroid ≈ 20 °C

temp après combustion ≈ 1 k°C

$$\approx 1 - \frac{300}{1300}$$

$$\approx 0{,}75$$

III Récepteurs dithermes

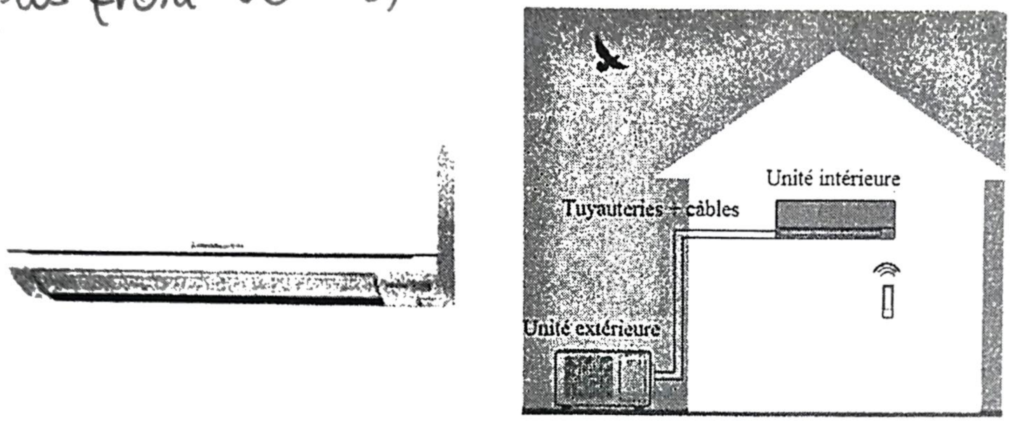
1 PAC

[poly : PAC vs radiateur]

Pompe à chaleur vs radiateur électrique.

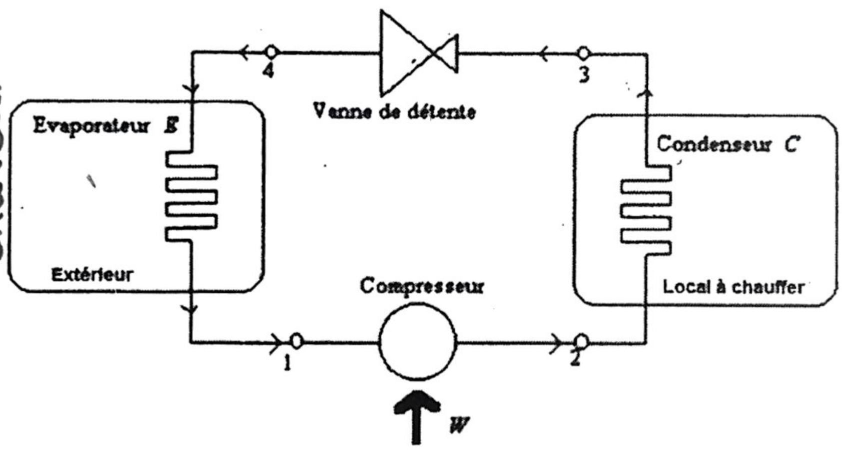
Pour chauffer un local , on peut utiliser un radiateur ou une pompe à chaleur.

1) A l'aide des documents ci-dessous, proposer un schéma de modélisation ditherme de la pompe à chaleur. On se place dans le cas hiver (plus froid dehors)



Doc 1 : l'installation domestique

reçoit de la chaleur



cède de la chaleur

Rq : les transferts thermiques ont seulement lieu dans l'évaporateur et le condenseur, à pression constante.

Doc 2 : schéma de principe

English		**French**
Liquefier, liquifier*n*	(device for turning gas into liquid)	condenseur *nm*
	Ex : Those boxes on the roof of the building are the liquefiers for the air conditioning systems.	

Doc 3 : vocabulaire

2) Rappeler le principe d'un radiateur électrique.

L'⚡ électrique reçue est totalement convertie en chaleur, le rendement vaut 1

3) A l'aide du document 4, choisir la solution la plus économique (et la plus écologique) pour votre installation.

Rq :un kWh coûte environ 0,10 €.

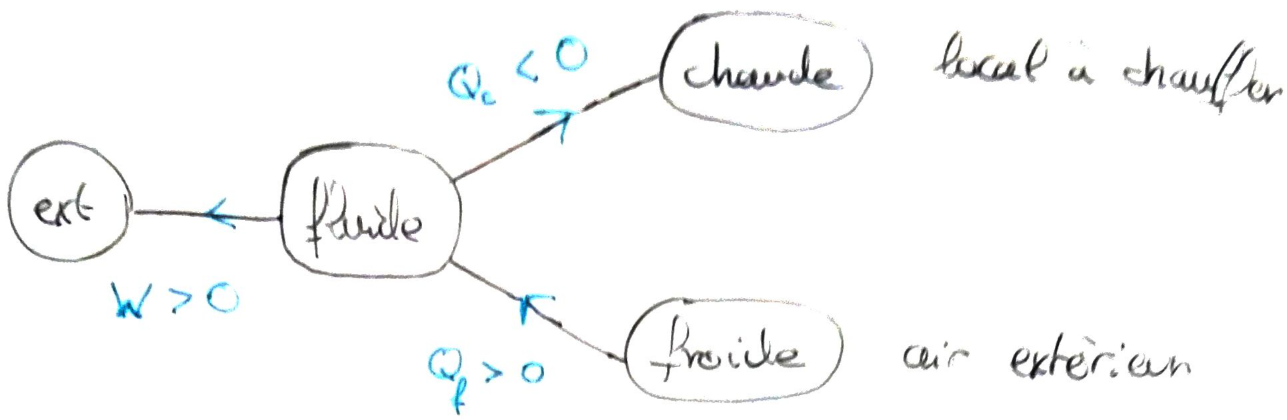
PUISSANCE NÉCESSAIRE POUR VOTRE PROJET (W)

CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES		
Q_C (−) P. calo. nominale (min / max)	W	3 200 (900/5 400)
W (−) P. abs. nominale en chaud	W	660
Débit d'air (u. int.) PV / GV	m³/h	330 / 800
Débit d'air max (u. ext.) GV	m³/h	1 700
PERFORMANCES		
Q_C/W COP à +7°C		4,85
Niv. Son. (u. int.) PV / GV	dB(A)	21 / 42
Niv. Son. (u. ext.)	dB(A)	50
CERTIFICATIONS		
Classe énergétique (froid)		A
Classe énergétique (chaud)		

Rq : COP=COefficient de Performance

Doc 4 : puissances de la machine-Données du fabricant (Atlantic)

1



Grâce à de l'énergie d'origine électrique reçue, le fluide prélève de la chaleur à la source froide. Il restitue la totalité à la source chaude pour la chauffer.

2

L'énergie électrique reçue est totalement convertie en chaleur, le rendement vaut 1

On définit l'efficacité de la PAC

$$e = \eta = \left|\frac{Q_c}{W}\right| = -\frac{Q_c}{W}$$

$$\begin{cases} \eta \propto^{-1} W & \text{elle consomme peu} \\ \eta \propto |Q_c| & \text{elle chauffe beaucoup} \end{cases}$$

remq

$$W = -(Q_1 + Q_2)$$

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0$$

$$\eta = \frac{-Q_1}{-(Q_1+Q_2)} = \frac{1}{1+\frac{Q_2}{Q_1}}$$

or $\frac{Q_2}{T_2} \leq -\frac{\overbrace{Q_1}^{\text{négatif}}}{T_1}$ ie $\frac{Q_2}{Q_1} \geq -\frac{T_2}{T_1}$

d'où $1 + \frac{Q_2}{Q_1} \geq 1 - \frac{T_2}{T_1}$

$$\eta \leq \frac{1}{1-\frac{T_2}{T_1}} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

ie $\boxed{\eta \leq \eta_c = \frac{T_1}{T_1 - T_2}}$

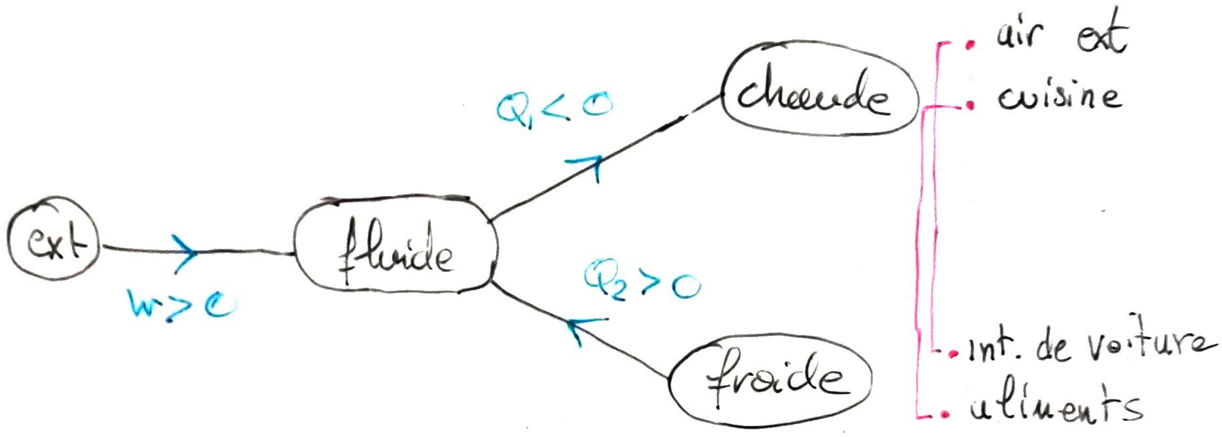
OoM

$$\begin{cases} t_2 = 0°C \\ t_1 = 27°C \end{cases}$$

$$\eta_c = \frac{300}{27} \approx 11$$

$$\boxed{\text{Souvent } \eta \in [3, 5]}$$

2 Machine frigorifique



Grâce à l'énergie électrique reçue, le fluide prélève de la chaleur à la source froide pour la refroidir, le tout étant rejeté vers la source chaude.

Efficacité

$$\begin{cases} \eta \propto^{-1} W & \text{consomme peu} \\ \eta \propto |Q_2| & \text{prélève bcp d'énergie à la src froide} \end{cases}$$

$$\boxed{e = \eta = \frac{Q_2}{W}}$$

rem efficacité

$$W = -(Q_1 + Q_2)$$

$$\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} \leq 0$$

$$\eta = -\frac{Q_2}{Q_1+Q_2} = -\frac{1}{1+\frac{Q_1}{Q_2}}.$$

or $\frac{Q_1}{T_1} \leq -\frac{Q_2}{T_2}$

ie $\frac{Q_1}{Q_2} \leq -\frac{T_1}{T_2}$

ie $1+\frac{Q_1}{Q_2} \leq 1-\frac{T_1}{T_2}$

donc $\frac{1}{1+\frac{Q_2}{Q_1}} \geq \frac{1}{1-\frac{T_1}{T_2}}$

d'où

$$\boxed{\eta \leq \eta_c = \frac{1}{\frac{T_1}{T_2}-1} = \frac{T_2}{T_1-T_2}}$$

OdM

$$\begin{cases} t_1 = 20°C & \text{cuisine} \\ t_2 = 5°C & \text{aliments} \end{cases}$$

$$\eta_c = \frac{278}{15} \approx 19$$

$\boxed{\text{En pratique, } \eta \in [3,5]}$