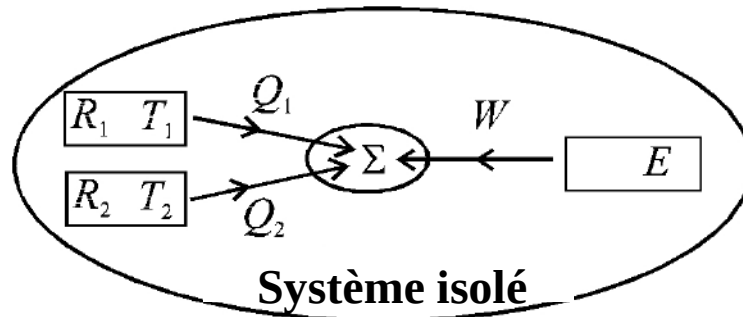


Cours 7 : Les machines thermiques dithermes

- 7.1 Cycles et machines thermiques (rappel)**
- 7.2 Les moteurs thermiques dithermes (idéales et réelles)**
- 7.3 Les machines frigorifiques (réfrigérateur et pompe à chaleur)**

7.1 Cycles et machines thermiques (Rappel)



- Σ Machine thermique qui décrit des cycles
- E Réservoir de travail
- R1 source de chaleur froide
- R2 source de chaleur chaude

Les machines thermiques permettent de produire :

- du froid (réfrigérateur), $Q_1 > 0$
- du chaud (pompe à chaleur), $Q_2 < 0$
- du travail (moteur), $W < 0$

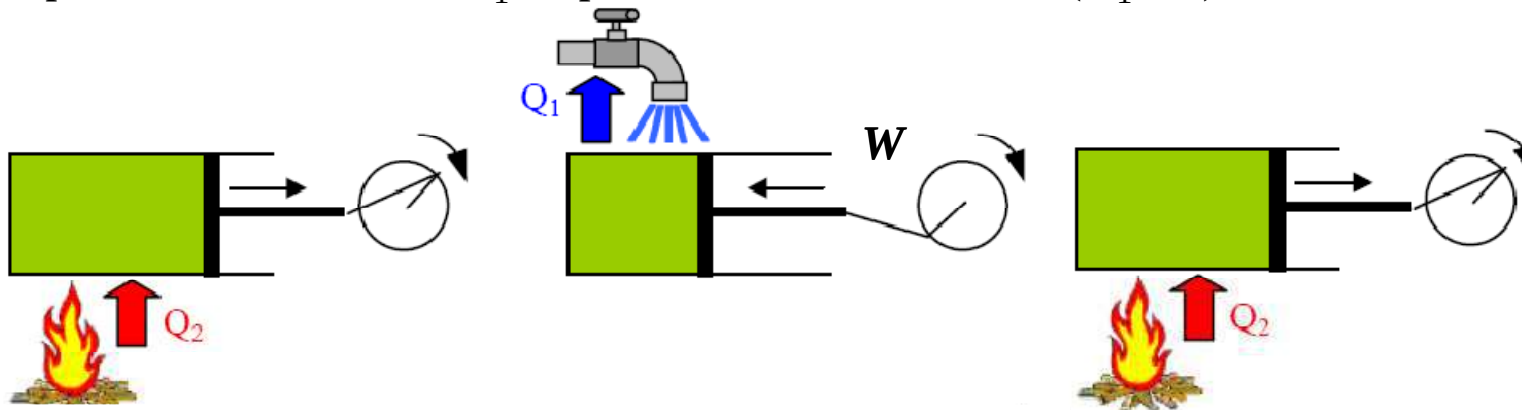
Rendement

$$\eta = \frac{\text{ce qu'on veut}}{\text{ce qu'on dépense pour l'obtenir}}$$

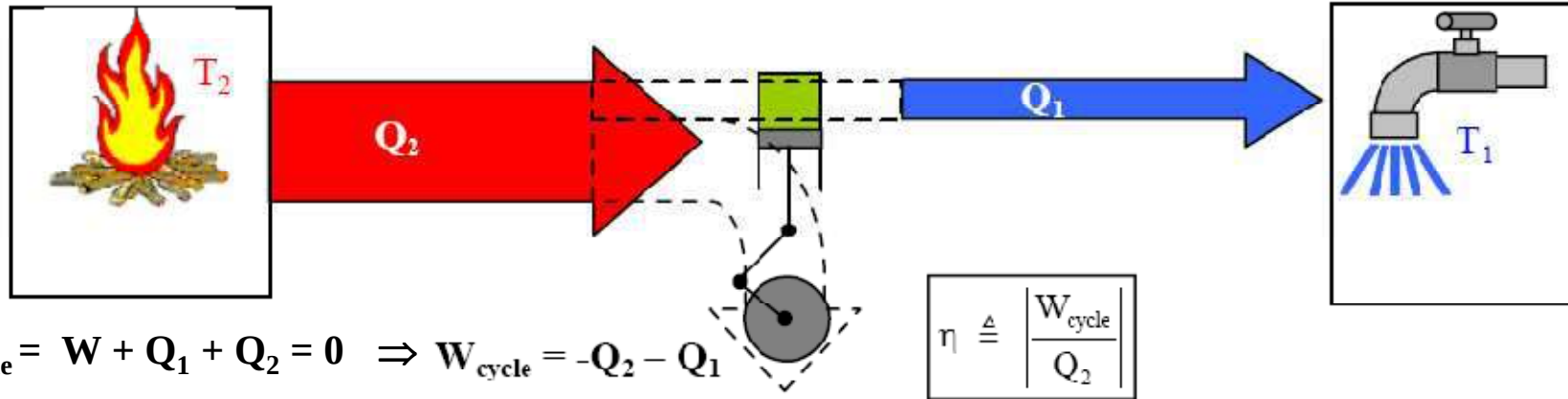
$$\left| \frac{Q_1}{W} \right| \quad \left| \frac{Q_2}{W} \right|$$

Moteurs thermiques :

- prennent obligatoirement de la chaleur Q_2 du corps chaud ($Q_2 > 0$)
- pour la convertir en énergie motrice W ($W < 0$)
- perdent de la chaleur Q_1 au profit de la source froide ($Q_1 < 0$)

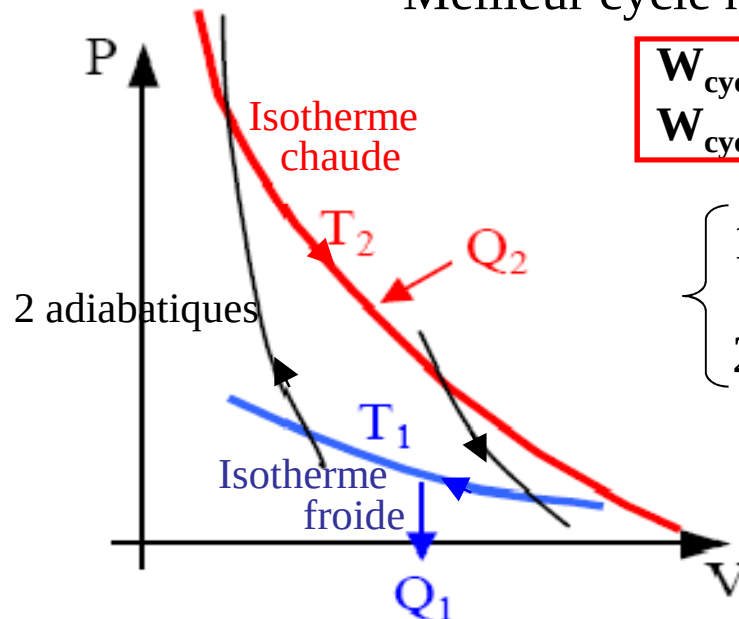


7.2 Les moteurs thermiques dithermes



7.2.1 Moteur réversible en contact avec 2 sources : cycle de Carnot

Meilleur cycle moteur réversible ditherme possible!



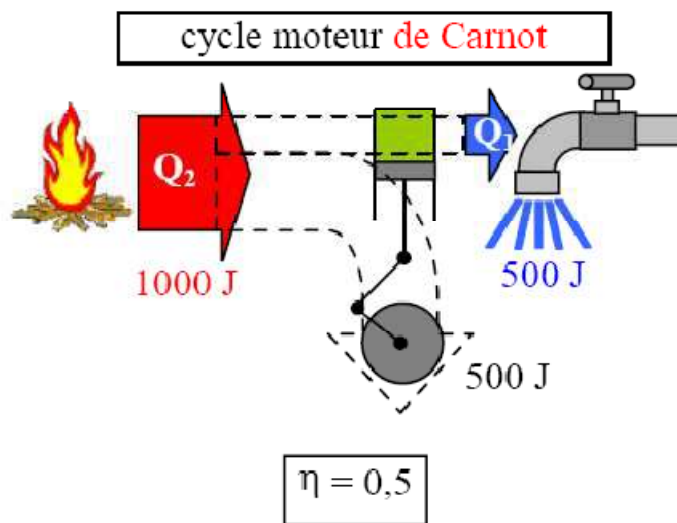
$W_{\text{cycle}} < 0$	sens horaire	cycle moteur
$W_{\text{cycle}} > 0$	sens trigo	cycle résistant

$\left\{ \begin{array}{l} \text{1er Principe et cycle quelconque : } W_c = -Q_2 - Q_1 \\ \text{2ème Principe et cycle réversible : } \frac{Q_2}{T_2} = -\frac{Q_1}{T_1} \end{array} \right.$

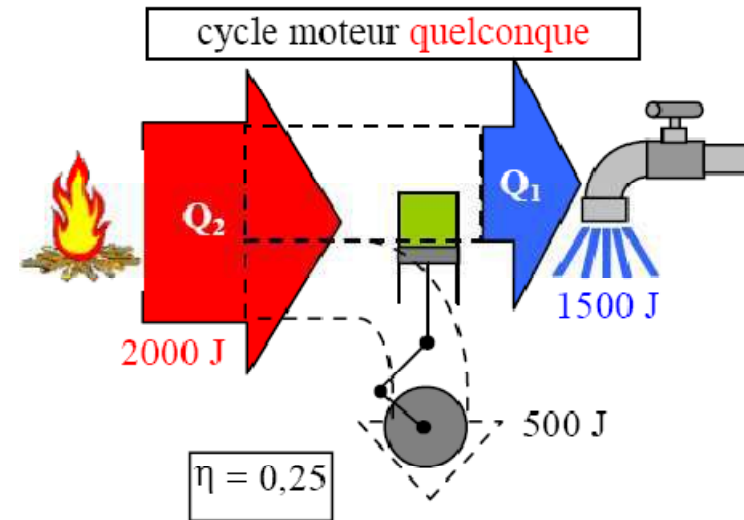
$$\eta = \eta_{\text{max}} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

$\eta = 1$ impossible même avec le moteur idéal de Carnot

7.2.1 Moteur réversible en contact avec 2 sources : cycle de Carnot (suite)



$$\eta = \eta_{\max} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$



$$\eta_{\text{réel}} < 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

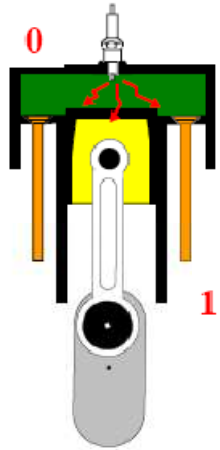
Un moteur de Carnot est très compliqué
et donc très cher à réaliser !

Autres types de cycles **qui ne sont pas réversibles** (ni réellement dithermes) :

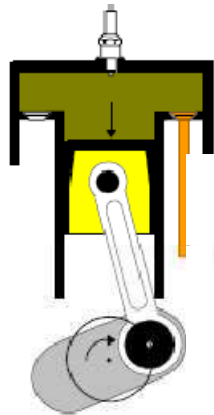
- 2 adiabatiques et 2 isochores : cycle de Beau de Rochas (**essence**)
- 2 isothermes et 2 isochores : cycle de Stirling (avec de l'**hydrogène**)
- 2 adiabatiques, 1 isochore, 1 isobare : cycle **diesel**

7.2.2 Exemple d'un moteur « ditherme » réel : le cycle de Beau de Rochas (essence)

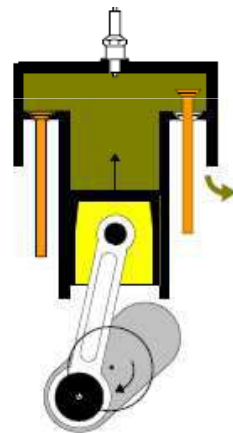
- Cycle de l'air du moteur : 4 temps
- Fluide utilisé : mélange air-essence assimilable à de l'air pur (volume d'essence négligeable)



0. Départ du cycle : explosion lorsque le piston est au point mort haut.
(Mélange explosif comprimé à la main ou à l'aide d'un moteur électrique)



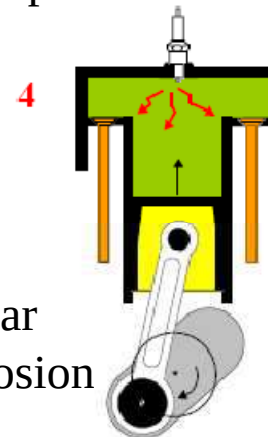
1. Détente des gaz brûlés provoquée par la chaleur de l'explosion (réaction chimique).



2. Échappement des gaz brûlés imposé par l'inertie mécanique.



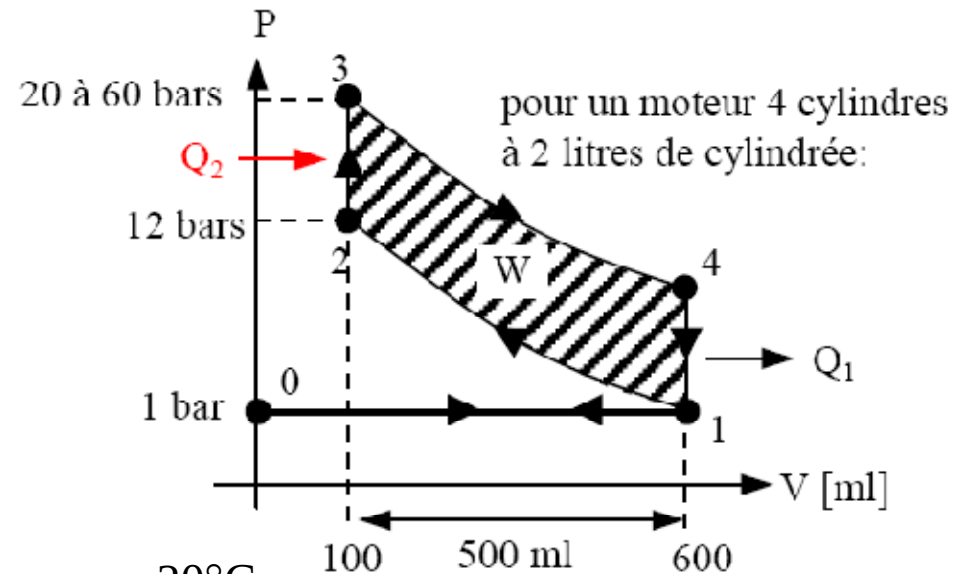
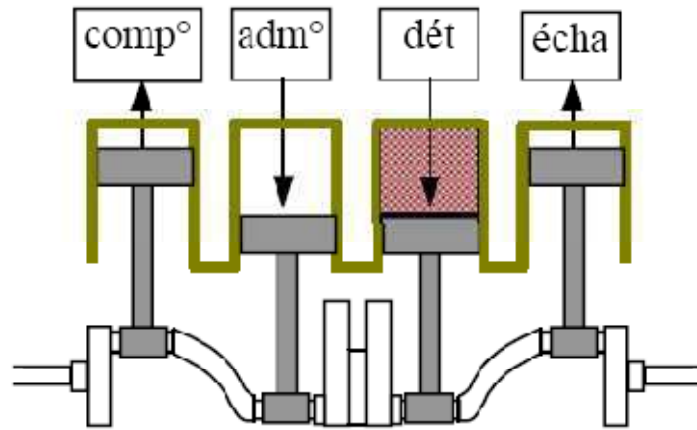
3. Admission du mélange imposée par l'inertie mécanique.



4. Compression du mélange imposée par l'inertie mécanique terminée par l'explosion

7.2.2 le cycle de Beau de Rochas (suite)

Rotation régulière et multiplication du travail avec 3 autres cylindres qui travaillent chacun sur un trajet (temps) différent. C'est la détente d'un piston qui entraîne les 3 autres pistons.



0 → 1 : admission du mélange air – essence sous 20°C

1 → 2 : compression adiabatique (course des pistons très rapide) à 330°C et 12 bars

2 → 3 : explosion très rapide (compression isochore) de 800°C à 4000°C

3 → 4 : détente adiabatique avec production de travail

4 → 1 : baisse de pression lors de l'ouverture de la soupape d'échappement

1 → 0 : échappement

Rendement de ce moteur :

$$\eta = 1 - \frac{1}{\tau^{\gamma-1}}$$

avec τ le taux de compression volumétrique
et γ coefficient des gaz parfaits

(ici $\tau = 600/100 = 6$)

Exercice 1

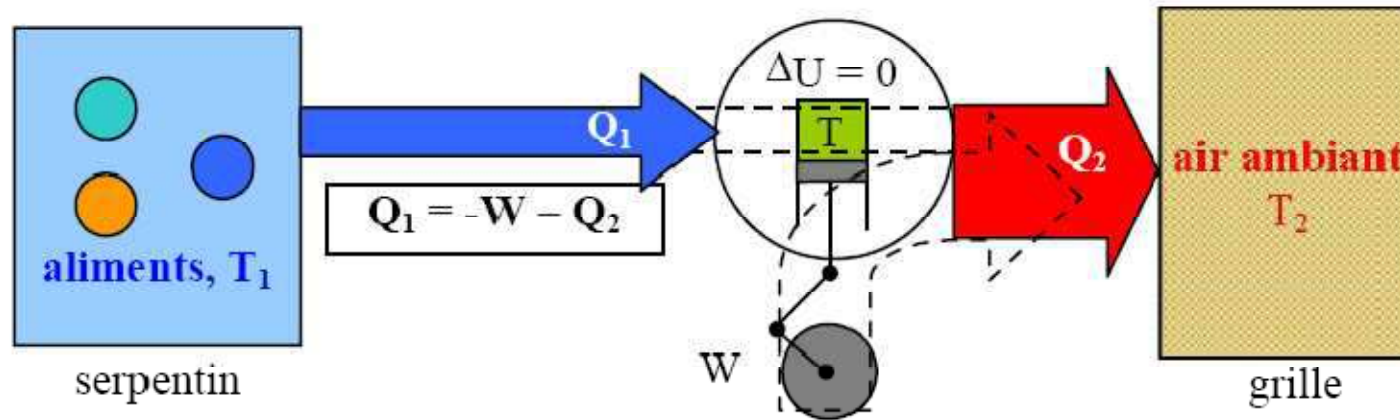
Exercice 1 Cycle de Beau rochas (essence)

Calculez le rendement η du cycle de Rochas composé de 2 isochores et de 2 adiabatiques en fonction du taux de compression τ et du coefficient $\gamma = C_p/C_v = 1,4$.

On considère le mélange air – essence comme un gaz parfait et on rappelle que lors d'une transformation adiabatique $TV^{\gamma-1} = \text{Cte}$.

7.3 Les machines frigorifiques

7.3.1 Réfrigérateurs (ou climatiseurs)

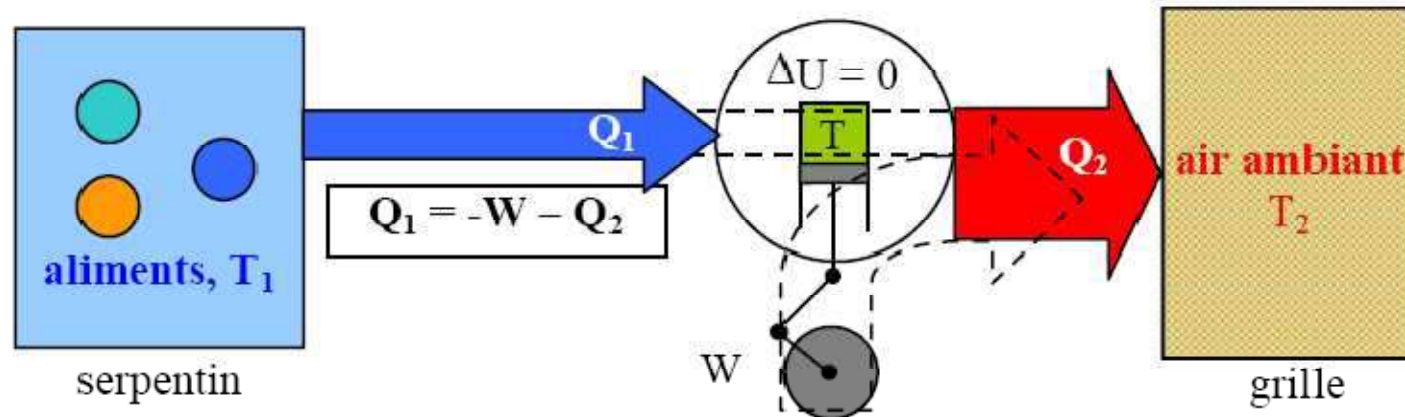


$$\left\{ \begin{array}{l} 1^{\text{er}} \text{ Principe sur un cycle quelconque : } W_c = -Q_2 - Q_1 \\ 2^{\text{ème}} \text{ Principe et cycle } \underline{\text{réversible}} : \frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_1}{T_1} = 0 \quad (Q_1 > 0 \text{ et donc } Q_2 < 0) \end{array} \right.$$

Efficacité $e = \left| \frac{Q_1}{W} \right|$ $e = \frac{T_1}{T_2 - T_1}$

- l'efficacité e peut varier de 0 à l'infini (ce n'est pas un rendement)
- le réfrigérateur est d'autant plus efficace que $T_1 \sim T_2 \dots$ ce qui n'est pas l'objectif d'un frigo !
- $e = 6,5$ pour $T_2 = 27^\circ\text{C}$ et $T_1 = -13^\circ\text{C}$

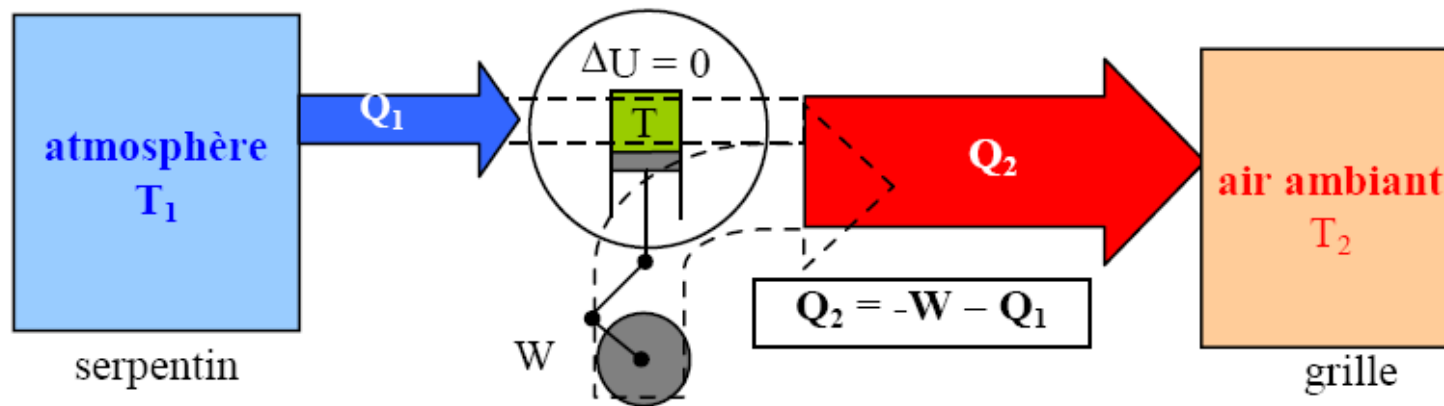
7.3.1 Réfrigérateurs (suite)



L'absorption du froid est plus importante avec **l'absorption d'une chaleur latente !**

- En pratique on provoque dans le serpentin la vaporisation d'un liquide à température ambiante (température initiale du frigo) par détente forcée.
- Choix du fluide
 - une chaleur latente de vaporisation massique la plus élevée ! (CFC, fréon)
 - une vaporisation/liquéfaction possible à température ambiante
(la transition de phase pour le CO₂ ne s'opère plus au-delà de 31 °C)

7.3.2 Pompe à chaleur



$$\text{Efficacité } e = \left| \frac{Q_2}{W} \right| \quad e = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$

- $e = 6,5$ signifie qu'il est 6,5 fois plus avantageux d'utiliser l'électricité pour alimenter le compresseur de la pompe à chaleur que d'utiliser l'électricité directement pour faire chauffer un radiateur électrique (rendement de 1)
- Une pompe à chaleur a une efficacité d'autant plus élevée que T_2 est proche de T_1 , c'est-à-dire quand elle ne sert à rien...

Exercice 2 Cycle de Stirling

On étudie une machine ditherme fonctionnant suivant le cycle de stirling.

On distingue dans ce cycle 2 transformations réversibles isochores et 2 transformations réversibles isothermes aux températures T_1 et T_2 ($T_1 < T_2$).

