

## Cycle de Carnot réfrigérant

---

On étudie ici le cycle de Carnot idéal pour une machine réfrigérante de type congélateur. Le fluide réfrigérant est un gaz, que l'on modélisera comme parfait d'indice adiabatique  $\gamma = 1,4$ , qui suit les étapes idéales suivantes :

- [1  $\rightarrow$  2] compression adiabatique et réversible ;
- [2  $\rightarrow$  3] apport de chaleur au contact de la source chaude : lors de cet apport, le gaz évolue de façon isotherme à  $T_c = 20\text{ °C}$  et reçoit un transfert  $Q_c$  ;
- [3  $\rightarrow$  4] détente adiabatique et réversible ;
- [4  $\rightarrow$  1] évacuation de chaleur au contact de la source froide : lors de cet apport le gaz évolue de façon isotherme à  $T_f = -15\text{ °C}$  et reçoit un transfert  $Q_f$ .

1) Représenter le schéma de principe du congélateur où apparaissent  $Q_c$ ,  $Q_f$  et  $W$ . Donner les signes de ces grandeurs. Que sont concrètement la source froide et la source chaude ?

2) Représenter le tracé du cycle dans le diagramme Clapeyron, avec les numéros des étapes.

3) La pression au point 1 est  $P_1 = 1,2\text{ bar}$ . Calculer la pression au point 2.

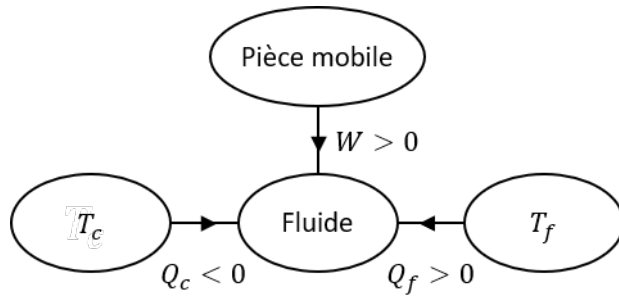
4) Définir l'efficacité de la machine en fonction de grandeurs parmi  $Q_c$ ,  $Q_f$  et  $W$ . Donner l'expression de cette efficacité en fonction des températures des sources. Faire l'application numérique. Interprétation : pour extraire 1 kJ du compartiment froid, combien de travail faut-il fournir ?

5) Expliquer le désavantage des échanges thermiques envisagés ici (température du fluide égale à la température de la source extérieure). Expliquer pourquoi l'efficacité réelle sera inférieure à celle calculée. Quel est son ordre de grandeur pour un congélateur ?

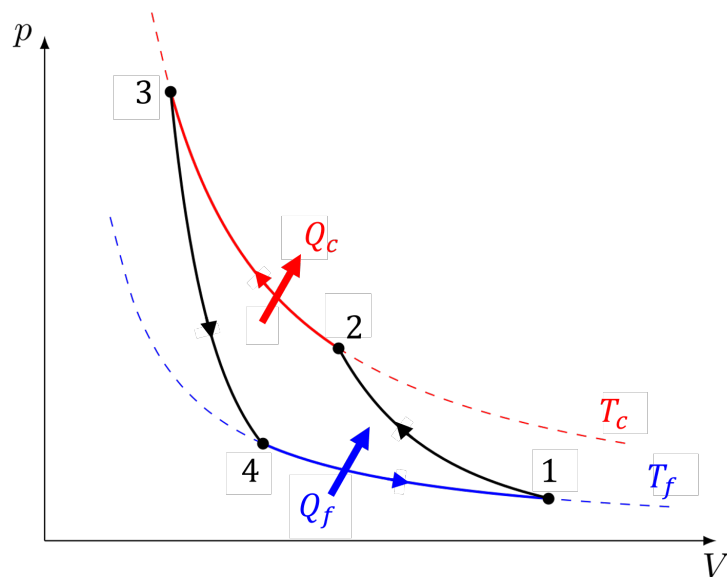


## Correction

1) La source froide est l'intérieur du réfrigérateur et la source chaude est l'extérieur du réfrigérateur.



2)



3) On utilise la loi de Laplace entre 1 et 2 :

$$P^{1-\gamma} T^\gamma = cte \Rightarrow P_1^{1-\gamma} T_f^\gamma = P_2^{1-\gamma} T_c^\gamma \Rightarrow P_2 = P_1 \left( \frac{T_f}{T_c} \right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} = 1,87 \text{ bar}$$

4) L'efficacité (de Carnot ici) est définie comme le rapport entre la grandeur d'intérêt et la grandeur coûteuse.

$$e_c = \frac{Q_f}{W} = \frac{T_f}{T_c - T_f} = 7,38$$

Cela signifie qu'avec 1 kJ d'électricité, on peut extraire 7,38 kJ du compartiment froid. Donc il faut du compartiment froid 136 J d'électricité pour extraire 1 kJ du compartiment froid.

5) Comme pour toute isotherme, elle doit être réalisée très lentement. Pour accélérer les échanges il est plus judicieux, par exemple après l'étape [1 → 2], d'arriver à une température  $T > T_c$ . Les transferts de chaleur de chaleurs seront plus rapides mais irréversibles.

En réalité, aucune étape n'est parfaitement réversible, ce qui va diminuer l'efficacité. L'ordre de grandeur est de 3.