Moteur thermique
$\eta \sim 0{,}3$

Réfrigérateur
$e_F \sim 3$

Pompe à chaleur
$e_C \sim 3$

FIGURE 1 – Rendement et efficacité des machines usuelles

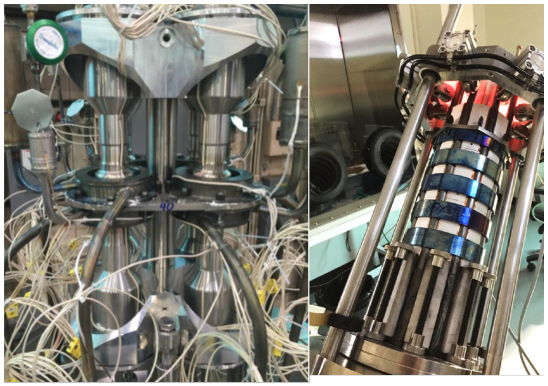


FIGURE 2 – Kilopower project, Nasa, générateur électrique nucléaire de type Stirling, 2017

Exemple 1 :

On dépose une masse $m = 100$ g d'eau liquide à $\theta_1 = 20°C$ dans un congélateur dont la température intérieure est de $\theta_2 = -20°C$.

1 - Pour un congélateur usuel d'efficacité $e_F = 3$, déterminer l'énergie consommée.

2 - Si le congélateur consomme une puissance électrique de 250 W, déterminer le temps nécessaire à la transformation. Commenter.

Données :

- capacité thermique de l'eau liquide : $c_{liq} = 4{,}18$ kJ.K^{-1}.kg^{-1}
- capacité thermique de l'eau - glace : $c_{gl} = 2{,}06$ kJ.K^{-1}.kg^{-1}
- enthalpie massique fusion de la glace : $l_F = 330$ kJ.kg^{-1}

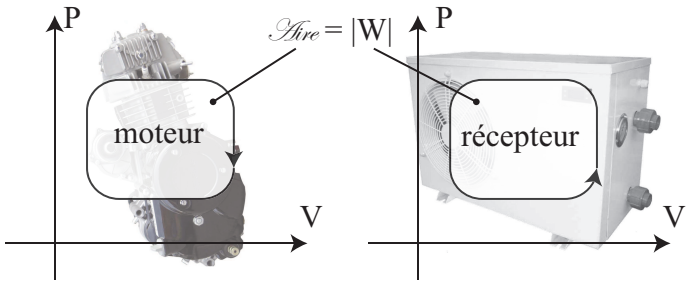
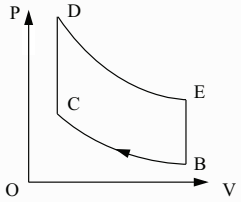


FIGURE 3 – Cycles moteur et récepteur

Exemple 2 :

D'après Centrale 04, CCP 10



Le cycle d'un moteur à explosion peut s'écrire de manière idéalisée par le cycle de Beau de Rochas ci-contre, comprenant deux transformations isochores et deux adiabatiques réversibles pour un gaz parfait. On notera $\alpha = V_B/V_C$, la quantité de chaleur due à l'explosion est reçue au cours de la transformation CD

1 - Le diagramme représentant le cycle thermodynamique renseigne-t-il sur le caractère moteur de la machine étudiée ?

2 - Préciser les relations liant P à V pour les transformations BC et DE du cycle.

3 - Définir le rendement η du cycle en fonction des quantités de chaleur reçues par le système au cours des transformations Q_{CD} et Q_{EB}. Établir l'égalité : $\eta = 1 - \alpha^{1-\gamma}$.

4 - Calculer η pour un moteur à essence de taux de compression $\alpha = 10$. On suppose que $\gamma = 1{,}4$ pour le mélange air-essence.

Exemple 3 :

D'après Oral CCP 15

Un moteur de Stirling fonctionne grâce à une masse $m_1 = 100$ g d'eau chaude à la température $\theta_C(t = 0) = 60°C$. Ce moteur fonctionne de manière réversible entre la source d'eau chaude et l'air extérieur de température constante $\theta_F = 20°C$.

1 - Déterminer un critère d'arrêt pour le moteur.

2 - Déterminer le travail maximal récupérable par cette machine.

Données : $c_{liq} = 4{,}18$ kJ.K^{-1}.kg^{-1}

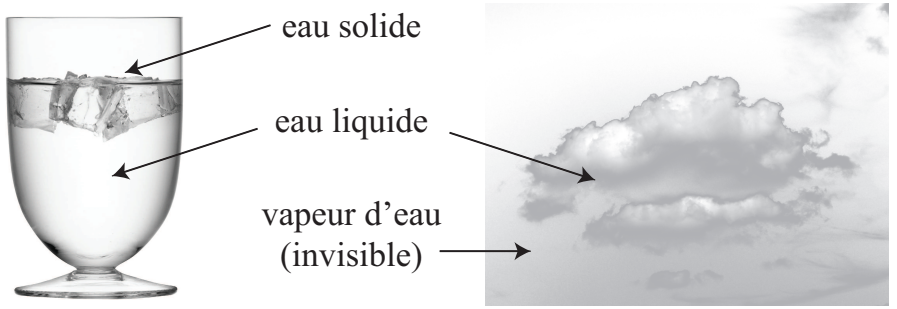


FIGURE 4 – Les différents usuels de l'eau

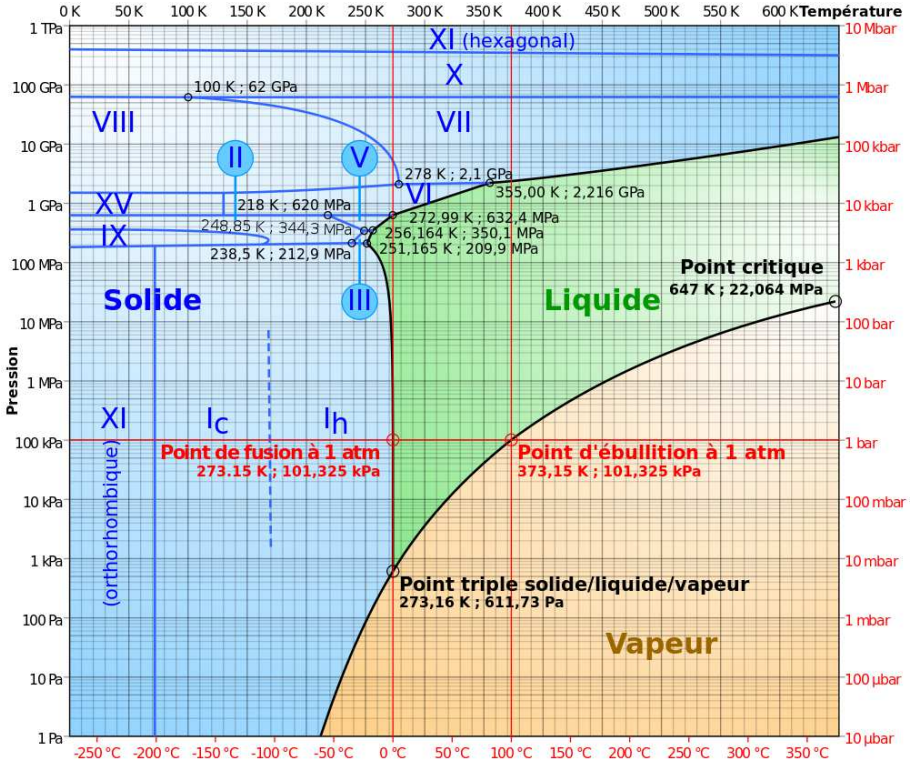


FIGURE 5 – Diagramme de phase de l'eau

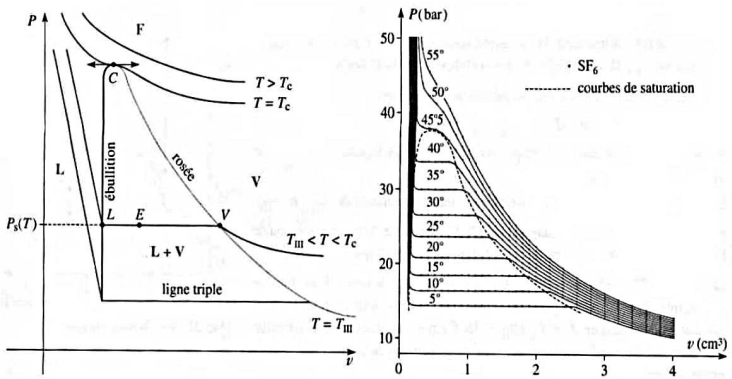
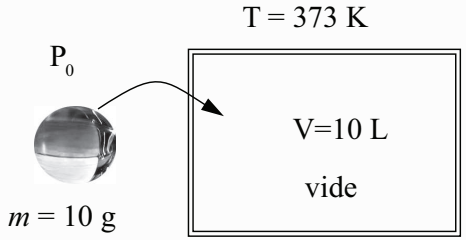


FIGURE 6 – Réseau isotherme d'Andrews

Exemple 4 :

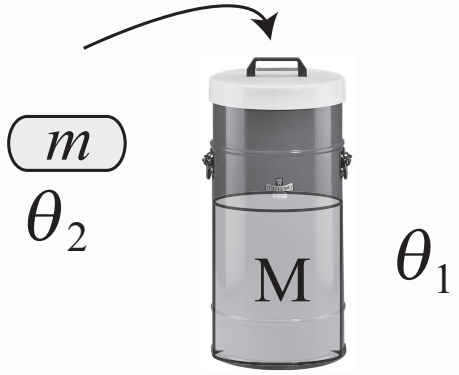
On place une masse $m = 10$ g d'eau liquide dans un volume V = 10 L initialement vide. L'ensemble est au contact d'un thermostat à la température de 100°C.



Déterminer la fraction de liquide qui s'est vaporisée en supposant que la vapeur se comporte comme un gaz parfait.
Données : $M_{eau} = 18$ g.mol^{-1}, $P_S(100°C) = 1{,}0$ bar, R = 8,3 SI

Exemple 5 :

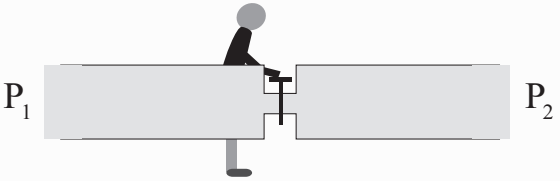
On dépose dans un récipient parfaitement calorifugé, une masse M = 1,00 kg d'eau liquide à la température $\theta_1 = 20°C$ ainsi qu'un glaçon de masse $m = 300$ g à la température $\theta_2 = 0$ °C.



1 - Déterminer l'état final. On supposera que la transformation se déroule sous une atmosphère.
2 - Déterminer l'entropie créée lors de la transformation.
Données : $c_{liq} = 4{,}185$ kJ.kg^{-1}.K^{-1} et $l_F = 334$ kJ.kg^{-1}.

Exemple 6 : *Détente de Joule Thomson*

Un fluide passe dans une canalisation calorifugée munie d'un pointeau. La pression en amont est de P_1, la pression en aval est de P_2. L'écoulement est stationnaire.

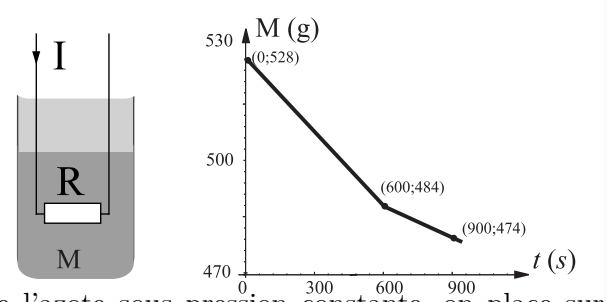


Montrer que la détente est isenthalpique.

Exemple 7 :

D'après Mines 08

Sous pression atmosphérique, la température d'équilibre liquide-gaz du diazote est $T_{eq} = 77{,}4$ K. Afin de mesurer la chaleur latente l_V de vaporisation de l'azote sous pression constante, on place sur une balance électronique un vase Dewar ouvert contenant de l'azote liquide : la diminution de la masse mesurée M au cours du temps traduit l'évaporation de l'azote.



- phase (1) : entre $t = 0$ et $t = t_1$, on alimente une résistance R plongée dans le calorimètre : tension U et intensité I constantes ;
- phase (2) : le chauffage est coupé à $t_1 = 10$ min.

La masse M mesurée en grammes est enregistrée à intervalles réguliers de $t = 0$ à $t_2 = 15$ min

1 - Comment évolue la température du liquide supposé homogène ? Pourquoi la masse diminue-t-elle même sans chauffage ?

2 - Lors de la deuxième phase ($t > t_1$), écrire l'équation différentielle vérifiée par la masse d'azote M(t). En déduire la puissance $\mathcal{P}_{fuite}$ due aux transferts thermiques reçues par l'azote. On exprimera le résultat en fonction de dM/d$t(t > t_1)$ et l_v.

3 - Lors de la première phase ($t < t_1$), écrire l'équation différentielle vérifiée par la masse d'azote M(t) en fonction de $\mathcal{P}_{fuite}$ et $\mathcal{P}_{chauff}$, puissance dissipée pa résistance. On exprimera le résultat en fonction de R, I, dM/d$t(t < t_1)$ et l_v.

4 - En déduire une expression littérale de l_v, puis calculer sa valeur numérique si I = 0,89 A et R = 10 Ω.

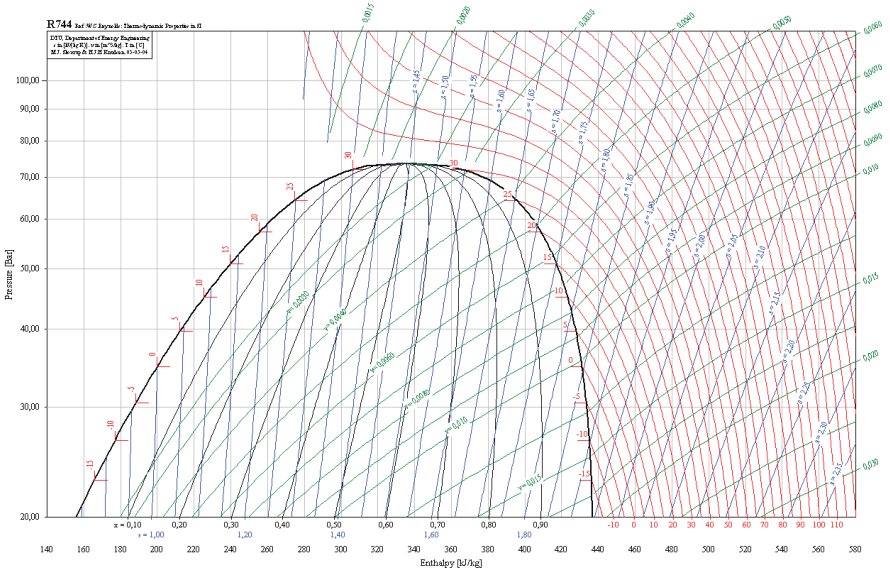


FIGURE 7 – Diagramme enthalpique du Diooxyde de carbone (R744)

Exemple 8 :

Le R744, ou dioxyde de carbone, fait une nouvelle apparition dans le monde de la réfrigération industrielle car son impact environnemental est beaucoup moins nuisibles que les fluides friorigènes usuels. En utilisant le diagramme fourni :

1 - Représenter l'isotherme à $\theta = 20°$C et déterminer la pression de vapeur saturante à 20°C.

2 - Déterminer l'enthalpie de vaporisation à 20°C.

3 - Déterminer la capacité thermique massique c_P. On supposera que cette grandeur est indépendante de la température pour des conditions de pression éloignées du point critique.

4 - Le CO_2 peut il être considéré comme un gaz parfait dans les conditions du diagramme.

5 - Déterminer l'état final d'une détente adiabatique d'un liquide saturant passant de 58 bar à 30 bar.

Exemple 9 : *D'après Oral CCP 18*

Par lecture sur le diagramme de l'eau (R718) ci-joint :
1 - Déterminer la chaleur latente de vaporisation à 373 K.
2 - Déterminer la capacité thermique du liquide en supposant que celle-ci est constante entre 20°C et 80°C.
3 - Justifier que les isothermes sont quasi-verticales dans le domaine de la vapeur sèche.
4 - Continuer l'isotherme 60°C à l'intérieur de la courbe de saturation et dans le domaine du liquide.

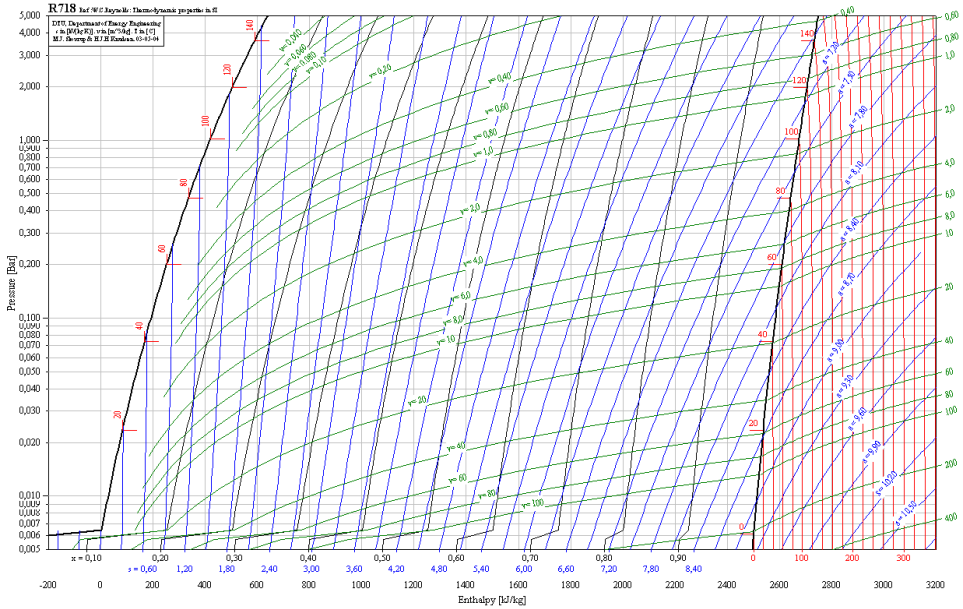
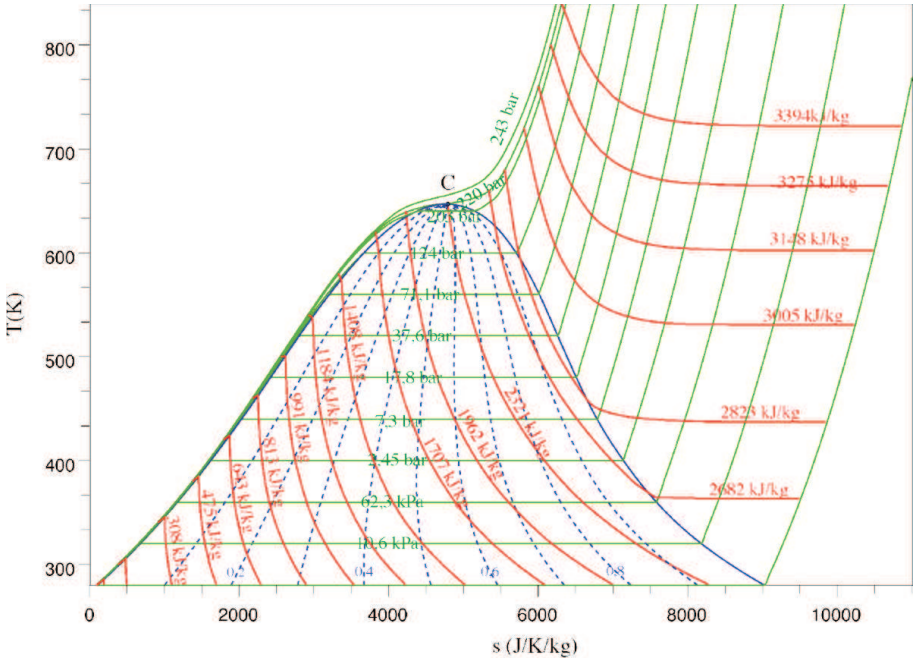


FIGURE 8 – Diagramme enthalpique de l'eau



Exemple 10 :

Un compresseur permet de comprimer de façon adiabatique réversible de la vapeur saturante à 373 K de la pression $P_1 = 1{,}0$ bar à la pression $P_2 = 3{,}3$ bar. On admettra que la vapeur se comporte comme un gaz parfait de coefficient isentropique $\gamma = 1{,}32$.
1 - Déterminer la température du fluide en sortie du compresseur.
2 - Représenter la transformation dans le diagramme entropique.