

Variation des fonctions d'état sur un cycle

Variation des fonctions d'état sur un cycle

Les variations sur un cycle des *fonctions d'état* du système d'une machine thermique subissant des transformations *cycliques* sont *nulles*. On a donc :

$$W_{\odot} + \sum_i Q_i = 0 \quad \Delta S_{\odot} = 0$$

Moteur ou récepteur

Définition : Cycles moteurs/récepteurs

- Un cycle parcouru par un système thermodynamique \mathcal{S} (nommé *agent thermique* ou *fluide caloporteur*) est dit *moteur* si le travail total W_{\odot} reçu par \mathcal{S} au cours du cycle est *négatif* $W_{\odot} < 0$: le système \mathcal{S} *fournit* du travail *au milieu extérieur*.
- Il est récepteur si $W_{\odot} > 0$: le système \mathcal{S} *reçoit* du travail *du milieu extérieur*.

Types de machines

Définition : Types de machines

La machine thermique est un *moteur* si le *cycle est moteur*. Son rôle est de fournir du travail W à *l'extérieur*.

On distingue les machines à *cycle récepteur* suivant leur destination :

Fournir de l'énergie par transfert thermique Q à une source,

Prélever de l'énergie par transfert thermique Q d'une source.

Inégalité de Clausius

Au cours d'un cycle, les transferts thermiques Q_i reçus par l'agent thermique \mathcal{S} des sources aux températures stationnaires T_i vérifient l'*inégalité* de Clausius :

$$\sum_i \frac{Q_i}{T_i} = -S_{c,\odot} \leq 0,$$

L'*égalité* étant réalisée pour un cycle idéal *réversible*.

Machine monotherme

Définition : Machine monotherme

Une machine est dite *monotherme* si l'agent thermique \mathcal{S} ne reçoit qu'un seul transfert thermique Q_0 d'*une seule source* à la température T_0 .

Impossibilité du moteur monotherme

Une machine monotherme en fonctionnement cyclique est nécessairement un *récepteur cédant à l'extérieur*, sous forme de transfert thermique, l'intégralité de l'énergie qu'elle reçoit sous forme de travail.

Il est donc *impossible de réaliser un moteur monotherme* ; une machine thermique en fonctionnement cyclique doit utiliser *au minimum deux sources de transfert thermique* à des températures *différentes* pour avoir un comportement *moteur*.

Définition

Définition : Machine ditherme

Une machine est dite ditherme si l'agent thermique S échange de l'énergie par transfert thermique avec deux sources à deux températures différentes $T_f < T_c$.

- T_f est la température de la source froide qui fournit Q_f à l'agent thermique S ,
- T_c est la température de la source chaude qui fournit Q_c à l'agent thermique S .

Diagramme de Raveau**Définition : Diagramme de Raveau**

Le *diagramme de Raveau* d'une machine thermique ditherme en contact avec des sources à T_f et T_c est le régionnement du plan Q_f, Q_c par les deux droites $Q_c(Q_f)$ représentant :

- l'une la nullité du travail sur un cycle,
- l'autre la nullité de l'entropie créée sur un cycle

réversible.

Le *point de fonctionnement* du cycle est le couple Q_f, Q_c .

Moteur ditherme**Principe de Carnot**

Pour décrire un cycle *moteur*, l'agent thermique d'une machine doit *recevoir*, par transfert thermique, de l'énergie d'une *source chaude* et en *fournir* à une *source froide*. Une partie de l'énergie thermique reçue ne pourra pas être convertie en travail moteur.

Récepteur utile**Définition : Récepteur utile**

Un récepteur est dit *utile* s'il *inverse le sens spontané* des transferts thermiques. On a alors :

- $Q_f > 0$: la source *froide fournit* de l'énergie thermique à l'agent thermique,
- $Q_c < 0$; l'agent thermique *fournit* de l'énergie thermique à la *source chaude*.

Théorème de Carnot**Définition : Rendement d'un cycle moteur**

Le rendement d'un cycle moteur ditherme est le rapport du travail fourni par cycle à l'*extérieur*, noté $-W_\odot$, et de l'énergie thermique fournie par cycle *au système* par la source chaude, notée Q_c :

$$r \equiv \frac{-W_\odot}{Q_c}.$$

Théorème : de Carnot

Le rendement d'un moteur ditherme est toujours inférieur au *rendement dit « de Carnot »* $r_C = 1 - \frac{T_f}{T_c}$, l'égalité étant réalisée pour un fonctionnement *réversible*.

Réalisation : cycle de Carnot**Définition : Cycle de Carnot**

Un cycle de Carnot est nécessairement un cycle *réversible* composé de deux *isothermes* et de deux *adiabatiques*.

Exercice : représentations d'un cycle de Carnot**Diagramme entropique**

On représente l'évolution du fluide d'un moteur ditherme au cours d'un cycle de Carnot en coordonnées T, S (abscisse S , ordonnée T)

1. Montrer qu'il s'agit d'un rectangle.
2. Que représente le produit TdS pour une transformation réversible. En déduire une lecture graphique de $Q_c + Q_f$ sur le cycle.
3. En déduire le sens de parcours du cycle et une lecture graphique du travail $-W_{\odot}$ fourni.

Diagramme de Clapeyron

On représente maintenant dans les coordonnées de Clapeyron (P, V) le cycle de Carnot parcouru par un *gaz parfait*.

1. Rappeler les équations en coordonnées de Clapeyron de l'isotherme et de l'isentrope passant par P_1, V_1 en fonction de P_1, V_1 et γ , supposé constant.
2. En déduire l'allure du cycle. On comparera les pentes d'une isotherme et d'une adiabatique réversible en un même point du diagramme.
3. Dans quel sens doit-il être parcouru pour que le cycle soit moteur? Déterminer une lecture graphique du travail $-W_{\odot}$ fourni par cycle.

Exercice : Efficacité de récepteurs dithermes

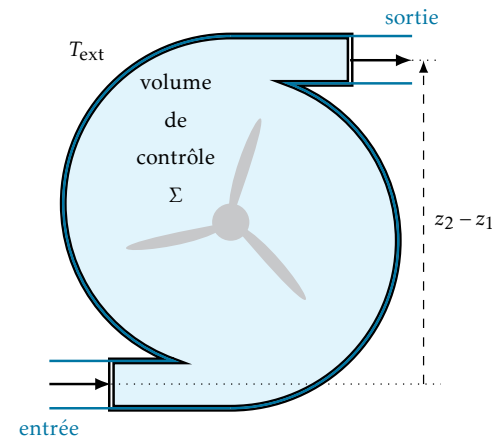
Réfrigérateur 1. Définir l'efficacité e_f d'un réfrigérateur.

2. Déterminer sa valeur maximale en fonction de T_c et T_f . A.N. pour les valeurs usuelles d'un réfrigérateur domestique.
3. Peut-elle être supérieure à 1? Commenter. Peut-on par ailleurs atteindre une température nulle avec une telle machine?

Pompe à chaleur 1. Définir l'efficacité e_p d'une pompe à chaleur.

2. Déterminer sa valeur maximale en fonction de T_c et T_f . A.N. pour les valeurs usuelles d'une pompe à chaleur domestique.
3. Pourquoi est-elle supérieure à 1? Comparer à celle d'un simple radiateur électrique.

Présentation



Volume de contrôle

Définition : Volume de contrôle

Un *volume de contrôle*, noté Σ , est une zone de l'espace délimitée par une surface *fermée invariable*.

Débit de masse

Définition : Débit de masse

Soit une section d'un fluide en écoulement, et soit δm la masse de fluide traversant la section pendant une durée infinitésimale dt . On définit le *débit de masse*, noté D , à travers la section par :

$$D = \frac{\delta m}{dt}$$

Machine en écoulement permanent

Définition : Écoulement permanent

Une machine thermique est en *écoulement permanent* (ou *stationnaire*) si les paramètres d'état du fluide et des différents organes en tout point sont *stationnaires*.

Expression**Premier principe industriel**

Pour un fluide dans un écoulement *stationnaire* :

- le débit massique est *uniforme*,
- le premier principe s'écrit, entre deux points de l'écoulement :

$$\Delta\left(h + \frac{c^2}{2} + gz\right) = w_u + q,$$

avec :

- c et z respectivement la vitesse macroscopique et l'altitude du fluide aux points considérés, g l'accélération de la pesanteur
- w_u le travail massique dit *utile*, autre que celui exercé par le reste du fluide reçu par le fluide entre les deux points,
- q le transfert thermique massique reçu par le fluide entre les deux points.

Lexique

Compresseur augmente la pression d'un *gaz*, utilisé dans frigo/PAC et turbines à gaz

Pompe augmente la pression d'un *liquide* pour le faire circuler, utilisée dans la machine à vapeur

Vanne de détente robinet ou obstacle rencontré par le fluide pour diminuer sa pression

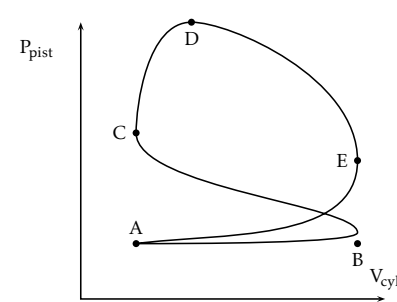
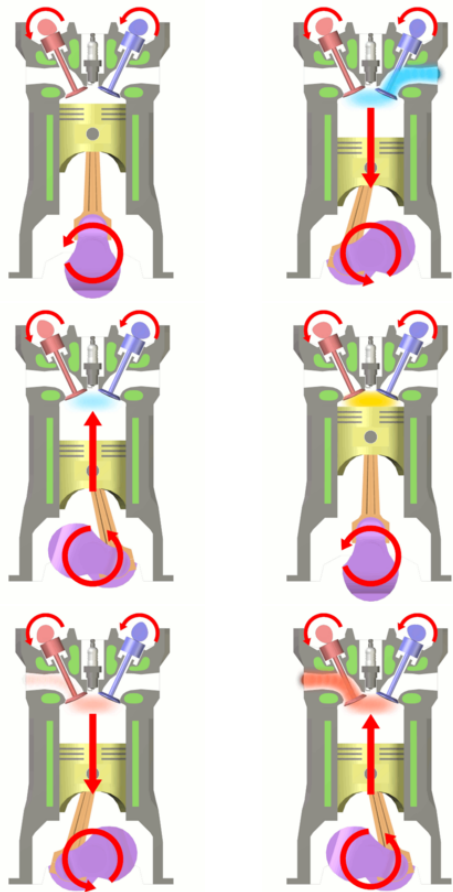
Turbine pièce mise en rotation par une vapeur, échange un *travail utile* avec le fluide. Dans les turboréacteurs ($w_u > 0$), les centrales électriques ($w_u < 0$).

Échangeur thermique variation de T par transfert thermique avec une source de chaleur ou un autre écoulement ; cas particuliers :

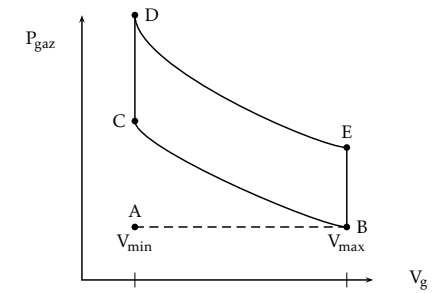
- *évaporateur* pour vaporiser un mélange liquide-vapeur dans frigo/PAC, *bouilleur* dans une machine à vapeur
- *condenseur* pour le liquéfier

Organes caractéristiques

Réalisation : cycle de Beau de Rochas



Allure du diagramme de Watt



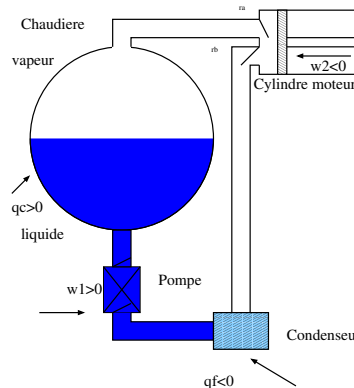
Modélisation du cycle en coordonnées de Clapeyron

Cycle idéal

Le cycle de Beau de Rochas est un cycle *réversible* constitué de deux isochores et deux adiabatiques. Il est caractérisé par le *taux de compression* $\alpha = \frac{V_{\max}}{V_{\min}}$ assurant un rendement $r = 1 - \frac{1}{\alpha^{\gamma-1}}$ pour un gaz parfait.

Modélisation et rendement

Machine à vapeur



Cycle de Rankine

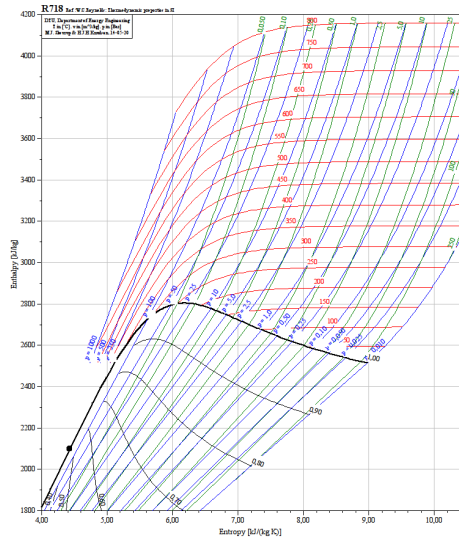
Définition : Cycle de Rankine

Un cycle de Rankine idéal est un cycle réversible composé de deux isobares et de deux adiabatiques. L'agent thermique est un corps pur diphasé (liquide/vapeur) dont la composition en liquide et vapeur évolue au cours du cycle.

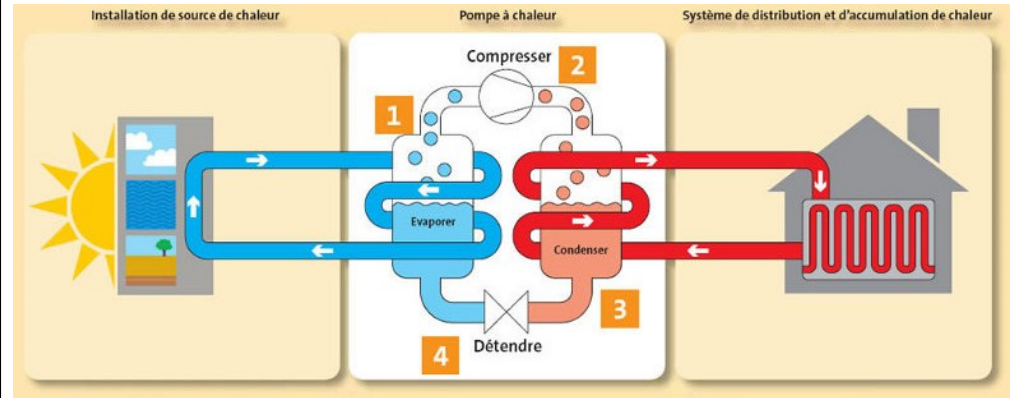
le rendement s'exprime naturellement grâce à h :

$$r = \frac{-w}{q_{5 \rightarrow 2}} = \frac{q_{5 \rightarrow 2} + q_{3 \rightarrow 4}}{q_{5 \rightarrow 2}} = 1 - \frac{|q_{3 \rightarrow 4}|}{q_{5 \rightarrow 2}} = 1 - \frac{h_3 - h_4}{h_2 - h_5}$$

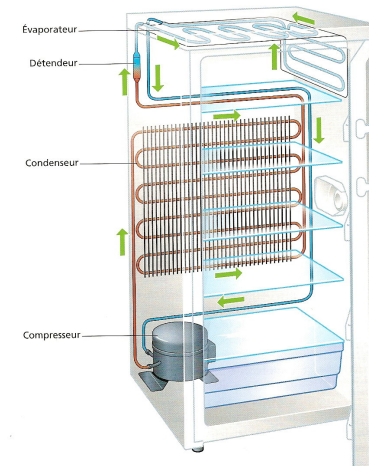
Diagramme enthalpique (de Mollier)



Réfrigérateur et pompe à chaleur



Pompe à chaleur



Réfrigérateur