

TD22 : Machines thermiques

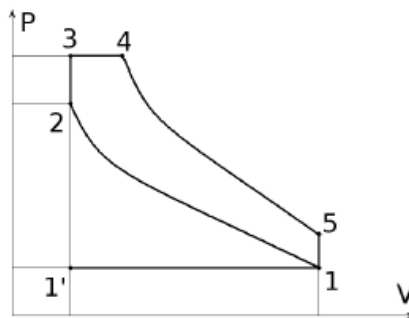
CAPACITÉS TRAVAILLÉES :

- ▷ Donner le sens réel des échanges énergétiques pour un moteur ou un récepteur thermique ditherme : TLB1,2,3,4,5,6, ex1,2,4
- ▷ Définir un rendement – ou une efficacité – et le relier aux énergies échangées au cours d'un cycle : TLB1,2,4,5,6, ex1,2,3,4
- ▷ Démontrer et utiliser le théorème de Carnot : TLB2,4,5,6, ex1,2,3,4
- ▷ Analyser un dispositif concret et le modéliser par une machine cyclique ditherme : TLB1,2,3, ex1,2,3,4
- ▷ Citer quelques ordres de grandeur des rendements des machines thermiques réelles actuelles : TLB1,5,6, ex4

1 Tester les bases

TLB1 : Moteur Diesel à double combustion

Dans les moteurs Diesel à double combustion, le cycle décrit par le mélange air-carburant est modélisable par celui d'un système fermé représenté en coordonnées de Watt ci-dessous.



Après la phase d'admission $1' \rightarrow 1$ qui amène le mélange au point 1 du cycle, celui-ci subit une compression adiabatique supposée réversible jusqu'au point 2. Après injection du carburant en 2, la combustion s'effectue d'abord de façon isochore de 2 à 3 puis se poursuit de façon isobare de 3 à 4. La phase de combustion est suivie d'une détente adiabatique à nouveau prise réversible de 4 à 5, puis d'une phase d'échappement isochore $5 \rightarrow 1$ puis isobare $1 \rightarrow 1'$.

Au point 1 du cycle, la pression $p_m = 1,0$ bar et la température $T_m = 293$ K sont minimales. La pression maximale, aux points 3 et 4, est $p_M = 60$ bar et la température maximale, au point 4, vaut $T_M = 2073$ K. Le rapport volumétrique de compression vaut $\beta = V_M/V_m = 17$.

On suppose que le mélange air-carburant se comporte exactement comme l'air, c'est-à-dire comme un gaz parfait diatomique de masse molaire $M = 29 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, et de capacités thermiques à pression et volume constant respectivement C_P et C_V . On note $\gamma = \frac{C_P}{C_V} = 1,4$.

1. Rappeler le schéma de principe d'un moteur ditherme et le sens réel des échanges d'énergie du fluide caloporteur.
2. Exprimer les températures T_2 , T_3 et T_5 en fonction de p_m , p_M , T_m , T_M et β . Calculer les valeurs numériques.
3. Calculer le transfert thermique massique q_c reçu par l'air au cours de la phase de combustion $2 \rightarrow 4$.
4. Calculer le transfert thermique massique q_f échangé avec le milieu extérieur entre les points 5 et 1.
5. En déduire le travail massique w échangé au cours d'un cycle.
6. Définir et calculer le rendement de ce moteur. Commenter la valeur trouvée.

TLB2 : Pompe à chaleur domestique

On veut maintenir la température d'une maison à $T_1 = 20^\circ\text{C}$ alors que la température extérieure est égale à $T_2 = 5^\circ\text{C}$ en utilisant une pompe à chaleur. L'isolation thermique de la maison est telle qu'il faut lui fournir un transfert thermique égal à 200 kJ par heure.

1. Rappeler le schéma de principe d'une pompe à chaleur ditherme et le sens réel des échanges d'énergie du fluide caloporteur.
2. Quel doit être le cycle thermodynamique suivi par le fluide pour que l'efficacité de la pompe à chaleur soit maximale ?
3. Définir et calculer l'efficacité théorique maximale de la pompe dans ces conditions. Montrer qu'elle ne dépend que de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur. Quel est le sens physique de l'efficacité ?
4. En déduire la puissance électrique minimale consommée par la pompe à chaleur.
5. En supposant la température intérieure imposée, pour quelle température extérieure l'efficacité est-elle maximale ? Commenter.

TLB3 : Rafrâchir sa cuisine en ouvrant son frigo ?

Un réfrigérateur est une machine thermique à écoulement, dans laquelle un fluide subit une série de transformations thermodynamiques cycliques. À chaque cycle le fluide extrait de l'intérieur du frigo un transfert thermique $|Q_{\text{int}}|$, cède un transfert thermique $|Q_{\text{ext}}|$ à la pièce dans laquelle se trouve le frigo et reçoit un travail $|W|$ fourni par un moteur électrique.

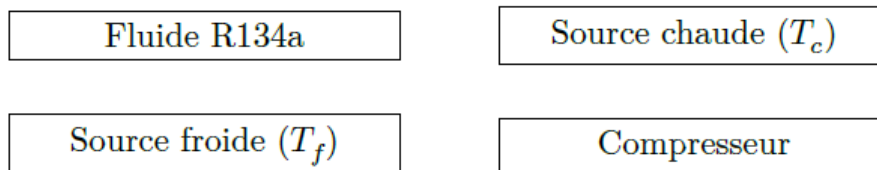
On fait l'hypothèse que l'intérieur du réfrigérateur et l'air ambiant constituent deux thermostats aux températures respectives $T_{\text{int}} = 268\text{K}$ et $T_{\text{ext}} = 293\text{K}$ et qu'en dehors des échanges avec ces thermostats les transformations sont adiabatiques.

1. Quel est le signe des énergies échangées ?
2. Lorsqu'il fait très chaud en été, est-ce une bonne idée d'ouvrir la porte de son frigo pour refroidir sa cuisine ?
3. Pourquoi cela est-il possible avec un climatiseur ?

TLB4 : Machine frigorifique (CCS20)

Une machine frigorifique est constituée d'un compresseur, d'un condenseur, d'un détendeur et d'un évaporateur, dans lesquels circule un fluide frigorigène R134a.

1. Sur un schéma de principe, identifier les différents transferts énergétiques qui interviennent au sein de la machine entre les différents éléments schématisés ci-dessous et donner leur signe.

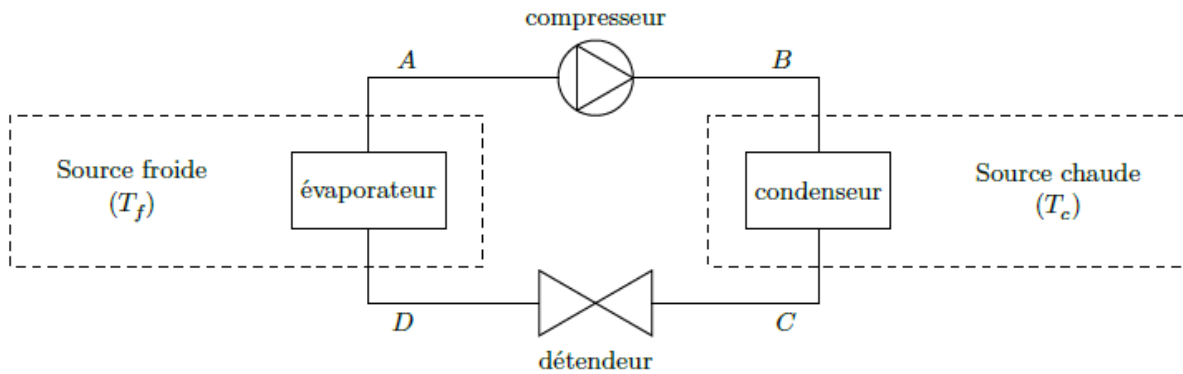


2. Quel est le rôle du condenseur et au contact de quel élément parmi ceux mentionnés ci-dessus doit-il être mis ?
3. Quel est le rôle de l'évaporateur et au contact de quel élément parmi ceux mentionnés ci-dessus doit-il être mis ?
4. Définir l'efficacité de cette machine puis déterminer l'expression de l'efficacité de la machine de Carnot correspondante.

TLB5 : Étude d'une pompe à chaleur idéale (CCS18)

Le principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur est rappelé figure ?. Le cycle est supposé réversible. Au contact de la source froide de température T_f , le fluide se vaporise complètement, il est ensuite comprimé par le compresseur et se liquéfie dans le condenseur, au contact de la source chaude de température T_c . Il est ensuite détendu dans le détendeur.

Par transfert thermique, le fluide reçoit une énergie Q_f de la part de la source froide et Q_c de la part de la source chaude. Le fluide reçoit un travail W de la part du compresseur. Le détendeur est calorifugé et ne présente pas de pièces mobiles.



1. Définir l'efficacité (ou COP pour COefficient de Performance) e de la pompe à chaleur. Préciser le signe des grandeurs algébriques Q_c , Q_f et W .
2. Établir l'expression de e en fonction de T_f et T_c .
3. Calculer e pour $T_f = 13^\circ\text{C}$ et $T_c = 44^\circ\text{C}$. Commenter la valeur obtenue.

TLB6 : Chambre froide (CCS23)

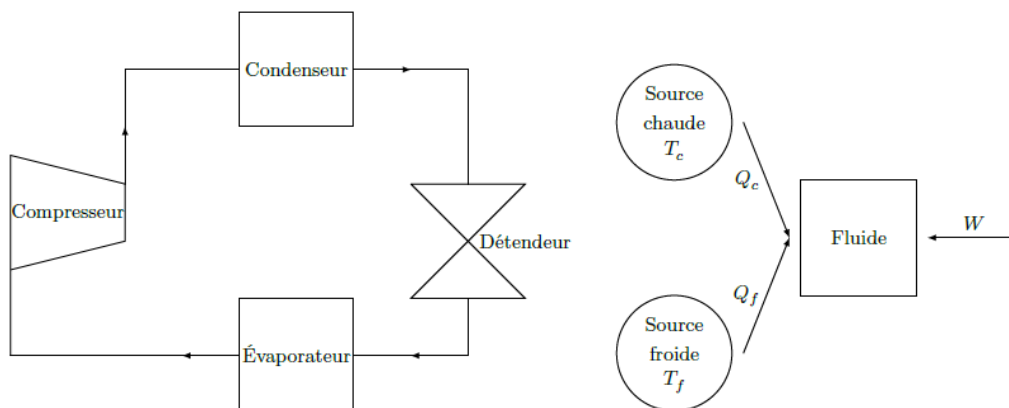
On se propose d'étudier une chambre froide.

Le fluide réfrigérant décrit le cycle thermodynamique présenté ci-dessous.

On modélise la machine frigorifique par une machine ditherme schématisée ci-dessous.

On utilise les notations suivantes :

- Q_c : transfert thermique algébriquement reçu par le fluide au cours d'un cycle de la part de la source chaude à la température T_c ;
- Q_f : transfert thermique algébriquement reçu par le fluide au cours d'un cycle de la part de la source froide à la température T_f ;
- W : travail algébriquement reçu par le fluide au cours d'un cycle de la part de l'extérieur.



1. Au niveau de quel organe de la machine thermique se trouve la chambre froide ? Justifier votre réponse.
2. Préciser en justifiant les signes de Q_c , Q_f et W .
3. Définir l'efficacité e (également appelé COefficient de Performance COP) de la machine frigorifique.

4. Établir l'expression de l'efficacité de Carnot e_C , en fonction de T_c et T_f . Que peut-on dire l'efficacité réelle e par rapport à l'efficacité de Carnot e_C ?
5. Calculer numériquement e_C avec $T_c = 45^\circ\text{C}$ et $T_f = 3^\circ\text{C}$. Interpréter le résultat obtenu.

2 Exercices

Exercice 1 : Réfrigérateur à compresseur (CCINP24)

Le réfrigérateur à compresseur est le réfrigérateur le plus courant dans les cuisines. Comment le reconnaître ? Si votre réfrigérateur fait du bruit de temps en temps, c'est justement à cause du compresseur !

Un réfrigérateur a pour but de refroidir les aliments qu'il contient pour permettre leur conservation. Pour cela, un fluide va décrire un cycle thermodynamique appelé cycle frigorifique. On se propose d'étudier un modèle thermodynamique simple du fonctionnement du réfrigérateur.

On considère une machine frigorifique ditherme cyclique basée sur le principe de fonctionnement suivant : " Un fluide frigorigène circule entre les différents organes de la machine. Mis en mouvement par le compresseur, ce fluide refroidit la source froide et réchauffe la source chaude ".

Un schéma simplifié de ce réfrigérateur est donné figure 1.

On notera Q_f et Q_c les transferts thermiques reçus algébriquement par le fluide de la part, respectivement de la source froide et de la source chaude au cours d'un cycle modèle. On notera W , le travail reçu par le fluide au cours d'un cycle.

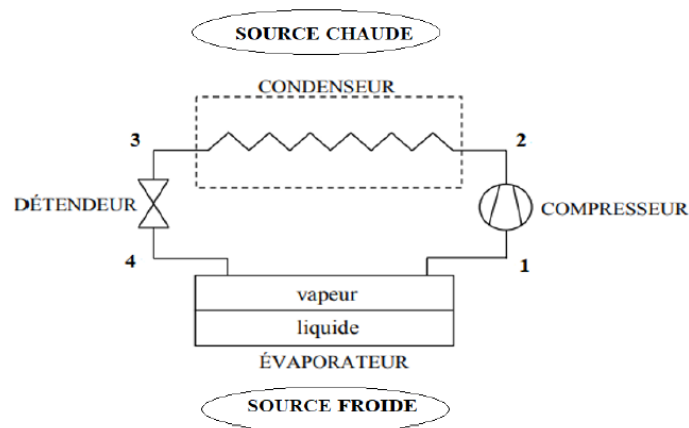


FIGURE 1 – Schéma simplifié du réfrigérateur

1. Donner et justifier les signes des quantités algébriques suivantes : Q_f , Q_c et W .
2. Sachant que le réfrigérateur est installé dans la cuisine, indiquer où se situe la source froide et où se situe la source chaude.

Le condenseur est la série de longs et fins tubes noirs situés généralement sur la face arrière du réfrigérateur.

3. Indiquer si, lorsque le fluide traverse le condenseur, sa température est supérieure, inférieure ou égale à celle de l'air ambiant.

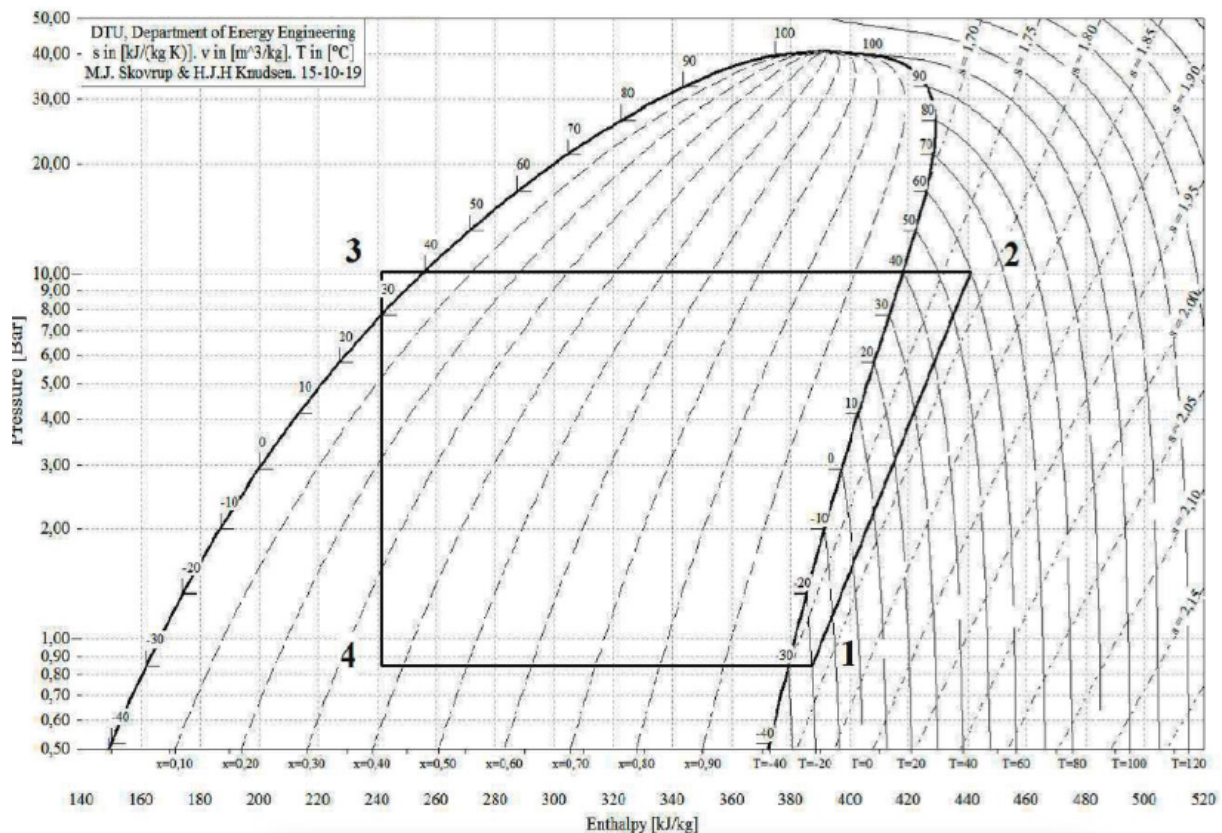


FIGURE 2 – Cycle suivi par le fluide R134a dans le diagramme enthalpique

La figure 2 représente le diagramme enthalpique (pression P en fonction de l'enthalpie massique h) d'un fluide frigorigène (ici le R134a).

Les transformations au cours d'un cycle sont :

- 1 → 2 : compression adiabatique réversible du fluide dans le compresseur calorifugé ;
- 2 → 3 : échange thermique isobare à haute pression P_c dans le condenseur ;
- 3 → 4 : détente isenthalpique dans le détendeur ;
- 4 → 1 : échange thermique isobare à basse pression P_e dans l'évaporateur.

4. En utilisant le diagramme enthalpique ci-dessus, répondre aux questions suivantes.

- a) Donner les valeurs des pressions P_e au sein de l'évaporateur et P_c au sein du condenseur.
- b) Déterminer le titre massique x_v en vapeur au point 4.
- c) Donner la valeur de la température T_2 en sortie du compresseur.

5. Déterminer les transferts thermiques massiques reçus par le fluide de la part de la source froide q_f et de la source chaude q_c , ainsi que le travail indiqué (ou utile) massique w reçu au cours du cycle.

6. Montrer que l'efficacité e_1 de ce réfrigérateur est proche de 3,0.

7. En appliquant les deux principes de la thermodynamique à un cycle réversible, montrer que l'expression de l'efficacité de Carnot pour une machine frigorifique fonctionnant entre une source chaude T_c et une source froide T_f , est donnée par :

$$e_{\text{Carnot}} = \frac{T_f}{T_c - T_f}.$$

8. Donner une valeur numérique approchée de l'efficacité de Carnot du réfrigérateur dans le cas d'une source froide à la température $T_f = 3,0^\circ\text{C}$ et d'une source chaude à la température $T_c = 23^\circ\text{C}$. Comparer à la valeur trouvée pour le cycle précédent. Le résultat de cette comparaison était-il prévisible ? Justifier la réponse apportée.

Du givre peut se former à l'intérieur du réfrigérateur : en effet, l'évaporateur étant très froid, la vapeur d'eau se transforme en fines couches de glace appelée givre.

9. Nommer le changement d'état relatif à cette formation du givre.

Si on laisse s'accumuler une couche de givre, on admet que l'entropie créée S_c augmente pour un même transfert thermique pris à la source froide lors d'un cycle.

10. Montrer que l'on obtient pour un cycle réel la relation suivante : $\frac{Q_c}{Q_f} = -\alpha \frac{T_c}{T_f}$ où α est une constante à préciser en fonction de T_f , Q_f et de S_c . En prenant une valeur de α égale à 1,55, l'efficacité du réfrigérateur est à présent égale à $e_2 = 1,50$.

11. En déduire la surconsommation électrique du réfrigérateur due à la présence de givre. On pourra donner le résultat en pourcentage.

Exercice 2 : Utilisation d'une pompe à chaleur (CCINP17)

L'intérieur d'une maison est chauffé grâce à une pompe à chaleur cyclique di-therme, ce qui permet notamment de compenser les pertes thermiques de la maison.

L'intérieur de la maison tient lieu de source chaude à la température T_0 et l'extérieur de la maison tient lieu de source froide à la température T_1 .

Le système considéré est alors le fluide caloporteur contenu dans la pompe à chaleur. Les transformations qu'il subit sont supposées réversibles.

On suppose pour le moment qu'il n'y a aucune perte thermique entre la maison et l'extérieur.

1. Faire un schéma de principe de la pompe à chaleur en représentant le système fluide, la source chaude, la source froide, le travail W fourni au fluide par le moteur de la pompe à chaleur et les transferts thermiques Q_C et Q_F , reçus algébriquement par le fluide de la part, respectivement, de la source chaude et de la source froide. On précisera le signe de ces transferts algébriques.

2. L'efficacité ϵ d'une pompe à chaleur est donnée par le rapport $\epsilon = \frac{Q_C}{W}$. Justifier cette expression.

3. En appliquant les deux principes de la thermodynamique au fluide, exprimer l'efficacité de la pompe à chaleur en fonction de T_0 et T_1 . Calculer numériquement ϵ .

Le système pris en compte maintenant est l'air contenu à l'intérieur de la maison. On ne considère comme échanges d'énergie que le transfert thermique Q_C apporté par la pompe à chaleur et le transfert thermique Q' dû aux déperditions d'énergies.

On ne considère plus le régime comme stationnaire. On cherche ici à évaluer les pertes thermiques.

On note $\delta Q' = -aC(T - T_1)dt$ le transfert thermique algébrique et élémentaire avec l'extérieur pendant dt , avec C la capacité thermique de la pièce et a une constante positive. La température de la pièce étant initialement T_0 , la pompe est arrêtée. La pièce se refroidit et la température tombe à $T_f = 15^\circ\text{C}$ au bout de 3 heures.

4. Commenter le signe de $\delta Q'$. Qui reçoit effectivement ce transfert thermique ?

5. Déterminer l'unité de a .

6. En faisant un bilan énergétique sur l'intérieur de la maison, la pompe à chaleur étant éteinte, montrer qu'on obtient une équation différentielle du premier ordre sur la température de la forme

$$\frac{dT(t)}{dt} + aT(t) = B,$$

avec B une constante à déterminer.

7. Résoudre cette équation pour exprimer l'évolution de $T(t)$.

8. En déduire l'expression de a . Faire l'application numérique.

Pour la suite, on prendra $a = 10^{-3}$ USI.

Une fois la température T_f atteinte, on met de nouveau en marche la pompe à chaleur.

9. Donner la relation liant la puissance P développée par le moteur de la pompe au travail δW fourni par celui-ci pendant une durée dt .

10. Déterminer la nouvelle équation différentielle portant sur $T(t)$.

On ne cherchera pas à résoudre cette équation différentielle.

Exercice 3 : Le moteur Stirling (CCS22)

Au début du XIX^e siècle, les chaudières des machines à vapeur, soumises à de trop fortes pressions, explosent assez souvent.

Robert Stirling a ainsi imaginé en 1816 un moteur dépourvu de chaudière où la chaleur est apportée de l'extérieur de la machine (moteur à « air chaud »). L'utilisation de ce moteur restera limitée, en particulier en raison de la trop faible puissance des modèles proposés, insuffisante pour concurrencer la machine à vapeur et le moteur à combustion interne.

Le moteur Stirling bénéficie actuellement d'un nouvel intérêt car il présente de nombreux avantages. Il peut utiliser n'importe quelle source d'énergie produisant de la chaleur, combustion de tout matériau mais également énergie solaire, nucléaire, géothermique, etc. Il produit peu de vibrations et est silencieux (pas d'explosion interne ni d'échappement gazeux, absence de valves et soupapes). Grâce à l'utilisation de matériaux modernes qui supportent de grands écarts de température et qui améliorent les transferts thermiques, son rendement est comparable, voire supérieur à celui des moteurs à combustion interne. Son entretien est facile et il s'use moins que les moteurs à explosion.

La conception d'un moteur Stirling est cependant délicate, en raison des gros écarts de température qu'il doit supporter et de la nécessité d'une excellente étanchéité ; son prix reste donc élevé. Par ailleurs, il est difficile de faire varier son régime. Son emploi reste ainsi cantonné à des utilisations de niches : générateur d'électricité en milieux extrêmes, propulseur pour sous-marins, etc. Sa réversibilité conduit à l'utiliser comme pompe à chaleur capable de refroidir à -200°C ou de chauffer à plus de 700°C .

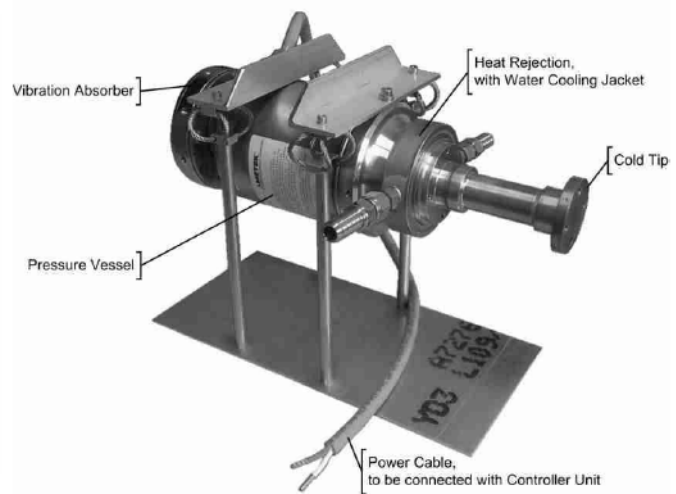
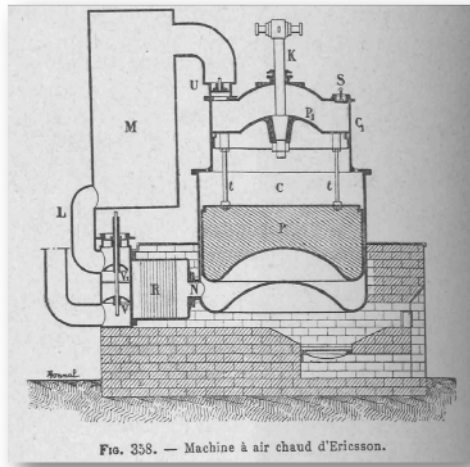


FIGURE 3 – Gravure de 1899 d'un Moteur Ericsson M1851 avec régénérateur type Stirling (Wikipedia) et moteur Stirling de l'entreprise Sunpower fournissant le projet KRUSTY (ResearchGate)

A - Description du moteur

Une enceinte étanche est séparée en deux chambres, une chambre chaude (chauffée par l'extérieur), de volume maximal V_1 , et une chambre froide équipée d'un dissipateur thermique (ailettes), de volume maximal V_2 . Chaque chambre est dotée d'un piston permettant de faire varier son volume et le fluide peut circuler librement d'une chambre à l'autre. Le piston de la chambre froide est le piston de travail, il entraîne le piston de la chambre chaude appelé « déplaceur » car son rôle est de faire circuler le fluide entre les deux chambres. Lors du transvasement, le fluide passe de la chambre chaude à la température T_3 à la chambre froide à la température $T_1 < T_3$ et réciproquement.

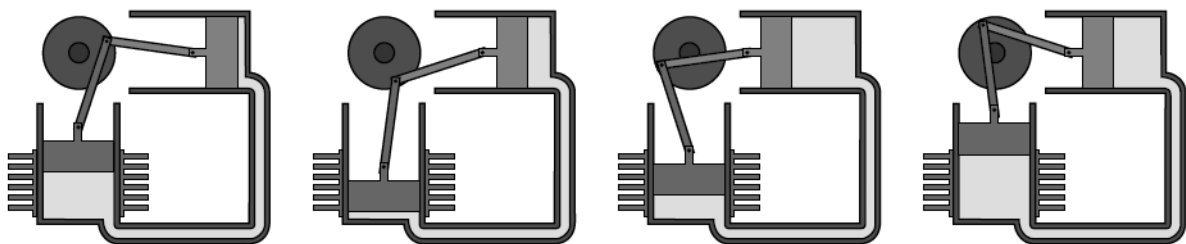


FIGURE 4 – Phases de fonctionnement d'un moteur Stirling de type alpha (d'après Wikipedia)

Le mouvement du gaz peut être décrit par quatre phases plus ou moins distinctes (figure 4) :

- une phase de compression, pendant laquelle le volume de la chambre chaude est minimal, le fluide, entièrement situé dans la zone froide, est comprimé par le piston de travail dans sa course vers le bas ;
- une fois le piston de travail au point mort bas, le déplaceur est ramené à gauche,

- ce qui a pour effet de transvaser le fluide comprimé, qui passe de la zone froide vers la zone chaude et reçoit un transfert thermique de la source externe ;
- une phase de détente, pendant laquelle le fluide se détend dans le volume d'expansion où il continue d'être chauffé. Cette détente a pour effet de repousser le déplaceur et le piston de travail ;
 - une fois que le piston de travail a atteint le point mort haut, le déplaceur est ramené à droite, ce qui a pour effet de transvaser le fluide de la zone chaude (volume d'expansion) vers la zone froide (volume de compression). Au cours de ce transfert, le fluide cède de la chaleur au refroidisseur. Un cycle réel d'un moteur de Stirling est représenté dans le diagramme (p, V) en figure 5 (voir annexe).

1. Justifier que ce cycle est celui d'un moteur.
2. Estimer la valeur du travail fourni par le moteur pendant un cycle.

B – Modélisation du cycle

On étudie le cycle de Stirling idéal. Au cours de celui-ci, n moles de gaz parfait de coefficient adiabatique γ subissent les transformations suivantes :

- une compression (1 → 2) isotherme réversible à la température T_1 ,
- un échauffement (2 → 3) isochore jusqu'à l'état 3 de température T_3 ,
- une détente (3 → 4) isotherme réversible à la température T_3 ,
- un refroidissement (4 → 1) isochore jusqu'à l'état 1.

Il n'y a pas d'autre travail que celui des forces de pression.

3. Représenter sur la figure 5 l'allure du diagramme correspondant au cycle idéal.

On note $r = \frac{V_1}{V_2}$ le rapport de compression entre les volumes fixés par construction. On rappelle que la capacité thermique à volume constant d'un gaz de n moles de gaz parfait vaut $C_V = \frac{nR}{\gamma-1}$ où R est la constante des gaz parfaits.

4. Exprimer W_{12} , le travail reçu par le fluide au cours de la compression, en fonction de n , R , T_1 et r . En déduire le transfert thermique Q_{12} reçu par le fluide au cours de cette compression en fonction de n , R , T_1 et r . Préciser les signes de W_{12} et de Q_{12} .

5. Exprimer Q_{23} , le transfert thermique reçu par le fluide au cours de l'échauffement isochore, en fonction de n , R , T_1 , T_3 et γ . Préciser son signe.

6. Exprimer W_{34} , le travail reçu par le fluide au cours de la détente, en fonction de n , R , T_3 et r . En déduire le transfert thermique Q_{34} reçu par le fluide au cours de cette détente en fonction de n , R , T_3 et r . Préciser les signes de W_{34} et Q_{34} .

7. Exprimer le transfert thermique Q_{41} reçu par le fluide au cours du refroidissement en fonction de n , R , T_1 , T_3 et γ . Préciser son signe.

C - Rendement du moteur

8. Définir puis exprimer le rendement idéal du moteur en fonction de T_1 , T_3 , r et γ .
9. Définir et exprimer le rendement de Carnot en fonction de T_1 et T_3 .

En réalité, le moteur de Stirling utilisé dans le projet KRUSTY contient un régénérateur. Dans ce cas, la chaleur perdue par le gaz lors du refroidissement isochore (4 → 1) est récupérée par le gaz lors du chauffage isochore (2 → 3). Si le régénérateur est idéal, cette récupération est totale.

10. Que devient le rendement du cycle idéal dans ce cas ?

Dans les conclusions du test de la NASA du dispositif KRUSTY réalisé en 2018, les ingénieurs indiquent que l'efficacité des moteurs a évolué pendant l'expérience entre 30% et 50% de l'efficacité de Carnot. De plus, pour les deux moteurs combinés, la puissance électrique obtenue est d'environ 180W.

11. En prenant une température chaude de 640°C et une température froide de 60°C et en supposant la conversion du travail mécanique en travail électrique parfaite, estimer numériquement la puissance thermique fournie par la source chaude aux deux moteurs de Stirling combinés.

Annexe

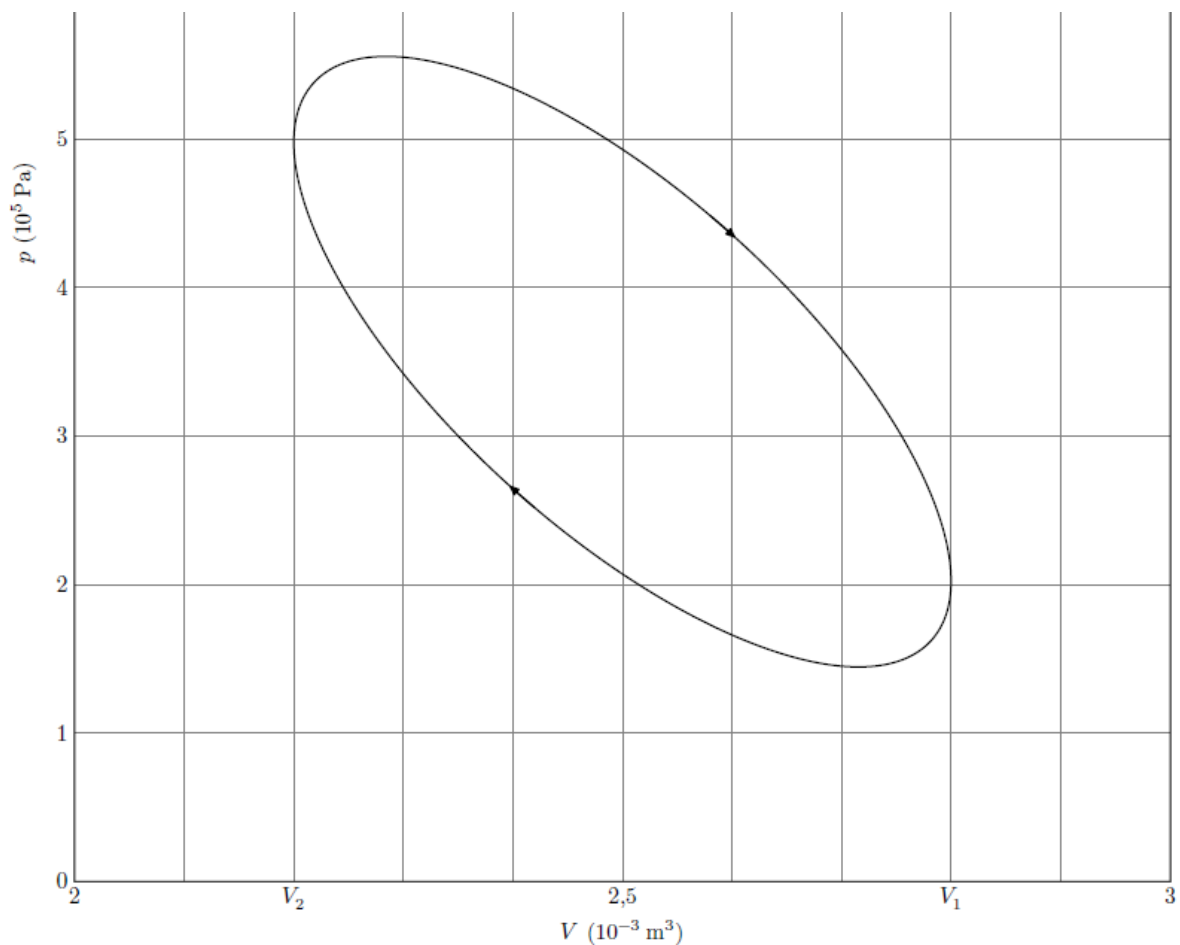


FIGURE 5 – Allure du cycle réel d'un moteur Stirling dans le diagramme (p, V)

Exercice 4 : Chauffe-eau thermodynamique (CCINP21)

On s'intéresse à la pompe à chaleur d'un chauffe-eau thermodynamique schématisé sur la figure 6.

Cette pompe à chaleur est située dans une pièce dont l'air environnant est à la température $T_a = 280\text{K}$ ($\theta_a = 7^\circ\text{C}$) que l'on suppose constante. Elle est destinée à maintenir l'eau du chauffe-eau à la température $T_{e2} = 338\text{K}$ ($\theta_{e2} = 65^\circ\text{C}$) en prélevant de l'énergie

thermique à l'air environnant, grâce à un fluide frigorigène qui circule en circuit fermé dans la machine.

On suppose que la pompe à chaleur fonctionne de manière réversible selon un cycle de Carnot.

Au cours d'un cycle, on note W le travail reçu par le fluide de la part du compresseur, Q_f le transfert thermique reçu par le fluide de la part de la source froide et Q_c le transfert thermique reçu par le fluide de la part de la source chaude. On désigne par T_c la température de la source chaude et T_f la température de la source froide.

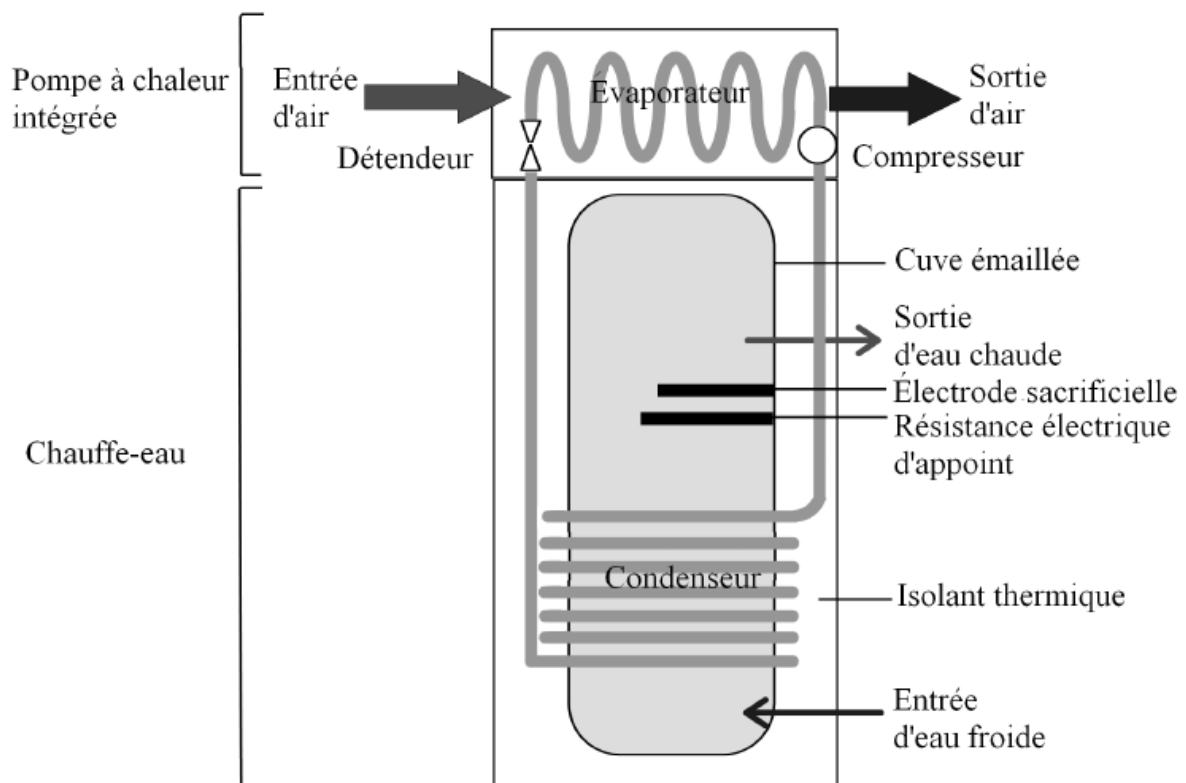


FIGURE 6 – Schéma descriptif d'un chauffe-eau thermodynamique

1. Rappeler le schéma de principe d'une pompe à chaleur ditherme et préciser le signe des échanges d'énergie W , Q_f et Q_c .
2. Quel élément joue le rôle de source froide et quel élément joue le rôle de source chaude ?

On rappelle que le cycle de Carnot se compose de deux transformations isothermes aux températures T_c et T_f et de deux transformations adiabatiques réversibles.

3. Définir une transformation isotherme et une transformation adiabatique.
4. Schématiser ce cycle en diagramme de Clapeyron (P,v). Justifier le sens du cycle.
5. Appliquer le premier principe de la thermodynamique au fluide au cours d'un cycle réversible.
6. Appliquer le deuxième principe de la thermodynamique au fluide au cours d'un cycle réversible.

7. Définir le coefficient de performance (ou efficacité) d'une pompe à chaleur.
8. En déduire l'expression du coefficient de performance maximal COP_{max} en fonction de T_c et T_f .
9. Effectuer l'application numérique.
10. Dans ces conditions d'utilisation ($T_a = 280K$ et $T_{e2} = 338K$), le constructeur annonce un $COP = 3,6$. Pour quelle raison est-il différent du COP_{max} ?
11. Commenter la recommandation suivante du constructeur : "le chauffe-eau thermodynamique trouvera sa place dans une pièce de la maison dont la température n'est pas trop faible notamment en hiver, comme un cellier ou une lingerie."

3 Résolution de problèmes :

RP1 : Coût de fonctionnement d'un frigo

Vous achetez six bouteilles de 1 L de jus de fruit que vous rangez dans votre réfrigérateur. Une heure plus tard, elles sont à la température du frigo.

Combien vous coûte ce refroidissement ?

Données :

- ▷ L'efficacité du réfrigérateur vaut 30% de l'efficacité de Carnot ;
- ▷ l'isolation imparfaite du réfrigérateur se traduit par des fuites thermiques de puissance 10W ;
- ▷ capacité thermique massique de l'eau liquide : $4,2 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$;
- ▷ tarifs EDF mai 2026 : 1 kWh coûte 17 cts.

RP2 : Pompe à chaleur

Une maison est chauffée à 21°C par une pompe à chaleur. La température extérieure est de 0°C .

Calculer la variation relative de puissance consommée si on accepte de chauffer à une température de 19°C .

RP3 : Moteur de Carnot

Pour augmenter au maximum le rendement d'un moteur de Carnot, vaut-il mieux diminuer la température de la source froide de 10°C ou augmenter celle de la source chaude de 10°C ?