

LP 27- Machines Thermiques

Niveau: L1

Perequis

- * Premier principe
- * Second principe
- * changement d'états
- * Diagramme d'Andrews
- * Fonction d'état
- * Types de transformation (adiabatique, réversible)
- * Thermostat
- * Diagramme P-V : P-h, T-S

Bibliographie

- * Physique tout en un PCSI
- * H Prepa theme



Experience: machine thermique $\Rightarrow$ efficacité
moteur Stirling

Introduction Pédagogique

- * Ce cours se place au niveau L_1 , à la fin de la partie sur la thermodynamique
- * On va réutiliser une grande partie de ce qu'ils ont vu en thermo
- * On supposera donc que les élèves maîtrisent le premier et le second principe de la thermo, les différents types de transformations, ainsi que les différents diagrammes vus dans les cours précédents (pV; pT; TS)
- * Pour comprendre que sur un cycle la variation d'énergie est nulle, il faudra que les élèves soient familiarisés avec la notion de fonction d'état
- * Dans ce cours on fait le choix de partir du début et d'utiliser les principes thermodynamiques pour bien montrer les différents cas, ainsi que ce que la thermodynamique interdit
- * La difficulté de ce cours sera avant tout de comprendre dans quel sens se font les transferts.
- * Par conséquent on a fait le choix de projeter peu de choses, mais de faire plusieurs dessins et schémas pas à pas pour faciliter la compréhension des élèves
- * On fait le choix de parler de machine frigorifique car elle est la plus familière pour les élèves, et même si on ne se servira pas directement dans ce cours des diagrammes que l'on va tracer, on les introduit pour faciliter la compréhension et permettre à l'élève d'avoir une démarche systématique dans l'étude des machines thermiques. Et aussi leur montrer comment les combiner
- * En effet on s'en servira en TD pour déterminer des efficacités à partir des diagrammes
- * On verra aussi des cycles réels en TD comme celui du moteur diesel
- * En TP il manipulerait la machine qu'on va présenter dans ce cours pour qu'il identifie là où sont les pertes et essayent de l'augmenter.
- * Etude de cas

Introduction

- * Une machine thermique c'est un système qui peut échanger du travail et de l'énergie thermique avec l'extérieur et convertir de l'énergie
- * On va se resservir des principes qu'on a vu dans les cours précédents sur les transferts d'énergies par les étudiants.
- * Mais pourquoi est-ce qu'on les étudie ?
- * Il y en a partout autour de nous
 - réfrigérateur
 - Voiture
 - Radiateur
- * Il y en a une ici juste à côté de moi, je vais la mettre en fonctionnement tout de suite, mais on reviendra dessus plus tard. 

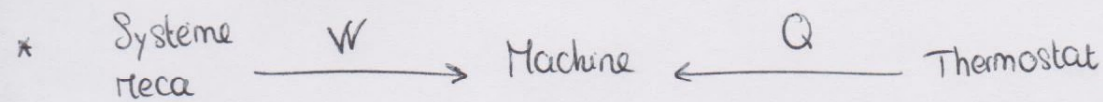
Objectif : Comprendre comment fonctionne une machine thermique, la nature des échanges mis en jeu, et savoir calculer une efficacité.

Transition : On va déjà voir pourquoi thermodynamique on peut avoir des machines thermiques.

I - Etude thermodynamique

A. Machine monotherme

* Une machine monotherme c'est une machine pour laquelle il n'y a qu'un seul thermostat.



* Il faut noter qu'on considère toujours les travaux et les échanges reçus par le système.

↳ c'est le signe qui nous dit si en réalité il reçoit ou fournit

* Une machine thermique a pour propriété de fonctionner de façon cyclique

↳ on revient au point de départ : comme U est une fonction d'état on a

⇒ sur un cycle $\Delta U = 0 = W + Q$

* Mais maintenant si on rajoute le 2nd principe qui lui va nous donner l'évolution

$$\Delta S = S_e + S_c = 0 \quad \text{or } S_c > 0 \quad \text{donc} \quad S_e = \frac{Q}{T} < 0$$

* Ainsi on a $Q < 0$ et $W > 0$

↳ La machine reçoit du travail, et fournit un transfert thermique

↳ c'est un radiateur

* Mais en introduction j'ai parlé de moteur, ça a l'air impossible ici

* Si j'essaye de lancer mon moteur Stirling rien ne se passe

Transition : Que se passe-t-il si j'ajoute un second thermostat.

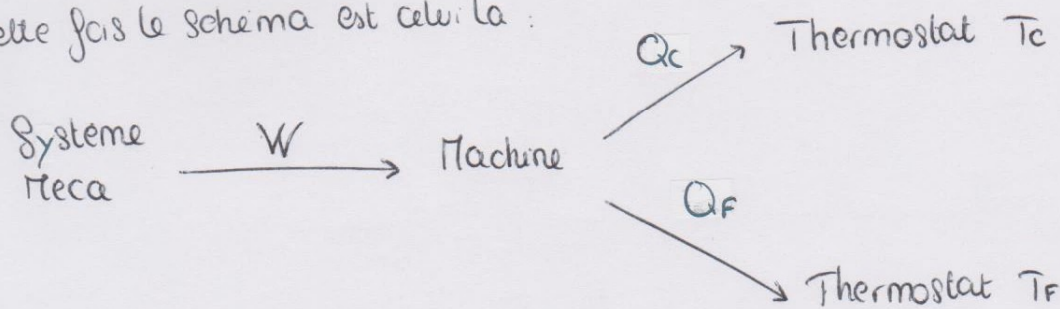
↳ Faire chauffer le moteur

B. Machine diatherme

- * Cette fois une machine diatherme possède deux thermostats, et ça change tout
- * Par mon moteur j'ai ajouté une source chaude ici avec la flamme

↳ Lancer le moteur : cette fois ça fonctionne

- * Cette fois le schéma est celui là :



- * On a toujours en fonctionnement cyclique

$$\Rightarrow \Delta U = 0 = W + Q_c + Q_f$$

$$\Delta S = 0 = S_c + S_f$$

$$\Rightarrow S_c > 0$$

donc

$$S_c = \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} < 0$$

inégalité de Clausius

- * On a égalité donc le cas irréel ou on a un fonctionnement réversible

- * On peut ainsi tracer en diagramme qu'on appelle diagramme de riveau proje

- A droite de la droite $Q_c + Q_f = 0$ on a $W < 0$: moteur
- A droite de la droite $Q_c/T_c + Q_f/T_f = 0$ on a $S_c < 0$: impossible

⇒ On voit apparaître 4 domaines

- Domaine I : $Q_c > 0$; $Q_f < 0$; $W < 0$: moteur : c'est le moteur Stirling
- Domaine II : $Q_c > 0$; $Q_f < 0$; $W > 0$: permet de chauffer froid en prenant du chaud grâce à un travail : peu d'intérêt, à part cinétique
- Domaine III : $Q_c < 0$; $Q_f < 0$; $W > 0$: c'est un radiateur qui chauffe tout : peu d'intérêt
- Domaine IV : $Q_c < 0$; $Q_f > 0$; $W > 0$: reçoit travail pour faire transfert non naturel
↳ refroidir le froid et chauffer le chaud

Transition : On a vu un moteur avec le moteur, avec le Stirling, l'autre intérêt est

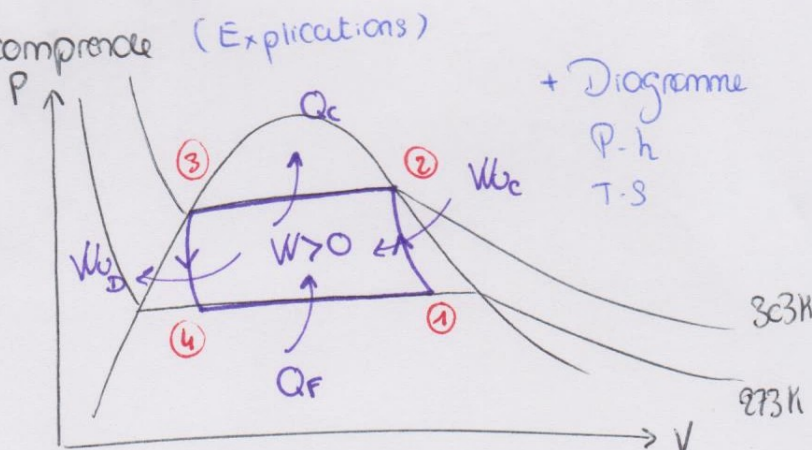
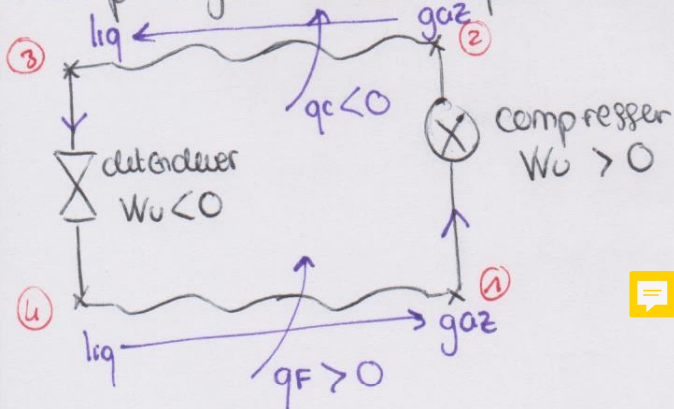
surtout le domaine IV : on va voir des exemples.

II - Etude d'une machine frigorifique

A - Etude des échanges

- * Une machine frigorifique qu'est-ce que c'est ? Un frigo tout simplement.
- * Le système reçoit en travail par faire du froid dans le frigo, et donc il faut du chaud en dehors.
- * Dans un frigo on a souvent un fluide qui effectue des cycles, et il y a beaucoup d'énergie échangée pendant les changements d'état.
- * Dans un frigo on a :
 - Un compresseur : $W_{uc} > 0$ (adiabatique)
 - Un détendeur : $W_{ud} < 0$ (adiabatique)
 - Un évaporateur : $Q_F > 0$ (passage liq $\rightarrow$ gaz)
 - Un condenseur : $Q_c < 0$ (passage gaz $\rightarrow$ liq)

* On peut faire un dessin pour mieux comprendre (Explications)



* Et pour bien comprendre dans quel état est le fluide on trace un diagramme d'Andrews

Transition Maintenant qu'on a bien compris comment étaient orientés les transferts énergétiques, ce qui nous intéresse c'est de déterminer l'efficacité de la machine.

B. Efficacité de la machine

* On définit l'efficacité comme étant l'énergie utile sur celle consommée :

$$e = \frac{\text{utile}}{\text{conso}} = \frac{Q_F}{W} = \frac{-Q_F}{Q_F + Q_C} = \frac{-1}{1 + \frac{Q_C}{Q_F}} \leq \frac{-1}{1 - \frac{T_C}{T_F}} = \frac{T_F}{T_C - T_F}$$

Or $\Delta U = W + Q_F + Q_C = 0$

Or $S_e = \frac{Q_C}{T_C} + \frac{Q_F}{T_F} \leq 0 \Leftrightarrow \frac{Q_C}{Q_F} \leq -\frac{T_C}{T_F}$

* Par notre machine : qui est ce genre de machine

Mesure P avec Wattmètre

Mesure T_C et T_F avec Thermocouple

$$e_{rev} = \frac{T_F}{T_C - T_F} =$$

$$e_{real} = \frac{Q_F}{P/\Delta t} = \frac{m_{eau} \cdot c_{eau} \cdot \Delta T}{P/\Delta t} =$$

* On peut voir qu'il y a une énorme différence entre le cas irréversible et le cas réversible

* le constructeur donne $e =$

* On a des pertes parce que les bords ne sont pas calorifugés.

↳ On peut calculer les pertes

dans notre $Q_F =$

cas sans perte $Q_F = e \times P/\Delta t =$

Conclusion : le fait de tracer des diagrammes peut nous permettre de faire l'étude avec des abacs (projo) $\Rightarrow$ on a directement les variations d'énergie

* On a vu ce qu'était une machine thermique, et comment on pouvait utiliser les 2 principes thermo par trouver des informations

* Il nous faut par go d'abord bien comprendre le système par savoir dans quel sens sont les échanges