

COMPTE RENDU DE LEÇON DE PHYSIQUE
-
PRÉPARATION À L'AGRÉGATION DE PHYSIQUE DE L'ENS
PARIS-SACLAY

BENHAMOU-BUI Benjamin
PLO Juliette

Machines thermiques réelles

Présenté par Juliette

Table des matières

1	Introduction	2
2	Plan	2
2.1	Généralités sur les machines thermiques	2
2.1.1	Définition/Rappels	2
2.1.2	Machine monotherme	3
2.1.3	Machine ditherme	3
2.2	Le moteur à explosion interne	4
2.2.1	Principe	4
2.2.2	Calcul du rendement	4
2.3	Le réfrigérateur	5
2.3.1	Diagramme des frigoristes	5
2.3.2	Principe du réfrigérateur	5
2.3.3	Efficacité du réfrigérateur	5
2.4	Conclusion	6
3	Questions/Remarques	6

1 Introduction

Niveau : L1 ou CPGE (1ère année)

Pré-requis :

- Grandeurs thermodynamiques (énergie interne, entropie, enthalpie, etc)
- 1er et 2nd principes de la Thermodynamiques
- Convention sur les signes de W et Q
- Gaz parfait
- Loi de Laplace
- 1er principe industriel (pour un fluide en écoulement)

Intro : manip introductive d'un moteur stirling placé sur une tasse d'eau chaude \rightarrow mise en mouvement du moteur \rightarrow comment ça se fait ?

1ère approche : on identifie une source de chaleur, l'eau chaude de la tasse. Cette dernière transfère de l'énergie à l'air (du moteur stirling) compris dans le compartiment et par le biais du piston, on récupère du travail.

On va maintenant tenter de formaliser tout ce que l'on vient de dire.

2 Plan

2.1 Généralités sur les machines thermiques

2.1.1 Définition/Rappels

def machine thermique : mécanisme faisant subir à un fluide des transfo successives cycliques au cours desquelles ce dernier échange de l'énergie avec l'extérieur (travail et chaleur).

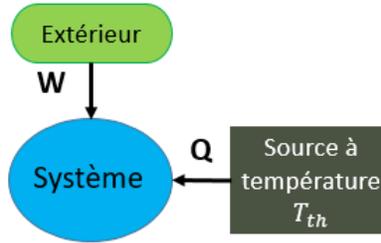
Systeme : {fluide}

- 1er principe : $\Delta U_{cycle} = W_{tot} + Q_{tot} \Rightarrow \boxed{0 = W_{tot} + Q_{tot}}$ car U fct d'état
- 2nd principe : $\Delta S_{cycle} = S_{cree} + S_{ech} \Rightarrow \boxed{0 = S_{cree} + S_{ech}}$ car S fct d'état aussi.

avec $\boxed{S_{ech} = \sum \frac{Q_i}{T_i}}$ à condition d'avoir des thermostats (température constante)

Transition : retour sur le moteur Stirling, on a observé qu'il y avait un transfert thermique entre l'air du moteur et l'eau de la tasse, c'est donc un système au contact d'un thermostat \rightarrow def machine monotherme

2.1.2 Machine monotherme

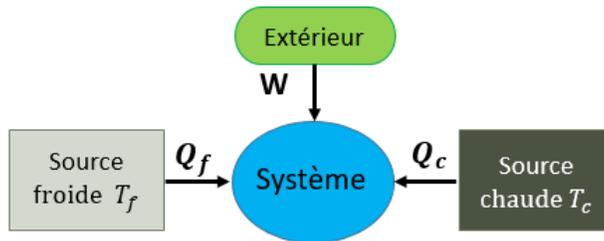


On écrit 1er et 2nd principes. Comme $S_{cree} \geq 0$, on a $Q \leq 0$ et donc $W \geq 0 \Rightarrow$ le système reçoit du travail.

Une machine monotherme fonctionne obligatoirement en mode récepteur.

Transition : nous devons donc revoir nos observations concernant le moteur Stirling puisqu'on ne peut pas expliquer son fonctionnement avec le modèle de la machine monotherme. Il existe en fait une seconde source de chaleur, la pièce à température ambiante \rightarrow def machine ditherme

2.1.3 Machine ditherme



Les 1er et 2nd principes appliqués au système sur un cycle donnent :

$$\begin{cases} W + Q_f + Q_c = 0 \\ \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} \leq 0 \text{ avec } T_c > T_f \end{cases}$$

\rightarrow 2 régimes existent pour une machine ditherme

-Moteur : définition + $W < 0, Q_f < 0, Q_c > 0$

Comment se font les transferts? def rendement :

$$\rho = \left| \frac{\text{energie utile}}{\text{energie consommee}} \right| \Rightarrow \rho = \frac{-W}{Q_c}$$

Si cycle réversible, $\rho = \rho_c =$ rendement de Carnot=rendement max qu'on peut avoir pour le moteur considéré.

$$\rho_{c,moteur} = 1 - \frac{T_f}{T_c}$$

-Récepteur : définition + $W > 0, Q_f > 0, Q_c < 0$

Comment se font les transferts encore une fois? def efficacité :

$$e = \left| \frac{\text{energie utile}}{\text{energie consommee}} \right|$$

Rq : on peut avoir $e > 1$.

Si cycle réversible, $e = e_c = \text{efficacité de Carnot} = \text{efficacité max}$ qu'on peut avoir pour le récepteur considéré.

Exemple : frigo $e = \frac{Q_f}{W}$ et $e_{c,frigo} = \frac{T_f}{T_c - T_f}$

2.2 Le moteur à explosion interne

2.2.1 Principe

→ slide : coupe du moteur + vidéo fonctionnement + cycle réel + modélisation : cycle Diesel

Système : {mélange air+gazole contenu dans un cylindre}

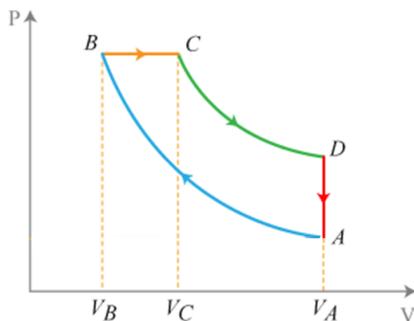
Cycle à 6 étapes sans changements d'état.

Pour les étapes de A à D, on a un système fermé. De B à C explosion du mélange, source de chaleur grâce à la combustion.

→ slide : construction du cycle Diesel étape par étape avec vidéo à l'appui (cf diapo)

2.2.2 Calcul du rendement

Cette partie fait office de petit exercice mettant en application le 1er principe et les lois de Laplace. J'ai étudié chaque étape du cycle ci-dessous en exprimant à chaque fois W et Q , dans l'optique de calculer ρ .



Données : $\{P_A, T_A, V_A, T_B, V_C, V_D\}$ (cf diapo)

On cherche $\rho = \frac{-W_{cycle}}{Q_c}$

On trouve finalement $W_{cycle} = -19,3 \text{ kJ} < 0$ (OUF! on a bien un moteur) et $Q_{chaud} = Q_{B \rightarrow C} = 42,3 \text{ kJ} \rightarrow \rho = 0,46$. Dans la littérature on trouve $\rho_{c,moteur} \simeq 0,8$. On a $\rho < \rho_c$. Cet écart vient avant tout de la modélisation, puis des sources d'irréversibilité.

ATTENTION A revoir! Enlever peut-être l'étape du calcul du rendement qui est longue et pas très intéressante, pour se concentrer plutôt sur la modélisation et faire une description plus

détaillée de ce qu'il se passe dans le cycle.

Transition : le moteur à combustion interne est une machine ditherme fonctionnant en régime moteur, ne faisant pas intervenir de changements d'état. On va désormais s'intéresser à une machine ditherme qui fonctionne en régime récepteur et qui en plus fait intervenir des changements d'état. De plus, on va utiliser un outil puissant qui nous permet de ne pas faire de calculs monstrueux pour trouver une efficacité.

2.3 Le réfrigérateur

2.3.1 Diagramme des frigoristes

→ slide : description du diagramme avec les différentes phases, isenthalpe, isobare, isotherme, isentrope (cf diapo)

2.3.2 Principe du réfrigérateur

→ slide : arrière du frigo + cycle + les 4 étapes sur le diagramme enthalpique

Système étudié : { fluide caloporteur R134a }

Cycle à 4 étapes avec changements d'état.

Source froide : intérieur du frigo à $T_f=263K$

Source chaude : cuisine à $T_c=298K$

2.3.3 Efficacité du réfrigérateur

On cherche $e = \frac{q_f}{w}$ grandeurs massiques (kJ/kg)

→ slide : on identifie quelles étapes correspondent à l'échange d'énergie sous forme w et q_f .

w : dans le compresseur de $A \rightarrow B$

q_f : dans l'évaporateur de $D \rightarrow A$

de A \rightarrow B Compression adiabatique réversible

1er principe industriel appliqué au fluide caloporteur : $\Delta h_{A \rightarrow B} = w_{A \rightarrow B} = w \Rightarrow \boxed{w = h_B - h_A}$

→ slide : sur la diagramme on lit h_B et h_A , on en déduit $w = 50kJ/kg > 0$

de D \rightarrow A Vaporisation partielle isobare

$\Delta h_{D \rightarrow A} = q_{D \rightarrow A} = q_f \Rightarrow \boxed{q_f = h_A - h_D}$

→ slide : sur la diagramme on lit h_A et h_D , on en déduit $q_f = 125kJ/kg > 0$

Finalement $e_{reel}=2,5$. On calcule $e_c = \frac{T_f}{T_c - T_f}=7,5$. On a à nouveau un écart du réel au modèle, on a pas vraiment des sources discrètes de température puis on a des sources d'irréversibilité (dans le détendeur surement).

2.4 Conclusion

On a réinvesti les connaissances de thermodynamique vues jusqu'ici pour arriver à décrire des machines qui nous entourent et qui sont très utilisées au quotidien.

3 Questions/Remarques

- explication du moteur Stirling utilisé avec la tasse ?
- pourquoi il ne démarre pas tout seul ? trop de frottements et pas assez de travail récupéré.
- il existe une autre catégorie que moteur ou récepteur ? les circuits de refroidissement
- pourquoi on différencie efficacité et rendement ? pour le moteur, on a l'habitude de dire rendement et en plus, avec l'expression de Carnot, on voit que $\rho \leq 1$. Alors que pour un récepteur, on peut avoir $e \geq 1$.
- dans l'exercice du moteur à combustion, on a pris $\gamma = \frac{7}{5}$, pourquoi ? on assimile le système à un gaz diatomique.
- ça signifie quoi fluide caloporteur ? fluide qui porte la chaleur
- caractéristique d'un bon fluide caloporteur ? C_V grand
- terme condenseur correct dans le frigo ? pas vraiment car il se passe une liquéfaction (abus de langage en considérant que c'est une condensation)
- ATTENTION ! ne pas dire échange de chaleur. Par définition chaleur = transfert déjà (en particulier d'énergie) !

Biblio conseillée par le correcteur : livre de Stephane Olivier