

**Titre :** Machines thermique

**Présentée par :** Alfred Hammond

**Rapport écrit par :** Léa Chibani

**Correcteur :** Stéphane Fauve

**Date :** 04/02/2020

**Bibliographie de la leçon :**

Titre	Auteurs	Éditeur	Année
Dunod PC/PC*			
Dunod PCSI			
BUP 832 « le réfrigérateur »			
Super manuel de physique PSCI/MPSI/PTSI			

**Plan détaillé**

**Niveau :** CPGE

**Prérequis :** 1<sup>er</sup>/2<sup>nd</sup> principes thermodynamiques  
1<sup>er</sup> principe en écoulement  
Loi de la conduction

**Bibliographie :** BUP 832/Dunod PC/PC\*

## Introduction :

\*1845 : expérience de Joules → on peut transformer du travail en chaleur

\*Peut-on récupérer du travail à partir de transfert thermique ?

\*Peut-on réaliser des transferts thermiques interdits par le 2<sup>nd</sup> principe

→ Oui grâce à des machines thermiques

**\*Définition machine thermique : dispositif fonctionnant dans lequel un fluide échange de l'énergie par transfert thermique et travail**

\*Historiquement : introduction des premières machines thermiques

\* Watt → révolution industrielle du 19<sup>ème</sup> siècle

\*20<sup>ème</sup> siècle Carnot : améliorer les rendements des machines thermiques

\*Beaux Rochas : moteur cycle voiture

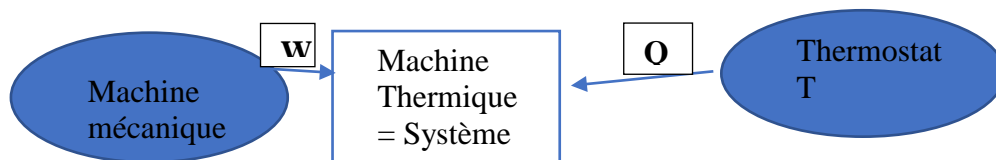
→ Etudions les :

2min40

## I-Théorie des machines thermiques

### A) Machine monotherme

-Position du problème : schéma machine monotherme



-Sur un cycle : application 1<sup>er</sup> et 2<sup>nd</sup> principe

**Transition → on ne peut pas avoir une machine moteur monotherme car la machine thermique ne peut que recevoir du travail et échanger de la chaleur**

4min20

### B) Machine ditherme

-Position du problème : schéma avec deux thermostats

-Application du 1<sup>er</sup>/2<sup>nd</sup> principe : Selon le signe de  $Q_c/Q_f$  on a différentes machines grâce à un diagramme de Raveau 5min 54

-Diagramme de Raveau :

-le faire en live

-placer le travail  $W < 0$  /  $W > 0$  en expliquant

-placer l'entropie créée  $> 0$  et  $< 0$

-commenter : diviser en zones → pompe à chaleur/moteur/équilibre thermique/radiateur  
zone 2 et 3 pas intéressantes

→ On s'intéresse qu'aux moteurs et pompe à chaleur pour caractériser ses machines : on définit le rendement et l'efficacité.

### C) Rendement et efficacité

-définition du rendement générale :  $r = \frac{\text{énergie récupérée}}{\text{énergie coûteuse}}$ .

-Moteur :

expression **totale**  $\rightarrow r = 1 - \frac{T_f}{T_c} - \frac{Sc \cdot T_f}{Q_c} < R_c$

-rendement maximum = rendement de Carnot =  $R_c \rightarrow$  fonctionnement réversible

-En fait cela implique que le rendement maximal est obtenu pour une machine qui effectue deux isothermes ( $T_c$  et  $T_f$ ) et deux adiabatiques  $\rightarrow$  faire le diagramme (T,S)  $\rightarrow$  sens horaire pour un moteur. En fait pour une pompe à chaleur on parcourt le cycle en sens inverse

-Pompe à chaleur :

Expression de l'efficacité

15min

**$\rightarrow$  Est-ce intéressant d'avoir une machine avec un cycle réversible ? puisqu'une machine thermique doit fournir beaucoup de puissance**

## II-Du moteur réversible vers le moteur réel

### A) Moteur de Carnot réel

-Pour comprendre, on étudie le moteur de Carnot  $\rightarrow$  faire le diagramme P,V pour Carnot

-En fait ce moteur n'est pas réellement celui que l'on a dans une machine thermique

-On a un nouveau diagramme PV slide avec  $T_c'$  et  $T_f'$  température **du fluide calorifique**

16min40

### B) Puissance et réversibilité

-Quelle est la puissance récupérée sur un cycle ?

-Conduction thermique : il faut une différence de température entre le thermostat et le fluide calorifique

-Définition de  $Q_c'$  et  $Q_f'$

-Calcul de la puissance

-Si  $T_c = T_c' \rightarrow P = 0$  le cycle est réversible

-Si  $T_c - T_c'$  est grand  $\rightarrow P$  est grand donc  $\rightarrow$  Maximiser la puissance : il faut une grande différence de température

**$\rightarrow$  Puissance fournie à la machine thermique est nulle pour une machine en fonctionnement réversible.**

**Etudions un moteur réel  $\rightarrow$  pas composé de deux adiabatiques réversibles + 2 isothermes : 22min**

### C) Moteur réel

-On donne deux exemples de moteurs réels :

-**cycle de Rankine** : (2 isobares/2 adiabatiques) (centrale thermique)  $T_f = 300K$ ,  $T_c = 600K$  et  $r_c = 0,5$   
VS  $r = 0,3$

-**cycle de Beau de Rochas** (2 isochores et 2 adiabatiques)  $T_f = 300K$ ,  $T_c = 3000K$   
 $R_c = 0,9$  et  $r_{réel} = 35\%$

**$\rightarrow$  On arrive pas bien à modéliser les cycles réels avec des équations donc on utilise des diagrammes**

27min

## III-Etude d'une machine réelle : le réfrigérateur

### A) Conception et choix du fluide caloporteur

-Position du problème et schéma

**-But = refroidir la source froide. Comment faire ?**

-On utilise des changements d'états du fluide ; POURQUOI ? car plus rentable énergétiquement:

-ex l'eau pour augmenter température de  $1^\circ C$

-Evaporation à T quelconque  $\rightarrow c_m = 4,18KJ.K^{-1}.kg^{-1}$  consomme moins d'énergie

-Evaporation à  $100^{\circ}\text{C} \rightarrow L_{\text{vap}} 2,26^{\circ}3 \text{ kJ} \rightarrow$  consomme plus d'énergie et donc refroidit mieux la source froide

-Or il faut un fluide qui puisse se vaporiser à  $T < T_{-10^{\circ}\text{C}} \rightarrow$  considération sur le fluide **R134a**

-Ce fluide effectue un cycle dont les organes sont :

-Construction du cycle au tableau

-Compresseur 1 $\rightarrow$ 2 gaz pur à  $-15^{\circ}\text{C}$  compression adiabatique

-Condenseur 2 $\rightarrow$ 3 condensateur isobare  $\rightarrow$  on a un liquide pur **chaleur libérée par le fluide**

-Détendeur 3 $\rightarrow$ 4 détente isenthalpique de Joule-Thomson

-4  $\rightarrow$  le fluide est binaire liquide-vapeur

-Evaporateur 4 $\rightarrow$ 1 évaporation isobare **chaleur consommée par le fluide**

-Utilisation du logiciel Coolpack

-L'expliquer sur le diapo !!

39min

### B) Rendement et diagramme des frigoristes

-Utilisation du premier principe en écoulement

-Définition de l'efficacité  $e = 153/28,9 = 5,4$

**Conclusion : irréversibilité nécessaire pour avoir puissance non nulle/ utilité des diagrammes des frigoristes.**

**43,35min.**

## Questions posées par l'enseignant

### Questions :

1) Beau de Rochas s'applique aussi au Diesel ? Non car 2 adiabatiques ; une isochore et une isotherme  $\rightarrow$  que pour moteur à essence 4 temps

2) (le prof revient sur le premier principe en écoulement car mal lu)

3) Définition de l'efficacité  $e = q_f/w \rightarrow$  à quoi correspond le  $w$  ?  $w$  utile de l'organe que l'on étudie

4) Pourquoi c'est mieux d'utiliser un radiateur plutôt qu'une résistance par effet Joule ?

Si on achète une résistance et qu'on débite du courant  $\rightarrow$  conversion travail en chaleur

Avec un radiateur : Efficacité  $> 1$  donc avec un très faible écart en température on a une super efficacité en fournissant un travail assez faible  $\rightarrow$  plus rentable

5) On a du fuel que l'on peut seulement brûler  $\rightarrow Q_1$ . Est-ce que c'est plus rentable pour fabriquer un moteur et fournir  $W$  pour faire tourner pompe à chaleur ? (**Voir schéma**)

**En conclusion  $\rightarrow$  Plus la source froide est froide et plus la source chaude est chaude mieux c'est ! On crée du travail pour le reconsommer tout de suite.**

Commentaires :

Très bonne leçon, il faut essayer de gagner du temps afin de terminer en 40min

**Commentaires donnés par l'enseignant**

**Partie réservée au correcteur**

### **Avis général sur la leçon (plan, contenu, etc.)**

Plan approprié, très bonne leçon dans l'ensemble.

Le cycle Diesel est différent du cycle Beau de Rochas (adiabatique, isobare, adiabatique et isochore pour le cycle Diesel)

### **Notions fondamentales à aborder, secondaires, délicates**

Rappeler clairement comment la contrainte sur l'entropie limite le rendement.

Expliquer quelles sont les sources possibles d'irréversibilité.

Expliquer pourquoi il est avantageux d'utiliser un système impliquant une transition liquide-vapeur (machine à vapeur, réfrigérateur)

Dans sa version simple, le rendement de Curzon et Alhborn est un calcul rapide qui permet une discussion intéressante de l'effet de l'irréversibilité.

Savoir justifier les calculs dans le cas de transformations non réversibles.

Savoir expliquer pourquoi l'on peut calculer le rendement d'un cycle de Beau de Rochas ou Diesel sans avoir à connaître les caractéristiques des transformations chimiques qui sont en jeu.

### **Expériences possibles (en particulier pour l'agrégation docteur)**

Machine de Stirling à condition d'avoir bien compris pourquoi le rendement limite est celui de Carnot alors que cycle de Carnot est le seul cycle réversible d'itherme.

On peut aussi utiliser un élément Peltier pour illustrer le fonctionnement en générateur ou en réfrigérateur. Les sources d'irréversibilité sont simples à discuter (conduction thermique de l'élément Peltier et effet Joule).

### **Bibliographie conseillée**

En plus de ce qui a été utilisé

- Bertin, Faroux, Renault, Thermodynamique
- Diu, Guthmann, Lederer, Roullet, Thermodynamique