

**Titre** : LP T3 :

**Présentée par** : Théo Le Bret

**Rapport écrit par** : Raphael Aeschlimann

**Correcteur** : Stephan Fauve

**Date** : 05/02/21

Bibliographie		
Titre	Auteurs	Éditeur
Thermodynamique : fondements et applications	José Philippe Pérez	Masson
Dunod PC 2014		
TD de Jules Fillette		

## Plan détaillé

*(indiquer parties, sous-parties, 1 ou 2 phrases d'explications par sous-partie, et références)*

Niveau choisi pour la leçon : CPGE

Pré-requis :

- Principes de la thermodynamique
- Gaz parfait
- Notion de fonction d'état

Intro (2 min)

I) Machine thermique idéale

- 1) Définitions (3 min)
- 2) Machine monotherme (5 min)
- 3) Machine ditherme : cycle de Carnot (10 min)

II) Machine thermique réelle

- 1) Moteur de Stirling (8 min)
- 2) Cycle de Rankine (7 min)

42 min **dépassement**

### Intro :

Le XIX<sup>ème</sup> siècle voit le développement de la thermodynamique concomitamment avec le développement des machines thermiques dont les cycles ont permis les premières formulations des principes de la thermodynamique. Cependant les machines thermiques non cyclique sont beaucoup plus ancienne cf machine de Heron.

I)

### 1) Définitions

**But :** convertir énergie thermique en travail mécanique exploitable

Rappel convention algébrique grandeur positive quand reçu par le système

### 2) Machine monotherme

Application du premier principe  $W = -Q$

Second principe  $\frac{Q}{T} + S_{créée} = \Delta S = 0$  sur un cycle donc  $\frac{Q}{T} = -S_{créée} \leq 0$   
 $Q \leq 0$  et  $W \geq 0$

Cette machine ne peut recevoir du travail et le convertir en chaleur.

Ce n'est pas ce que nous voulons faire, il nous faut donc étudier les moteurs ditherme.

### 3) Machine ditherme : cycle de Carnot

Def source chaude et source froide (schema)

Ce cycle est constitué de deux isothermes et deux adiabatiques (tracer le diag TS)

Application du premier principe :  $W = W_{23} + W_{41} = -(Q_f + Q_c)$

Application du second principe : comme les processus sont réversibles  $S_{créé} = 0$

$$\Delta S = \frac{Q_f}{T_f} + \frac{Q_c}{T_c} = 0 \quad \frac{Q_c}{Q_f} = -\frac{T_f}{T_c}$$

On a donc un transfert de la source chaude vers la source froide dont on extrait un travail  $W$

Définition : rendement  $\eta = \frac{\text{Energie utile}}{\text{Energie dépensé}}$  application aux moteurs, réfrigérateurs et pompes à chaleur.

Diagramme de Clapeyron associé :  $P=f(V)$

Dépendance en  $\frac{1}{V}$  de l'isotherme et  $\frac{1}{V^\gamma}$  de l'isentropique.

Theoreme de Carnot :  $\eta_c = \frac{W}{Q_c} = \frac{Q_c + Q_f}{Q_c} = 1 - \frac{T_f}{T_c}$  le rendement du cycle de Carnot est le rendement maximal des machines ditherme. Application  $T_f = 300$  K  $T_c = 600$  K  $\eta_c = 0.66$

Un moteur suivant ce cycle ne serait pas utile car les transformations quasi-statiques nécessaires prennent un temps infiniment long ce qui rend la puissance extraite nulle.

## II)

### 1) Moteur de Stirling

Créé dans un but humanitaire par l'abbé Stirling pour éviter les changements d'état dangereux dans les moteurs.

Son cycle est constitué de deux isochores et deux isentropes

$$Q_c = Q_{34} = -W_{34} = nRT_c \ln\left(\frac{V_4}{V_3}\right)$$

Isotherme  $P = \frac{nRT}{V}$  en  $1/V$  pour les GP

Adiabatique  $PV^\gamma = \text{cte}$  eq de Laplace

On retrouve l'efficacité de Carnot !

Malgré tout on utilise en pratique des changements d'état. Etudions le cycle de Rankine qui est utilisé dans de nombreux domaines comme les centrales nucléaires.

### 2) Cycle de Rankine

Diagramme TS et description des 5 étapes :

Compression isentropique, chauffage isobare, isotherme (changement d'état liquide  $\rightarrow$  vapeur), détente isentrope et un changement d'état isotherme vapeur  $\rightarrow$  liquide),

A P constante  $\Delta H = Q$  avec une application numérique pour une centrale on a avec le rendement de Carnot 66% mais en réalité on a 33% soit 50% de perte. On peut utiliser la cogénération pour augmenter l'efficacité des centrales.

I)

## Questions posées par l'enseignant (avec réponses)

(l'étudiant liste les questions posées, ainsi que les réponses données par l'enseignant. Si certaines réponses manquent, l'enseignant pourra compléter le document)

**Justifier  $\Delta S = \frac{Q}{T}$  ?**

On appliquera le second principe au système entier isolé. Il faut prendre en compte le thermostat.

**A quoi servent les machines monothermes ?**

Elles permettent de montrer que la conversion entre formes d'énergie non thermiques a un rendement qui est limité par la production de chaleur.

**Montrez que l'adiabatique est toujours plus pentue que l'isotherme dans le diagramme PV même pour un gaz réel ?**

$$\delta Q = C_V dT + l dV$$

$$\delta Q = C_P dT + h dP$$

$$\frac{\partial P}{\partial V_S} = \frac{\gamma l}{h} \quad \frac{\partial P}{\partial V_T} = \frac{l}{h}$$

**Comment se fait-il qu'on retrouve le rendement de Carnot avec Stirling ?**

Implicitement on suppose que l'on n'a pas de perte dans les tuyaux et qu'il n'y a pas d'échange entre les sources chaudes et froides. On peut ajouter un régénérateur pour s'approcher d'un rendement de Carnot. L'idée est de conserver l'énergie échangée lors des isochores pour la restituer mais pour que le transfert soit efficace, il faut une grille très fine mais qui créerait de la viscosité et donc des pertes.

**Est-ce vraiment le cycle de Rankine utilisé dans les centrales nucléaires ?**

Non il s'agit du cycle de Hirn ou le travail est extrait en phase vapeur car c'est plus efficace pour les turbines.

## Commentaires lors de la correction de la leçon

*(l'étudiant note les commentaires relatifs au contenu de la leçon : niveau, sujets abordés, enchaînement, réponses aux questions, etc. L'enseignant relit, et rectifie si besoin)*

## Partie réservée au correcteur

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

Le plan est correct avec l'étude du cycle de Carnot et deux exemples de cycles réels.

Il faut cependant aller plus vite sur la première partie si on veut avoir le temps de traiter de façon correcte la seconde.

### **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 ditherme.

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