

**LP n° 14 Titre :** Machines thermiques réelles

**Présentée par :** Julie Malaure

**Rapport écrit par :** JB Bourjade

**Correcteur :**

**Date :** 22/01/2019

### Bibliographie de la leçon :

Titre	Auteurs	Éditeur	Année
Physique PCSI Tout en un	(Raoux)	De Boeck	
Physique Tout en un ère année		Dunod	
Physique tout en un PCSI		Dunod	2013
Thermodynamique	Perez		
BUP 832 le réfrigérateur			

### Plan détaillé

Niveau choisi pour la leçon : PCSI

Pré-requis : 1<sup>er</sup> et second principe de la thermodynamique

Intro : machines autour de nous : moteurs, frigo...

I Machines thermiques (12 min)

- 1) Définition (2min30)  
Fluide, transformation cyclique, échanges de travail et de transfert thermique, convention de signe sur les flux entrants
- 2) Machine monotherme (2min30)  
Démonstration de l'impossibilité de la machine monotherme ie principe de carnot
- 3) Machine ditherme (7min)

Démonstration de l'inégalité de Clausius

Diagramme de Raveau ( $Q_c$  en fonction de  $Q_f$ ) et déduction des différents types de machines thermiques

II Moteur thermique : Stirling (21min30)

- 1) Efficacité maximale (6 min)  
Définition et calcul du rendement/efficacité, théorème de Carnot
- 2) Moteur de Stirling (6min20)  
Modèle théorique et comparaison avec moteur de Stirling de démonstration  
Lancement du moteur de Stirling de démonstration puis arrêt (30s)  
Cycle du moteur de Stirling (normalement sur un diagramme T,V + schémas)
- 3) Rendement (6min)  
Hypothèses : Gaz parfait, Réversibilité mécanique  
Calcul de Q et W à partir du cycle

4) Diagramme de Clapeyron (3min)

Aire du cycle proportionnel au travail des forces de pression

Cycle réel expérimental avec le moteur de Stirling de démonstration

III Machine thermique réceptrice : le réfrigérateur

1) Efficacité maximale (3min)

Cas pompe à chaleur et réfrigérateur

Fluide caloporteur

Diagramme P, H

Pas de temps pour finir et cycle de Carnot (et comment on s'en approche avec le moteur de Stirling) sauté

**Questions posées par l'enseignant**

S échangée =  $Q/T$  toujours vrai ? Non, thermostat idéal

Delta S qui vaut 0 sur un cycle est même delta S que S échangé + S créé ? Non, le système est le fluide. Dans un fonctionnement non réversible S créé non nul (au niveau des thermostats) mais

Delta S du système fluide toujours nul sur un cycle

Réexpliquer le moteur de Stirling de démonstration

Utilité de la pièce mobile ? Sert à faire passer le gaz de la source chaude à la source froide

Questions sur le régénérateur

Est-ce que l'on atteindrait donc le rendement de Carnot ? Le régénérateur est sensé compenser donc mathématiquement oui mais du coup ce n'est plus une machine ditherme (ce qui lève l'apparente contradiction)

Expliquer les courbes P, H (vu que pas eu le temps durant la leçon)

Quel serait le diagramme P, H de l'air ?

A quoi correspond l'aire du cycle du diagramme P, H ?

Comment on calcule l'efficacité à partir du diagramme P, H ? En faisant le ratio des enthalpies

Faire le calcul ? A partir du cycle (qui aurait été normalement fait durant la leçon)

Q<sub>bc</sub> dans la transformation isochore ? Isochore pas de travail,  $Q = \Delta U$  connu en fonction de T par modèle de gaz parfait

Q<sub>bc</sub> est-il fourni uniquement par la source chaude ?

Comment le « rendre » réversible ? Mise en contact avec une succession de thermostats de plus en plus chaud pour éviter d'avoir une marche

Utilisation réelle du moteur de Stirling ? Utilisation de niche comme moteur (en général pour profiter du fait que le moteur est un bloc étanche à l'extérieur duquel on applique n'importe quel type de source de chaleur) et surtout à l'envers pour produire du froid

**Commentaires donnés par l'enseignant**

Moteurs monotherme à mettre en prérequis ? Quasiment éliminer le 1

Expliquer pourquoi on approche le cycle de Carnot avec le moteur de Stirling prend du temps

Puissance nulle pour cycle de Carnot réversible peut être intéressant à mentionner

Regarder programme PT qui est plus industriel ? (remarque de Julien)

Logiciel CoolPack pour tracer des diagrammes P, H accessibles sur internet

## Partie réservée au correcteur

### Avis sur le plan présenté

Plan correct mais difficile à tenir en temps. Il faut donc probablement placer la partie I en prérequis et juste rappeler les expressions des 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> principes dans le cas de machines dithermes.

### Concepts clés de la leçon

La thermodynamique montre qu'il existe des contraintes sur le fonctionnement des machines thermiques : rendement maximum. Ce maximum n'est jamais atteint dans les machines réelles. Mentionner les différents types de sources d'irréversibilité qui font que le maximum n'est pas atteint. Par ailleurs, on souhaite souvent faire fonctionner les machines réelles à puissance maximum, ce qui n'est pas compatible avec rendement maximum.

### Concepts secondaires mais intéressants

Discuter un exemple pour lequel le rendement maximum n'est pas atteint même à puissance faible (le cycle de Stirling si le régénérateur n'est pas parfait, le cycle d'Oto (Beau de Rochas) si le travail fourni n'est pas nul). Discuter un exemple simple de rendement à puissance maximum (rendement de Curzon et Alhborn). Discuter un exemple de machine avec transition liquide-vapeur.

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

L'expérience existante sur le moteur de Stirling est appropriée. On pourrait aussi effectuer une expérience avec un élément Peltier fonctionnant soit en générateur de courant soit en réfrigérateur.

### Points délicats dans la leçon

Bien préciser le système (pour lequel on peut écrire que la variation d'entropie est nulle pour un cycle réversible ou non) et l'extérieur (les thermostats).

### Bibliographie conseillée

En plus de la bibliographie mentionnée ci-dessus, DGLR, Thermodynamique, en particulier pour la thermoélectricité (Seebeck, Peltier) si on veut discuter un générateur ou un réfrigérateur Peltier. Un exemple de rendement à puissance maximale est discuté par Curzon et Alhborn, American Journal of Physics, vol. 43, pp. 22-24 (1975), mais la configuration n'est pas la plus simple possible (cf le cours pour un cas avec moins de calculs).