

## LP13 : APPLICATION DES DEUX PREMIERS PRINCIPES DE LA THERMODYNAMIQUE AU FONCTIONNEMENT DES MACHINES THERMIQUES (L1)

### Prérequis

- état gazeux et liquide, transition de phase
- 2 principes de la thermodynamique
- diagramme (P, V) et (T, S)
- premier principe industriel

### Idées directrices à faire passer

- la thermodynamique sert à quelque chose
- le cas limite d'une transformation réversible n'est pas le Graal. On privilégie la puissance

### Commentaires du jury

- il n'est pas nécessaire qu'un cycle soit réversible pour être représenté sur un diagramme
- l'un des buts de la leçon est de montrer que la thermodynamique est un guide puissant dans la conception pratique de machines
- souligner l'intérêt de ces machines
- faire une **leçon pratique et technique**! les applications précises doivent prendre plus de la moitié de la leçon
- les cycles classiques (Beau de Rochas, Diesel, Rankine) doivent être connus
- différencier rendement et efficacité
- faire des AN partout!
- le moteur Stirling est à éviter! aucun intérêt pratique.

### Bibliographie

- [1] Tec & Doc, Grecias (parfait pour cette leçon)
- [2] Une histoire des idées en physique, Locqueneaux (intro)
- [3] BUP n°832, "le réfrigérateur"
- [4] L'intègre, PCSI, Dunod (pour le réfrigérateur)
- [5] Machines thermiques, Koller, Dunod (pour des compléments précis)

**Introduction [2]** Poser l'intérêt de la thermodynamique dans le contexte historique de l'amélioration des performances des machines à vapeur. En particulier p107 : développement de Carnot.

## I Machines thermiques : généralités [1]

### 1 Définition

- définir "machines thermiques"
- schéma conventionnel (parler de la convention récepteur)

### 2 Les deux principes de la thermodynamique [1]

- donner les deux principes dans le cas d'un processus cyclique
- montrer qu'un moteur monotherme n'est pas possible
- parler de la possibilité d'un récepteur monotherme : simple chauffage (efficacité unitaire)

### 3 Machines dithermes : classification [1]

- donner une classification des machines dithermes type diagramme de Raveau mais sous forme de tableau : c'est finalement plus explicite (moteur, réfrigérateur, pompe à chaleur)

- donner le théorème de Carnot et le cycle associé. C'est le cycle assurant le meilleur rendement. Il est valable pour les trois machines, bien que Carnot ait développé sa théorie pour le moteur.
- dire que le meilleur rendement n'est pas unitaire : limite fondamentale de la thermodynamique lors de la conversion d'énergie thermique en travail
- **dire que le cycle réversible est un cycle limite mais d'aucun intérêt pratique : il est à puissance nulle.**
- faire enfin un grand tableau avec les trois machines donnant pour chacune : schéma de situation, rendement/efficacité maximale (avec ODG) et puissance pour des systèmes de taille classique (Le Koller donne des ODG pour plusieurs machines)

## II Moteurs thermiques

### 1 Moteur à combustion interne : cycle Beau de Rochas [1]

- présenter le cycle réel et une coupe du moteur (avec des schémas des différents moments du cycle) -> trouver un transparent fait
- expliquer la notion de moteurs 4 temps
- lister les hypothèses admissibles (conservation de la qualité du gaz pendant la combustion entre autre)
- donner alors le cycle Beau de Rochas associé permettant l'étude

### 2 Evaluation du rendement théorique et de la puissance attendue [1] et [5]

- donner le rendement théorique en fonction du taux de compression et le comparer au rendement réel des moteurs
- repérer les principales sources de pertes
- état de l'art du rapport poids puissance des moteurs actuels (p187 du Koller) -> c'est le paramètre d'intérêt pour l'ingénieur !

### 3 Cycle Diesel : intérêt pratique de l'injection en fin de compression [5]

- montrer le cycle Diesel
- principale différence : injection de carburant après compression permettant d'atteindre de fort taux de compression (meilleur rendement mais moteur plus lourd car pression atteinte plus élevée) et l'isochore est remplacée par une isobare
- donner le rapport poids/puissance des différents types de moteurs

## III Réfrigérateurs à compresseur

### 1 Principe de fonctionnement [4] et [3]

Les généralités sont bien traitées dans le J'intègre

- schéma constitutif
- présentation du schéma global
- définir les 4 éléments : condenseur, compresseur...

### 2 Application du premier principe industriel [4]

- application du premier principe industriel aux 4 éléments : bilan sur un cycle
- définir alors l'efficacité
- calculer l'efficacité théorique d'un cycle réversible en fonction des températures des deux sources

### 3 Diagramme $(P, h)$ [3]

- montrer le diagramme complet sur un transparent déjà fait
- expliquer attentivement les différents réseaux de courbes
- tracer le cycle pour un jeu de paramètre donné
- évaluer alors le rendement réel

- évaluer la puissance de refroidissement par unité de masse de fluide. On pourra ainsi donner un ODG du débit massique nécessaire à par exemple un refroidissement de  $1\text{kW}$  (ce qui est un bon ODG de la capacité de refroidissement d'un réfrigérateur domestique de  $300\text{W}$  en moyenne). On peut alors comparer ce résultat au débit de liquide nécessaire pour obtenir le même refroidissement sans transition de phase. On comprend alors tout l'intérêt d'utiliser des composés pouvant se vaporiser à la température de la source froide.

### Conclusion

- rappeler le compromis crucial entre amélioration du rendement et conservation d'une puissance élevée
- insister sur l'importance de la thermodynamique dans la compréhension (et donc l'amélioration) des machines thermiques. Les enjeux pour nos sociétés sont énormes.

### Q/R

1. sources d'irréversibilité des machines thermiques
2. Cycle de Carnot et applications
3. Qu'est-ce qui intéresse le plus les ingénieurs ? rendement ou puissance ?
4. formule du fréon
5. Pour un piston la compression est-elle quasi statique ?
6. Sens d'un cycle moteur dans un diagramme  $(P, V)$  ou  $(T, S)$
7. Connaître les cycles moteur classique
8. Moteur à 2/4 temps ?
9. diesel (gasoil) et essence ?
10. Cycle de Rankine, cycle de Hirn ?
11. Un moteur thermique peut-il démarrer seul ?