

Cours 08 – Moteurs thermiques réels

Survol

- moteurs à combustion interne
 - o cycle d'Otto
 - o moteur deux-temps
 - o cycle de Diesel
- moteurs à combustion externe
 - o machine de Stirling
 - o locomotive à vapeur

Introduction

Le cycle de Carnot est idéal en ce sens qu'il permet le rendement maximal théorique car il n'y a aucune entropie créée dans le processus. Il n'a cependant pas d'application pratique car il produit un travail à un taux infinitésimal. Cependant, il nous indique la limite théorique.

exemple:

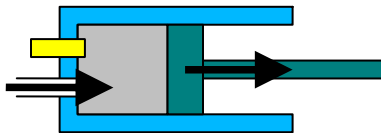
- un ingénieur conçoit un moteur fonctionnant entre 300 et 600 K
- son rendement réel est de 45%
- la limite théorique est de $1 - 300/600 = 50\%$
- c'est donc déjà un excellent moteur

Dans la réalité, on utilise d'autres types de cycles que celui de Carnot. Quel est leur rendement théorique? Nous verrons ici quelques exemples de cycles réels, et calculerons leur rendement théorique moyennant quelques approximations.

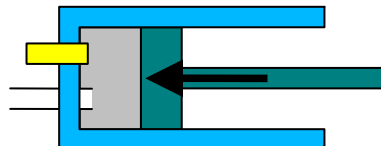
Cycle d'Otto

Moteurs à combustion interne: cycle d'Otto (4 temps)

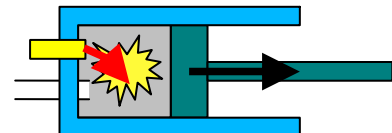
1. admission d'un mélange d'essence vaporisée et d'air



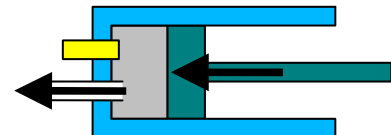
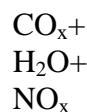
2. compression du mélange



3. la bougie d'allumage fait exploser le mélange qui se détendra



4. on éjecte les produits de combustion

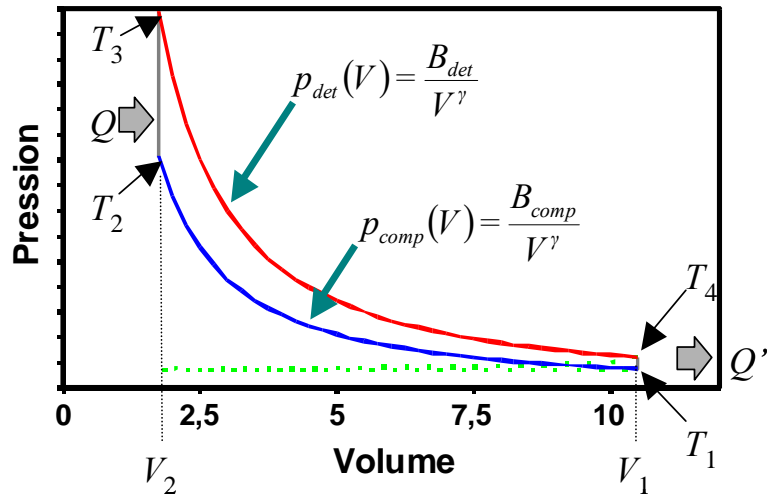


Caractéristiques du cycle d'Otto

- Il n'y a pas directement de réservoir chaud;
- Cependant, l'allumage agit comme si le système avait été mis en contact avec un système chaud.
- Le taux de « transfert de chaleur » est extraordinairement grand p/r au cycle de Carnot.
- Quelle est la source froide pour ce moteur thermique?

Examinons ce cycle et son rendement théorique

Rendement du cycle d'Otto



Exemple: dans les autos actuelles, le facteur de compression est de 1:8 à 1:10

- le mélange est principalement constitué d'air (N_2+O_2): $f=5$
- $e = 1 - (1/8)^{2/5} = 56\%$ théoriquement
 - o considérant $f=10$, $e = 34\%$
 - o e.g. accélération : mélange plus riche
- en pratique, $e \sim 15-20\%$
 - o Détente non adiabatique : le moteur devient chaud! cylindre non isolant;
 - o Friction du cylindre (et de toutes les autres composantes de la transmission, surtout les automatiques);
 - o Combustion incomplète;
 - o Étanchéité du cylindre;
 - o Le moteur doit fournir un travail pour aspirer l'air à l'admission et l'évacuer en forçant contre le pot d'échappement;
- On peut augmenter le rendement en diminuant le ratio de compression;
- Cependant, à cause l'augmentation de la température pendant la compression, le mélange s'enflammerait de lui-même avant l'allumage!

Moteur deux temps

avantages:

- plus compact
- un allumage par tour (Otto: un allumage par deux tours)
- plus de puissance par unité de volume
- applications: objets qui ont besoin d'un moteur léger
 - o tondeuses
 - o motos (Harley-Davidson)
 - o moteurs hors-bord, motos marines, motoneiges

inconvénients:

- durabilité
- taux de compression réduit: mauvais rendement
- lubrification assurée par un mélange huile / essence 1:20 à 1:40
- pollution:
 - o mauvaise combustion, incomplète;
 - o à chaque cycle, une partie du carburant est envoyé directement dans l'échappement;
 - o tondeuse huileuse;
 - o hors-bords: tache d'huile dans l'eau;
- Bref, c'est bon pour des moteurs qui ne servent pas souvent!

Cycle Diesel

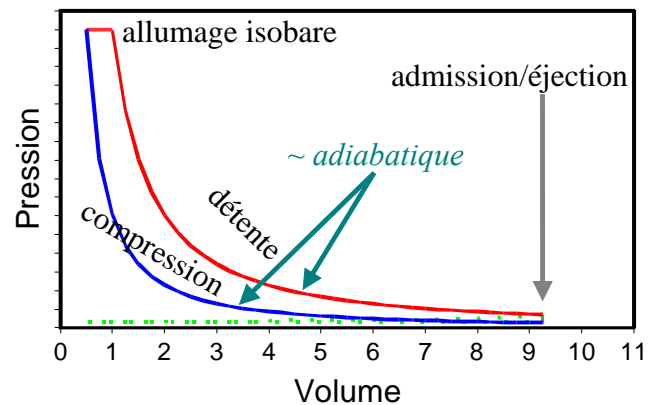
Pour le cycle d'Otto, si le taux de compression est trop élevé, le gaz s'enflamme spontanément. On peut exploiter le phénomène: c'est le principe du moteur Diesel! Le cycle de compression ne comprime que de l'air, qui s'échauffe.

Dans le cycle idéalisé, on considère que le carburant est injecté dans le cylindre au moment où la pression est maximale et que le volume commence à augmenter de façon à maintenir la pression constante.

En réalité, le carburant est injecté un peu avant la fin de la compression. Il y a donc augmentation de la pression à volume ~constant, puis détente à pression pas forcément très constante.

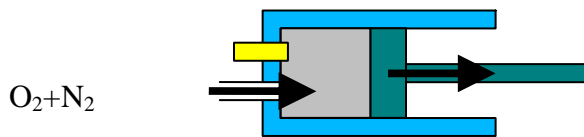
Caractéristiques :

- pas de bougies!
- le taux de compression beaucoup plus élevé 1:20
- donc, rendement plus élevé
- l'injection du carburant est effectuée à un taux qui maintient la pression ~constante
- on a besoin d'un carburant dont la température d'évaporation est élevée: grande masse molaire, gasoil

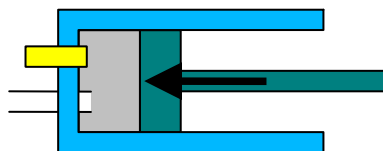


Cycle de Diesel (4 temps)

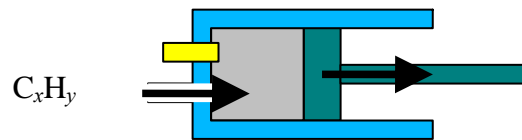
1. admission d'air (sans carburant)



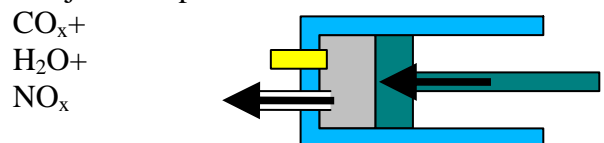
2. compression de l'air : échauffement



3. le carburant est injecté dans le gaz "brûlant"; une fois l'injection terminée, le cylindre poursuit sa détente



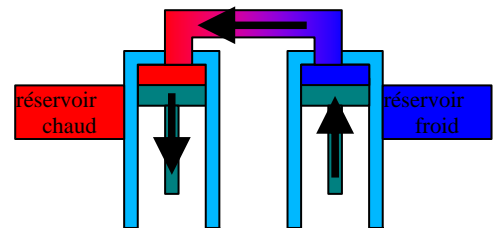
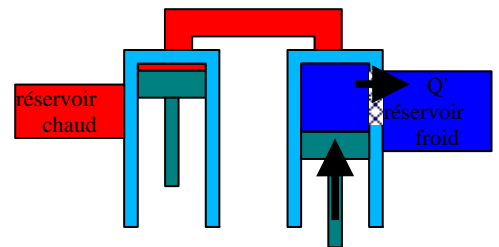
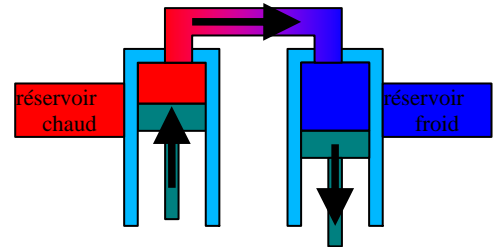
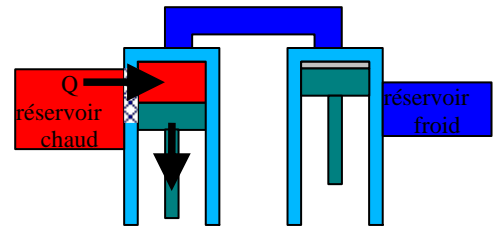
4. on éjecte les produits de combustion



Moteurs à combustion externe :

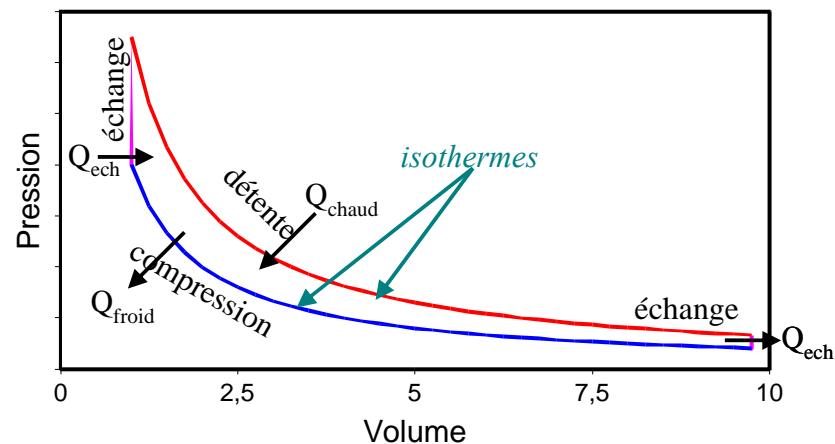
Machine de Stirling

1. puissance: le cylindre chaud se met en contact avec le réservoir chaud: détente isotherme; le cylindre froid reste fixe
2. le cylindre chaud remonte tandis que le cylindre froid descend (V constant); la chaleur reste prisonnière de l'échangeur
3. compression isotherme: la chaleur quitte le cylindre froid vers le réservoir froid
4. le cylindre chaud redescend tandis que le cylindre froid remonte; le gaz reprend la chaleur de l'échangeur



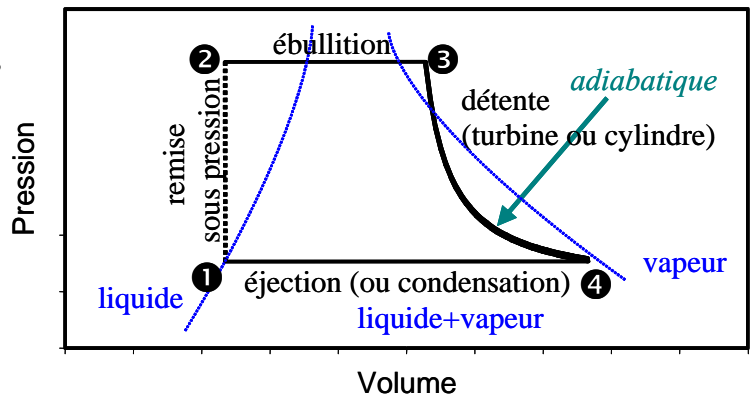
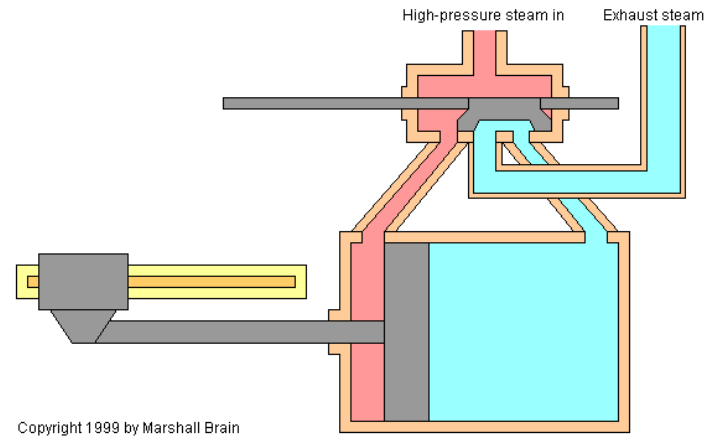
Caractéristiques

- moteur à cycle fermé (le même gaz va continuellement d'un cylindre à l'autre)
- comme la quantité Q_{ech} est récupérée plus tard dans le cycle, du point de vue rendement, les échanges agissent effectivement comme la partie compression-détente adiabatique du cycle de Carnot
- le rendement théorique de cette machine est donc celui de Carnot
- c'est une machine qui fonctionne par contact thermique avec des réservoirs froid et chaud
- avantages: (antithèse du moteur 2-temps)
 - rendement optimal
 - "silencieuse" (pas d'explosion)
 - peu polluant
 - combustion externe: fonctionne avec n'importe quel carburant
- inconvénients
 - faible densité de puissance
 - temps de réaction lent (dépend de la vitesse à laquelle on peut augmenter la température du réservoir)



Cycle de Rankin (locomotive à vapeur)

- le gaz entre successivement de chaque côté du piston
- valide pour les locomotives aussi bien que pour les centrales thermiques ou nucléaires, ou les turboréacteurs
- rendement: $e = 1 - Q'/Q$
mais n'est plus un gaz parfait
- la chaleur reçue par un processus est l'énergie gagnée par le système plus le travail effectué sur l'environnement:
 $Q = \Delta H, \quad H = E + pV$
$$e = 1 - \frac{H_4 - H_1}{H_3 - H_2} \approx 1 - \frac{H_4 - H_1}{H_3 - H_1} < 1 - \frac{T_1}{T_3}$$
- Par ailleurs, comme on arrive à atteindre des températures très élevées dans les réacteurs, l'efficacité est accrue.



À retenir

- Comment tracer le cycle d'un moteur sur un diagramme $p-V$
- Comment calculer son rendement théorique