

**Titre :** Conversions d'énergie

**Présentée par :** Martin Caelen

**Rapport écrit par :** Charlie Kersuzan

**Correcteur :** Erwan Allys

**Date :** 19/05/2021

Bibliographie		
Titre	Auteurs	Éditeur
PSI/PSI* tout-en-un		Dunod
PSI/PSI* Electronique II	Brecht	Hprepa
<a href="https://www.youtube.com/watch?v=aqfzJDOQI7M">https://www.youtube.com/watch?v=aqfzJDOQI7M</a>	Principe moteur diesel	
<a href="https://www.youtube.com/watch?v=8d5g-_6-LG8">https://www.youtube.com/watch?v=8d5g-_6-LG8</a>	Principe alternateur	

## 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 :

1<sup>er</sup> et 2<sup>nd</sup> principes de la thermo

Loi de Faraday

Loi de Lenz

Action d'un champ magnétique sur un moment magnétique

### Intro

L'énergie est une grandeur qui se conserve, comment peut-on l'utiliser pour faire fonctionner des machines ? On la convertit d'une forme à une autre. On va étudier la production électrique en France dans des centrales thermiques

## I – Conversion d'énergie thermique en énergie électrique

### A) Rappels de thermo

Rappel historique : la thermodynamique a été développée pour comprendre le fonctionnement des machines thermiques.

Ici rappel du 1<sup>er</sup> et 2<sup>nd</sup> principe assez rapide.

### B) Moteurs thermiques

Définition d'un moteur thermique : moteur qui transforme  $Q$  en  $W$ . Présentation du moteur Stirling pour illustrer le discours.

Ensuite schéma de principe d'un moteur ditherme avec une source chaude, une source froide et le moteur. On effectue des **transformations cycliques**. On a donc les différences de fonctions d'état qui sont nulles entre deux cycles puisque celles-ci ne dépendent pas du chemin suivi.

Ici on présente le cycle de Carnot sans vraiment le dire. *Reproché par le correcteur : il faut présenter le cycle et les transformations associées.*

Application du 1<sup>er</sup> et 2<sup>nd</sup> principe à un moteur ditherme.

### C) Rendement

Calcul du rendement pour le cycle de Carnot. Illustrer le fait que les principes de la thermo rendent impossible l'obtention d'un rendement de 1 : **Il y a nécessairement des pertes dans une machine thermique.**

Calcul du rendement théorique de Carnot du moteur Stirling à partir des températures des sources chaudes et froides relevées pendant la présentation du moteur.

$$\eta_{théorique} = 41\%, \eta_{réel} = 0.5\%$$

### D) Machines thermiques réelles

En réalité, on est même loin du rendement théorique : encore plus de pertes :

- Irréversibilité
- Echauffement imparfait
- *Lors de la correction : important de dire que le rendement optimal n'est pas souhaitable car alors la puissance fournie par le moteur tend vers 0, un cycle réversible étant lié à une transformation extrêmement lente...*

Présentation d'un moteur plus efficace et couramment utilisé : le moteur à explosion. Voir lien vidéo.

$$\eta_{théorique} = 72\%, \eta_{réel} = 42\%$$

La encore parler pertes et irréversibilité.

## II – Conversion d'énergie mécanique en énergie électrique.

### A) Principe de l'alternateur

**Expérience** : présentation du modèle simplifié de l'alternateur.

Rappel sur la loi de Faraday : circuit traversé par un flux de champ  $B$  variable : apparition d'une fem aux bornes du circuit.

Attention : il n'y a pas de création d'énergie : **loi de Lenz** : le courant induit crée un champ  $B_{induit}$  qui s'oppose à la rotation de l'aimant.

Il y a un **moment résistant** :  $\vec{\Gamma} = \vec{M} \wedge \vec{B}_{induit}$ .

### B) Moteur synchrone

Présentation du moteur synchrone. On a la champ  $B$  tournant à  $\Omega$  et le moment du rotor tournant à  $\omega$ . Il y a un angle  $\alpha$  entre les deux à l'instant initial. Voir démo dans les ouvrages de PSI/PSI\* mis en biblio. On montre que le moment du couple dépend de l'angle de départ entre le champ et le moment magnétique.

Tracé du couple en fonction de l'angle  $\alpha$  de départ :

- Couple moteur : moteur synchrone
- Couple résistif : alternateur

On voit qu'il est nécessaire d'introduire un autre type de moteur pour l'aider au démarrage.

Dans le cas moteur :

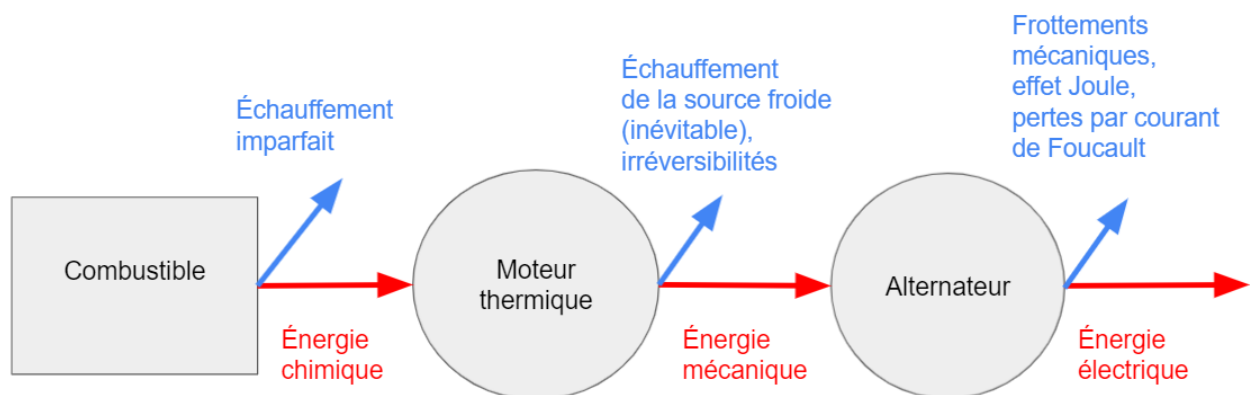
Si on suppose un couple de charge exercé sur le moteur (le moteur transporte une charge)

Il y a deux points de fonctionnement sur le graphique précédent : un stable et un instable.

## Conclusion

Présentation sur slide des différents types de conversion d'énergie. Introduction rapide à la conversion de rayonnement en énergie électrique par effet photoélectrique : les panneaux solaires.

# CHAÎNE ÉNERGÉTIQUE



## 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)

I

Q : Vous avez commencé par rappeler les principes de la thermo. Fonction d'état seul ça suffit pour U ou il manque un qualificatif ?

R : Fonction d'état à l'équilibre.

Q : En introduction : l'énergie c'est ce qui se conserve. Mais l'énergie interne n'est pas l'énergie, comment définir énergie interne ?

R : c'est l'ensemble des énergies microscopiques potentielles et cinétiques.

Q : comment on les définit ?

R : phy stat

Q : Mais en général on la déf comment ?

R : c'est  $E_{\text{tot}}$  moins  $E_{\text{cin}}$  et  $E_{\text{pot}}$  macroscopiques.

Q : Sur le second principe. C'est toujours vrai ce que tu as écrit ?

R : l'entropie échangée n'est exprimable facilement que dans le cas où la température extérieure est constante.

Q : mais dans un cas monotherme c'est toujours vrai ?

R : Pas dans le cas où il y a aussi échange de matière

Sur les moteurs thermiques

Q :

R : il y a une source qui fournit de l'énergie sous forme thermique, elle est transformée en travail mécanique par le moteur et une partie en énergie thermique vers la source froide.

Q : Si on consomme de l'énergie thermique la source chaude baisse en température non ?

R : Oui, mais ici on suppose un réservoir infini, un thermostat.

Q : Qu'est-ce que le cycle qu'on étudie ici ? Peux-tu mieux la décrire ?

R : Dessin du cycle de Carnot au tableau : 2 monothermes et 2 adiabatiques.

Q : qu'est-ce qui est nécessaire pour avoir une transformation réversible ?

R : les adiabatiques doivent être réversibles (isentropiques), les monothermes doivent être isothermes.

Q : Pourquoi est-on si loin des rendements idéals ?

R : ils n'ont pas intérêt à être idéaux car en se rapprochant d'un cycle réversible, on doit être très lent, donc la puissance tend vers 0.

Q : pourquoi plusieurs cylindres sur les Diesel ?

R : permet d'améliorer la régularité de la vitesse de rotation de l'axe

Q : dans les cycles : admission, compression, combustible, tjrs ce sens ?

R : on peut changer le moment d'admission du combustible.

### Alternateur

Q : Est-ce qu'on peut expliquer les bilans d'énergie qu'on fait dans cette transformation ? Puisqu'on ne l'a pas vraiment visualisée.

R : En prépa en général on voit plutôt le moteur synchrone. On peut regarder la puissance en faisant le calcul de la force de Laplace et la force de Lorentz. Ici on a des moments magnétiques permanents et le calcul est plus complexe.

Q : Si l'aimant génère le même champ qu'une spire, le théorème des actions réciproques nous dit qu'il va subir le même couple qu'une spire identique. Donc en quoi étudier le point de fonctionnement rentre dans conversion d'énergie ?

R : c'est une conversion d'énergie dans l'autre sens d'électrique à mécanique.

Q : à quel point as-tu choisi de peu parler des termes dans les équations qui décrivent directement la conversion EM de puissance ? Comment identifier où a lieu la conversion d'énergie ?

R : j'aurais pu partir sur des systèmes où les bilans sont plus simples type haut-parleur.

Q : Dans une vraie centrale, y a-t-il une séparation si claire ? Est-ce que la conversion thermique mécanique a lieu de la même façon que ce que t'as montré ?

R : En corse oui : moteur Diesel couplé à alternateur. Pas le cas dans les barrages hydrauliques ou dans les centrales nucléaires.

## 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)*

Bonne leçon dans l'ensemble. Leçon assez fourre tout.

Deux reproches principaux à la leçon :

- Quand on fait de la thermo, il faut être précis sur les mots et les termes utilisés. Notion de réversibilité, mono/isotherme, d'équilibre. Préciser le cycle qu'on utilise. Bien faire apparaître clairement que la réversibilité n'est pas souhaitable sinon on perd en puissance.

- Pour la deuxième partie, c'est dommage de ne pas identifier quels sont les termes de conversion d'énergie. Si on a un couplage parfait, la puissance de la force de Laplace + la puissance de la force de Lorentz = 0 donc couplage entre les deux forces.

Expliquer qu'un terme absorbe ce qui sort d'un, comment ça passe de la partie mécanique à électrique. C'est expliqué dans le tout-en-un de PSI, dans le cas du circuit mobile dans un champ B permanent.

Bien d'insister sur le fait qu'on a toujours des pertes dans un moteur, et qu'on ne peut jamais créer d'énergie : deux grands leitmotifs de cette leçon.

## Partie réservée au correcteur

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

Plans plutôt bien mené autour d'un fil directeur sur la génération d'électricité à partir d'énergie chimique de combustion. Il est à regretter que la dernière partie se soit un peu perdue sur les points de fonctionnement d'un moteur synchrone, ce qui s'éloigne un peu de la thématique de la leçon.

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

Deux grandes notions, liées, vont apparaître autour de la conversion d'énergie :

- le fait que comme l'énergie se conserve, on ne peut pas « créer » ou « produire » de l'énergie, mais qu'on se retrouve invariablement à convertir l'énergie dans une forme utilisable. Cela mène naturellement à l'étude de système de transformation d'énergie, qui peuvent passer par plusieurs étapes (comme chimique  $\rightarrow$  thermique  $\rightarrow$  mécanique  $\rightarrow$  électrique).
- l'étude des pertes diverses qui vont apparaître dans les conversion d'énergie, et qui vont inmanquablement diminuer le rendement des ces conversions. À noter que peut se placer autant dans un cadre d'étude de rendement que dans un cadre de bilan précis où on essaye de bien quantifier les différents termes en jeu.

À partir de ce constat, la difficulté est alors de construire un plan de leçon relativement cohérent autour d'un fil directeur. Et ce fil directeur aidera à articuler une approche à l'interface entre différents sous-domaines de la physique tels qu'étudiés en prépa, puisque la notion de conversion d'énergie appelle a priori une approche transverse, non focalisée sur un domaine en particulier. La difficulté est d'introduire un fil directeur d'ensemble intéressant et pas trop tiré par les cheveux. Cependant, dans le cadre d'une leçon à l'agrégation, il ne faut pas hésiter à décrire un phénomène réel qu'on simplifiera ensuite lors de l'étude de ses différents composantes : on comprend bien que le fil directeur sert principalement à donner du liant, mais on attend des exemples raisonnables au niveau CPGE.

La difficulté pour ce genre de leçon est de garder en tête que le fil directeur est avant tout un support, mais ne doit pas nous donner trop de contrainte. Il est notamment important de bien se focaliser sur le sujet de la leçon elle-même (ici la conversion d'énergie), pour ne pas se perdre dans des technicités inutiles, ou bien mettre l'accent sur un concept un peu différent (comme les points de fonctionnement d'un moteur). De manière générale, ce type de leçon demande de prendre du recul, donc il faut prendre ce recul et bien montrer à chaque fois comment les différents éléments étudiés se raccrochent à l'intitulé de la leçon.

Des exemples venant rapidement à l'esprit et entrant facilement dans le programme de classe préparatoire sont bien évidemment la production d'énergie électrique ou mécanique à partir d'énergie thermique. Un exemple de mauvaise utilisation de fil directeur est (je pense) par exemple de partir sur la récupération d'énergie solaire par des panneaux photovoltaïque, et de trop se perdre sur la fusion nucléaire et les cellules réceptrices, qu'il est difficile de faire entrer au niveau CPGE et pourrait avoir un caractère technique ou pas assez quantitatif.

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

Moteur de Stirling, moteur électrique, alternateur

**Bibliographie conseillée :**

Littérature générique de CPGE. En particulier PSI, potentiellement anciens programmes, en ce qui concerne les bilans d'énergie pour les conversion électromécanique via l'induction et les forces de Laplace.  
Des illustrations intéressantes se trouvent probablement dans des livres comme le Feynmann.