



Cours « Conversion d'énergie »

Leçon d'introduction

**Génie Electrique et Electronique
2024-2025
Bachelor semestre 5**

Prof. Mario Paolone, Prof. Elison Matioli, Dr. André Hodder

Objectifs d'apprentissage



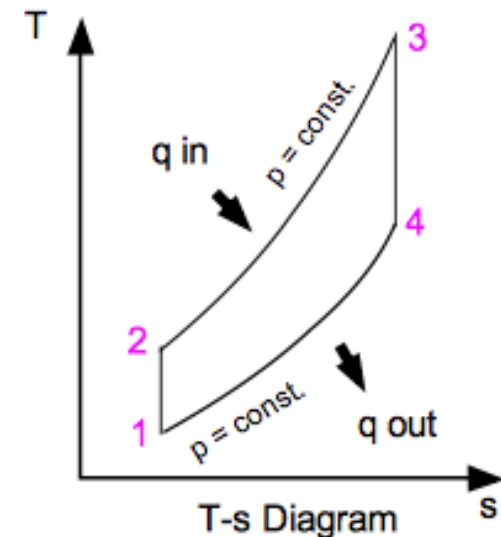
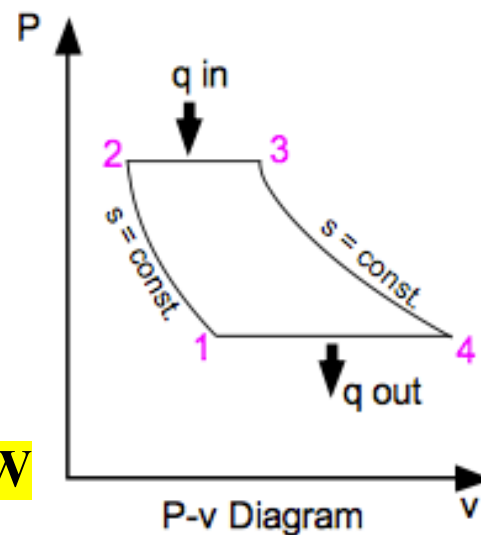
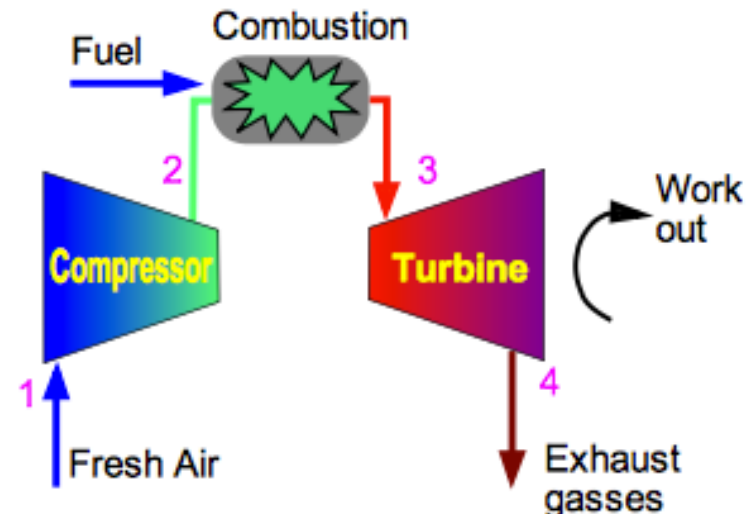
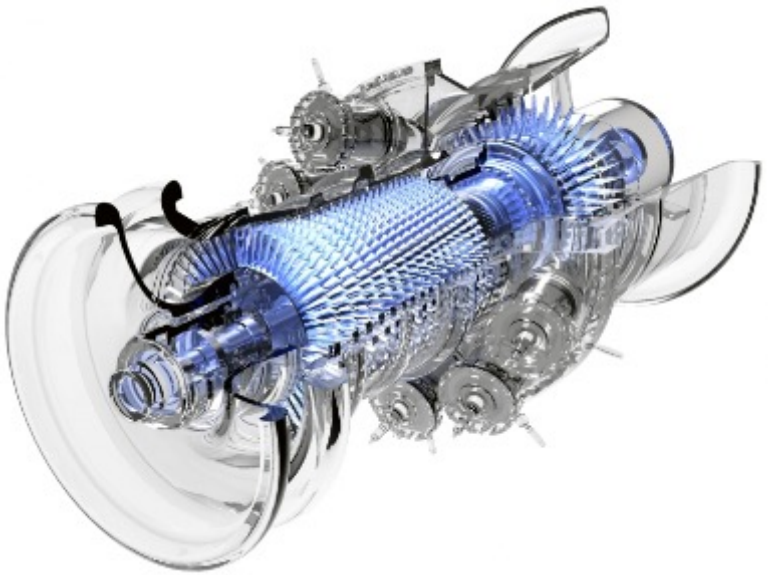
Introduire les systèmes et outils liés à la conversion d'énergie, en se référant au contexte particulier de la production **d'énergie électrique**, qu'elle soit conventionnelle ou bien en lien avec les sources **d'énergie renouvelable**.

Ce cours définit les **notions fondamentales** pour la **compréhension** et la **modélisation** des systèmes de conversion énergétique pour la production d'électricité, tout en introduisant les **méthodologies d'étude associées**.

Systèmes de conversion pour la production d'énergie électrique – Cycles thermiques



Cycles gaz (Brayton)



Phase de conversion finale pour la production d'énergie électrique
→ Electromécanique
→ Puissances typiques: **0.1 – 200 MW**

Systèmes de conversion pour la production d'énergie électrique – Cycles thermiques

Cycles basés sur la vapeur

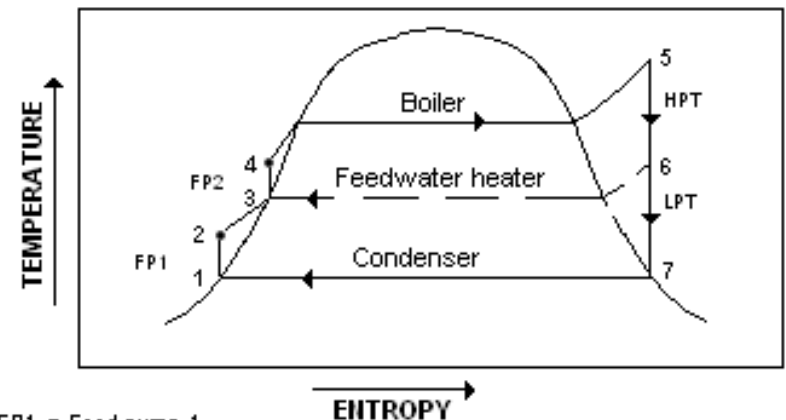
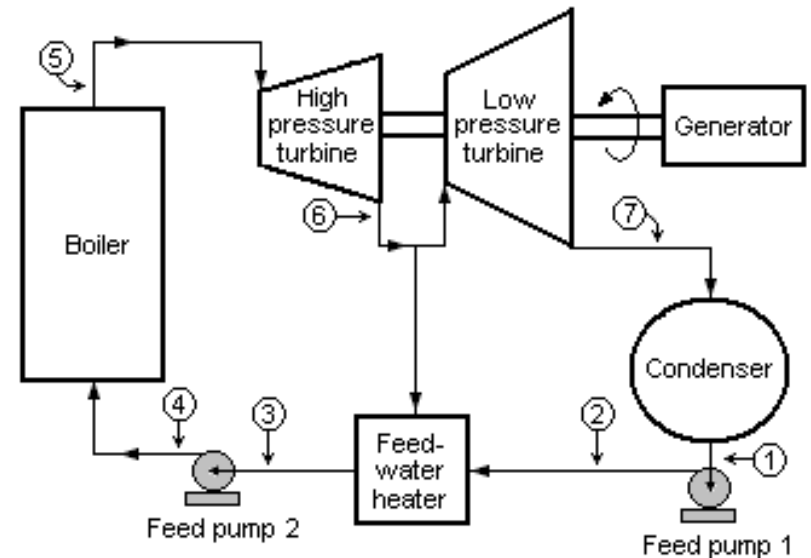
- charbon
- pétrole
- cycles combinés (gaz-vapeur)
- combustibles nucléaires



Phase de conversion finale pour la production d'énergie électrique

→ Electromécanique

→ Puissances typiques: 10 – 500 MW



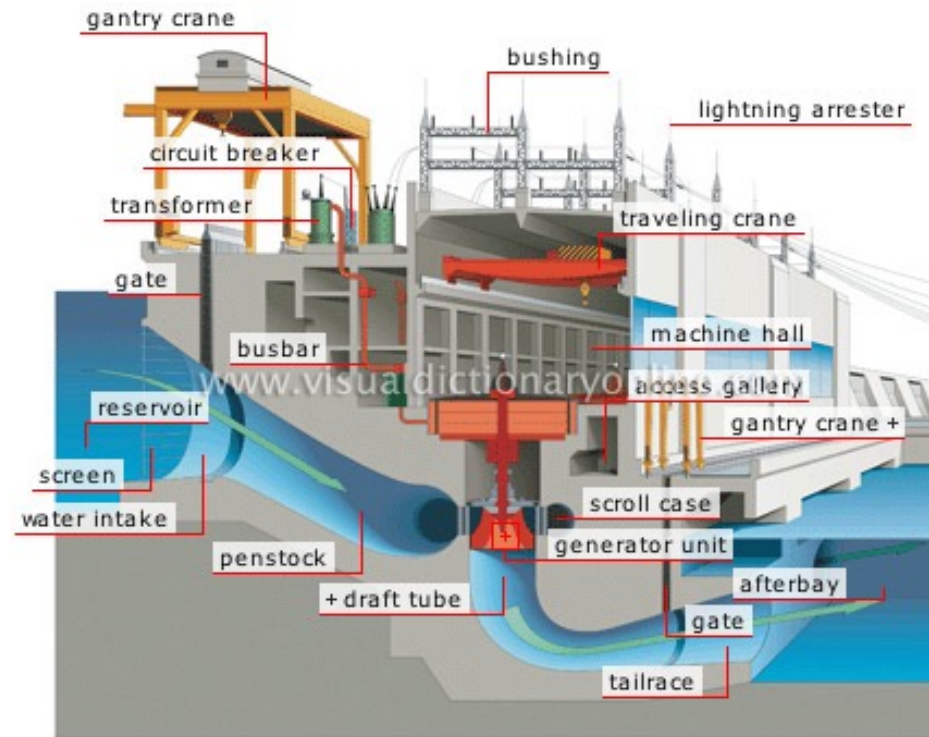
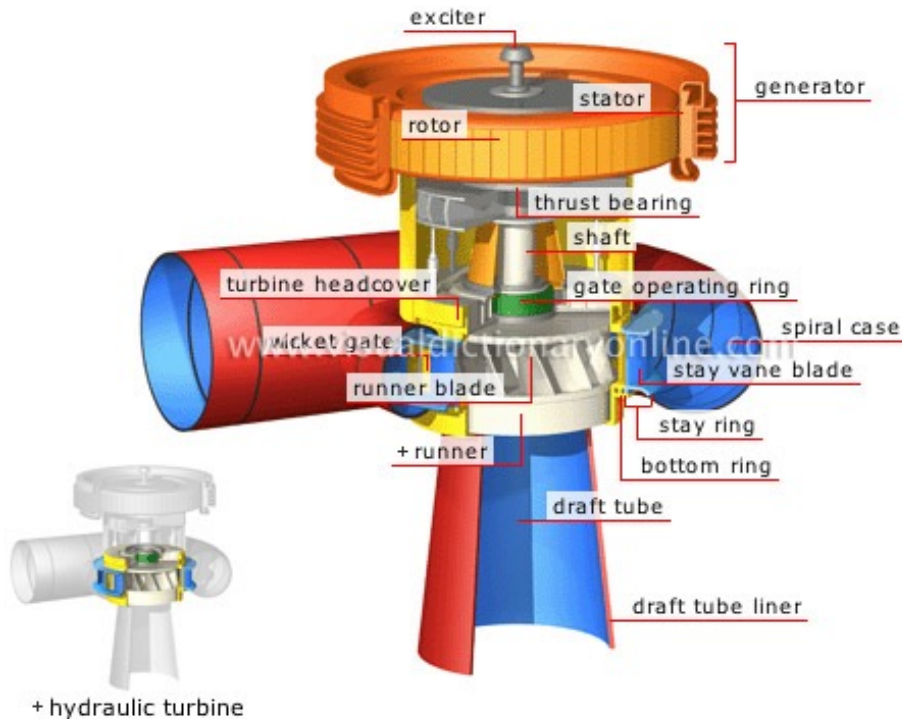
FP1 = Feed pump 1

FP2 = Feed pump 2

HPT = High pressure turbine

LPT = Low pressure turbine

Systèmes de conversion pour la production d'énergie électrique – Hydro



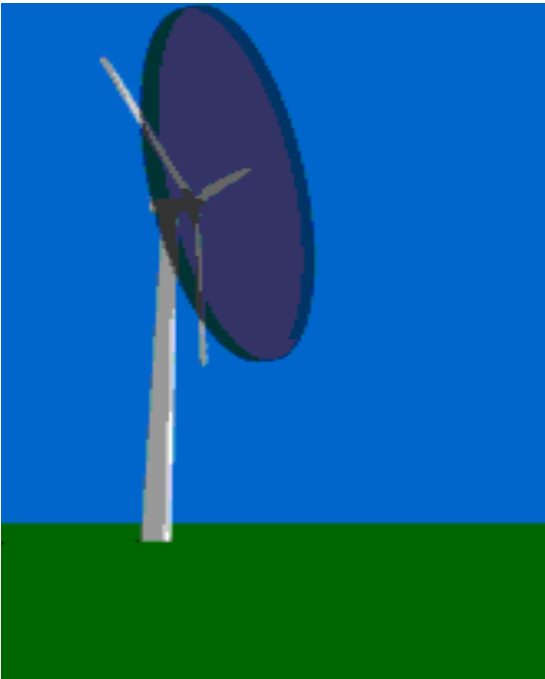
Barrage
des Trois gorges
Chine

Phase de conversion finale pour la
production d'énergie électrique

→ Electromécanique

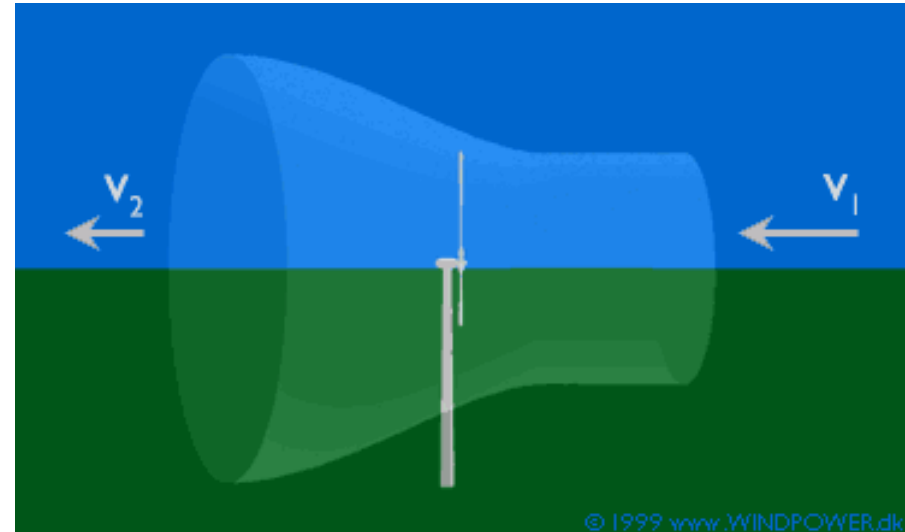
→ Puissances typiques: **0.5 – 500 MW**

Systèmes de conversion pour la production d'énergie électrique – Eolien



$$P_v = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

P_v – Puissance de la masse d'air en entrée du rotor
 ρ – densité de l'air;
 A – aire du rotor;
 v – vitesse du vent.

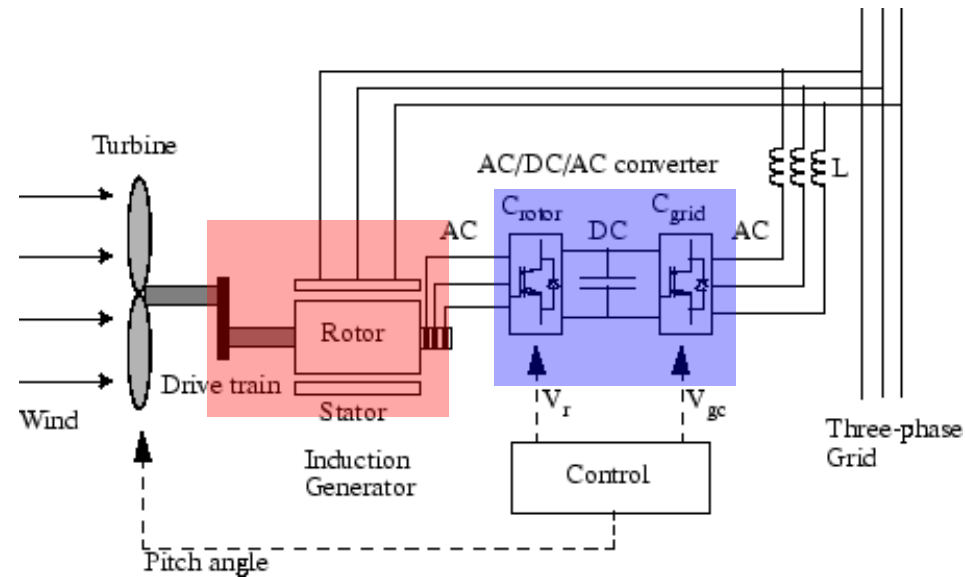


Phase de conversion finale pour la production d'énergie électrique

→ **Electromécanique**

→ **Statique (électronique de puissance)**

→ Puissances typiques: **0.1 – 6 MW**



Systèmes de conversion pour la production d'énergie électrique



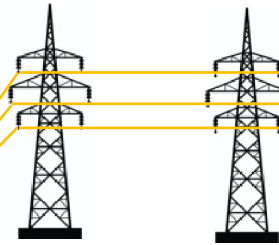
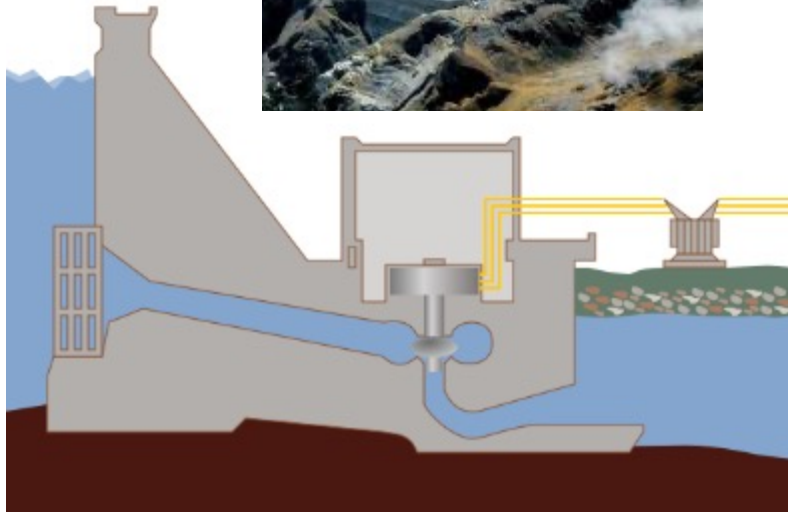
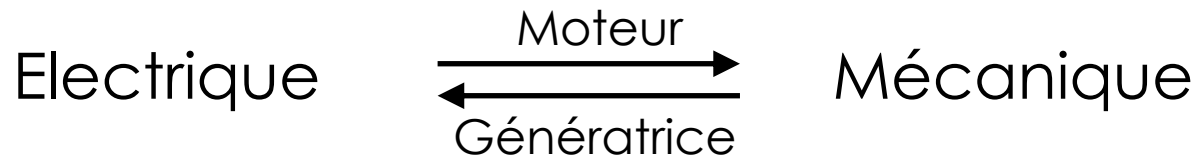
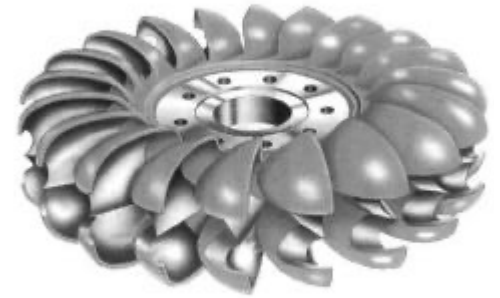
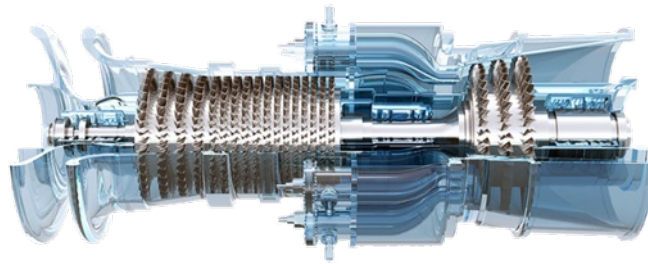
- Contenu de la partie générale
 - Ressources en énergie et besoins énergétiques.
 - Systèmes de conversion principaux:
 - Rappel de thermodynamique
 - Cycle vapeur et Brayton
 - Turbines à gaz, à vapeur et unités à cycles combinés
 - Comportement statique des centrales hydro-électriques et turbines hydrauliques
 - Éoliens: éléments d'aérodynamique et modélisation monodimensionnel

Systèmes de conversion pour la production d'énergie électrique

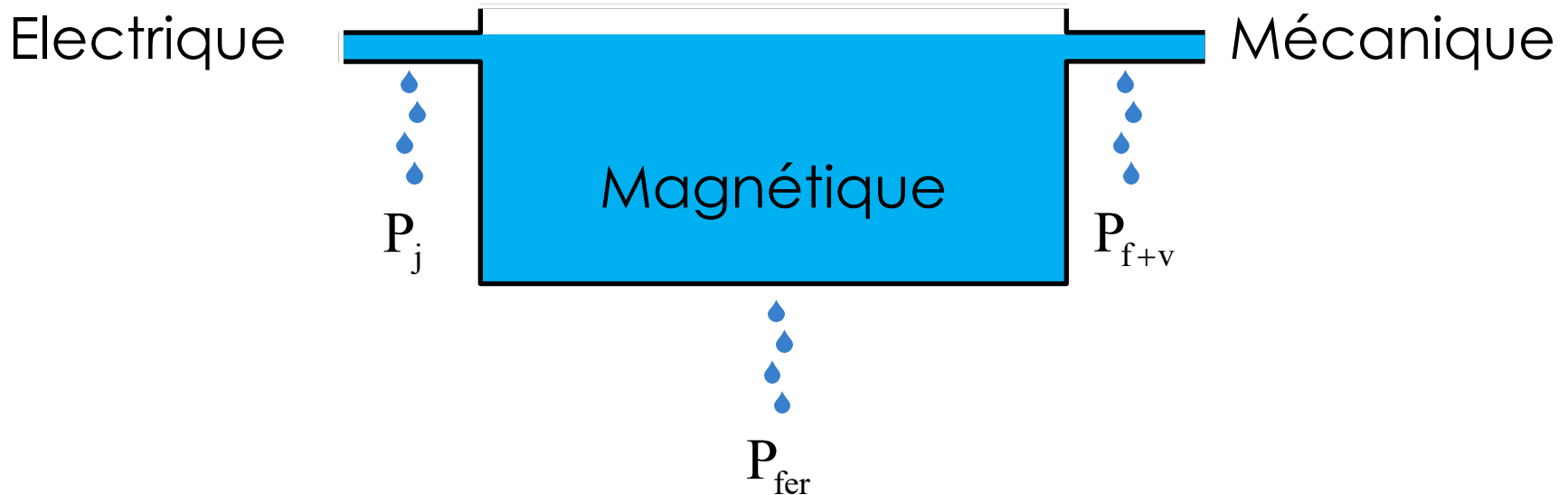
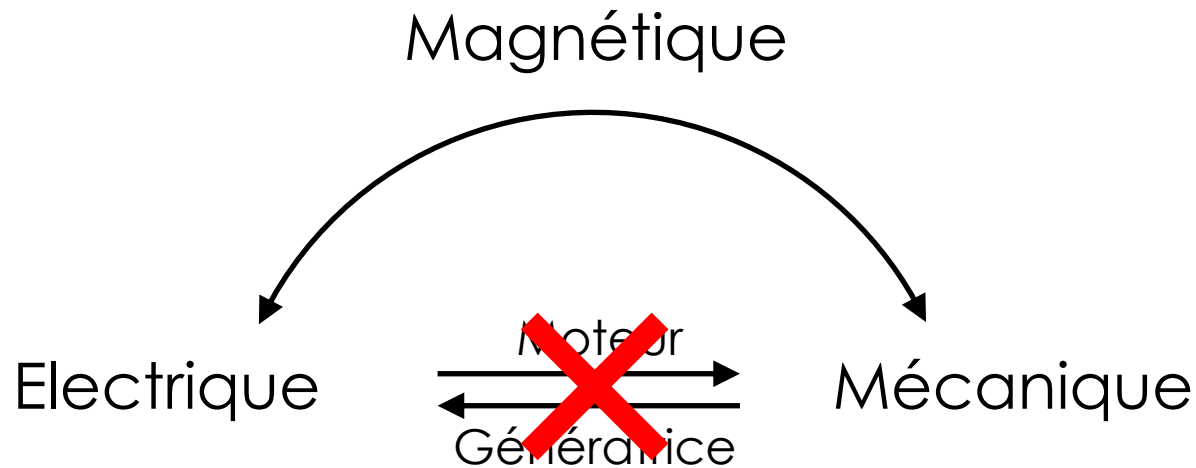


- Documentation concernant la partie générale
 - Notes de cours – Prof. M. Paolone (<http://moodle.epfl.ch>)
 - « Thermodynamique et Energétique 1, de l'énergie à l'exergie », L. Borel et D. Favrat, Presses Polytechniques Romandes, 2005, ISBN – 2880745454
 - « Thermodynamique et énergétique 2, Problèmes résolus et exercices », L. Borel, D. Favrat, D. Lan Nguyen, M. Batato, Presses Polytechniques Romandes, 2005, ISBN – 2880747066
 - « Wind Energy Handbook », T. Burton, N. Jenkins, D. Sharpe, E. Bossanyi, John Wiley & Sons, 2011, ISBN - 0470699752, 9780470699751.

Systèmes de conversion pour la production d'énergie électrique – Electromécanique



Systèmes de conversion pour la production d'énergie électrique – Electromécanique



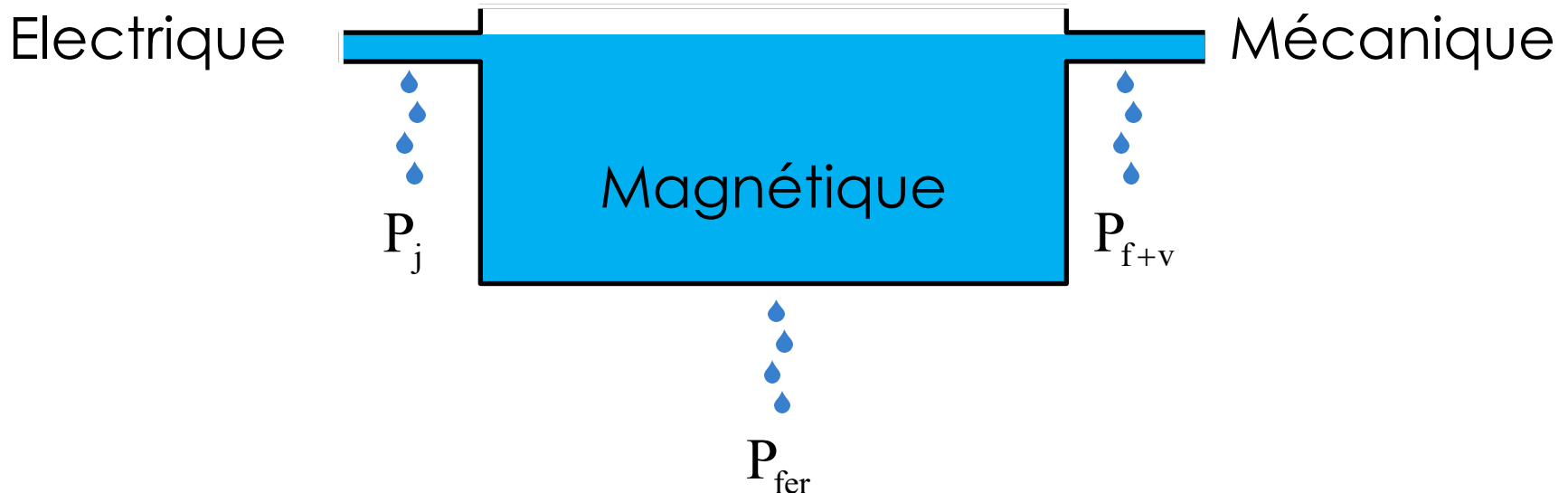
Systèmes de conversion pour la production d'énergie électrique – Electromécanique



Conversion d'énergie électromécanique (4 formes d'énergie) :

- énergie électrique
- énergie mécanique
- énergie thermique (pertes)
- énergie magnétique (emmagasinée dans le champ de couplage)

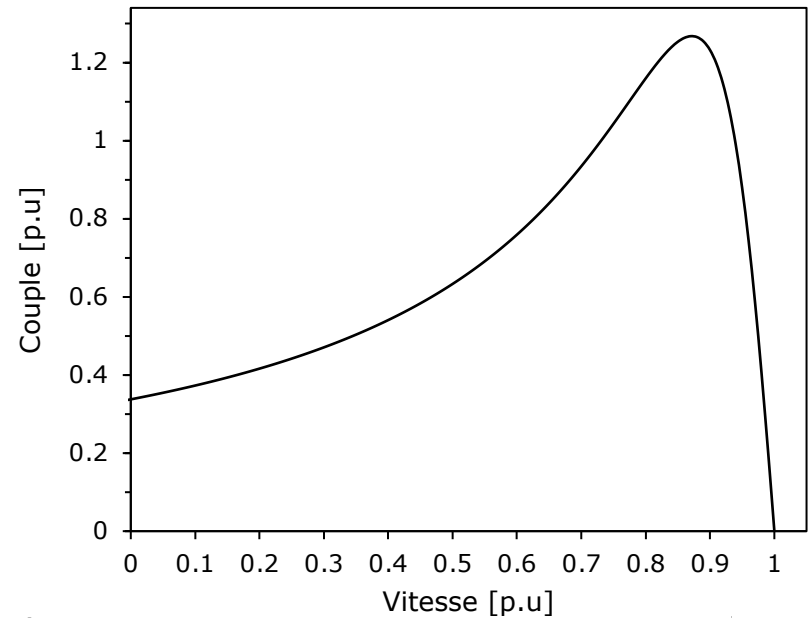
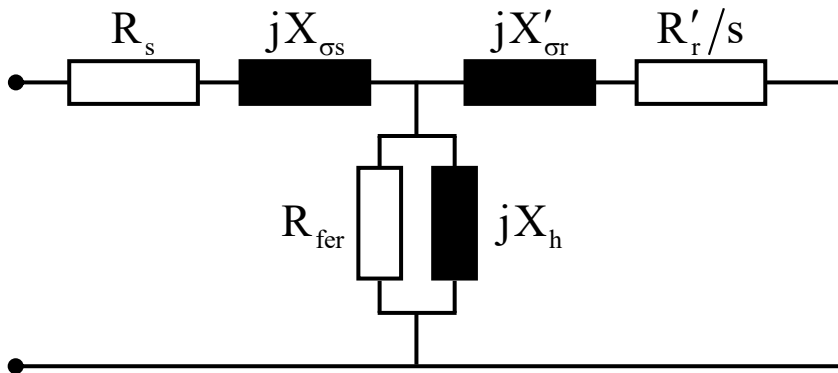
$$-\frac{\partial W_{\text{mag}}}{\partial \theta_m} = T_{\text{em}}$$



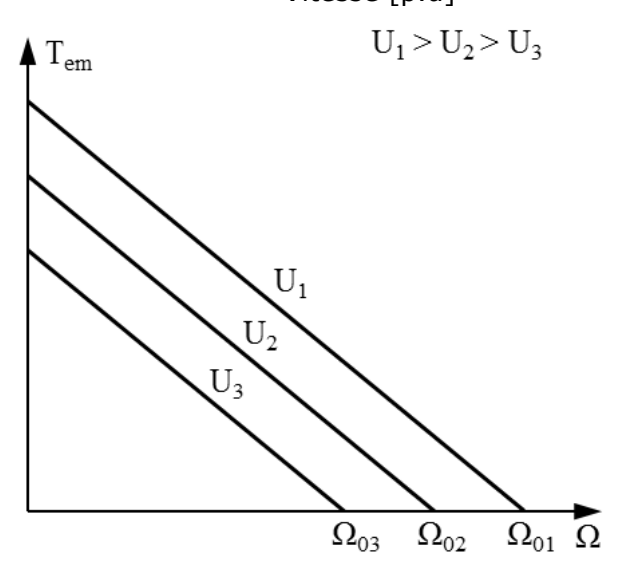
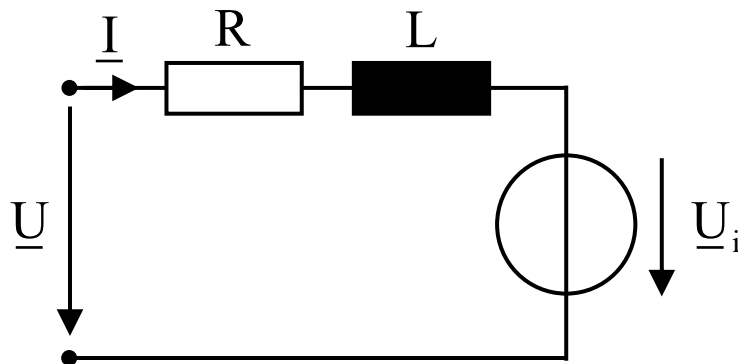
Systèmes de conversion pour la production d'énergie électrique – Electromécanique



Machine asynchrone

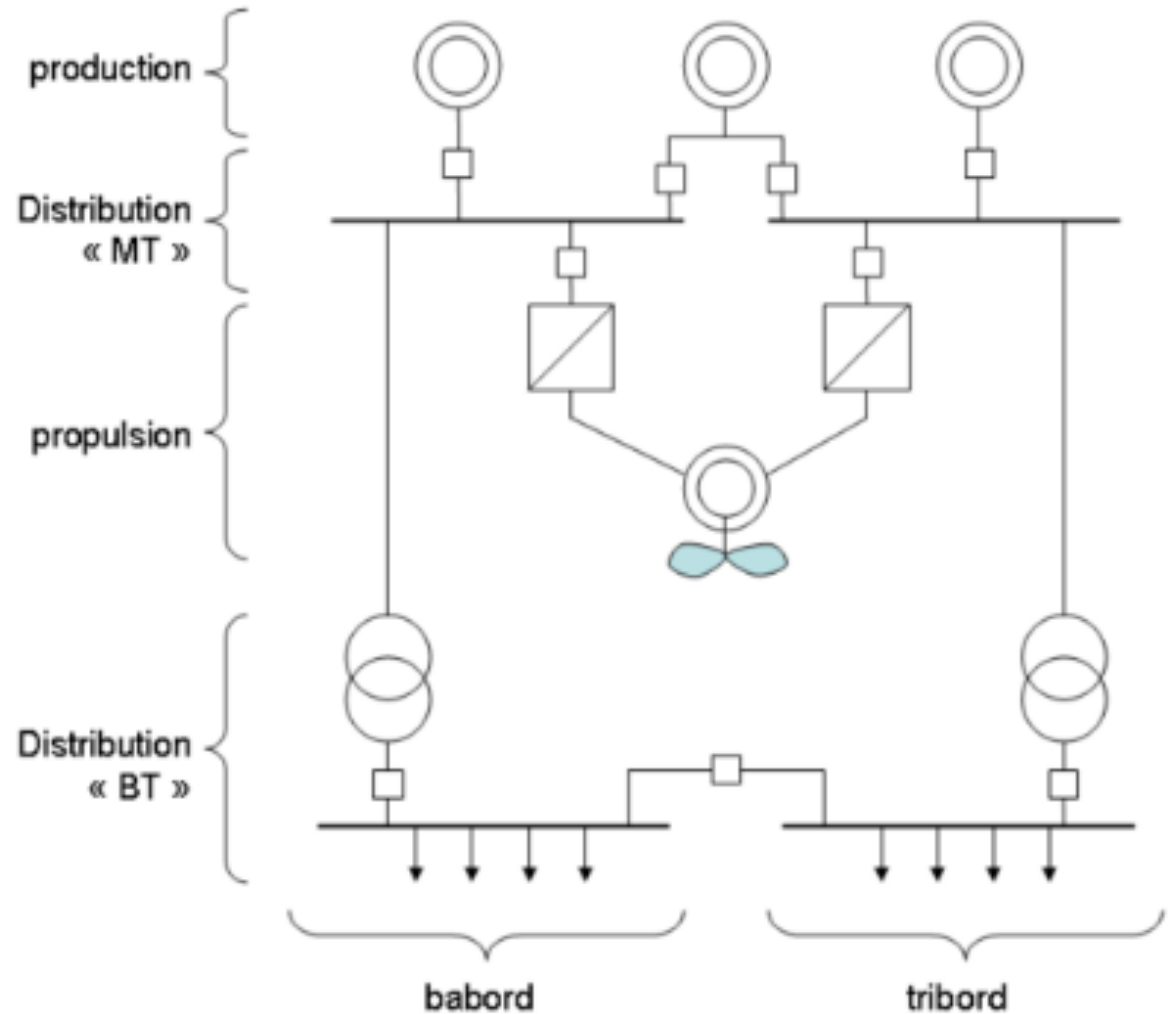


Moteur synchrone à aimants permanents

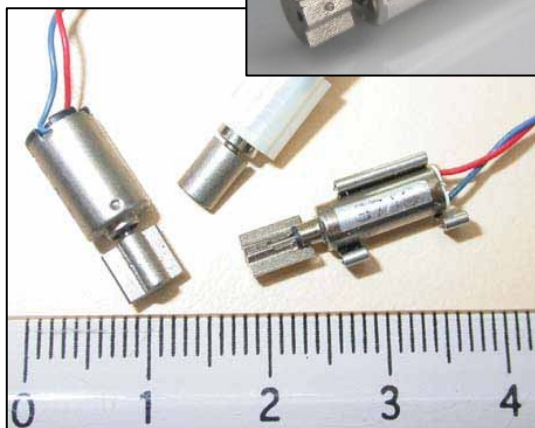
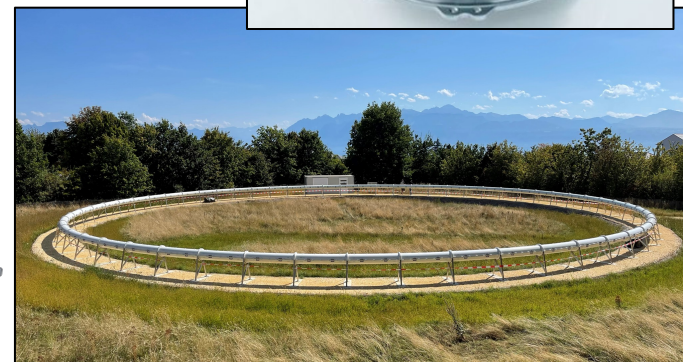


Systèmes de conversion pour la production d'énergie électrique – Electromécanique

Propulsion électrique dans la marine







Source :
quora.com
imore.com
tesla.com
teslarati.com
Wikipedia

Systèmes de conversion pour la production d'énergie électrique – Electromécanique



- Contenu de la partie électromécanique
 - Introduction sur la conversion électromécanique
 - Energies : mécanique, électrique, magnétique
 - Bases de la conversion électromécanique
 - Circuits magnétiques – Définition des inductances
 - Transformateur
 - Conversion électromécanique - Machines électriques
 - Elements de base des machines électriques
 - Machine synchrone
 - Machine à courant continu
 - Machine asynchrone

Systèmes de conversion pour la production d'énergie électrique – Electromécanique



- Documentation du module
 - Slides du cours – Dr A. Hodder (<http://moodle.epfl.ch>)
 - « Machine Electriques », Polycopié, A. Hodder, 2016
 - « Machine Electriques », Traité d'électricité Vol. X, J. Chatelain, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1989
 - « Electromécanique », Traité d'électricité Vol. IX, Ed. 3, M. Jufer, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2015

Conversion d'énergie électrique



Motivation:

- Conversion d'énergie électrique

Pourquoi l'énergie électrique?

- Génération à partir d'énergie renouvelables

- Réduction en consommation

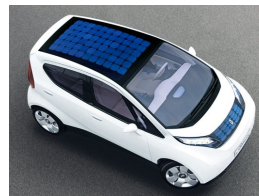
Eolien



Solaire



Vehicules
electriques



Data centers

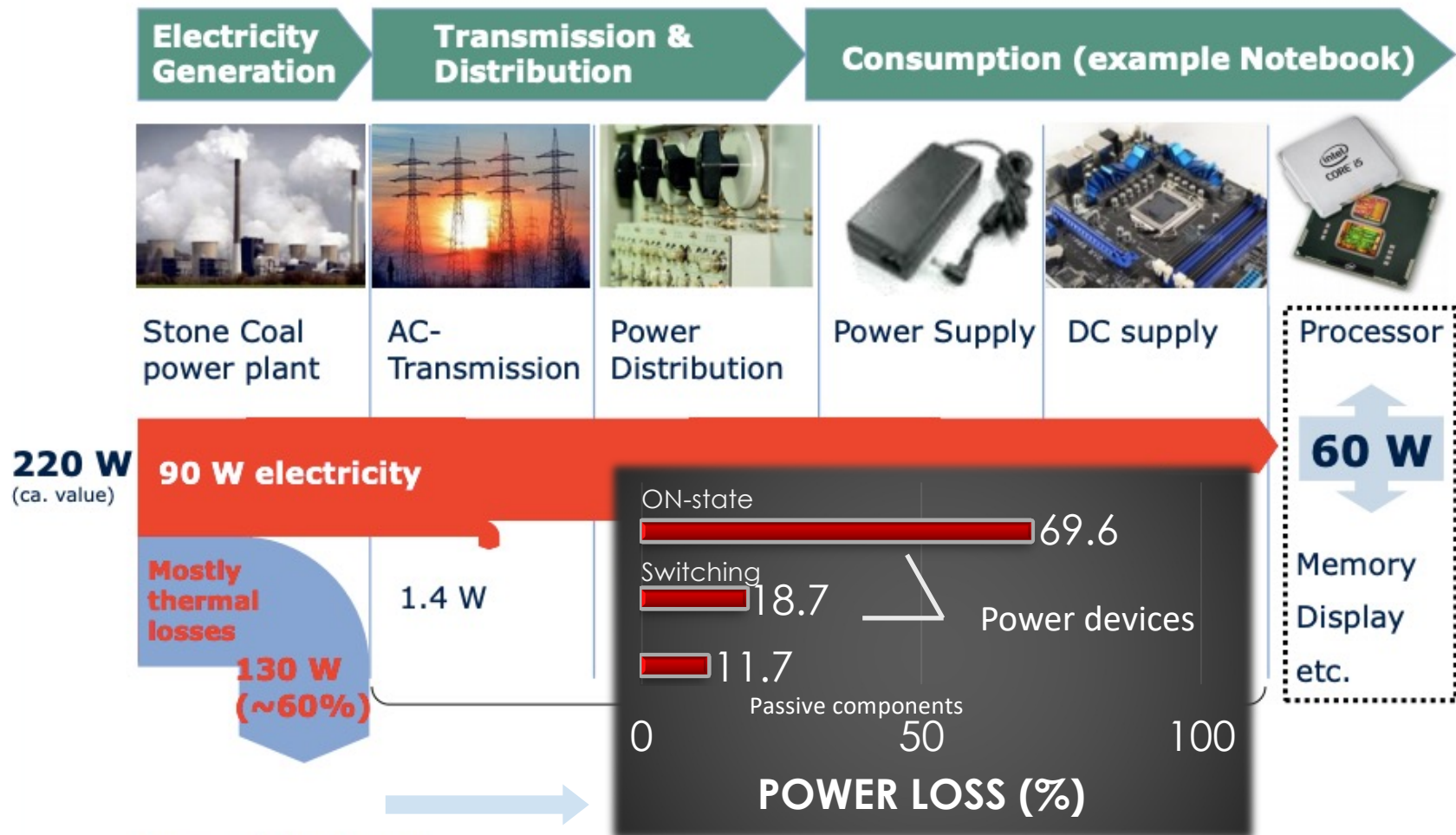


Lampes à LEDs



Conversion d'énergie électrique

Motivation: Pertes en conversion d'énergie



Source: Infineon estimate

Comment reduire ces pertes?

[1] Infineon Technologies Austria AG, "GaN Power Devices: Development, Manufacturing, and Application," ICNS 2017, Strasbourg, France.

[2] O. Deblecker, Z. De Grève and C. Versèle, Comparative Study of Optimally Designed DC-DC Converters with SiC and Si Power Devices, Advanced Silicon Carbide Devices and Processing, 2015.

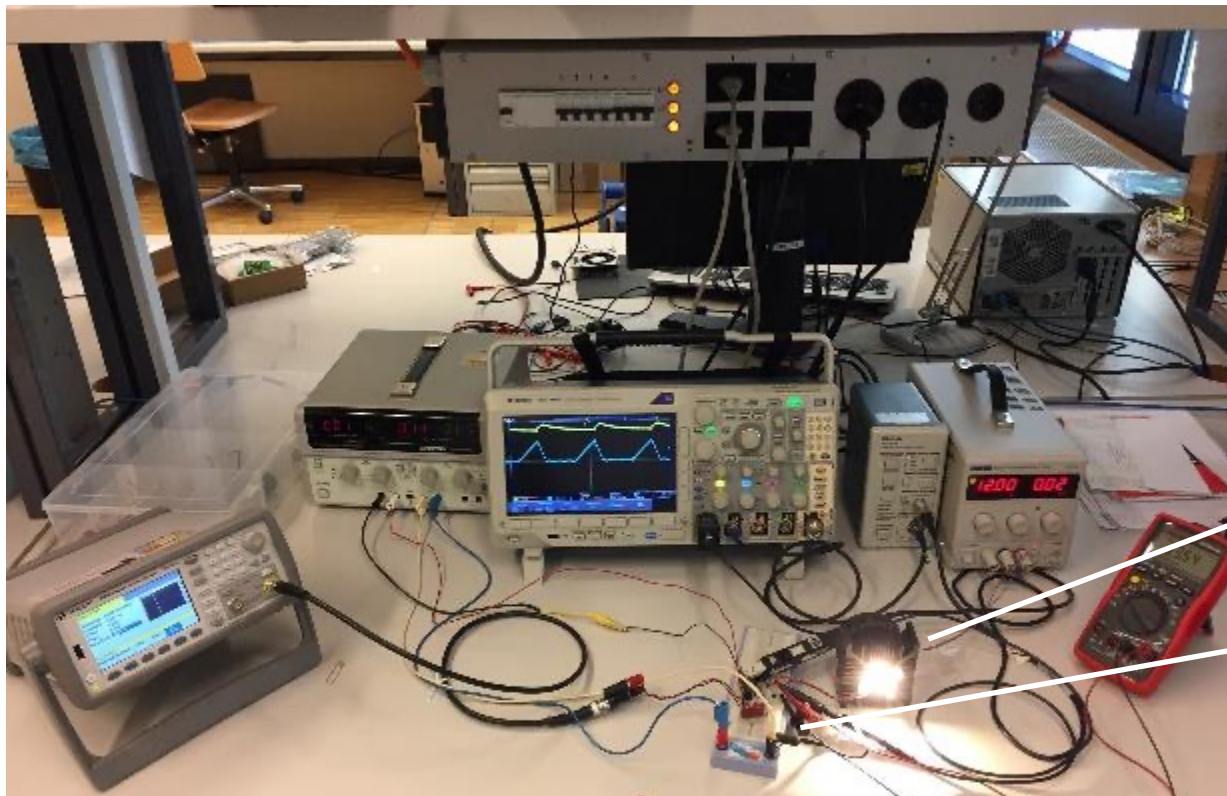
Conversion d'énergie électrique

But de cette partie du cours:

Conception **pratique** d'un convertisseurs d'énergie électrique

Elements de théorie → Conception/Simulation → Demonstration

Objectif final du cours: Conception et démonstration d'un convertisseur DC-DC
Démontrer un driver pour une lampe à LED



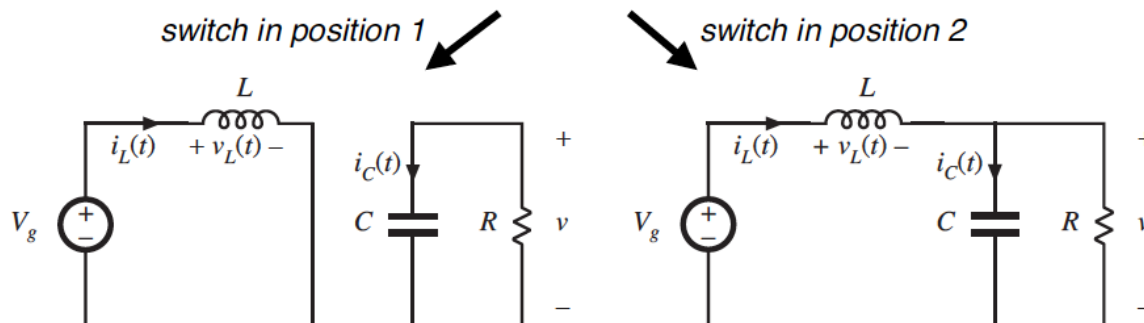
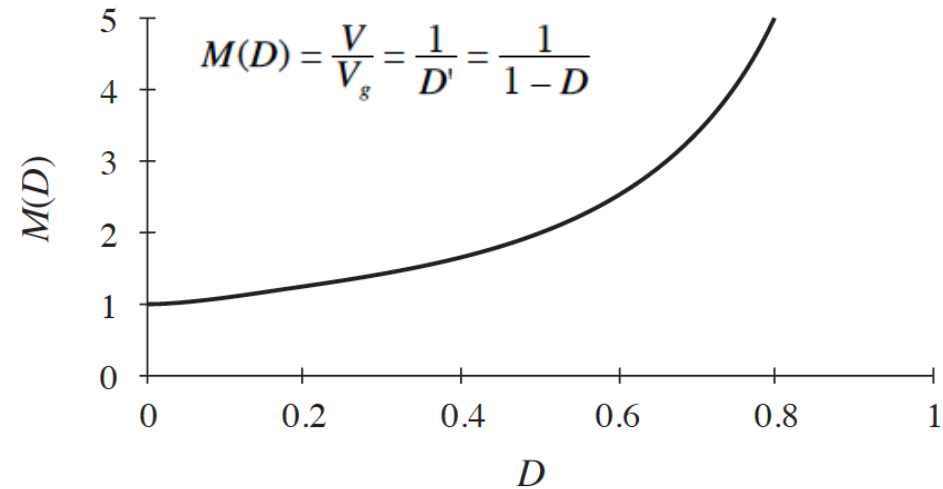
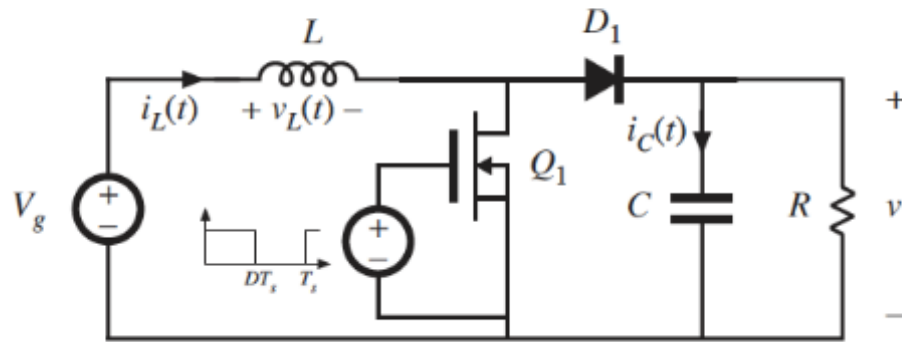
LED

Boost converter

Conversion d'énergie électrique

Dans ce cours, nous allons apprendre:

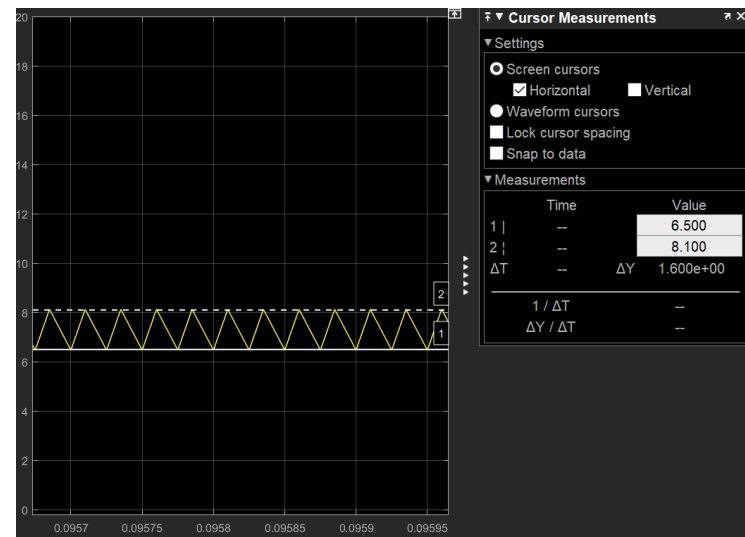
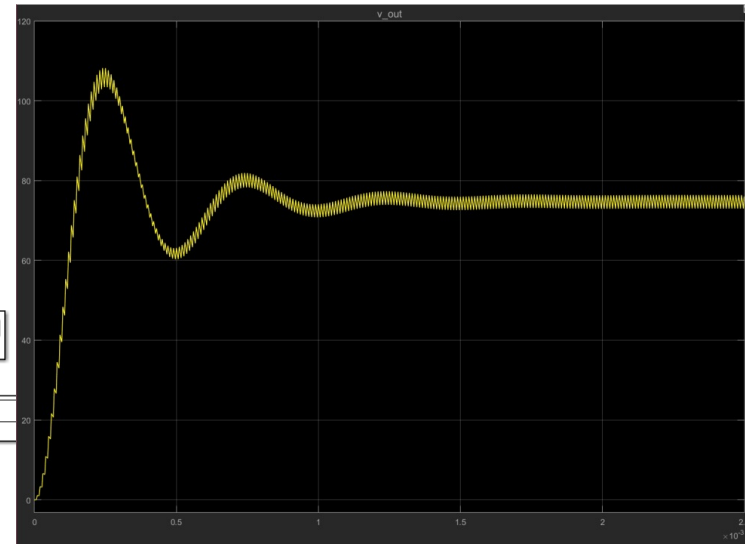
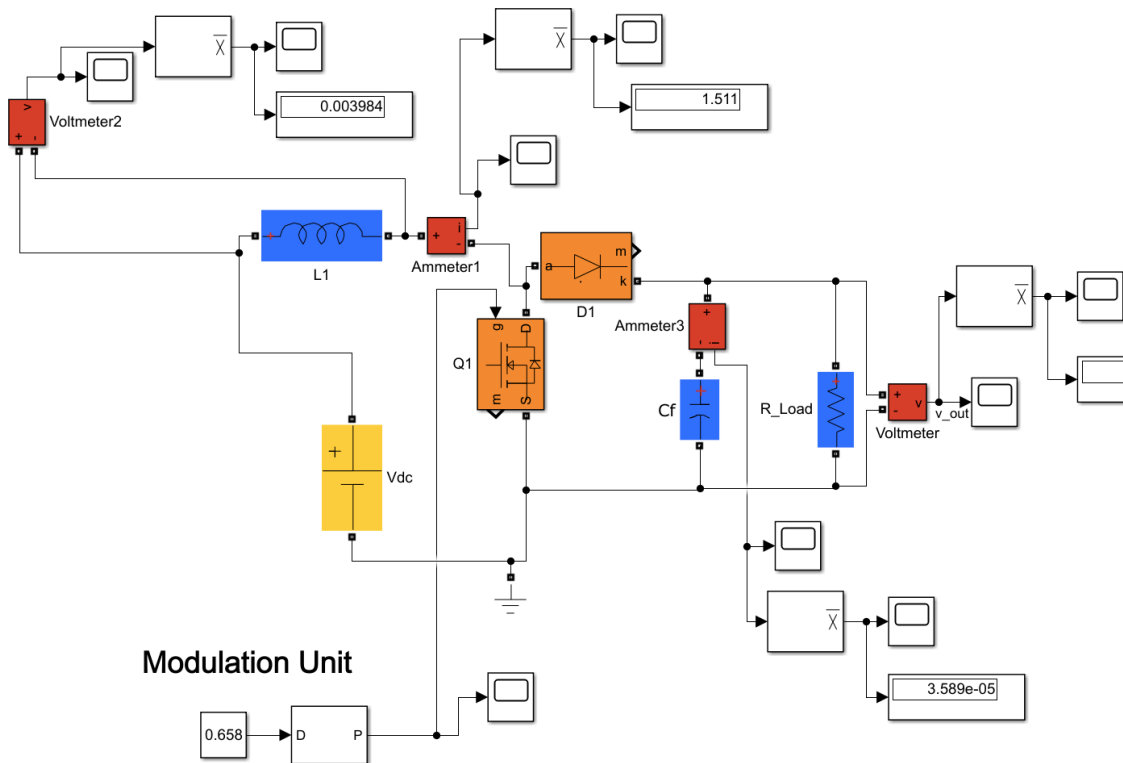
1. La théorie de convertisseurs de puissance
2. Conception et simulation des convertisseurs
3. Mesure expérimentale des convertisseurs



Conversion d'énergie électrique

Dans ce cours, nous allons apprendre:

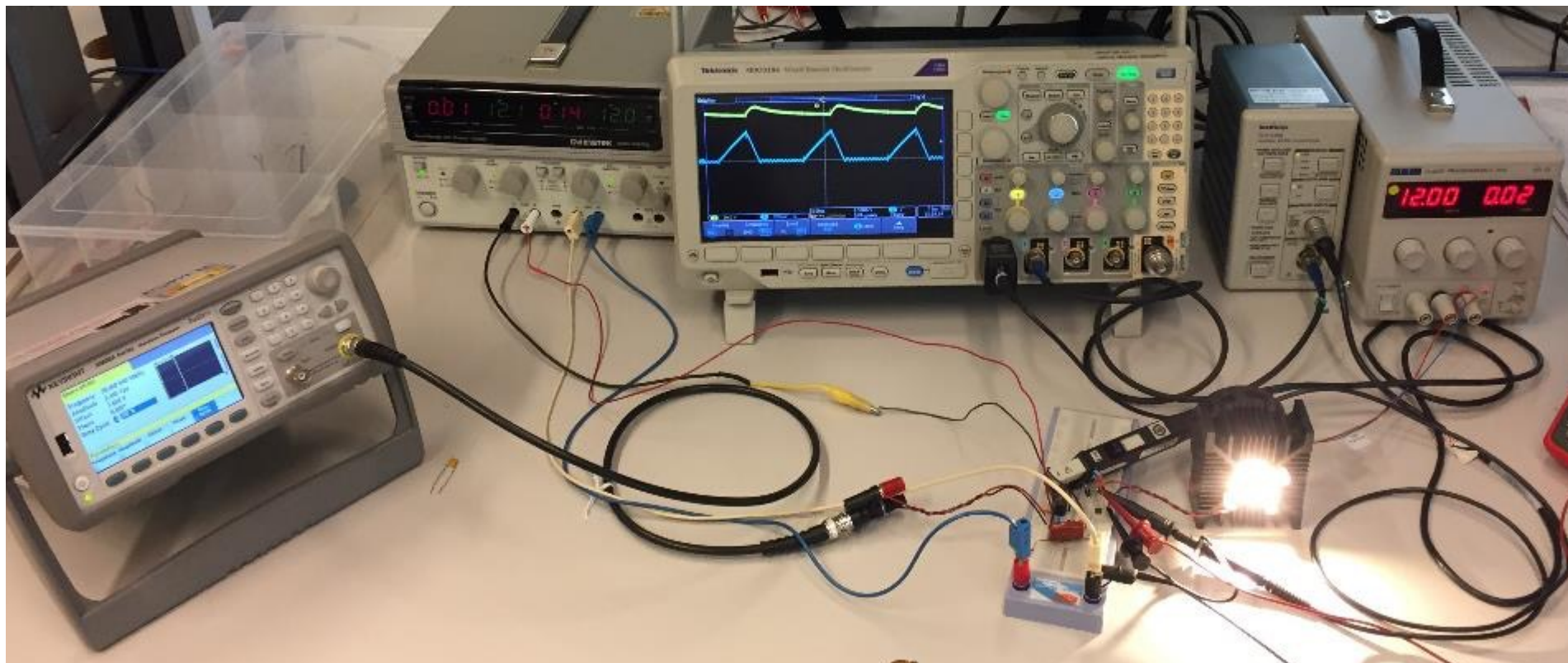
1. La théorie de convertisseurs de puissance
2. Conception et simulation des convertisseurs
3. Mesure expérimentale des convertisseurs



Conversion d'énergie électrique

Dans ce cours, nous allons apprendre:

1. La théorie de convertisseurs de puissance
2. Conception et simulation des convertisseurs
3. Mesure expérimentale des convertisseurs



Vous réaliserez le convertisseur que vous avez conçu en pratique

Systèmes de conversion pour la production d'énergie électrique – Conversion électrique



Contenu de la partie conversion d'énergie électrique

- Motivation: pourquoi conversion d'énergie électrique
- Introduction à la conversion d'énergie électrique
 - Introduction à l'électronique de puissance
 - Convertisseurs
 - Composants semi-conducteurs de puissance
- Famille Convertisseurs:
 - Convertisseurs DC/DC (buck, boost)
 - Convertisseurs AC/DC (convertisseurs de courant)
 - Convertisseurs DC/AC (onduleurs de tension)
- Conception/simulation des convertisseurs:
- Démonstration pratique et caractérisation expérimentale
 - Mesure d'efficacité de conversion

Systèmes de conversion pour la production d'énergie électrique – Conversion électrique



■ Documentation du module

- Notes de cours – Prof. E. Matioli (<http://moodle.epfl.ch>)
- Fundamentals of Power Electronics – second edition – Robert W. Erickson and Dragan Maksimović, Kluwer Academic Publishers, 2004
- « Electronique de Puissance », P. Barrade, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2006
- Système d'électronique de puissance, A. Rufer, Polycopié, EPFL
- « Convertisseurs Statiques », H. Bühler, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1991
- Webench Power designer tool, Texas instruments, 2015



Examen

- Contrôle continu en cours de semestre
- Examens écrits pour les parties 1 et 2, projet (avec un rapport écrit) pour la partie 3.
- Chaque examen/rapport sera évalué avec une note.
- La note finale du cours sera la moyenne des trois notes.