



Génie Electrique et Electronique
Bachelor semestre 5

Cours « Conversion d'énergie »

Partie 3

Leçon d'introduction

Introduction à la conversion d'énergie électrique

Prof. Elison Matioli

POWERlab - EPFL

Partie 1 – Disponibilité des ressources énergétiques

Partie 2 – Conversion electro-mécanique

Partie 3 – **Conversion électrique**

But de ce cours:

Conception des convertisseurs d'énergie électrique

Elements de théorie



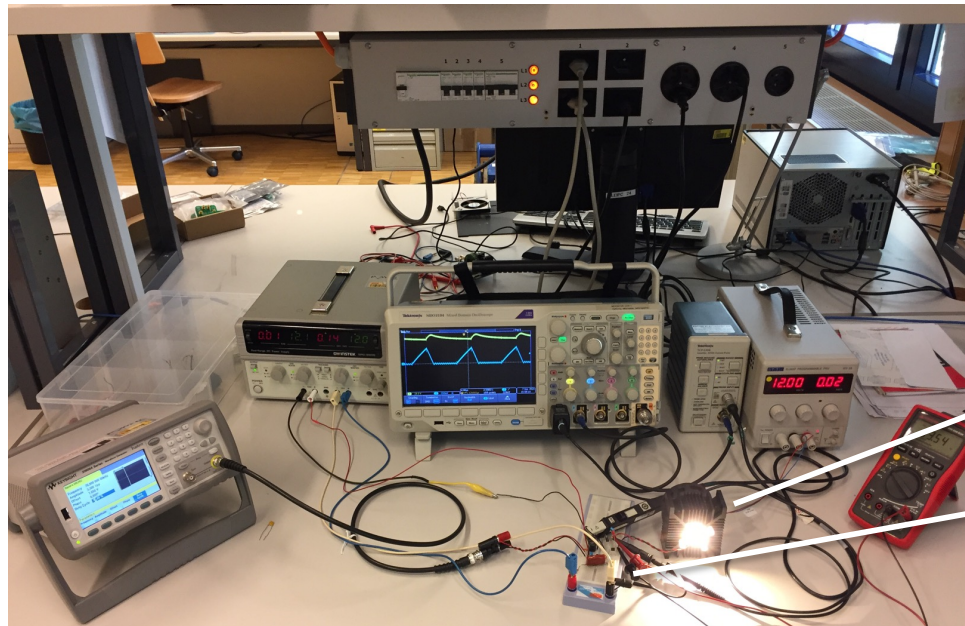
Conception/Simulation



Demonstration

Objectif final du cours:

Conception et démonstration d'un convertisseur DC-DC: driver pour une lampe à LED

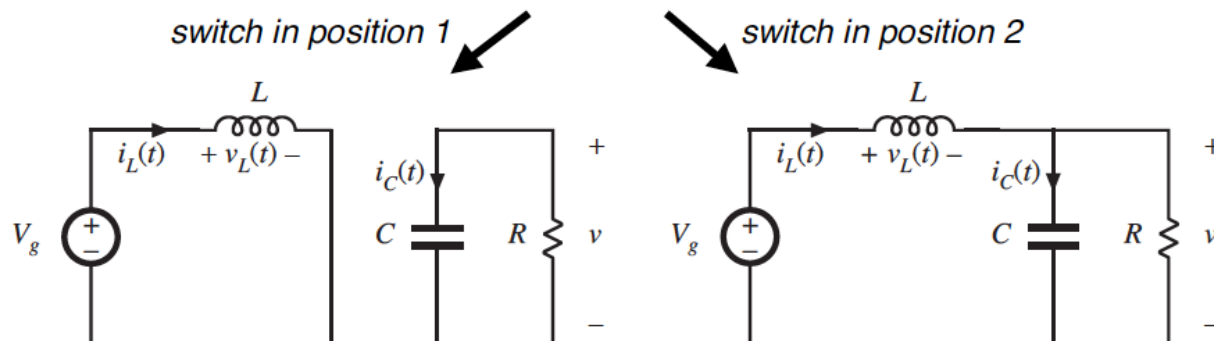
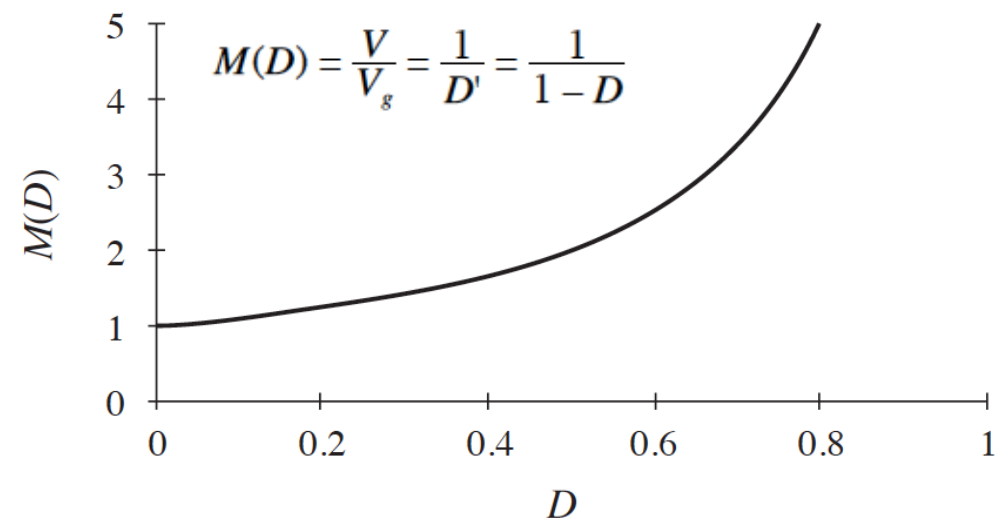
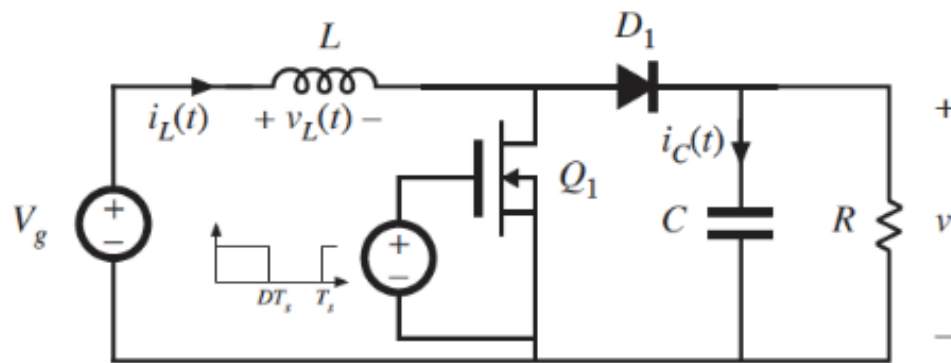


LED

Boost converter

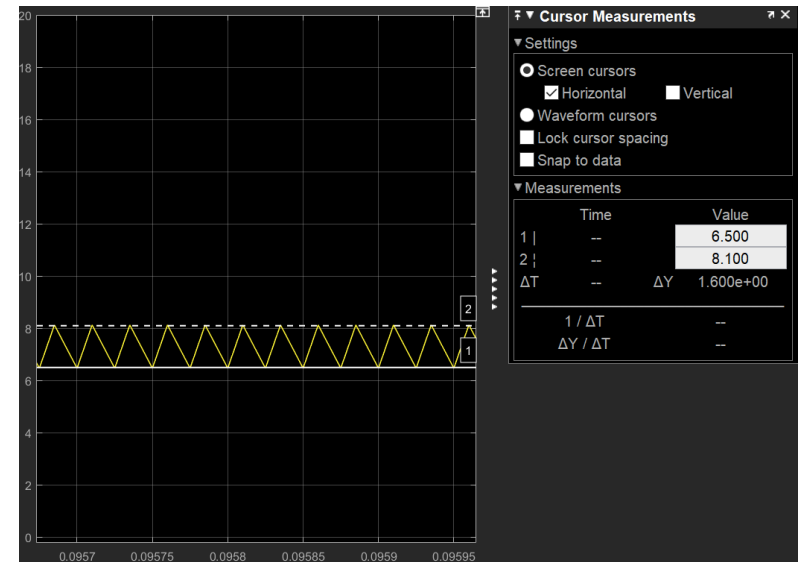
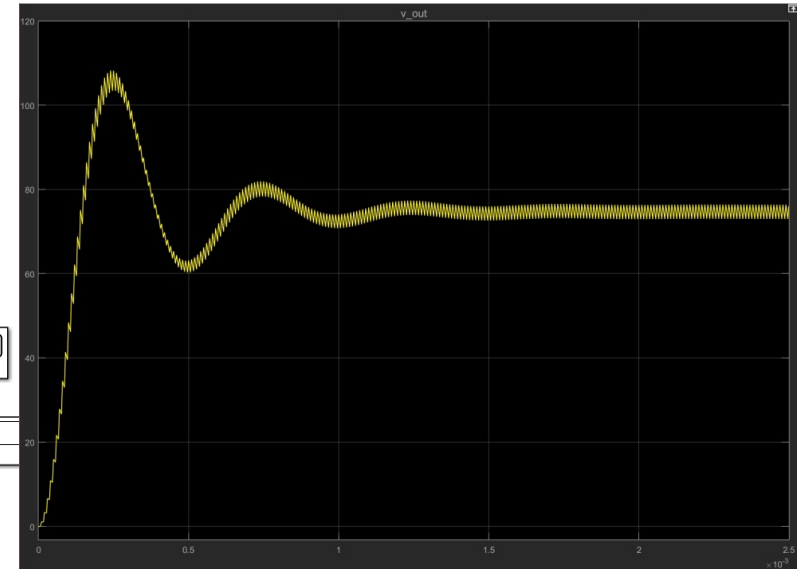
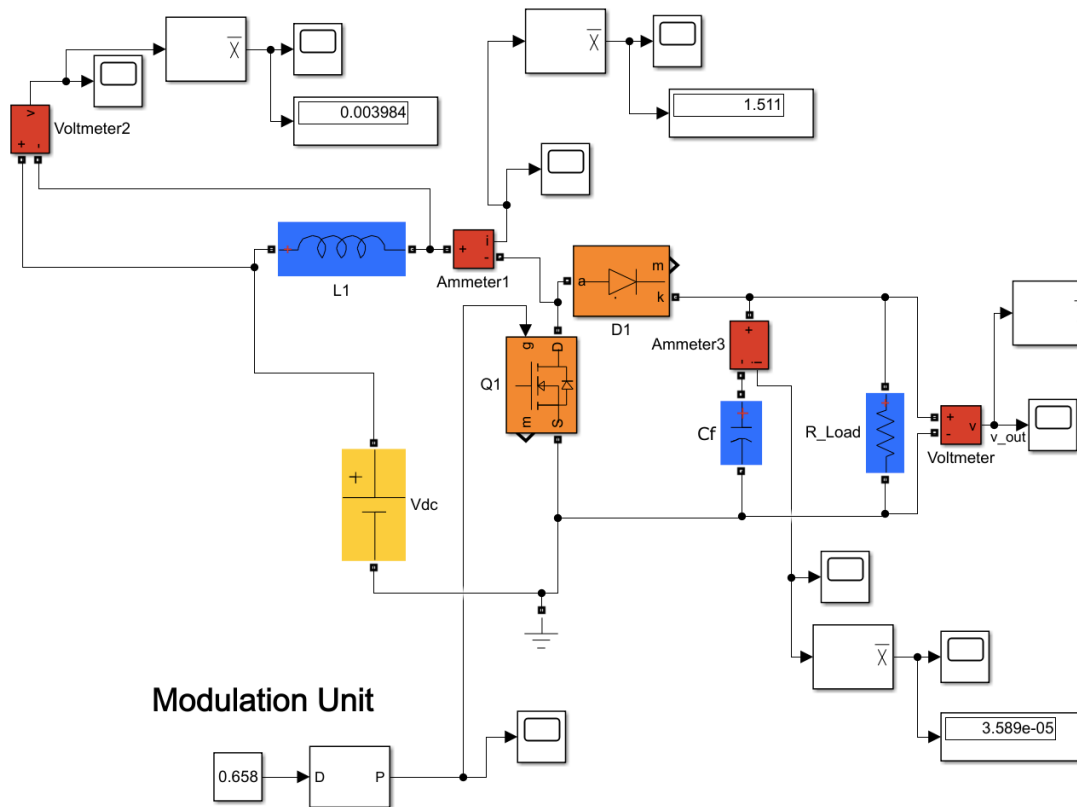
Dans ce cours, nous allons apprendre:

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



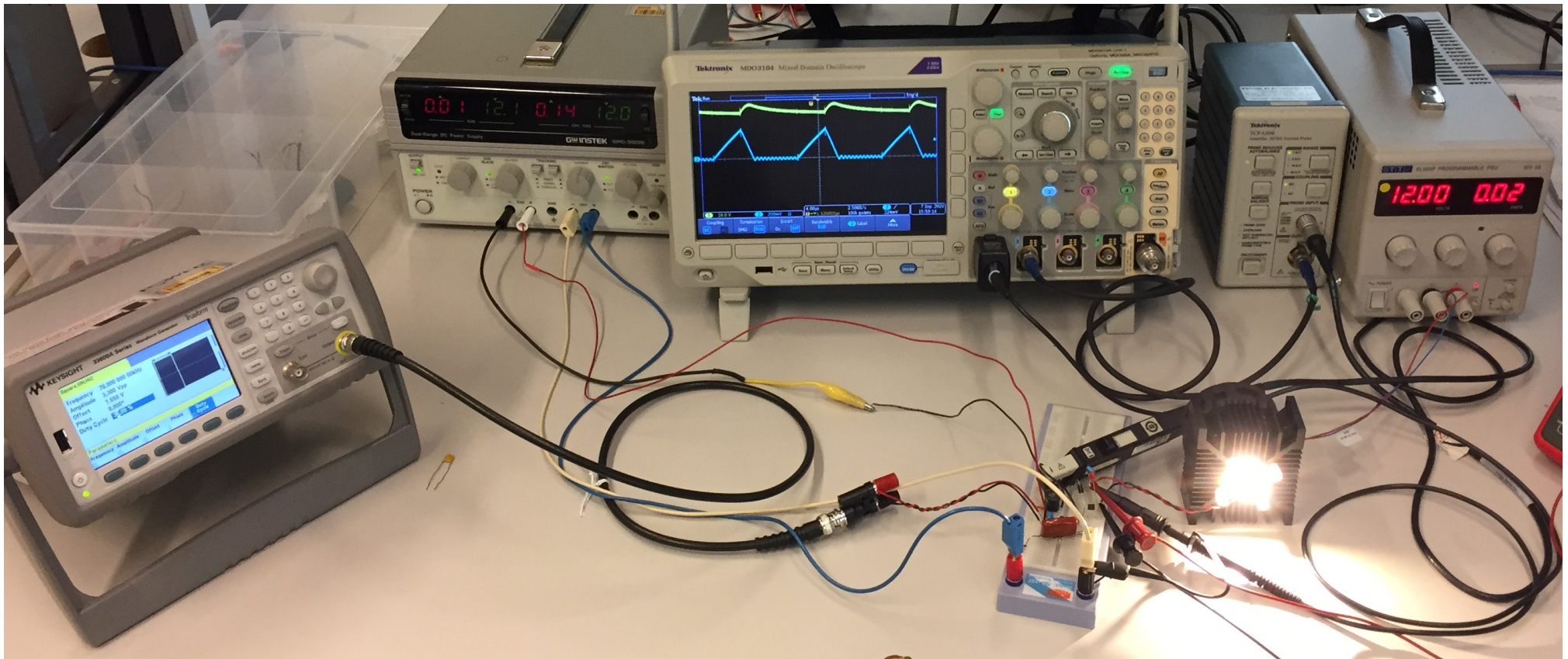
Dans ce cours, nous allons apprendre:

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



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

Contenu du cours

- 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)
 - Convertisseurs AC/AC (cycloconvertisseurs)
- Conception et simulation des convertisseurs
- Caractérisation expérimentale
 - Mesure d'efficacité de conversion

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

Partie 3 – Conversion électrique

Contenu spécifique du cours

	Syllabus	Location	EE360 - 3eme partie	
week 1	22.11.2024	BS260	Cours 1	Introduction
				brief Introduction au projet - what we will learn in this class
				Type de convertisseurs
				buck and boost converters
week 2	26.11.2024	ELD020	Cours 2	Analise des convertisseurs
				Volts-second balance
				Capacitor-charge balance
				Exercises on volt-sec balance and C-charge balance
	29.11.2024	BS260	Cours 3	CCM and DCM
				Discontinuous conduction mode
				PWM physical realization and Half bridges
week 3	03.12.2024	ELD020	Cours 4	Introduce the project- simulation and experimental: components, and the breadboard
				Introduction to Simulink - diode rectifier
				Introduce - Simulation of DC-DC converters (ideal)
				Implementation of PWM
	06.12.2024	BS260	Cours 5	Simulation Class - DC-DC converters (cont.)
				When finished: Continue buiding your circuit
week 4	10.12.2024	ELD020	Cours 6	Switch realization
				Semiconductor power devices, Introduction to gate driver
				calculate efficiency and share of losses
	13.12.2024	ELD 040	Cours 7	Lab session: finish your circuit
	16.12.2024	ELD 040	Extra session	Lab session: finish your circuit
week 5	17.12.2024	ELD 040	Cours 8	Projet experimental
				LED driver
	20.12.2024	no class		Project submission by 12h

Aujourd'hui: Insérez vos noms dans les groupes sur moodle. Max 5 personnes par groupe.

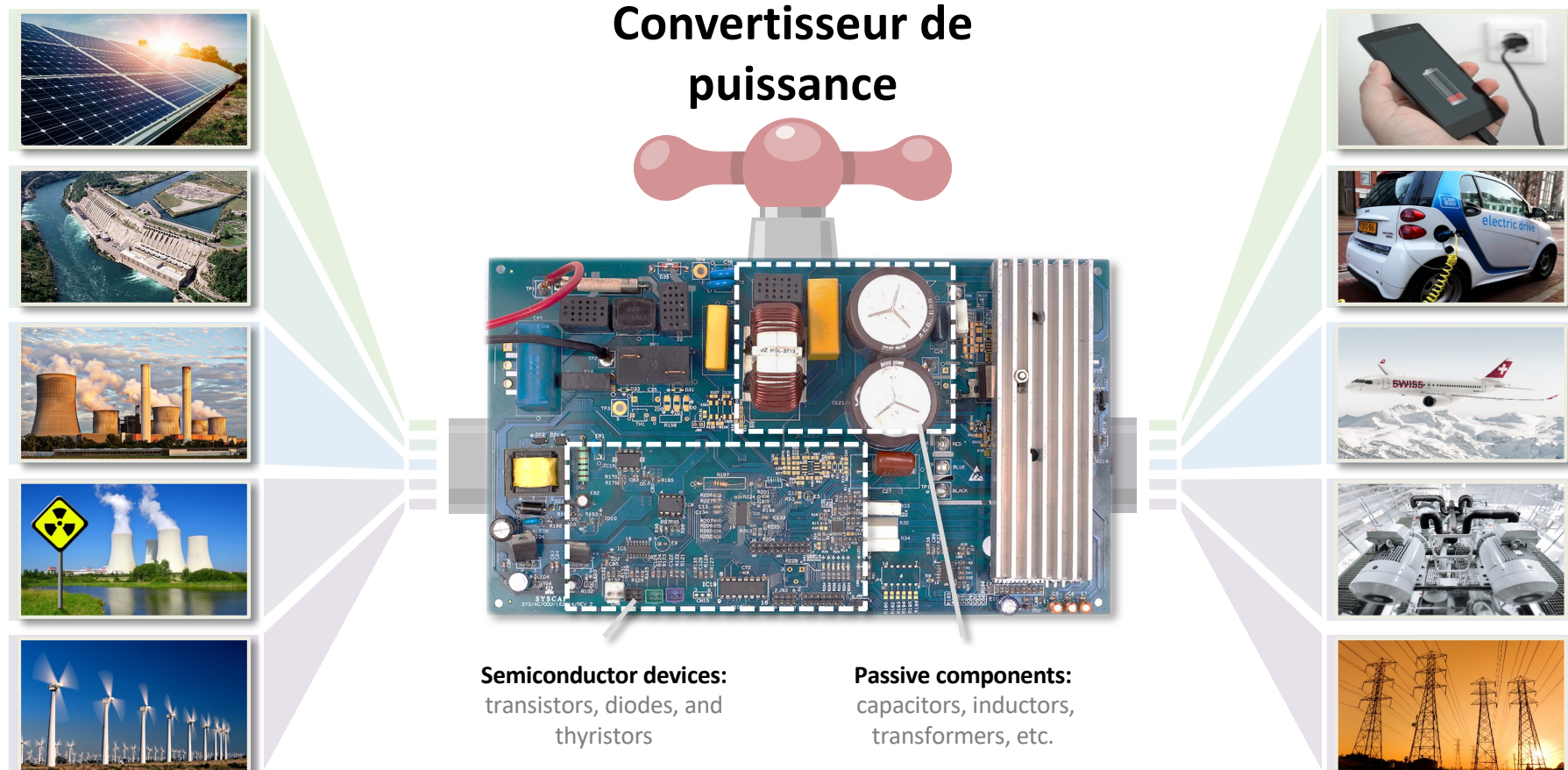
A la fin du cours: a rendre pour la note: 1 rapport pdf du projet: théorie, simulation et mesure expérimentale

Résumé de ce cours

- Introduction
- Notion de commutation
- Convertisseurs

Motivation pour la conversion d'Énergie:

- Conversion d'énergie électrique
- Génération à partir d'énergie renouvelables
- Réduction en consommation



Motivation pour la conversion d'Énergie:

- Conversion d'énergie électrique
- Génération a partir d'énergie renouvelables
- Réduction en consommation

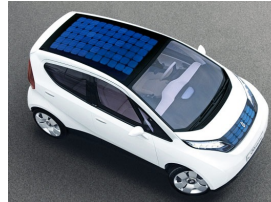
Eolien



Solaire



Vehicules
electriques



Data centers



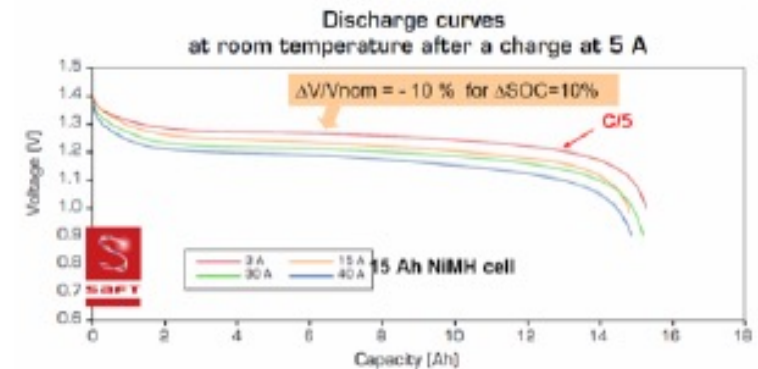
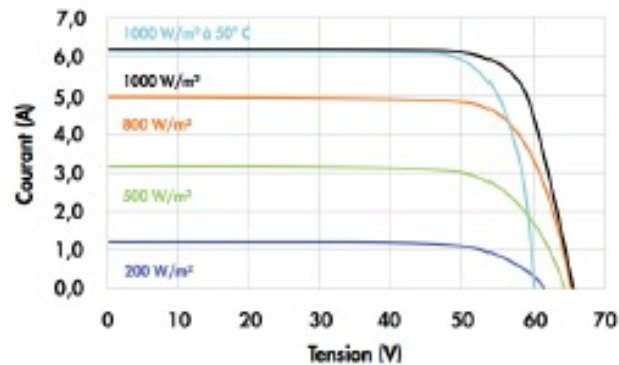
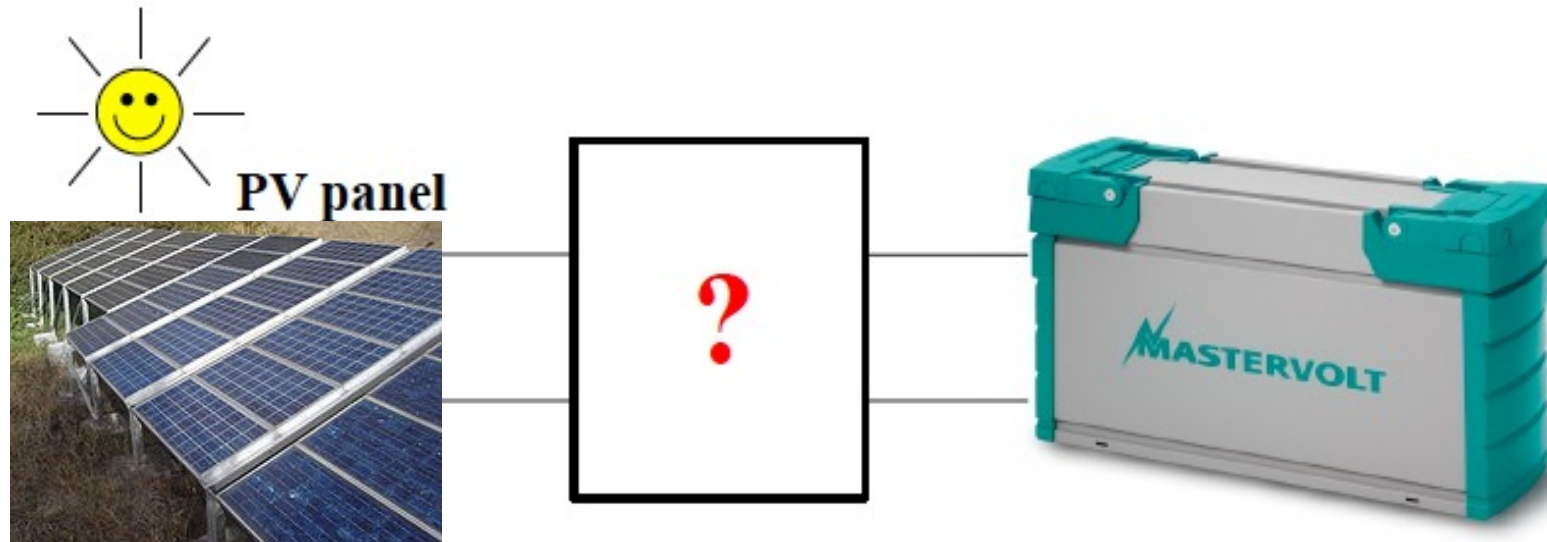
LEDs bulbs



Pourquoi l'énergie électrique?

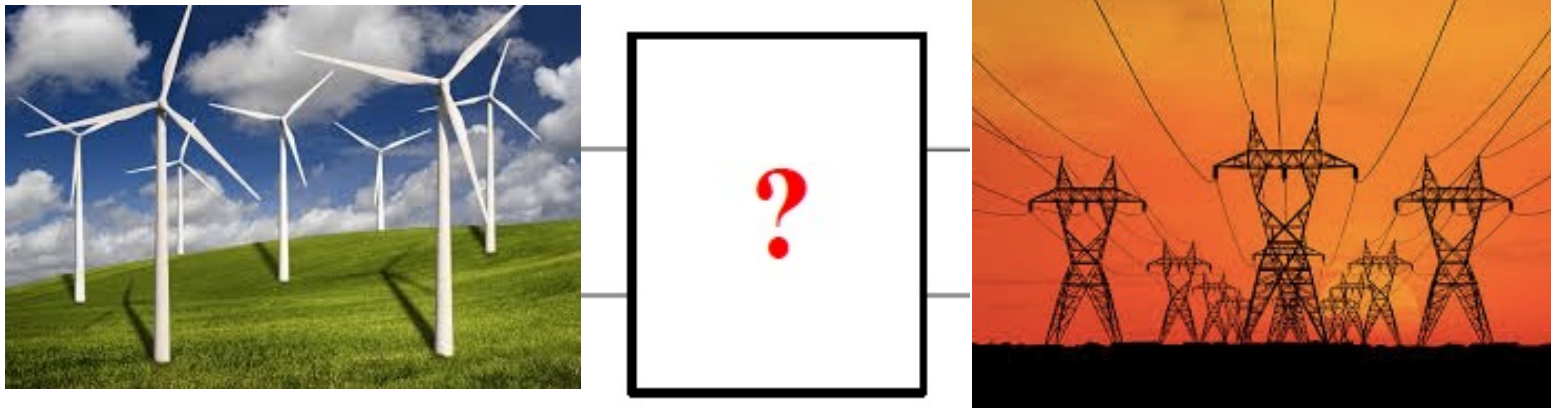
Mise en forme de l'énergie électrique:

Photovoltaïque, charge de batteries



Mise en forme de l'énergie électrique: Éolienne

Comment réaliser cette interface?

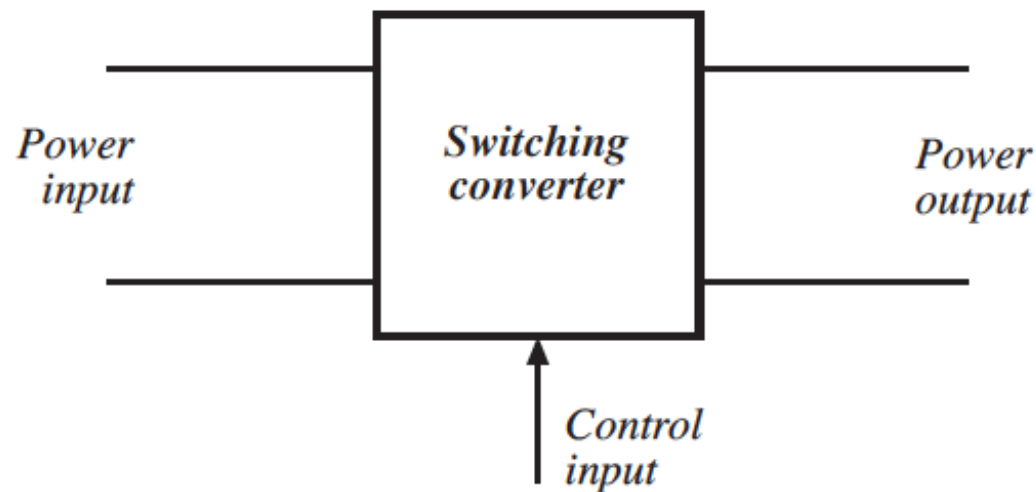


Introduction

Convertisseur statique:

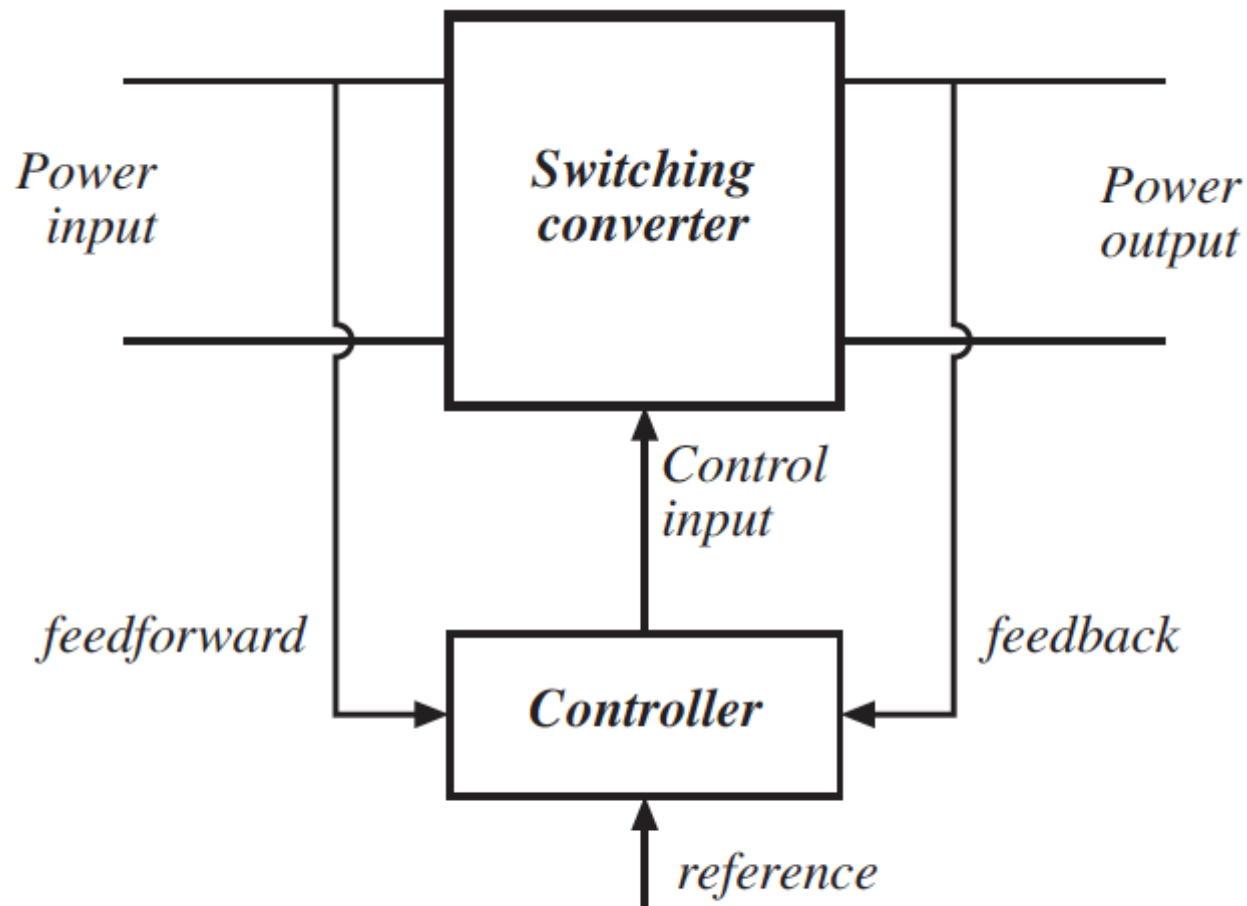
Système permettant d'adapter la source d'énergie électrique à un récepteur donné

Élément de base: commutateur (Switching-mode converter)



<i>Dc-dc conversion:</i>	Change and control voltage magnitude
<i>Ac-dc rectification:</i>	Possibly control dc voltage, ac current
<i>Dc-ac inversion:</i>	Produce sinusoid of controllable magnitude and frequency
<i>Ac-ac cycloconversion:</i>	Change and control voltage magnitude and frequency

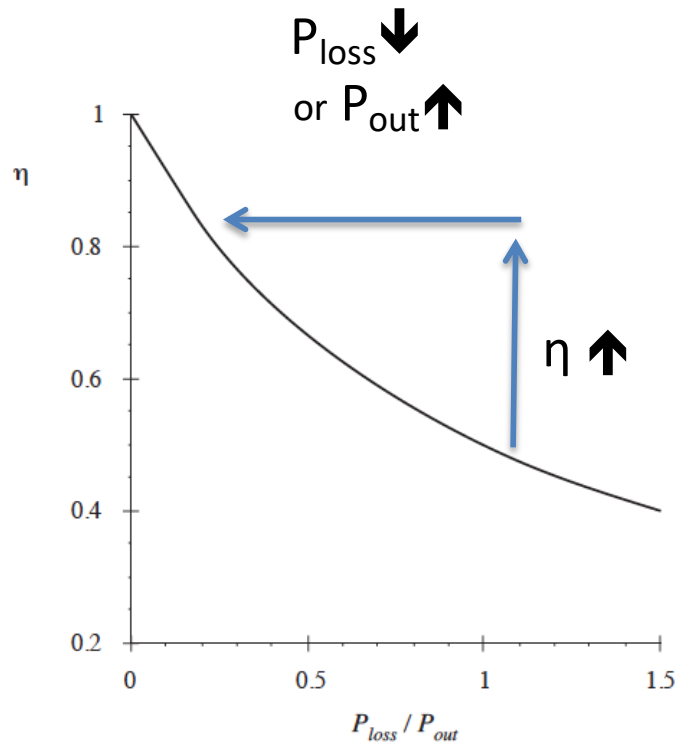
Contrôle est très important



Controller:

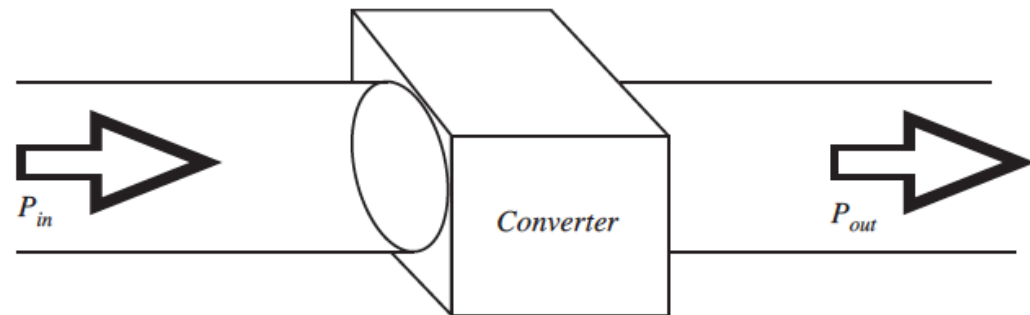
- Produce a regulated voltage, in the presence of variations in the input voltage and load current
- Analog feedback
- Sophisticated digital microcontrollers

Convertisseur à rendement élevé



$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

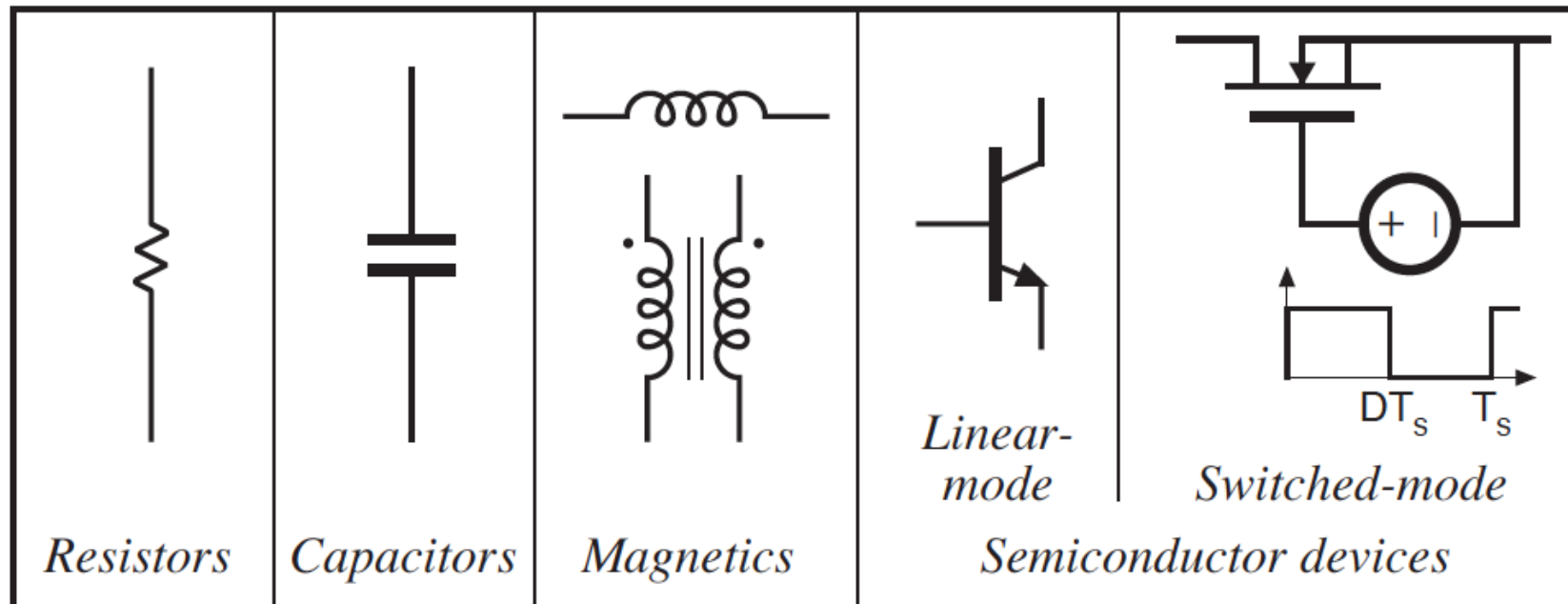
$$P_{loss} = P_{in} - P_{out} = P_{out} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right)$$



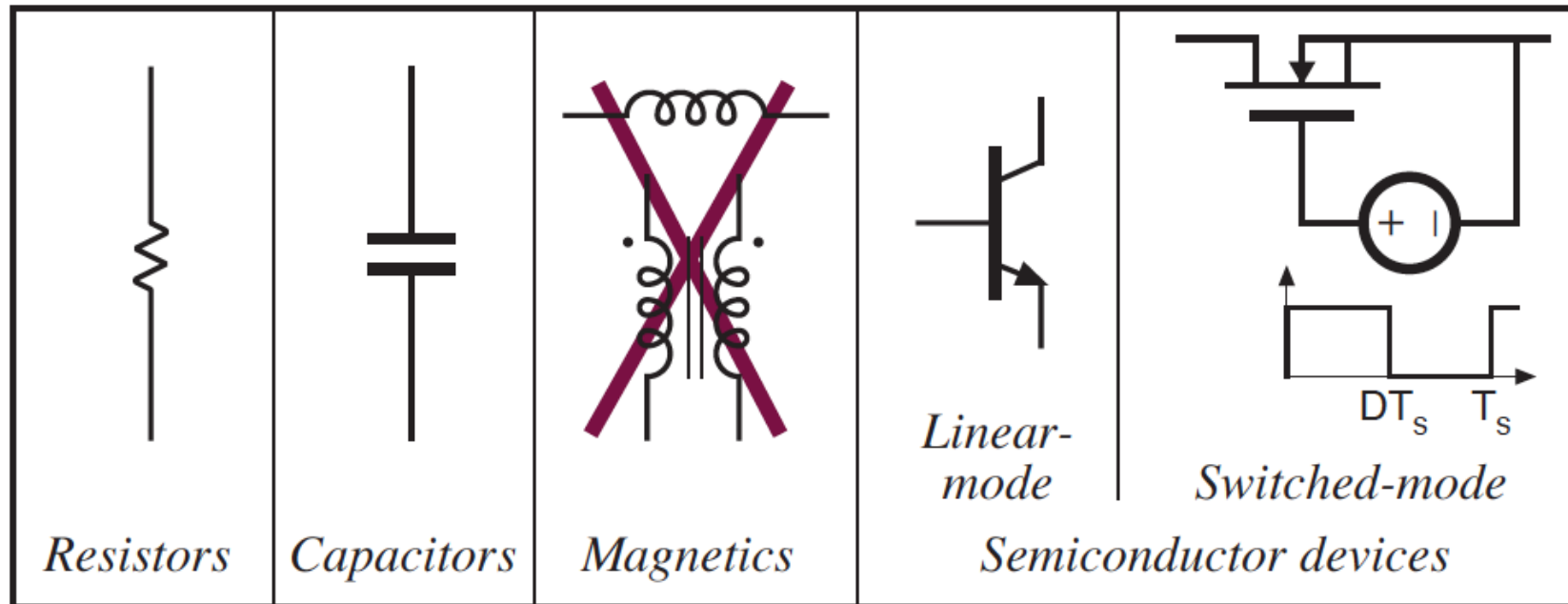
Rendement élevé: un des buts principaux dans la conception des convertisseurs

- Faible puissance dissipée: moins besoin de dissipateurs de chaleur
- Réduction de dimensions: coûts plus faibles
- Avec la même taille: Plus forte puissance
- Amélioration de la fiabilité

Composants disponibles

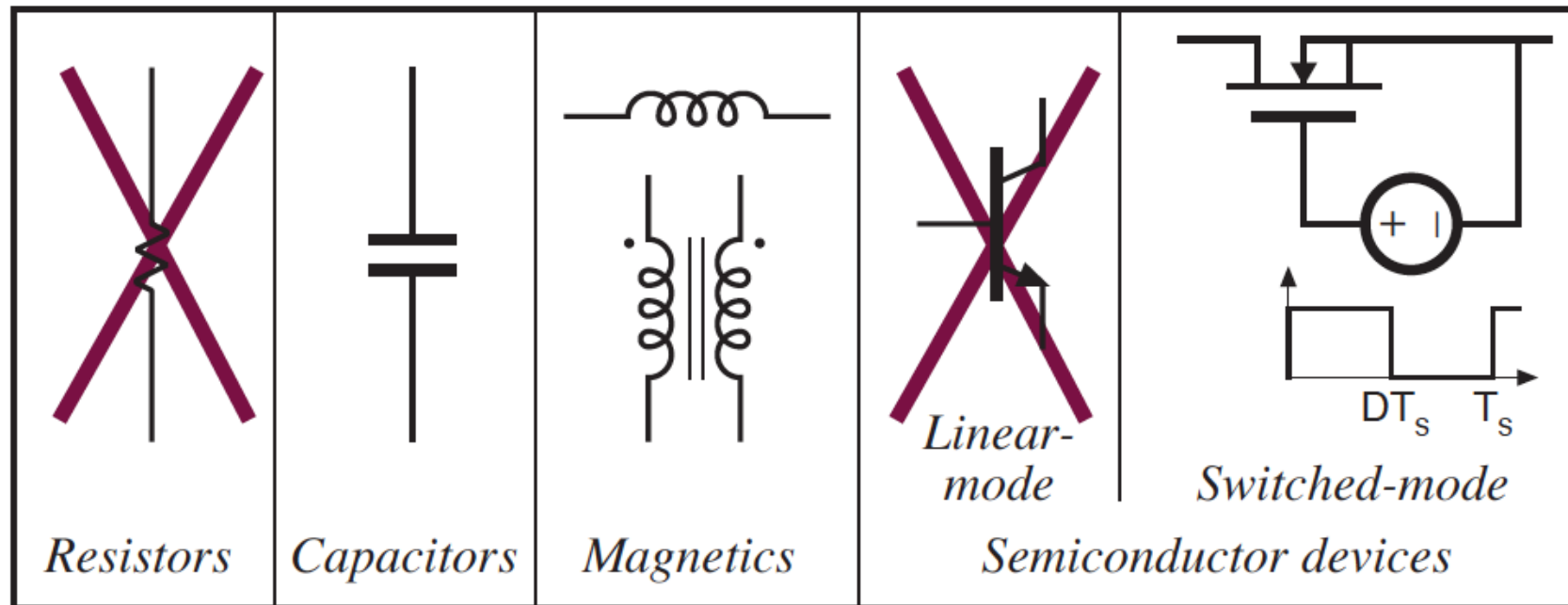


Composants disponibles



Signal processing: avoid magnetics

Composants disponibles

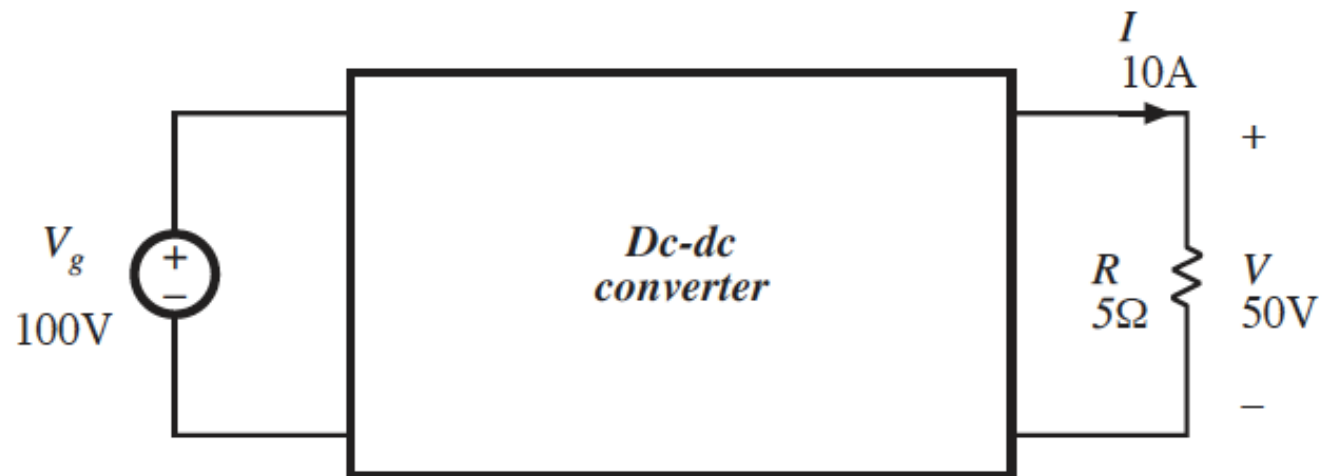


Power processing: avoid lossy elements

Condensateurs et inducteurs:

- Stockage d'énergie sans dissipation de puissance
- Énergie stockée peut être réutilisée

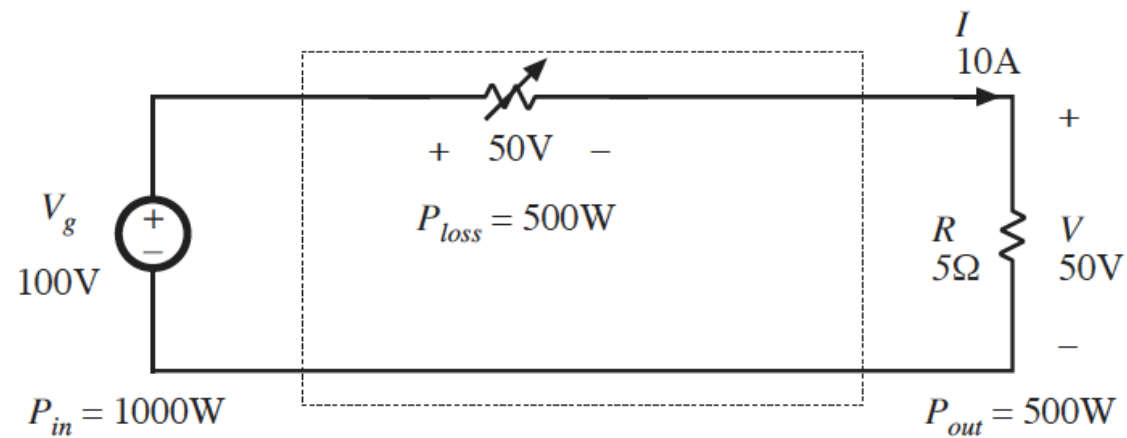
Convertisseur DC-DC



Un tel convertisseur, comment pourrait-il être réalisé?

Convertisseur DC-DC

Solution 1: pont diviseur résistif



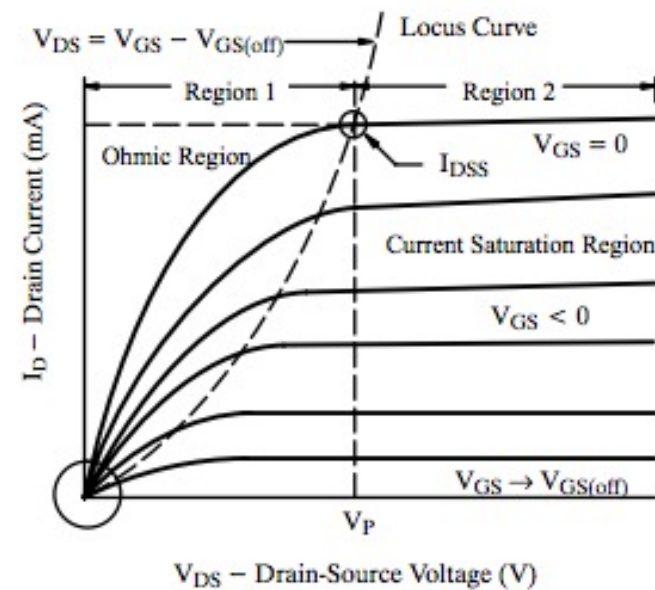
Très inefficace: mauvaise solution!

Convertisseur DC-DC

Solution 2:

- Composant actif, type transistor
- Recherche de configurations qui maximisent le rendement

Transistor dans sa caractéristique linéaire

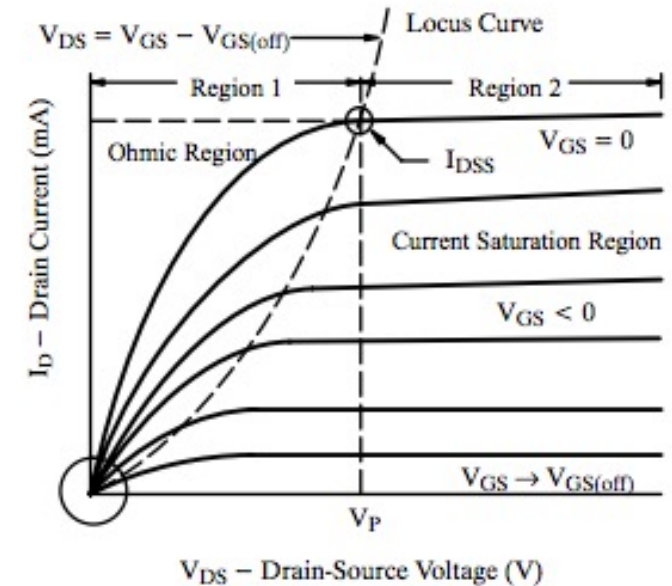
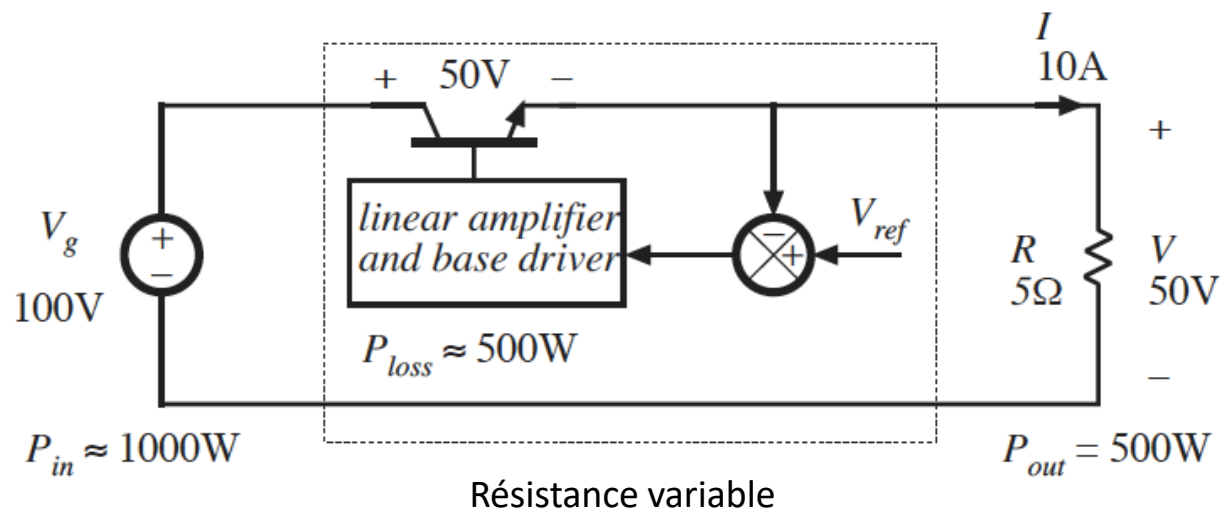


Résistance variable

Figure 1. Typical N-Channel JFET Operating Characteristics

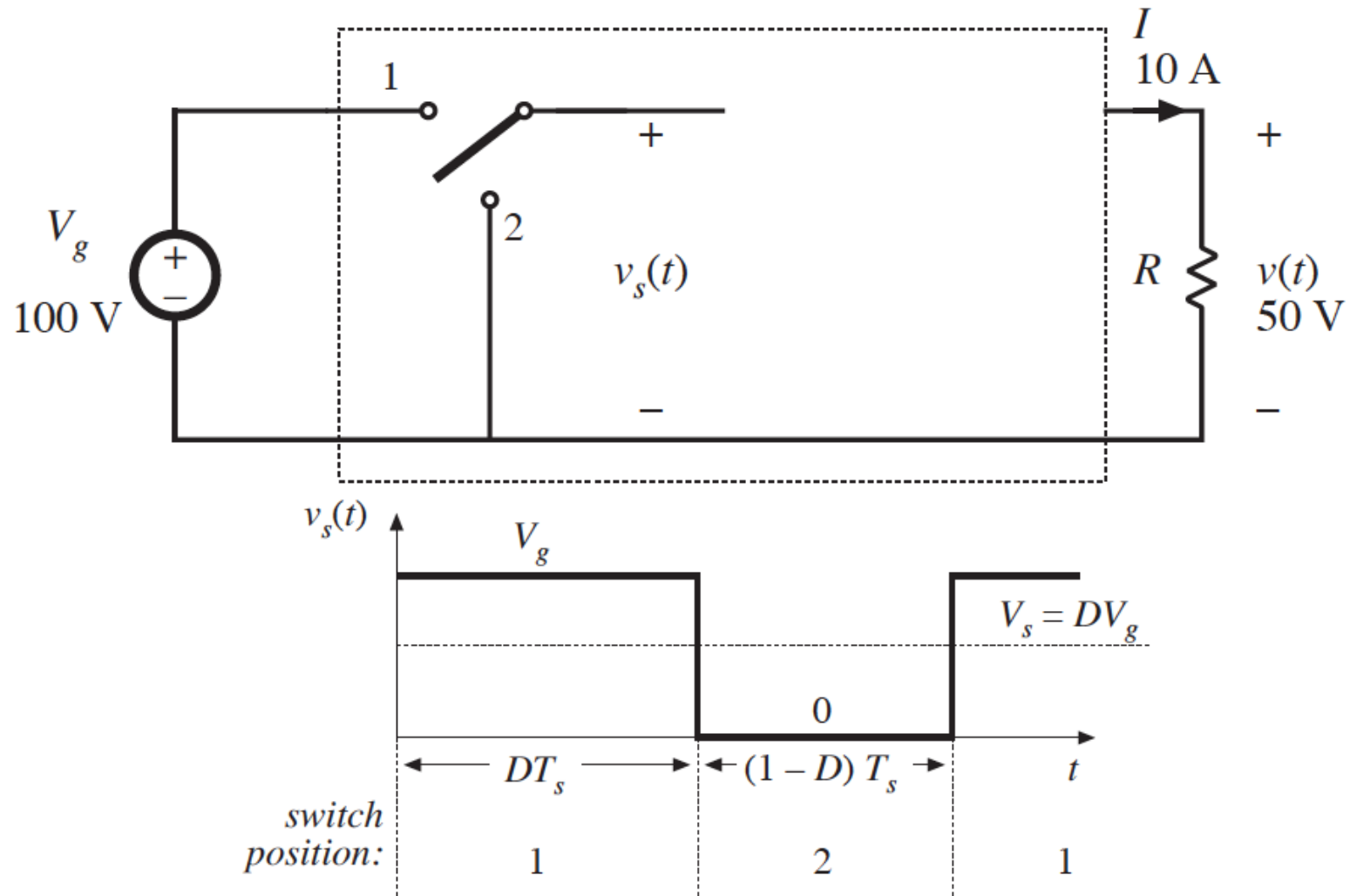
Convertisseur DC-DC

Solution 2: linear amplifier

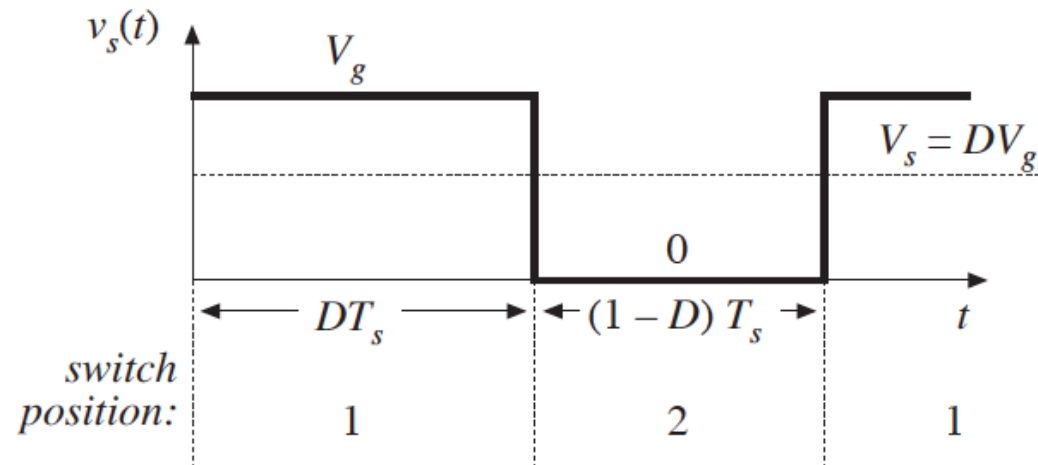


Très inefficace: mauvaise solution!

Notion de commutation



Contrôle du niveau DC de sortie



D = switch duty cycle

$$0 \leq D \leq 1$$

T_s = switching period

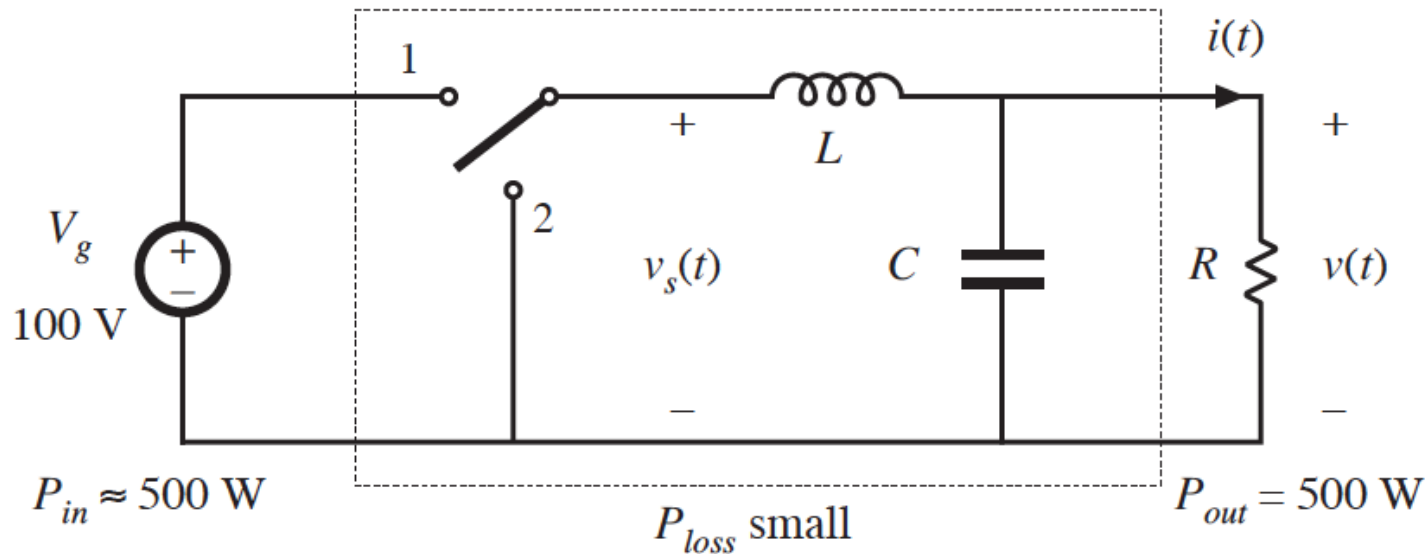
f_s = switching frequency
 $= 1 / T_s$

DC component of $v_s(t)$ = average value:

$$V_s = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} v_s(t) dt = DV_g$$

Plus filtre passe-bas

Addition d'un filtre passe-bas (LC) pour filtrer les harmoniques élevés



- Fréquence de coupure du filtre beaucoup plus faible que la fréquence de commutation: $f_0 \ll f_s$
- Ce circuit est un **convertisseur Buck (tension de sortie est plus basse que celle à l'entrée)**

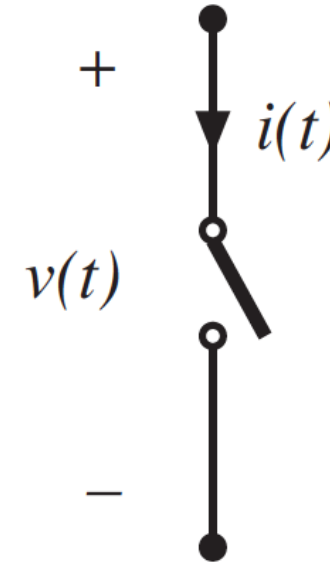
Interrupteur idéal - propriétés

Switch closed: $v(t) = 0$

Switch open: $i(t) = 0$

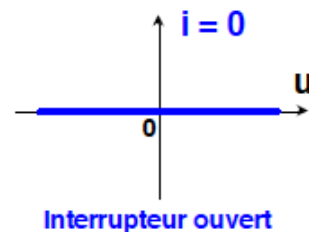
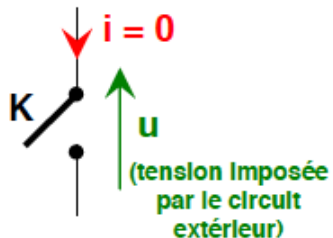
In either event: $p(t) = v(t) i(t) = 0$

Ideal switch consumes zero power

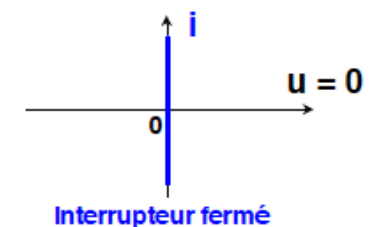
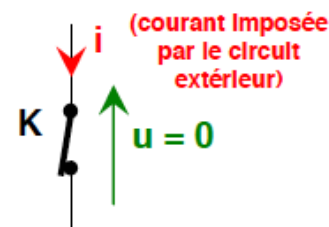


En plus, idéalement, ils doivent être très rapides

■ Interrupteur ouvert (position OFF : $i = 0$)

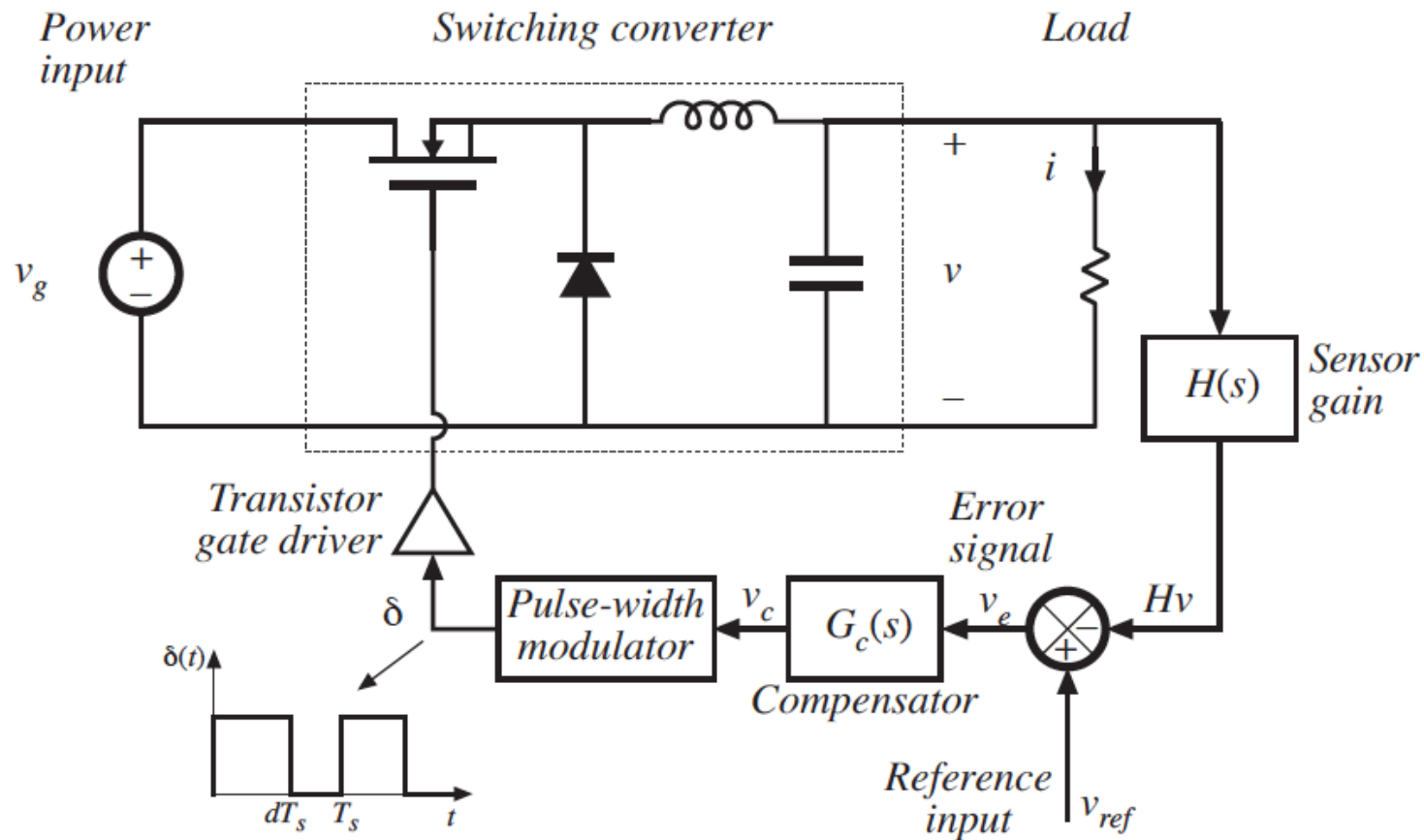


■ Interrupteur fermé (position ON : $u = 0$)

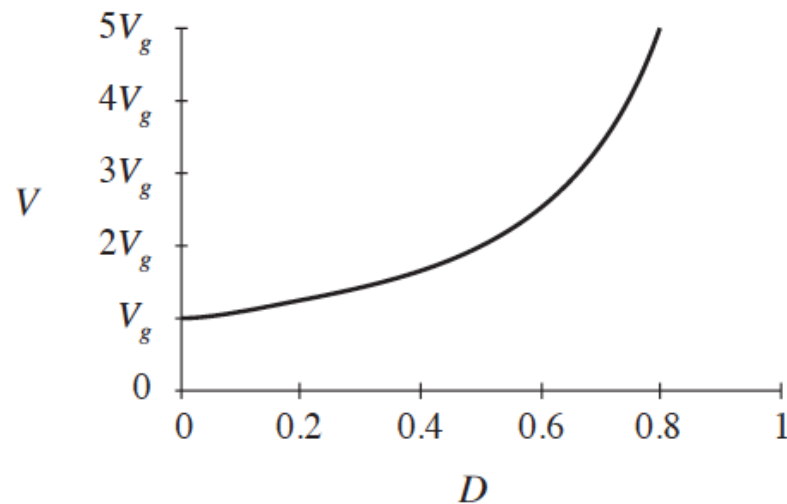
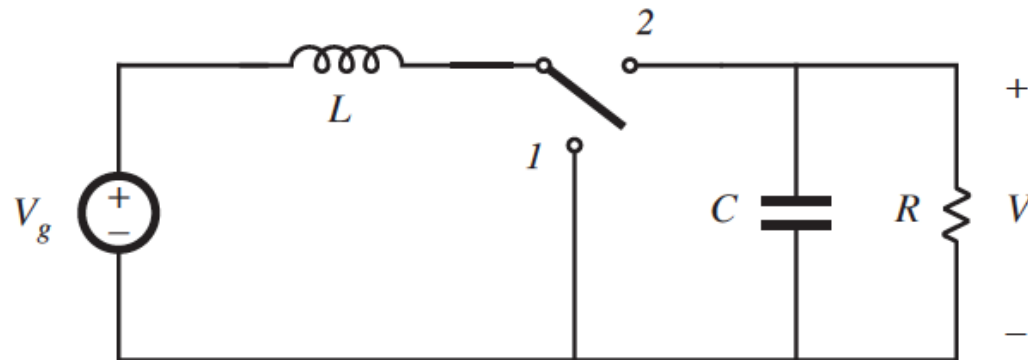


Réalisation:

Transistors + diodes + filtres + circuit de regulation

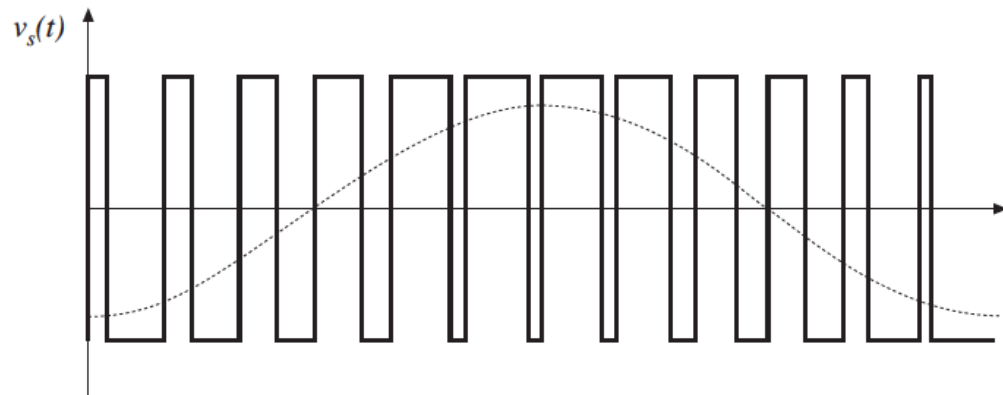
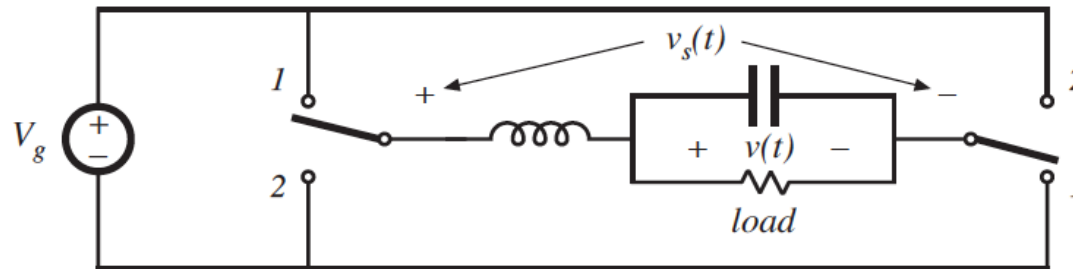


Convertisseur boost



- Inductance: Placée avant le commutateur
Résiste au changement brusque de courant
- Peut produire V plus élevé que V_g :
convertisseur boost

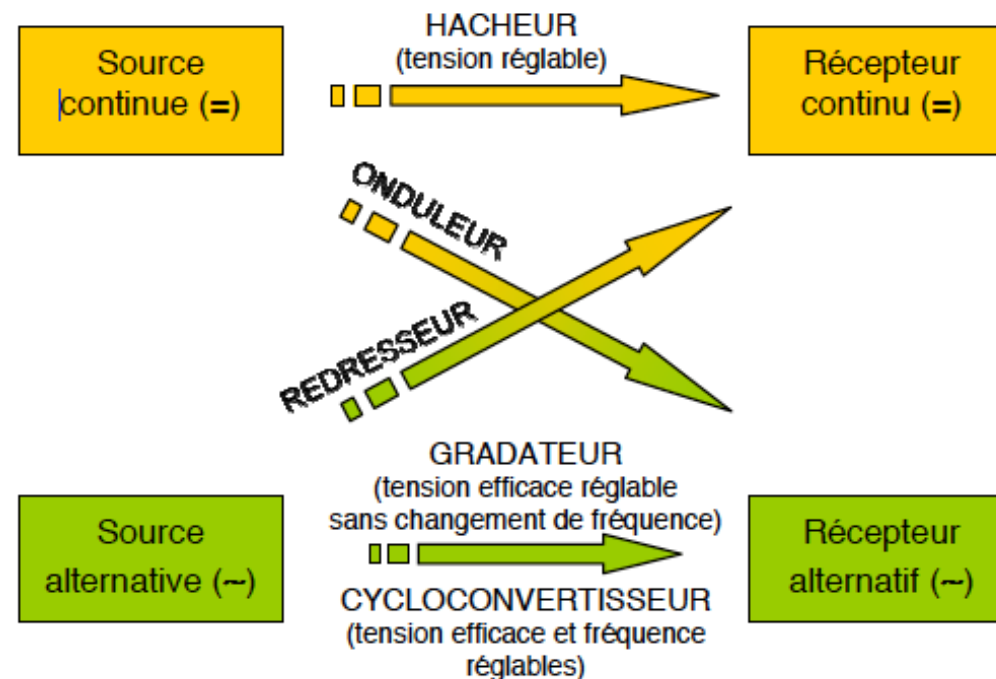
Onduleur monophasé



- Charge et commutateur connectés de façon différentielle
- Rapport cyclique D modulé sinusoïdalement
- Produit une onde sinusoïdal de basse fréquence à la sortie

Famille de convertisseurs statiques

		I	
		dc	ac
U	dc	Convertisseur DC/DC Buck/boost/buck-boost Fly-back/forward	Convertisseur DC/AC Onduleur de tension
	ac	Convertisseur AC/DC Convertisseur de courant Commutateurs de courant	Convertisseur AC/AC Cycloconvertisseurs

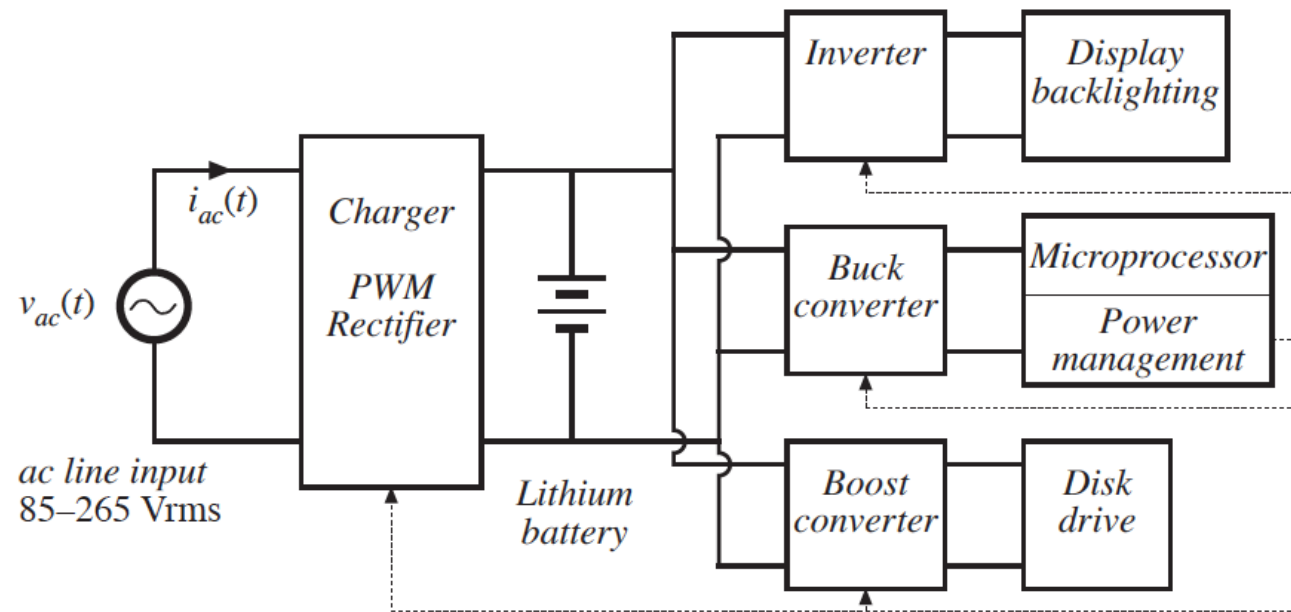


Niveau de puissance des convertisseurs à rendement élevé

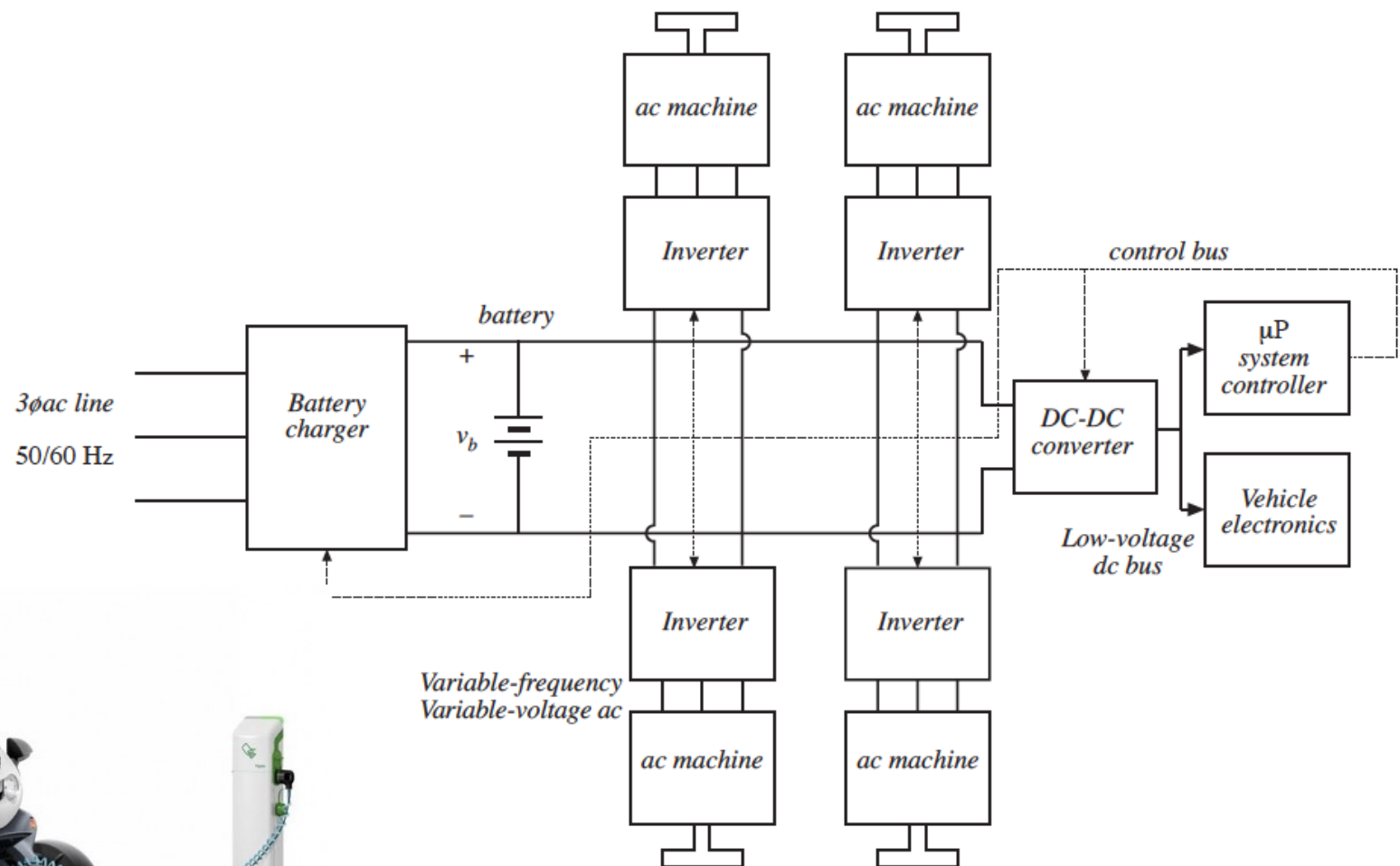
- **Moins que 1W** dans les équipements portables à batteries
Rendement > 90%, at 10 μ A
Currents faibles (360 nA typical)
Tension de sortie change en pas de 100 mV
- **Dizaines, centaines ou milliers de Watts:** ordinateurs et équipements de bureau
- **kW et MW** moteurs à vitesse variable: climatisation, compresseurs, ventilation,
- **GW** redresseurs et onduleurs dans les lignes de transmission DC
ABB HVDC: dizaines de Megawatts (MW) à 1,800 MW et ± 500 kV



Exemples: Ordinateur portable



Exemples: Voiture électrique



Résumé de ce cours

- Introduction
- Notion de commutation
- Convertisseurs
- POWERlab at EPFL

III-Nitrides are an exceptional material

Lighting

Displays



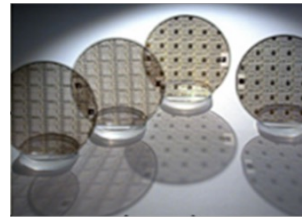
Light bulbs



electric automobiles



Nitrides Semiconductors



Power electronics

Wireless Communications

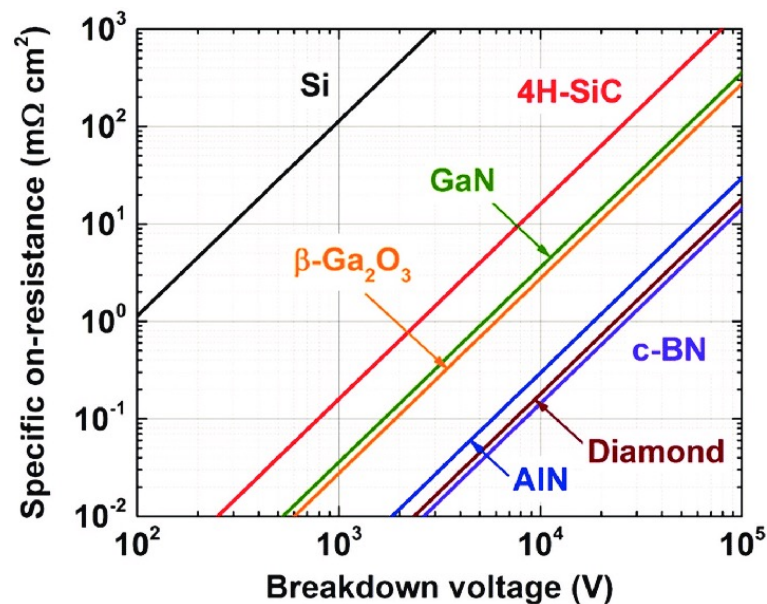
RF power amplifiers



Power converters



Drivers / Inverters



Optoelectronics:

- High internal quantum efficiency: LEDs
- Polarized light emission: displays
- Tunable direct band gap: solar cells

Electronics:

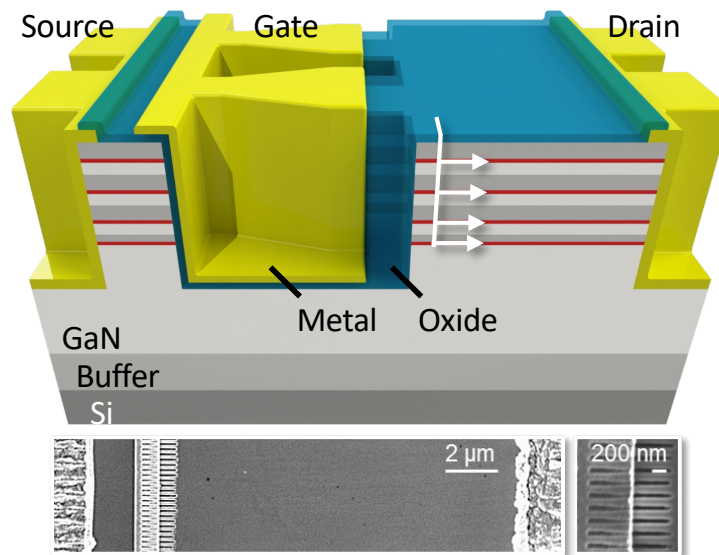
- High electron velocity (×3 than Si)
- High carrier density (×3 than Si)
- High breakdown voltage (>×10 than Si)

Snapshot of our laboratory:

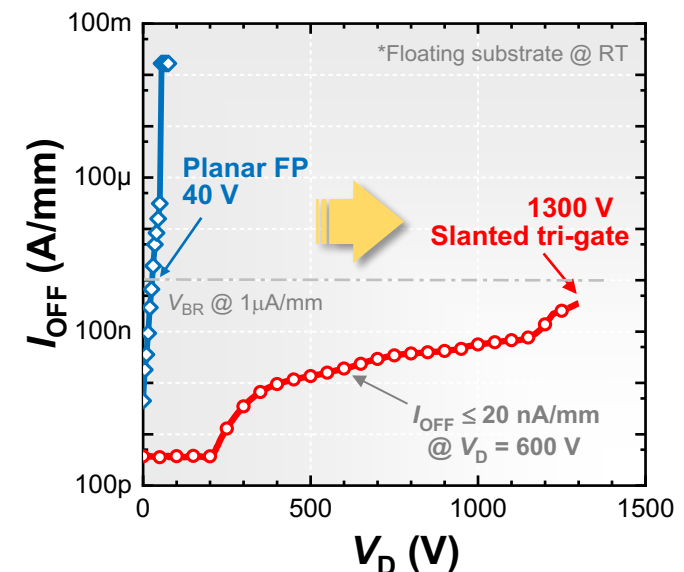
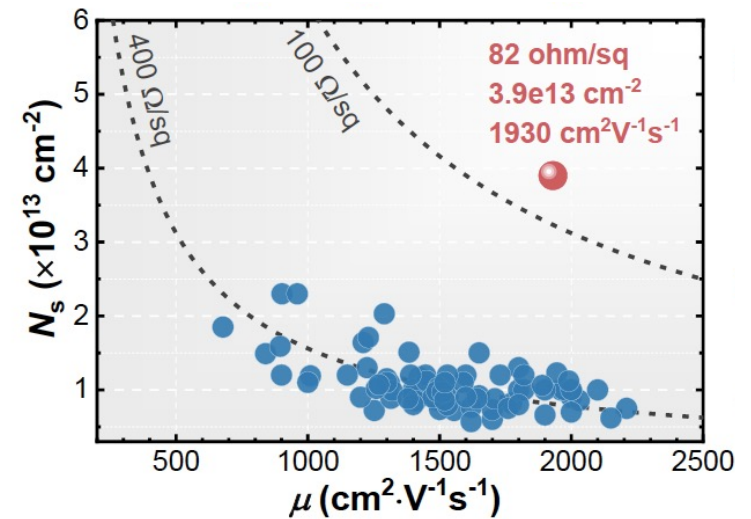
I. Nanostructure for power electronic devices

Multi-channel power devices for ultra-low resistance and high breakdown voltage

1. Multiple 2DEG channels



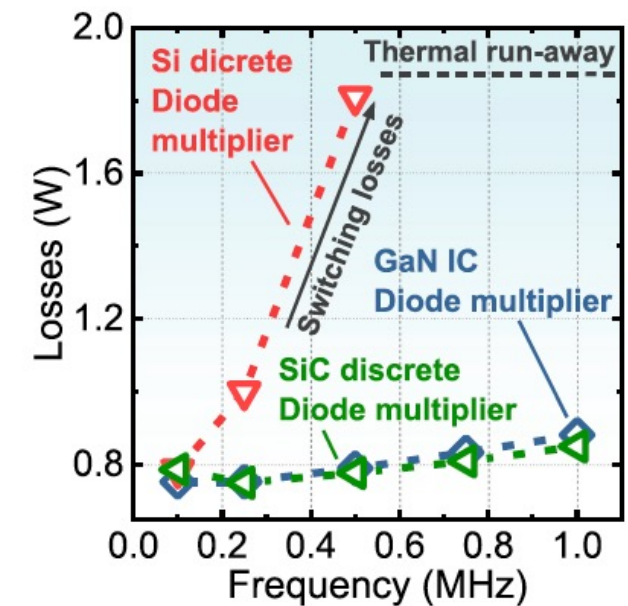
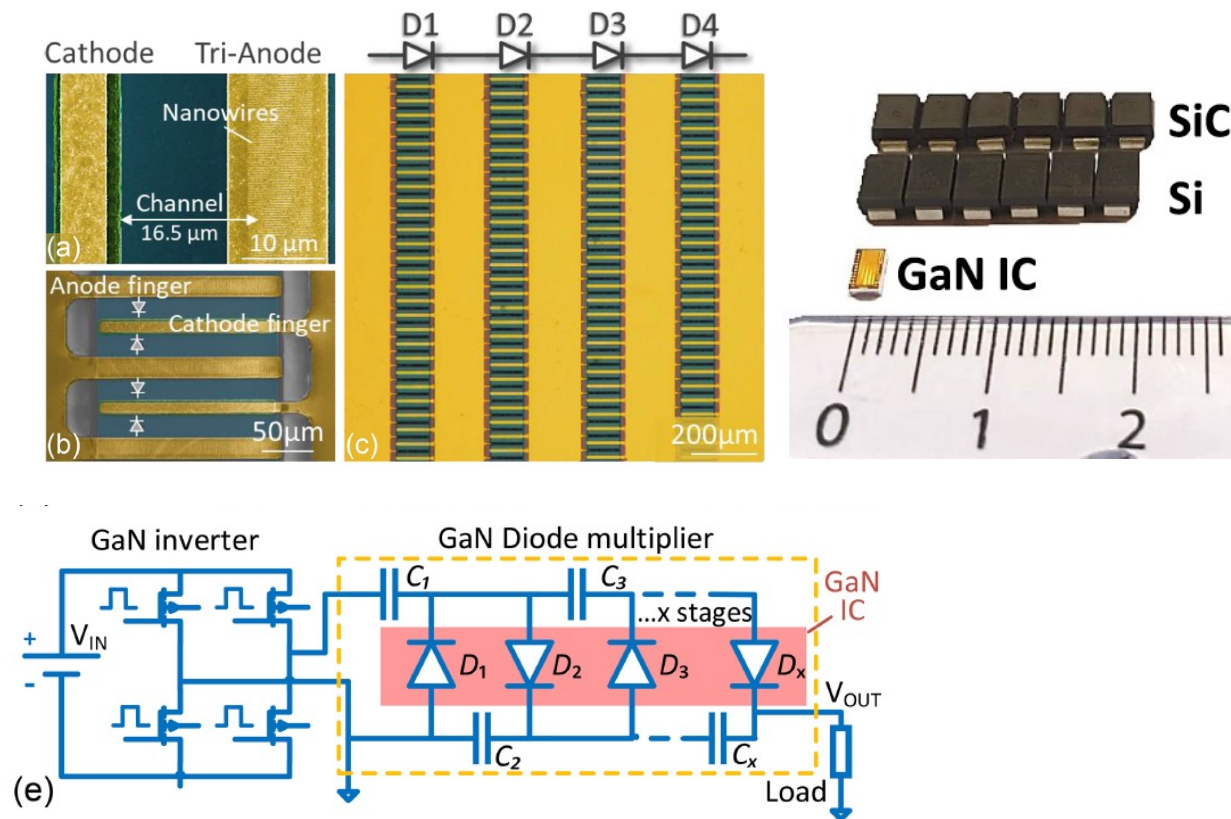
Much higher conductivity



More than 5x-higher conductivity: significantly lower resistive losses!

Snapshot of our laboratory: Integrated GaN-on-Si Schottky diodes

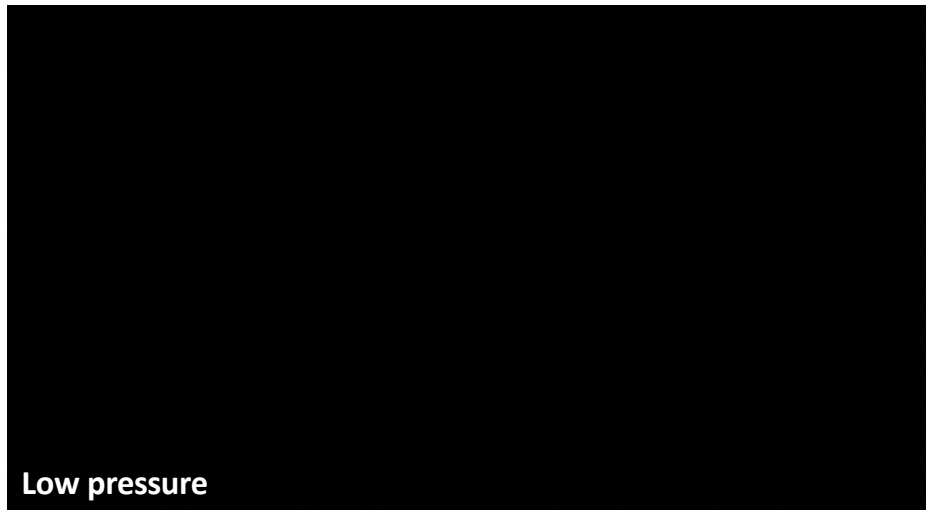
Diode voltage multiplier GaN IC



High frequency switching in GaN integrated devices: small devices and energy storage elements

Snapshot of our laboratory: Near-junction microfluidic cooling

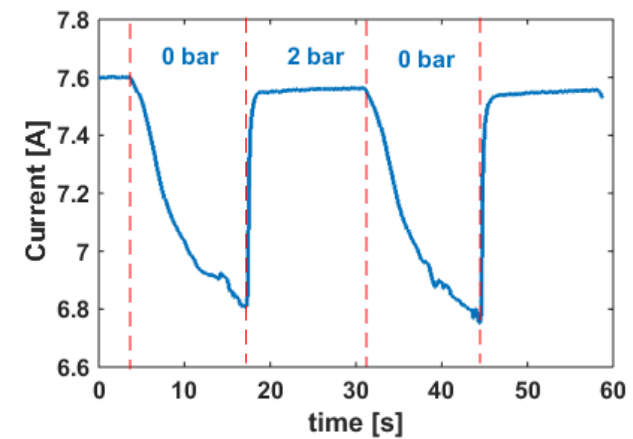
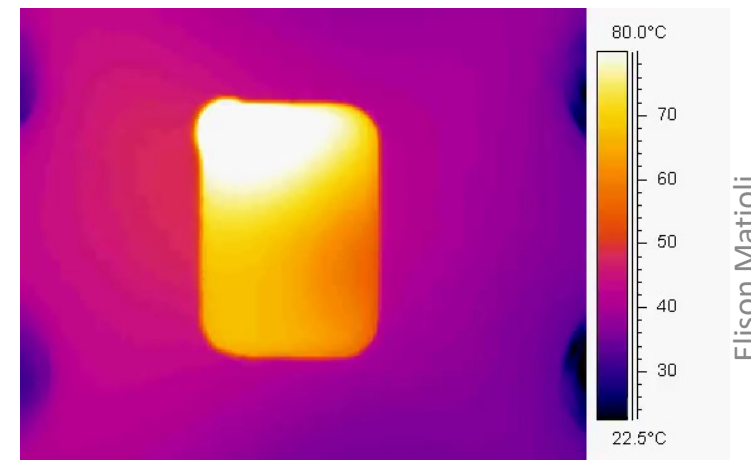
38



R. van Erp, G. Kampitsis, L. Nela, R. Soleimanzadeh and E. Matioli, *Nature*, 2020.

All devices were fabricated at the
EPFL cleanroom facilities (CMI)

CMI EPFL Center of
MicroNanoTechnology



Snapshot of our laboratory: Fully-integrated power IC with microfluidic cooling

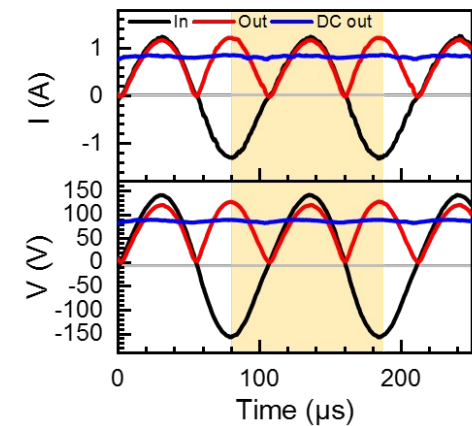
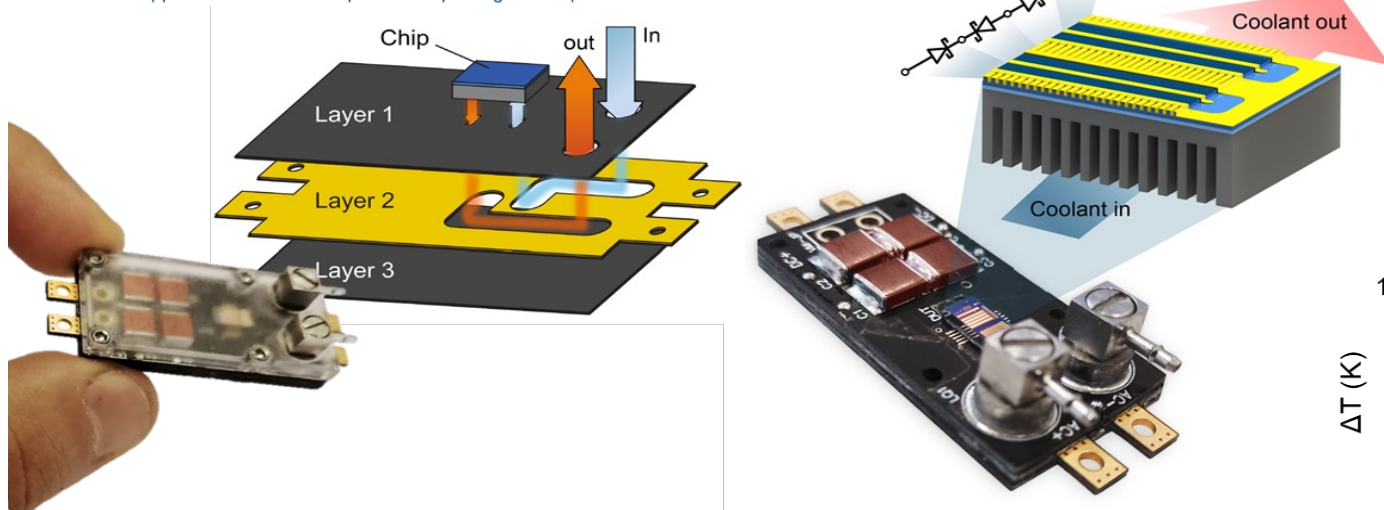
39

nature

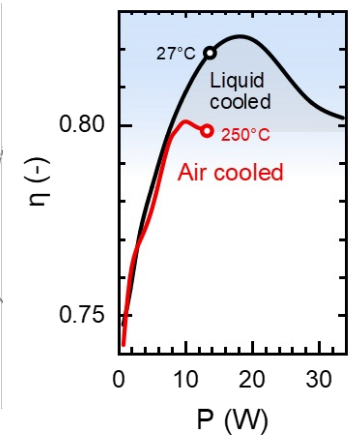
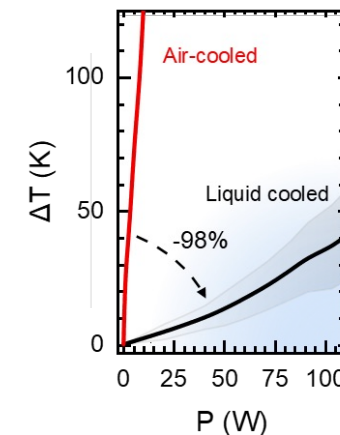
Article | Published: 09 September 2020

Co-designing electronics with microfluidics for more sustainable cooling

Remco van Erp, Reza Soleimanzadeh, Luca Nela, Georgios Kampitsis & Elison Matioli



Elison Matioli



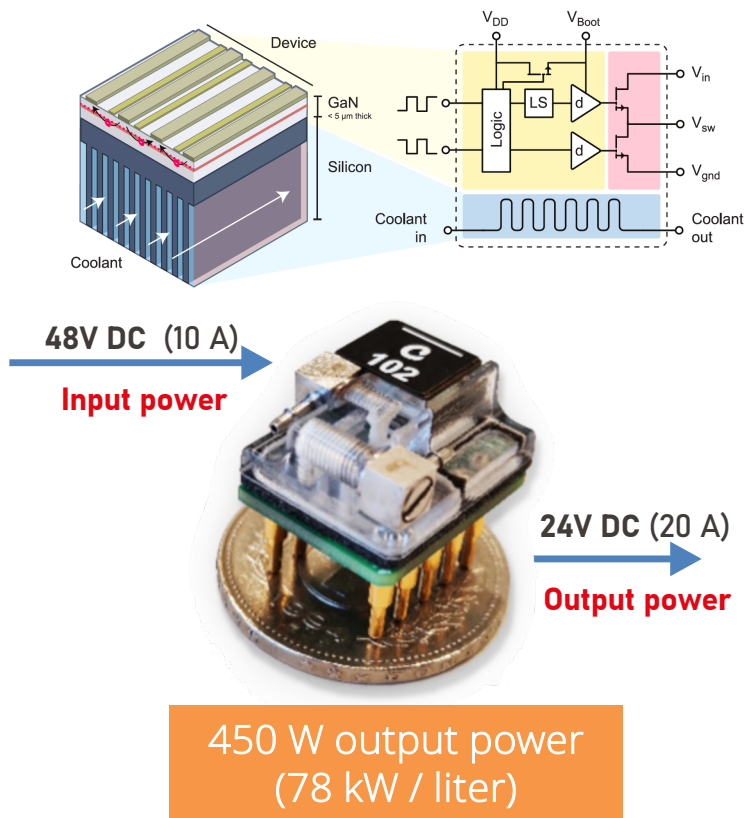
Efficient thermal management enables integration of power devices for high power density applications

R. van Erp, R. Soleimanzadeh, L. Nela, G. Kampitsis and E. Matioli, *Nature* 585 (7824), 211-216 (2020).

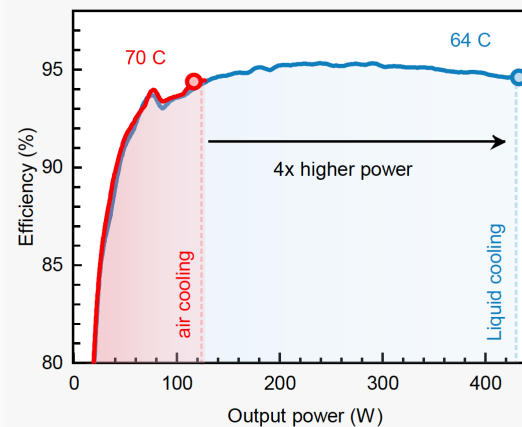
L. Nela, R. Van Erp, G. Kampitsis, H. K. Yildirim, J. Ma and E. Matioli, *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 36, no. 2, pp. 1269-1273, Feb. 2021

Integrated buck converter with microfluidic cooling

Cooling integrated on commercial integrated half-bridge with gate drivers and passives

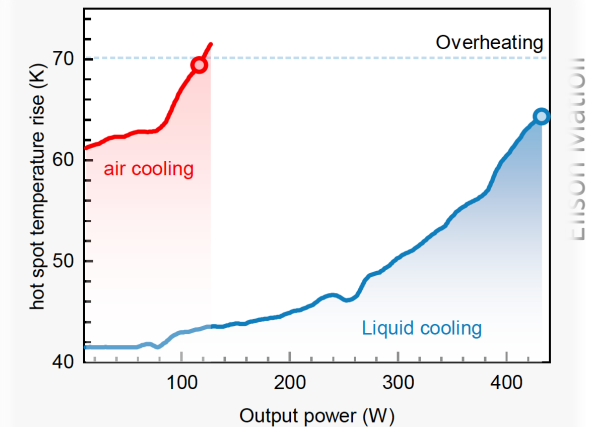


Higher power



- 4x-larger power compared to air cooling
- Peak efficiency above 95% at over 400W with lower peak temperature

Efficiency sweep

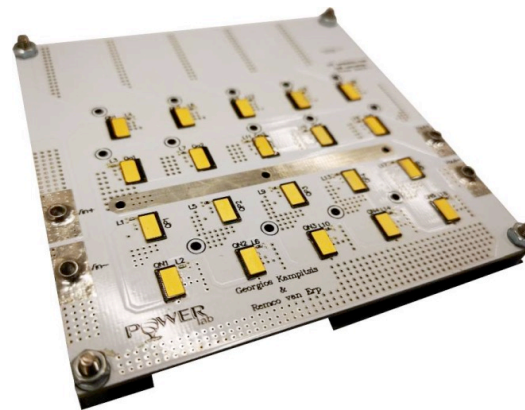
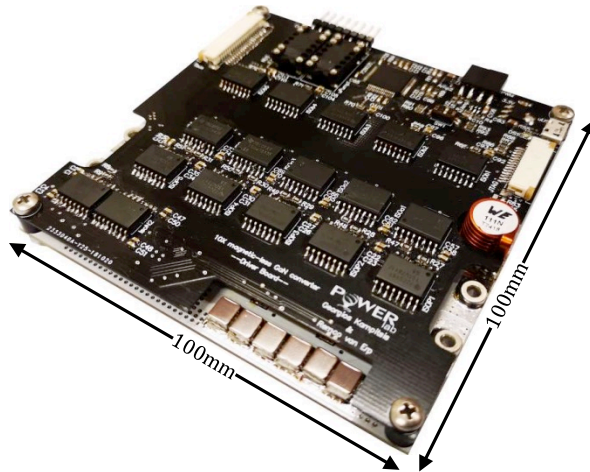


- At 450 W, maximum temperature rise was 65 °C

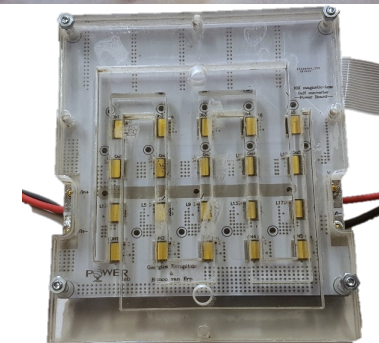
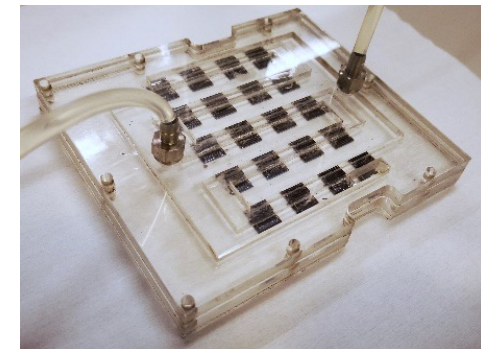
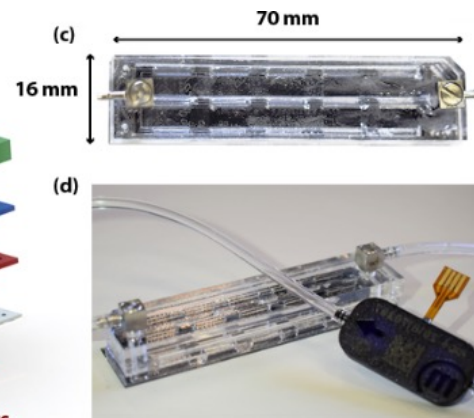
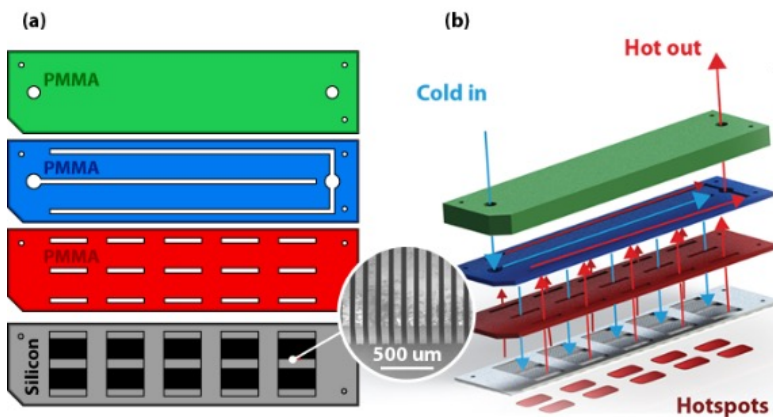
450 W DC-DC converter in a 1/32 brick form factor, with 78 KW/l and 95% peak efficiency

Ultra compact converters

Developed PCBs of the high power magnetic-less 10X DC/DC converter.



Microfluidic cooling



Projets de semestre disponibles

Bachelor and Masters Projects



The POWERlab offers several projects for EPFL students, at the bachelor and master levels, to work closely with our Ph.D. students and postdocs. Below is the list of available projects:

Bachelor and Master Semester Projects:

Master Thesis (30 ECTS credits)

There are several projects available for Master thesis for EPFL students. Please contact Prof. Mاتيoli to discuss in more details.

If you are interested and would like to have more information please contact elison.matioli@epfl.ch