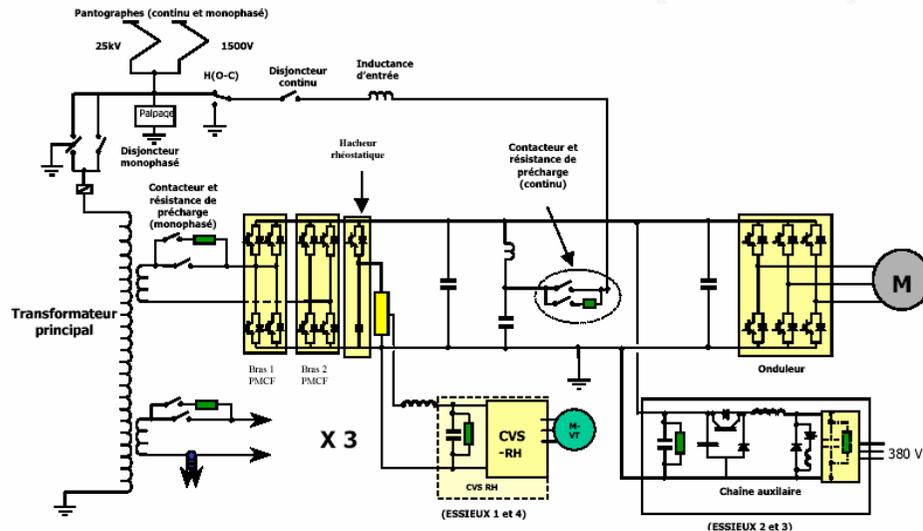
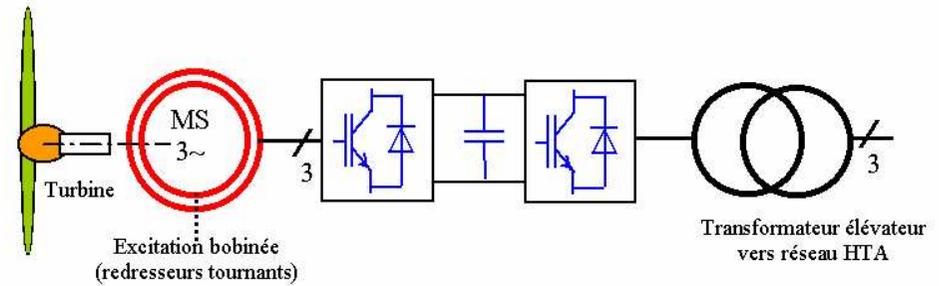
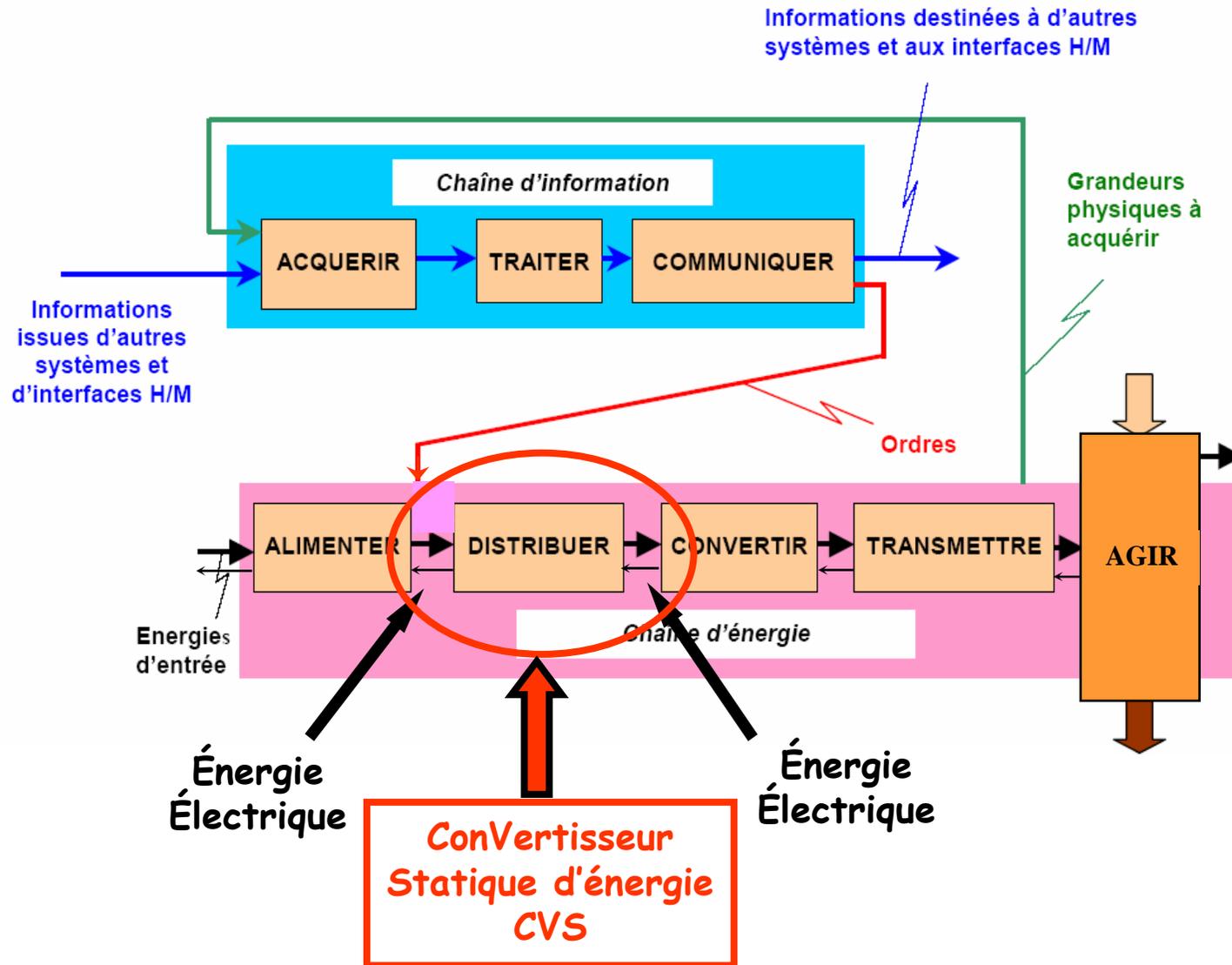


Les convertisseurs statiques



Les convertisseurs statiques d'énergie

Chaînes fonctionnelles



Les convertisseurs statiques d'énergie

Objectifs de l'ENPU

L'ENPU
aujourd'hui

ÉlectroNique de PUissance (ENPU)

Traitement de l'énergie

≠

ÉlectroNique du signal

Traitement du signal

Dipôles et
sources



Échange d'énergie électrique entre au moins deux systèmes



Fonction
d'adaptation
de la forme
de l'énergie

Caractéristiques :
Tension, Courant, Fréquence



Fonction de
Contrôle
de l'énergie

Puissance échangée
et sens de transfert

Structures

Interrupteurs

Exemples

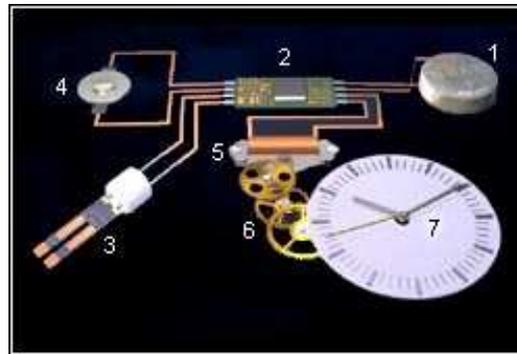
Les convertisseurs statiques d'énergie

Objectifs de l'ENPU

L'ENPU
aujourd'hui

- Indépendant de la puissance (du μW au MW)

Dipôles et
sources



Montre $10\mu\text{W}$



Lampes fluorescentes 15W

Structures

Interrupteurs

Exemples



Véhicule hybride 35kW



Locomotive FRET $4,2\text{MW}$

Les convertisseurs statiques d'énergie

Composants en l'ENPU

L'ENPU
aujourd'hui

Dipôles et
sources

Structures

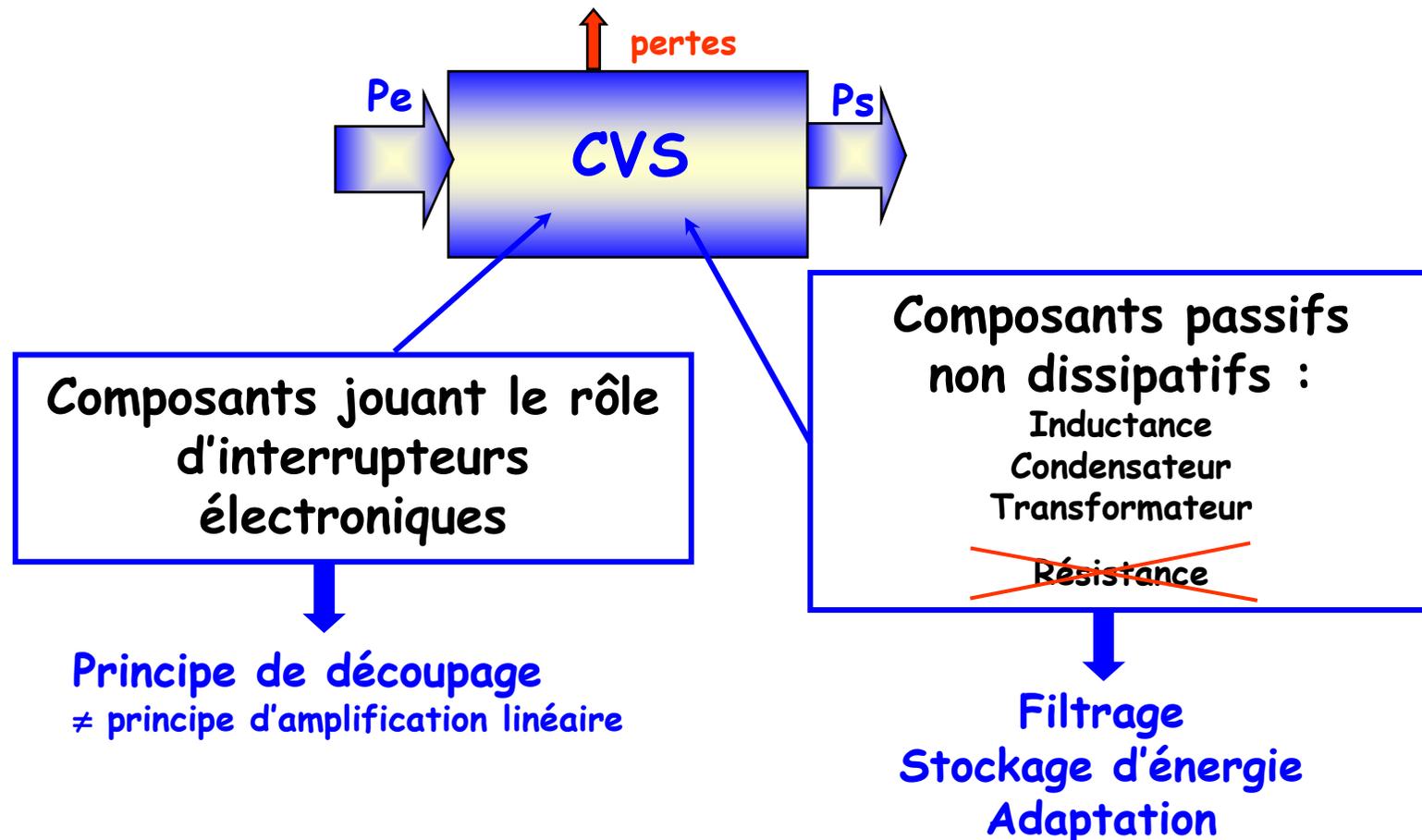
Interrupteurs

Exemples

Pertes aussi faibles que possible

⇒ augmentation du rendement

⇒ minimisation du poids et du coût des dispositifs de refroidissement



Les convertisseurs statiques d'énergie

Composants en l'ENPU

L'ENPU
aujourd'hui

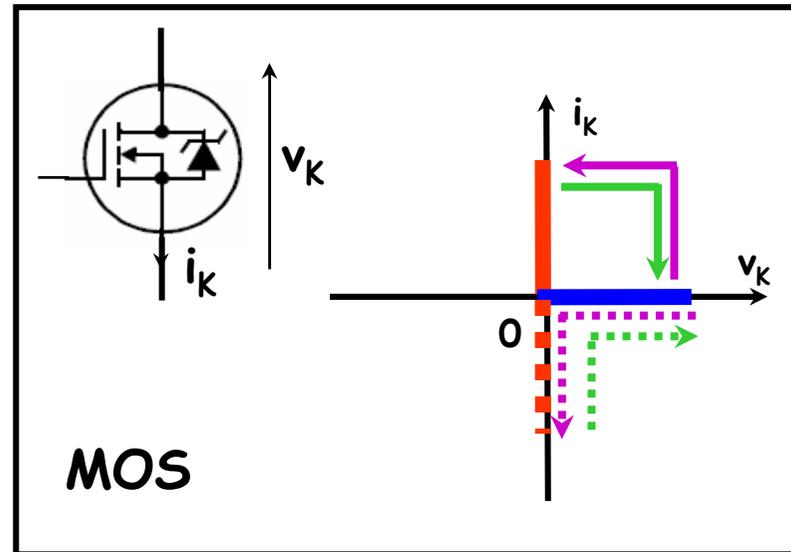
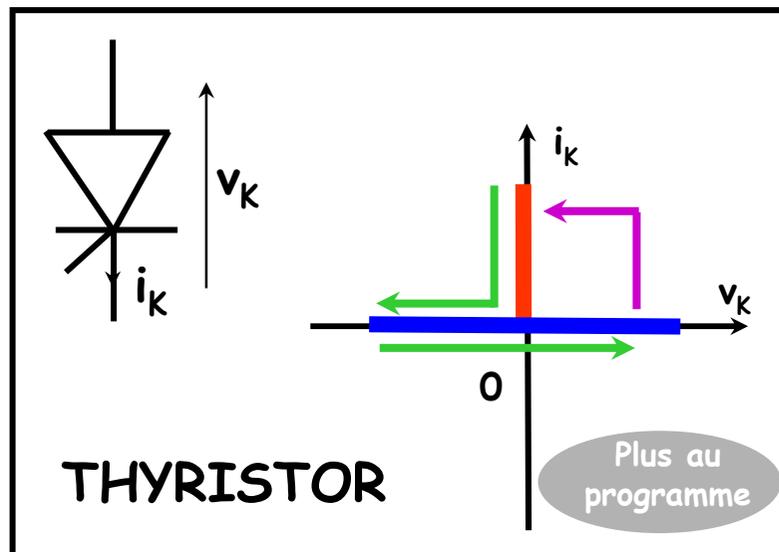
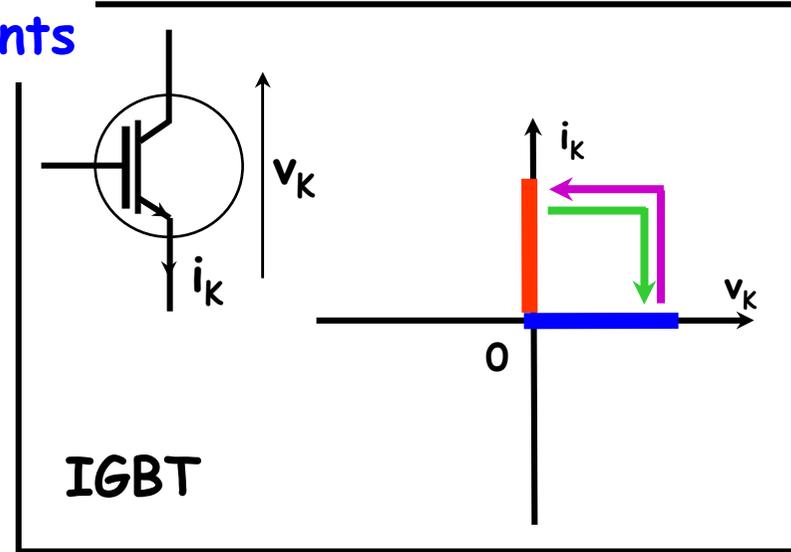
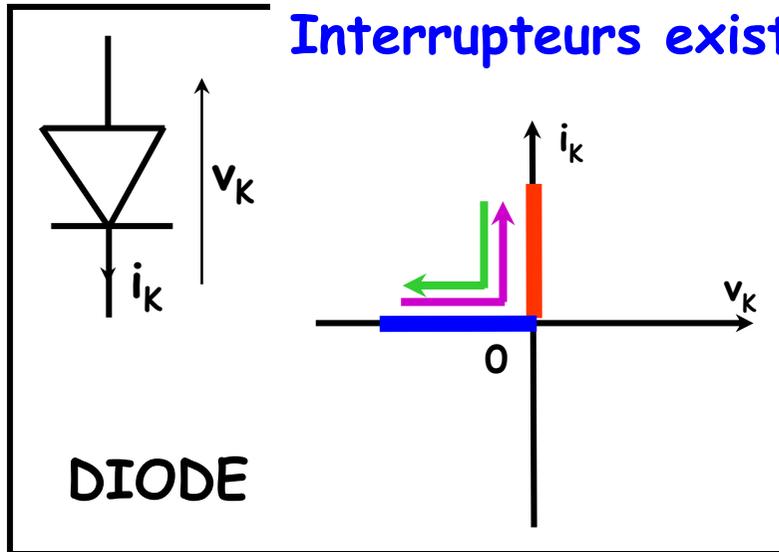
Dipôles et
sources

Structures

Interrupteurs

Exemples

Interrupteurs existants



Les convertisseurs statiques d'énergie

Recherches actuelles

L'ENPU
aujourd'hui

Dipôles et
sources

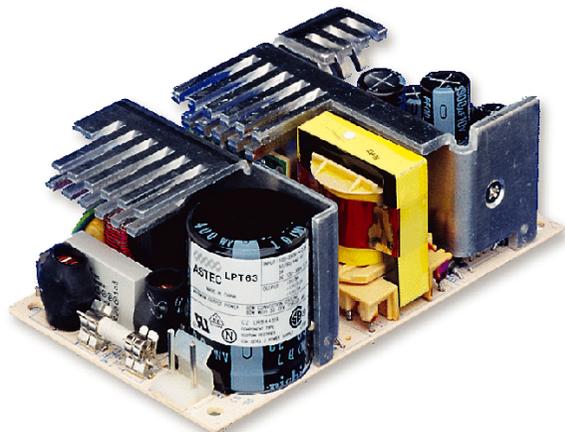
Structures

Interrupteurs

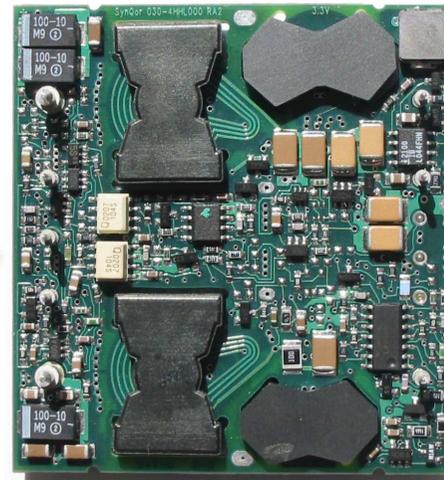
Exemples

- Structures
- Matériaux utilisés
- Compatibilité Électromagnétique
- Fonctionnement haute température
- Procédés et coûts de fabrication
- Fiabilité
- Compacité

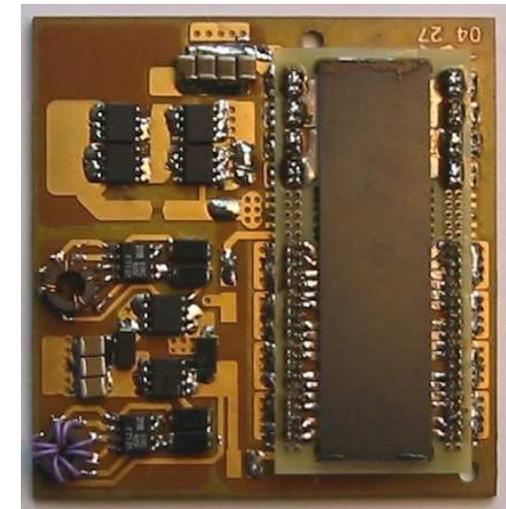
Exemple : intégration en ENPU



0,5kW/litre



1 à 2kW/litre



Composants monolithiques
4kW/litre

Les convertisseurs statiques d'énergie

Intégration en ENPU (1)

SATIE

Thèse Franck Wilmot

L'ENPU
aujourd'hui

Dipôles et
sources

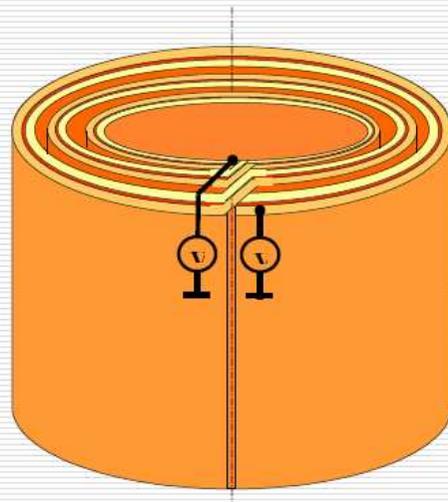
Structures

Interrupteurs

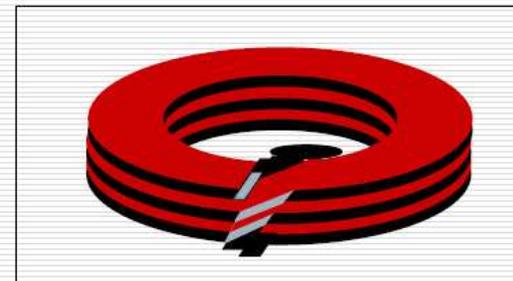
Exemples

- Intégration des composants passifs
 - LCT = Inductance – Condensateur – transformateur

Bobiné



Planar



Les convertisseurs statiques d'énergie

Intégration en ENPU (2)



Thèse Franck Wilmot

L'ENPU
aujourd'hui

Dipôles et
sources

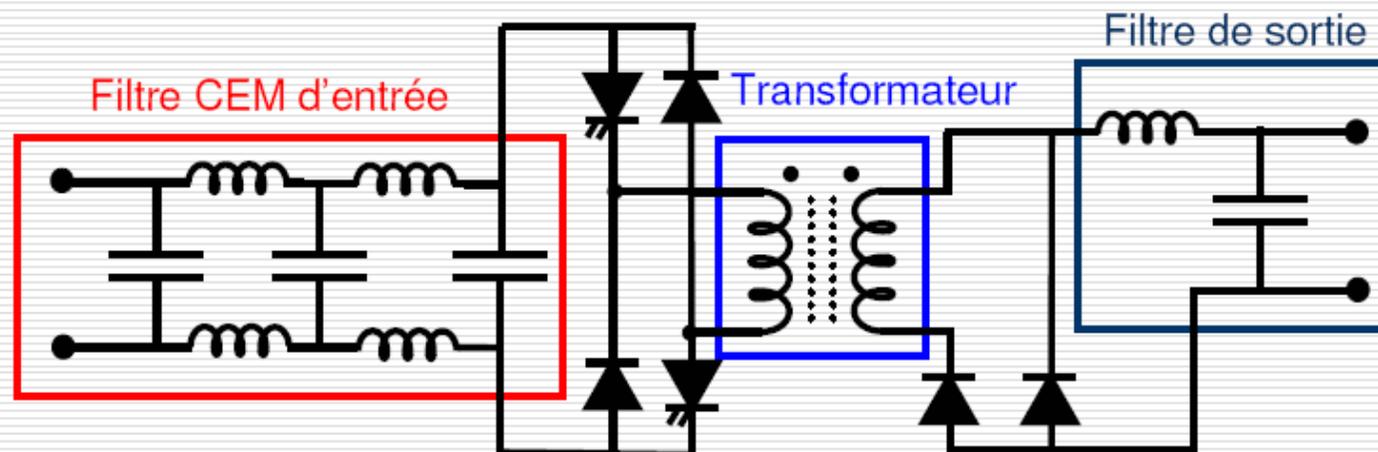
Structures

Interrupteurs

Exemples

□ Intégration complète d'une structure

■ 48 V – 5 V – 12 A – 500 kHz



Les convertisseurs statiques d'énergie

Intégration en ENPU (3)

L'ENPU
aujourd'hui

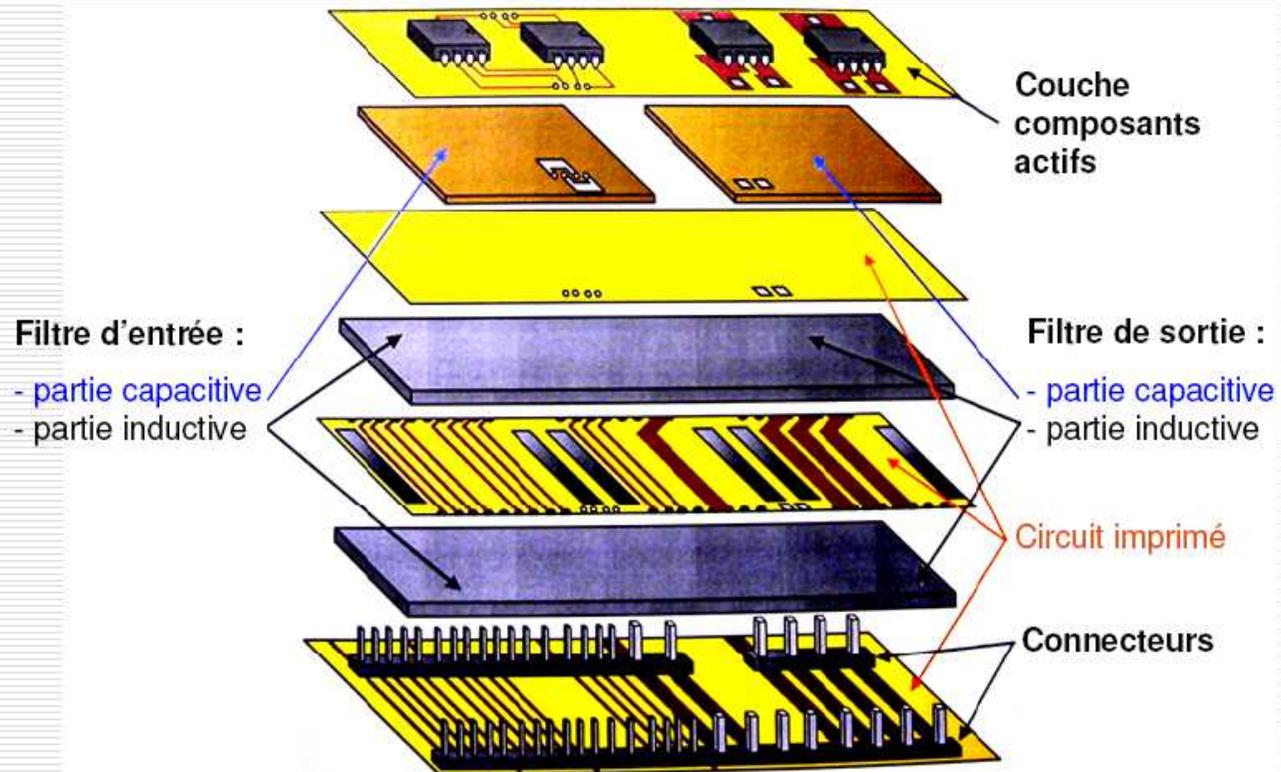
Dipôles et
sources

Structures

Interrupteurs

Exemples

□ Intégration complète d'une structure



Structure complète très faible puissance (thèse F.Wilmot)

Les convertisseurs statiques d'énergie

Intégration en ENPU (4)

L'ENPU
aujourd'hui

Dipôles et
sources

Structures

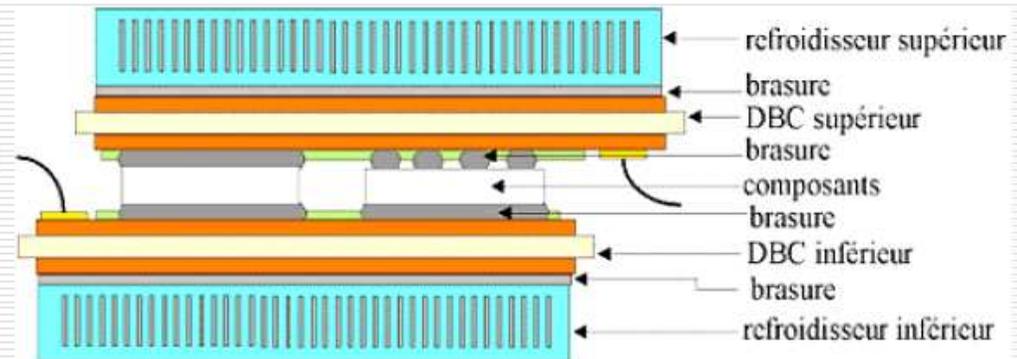
Interrupteurs

Exemples

□ Intégration de refroidisseurs :

■ Micro-canaux

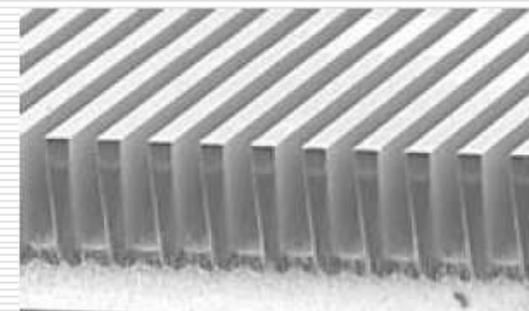
Refroidisseur double-face
(Alstom)



■ Cuivre



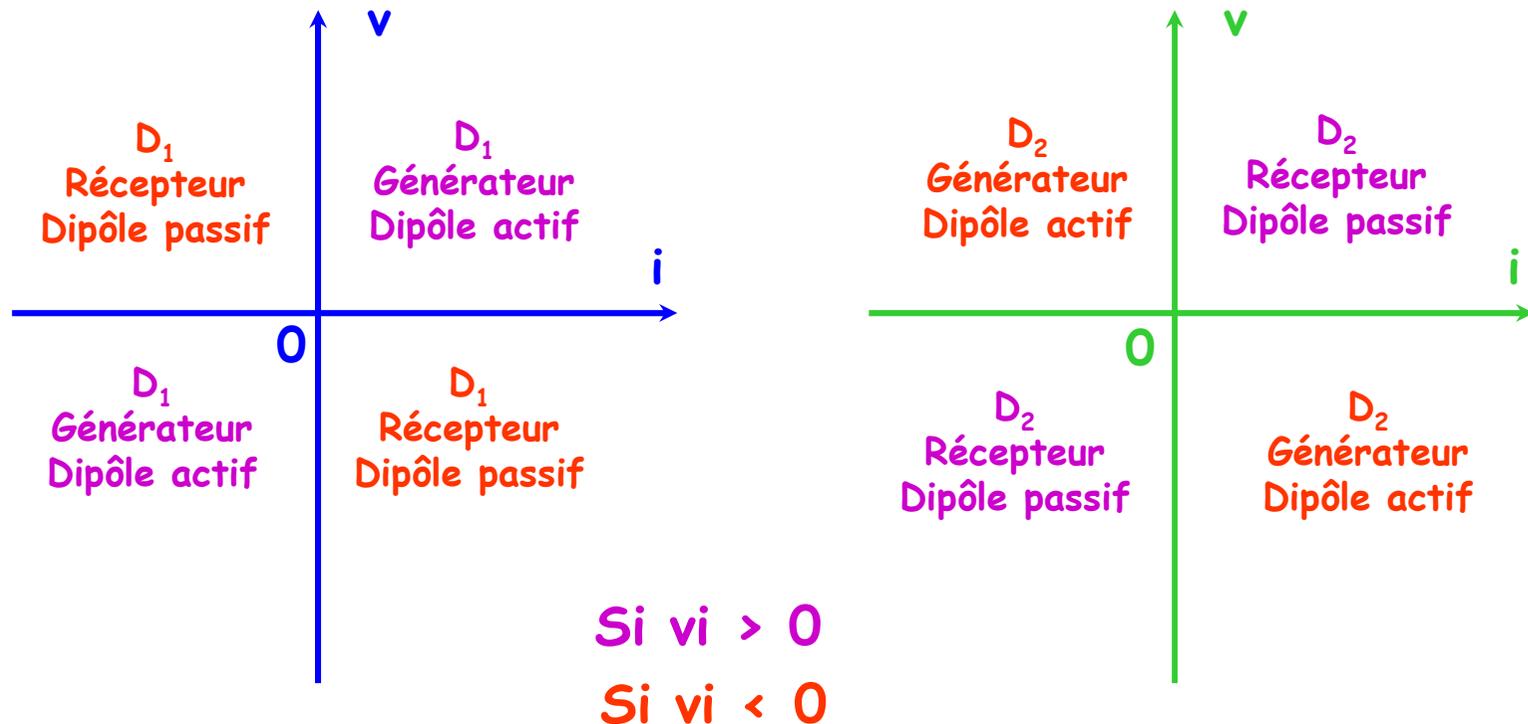
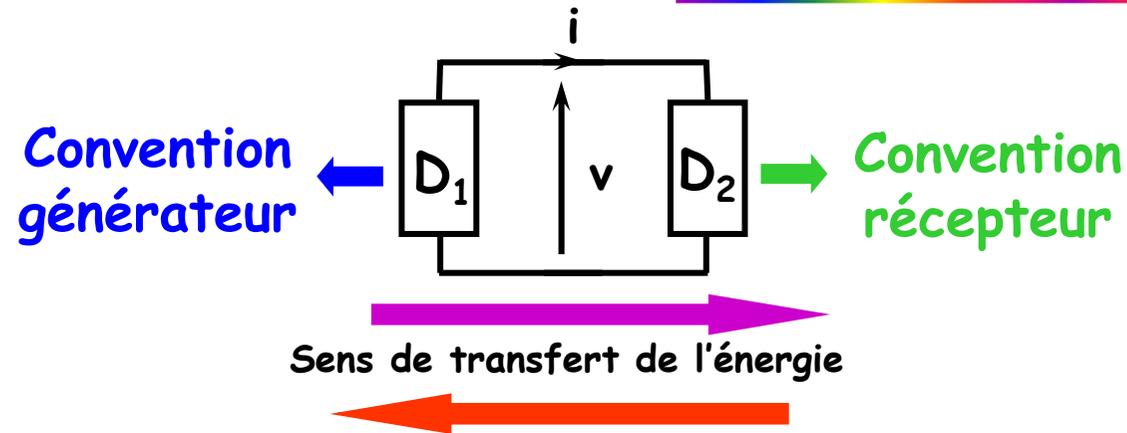
■ Silicium



Élimination de l'interface thermique

Les convertisseurs statiques d'énergie

Dipôle actif, dipôle passif



- L'ENPU aujourd'hui
- Dipôles et sources
- Structures
- Interrupteurs
- Exemples

Les convertisseurs statiques d'énergie

Exemples de dipôles

L'ENPU
aujourd'hui

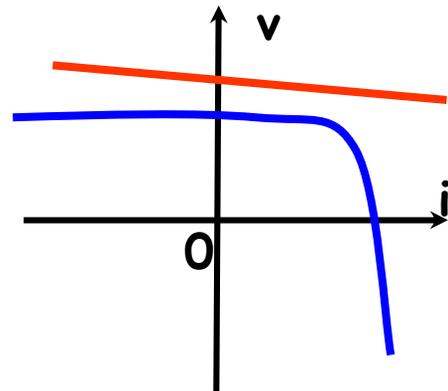
Dipôles et
sources

Structures

Interrupteurs

Exemples

Convention générateur



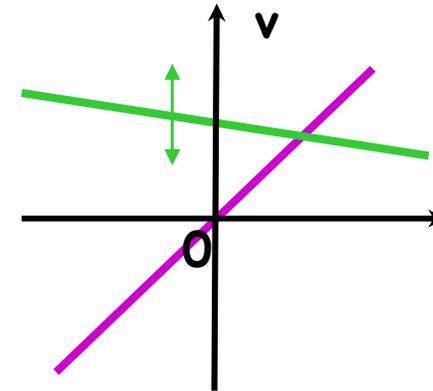
batterie



Panneau solaire



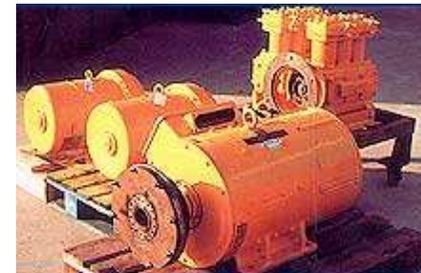
Convention récepteur



Résistance



Machine à courant continu



Les convertisseurs statiques d'énergie

Types de sources

- L'ENPU aujourd'hui
- Dipôles et sources
- Structures
- Interrupteurs
- Exemples

	Sources statiques (Variation infiniment lente)	Sources instantanées (Variation infiniment rapide)
Source de tension		
Source de courant		

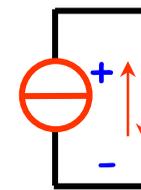
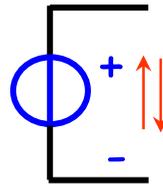
Les convertisseurs statiques d'énergie

Comportement des sources selon la fréquence

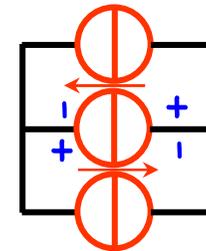
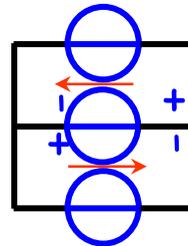
fréquence →

- L'ENPU aujourd'hui
- Dipôles et sources
- Structures
- Interrupteurs
- Exemples

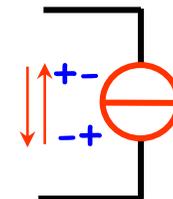
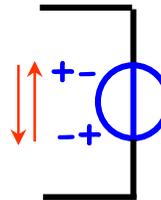
Batterie



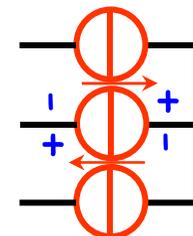
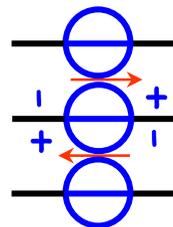
Réseau de distribution



Machine à courant continu



Machine alternative



Les convertisseurs statiques d'énergie

Règles d'associations

L'ENPU
aujourd'hui

Dipôles et
sources

Structures

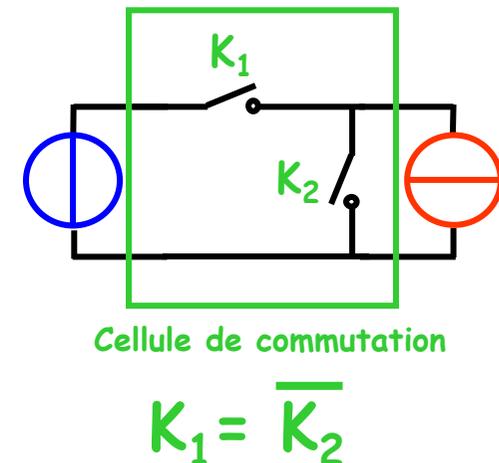
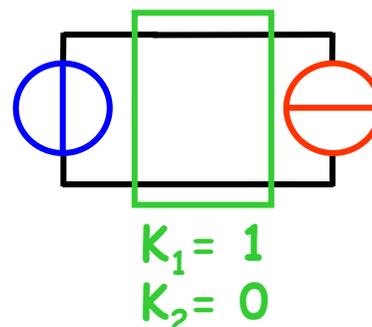
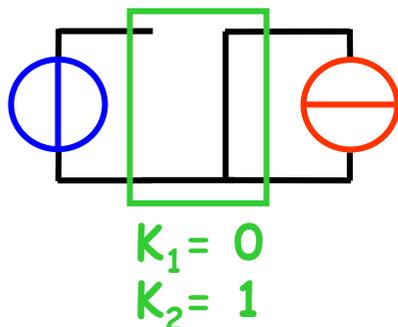
Interrupteurs

Exemples



Règles à respecter impérativement :

- une source de tension ne doit jamais être court-circuitée mais elle peut être ouverte ;
- le circuit d'une source de courant ne doit jamais être ouvert mais il peut être court-circuité ;
- il ne faut jamais connecter entre elles deux sources de même nature ; cela revient à dire qu'on ne peut connecter entre elles qu'une source de courant et une source de tension.



Les convertisseurs statiques d'énergie

Exemples de structures (1)

L'ENPU
aujourd'hui

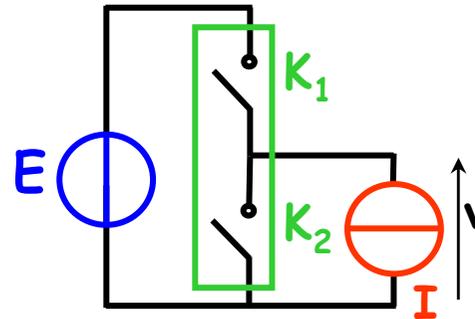
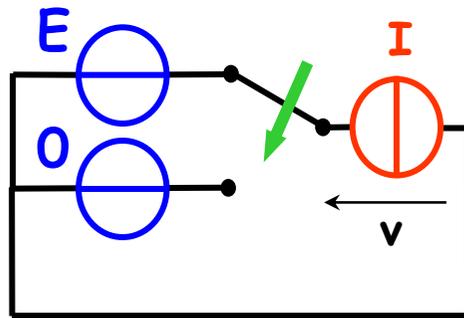
Dipôles et
sources

Structures

Interrupteurs

Exemples

Exemple 1 Hacheur série et hacheur réversible en courant

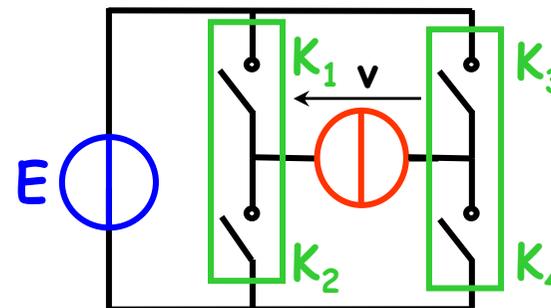
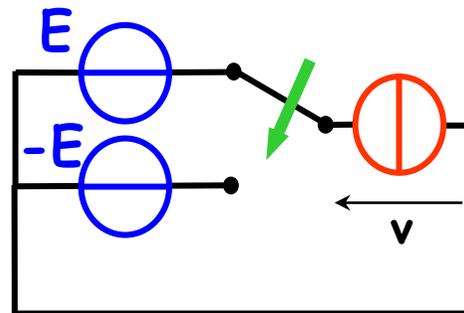


$$K_1 = \overline{K_2}$$

$$K_1 = 1 \Rightarrow v = E$$

$$K_2 = 1 \Rightarrow v = 0$$

Exemple 2 Hacheur quatre quadrants et onduleur monophasé



$$K_1 = \overline{K_2}$$

$$K_3 = \overline{K_4}$$

$$K_1 = K_4 = 1 \Rightarrow v = E$$

$$K_2 = K_3 = 1 \Rightarrow v = -E$$

Les convertisseurs statiques d'énergie

Exemples de structures (2)

L'ENPU
aujourd'hui

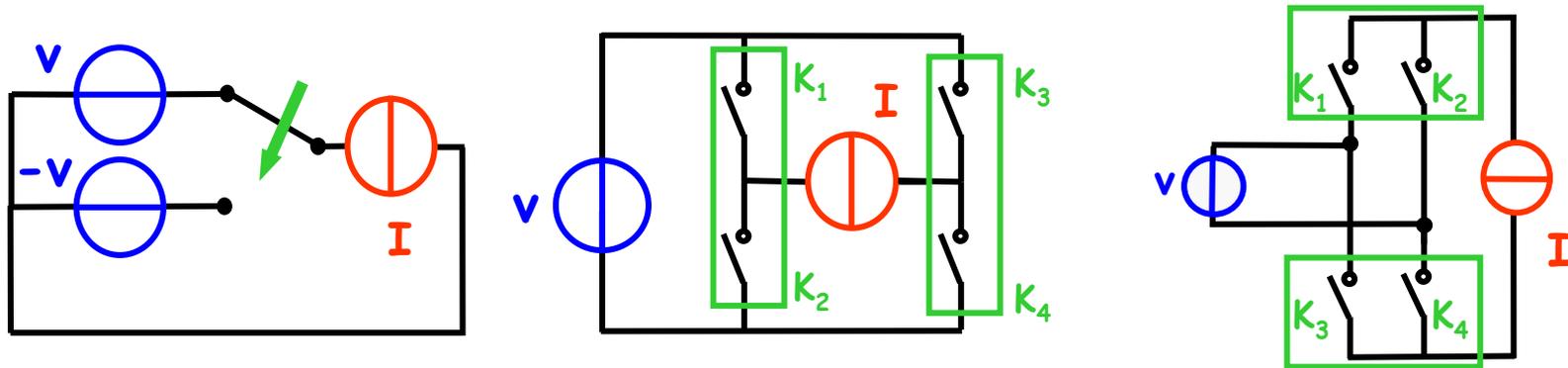
Dipôles et
sources

Structures

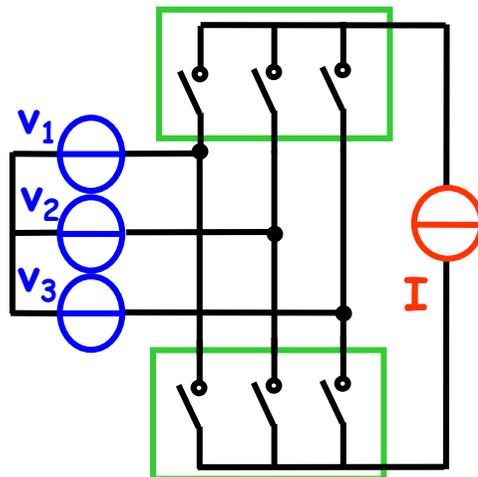
Interrupteurs

Exemples

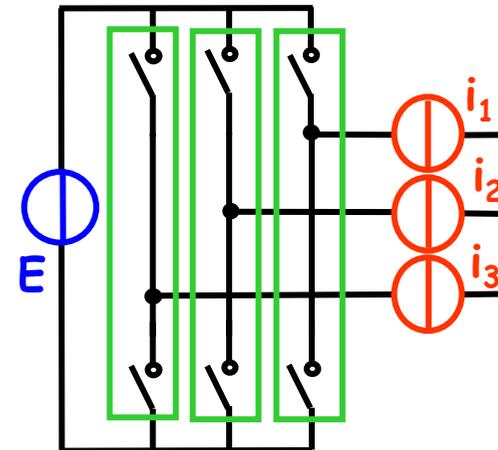
Exemple 3 Redresseur double alternance



Exemple 4 : Redresseur triphasé



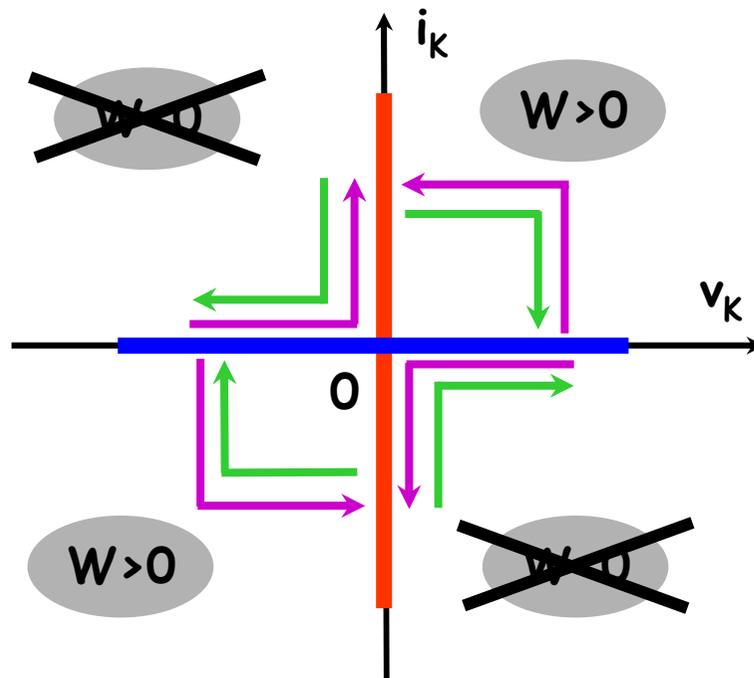
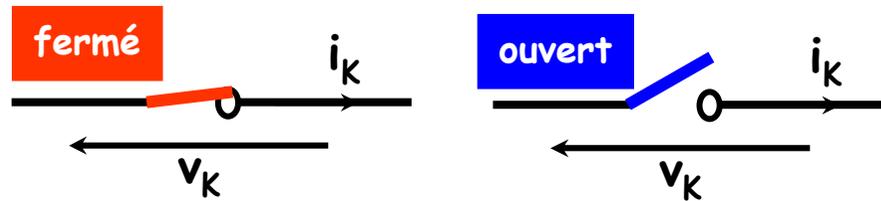
Exemple 5 : Onduleur triphasé de tension



Les convertisseurs statiques d'énergie

Mode de commutations

◆ Régimes statiques



◆ Régimes dynamiques

- Passage de l'état **ouvert** à l'état **fermé** \Rightarrow **amorçage**
- Passage de l'état **fermé** à l'état **ouvert** \Rightarrow **blocage**

Énergie pendant la commutation :

$$W = \int_{T_{com}} v_k(t) i_k(t) dt$$

$W > 0 \Rightarrow$ Commutation commandée

$W = 0 \Rightarrow$ Commutation naturelle

L'ENPU
aujourd'hui

Dipôles et
sources

Structures

Interrupteurs

Exemples

Les convertisseurs statiques d'énergie

Interrupteurs existants

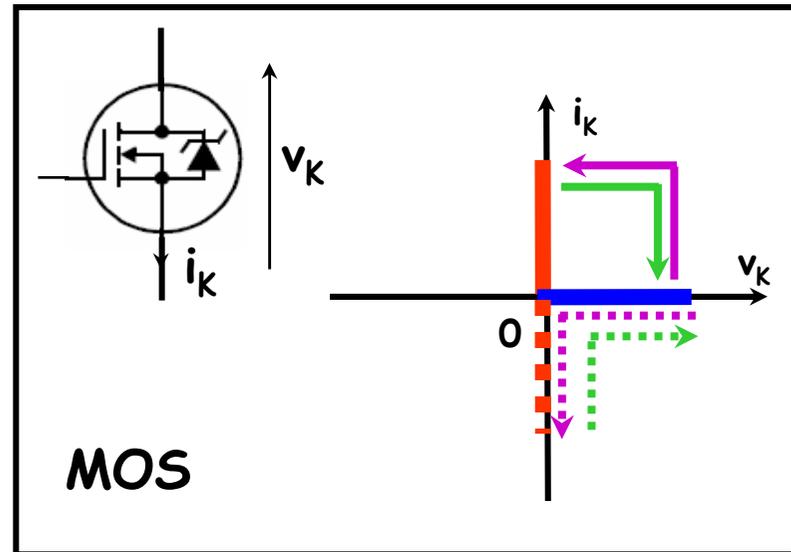
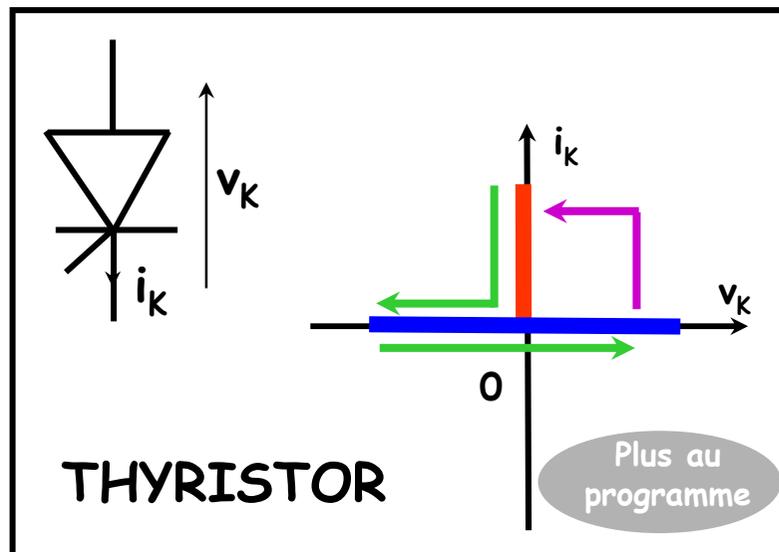
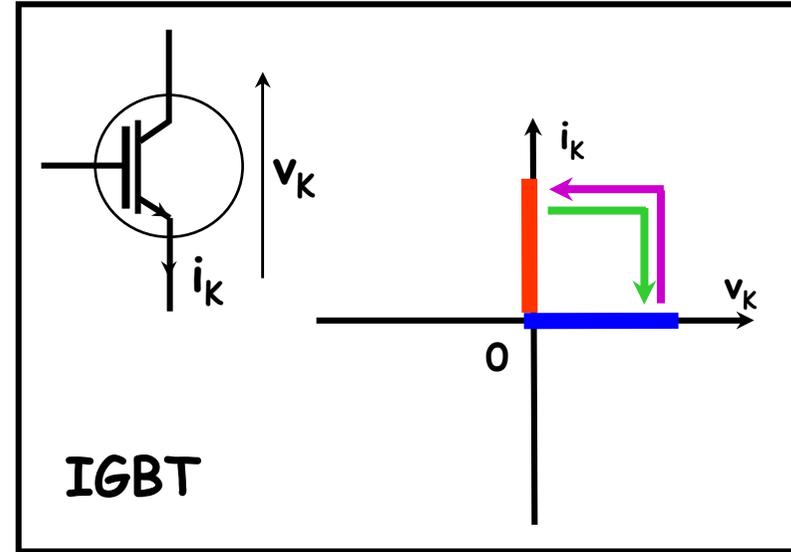
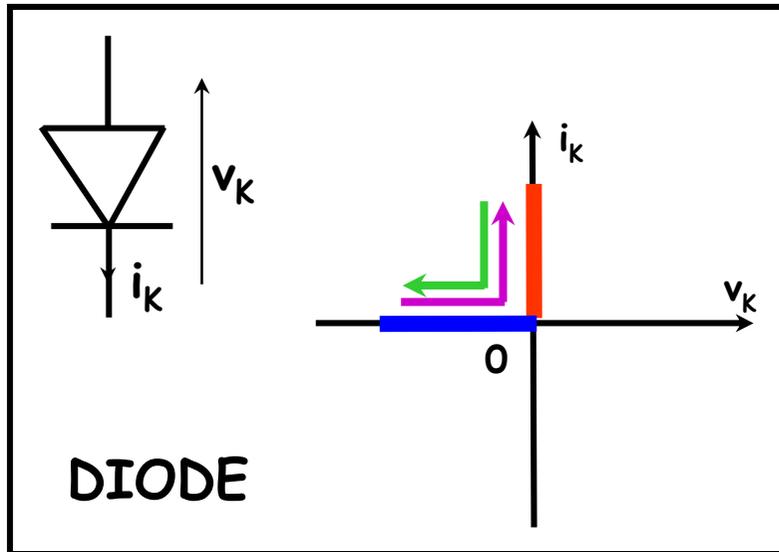
L'ENPU
aujourd'hui

Dipôles et
sources

Structures

Interrupteurs

Exemples



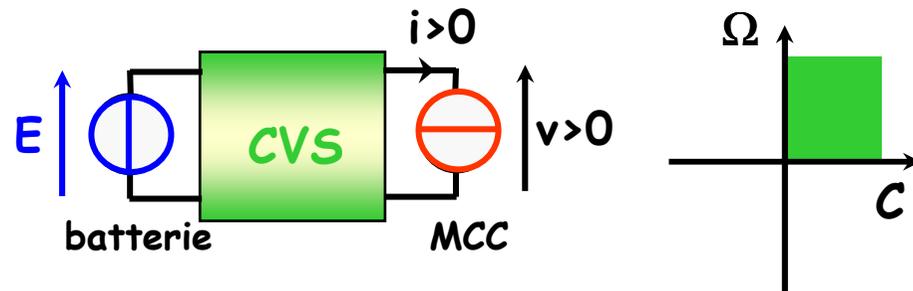
Les convertisseurs statiques d'énergie

- L'ENPU aujourd'hui
- Dipôles et sources
- Structures
- Interrupteurs
- Exemples

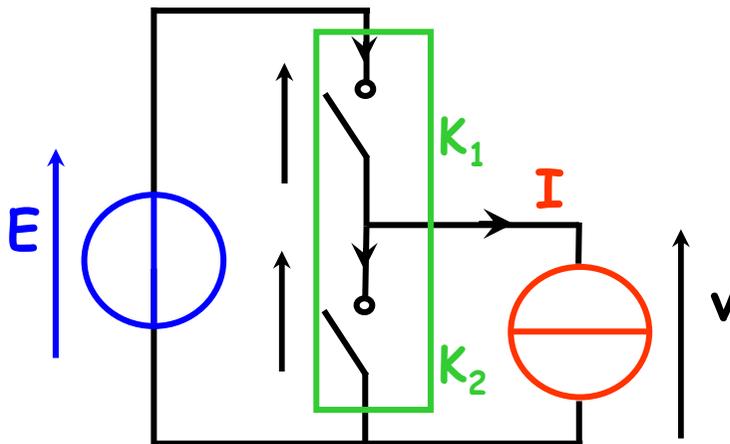
Vélo à assistance au pédalage



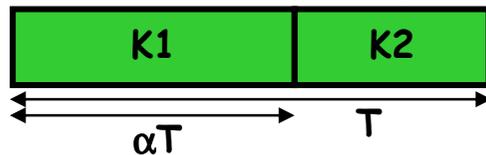
Hacheur série



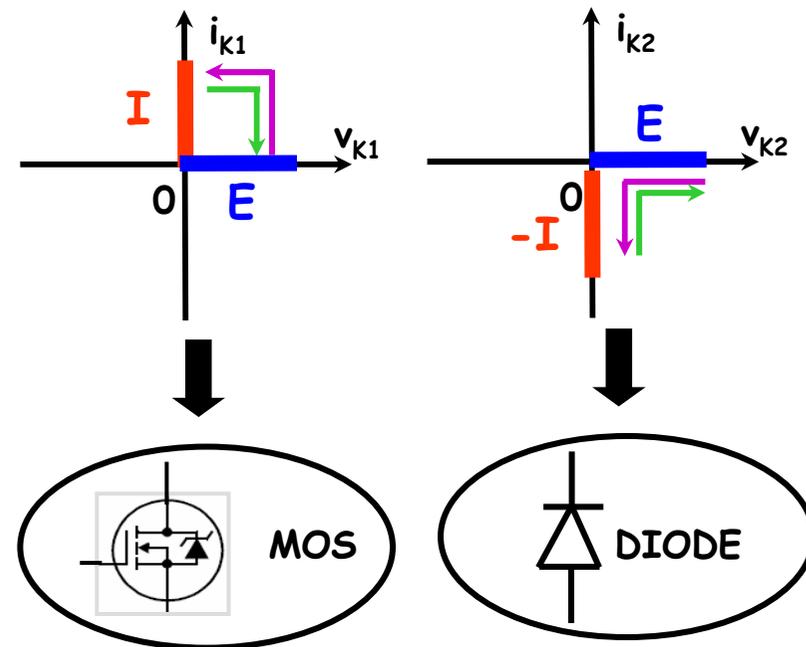
Structure



Commande des interrupteurs



Choix des interrupteurs



Les convertisseurs statiques d'énergie

Convertisseur AC / DC à haut rendement

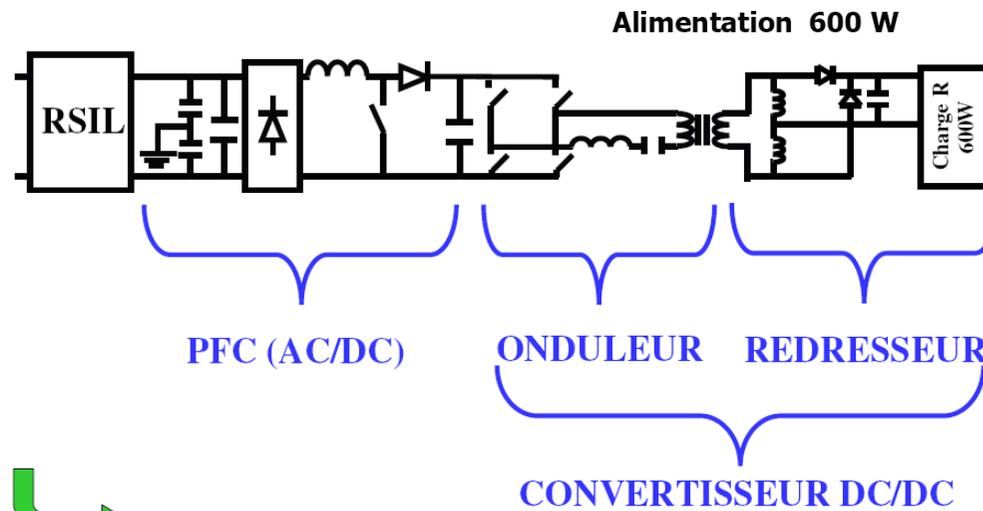
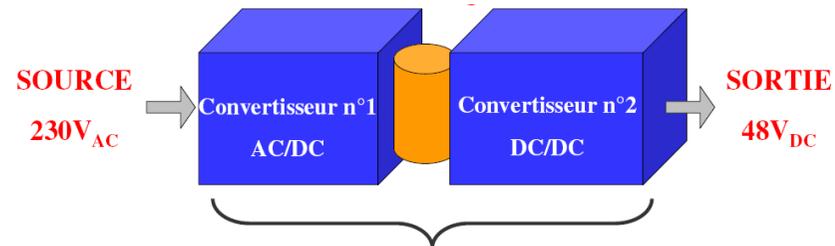
L'ENPU
aujourd'hui

Dipôles et
sources

Structures

Interrupteurs

Exemples



→ Système complexe à deux étages

Les convertisseurs statiques d'énergie

La mécatronique, et l'ENPU (1)



Les convertisseurs statiques d'énergie

La mécatronique, et l'ENPU (2)

La mécatronique est appelée à devenir un usage fort de l'électronique de puissance : il faut un « convertisseur » par dispositif,

La mécatronique peut être « discrète », c'est-à-dire intégrée comme dans la grande série (pour certains composants automobiles, par exemple), ou donner lieu à assemblage de composants comme dans le ferroviaire.

Exemples de dispositif mécatronique :

ABS intégré dans les roulements de roues.