

J.COURTIN

PSI — LYCÉE V.HUGO

Conversion électronique statique

Objectifs :

- Structure d'un convertisseur - exemple
- Sources et dipôles de commutation
- Hacheur Onduleur

I - Sources électriques de puissance

1 - Les formes continues et alternatives de la puissance électrique

Définition :

On appelle **forme alternative** de la puissance électrique tous les signaux porteurs d'énergie dont la valeur moyenne est nulle au cours du temps. Soit : $\langle u \rangle_T = 0$ et $\langle i \rangle_T = 0$ mais avec. $\langle u i \rangle_T \neq 0$

Sur le réseau domestique européen les signaux sont sinusoïdaux à 50 Hz :

- Le transport en est facilité [transformateurs triphasés haute tension \Rightarrow petits courants \Rightarrow moins de perte]
- Beaucoup de machines industrielle se branche directement sur du triphasée.
- Moins dangereux à utiliser (ne pas être « collé » électriquement)

Définition :

On appelle **forme continue** de la puissance électrique tous les signaux porteurs d'énergie dont la valeur moyenne est non nulle au cours du temps. Soit : $\langle u \rangle_T \neq 0$ et $\langle i \rangle_T \neq 0 \Rightarrow \langle u i \rangle_T \neq 0$

Rq : En pratique on recherche surtout u et i constants au cours du temps soit avec le moins d'oscillations parasites possible (cf redressement-lissage).

Sources de puissance continue :

- Panneau solaire
- Pile, Accumulateur automobile
- Batterie Lithium (Li-ion, Lipo)

Usage en continue :

- Moteur à courant continue
- Téléphone, PC Laptop
- Véhicule électrique, drones ...



Alternatif ou continu? Quand Nikola Tesla fit perdre la guerre des courants à Thomas Edison

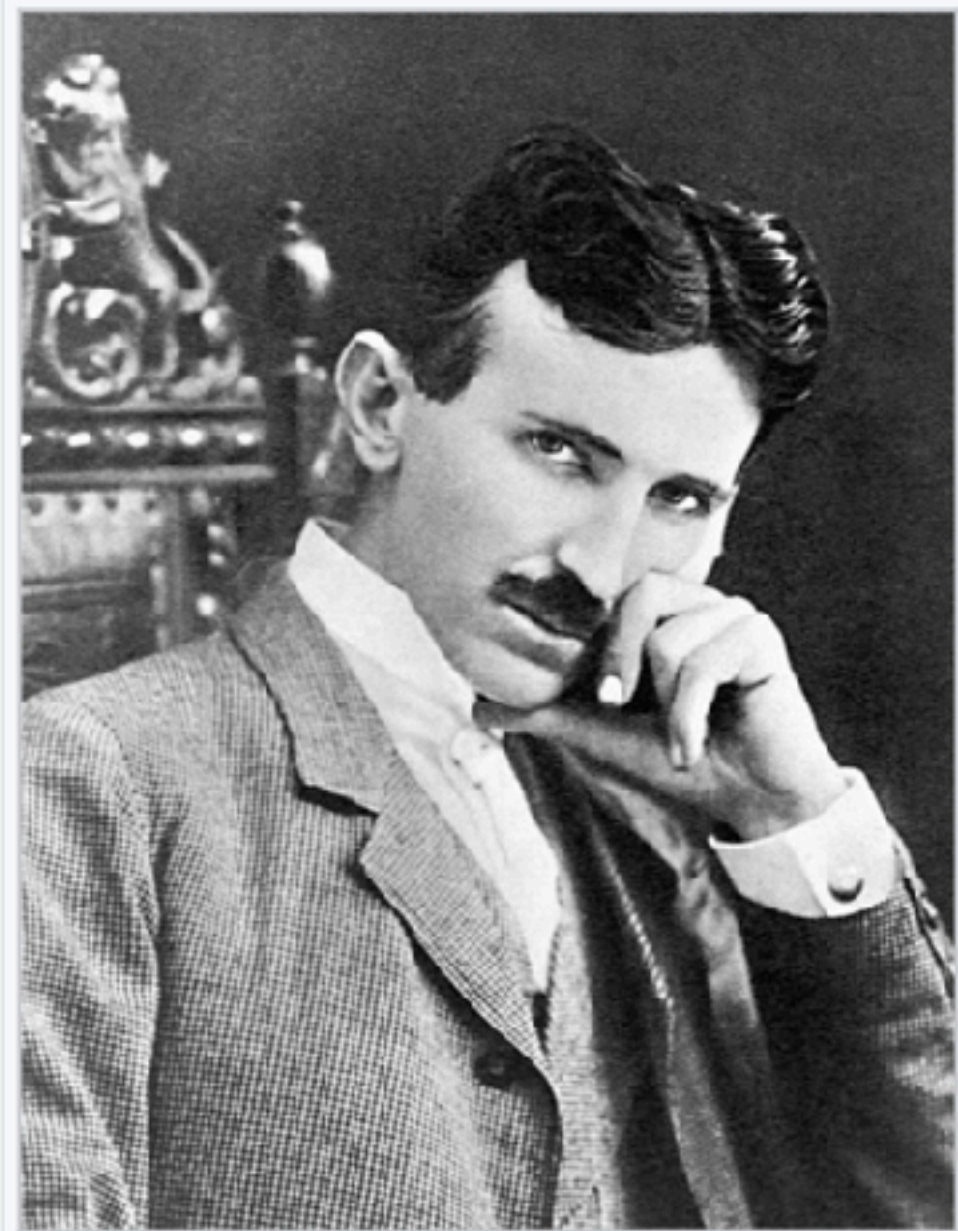
Par Bertille Bayart

Publié le 22/08/2022 à 16:16, mis à jour le 22/08/2022 à 16:16



À gauche Nikola Tesla (1856-1943): le système de courant alternatif développé par l'ingénieur né en Europe a conquis les États-Unis. À droite, Thomas Edison (1847-1931): l'ampoule à incandescence de cet inventeur prolifique est l'un des brevets les plus lucratifs de l'histoire. *Everett Collection/Bridgeman Images ; JDikenson V. Alley/Bridgeman Images ; ohan Swanepoel/JohanSwanepoel/stock.adobe.com*

DUELS ÉLECTRIQUES (1/5) - Les inventions de Nikola Tesla ont permis à George Westinghouse de battre sur son terrain, celui de l'électrification de l'Amérique, le céléberrissime Thomas Edison. Au terme d'une bataille sans merci.



Nikola Tesla, inventeur, physicien et ingénieur en électro-mécanique, il a été l'artisan du développement des réseaux en courant alternatif.



Thomas Edison, inventeur et homme d'affaires américain, il était en faveur du développement d'un réseau électrique en courant continu.

2 - Conversion et Ordres De Grandeurs

En pratique des conversions d'une forme à l'autre s'opèrent en permanence dans nos usages quotidien :

- Machine à laver avec un moteur à courant continue qui se branche sur l'alternatif du secteur
- Chargeur de portable, batterie lithium d'un aspirateur sans fils etc ...

Ou Inversement :

- Obtenir du courant avec un générateur alternatif de secours en cas de coupure (onduleur).
- Obtenir du **courant à fréquence variable pour des moteurs synchrones** (moteur de drone, TGV au démarrage)
- Protéger un système informatique des coupures, alimenter sa maison avec des panneaux solaires => Onduleur

Généralisation :

Un appareil peut être alimenté en alternatif monophasé sur le secteur. Puis être redressé en continu afin d'alimenter une carte d'onduleur pour alimenter le stator d'un moteur avec du triphasé de fréquence variable ainsi qu'un rotor en continu avec des collecteurs balais....

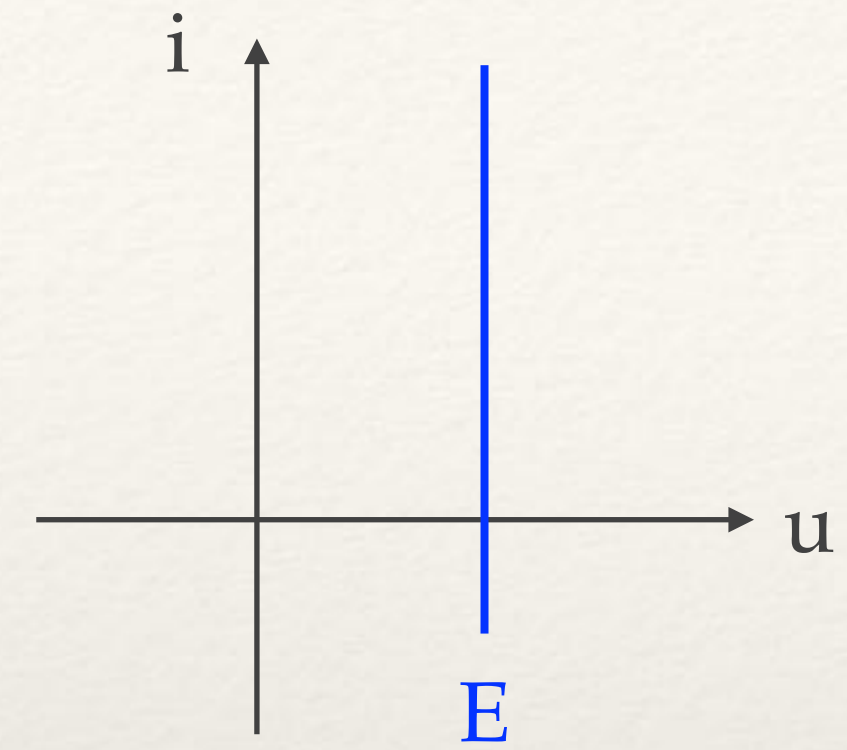
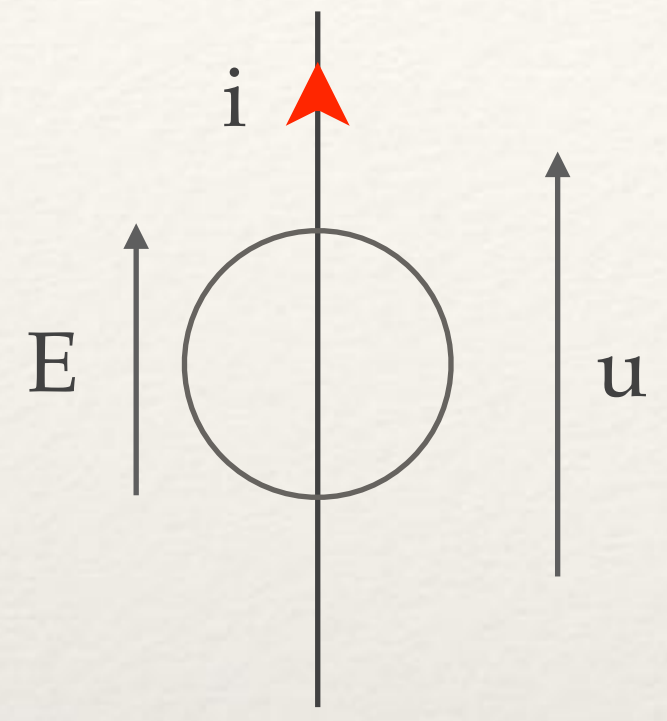
Appareil	Puissance	Présentation
Ampoule	5W à 50W	Continu ou Alternatif
Écran plasma	400 W	Continu
Lave linge	1 kW	Continu ou Alternatif
TGV	8MW	Continu ou Alternatif
Central Nucléaire	1GW	Alternatif 50Hz

Bref, les conversions sont partout. Nous y reviendrons.

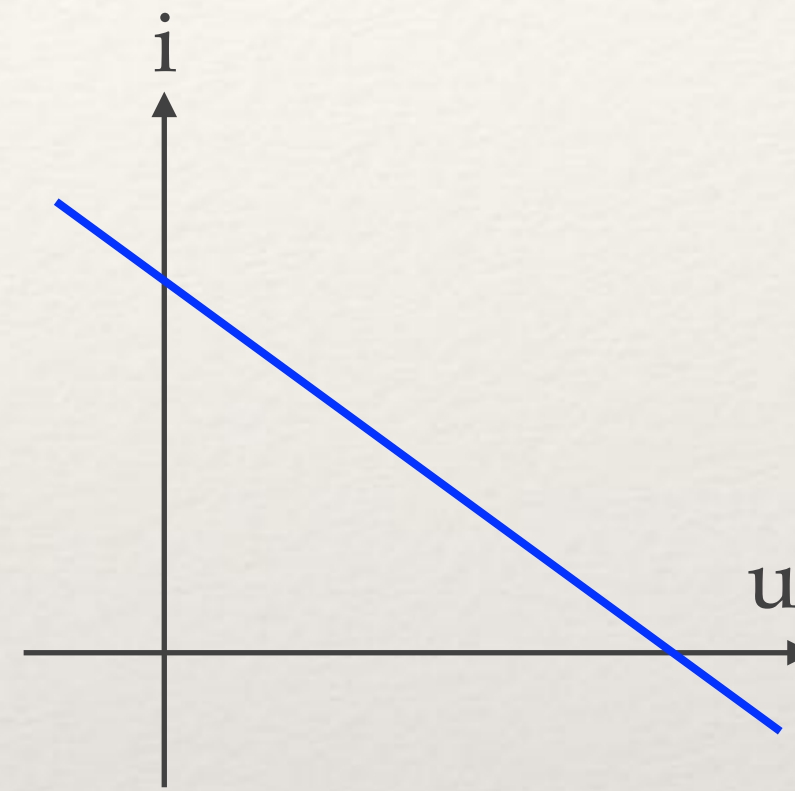
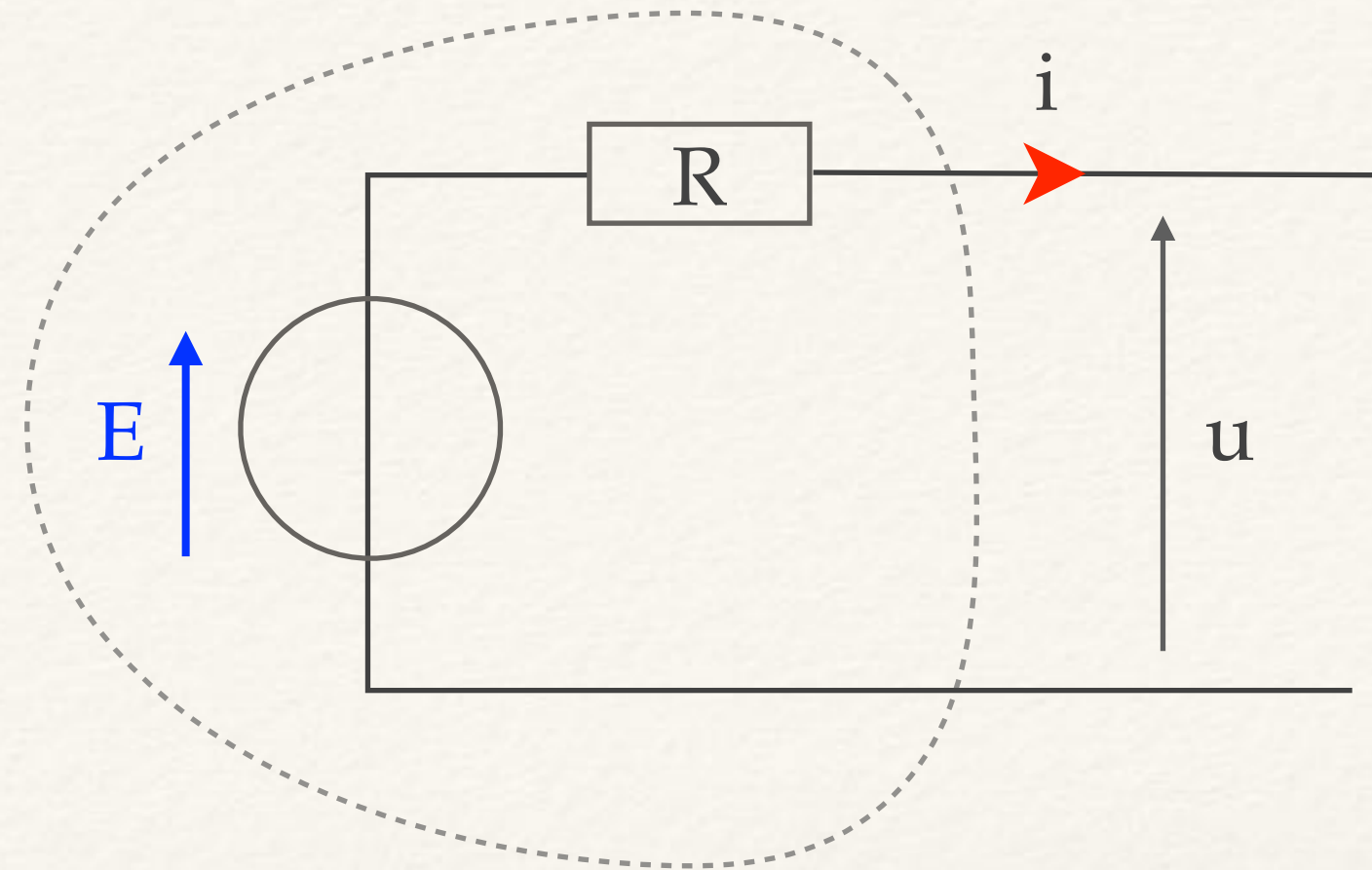
3 - Les sources

α - Sources idéales et sources réelles

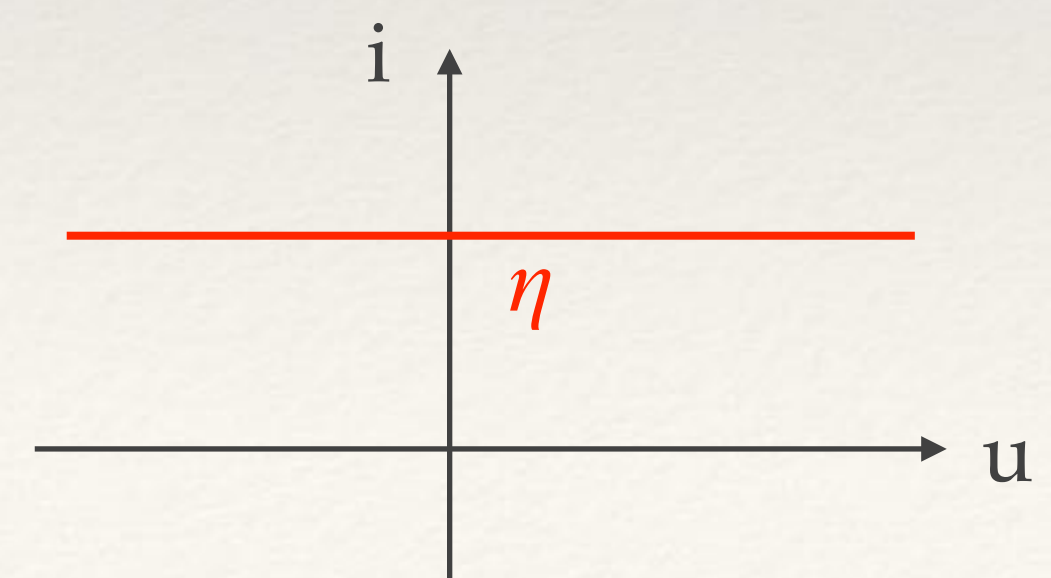
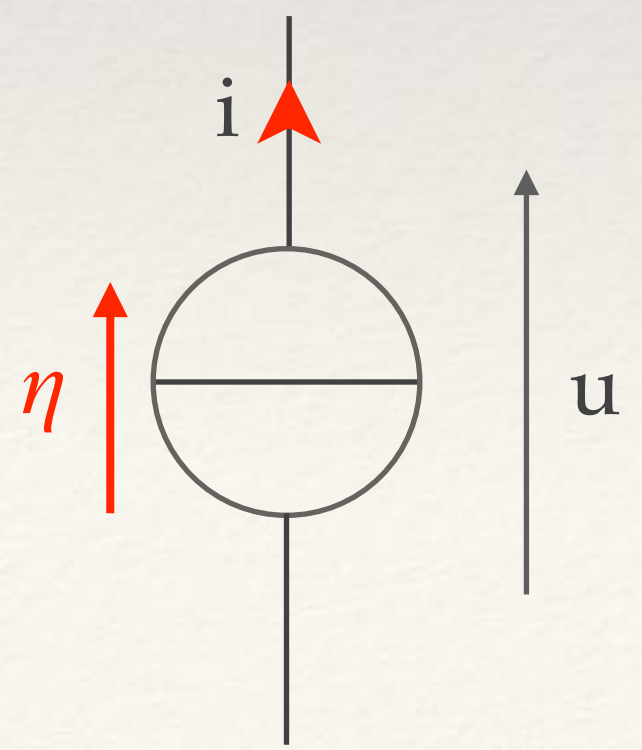
Source idéale de tension :



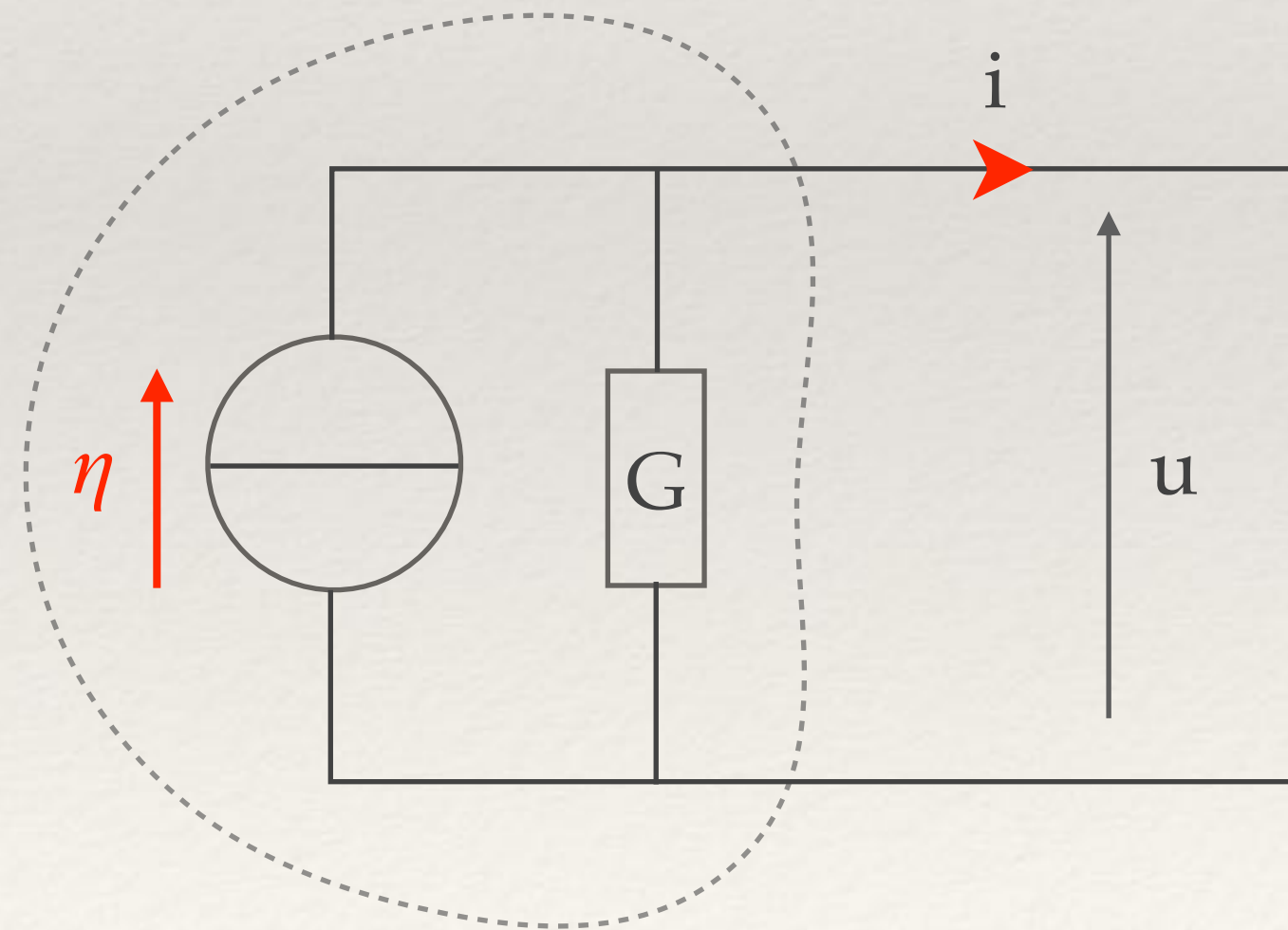
Sources réelles :
Défaut :



Source idéale de courant :

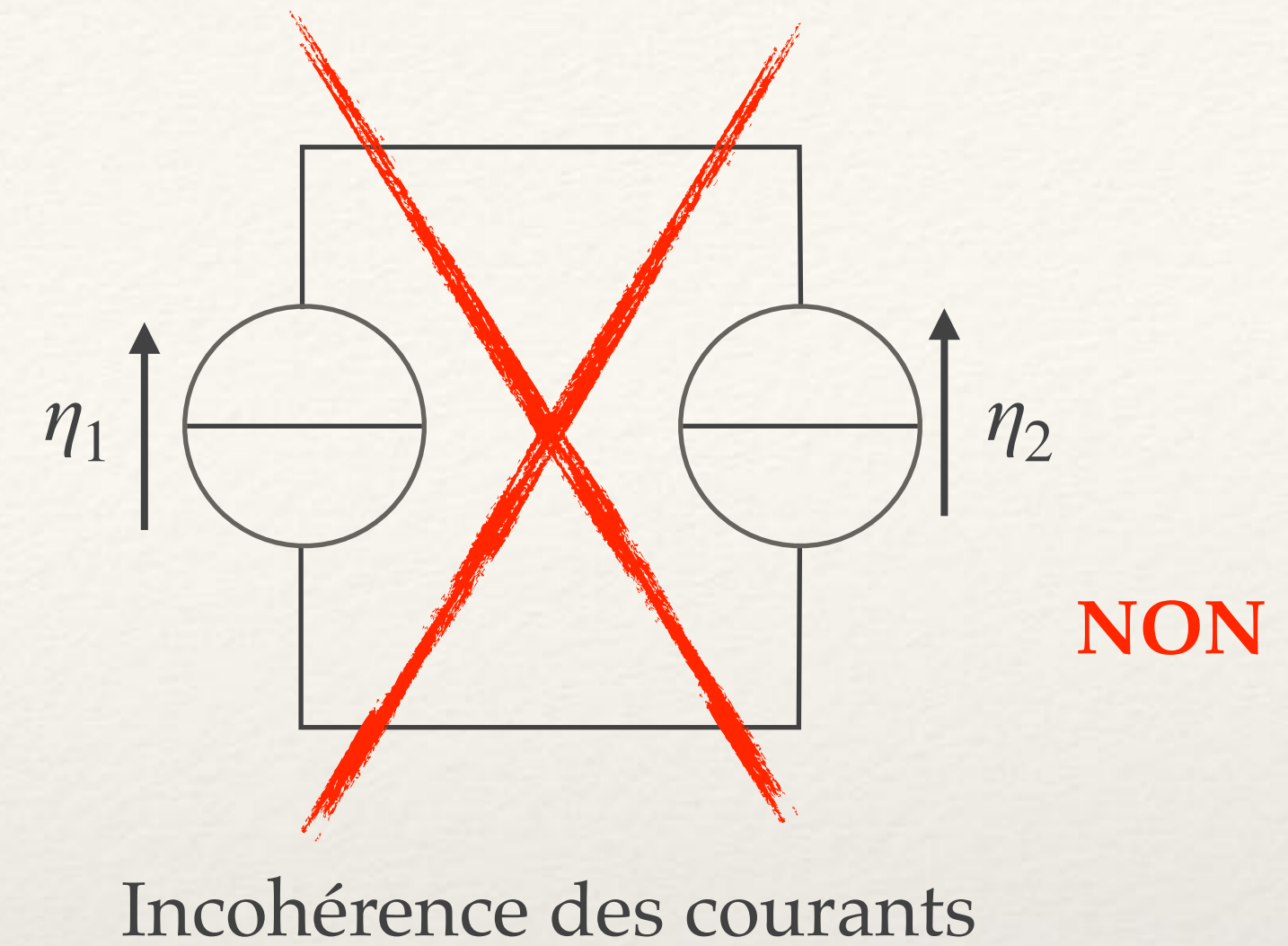
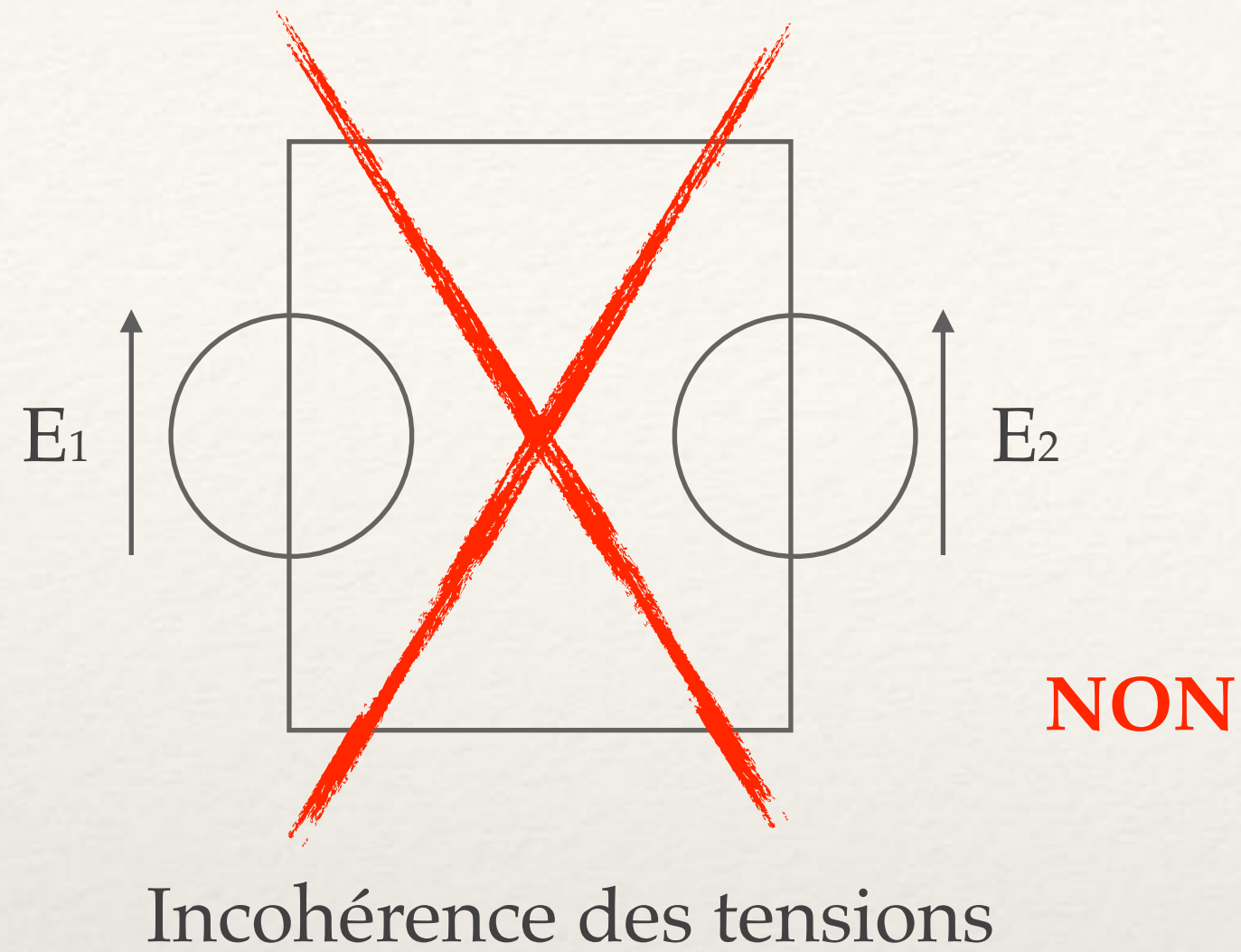


Sources réelles :
Défaut :

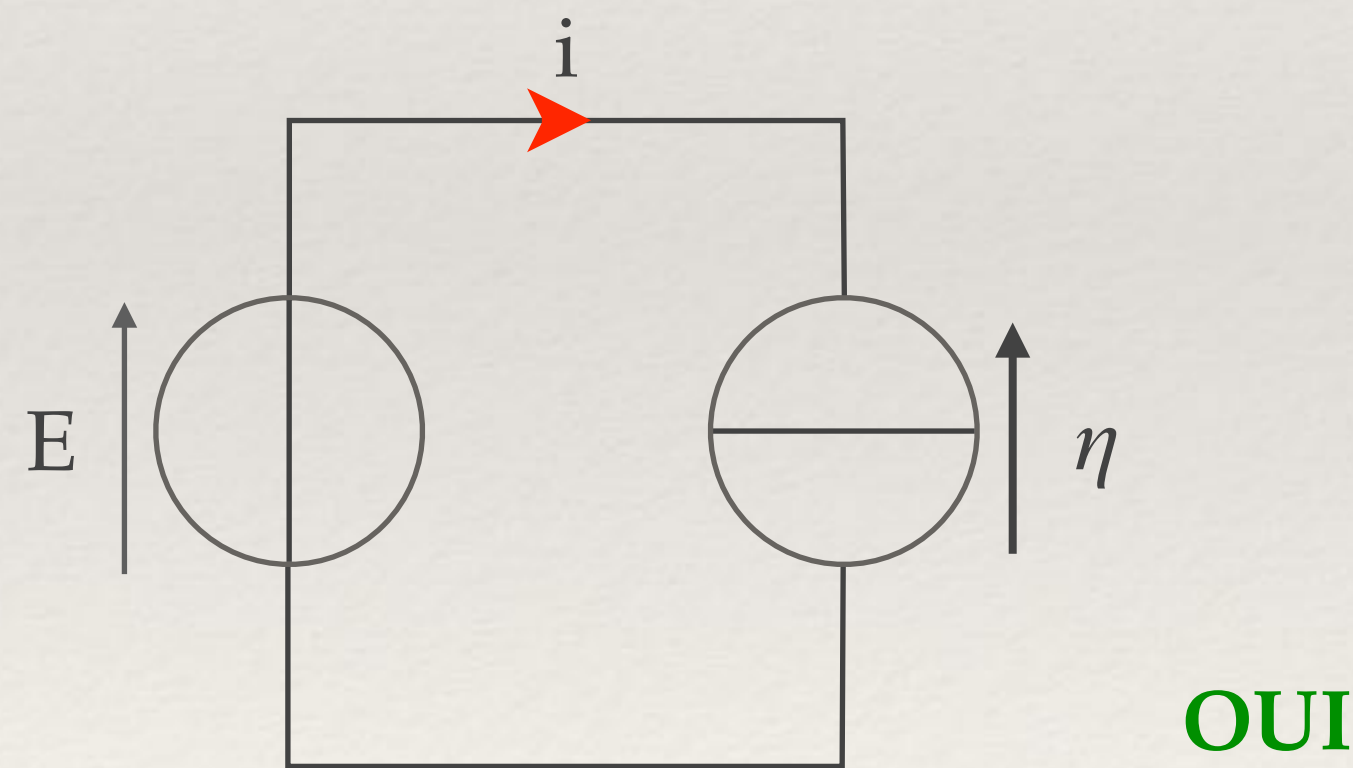


β - Interconnexions des sources : règles Associations

Conséquence des règles d'association des sources idéales :



Cohérence des courant tension :



Question :

Conséquence sur
des interrupteurs ?

RQ : Les vraies sources ont des résistances internes, ce qui semble lever le caractère impossible de ces associations.

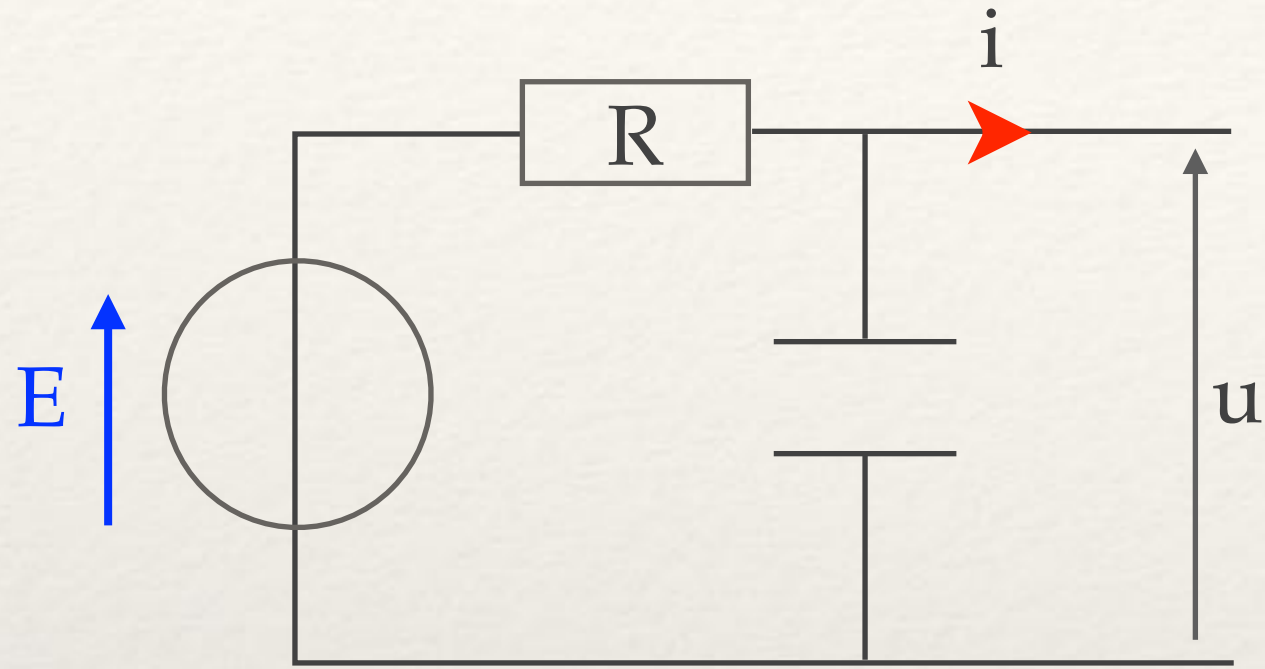
Toutefois non respect des règles d'association conduirait à des surchauffes voire à la destruction des sources mises en jeu.

γ - Améliorations des sources : lissage

On suppose qu'une perturbation [commutation] modifie sensiblement courant et tensions :

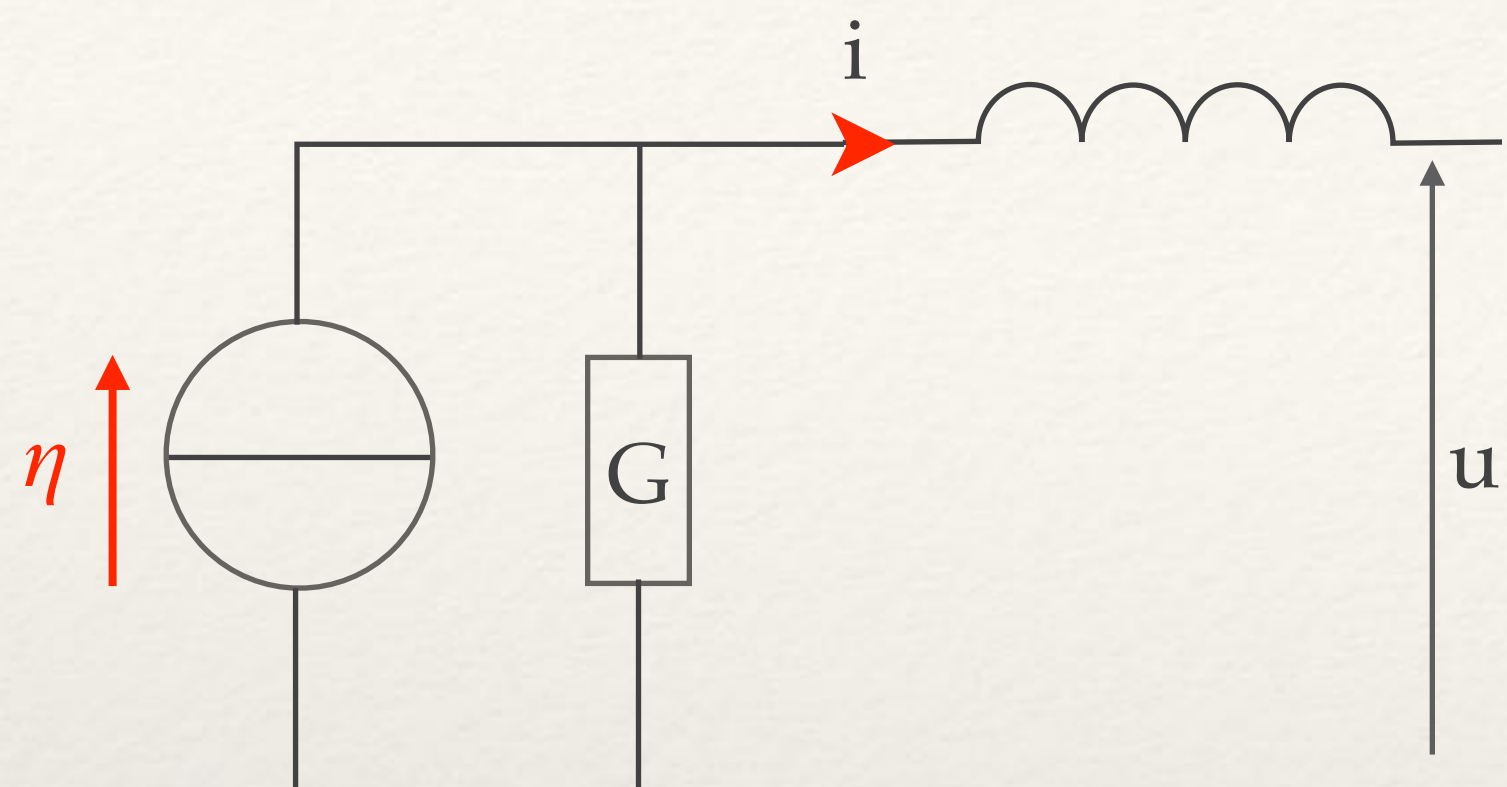
$$U \rightarrow U + \Delta u \quad \text{et} \quad I \rightarrow I + \Delta i$$

Source de tension :



Le condensateur garantit la continuité de la tension $u(t)$ sans dissiper d'énergie

Source de courant :



La bobine garantie la continuité du courant $i(t)$ sans dissiper d'énergie

δ - Réversibilité des sources

Les dipôles de type source de courant ou source de tension, peuvent fonctionner en générateur ou en récepteur selon la puissance qu'ils donne au circuit.

Définitions :

- **Un dipôle de type source de tension est dit réversible en courant si, pour une valeur donnée de la tension à ses bornes, il peut être traversé par un courant de signe quelconque.**
ex : Machine à Courant Continu : moteur ou génératrice sans changer le sens de rotation
- **Un dipôle de type source de courant est dit réversible en tension si, pour une valeur donnée du courant le traversant, la tension à ses bornes peut prendre un signe quelconque.**
ex : Machine à Courant Continu : moteur ou génératrice en changeant le sens de rotation

On note que leur fonctionnement peut être générateur ou récepteur selon les signes des courants et tensions et les orientations associées à ces signes.

- **Un tel dipôle pouvant se comporter à la fois comme générateur et récepteur est dit réversible en puissance.**
ex : Machine à Courant Continu : à la fois moteur et génératrice

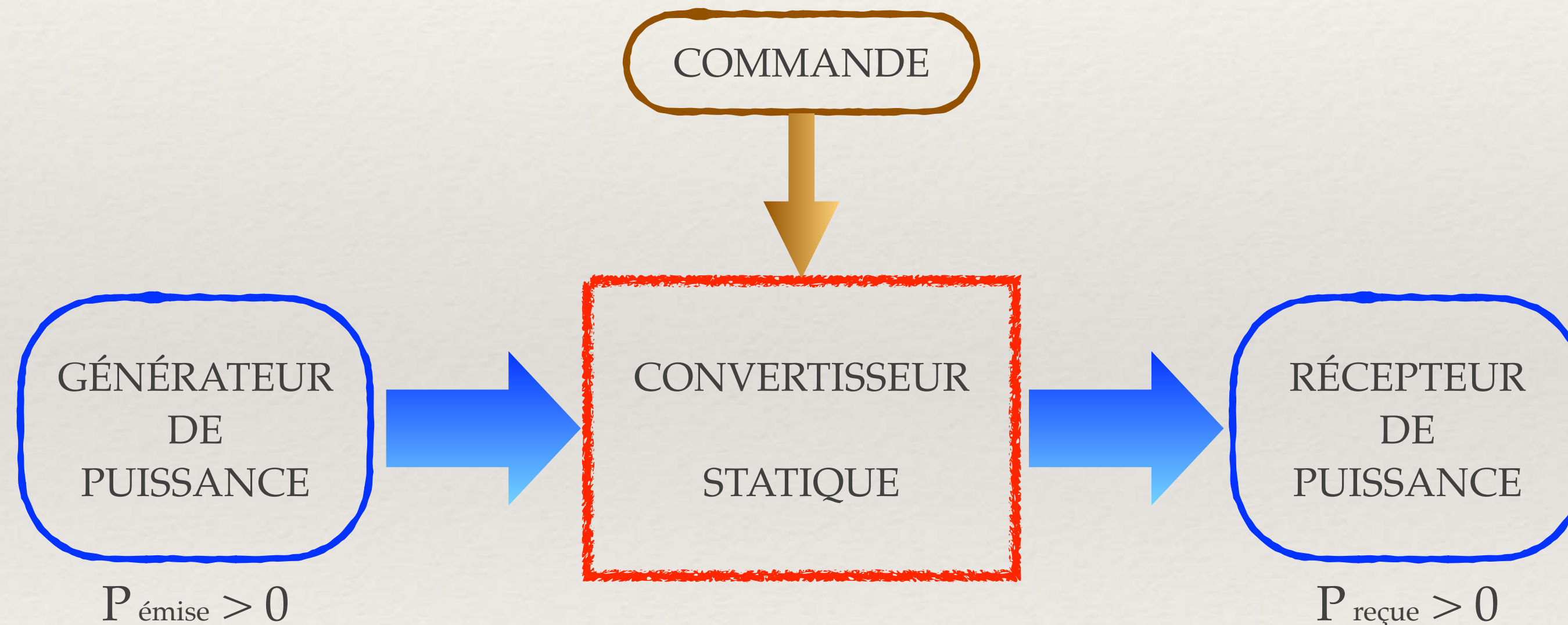
II - Conversion électronique de puissance

Suite à la mise au point des dispositifs à semi-conducteurs (diode, transistor...) dans les années 1940/1950, l'électronique de puissance a connu un très fort développement (applications variées, miniaturisation, rendements élevés...).

1 - Structure d'un convertisseur

Objectif :

- On peut souhaiter passer d'une forme alternative à continue (redresseur) ou le contraire (onduleur)
- On peut souhaiter contrôler la puissance transmise, la fréquence ou simplement l'amplitude des signaux :
Alternatif-Alternatif —> Gradateur, Transformateur (Variateur) Continue-Continue —> Hacheur, Diviseur de tension



Exemple type : « pont en H » en SI

On peut contrôler la vitesse d'un moteur avec des PWM (Pulse Width Modulation) c-à-d qu'on envoie une tension constante en entrée, mais on ne laisse passer le courant d'alimentation que pendant une certaine fraction du temps avec des interrupteurs commandés.

On contrôle ainsi la puissance transmise et ce sans perte d'énergie.

2 - Exemples de convertisseurs sur une charge résistive \Rightarrow intérêt de la commutation

💡 Idée Naïve : Convertisseur potentiométrique

💡💡 Idée plus judicieuse : Convertisseur avec un interrupteur idéal commandé

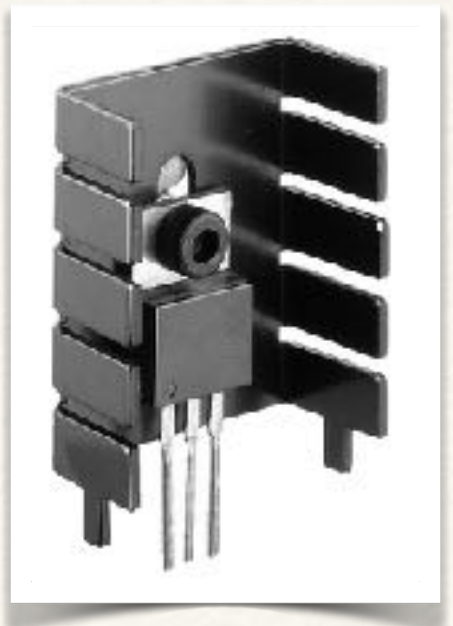
Ces dipôles permettent de contrôler le transfert de puissance sans déperdition inutile.

Comme on souhaite transférer de la puissance d'une source à une autre, il nous faut adapter les règles de commutations à celles des associations.

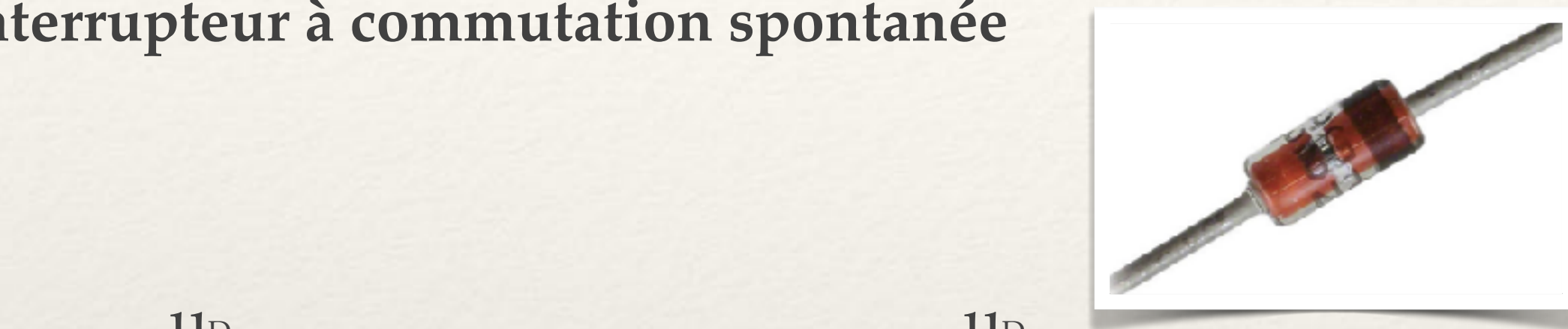
3 - Fonctions de commutation

α - Fonctions de commutation unidirectionnelle

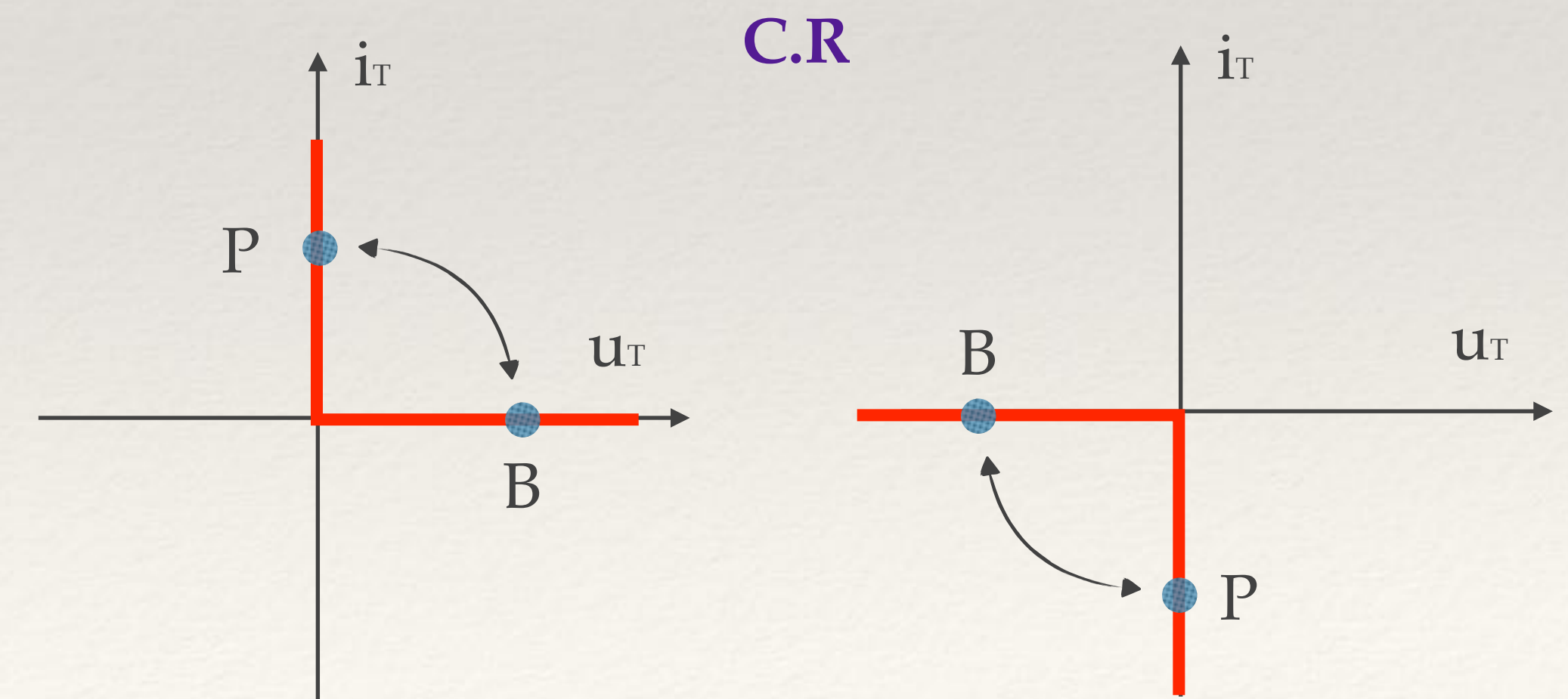
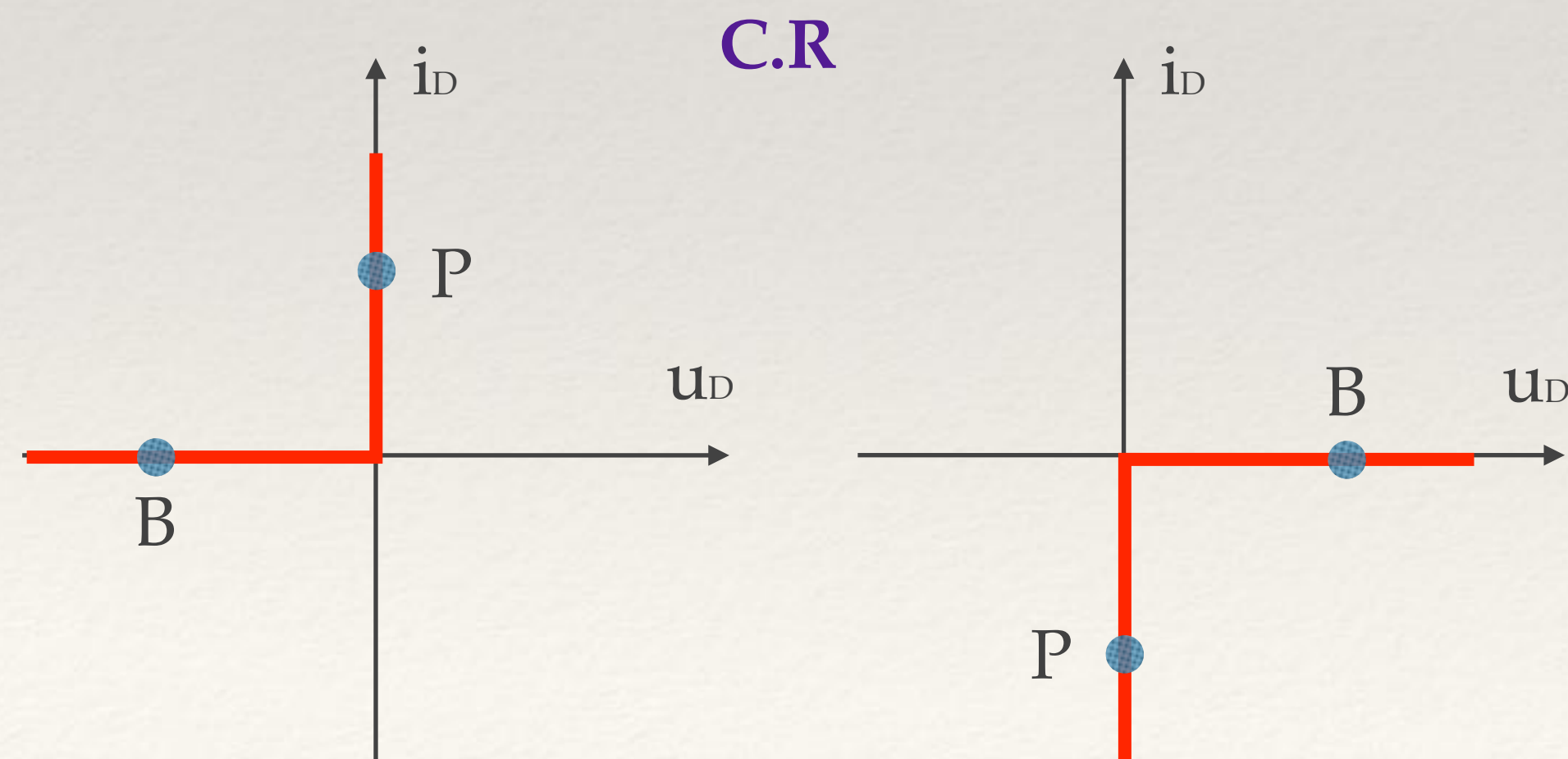
Diodes et transistors permettent une commutation rapides (~ 10 kHz) et unidirectionnelle. Par ailleurs ils ne dissipent théoriquement aucune énergie et vont ainsi jouer un rôle central dans la conversion d'énergie.



Fonctions de commutation spontanée \rightarrow Diode idéale : interrupteur à commutation spontanée



Fonctions de commutation commandée \rightarrow transistor idéal : interrupteur à commutation commandée



La diode commute spontanément selon la tension qui lui est appliquée

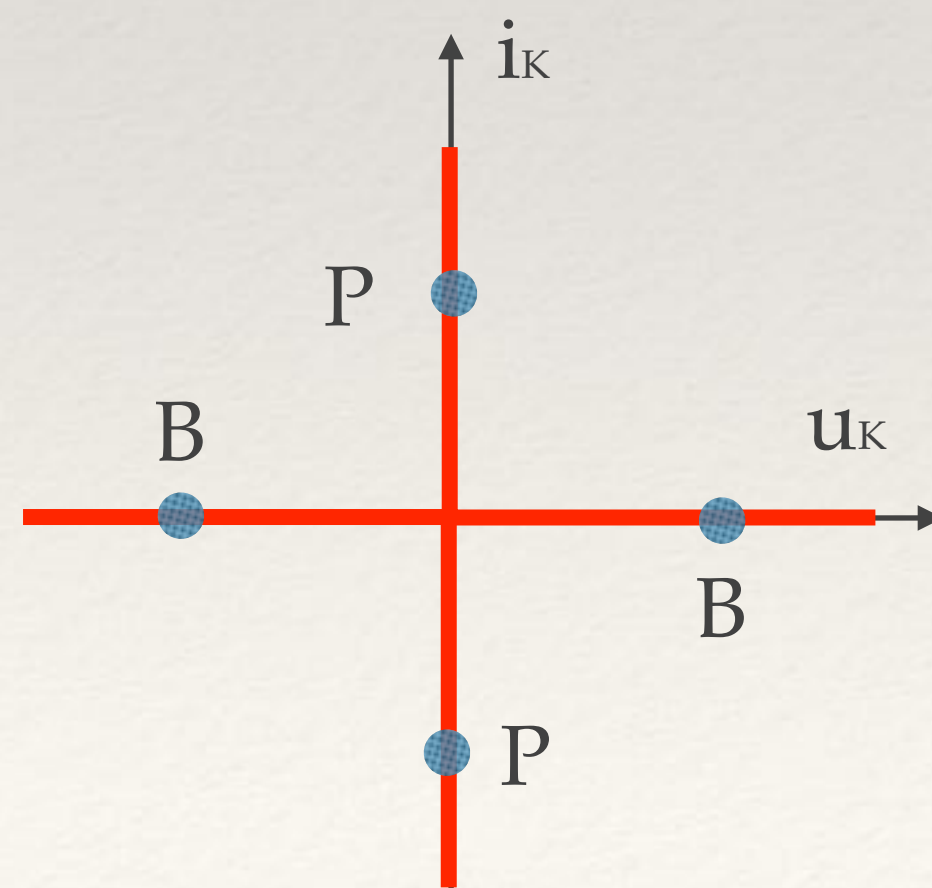
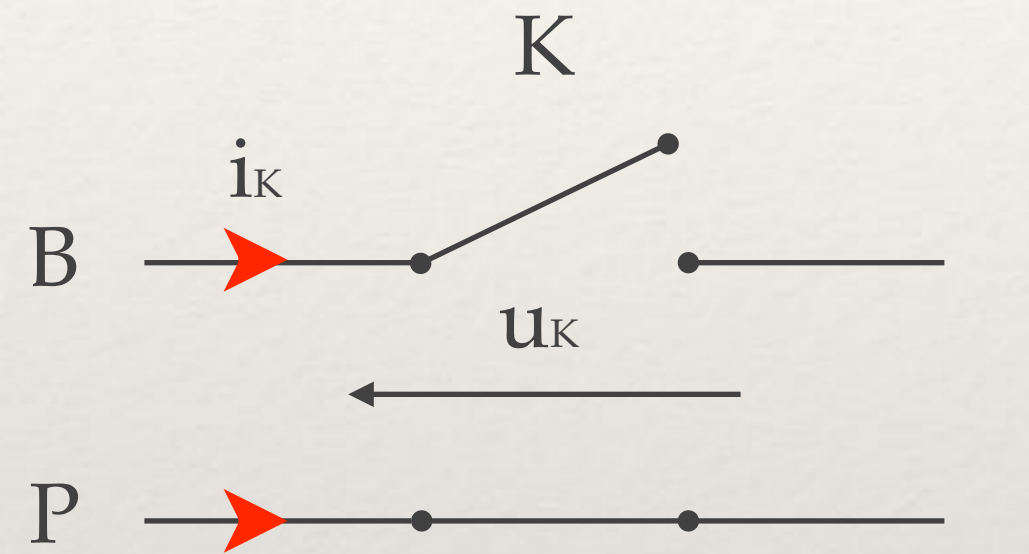
La commutation (flèche) est contrôlée par le potentiel de sa base

β - Fonctions de commutation bidirectionnelle

On peut utiliser un simple interrupteur ou programmer un microcontrôleur en ON/OFF (Arduino, Raspberry). Dans tous les cas c'est généralement **trop lent et trop irrégulier** pour contrôler un moteur par exemple

Interrupteur : $f \sim 1 \text{ Hz}$ (manuel)

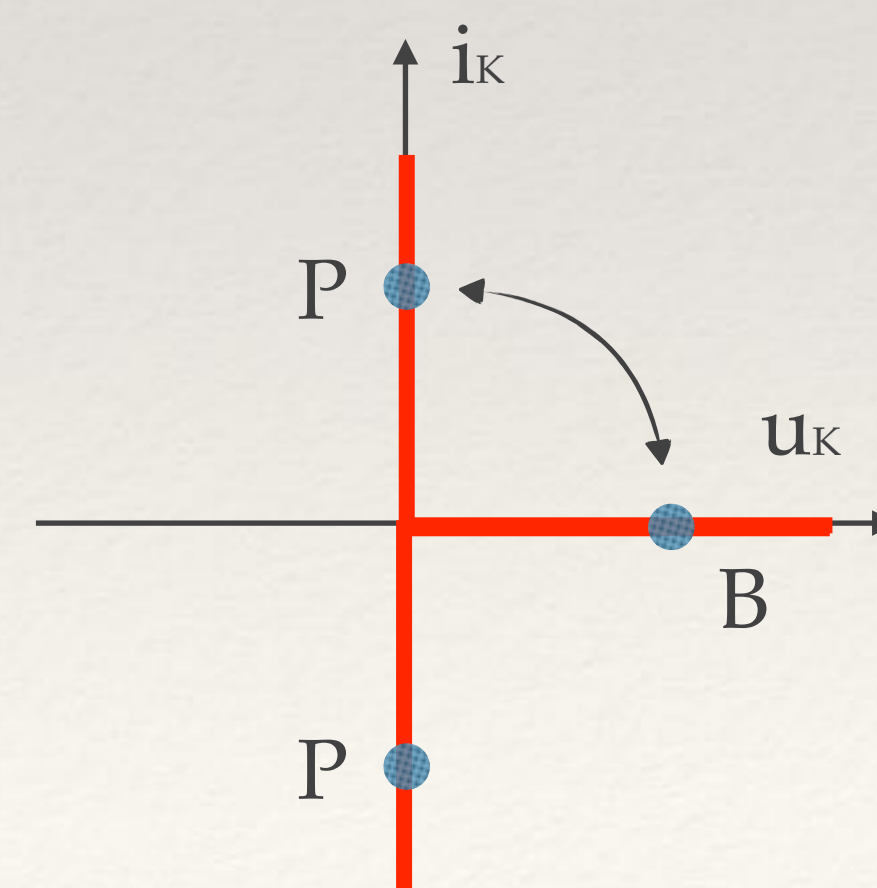
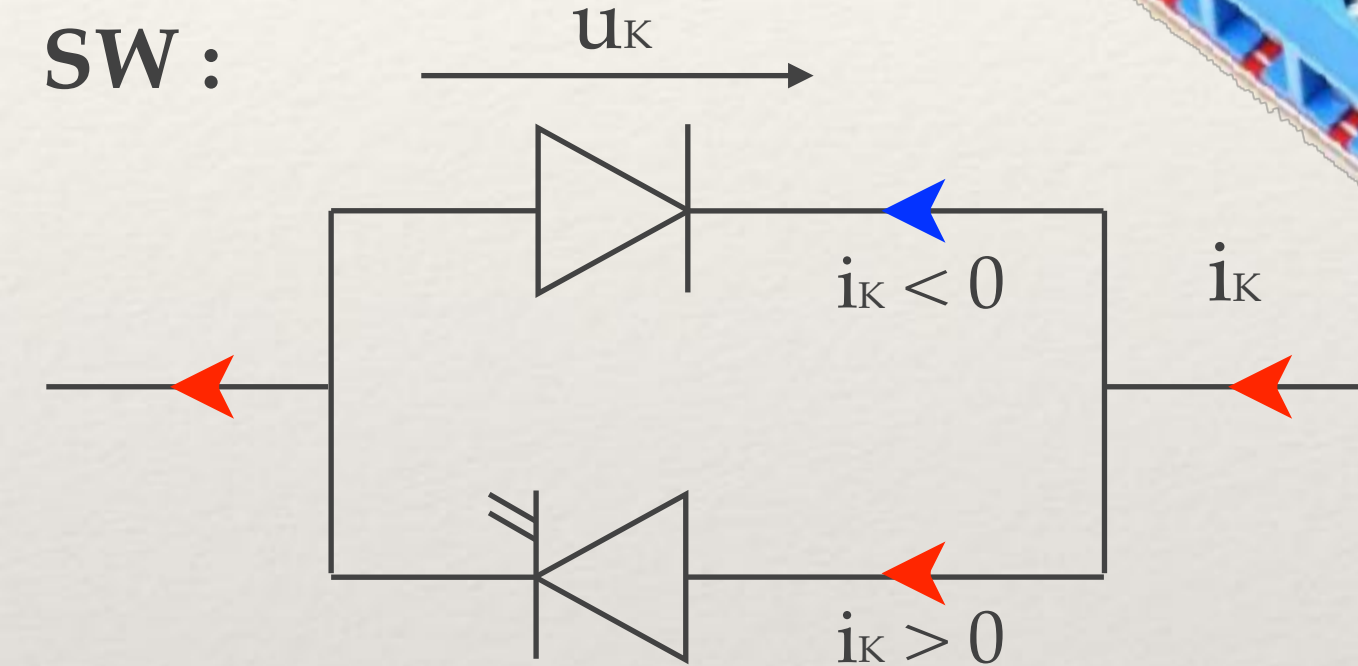
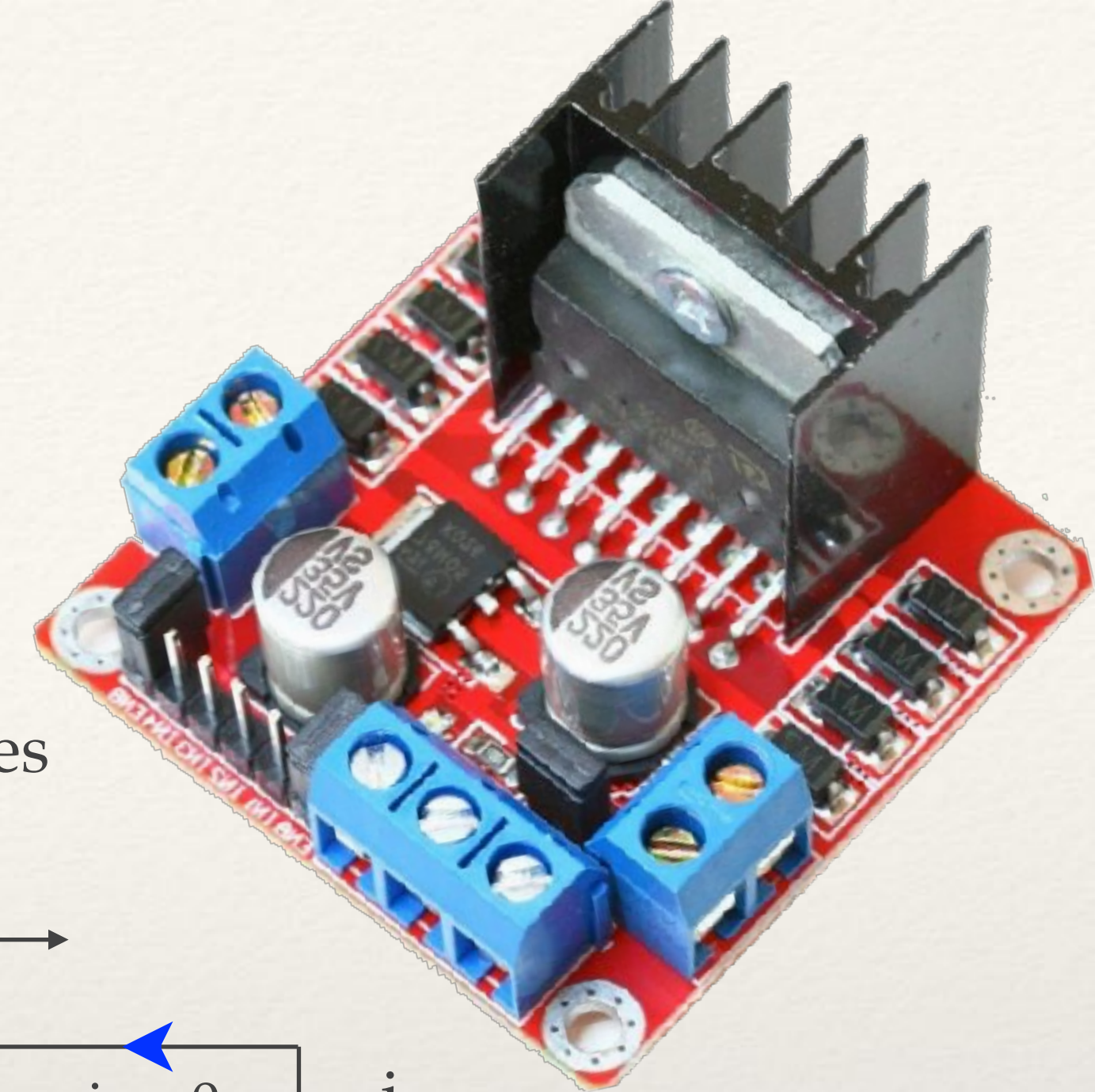
Microcontrôleur : $f \ll 1 \text{ kHz}$



Interrupteur idéal

Pont en H :

4 commutateurs
SW programmables



Interrupteur réversible en courant

STMicroelectronics Diode de redressement HF
Schottky 1N5711 DO-35 70 V 15 mA



IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) :

$$f_{max} = 5 \text{ kHz} ; V_{max} \approx qq \text{ kV}.$$



Transistor bipolaire

IDP30E60XKSA1 **Diode** :
switching THT 600V 30A TO220-



MOSFET (Metal Oxyde Semiconductor Field Effect Transistor) :

$$f_{max} = 100 \text{ kHz} ; V_{max} \approx qq \text{ 100 V}.$$



Transistor à effet de champ

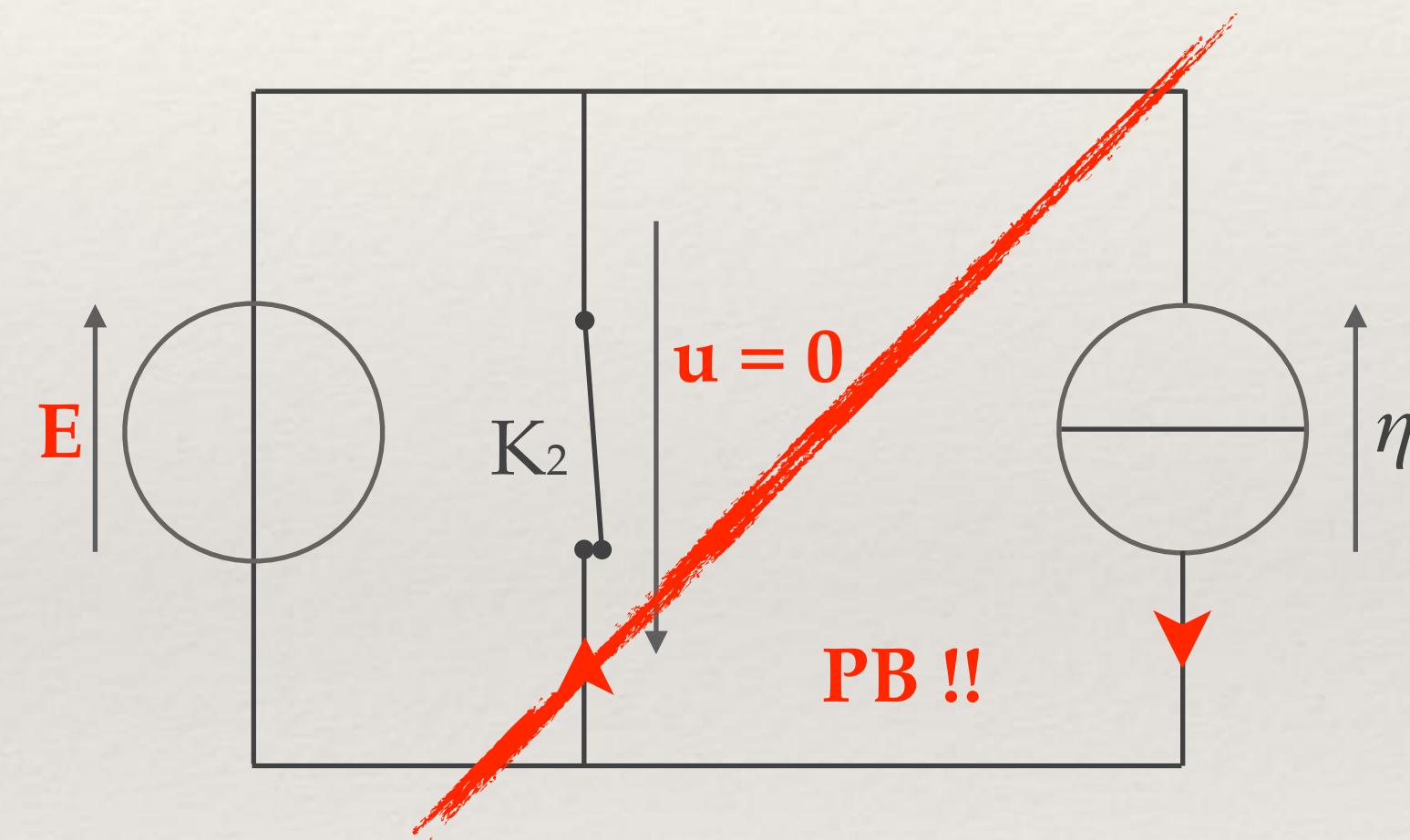
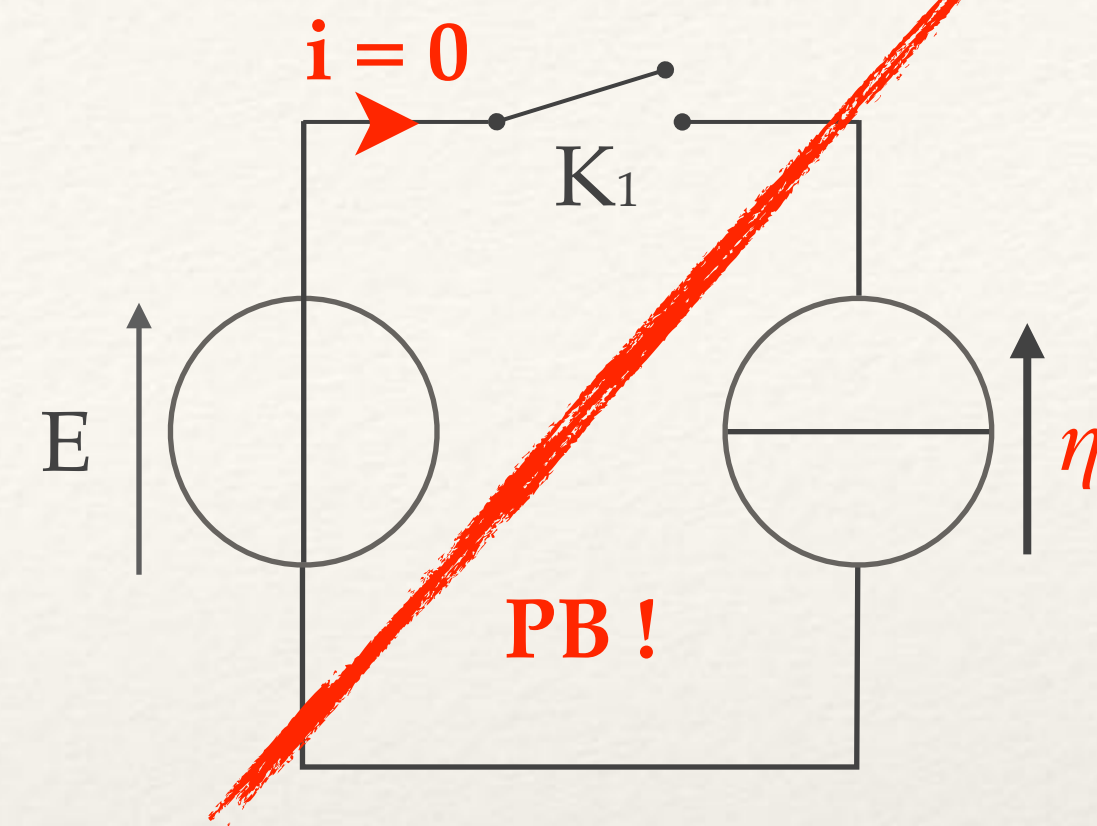
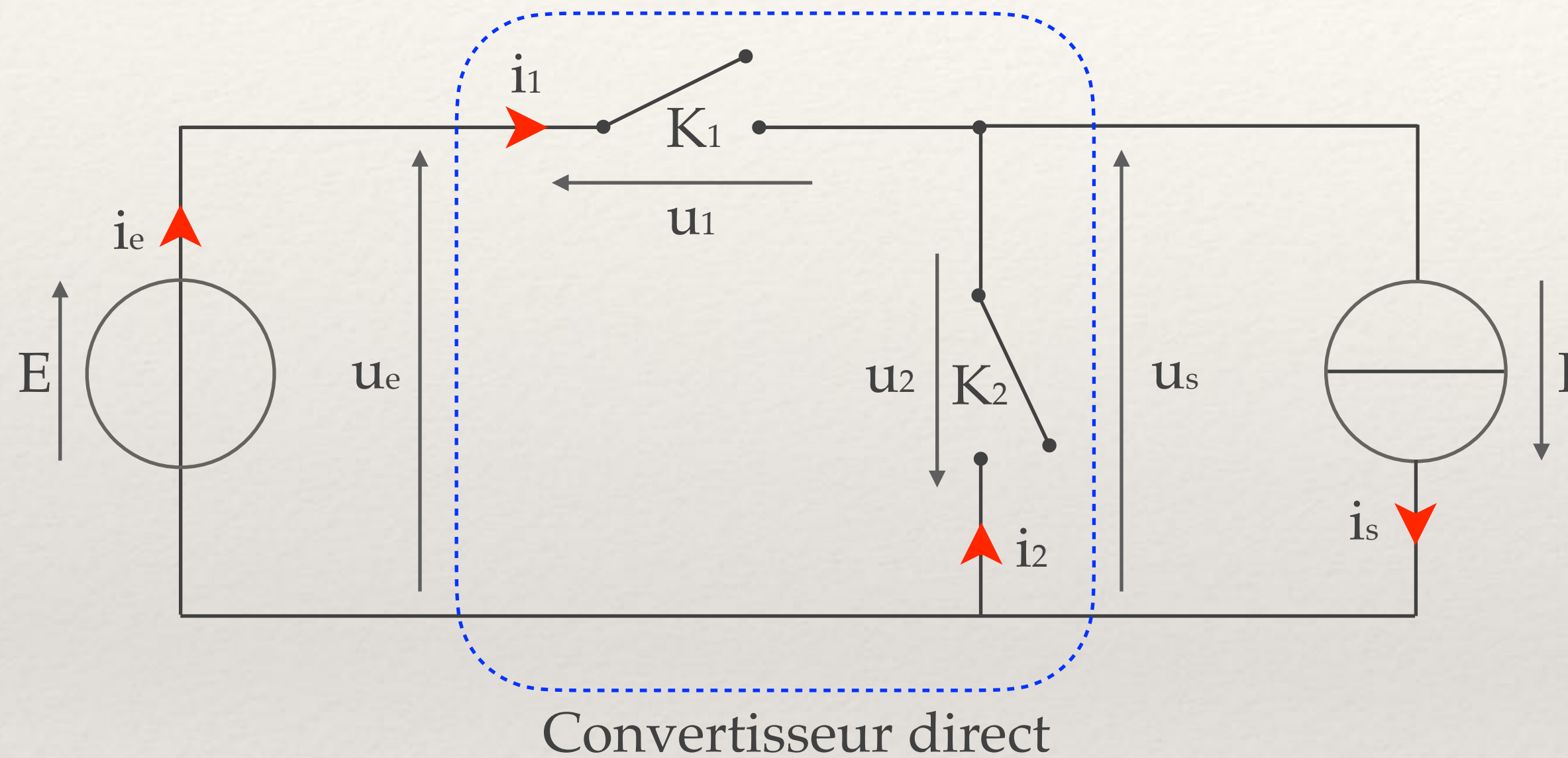
4 - Cellule de commutation élémentaire : convertisseur direct

L'utilisation d'un unique interrupteur commandé n'est pas possible dès lors que l'on veut transférer de la puissance d'une source vers une autre :

- Un interrupteur mécanique serait trop lent
- Cela revient à placer l'interrupteur en série sur la source de courant et / ou en parallèle sur la source de tension.

Dans les 2 cas ce n'est pas conforme aux règles d'association (court circuit, surchauffe)

On peut en revanche envisager un dispositif avec deux commutateurs :



En supposant que les deux interrupteur ne soient jamais dans le même état :

- K_1 ne sera jamais ouvert en série avec la source de courant, car K_2 le court circuite
- K_2 ne sera jamais fermé en parallèle avec la source de tension, car K_1 coupe le circuit

En pratique la commutation commandée du transistor provoque la commutation spontanée de la diode.

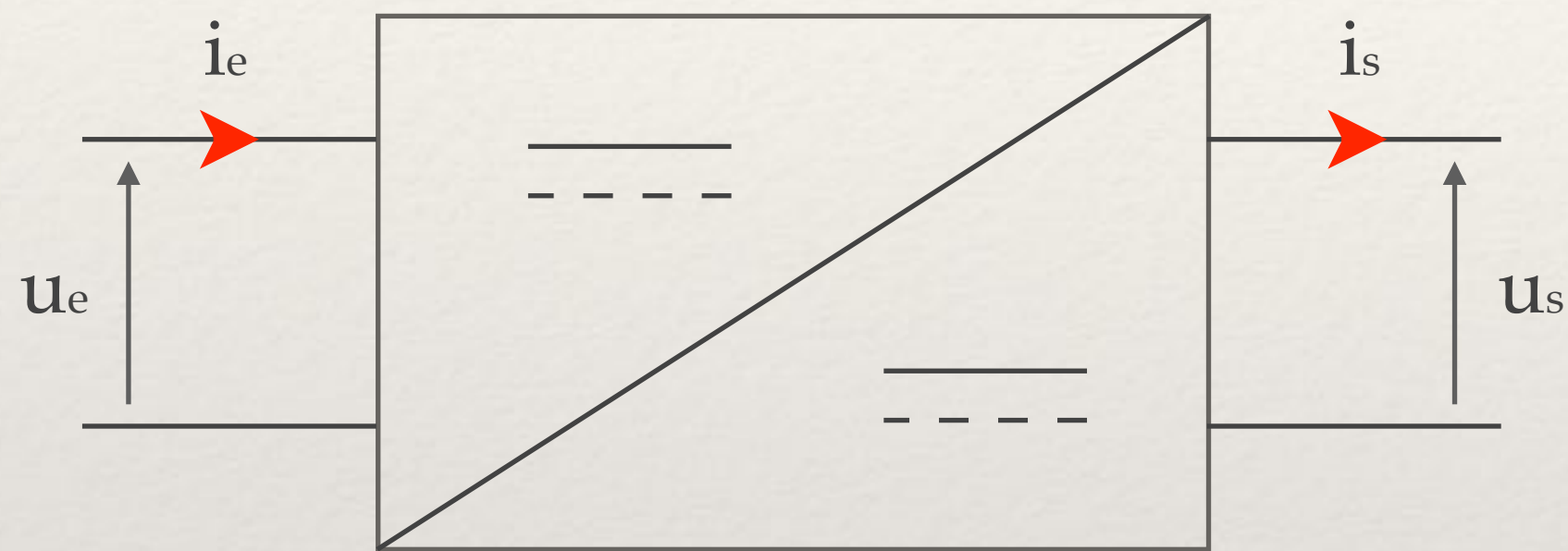
III - Applications

1 - Hacheur Série

On souhaite réaliser, à l'aide d'un convertisseur direct, le **transfert de puissance d'une source de tension continue E** [générateur] **vers un dipôle de type source de courant I** , [donc ici récepteur, typiquement, un moteur].

—> **C'est le rôle du Hacheur !**

Symbolique de conversion :

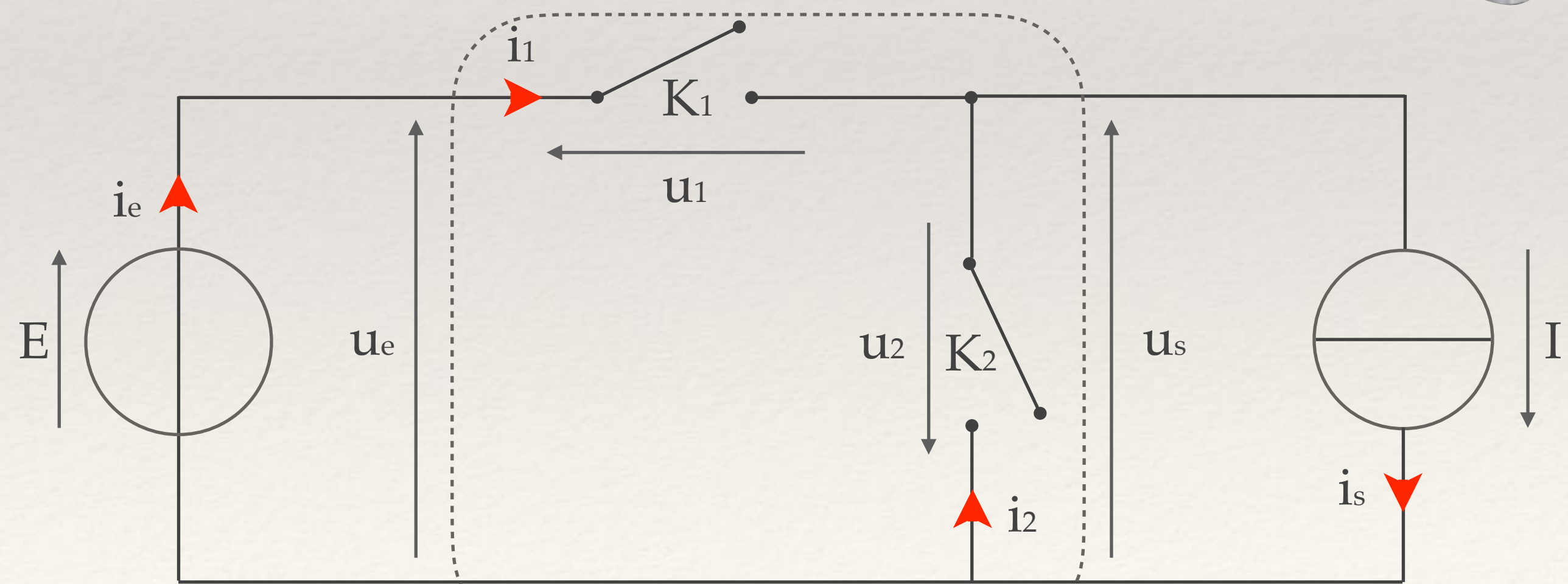


Y aurait-il un hacheur dans le hacheur ? 🧐



Etude complète du hacheur série :

(Sur copie annexe)



Conversion directe à 2 interrupteurs

2 - Redressement double alternance

On souhaite **obtenir une alimentation continue à partir d'une alimentation alternative**.

C'est l'étape intermédiaire de toute alimentation continue entre le **transformateur** et le **lissage** [filtre passe bas].

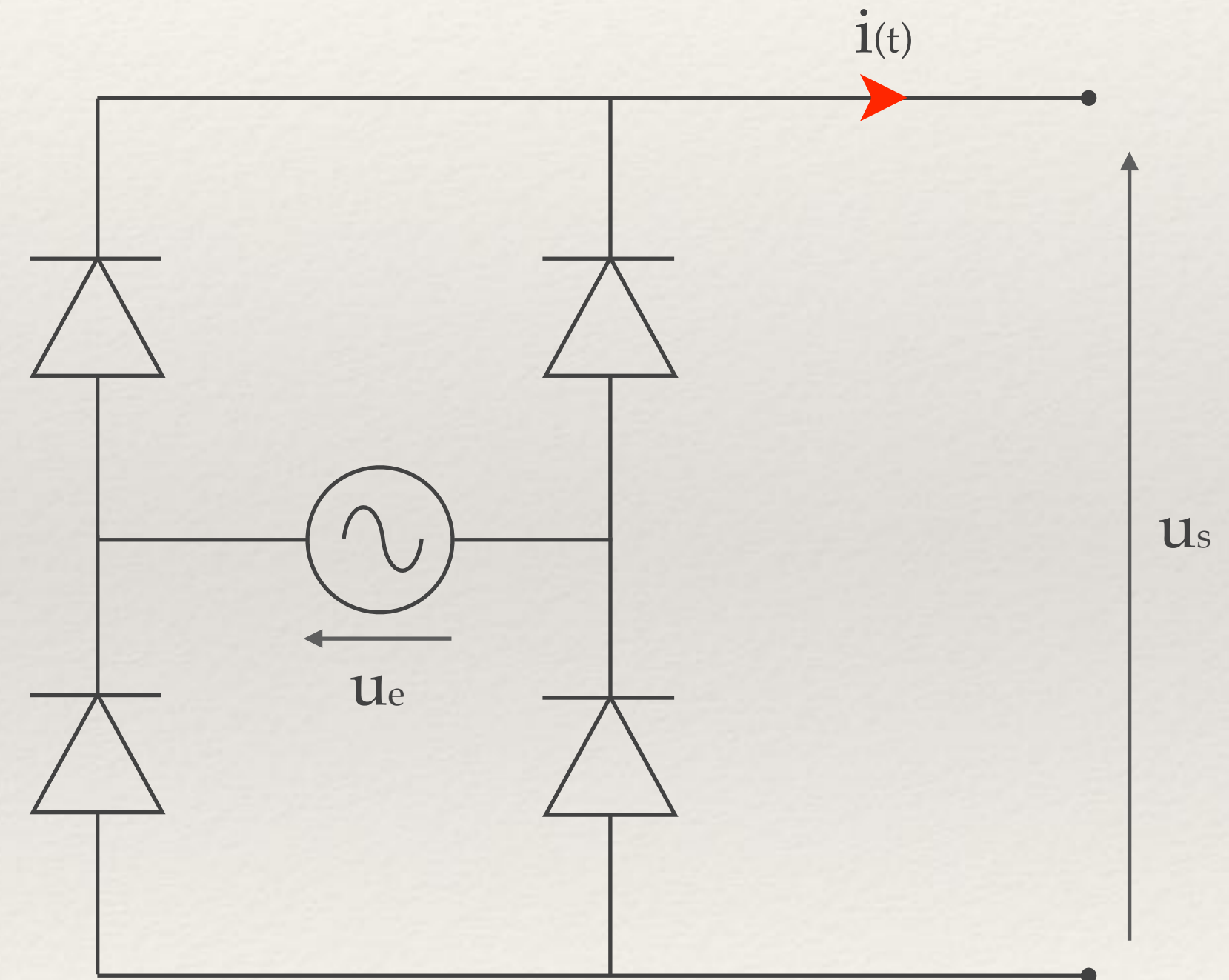
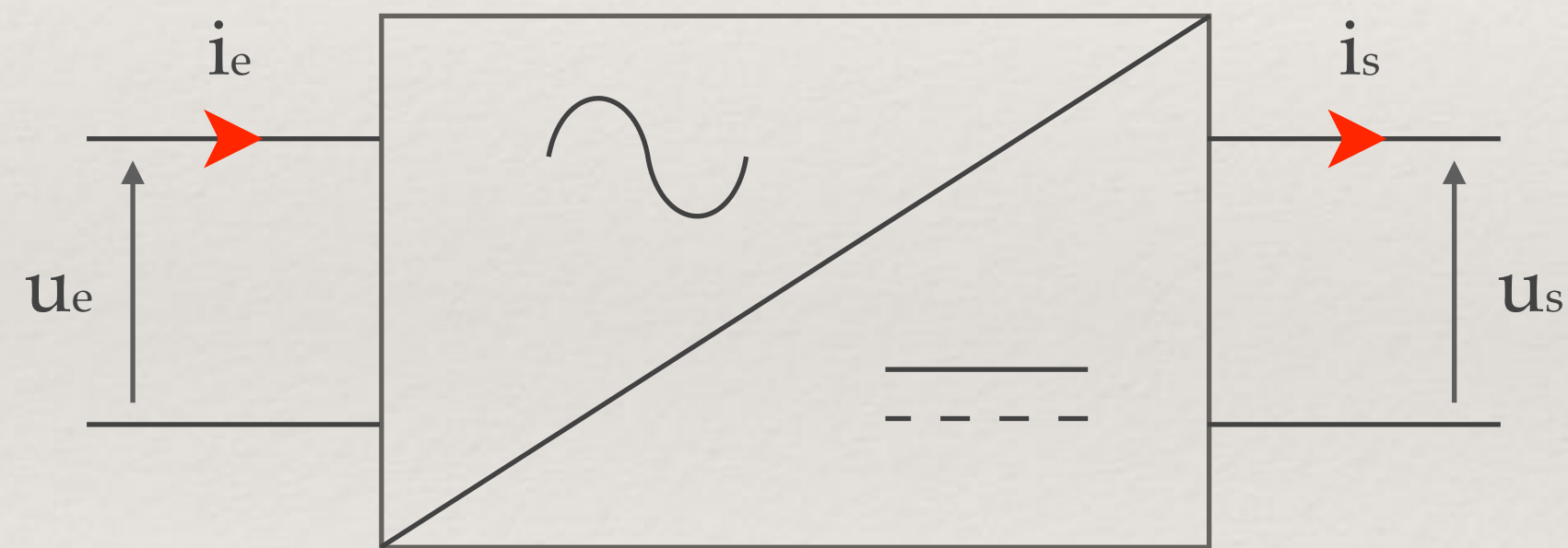
Les applications sont innombrables [chargeur de téléphone, alimentation en continue sur secteur, moteur en continue MCC, etc ...]

On utilise à cette fin **quatre diodes**, qui dans le cadre de l'électronique de puissance :

- Supportent des courants forts 1 à 100 A
- Présentent une tension de seuil négligeable devant la tension d'alimentation.

[Cette dernière est généralement abaissée par un transformateur propre à l'alimentation 220 V \rightarrow 12 V]

Symbolique de conversion :



(Etude sur copie annexe)

2 - Redressement double alternance

On souhaite **obtenir une alimentation continue à partir d'une alimentation alternative**.

C'est l'étape intermédiaire de toute alimentation continue entre le **transformateur** et le **lissage** [filtre passe bas].

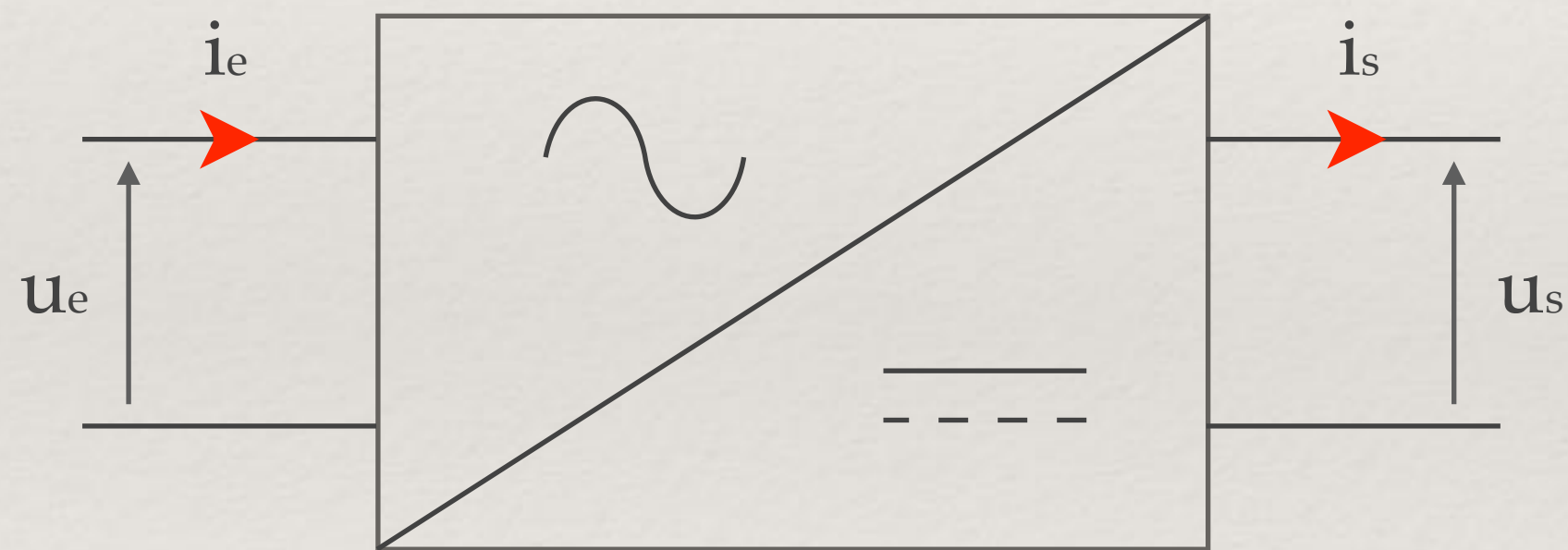
Les applications sont innombrables [chargeur de téléphone, alimentation en continue sur secteur, moteur en continue MCC, etc ...]

On utilise à cette fin **quatre diodes**, qui dans le cadre de l'électronique de puissance :

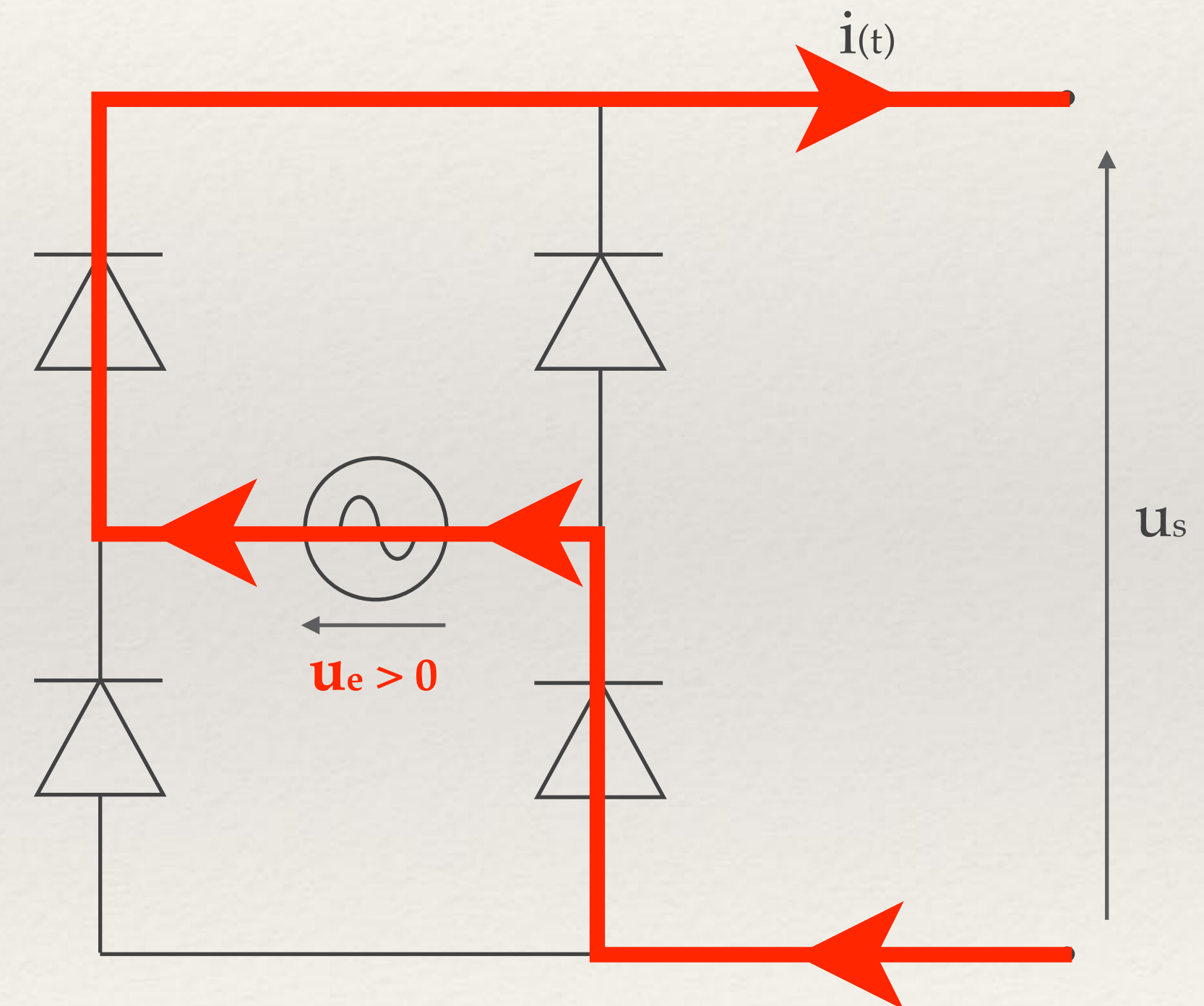
- Supportent des courants forts 1 à 100 A
- Présentent une tension de seuil négligeable devant la tension d'alimentation.

[Cette dernière est généralement abaissée par un transformateur propre à l'alimentation 220 V \rightarrow 12 V]

Symbolique de conversion :



(Etude sur copie annexe)



Sens physique du courant

2 - Redressement double alternance

On souhaite **obtenir une alimentation continue à partir d'une alimentation alternative**.

C'est l'étape intermédiaire de toute alimentation continue entre le **transformateur** et le **lissage** [filtre passe bas].

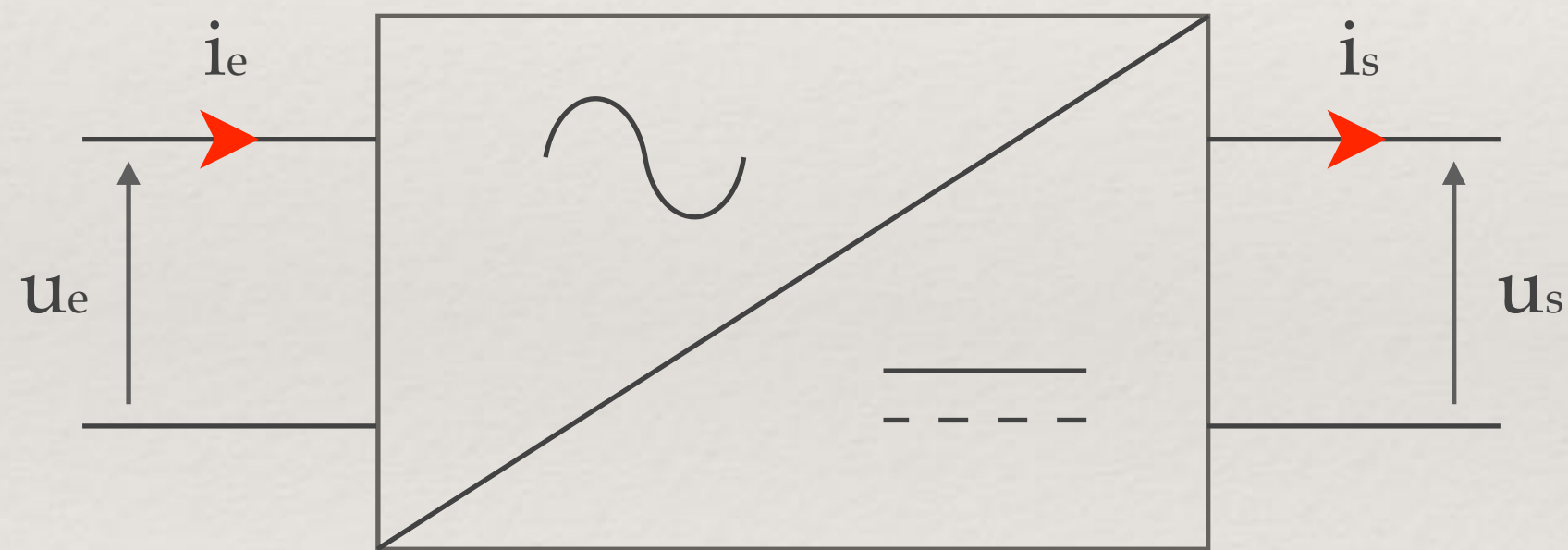
Les applications sont innombrables [chargeur de téléphone, alimentation en continue sur secteur, moteur en continue MCC, etc ...]

On utilise à cette fin **quatre diodes**, qui dans le cadre de l'électronique de puissance :

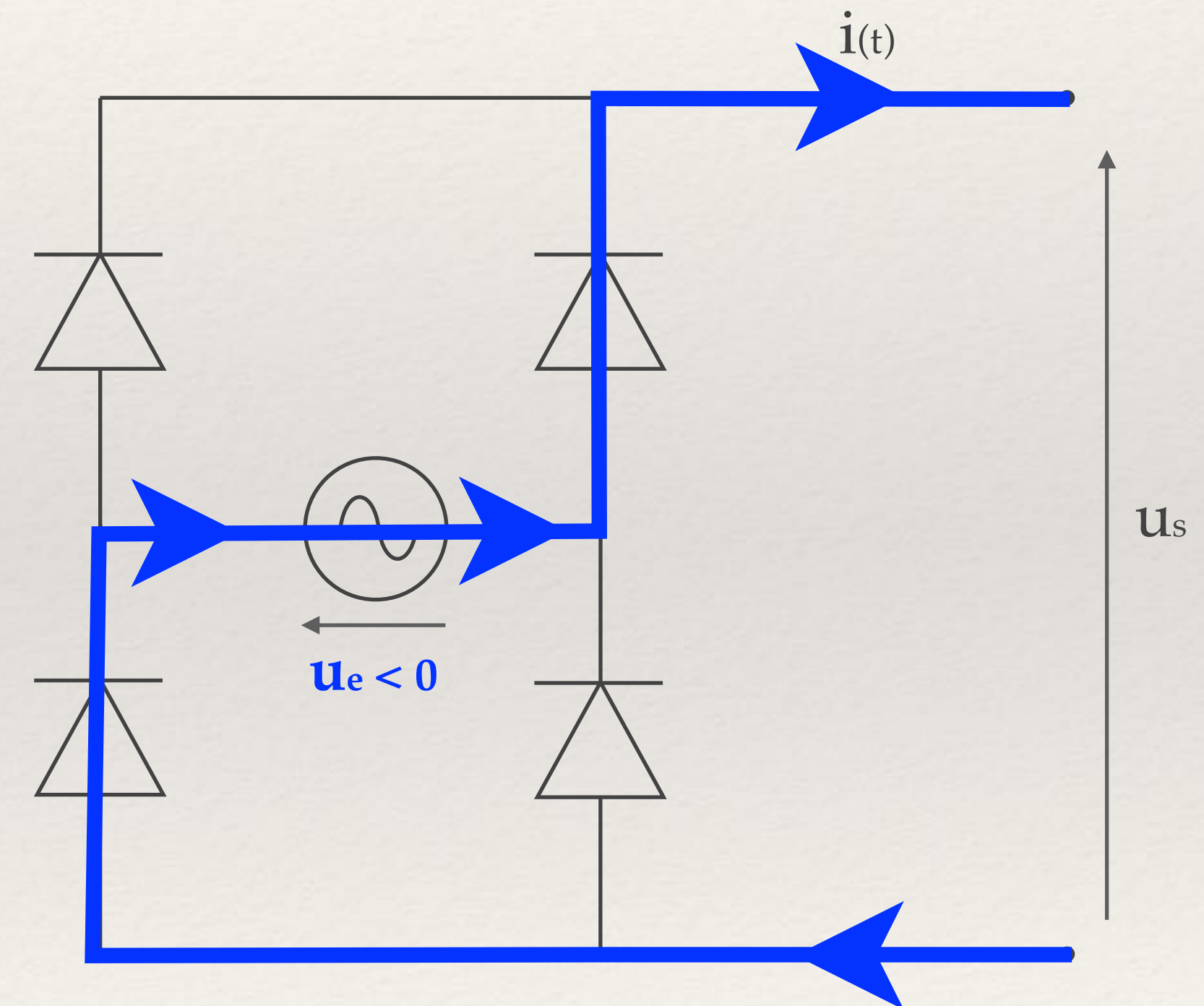
- Supportent des courants forts 1 à 100 A
- Présentent une tension de seuil négligeable devant la tension d'alimentation.

[Cette dernière est généralement abaissée par un transformateur propre à l'alimentation 220 V \rightarrow 12 V]

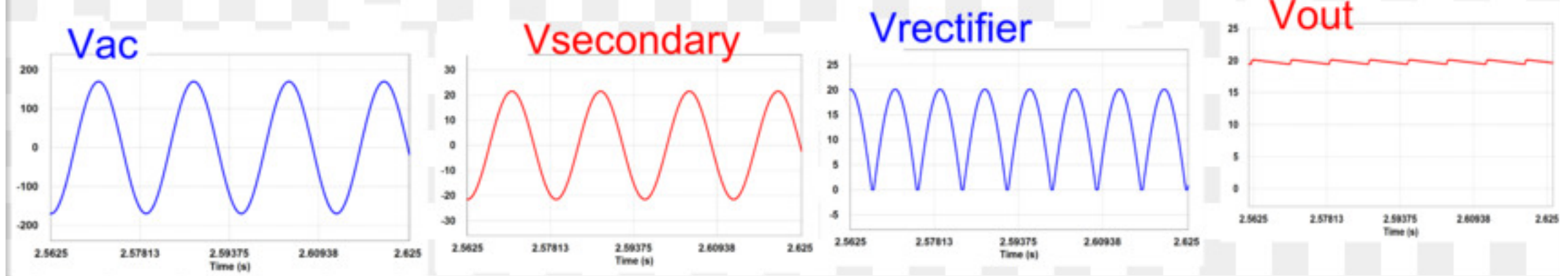
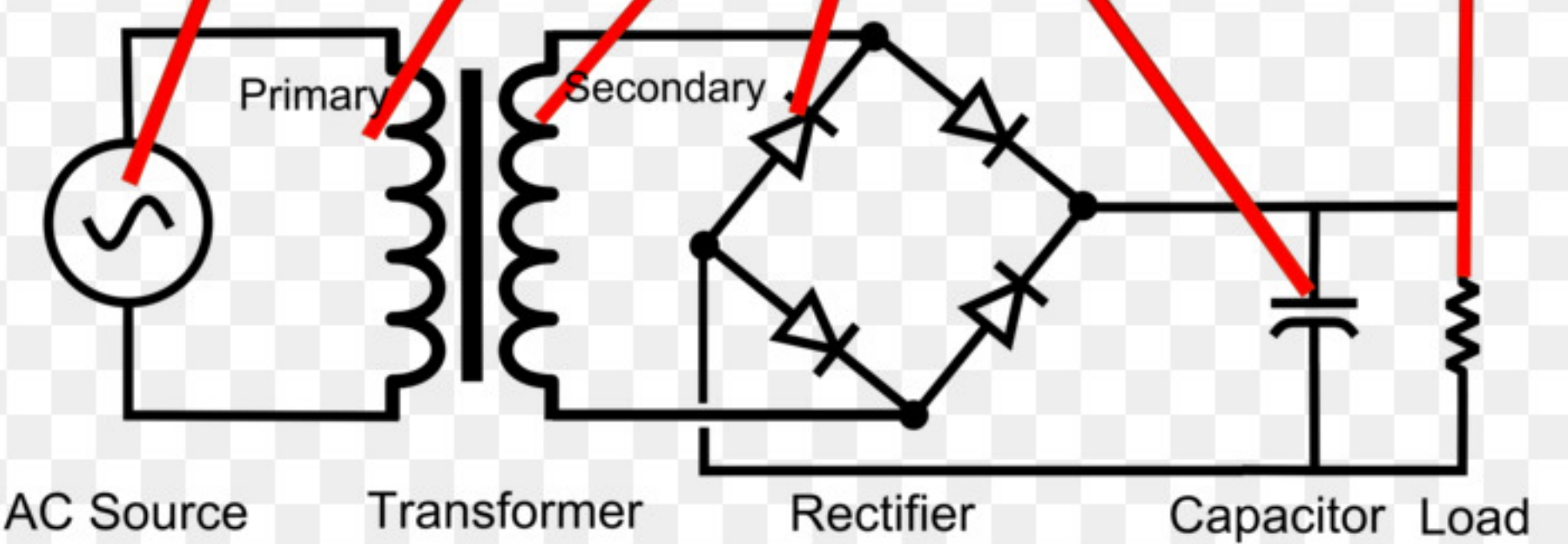
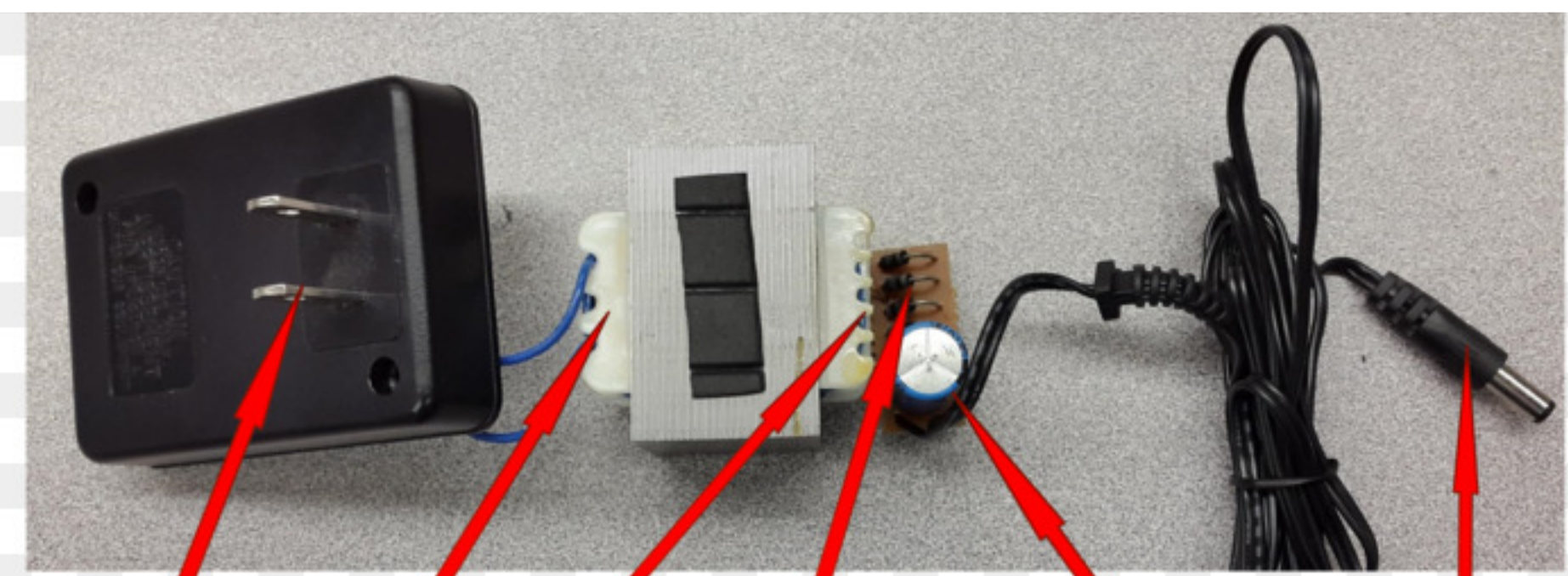
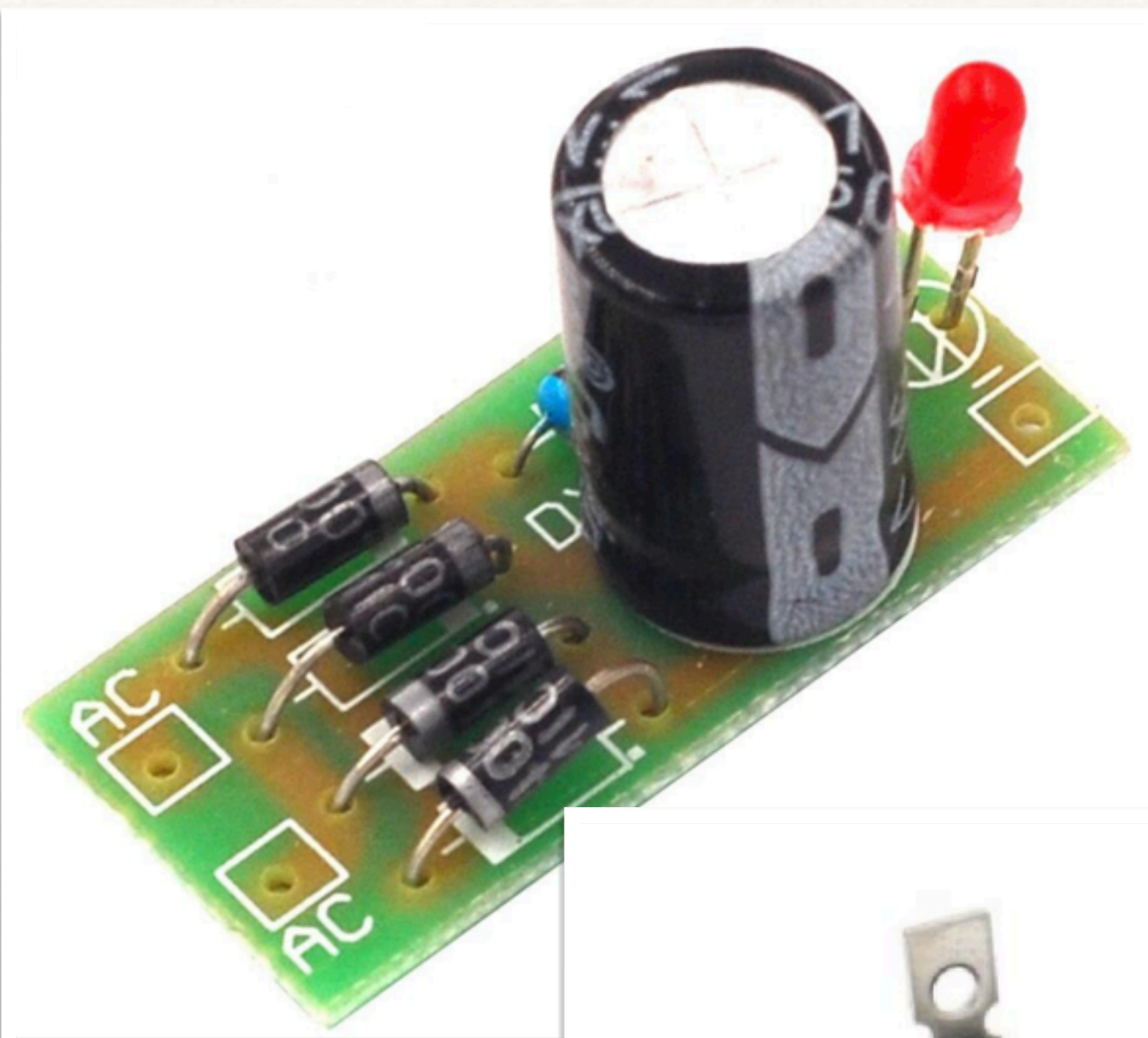
Symbolique de conversion :



(Etude sur copie annexe)



Sens physique du courant



Pont de diode redresseur 100A monophasé 4 broches

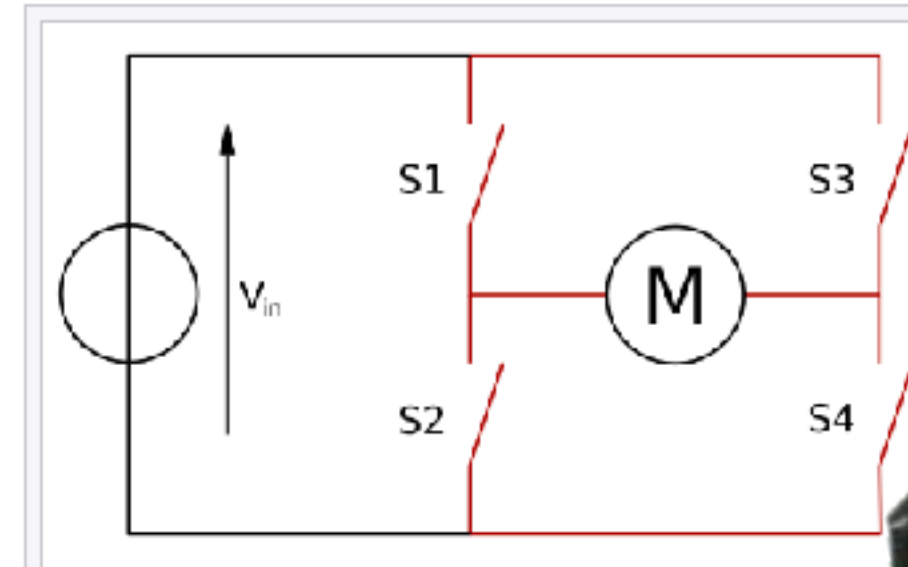
Prix: **29,90 €**

3 - Pont en H

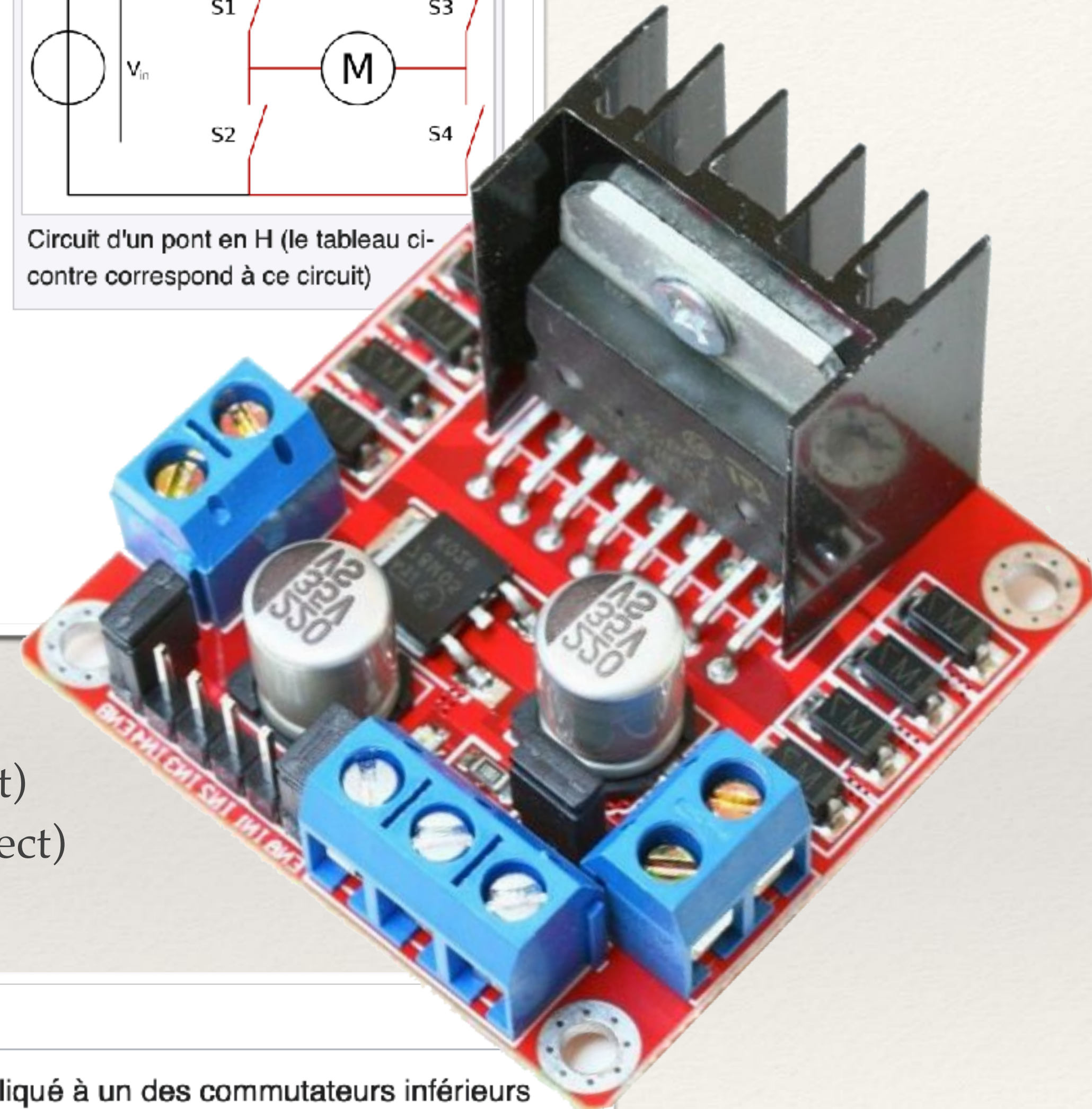
On utilise le pont en activant les commutateurs de différentes combinaisons pour obtenir le branchement voulu. Le tableau suivant résume les combinaisons permises. Toutes les combinaisons qui ne figurent pas dans le tableau sont interdites et créent un court-circuit de la source. Le courant de référence pour la charge est considéré comme étant de gauche à droite.

Combinaisons d'états des commutateurs

État des commutateurs				Résultat à la charge
S1	S2	S3	S4	
	X			Aucune tension aux bornes de la charge.
✓		X	✓	Courant positif à travers la charge.
X		✓	X	Courant négatif à travers la charge.
✓	X	✓	X	Charge court-circuitée.
X	✓	X	✓	



Circuit d'un pont en H (le tableau ci-contre correspond à ce circuit)



Exemple :

- On ferme S4 et on ouvre S3 ⇒ Structure Hacheur Série (sens de rotation direct)
 - On ferme S2 et on ouvre S1 ⇒ Structure Hacheur Série (sens de rotation indirect)
- [Par symétrie du «H»]

Utilisation avec les hacheurs et les onduleurs [\[modifier | modifier le code \]](#)

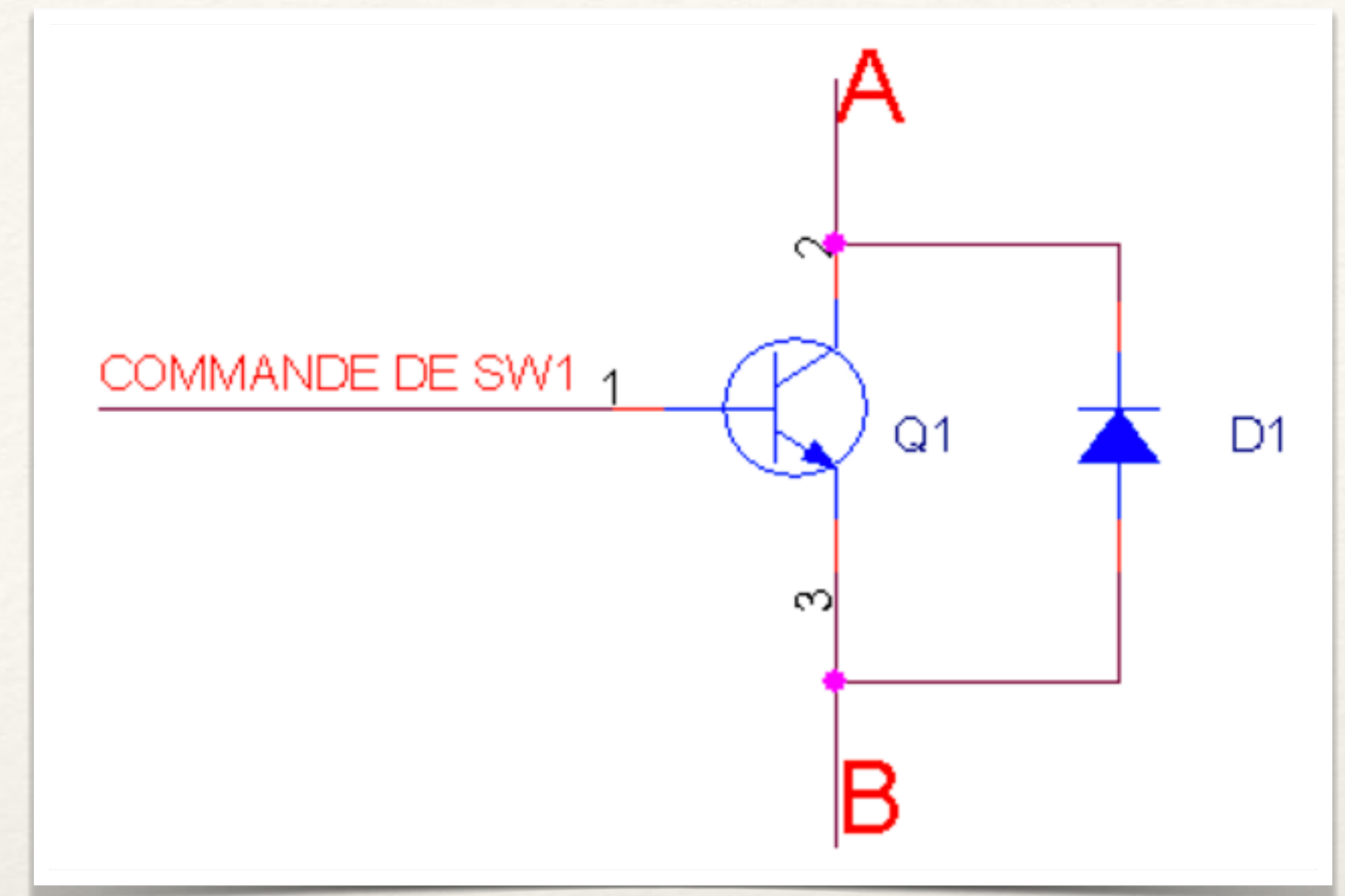
Le pont en H peut être commandé avec des signaux **modulés en largeur d'impulsion**. Lorsqu'un tel signal est appliqué à un des commutateurs inférieurs tandis que le commutateur supérieur opposé est en conduction, le pont devient effectivement un hacheur permettant de faire varier la puissance moyenne transmise à la charge. Dans un autre type d'application, le pont peut être commuté de manière à faire varier la polarité de la tension de charge de façon cyclique pour en faire un onduleur.

Choix du transistor Q1 :

Q1 est un transistor bipolaire ou MOS qui laisse passer le courant de A vers B ou qui coupe le courant

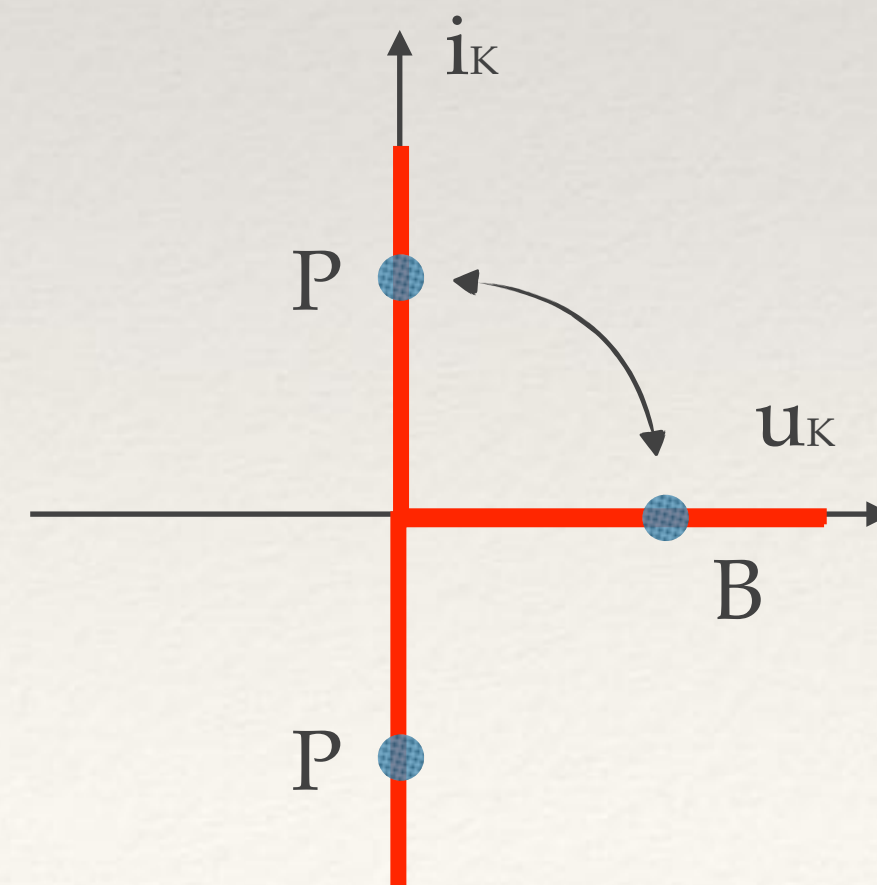
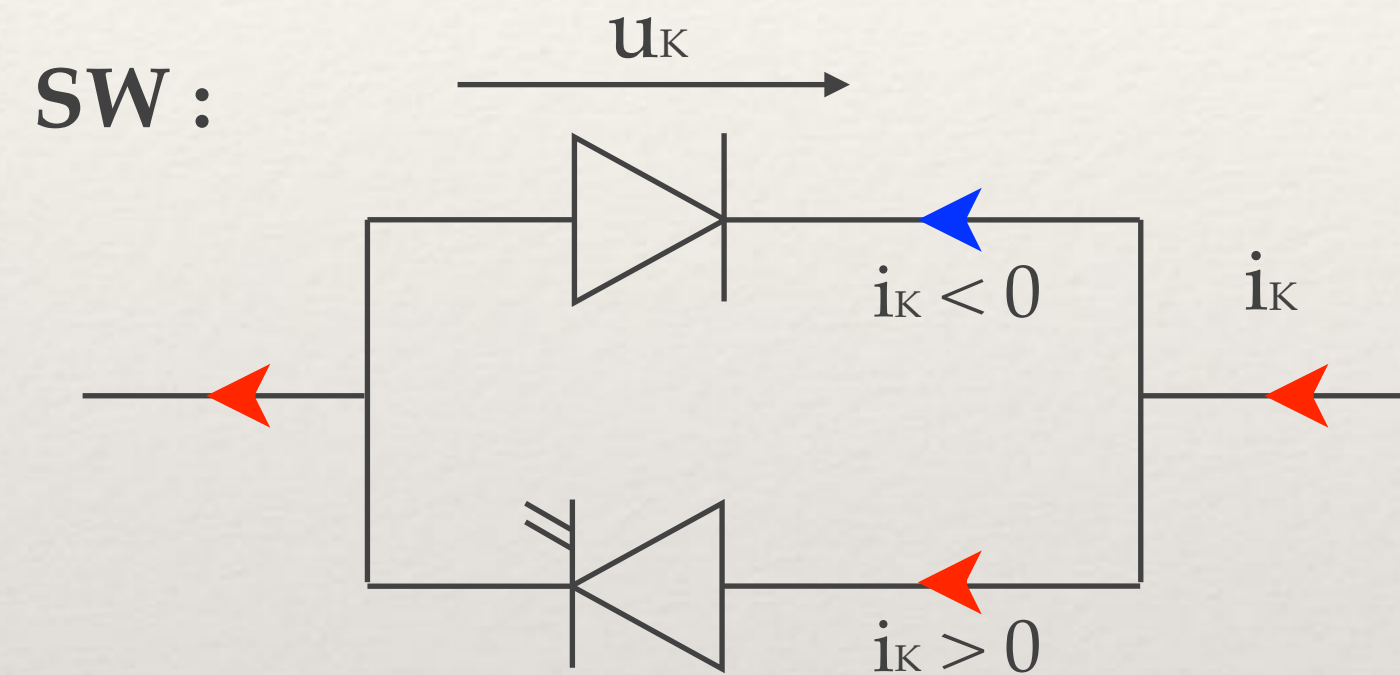
Choix de la diode D1 :

D1 est une diode de roue libre qui protège Q1 contre les surtensions à l'ouverture du circuit de charge inductif.



Pont en H :

4 commutateurs
SW programmables



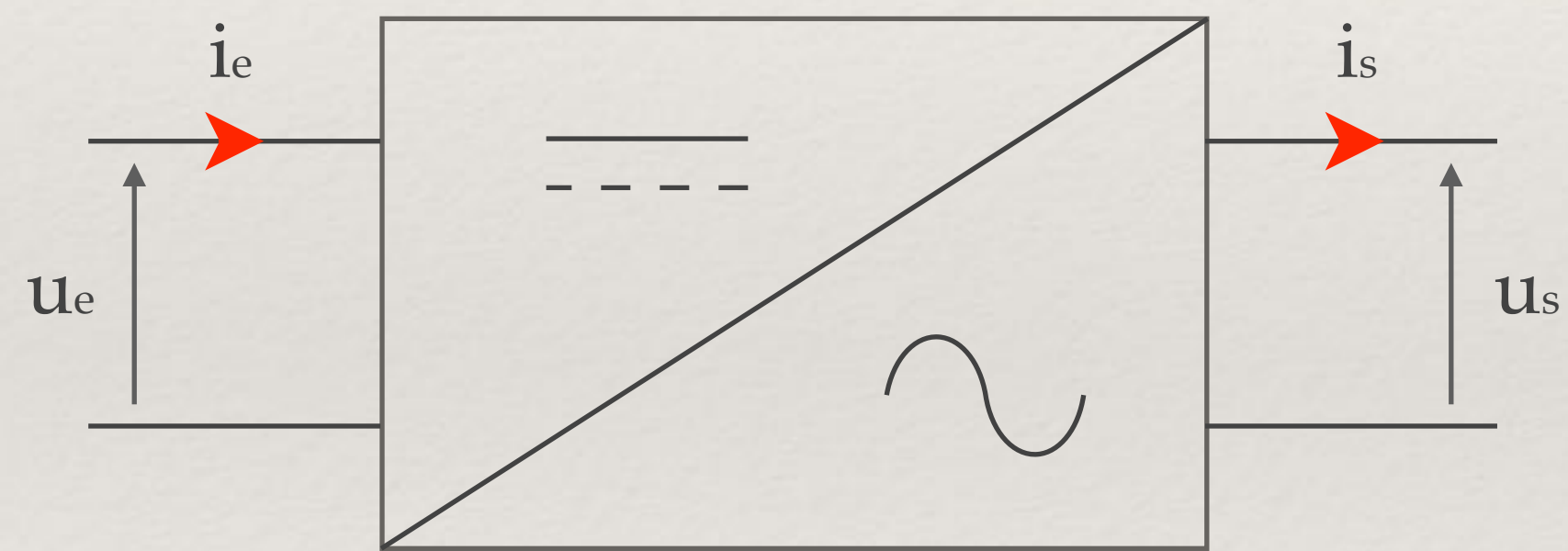
Interrupteur réversible en courant

4 - Onduleur

L'onduleur réalise une conversation de puissance sous la forme continue vers la forme alternative sinusoïdale.

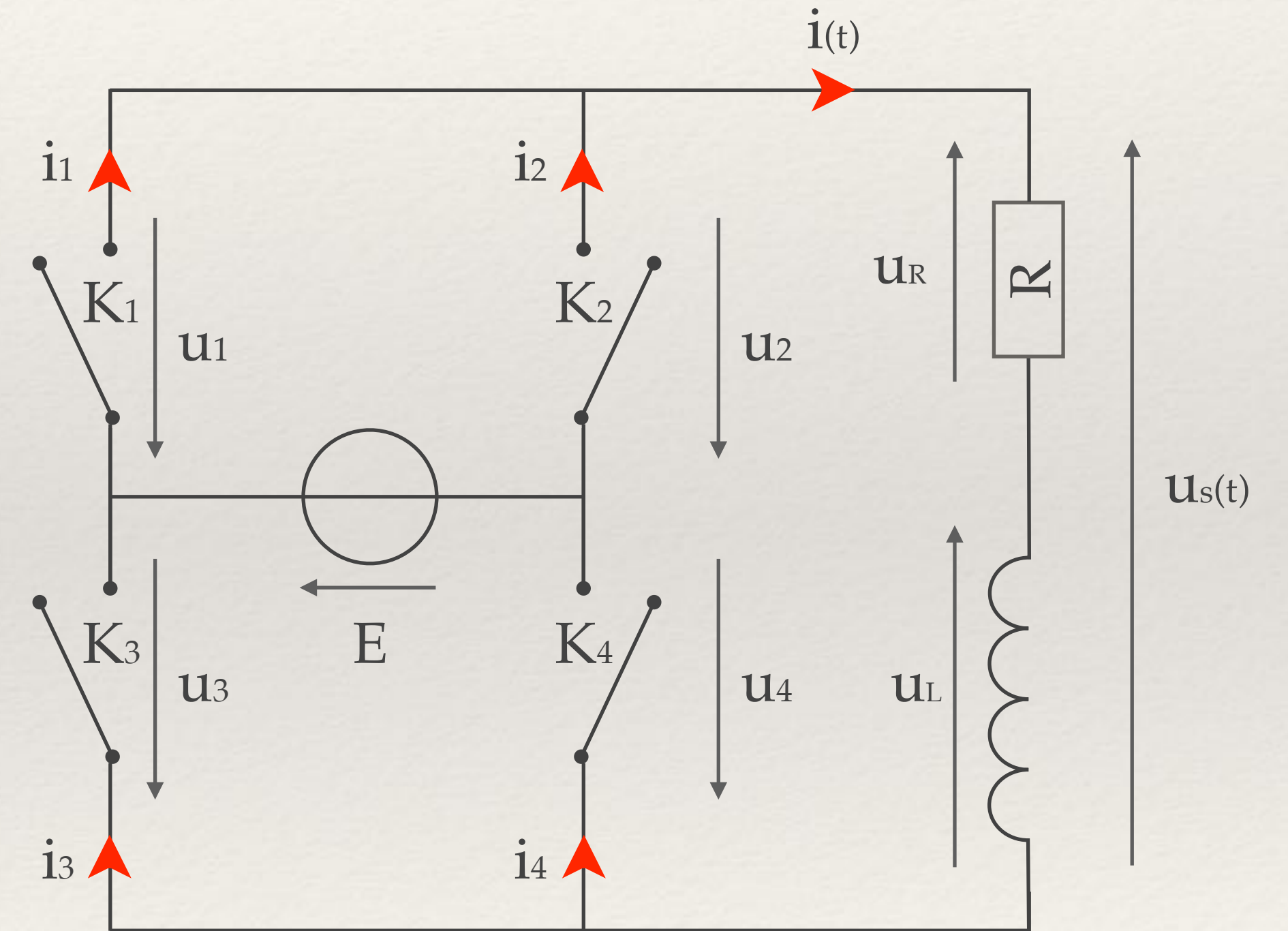
- C'est indispensable pour alimenter les circuits statoriques de moteurs synchrones avec une pulsation variable, [Moteur de drones, TGV au démarrage $\omega \nearrow$) car le moteur synchrone ne peut démarrer avec une fréquence fixe (il faudrait le lancer).
- Permet d'avoir un générateur de secours en cas de rupture du courant à partir d'accumulateurs en continus.

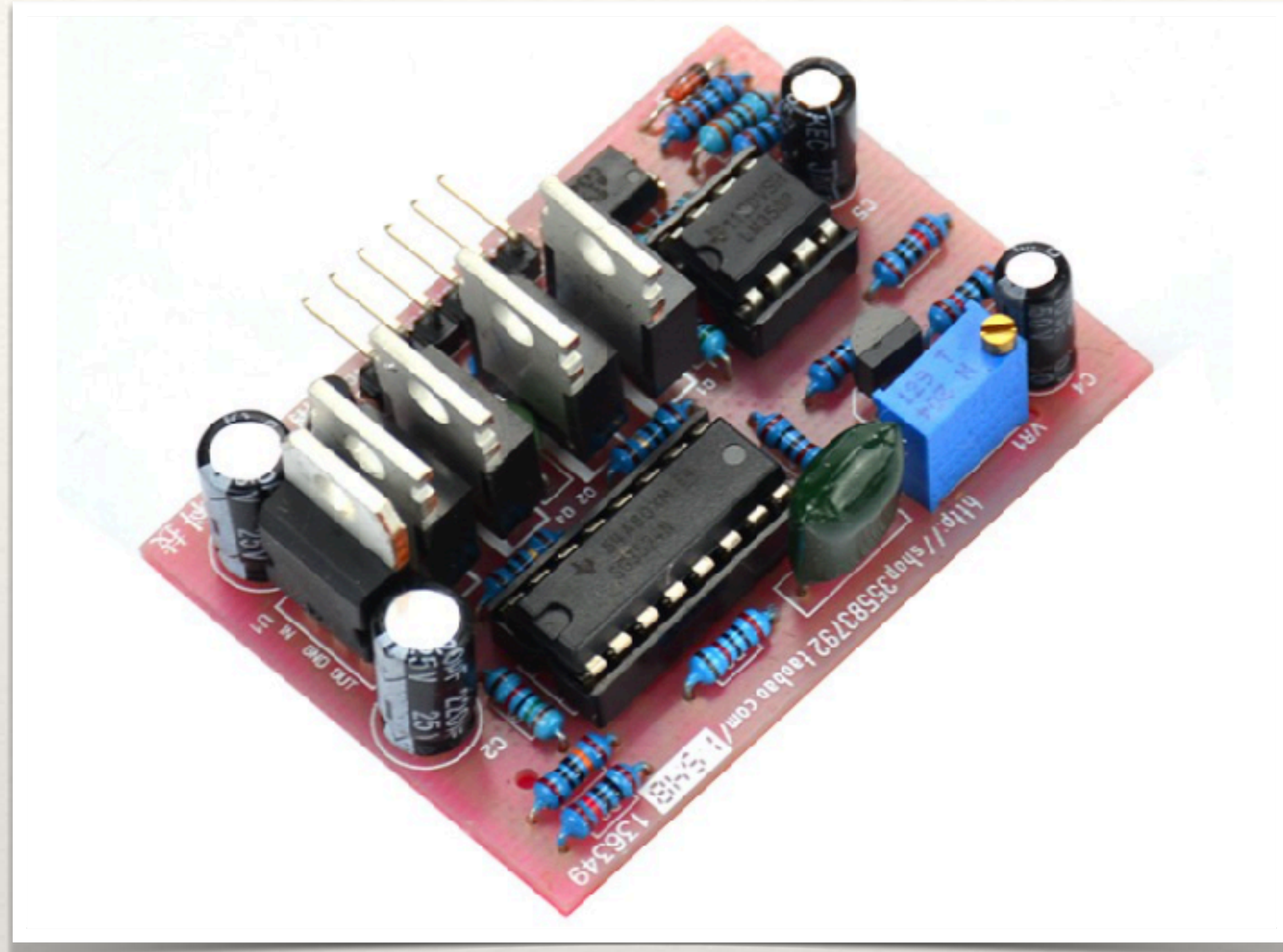
Symbolique de conversion :



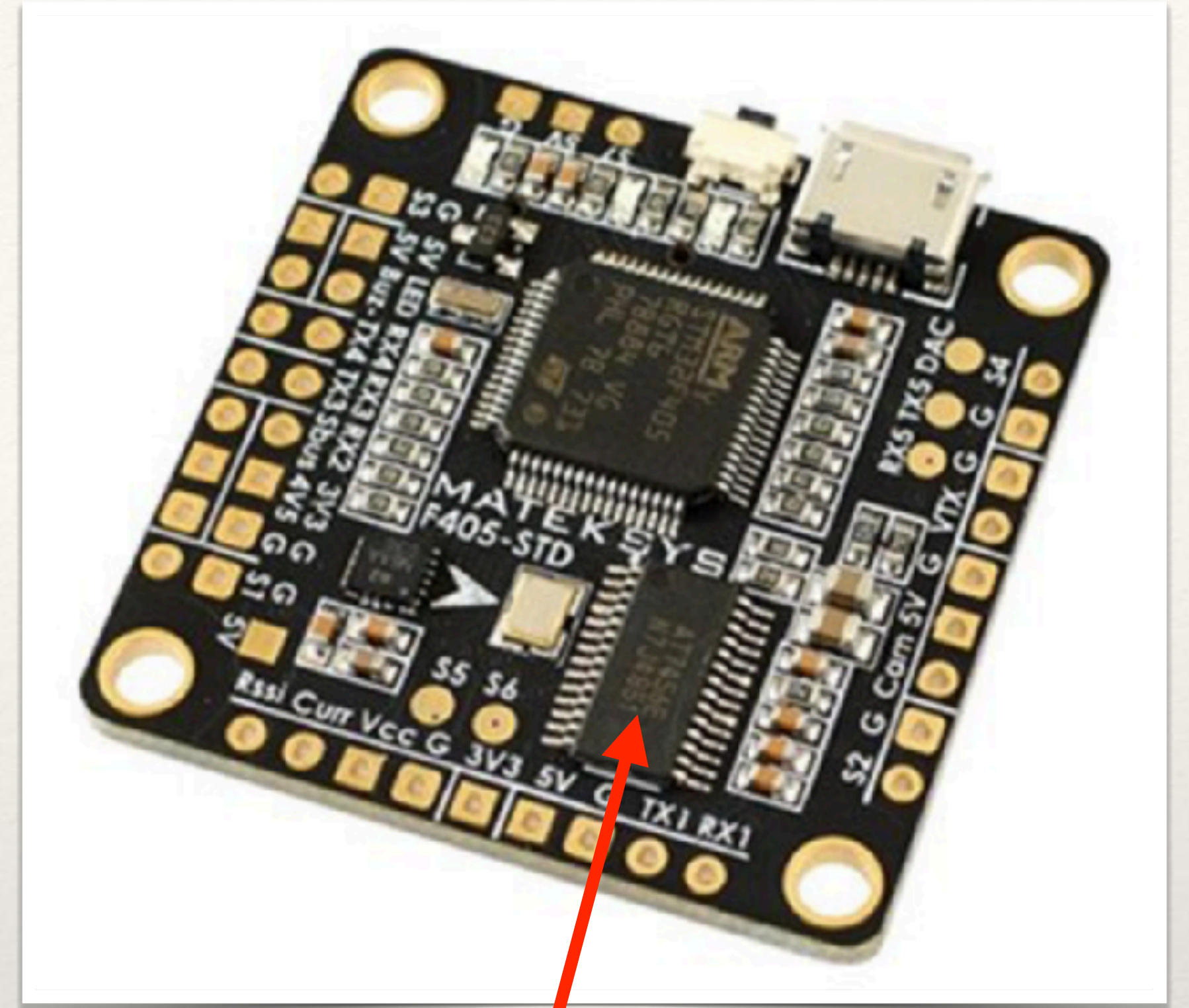
Etude complète de l'onduleur :

(Sur copie annexe)





12-24 V SG3524 Haute Puissance Onduleur
Carte Pilote Sortie D'onde Carrée de Réglage de
Fréquence de 260 HZ



Onduleur OSD intégré pour Drone de course

8 - Conversion statique

III - Applications

1 - Hacheur Série

