

<b>Cours</b>	<b>Cours MOD 1</b>	<b>TS11 (Période 2)</b>
	<b>Moduler : synthèse des convertisseurs statiques</b>	<b>1h30</b>
	<b>Cycle 5 : Moduler</b>	<b>2 semaines</b>

**MODELISER** : Modéliser le signal d'entrée.

**RESOUDRE** : Proposer une démarche permettant de déterminer des grandeurs électriques.

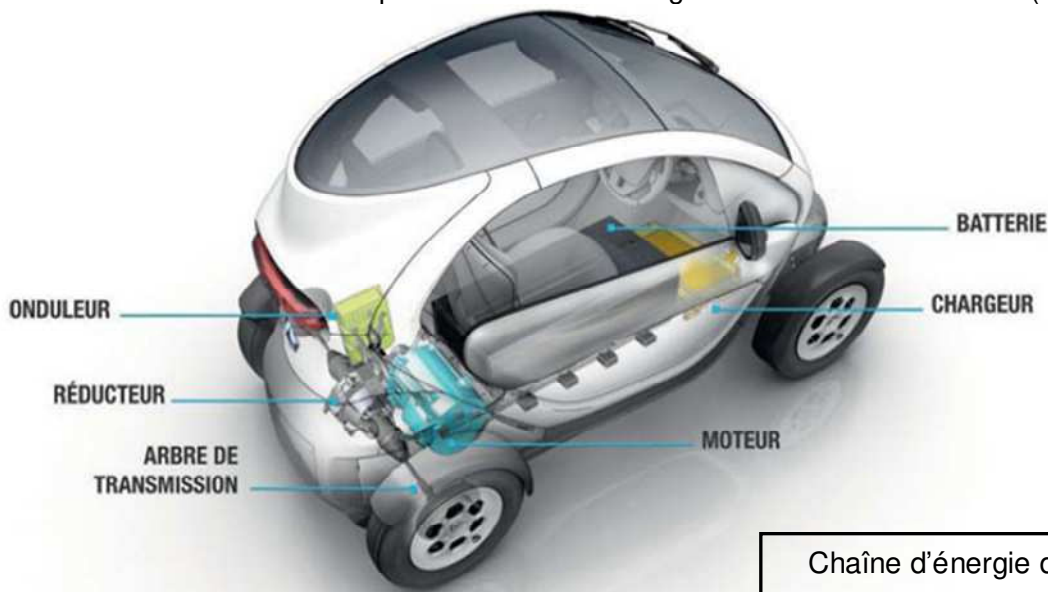
**RESOUDRE** : Déterminer les signaux électriques dans les circuits.

**EXPERIMENTER** : Mettre en œuvre un appareil de mesure adapté à la caractéristique de la grandeur à mesurer.

## 1 Situation des convertisseur statiques

Certains systèmes nécessitent des besoins en énergie électrique qui ne sont pas directement adaptés à l'alimentation disponible.

- Exemple : énergie stockée dans une batterie (tension continue)
- moteur brushless qui nécessite des tensions d'alimentation alternatives.
- nécessité de pouvoir moduler l'énergie à destination du moteur (accélération, freinage).



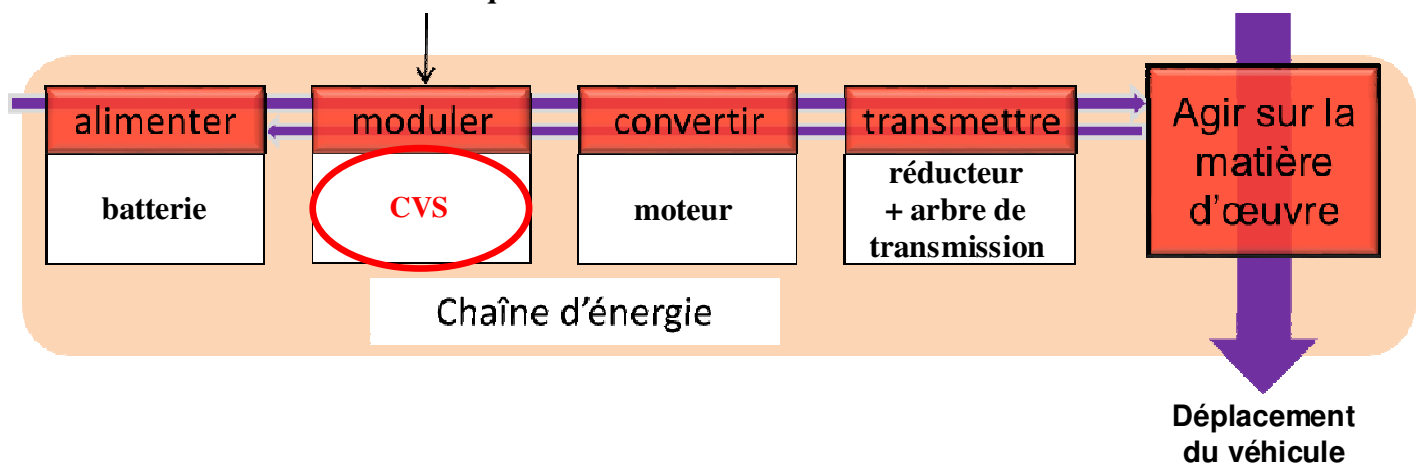
Chaîne d'énergie d'un véhicule électrique

Cette modulation sera réalisée par un **Convertisseur Statique** noté généralement CS ou CVS.

Le convertisseur statique fait partie de la fonction **Moduler** (ou **Distribuer**) et intervient généralement entre la source électrique de la fonction **Alimenter** et le moteur (fonction **Convertir**).

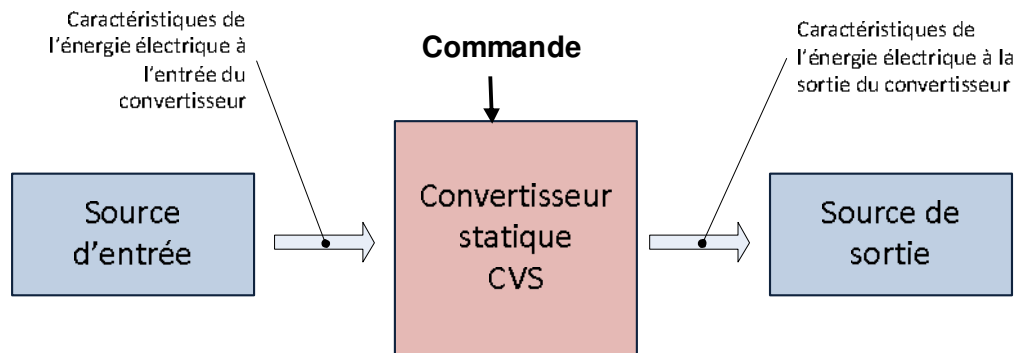
Le moteur peut aussi être assimilé à une source électrique de la fonction **Moduler** (en mode frein moteur).

Commande électrique issue de l'accélérateur



Un convertisseur statique est un montage utilisant des interrupteurs statiques (semi-conducteur) commandés électriquement permettant de :

- Régler un transfert d'énergie entre une source électrique d'entrée et de sortie,
- Modifier la forme de l'énergie électrique (continue, alternative).



La source d'entrée peut être un générateur ou un récepteur (idem pour la source de sortie).

Le transfert de puissance peut être inversé lors d'une phase de récupération au freinage, on parlera alors de **réversibilité** des sources et du convertisseur statique.

La synthèse des convertisseurs statiques est une démarche qui permet de déterminer sa structure. Elle repose sur la nature ainsi que les besoins des sources d'entrée et de sortie.

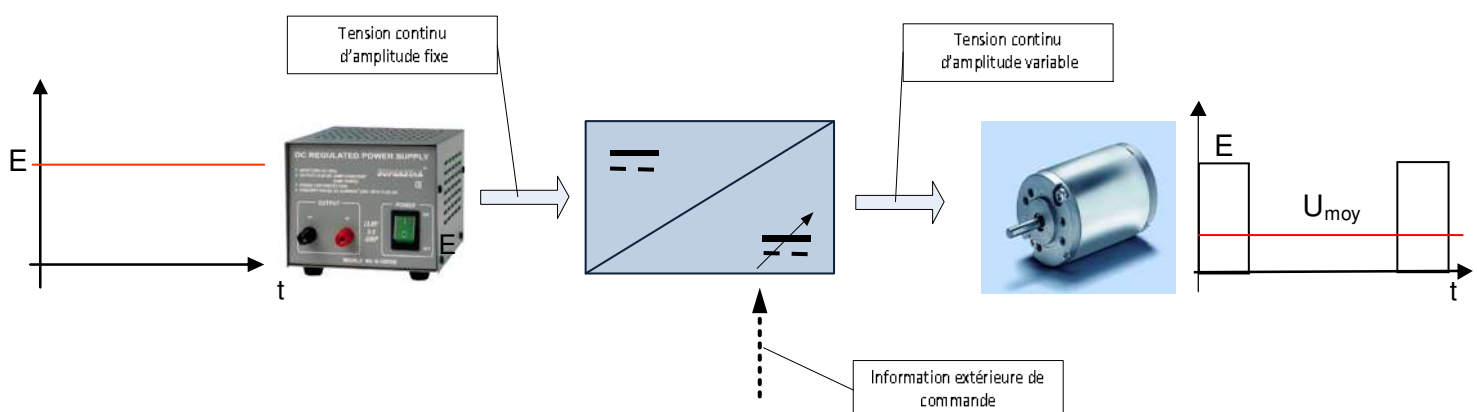
## 2 Fonctionnalités des convertisseurs statiques

Différentes fonctionnalités sont possibles avec des convertisseurs statiques :

- moduler une tension continue lissée en une tension continue réglable (hacheur),
- redresser une tension alternative en tension continue (redresseur : TSI2),
- onduler une tension continue en tension alternative (onduleur : TSI2),
- moduler une tension alternative en une tension alternative réglable (gradateur : hors programme, redresseur – onduleur : TSI2).

Les hacheurs que nous allons étudier sont des convertisseurs directs du type continu-continu.

Ils permettent d'obtenir une tension continue réglable à partir d'une tension continue fixe.



Les hacheurs sont utilisés par exemple pour la variation de vitesse des moteurs à courant continu.

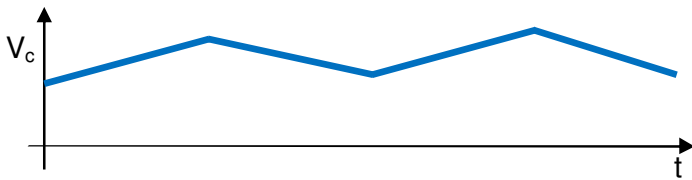
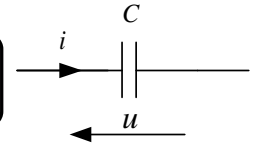
### 3 Sources en régime dynamique

Dans les convertisseurs statiques, les dipôles utilisés (condensateur et inductance) sont associés à des interrupteurs électroniques (transistor, diode...) qui par commutation à des fréquences élevées modifieront leur configuration électrique.

**Hypothèses du régime dynamique :**

Période de découpage élevée devant la constante de temps des dipôles.

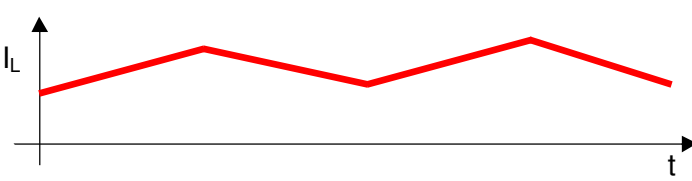
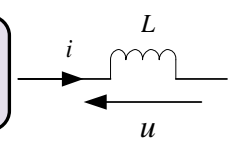
En régime dynamique, un **condensateur** sera considéré comme une **source de tension** car la tension à ses bornes ne subit pas de discontinuité.



$$i = C \frac{du}{dt}$$

La tension ne subit donc aucune discontinuité, sinon cela provoquerait un courant infini.

En régime dynamique, une **inductance** sera considérée comme une **source de courant** car le courant à ses bornes ne subit pas de discontinuité.

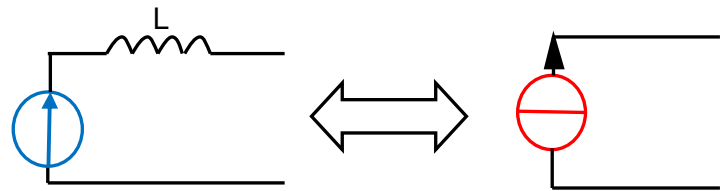


$$V_L = L \frac{di_L}{dt}$$

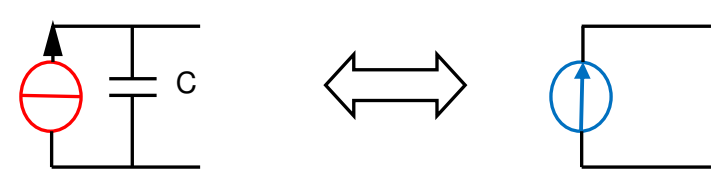
Le courant ne subit aucune discontinuité, sinon cela provoquerait une tension infinie.

A la différence des sources actives (générateurs) ces sources ne sont pas capables de créer de l'énergie électrique (à partir d'une autre énergie) mais seulement de la stocker.

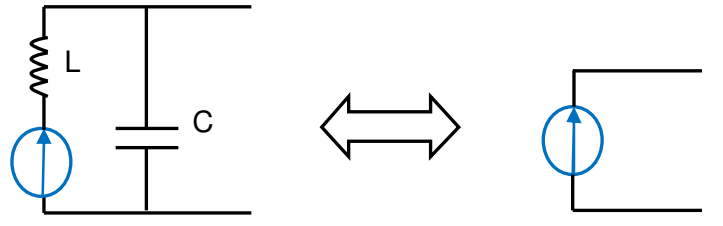
#### 3.1 Compositions des sources (en régime dynamique)



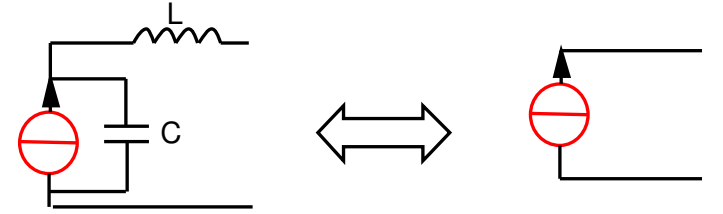
source de tension **en série** avec une **forte inductance**  
→ **source de courant**.



source de courant **en parallèle** avec un **fort condensateur**  
→ **source de tension**.



pour affirmer une **source de tension** :  
→ **condensateur en parallèle**.



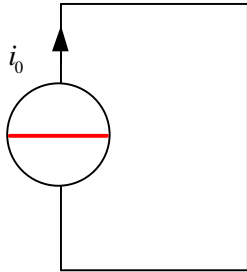
pour affirmer une **source de courant** :  
→ **inductance en série**.

## 4 Règles d'association des sources de courant / tension :

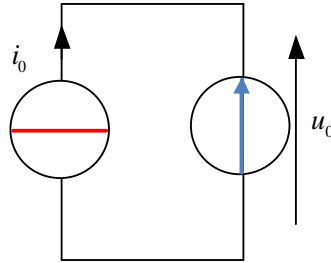
### 4.1 Configurations autorisées avec les convertisseurs statiques

La fonction des convertisseurs statiques permet de réaliser selon le type de commande des interrupteurs :

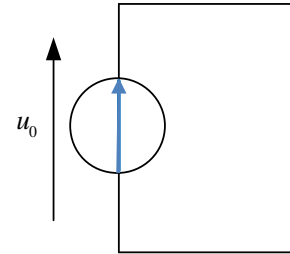
- L'association de deux sources en parallèle (entrée / sortie),
- La mise en court-circuit d'une source,
- La mise en circuit d'une source



Fermeture d'une source de courant



Association en circuit fermé, d'une source de courant et d'une source de tension



Ouverture d'une source de tension

#### Association autorisée :

- **deux sources de natures différentes** (jamais deux sources de même nature).
- une **source de tension en circuit ouvert** (jamais être en court-circuit),
- une **source de courant en court-circuit** (jamais en circuit ouvert).

### 4.2 Réversibilité des sources

Une source est dite **réversible en tension** si la tension à ses bornes peut changer de signe.

Une source est dite **réversible en courant** si le courant qui la traverse peut s'inverser.

Exemple :

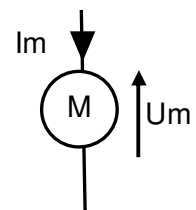
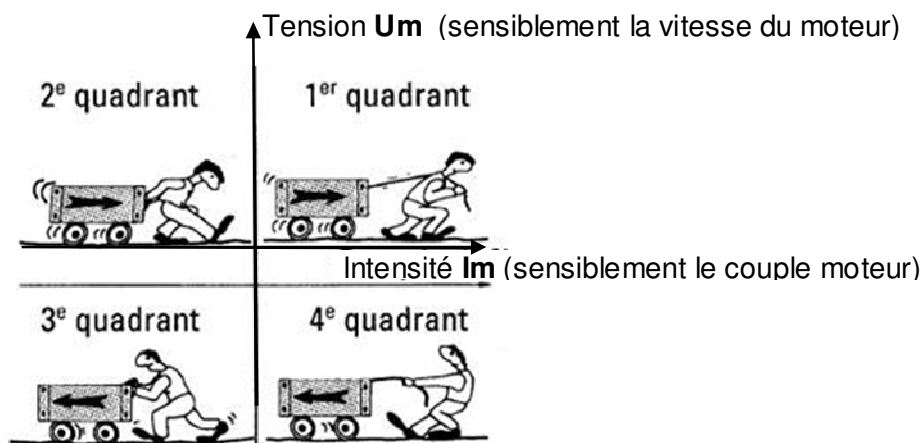
Une batterie rechargeable est réversible en courant mais pas en tension

Une pile n'est réversible ni en courant ni en tension

Un moteur électrique est réversible en courant et en tension

On peut ainsi classer les nombreuses réversibilités du moteur en 4 quadrants de fonctionnement :

- 1<sup>er</sup> quadrant : fonctionnement **moteur** en sens positif
- 2<sup>e</sup> quadrant : fonctionnement **générateur** en sens positif
- 3<sup>e</sup> quadrant : fonctionnement **moteur** en sens négatif
- 4<sup>e</sup> quadrant : fonctionnement **générateur** en sens négatif



## 5 Structure des convertisseurs

### 5.1 Classification des convertisseurs

La structure des convertisseurs dépend de :

- La nature des sources d'entrée et de sortie (tension ou courant) ;
- Le type de sources d'entrée et de sortie (polyphasé).

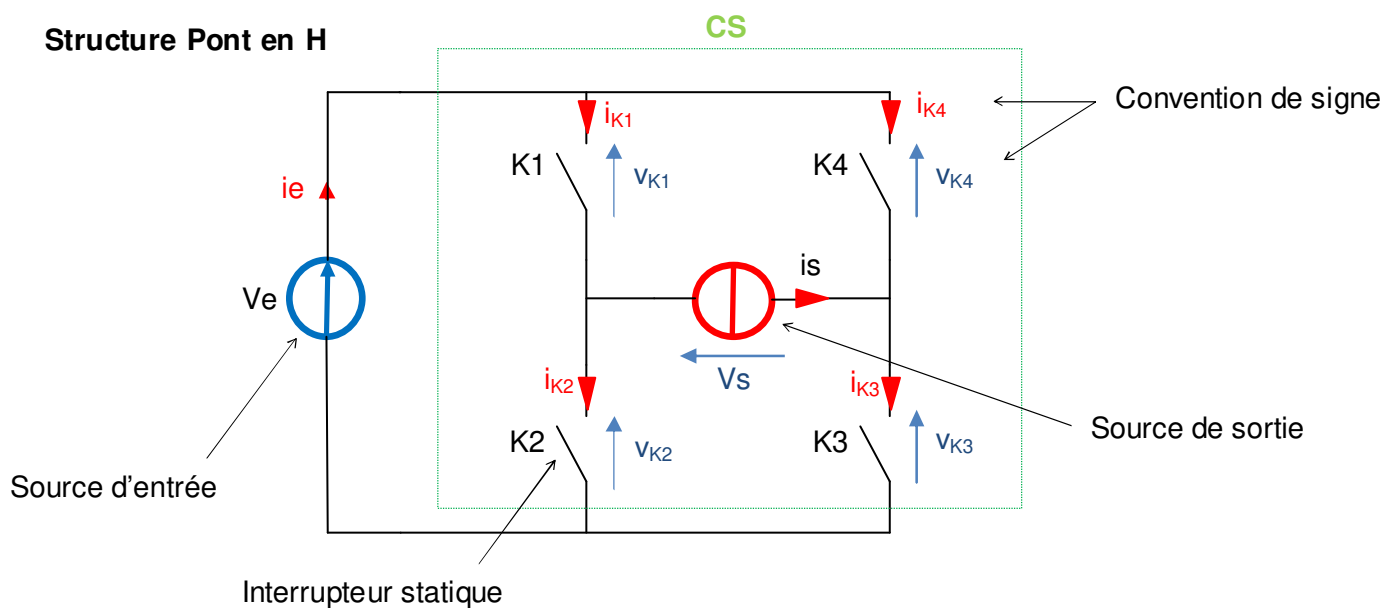
On parle alors de :

- convertisseurs statiques directs si les sources d'entrées et de sorties sont directement associables  
**Tension → Courant**  
**Courant → Tension**
- convertisseurs statiques indirects pour les autres cas : hors programme

### 5.2 Structure du Convertisseur direct tension-courant (ou courant-tension)

La structure suivante du convertisseur s'appelle pont en H.

Elle met en relation les 2 sources de natures différentes par la commutation commandée ou non des interrupteurs.



Les conventions seront données dans le sujet. Les courants et tensions fléchés de la même manière que la convention seront notés positifs, ils seront négatifs dans le cas contraire.

Si la source de tension est bidirectionnelle, les interrupteurs devront supporter une tension bidirectionnelle. De même si la source de courant est bidirectionnelle, les interrupteurs devront supporter un courant bidirectionnel.

#### Remarque :

Convertisseur courant – tension : identique à ceci près que les sources de tension et courant seront interverties.

## 6 Les interrupteurs statiques

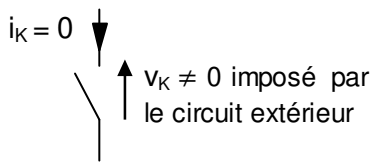
Les convertisseurs statiques sont des montages qui vont utiliser des interrupteurs d'électronique de puissance qui vont être commutés à haute fréquence.

Les composants utilisés sont la diode de puissance et le transistor MOS ou IGBT qui ont l'avantage de présenter des pertes faibles :

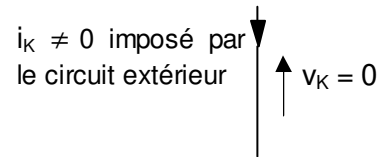
- ouvert, même soumis à une tension élevée, le courant qui les traverse est très faible,
- fermé, même traversés par un courant élevé, la tension à leurs bornes est très faible.

## 6.1 Interrupteur parfait

La caractéristique statique représente la contrainte électrique que devra supporter l'interrupteur en régime permanent.



**ouvert**



**fermé**

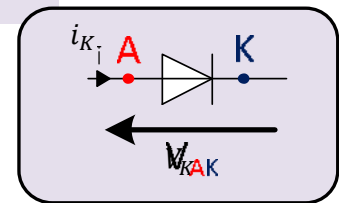
Dans l'état fermé, on dit que l'interrupteur est passant ou ON.  
 Dans l'état ouvert, on dit que l'interrupteur est ouvert ou OFF.

## 6.2 Diode

Une diode se comporte comme :

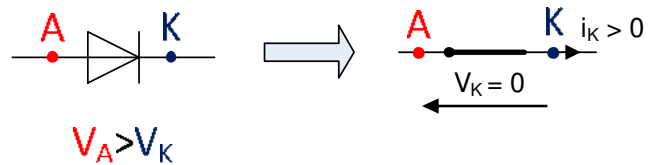
- un interrupteur fermé lorsqu'elle est passante
- un interrupteur ouvert lorsqu'elle est bloquée

Les deux bornes de la diode sont appelées Anode (A) et Cathode (K)  
 (cathode : côté du symbole pour lequel on peut lire un K à l'envers)



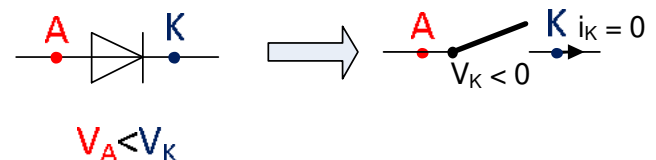
### Modélisation d'une diode à l'état passant :

Pour qu'une diode soit passante, il faut que le potentiel A imposé par le circuit à l'anode soit supérieur au potentiel K imposé par le circuit à la cathode.

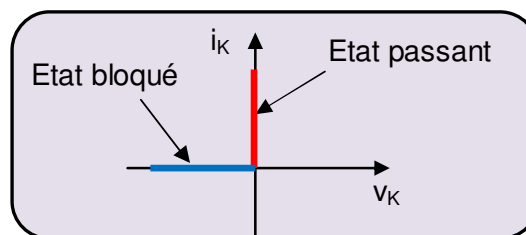


### Modélisation d'une diode à l'état bloquée :

Pour qu'une diode soit bloquée, il faut que le potentiel K imposé par le circuit à la cathode soit supérieur au potentiel A imposé par le circuit à l'anode.



### Caractéristique statique de la diode :



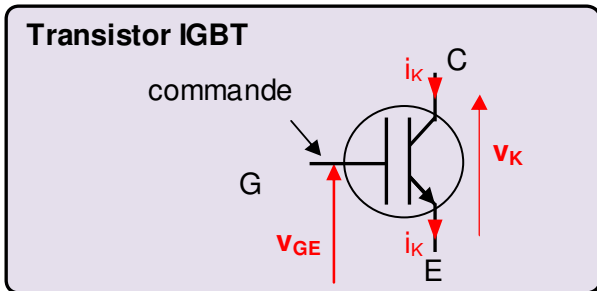
Cette caractéristique statique est la position des points de fonctionnement envisageable en régime permanent.

### 6.3 Transistor : commutation commandée

**Pour les fortes puissances (jusqu'à 1MW)** pour des fréquences de commutation jusqu'à 100kHz, on utilise des **IGBT** (Insulated Gate Bipolar Transistor).

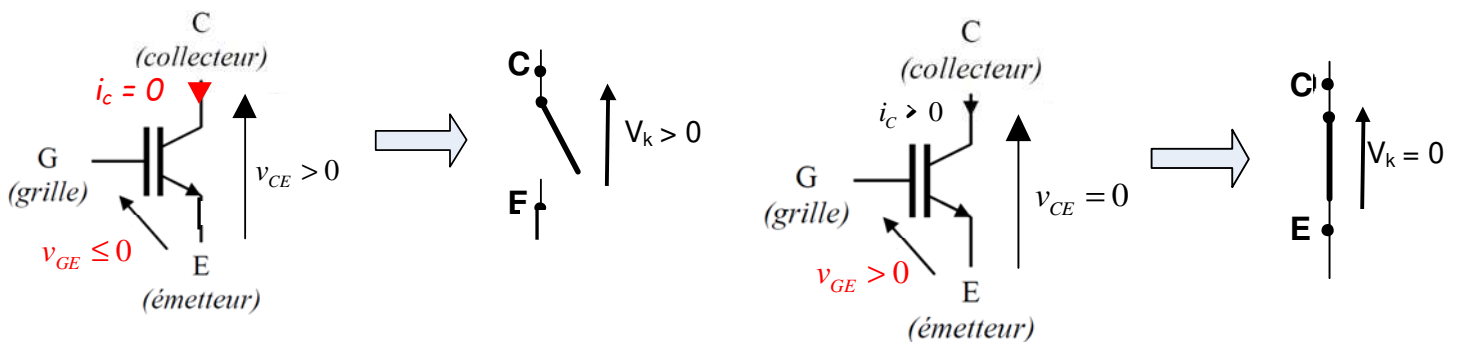
Ce transistor comporte :

- 2 électrodes principales : le collecteur C et l'émetteur E reliées au circuit de puissance,
- une électrode de commande (grille G) à faible tension dont la valeur contrôle le passage du courant de C vers E :

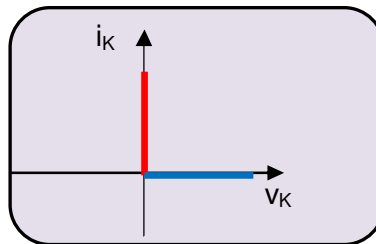


Si  $v_{GE} > 0$ , le transistor est à l'état passant,  $v_{CE} = 0$  et  $i_C > 0$ , il se comporte comme un interrupteur fermé.

Si  $v_{GE} \leq 0$ , le transistor est à l'état ouvert,  $v_{CE} > 0$  et  $i_C = 0$ , il se comporte comme un interrupteur ouvert.



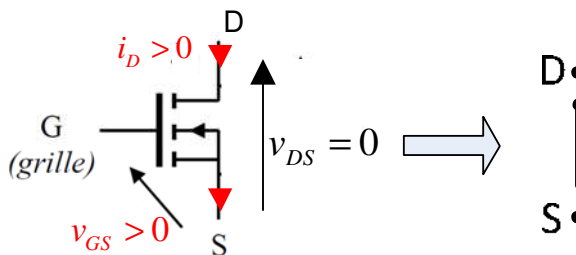
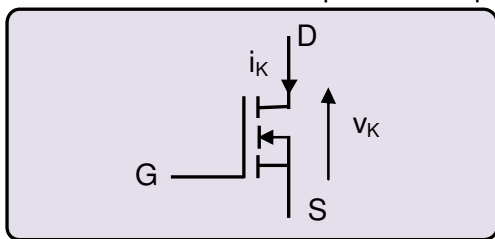
Caractéristique statique du transistor IGBT :



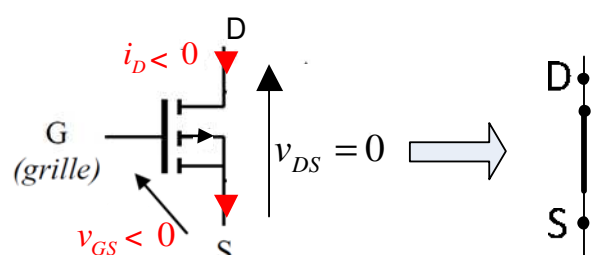
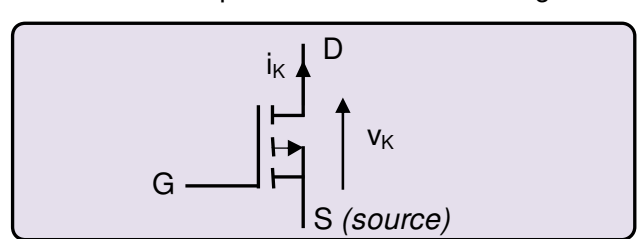
**Pour les puissances plus modérées** (jusqu'à 100kW) ou/et **à hautes fréquences** (jusqu'à 1MHz), on utilise des transistors **MOSFET** (Metal Oxyd Silicium Field Effect Transistor).

La technologie est différente et les connecteurs de puissances se nomment ainsi D (drain) et S (source).

**MOS canal N** : même comportement que l'IGBT



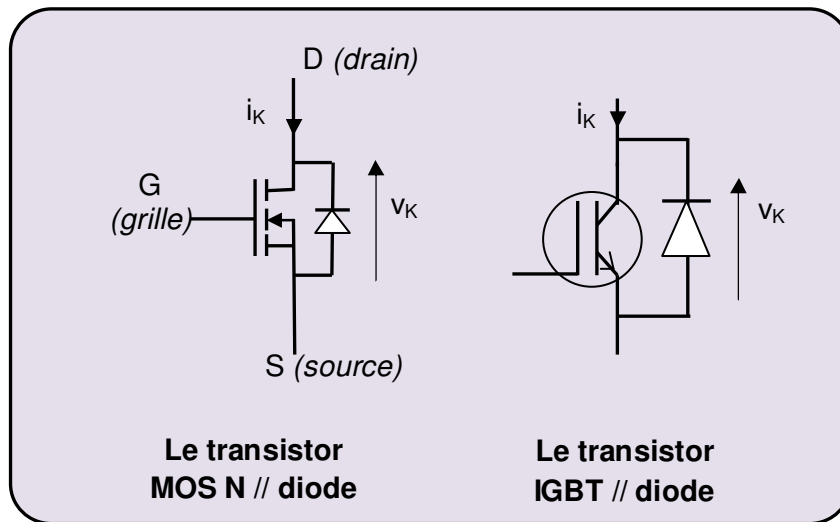
**MOS canal P** : comportement inversé de la grille



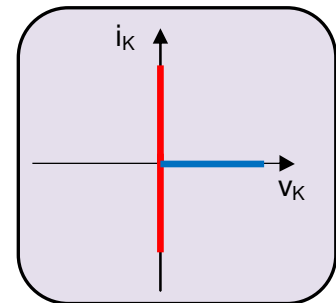
## 6.4 Interrupteur 3 segments

La mise en parallèle d'une diode et d'un transistor permet de réaliser un interrupteur 3 segments (les 3 segments indiqués sont ceux de la caractéristique  $i_k(v_k)$ ).

La structure présentée ci-dessous est bidirectionnelle en courant, mais reste unidirectionnelle en tension.



Caractéristique statique de l'association "transistor et diode en parallèle" :



**Il est à noter que seul le transistor peut être piloté par un signal de commande extérieur.**

**La diode se met à conduire si les conditions de sa conduction sont atteintes ( $v_k > 0$ ), ces conditions sont imposées par le circuit électrique.**