

## Chapitre 1: Composants de l'électronique de puissance

### Objectifs de L'enseignement :

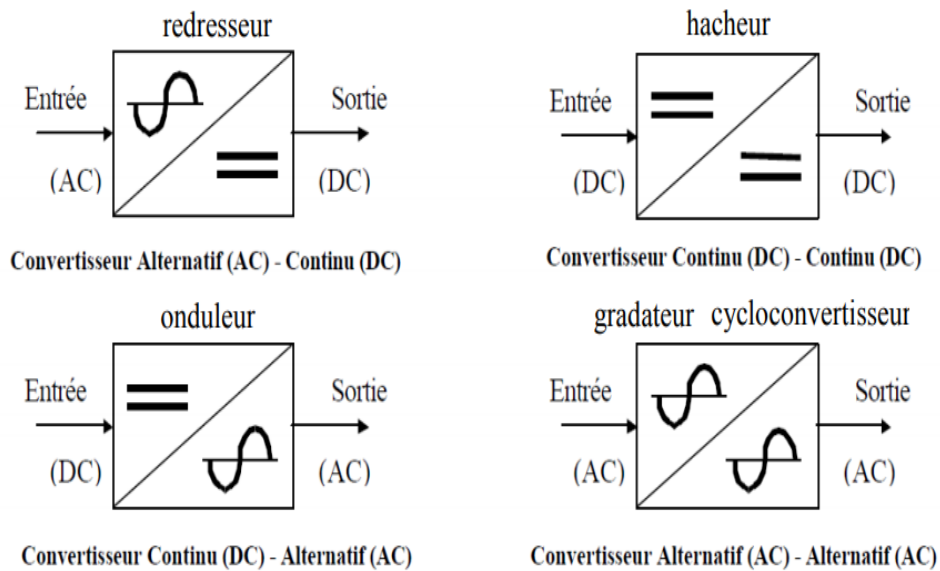
- Maîtriser les outils nécessaires à l'analyse des convertisseurs statiques.
- Connaître les composants d'électronique de puissance
- Maîtriser le fonctionnement des convertisseurs AC-DC , AC-AC, DC-AC et DC-DC.

L'électronique de puissance a pour but de **modifier la présentation de l'énergie électrique** avec un rendement maximum. Modifier la présentation de l'énergie électrique veut dire que :

- on transforme l'alternatif en continu : montages redresseurs non commandés et commandés ,
- on transforme le continu en alternatif et on modifie la valeur efficace et la fréquence d'une tension alternative : montages onduleurs non autonome et autonome,
- on modifie la valeur efficace d'une tension alternative : montages gradateurs et Hacheurs Alternatifs,
- on modifie la fréquence d'une tension alternative on modifie la valeur moyenne d'une tension continue : montages hacheurs,
- on modifie la fréquence d'une tension alternative : montage cycloconvertisseurs.

L'électronique de puissance ayant le souci de travailler à rendement maximum ne peut être qu'une électronique de commutation où les composants ne fonctionnent qu'en interrupteurs ouverts ou fermés. Le mot "puissance" ne signifie pas que l'électronique de puissance ne s'intéresse qu'à la commande de moteur d'au moins 1MW ! Le domaine de l'électronique de puissance s'étend de quelques micro watts (nano machines électriques) à une centaine de méga watts (MW). Les "interrupteurs" de l'électronique de puissance travaillent jusqu'à plusieurs dizaines de kHz. Il est impossible d'employer des interrupteurs classiques. Ceux-ci ne supporteraient pas de telles fréquences de fonctionnement. De plus, un arc électrique s'établirait entre les contacts qui ne couperaient plus aucun courant. Seuls les interrupteurs statiques à base de semi conducteurs sont utilisés. On trouve : la diode,• le transistor bipolaire,• le transistor à effet de champ à grille isolé (MOS),• l'IGBT (insulated gate bipolar transistor),• le thyristor "classique",• le thyristor GTO (gate turn off).•

On différencie quatre types de convertisseurs dont les schémas de principe sont donnés sur la figure suivante:



## 1-1- Les diodes

Une diode est un interrupteur électronique non commandé constitué par une seule jonction (PN) composé de 2 couches de matériaux semi-conducteur dopé (Silicium ou germanium).

C'est un Interrupteur à 2 électrodes : Anode (A), Cathode (K)

- Diode : Composant à commutation (blocage/amorçage) spontanée
- Commutations imposées par le circuit dans lequel est insérée la diode

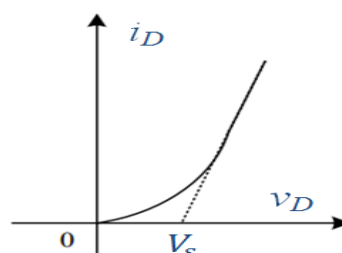
### 1-1-1- Caractéristiques statiques réelle

#### a. En direct.

Si l'état conducteur ou passant, la diode présente une chute de tension  $v_D$  non nulle, fonction croissante de la température du cristal et de l'intensité du courant  $i_D$ .

Pour qu'une diode se ferme, il faut que le courant qui le traverse s'annule ;  $v_D > 0$

En conduction la tension directe aux bornes de la diode est de l'ordre de 0.8 à 1 volt. On trouve des diodes qui supportent un courant direct :  $\langle i_D \rangle = 2000 \text{ A}$ , et des tensions inverse allant jusqu'à 4000 volts.



Caractéristiques statiques réelle à la fermeture.

Loin du coude correspondant aux très faibles valeurs de  $i_D$ , la caractéristique directe se confond rapidement avec son asymptote linéaire et on peut exprimer  $v_D = f(i_D)$  sous la forme :

$$v_D = V_s + R_D \cdot i_D$$

Où  $V_s$  est la tension de seuil (de 0.8V à 1.4V) et  $R_D$  est la résistance dynamique apparente de la diode (de 0.1 à 100mΩ).

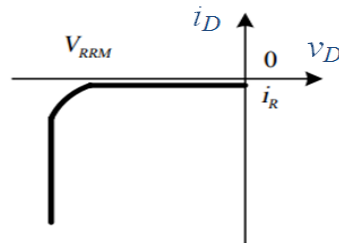
La puissance développée dans la diode du fait des pertes en conduction :

$$\langle P_F(\text{conduction}) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T v_D \cdot i_D \cdot dt = \frac{V_s}{T} \int_0^T i_D \cdot dt + \frac{R_D}{T} \int_0^T i_D^2 \cdot dt = V_s \cdot \langle i_D \rangle + R_D \cdot I_{Def}^2$$

### b. En inverse.

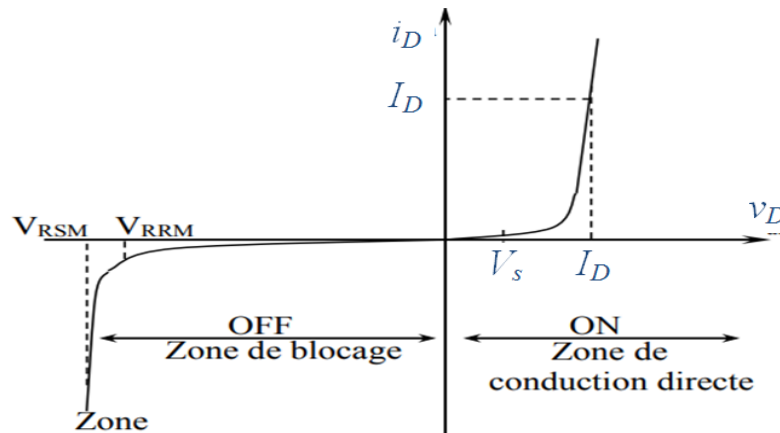
A l'état bloqué, la diode est traversée par un courant inverse, de fuite, d'intensité très petite devant celle du courant nominal direct (quelques  $\mu\text{A}$  à quelques  $\text{mA}$  suivant la valeur de  $\langle i_D \rangle$ ).

Pour qu'une diode se **bloque**, il faut que le courant qui le traverse s'annule ;  $i_D = 0$

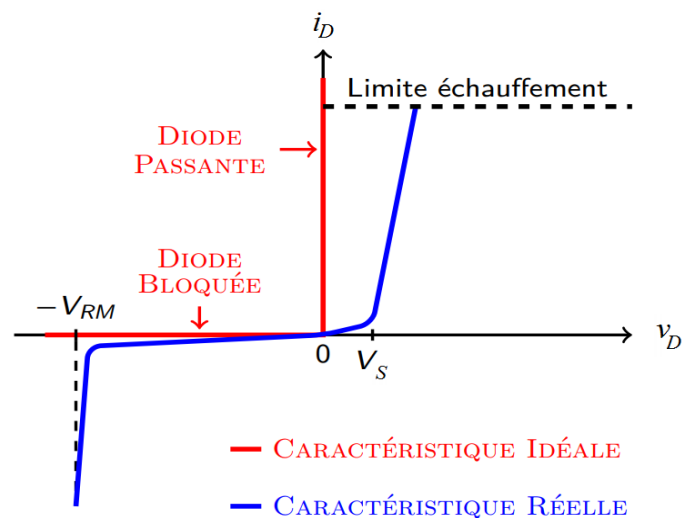


Caractéristiques statiques réelle à l'ouverture.

La puissance moyenne des pertes dans la diode en régime bloqué est pratiquement nulle puisque pendant le blocage  $v_D \cdot R = 0$ ,  $i_D = 0$ , et  $\langle P_F(\text{blocage}) \rangle$  est négligeable devant  $\langle P_F(\text{conduction}) \rangle$ .



Caractéristiques statiques réelle



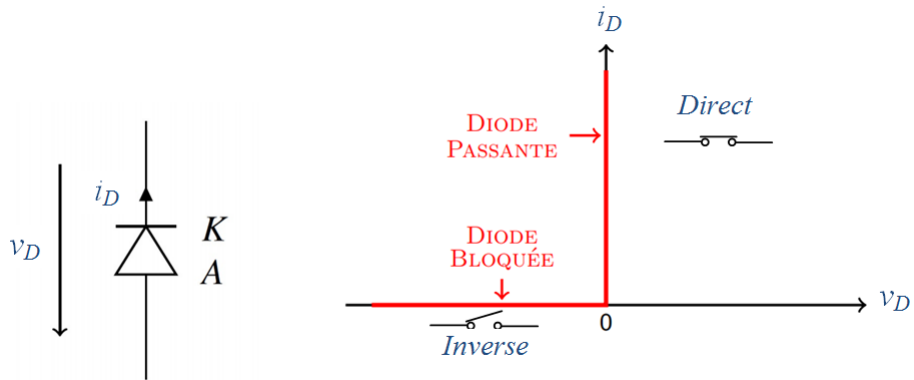
## 1-1-2- Caractéristiques statiques idéales

### a. En direct.

$$v_D = 0; i_D > 0$$

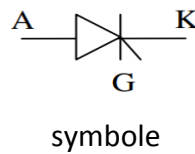
### b. En inverse.

$$v_D < 0, i_D = 0$$



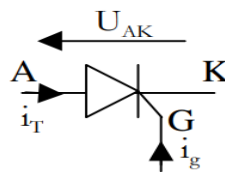
## 1-2- Les thyristors

Le thyristor est un élément **commandé** en courant. Il est composé de trois électrodes. Le symbole d'un thyristor est donné dans la figure suivante :



### 1-2-1- Caractéristiques statiques réelles

#### a. En direct (Amorçage)



$v_T > V_S$  (tension de seuil du thyristor)

Et

$i_g > I_{gH}$  (courant d'amorçage)

$\Rightarrow T$  fermé

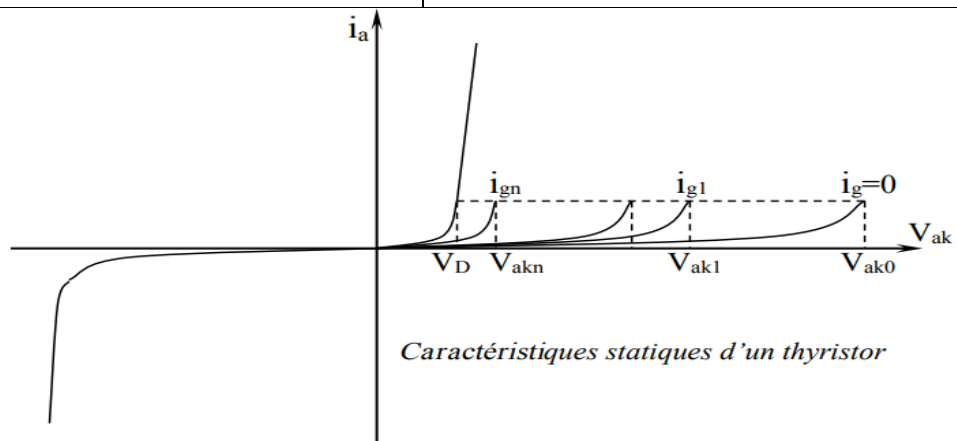
#### a. En inverse (blocage)

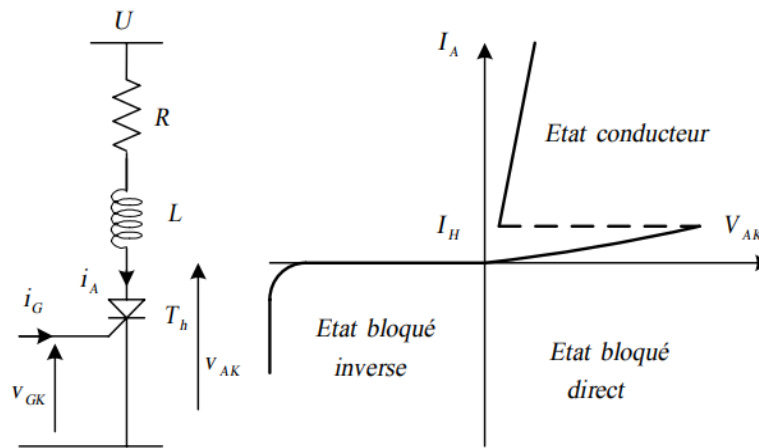
$v_T < V_S$  (tension de seuil du thyristor) et  $i_T = 0$

ou

$i_g < I_H$  (courant de maintien)

$\Rightarrow T$  bloqué





### 1-2-2- Caractéristiques statiques idéales

#### a. En direct (Amorçage commandé).

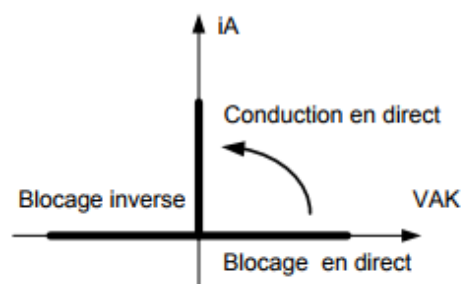
$$v_T > 0, \text{ et } i_g > 0$$

#### b. En inverse (Blocage spontané).

$$v_T > 0, \text{ et } i_g = 0, \text{ et } i_T = 0$$

Ou

$$v_T < 0, \text{ et } i_g = 0, \text{ et } i_T = 0$$



### 1-3 Les transistors bipolaires

Les transistors bipolaires de puissance sont des transistors spécialement adaptés au fonctionnement par tout ou rien

les transistors les plus utilisés sont d'ordinaire du type NPN, ils sont plus rapides et ont une meilleure tenue en tension que le PNP

la commande du courant de charge (courant collecteur) s'obtient par le courant de base.

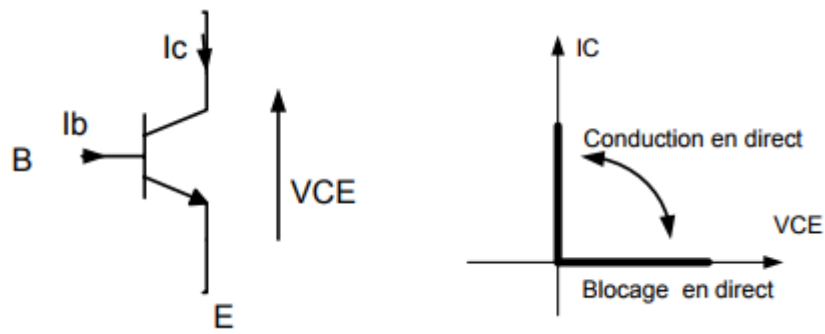
#### 1-3-1- Caractéristiques statiques idéales

##### a. En direct (Amorçage commandé).

$$v_{CE} > 0, \text{ et } i_B > 0$$

##### b. En inverse (Blocage commandé).

$$v_{CE} \ll 0, \text{ ou } i_B = 0$$



Un transistor travaillant en commutation ne peut occuper de façon stable que deux états :

- état bloqué, il suffit théoriquement de ne pas alimenter sa base,
- état saturé, il faut envoyer à sa base un courant supérieur à  $i_c / \beta$  ; où  $\beta$  est le gain statique.

Pratiquement les procédés d'amorçage et de blocage sont complexes et mènent généralement à une polarisation inverse de base  $v_{BE}$  durant les phases de blocage du transistor.

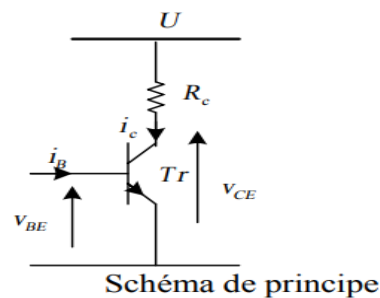
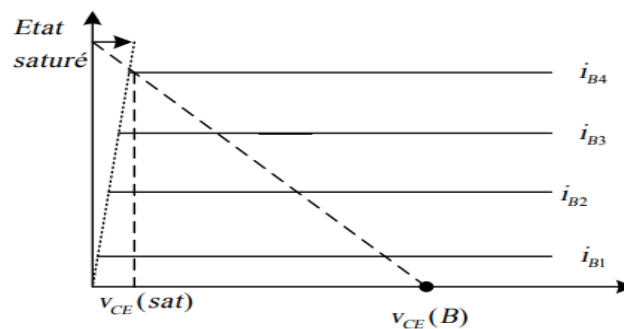


Schéma de principe



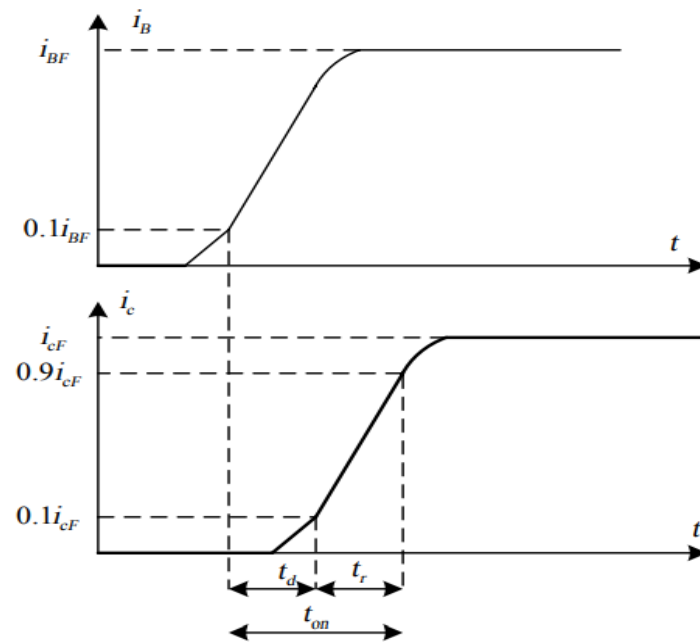
Caractéristiques statiques

### 1-3-2 Commutations

#### a- Amorçage

L'amorçage est caractérisé :

- Un temps de retard  $t_d$  « delay time » entre l'instant d'application de  $i_B$  et le passage de  $i_c$  à 10% de sa valeur finale,
- Un temps de montée  $t_r$  « rise time » entre l'instant de passage de  $i_B$  entre 10% et 90% de sa valeur finale. Le constructeur indique le temps de fermeture  $t_{on} = t_r + t_d$ .

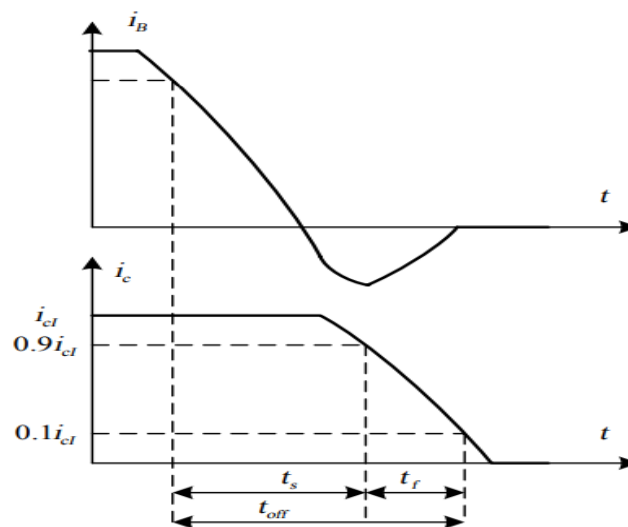


a- Fermeture.

### a- blocage

La ouverture est caractérisée :

- Un temps d'évacuation de la charge stockée  $t_s$  « storage time » entre la suppression de  $i_B$  et le passage de  $i_c$  à 90% de sa valeur initiale,
- Un temps de descente  $t_f$  « fall time » entre l'instant de passage de  $i_B$  entre 90% et 10% de sa valeur initiale. Le constructeur indique le temps d'ouverture  $t_{off} = t_s + t_f$ .



b- ouverture

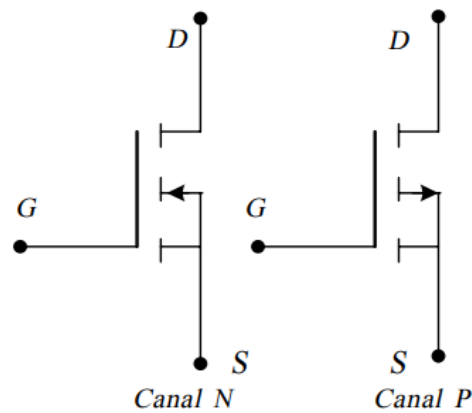
### 1-4- Les transistors à effet de champ MOSFET

Les constructeurs réalisent des transistor de puissance ( ou de commutation) à effet de champ. Ce sont en général des composants à grille isolée. Ces composants permettent des performances comparables à celles du transistor bipolaire tout en profitant des avantages du transistor à effet de champ :

- Très grande impédance d'entrée ; ce qui signifie que l'état du fonctionnement du transistor est fixé par la tension d'entrée,

- Durée de commutation très courte et en principe pas de temps de retard ni temps d'évacuation de la charge stockée.

La grille métallique est isolée du substrat semi-conducteur par une couche d'oxyde d'où le nom de MOS (métal oxyde semi-conducteur)



Transistor à effet de champs

#### 1-4-1- Caractéristiques statiques idéale

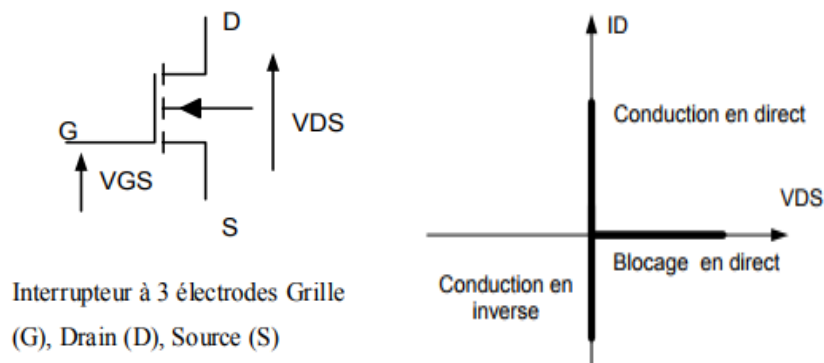
par action sur la tension de commande  $v_{GS}$  on fait varier la section de passage de courant  $i_D$  drain vers la source

**a. En direct (Amorçage commandé).**

$$v_{DS} > 0, \text{ et } v_{GS} > 0$$

**b. En inverse (Blocage commandé).**

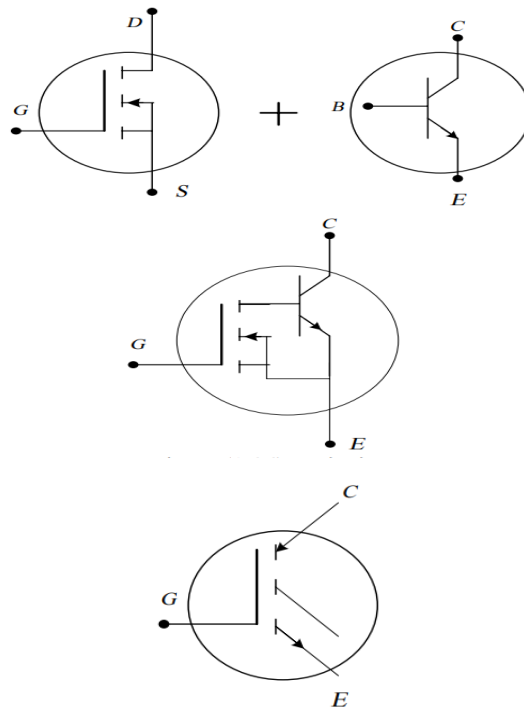
$$v_{GS} \leq 0,$$



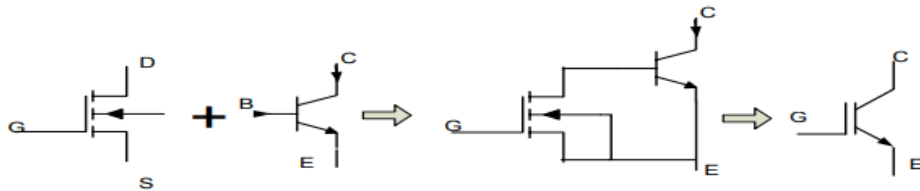
#### 1-5- Les transistors IGBT (Insulated-Gate Bipolar Transistor)

Un transistor IGBT est le mariage d'un transistor bipolaire et un transistor à effet de champ comme le montre les figures suivantes :





Symbole



### 1-5-1- Caractéristiques statiques idéales

#### a. En direct (Amorçage commandé).

$$v_{CE} > 0, \text{ et } v_{GE} > 0$$

#### b. En inverse (Blocage commandé).

$$v_{GE} < 0,$$

