



**UNIVERSITE SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES
Département Génie Électrique**



Électronique de puissance

Pr : M. LAHBABI

MASTER : ESSA

Electronique Signaux et Systèmes Automatisés

Chapitre 2 : Les composants de l'électronique de puissance

Contenu :

1- Introduction

2- Diodes

3- Thyristor

4- Transistors de puissance :

- BJT(Bipolar Junction Transistor)
- MOSFET de puissance
- Transistor bipolaire à grille isolée IGBT
- Thyristors commandés à l'ouverture GTO
- Autres interrupteurs: TRIAC, DIAC
- Réversibilité des interrupteurs

5- Comparaison des interrupteurs commandables

1- Introduction :

- Etude des composants utilisés en électronique de puissance dans les convertisseurs statiques \Rightarrow SC fonctionnant en **commutation** c.à.d en **interrupteurs**.
- Intérêt est porté sur **les caractéristiques, les performances** et au **mode d'utilisation** de ces composants.
- Connaitre le comportement de ces SC pendant les transitions de l'état passant à l'état bloqué et inversement.

a- Rappel : interrupteur idéal

- ✓ **Ouvert** : aucun courant ne le traverse, **$i = 0$** .
- ✓ **Fermé** : il est assimilé à un fil sans résistance, **$u = 0$** .

Donc: Un interrupteur idéal ne consomme pas de puissance.

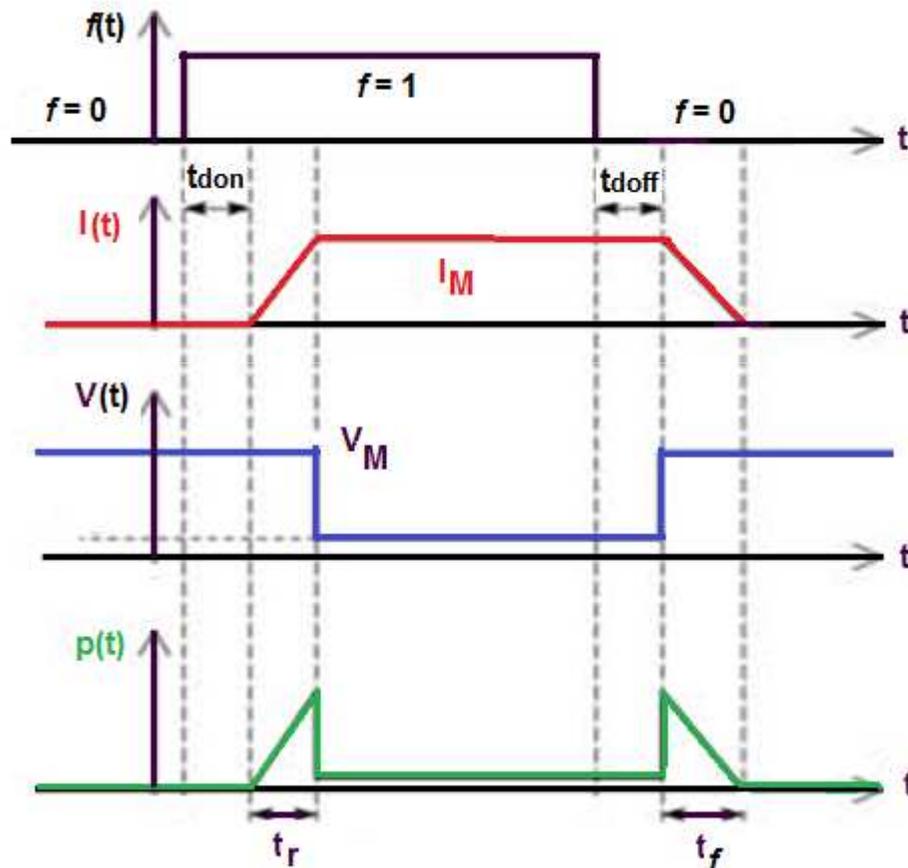
Le passage d'un état à l'autre s'appelle **commutation** :

- ✓ d'ouvert à fermé : **fermeture ou amorçage**.
- ✓ de fermé à ouvert : **ouverture ou blocage**.

b- Interrupteur réel :

Les caractéristiques d'un interrupteur réel :

- ✓ **Ouvert** : le composant est soumis à la tension V_M .
- ✓ **Fermé** : il est traversé par un courant I_M .



t_{don} : temps de retard (delay) à la montée pour que le courant atteigne 10% de sa valeur de conduction.

t_{doff} : temps de retard à la descente.

t_r : rise time ou temps de montée du courant
 t_f : fall time ou temps de descente du courant

Entre 10 et 90% du courant I_M

▪ **Caractéristique dynamique d'un interrupteur :**

la caractéristique dynamique d'un interrupteur est la **trajectoire suivie par le point de fonctionnement** pour passer de l'état ouvert à l'état fermé et inversement.

➤ L'aspect dynamique permet de mettre en évidence la notion de pertes par commutation.

▪ Les qualités recherchées pour un composant de puissance sont :

➤ Le **courant quasi nul** à l'état bloqué (interrupteur ouvert)

➤ La **tension quasi nulle** à l'état passant (interrupteur fermé)

➤ Une **durée de commutation très courte.**

➤ Des **temps de retard très courts.**

▪ **Deux types d'interrupteurs :**

➤ Interrupteurs à **commutation spontanée** : fonction **diode**

➤ Interrupteurs à **commutation commandée** : fonction **transistor**

Les deux interrupteurs sont unidirectionnels en courant.

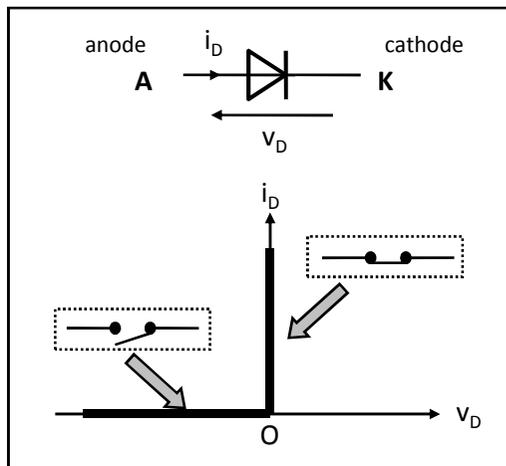
En général :

- ⚡ L'interrupteur non commandable : **la diode**
- ⚡ L'interrupteur commandé seulement à la fermeture : **le thyristor**
- ⚡ L'interrupteur commandé à la fermeture et à l'ouverture : **le transistor**
 - Transistors Bipolaires à Jonctions (BJT) ;
 - Transistors à effet de champ (MOSFET) ;
 - Thyristors commandés à l'ouverture (GTO) ;
 - Transistors bipolaires à grille isolée (IGBTs).
- ⚡ Autres interrupteurs (exp: bidirectionnels)

2- La diode :

👉 Interrupteur à ouverture et à fermeture spontanée

- il s'ouvre (**cesse de conduire**) quand le **courant qui le traverse s'annule** (devient légèrement négatif).
- il se ferme (**conduit**) quand la **tension à ses bornes devient positive** (dépasse une certaine valeur appelée tension de seuil).



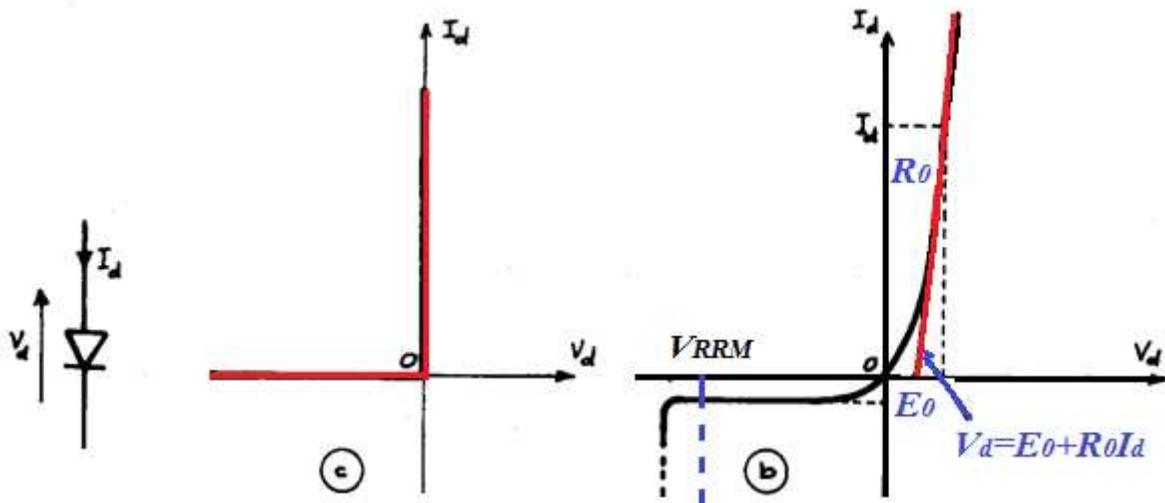
Diode idéale

Ses conditions de fonctionnement sont caractérisées par :

$$i_D > 0 \Rightarrow D \text{ passante} \Rightarrow v_D = 0$$
$$v_D < 0 \Rightarrow D \text{ bloquée} \Rightarrow i_D = 0$$

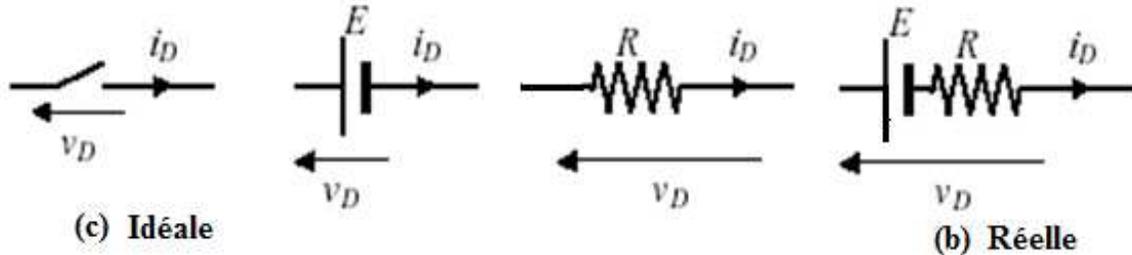
L'état **passant** est imposé par le **courant**,
l'état **bloqué** par la **tension** à ses bornes.

a- Caractéristique statique :



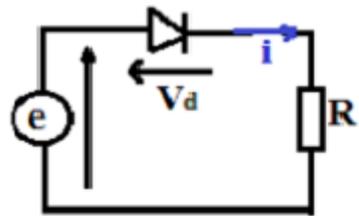
V_{RRM} : Tension inverse maximale supportée
 V_{BR} : Tension de claquage (breakdown)

b- Modèles électriques statiques :

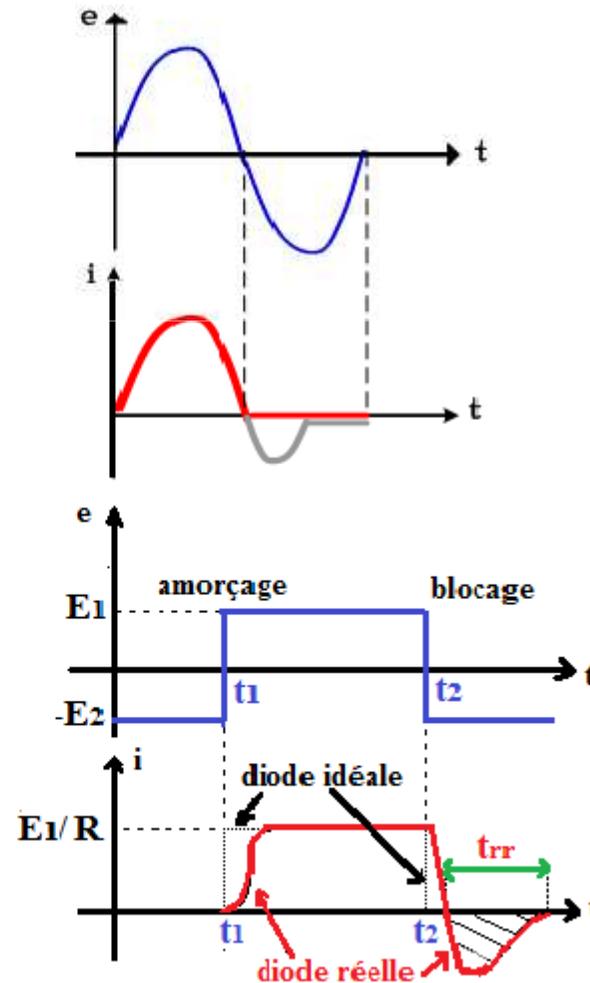


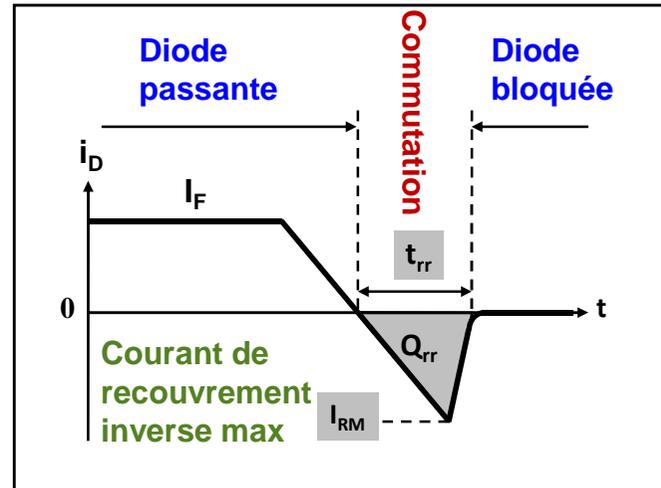
c- Caractéristique dynamique :

Lorsque la tension aux bornes de la diode est inversée, la diode ne se bloque pas instantanément. Elle laisse passer un courant inverse pendant un certain temps : **temps de recouvrement inverse t_{rr}** .



Circuit redresseur



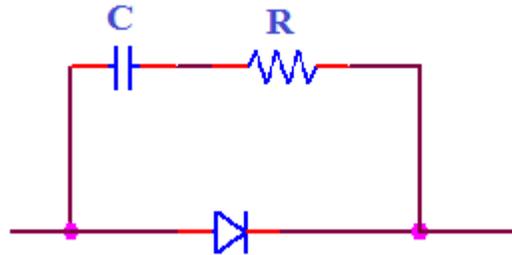


L'amplitude de la surtension inverse dépend essentiellement de la vitesse de décroissance du courant (pente $\frac{di}{dt}$), du courant inverse de recouvrement et de l'inductance du circuit extérieur.

le temps recouvrement t_{rr} est généralement de quelques μs peut descendre jusqu'à 100 ns avec certaines diodes plus rapides.

d- Protection de la diode :

Pour diminuer cet effet (protection contre les surtensions), on place un circuit RC aux bornes de la diode.



e- Puissance moyenne dissipée dans une diode :

$$P_d = \frac{1}{T} \int_0^T V_d I_d dt \quad \text{avec : } V_d = E_0 + R_0 I_d$$

$$P_d = \frac{1}{T} \int_0^T (E_0 + R_0 I_d) I_d dt \quad P_d = \frac{E_0}{T} \int_0^T I_d dt + \frac{R_0}{T} \int_0^T I_d^2 dt$$

$$P_d = E_0 I_{moy} + R_0 I_{eff}^2$$

I_{moy} et I_{eff} sont les valeurs moyennes et efficace de l'intensité du courant direct I_d

f- Choix d'une diode de puissance :

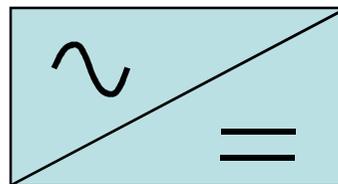
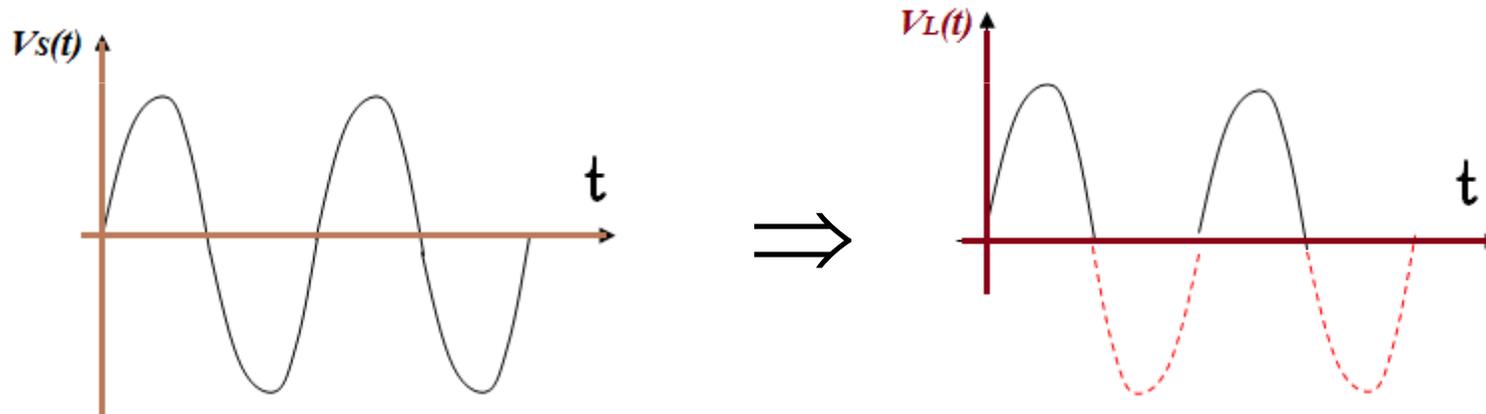
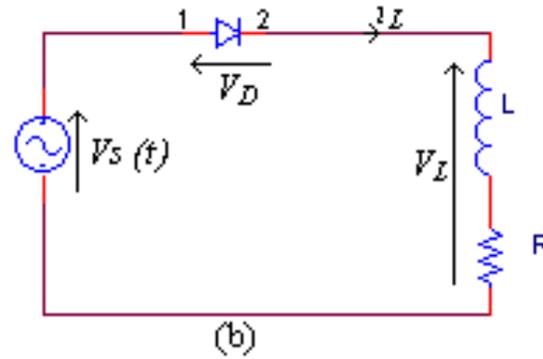
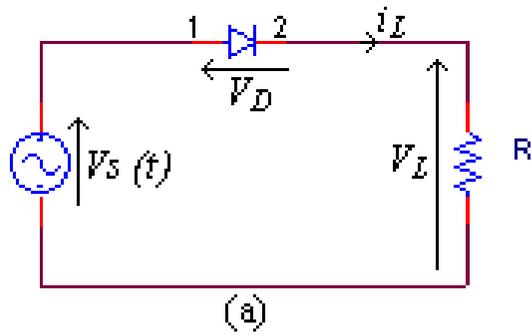
Caractéristiques données par le constructeur :

Le choix d'une diode est principalement fonction :	Exemple : 1N 1190
<ul style="list-style-type: none">• du courant moyen qui traverse la diode (I_o ou I_F)• de la tension inverse que devra supporter la diode à l'état bloqué (V_{RRM}) (Reverse Repetitive Maximum Voltage)• du courant de pointe répétitif (I_{FRM}) (maximum à ne pas dépasser)• du courant inverse I_R• de la chute de tension directe V_{FM}	<p>35A</p> <p>600V</p> <p>120A</p> <p>20mA</p> <p>1.5V</p>

I_F : courant direct continu maximal

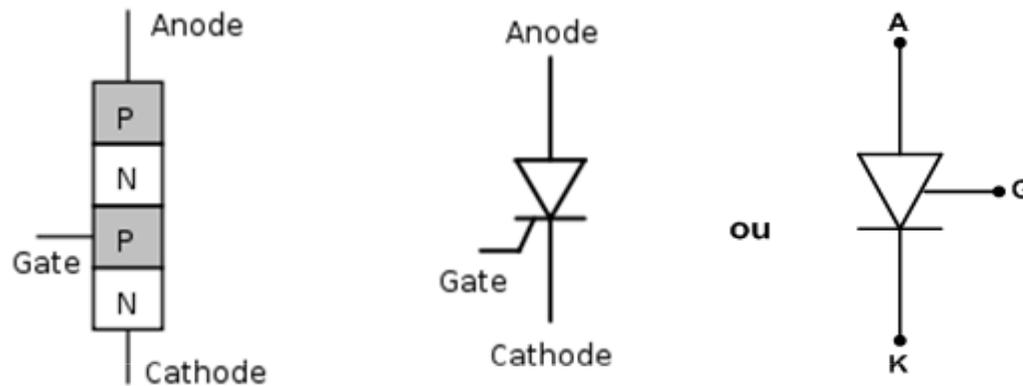
I_o : courant moyen redressé maximal

Exemple: Redressement monophasé simple alternance

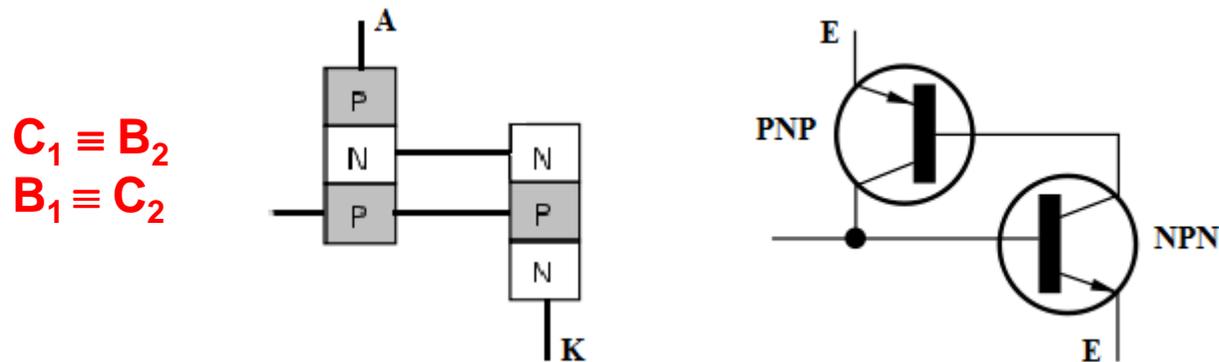


3- Le thyristor :

Un thyristor est un composant électronique formé de **4 couches SC** dopées alternativement N et P et constitué de **3 jonctions PN**. Il possède 3 électrodes : Anode , cathode et gâchette qui sert à commander le thyristor.

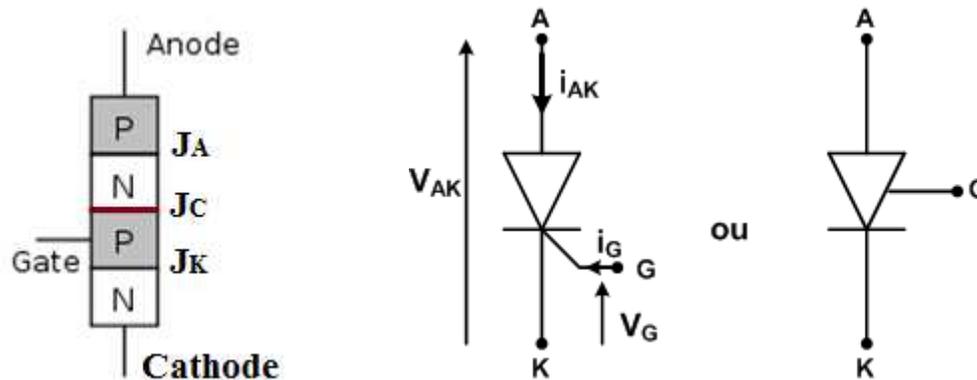


Le thyristor peut être modélisé par deux transistors bipolaires de type **PNP** et **NPN**, montés comme suit :



Deux types de thyristors : type N (ou à gâchette d'anode)
type P (ou à gâchette de cathode : usuel)

a- Fonctionnement et Caractéristiques statiques :



Un thyristor est formé de 3 jonctions J_A, J_C et J_K.

Quand V_{AK} est négative ⇒ **transistor bloqué.**

Quand V_{AK} est positive : J_A et J_K conduisent, alors que **J_C est bloquée.**

⇒ **Transistor bloqué.**

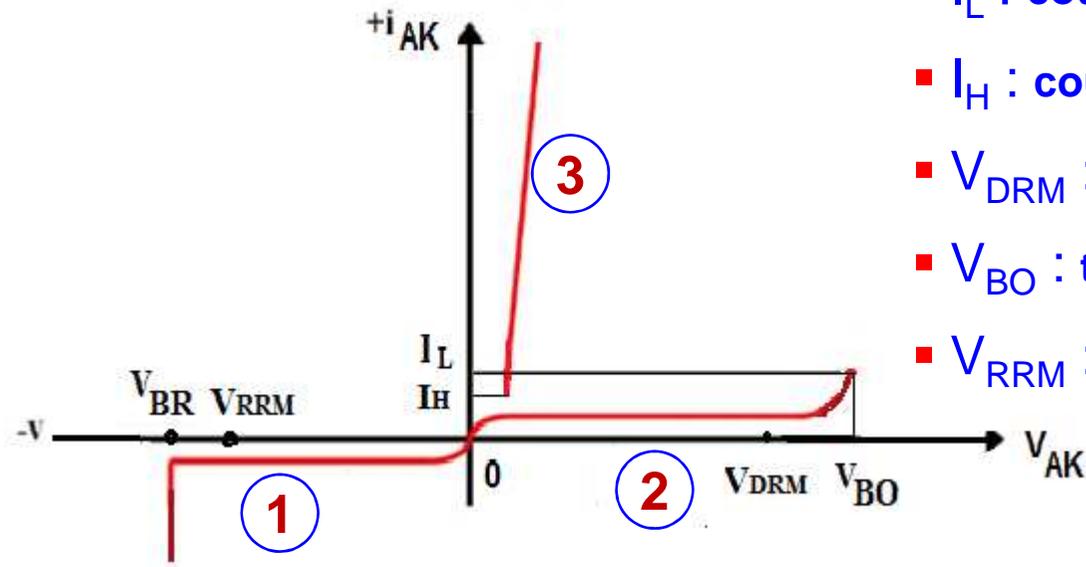
⇒ Toute la tension se trouve appliquée aux bornes de J_C

Quand V_{AK} est assez grande → phénomène d'avalanche → fort courant peut aller de l'anode vers la cathode et le Thyristor devient conducteur.

Amorçage spontané du Thyristor par avalanche en polarisation directe.

La résistivité de cette zone chute et la tension aux bornes du Thyristor devient très faible.





- I_L : courant d'accrochage (Latching current).
- I_H : courant de maintien (Holding current).
- V_{DRM} : tension directe maximale répétitive
- V_{BO} : tension directe de retournement
- V_{RRM} : tension inverse maximale répétitive

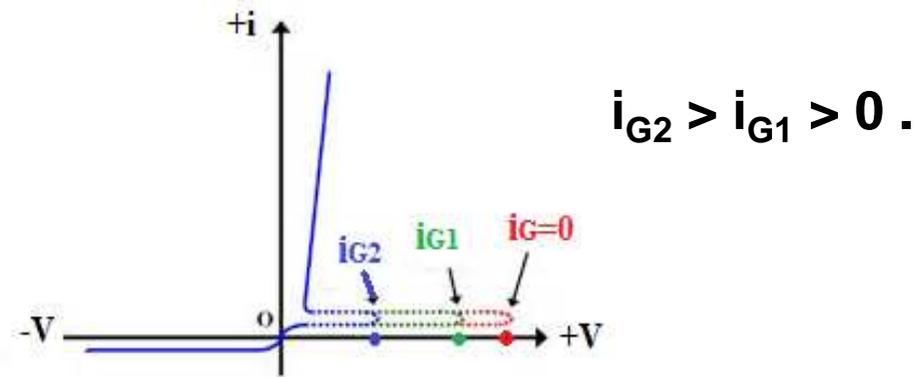
Caractéristique de sortie, gâchette non utilisée.

Pour i_G nul, la caractéristique du thyristor a donc 3 zones de fonctionnement :

- Zone 1, $V_{AK} < 0$, Thyristor **bloqué**.
- Zone 2, $0 < V_{AK} < V_{BO}$, Thyristor **bloqué**.
- Zone 3, $V_{AK} > 0$ ($V_{AK} > V_{BO}$ tension de seuil), Thyristor **passant**.

- tension de retournement : tension d'amorçage à courant de gâchette nul, $i_G = 0$

👉 $i_G > 0$: on applique une tension positive sur la gâchette par rapport à la cathode.



- La tension de retournement V_{BO} est une fonction décroissante du courant de gâchette i_G (amorçage commandé).
- Quand le Thyristor est passant, il est assimilé à un segment de droite (comme la diode) d'équation : $V_T = V_0 + r I_T$

Le thyristor étant amorcé, si on diminue la tension V_{AK} , le thyristor reste conducteur jusqu'à une certaine valeur du courant appelé **courant de maintien** (noté I_H), puis il se bloque.

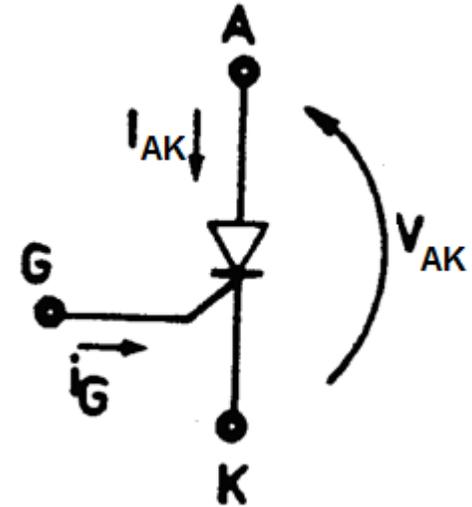
Lorsque le thyristor est amorcé, même si $I_G = 0$, le thyristor reste conducteur. Pour se bloquer, il est nécessaire, soit de diminuer le courant I_{AK} en dessous de la valeur I_H , soit d'inverser la tension d'alimentation V_{AK} .

b- Conditions d'amorçage et de blocage :

▪ Amorçage :

- $V_{AK} > 0$
- $I_G > I_{GT}(\text{max})$ catalogue.
- $I_{AK} > I_L$

Une fois déclenché le thyristor peut fonctionner sans courant de gâchette.



▪ Blocage :

- $I_{AK} < I_H$
- $V_{AK} < 0$ pendant $t_{inv} > t_q$

t_q : **durée minimale du blocage** qui permet au composant de supporter à nouveau une tension directe sans amorçage spontanée.

$t_q \sim 5$ à $50 \mu s$ pour les thyristors rapides,

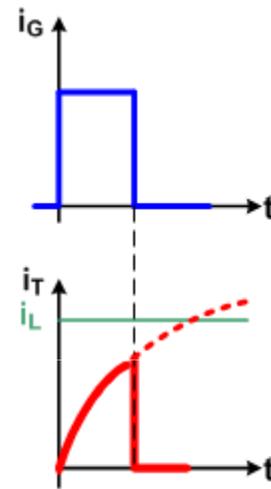
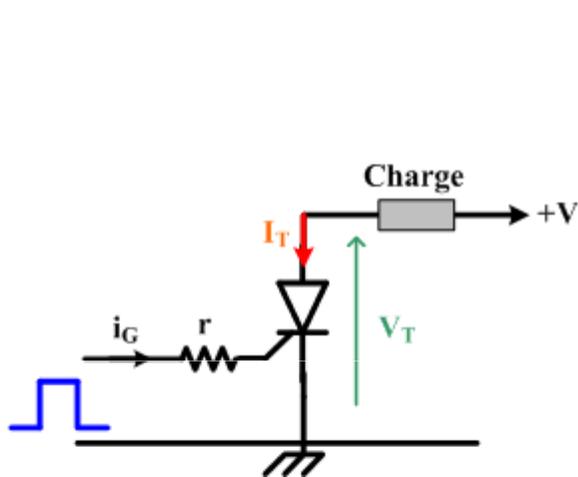
$t_q \sim 500 \mu s$ pour les thyristors de forte puissance

$t_q \rightarrow$ limite la fréquence d'utilisation des thyristors (~ 10 kHz maximum)

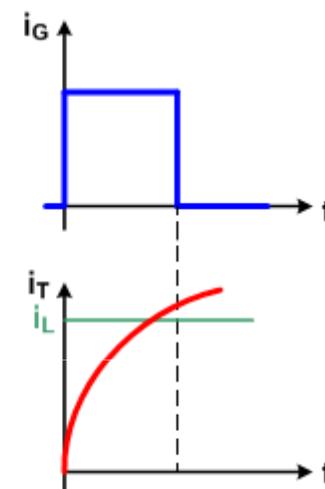
c- Caractéristiques dynamiques :

➤ Courant d'accrochage :

Pour avoir le transistor saturé, il faut amener le courant i_{AK} à un niveau suffisant.



Le courant d'accrochage n'est pas atteint



Le courant d'accrochage est atteint; le Thyristor reste conducteur

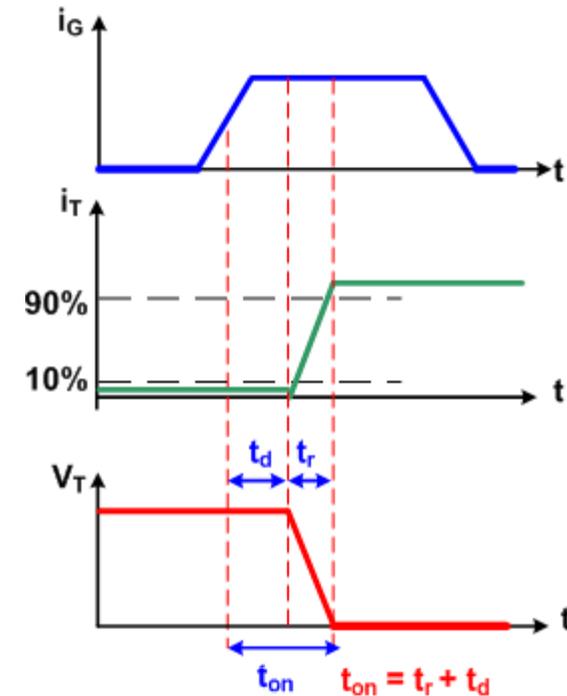
Le courant d'accrochage (I_L : Latching current) est spécifié pour un courant de gâchette et à une température de jonction (en général 25°C) donnés .

i_{GT} , valeur maximale du courant de gâchette nécessaire au déclenchement du thyristor
 V_{GT} , tension maximale de gâchette (V_{GK}), lorsque le courant i_{GT} est appliqué.

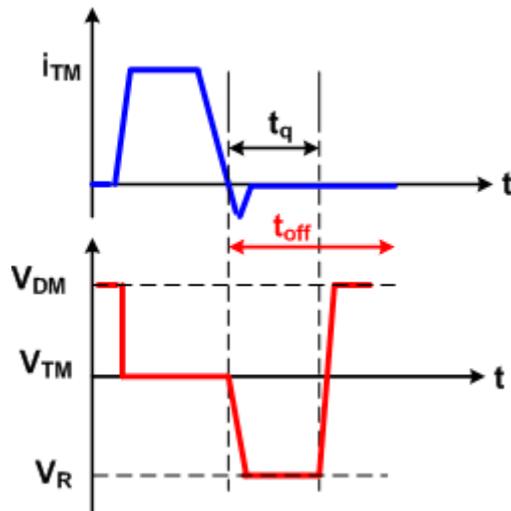
➤ Temps de fermeture :

Temps d'amorçage t_{on} suite à une impulsion de commande sur la gâchette.

$$t_{on} = t_d + t_r$$



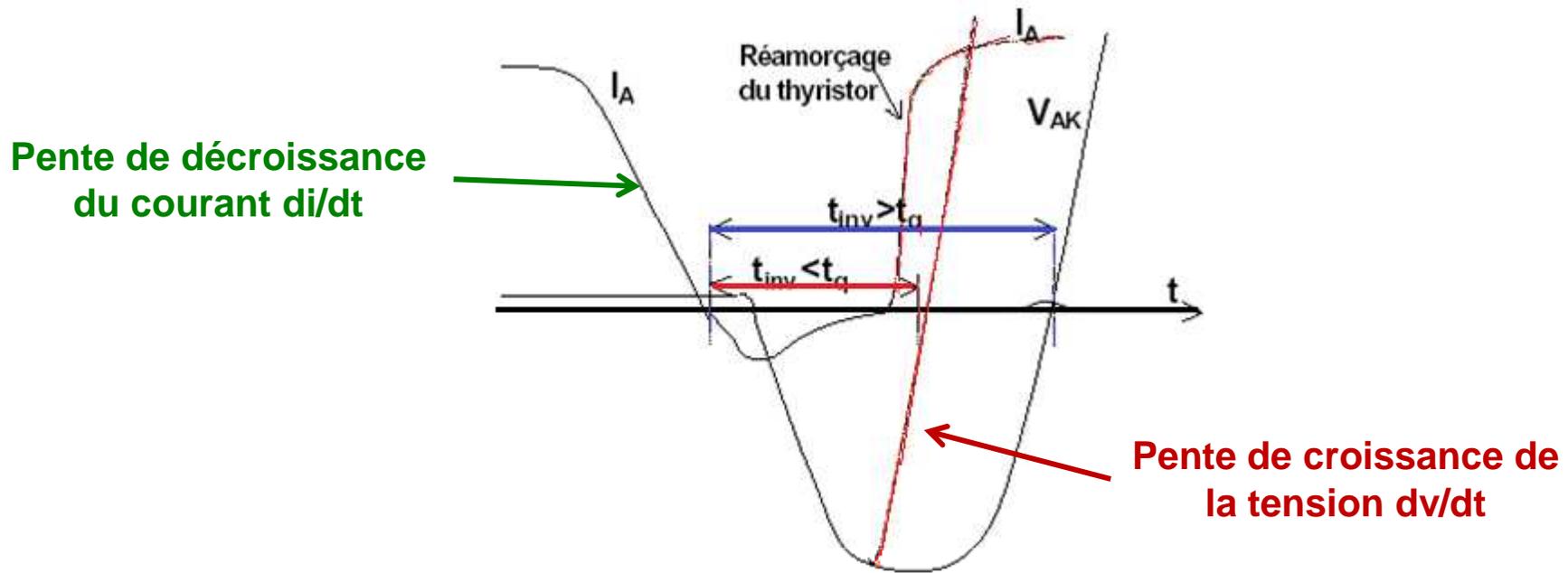
➤ Temps d'ouverture :



Temps de désamorçage t_{off} : temps qui s'écoule entre l'instant où V_{AK} s'annule et l'instant où le thyristor devient susceptible de supporter une polarisation directe sans se réamorcer.

Si $t_{off} > t_q$, le thyristor reste bloqué.

Si $t_{off} < t_q$, le thyristor se réamorcer spontanément.

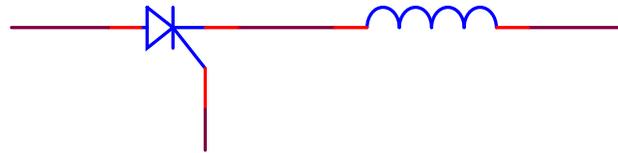


t_q dépend de di/dt , dv/dt , I_{TM} , V_R , V_{DM} , V_{GK} , durée de conduction (t_p).

d- Protection :

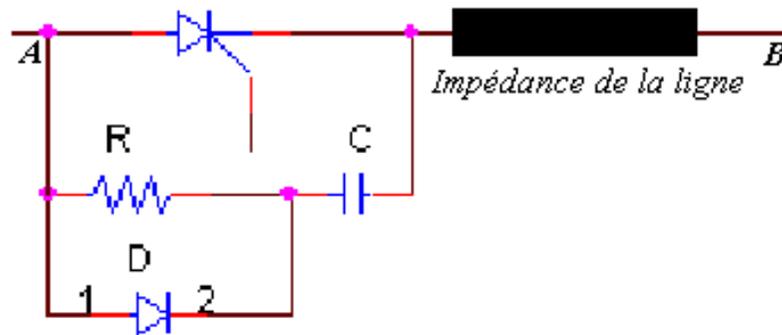
☞ Protection contre les di/dt :

di/dt augmente \Rightarrow destruction du composant



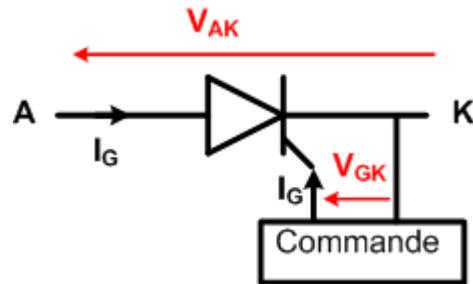
☞ Protection contre les dv/dt :

dv/dt augmente \Rightarrow amorçage intempestif du thyristor (sans signal du gâchette)



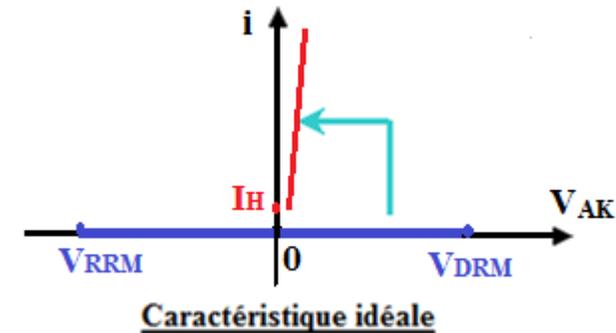
Protection
+
Amorçage facile du thyristor
atteint rapidement grâce à C

En résumé :



L'état bloqué ou passant est déterminé, en général, par une électronique de commande.

Caractéristique idéalisée :



Fonctionnement :

- Si $V_{AK} < 0$, le thyristor est bloqué et $I = 0$.
- Si $V_{AK} > 0$, sans courant préalable dans la gâchette ($i_G < i_{GT}$), le thyristor est bloqué.
- Si $V_{AK} > 0$ et qu'un courant I_G apparaît ($i_G > i_{GT}$), la tension V_{AK} s'effondre et le thyristor s'amorce .
 - si $I > I_H$, le courant de gâchette I_G peut s'annuler, la conduction entre anode et cathode persiste.
 - si $I < I_H$, le thyristor se bloque.

👉 Interrupteur à ouverture spontanée et à fermeture commandée :

- il s'ouvre (cesse de conduire) quand le courant qui le traverse s'annule (devient légèrement négatif) ⇒ **comme une diode**
- il se ferme (conduit) quand un courant de commande est envoyé sur la gâchette **et** que la tension à ses bornes est positive.

Ordre de grandeur des paramètres pour les thyristors du commerce:

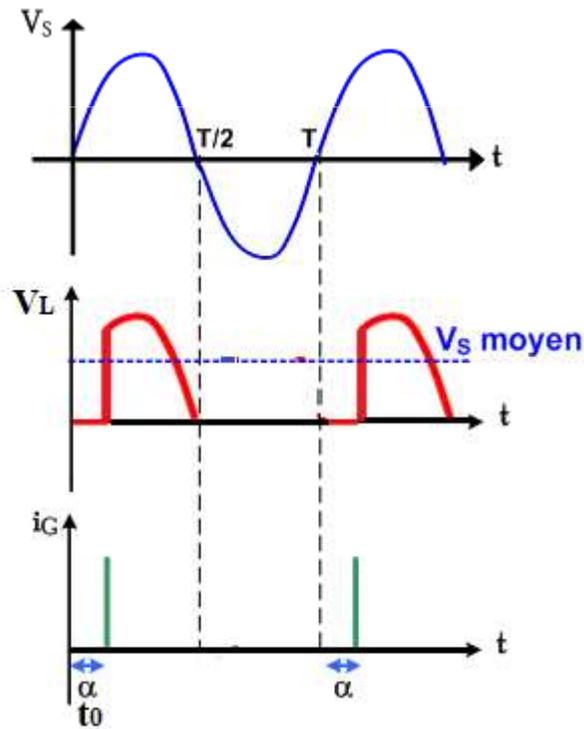
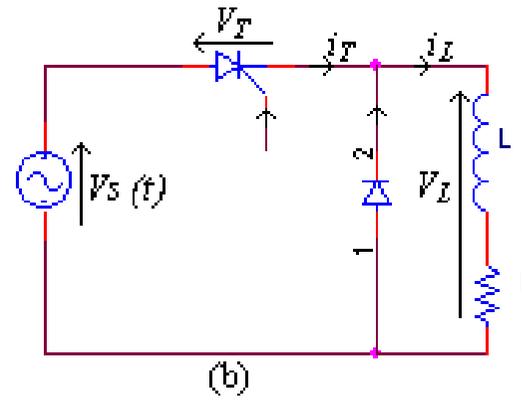
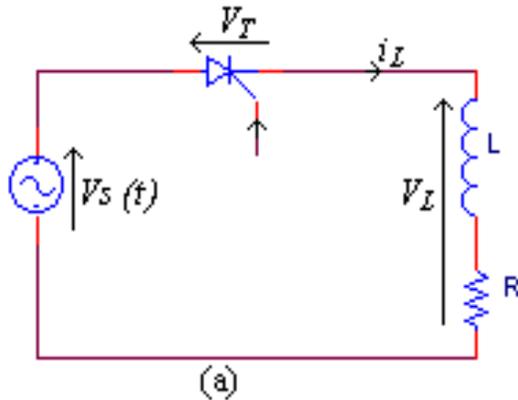
- $V_{RRM} = V_{AK}$ de 50V à 2000V.
- I de 100mA à 2000A.
- I_G permettant l'amorçage de 10mA pour les thyristors sensibles à 500mA pour les thyristors standards.
- (dV_{AK}/dt) maxi = 100V/ μ s.
- (di/dt) maxi = 100A/ μ s.
- t_q = 100 μ s pour les thyristors de redressement à 2 μ s pour les thyristors ultra-rapides.

Spécifications techniques :

Exemple du thyristor 1N 692 :

I_0 ou I_F	courant moyen	16A
V_{RRM}	tension inverse	800V
V_{DRM}	tension directe à l'état bloqué	800V
$I_{TSM}(10ms)$	courant de surcharge de pointe (10ms)	300A
di/dt	vitesse critique de croissance du courant	20A/μs
dv/dt	vitesse critique de croissance de la tension	50V/μS
I_{RM}	courant inverse	25mA
I_{GT}	courant de gâchette d'amorçage	20mA
V_{GT}	tension de gâchette à l'amorçage	3V
V_{TM}	Chute de tension à l'état passant	2,2V à 50A (10μs)
t_q	temps de désamorçage	100μs

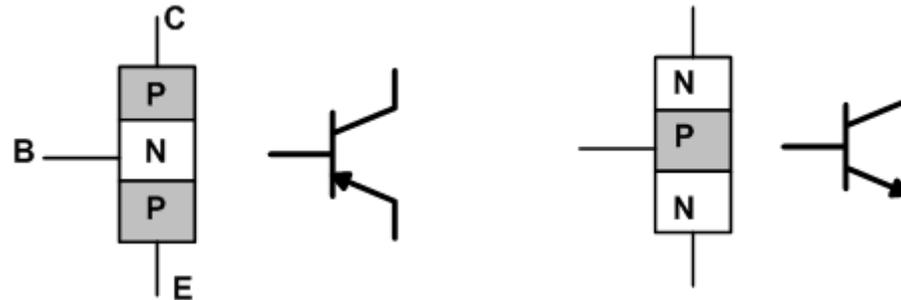
👉 Exemple: Redressement monophasé commandé



α mesure l'angle de retard à l'amorçage.
 Il est défini par le retard t_0 , entre le moment où V_{AK} devient positive et le début de l'impulsion de la gâchette.
 avec $\alpha = \omega t_0$.

4- Transistor de puissance BJT (Bipolar Junction Transistor)

C'est un composant à **2 jonctions PN (3 couches SC)** dont le courant de collecteur est contrôlé par le courant de base.
En puissance, il est utilisé en commutation.



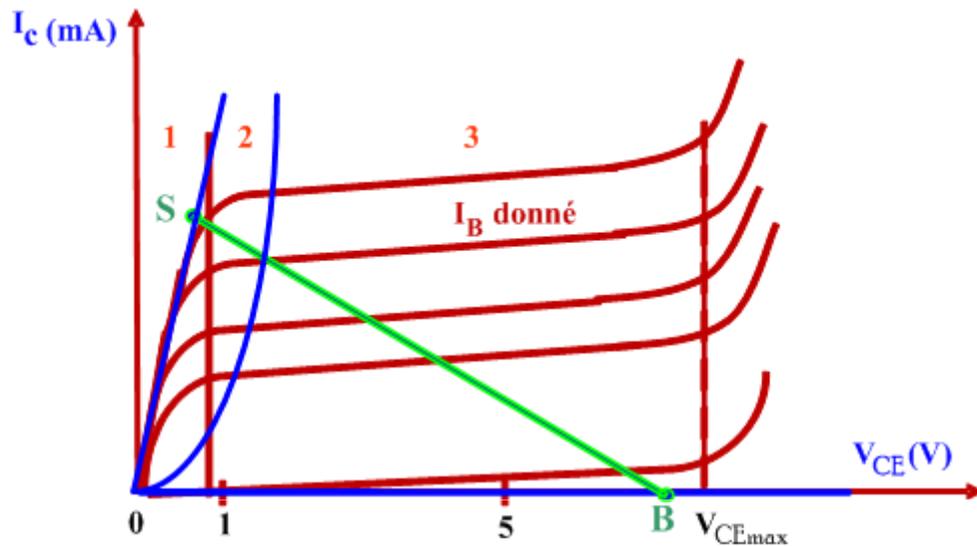
- Transistor faible puissance (petits signaux), $I_C < 1A$; $V_{CE0} < 50V$ et $100 \leq h_{21} \leq 500$.
- Transistor forte puissance qlq 10A, $V_{CE0} > 100V$ et h_{21} de 5 à 10
- Etat bloqué : $I_B = 0$ alors $I_C = I_{CE0}$ (très faible) ≈ 0
- Etat saturé: $I_B \geq I_{Bsat}$ alors $V_{CE} \approx 0$;

avec :
$$I_{Bsat} = \frac{I_{Csat}}{h_{21}} = \frac{I_{Csat}}{\beta}$$

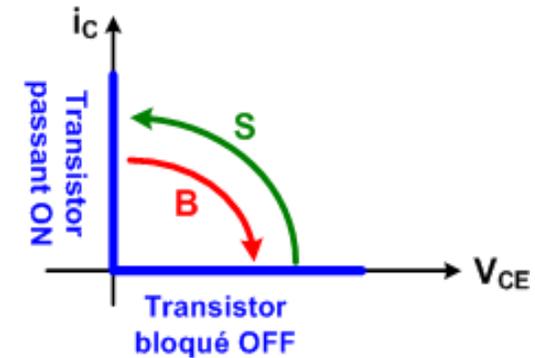
Donc :

- ☞ Haute tension et fort courant \Rightarrow structure NPN
- ☞ Un interrupteur totalement commandé, à l'ouverture et à la fermeture.

a- Caractéristiques statiques :



Caractéristiques de sortie



Caractéristique idéalisée

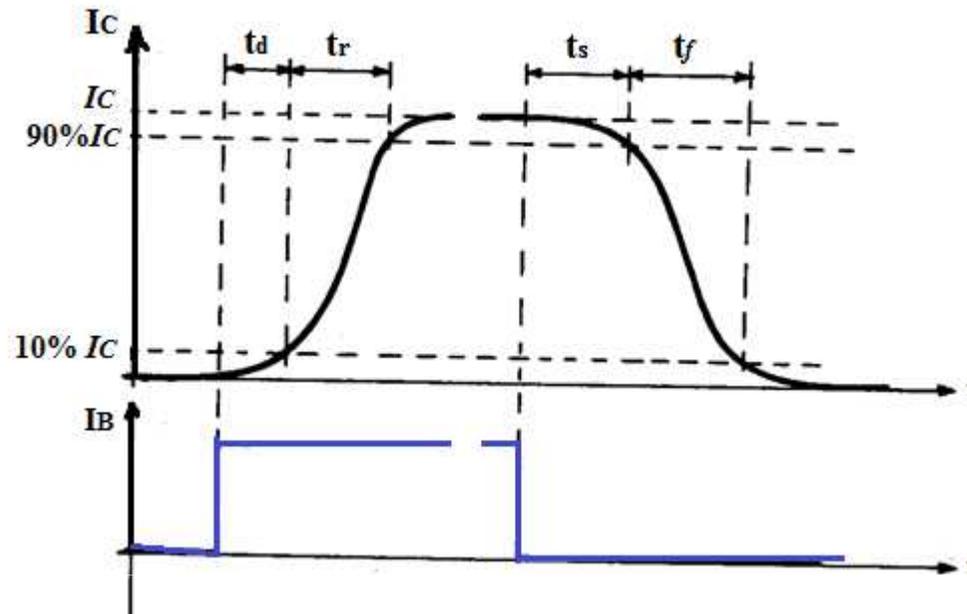
Zone 1 : Saturation

Zone 2 : Quasi saturation

Zone 3 : Fonctionnement linéaire (amplification)

Commandé en courant, commande maintenue tant que le Transistor est fermé.

b- Comportement dynamique :



$$t_{on} = t_d + t_r$$
$$t_{off} = t_s + t_f$$

0,5 à 3 μ s
1 à 7 μ s

c- Avantages :

- Temps de commutation plus courts permettent aux transistors de travailler à des fréquences plus élevées que les thyristors.
- La commande de l'ouverture plus facile que pour un thyristor.

d- Inconvénients :

- Le courant de commande est très important ($\geq I_{csat} / \beta$) et doit être maintenu durant tout le fonctionnement saturé.

e- Pertes par commutation :

L'ensemble des pertes dissipées dans le transistor en commutation sont :

- pertes à la fermeture
- pertes à l'ouverture
- pertes à l'état conducteur

✓ les pertes en commutation sont données par : $W = \int_0^t V_{CE} \cdot I_C \cdot dt$

$$W = \int_0^{t_r} V_{CE} \cdot I_C \cdot dt$$

Pour le temps de monté
⇒ à la fermeture

$$W = \int_0^{t_f} V_{CE} \cdot I_C \cdot dt$$

Pour le temps de descente
⇒ à l'ouverture

✓ les pertes en conduction : $W = (V_{CE} I_C)_{saturation}$

Le calcul approximatif des **pertes par commutation** peut se faire en supposant la variation linéaire de i_C pendant les temps de monté et de descente. Celle de v_{CE} sera négligée.

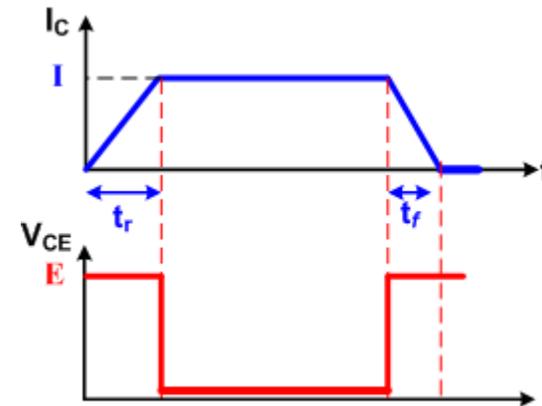
Exemple de calcul de pertes :

$$W_{ON} = \int_0^{t_r} V_{CE} \cdot I_C dt = \int_0^{t_r} E \cdot I \cdot \frac{t}{t_r} dt$$

$$W_{ON} = \frac{1}{2} E \cdot I \cdot t_r$$

$$W_{OFF} = \int_0^{t_f} V_{CE} \cdot I_C dt = \int_0^{t_f} E \cdot I \cdot \frac{t_f - t}{t_f} dt$$

$$W_{OFF} = \frac{1}{2} E \cdot I \cdot t_f$$



D'où les pertes en commutation :

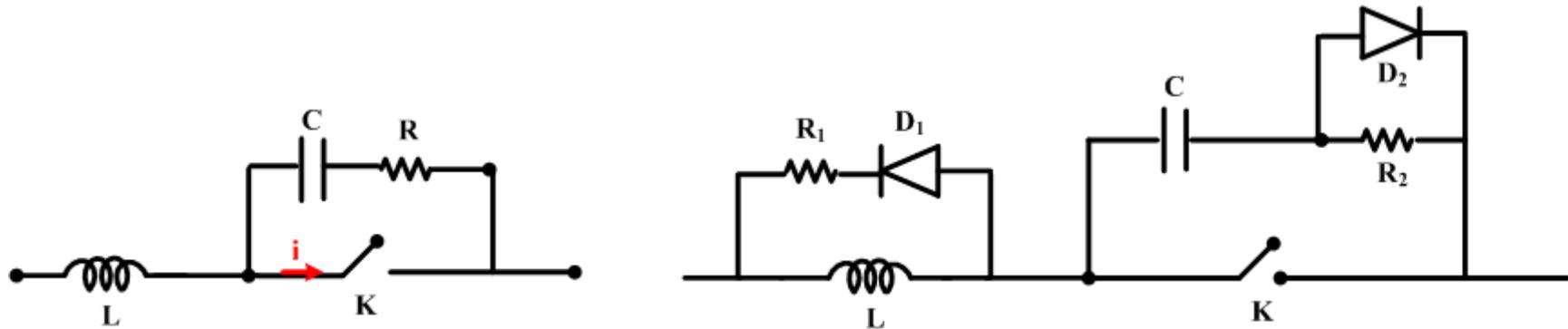
$$W_{com} = \frac{1}{2} E \cdot I \cdot (t_f + t_r)$$

les pertes en conduction :

$$W_{con} = (V_{CE} I_C)_{saturation} = V_{CEsat} \cdot I$$

f- Protection du transistor par un CALC (circuit d'aide à la commutation) :

Les **CALC** (« snubbers » ou adoucisseurs) sont souvent utilisés pour amortir les oscillations induites par le circuit LC.

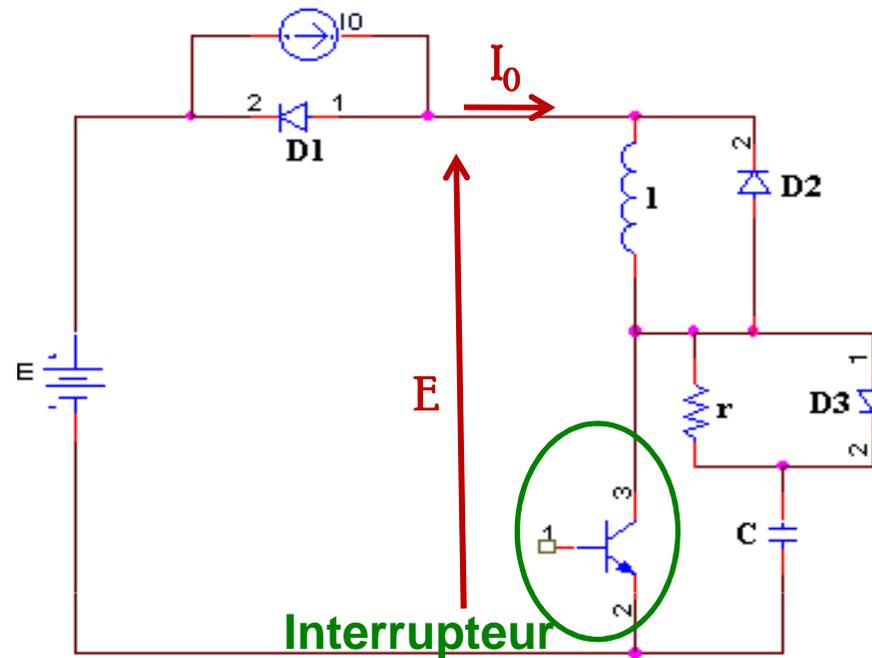


D_1 , : diode de roue libre plus rapide que le Tr (protection contre les surtensions)

C , R_2 , D_2 : protection à l'ouverture de Tr (retarde la tension).

L : protection à la fermeture de Tr (retarde le courant).

Exemple :



En général :

La puissance moyenne dissipée durant la commutation dans l'interrupteur est :

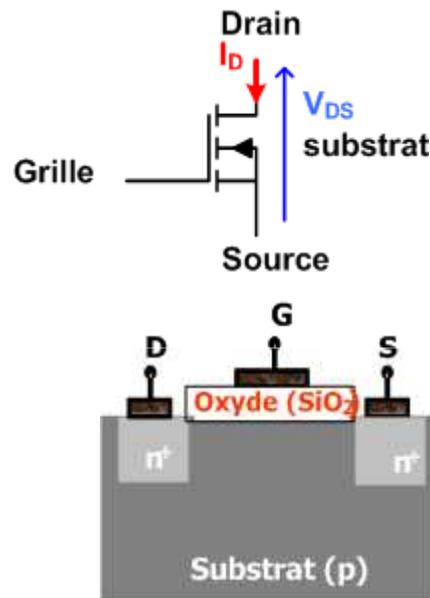
$$P_c = \frac{1}{2} E I_0 f \cdot (t_r + t_f)$$

La puissance moyenne dissipée durant l'état *on* : $P_{on} = V_{on} I_0 f$

f est la fréquence de commutation.

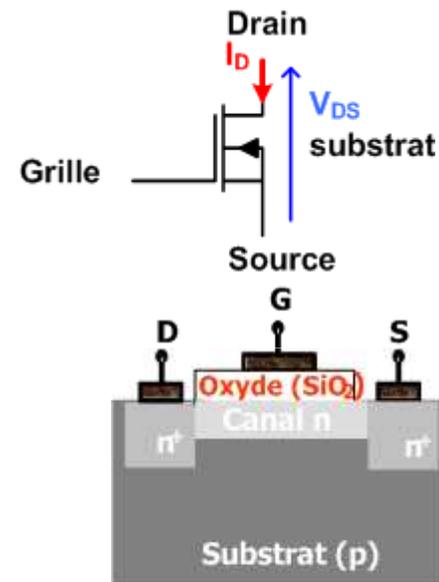
5- MOSFET de puissance :

Le transistor MOS ou MOSFET est un composant à **3 électrodes D, S et G** qui constitue l'électrode de commande. La grille est isolée du composant par une couche d'oxyde. Le courant de drain est contrôlé par la tension de grille.



Tr MOS à enrichissement

Tr MOS à canal N

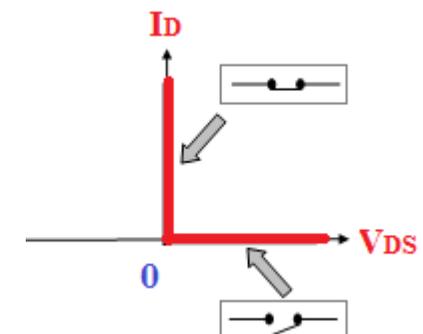


Tr MOS à appauvrissement

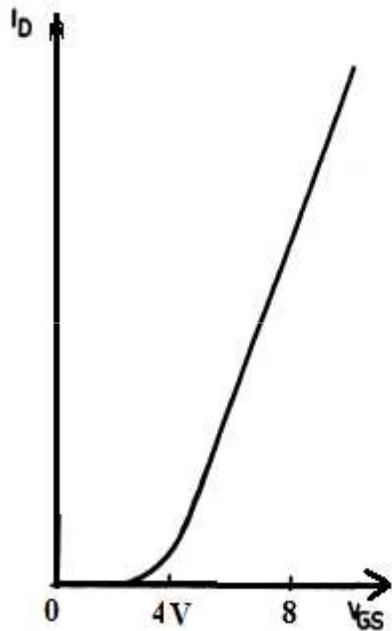
Pour le transistor MOS à enrichissement, les conditions de fonctionnement sont caractérisées par :

$$V_{GS} > V_{GS \text{ seuil}} \Rightarrow \text{MOS passant} \Rightarrow v_{DS} = 0 \text{ et } i_D > 0$$

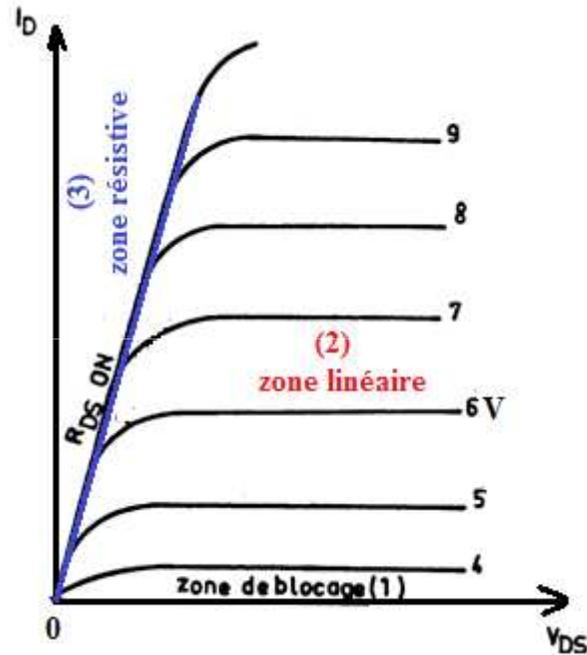
$$V_{GS} = 0 \Rightarrow \text{MOS bloqué} \Rightarrow v_{DS} > 0 \text{ et } i_D = 0$$



- ➡ Un interrupteur à ouverture et à fermeture commandée,
- ➡ Commandé en tension,
- ➡ La commande requiert très peu d'énergie,
- ➡ Caractéristiques statiques → très proches des transistors bipolaires



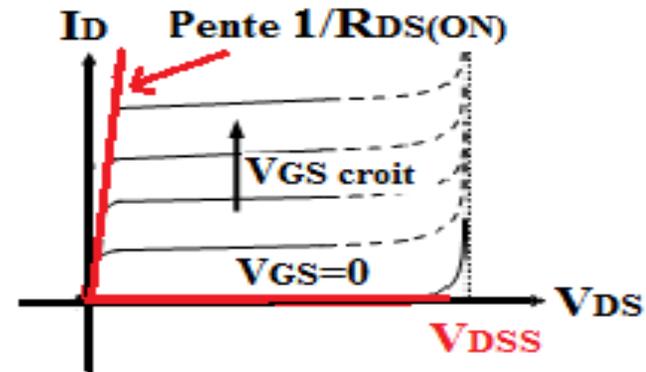
Caractéristique de transfert



Caractéristique de sortie
 $I_D = f(V_{DS})$ à V_{GS} donné

- Zone (1) de blocage $I_D = 0$
- Zone (2) linéaire I_D commandé par V_{GS}
- Zone (3) résistive : le MOSFET est équivalent à une résistance $R_{DS(ON)}$

A l'état passant, le MOS se comporte comme une résistance R_{DS} Contrôlée par V_{GS} . Cette résistance à l'état **ON** $R_{DS}(ON)$ augmente rapidement avec la tension bloquée. Ce qui entraîne une dissipation de puissance à l'état **OFF**.



Les MOSFETs sont unipolaires, donc très rapides (leur fonctionnement fait intervenir uniquement les porteurs majoritaires (électrons)) .



Leur temps de commutation rapide $\Rightarrow P_c$ faibles
la fréquence de commutation est typiquement supérieure à 30-100kHz

Les MOSFETs sont utilisés pour des tensions supérieures à 1000V pour les faibles courants, ou à des courants supérieurs à 100A pour des faibles tensions.

6-Transistor bipolaire à grille isolée (IGBT) :

(Transistor bipolaire à grille isolée, ou Insulated Gate Bipolar Transistor)

L'IGBT est un transistor bipolaire à commande par effet de champ. C'est l'association d'un transistor bipolaire et d'un MOSFET. Il réunit dans le même composant les avantages du bipolaire et du MOS.

- **Bipolaire** : chute de tension faible à l'état passant, tension directe bloquée élevée.
- **MOS** : commande en tension (I_{Grille} quasi nul), temps de commutation faible.

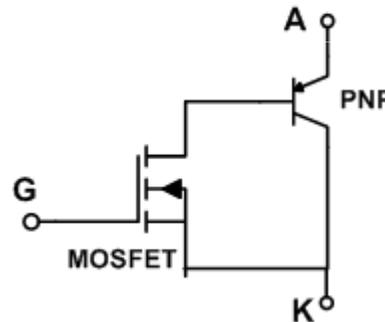
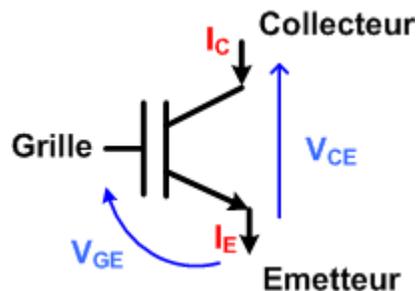
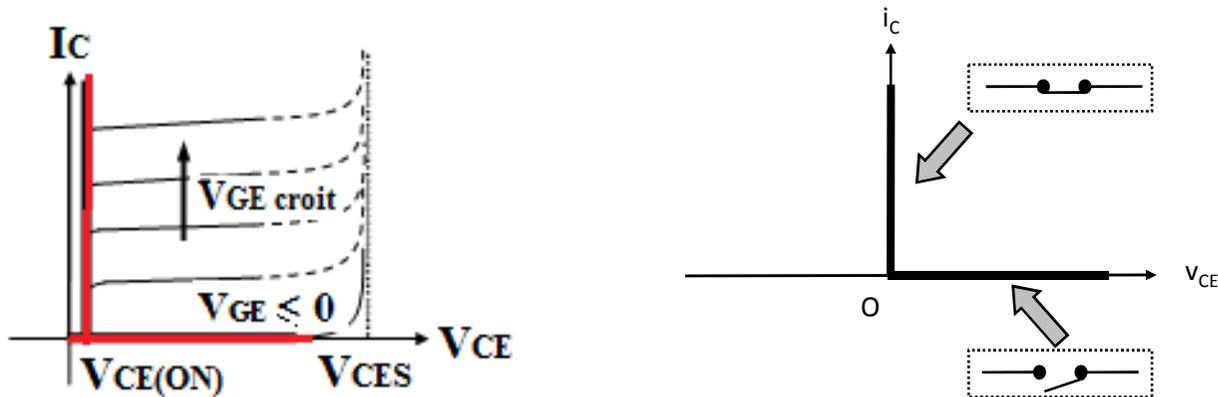


Schéma équivalent simplifié \equiv
Tr bipolaire commandé par un MOSFET

- ☞ **Similaire au MOSFET, l'IGBT possède une impédance de grille importante, autorisant une commutation avec un faible apport d'énergie.**
- ☞ **Comme le BJT, l'IGBT possède une tension à l'état passant faible, même pour des tensions bloquées importantes (ex : $V_{\text{ON}} \approx 2$ à 3V pour des tensions bloquées $> 1000\text{V}$).**

Caractéristiques :



L'IGBT est **commandé en tension** par la tension V_{GE} , ses conditions de fonctionnement sont caractérisées par :

$$V_{GE} > 0 \Rightarrow \text{IGBT passant} \Rightarrow v_{CE} = 0 \text{ et } i_c > 0$$

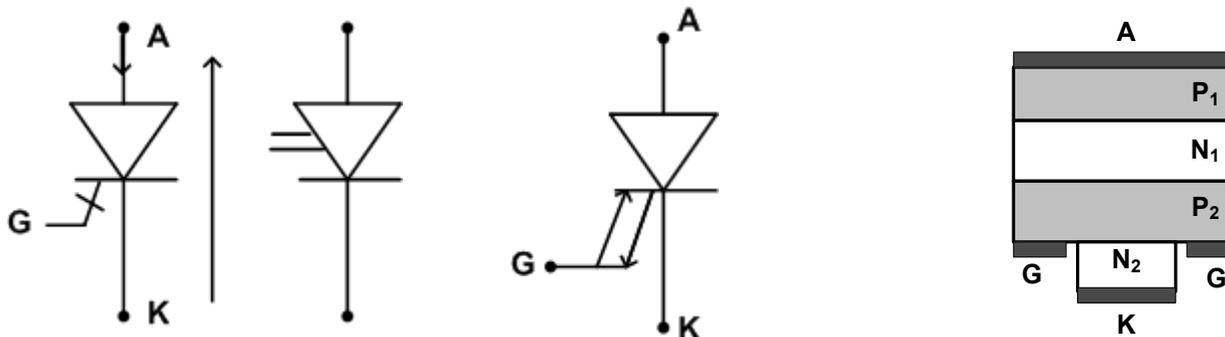
$$V_{GE} \leq 0 \Rightarrow \text{IGBT bloqué} \Rightarrow v_{CE} > 0 \text{ et } i_c = 0$$

Donc : l'IGBT est aussi un interrupteur à ouverture et à fermeture commandée.

7-Thyristors commandés à l'ouverture (GTOs) :

- 👉 Le **GTO** est un interrupteur commandé à l'ouverture et à la fermeture.
- 👉 Comme le thyristor, le GTO peut être commandé de l'état **OFF** à l'état **ON** par une impulsion de courant brève appliquée sur la gâchette.
- 👉 Le GTO peut en plus être commandé de l'état **ON** à l'état **OFF** par application d'une tension Gâchette-Cathode négative, créant un fort courant négatif de gâchette .

La même gâchette sert pour commander la fermeture (**injecter I_G**) et l'ouverture (**extraire I_G**) de l'interrupteur.



- ☞ **Le GTO est réversible en tension ($V_{AK} > 0$ ou $V_{AK} < 0$) et non réversible en courant (I circule de A vers K).**
- ☞ **La caractéristique statique I(V) est identique à celle d'un thyristor .**
- ☞ **La chute de tension à l'état ON (2 à 3V) aux bornes d'un GTO est supérieure à un thyristor classique.**
- ☞ **les GTOs sont utilisés dans les applications de très forte puissance à des fréquences allant de quelques centaines de Hz à 10kHz.**

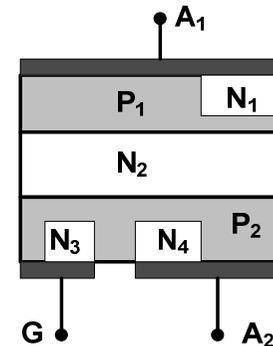
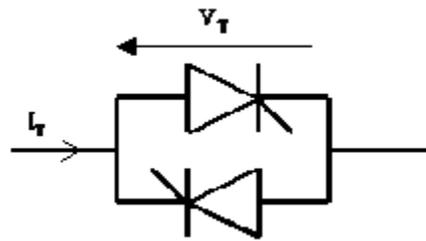
8- Autres interrupteurs :

- ➡ On peut créer d'autres interrupteurs électroniques de puissance en combinant les interrupteurs précédents (et leur commande).

Exemple : TRIAC

- le **triac** est la mise en parallèle de deux thyristors montés en tête-bêche (anode de l'un est reliée avec la cathode de l'autre) utilisant la même commande.

Même principe de fonctionnement que le thyristor.

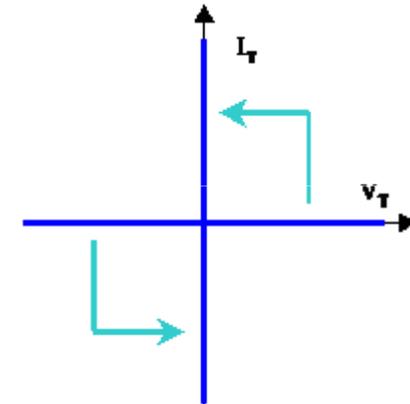
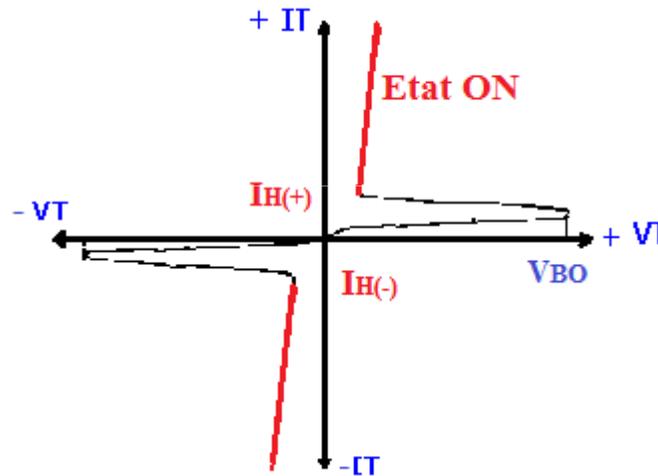
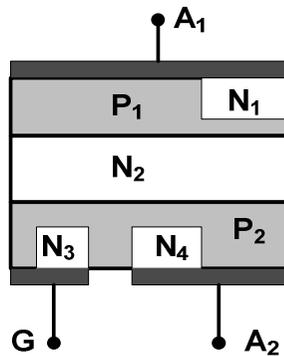


Structure d'un Triac

De part sa structure, le **triac** conduit aussi bien pour les alternances positives que négatives (contrairement au thyristor).

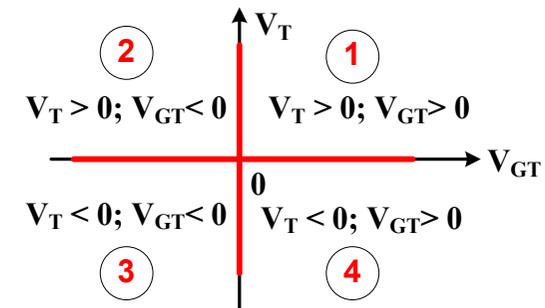
Fonctionnement :

- ✎ Pour V_T positif, $N_1P_1N_2P_2$ se comporte comme un Thyristor qui devient conducteur lorsque la tension V_T atteint la tension de claquage de la jonction $P_2 N_2$ polarisée dans le sens inverse.
- ✎ Pour V_T négatif, $N_4P_2N_2P_1$ se comporte comme un 2^{ème} Thyristor qui devient conducteur lorsque la tension V_T atteint la tension de claquage de la jonction $P_1 N_2$ polarisée dans le sens inverse.



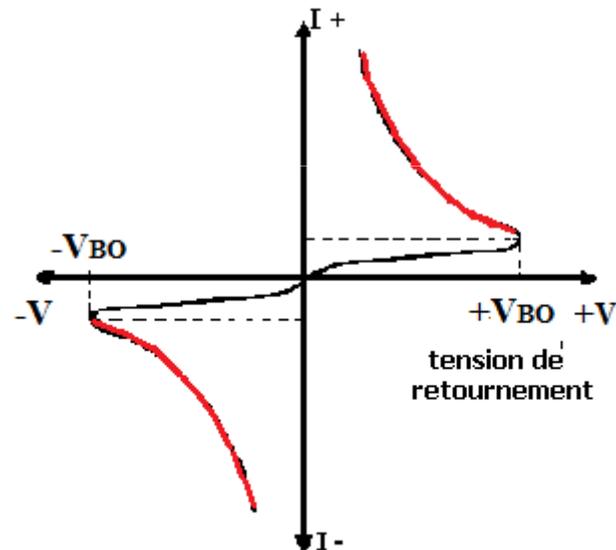
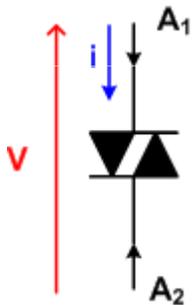
Caractéristiques réelle et idéale

- ✎ Il existe donc quatre modes d'amorçage suivant les polarités de A_1 et de G par rapport à A_2 . Ils correspondent aux quatre quadrants du plan V_T et V_{GT} .



Les Diacs :

- ➡ Un diac est un composant à amorçage (bidirectionnel) par la tension à ses bornes.
- ➡ Pas de présence de gâchette.
- ➡ Leur principale application est la commande d'allumage des TRIACS.

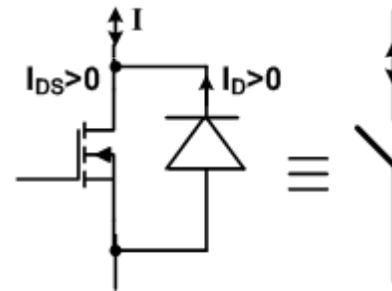
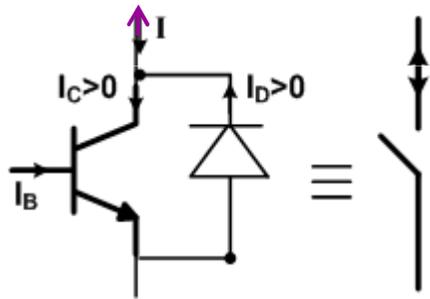


Caractéristique statique I(V)

- ➡ Fonctionnement en interrupteur fermé lorsqu'une tension V suffisante est appliquée à ses bornes (dépasse un certain seuil $V \# 32V$: tension de retournement).

9- Réversibilité des interrupteurs :

- ➡ Les transistors bipolaires et les MOS sont équivalents à des interrupteurs « **qualifiés un quadrant** » (tension et courant exclusivement positifs).
- ➡ Pour faire des interrupteurs réversibles en courant; on place une diode anti parallèle.

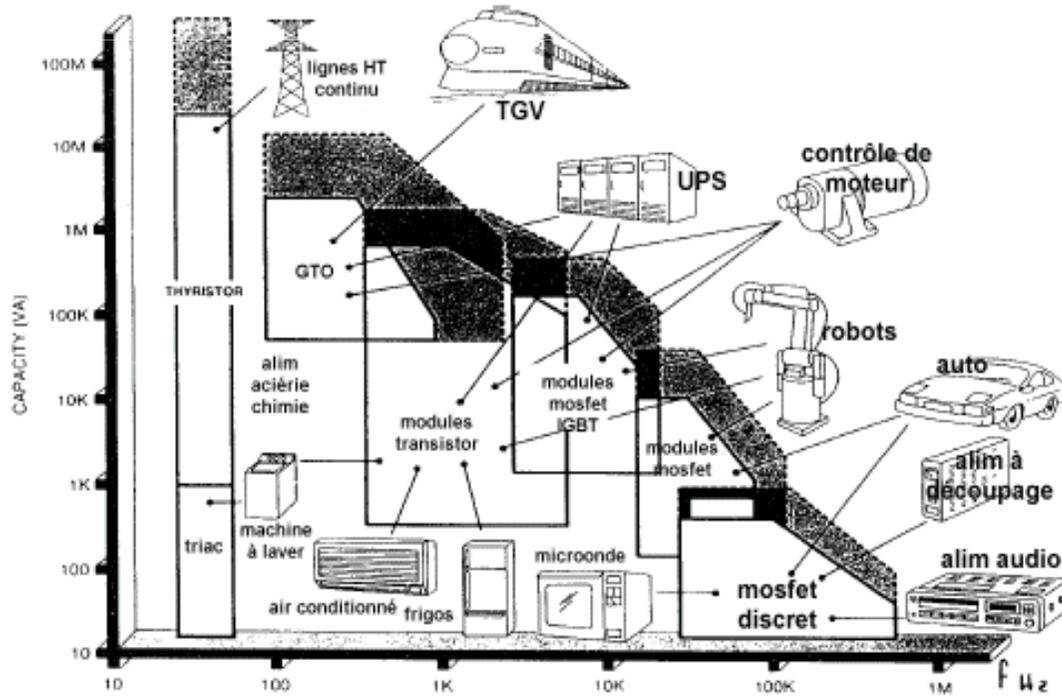
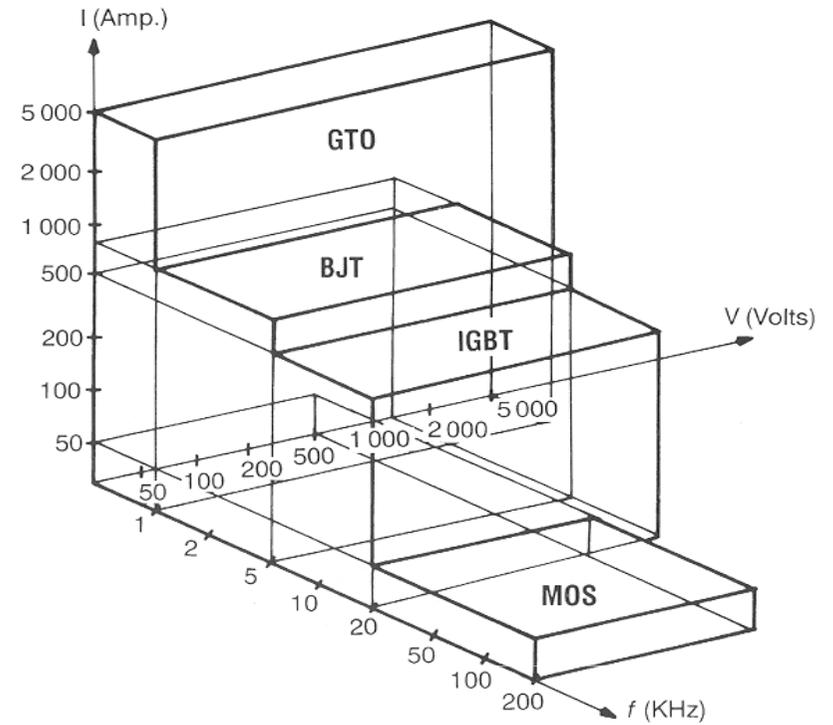


Comparaison des interrupteurs commandables :

<i>Composant</i>	<i>Puissance d'utilisation</i>	<i>Rapidité de commutation</i>
BJT	Moyen	Moyen
MOSFET	Faible	Rapide
GTO	Fort	Lent
IGBT	Moyen	Moyen

	Thyristor	Thyristor rapide	BJT	IGBT	GTO
Tension	6000V	1500V	1400V	1200V	4500V
Courant	5000A	1500A	500A	400A	3000A
Fréquence	1kHz	3kHz	5kHz	20kHz	1kHz

Performances des composants de puissance



Vue générale des applications des composants de puissance