

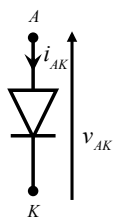
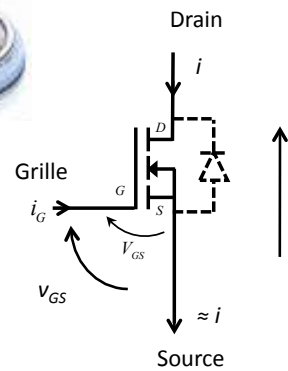
# COMPOSANTS DE L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

*Sciences Industrielles de l'Ingénieur  
 Ingénierie électrique*

Philippe MARSEILLE

3. Composants EP – P. MARSEILLE

1



3\_ComposantsEP\_v6.pptx

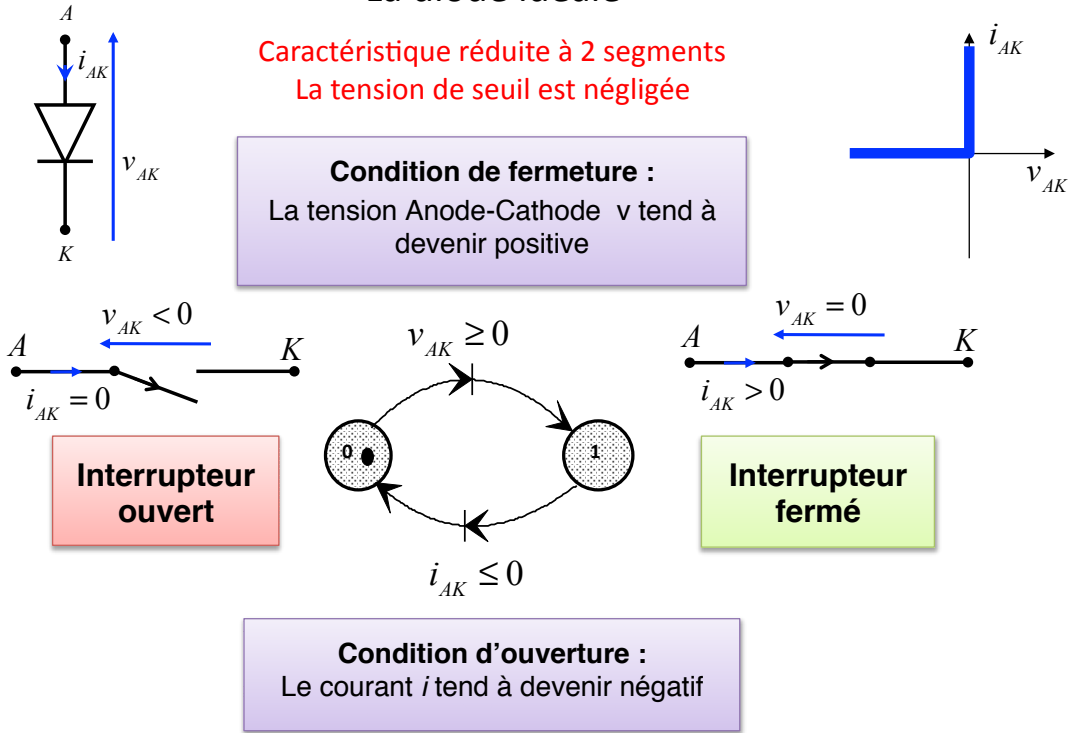
3. Composants EP – P. MARSEILLE

2



## La diode idéale

Caractéristique réduite à 2 segments  
La tension de seuil est négligée



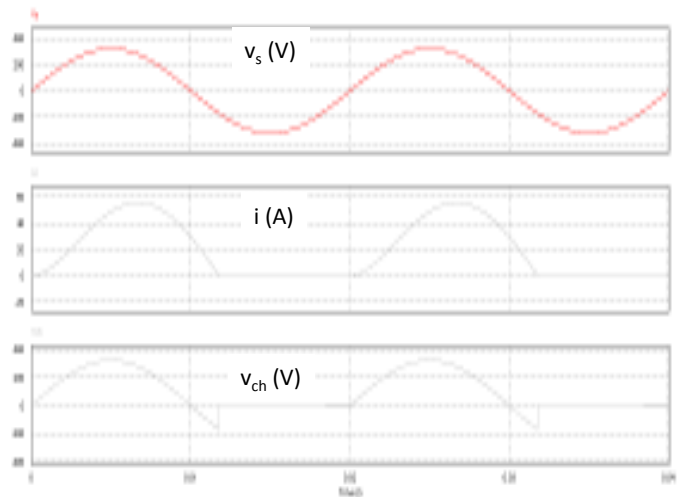
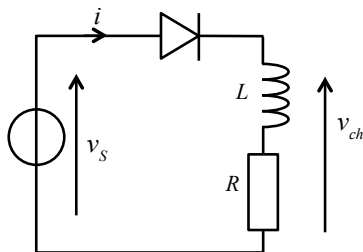
## La diode sur charge inductive

Cet exemple illustre bien le comportement de la diode de redressement

$$v_s(t) = V_s \sqrt{2} \sin(\omega t)$$

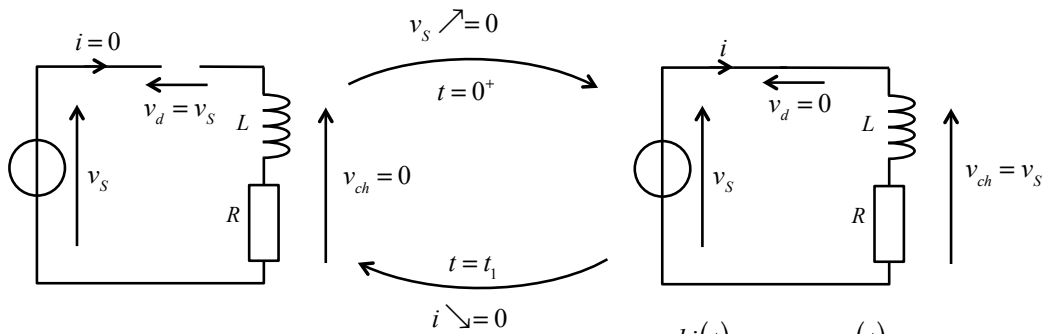
$$L = 10 \text{ mH} \quad R = 5 \Omega$$

$$V_s = 230 \text{ V}$$



## La diode sur charge inductive

$$v_s(t) = V_s \sqrt{2} \sin(\omega t)$$



$$\tau \frac{di(t)}{dt} + i(t) = \frac{v_s(t)}{R}$$

$$-\sin(\varphi_i) e^{-t/\tau} = \sin(\omega t_1 + \varphi_i) \quad \leftarrow \quad i(t_1) = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} i(t) = I\sqrt{2} \sin(\varphi_i) e^{-t/\tau} + I\sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi_i) \\ I = \frac{V_s}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} \quad \varphi_i = -\arctan(\tau \omega) \\ \tau = \frac{L}{R} \end{array} \right.$$

Solution graphique ou numérique

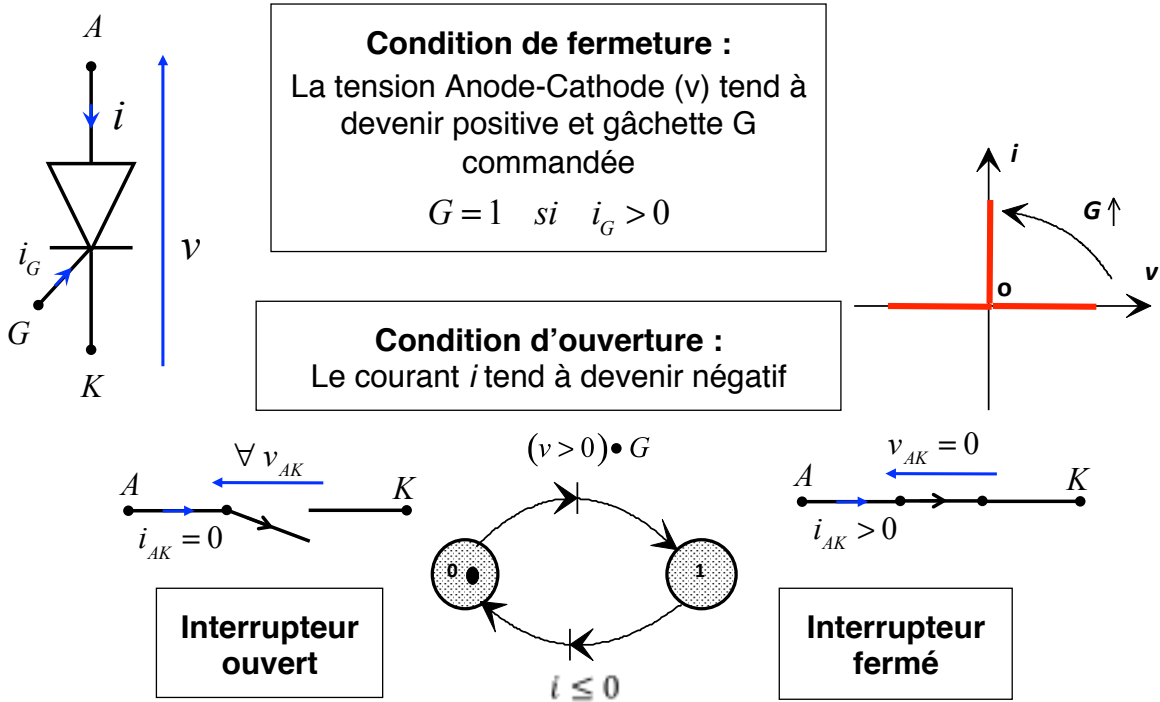
$$\frac{T}{2} \leq t_1 \leq T$$

Charge R

Charge L

# Le thyristor

## Modélisation fonctionnelle

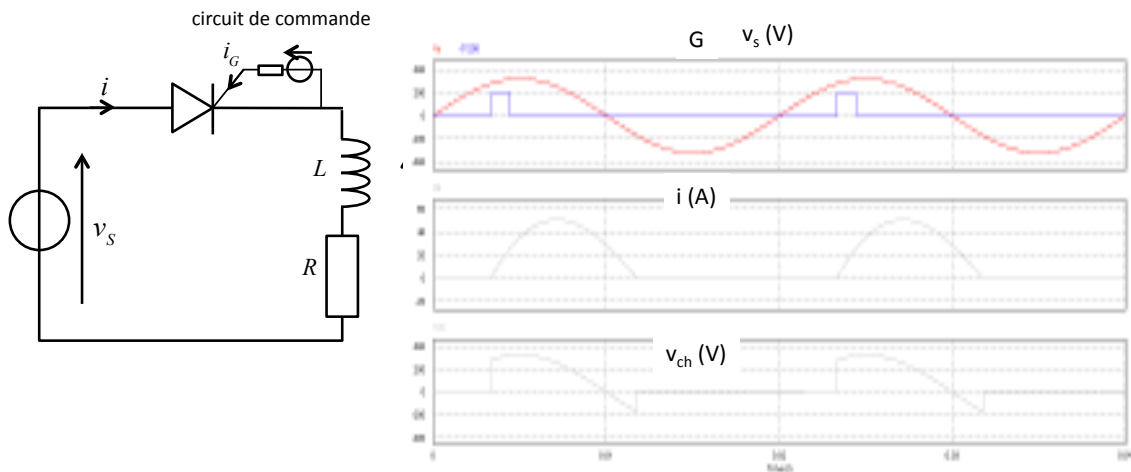


## Le thyristor sur charge inductive

$$v_s(t) = V_s \sqrt{2} \sin(\omega t)$$

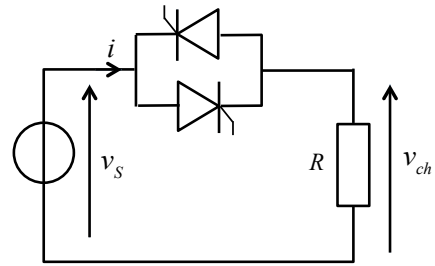
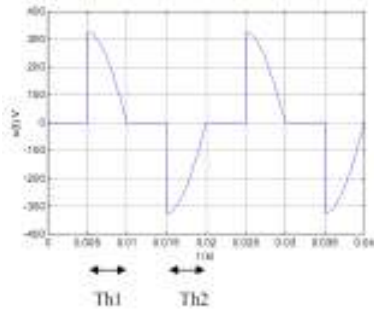
$$L = 10 \text{ mH} \quad R = 5 \Omega$$

$$V_s = 230 \text{ V}$$

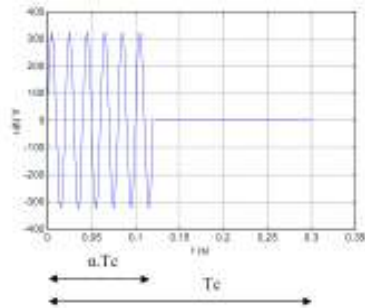


## Exemple d'application : le gradateur

### Gradateur à angle de phase

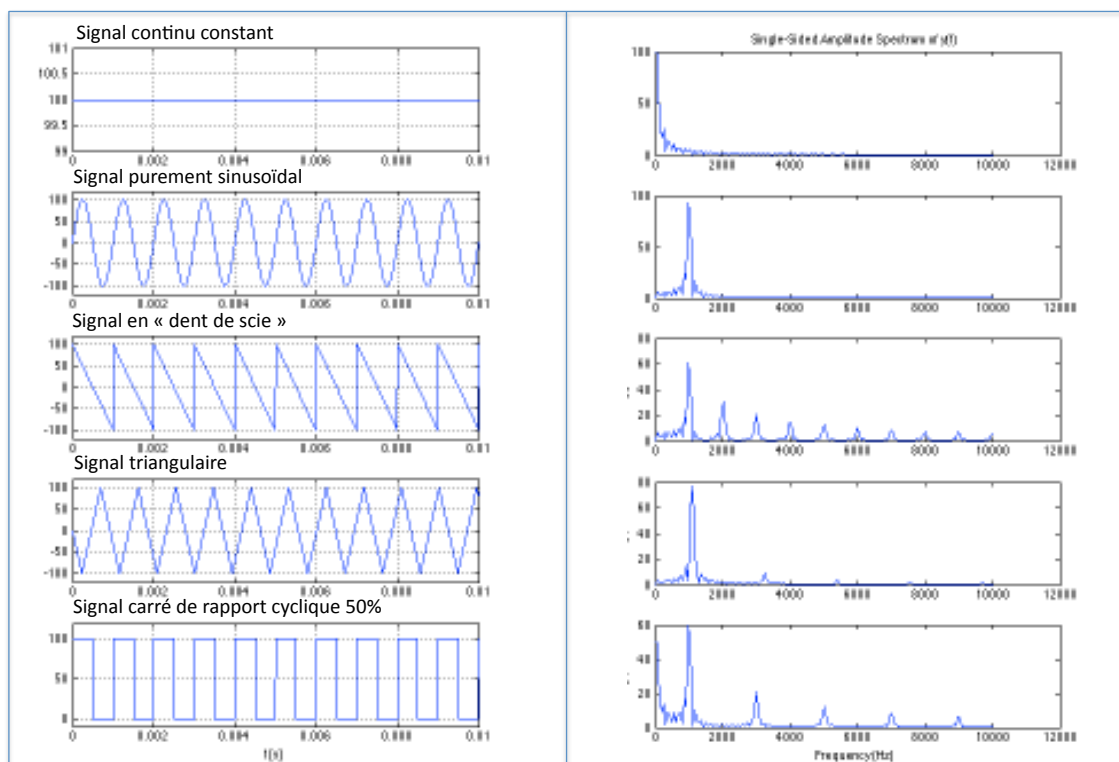


### Gradateur à train d'ondes



Concours ATS Génie Electrique 2006 : Étude d'une étuve thermique  
[http://www.upsti.fr/scenari/ATS\\_GE\\_2006/co/ATS\\_2006\\_GE\\_web.html](http://www.upsti.fr/scenari/ATS_GE_2006/co/ATS_2006_GE_web.html)

## Correspondances temporel / fréquentiel



## Le thyristor Défauts notoires



### Amorçage spontané si

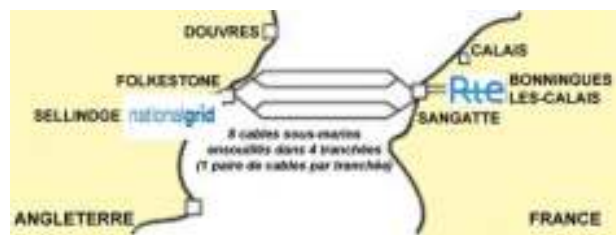
- Tension directe trop importante
- Forts  $dv/dt$

### Temps de recouvrement

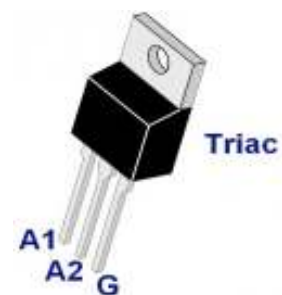
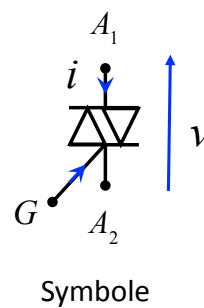
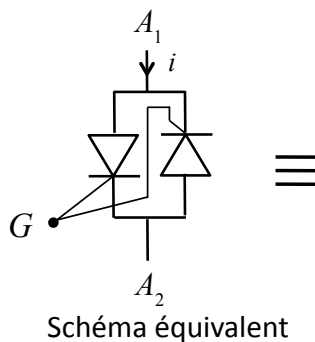
$t_q \approx 100\mu s$  : temps pour évacuer les charges stockées et repasser à l'état bloqué (limite la fréquence d'utilisation)

Le marché du thyristor se limite maintenant aux applications de très forte puissance. Exemple :

Liaison France Angleterre  
270 kV DC 2000 MW  
IFA 2000 (à droite)

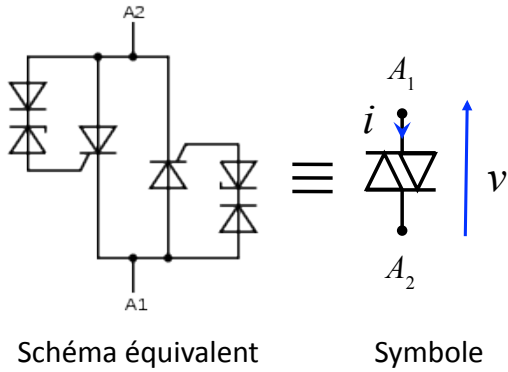


## Le triac

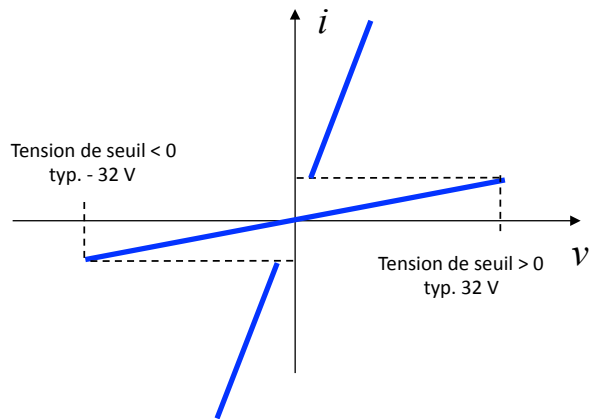


Le triac est un composant électronique équivalent à la mise en parallèle de deux thyristors montés tête-bêche (l'anode de l'un serait reliée à la cathode de l'autre, les gâchettes respectives étant, par exemple, commandées simultanément)

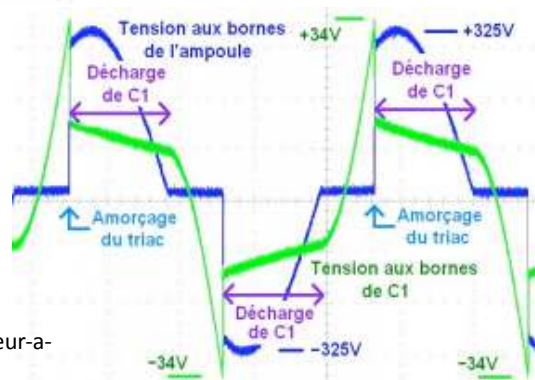
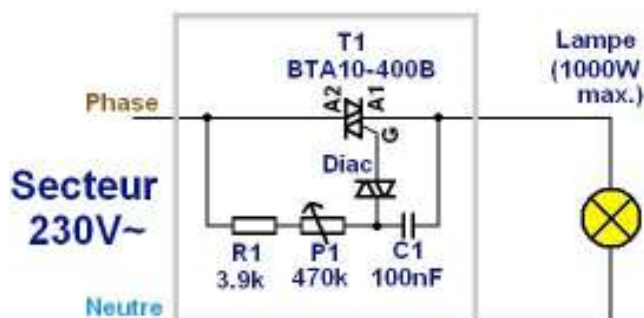
## Le diac



Sa principale application est la commande d'allumage de triacs.



## Variateur de lumière



<http://www.astuces-pratiques.fr/electronique/variateur-a-triac-fonctionnement-et-schema>

## Le thyristor GTO Gate Turn Off Thyristor

C'est un thyristor auquel on a ajouté une électrode pour l'ouverture



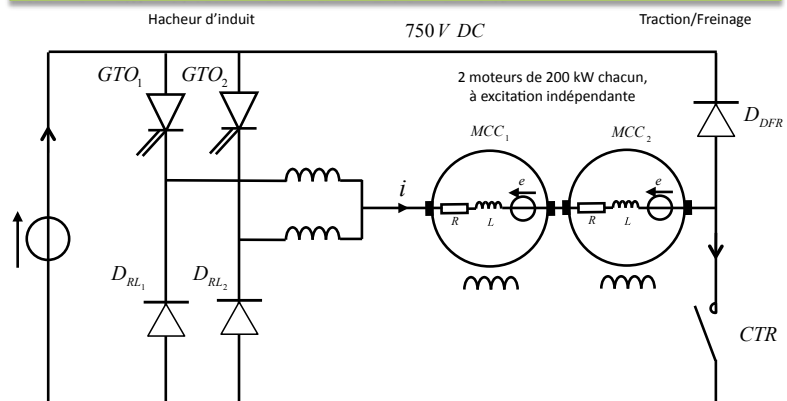
- Au blocage, la gâchette doit détourner 20% du courant d'anode et ce, pendant toute la durée de la commutation → composant limité en fréquence d'utilisation (300 Hz pour les rames du métro de Lille)
- Nécessité de circuits d'aide à la commutation de puissance → réduction du rendement global

## Application des thyristors GTO en traction



La fréquence de commutation des hacheurs est de 300 Hz.

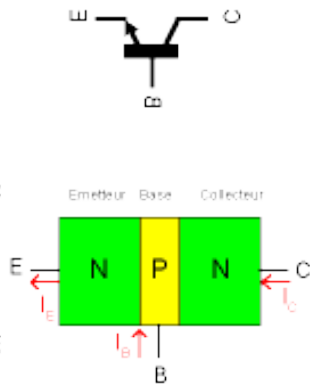
Les thyristors de chaque bras sont commandés simultanément (à la fermeture et à l'ouverture) ... → on réduit de moitié le courant dans chaque thyristor (dimensionnement).



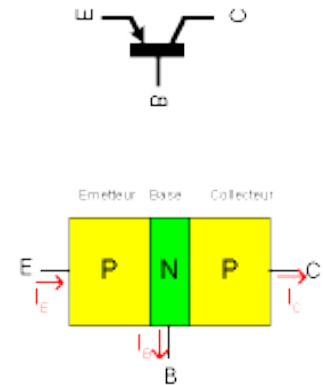
La diode DFR et le contacteur CTR autorisent les fonctionnements en traction et freinage électrique. Pour le mode de fonctionnement en traction, le contacteur CTR est fermé et la diode DFR est bloquée.

## Le transistor bipolaire

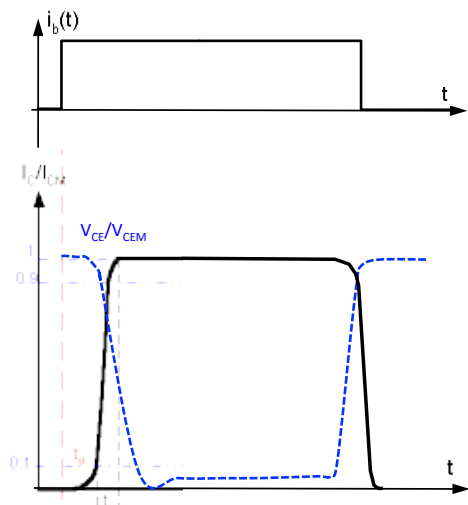
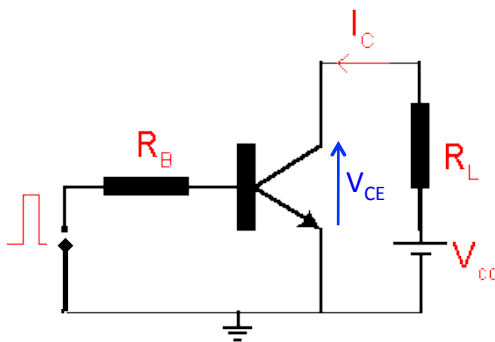
Transistor NPN



Transistor PNP

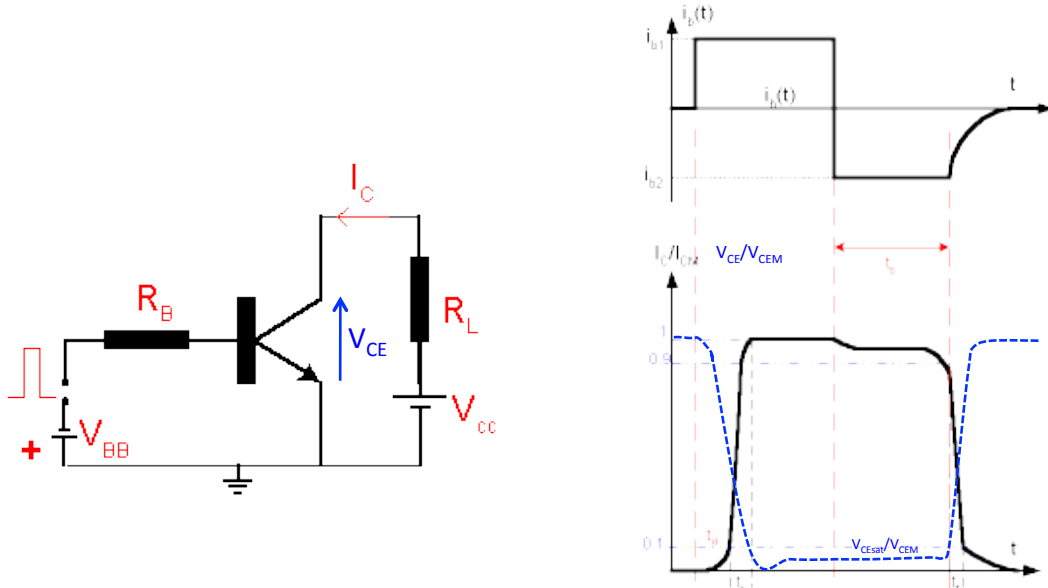


## Le transistor bipolaire en commutation



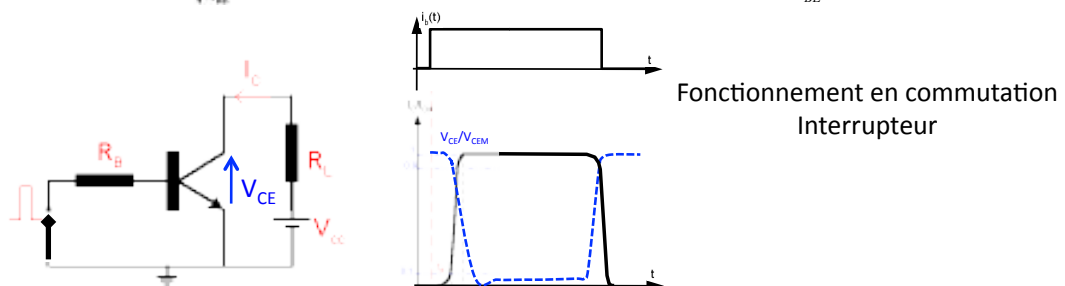
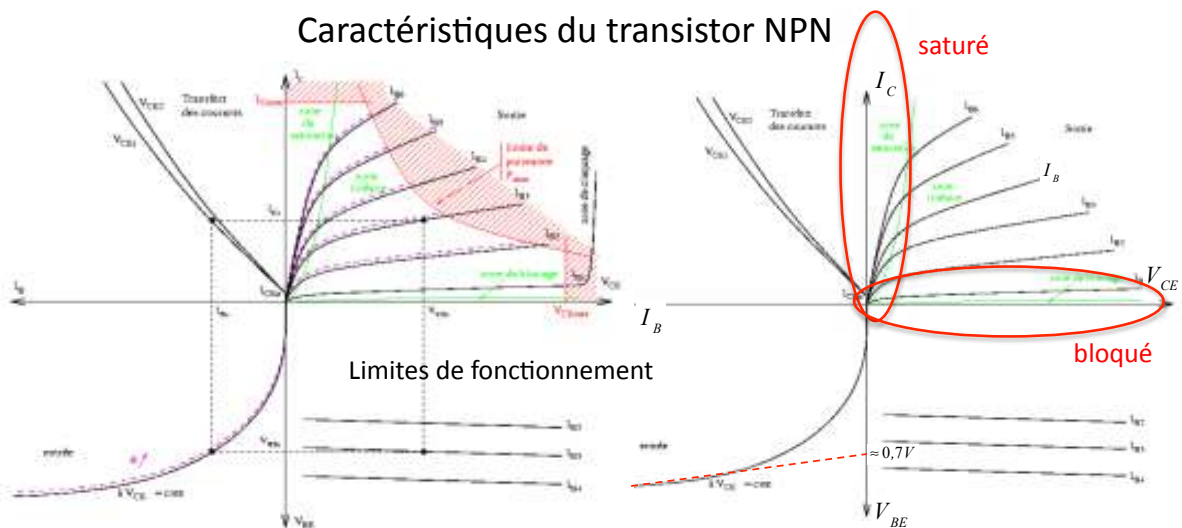
- Quasiment plus utilisé en électronique de puissance : supplanté par les MOSFET et IGBT
- Faible coût : Application de grande diffusion --> faible puissance
- Comme pour tous les composants réels, les **pertes en conduction** sont très inférieures aux **pertes en commutation** (présence simultanée de la tension et du courant pendant la commutation)

## Le transistor bipolaire en commutation

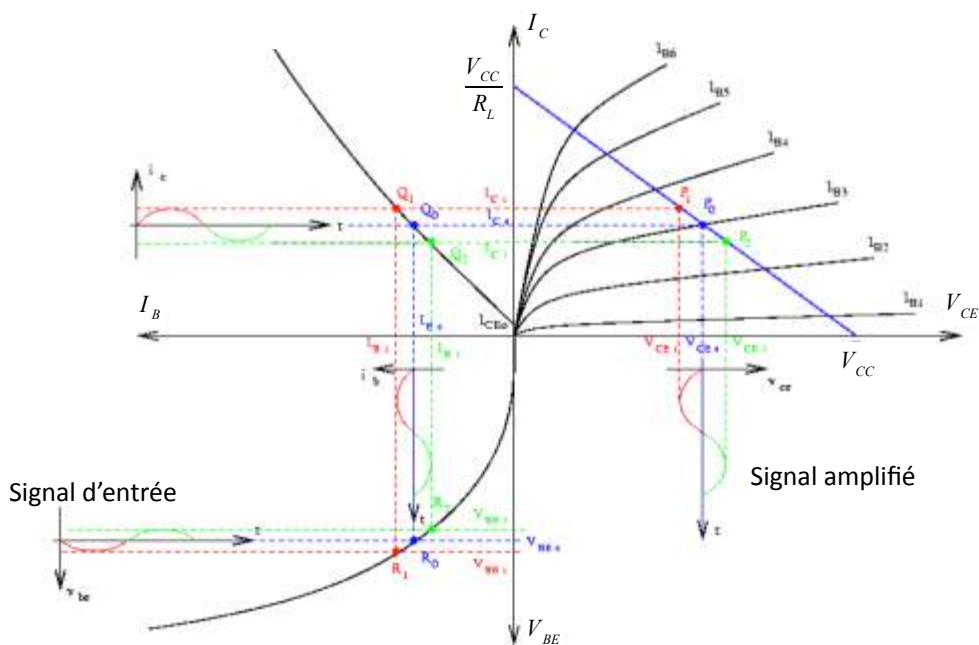


- Quasiment plus utilisé en électronique de puissance : supplanté par les MOSFET et IGBT
- Faible coût : Application de grande diffusion --> faible puissance
- Comme pour tous les composants réels, les **pertes en conduction** sont très inférieures aux **pertes en commutation** (présence simultanée de la tension et du courant pendant la commutation)

## Caractéristiques du transistor NPN



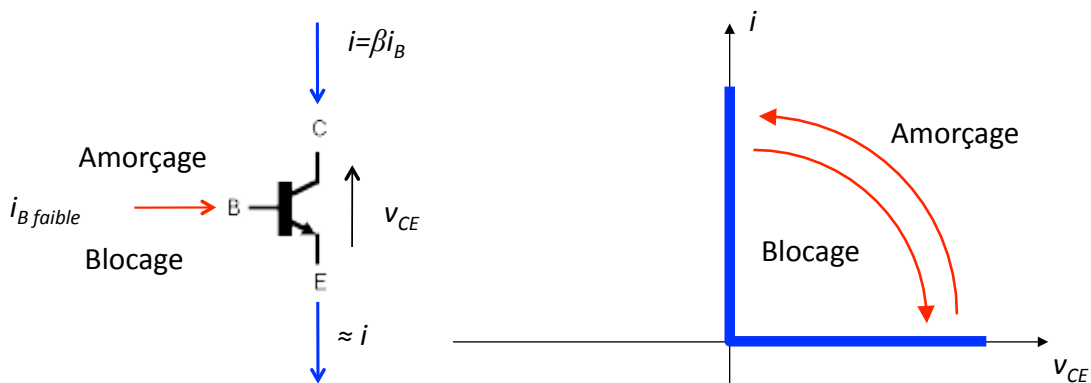
## Fonctionnement en régime linéaire



Amplification d'un signal

## Le transistor bipolaire

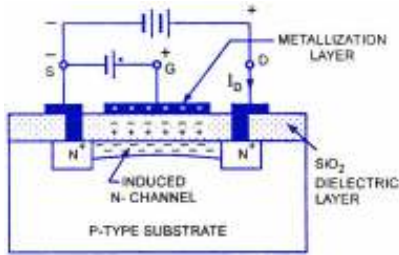
Le transistor bipolaire en commutation  
Transistor commandé par son courant de base



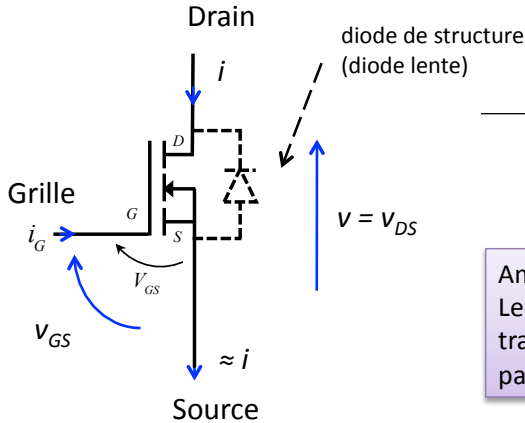
La circulation d'un courant  $i_b$  dans la jonction BE (Base-Emetteur) crée une liaison entre les électrodes collecteur et émetteur.  
Une source placée courant  $i$  peut circuler,  $\beta$  fois plus grand que  $i_B$  : le gain  $\beta$  est de l'ordre de 100 typiquement.

# Le transistor MOSFET

Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor



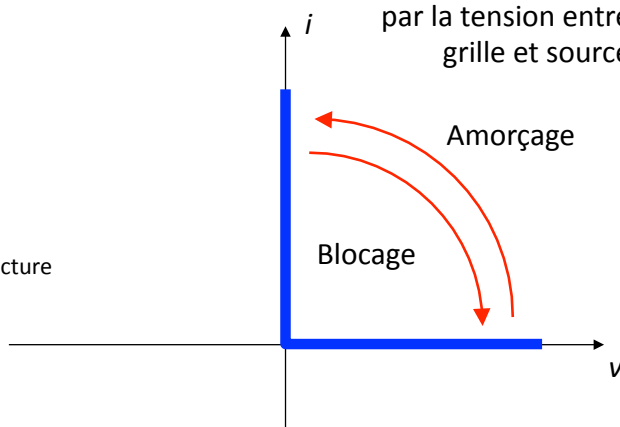
Operation of N-Channel E-MOSFET



Transistor commandé par la tension entre grille et source

Amorçage

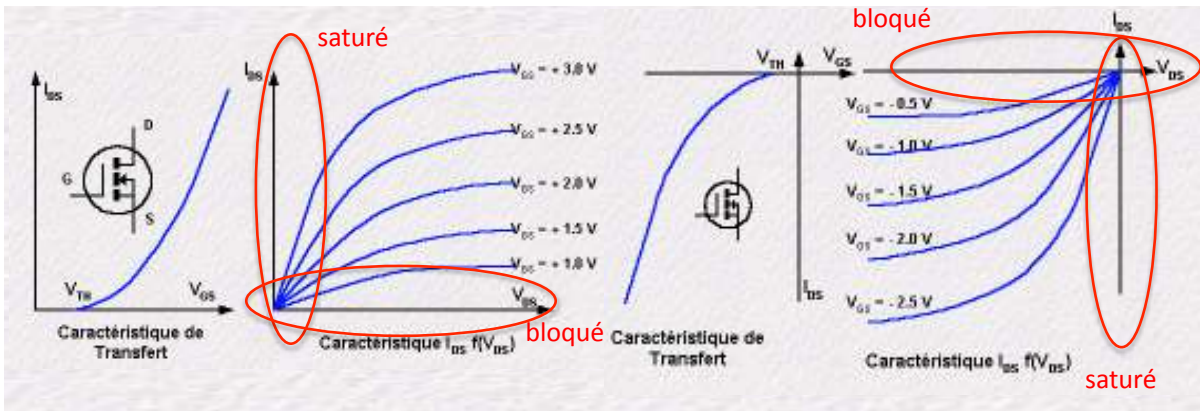
Blocage



Amorçage et blocage par  $V_{GS}$  (commande en tension)  
Le courant de grille n'existe que pendant les phases transitoires (commutations), pour charger les capacités parasites  $C_{Grille/Drain}$  et  $C_{Grille/Source}$

# Le transistor MOSFET

Caractéristiques réelles (E MOS (enrichissement))



E MOS Canal N

E MOS Canal P

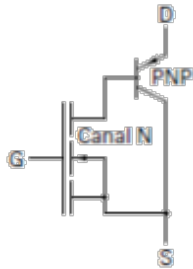
Remarque :  
En dehors du fonctionnement en commutation (saturé/bloqué), et aux faibles valeurs de la tension  $V_{DS}$  le transistor se comporte comme **une résistance variable, commandée par la tension  $V_{GS}$** .

# Le transistor IGBT

## Insulated Gate Bipolar Transistor

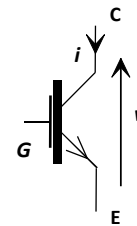
La structure MOSFET sert à polariser un transistor PNP

### Schéma équivalent



Boitier associant 2 IGBT de forte puissance

### Symbole



Electronique de puissance > 100V  
Onduleurs  
Redresseurs  
hacheurs ...

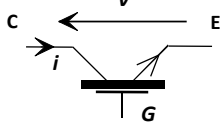
**Avantage :** chute de tension moins élevée  
**Inconvénient :** commutation plus lente, courant de traînée

On trouve principalement des IGBT « canal N ». La structure complémentaire « canal P » est possible, mais limitée aux petites puissances (pertes plus élevées, idem MosFet et bipolaires)

## La fonction « transistor » en général

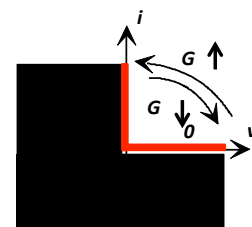
### Modélisation fonctionnelle

IGBT par exemple



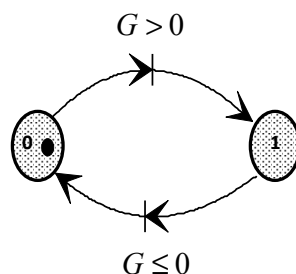
**Condition de fermeture :**  
Commande base G activée

**Condition d'ouverture :**  
Commande base G désactivée



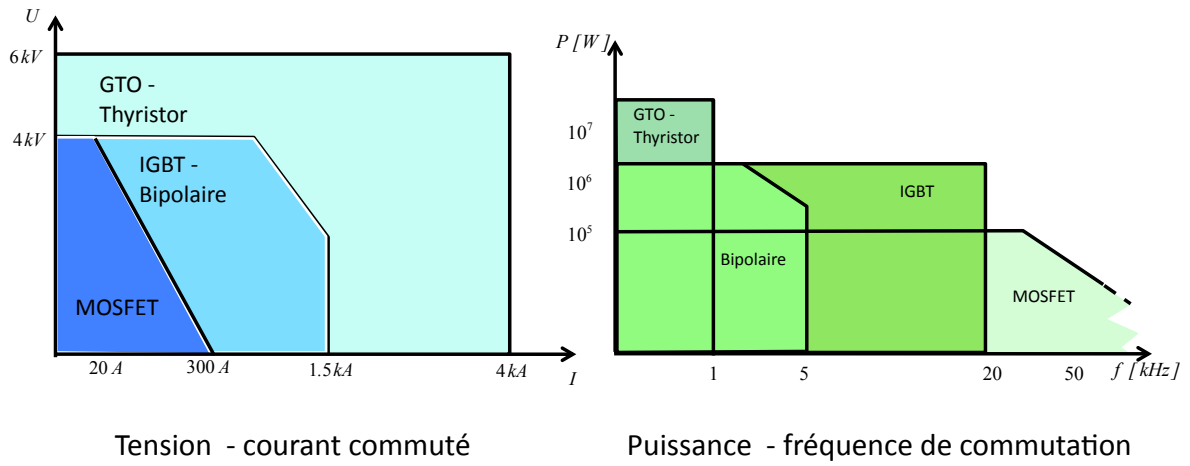
Le transistor ne peut tenir de tension ou de courant inverse  
Le transistor ne peut jamais être utilisé seul, il est toujours associé à une diode

**Interrupteur CE ouvert**



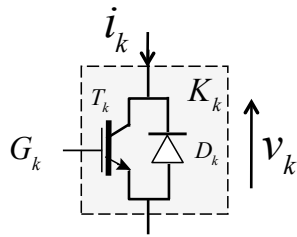
**Interrupteur CE fermé**

## Domaines d'utilisation des composants



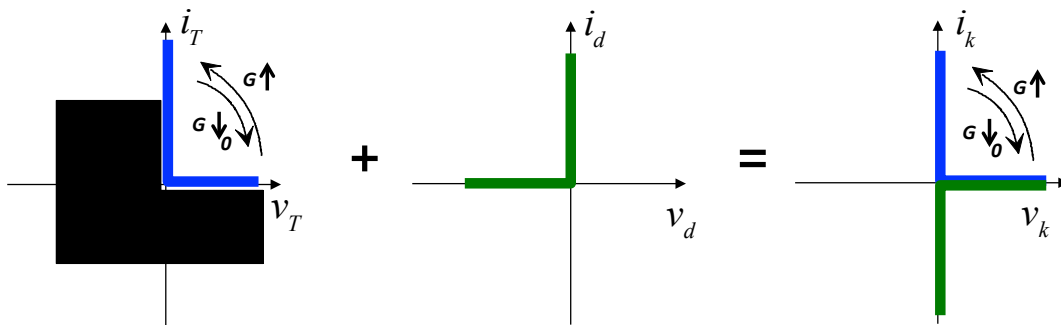
## Connexion bidirectionnelle en courant

### Interrupteur à 3 segments



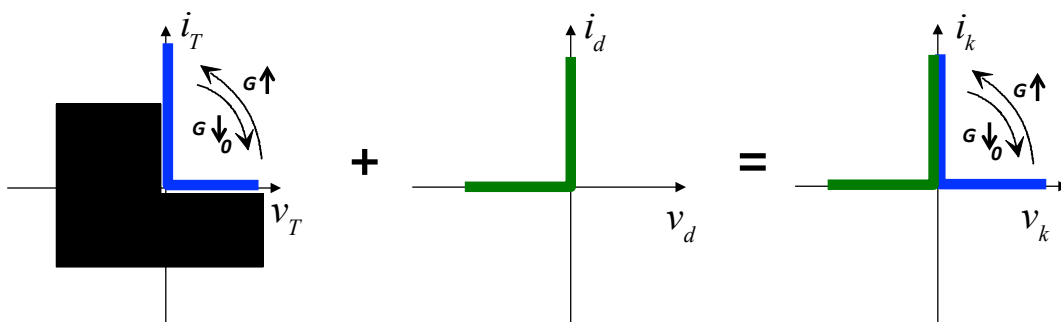
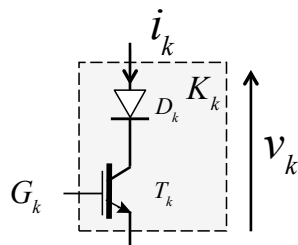
$$v_K = v_T = -v_d$$

$$i_K = i_T = -i_d$$



## Connexion bidirectionnelle en tension

### Interrupteur à 3 segments



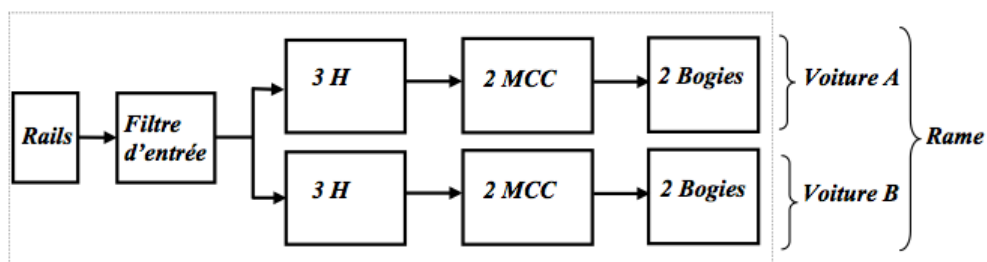
# ANNEXES

## Méto de Lille VAL 206



La propulsion du VAL 206 est répartie sur chaque voiture sachant que chaque bogie est motorisé. La propulsion de chaque motrice est indépendante et assurée par des machines à courant continu à excitation indépendante.

Les inducts des machines étant connectés en série, 3 hacheurs alimentent les circuits d'induits et d'inducteur.



Structure générale de la partie électrique d'une voiture

Pour réduire l'ondulation du courant de ligne, un filtre d'entrée, commun aux deux motrices, alimente les 2 voitures de la rame.



### Motorisation du métro de Lille VAL 206

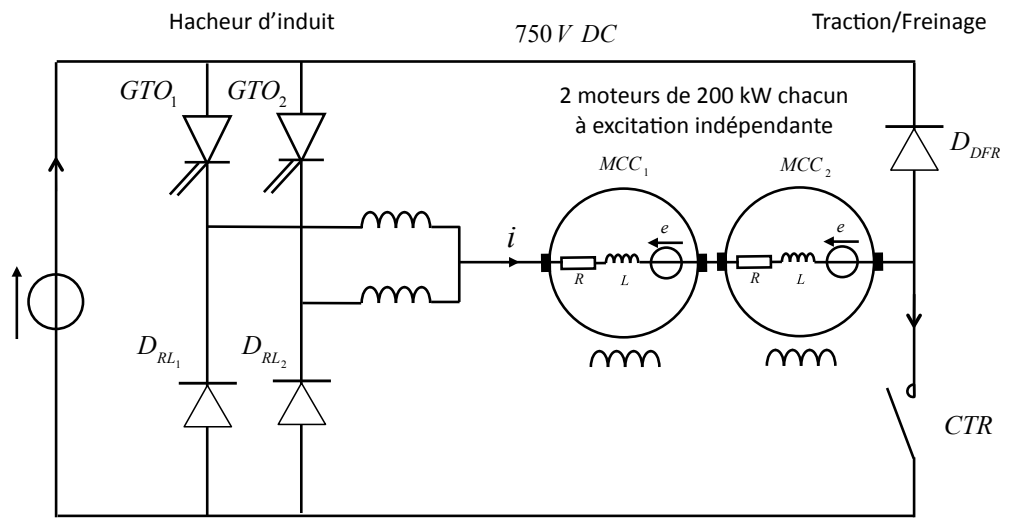


Schéma électrique de la propulsion d'une voiture du VAL 206

Les générations suivantes utilisent les thyristors GTO dans des onduleurs alimentant des MS

# Hacheur à transistors MOSFET

Centrale-Supélec TSI 2003 : Etude d'un chariot de golf électrique  
[http://www.upsti.fr/scenari/Centrale\\_TSI\\_S12\\_2003/co/IC1.html](http://www.upsti.fr/scenari/Centrale_TSI_S12_2003/co/IC1.html)

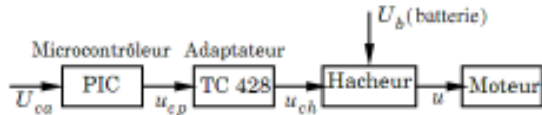
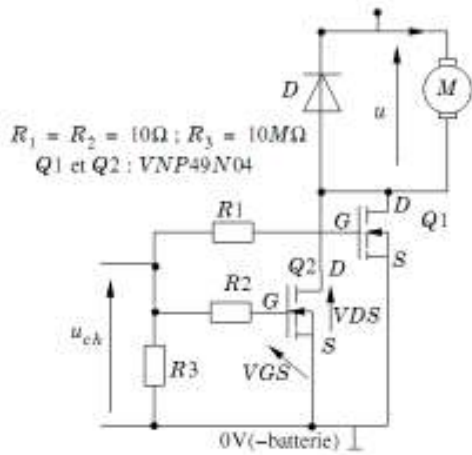


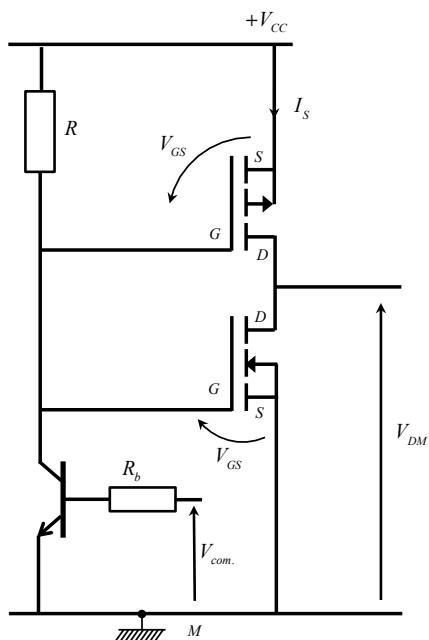
Figure 5 : Chaîne de commande du moteur

Figure 6 : Le hacheur  $U_b = +12\text{ V}(+ \text{ batterie})$

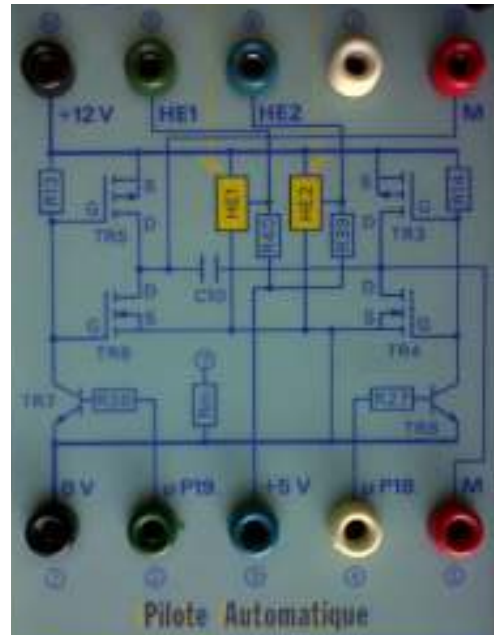
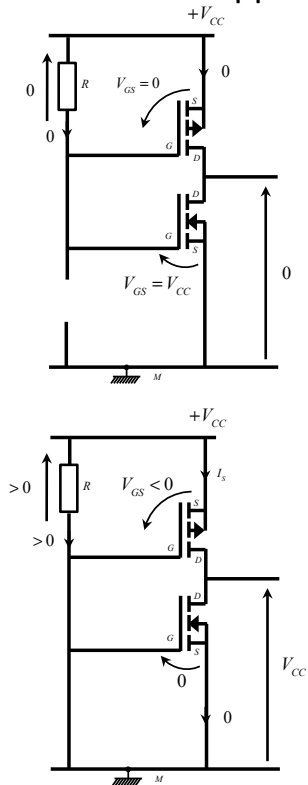


Le circuit TC428 est un driver de transistor MOSFET de puissance qui permet d'établir et d'annuler la charge stockée dans le condensateur grille-source pour assurer des commutations rapides. Les entrées sont compatibles CMOS/TTL et la sortie de ce circuit se comporte comme un générateur commandé.

## Application: hacheur du pilote automatique

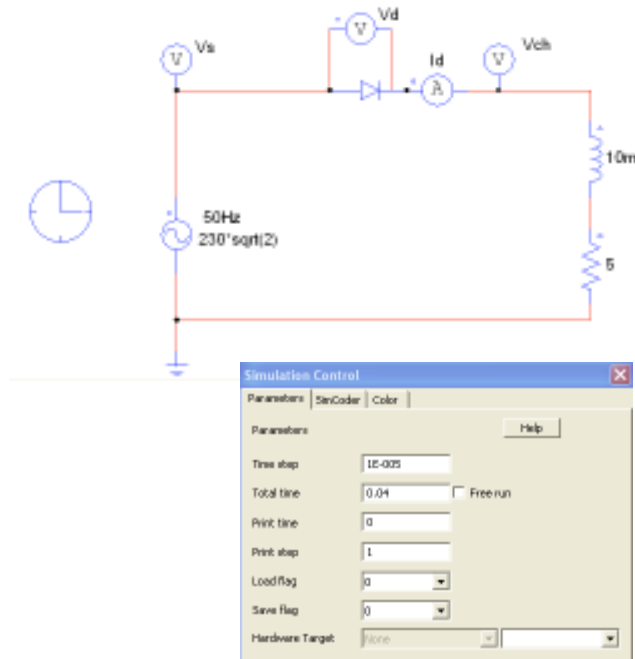


## Application: hacheur du pilote automatique

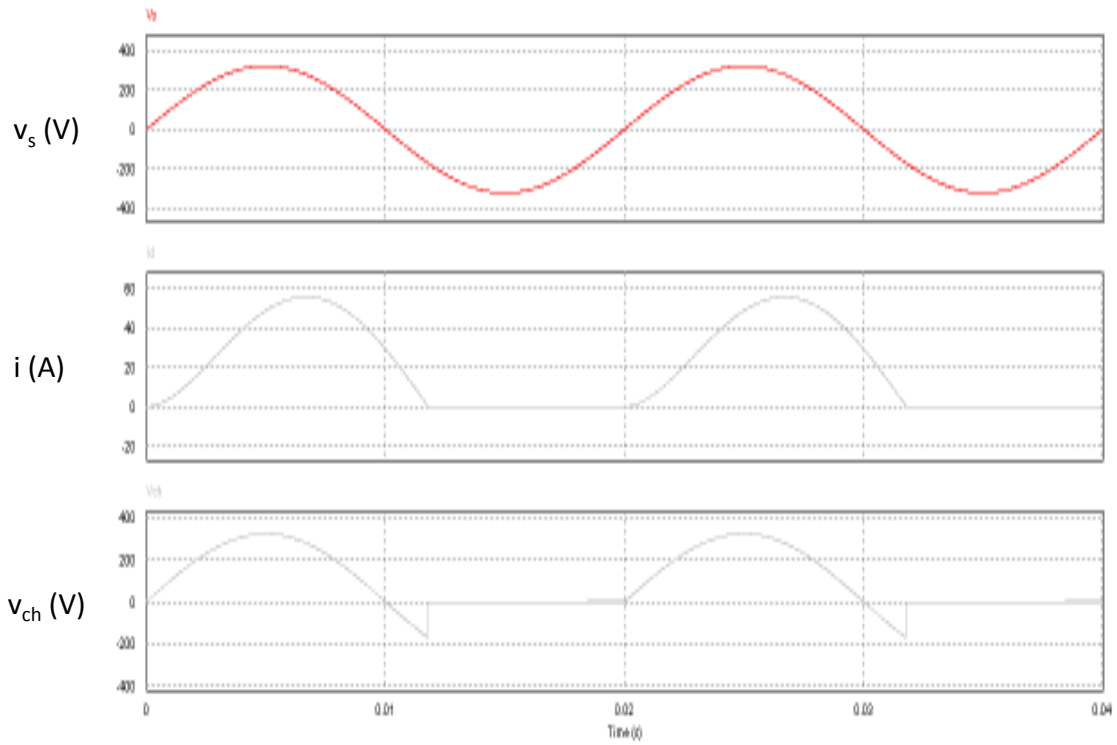


## La diode sur charge inductive

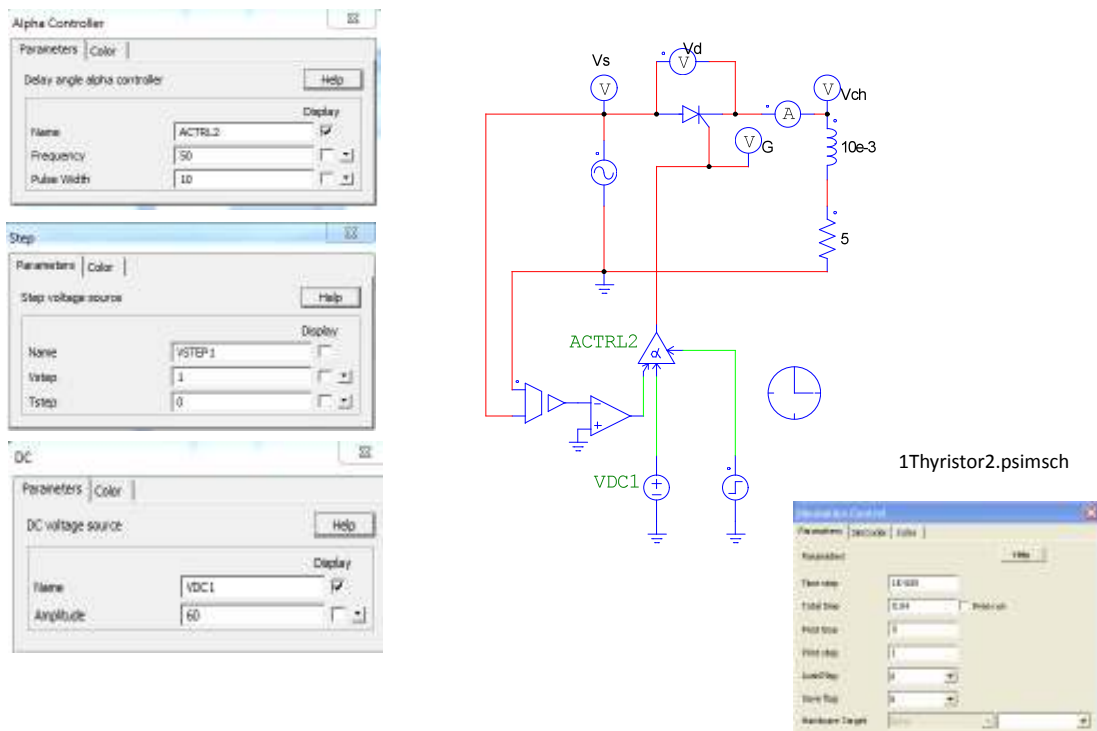
Cet exemple illustre bien le comportement de la diode de redressement



## La diode sur charge inductive



## Le thyristor sur charge inductive



# Le thyristor sur charge inductive

