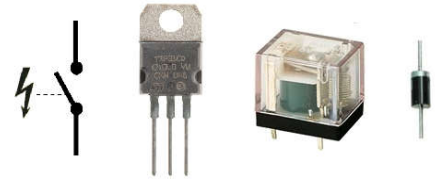


- ✓ Fonction "Distribuer"
- ✓ Préactionneurs
- ✓ Diodes
- ✓ Relais électromagnétiques
- ✓ Transistors

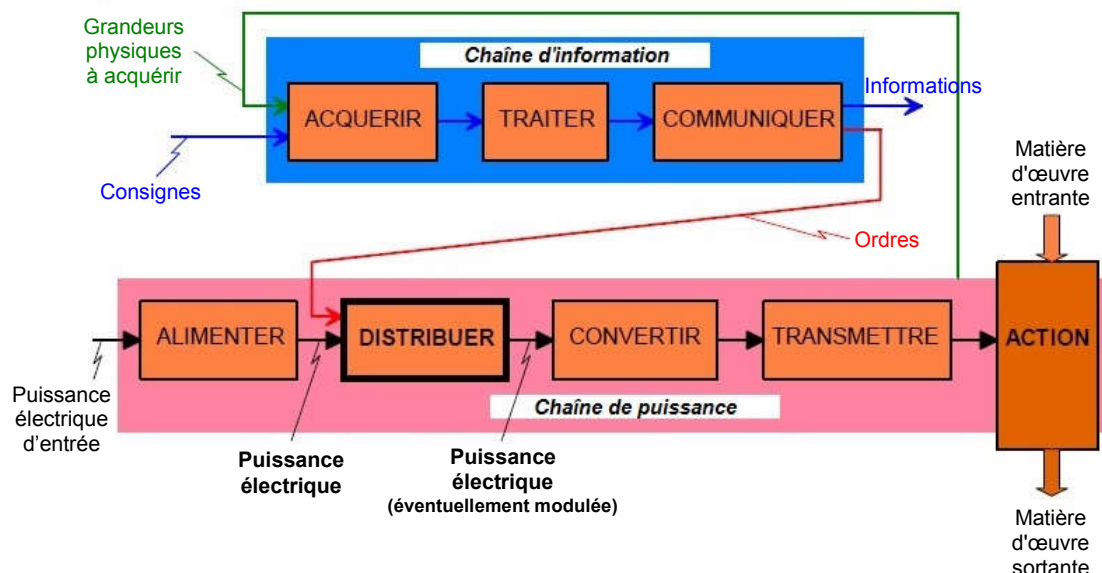
Apports de connaissances



1. Nécessité d'utiliser une fonction "Distribuer".

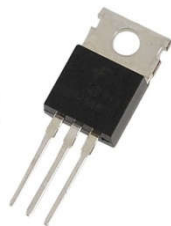
La **chaîne d'information**, constituée par un microcontrôleur ou des circuits logiques, produit des ordres à destination de la chaîne de puissance, mais **ne peut pas délivrer une tension et un courant suffisants** pour alimenter directement un actionneur (moteur électrique par exemple). Il est alors nécessaire d'utiliser un **préactionneur** qui a pour rôle de **distribuer la puissance nécessaire** au bon fonctionnement de l'actionneur.

Le **préactionneur** fait partie de la fonction "Distribuer". Il pourra être commandé en entrée par un courant ou une tension faible et **commutera en sortie une puissance électrique adaptée** au bon fonctionnement de l'actionneur.



Divers **composants en commutation** permettent de réaliser des préactionneurs de la fonction "Distribuer". On les assimile souvent à des **interrupteurs parfaits**. Citons en exemples :

- les **transistors** pour commuter des tensions et des courants continus
- les **relais électromagnétiques** pour commuter des tensions et des courants continus ou alternatifs, tout en réalisant une isolation électrique.



Transistors
bipolaires

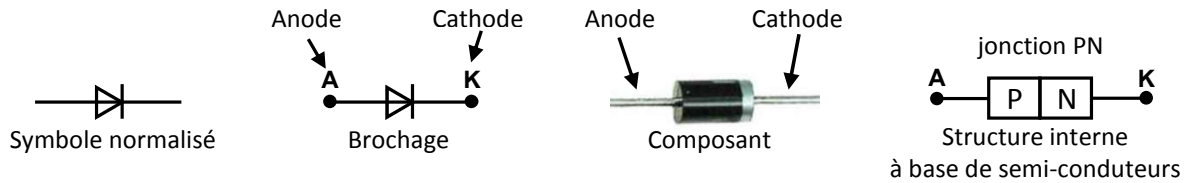
Transistor
à effet de champ

Relais
électromagnétique

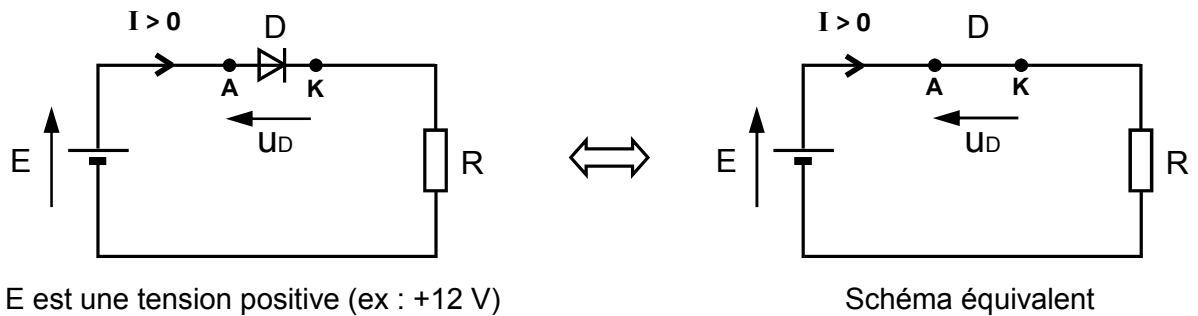
2. Les composants en commutation.

21 La diode à jonction.

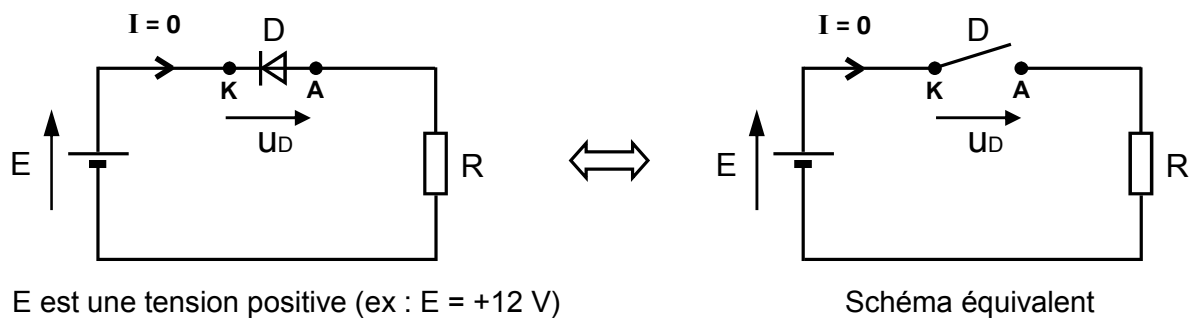
Une **diode à jonction** est un dipôle à base de semi-conducteurs qui ne laisse passer le courant que dans un seul sens : c'est un **conducteur unidirectionnel**.



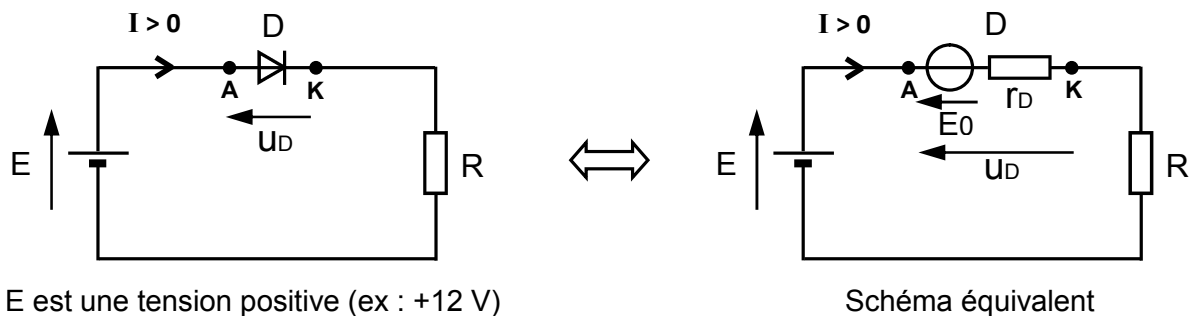
- **Polarisée en direct**, la diode se comporte comme un interrupteur fermé : elle est **passante**.



- **Polarisée en inverse**, la diode se comporte comme un interrupteur ouvert : elle est **bloquée**.



- **Remarque** : Lorsqu'on assimile une **diode passante** à un interrupteur fermé, on considère que cette **diode est idéale**. Dans la réalité, une **diode réelle** se comporte comme une **source de tension en série avec une résistance**.

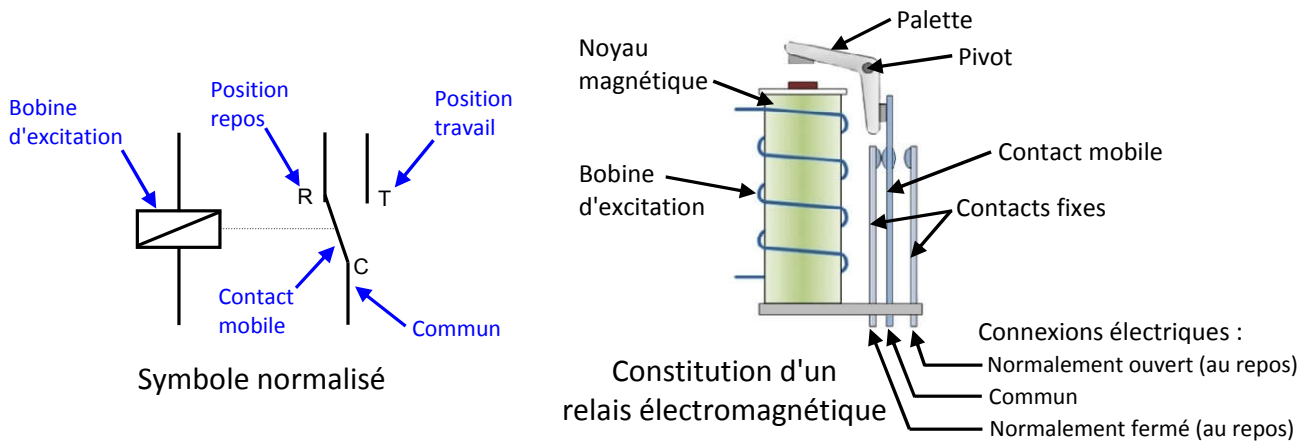


- E_0 : **tension de seuil** de la diode (environ 0,6 V pour une diode au silicium)
- r_D : **résistance dynamique** de la diode

22 Le relais électromagnétique.

221 Présentation.

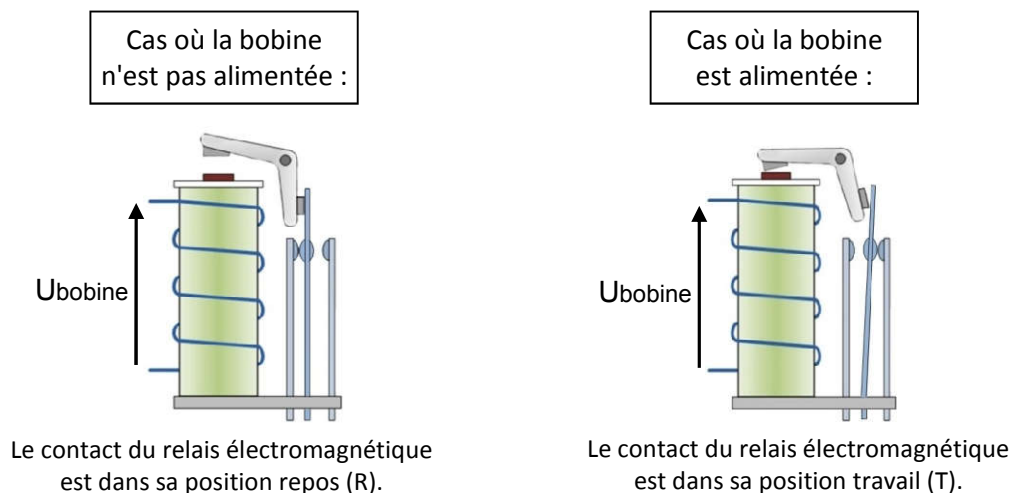
Un **relais électromagnétique** est un dispositif qui permet, à partir d'une information électrique de faible intensité (provenant de la partie commande), d'actionner un ou plusieurs contacts qui appartiennent à la partie puissance.



Remarque : Dans un schéma normalisé, les contacts d'un relais électromagnétique sont représentés dans leur **position de repos (R)**.

222 Principe de fonctionnement.

Un relais électromagnétique s'apparente à un interrupteur mécanique dont la manœuvre est effectuée en faisant circuler un courant dans une bobine d'excitation (ou bobine de commande). Lorsque la bobine d'excitation est alimentée, celle-ci produit un champ magnétique qui fait passer le contact mobile initialement en position repos (R), en position travail (T). Lorsque la bobine d'excitation n'est plus alimentée, le contact mobile revient en position repos (R).



223 Caractéristiques d'un relais électromagnétique.

Un relais électromagnétique est caractérisé par :

- la **tension nominale d'alimentation (U_n)** : valeur de la tension d'alimentation de la bobine pour un fonctionnement optimal (elle peut être continue ou alternative selon le type de relais)
- la **résistance de la bobine d'excitation (R_{bob})** : résistance du circuit d'excitation du relais
- le **courant nominal (I_n)** : valeur du courant circulant dans la bobine pour un fonctionnement optimal ($I_n = U_n / R_{bob}$)
- la **tension d'enclenchement du relais** : valeur minimale de la tension d'alimentation de la bobine permettant le passage des contacts en position travail
- la **nature des contacts** : contacts à ouverture (fermés au repos), à fermeture (ouverts au repos), inverseurs ou temporisés
- le **pouvoir de coupure** : capacité que possède le relais à interrompre la circulation du courant électrique dans le circuit puissance
- le **temps d'enclenchement ou de déclenchement** du relais.

224 Intérêts du relais électromagnétique.

2241 Gain en puissance.

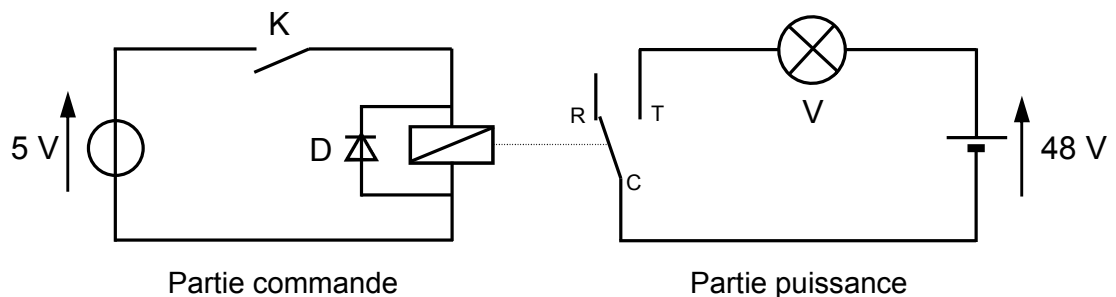
Un relais électromagnétique apporte un **gain en puissance** important. Une bobine alimentée sous quelques volts et traversée par une dizaine de milliampères peut commuter quelques dizaines de watts à quelques kilowatts.

2242 Isolation galvanique.

Un relais électromagnétique permet de réaliser une **isolation galvanique** entre la partie commande et la partie puissance. Dans ce cas, il n'y a pas de liaison électrique entre ces deux parties : la seule liaison qui existe entre le circuit commande et le circuit puissance est une liaison magnétique. Une isolation galvanique permet de protéger la partie commande et l'utilisateur (qui agit sur la partie commande) contre un risque électrique éventuel provenant de la partie puissance.

225 Exemple d'application d'un relais électromagnétique : commande d'un voyant.

Le schéma électrique ci-dessous représente un exemple de commande d'un voyant réalisée grâce à un relais électromagnétique.



Remarque : La diode D est une **diode de roue libre** : elle permet d'évacuer sous forme d'un courant induit, l'énergie électromagnétique emmagasinée dans la bobine, lorsque l'on ouvre l'interrupteur K (si K était un transistor, celui-ci pourrait être détruit lors de son blocage, s'il n'y avait pas de diode de roue libre).

23 Les transistors bipolaires.

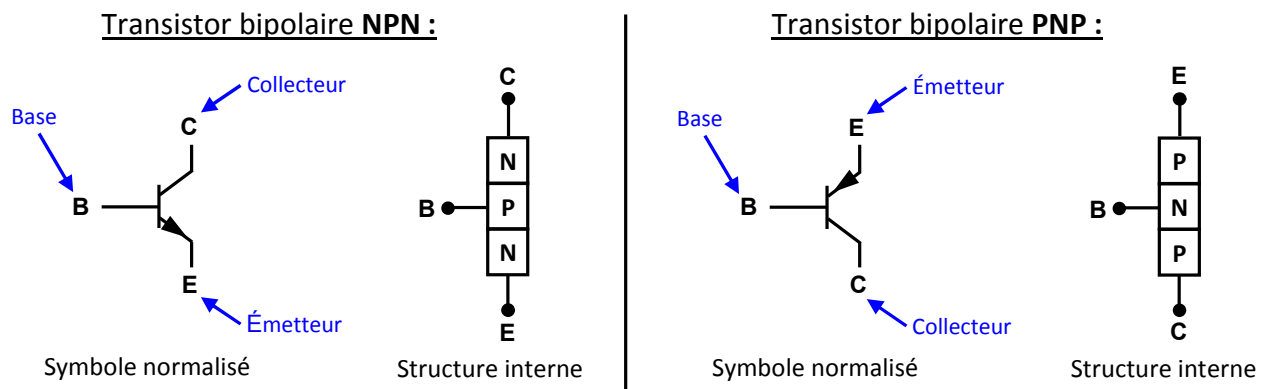
231 Présentation.

Un **transistor bipolaire** est un composant à base de **semi-conducteurs** qui possède trois bornes (la **base**, le **collecteur** et l'**émetteur**).

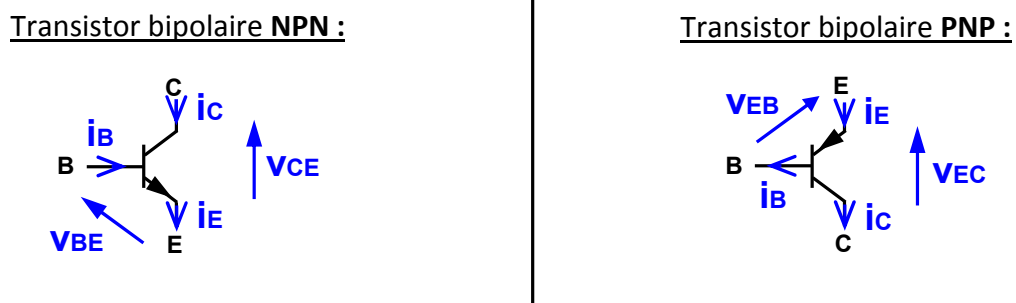
Un transistor bipolaire est un **transistor commandé en courant** : il permet de **contrôler un courant** sur une borne de sortie grâce à un courant envoyé sur une borne d'entrée (la base). Le transistor est le composant électronique le plus utilisé à l'heure actuelle pour réaliser des amplificateurs ou des interrupteurs.

Il existe deux types de transistors bipolaires : les **transistors bipolaires NPN** et les **transistors bipolaires PNP**.

232 Symbole normalisé et structure interne des transistors bipolaires.



233 Définition des grandeurs électriques caractéristiques.



Les tensions et les courants repérés ci-dessus sont fléchés positifs pour les deux types de transistors (NPN et PNP) :

- i_B : courant de base
- i_C : courant de collecteur
- i_E : courant d'émetteur
- V_{CE} : tension collecteur émetteur pour un transistor NPN (V_{EC} pour un transistor PNP)
- V_{BE} : tension base émetteur pour un transistor NPN (V_{EB} pour un transistor PNP)

La loi des nœuds s'applique au niveau de ces deux transistors :

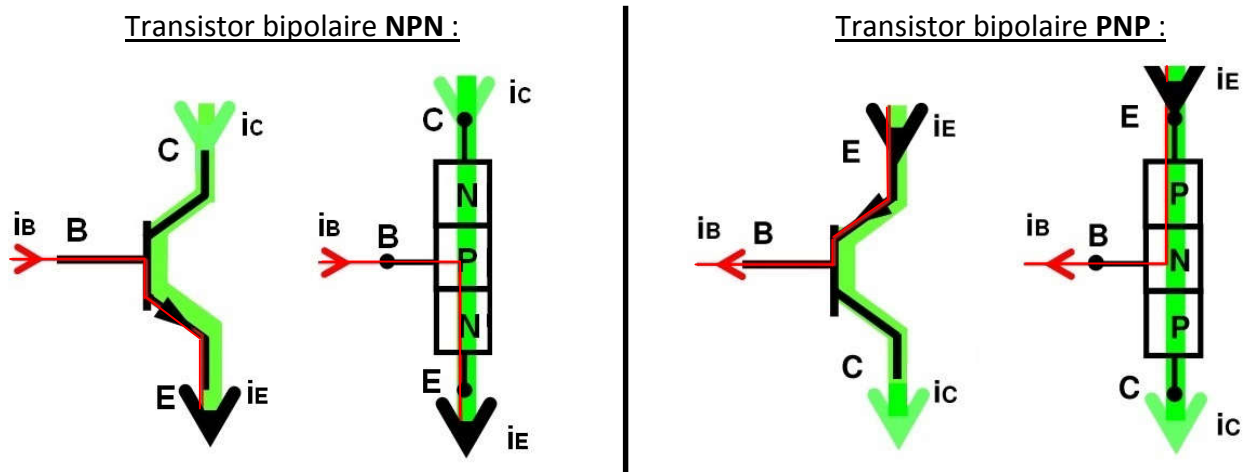
$$i_E = i_B + i_C$$

234 Principes de fonctionnement.

Un transistor bipolaire est un **transistor commandé en courant**. La commande se fait grâce au **courant de base i_B** . On pourrait comparer un transistor bipolaire à une vanne en hydraulique.

Cas d'un **transistor bipolaire NPN** : un **faible courant** qui rentre sur la **base**, permet de contrôler le **passage d'un courant plus important** qui circule **du collecteur vers l'émetteur**.

Cas d'un **transistor bipolaire PNP** : un **faible courant** qui sort de la **base**, permet de contrôler le **passage d'un courant plus important** qui circule **de l'émetteur vers le collecteur**.



235 Régimes de fonctionnement.

2351 Fonctionnement en régime linéaire.

En **régime linéaire**, le transistor est **passant** : il réalise une **amplification** du courant d'entrée i_B .

$$i_C = \beta \cdot i_B$$

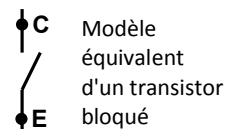
β est appelé **gain en courant** du transistor ou **coefficient d'amplification en courant** (β est parfois noté h_{FE}). Aucun transistor de même référence ne dispose du même β ; ce β se situe dans une plage garantie par le constructeur et est compris entre deux valeurs limites : $\beta_{\min} < \beta < \beta_{\max}$.

2352 Fonctionnement en régime de commutation.

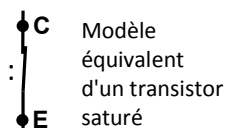
En **régime de commutation**, le transistor se comporte comme un **interrupteur** (entre C et E) commandé par le courant de base.

Règles de fonctionnement :

- Si $i_B = 0 \Rightarrow i_C = 0 \Rightarrow$ Le transistor est **bloqué**,
il se comporte comme un **interrupteur ouvert** :



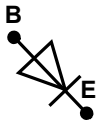
- Si $i_B > 0 \Rightarrow i_C = i_{C_{sat}} \Rightarrow$ Le transistor est **saturé**,
il se comporte comme un **interrupteur fermé** :



2353 Remarque concernant le fonctionnement des transistors bipolaires.

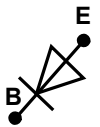
La **jonction BE** d'un transistor bipolaire **NPN** se comporte comme une **diode** :

- si la **jonction BE conduit** alors le **transistor conduit** ($i_c > 0$)
- si la **jonction BE est bloquée** alors le **transistor est bloqué** ($i_c = 0$).



La **jonction EB** d'un transistor bipolaire **PNP** se comporte comme une diode :

- si la **jonction EB conduit** alors le **transistor conduit** ($i_c > 0$)
- si la **jonction EB est bloquée** alors le **transistor est bloqué** ($i_c = 0$).



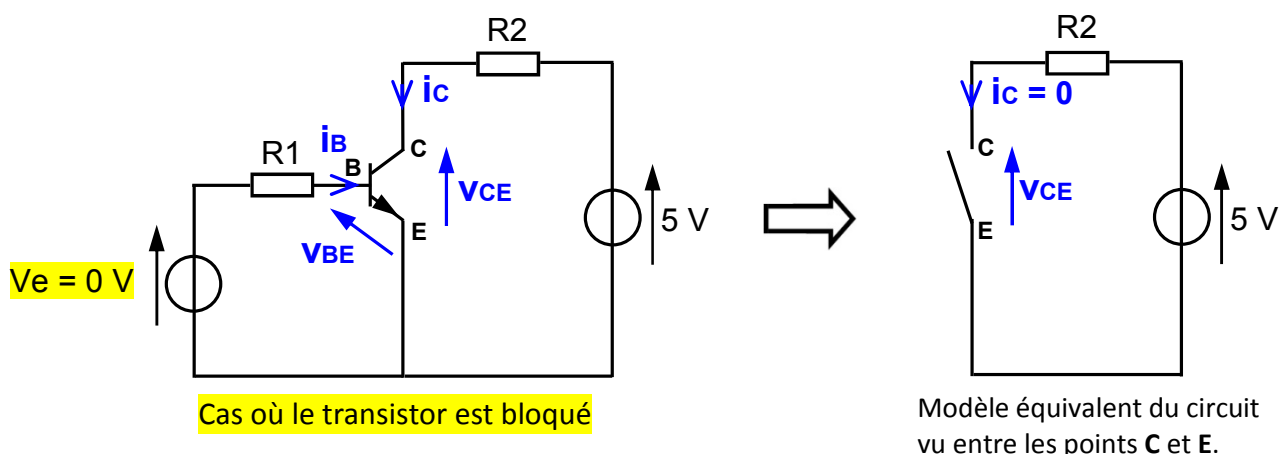
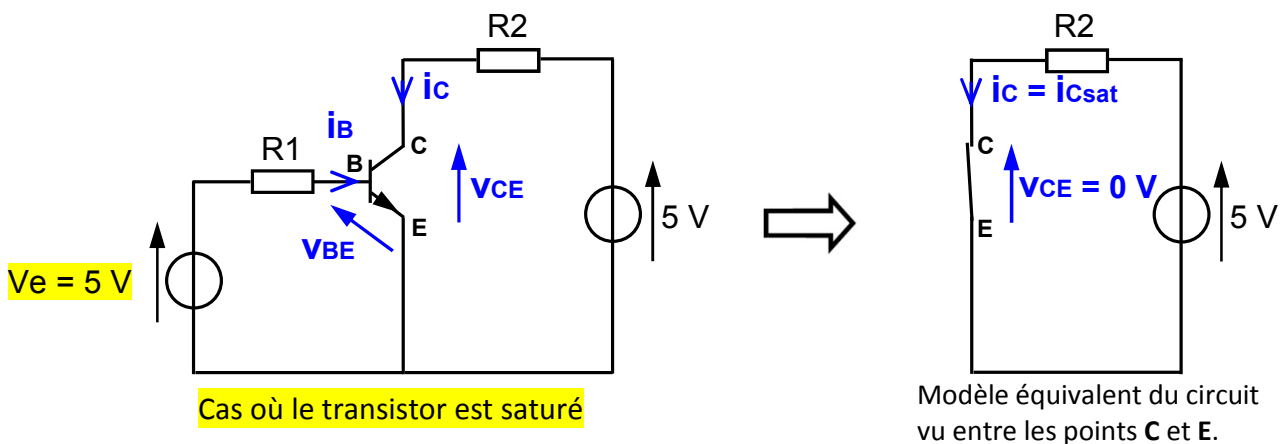
2354 Choix des régimes de fonctionnement des transistors bipolaires.

Le choix du régime de fonctionnement (linéaire ou commutation) d'un transistor bipolaire dépend :

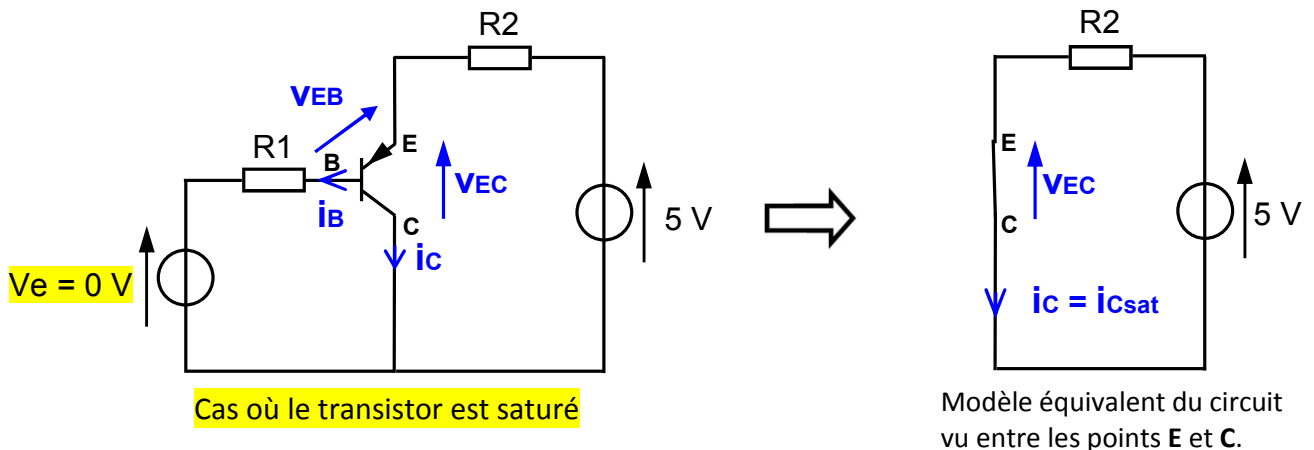
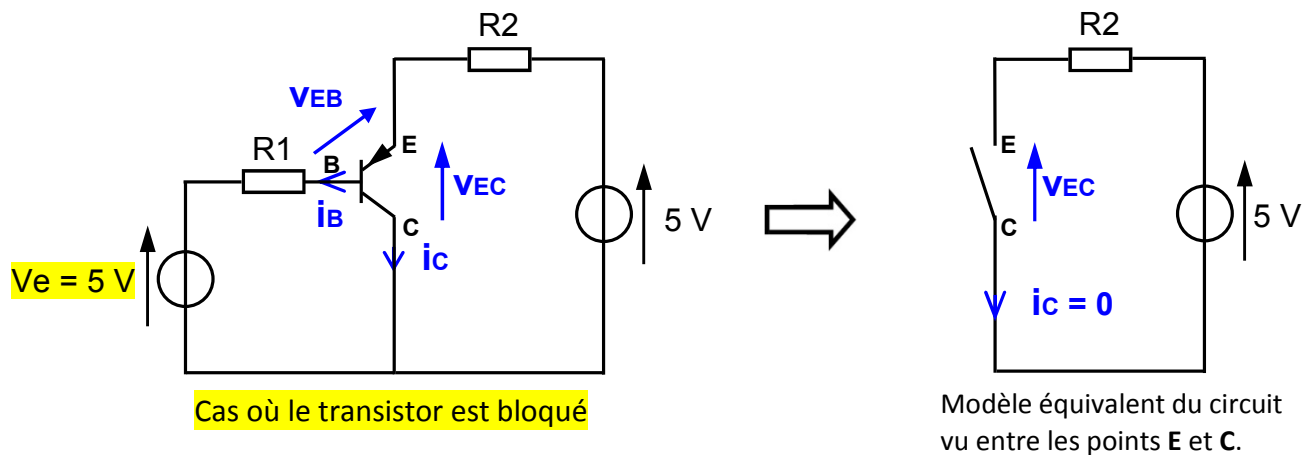
- de la manière dont sont connectées les alimentations et les résistances autour du transistor
- des valeurs choisies pour ces alimentations et résistances.

Voici ci-dessous des exemples de montages à base de transistor bipolaire qui fonctionnent en **régime de commutation**. Selon la valeur de la tension d'entrée **V_e** de ces montages, le transistor peut être **bloqué** ou **saturé**.

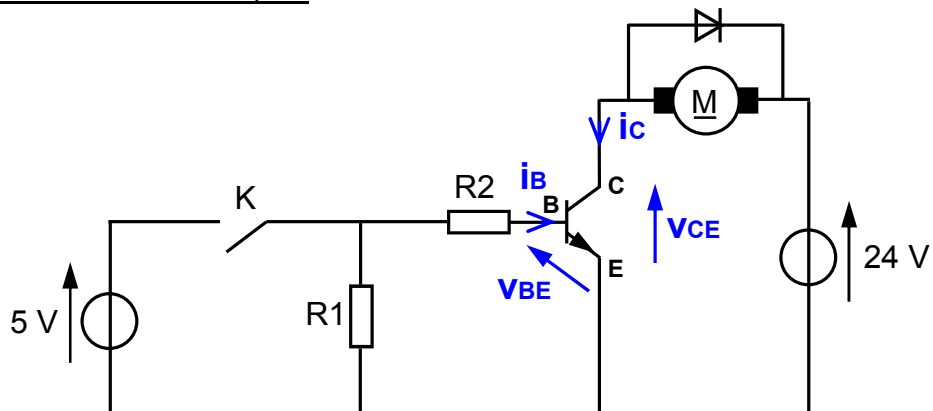
- Exemple de montage d'un transistor bipolaire **NPN** fonctionnant en régime de commutation :



- Exemple de montage d'un transistor bipolaire **PNP** fonctionnant en régime de commutation :



- Exemple de montage d'un transistor bipolaire **NPN** fonctionnant en régime de commutation et commandant un moteur électrique :



- Si K est ouvert \Rightarrow la jonction BE du transistor NPN est bloquée (car $i_B = 0$)
 \Rightarrow le transistor est bloqué ($i_C = 0$)
 \Rightarrow le transistor se comporte entre C et E comme un interrupteur ouvert
 \Rightarrow le moteur électrique est **à l'arrêt**.
- Si K est fermé \Rightarrow la jonction BE du transistor NPN conduit ($i_B = i_{Bsat} > 0$)
 \Rightarrow le transistor est saturé ($i_C = i_{Csat} > 0$)
 \Rightarrow le transistor se comporte entre C et E comme un interrupteur fermé
 \Rightarrow le moteur électrique est **en marche**.

24 Les transistors à effet de champ MOSFET à enrichissement.

241 Présentation.

Les transistors à effet de champ sont dotés de trois broches repérées **G**, **D** et **S**, appelées respectivement : **grille**, **drain** et **source**.

Ce sont des **transistors commandés en tension**.

Il existe plusieurs familles de transistors à effet de champ.

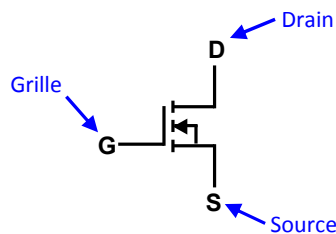
Nous étudierons la famille la plus utilisée : celle des **transistors MOSFET à enrichissement**.

242 Symbole normalisé des transistors MOSFET à enrichissement.

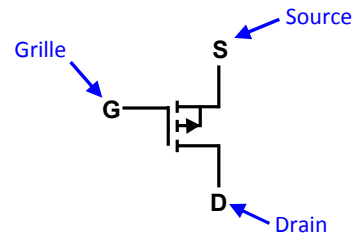
Il existe deux types de transistors MOSFET à enrichissement :

- les transistors **MOSFET à enrichissement canal N**
- les transistors **MOSFET à enrichissement canal P**.

Transistor MOSFET canal N :

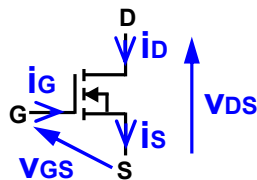


Transistor MOSFET canal P :

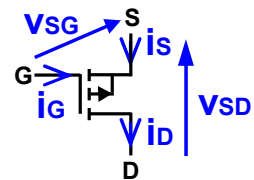


243 Définition des grandeurs électriques caractéristiques.

Transistor MOSFET canal N :



Transistor MOSFET canal P :



Les tensions et les courants repérés ci-dessus sont fléchés positifs pour les deux types de transistors MOSFET (canal N et canal P) :

- V_{GS} : tension grille source pour un transistor canal N (V_{SG} pour un transistor canal P)
- V_{DS} : tension drain source pour un transistor canal N (V_{SD} pour un transistor canal P)
- i_G : courant de grille, **sachant que i_G est égal à 0** pour un transistor à effet de champ
- i_D : courant de drain
- i_S : courant de source.

$i_G = 0 \Rightarrow i_D = i_S$

 car loi des nœuds

Remarque : La **tension V_{GS}** d'un transistor **MOSFET canal P** est donc **négative**.

244 Fonctionnement en régime de commutation.

En **régime de commutation**, le transistor se comporte comme un **interrupteur** (entre D et S) **commandé par la tension V_{GS}** .

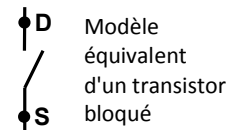
La valeur de la tension V_{GS} qui détermine si un transistor **conduit** ou est **bloqué**, est appelée **tension de seuil**. Elle est notée **V_T** ou **$V_{GS(th)}$** dans les documentations techniques.

La tension de seuil dépend du transistor utilisé (il faut consulter sa documentation technique).

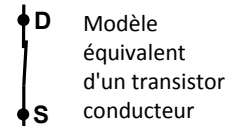
Remarque : La tension de seuil V_T d'un transistor canal N est positive (car V_{GS} est positive). La tension de seuil V_T d'un transistor canal P est négative (car V_{GS} est négative).

Règles de fonctionnement (MOSFET canal N ou canal P) :

- Si $|V_{GS}| < |V_T| \Rightarrow$ Le transistor est **bloqué**,
il se comporte comme un **interrupteur ouvert** :



- Si $|V_{GS}| > |V_T| \Rightarrow$ Le transistor **conduit**,
il se comporte comme un **interrupteur fermé** :

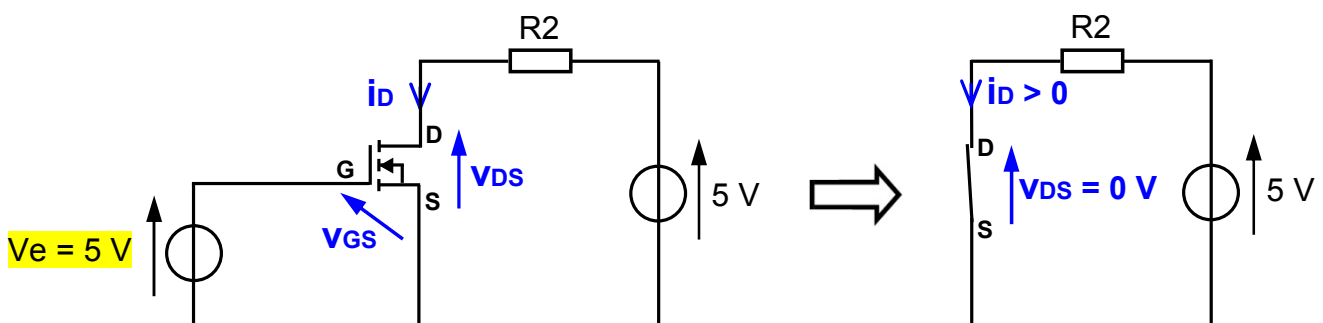


245 Exemples de montages de transistors MOSFET fonctionnant en régime de commutation.

Voici ci-dessous des exemples de montages à base de transistors MOSFET qui fonctionnent en **régime de commutation**. Selon la valeur de la tension d'entrée **V_e** de ces montages, le transistor peut être **bloqué** ou **conducteur**.

2451 Exemple de montage d'un transistor MOSFET canal N fonctionnant en régime de commutation.

On suppose que la **tension de seuil V_T** du transistor est égale à **2,5 V**.



Cas où le transistor conduit

Loi des mailles : $V_e - V_{GS} = 0$

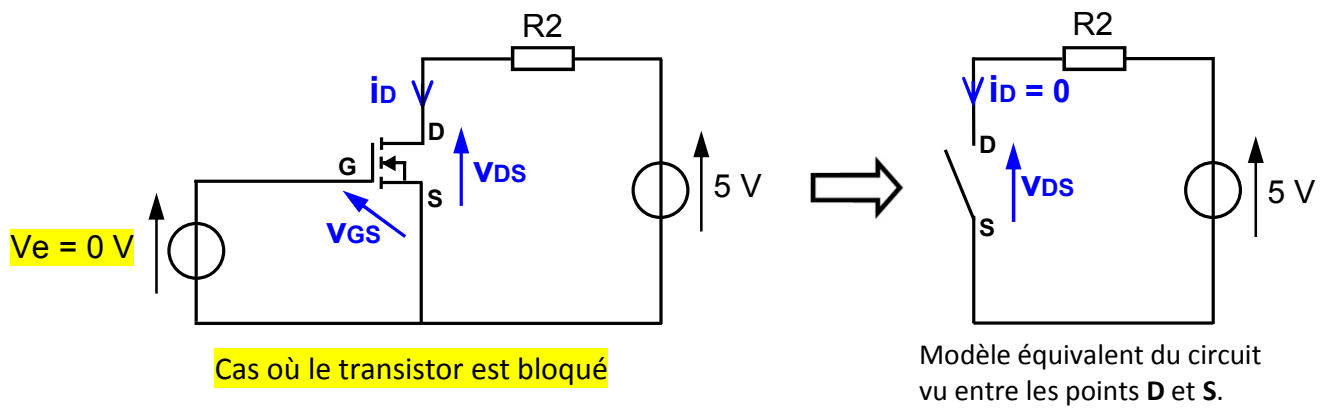
$$\Rightarrow V_{GS} = 5\text{ V}$$

$$\Rightarrow |V_{GS}| > |V_T|$$

$$\begin{array}{cc} 5\text{ V} & 2,5\text{ V} \end{array}$$

\Rightarrow le transistor conduit

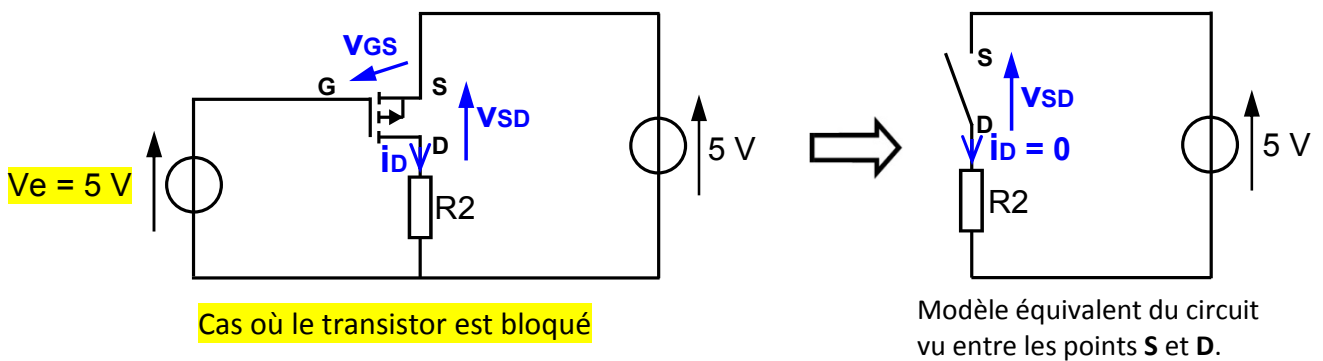
Modèle équivalent du circuit vu entre les points D et S.



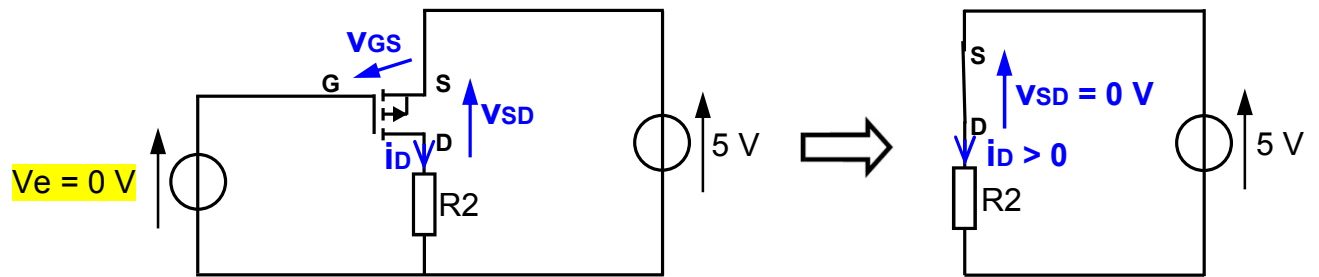
Loi des mailles : $V_e - V_{GS} = 0$
 $\Rightarrow V_{GS} = 0 \text{ V}$
 $\Rightarrow |V_{GS}| < |V_T|$
 $\quad \quad \quad 0 \text{ V} \quad 2,5 \text{ V}$
 \Rightarrow le transistor est bloqué

2452 Exemple de montage d'un transistor MOSFET canal P fonctionnant en régime de commutation.

On suppose que la **tension de seuil V_T** du transistor est égale à **-2,5 V**.



Loi des mailles : $V_e - V_{GS} - 5 = 0$
 $\Rightarrow V_{GS} = V_e - 5$
 $\Rightarrow V_{GS} = 0 \text{ V}$
 $\Rightarrow |V_{GS}| < |V_T|$
 $\quad \quad \quad 0 \text{ V} \quad 2,5 \text{ V}$
 \Rightarrow le transistor est bloqué



Cas où le transistor conduit

Loi des mailles : $V_e - V_{GS} - 5 = 0$

$$\Rightarrow V_{GS} = V_e - 5$$

$$\Rightarrow V_{GS} = -5 \text{ V}$$

$$\Rightarrow |V_{GS}| > |V_{Tl}|$$

$$\underbrace{5 \text{ V}} > \underbrace{2,5 \text{ V}}$$

\Rightarrow le transistor conduit

Modèle équivalent du circuit
vu entre les points **S** et **D**.