

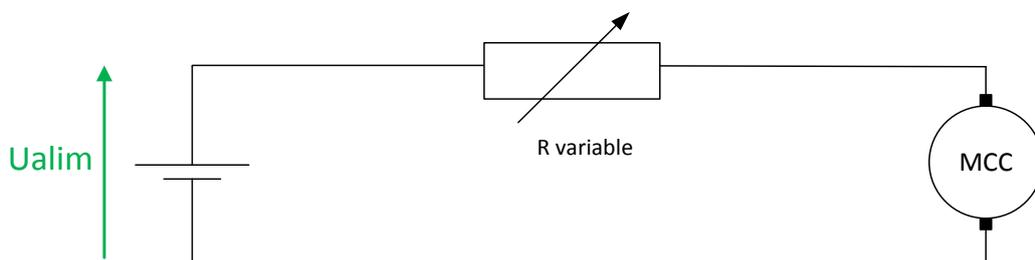
### 1. Présentation

**Question :** Comment faire varier la vitesse des moteurs à courant continu ?

.....

**Question :** Comment peut-on faire varier la tension aux bornes des moteurs à courant continu ?

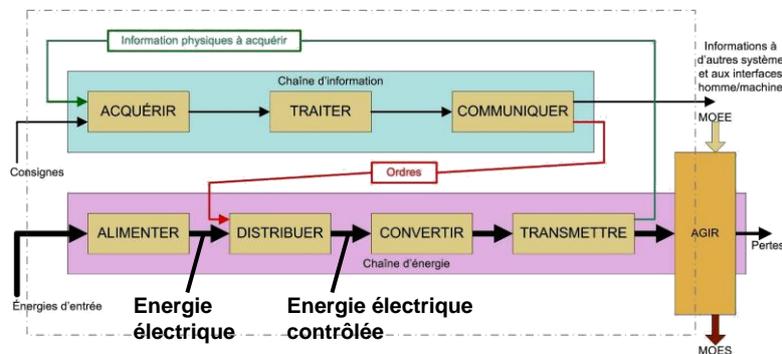
.....



Défaut : .....

Objectif : .....

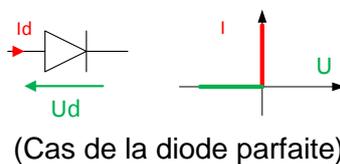
### 2. Identification de la fonction technique réalisée



La variation de vitesse du moteur à courant continu est obtenue par la modification de la tension moyenne appliquée à son rotor. Cette tension est obtenue à partir de la tension d'alimentation à l'aide d'un transistor en commutation dont on règle la durée de conduction : c'est la fonction **distribuer** l'énergie.

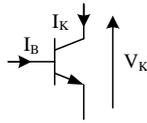
### 3. Les interrupteurs commandés réels

**La diode :** .....

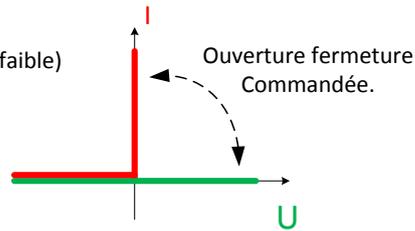
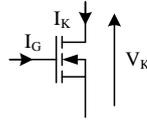


**Le transistor :**

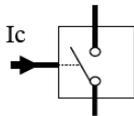
Transistor bipolaire:  
Commande en courant  $I_B$



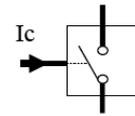
Transistor MOS:  
Commande en tension  $I_G$  (très très faible)



Le transistor est un composant électronique qui permet de réaliser un interrupteur commandé par un courant ou une tension.

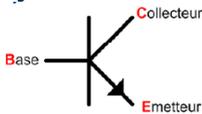


Le transistor bipolaire est commandé par un courant

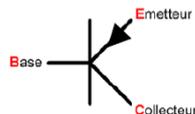


Le transistor MOS est commandé par une tension

**Symbole**

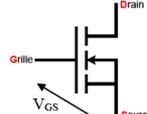


Transistor bipolaire NPN

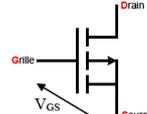


Transistor bipolaire PNP

**Symbole**



Transistor MOS canal N



Transistor MOS canal P

<p>Les tensions de commande sont soit à 0V soit à 5V</p>	<p>Si <math>V_{CD\_RL1} = 0V</math>, le transistor Q1 est bloqué Le relais reste en position initiale, le moteur ne tourne pas</p>	
	<p>Si <math>V_{CD\_RL1} = 5V</math> le transistor Q1 est saturé Le relais est enclenché, le moteur tourne.</p>	

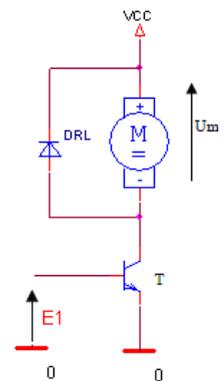
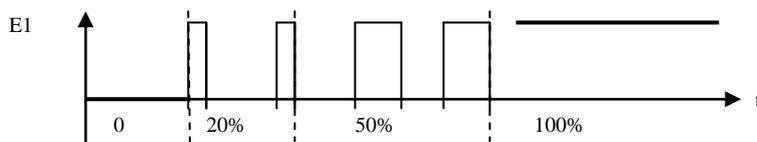
**4. Principe de fonctionnement de la Modulation de Largeur d'Impulsion**

Dans un moteur à courant continu, la vitesse  $N$  est l'image de la tension  $U$ .

Lorsque  $\delta$  (rapport cyclique) varie de 0 à 100%, la valeur moyenne de  $U_M$  varie de 0 à  $V_{cc}$ . Si la période du signal modulé est petite devant les constantes de temps mécanique et électrique du moteur, alors le moteur ne voit que la valeur moyenne du signal et donc la vitesse varie de 0 à  $V_{nominale}$ . On donne :

$$U_{M moy} = V_{cc} \cdot \delta$$

On appelle ce principe : modulation de largeur d'impulsions **PWM** (Pulse Width Modulation).



## 5. Commande sur un quadrant : un sens de rotation avec variation de vitesse (Hacheur un quadrant)

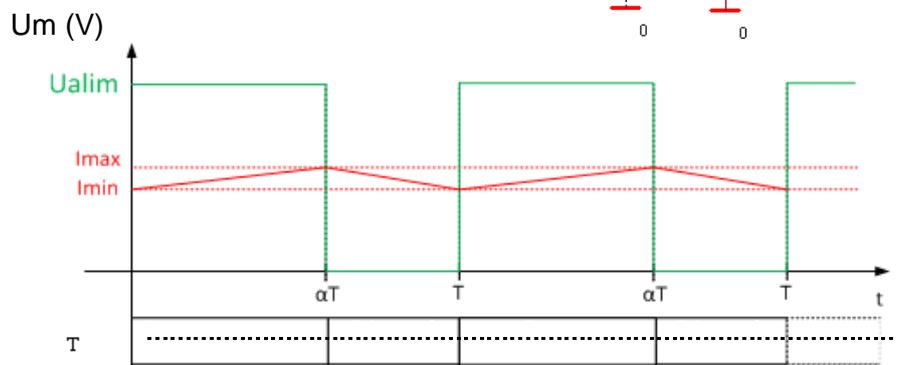
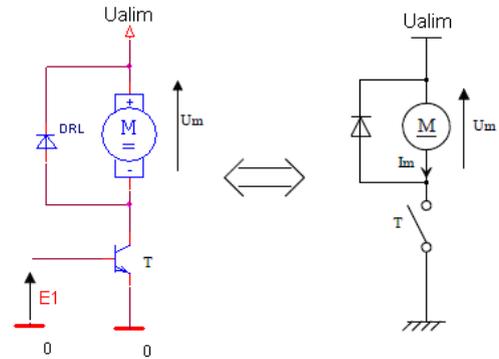
Le moteur ne peut tourner que dans un seul sens mais nous pouvons faire varier la vitesse avec un signal de commande rectangulaire à rapport cyclique variable.

### 5.1 Exemple

#### 5.1.1 Analyse du fonctionnement statique

Soit le schéma :

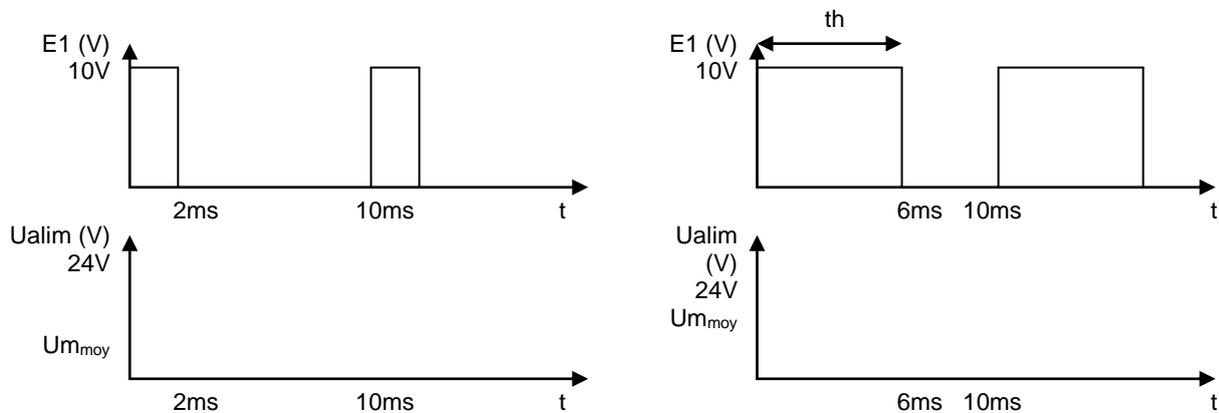
**DRL** (Diode de Roue Libre) protège le transistor. En effet, lorsque le transistor passe de l'état saturé à l'état bloqué, les charges accumulées par le moteur s'évacuent par DRL ce qui évite la surtension destructrice pour le transistor (Voir annexe page 5 et 6).



#### 5.1.2. Chronogrammes

La tension E1 est un signal carré. Quand le moteur est alimenté par Vcc le moteur tourne à une vitesse  $\Omega$ . Quand le moteur n'est plus alimenté (transistor bloqué), il continue à tourner à la même vitesse (inertie).

La vitesse est constante si la durée de l'état bloqué du transistor est suffisamment courte.



Rapport cyclique  $\delta$  :

$$\delta = \frac{th}{T}$$

Tension moyenne  $U_{M\text{moy}}$  :

$$U_{M\text{moy}} = V_{cc} \cdot \delta$$

### 5.1.3 Vitesse de rotation du moteur

La vitesse du moteur est liée à la valeur de la tension continue à ses bornes (**valeur moyenne**).  
Pour le chronogramme de la tension aux bornes du moteur  $U_M(t)$  ci-dessus :

$$\delta = \dots\dots$$

$$\delta = \dots\dots\dots$$

$$U_{M\text{moy}} = \dots\dots\dots$$

$$U_{M\text{moy}} = \dots\dots\dots$$

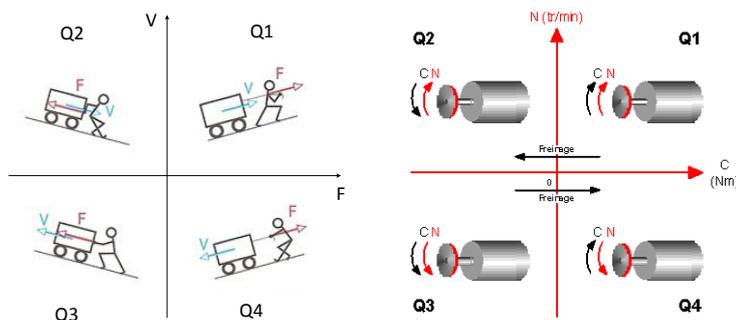
Pour obtenir une variation de la vitesse du moteur, on agit sur **th** et donc sur le rapport cyclique  $\delta$  du signal de commande :

Si  $\delta$  augmente : .....

Si  $\delta$  diminue : .....

## 6. Le fonctionnement sur 4 quadrants

Une charge peut être, suivant le cas étudié, entraînée ou entraînant. Les schémas ci-dessous indiquent les quatre possibilités de fonctionnement d'une machine dans le plan couple/vitesse appelés quadrants de fonctionnement (Q1, Q2, Q3 et Q4).



Si la puissance absorbée est positive, la machine absorbe de l'énergie du réseau.

Si la puissance absorbée est négative, la machine restitue de l'énergie au réseau.

Rotation	Quadrant	Couple	Vitesse	Puissance : $C \times N$	Fonctionnement
1 <sup>er</sup> sens	1	+	+	+	Moteur
	2	-	+	-	Générateur
2 <sup>ème</sup> sens	3	-	-	+	Moteur
	4	+	-	-	Générateur

**Quadrants 1 et 3** : La machine fonctionne en **moteur**.

**Quadrants 2 et 4** : La machine fonctionne en **générateur**.

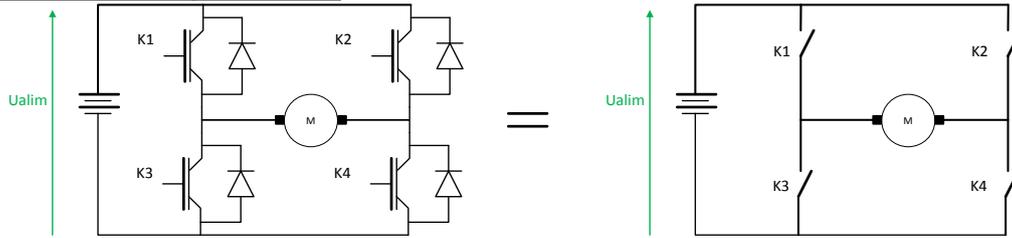
## 6. Le hacheur 4 quadrants

Pour pouvoir piloter un moteur à courant continu dans les 4 quadrants, il faut :

Que la tension puisse être positive ou négative aux bornes du moteur, .....

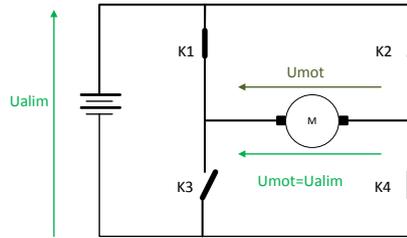
Que le courant puisse être positif ou négatif dans le moteur, .....

**Schéma du hacheur 4 quadrants :**

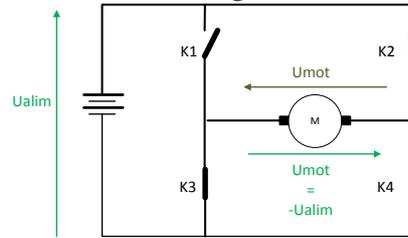


La structure en H permet d'imposer une tension positive, négative ou nulle.

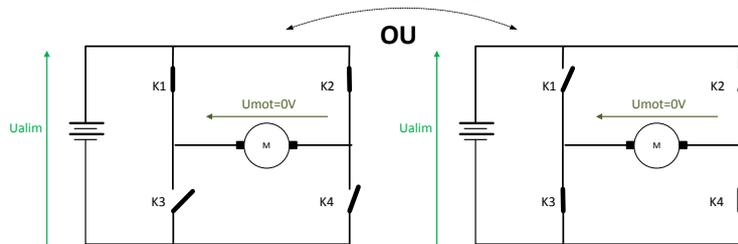
**Tension positive aux bornes du moteur**



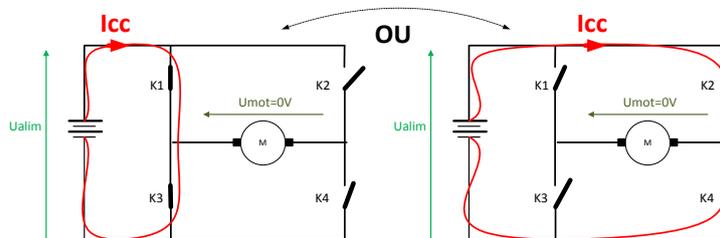
**Tension négative aux bornes du moteur**



**Tension nulle aux bornes du moteur : 2 commandes possibles**

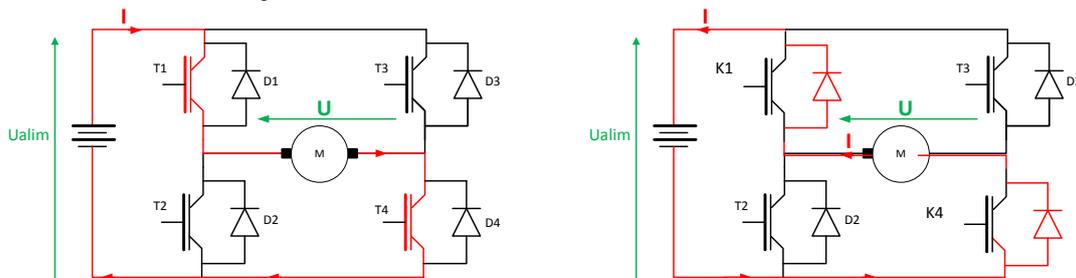


**Commande interdite, car court-circuit :**



La mise en parallèle d'une diode avec le transistor permet au courant de circuler dans les 2 sens.

**Dans les 2 cas, les interrupteurs 1 et 4 sont commandés :**



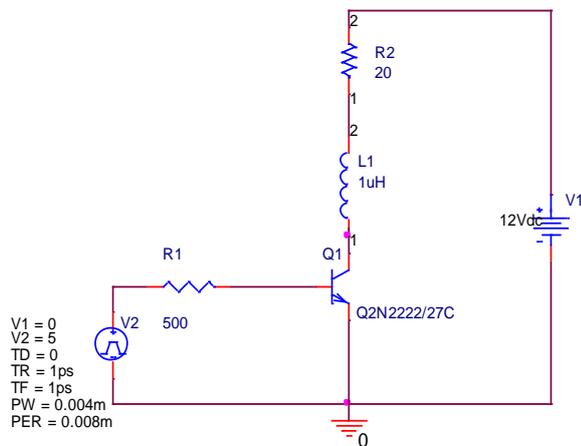
### Annexe : Le rôle d'une diode de roue libre

Rappelons les règles de conduction d'une diode en redressement :

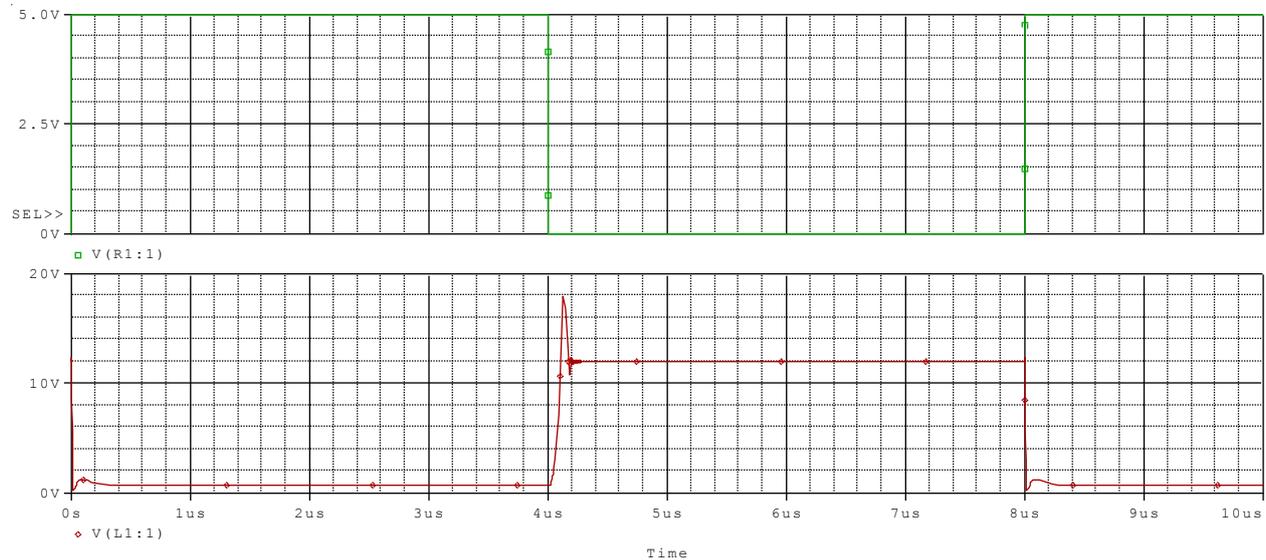
- une diode devient passante quand  $V_A > V_K$ . Dans ce cas,  $V_{AK}$  est imposé par la diode, et vaut environ 0,7 V (ou entre 0,5 V et 1 V selon le type de diode et le courant la traversant, ce qui peut rester négligeable devant les autres tensions rencontrées dans la maille), ou 0 V dans le cas de diode parfaite. Le courant est imposé par le reste du circuit.
- une diode devient bloquée quand le courant la traversant devient nul. La tension  $V_{AK}$  est imposée par le reste du circuit.

On rappelle aussi la relation qui lie courant et tension dans une bobine en convention récepteur :

$$u_l = L \cdot \frac{di_l}{dt}$$



La simulation nous montre, qu'après l'arrêt de la commande de la base du transistor (à 4 $\mu$ s), un pic de **surtension** apparaît aux bornes du transistor ( $V_{ce}$ ). Ici il ne dépasse le  $V_{cesat}$ , mais s'il avait été plus important (ceci dépend des valeurs R et L), le transistor aurait été détruit.



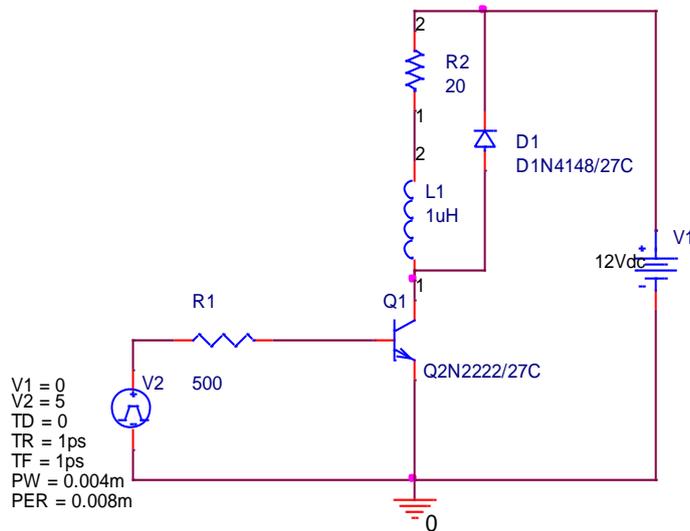
#### Explication :

Juste après la commande du transistor ( $V_{be} = 0,7V$ ), on a  $u_l \neq 0$  (lois des mailles via V1, R2 etc) donc  $i_l \neq 0$  et surtout  $i_l \geq 0$ , la bobine, à l'image du condensateur, se charge ; c'est un stockage magnétique. Au bout d'un certain temps (comme pour un condensateur :  $5\tau$ ),  $u_l \approx 0$ , donc  $i_l = cste$ .

- Puis on arrête de commander le transistor, il est donc équivalent à un interrupteur ouvert, donc  $i_l = 0$  brusquement.  $i_l$  passe brusquement d'une valeur constante à 0, donc d'après

$$u_l = L \cdot \frac{di_l}{dt}, \quad u_l \rightarrow \infty, \quad \text{la bobine génère un pic de tension.}$$

Rajoutons une diode en parallèle sur la charge R-L. Nous la polarisons en inverse. C'est une diode dite « de roue libre »



Le résultat de simulation **ne laisse plus apparaître de pic de tension.**

Explication : lorsqu'on arrête de commander le transistor, la bobine va devenir génératrice, ce qui va permettre de rendre la diode passante, et le courant  $i_l$  va alors circuler dans la diode. La continuité de courant  $i_l$  va donc éliminer la surtension présente sans diode de roue libre, et cette diode va aussi imposer une tension  $V_d$  aux bornes de la bobine

