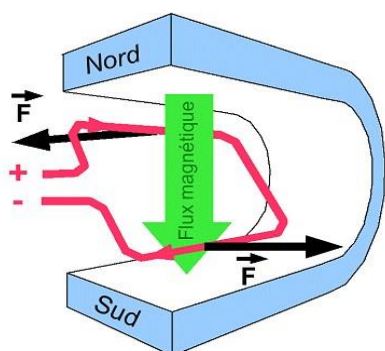


- ✓ Identifier la machine réalisant la fonction convertir l'énergie
- ✓ Analyser les transferts et les pertes d'énergie
- ✓ Analyser la réversibilité de la machine

COURS MCC

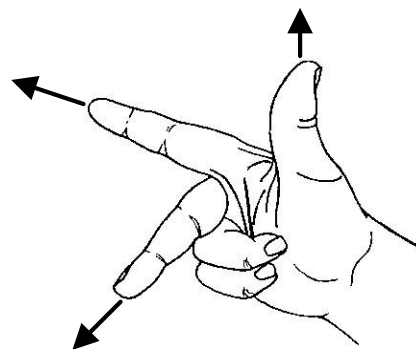
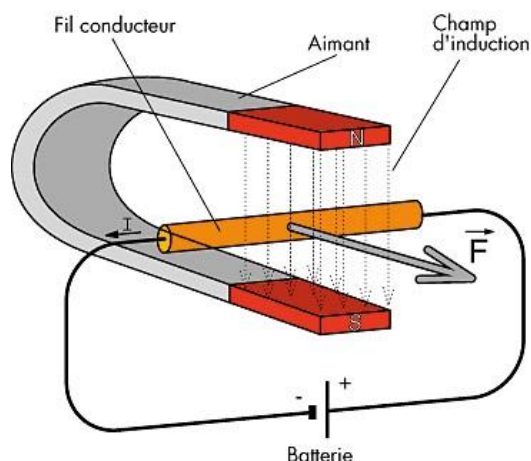


1/ PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT



Si un **conducteur** en forme de spire, parcouru par un **courant I** , est placé dans un **champ magnétique**, il est soumis à des **forces de Laplace**. Ces forces créent un **couple de rotation** qui fait **tourner la spire sur son axe**. Quand la spire a fait un **demi-tour**, il faut **inverser la polarité** pour inverser le **sens des forces** et continuer le mouvement. Ca sera le rôle du **collecteur**.

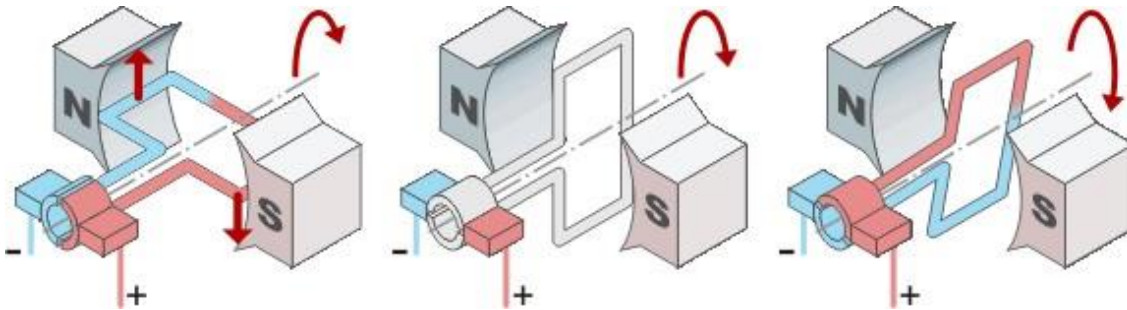
Un moteur à courant continu est mis en rotation grâce à une force magnétique induite : **la force de LAPLACE**.



Cette force s'applique à un conducteur parcouru par un courant et placé dans un champ magnétique. L'orientation de cette force est donnée par la règle des trois doigts de la main droite :

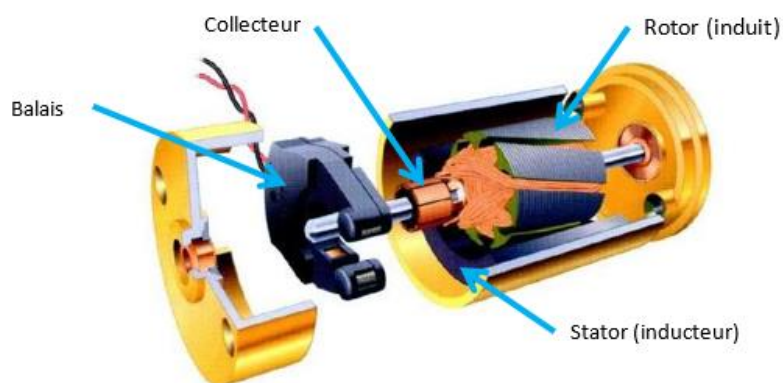
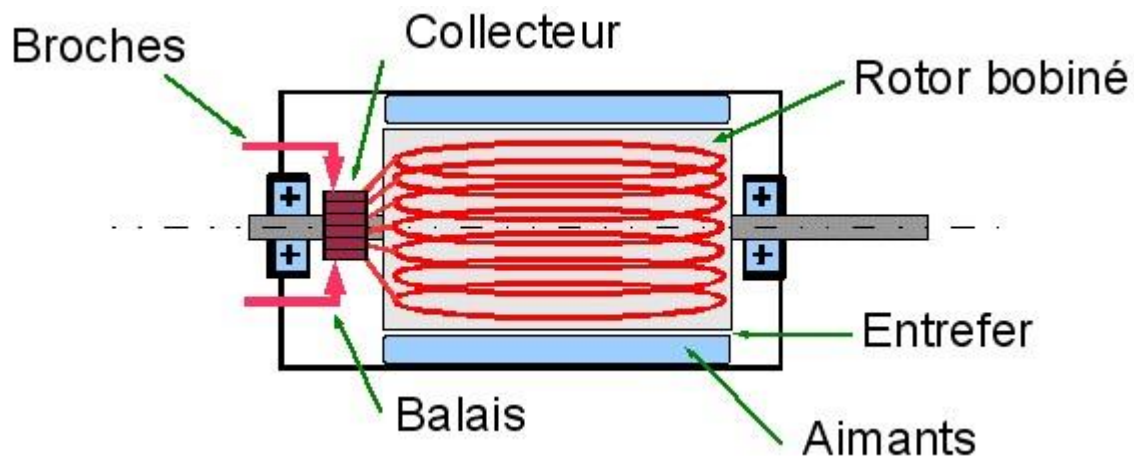
- **l'index est placé dans le sens du champ magnétique.**
- **le pouce donne le sens de parcours des lignes de champ.**
- **le majeur montre le sens de la force induite de LAPLACE.**

Les pôles Nord et Sud des aimants permanents créent un champ magnétique noté B dans le moteur. La spire est alimentée et plongée dans ce flux. Elle est soumise à un couple de forces F (force de Laplace). Le moteur se met en rotation. On dit qu'il y a création d'un couple moteur. Compte tenu de la disposition des balais et du collecteur, le sens du courant I dans la spire change à chaque demi-tour, ce qui permet de conserver le même sens de rotation (sinon, la spire resterait en position d'équilibre).



Dans la pratique, pour que le moteur puisse démarrer sans être lancé, il faut disposer au minimum de trois bobinages disposés à 120° .

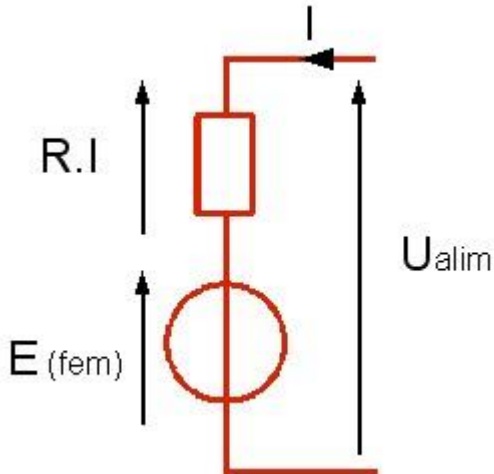
Le **rotor, partie tournante**, est constitué d'un **noyau métallique** avec un **bobinage de cuivre**, le **stator** comporte des **aimants permanents** qui engendrent un **champ magnétique** dont le **flux** traverse le rotor. L'espace étroit entre le rotor et le stator est nommé **entrefer**.



Le **rotor** est **l'induit** et le **stator l'inducteur**, dans d'autres moteurs, l'inducteur peut également être bobiné.

Un **collecteur** avec des **balais** (charbons) permet de transmettre **l'énergie électrique** au rotor. Le **rotor** est donc constitué de **fils électriques** parcourus par un **courant** qui forment des **spires**, ces même fils sont dans le **flux magnétique des aimants**. Ces conducteurs sont donc soumis à des **forces de Laplace**, un **couple moteur** est ainsi créé. Pour entretenir la rotation du moteur, le **collecteur inverse le sens du courant** dans les spires à chaque demi-tour.

2/ SCHEMA EQUIVALENT DU MCC



Le **moteur** se comporte comme une **résistance** en **série** avec un **générateur de tension**

I : **Courant consommé par le moteur**
U : **Tension d'alimentation du moteur**
E : **Force électromotrice**
R : **Résistance interne du bobinage.**

En réalité, il existe aussi **une inductance L** dans le circuit que l'on peut **négliger** ici si le courant est en **régime continu**.

3/ LES EQUATIONS ELECTRIQUES

Cette équation découle directement du schéma équivalent ci-dessus

$$U = E + RI$$

U alimentation (volt) → U
 Fem (volt) → E
 Résistance interne (ohm) → R
 Courant (ampère) → I

La tension fem est proportionnelle à la fréquence de rotation

$$E = K_e \cdot \Omega$$

Fem (volt) → E
 Constante → K_e
 Fréquence de rotation (Rad/s) → Ω

Le courant consommé par le moteur est directement lié au couple résistant sur l'arbre

$$C = k_c \cdot I$$

COUPLE MOTEUR (Nm) Constante INTENSITE (A)

K_e et K_c sont des constantes qui caractérisent le moteur.

On peut en déduire que :

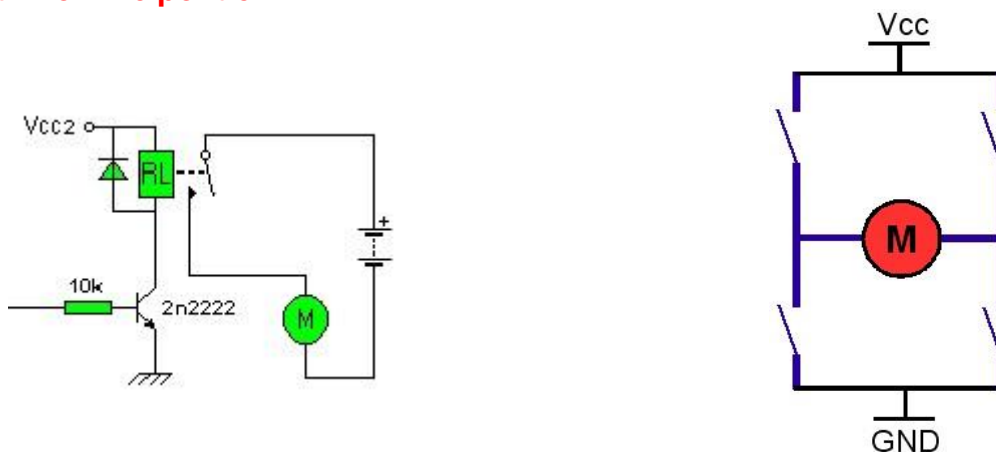
Pour faire **varier la fréquence de rotation**, il faut faire **varier E** et donc la **tension d'alimentation U**.

Pour **inverser le sens de rotation**, il faut **inverser E** et donc la **tension d'alimentation à ses bornes**.

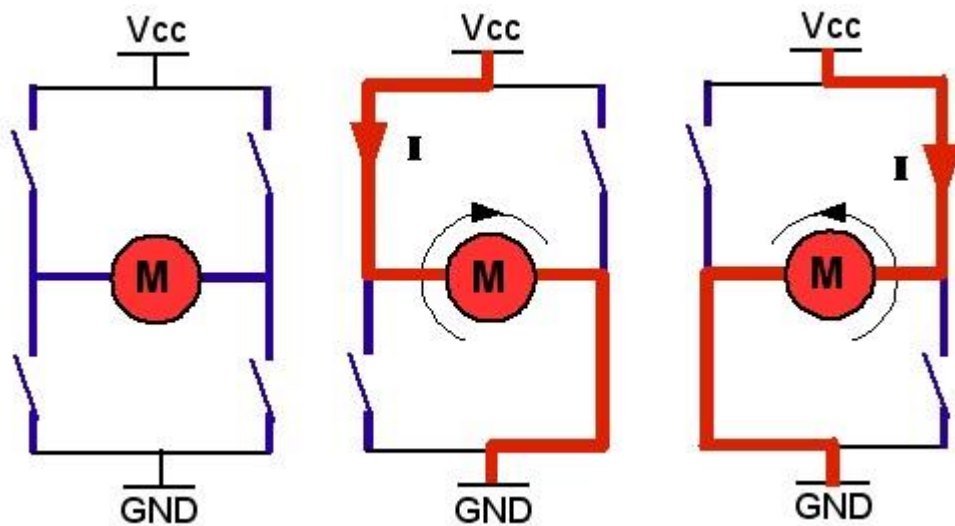
Le **courant** varie avec le **couple**, on peut aussi limiter le courant pour limiter le couple.

4/ ALIMENTATION DU MOTEUR

Le **moteur** peut être alimenté simplement par un **relais électromécanique** ou par un **transistor**
Le plus souvent, le moteur à besoin de tourner dans les **deux sens de rotation**, on utilise alors un **dispositif nommé pont en H**



Il suffit de **fermer deux des contacts** pour faire **tourner le moteur** dans **un sens** ou **dans l'autre**.

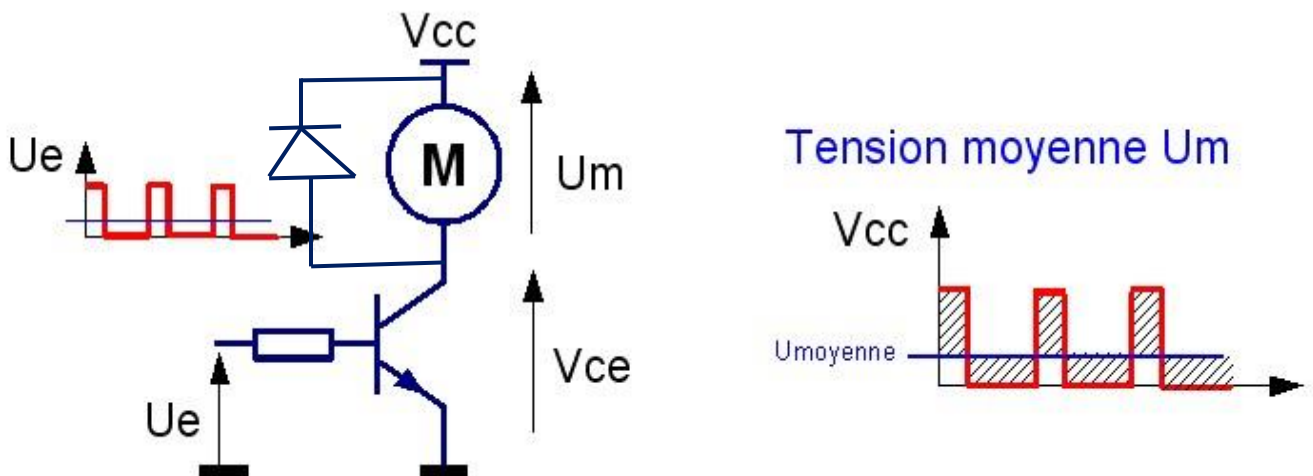


On utilise le plus souvent des transistors PNP et NPN, ou des MOS, canal P et canal N, à la place des contacts

5/ VARIATION DE VITESSE DU MOTEUR

Pour faire **varier la vitesse d'un moteur** on peut faire varier la **tension d'alimentation** à ses bornes mais dans ce cas une **partie importante de l'énergie** est consommée par le dispositif d'alimentation, on préfère l'alimenter de façon discontinue avec un **hacheur** et faire ainsi varier la **tension moyenne** à ses bornes.

On parle alors de **Modulation par Largeur d'Impulsions (MLI)**, ou **Pulse Wide Modulation (PWM)**



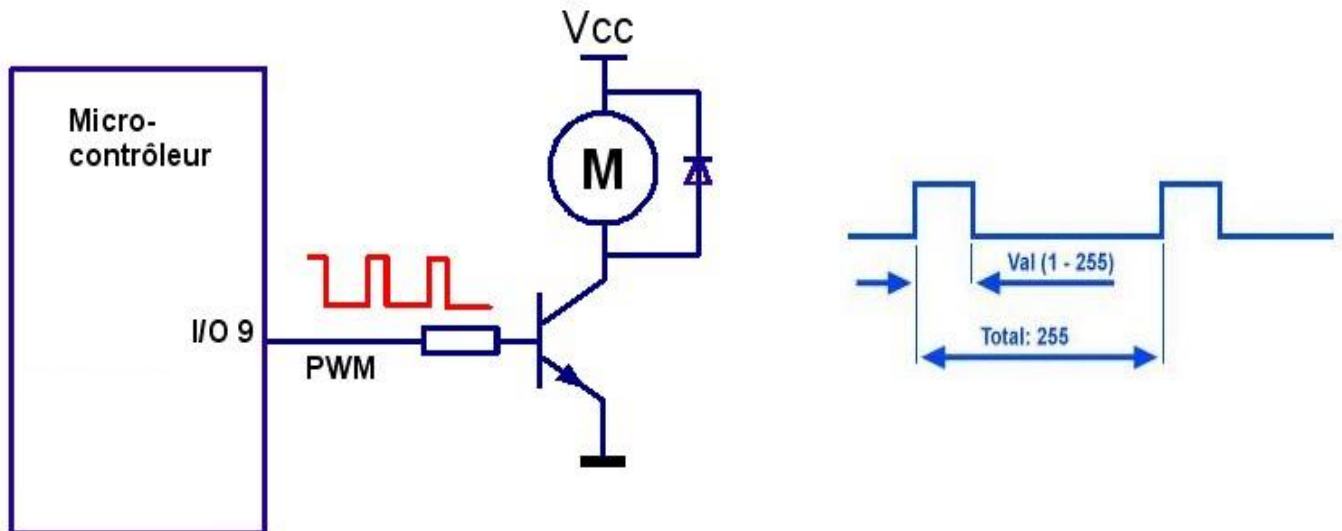
Quand le **transistor** est **passant**, le **moteur** est alimenté à la **tension maximale**. Le **courant** est **important** dans le transistor mais la tension **Vce** est presque **nulle**, il n'y a donc pas **d'échauffement du transistor**.

Quand le **transistor** est **bloqué**, le **moteur** n'est **plus alimenté**. La tension **Vce** est maintenant **maximale** mais il n'y a plus de courant dans le transistor.

Le **rendement** de ce dispositif d'alimentation est donc **très bon**.

La **fréquence** est **suffisamment élevée** pour avoir une **rotation continue** et **sans bruit** du moteur.

Exemple de commande par microcontrôleur



La **sortie PWM** du microcontrôleur PicBasic est utilisée ici pour **commander le transistor** **PWM port, val** avec port étant le numéro du port et val la valeur de l'impulsion entre 0 et 255

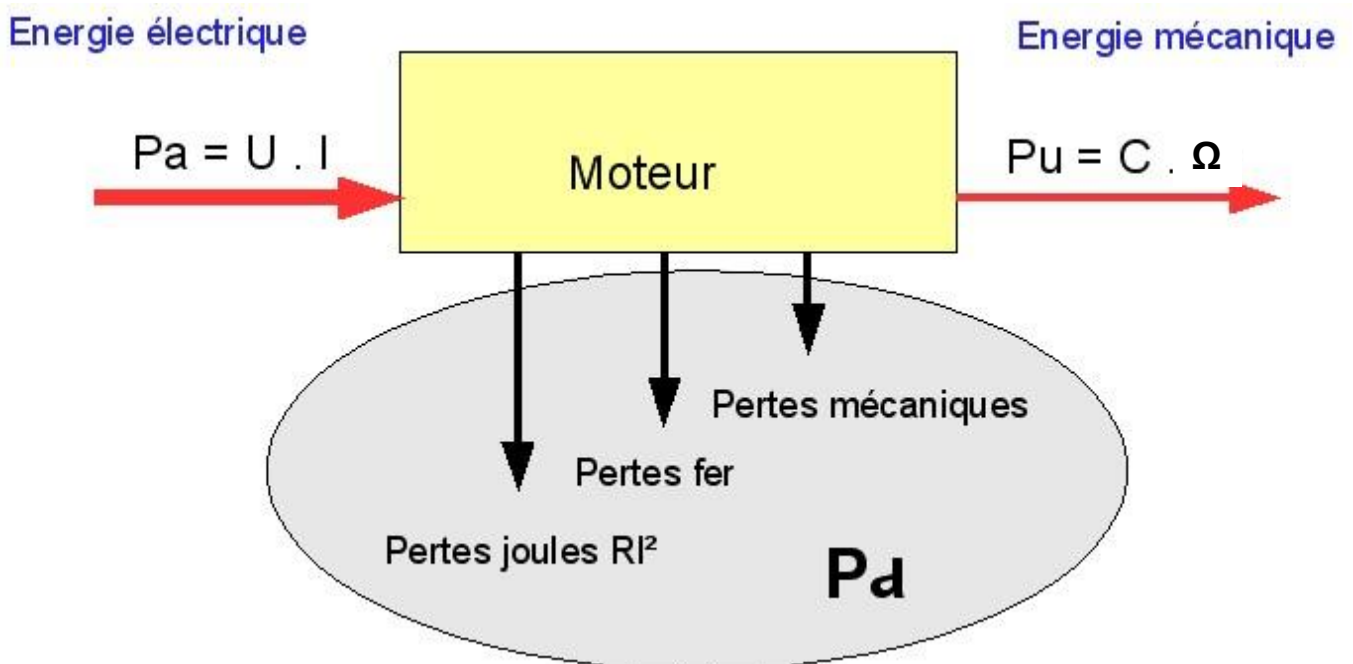
Le **rapport cyclique** du signal est égal à **val / 255**

PWM sortie, 0 arrête le moteur

PWM sortie, 255 alimente le moteur avec la tension maximale

PWM sortie, 64 alimente le moteur au quart de la tension

6/ PUISSANCE ET RENDEMENT



Puissance absorbée (W) : c'est la **puissance électrique** prélevée sur l'alimentation **$P_a = U \cdot I$**

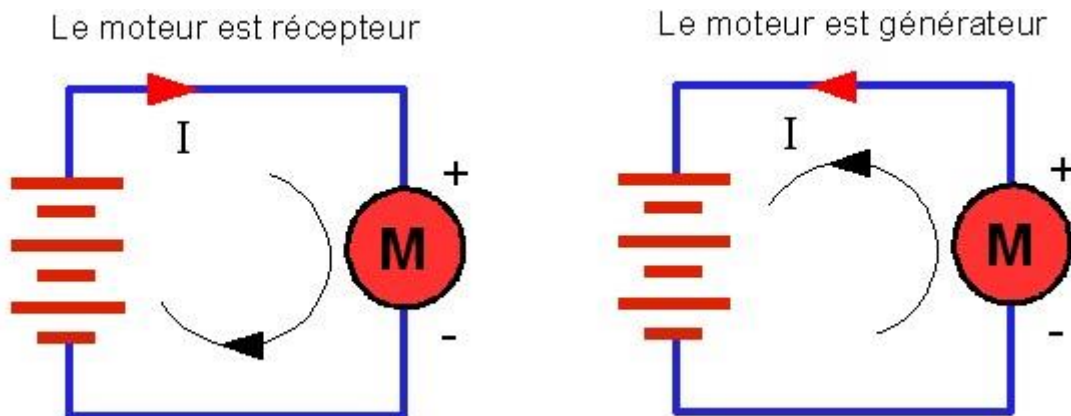
Puissance utile (W) : c'est la **puissance mécanique** disponible sur l'arbre **$P_u = C \cdot \Omega$**

Puissance dissipée (W) : cette **puissance** correspond aux **pertes électriques** par **effet joules** ($R.I^2$), aux **pertes mécaniques** et aux **pertes magnétiques**, La puissance utile est donc toujours plus faible que la puissance absorbée $P_d = P_a - P_u$

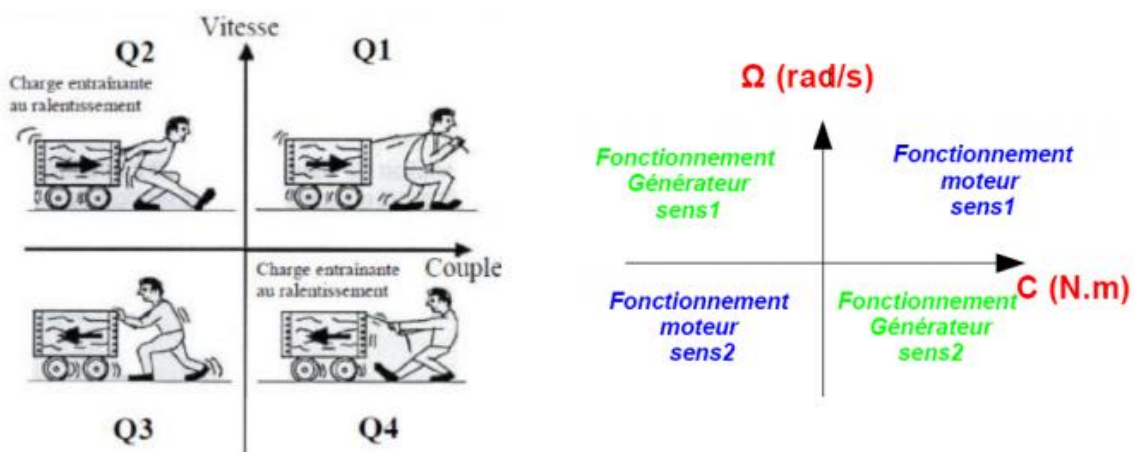
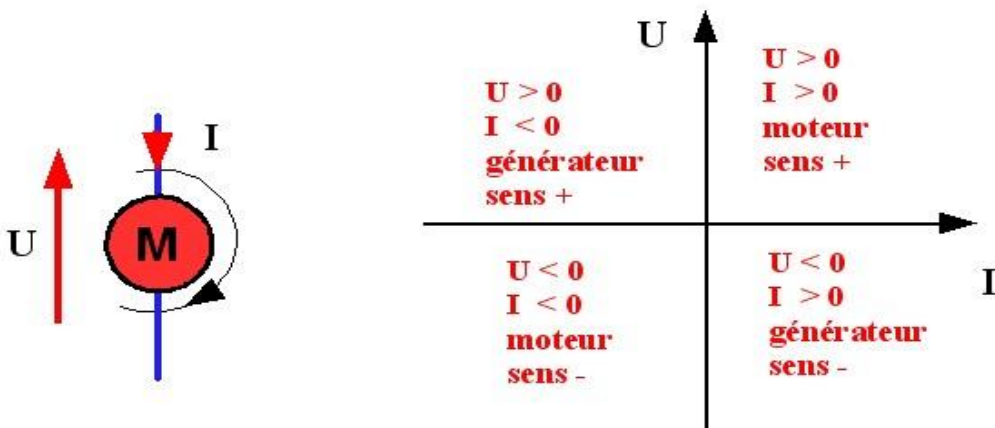
Rendement : c'est le rapport entre la puissance utile et la puissance absorbée, il est toujours inférieur à 1, $\eta = P_u / P_a$

7/ REVERSIBILITE

Ce **type de moteur** peut convertir **l'énergie électrique** en **énergie mécanique**, comme tous les moteurs, mais il peut aussi faire le contraire, il se comporte alors en **générateur**.



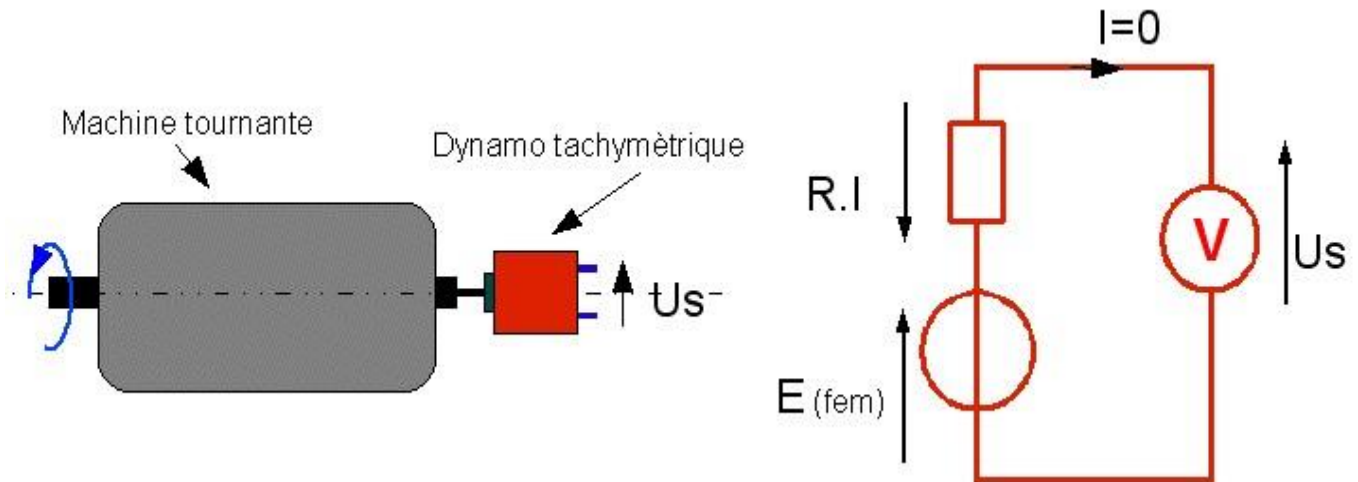
Dans le **premier cas**, le **moteur** alimenté par la **batterie entraîne la mécanique**, dans le **second cas**, c'est la **mécanique qui entraîne le moteur** et il peut **charger la batterie**. On dit que ce moteur est **réversible** et qu'il peut fonctionner dans **quatre quadrant**



8/ GENERATRICE TACHYMETRIQUE

La **tension E** étant **proportionnelle** à la **fréquence de rotation**, le moteur peut être utilisé comme **capteur de vitesse**

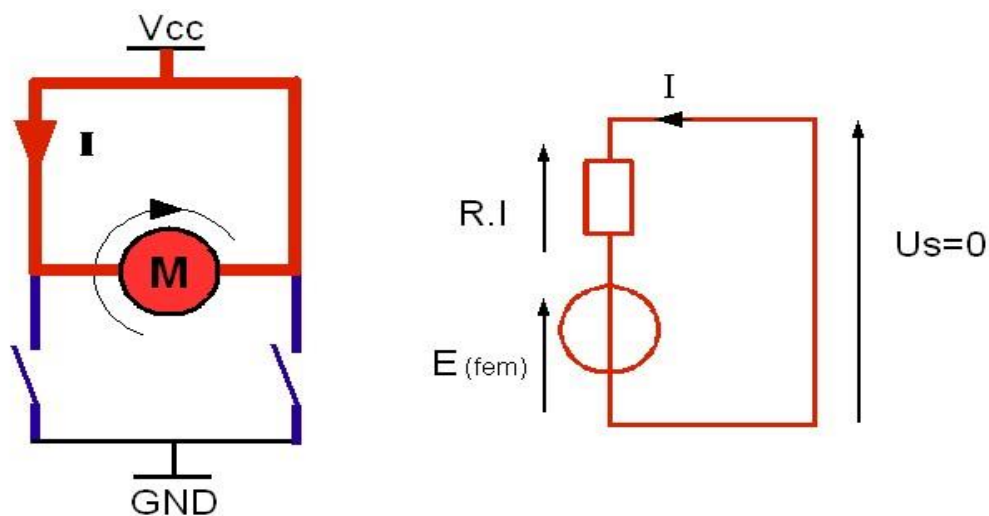
On le nomme alors **génératrice tachymétrique** et on mesure la **tension U** à ses bornes.



La tension de sortie est égale à $U_s = E - R.I$ avec I nul, donc $U_s = E = K_e \cdot \omega$

9/ FREINAGE DU MOTEUR

Le **moteur à courant continu** aussi peut être utilisé comme **frein**, il est dans ce cas mis en **court-circuit**. Le courant important qui circule alors dans le bobinage provoque une **dissipation d'énergie par effet joule**.



$$U = E + R.I \quad \text{donc} \quad I = (U - E) / R \quad \text{avec} \quad U = 0, \quad \text{donc} \quad I = - E / R$$

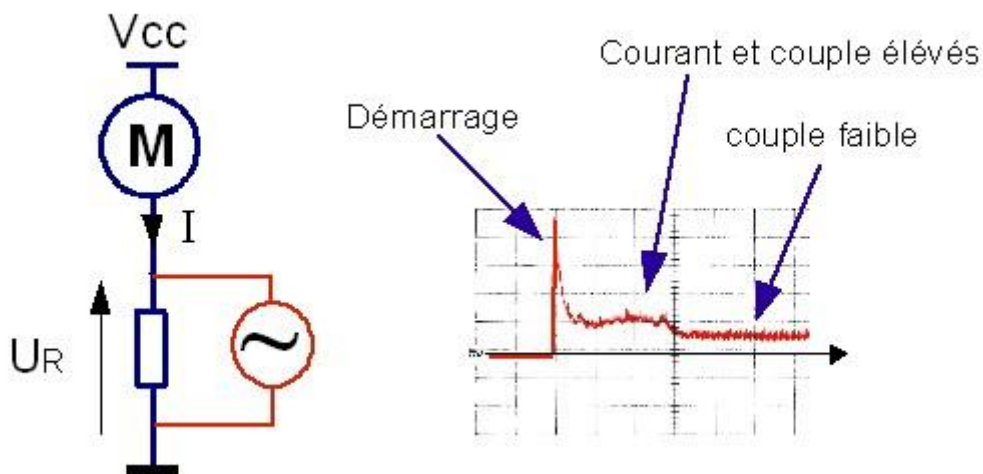
I est **négligé** alors qu'il était positif en phase "moteur", le **couple** est donc **également négatif** et **freine la charge**.

10/ MESURE DU COURANT DANS LE MOTEUR

Il est très fréquent de devoir **mesurer le courant** consommé par le **moteur**, cette mesure étant directement liée au **couple**.

Une **résistance** est en général placée en **série** entre le moteur et la masse. La faible valeur de la résistance ne perturbe pas le fonctionnement du moteur.

On relève **la tension aux bornes** de celle-ci, la valeur mesurée nous permet de déterminer le courant. Si la résistance est de 1Ω , le courant et la tension sont identiques.



Avec un **oscilloscope**, on peut ainsi avoir un **chronogramme** du **courant** et donc du **couple**.

La résistance en série associée à un circuit électronique permet aussi de **détecter des surintensités** pour **limiter le couple** dans certains mécanismes.

Un **capteur de courant** peut aussi être utilisé. Le **courant** traverse le **circuit** et est mesuré par un **capteur à effet Hall**.