

# Moteurs à courant continu (mcc)

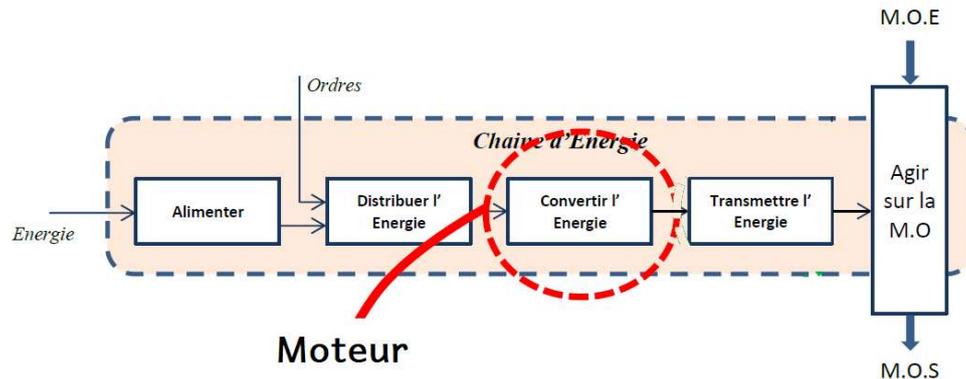
## 1. Introduction

Ce type de moteur doit être **alimenté par une tension continue**. Si on augmente cette tension, la vitesse en sortie du moteur augmente et vice versa.

La **vitesse de rotation en sortie est liée à la tension d'alimentation**.

Le moteur à courant continu est souvent utilisé dans des appareillages autonomes pourvus de batterie. (Visseuse deviseuse sans fils par exemple)

Le moteur à courant continu est un élément de la chaîne d'énergie.

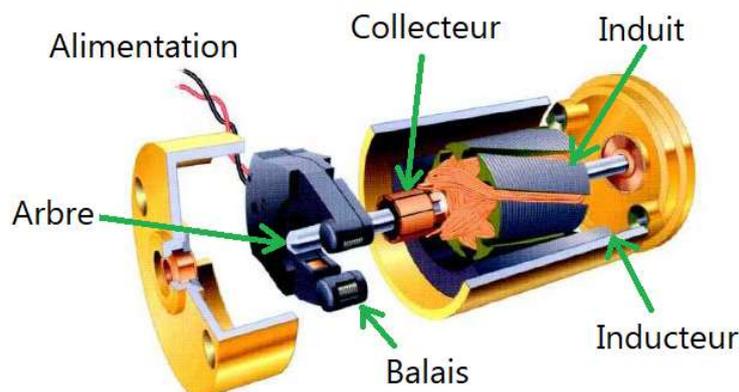


C'est un actionneur, un **convertisseur d'énergie totalement réversible**.

## 2. Structure d'une machine à courant continu

Dans un moteur électrique, l'électricité et le magnétisme se combinent pour former une force électromagnétique qui est utilisée pour produire une énergie mécanique.

### 2.1 Vue d'ensemble

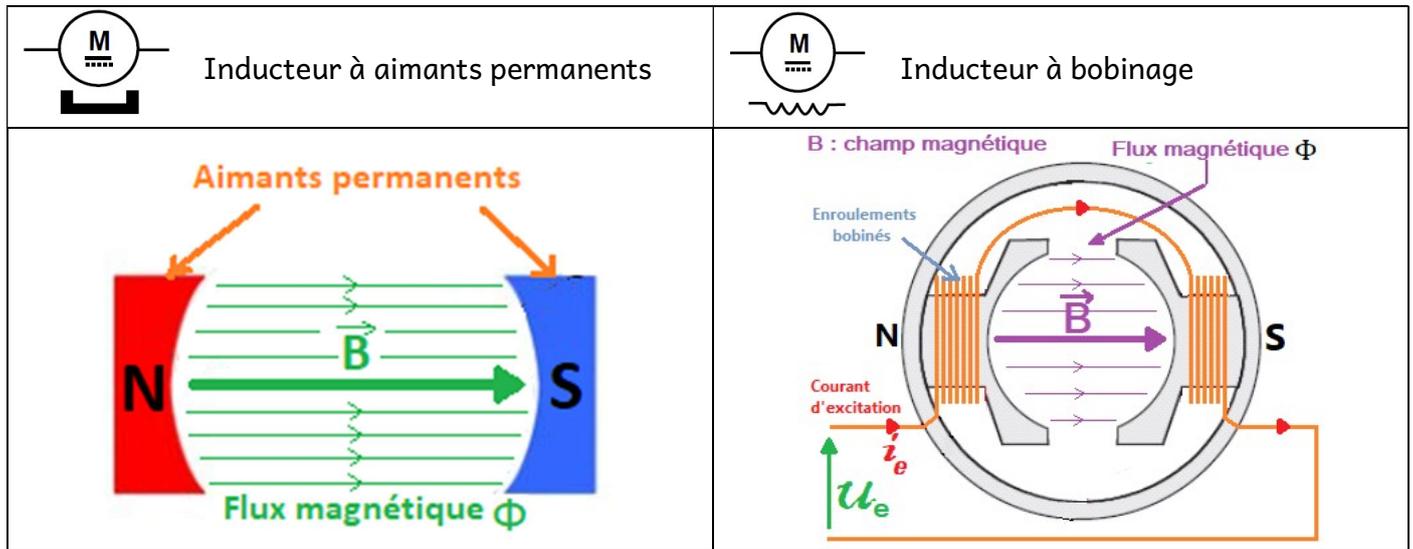


Le moteur à courant continu est constitué de deux parties

- Une partie fixe appelée **STATOR** (châssis, balais, inducteur, alimentation)
- Une partie mobile appelée **ROTOR** (induit, collecteur, arbre)

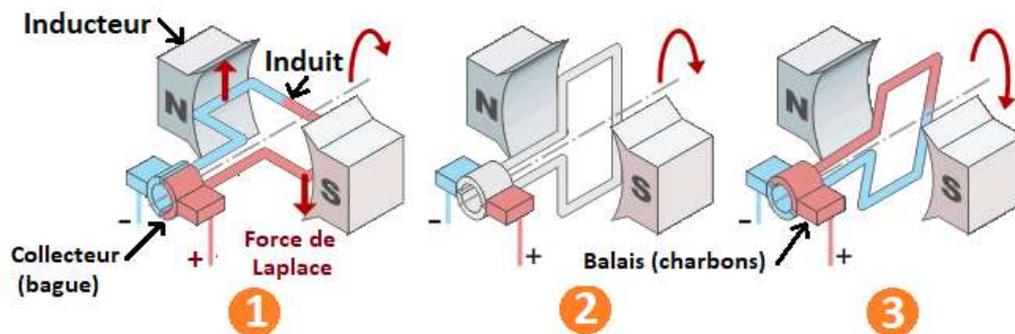
## 2.2 L'inducteur (ou circuit d'excitation)

L'inducteur est soit un aimant permanent, soit un électroaimant (bobinage parcouru par un courant continu). Il génère un champ magnétique  $\vec{B}$  et un flux magnétique  $\Phi$  associé entre son pôle nord et son pôle sud. Il est situé sur la partie fixe de la machine, le stator.



## 2.3 L'induit (circuit de puissance)

L'induit est situé sur le rotor (partie tournante de la machine), c'est un ensemble de spires plongées dans le champ magnétique créé par l'inducteur.



**Phase 1** : les spires de l'induit parcourues par le courant subissent la **force de Laplace** qui déclenche le mouvement de rotation du rotor.

**Phase 2** : La discontinuité sur la bague du collecteur ouvre le circuit, le courant ne circule plus dans les spires, mais l'induit continue à tourner par inertie jusqu'à ce que la discontinuité soit passée.

**Phase 3** : le courant est rétabli dans les spires de l'induit et circule maintenant en sens inverse, ce qui crée une force de Laplace qui conserve le même sens de rotation.

## 2.4 Collecteur et balais

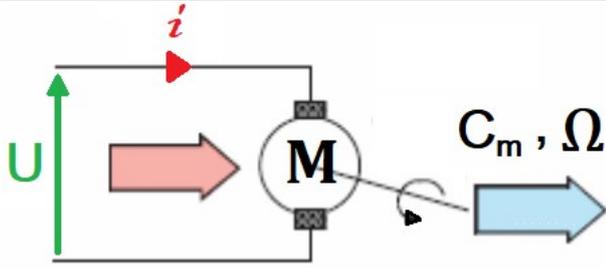
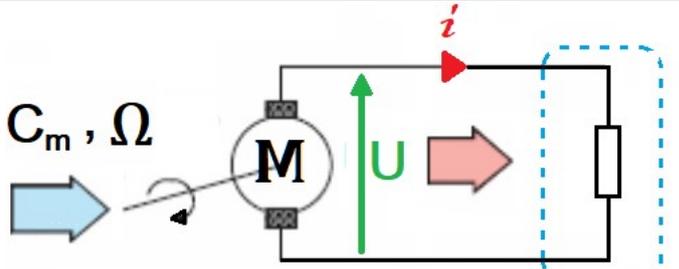
Le dispositif collecteur/ balais (ou charbons) permet de faire circuler un courant dans l'induit.

Les balais (qui sont fixes) permettent d'assurer le contact avec l'induit (qui tourne) par l'intermédiaire du collecteur.

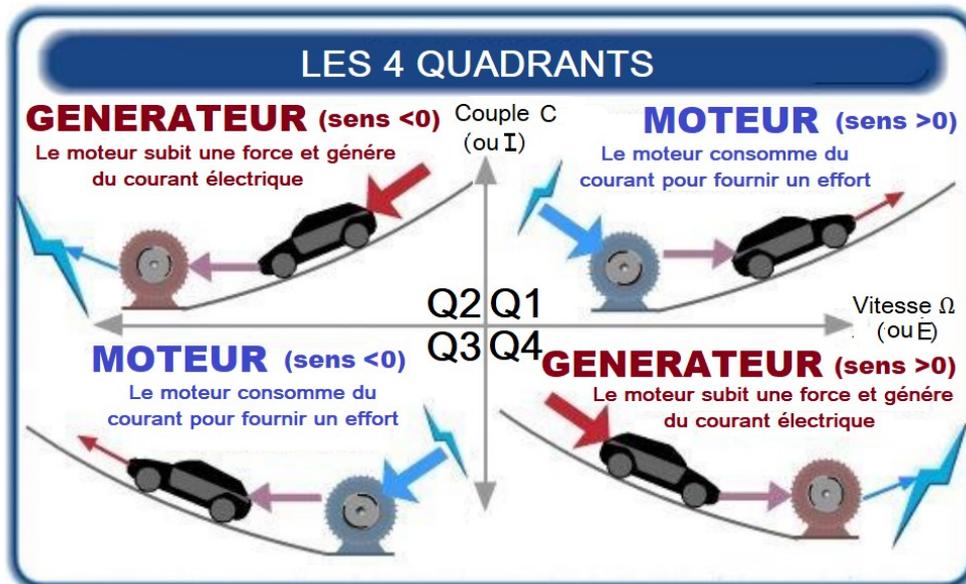
### 3. Utilisation

#### 3.1 Modes de Fonctionnement

Les moteurs à courant continu sont réversibles, on peut soit les utiliser en moteur, soit en générateur.

Mode moteur	Mode générateur
 <p><u>Loi de Laplace</u> <math>\vec{F} = i \cdot \vec{l} \wedge \vec{B}</math></p> <p><b>Il convertit l'énergie électrique en énergie mécanique</b></p> <p>Si on alimente l'induit, la force de Laplace apparait et met en rotation le rotor. Cette force est proportionnelle au courant dans l'induit.</p>	 <p><u>Loi de Lenz</u> <math>E = - \frac{d\Phi}{dt}</math></p> <p><b>Il convertit l'énergie mécanique en énergie électrique</b></p> <p>Si le rotor tourne, cela crée une variation de flux dans l'induit. Une tension E appelée force électro motrice (f.é.m.) apparait dans celui-ci qui permettra d'alimenter une charge.</p>

#### 3.2 Représentation sur 4 quadrants



Exemples :

Q1 : aspirateur

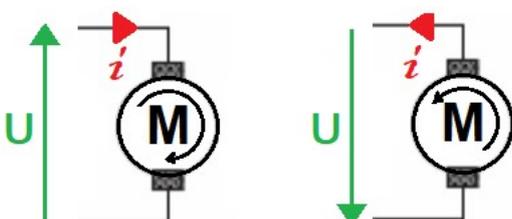
Q2 : éolienne

Q1 et Q3 : visseuse-devisseuse  
Non réversible

Q1 et Q4 : treuil  
Réversible en courant

Q1 et Q2 : scooter électrique  
Réversible en tension

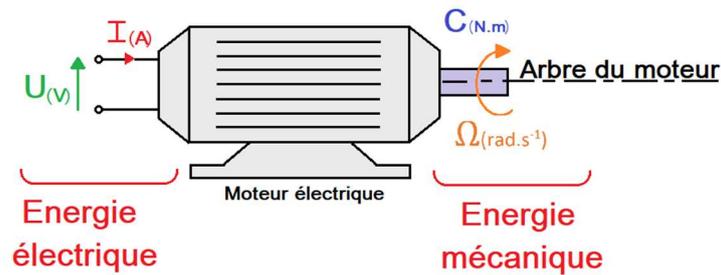
#### 3.3 Sens de rotation en mode moteur



En inversant la tension aux bornes du moteur, on inverse le sens de rotation en sortie de celui-ci.

## 4. Caractéristiques du moteur

### 4.1 Grandeurs physiques d'entrées et de sorties



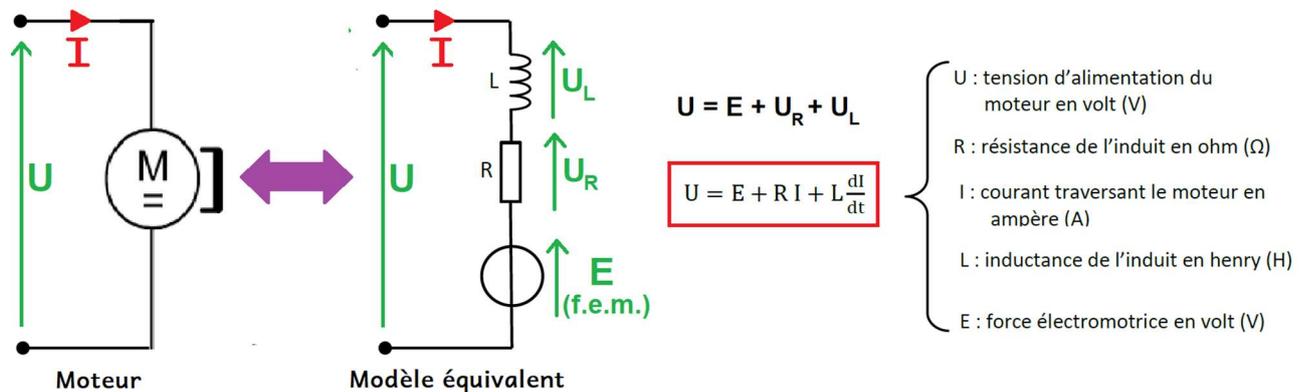
	Symbole	Description	Type	Unité	Symbole
Grandeurs d'entrée	U	Tension continue aux bornes du moteur	Variable d'effort	Volt	V
	I	Courant continu traversant le moteur	Variable de flux	Ampère	A
Grandeurs de sortie	C (ou T)	Couple délivré par l'arbre du moteur	Variable d'effort	Newton mètre	N.m
	$\Omega$ (ou $w$ )	Vitesse angulaire de l'arbre du moteur	Variable de flux	Radian par seconde	Rad.s <sup>-1</sup>

Attention, la vitesse  $\Omega$  peut s'exprimer en radian par seconde ou en tour par minute.

$$\Omega \underset{[rad.s^{-1}]}{=} \frac{2 \cdot \pi \cdot N \underset{[tr.min^{-1}]}{}}{60}$$

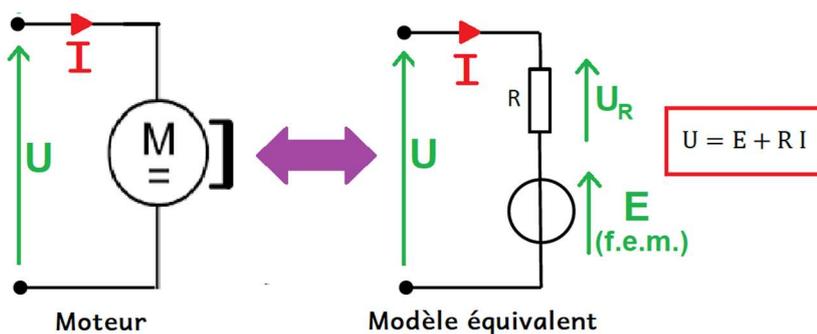
### 4.2 Modèles équivalents

#### a) Modèle général (tout régime)



#### b) Modèle simplifié (en régime permanent)

En régime permanent, le courant et la tension ne varient plus ( $\frac{dI}{dt} = 0 \Rightarrow U_L = 0$ ), on peut simplifier le modèle.



### 4.3 Relations importantes

a) **La loi de Faraday** : la force électromotrice notée E est proportionnelle à la vitesse de rotation.

$$E = K_V \times \Omega \left\{ \begin{array}{l} E : \text{force électromotrice en volt (V)} \\ \Omega \text{ ou } \omega : \text{vitesse de rotation en radian/seconde (rad.s}^{-1}\text{)} \\ K_V : \text{constante de vitesse (V.rad}^{-1}\text{.s)} \end{array} \right.$$

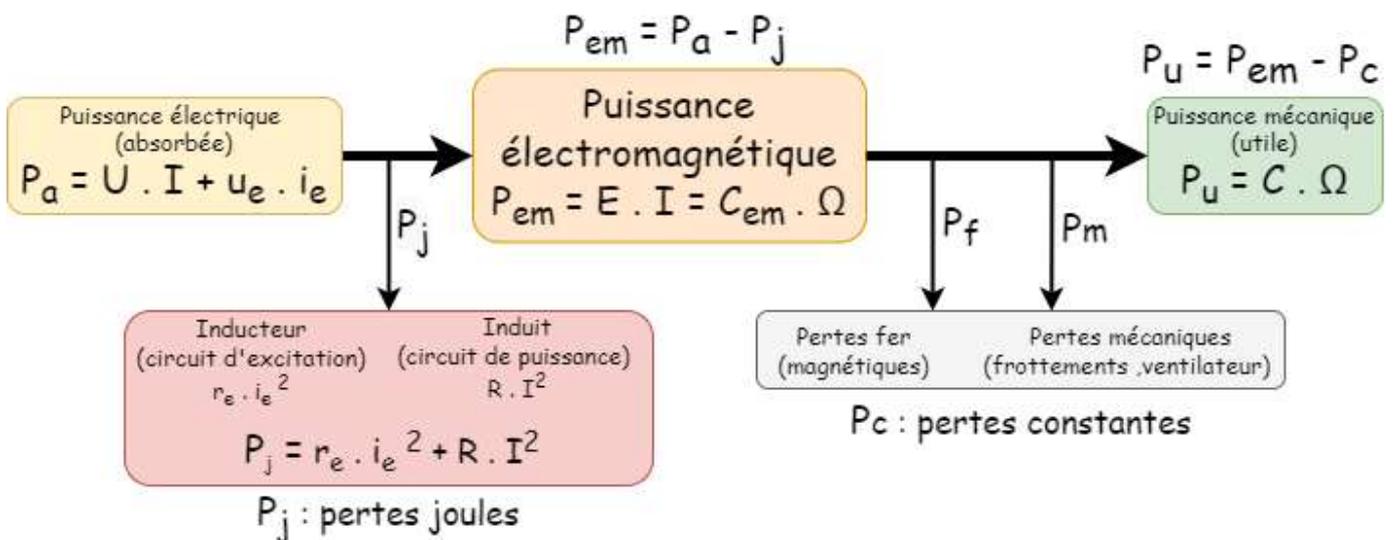
b) **Relation mécanique** : Le couple est proportionnel au courant absorbé par le moteur

$$C = K_C \times I \left\{ \begin{array}{l} C : \text{couple en newton mètre (N.m)} \\ I : \text{courant en ampère (A)} \\ K_C : \text{constante de couple en newton mètre par ampère (N.m.A}^{-1}\text{)} \end{array} \right.$$

$K_V = K_C$  dans les cas que nous étudierons.

## 5. Bilan des puissances

### 5.1 En fonctionnement moteur

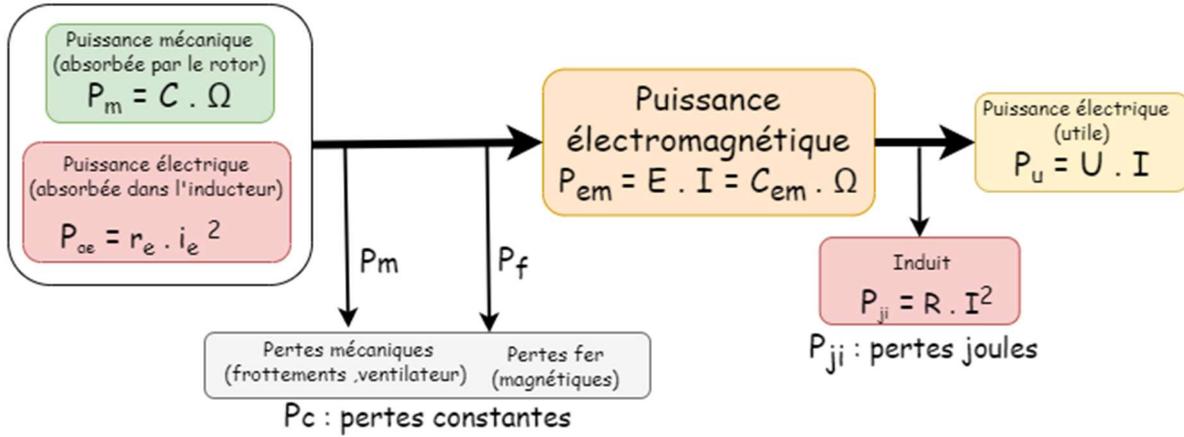


	Inducteur à aimants permanents	Inducteur avec circuit d'excitation
Puissance absorbée	$P_a = U \cdot I$	$P_a = U \cdot I + u_e \cdot i_e$
Pertes par effet joule	$P_j = R \cdot I^2$	$P_j = R \cdot I^2 + r \cdot i_e^2$
Puissance électromécanique	$P_{em} = E \cdot I = C_{em} \cdot \Omega$	Idem
Pertes constantes	Pertes mécaniques (frottements) et pertes fer (magnétiques)	
Puissance utile	$P_u = C \cdot \Omega$	Idem

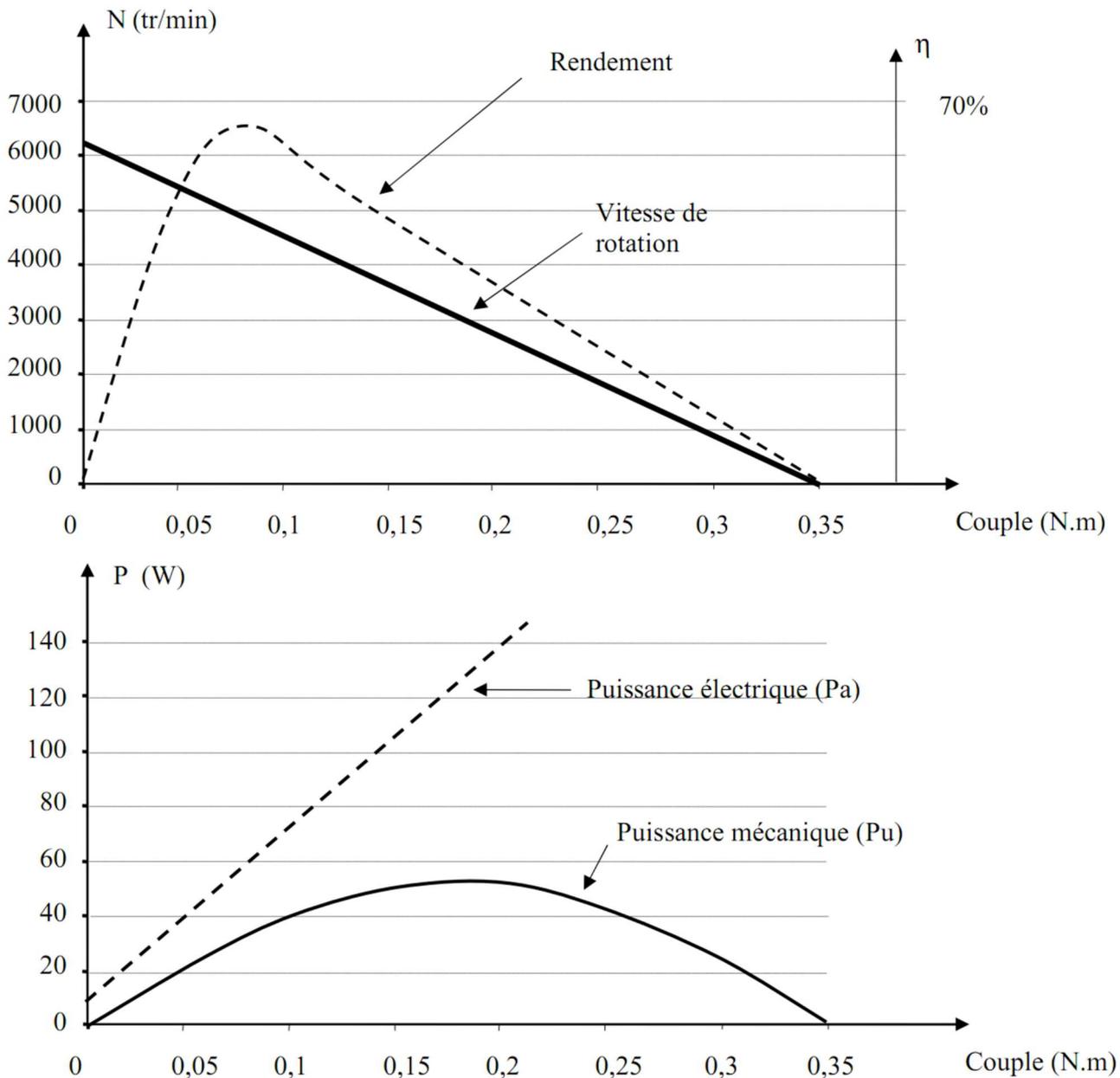
Le rendement :  $\eta = \frac{P_u}{P_a}$

## 5.2 En fonctionnement générateur

$P_a$  : puissance absorbée



## 6 Courbes caractéristiques



Points caractéristiques à savoir identifier : le couple au démarrage, le rendement maximum, la puissance maximale, la vitesse à vide (sans charge).

# Rappels de physique

**Le champ magnétique est orienté du nord vers le sud**

**Le Flux magnétique  $\Phi$**  (on le représente avec des lignes de champ).

Si on note  $S$  (en mètre carré) la surface de la section de la bobine ( $\pi$  fois rayon des spires au carré), et  $B$  (en Tesla ou Weber/mètre carré) l'intensité du champ magnétique qui traverse  $S$  ( $B$  est supposé égal en tout point à l'intérieur de la bobine, mais il peut varier dans le temps), on a la relation suivante :  $\phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = B \cdot S \cdot \cos(\widehat{B, S})$ .

## Loi de Faraday

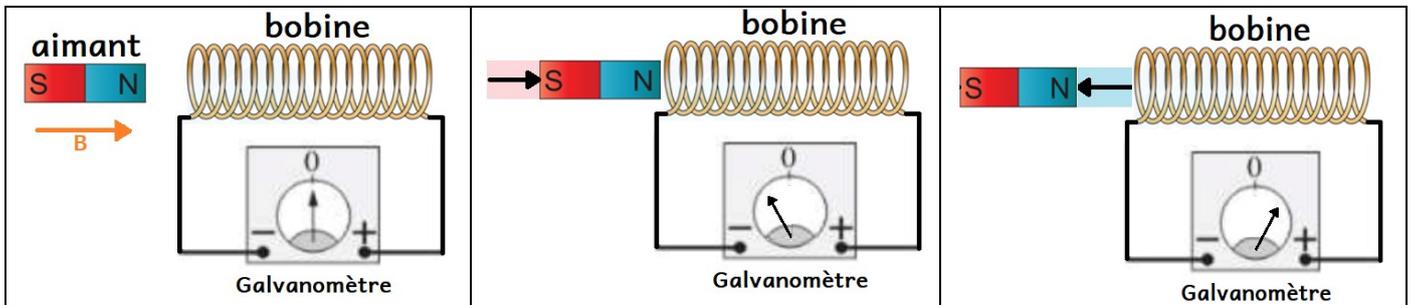
Une variation de flux magnétique  $\Phi$  dans une bobine produit une force électromotrice (fem) notée  $E$ .

Cette fem s'exprimera en Volts et sa valeur est donnée par l'équation de Faraday :  $E = -N \frac{d\Phi}{dt}$ ,

Cette force va mettre en mouvement les charges électriques dans la bobine et créer un courant induit.

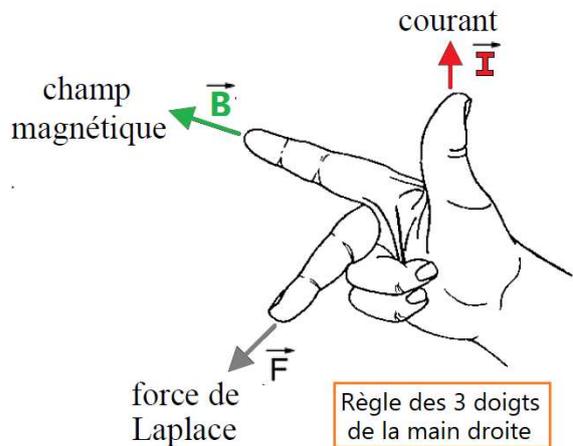
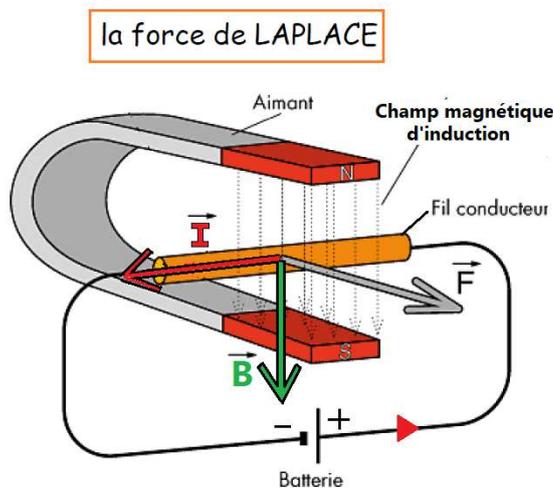
## La loi de Lentz

Une variation de flux magnétique  $\Phi$  dans une bobine produit un courant induit dans celle-ci qui tend par ses effets à s'opposer à cette variation de flux magnétique.



## La loi de Laplace

Lorsqu'un conducteur parcouru par un courant est placé dans un champ magnétique, il se crée une force sur ce conducteur appelée force de Laplace.



$$\vec{F} = I \cdot \vec{L} \wedge \vec{B}$$

$\vec{F}$  [N]
 $I$  [A]
 $\vec{L}$  [m]
 $\vec{B}$  [T]

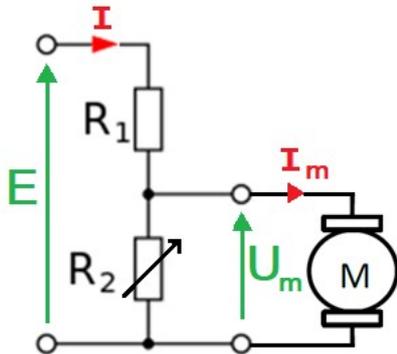
$\vec{F}$  : Force de Laplace (Newton)  
 $I$  : Courant dans le conducteur (Ampère)  
 $L$  : Longueur du conducteur (mètre)  
 $\vec{B}$  : Champ magnétique (Tesla)

## Modification de la vitesse d'un moteur à courant continu

La vitesse de rotation d'un moteur à courant continu est proportionnelle sa tension d'alimentation. Nous allons donc voir différents montages permettant de modifier la valeur de la tension d'alimentation du moteur.

### 1. Le diviseur de tension

Un montage très simple constitué de deux résistances dont une est variable.



$$U_m = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot E$$

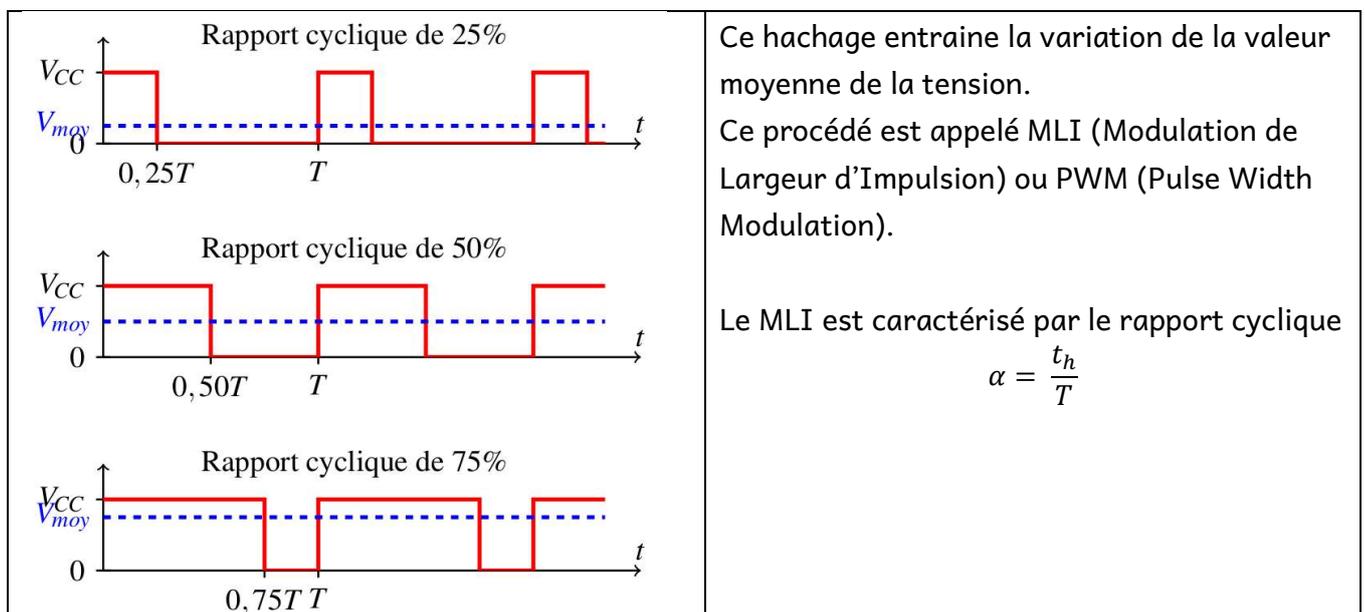
Relation valable si le courant absorbé par le moteur est très petit par rapport au courant  $I$  ( $I_m \ll I$ ).

Inconvénients :

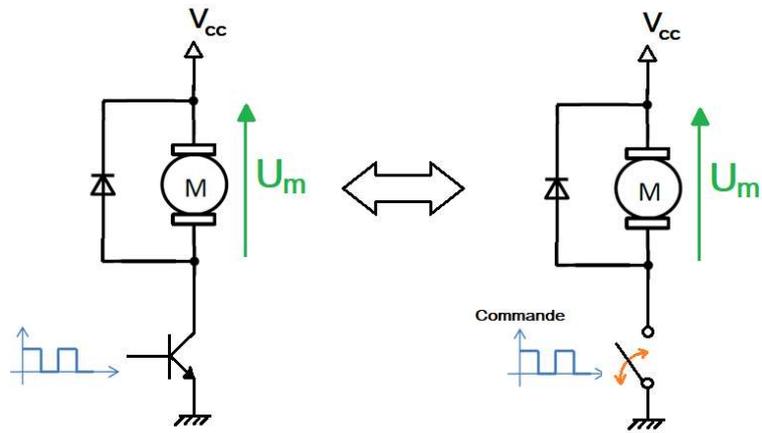
- Rendement est très mauvais,
- Intervention humaine pour la variation

### 2. Un hacheur

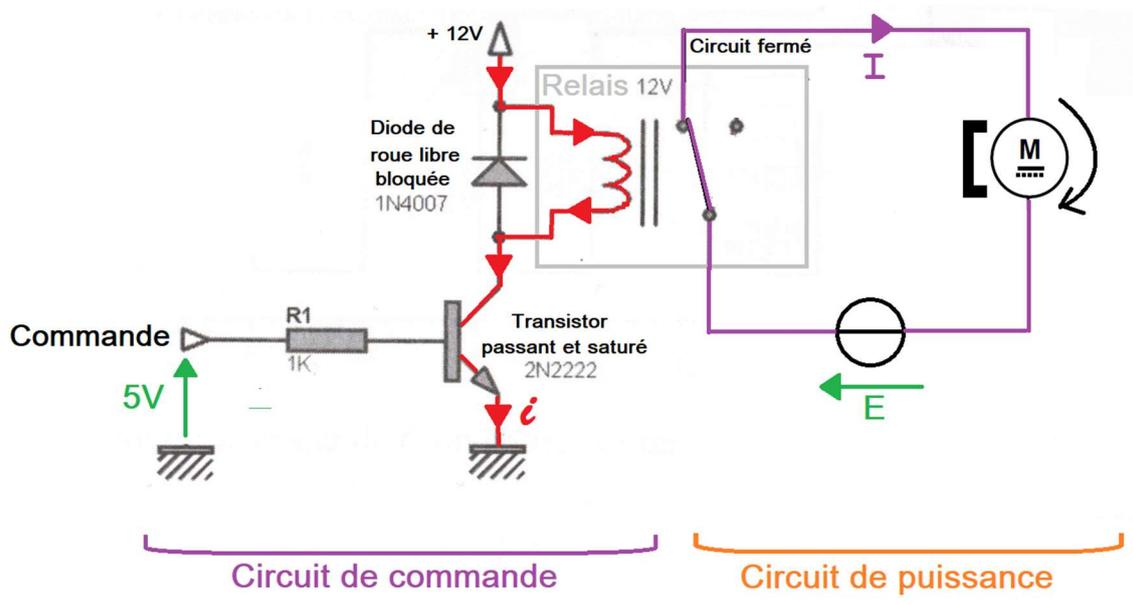
Principe : on adapte la tension d'alimentation en la hachant., on fait varier le rapport cyclique.



On va faire varier la tension moyenne d'alimentation du moteur en utilisant un hacheur.



Cet interrupteur (transistor) permet de déconnecter à intervalle régulier le moteur de la source d'alimentation. La tension aux bornes du moteur est « hachée ».



Modèle de hacheur permettant de modifier le sens de rotation

Principe

