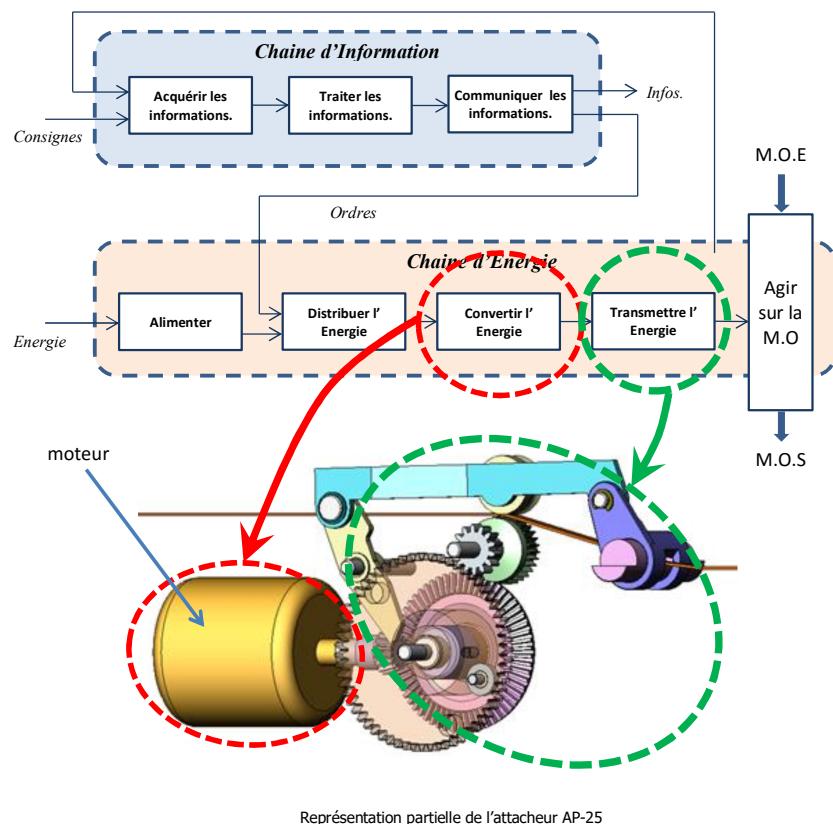


### 1 MISE EN SITUATION

On peut distinguer au sein d'un système pluritechnique deux parties, l'une agissant sur le flux de données appelée « chaîne d'information », l'autre agissant sur le flux de matières et d'énergies, appelée « chaîne d'énergie ». L'énergie primaire fournie par la fonction « alimenter » se présente le plus fréquemment sous forme électrique, pneumatique, hydraulique... Cette énergie n'est pas directement exploitable par l'effecteur qui agit sur la matière d'œuvre. Il est donc nécessaire de « convertir l'énergie » en une énergie mécanique : c'est la fonction des actionneurs tels que les moteurs, les vérins hydrauliques ou pneumatiques...



L'attacheur de végétation est équipé d'un moteur à courant continu. Le moteur à courant continu est un convertisseur d'énergie électrique en énergie mécanique. Il est fréquemment employé dans les systèmes techniques autonomes alimentés par batterie.

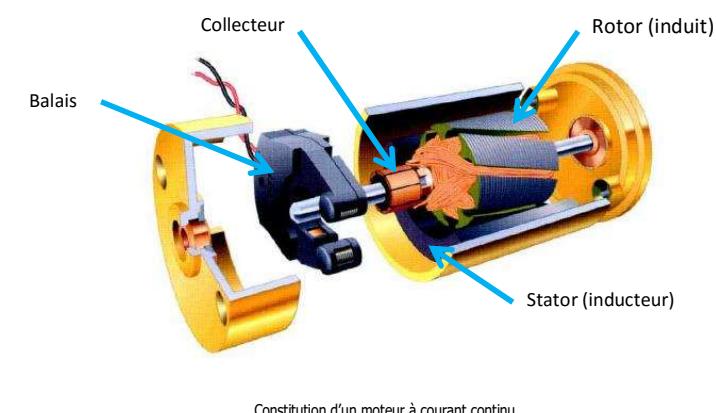
### 2 LE MOTEUR A COURANT CONTINU : CONSTITUTION

Les machines à courant continu sont essentiellement composées :

- D'un circuit électrique :

  - ✓ L'**Inducteur** porté par le stator, pour créer un flux magnétique
  - ✓ L'**Induit** porté par le rotor, pour créer un courant ou une force selon le mode de fonctionnement de la machine
  - ✓ De **balais** et d'un **collecteur** à lames pour distribuer le courant électrique au circuit inducteur tournant.

- D'un circuit magnétique pour canaliser le flux magnétique.
- D'une partie mécanique pour fixer les différents organes les uns par rapport aux autres.



### 3 DIFFERENTS TYPES DE MOTEURS A COURANT CONTINU

Selon le type d'inducteur et son mode de branchement, on trouve :

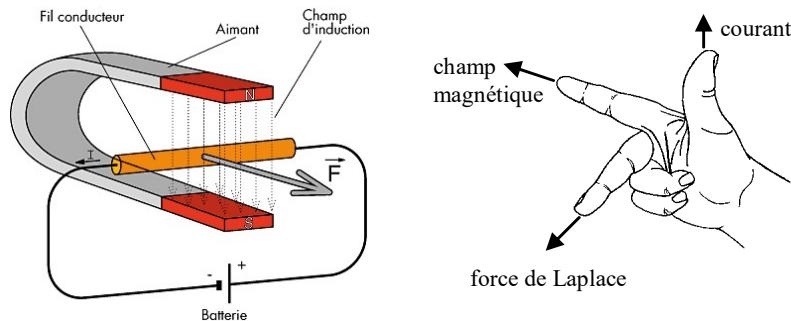
- Les moteurs dont l'inducteur est constitué par des aimants permanents.
- Les moteurs à excitation séparée (l'inducteur peut être alimenté séparément par une source d'énergie autre que celle de l'induit)
- Les moteurs à excitation série (l'inducteur est branché en série avec l'induit)
- Les moteurs à excitation dérivation (l'inducteur est branché en parallèle sur l'induit).

## Le moteur à courant continu.

### 4 CONVERSION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE EN ENERGIE MECHANIQUE

#### 4.1 Principe physique

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

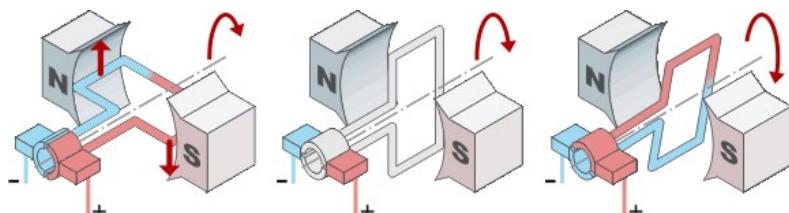


Cette force s'applique à un conducteur parcouru par un courant et placé dans un champ magnétique. L'orientation de cette force est donnée par la règle des trois doigts de la main droite :

- 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.

#### 4.2 Application au moteur à courant continu

Les pôles Nord et Sud des aimants permanents créent un flux (champ magnétique  $B$ ) 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).

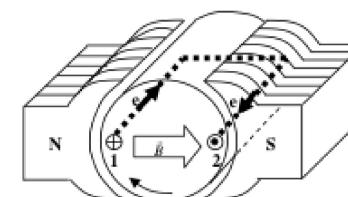


## Le moteur à courant continu.

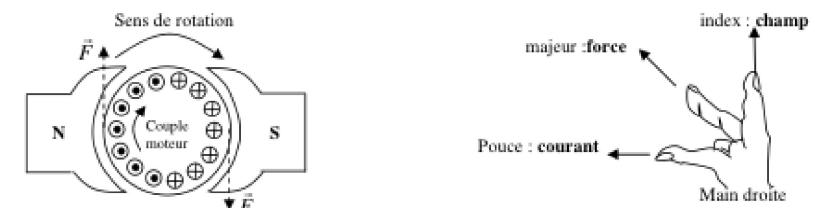
Dans la pratique, pour que le moteur puisse démarrer sans être lancé, il faut disposer au minimum de trois bobinages disposés à 120°.

#### 4.3 Réversibilité de la machine à courant continu

Si on considère le conducteur 1 placé sur l'induit qui tourne, ce conducteur coupe les lignes de champ magnétique. Il est alors le siège d'une force électromotrice induite (FEM) dont le sens est donné par la règle des 3 doigts de la main gauche. Si on considère la spire formée par les conducteurs 1 et 2, les 2 FEM s'ajoutent. On peut fermer le circuit sur un récepteur. On a réalisé un générateur de courant.



Si on fait circuler un courant dans la spire, en présence d'un flux magnétique induit, une force agit sur les conducteurs et fait tourner l'induit. On a réalisé un moteur à courant continu.

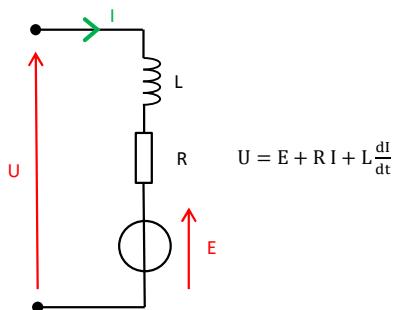


La machine à courant continu est réversible, elle fonctionne :

- ✓ En génératrice quand elle est entraînée,
- ✓ En moteur quand elle est alimentée en courant continu.

### 5 MODELE EQUIVALENT DE LA MACHINE A COURANT CONTINU

Le modèle électrique d'un moteur à courant continu est constitué d'une force électromotrice f.e.m notée  $E$ , proportionnelle à la vitesse de rotation du moteur, d'une résistance  $r$  (résistance de l'induit) et d'une inductance  $L$ .

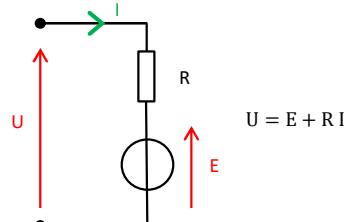


$$U = E + RI + L \frac{di}{dt}$$

U : tension d'alimentation du moteur en volt (V)  
 R : résistance de l'induit en ohm ( $\Omega$ )  
 I : courant traversant le moteur en ampère (A)  
 L : inductance de l'induit en henry (H)  
 E : force électromotrice en volt (V)

Le terme  $L \frac{di}{dt}$  n'existe que si le courant est variable, c'est à dire aux régimes transitoires (démarrage, freinage). En régime permanent établi, il est alors possible de simplifier ce modèle.

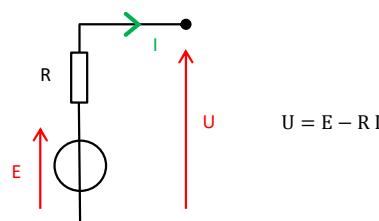
#### 5.1 Modèle équivalent pour un fonctionnement en moteur



$$U = E + RI$$

U : tension d'alimentation du moteur en volt (V)  
 R : résistance de l'induit en ohm ( $\Omega$ )  
 I : courant traversant le moteur en ampère (A)  
 E : force électromotrice en volt (V)

#### 5.2 Modèle équivalent pour un fonctionnement en générateur



$$U = E - RI$$

U : tension d'alimentation du moteur en volt (V)  
 R : résistance de l'induit en ohm ( $\Omega$ )  
 I : courant traversant le moteur en ampère (A)  
 E : force électromotrice en volt (V)

### 6 CARACTERISTIQUES ELECTROMECANIQUES

#### 6.1 La vitesse

La vitesse  $s$  s'exprime en tours par minutes (tr / mn) ou en radians par secondes (rd / s). Cette grandeur est souvent notée  $n$  ou  $N$  (tr / mn) ou  $\Omega$  (rd / s) ou encore  $\omega$  (rd / s).

$$E = Kv \times \omega$$

E : force électromotrice en volt (V)  
 $\omega$  : vitesse de rotation en radian/seconde ( $\text{rad.s}^{-1}$ )  
 Kv : constante de vitesse ( $\text{V.rad}^{-1}.\text{s}$ )

Si on néglige la chute de tension aux bornes de la résistance de l'induit on peut dire que la vitesse de rotation de l'arbre moteur est proportionnelle à la tension d'alimentation  $U$  du moteur.

#### 6.2 Le couple

Le couple s'exprime en Newton par mètre (Nm), cette grandeur est  $C$ .

$$C = Kc \times I$$

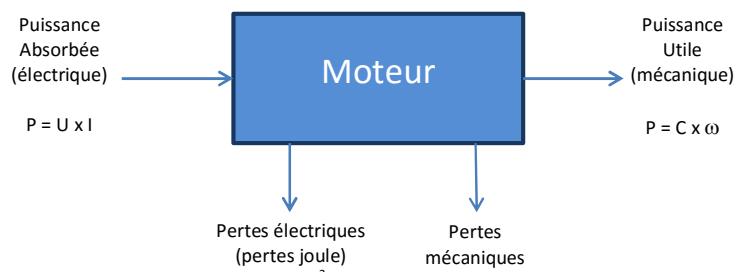
C : couple en newton mètre (Nm)  
 I : courant en ampère (A)  
 Kc : constante de couple en newton mètre par ampère ( $\text{N.m.A}^{-1}$ )

#### 6.3 La puissance

La puissance s'exprime en watt (W), cette grandeur est notée  $P$ .

La puissance électrique ( $P_e$ ) au niveau de l'induit s'exprime par la relation  $P_e = E \times I$ . La puissance mécanique ( $P_m$ ) s'exprime par la relation  $P_m = C \times \omega$  (puissance utile).

Si on effectue un bilan complet des puissances pour une machine réelle, on observe des puissances utiles et celles qui traduisent des pertes mécaniques ou électriques.



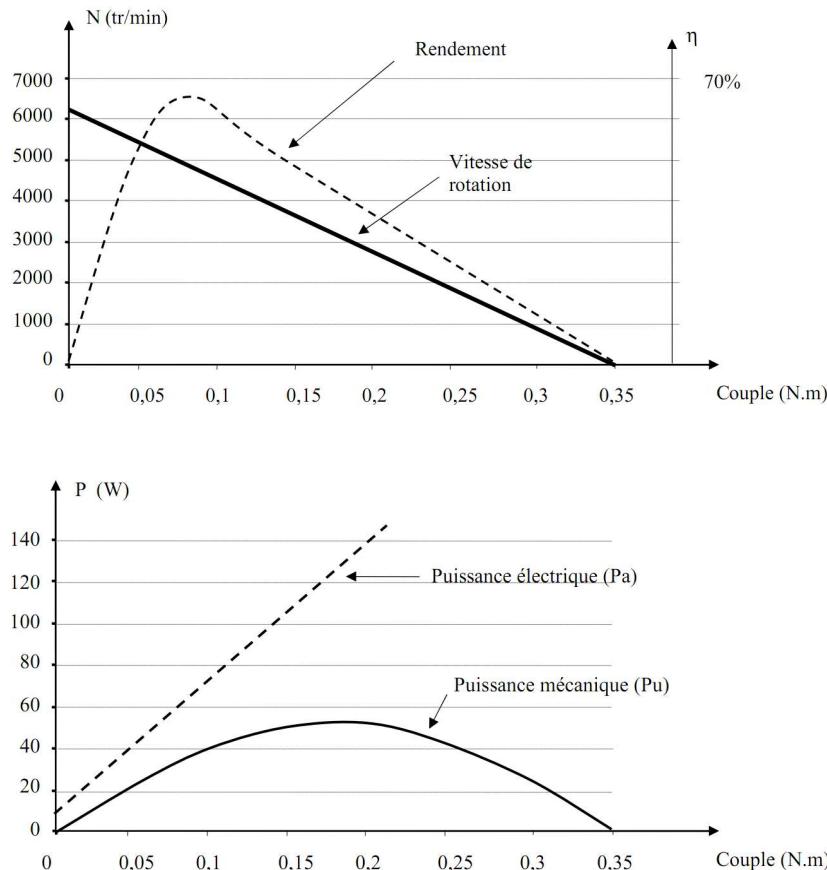
## Le moteur à courant continu.

### 6.4 Le rendement

Le rendement du moteur est défini comme le rapport de la puissance utile sur la puissance absorbée.

### 6.5 Courbes caractéristiques

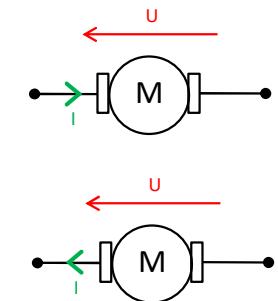
On donne ci-dessous, les courbes caractéristiques d'un moteur à courant continu. Les grandeurs vitesse de rotation, rendement, puissance électrique et puissance mécanique sont données en fonction du couple résistant sur l'arbre moteur pour une tension d'alimentation constante.



## Le moteur à courant continu.

### 7 REVERSIBILITE DE FONCTIONNEMENT

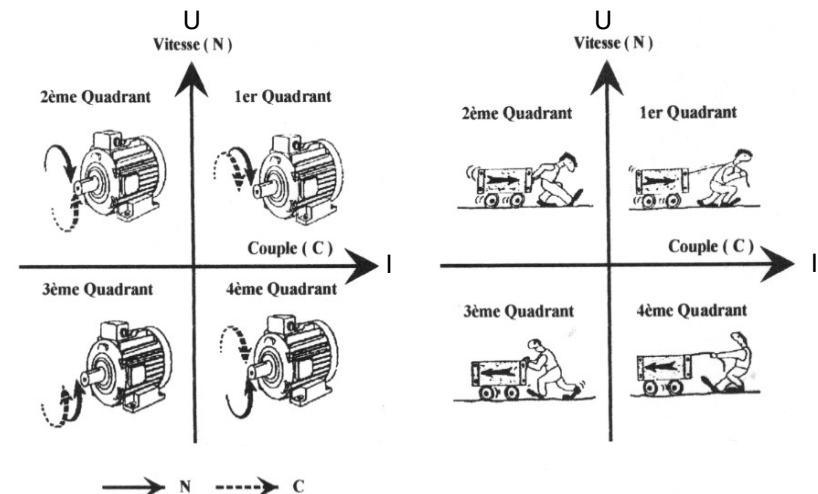
Le moteur à courant continu est réversible, de moteur il peut devenir génératrice.



**Fonctionnement en moteur :** Transformation de l'énergie électrique en énergie mécanique.

**Fonctionnement en génératrice:** Dans ce cas la chaîne de conversion s'inverse il y a transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique.

Le croquis ci-dessous montre les quatre possibilités de fonctionnement dans le plan de Vitesse / Couple d'une machine à courant continu. En effet une charge peut être entraînée (fonctionnement en moteur) dans un sens ou dans l'autre, ou être entraînante (également dans un sens ou dans l'autre).

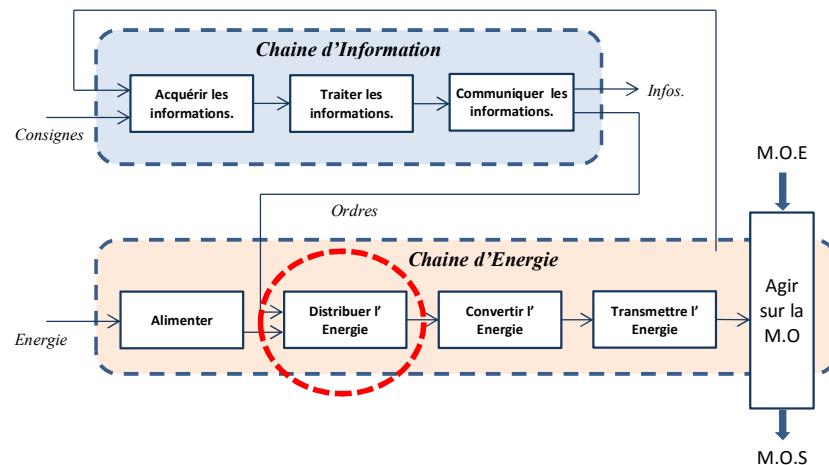


**1<sup>er</sup> et 3<sup>eme</sup> Quadrant :** La machine fonctionne en moteur.

**2<sup>eme</sup> et 4<sup>eme</sup> Quadrant :** La machine fonctionne en génératrice.

### 8 COMMANDE D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU

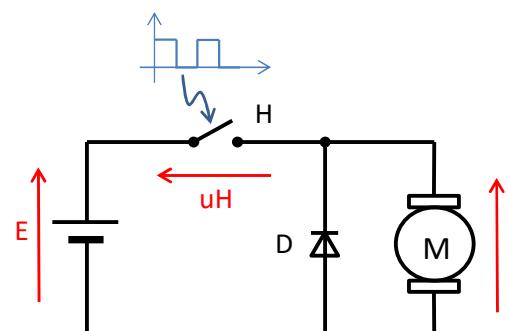
#### 8.1 Mise en situation



La commande d'un moteur à courant continu correspond à la fonction « distribuer l'énergie » de la chaîne d'énergie. Elle permet de changer la vitesse et/ou le sens de rotation du moteur.

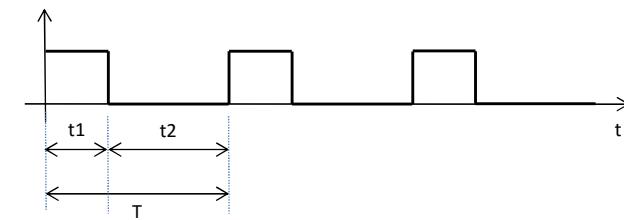
#### 8.2 Variation de vitesse avec un hacheur série

Un interrupteur (H) placé en série avec la source de tension (V) et le moteur est périodiquement commandé. Cet interrupteur (transistor) permet de déconnecter à intervalle régulier le moteur de la source d'alimentation. La tension aux bornes du moteur est « hachée ».

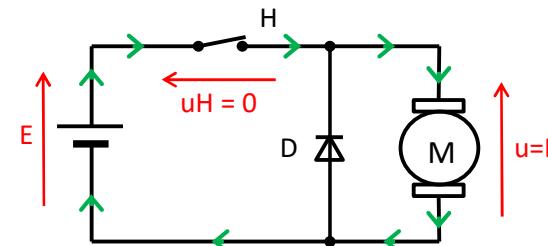


La diode (D1) placée en parallèle sur le moteur, protège l'interrupteur des surtensions provoquées par le circuit inductif du moteur. Elle est appelée « diode de roue libre » car elle permet au courant dans le moteur de circuler lorsque H est ouvert.

Signal de commande de « l'interrupteur H » :



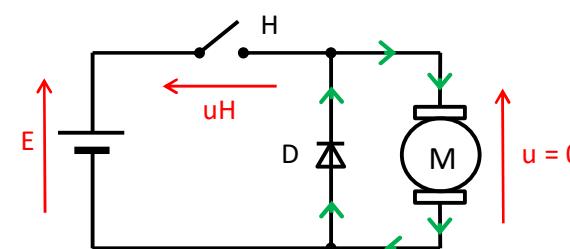
T1 : Phase de conduction du hacheur :



Pendant la durée  $t_1$ , l'interrupteur H est fermé (transistor saturé) :

$u_H = 0$  et  $u = V$ . Le courant débité par l'alimentation circule dans le moteur.

T2 : Phase de blocage du hacheur :



Pendant la durée  $t_2$ , l'interrupteur H est ouvert (transistor bloqué) :

Le moteur est isolé de l'alimentation (elle ne débite aucun courant). L'énergie emmagasinée dans les enroulements du moteur est restituée. La diode permet alors la continuité de la conduction.  $u = 0$  et  $u_H = V$ .

La valeur moyenne de la tension  $u$  (notée  $\langle u \rangle$ ) appliquée au moteur est dans ces conditions :  $\langle u \rangle = \frac{t_1 \cdot V}{T}$

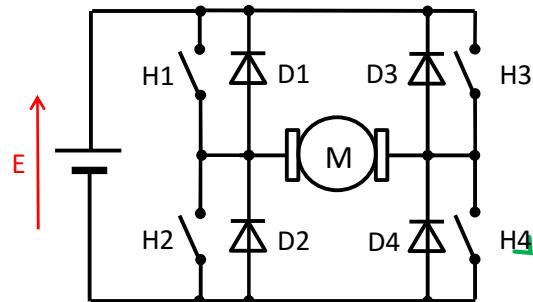
Si on pose  $\alpha = \frac{t_1}{T}$ , il est alors possible d'écrire :  $\langle u \rangle = \alpha \cdot V$

$\alpha$  est appelé rapport cyclique. La variation de cette grandeur (modification de  $t_1$ ) entraîne la variation de  $\langle u \rangle$  et par voie de conséquence la variation de la vitesse de rotation du moteur.

## Le moteur à courant continu.

### 8.3 Commande dans les quatre quadrants

Le montage appelé pont en H permet de faire fonctionner la machine dans les 4 quadrants.

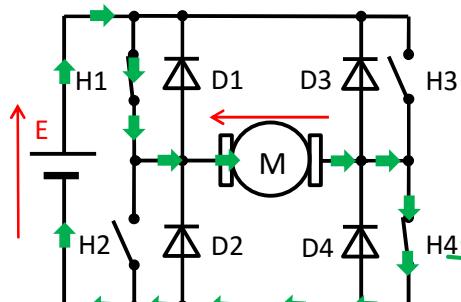


Le fonctionnement quadrants 1 et 3 permet d'inverser le sens de rotation lors d'un fonctionnement en moteur.

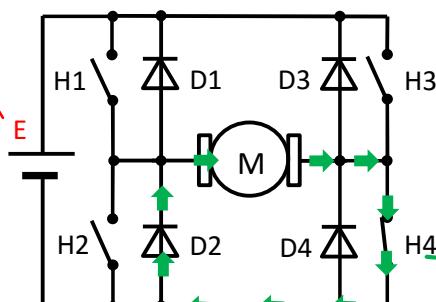
#### 8.3.1 Quadrant 1 : Fonctionnement en moteur

Le commutateur H4 est fermé en permanence, H1 hache la tension. C'est la diode D2 qui assure la roue libre.

De  $0$  à  $\alpha T$ , H1 conduit :



De  $\alpha T$  à  $T$ , H1 bloqué, D2 conduit.

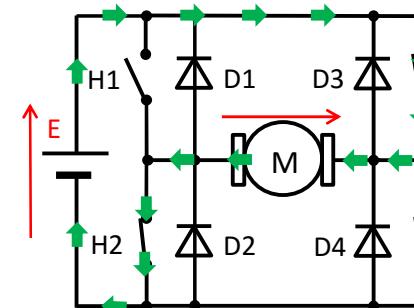


## Le moteur à courant continu.

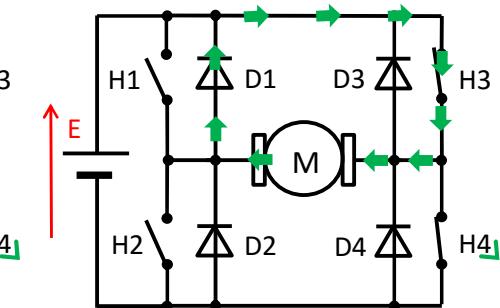
### 8.3.2 Quadrant 3 : Fonctionnement en moteur en sens inverse

Le commutateur H3 est fermé en permanence, H2 hache la tension. C'est la diode D1 qui assure la roue libre.

De  $0$  à  $\alpha T$ , H2 conduit :



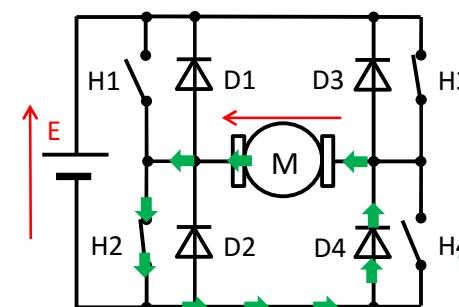
De  $\alpha T$  à  $T$ , H2 bloqué, D1 conduit.



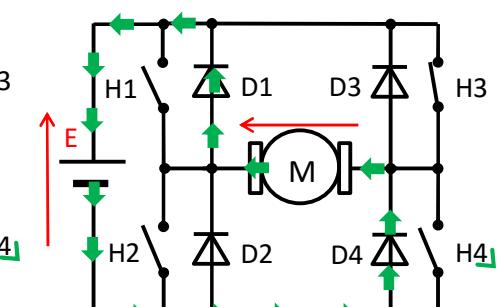
#### 8.3.3 Quadrant 2 : Fonctionnement en générateur (frein)

H2 hache la tension. C'est la diode D1 et D4 qui conduisent lorsque H2 est bloqué.

De  $0$  à  $\alpha T$ , H2 conduit :



De  $\alpha T$  à  $T$ , H2 bloqué, D1, D4 conduisent.



## Le moteur à courant continu.

### 8.3.4 Quadrant 4 : Fonctionnement en génératrice (frein)

H4 hache la tension. C'est la diode D2 et D3 qui conduisent lorsque H4 est bloqué.

De  $0$  à  $\alpha T$ , H4 conduit :

De  $\alpha T$  à  $T$ , H4 bloqué,  
D2, D3 conduisent.

