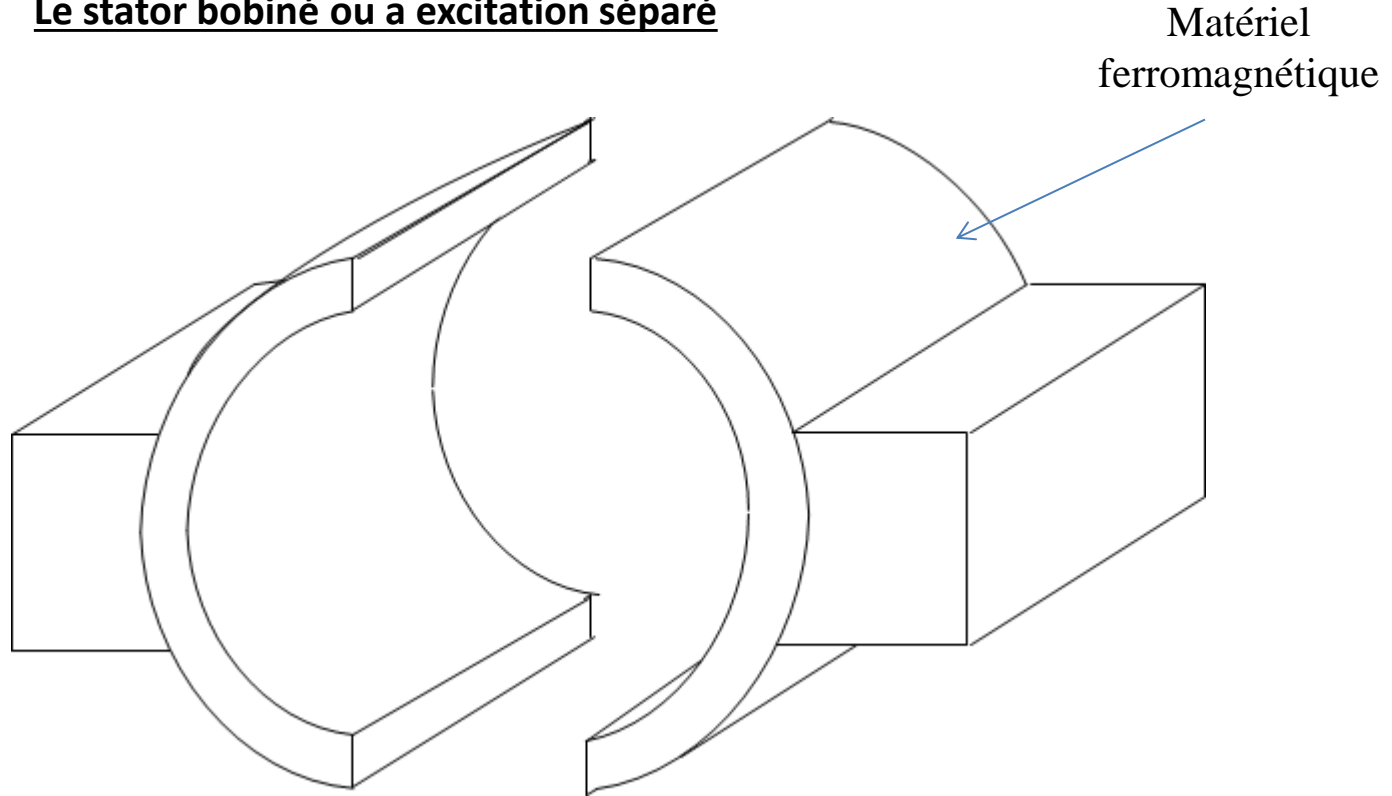


# Cours sur la MCC

# 1 Principe de fonctionnement d'un MCC

## 1.1 Le stator aussi appelé inducteur ou excitation

### Le stator bobiné ou a excitation séparé

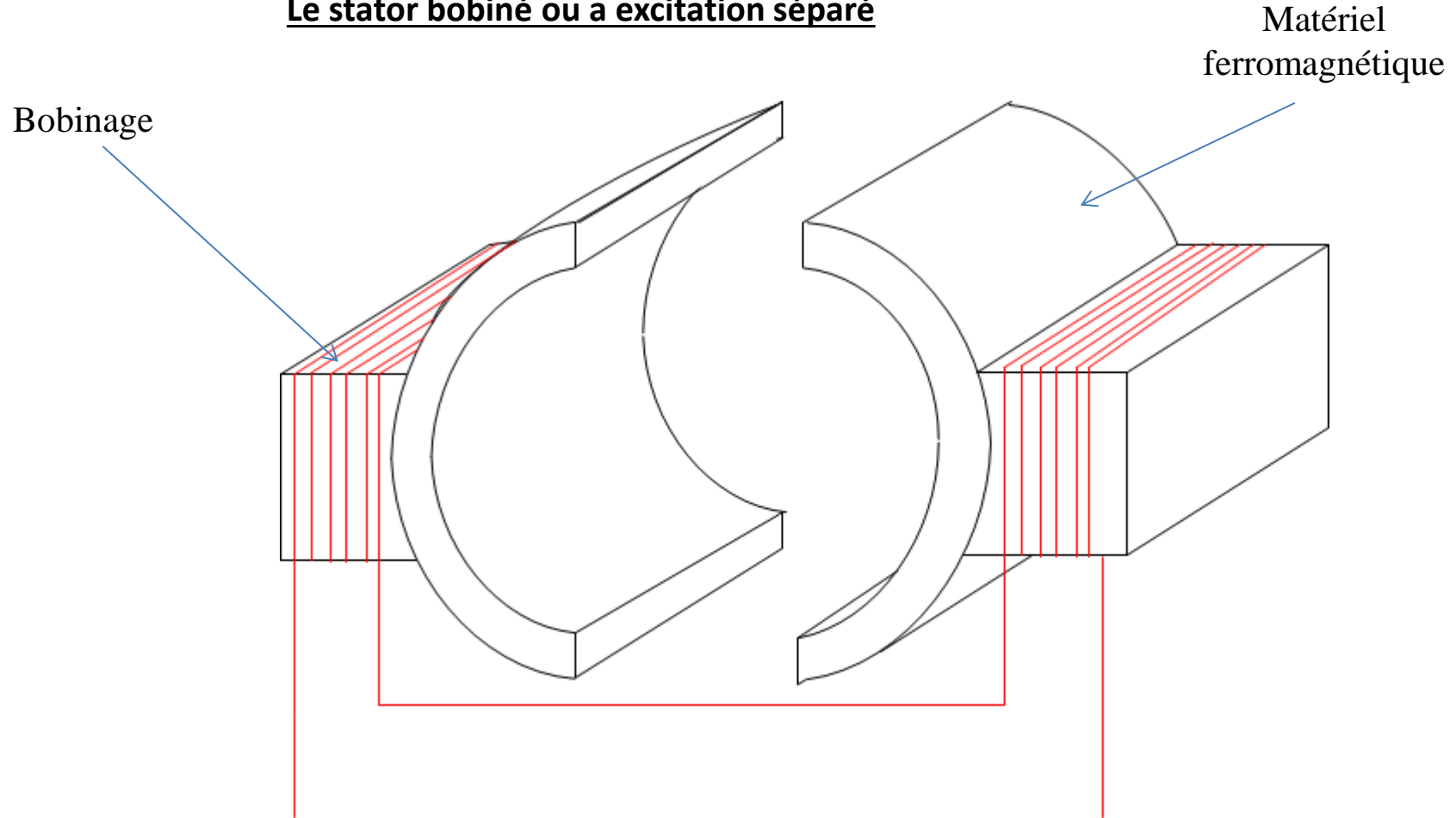


L'inducteur est composé de matériau ferromagnétique qui permet de guider le champ créé par la bobine de l'inducteur aussi appelé excitation

# 1 Principe de fonctionnement d'un MCC

## 1.1 Le stator aussi appelé inducteur ou excitation

### Le stator bobiné ou a excitation séparé

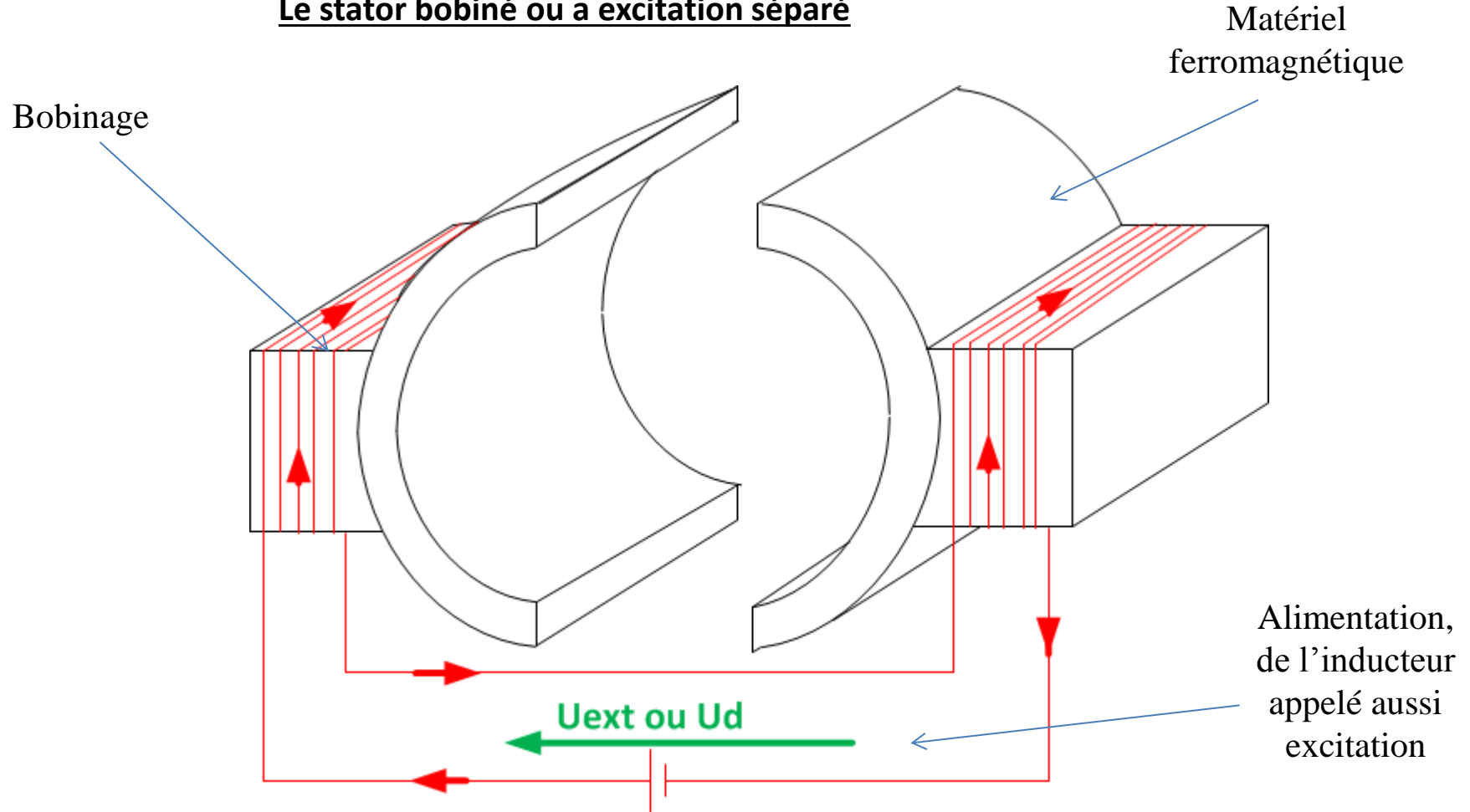


L'inducteur est composé de matériau ferromagnétique qui permet de guider le champ créé par la bobine de l'inducteur aussi appelé excitation

# 1 Principe de fonctionnement d'un MCC

## 1.1 Le stator aussi appelé inducteur ou excitation

### Le stator bobiné ou a excitation séparé

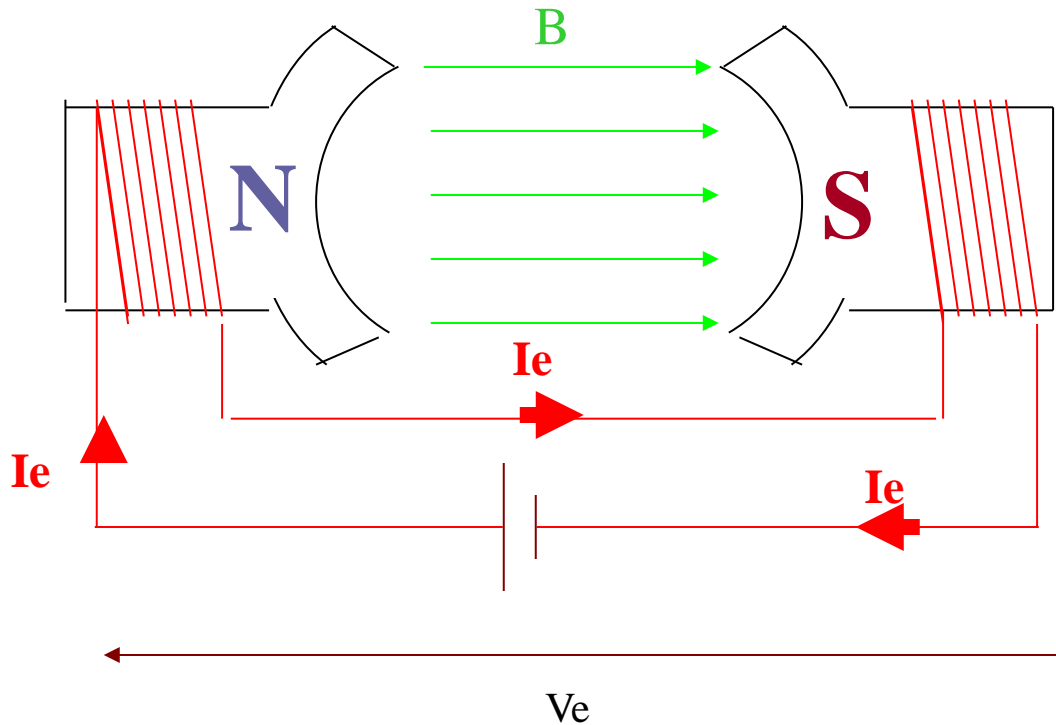


L'inducteur est composé de matériau ferromagnétique qui permet de guider le champ créé par la bobine de l'inducteur aussi appelé excitation

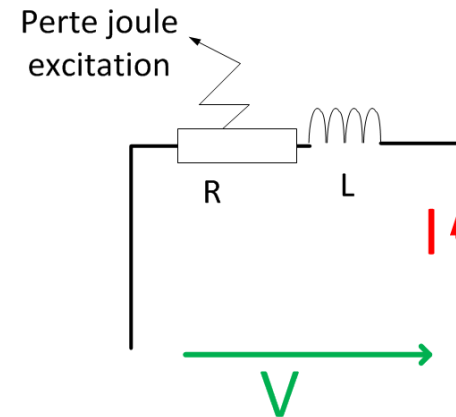
# 1 Principe de fonctionnement d'un MCC

## 1.1 Le stator bobiné aussi appelé inducteur ou excitation

### Exemple du rotor bobiné



### Modèle équivalent



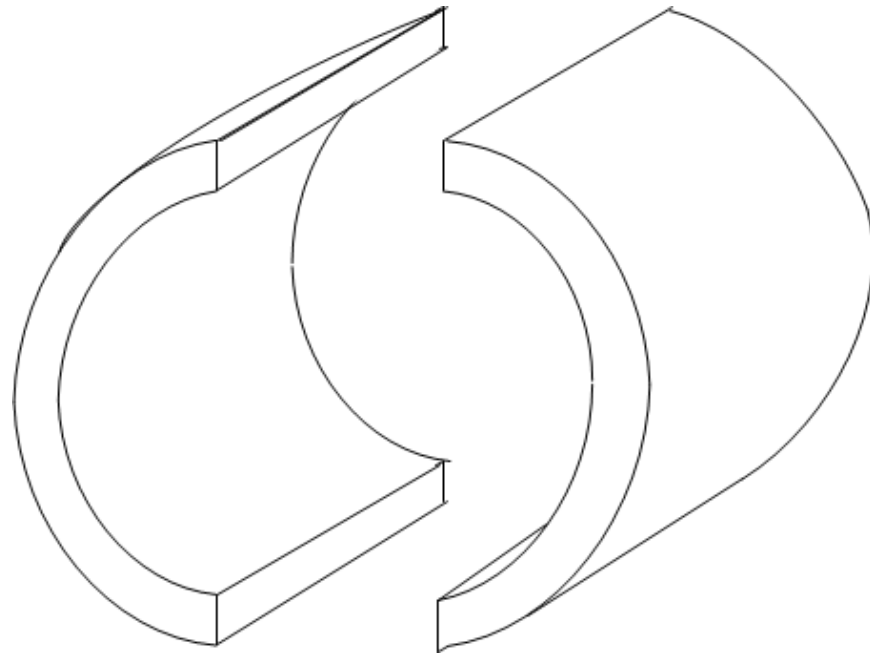
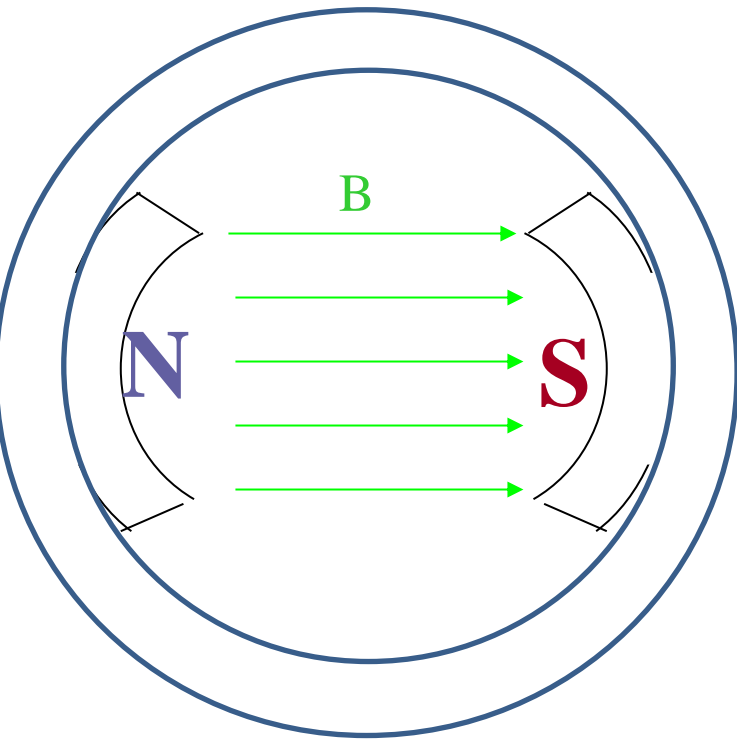
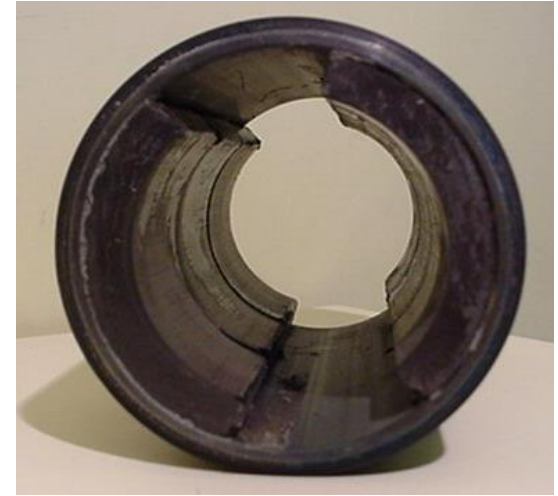
Indice:

Rd

Rf

Rext

## Le stator a aimant permanent



## L'inducteur – appelé aussi excitation – corespond au stator

**Fonction** : *Créer un flux magnétique constant dans le moteur.*

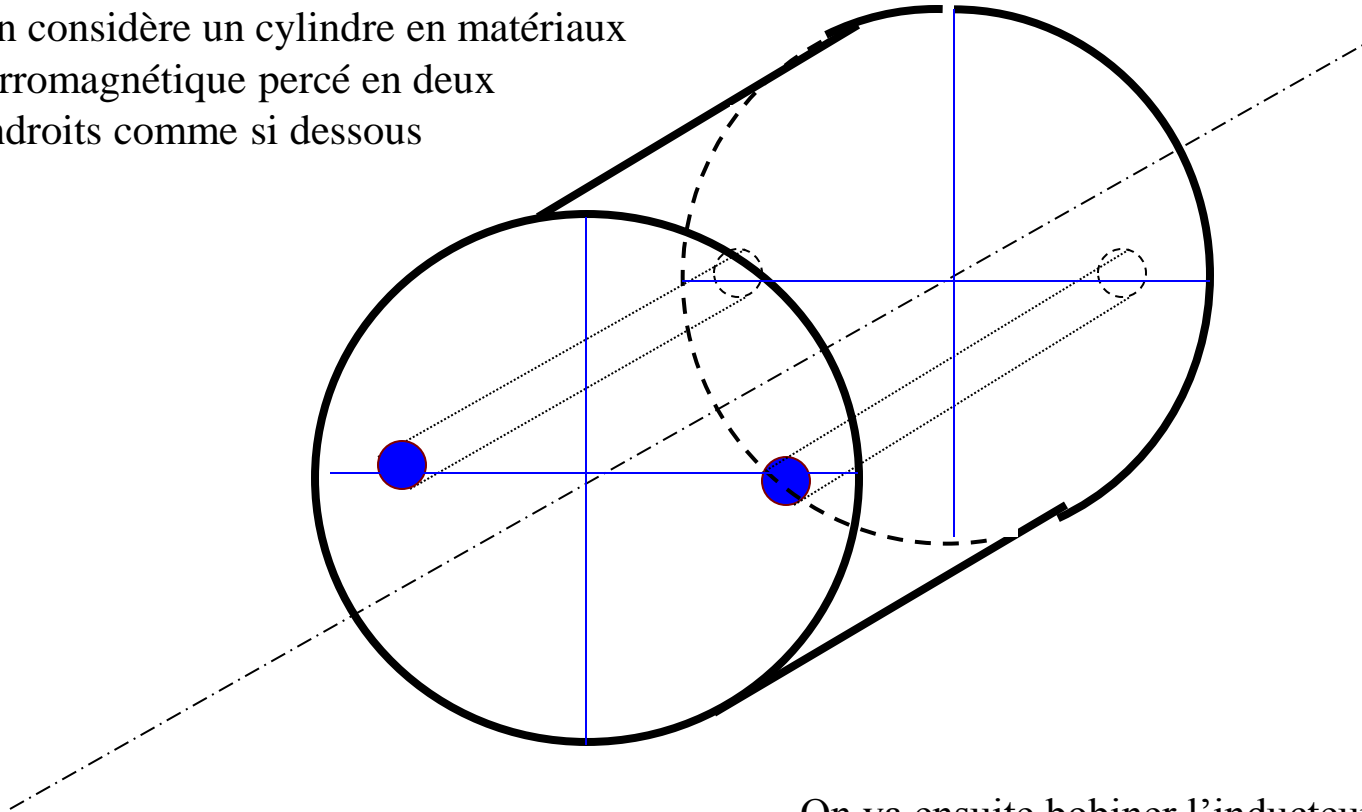
La source du flux peut être constituée par :

- un aimant permanent: flux fixe pour les petites machines.
- un enroulement inducteur : porté par les pôles et parcouru par le courant d'excitation réglable  $I_d$  il permet de faire varier l'amplitude du flux  $\varphi_d(I_d)$ .

# 1 Principe de fonctionnement d'un MCC

## 1.2 Le rotor appelé induit

On considère un cylindre en matériaux ferromagnétique percé en deux endroits comme si dessous

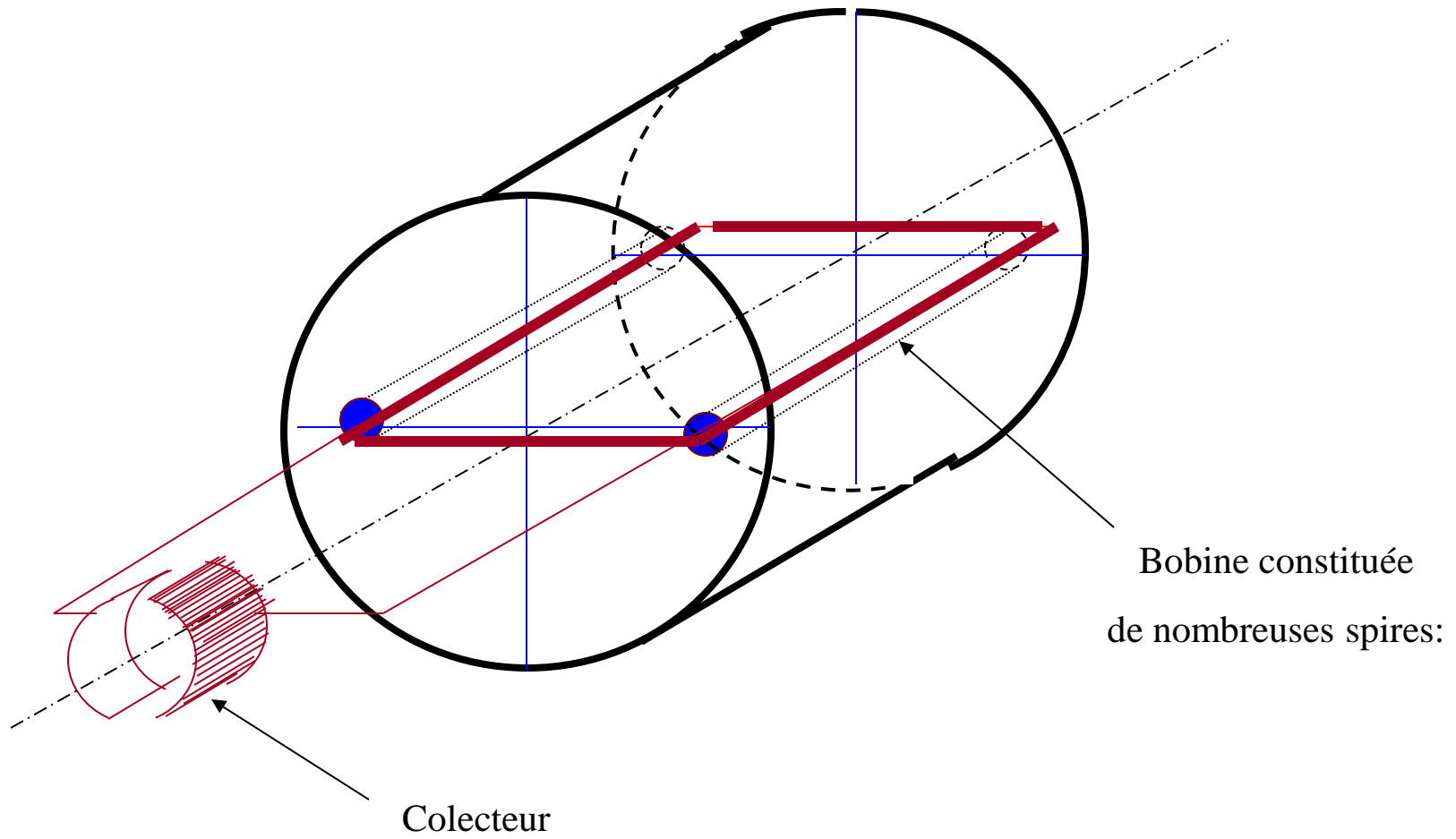


On va ensuite bobiner l'inducteur en faisant passer ne nombreuses foi un conducteur dans les trous, et relier chaque bout de ce bobinage à un collecteur.



# 1 Principe de fonctionnement d'un MCC

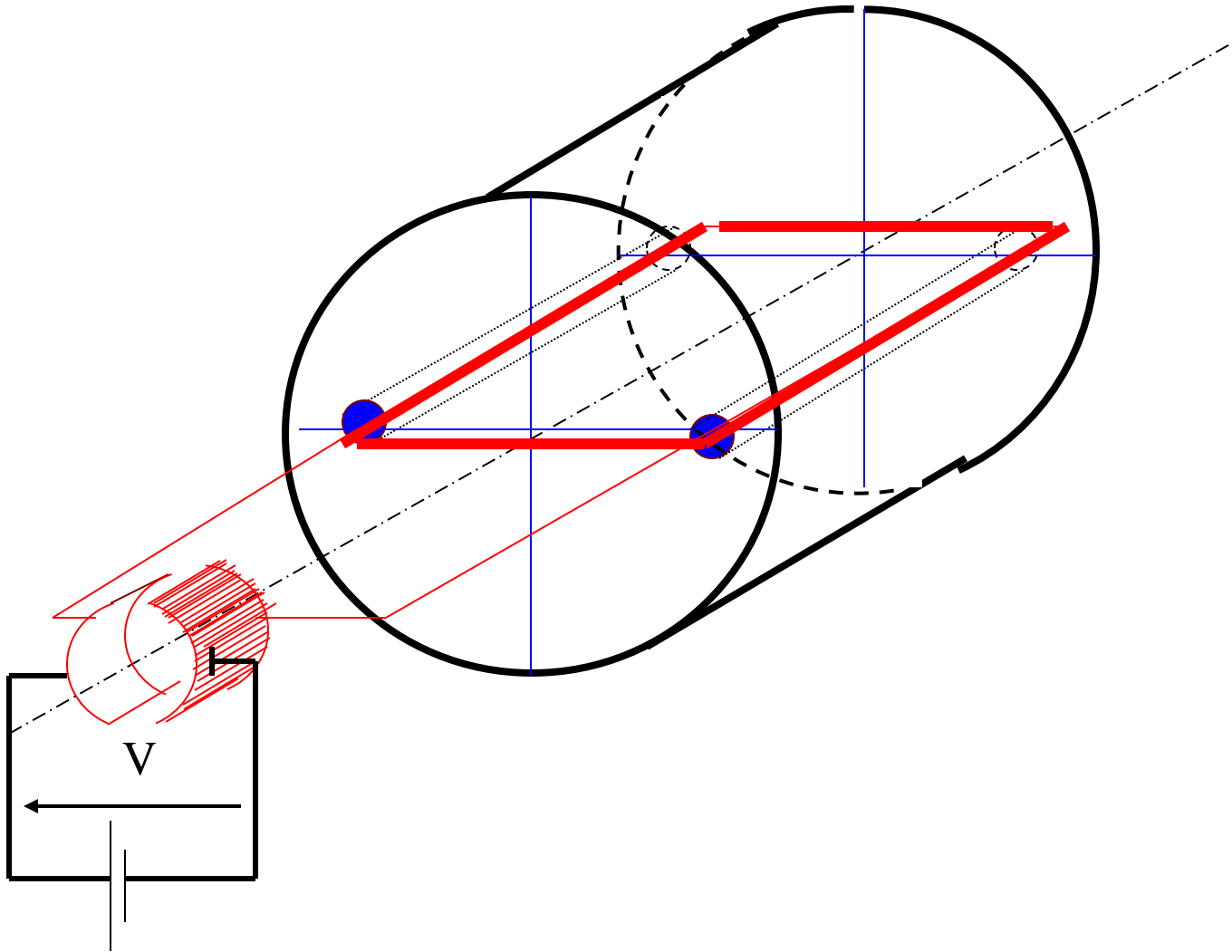
## 1.2 Le rotor appelé induit



# 1 Principe de fonctionnement d'un MCC

## 1.2 Le rotor appelé induit

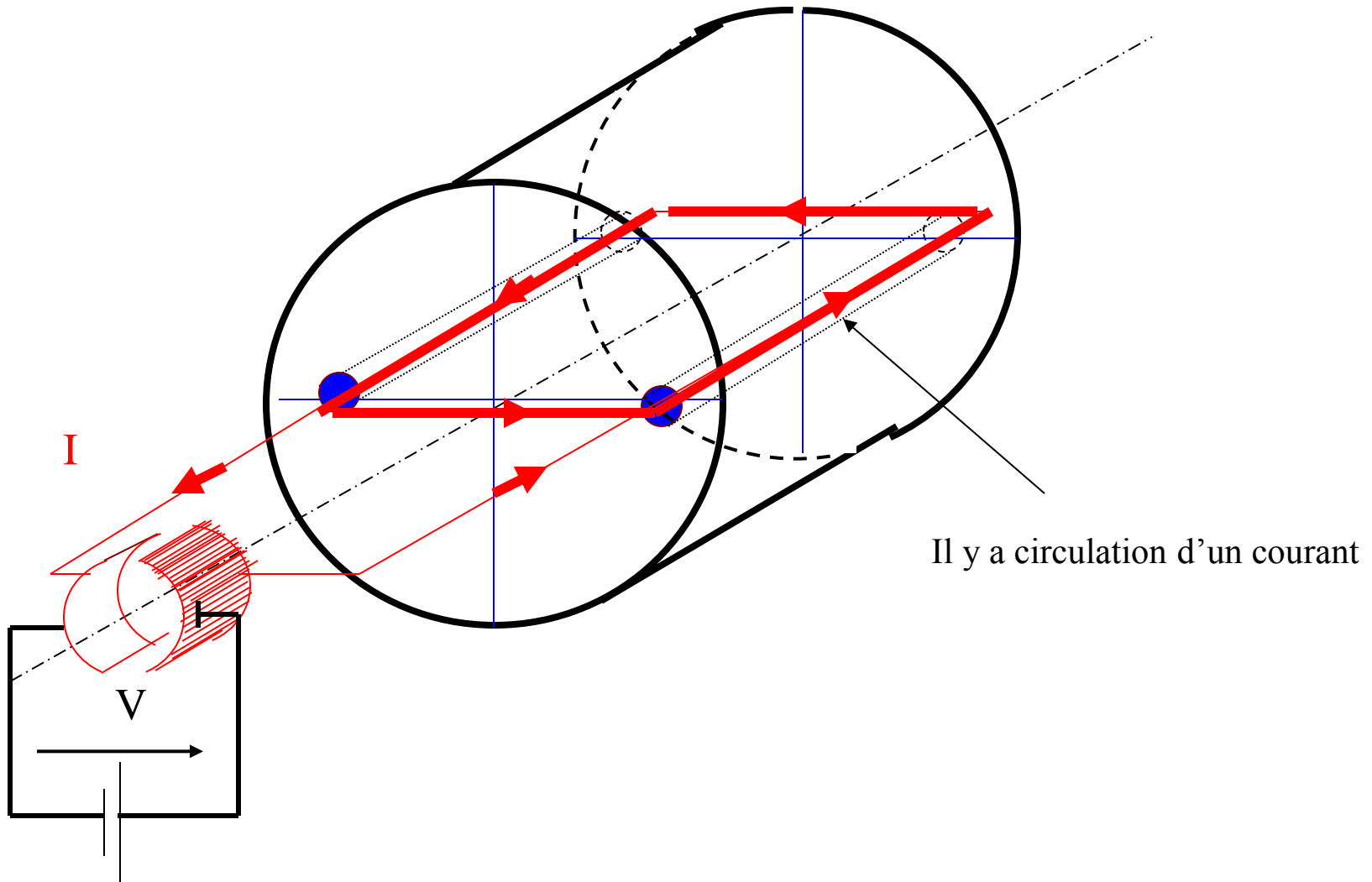
Que se passe t'il si on alimente notre bobinage?



# 1 Principe de fonctionnement d'un MCC

## 1.2 Le rotor appelé induit

Que se passe t'il si on alimente notre bobinage?

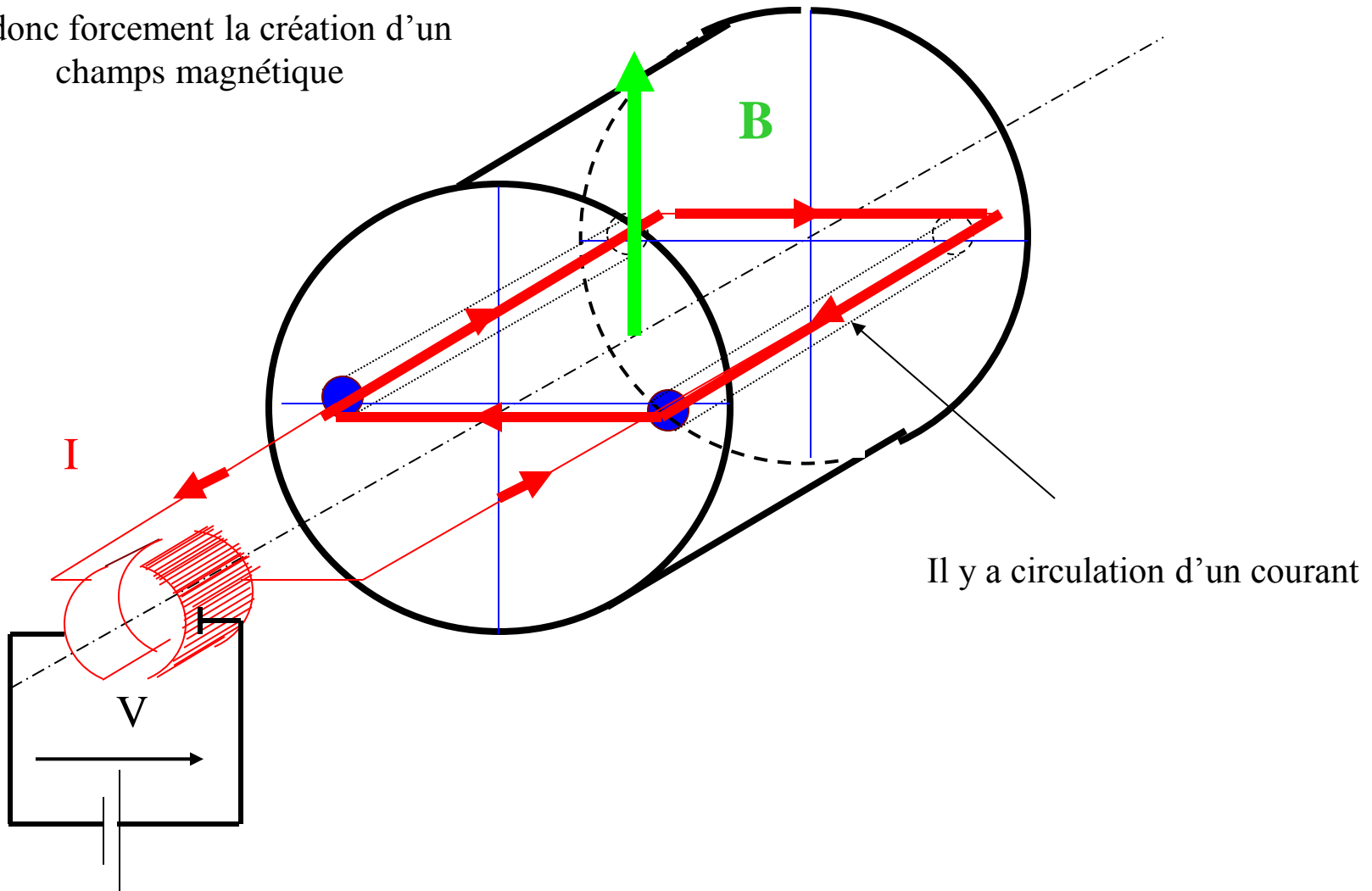


# 1 Principe de fonctionnement d'un MCC

## 1.2 Le rotor appelé induit

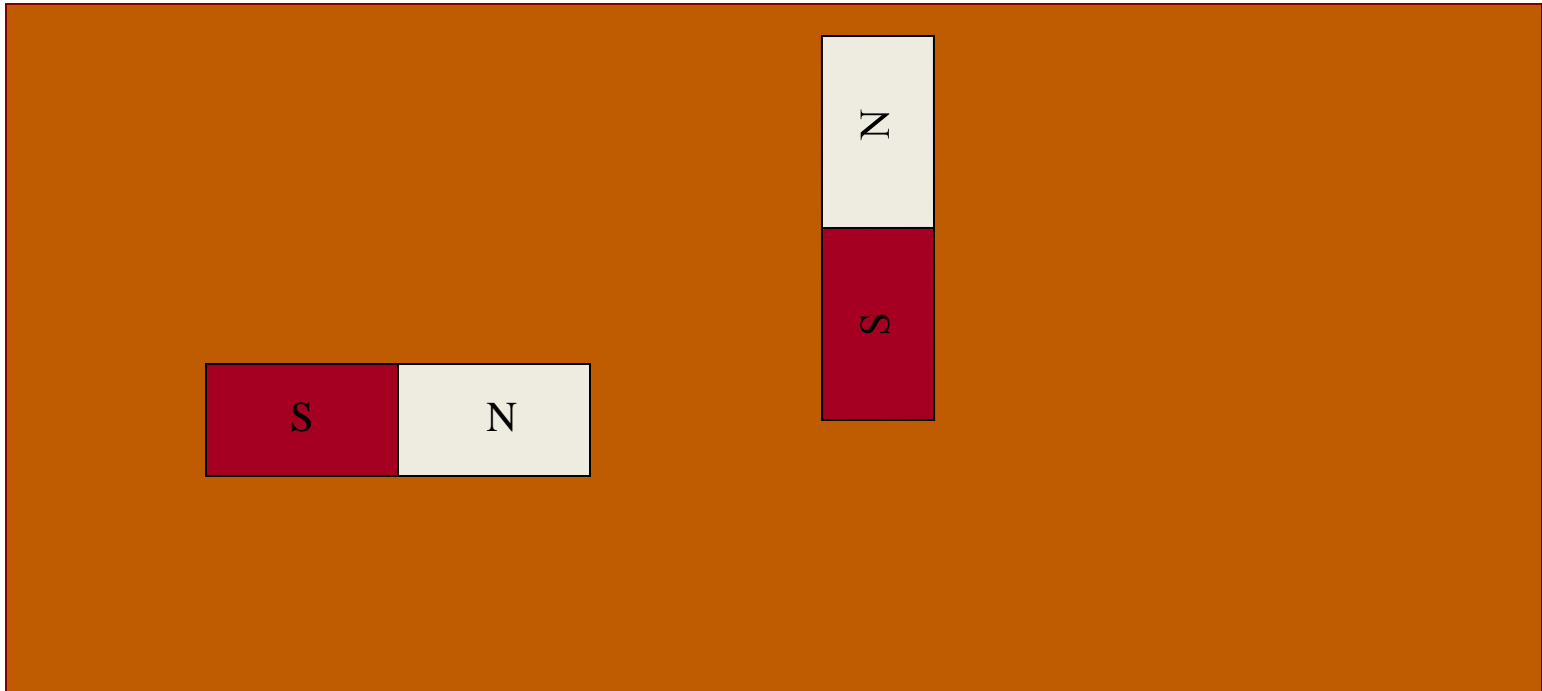
Que se passe t'il si on alimente notre bobinage?

Et donc forcément la création d'un champs magnétique



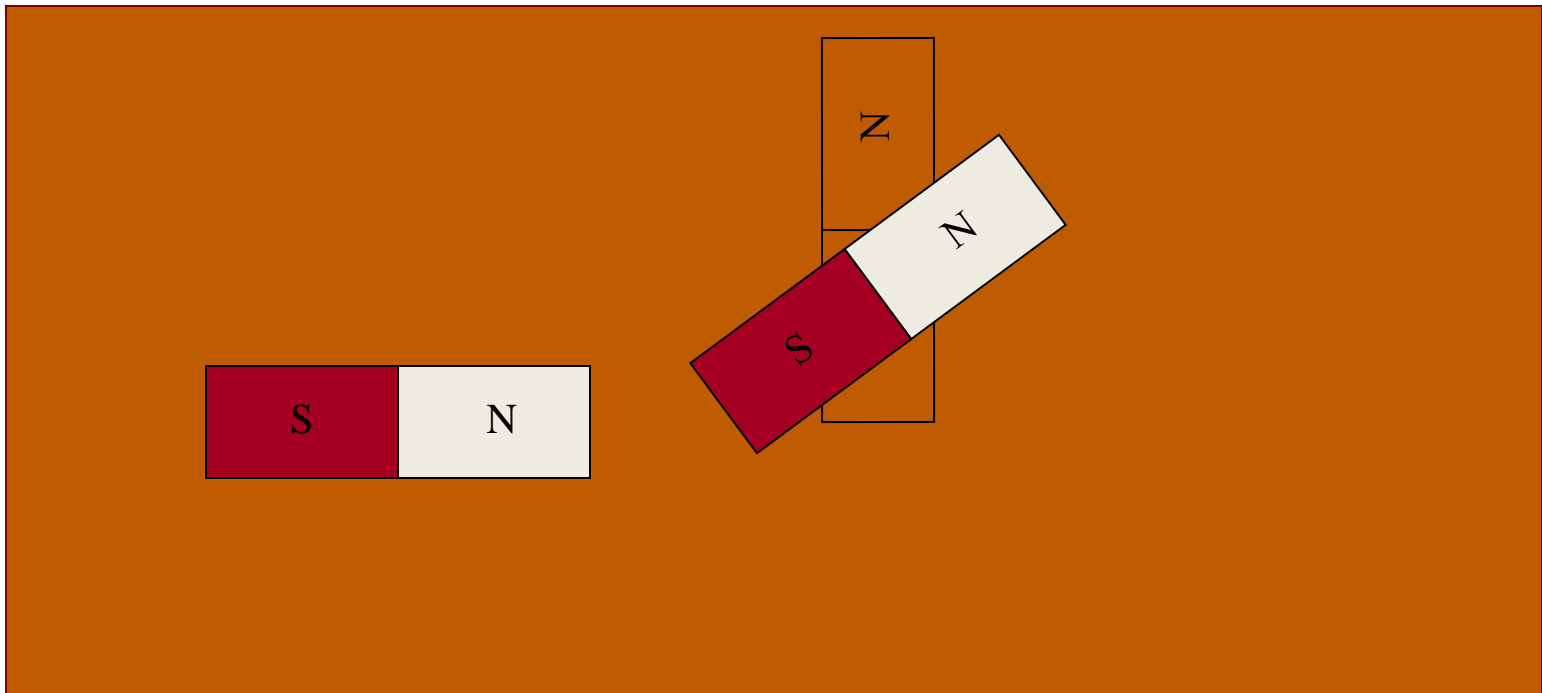
Petite expérience avec des aimant:

Si on place deux aimants sur une table



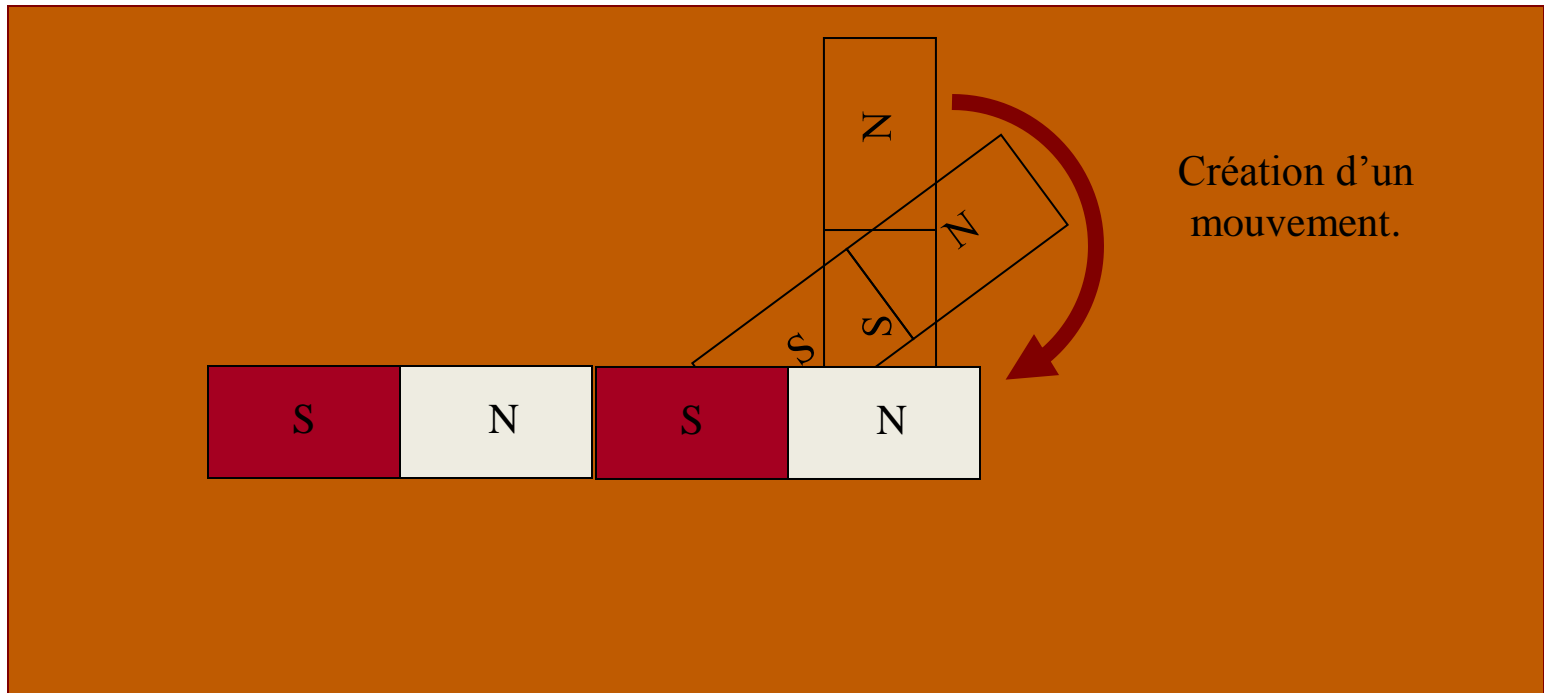
## Petite expérience avec des aimant:

Les aimants vont s'attirer



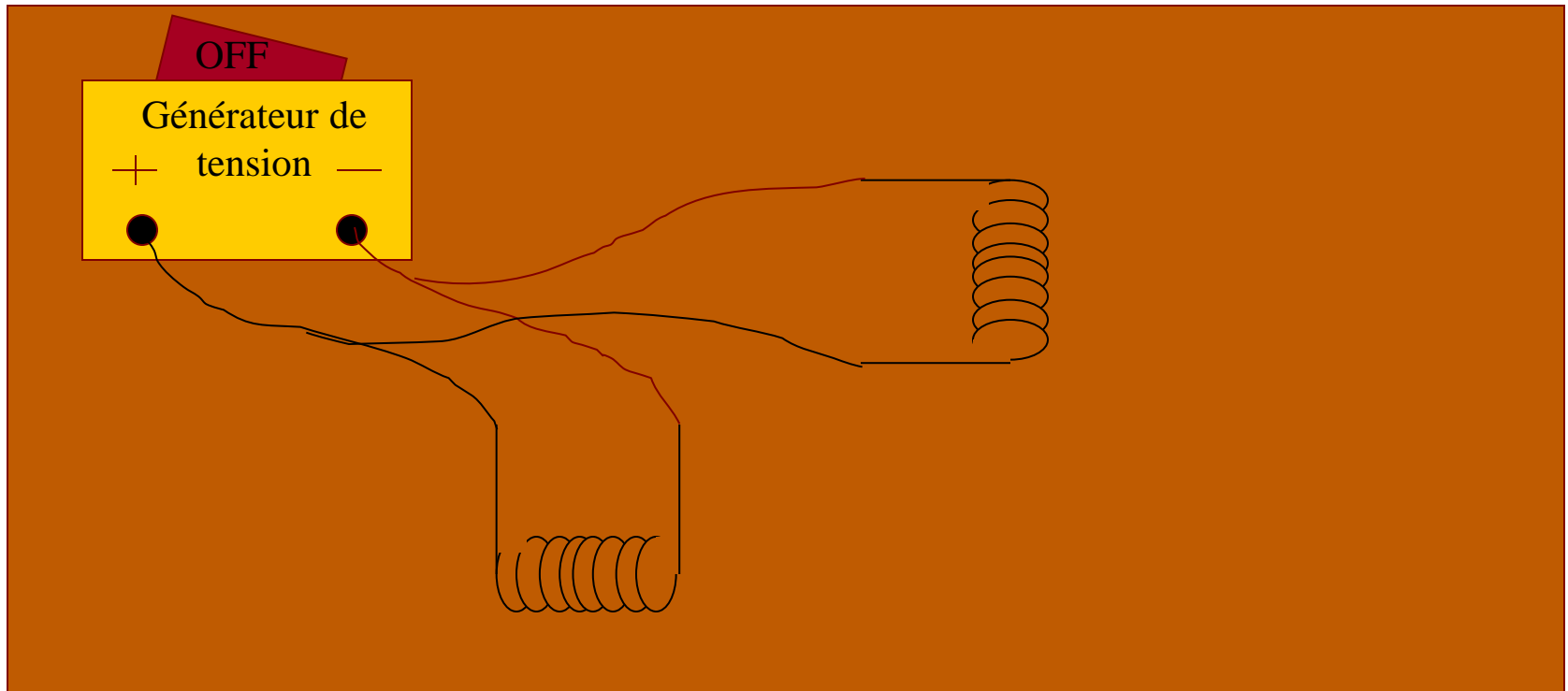
## Petite expérience avec des aimant:

Il y a donc eu création d'un mouvement



Faisons la même expérience avec des bobines:

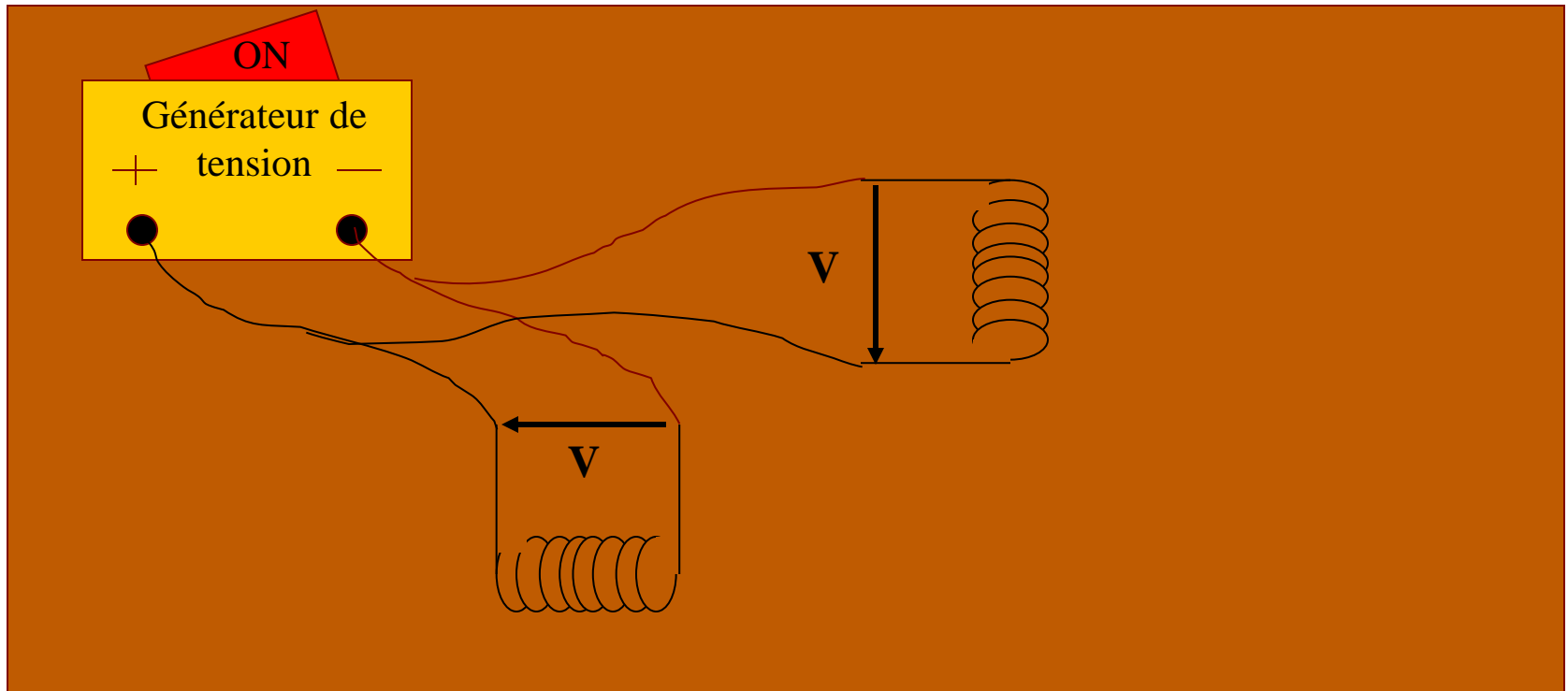
On branche 2 bobines à un générateur de tension continue:





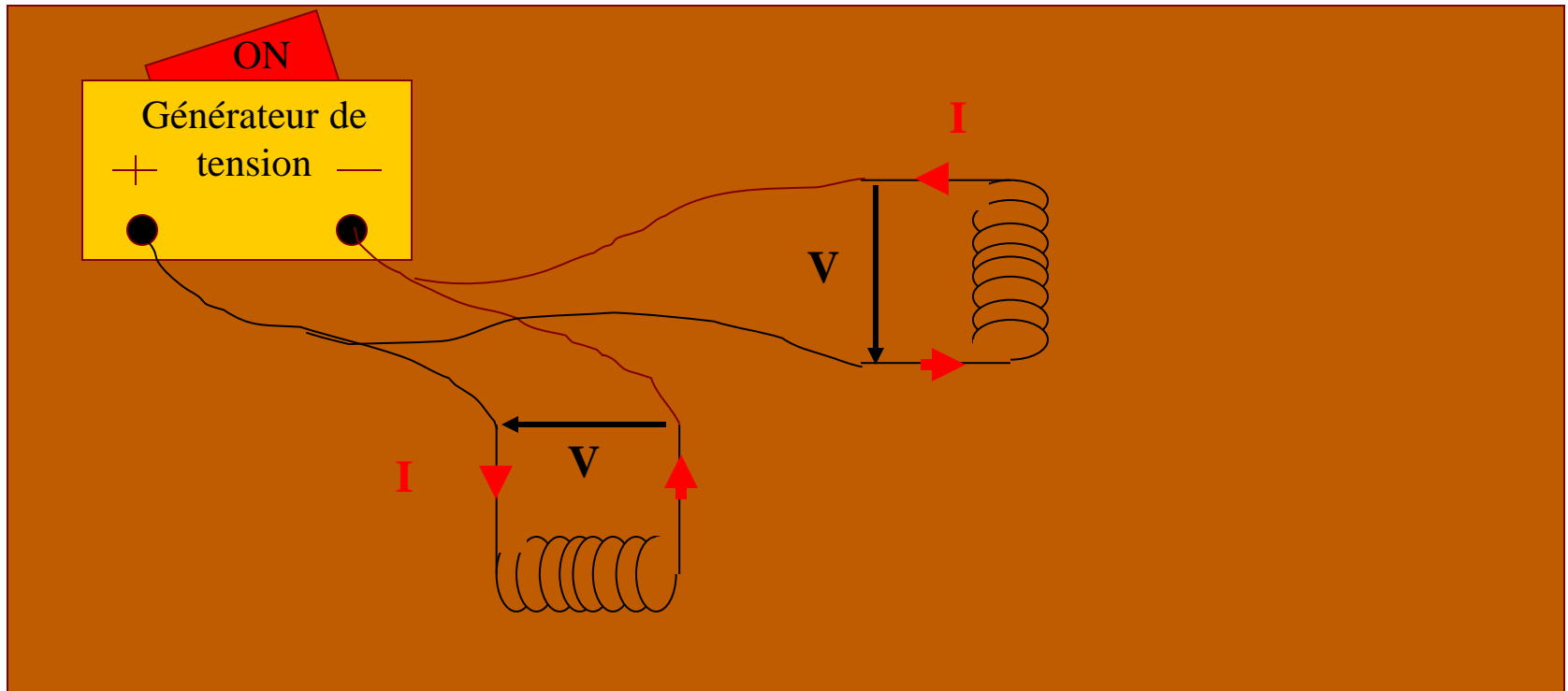
Faisons la même expérience avec des bobines:

On met le générateur sur on, on retrouve donc une tension aux bornes de chacune des bobines:



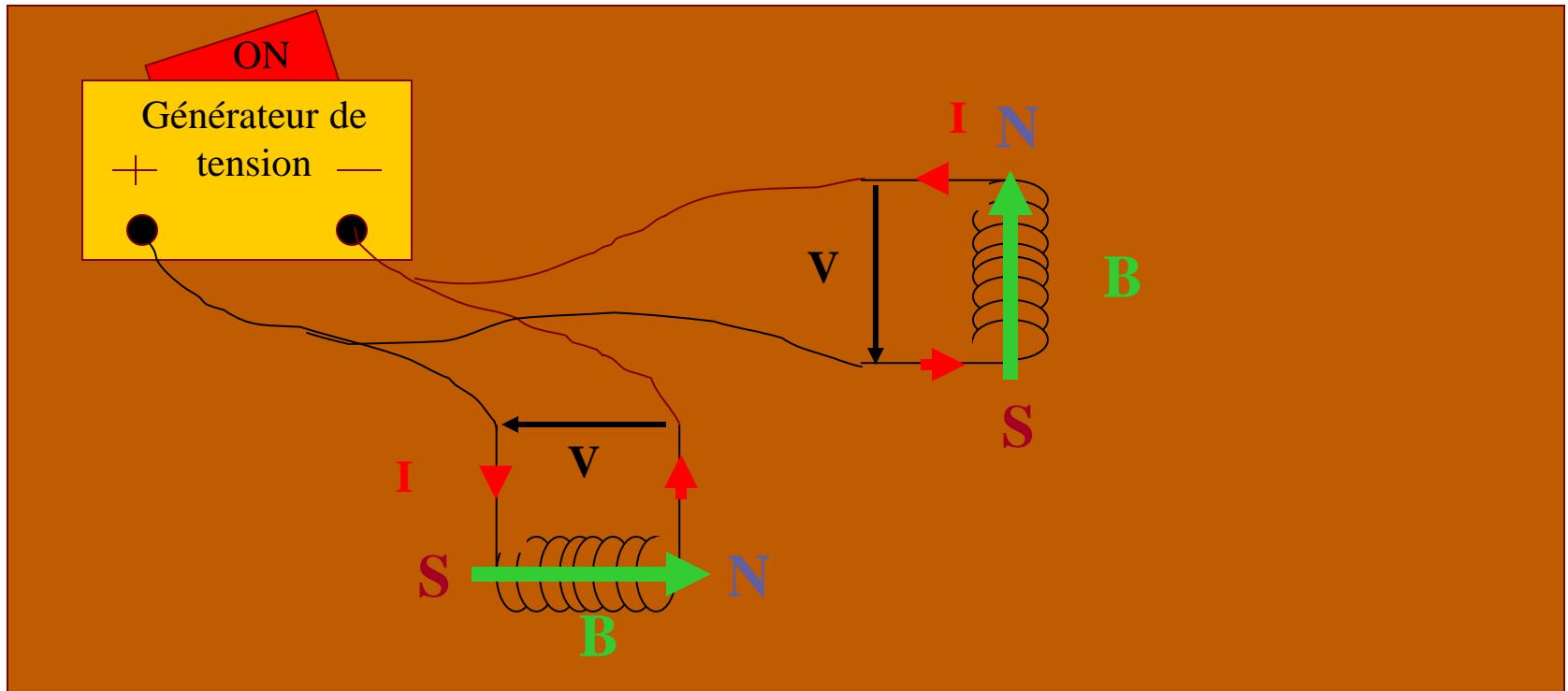
Faisons la même expérience avec des bobines:

Il y a donc création d'un courant qui va circuler dans les bobines:



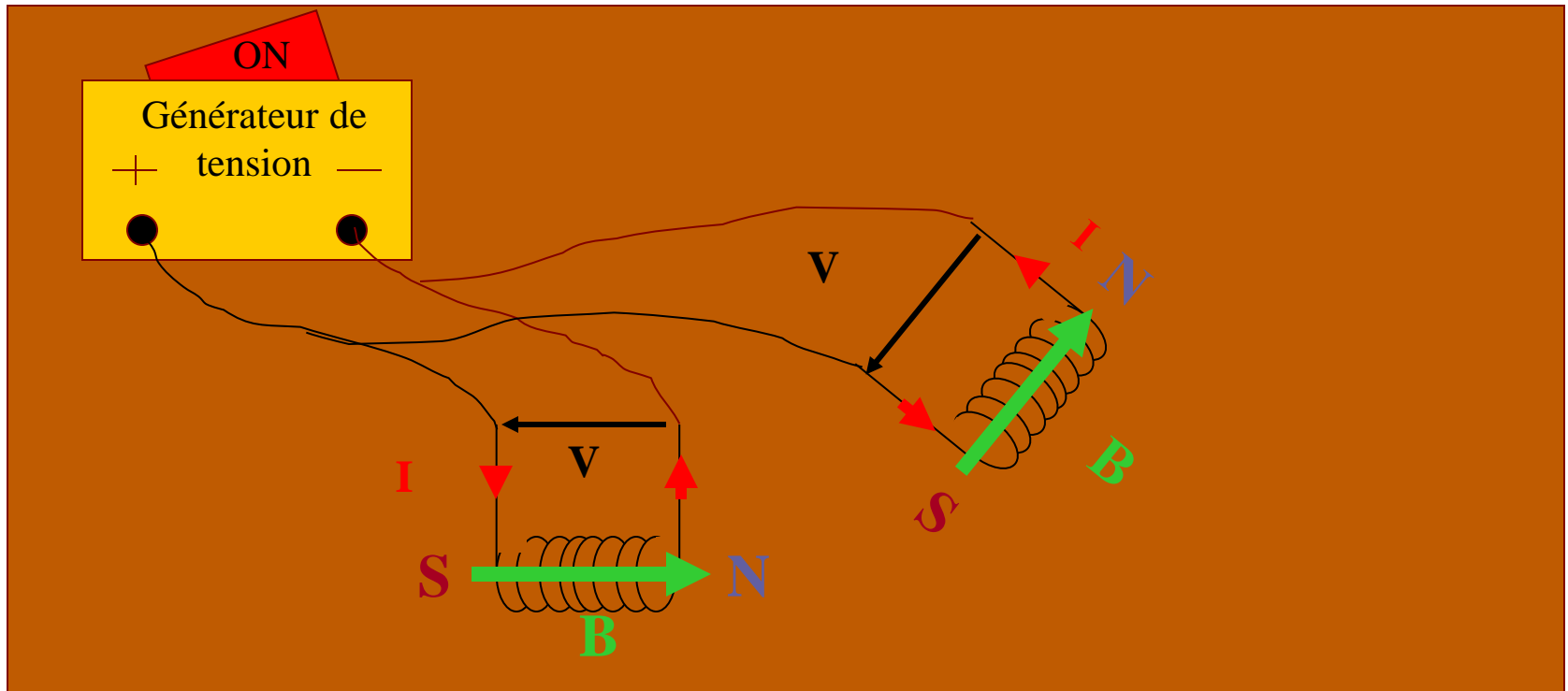
Faisons la même expérience avec des bobines:

La circulation du courant va entraîner la formation de pôle à chaque extrémité de la bobine ainsi que la circulation d'un champ



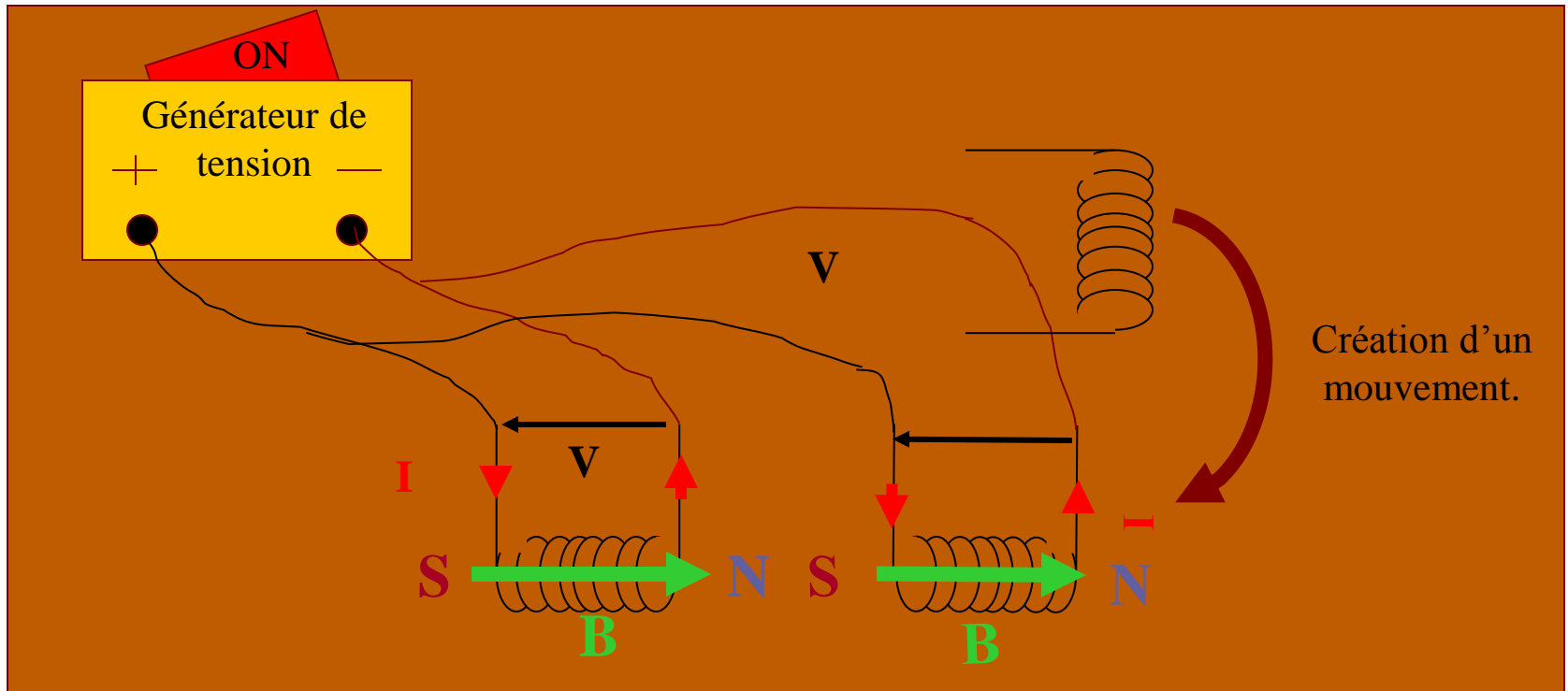
Faisons la même expérience avec des bobines:

Les pôles vont donc s'attirer tous comme les aimants, et la bobine  
vas bouger



Faisons la même expérience avec des bobines:

Les pôles vont donc s'attirer

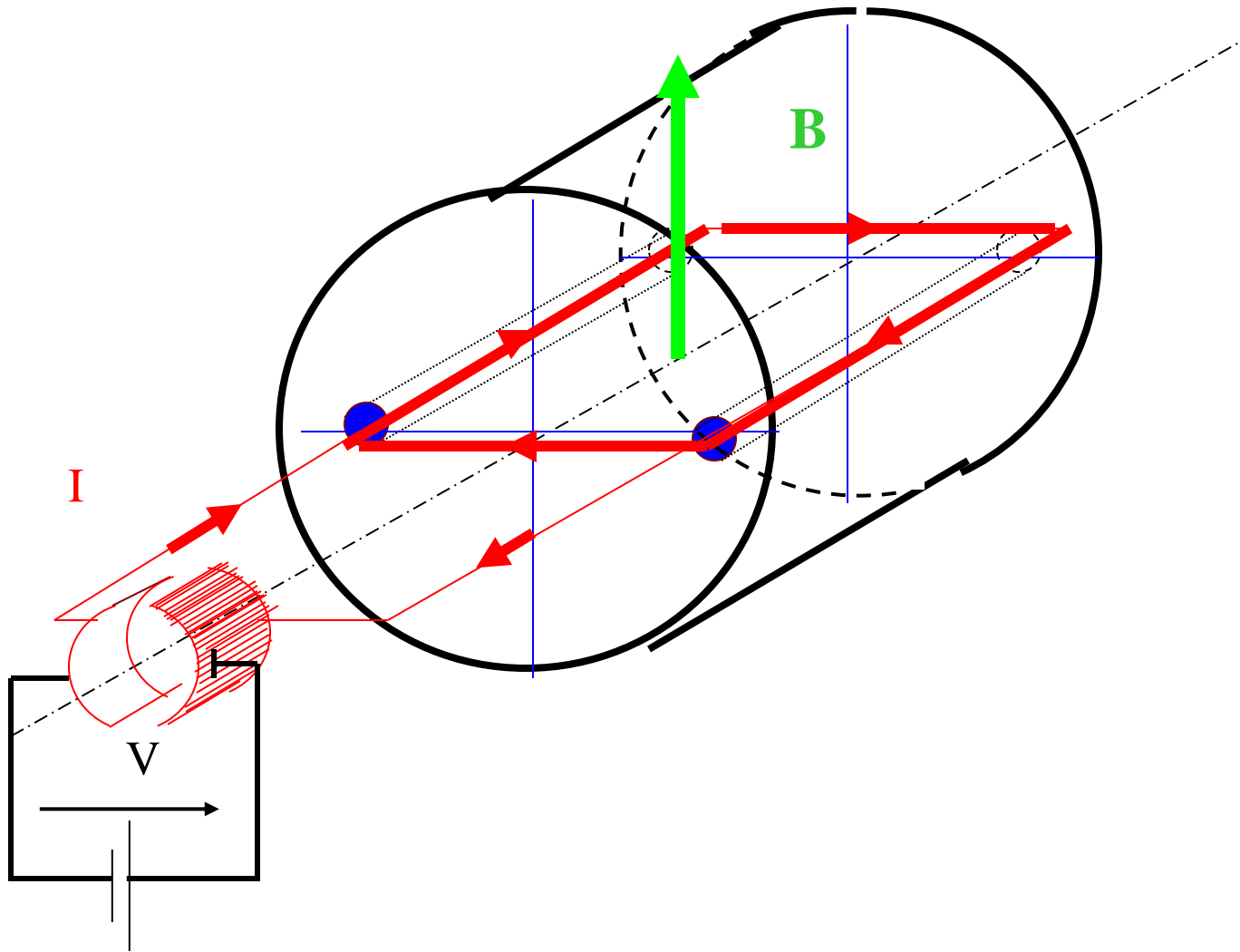


## *Conclusion:*

On vient de réussir à créer un mouvement mécanique à partir d'une source d'énergie électrique

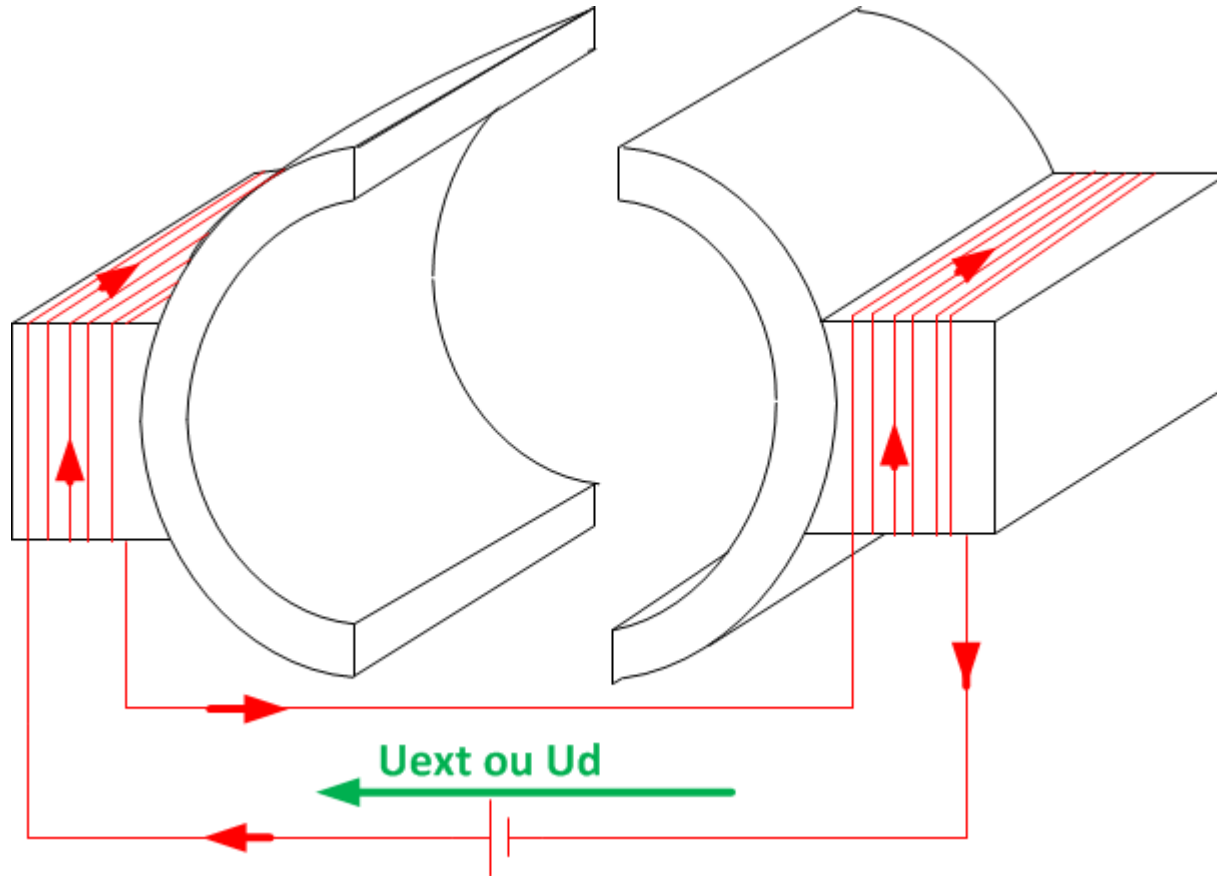
## 1 Principe de fonctionnement d'un MCC

### 1.3 Fonctionnement du moteur



# 1 Principe de fonctionnement d'un MCC

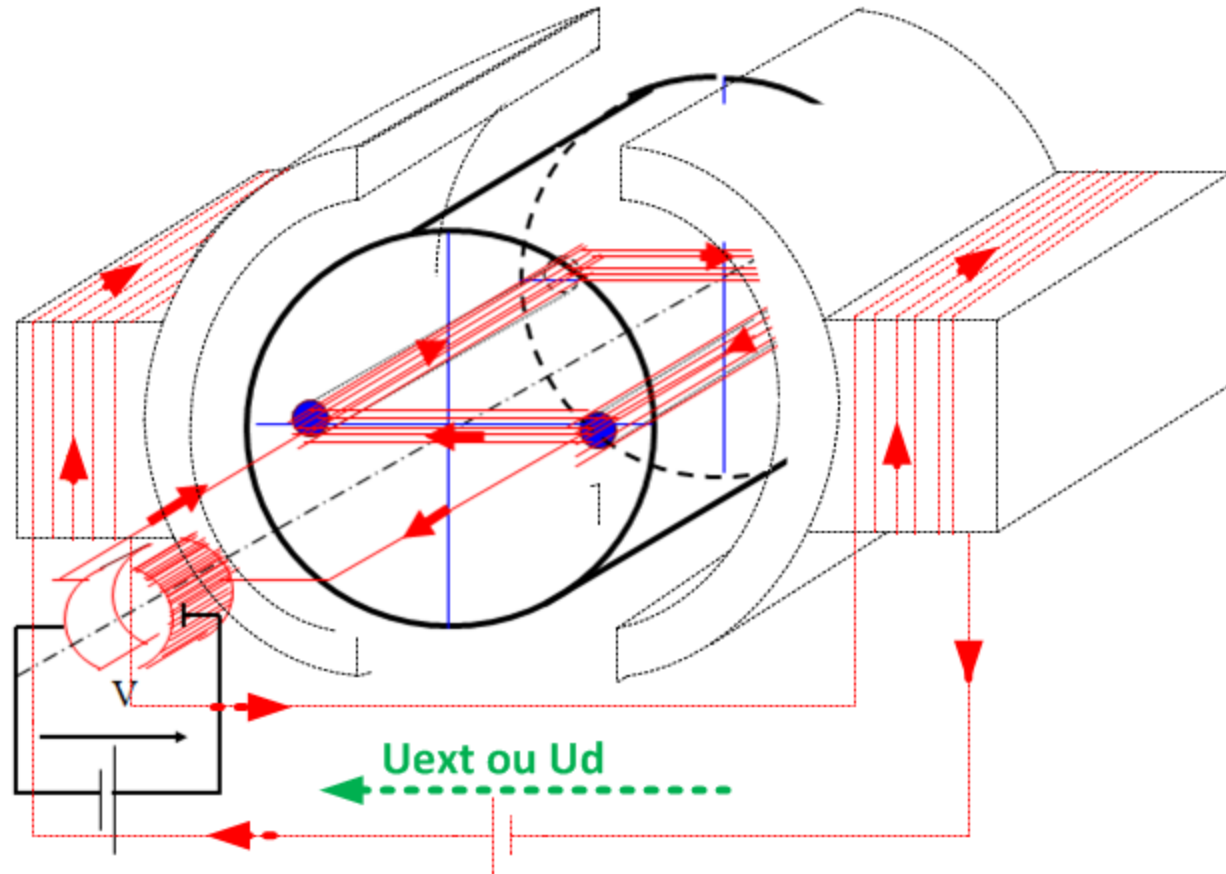
## 1.3 Fonctionnement du moteur





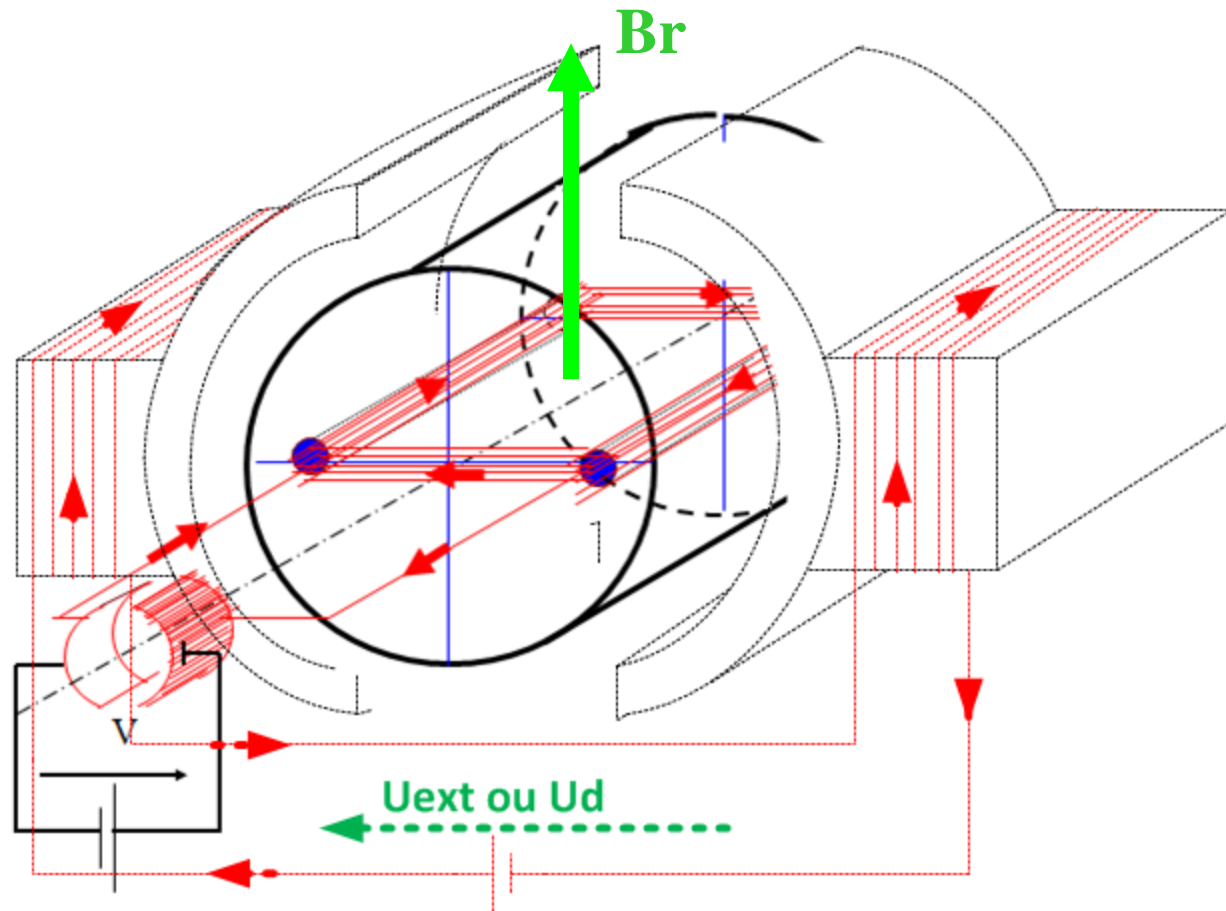
# 1 Principe de fonctionnement d'un MCC

## 1.3 Fonctionnement du moteur



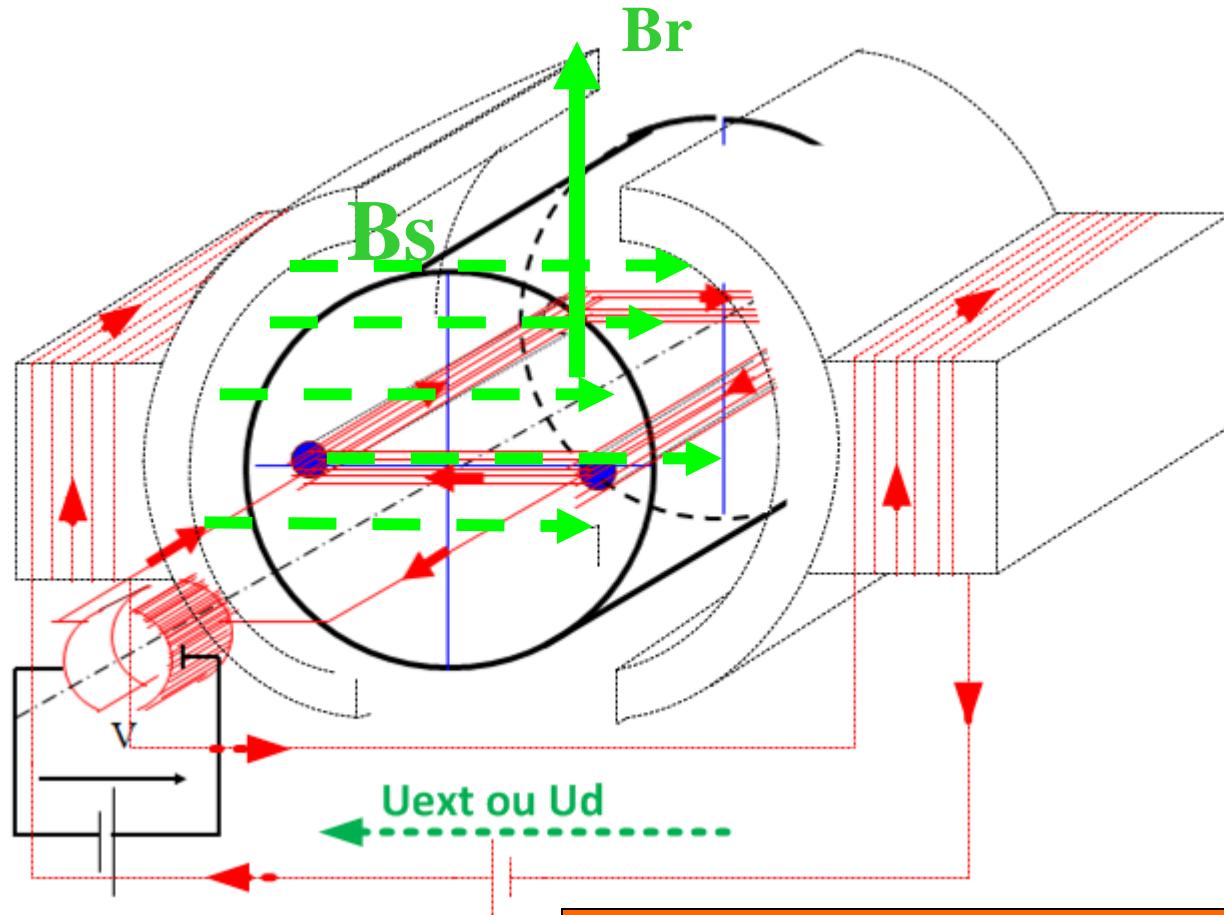
# 1 Principe de fonctionnement d'un MCC

## 1.3 Fonctionnement du moteur



# 1 Principe de fonctionnement d'un MCC

## 1.3 Fonctionnement du moteur

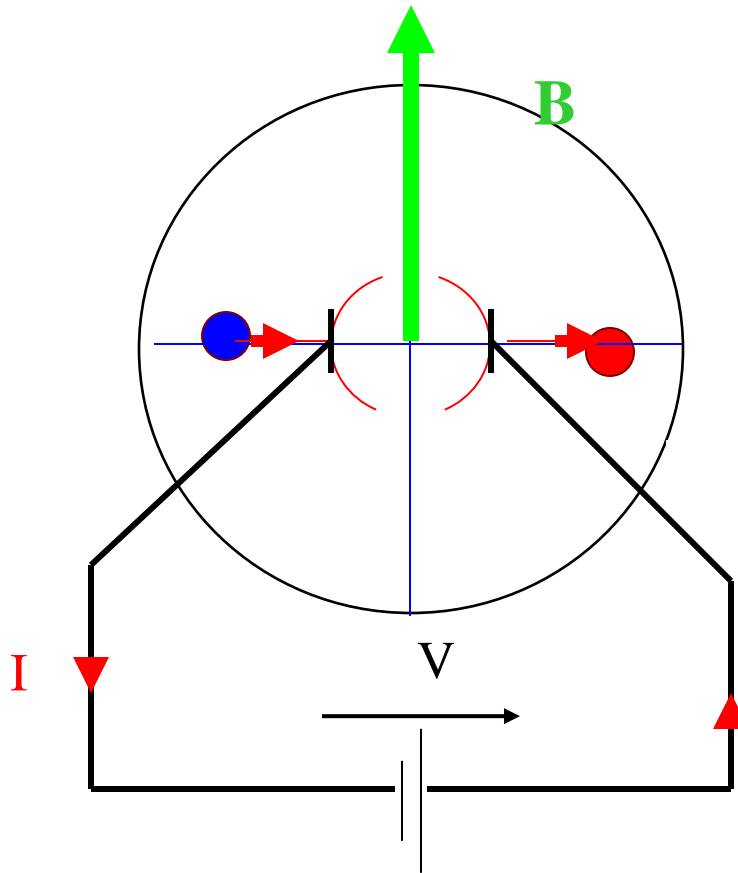


Nous allons passer de la 3D a la 2D

# 1 Principe de fonctionnement d'un MCC

## 1.3 Fonctionnement du moteur

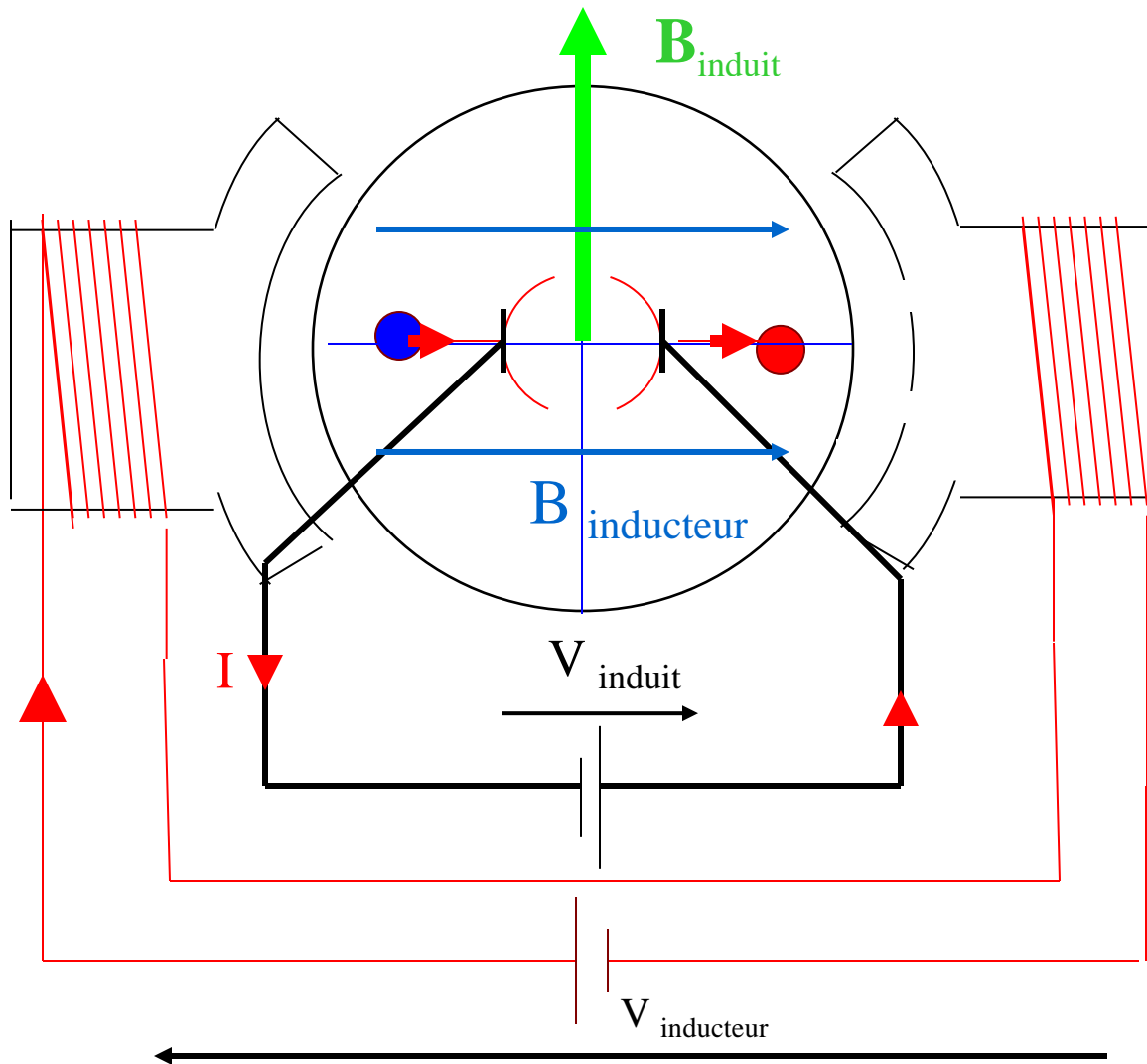
Plaçons notre rotor, appelé « induit » ou « excitation » au centre de notre stator appelé « inducteur » :



# 1 Principe de fonctionnement d'un MCC

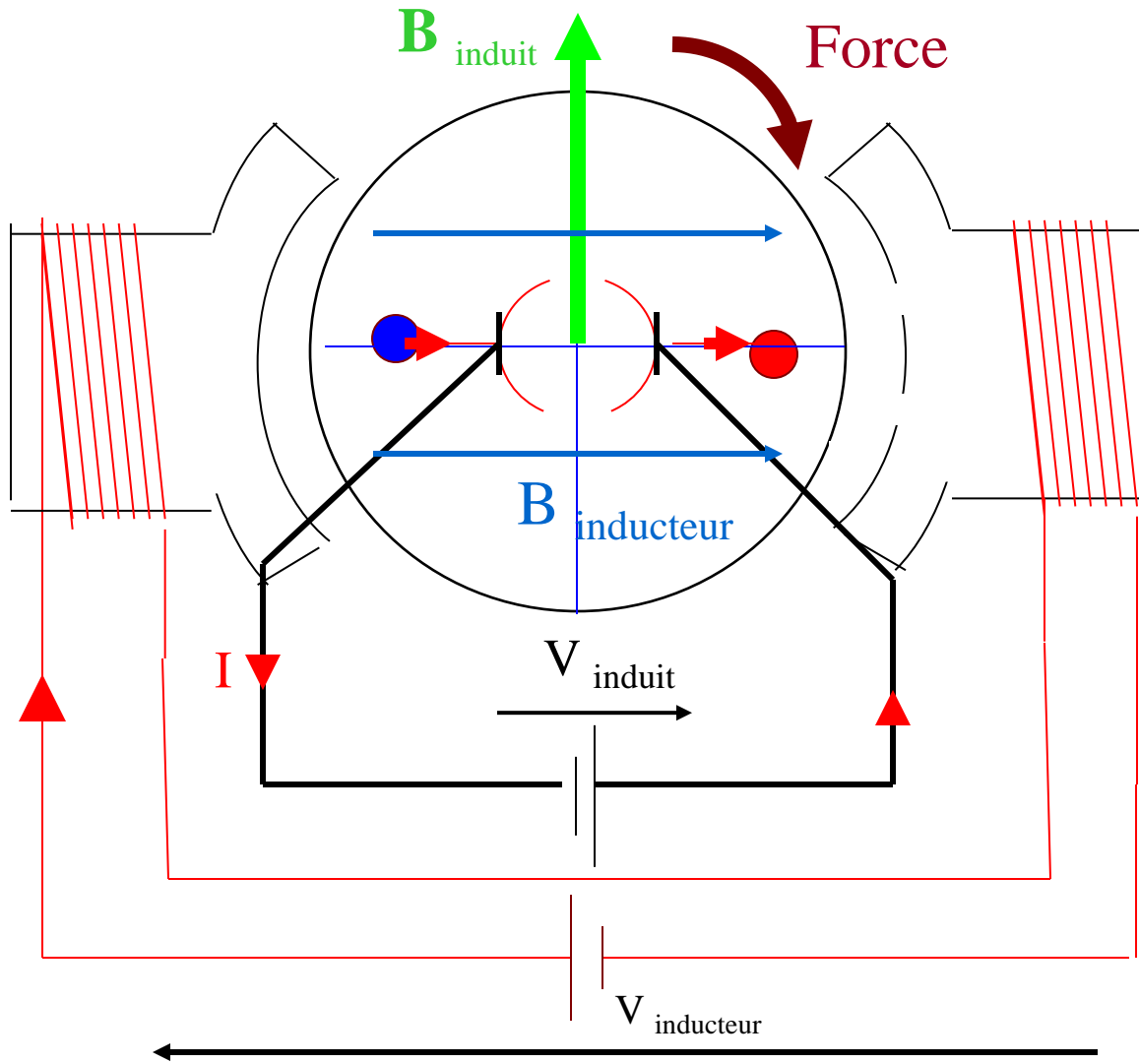
## 1.3 Fonctionnement du moteur

Plaçons notre rotor, appelé « induit » ou « excitation » au centre de notre stator appelé « inducteur » :



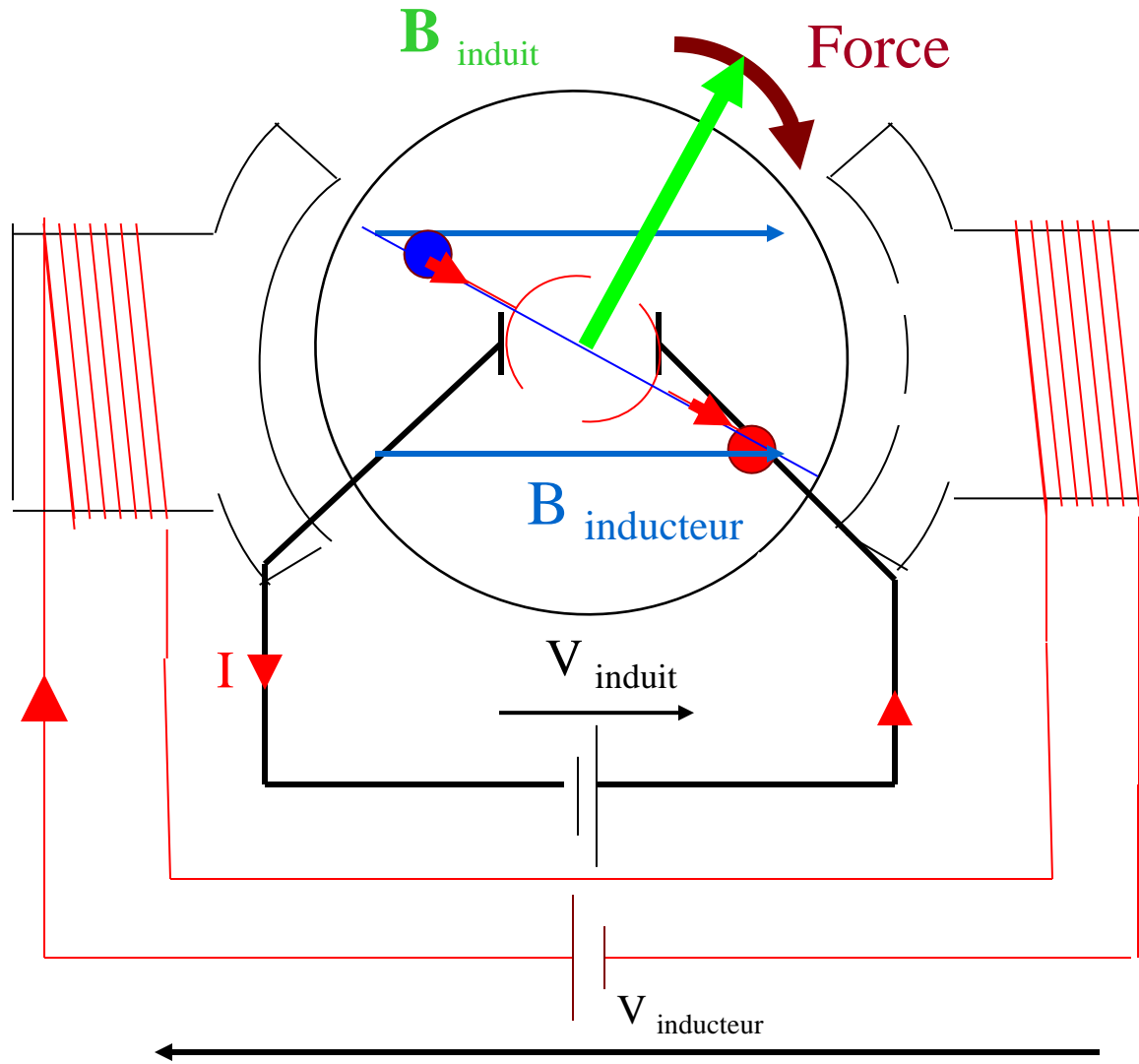
# 1 Principe de fonctionnement d'un MCC

## 1.3 Fonctionnement du moteur

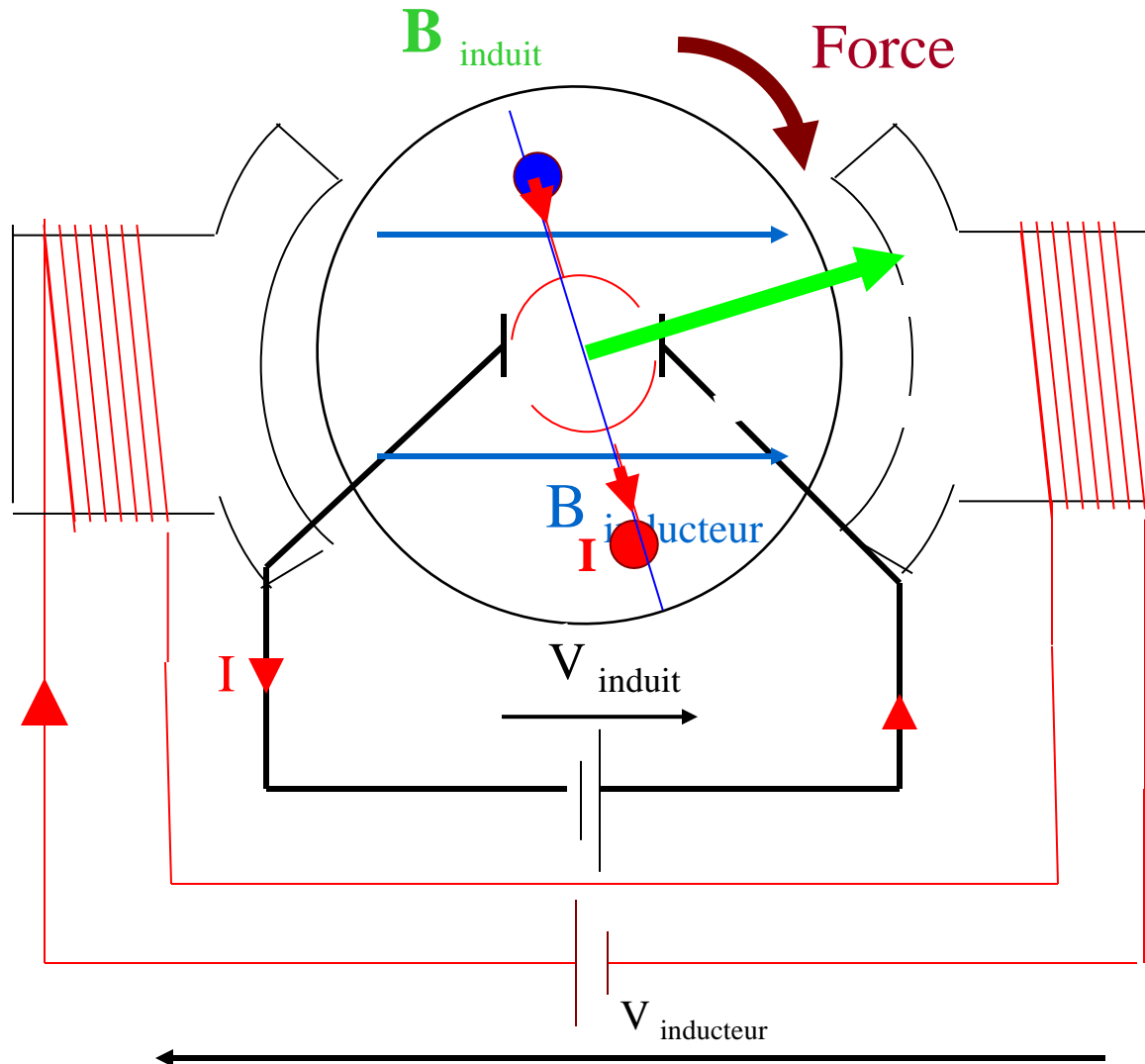


# 1 Principe de fonctionnement d'un MCC

## 1.3 Fonctionnement du moteur

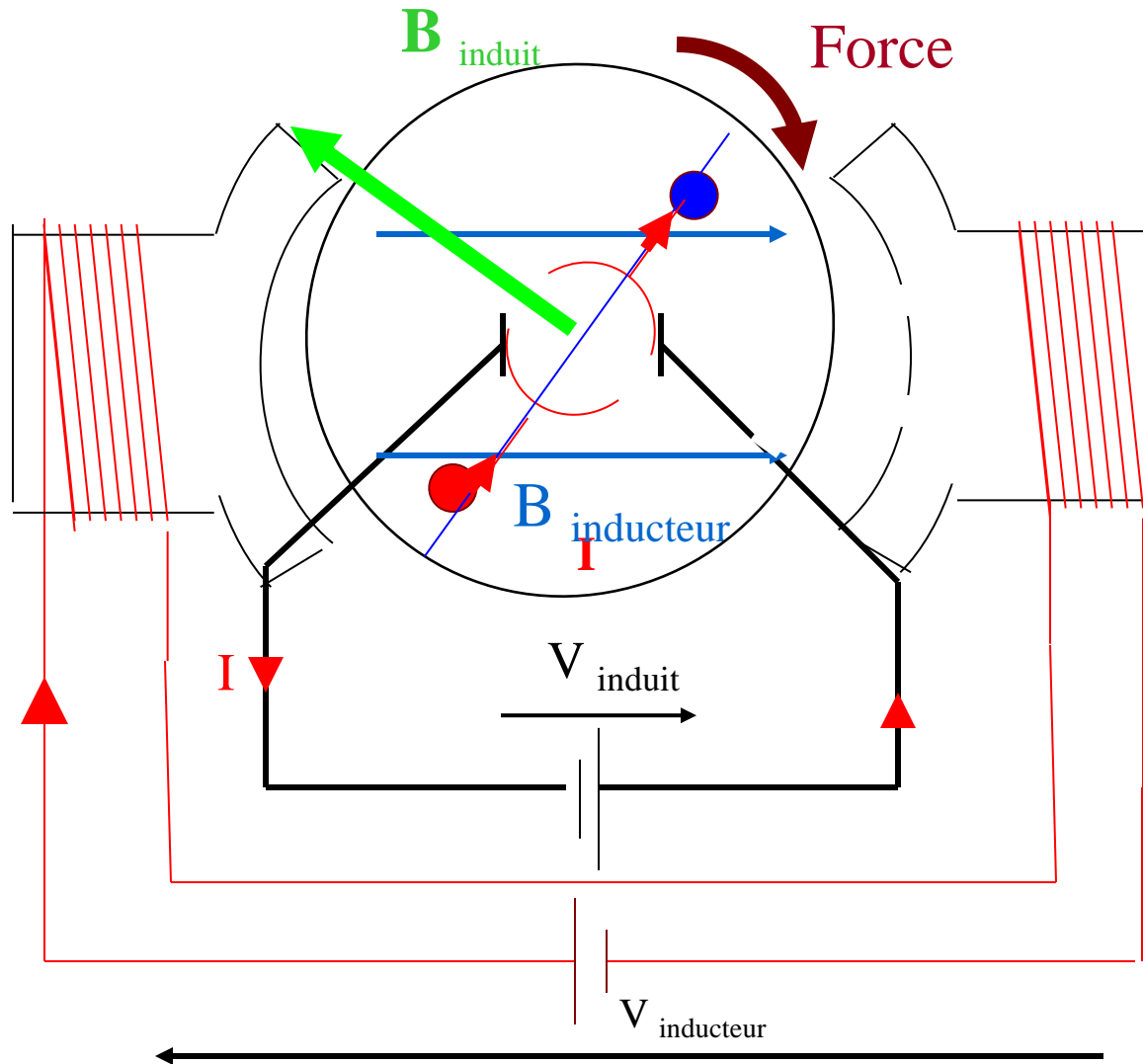


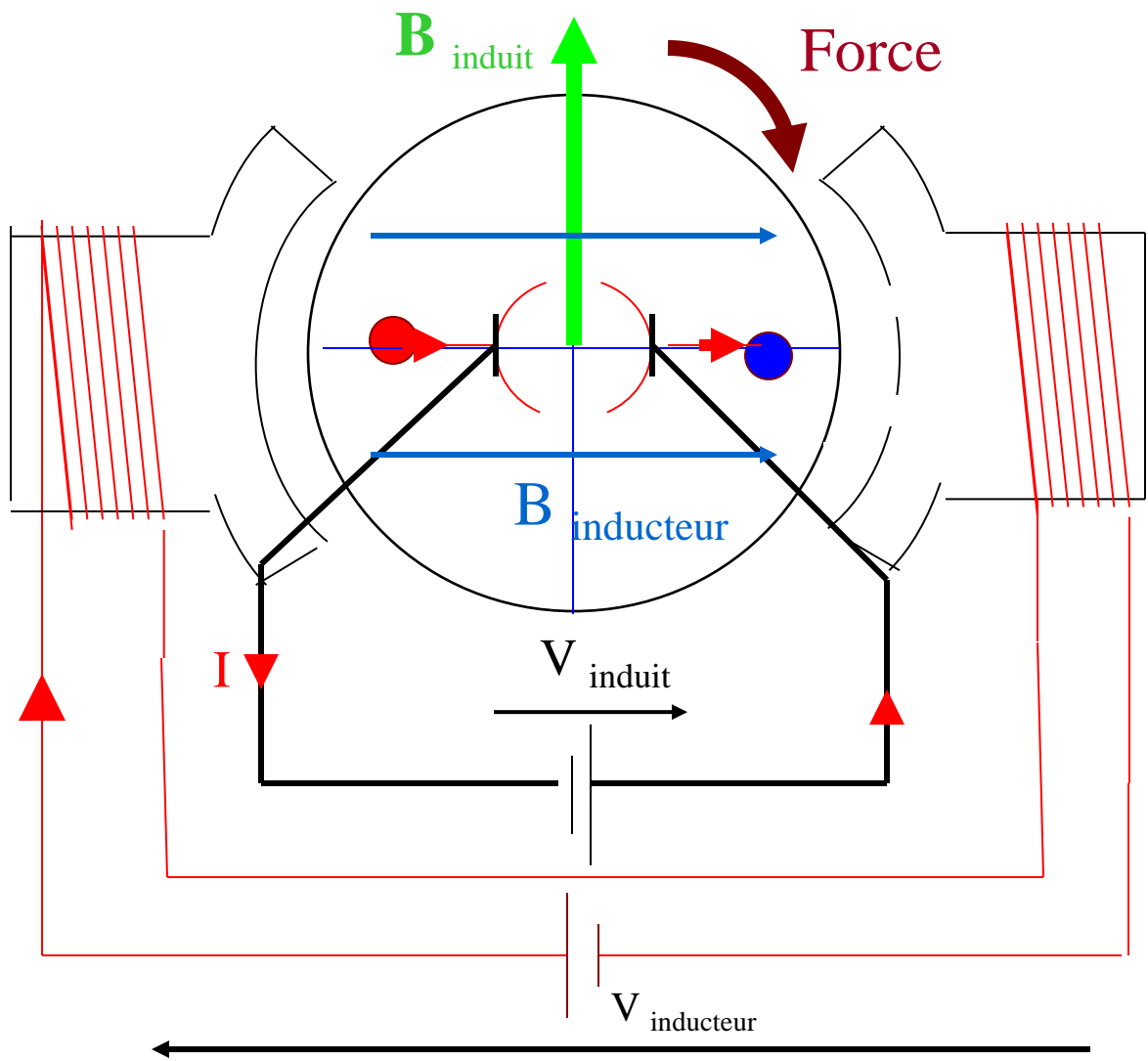
A ce moment, le champ de l'induit et de l'inducteur ont quasiment la même direction, dans ce cas le moteur devrait donc s'arrêter de tourner, cependant avec l'inertie le moteur continue de tourner.

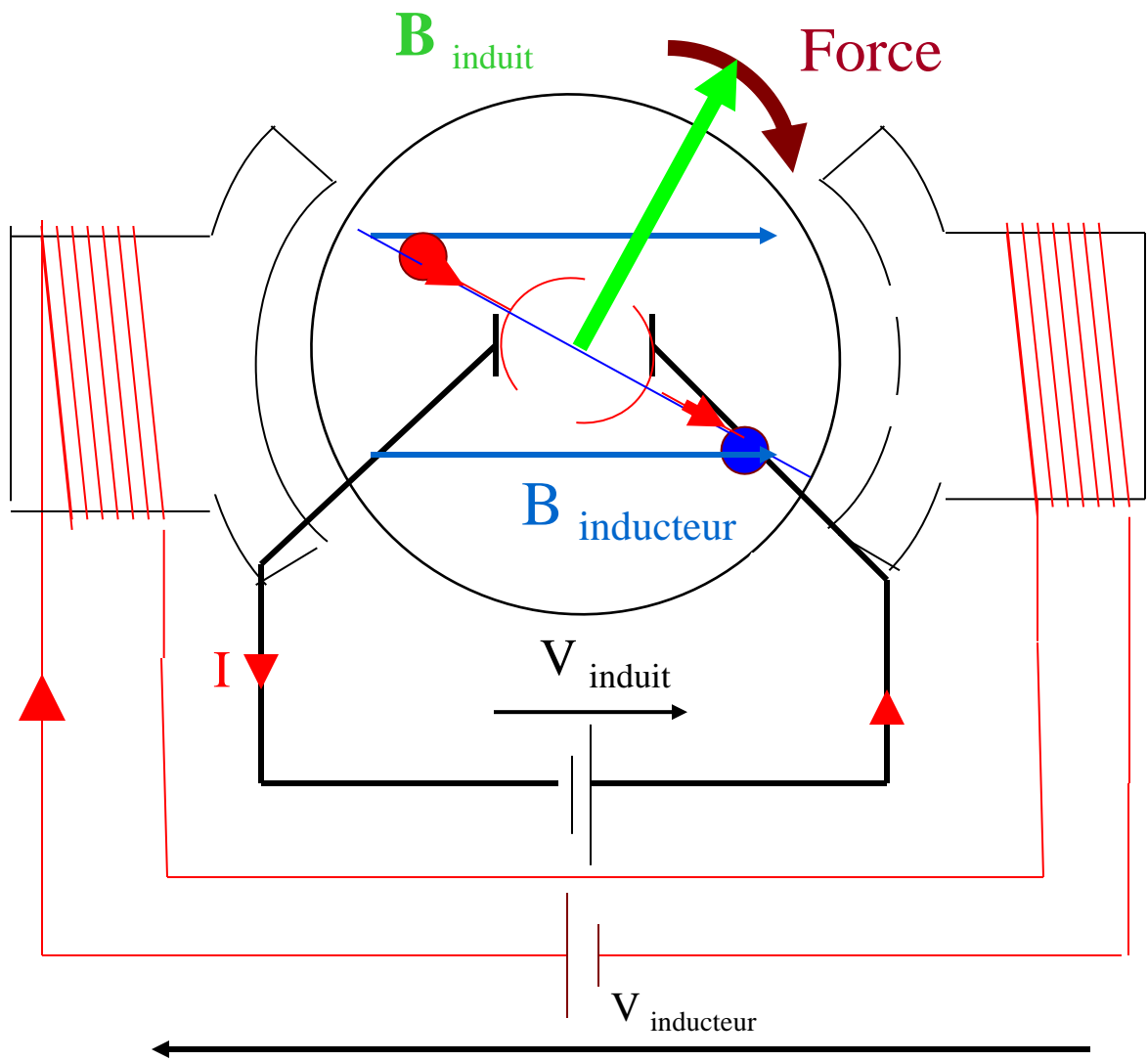


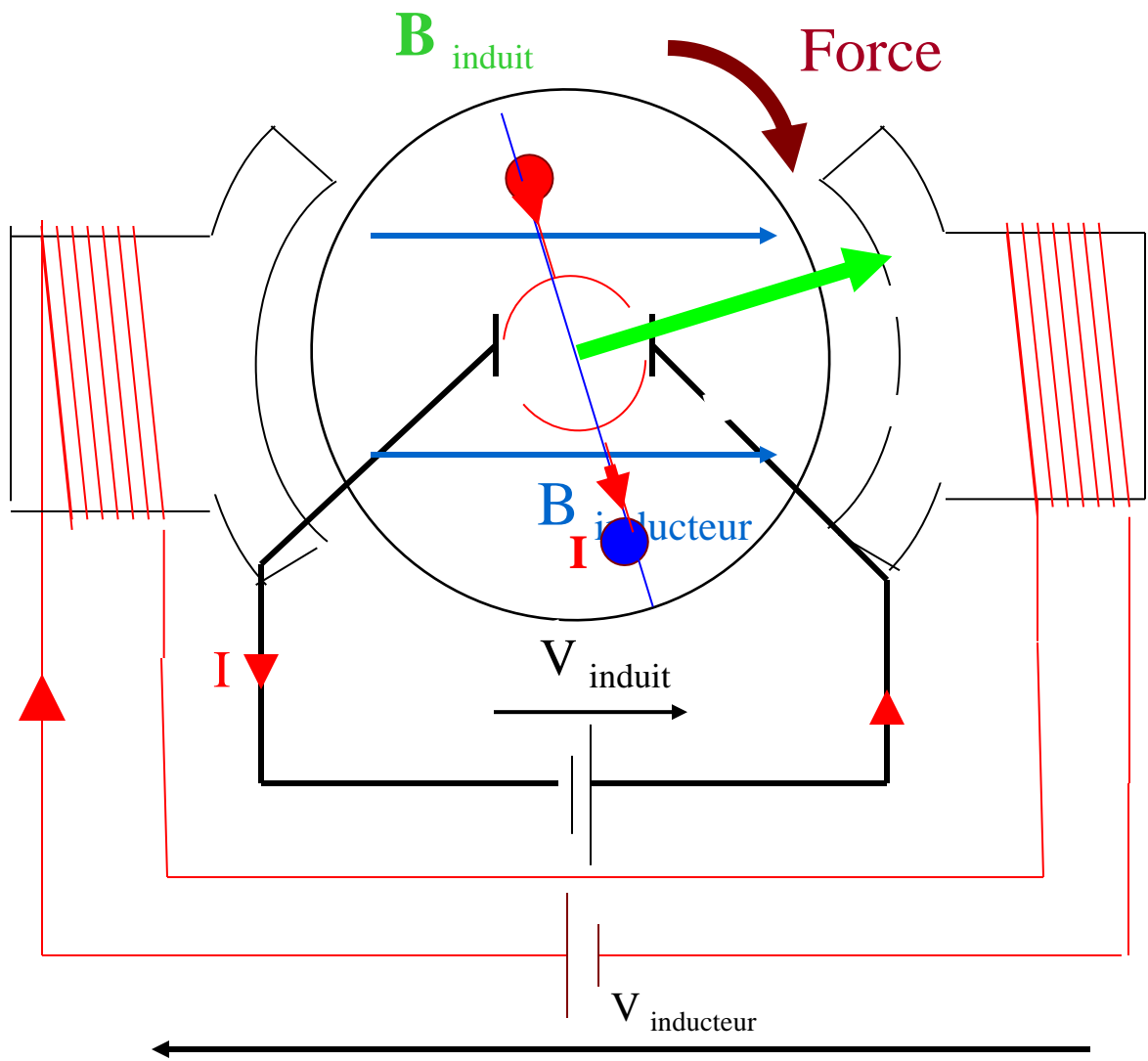


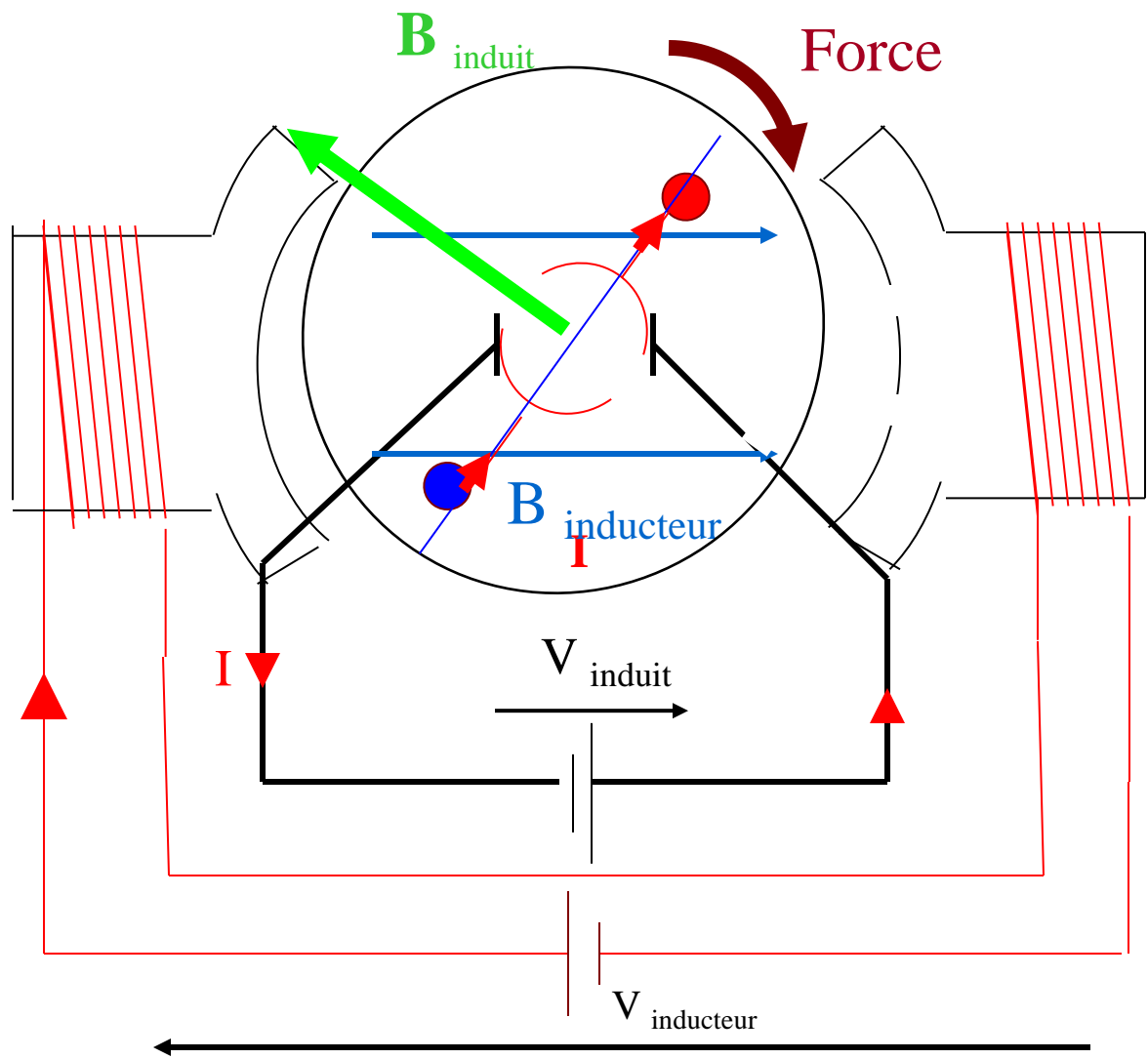
Et au moment où les deux champs arrivent dans le même sens, le collecteur va changer le sens du courant dans l'induit, et par la même occasion changer le sens du champs magnétique de l'induit le moteur continue donc à tourner.





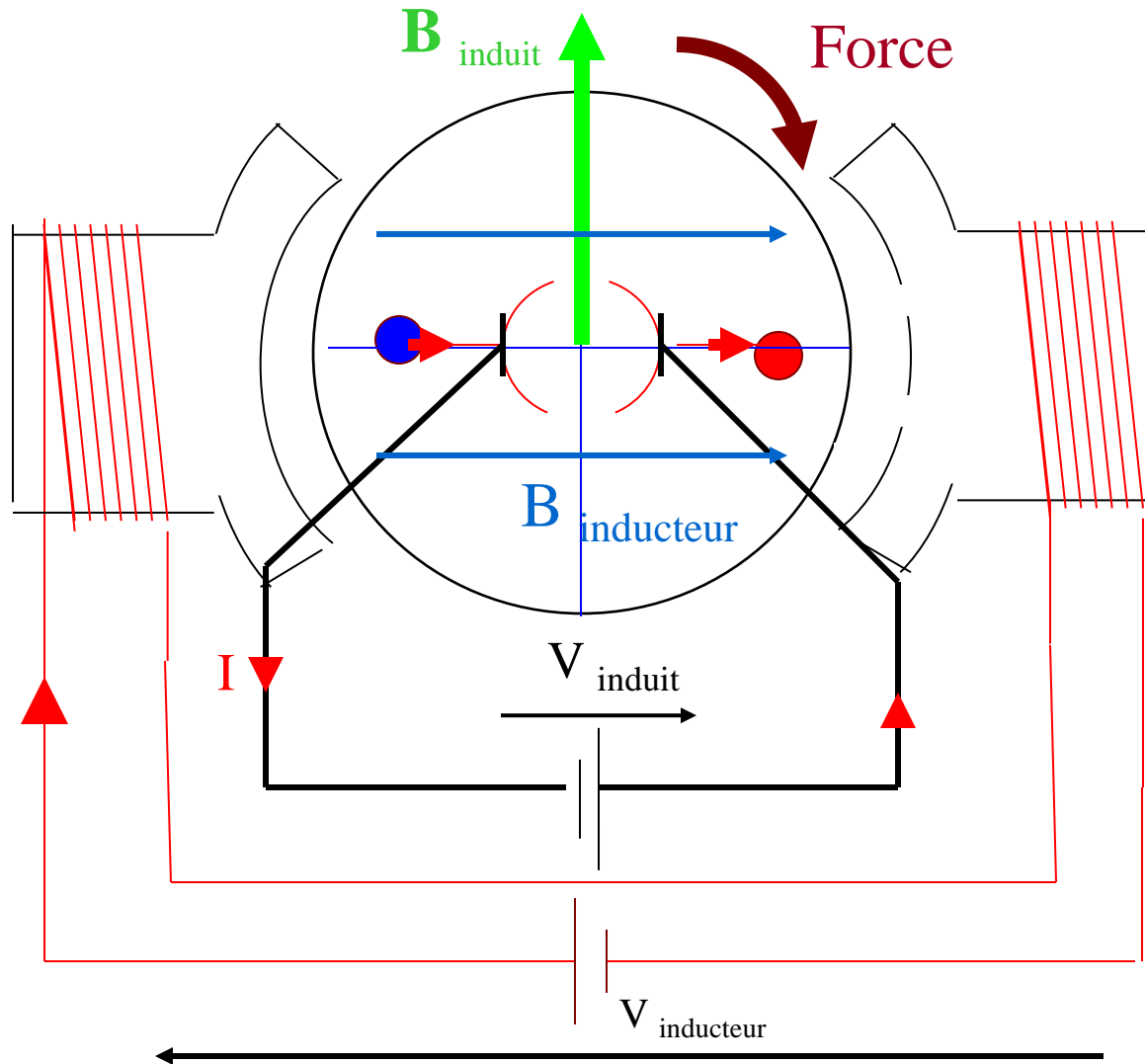






Question: Problème? Comment évolue  
le couple de notre machine?

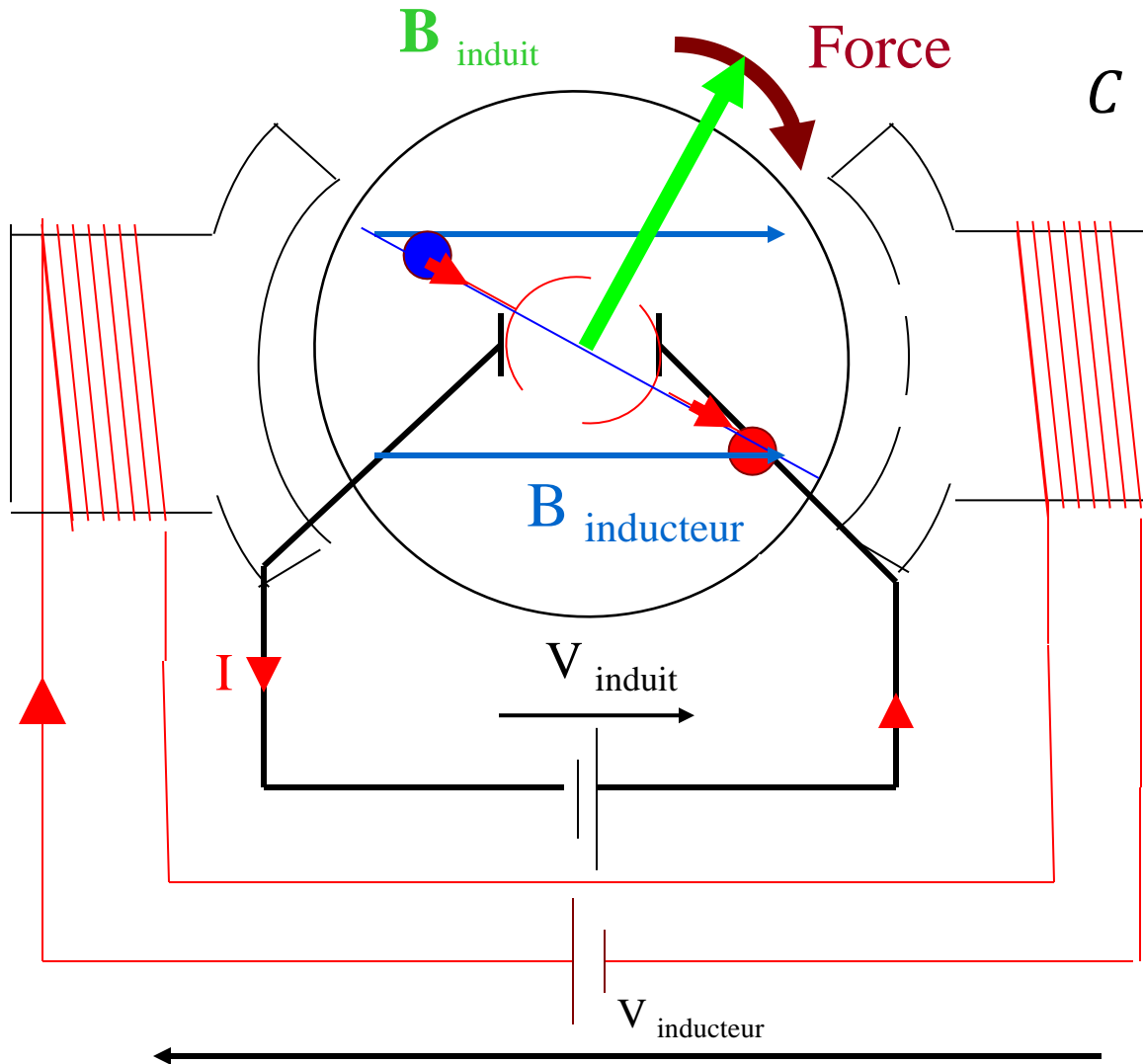
Le couple est proportionnel au produit vectoriel des 2 champs magnétique



$$C = C_{\text{max}}$$

Angle  $\theta$   
de  $90^\circ$

Le couple est proportionnel au produit vectoriel des 2 champs magnétique

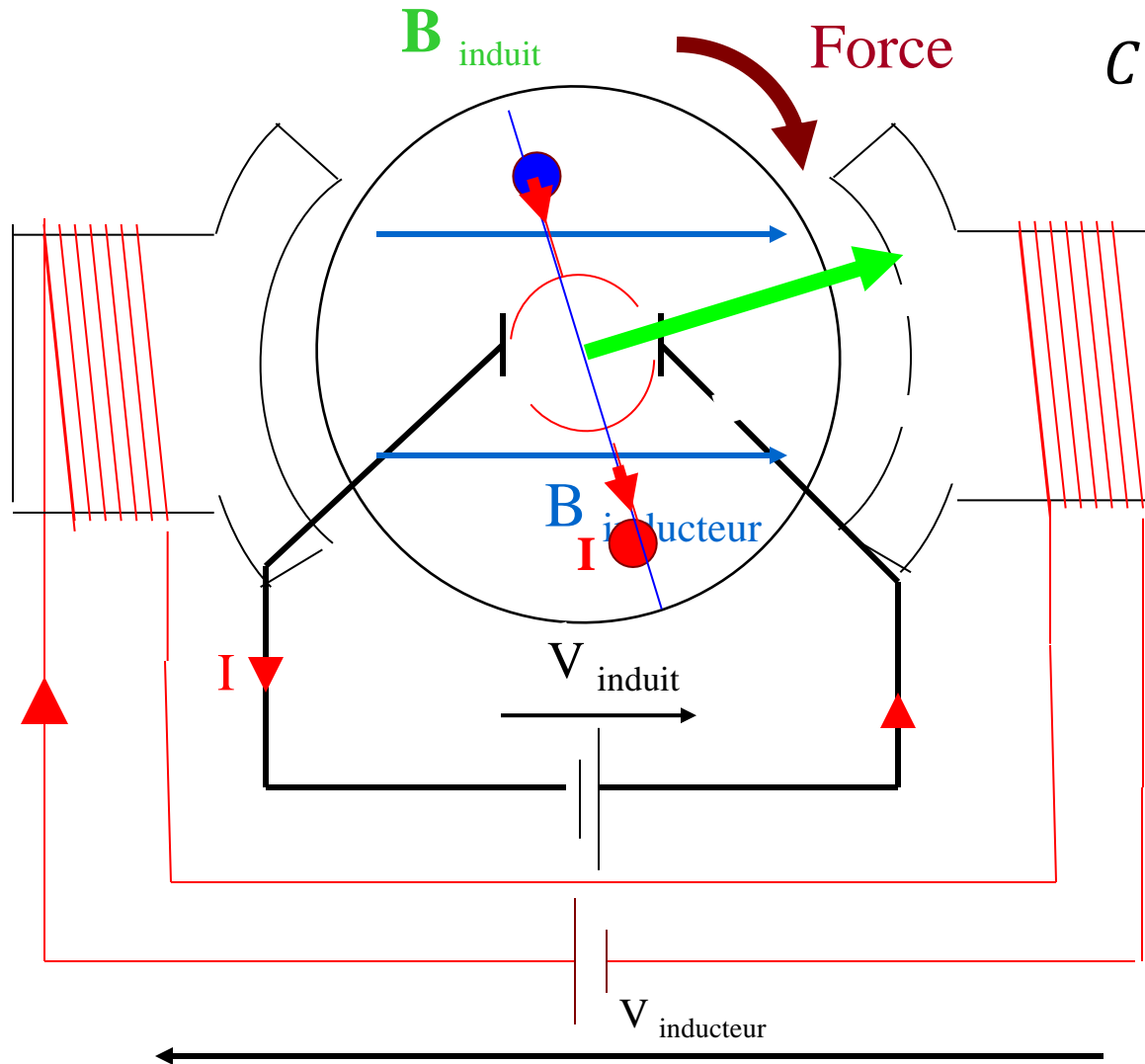


$$C = C_{\text{max}} \times \sin(\theta)$$

Angle  
inferieur  
 $90^\circ$



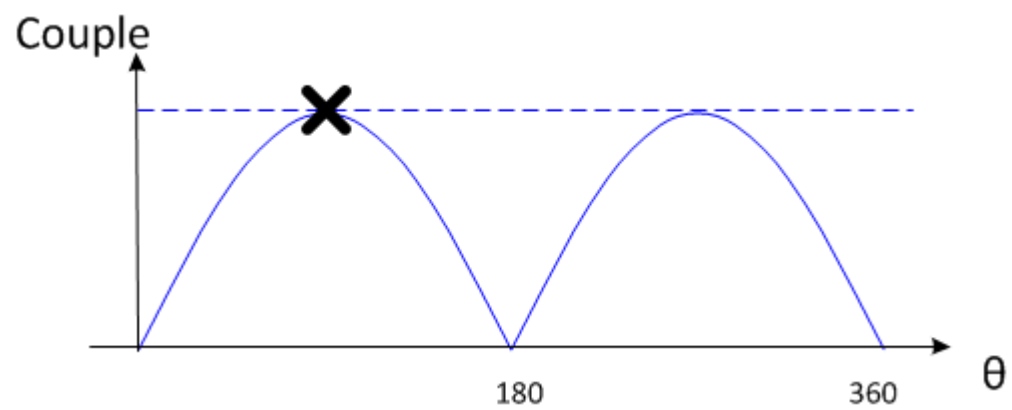
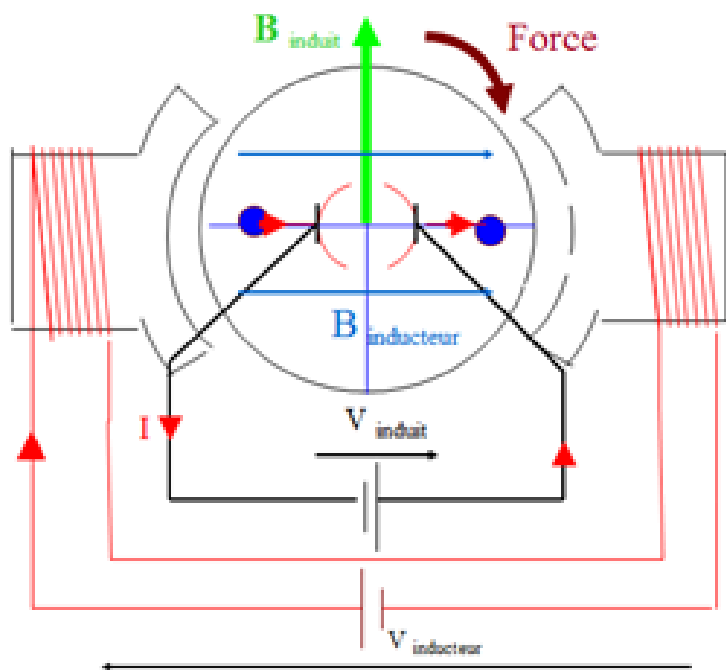
Le couple est proportionnel au produit vectoriel des 2 champs magnétique

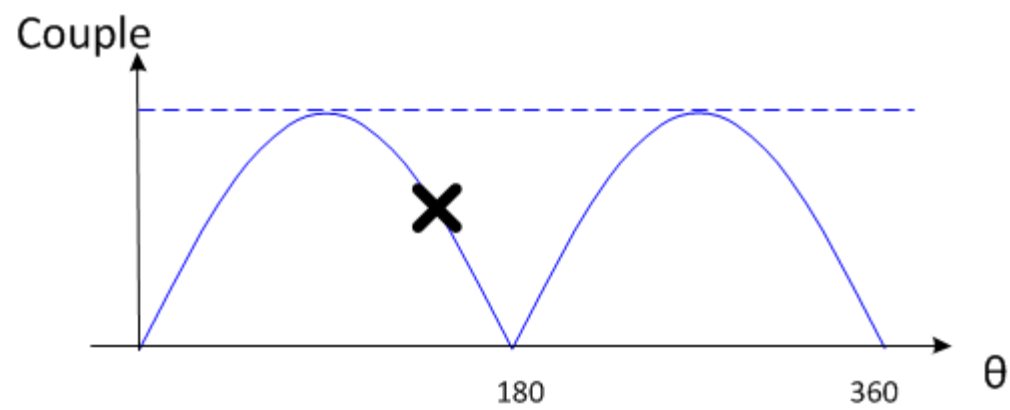
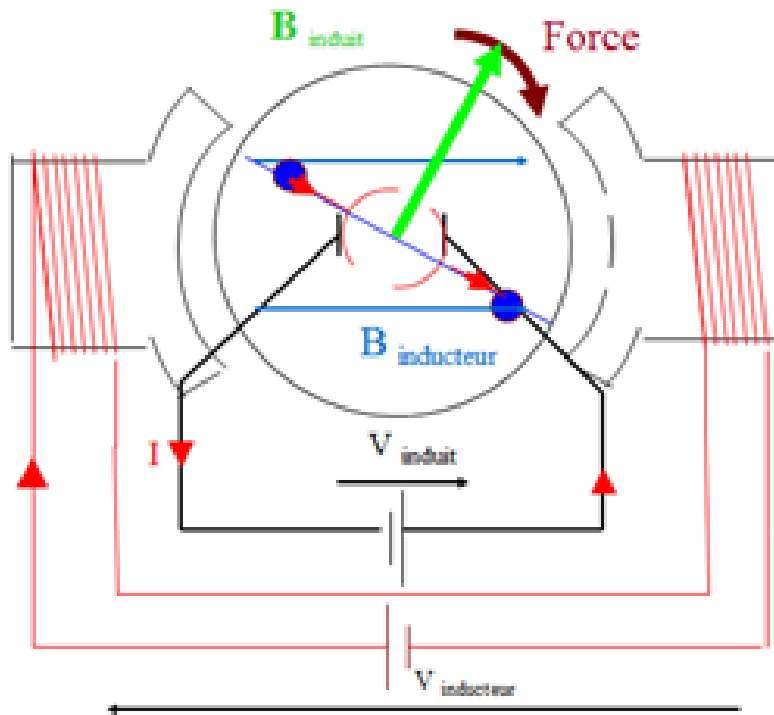


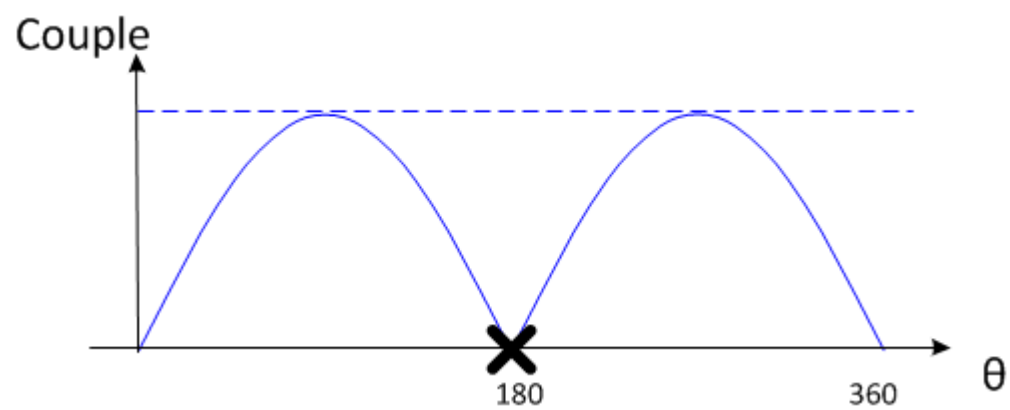
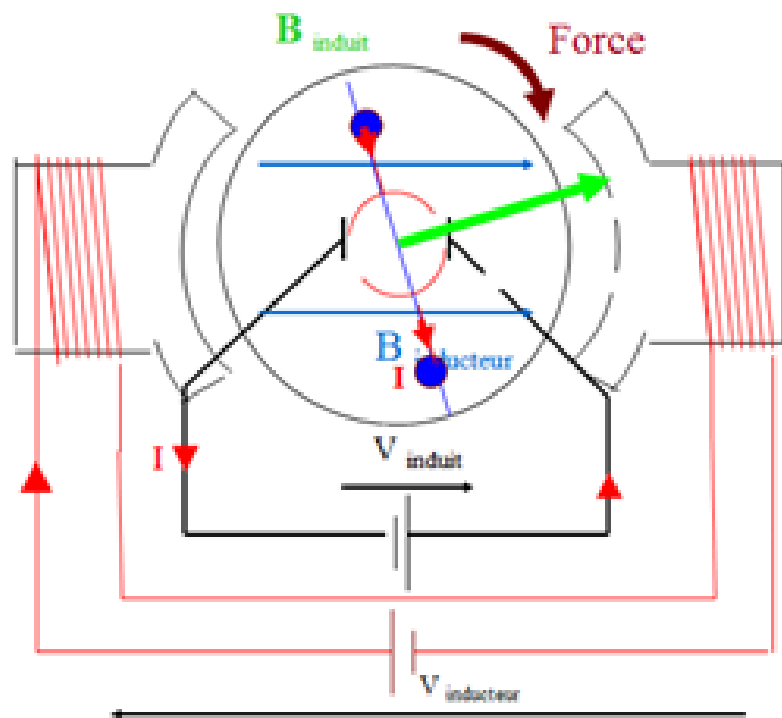
$$C = C_{\text{max}} \times \sin(\theta)$$

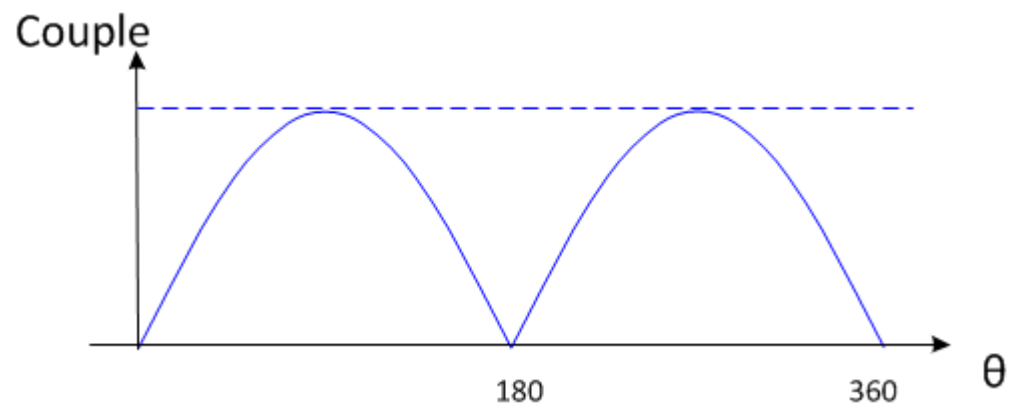
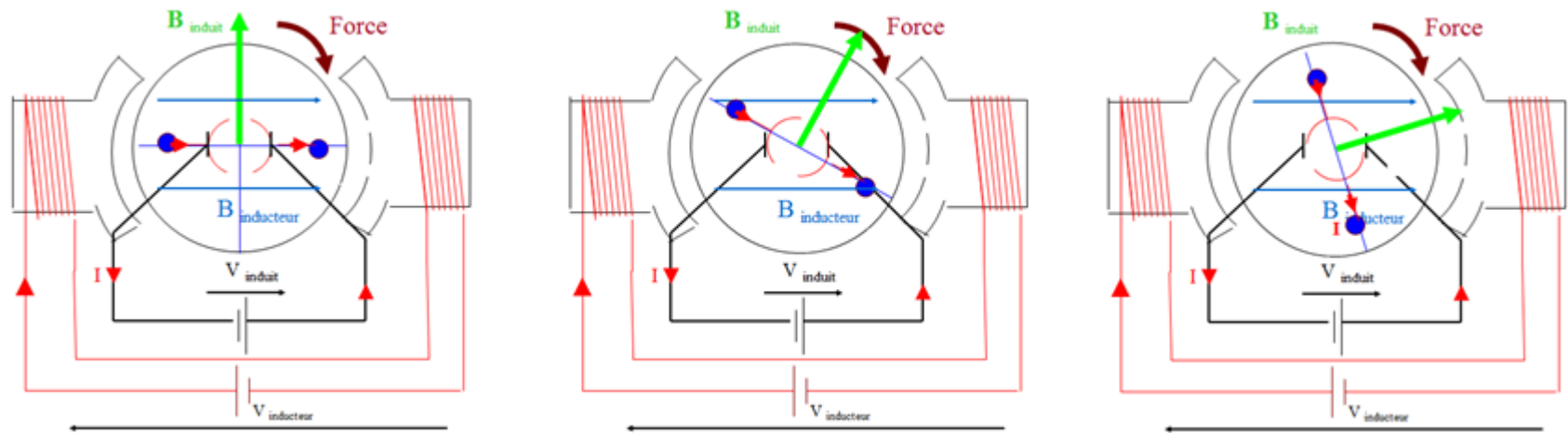
$$C \approx 0 \text{ car } \theta \approx 0$$

Angle  $\theta$   
 $\approx 0$

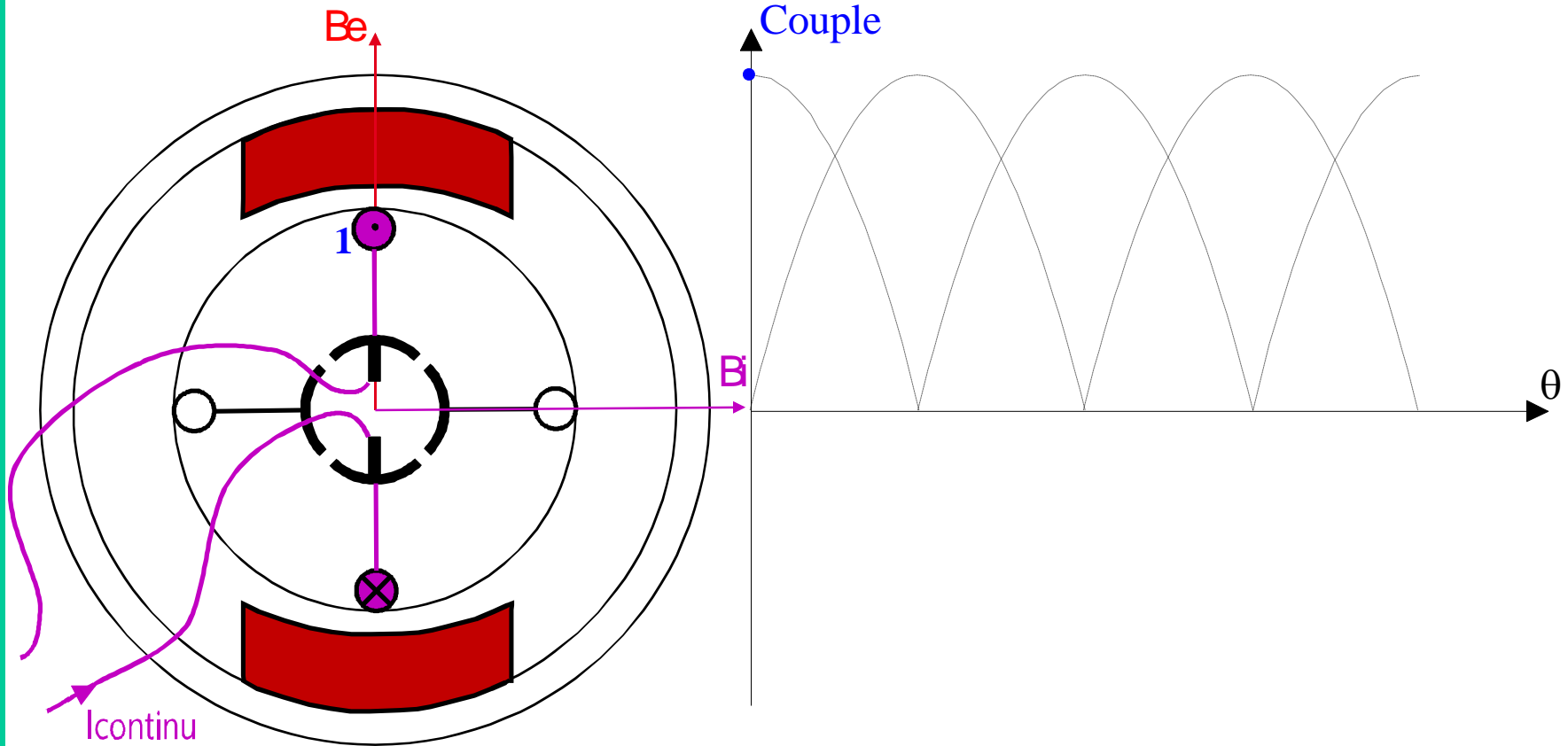






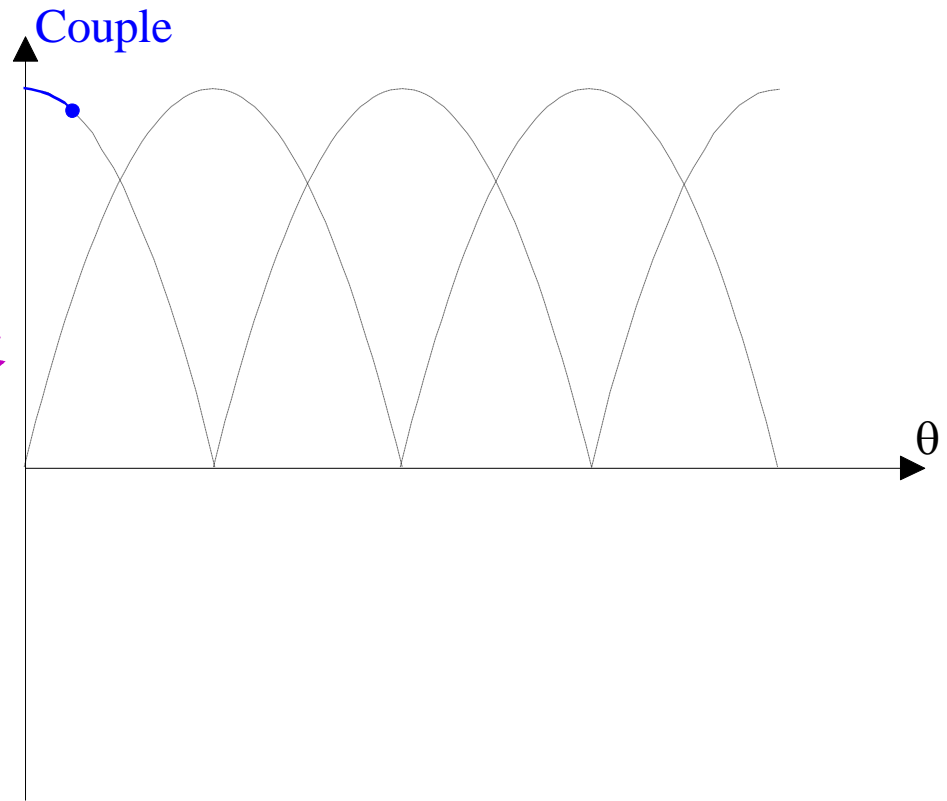
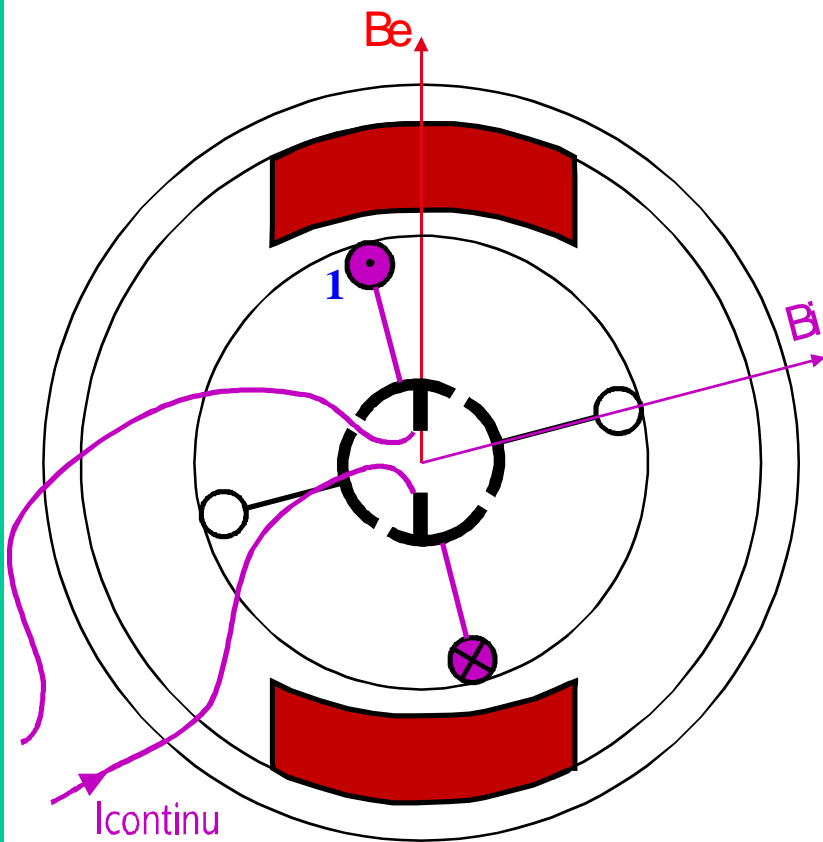


# Principe d'aiguillage du courant d'induit



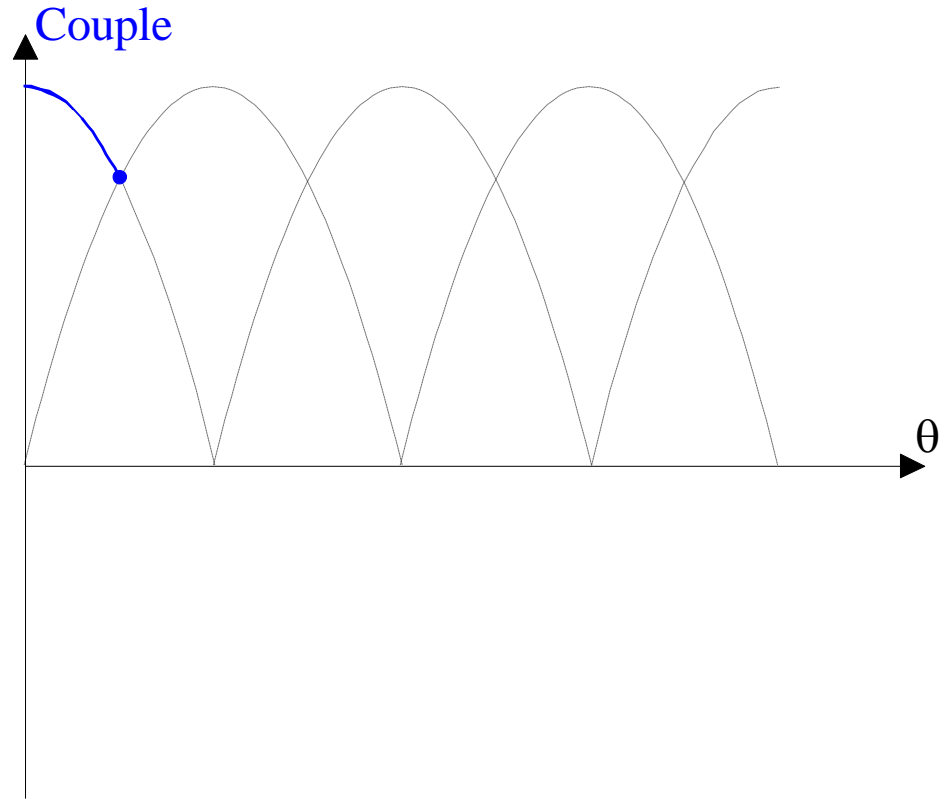
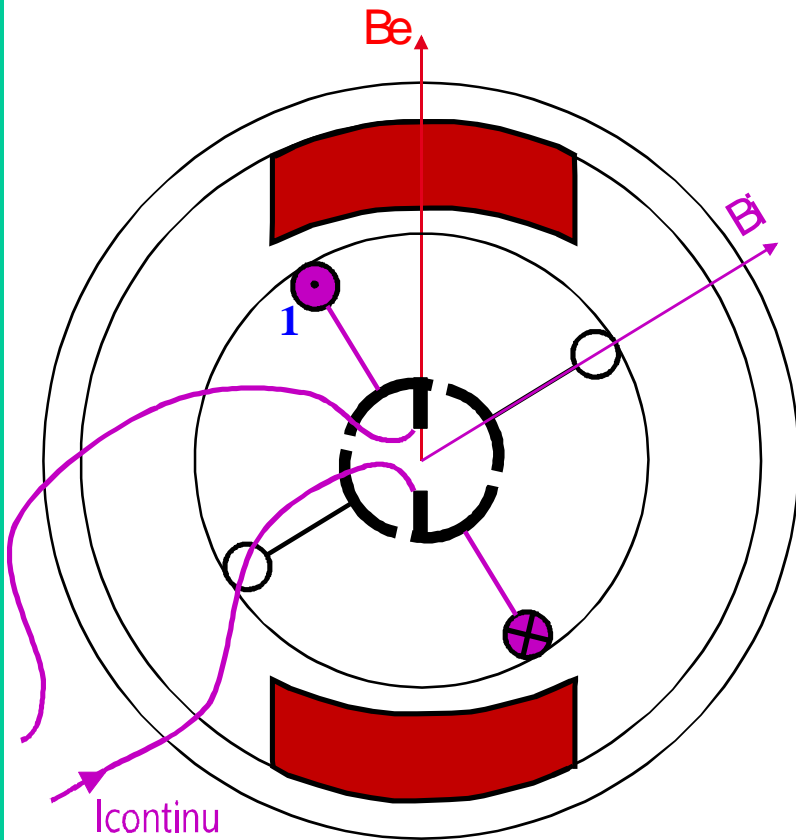


# Principe d'aiguillage du courant d'induit





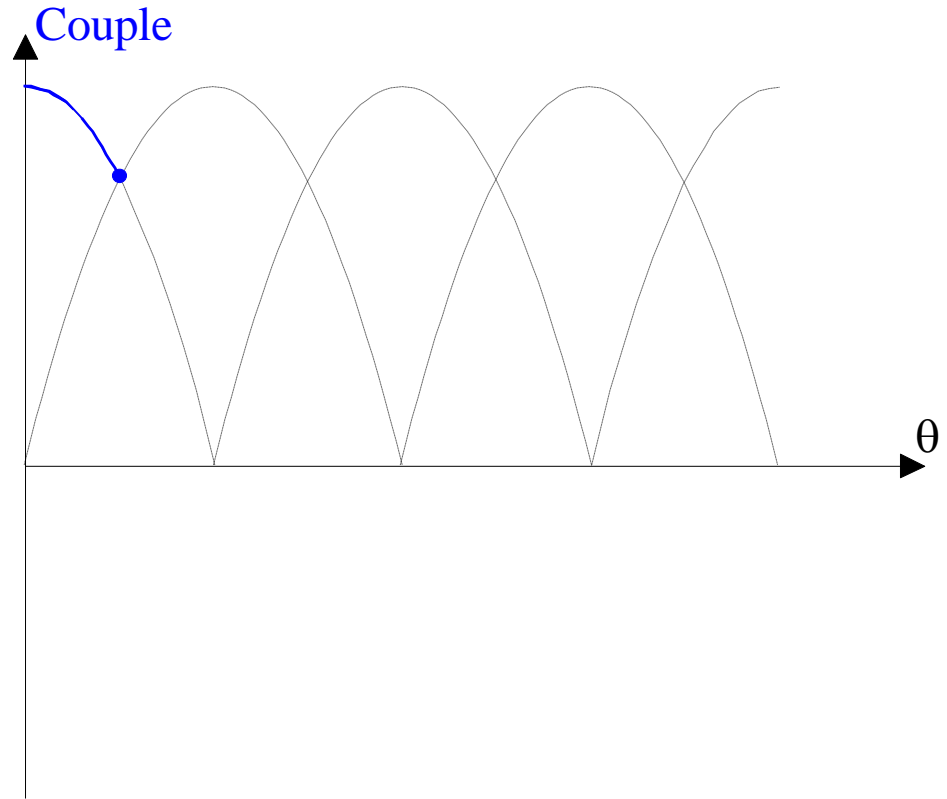
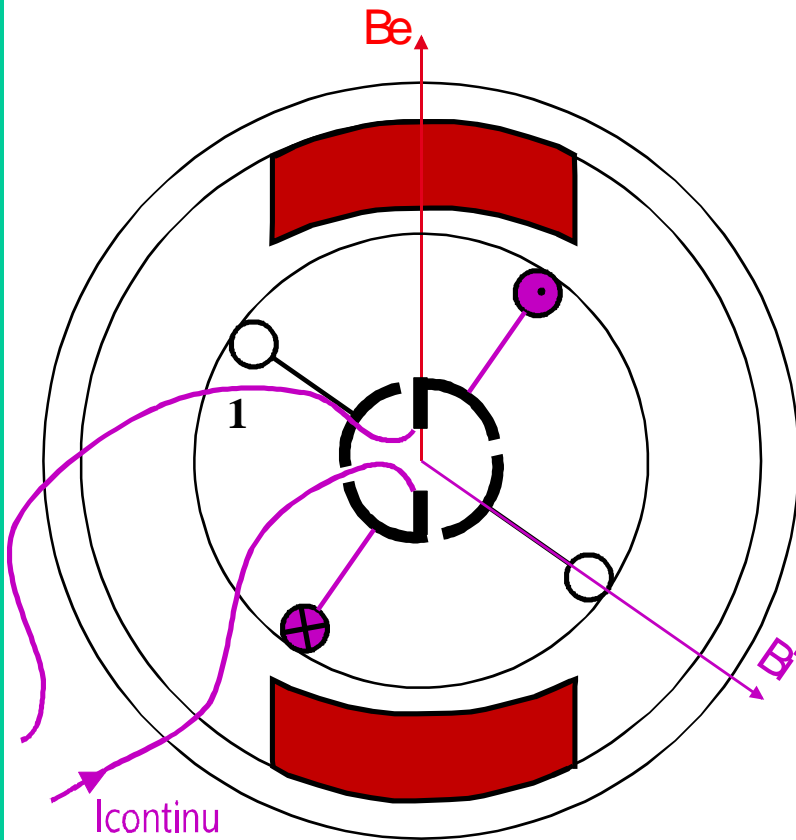
# Principe d'aiguillage du courant d'induit





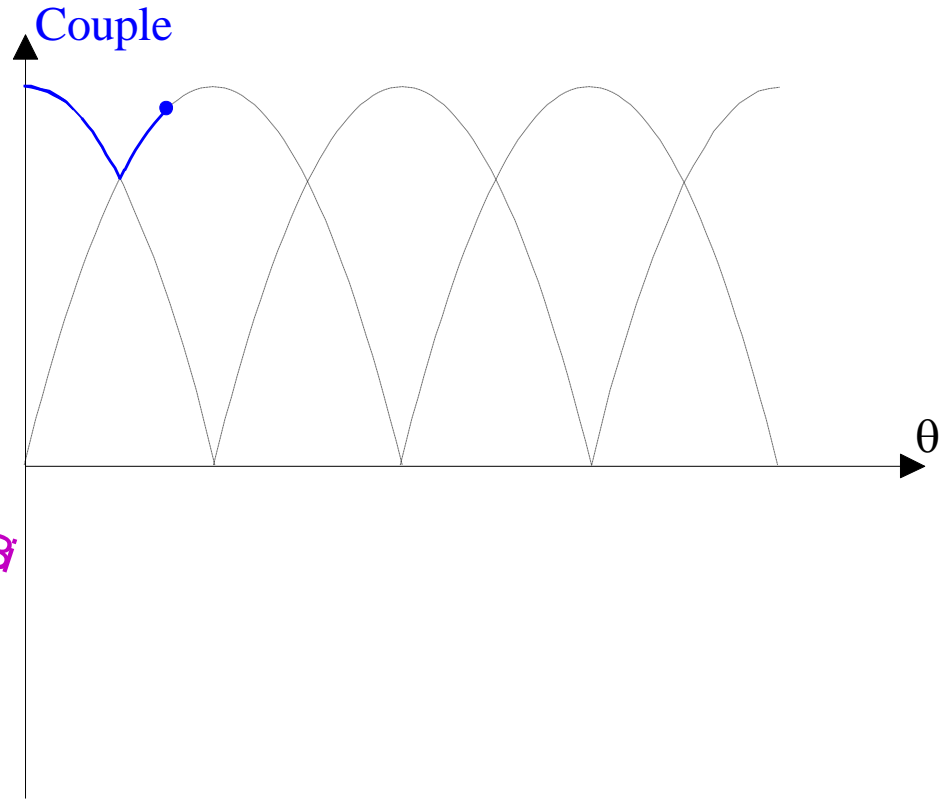
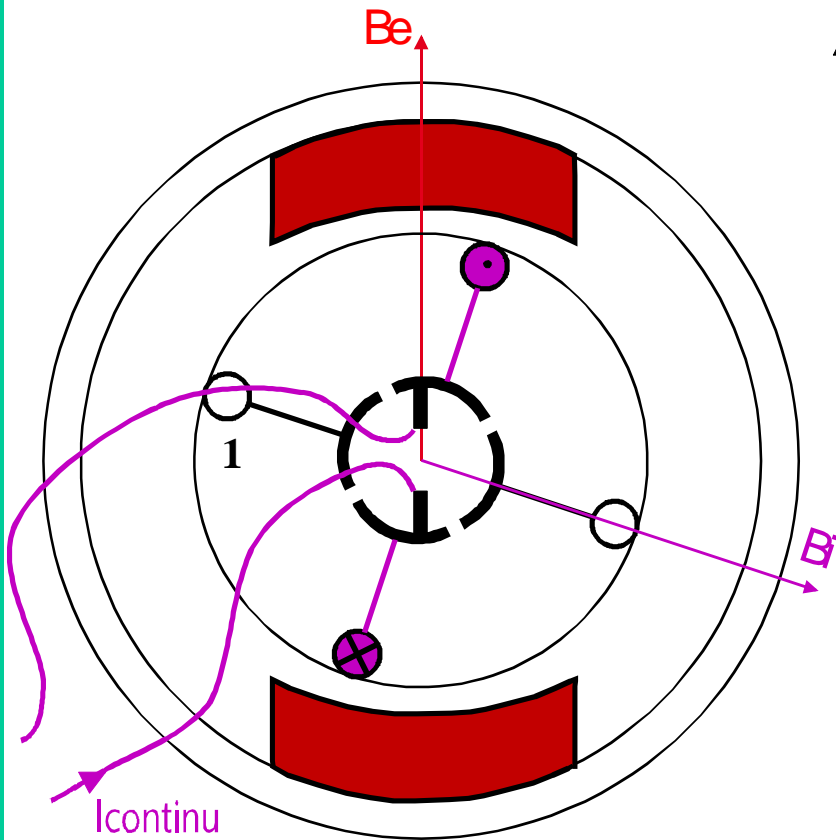


# Principe d'aiguillage du courant d'induit



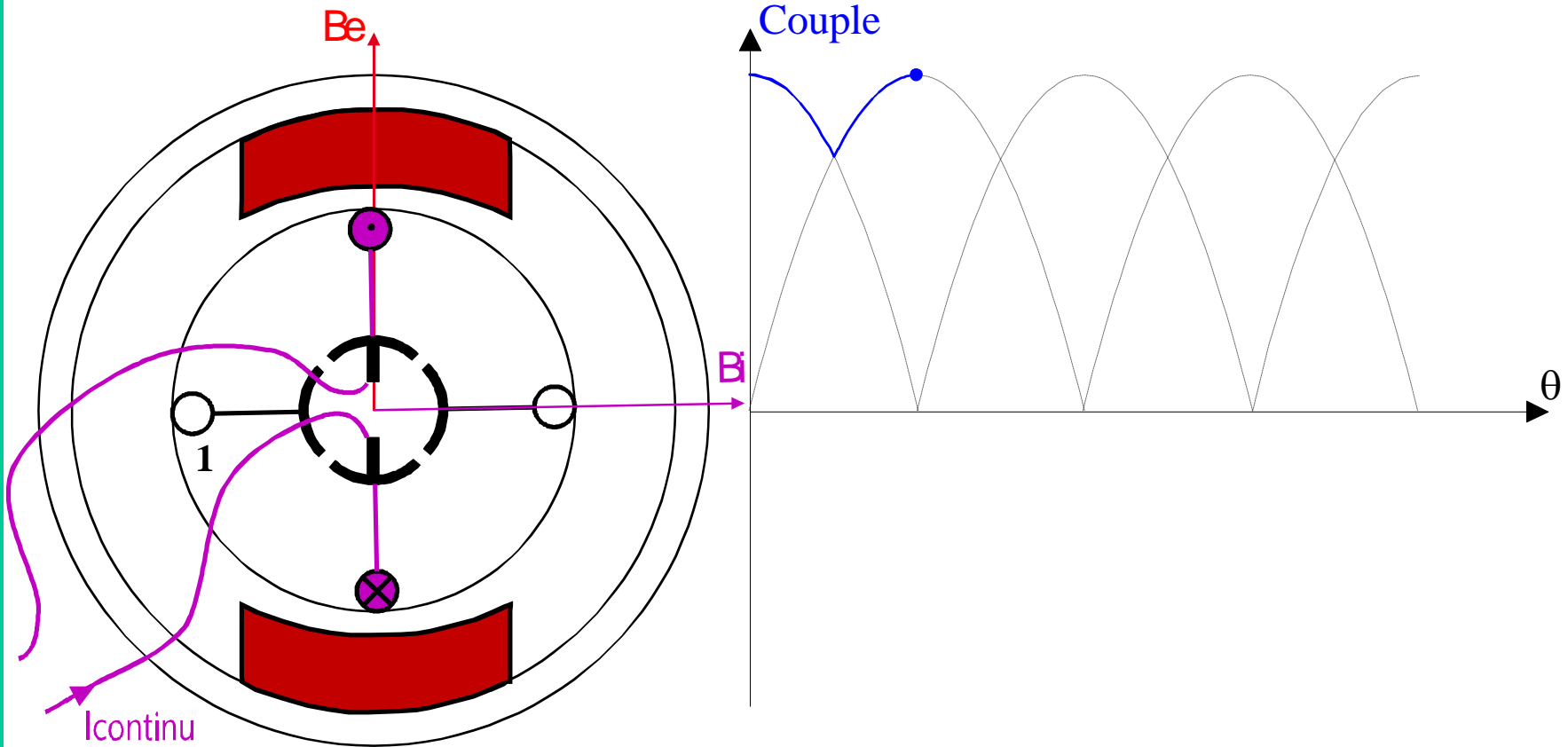


# Principe d'aiguillage du courant d'induit



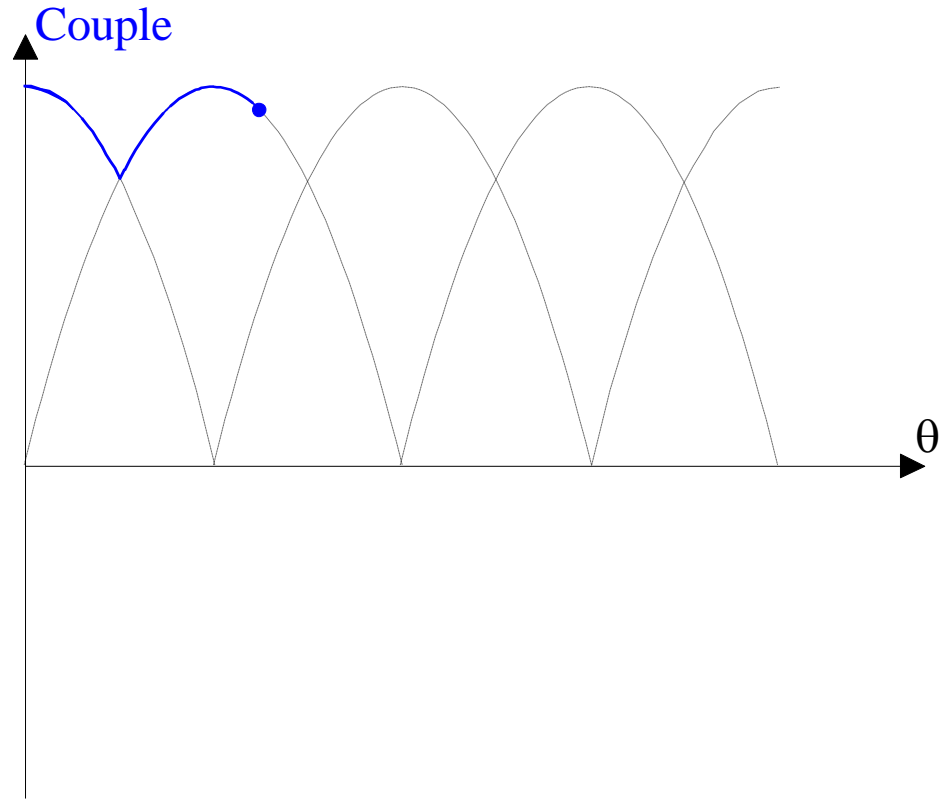
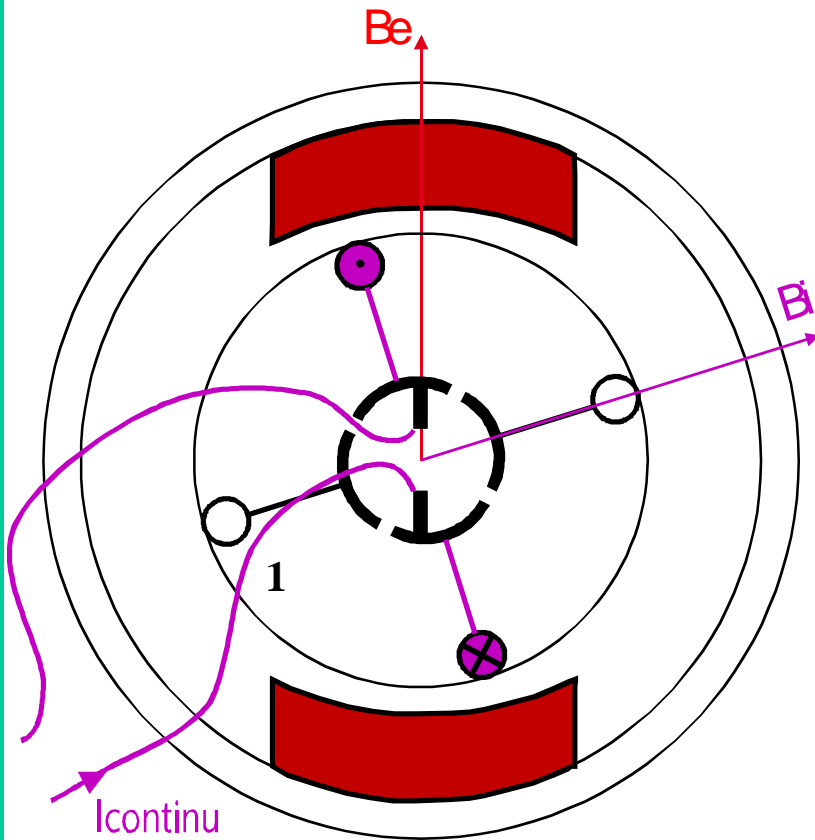


# Principe d'aiguillage du courant d'induit



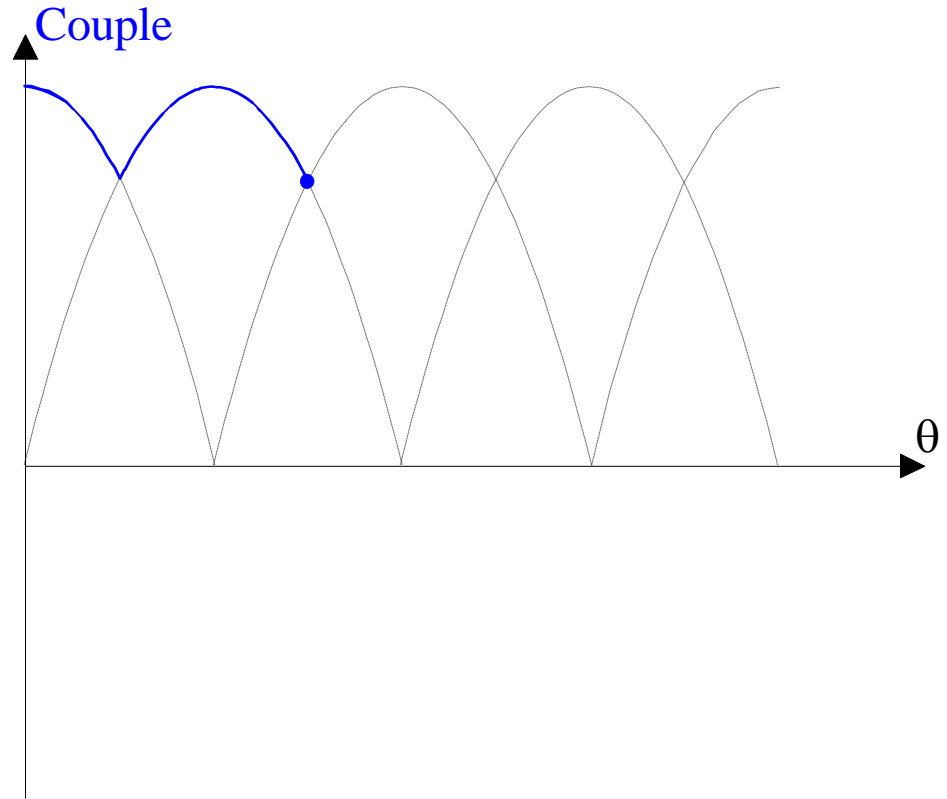
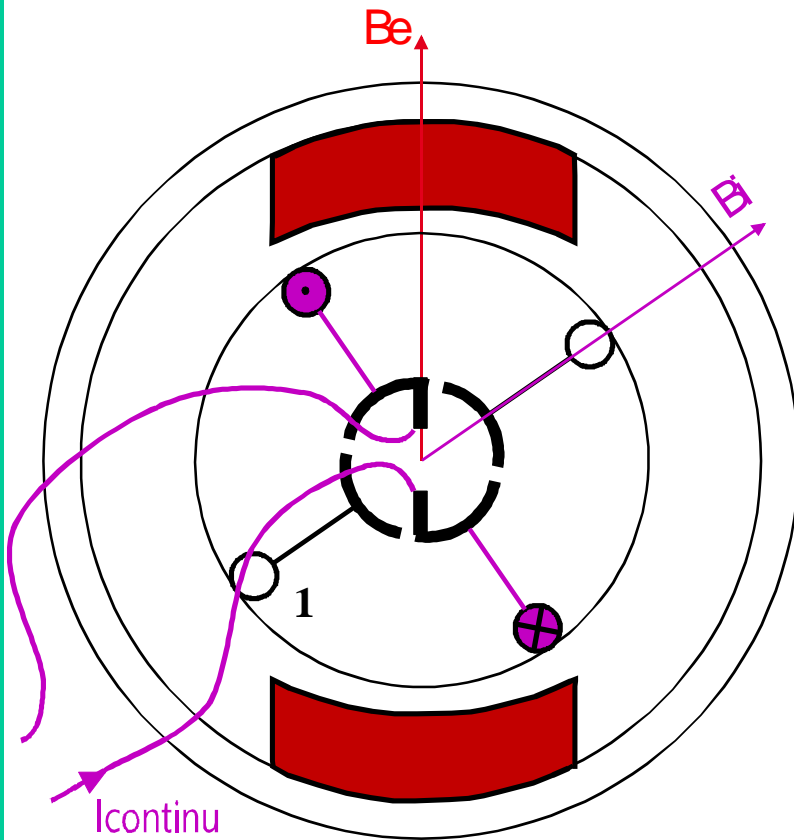


# Principe d'aiguillage du courant d'induit



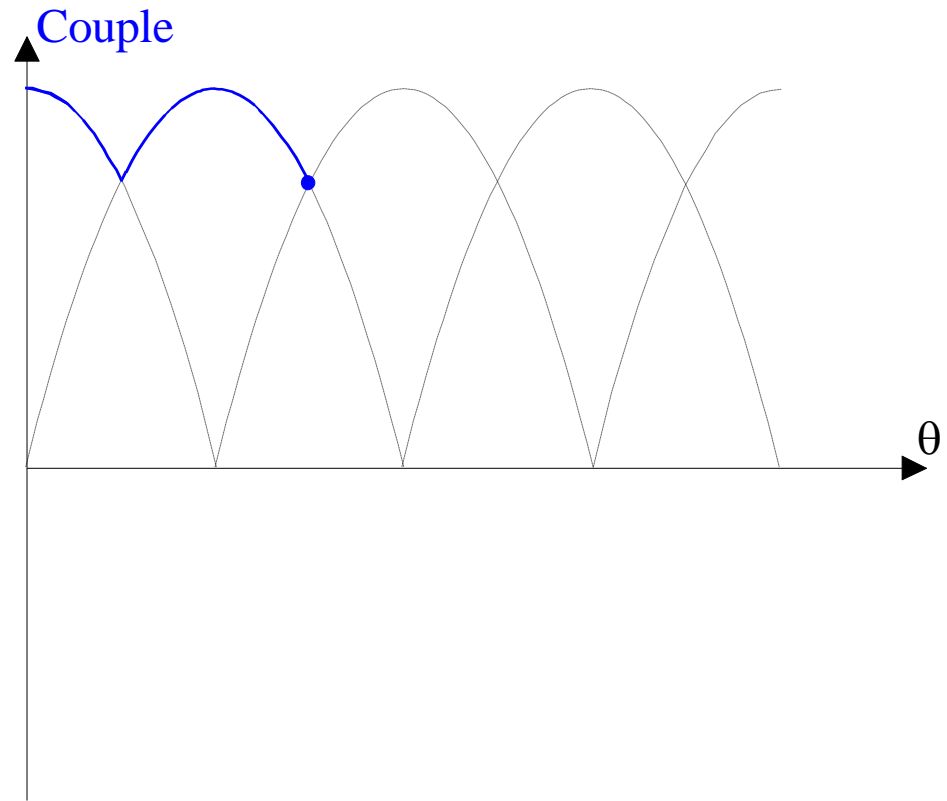
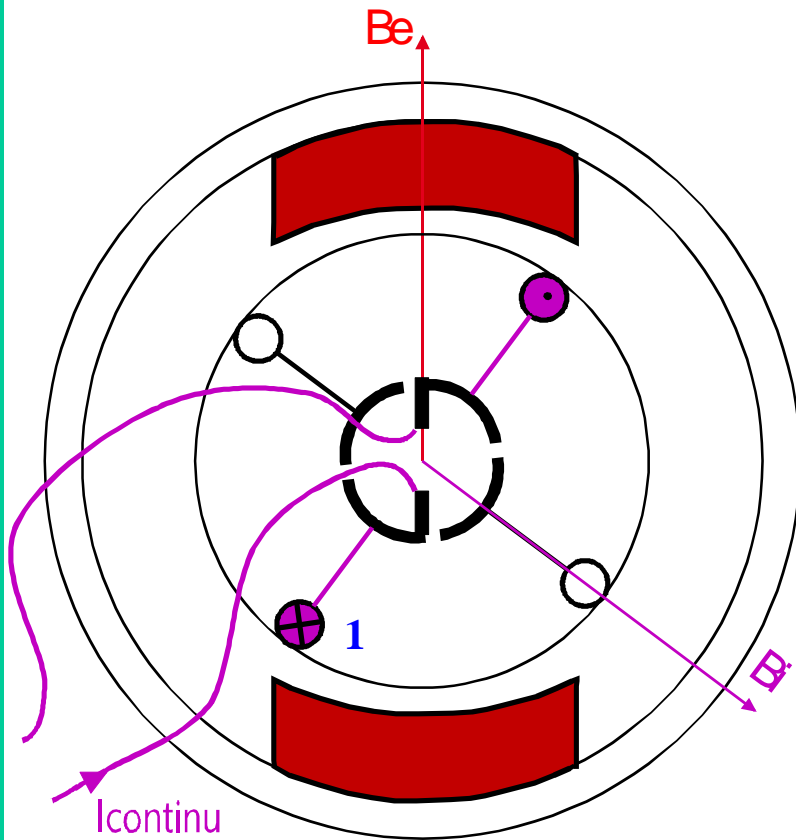


# Principe d'aiguillage du courant d'induit



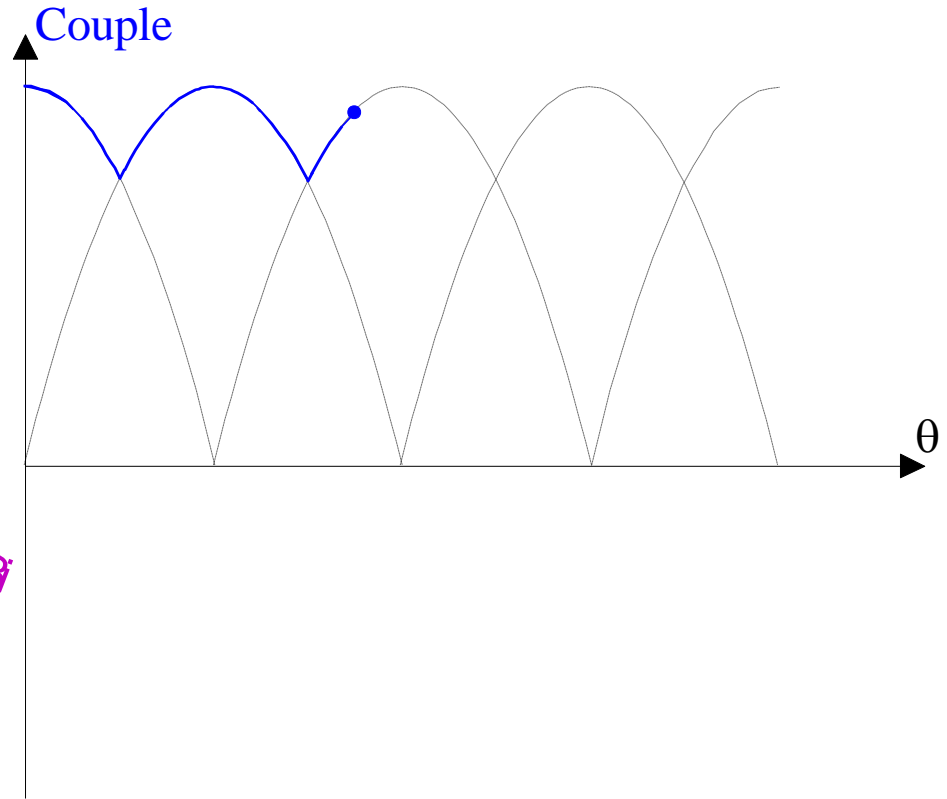
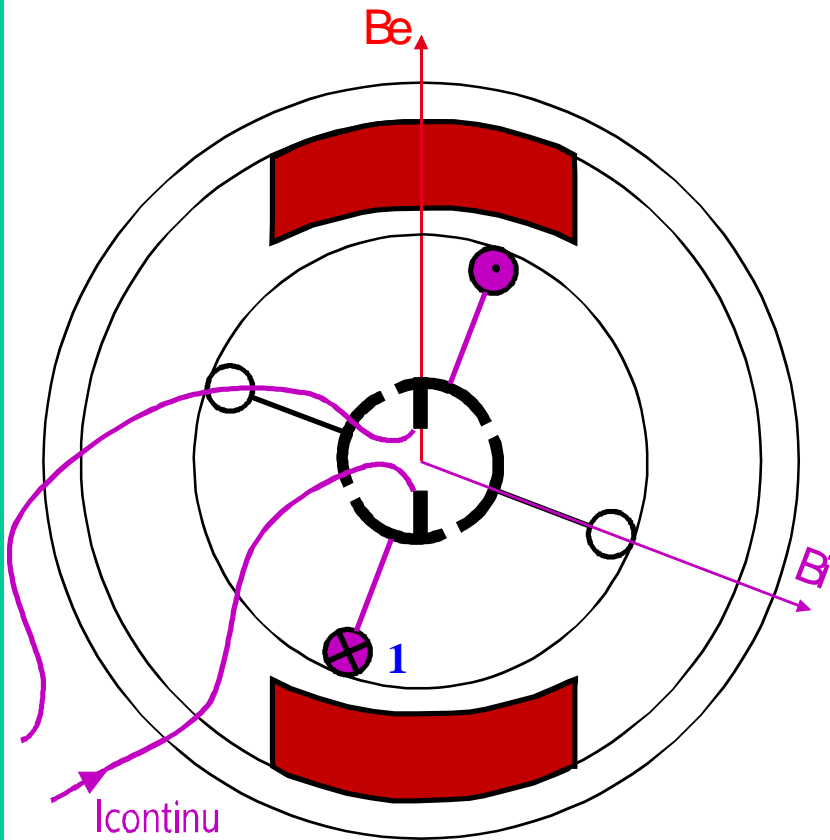


# Principe d'aiguillage du courant d'induit



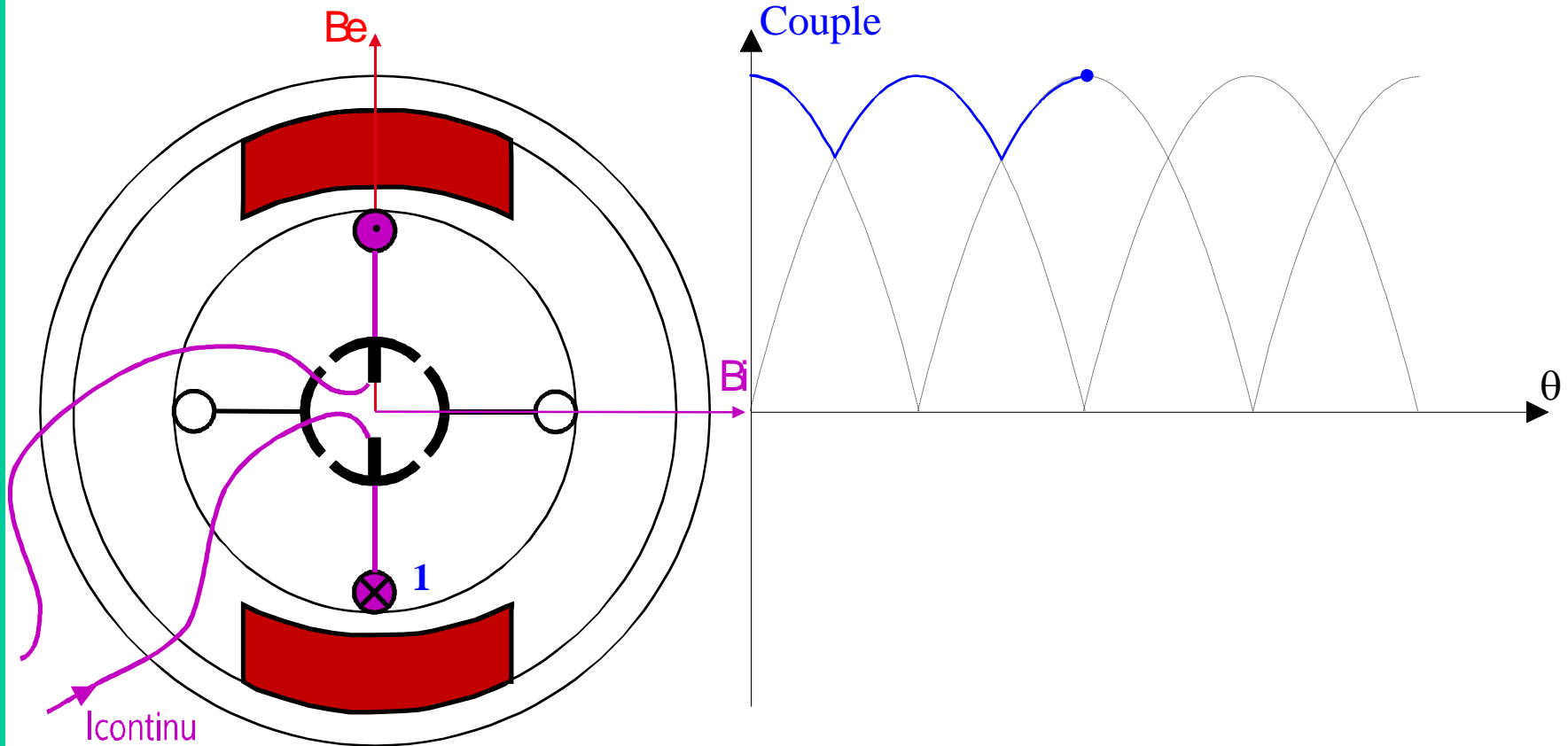


# Principe d'aiguillage du courant d'induit





# Principe d'aiguillage du courant d'induit

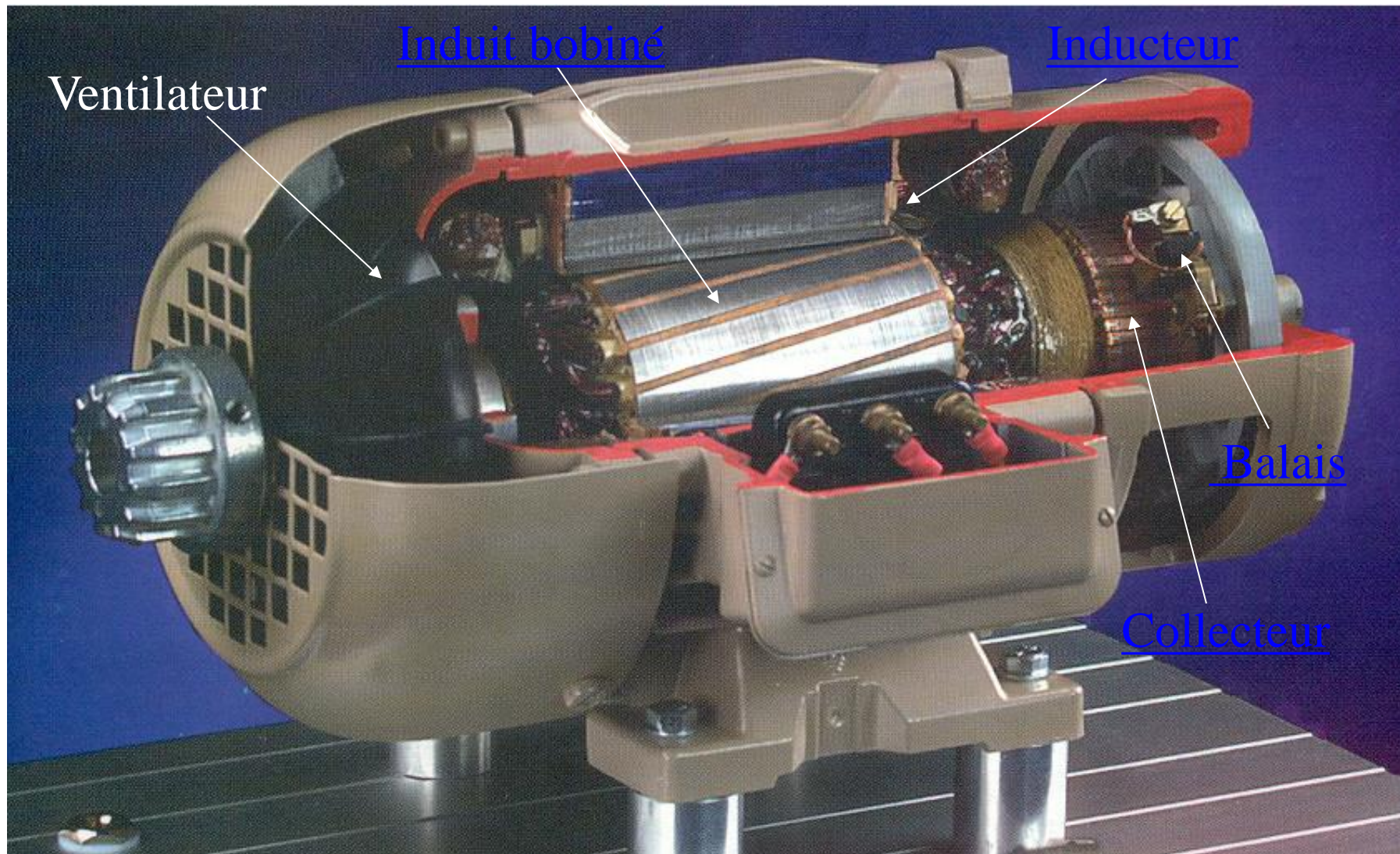


Question: On ne pourrait pas optimiser les enroulements du rotor?





# Vue en coupe







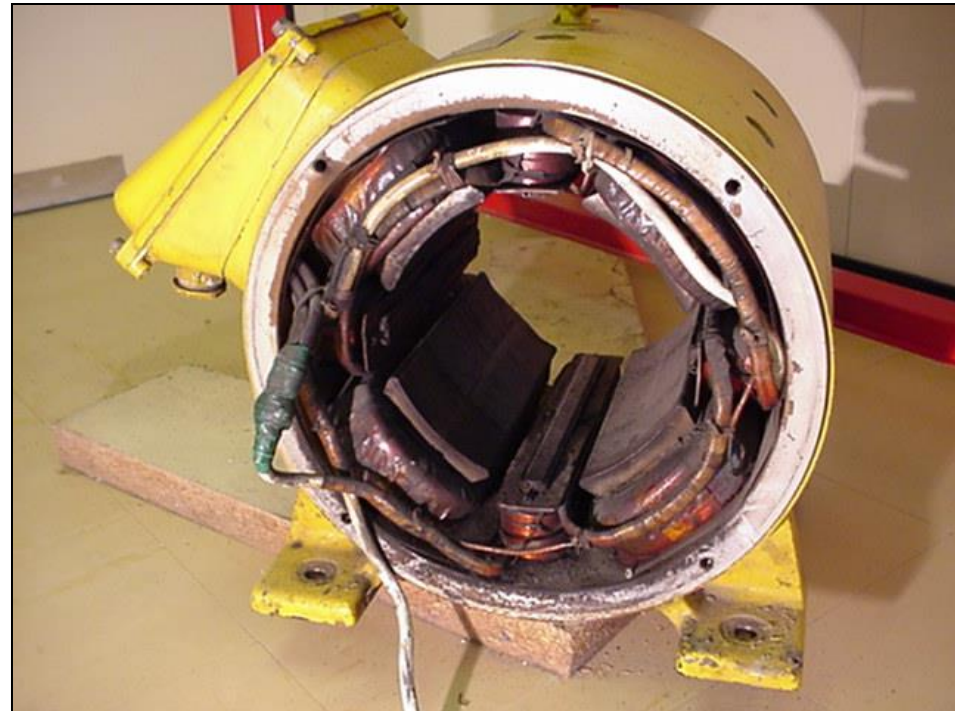
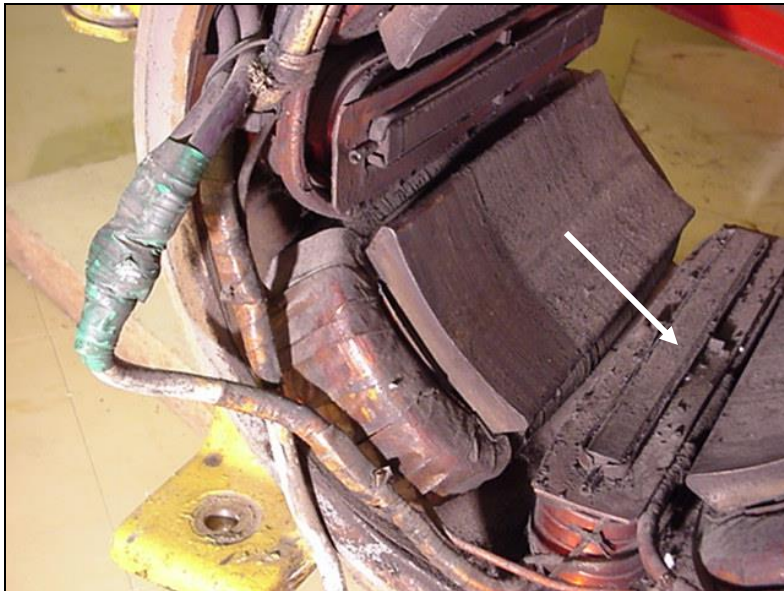
# Inducteur



Deux types d'excitation sont utilisées, soit :

- à **aimants permanents**. Les pertes joules sont supprimées mais l'excitation magnétique est fixe. Dans les grosses machines, le coût des aimants pénalise cette solution.
- à **enroulements et pièces polaires**. Le réglage de l'excitation rend possible le fonctionnement en survitesse.

Possibilité de contrôler le Flux dans la machine





# Induit bobiné

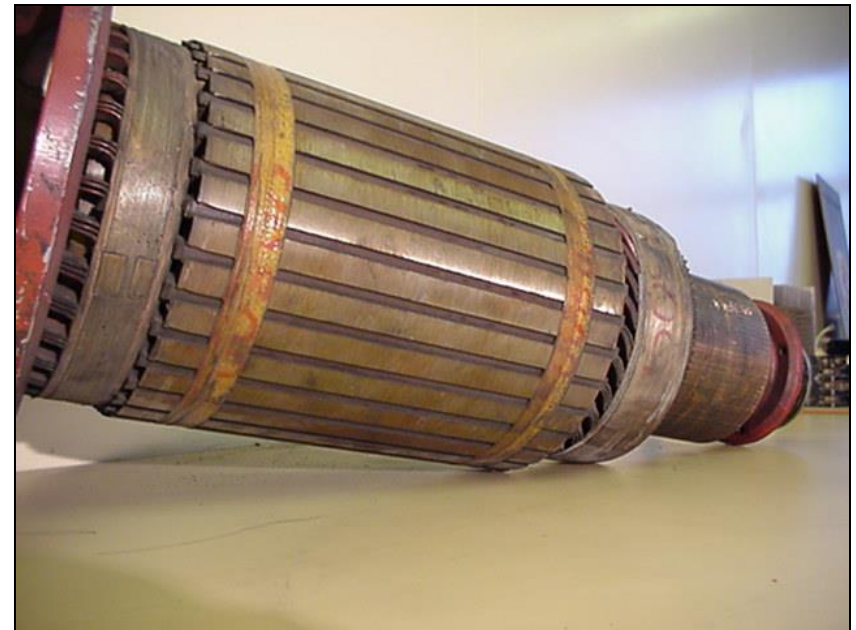


Le champ inducteur vu par l'induit au cours d'un tour est variable. Il faudra feuilletter le rotor afin de réduire les pertes fer de l'induit.

Il est donc constitué de tôles circulaires isolées et empilées sur l'arbre de façon à obtenir le cylindre d'induit. Ces tôles sont en acier au silicium et isolées par vernis.

Les bobines de l'induit sont logées dans des encoches fermées par des cales. Un frettage assure la tenue aux efforts centrifuges.

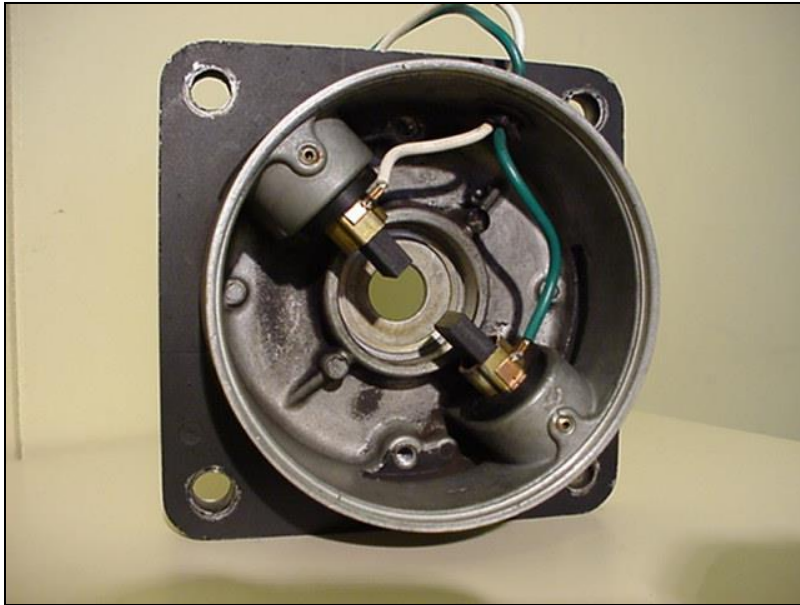
Les bobines sont brasées aux lames du collecteur et mises en série. On note l'importance des têtes de bobines et du collecteur (partie inactive) sur la longueur de la machine.





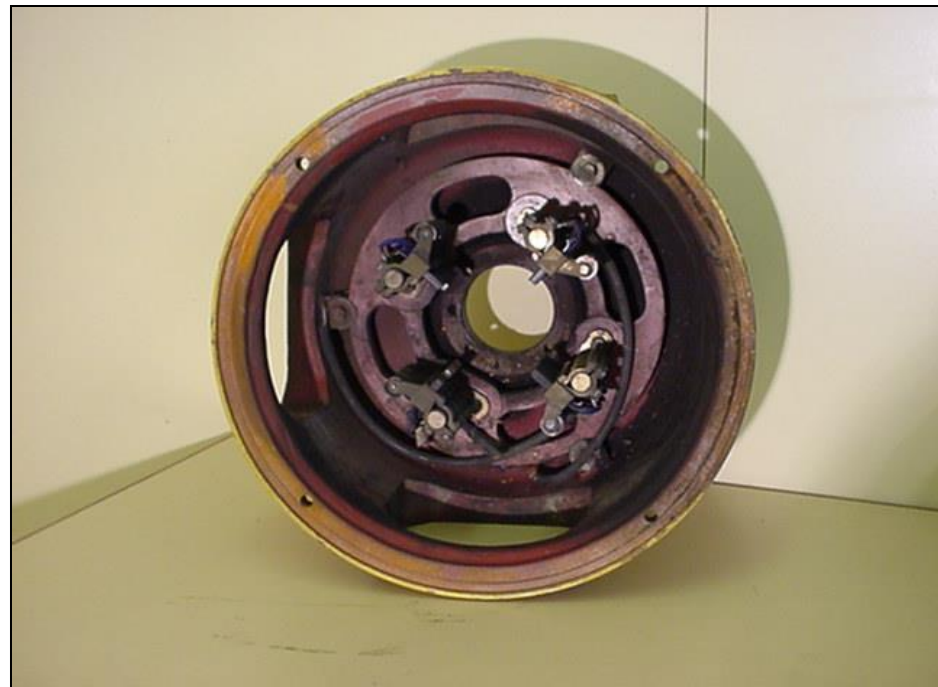
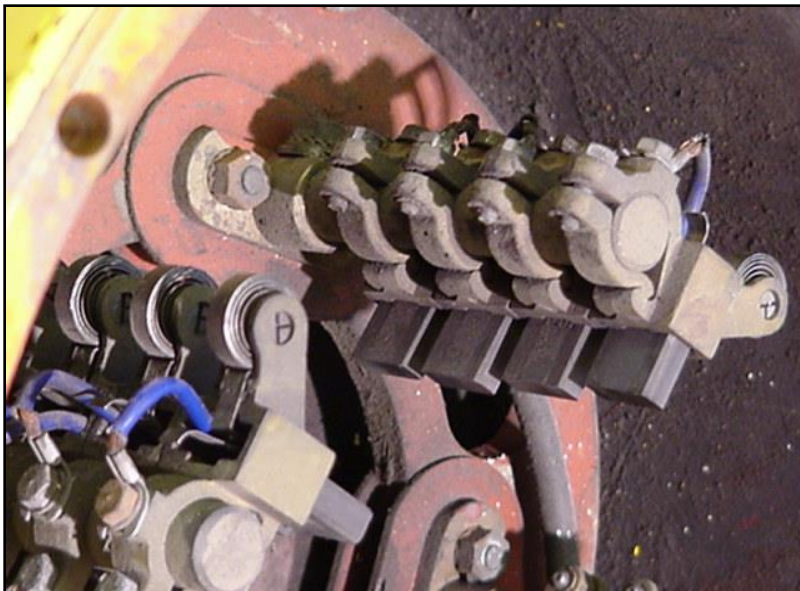


# Balais

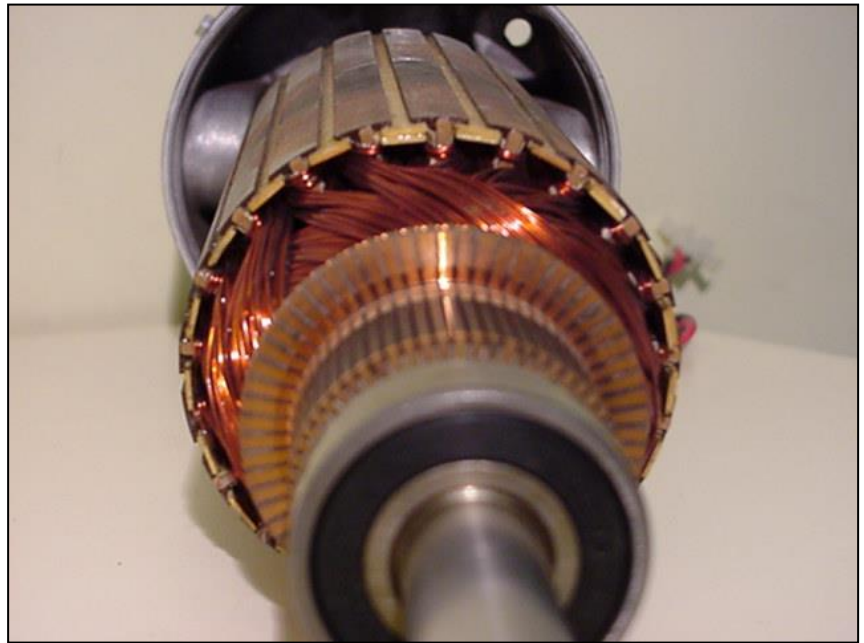
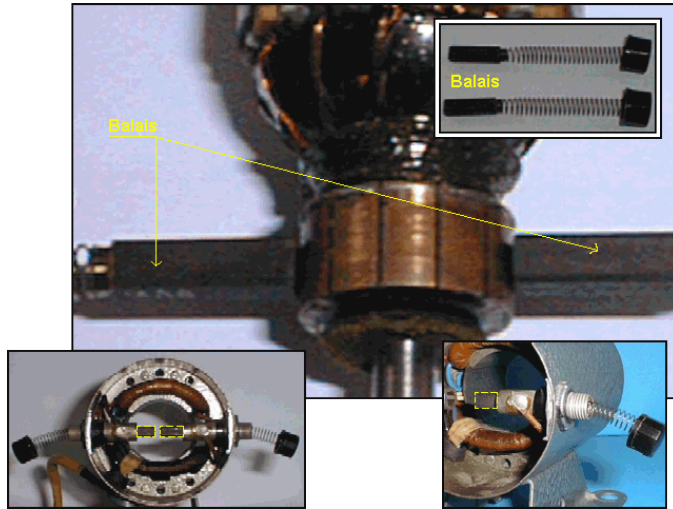


Les balais assurent la liaison électrique ( contact glissant ) entre la partie fixe et la partie tournante. Pour des machines de forte puissance, la mise en parallèle des balais est alors nécessaire.

Pour des raisons d'économie, ils doivent avoir une durée de vie aussi longue que possible et assurer un bon contact électrique. Différentes technologies existent : les balais au charbon dur, les graphitiques, les électro-graphitiques, et les métallo-graphitiques. On peut considérer que dans un contact glissant les pertes sont de nature mécanique à 35% et de nature électrique à 65%.



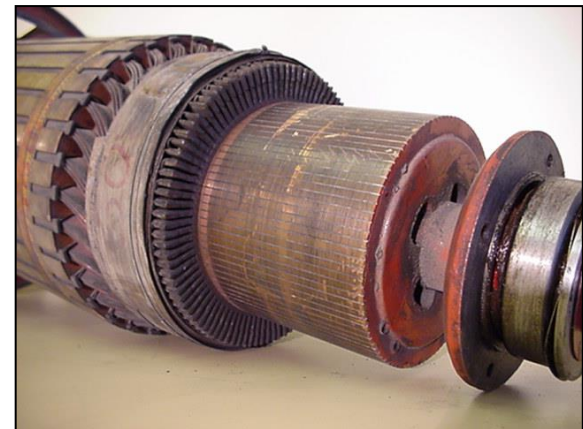
# Collecteur



Le collecteur est le constituant critique des machines à courant continu car ses lames sont soumises aux efforts centrifuge et assemblées manuellement.

Son usure consécutive du frottement des balais nécessite un démontage et un ré-usinage périodiques.

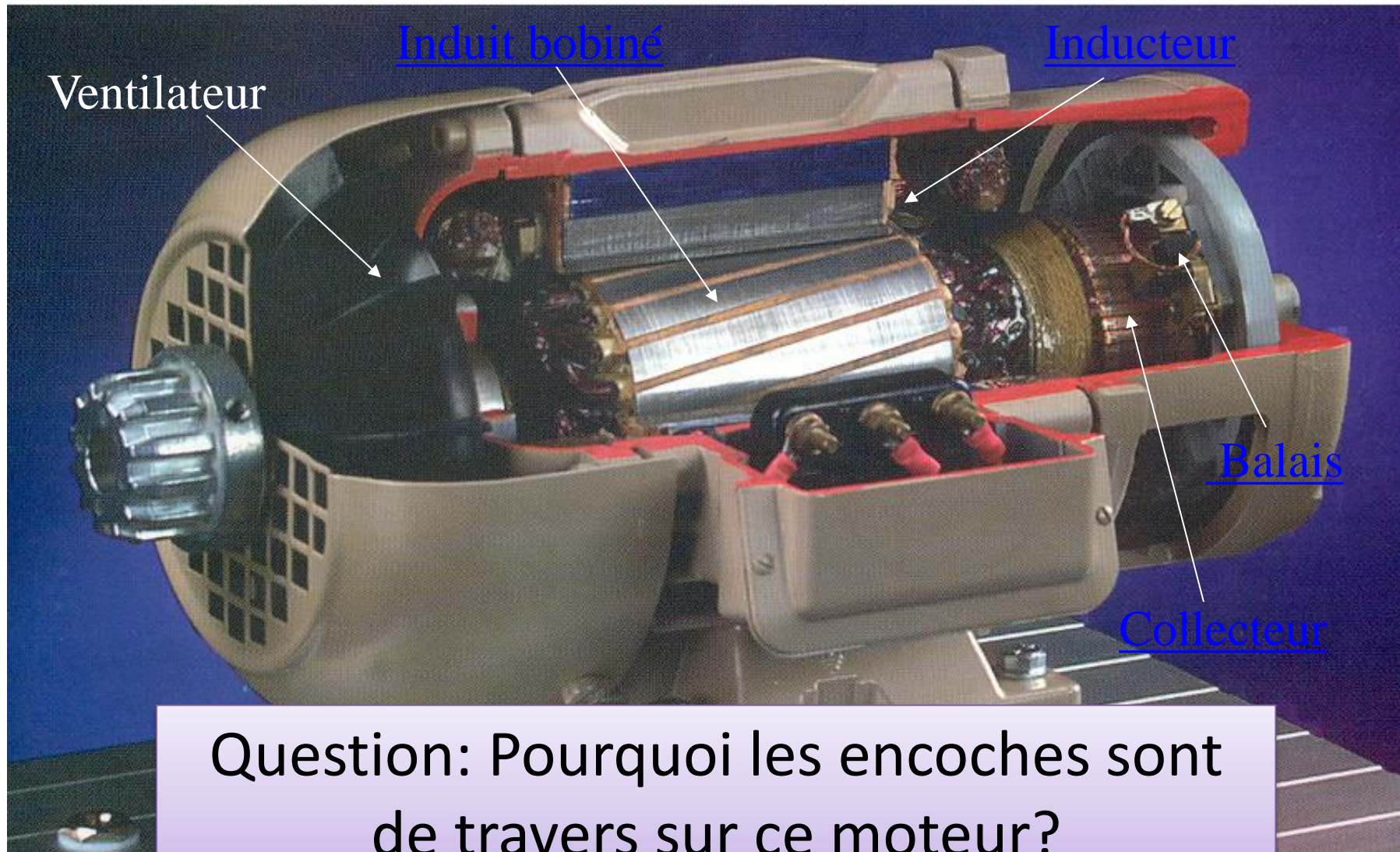
De plus, il accroît de 20 à 30% la longueur totale de la machine.





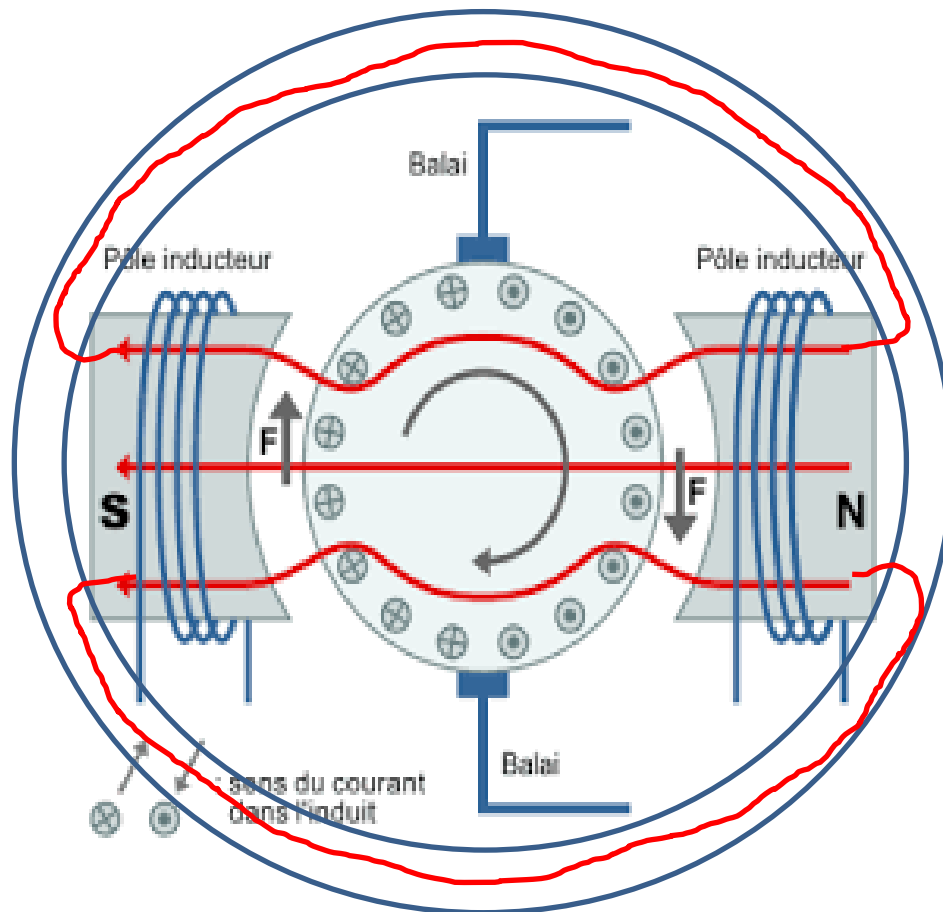


# Vue en coupe

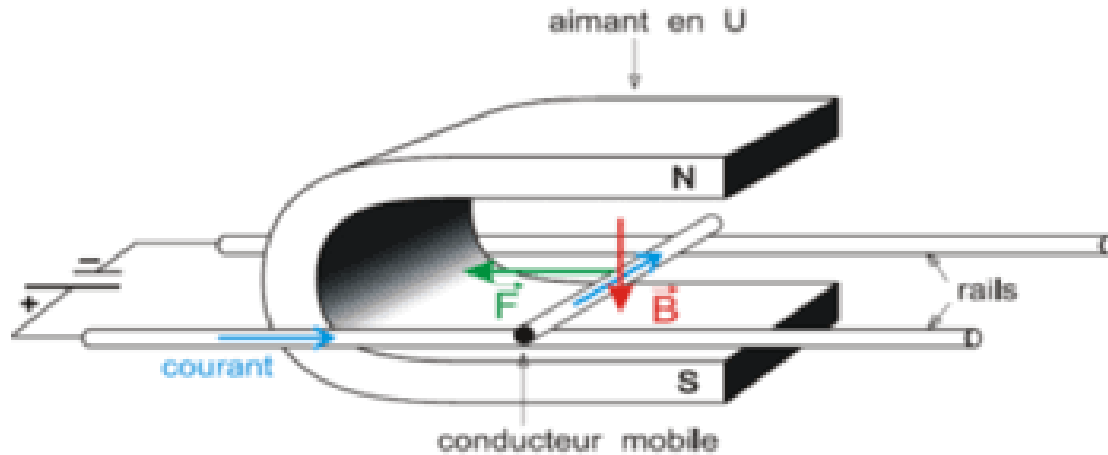


Question: Pourquoi les encoches sont de travers sur ce moteur?





# Rappel des cours de magnétisme:



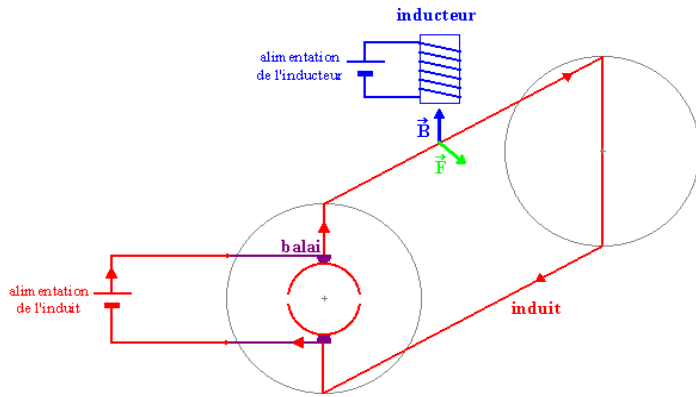
## Force électromotrice $F_{em}(V)$

Son expression découle de la loi de LENZ  $E(v) = B.l.v$

## Force de Laplace $F(N)$

Son expression découle de la loi de LAPLACE.  $F(N) = B.l.I$





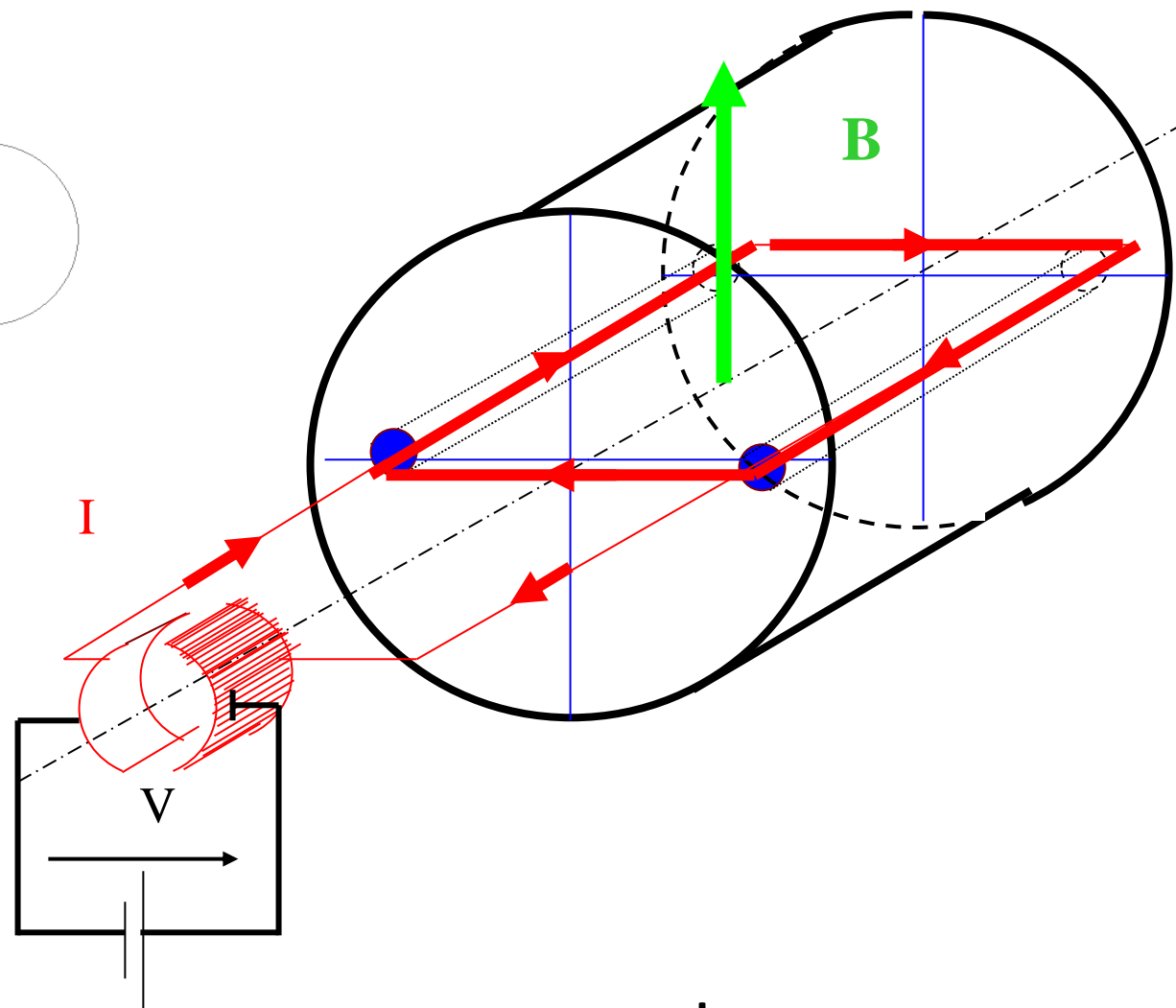
## Force électromotrice Fem(V)

$$E(v) = B.l.v$$

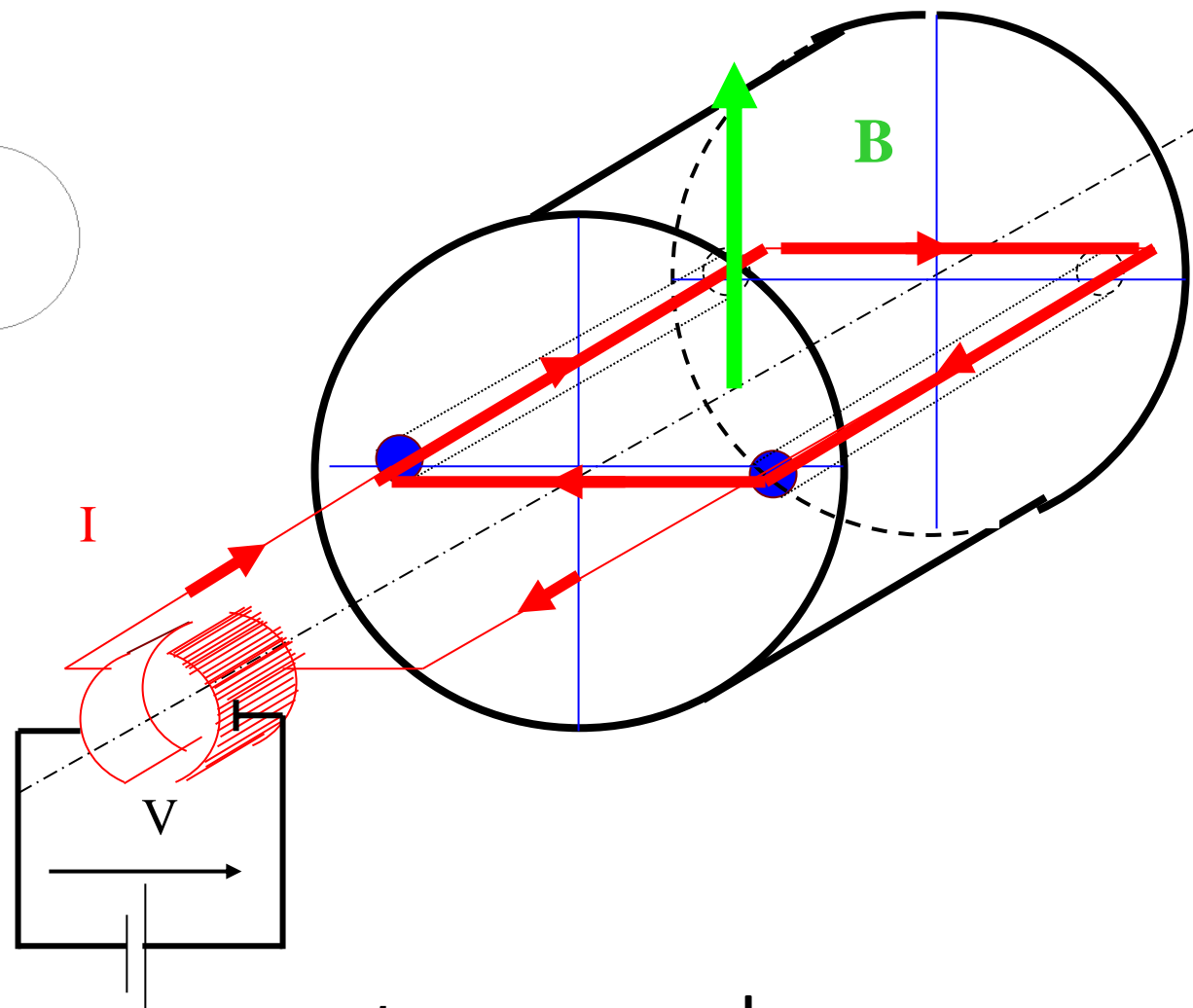
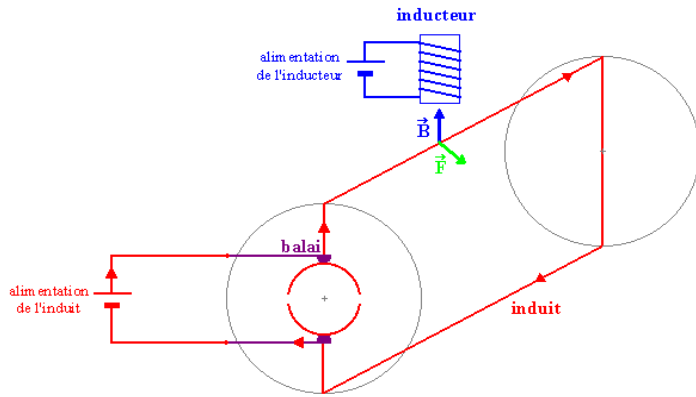
avec  $v = r \times \Omega$

avec  $B$  qui dépend du flux de l'inducteur  $\phi$

avec  $k$  un coefficient qui dépend  
de la fabrication de la machine  
(taille, nombre de spires etc..)



$$E(v) = k\phi.\Omega$$



**Force de Laplace  $F$**

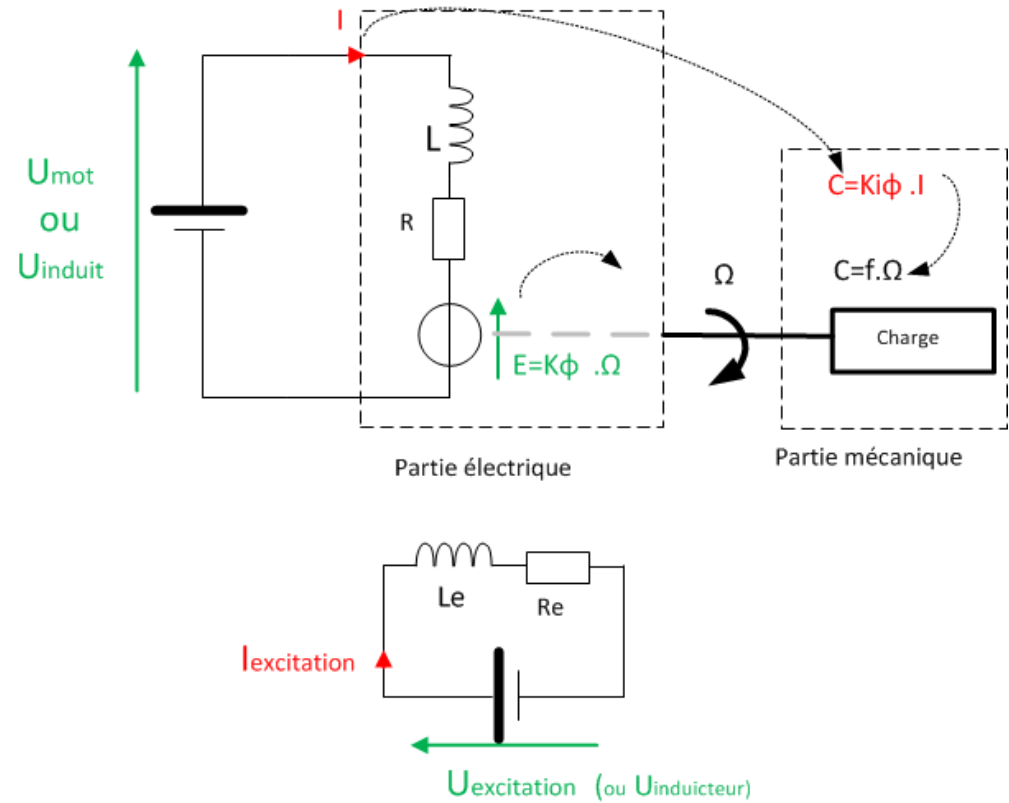
$$F = B \cdot l \cdot I$$

*avec  $B$  qui dépende du flux de l'inducteur  $\phi$*

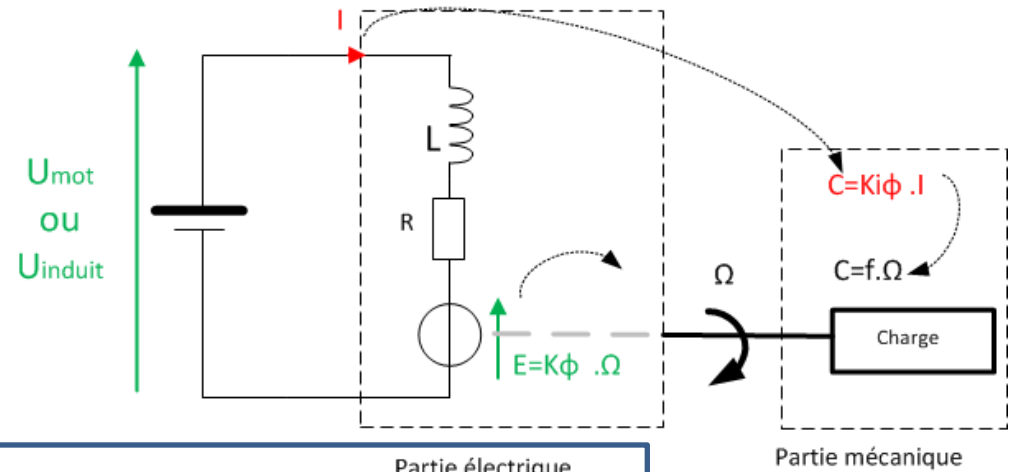
*avec  $k$  un coeficient qui dépend  
de la fabrication de la machine  
(taille, nombre de spires etc..)*

$$C(N.m) = k\phi \cdot I$$

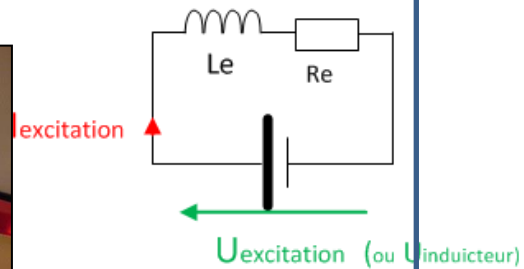
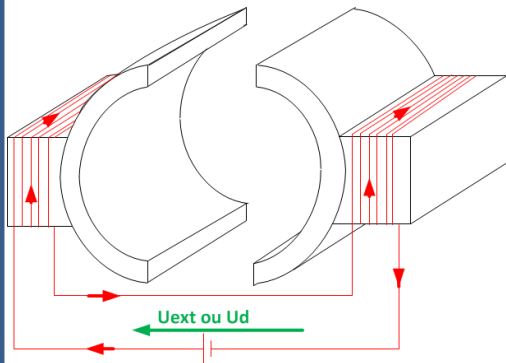
# La machine à courant continu à excitation séparée



# La machine à courant continu à excitation séparée

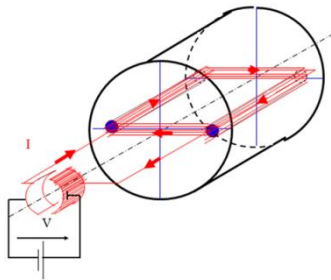


L'inducteur -> Le stator -> L'excitation

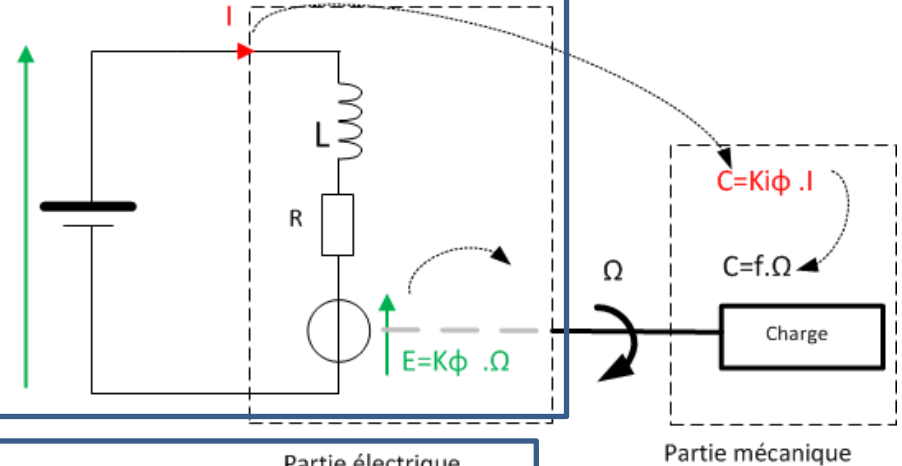


# La machine à courant continu à excitation séparée

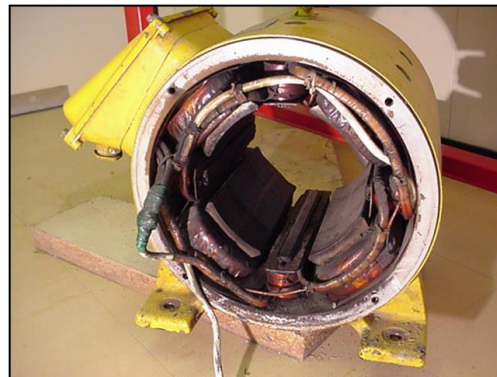
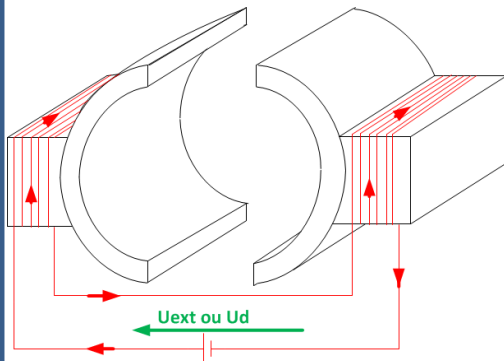
## L'induit -> Le rotor



$U_{\text{mot}}$   
ou  
 $U_{\text{induit}}$

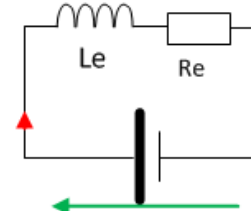


## L'inducteur -> Le stator -> L'excitation



excitation

Partie électrique



$U_{\text{excitation}}$  (ou  $U_{\text{inducteur}}$ )

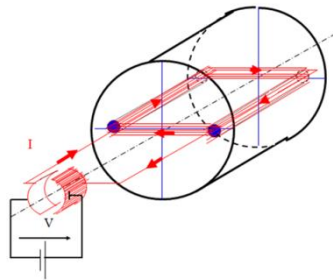
Partie mécanique

# La machine à courant continu à excitation séparée

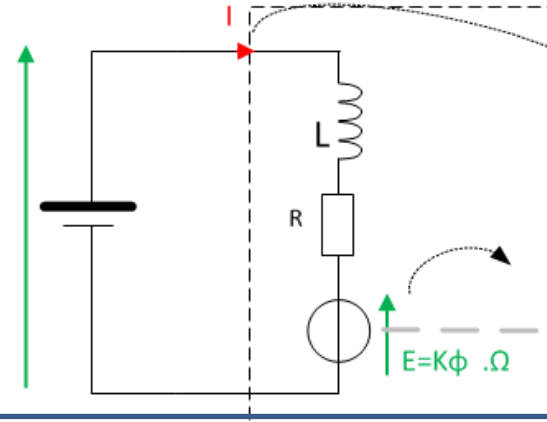
L'induit -> Le rotor

Indice:

Ra La



$U_{mot}$   
ou  
 $U_{induit}$



$$C = K_i \phi \cdot I$$

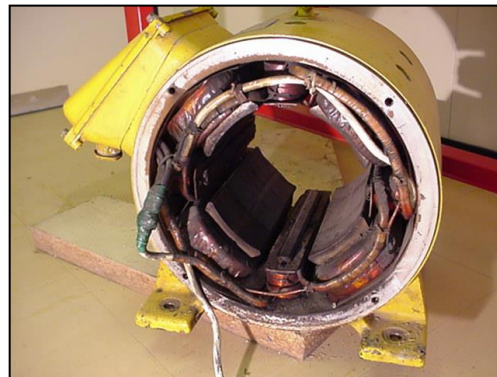
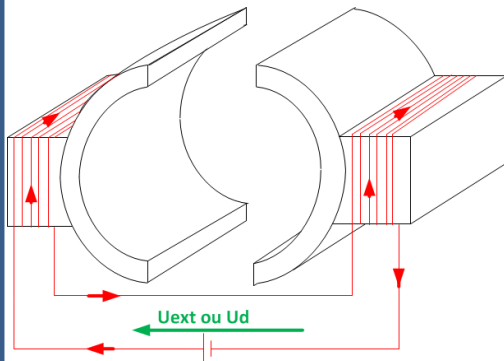
$$C = f \cdot \Omega$$

Charge

$\Omega$

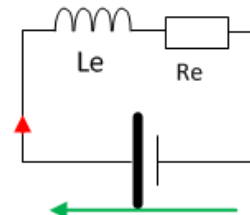
Partie mécanique

L'inducteur -> Le stator -> L'excitation



excitation

Partie électrique



$U_{excitation}$  (ou  $U_{inducteur}$ )

Indice:

Rd Rf Rext

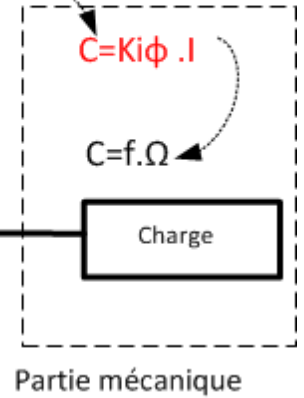
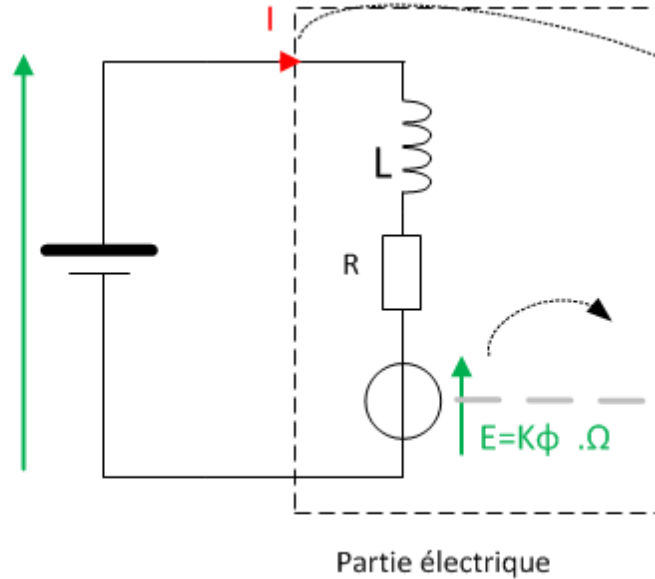
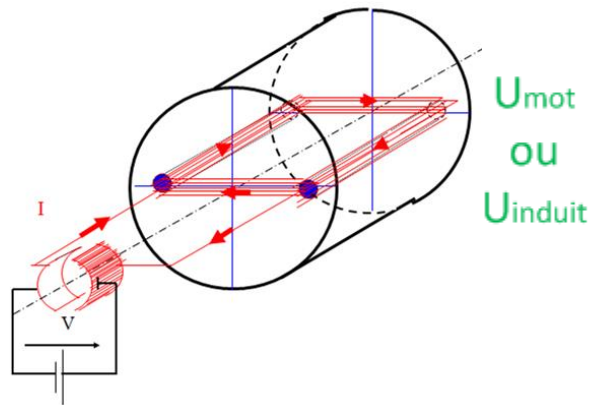


# La machine à courant à aimant permanent

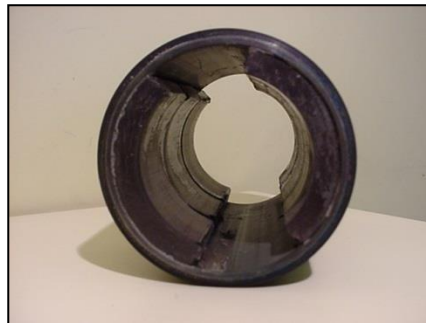
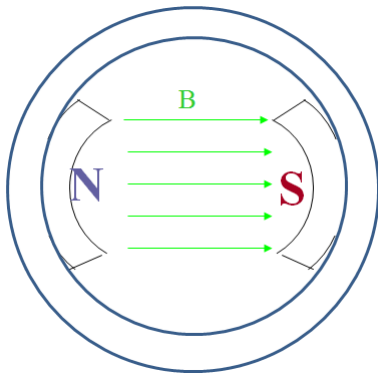
Indice:

Ra La

L'induit -> Le rotor



L'inducteur -> Le stator -> La machine à courant à aimant permanent



# La machine à courant continu

## Relations vitesse de rotation

<-> Force électromotrice  $F_{em}(V)$

$$E = K \cdot \phi_e \cdot \Omega$$

## Couple électromagnétique

<->  $I_{moteur}(V)$

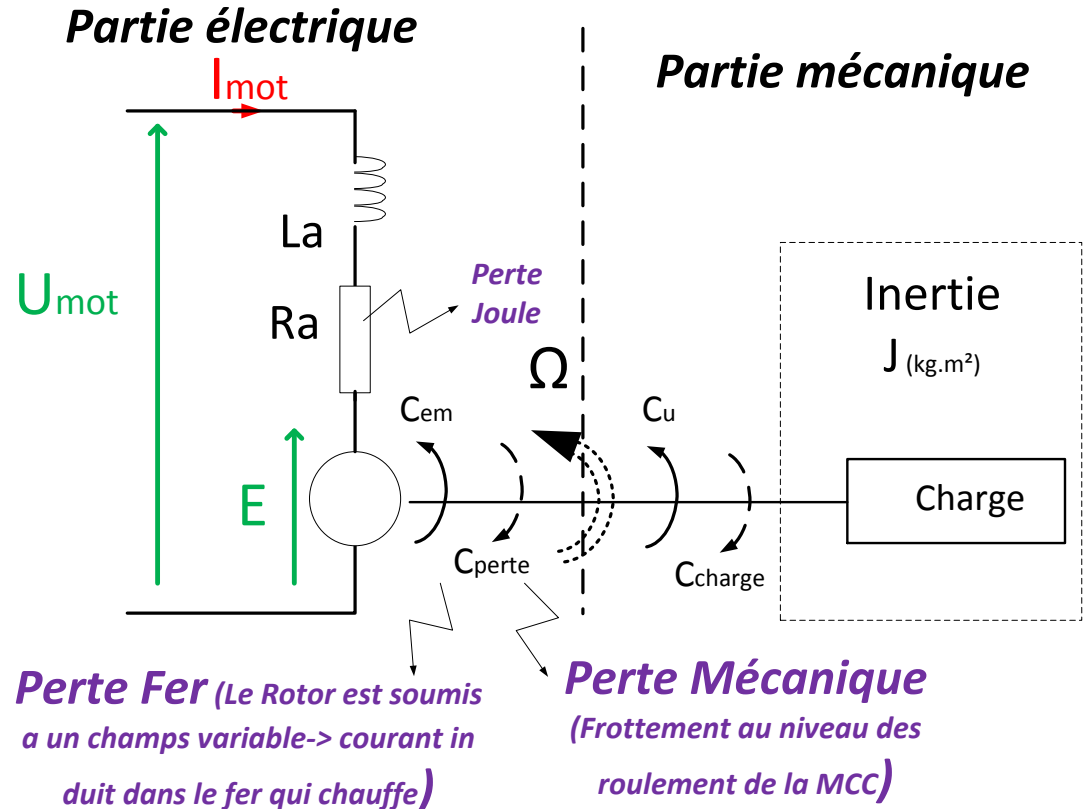
$$C_{em} = K \cdot \phi_e \cdot I$$

Equation électrique du moteur :

$$U = R \cdot I + L \cdot \frac{di}{dt} + E$$

Principe fondamental de la dynamique :

$$C_{uem} - C_{perte} - C_{charge} = J \cdot \frac{d\Omega}{dt}$$





# La machine à courant continu

Puissance absorbée :

$$P_{abs} = U_{mot} \times I_{mot}$$

Perte joule :

$$P_{joule} = R_A \times I_{mot}^2$$

Perte combinée (Fer+Méca) :

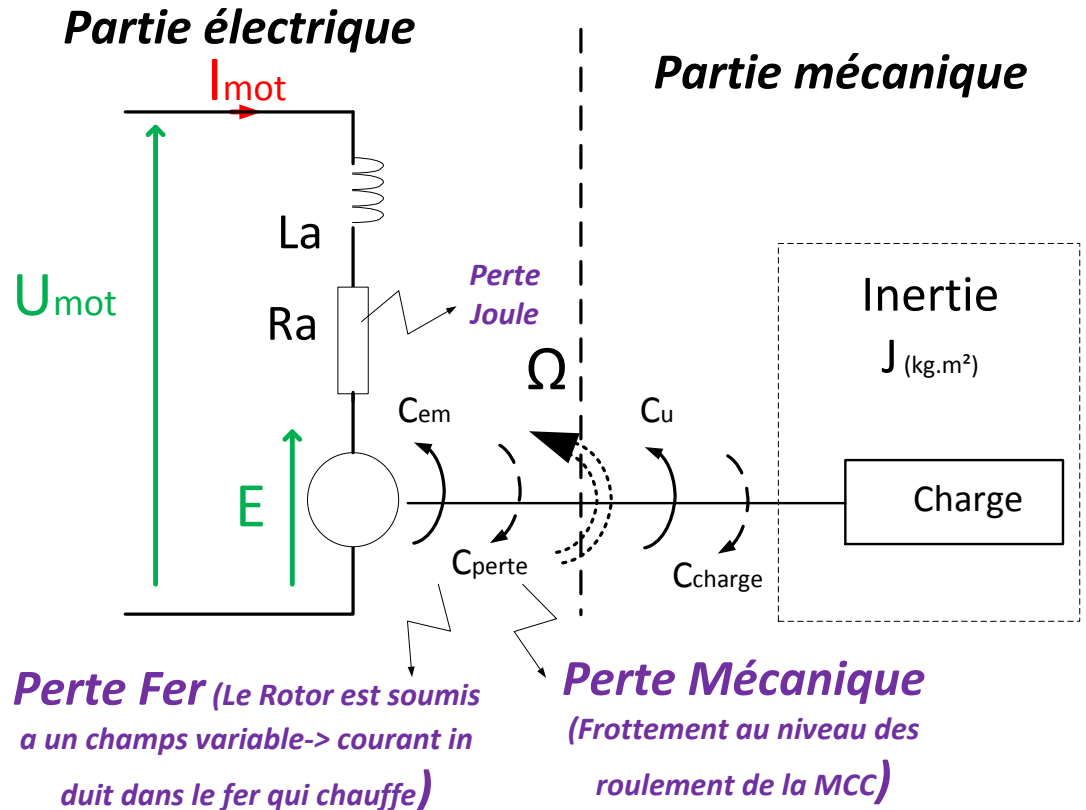
$$P_{fer+méca} = C_{perte} \times \Omega$$

Puissance électromagnétique :

$$P_{em} = E \times I_{mot} = P_{abs} - P_{joule} = C_{em} \times \Omega$$

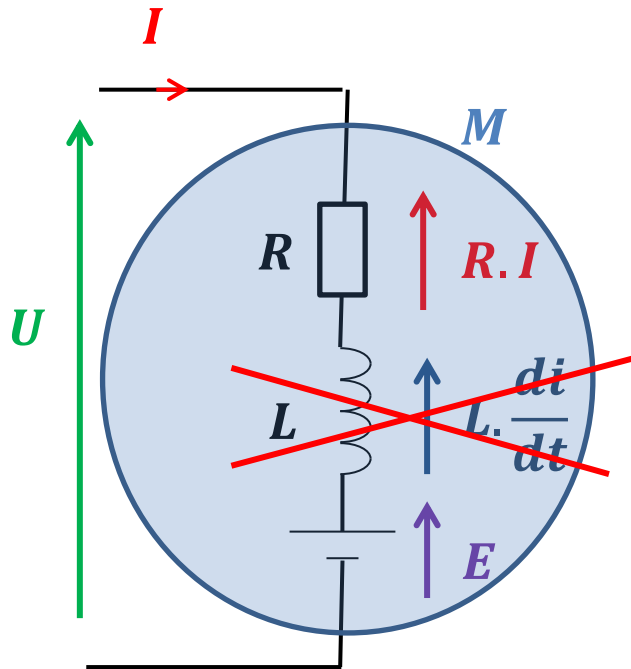
Perte utile :

$$P_u = C_u \times \Omega = P_{abs} - P_{joule} - P_{fer+méca}$$



## Evolution dans le plan couple vitesse en régime établie:

En régime établie:



$$L \cdot \frac{di}{dt} = L \cdot \frac{\text{Variation de courant}}{\text{quantité de temps}}$$

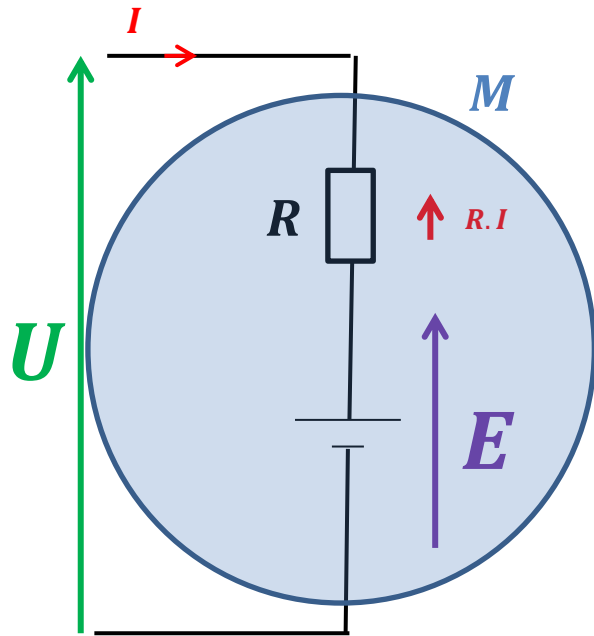
En régime permanent I est constant:  $L \cdot \frac{di}{dt} = 0$

De même  $J \cdot \frac{d\Omega}{dt} = 0$  Et donc  $C_{em} = C_r = K \cdot I$

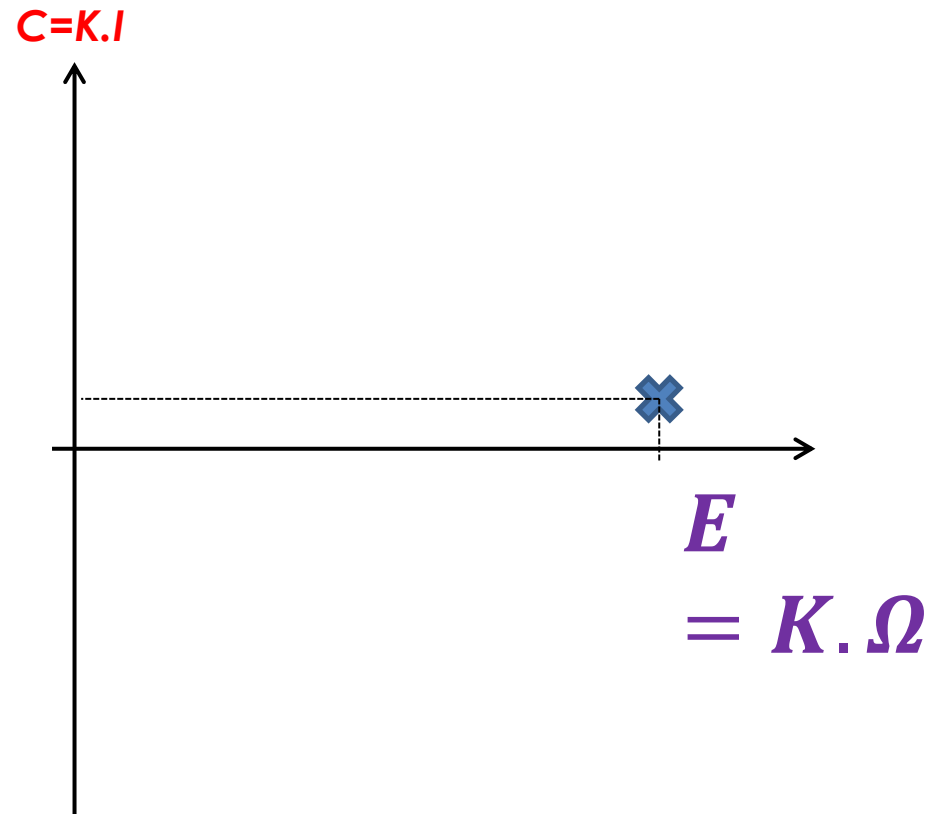
$$C_{em} - C_p - C_r = J \cdot \frac{d\Omega}{dt}$$

## Evolution dans le plan couple vitesse en régime établie:

On alimente le moteur avec une tension  $U$  et le couple résistant est faible

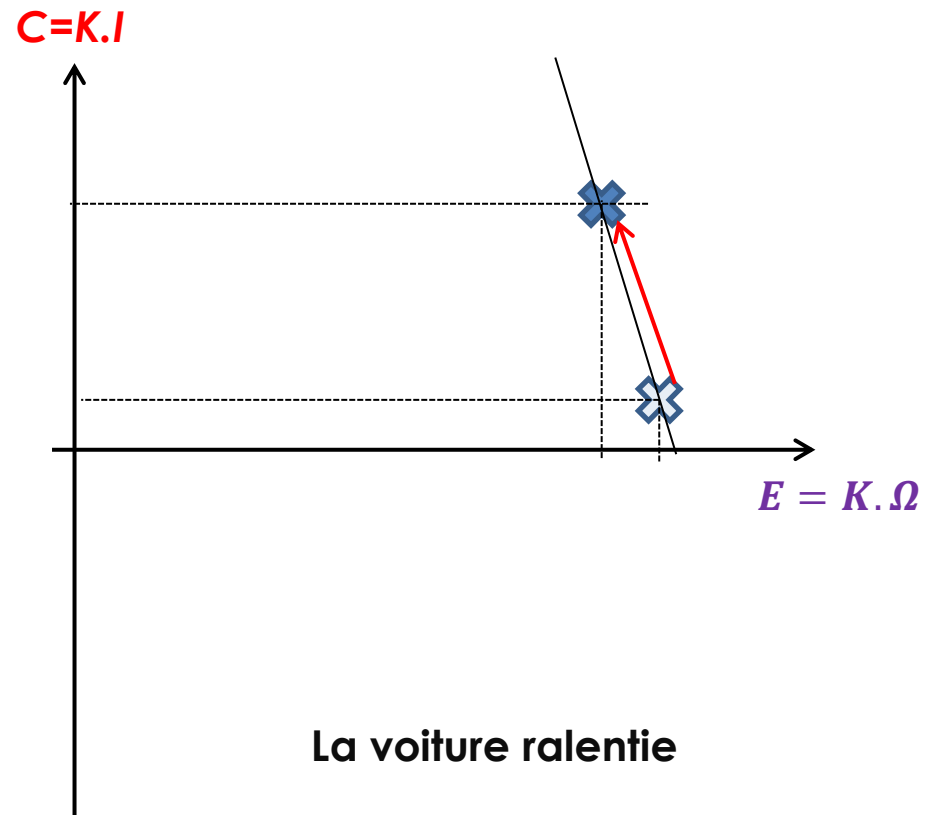
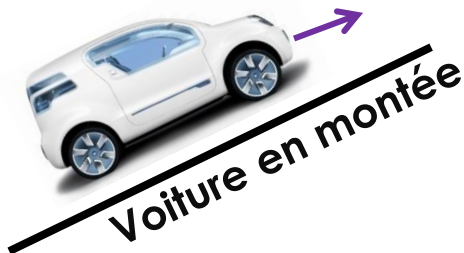
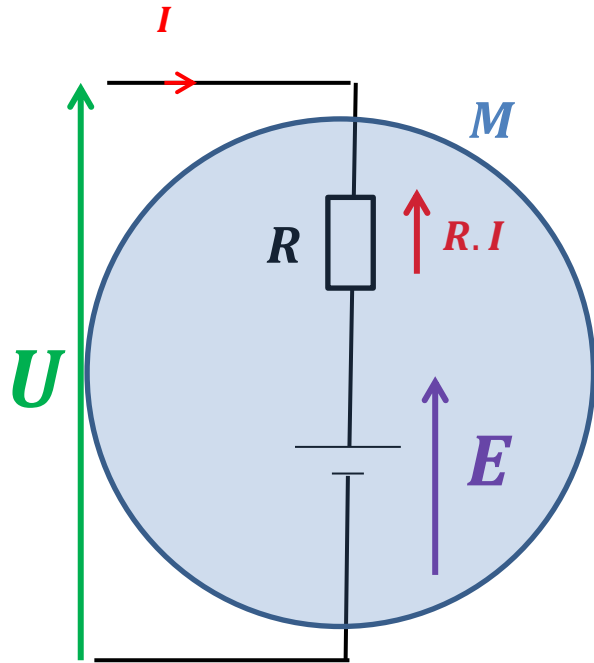


Voiture sur le plat



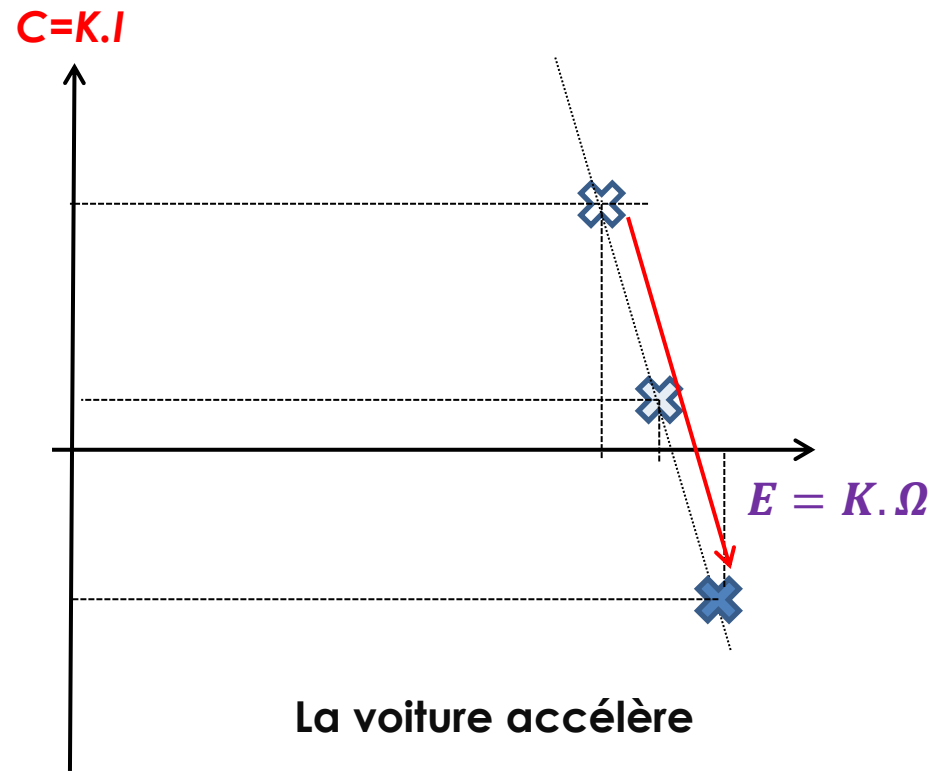
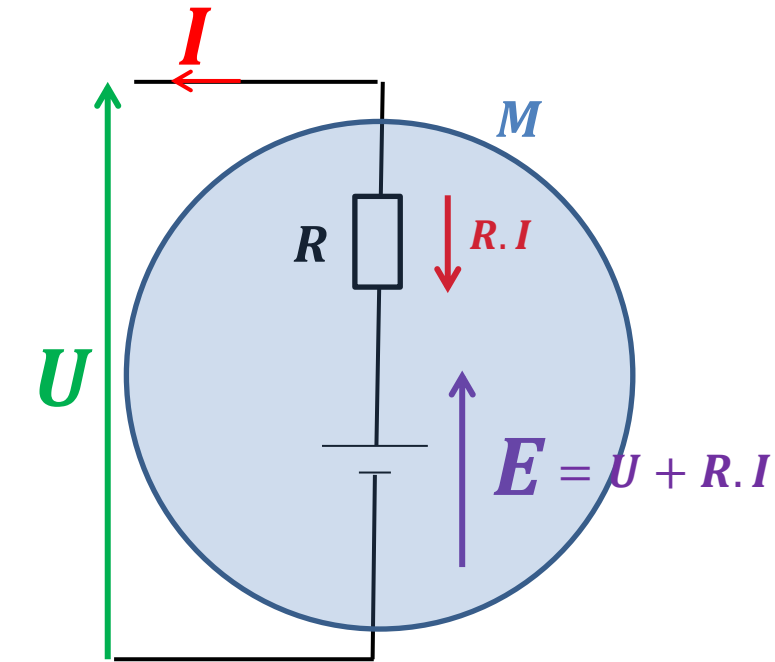
## Evolution dans le plan couple vitesse en régime établie:

On alimente le moteur avec une tension  $U$  et le couple résistant est important



## Evolution dans le plan couple vitesse en régime établie:

On alimente le moteur avec une tension  $U$  et le couple résistant est important

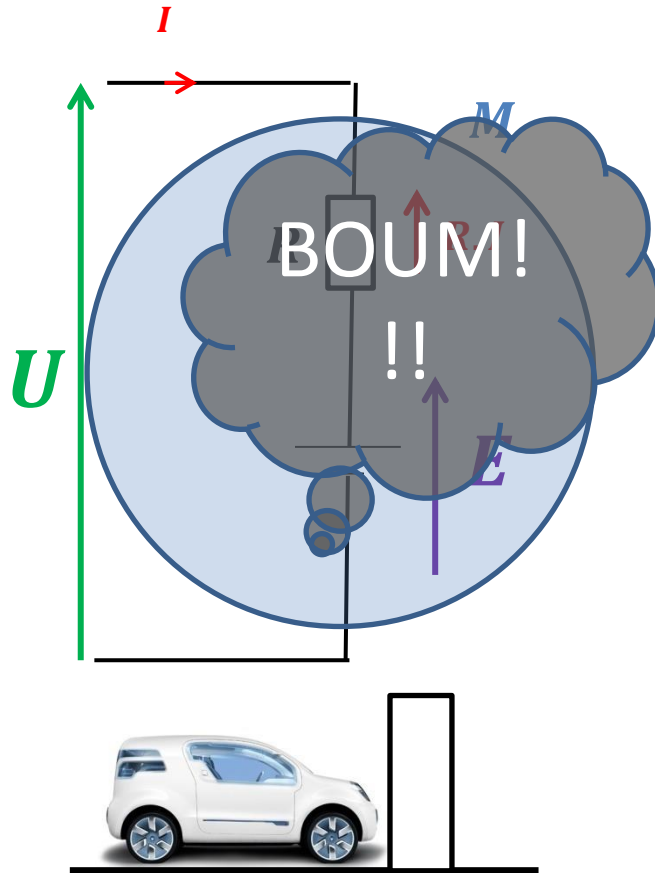


*Le couple résistant s'inverse donc*

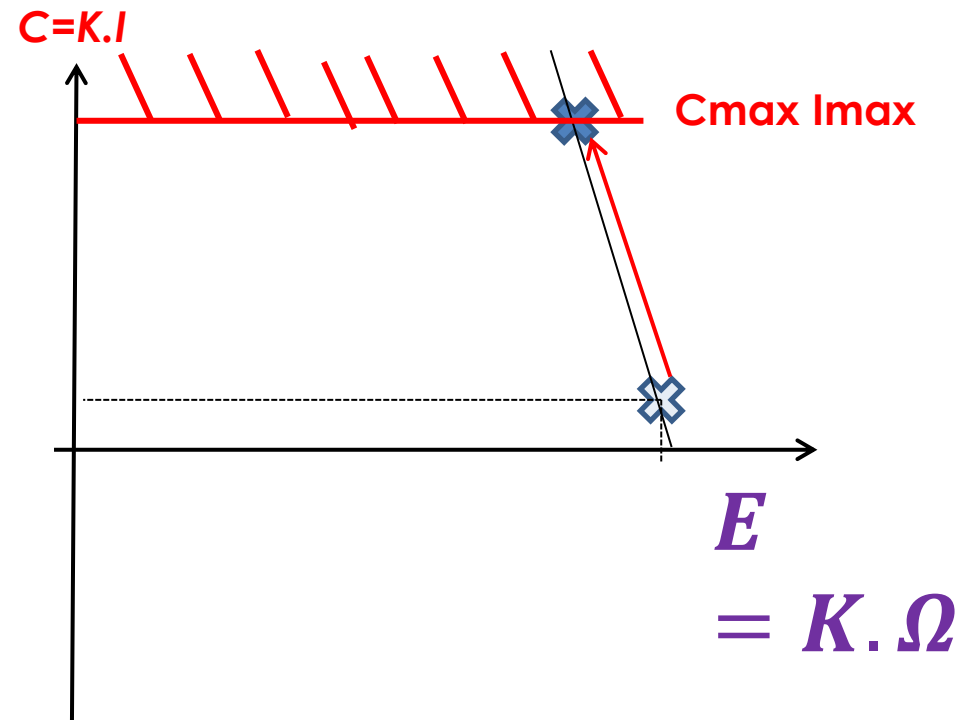
$$C_{em} = C_r < 0 \text{ et } \Rightarrow K.I < 0$$

## Evolution dans le plan couple vitesse en régime établie:

On alimente le moteur avec une tension  $U$  et le couple résistant est important



Voiture est bloqué par un mur



$$\Omega = 0 \text{ donc } E = K \cdot \phi_e \cdot \Omega = 0$$

## Evolution dans le plan couple vitesse en régime établie

De même  
nous  
somme  
limité en  
tension et  
en vitesse.

