

Machines électriques

Machine à courant continu

André Hodder

Sommaire

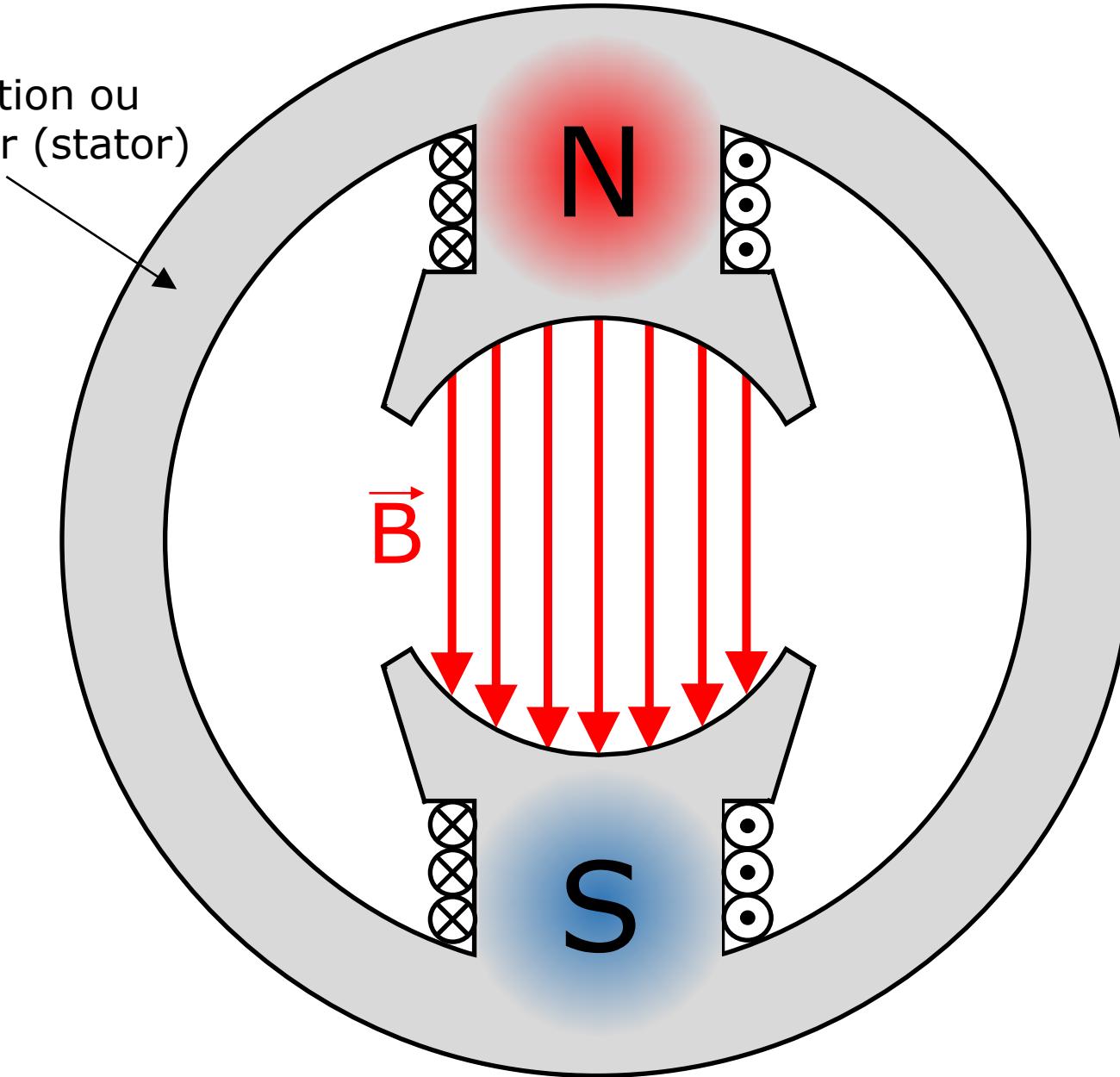
- Introduction
- Circuit magnétique
- Transformateur
- Eléments de base des machines
- Machine asynchrone
- **Machine à courant continu**
- Machine synchrone
- Moteur synchrone à aimants permanents
- Moteur pas à pas

Sommaire

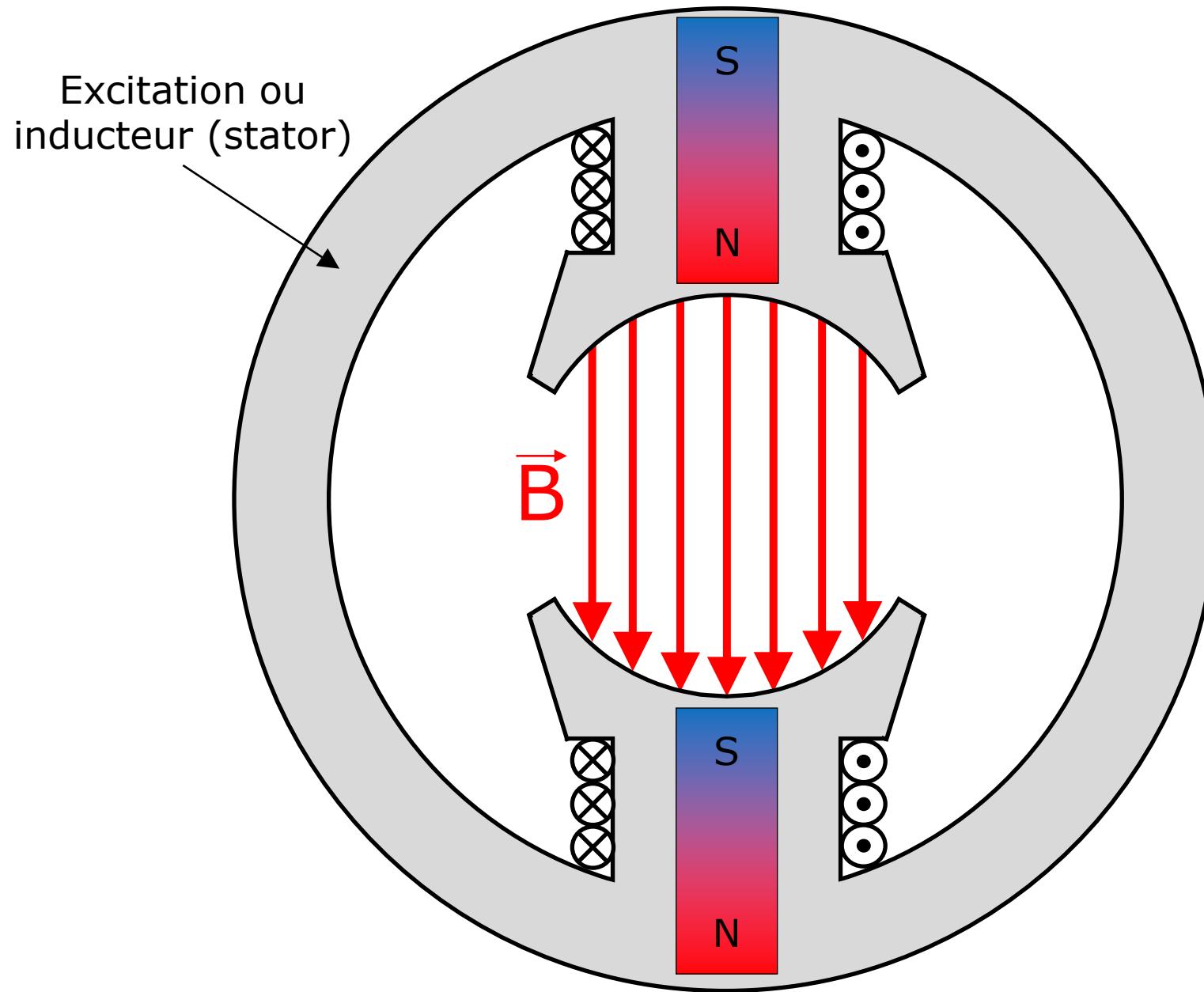
- Principe de fonctionnement
- Equation de tension, tension induite de mouvement et schéma équivalent
- Bilan de puissance
 Couple électromagnétique
 Modes de fonctionnement
- Moteurs à courant continu
- Machine à courant continu fonctionnant en génératrice
- Génératrices à courant continu
- Moteur universel
- Machines à courant continu

Principe de fonctionnement

Excitation ou
inducteur (stator)

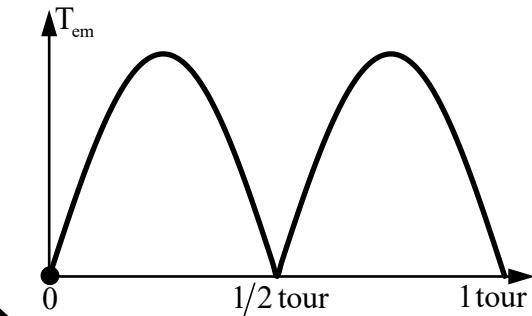
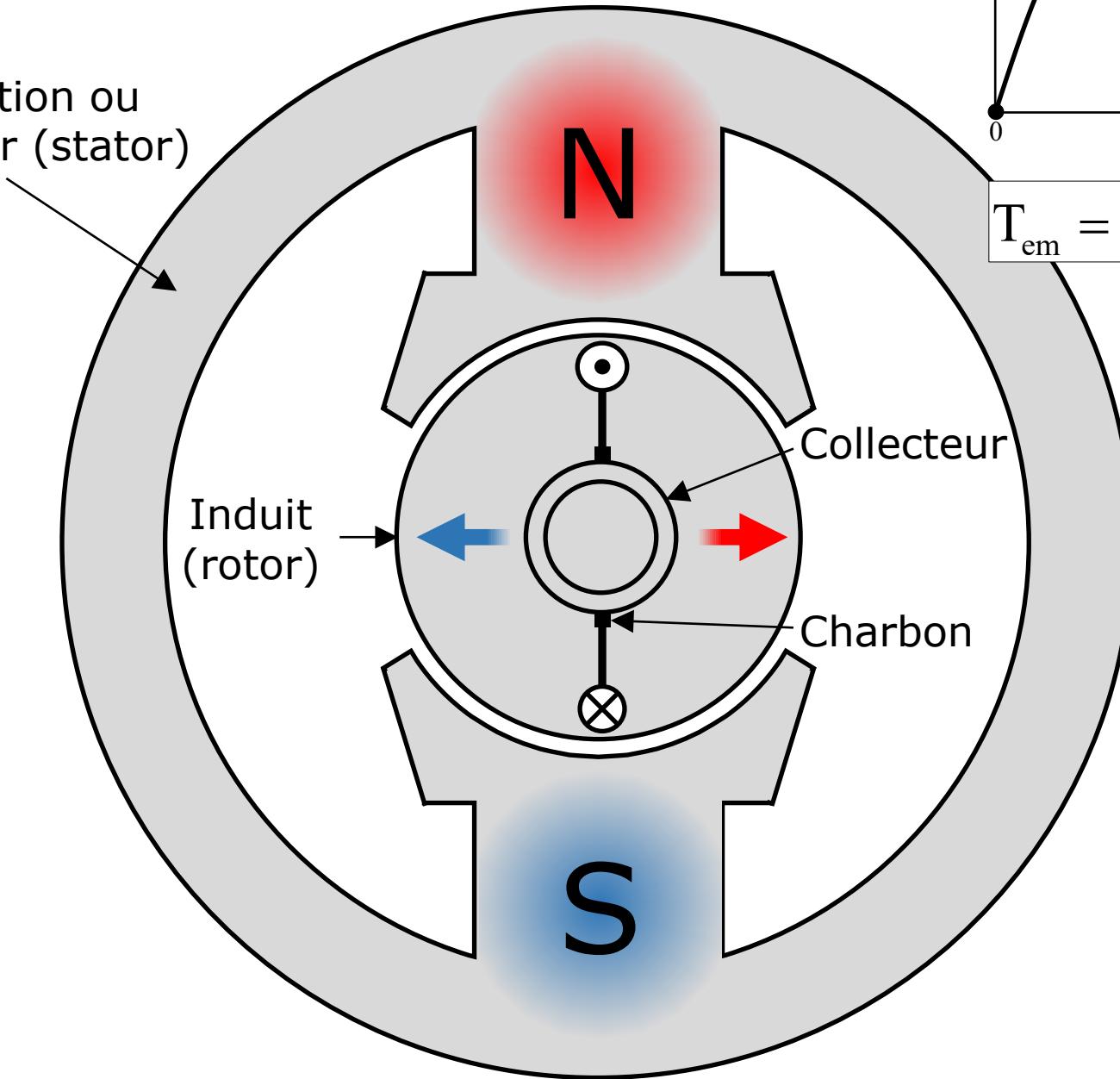


Principe de fonctionnement



Principe de fonctionnement

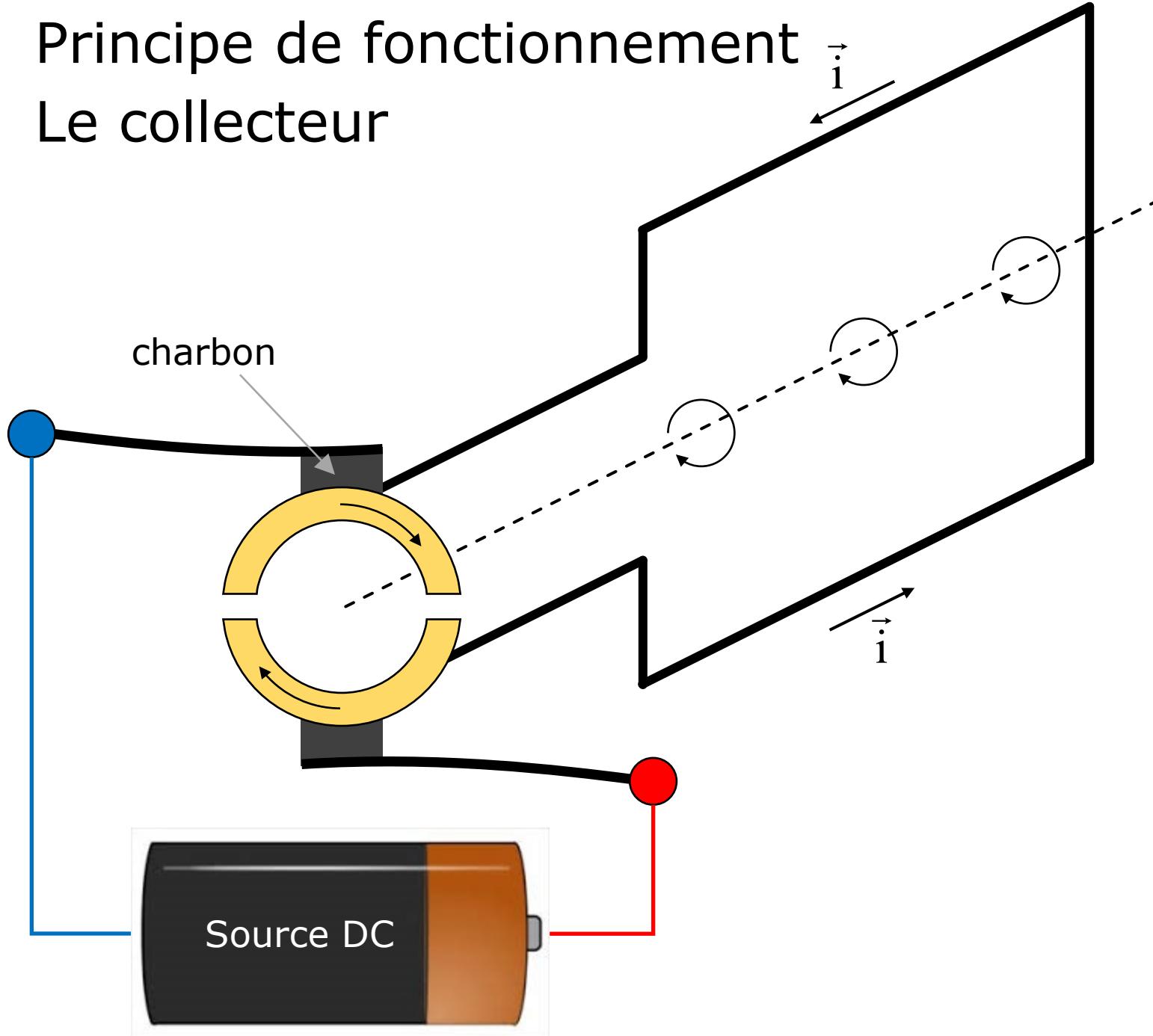
Excitation ou
inducteur (stator)



$$T_{\text{em}} = k \hat{B}_s \hat{B}_r p \sin \delta$$

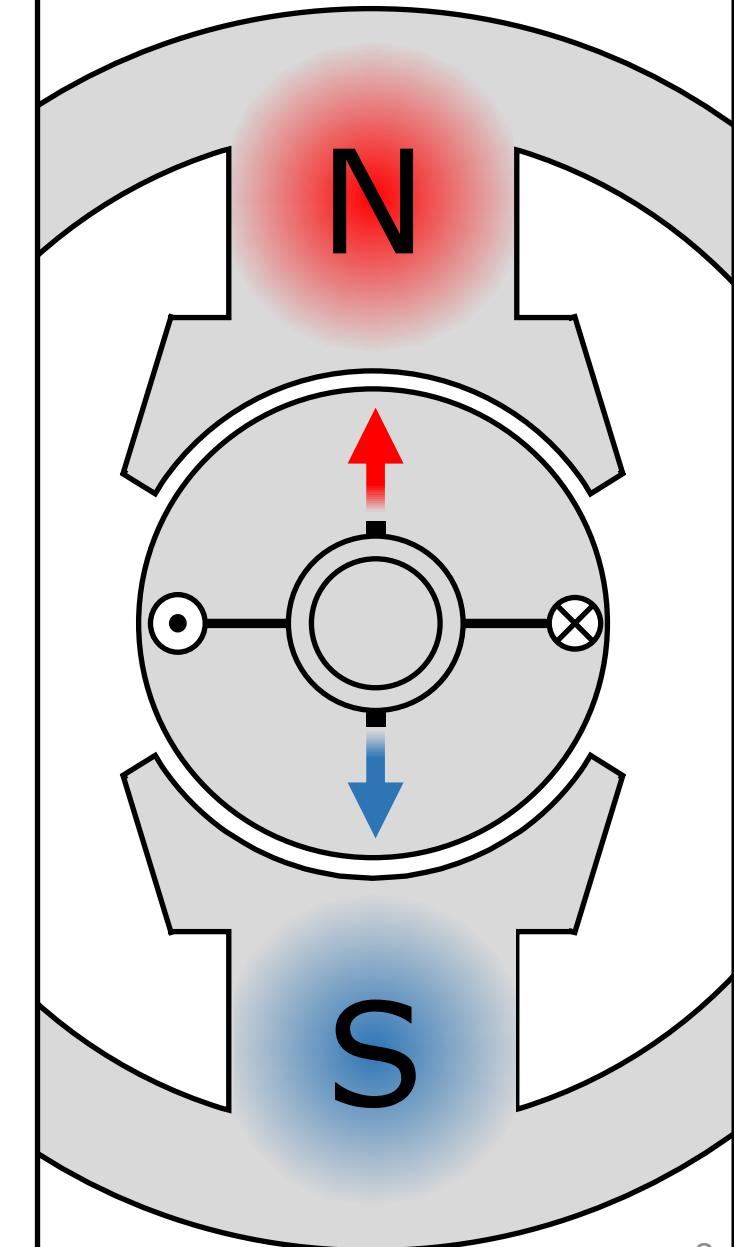
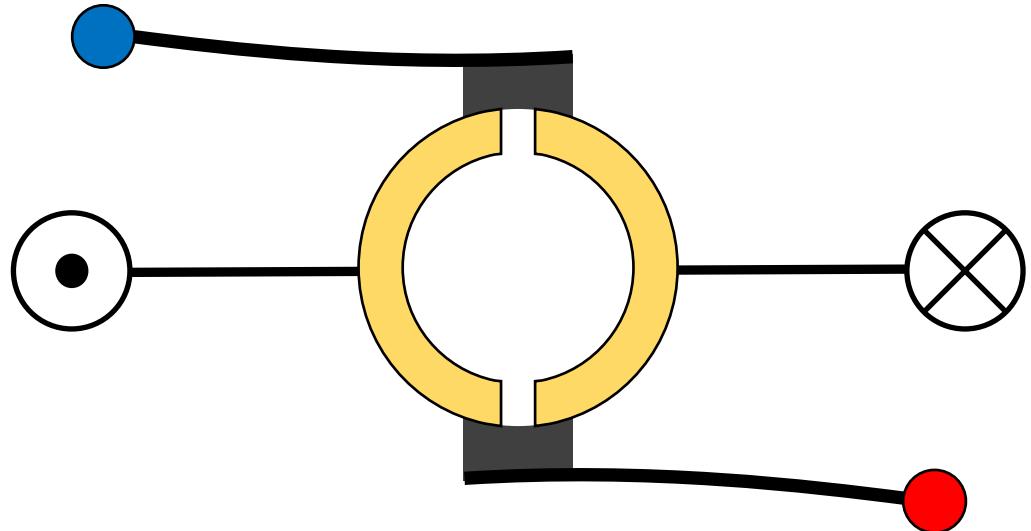
Principe de fonctionnement

Le collecteur



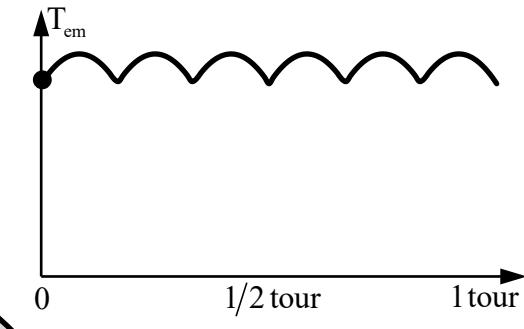
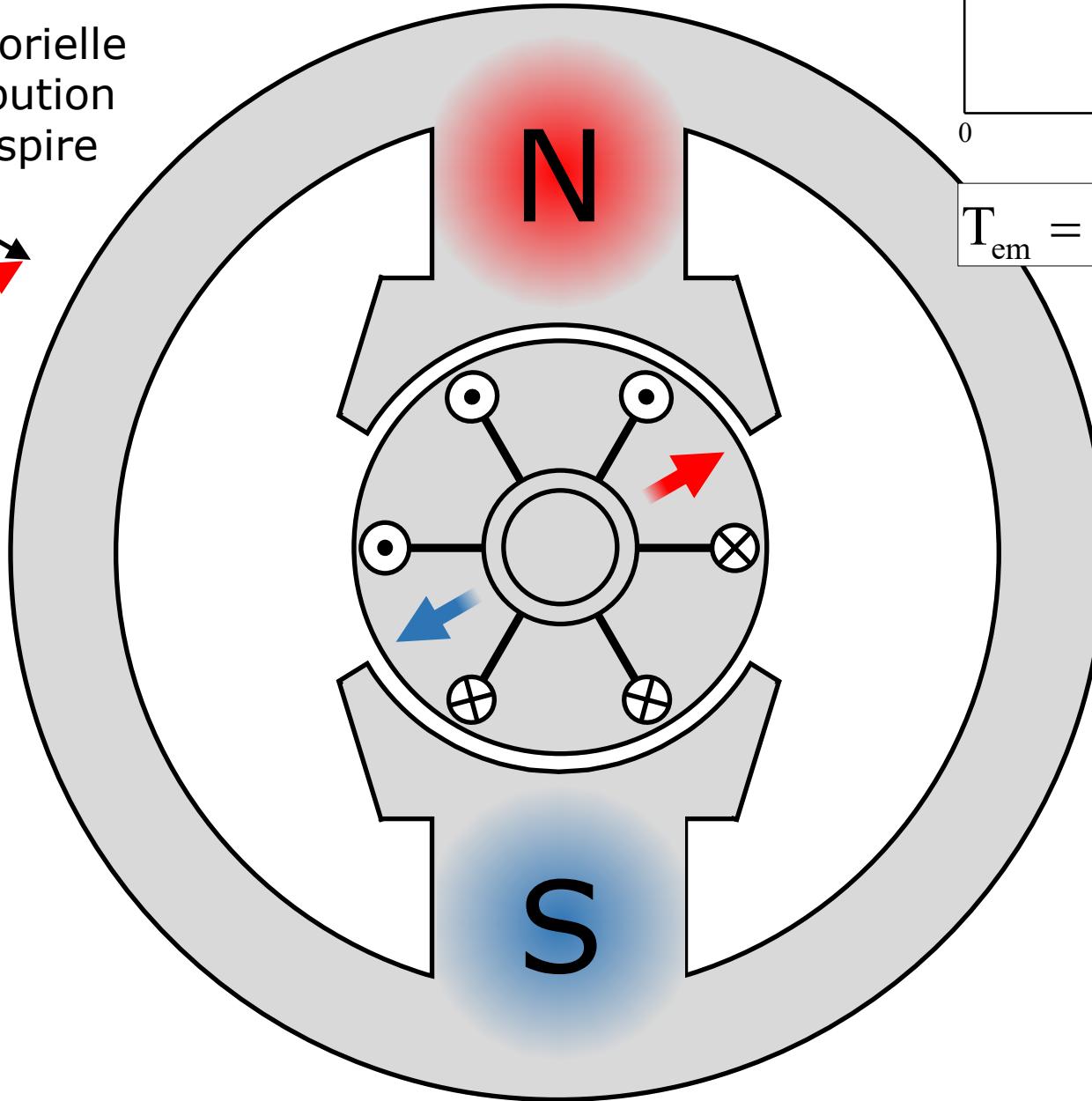
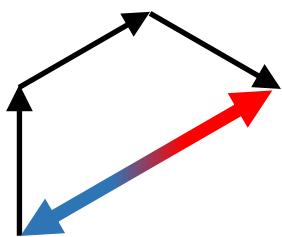
Principe de fonctionnement

Le collecteur



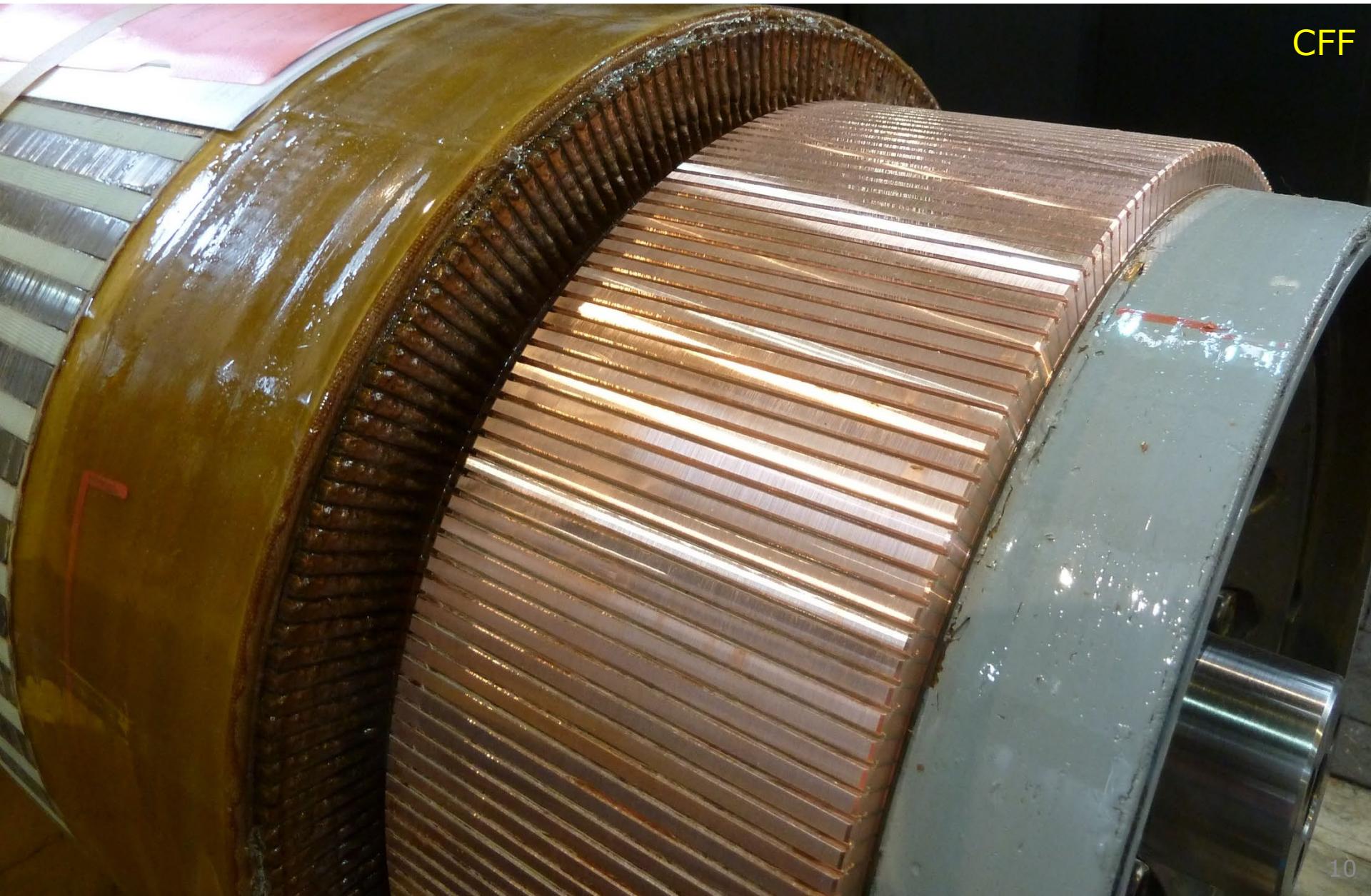
Principe de fonctionnement

Somme vectorielle
de la contribution
de chaque spire



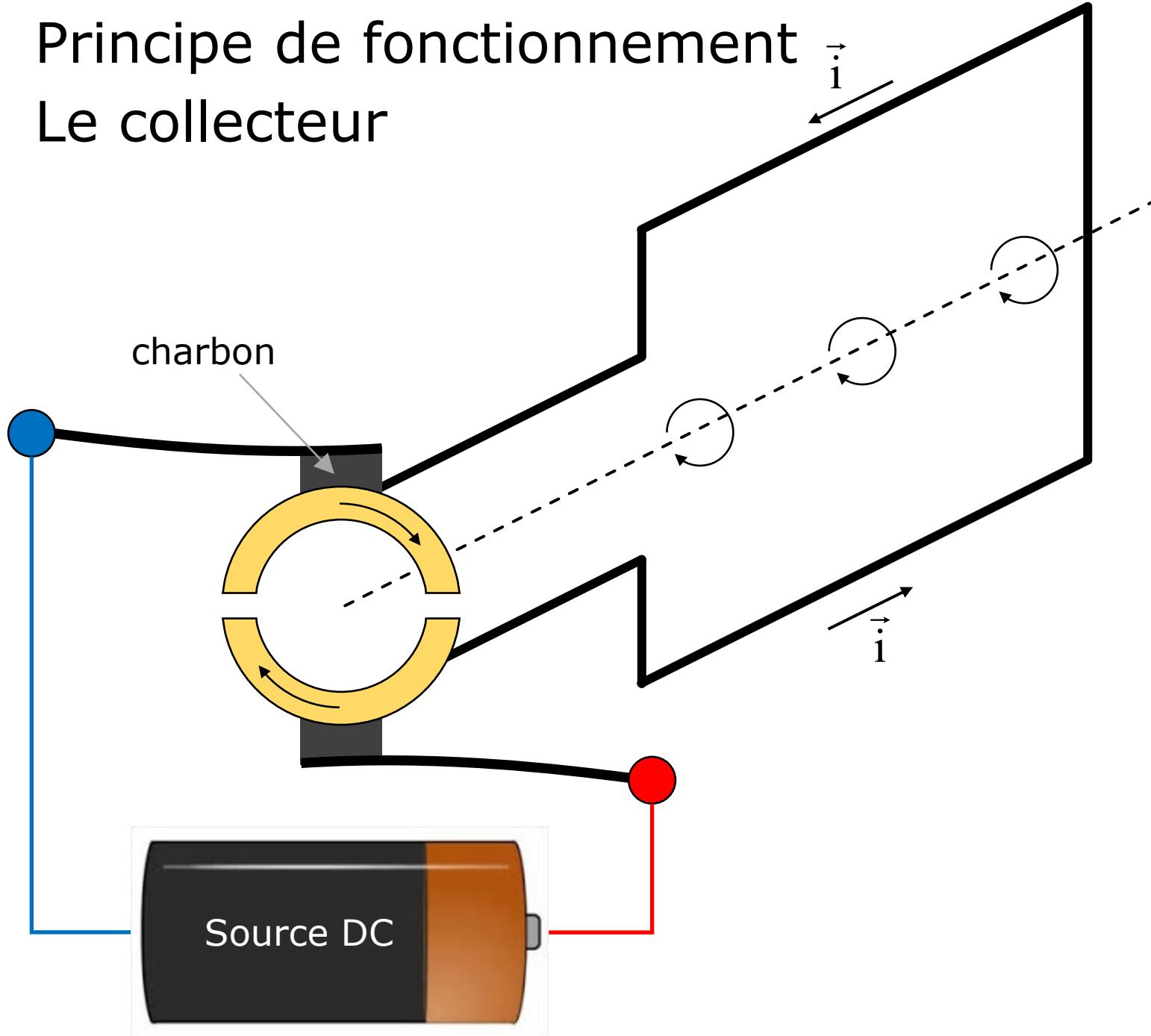
$$T_{\text{em}} = k \hat{B}_s \hat{B}_r p \sin \delta$$

Le collecteur

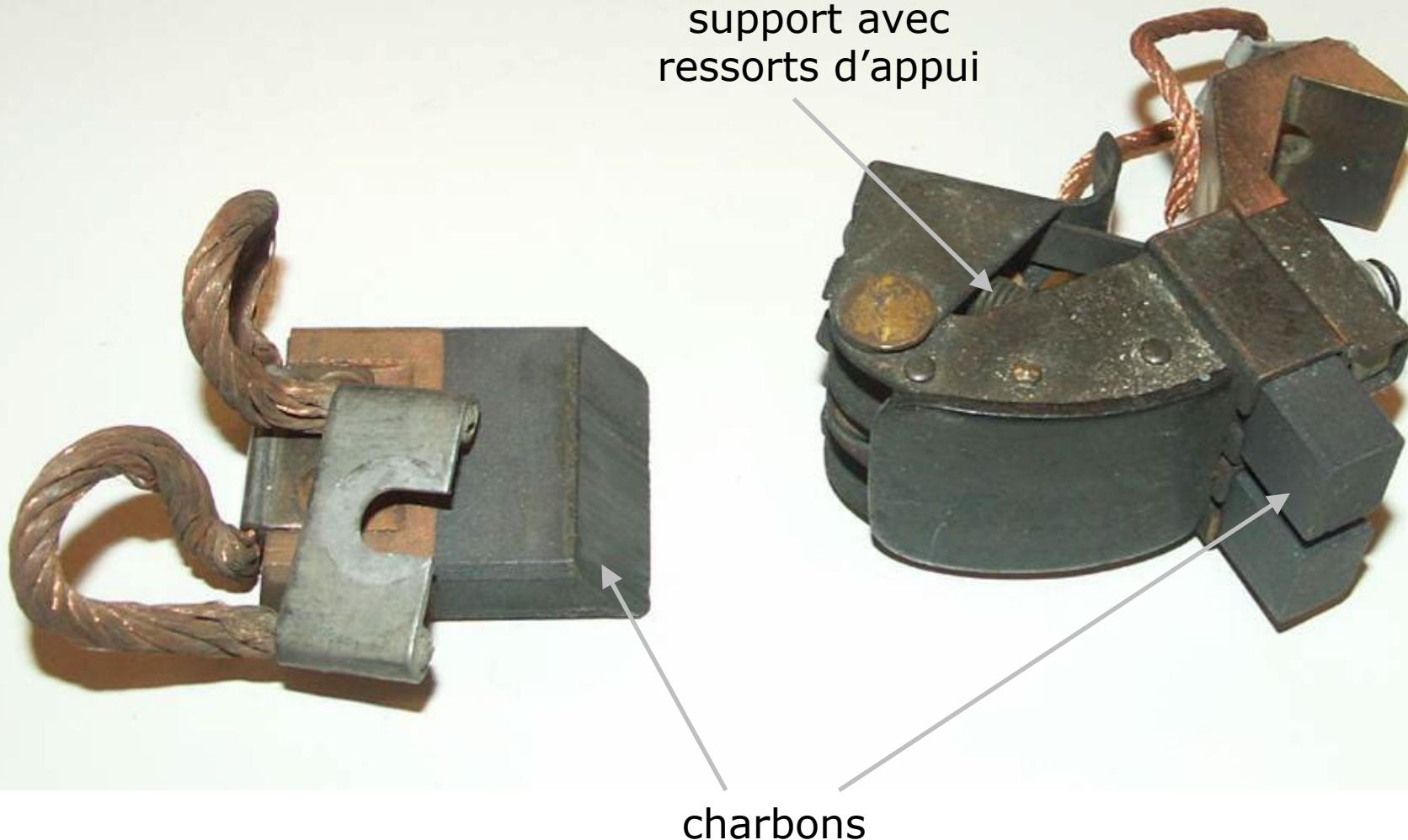


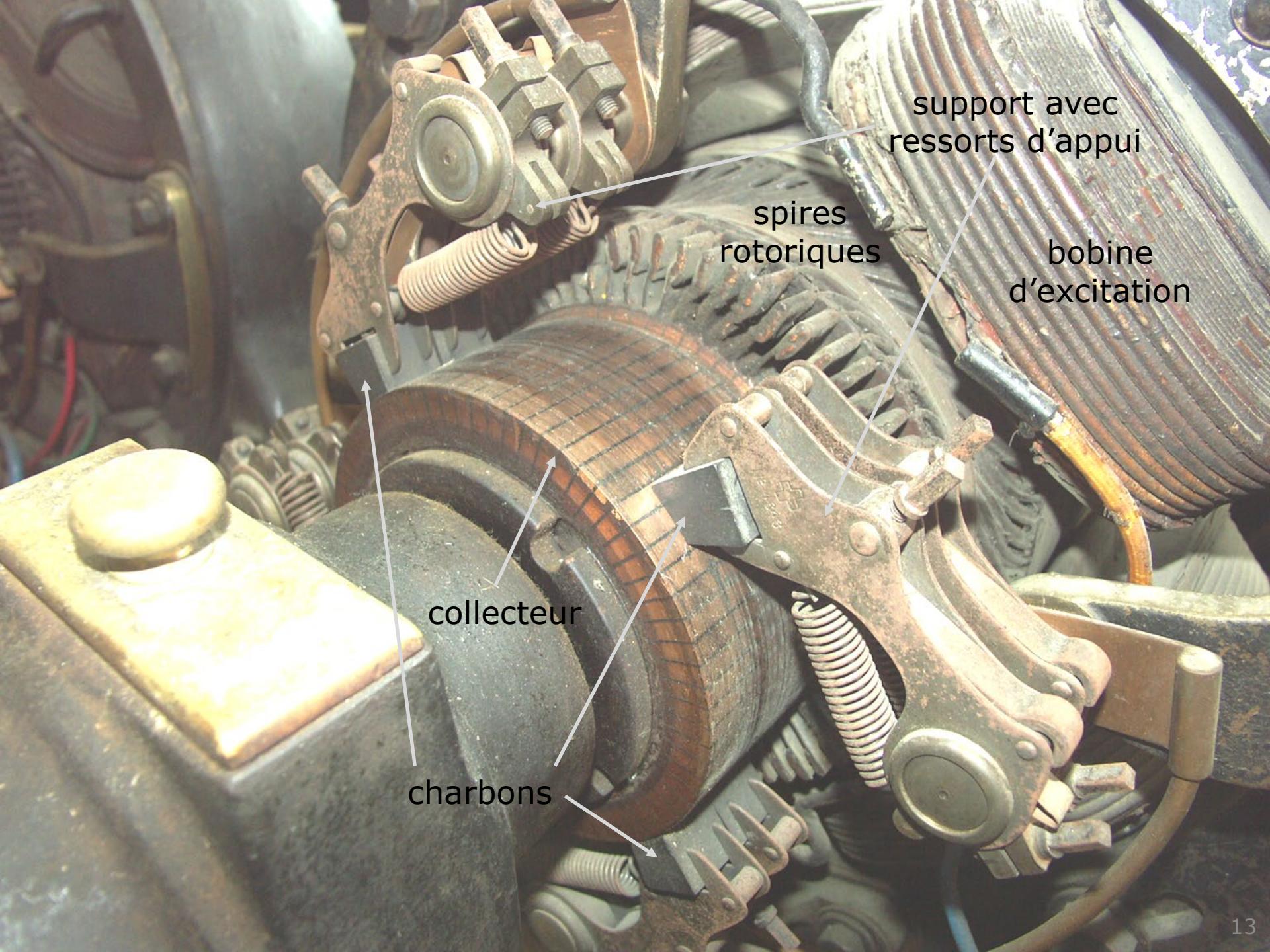
Principe de fonctionnement

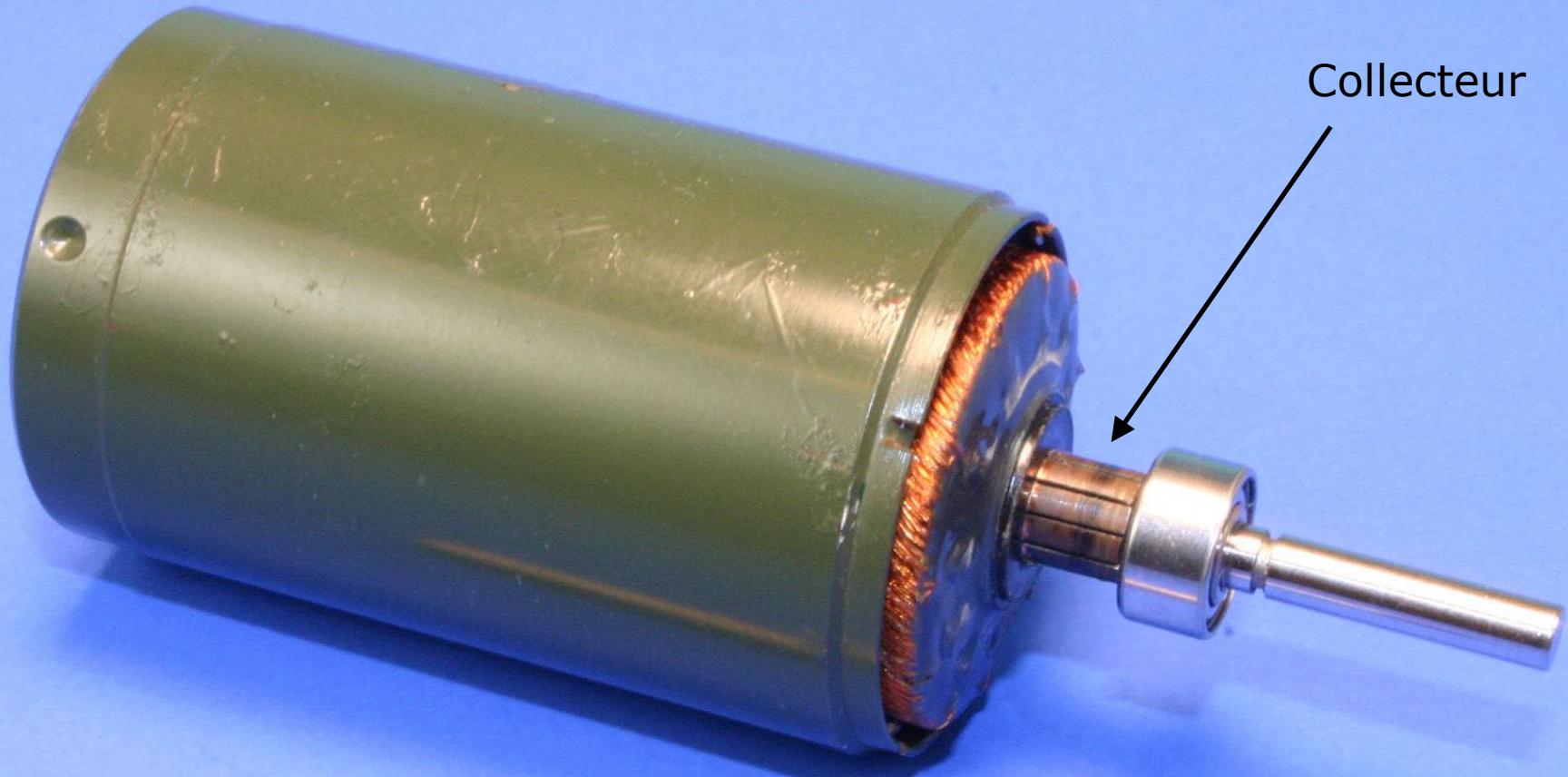
Le collecteur



Les charbons

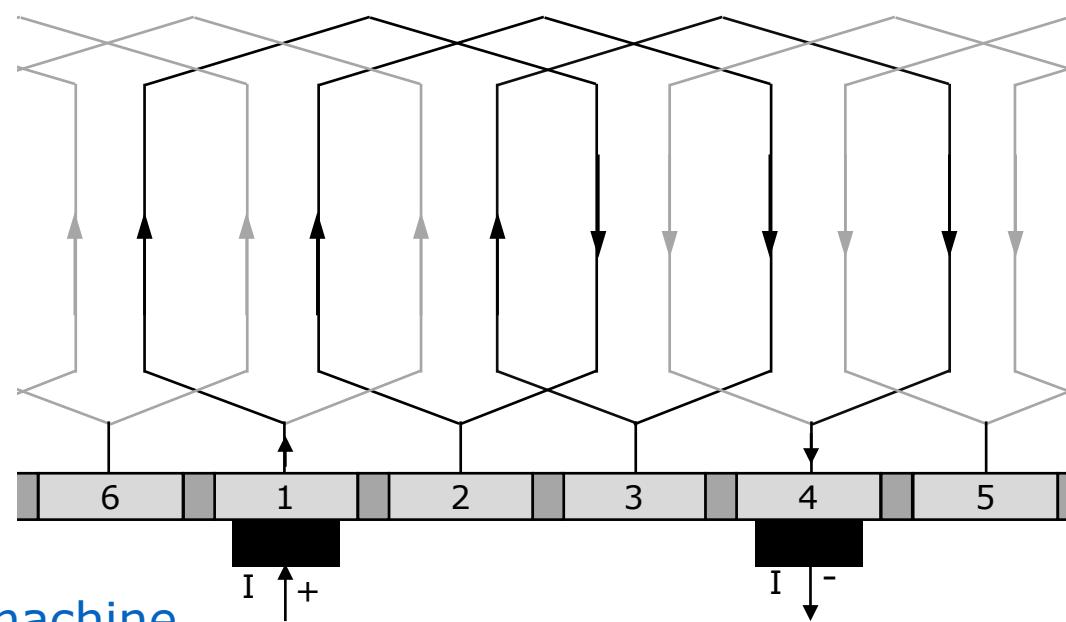
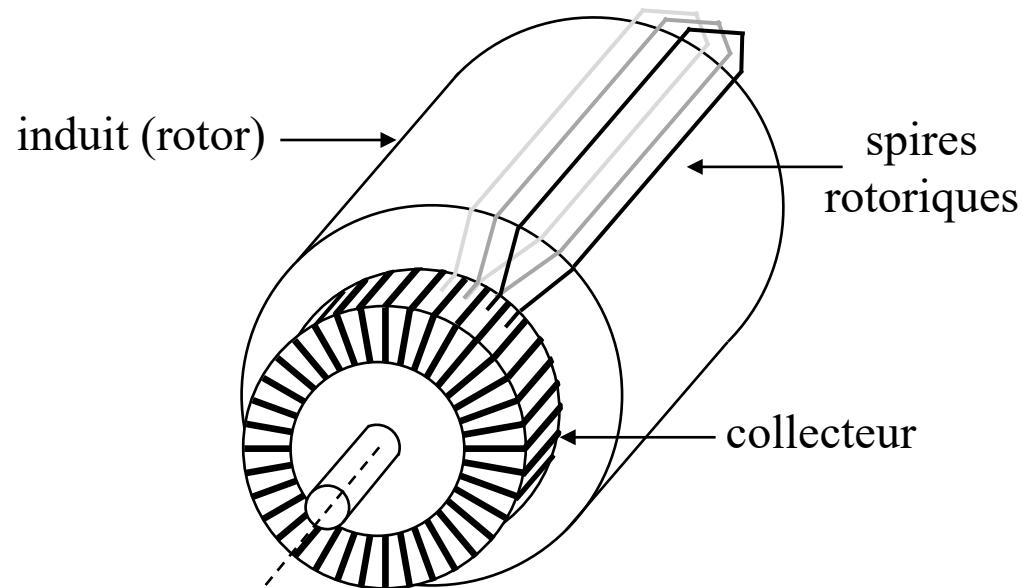






Collecteur



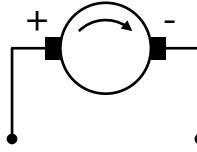
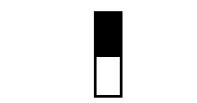


Sommaire

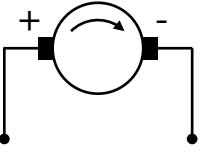
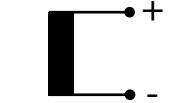
- Principe de fonctionnement
- Equations de tension, tension induite de mouvement et schéma équivalent
- Bilan de puissance
Couple électromagnétique
Modes de fonctionnement
- Moteurs à courant continu
- Machine à courant continu fonctionnant en génératrice
- Génératerices à courant continu
- Moteur universel
- Machines à courant continu

Différents types d'excitation

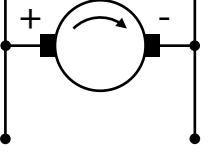
- Aimants permanents
- Electrique
 - Séparée
 - Shunt (parallèle)
 - Série
 - Compound (hyper ou hypo)



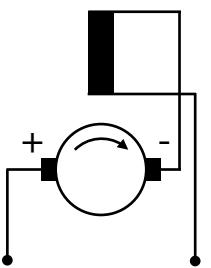
aimants



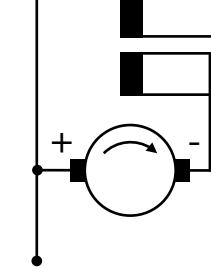
séparée



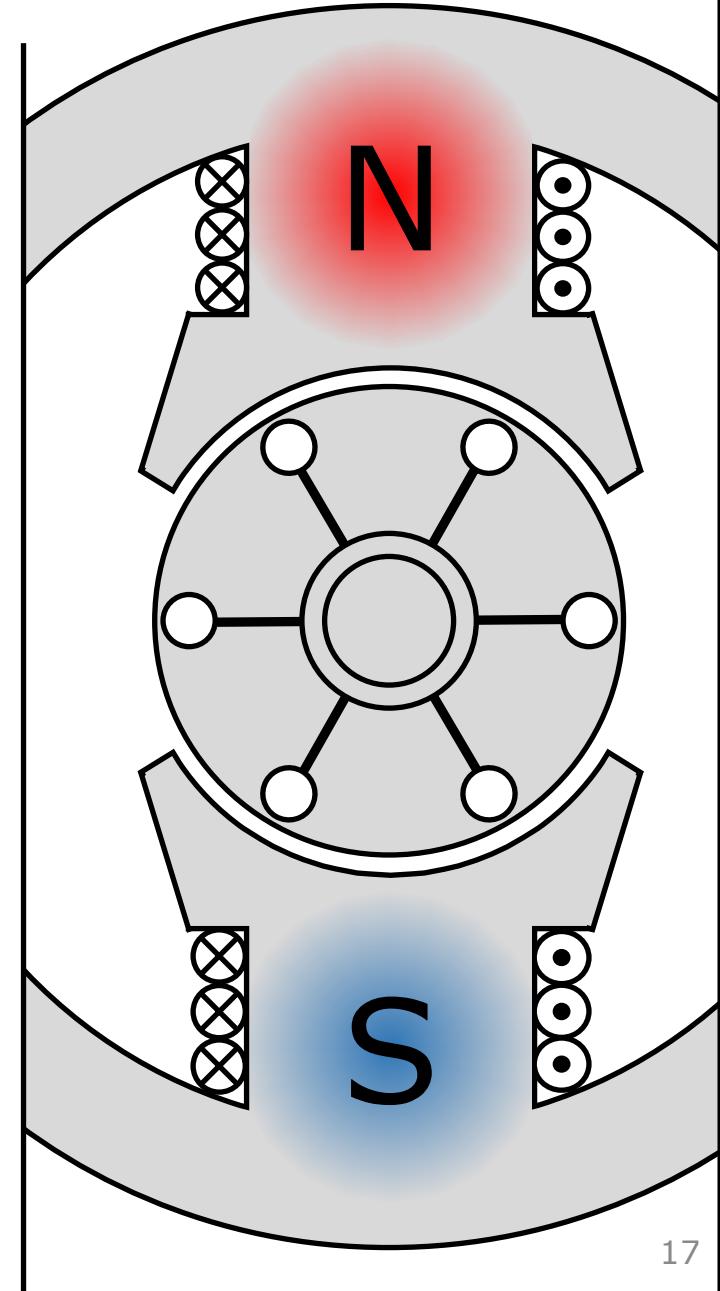
shunt



série



compound



Pour l'excitation :

$$u_f = R_f i_f + L_f \frac{di_f}{dt} \xrightarrow{\text{régime permanent}} U_f = R_f I_f$$

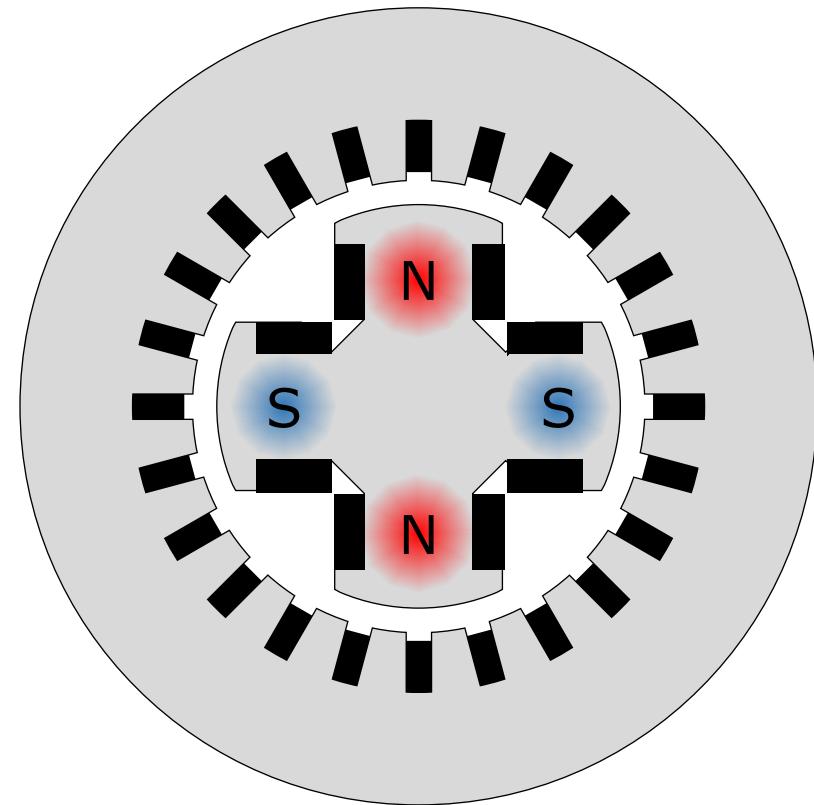
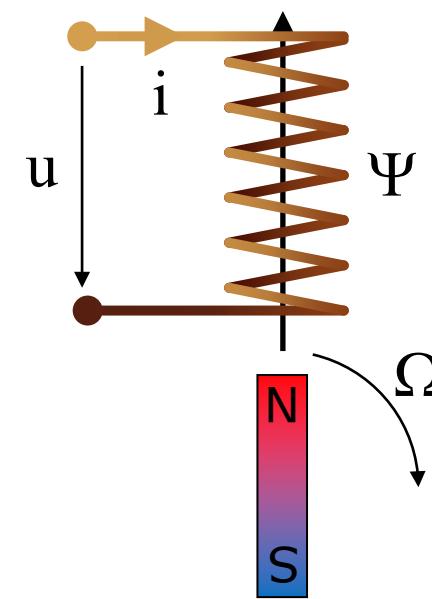
Tension induite généralisée

$$u = R i + \frac{d\Psi}{dt}$$

$$u = R i + L \frac{di}{dt} + k_{\Phi} \Omega$$

Tension induite de transformation

Tension induite de mouvement



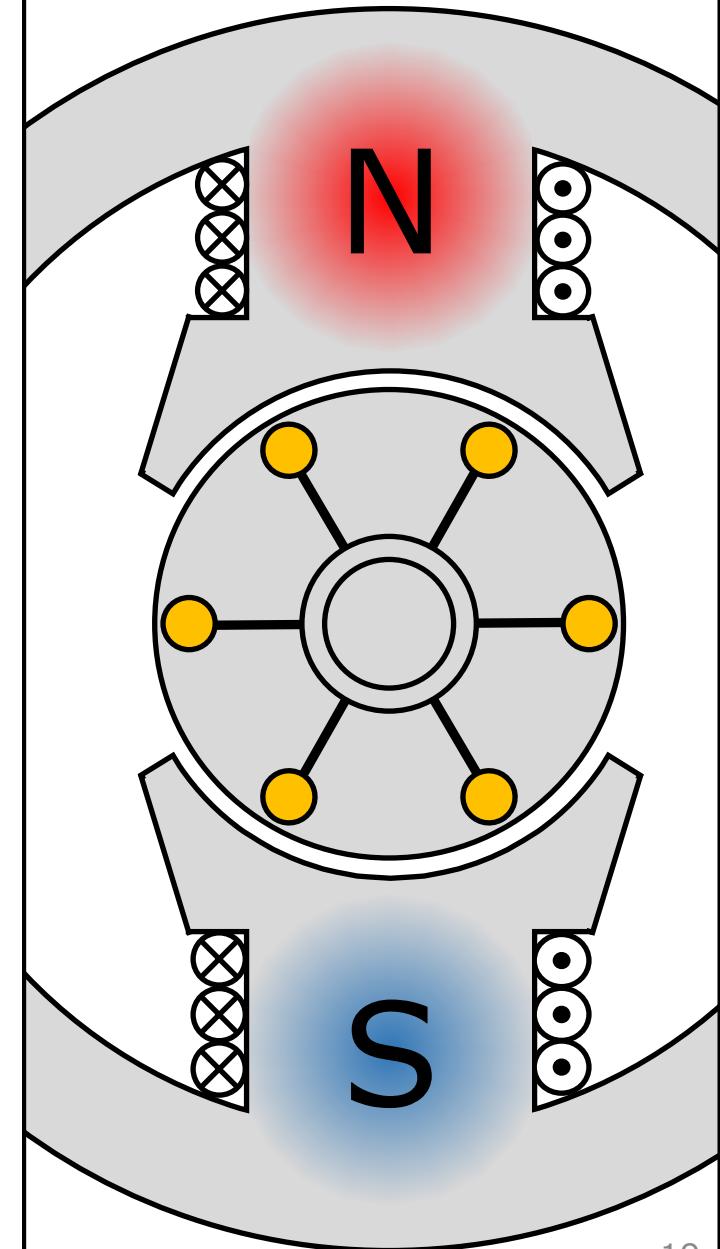
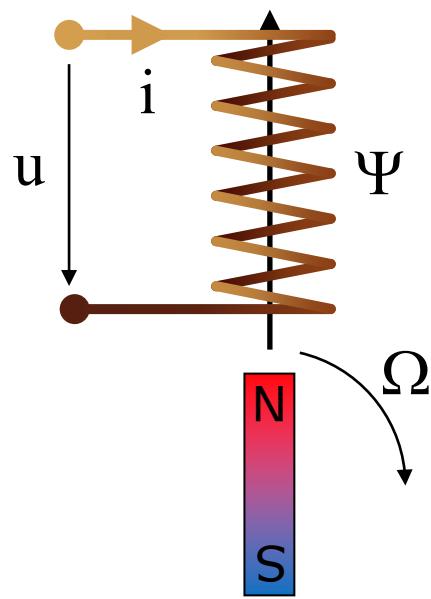
Tension induite généralisée

$$u = R i + \frac{d\Psi}{dt}$$

$$u = R i + L \frac{di}{dt} + k_\Phi \Omega$$

Tension induite de transformation

Tension induite de mouvement

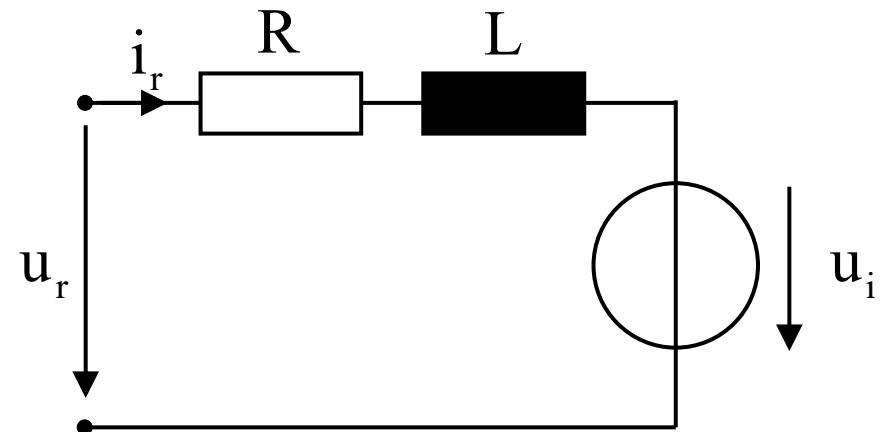


Equation de tension et schéma équivalent

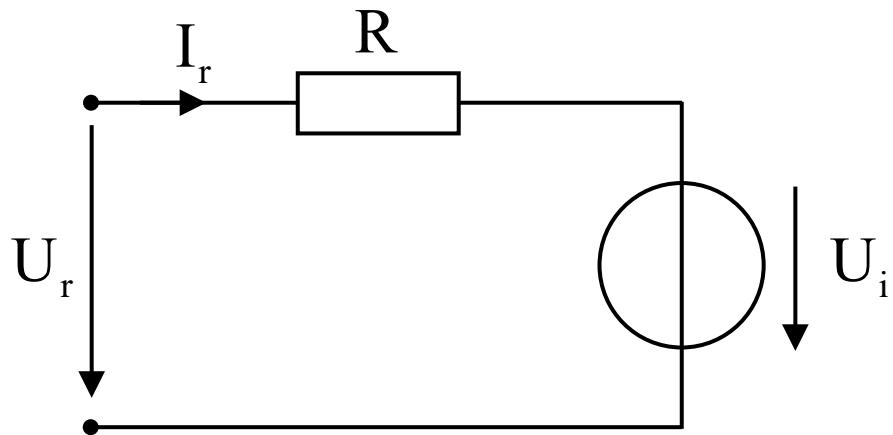
$$u_r = R_r i_r + \frac{d\Psi}{dt}$$

$$\frac{d\Psi}{dt} = L_r \frac{di_r}{dt} + u_i$$

$$u_r = R_r i_r + L_r \frac{di_r}{dt} + u_i$$



$$\xrightarrow{\text{régime permanent}} U_r = R_r I_r + U_i$$



Tension induite de mouvement

$$u_i = \frac{d\Psi}{dt} = N \frac{d\Phi}{dt} \quad \text{avec} \quad \Phi = \sum \hat{\Phi}_v \sin \omega_v t$$

$$U_{i\sim} = \frac{1}{\sqrt{2}} N \omega \hat{\Phi} = \sqrt{2} \pi N f \hat{\Phi}$$

$$U_{i=} = \sqrt{2} U_{i\sim} = \sqrt{2} \sqrt{2} \pi N f \hat{\Phi} = 2\pi N f \hat{\Phi}$$

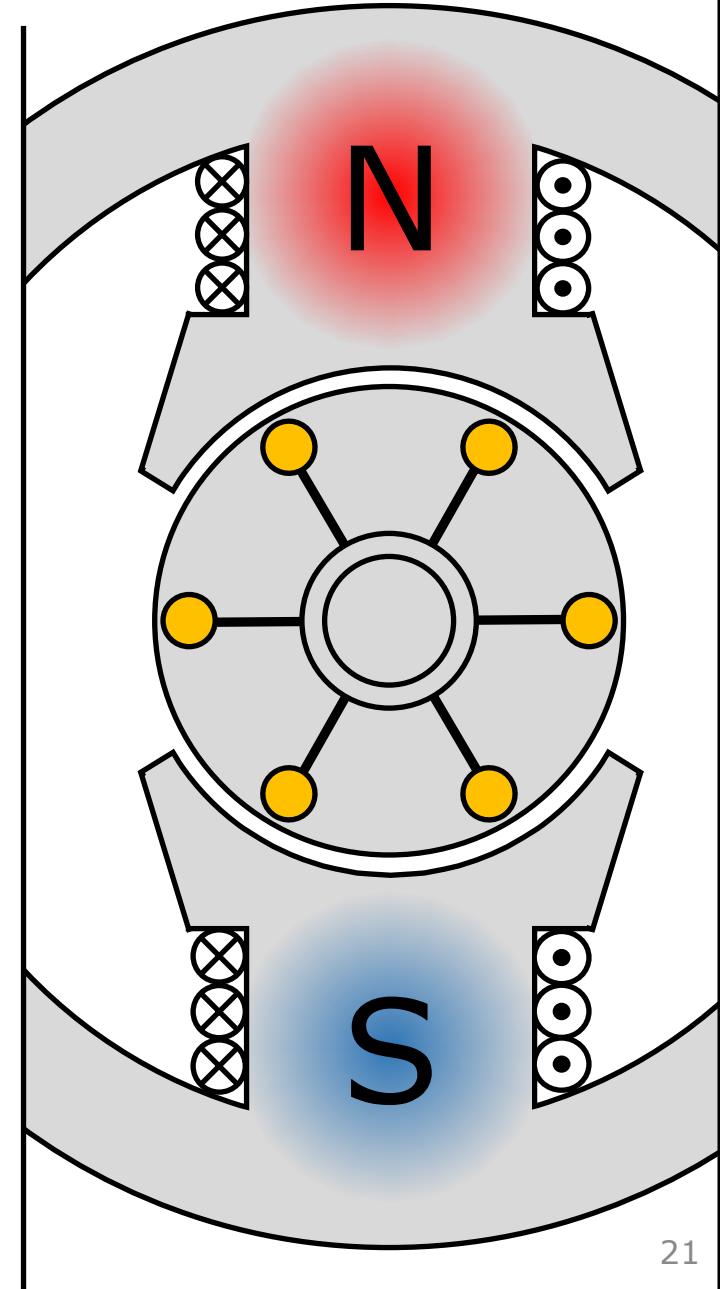
$$\Omega = \frac{2\pi f}{p} \text{ [rad / s]}$$

$$U_i = 2\pi N \frac{\Omega p}{2\pi} \hat{\Phi} = N \Omega p \hat{\Phi}$$

$$\rightarrow U_i = k_{\Phi} \Omega$$

la tension induite est proportionnelle à la vitesse de rotation

$$k_{\Phi} = k_{if} I_f \quad \text{et au courant d'excitation}$$



Equation de tension et schéma équivalent

$$u_r = R_r i_r + \frac{d\Psi}{dt}$$

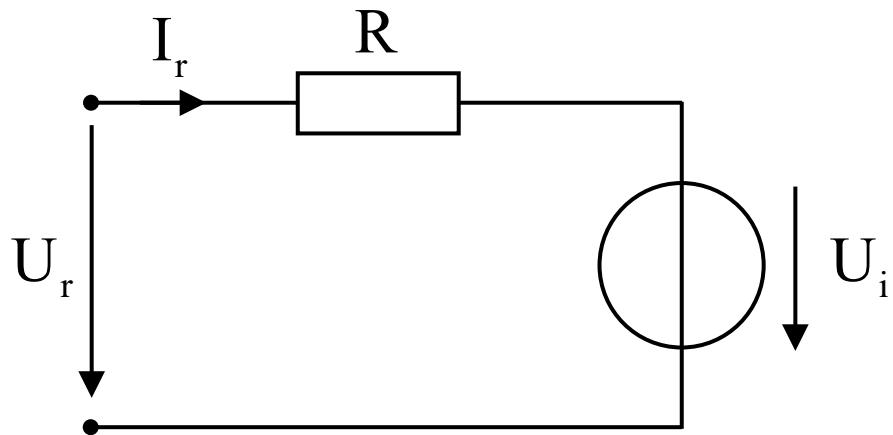
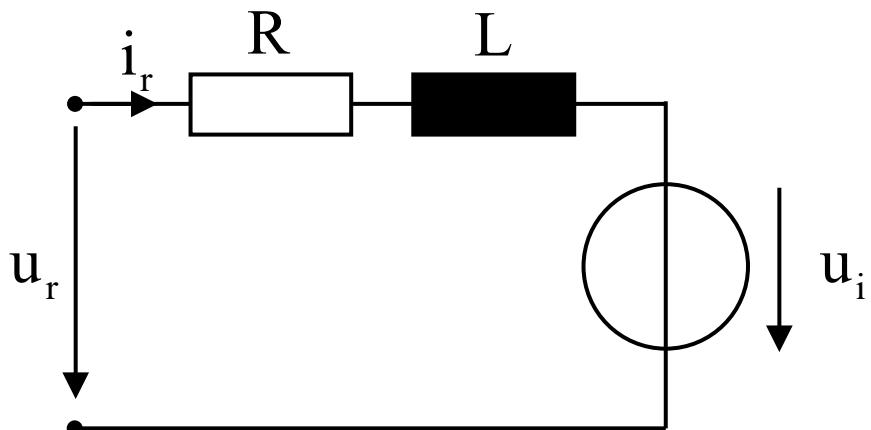
$$\frac{d\Psi}{dt} = L_r \frac{di_r}{dt} + u_i$$

$$u_r = R_r i_r + L_r \frac{di_r}{dt} + u_i$$

$\xrightarrow{\text{régime permanent}}$ $U_r = R_r I_r + U_i = R_r I_r + k_\Phi \Omega$

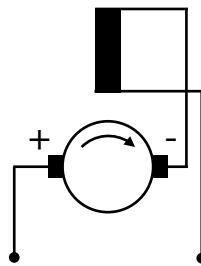
$$U_i = k_\Phi \Omega = k_{if} I_f \Omega$$

$$U_r = R_r I_r + k_{if} I_f \Omega$$

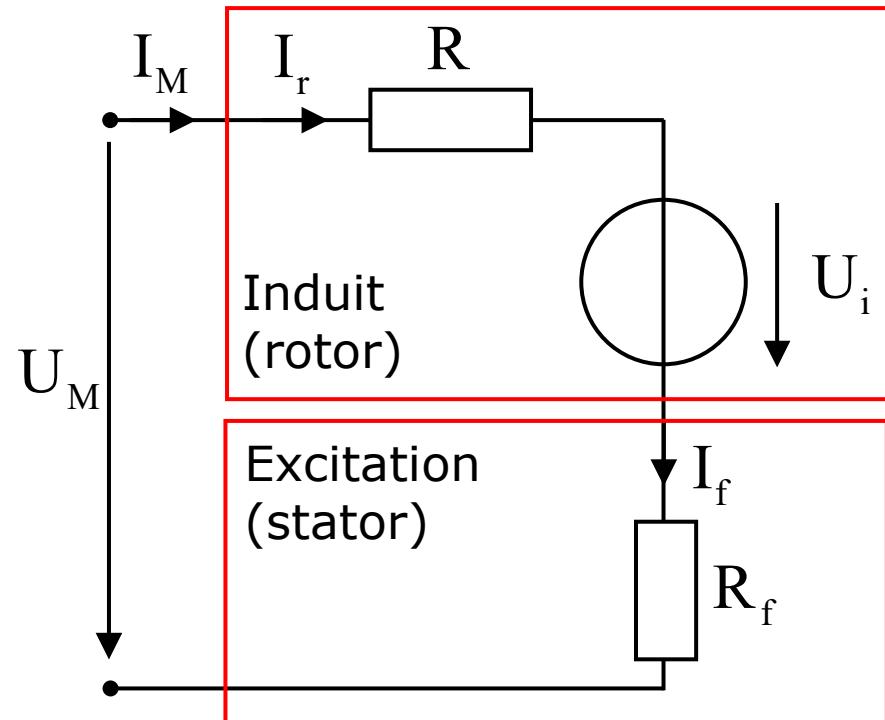


Exemple

Moteur à excitation série



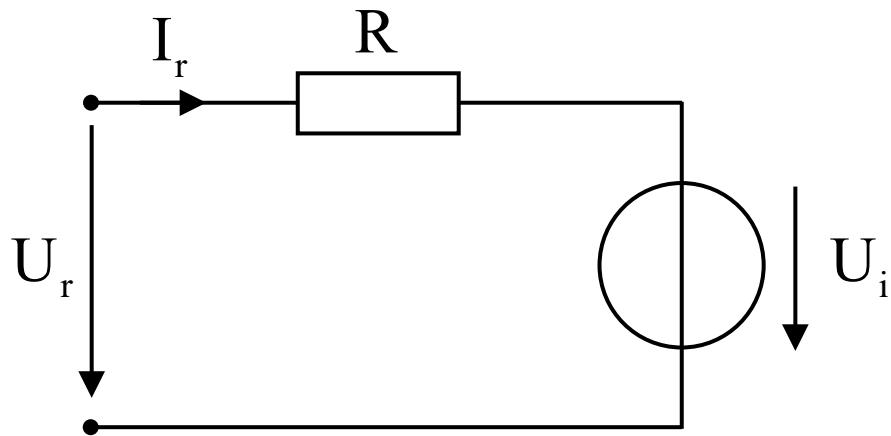
Pour l'excitation, en régime permanent : $U_f = R_f I_f$



$$\xrightarrow{\text{régime permanent}} U_r = R_r I_r + U_i = R_r I_r + k_\Phi \Omega$$

$$U_i = k_\Phi \Omega = k_{if} I_f \Omega$$

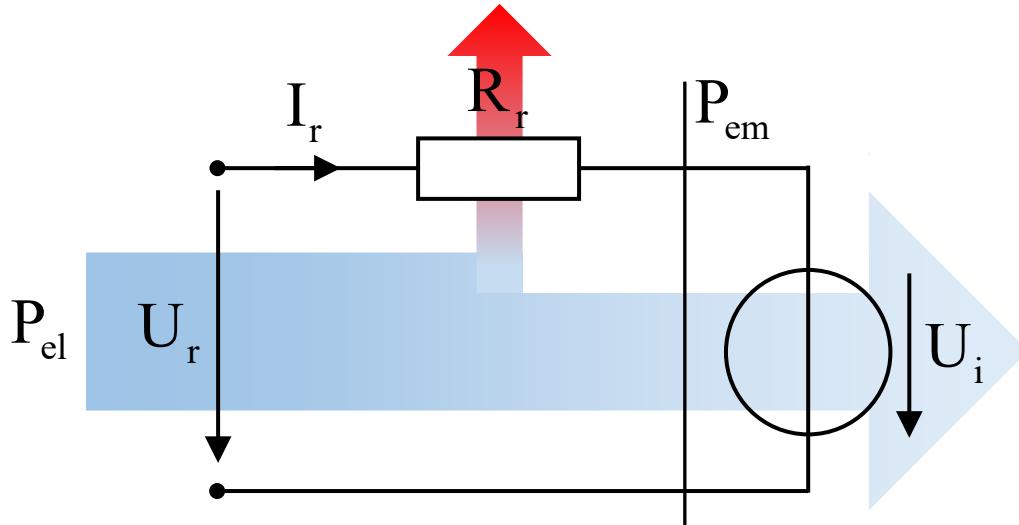
$$U_r = R_r I_r + k_{if} I_f \Omega$$



Sommaire

- Principe de fonctionnement
- Equation de tension, tension induite de mouvement et schéma équivalent
- Bilan de puissance
Couple électromagnétique
Modes de fonctionnement
- Moteurs à courant continu
- Machine à courant continu fonctionnant en génératrice
- Génératerices à courant continu
- Moteur universel
- Machines à courant continu

Bilan de puissance



$$P_{el} = P_j + P_{em}$$

$$P_{el} = U_r I_r$$

$$P_j = R_r I_r^2$$

$$P_{em} = U_i I_r$$

Couple électromagnétique

$$P_{mec} = T_{em} \Omega = U_i I_r$$

$$P_{mec} = P_{el} - P_{js}$$

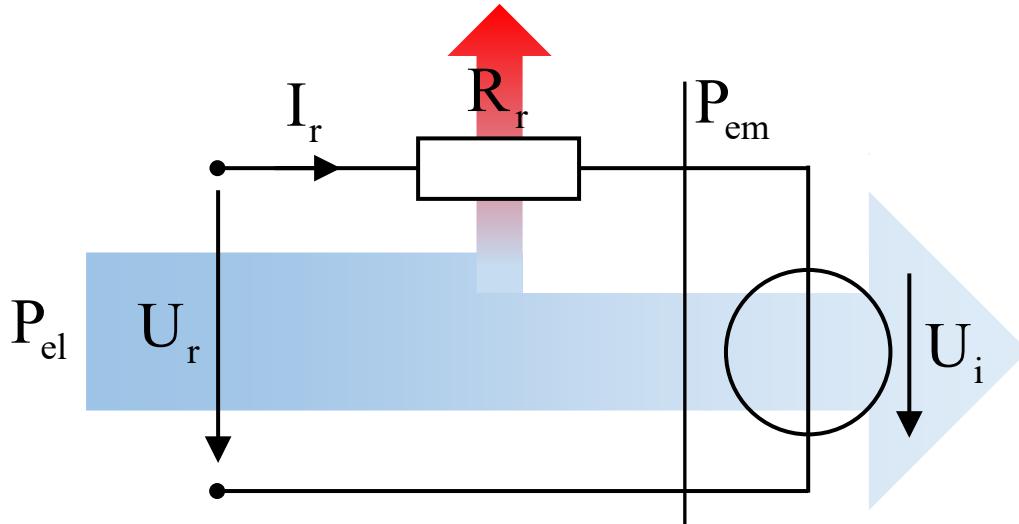
$$T_{em} = \frac{P_{mec}}{\Omega} = \frac{U_i I_r}{\Omega} = \frac{k_\Phi \Omega I_r}{\Omega} \quad \longrightarrow$$

$$T_{em} = k_\Phi I_r$$

$$k_\Phi = k_{if} I_f$$

le couple est proportionnel au courant I_r et au courant d'excitation I_f

Bilan de puissance et modes de fonctionnement



$$P_{el} = P_j + P_{em}$$

$$P_{el} = U_r I_r$$

$$P_j = R_r I_r^2$$

$$P_{em} = U_i I_r$$

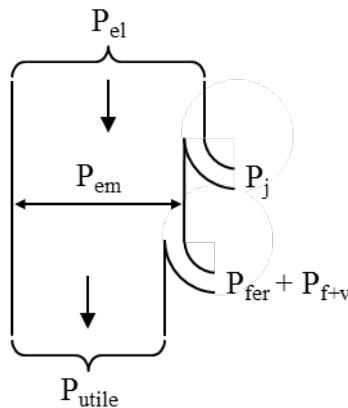
Moteur

$$P_{el} = R_r I_r^2 + P_{em}$$

$$U_r = R_r I_r + U_i$$

$$P_{el} > 0 \quad I_r > 0$$

$$T_{em} > 0 \quad U_r > U_i$$



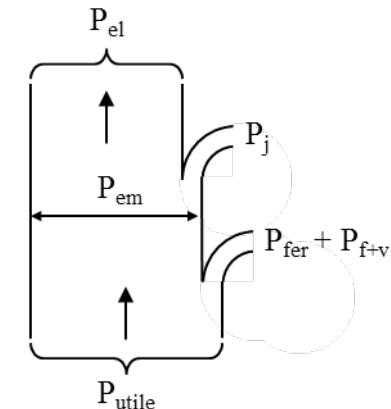
Générateur

$$P_{el} = R_r I_r^2 + P_{em}$$

$$U_r = R_r I_r + U_i$$

$$P_{el} < 0 \quad I_r < 0$$

$$T_{em} < 0 \quad U_r < U_i$$



Sommaire

- Principe de fonctionnement
- Equation de tension, tension induite de mouvement et schéma équivalent
- Bilan de puissance
Couple électromagnétique
Modes de fonctionnement
- **Moteurs à courant continu**
- Machine à courant continu fonctionnant en génératrice
- Génératerices à courant continu
- Moteur universel
- Machines à courant continu

Exemple moteur à excitation séparée

$$U = RI + U_i$$

$$U_i = k_\Phi \Omega$$

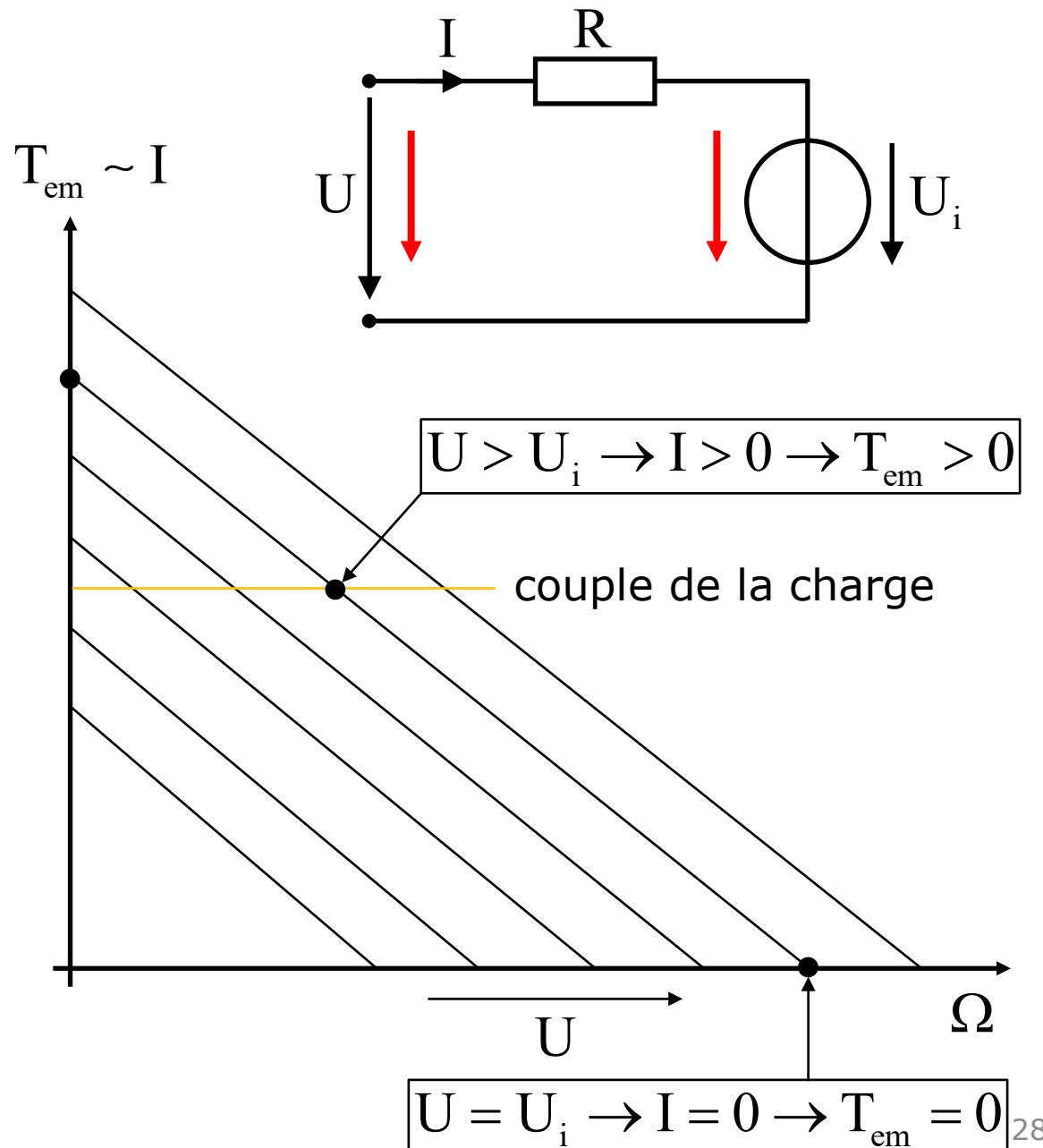
$$T_{em} = k_\Phi I$$

$$k_\Phi = k_{if} I_f \rightarrow I_f = \text{cste}$$

$$U = RI + k_\Phi \Omega$$

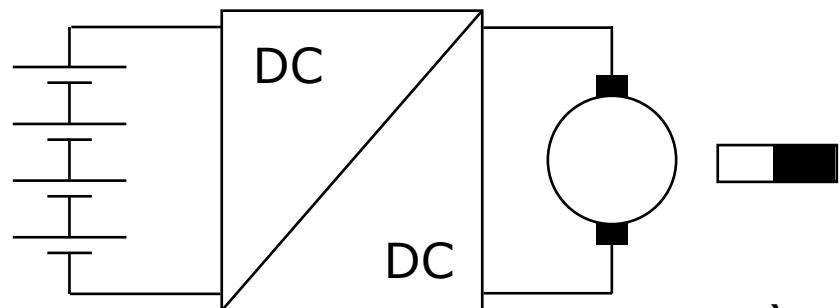
$$I = \frac{U - k_\Phi \Omega}{R} = \frac{T_{em}}{k_\Phi}$$

$$T_{em} = k_\Phi \frac{U - k_\Phi \Omega}{R}$$



Alimentation à tension variable

Convertisseur DC/DC



Batterie

Moteur DC à
aimants permanents

maxongroup.fr/maxon/view/content/enquete-moteurs-DC

Moteurs DC avec balais

Les moteurs DC maxon sont des moteurs à courant continu d'excellente qualité équipés d'aimants permanents puissants. Le «cœur» du moteur est constitué par son rotor sans fer, qui fait l'objet d'un brevet international. Il s'agit d'une technologie de pointe au service d'entraînements de dimension réduite, aux performances élevées et de faible inertie. Grâce à un moment d'inertie de masse réduit, les moteurs DC disposent d'une excellente accélération. Les gammes modulaires A-max et RE-max présentent d'innombrables options et des performances exceptionnelles à un prix attractif.

Gamme DCX

Configurez les tailles d'un Ø de 6 à 35 mm. Choisissez entre balais graphite ou métal précieux, roulements à billes ou paliers lisses frittés et bien plus encore.

Pour les détails et les spécifications du produit:

[Online Shop](#)

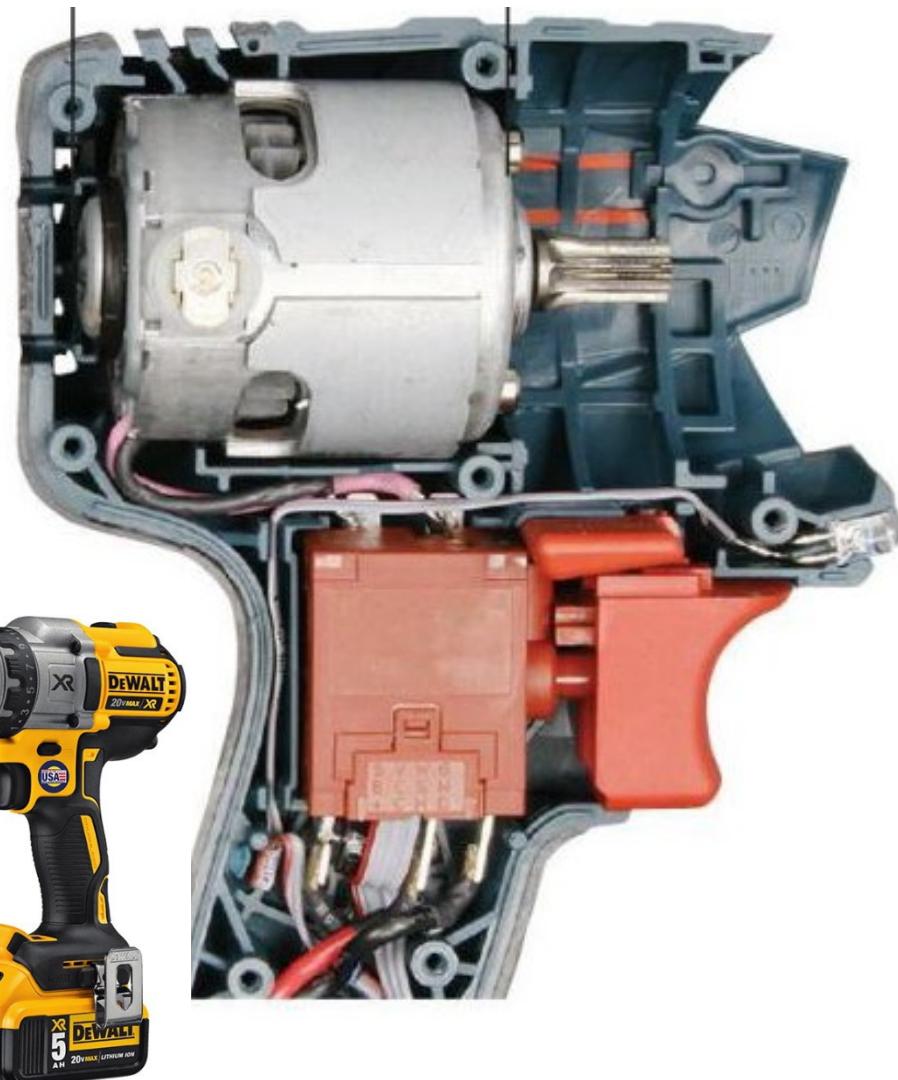


Gamma DC-max

Configurez les modèles de Ø 16 et 22 mm. Choisissez des balais en métal précieux ou en graphite, des roulements à billes ou des paliers frittés et bien d'autres composants.

Pour les détails et les spécifications du produit:

[Online Shop](#)

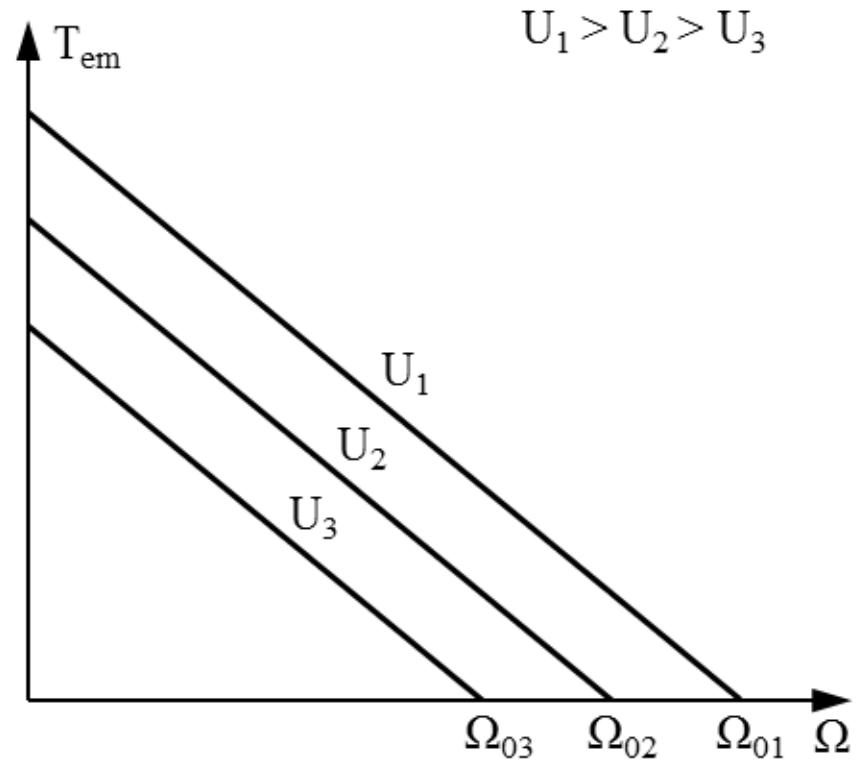
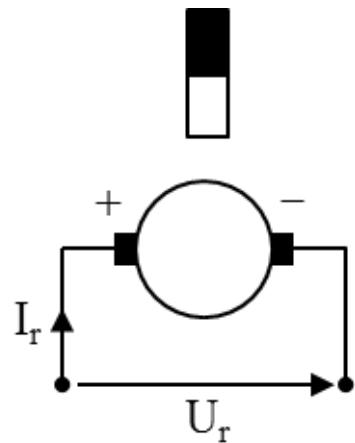


Source : toolguyd.com/dewalt-brushless-impact-driver-dcf886/ et toolguyd.com/dewalt-cordless-drills-uwo-torque/ www.toolsoftthetrade.net/power-tools/cordless-tools/brushing-up-on-brushless_o

Moteur à aimants permanents

$$U_r = R_r I_r + k_\Phi \Omega$$

$$T_{em} = k_\Phi I_r$$

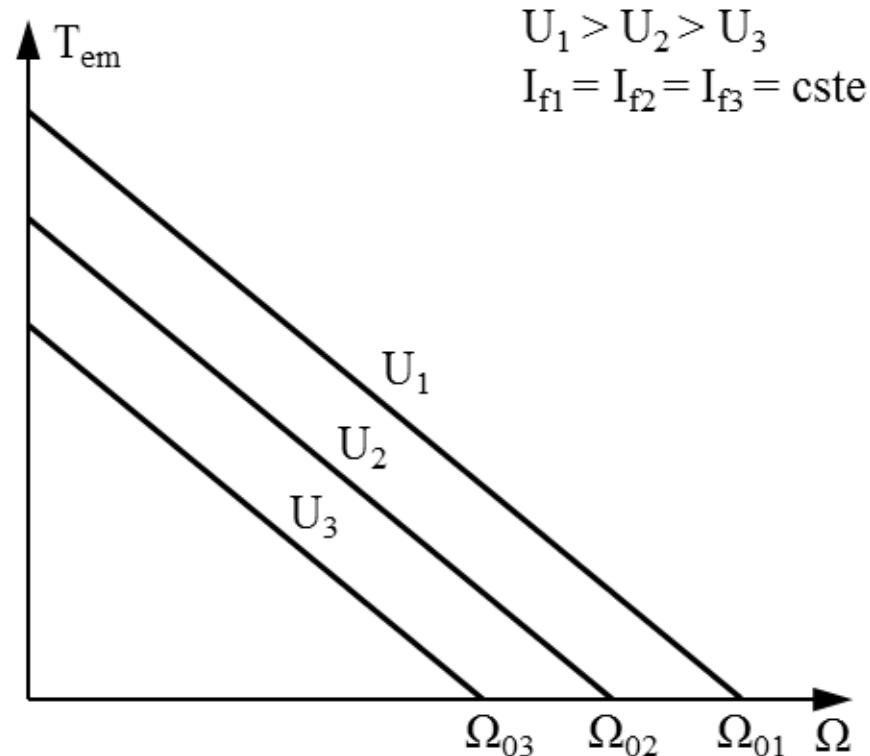
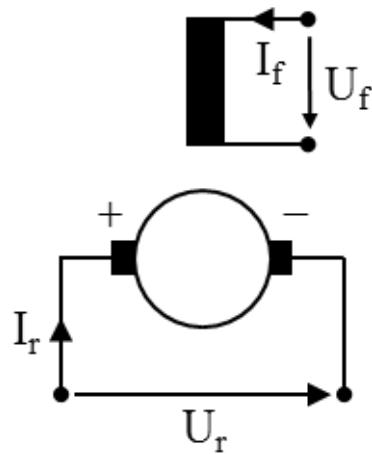


Moteur à excitation séparée

$$U_f = R_f I_f$$

$$U_r = R_r I_r + k_{if} I_f \Omega$$

$$T_{em} = k_{if} I_f I_r$$



Moteur à excitation shunt (parallèle)

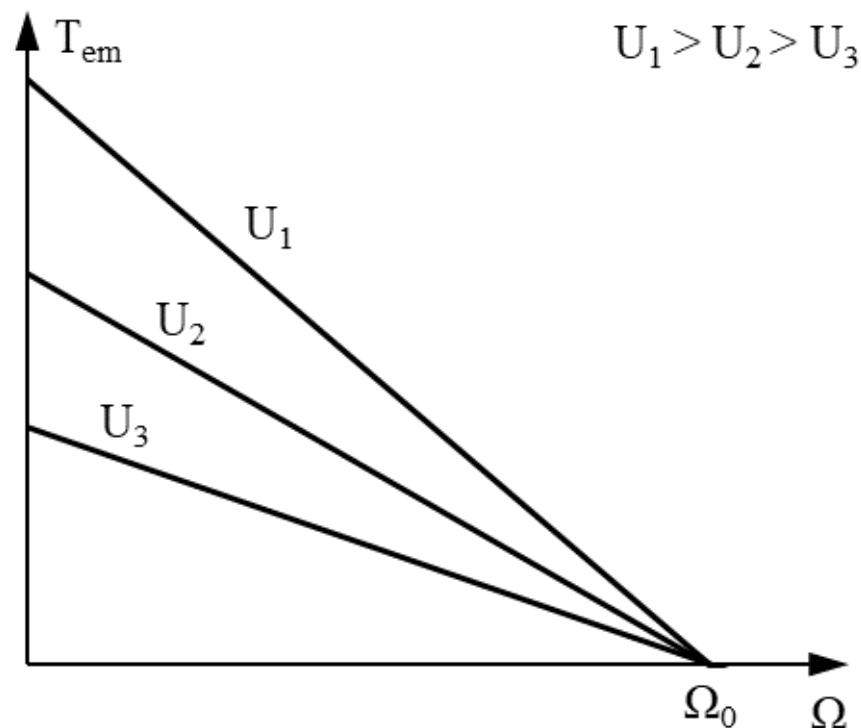
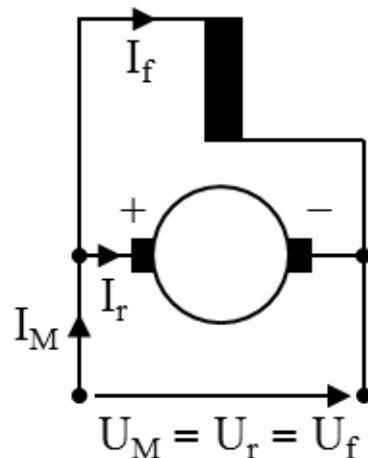
$$U_f = R_f I_f$$

$$U_r = R_r I_r + k_{if} I_f \Omega$$

$$T_{em} = k_{if} I_f I_r$$

$$U_M = U_r = U_f$$

$$I_M = I_r + I_f$$



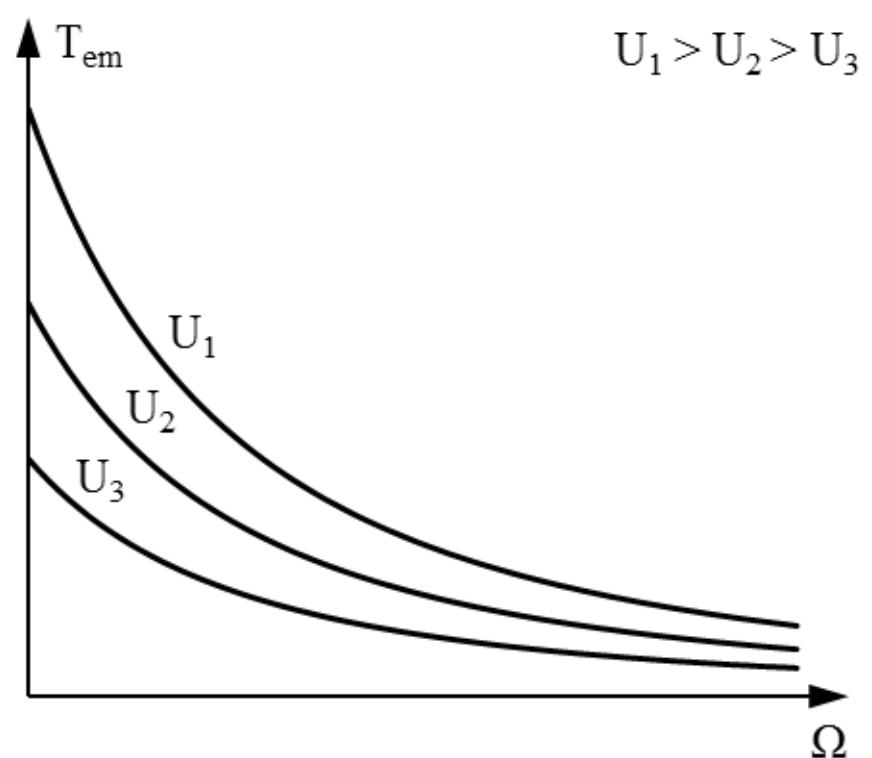
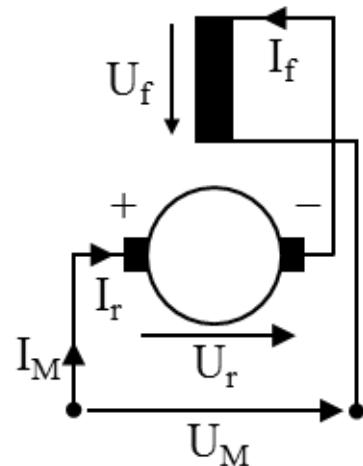
Moteur à excitation série

$$U_M = (R_f + R_r) I_M + k_{if} I_M \Omega$$

$$T_{em} = k_{if} I_M^2$$

$$U_M = U_r + U_f$$

$$I_M = I_r = I_f$$



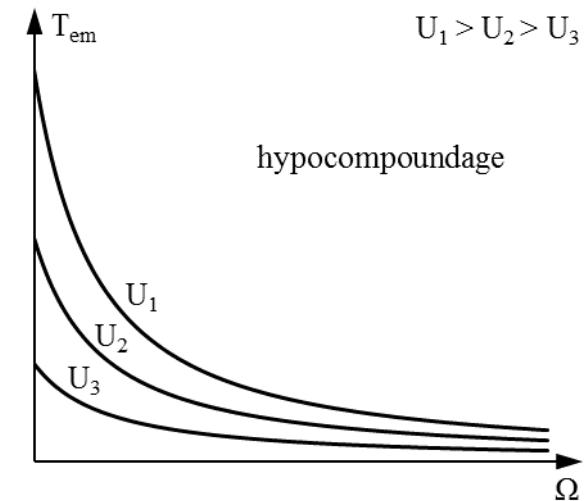
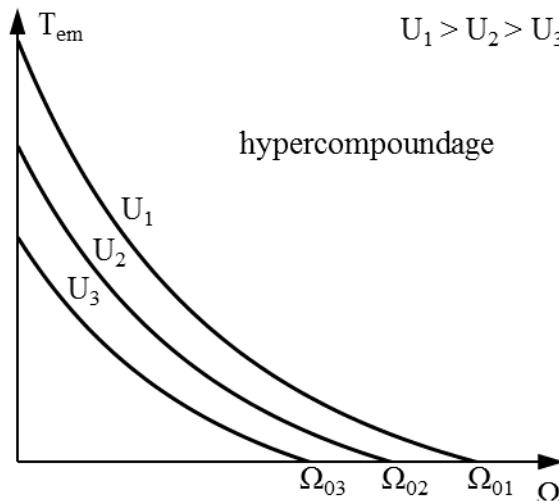
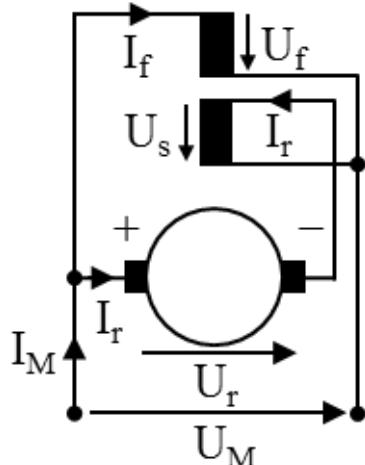
Moteur à excitation compound

$$U_M = U_f = R_f I_f$$

$$U_M = U_r + U_s = (R_r + R_s) I_r + (k_{is} I_r + k_{if} I_f) \Omega$$

$$T_{em} = k_{if} I_f I_r + k_{is} I_M^2$$

$$I_M = I_r + I_f$$



Sommaire

- Principe de fonctionnement
- Equation de tension, tension induite de mouvement et schéma équivalent
- Bilan de puissance
Couple électromagnétique
Modes de fonctionnement
- Moteurs à courant continu
- **Démarrage des moteurs à courant continu**
- Machine à courant continu fonctionnant en génératrice
- Génératerices à courant continu
- Moteur universel
- Machines à courant continu

Exemple moteur à excitation séparée

$$U = RI + U_i$$

$$U_i = k_\Phi \Omega$$

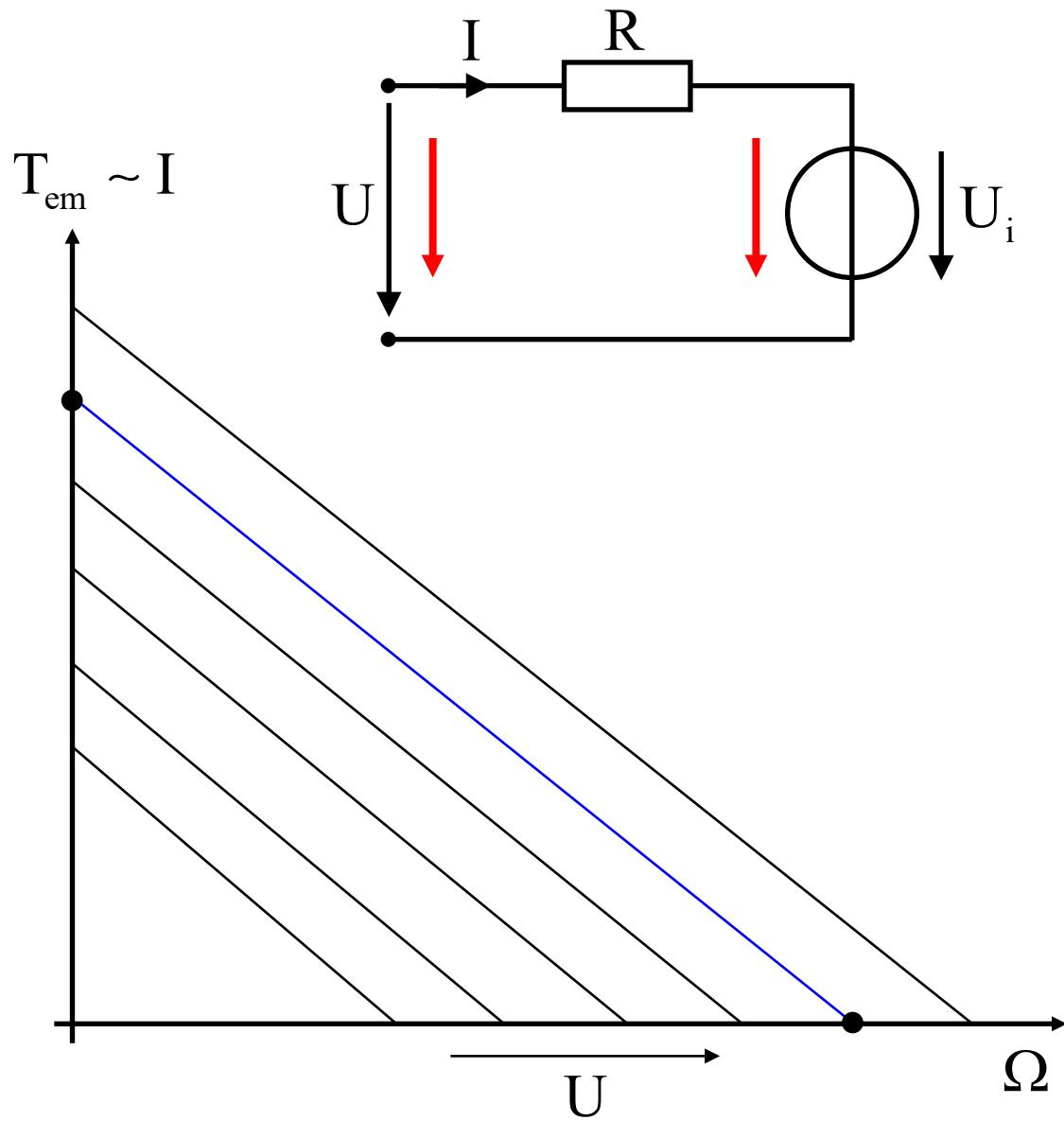
$$T_{em} = k_\Phi I$$

$$k_\Phi = k_{if} I_f \rightarrow I_f = \text{cste}$$

$$U = RI + k_\Phi \Omega$$

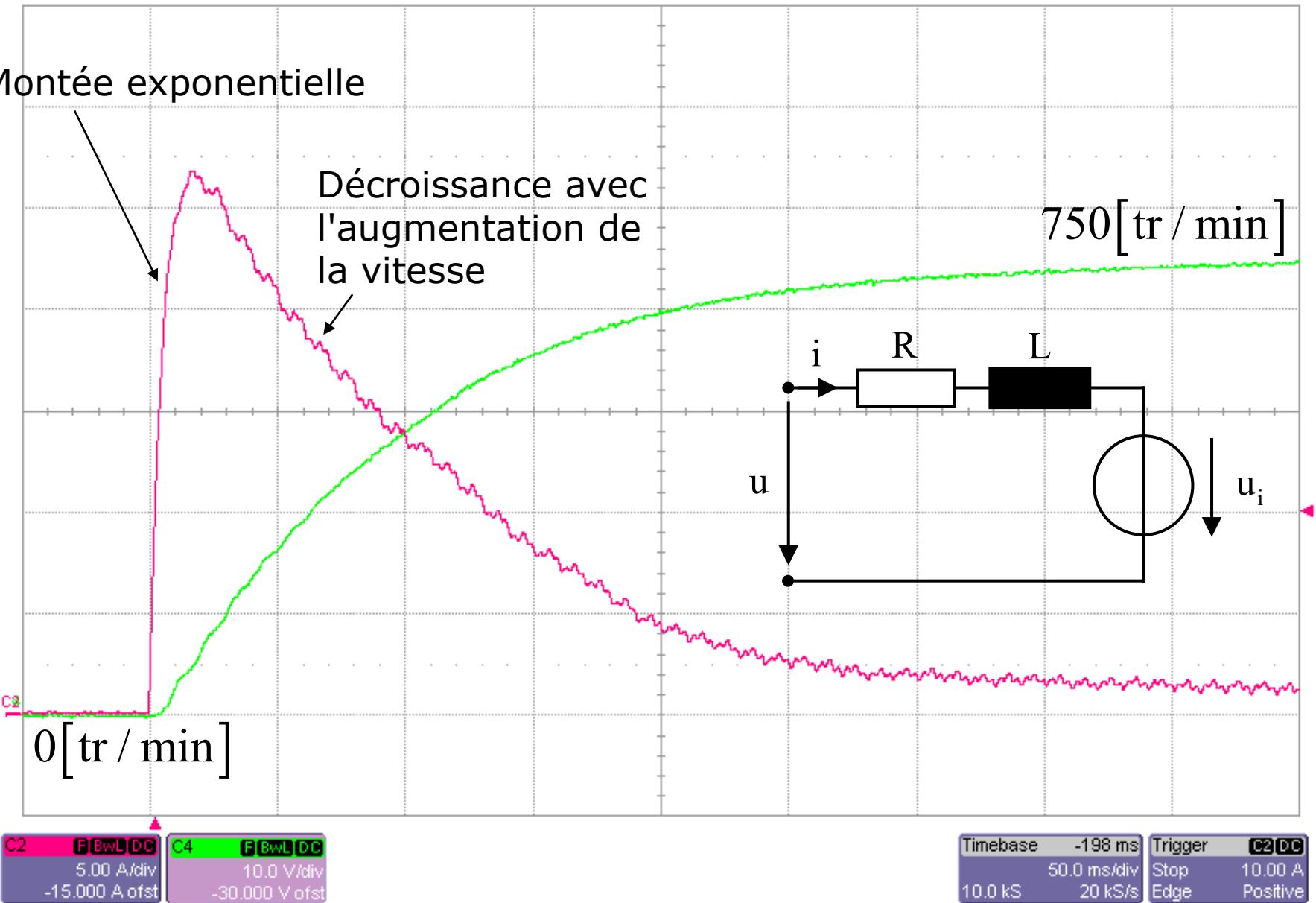
$$I = \frac{U - k_\Phi \Omega}{R} = \frac{T_{em}}{k_\Phi}$$

$$T_{em} = k_\Phi \frac{U - k_\Phi \Omega}{R}$$



Démarrage d'un moteur à courant continu 1.8 kW

Démarrage à demi tension 100V (750 tr/min à vide)



DETAILS

RE 65 Ø65 mm, Graphite Brushes, 250 Watt

Part number 353294



VALUES AT NOMINAL VOLTAGE

| | |
|---|-----------|
| Nominal voltage | 18 V |
| No load speed | 3520 rpm |
| No load current | 755 mA |
| Nominal speed | 3250 rpm |
| Nominal torque (max. continuous torque) | 427 mNm |
| Nominal current (max. continuous current) | 10 A |
| Stall torque | 13600 mNm |
| Stall current | 295 A |
| Max. efficiency | 81 % |

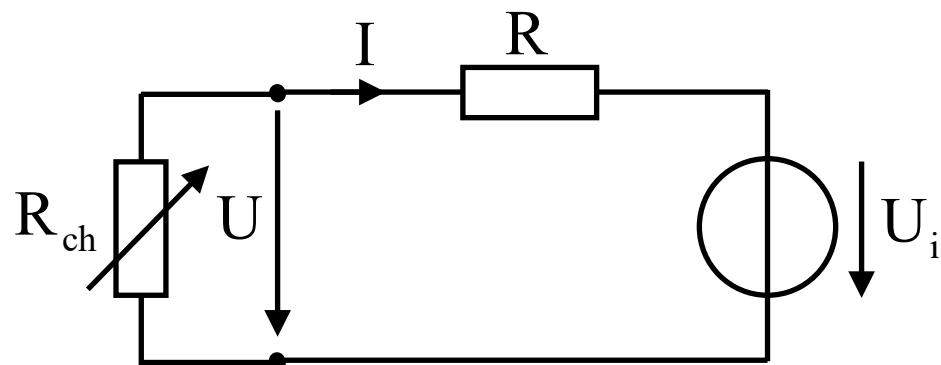
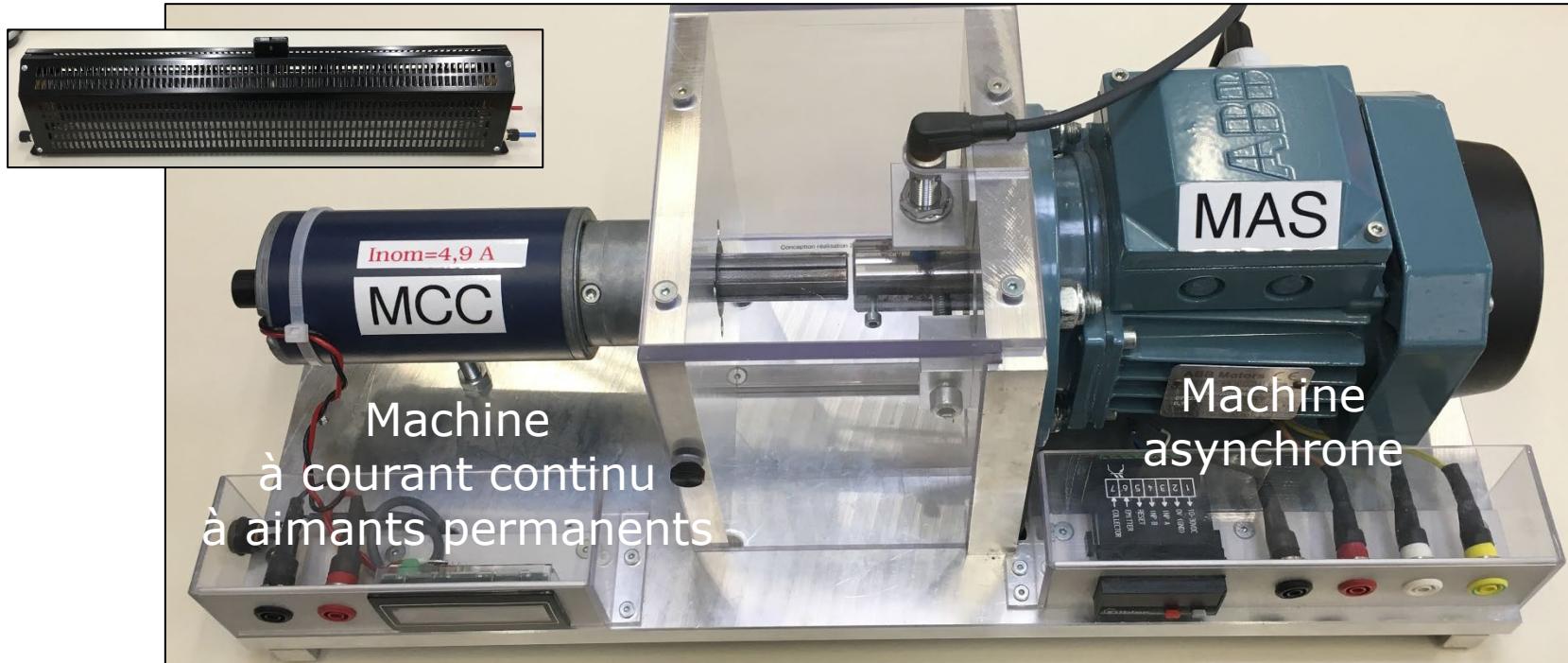
CHARACTERISTICS

| | |
|--------------------------|-----------------------|
| Terminal resistance | 0.0609 Ω |
| Terminal inductance | 0.0226 mH |
| Torque constant | 46 mNm/A |
| Speed constant | 208 rpm/V |
| Speed / torque gradient | 0.275 rpm/mNm |
| Mechanical time constant | 3.98 ms |
| Rotor inertia | 1380 gcm ² |

Sommaire

- Principe de fonctionnement
- Equation de tension, tension induite de mouvement et schéma équivalent
- Bilan de puissance
Couple électromagnétique
Modes de fonctionnement
- Moteurs à courant continu
- Machine à courant continu fonctionnant en génératrice
- Génératerices à courant continu
- Moteur universel
- Machines à courant continu

Exemple de machine à courant continu fonctionnant en génératrice I



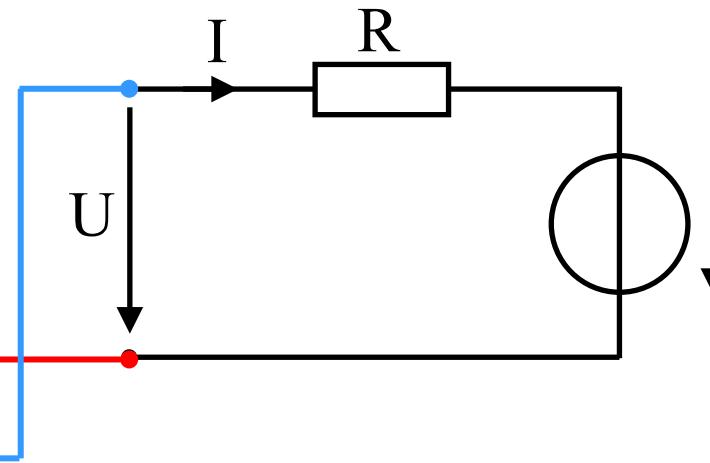
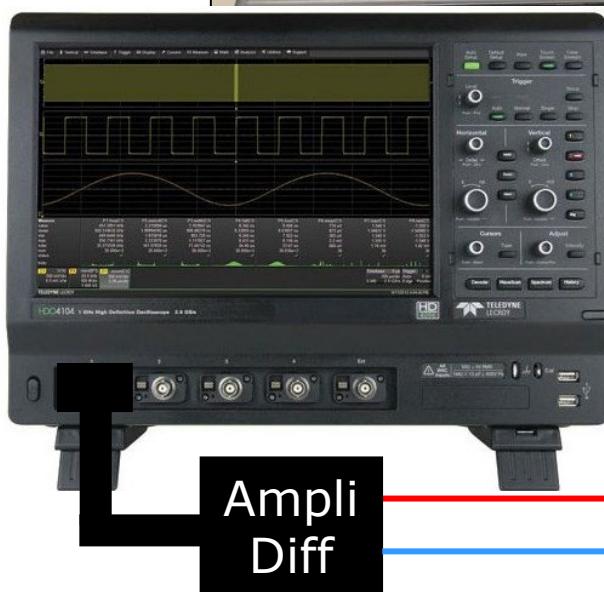
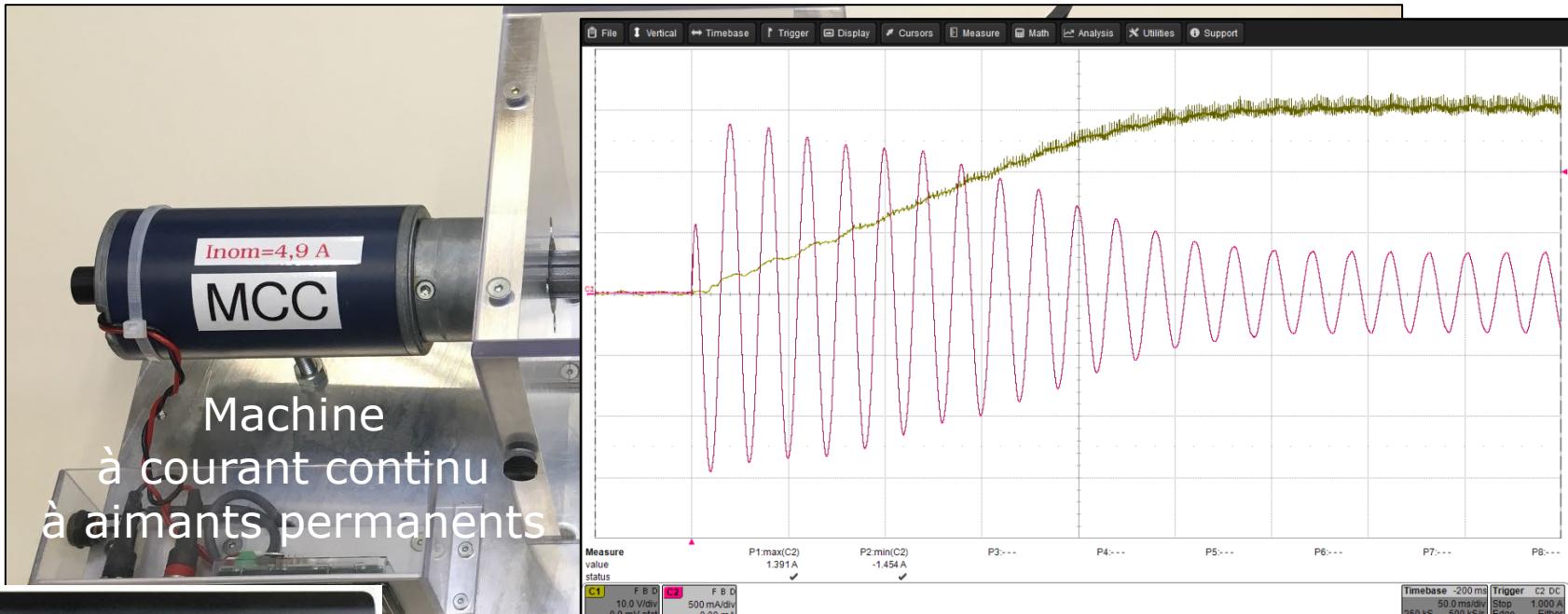
$$U = R I + U_i$$

$$U_i = k_\Phi \Omega$$

$$T_{em} = k_\Phi I$$

La résistance variable permet de changer la charge.

Considération sur la mesure de vitesse effectuée aux TPs pour la machine asynchrone

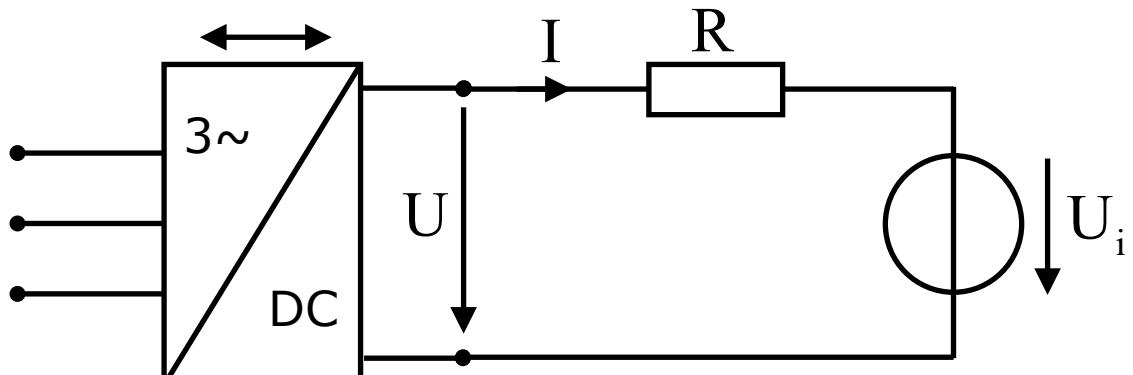
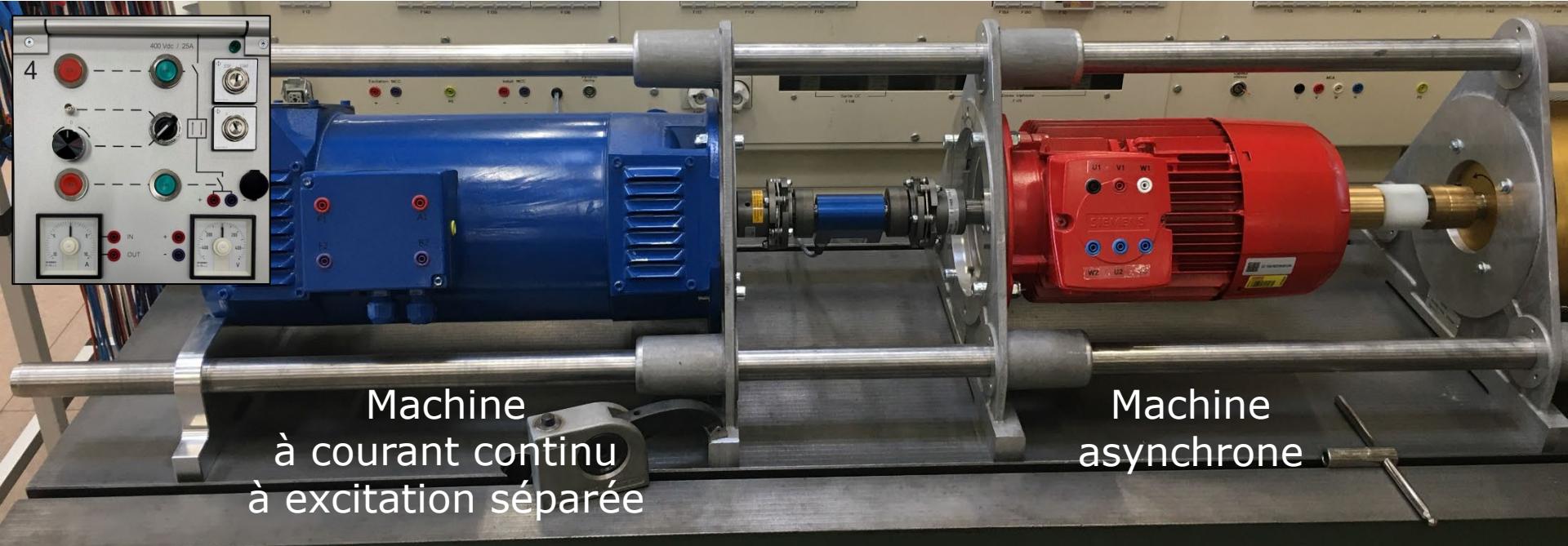


$$U = R I + U_i$$

$$U_i = k_\Phi \Omega$$

$$T_{em} = k_\Phi I$$

Exemple de machine à courant continu fonctionnant en génératrice II



Le convertisseur règle I en agissant sur U .
Comme $T_{em} \sim I$, le couple est réglé.

$$I_f = \text{cste}$$

$$U = R I + U_i$$

$$U_i = k_{if} I_f \quad \Omega = k_\Phi \Omega$$

$$T_{em} = k_{if} I_f I = k_\Phi I$$

Sommaire

- Principe de fonctionnement
- Equation de tension, tension induite de mouvement et schéma équivalent
- Bilan de puissance
Couple électromagnétique
Modes de fonctionnement
- Moteurs à courant continu
- Machine à courant continu fonctionnant en génératrice
- **Génératerices à courant continu**
- Moteur universel
- Machines à courant continu

Génératerice à courant continu



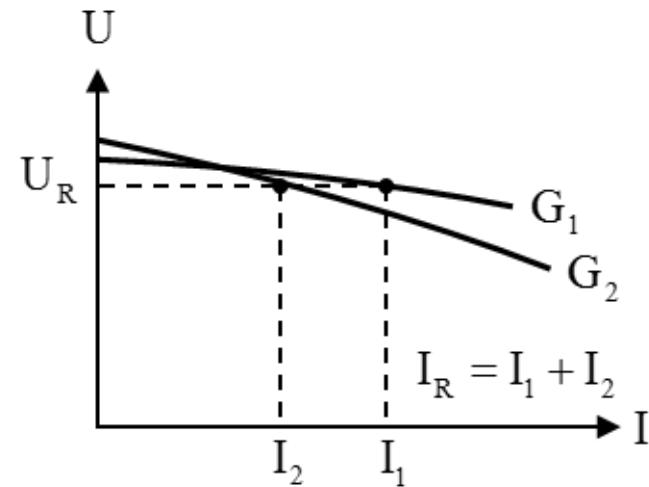
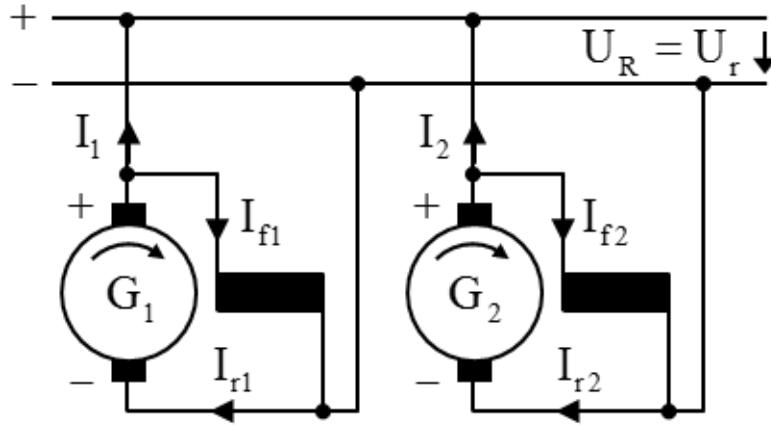
Génératerice à courant continu

Entraînée à vitesse constante, elle doit fournir une tension constante.

- Excitation séparée
- Excitation shunt (parallèle)

$$U_r = R_r I_r + k_{if} I_f \Omega$$

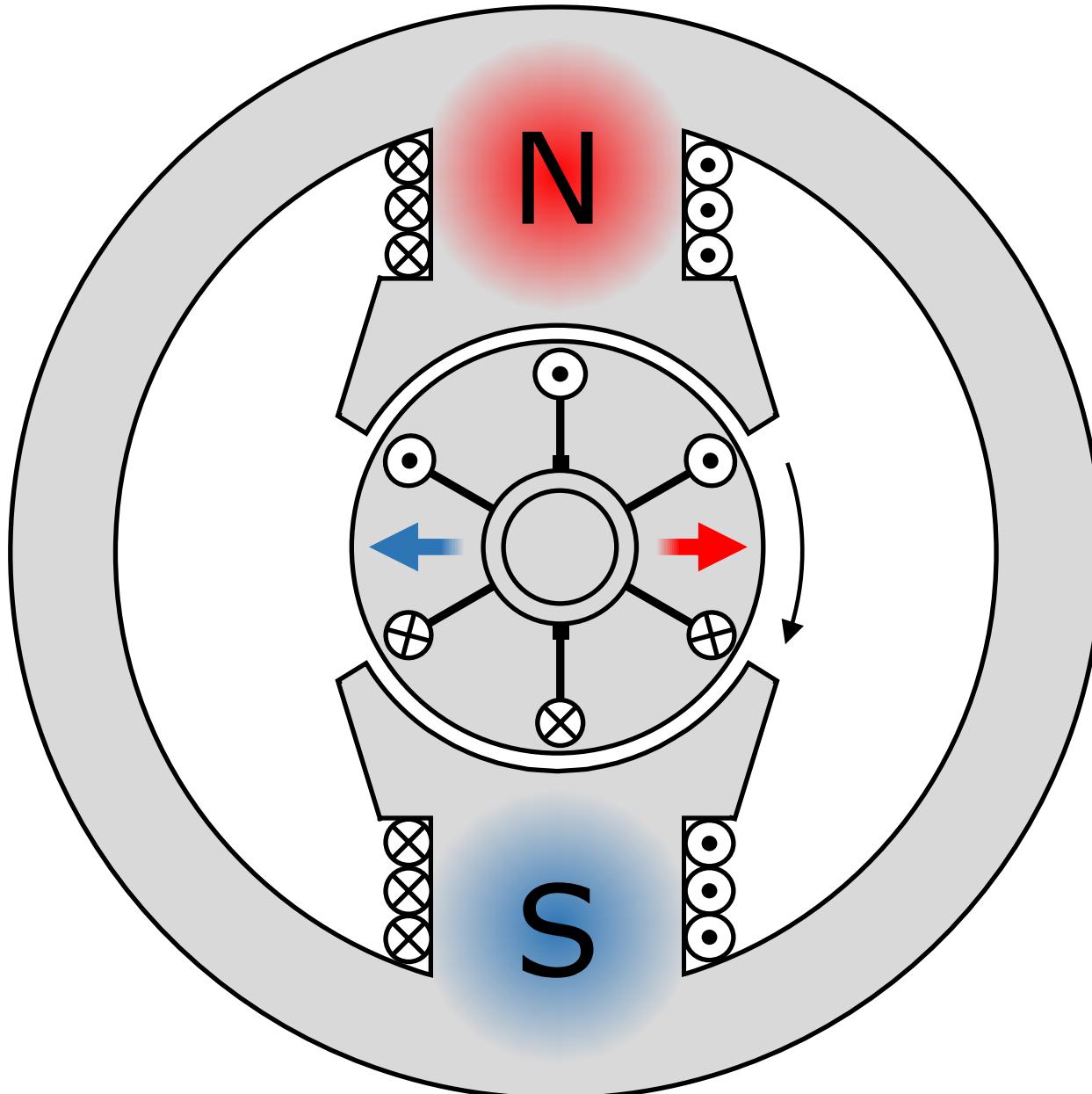
Mise en parallèle de génératrices à courant continu à excitation shunt



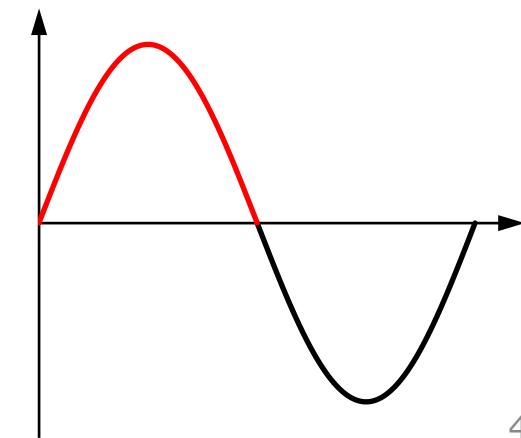
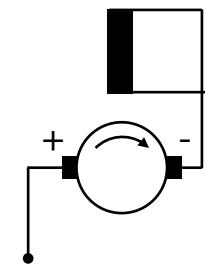
Sommaire

- Principe de fonctionnement
- Equation de tension, tension induite de mouvement et schéma équivalent
- Bilan de puissance
Couple électromagnétique
Modes de fonctionnement
- Moteurs à courant continu
- Machine à courant continu fonctionnant en génératrice
- Génératerices à courant continu
- **Moteur universel**
- Machines à courant continu

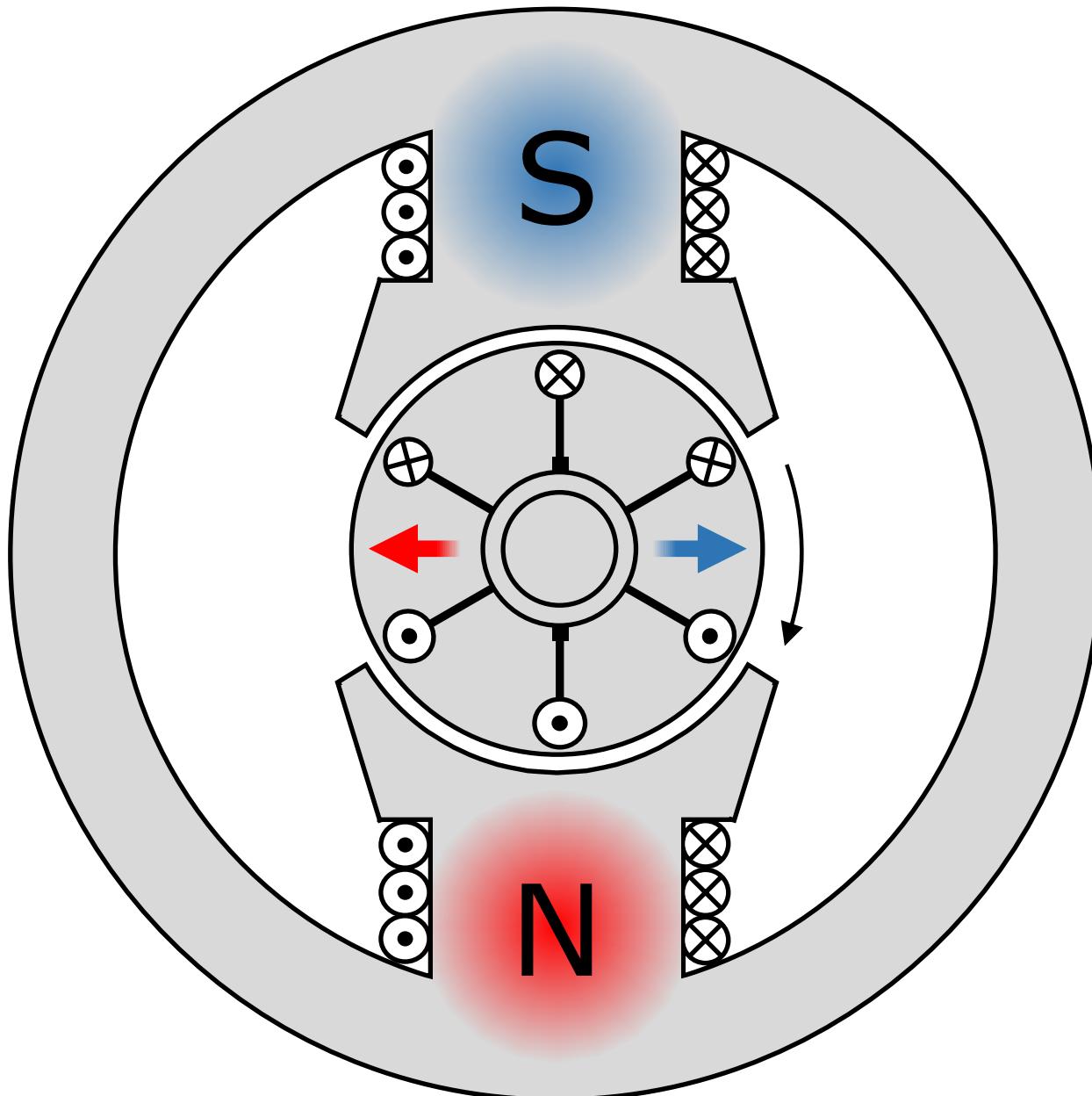
Moteur universel



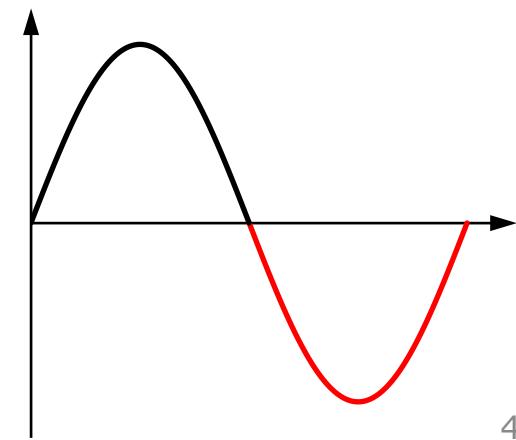
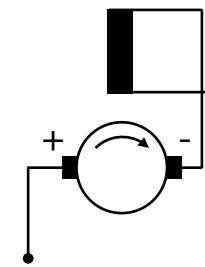
Moteur à excitation série,
alimenté en sinus



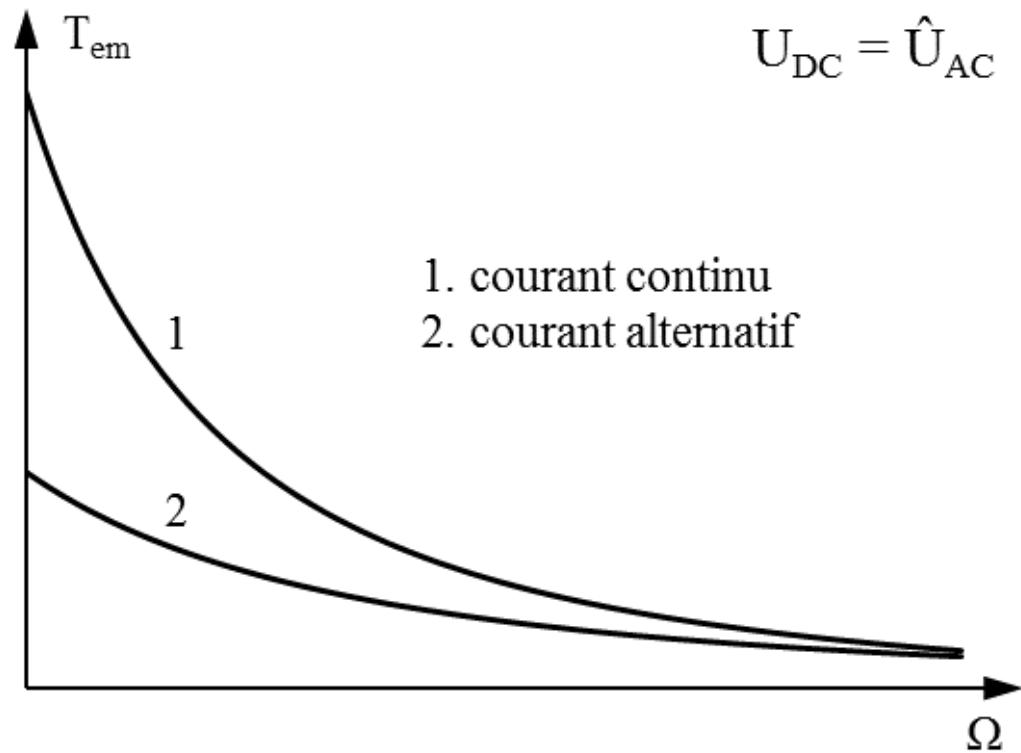
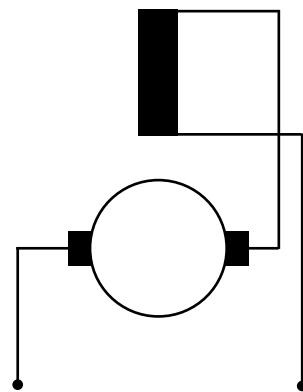
Moteur universel



Moteur à excitation série,
alimenté en sinus



Moteur universel

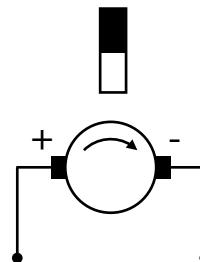


Sommaire

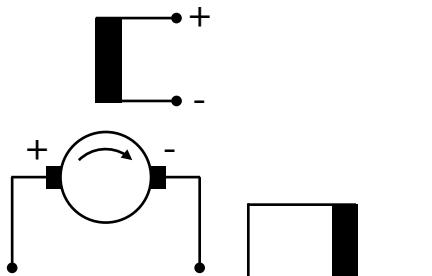
- Principe de fonctionnement
- Equation de tension, tension induite de mouvement et schéma équivalent
- Bilan de puissance
Couple électromagnétique
Modes de fonctionnement
- Moteurs à courant continu
- Machine à courant continu fonctionnant en génératrice
- Génératerices à courant continu
- Moteur universel
- **Machines à courant continu**

Machines à courant continu

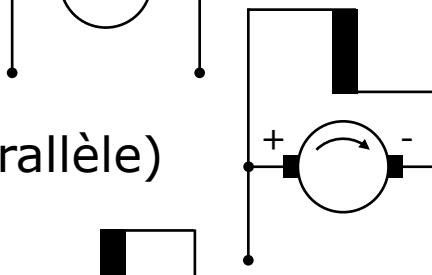
- Aimants permanents



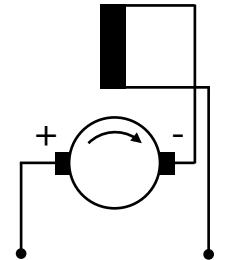
- Excitation séparée



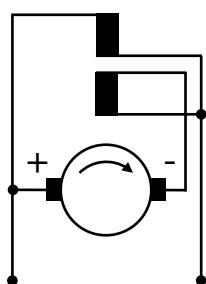
- Excitation shunt (parallèle)



- Excitation série



- Excitation compound (hyper ou hypo)



Exemples :

- Petites applications

- Générateur

- Traction

- Générateur (mise en // possible)

- Démarrage de voiture

- Petit électroménager (moteur universel)

- Traction