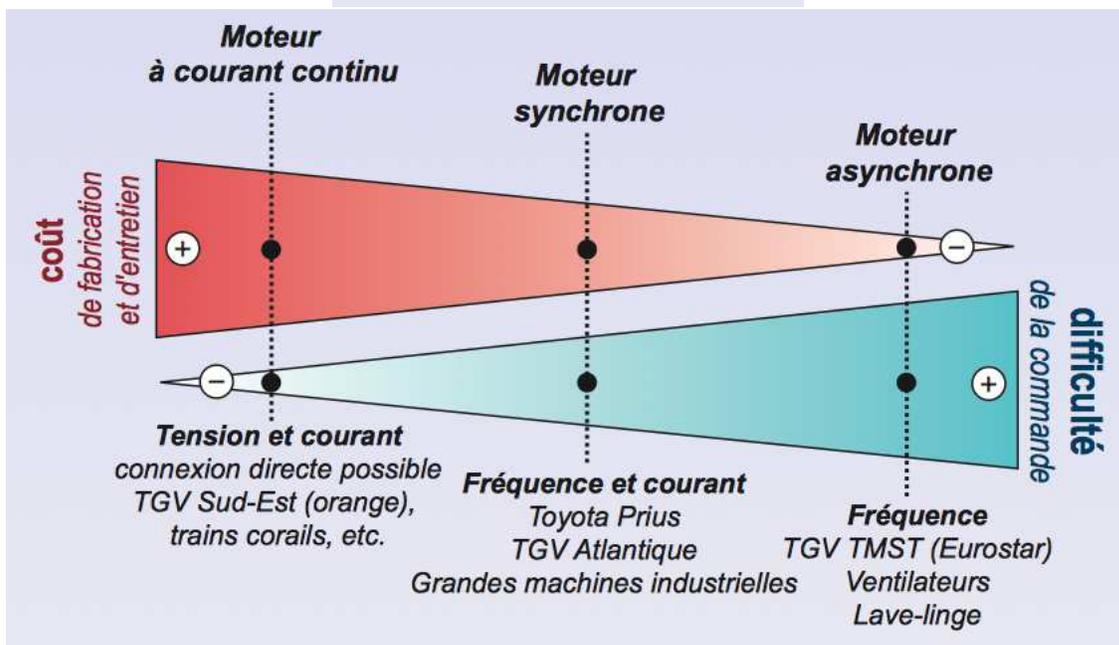
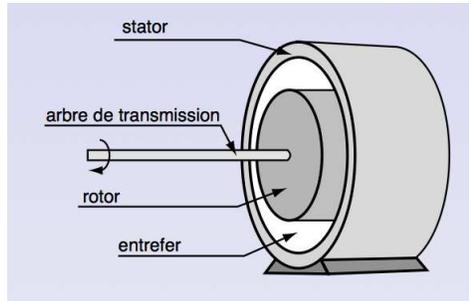


### 1. Introduction

On a vu :

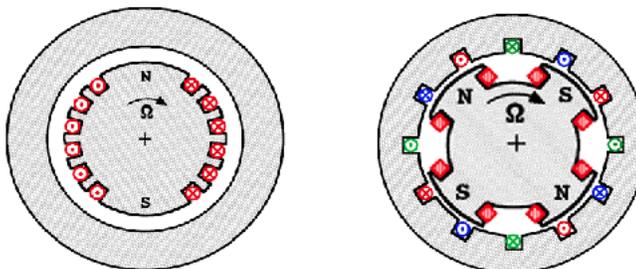
- les milieux magnétiques
- les actionneurs
- les force et couple en fonction de l'énergie

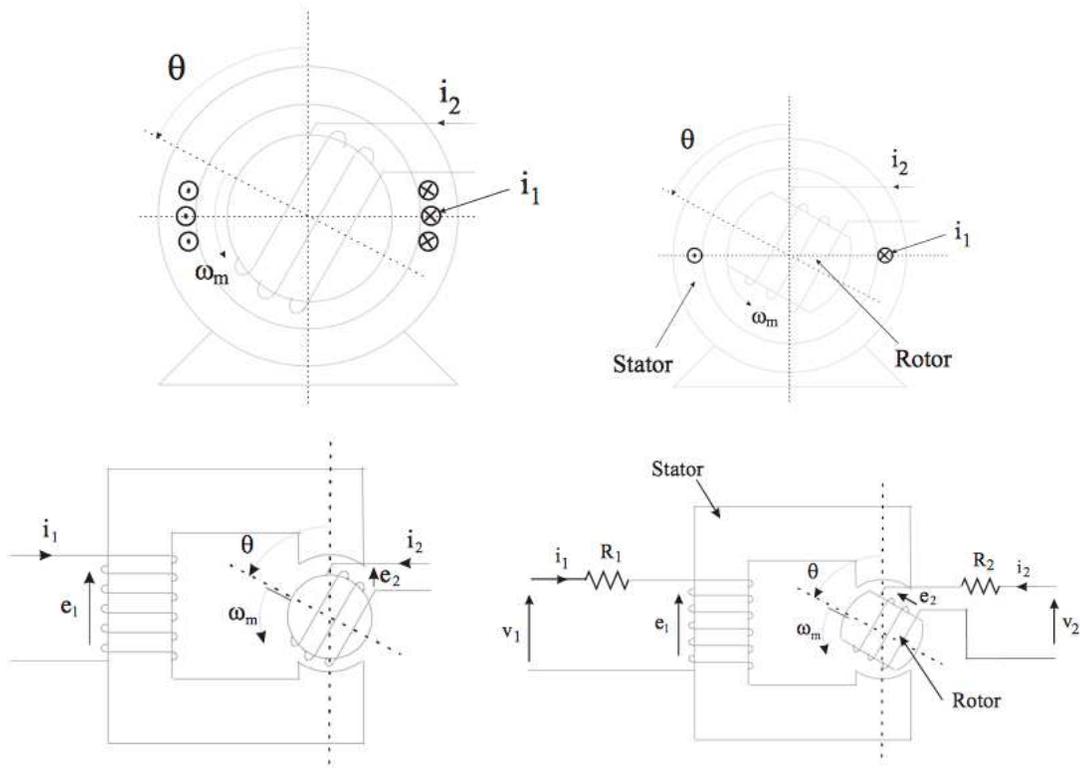
Il s'agit maintenant d'étudier des convertisseurs réversibles, fonctionnant en moteur ou en générateur. On peut réaliser ainsi des "machines synchrones"



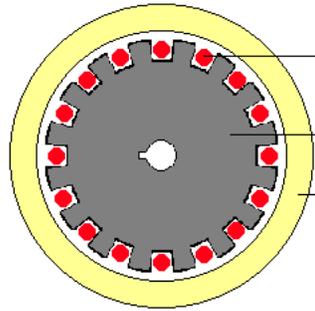
### 2. Vocabulaire associé

#### 2.1 Rotor, stator, pôles lisses ou saillants

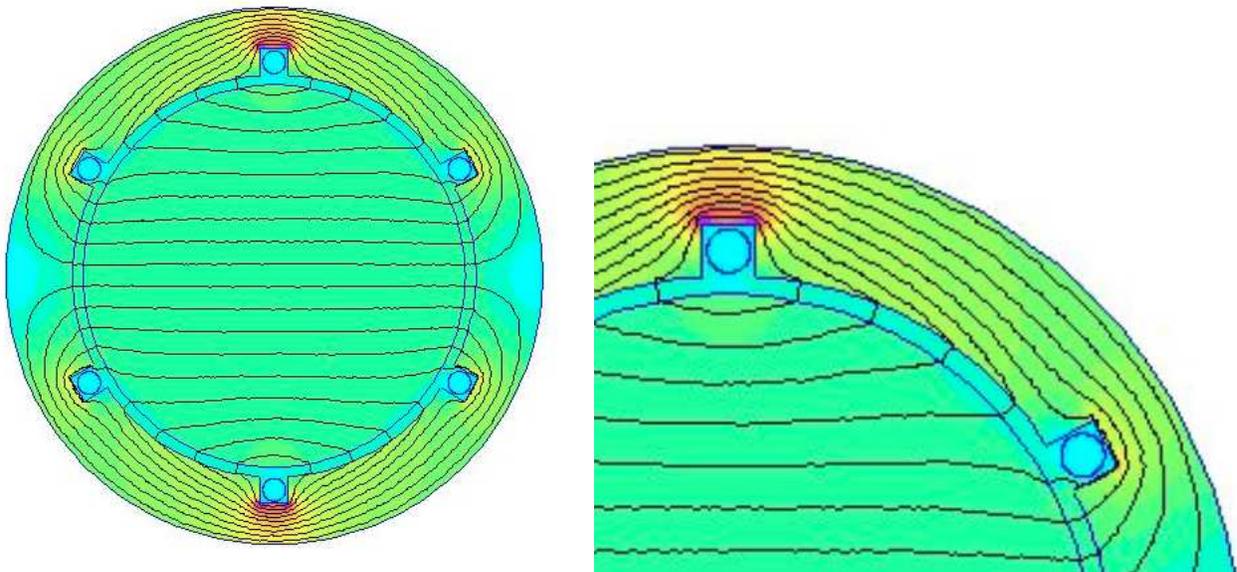




2. 2 Spires du rotor ou cas d'un aimant permanent



2. 3 Spires du stator : lignes de champ

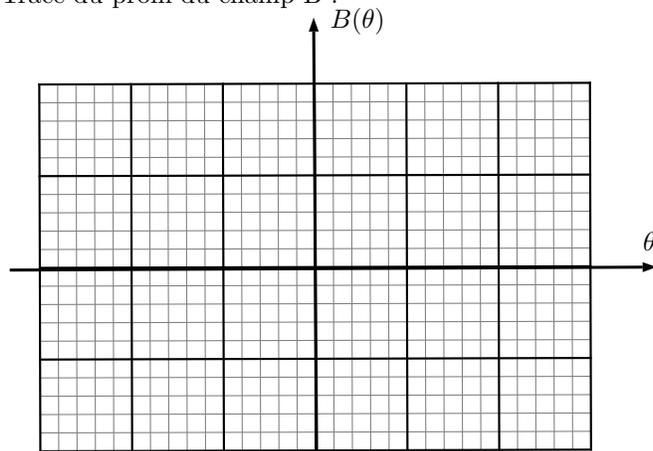


- Identification de la spire
- les LDC coupent le plan de la spire perpendiculairement
- les LDC sont radiales dans l'entrefer

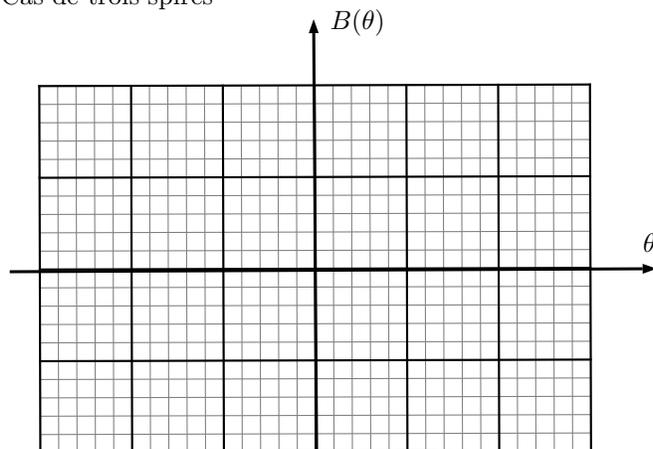
#### 2.4 Conséquence : expression du champ B dans l'entrefer

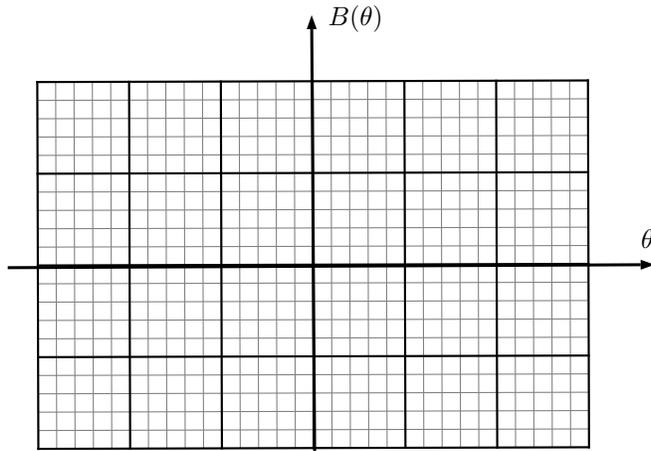
Théorème d'Ampère dans l'entrefer :  $\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = i$

Tracé du profil du champ B :



Cas de trois spires



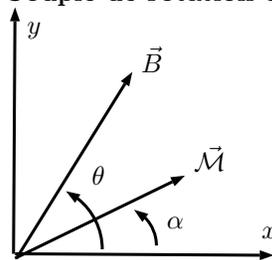


2.5 Champ glissant, champ tournant

On va chercher à créer un champ magnétique de direction variable :

(a) Interaction avec un dipôle  $\vec{\mathcal{M}}$

(b) Couple de rotation et entraînement : sans frottements



On a un champ tournant du type :  $\vec{B} = B_0(\cos \omega t \vec{u}_x + \sin \omega t \vec{u}_y)$

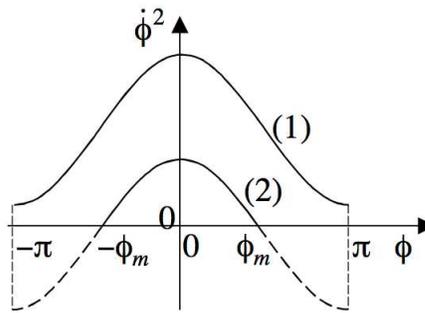
$$\theta = \omega t$$

$$J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} \vec{u}_z = \vec{\mathcal{M}} \wedge \vec{B} = \mathcal{M} B \sin(\theta - \alpha) \vec{u}_z$$

$$\ddot{\alpha} = \frac{\mathcal{M} B}{J} \sin(\omega t - \alpha) \text{ avec } \Phi(t) = \alpha(t) - \omega t$$

$$\ddot{\Phi} = -\frac{\mathcal{M} B}{J} \sin \Phi$$

$$\frac{\dot{\Phi}^2}{2} = \frac{\mathcal{M} B}{J} \cos \Phi + cste \text{ donc } \frac{\dot{\Phi}^2}{2} = \frac{\mathcal{M} B}{J} (\cos \Phi - 1) + \frac{\dot{\Phi}_0^2}{2}$$



Si  $\dot{\Phi}_0^2 > \frac{4MB}{J}$ , on obtient la courbe (1) et on voit que  $\dot{\Phi}$  ne s'annule jamais, ce qui signifie qu'il n'y a jamais de changement de sens de variation : la fonction  $\Phi$  est soit croissante soit décroissante.

Si  $\dot{\Phi}_0^2 < \frac{4MB}{J}$ , on obtient la courbe (2) et on a donc  $\Phi$  reste compris entre deux valeurs  $-\Phi_m$  et  $+\Phi_m$  : oscillations autour de la direction du champ, tout en étant entraînée avec le champ.

Dans les deux cas on n'obtient pas de rotation uniforme.

(c) **Couple de rotation et entraînement : avec frottements**

C'est le cas où l'on obtient une rotation uniforme.

$$J \frac{d^2\alpha}{dt^2} = MB \sin(\theta - \alpha) + \frac{\Gamma}{J} \text{ avec } \Gamma = -j\dot{\alpha}$$

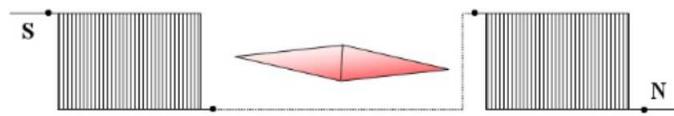
Solution stationnaire :  $\dot{\alpha} = \omega_0$  donc  $\alpha = \omega_0 t - \alpha_0$

$$0 = MB \sin((\omega - \omega_0)t + \alpha_0) - \frac{f\omega_0}{J}$$

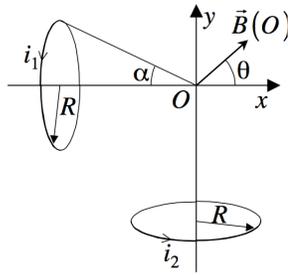
Cette solution n'est acceptable que si  $\omega_0 = \omega$  et  $\sin \alpha_0 = \frac{f\omega_0}{MB}$   
 Le dipôle tourne alors avec la même vitesse angulaire que le champ magnétique, avec un retard de phase  $\alpha_0$  d'autant plus grand que la résistance est élevée. Ce n'est toutefois possible que si  $\frac{f\omega_0}{MB} < 1$ . Sinon, la résistance est trop forte pour permettre une solution stationnaire.

(d) **Théorème de FERRARIS**

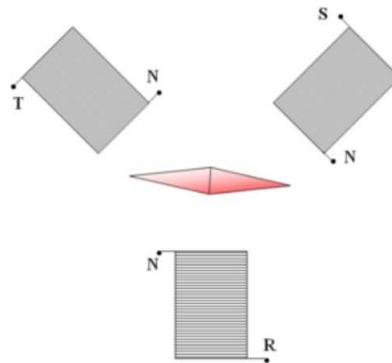
(e) **Champ tournant à un champ**



(f) Champ tournant à deux champs orthogonaux



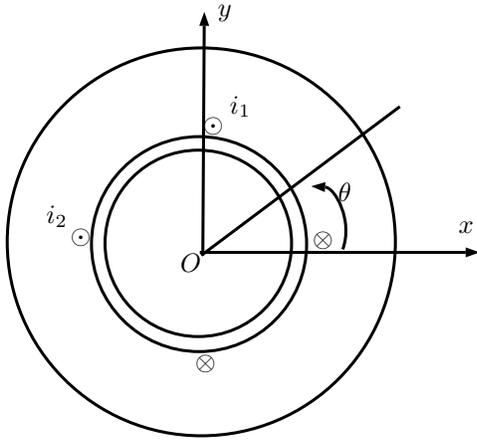
(g) Champ tournant à trois champs



### 3. Etude du rotor

#### 3. 1 Champ magnétique radial créé par le stator

Le champ créé par le stator est, dans le cas de deux spires orthogonales,  $\vec{B}_S = K(i_1 \cos \theta + i_2 \sin \theta)\vec{u}_r$  radial

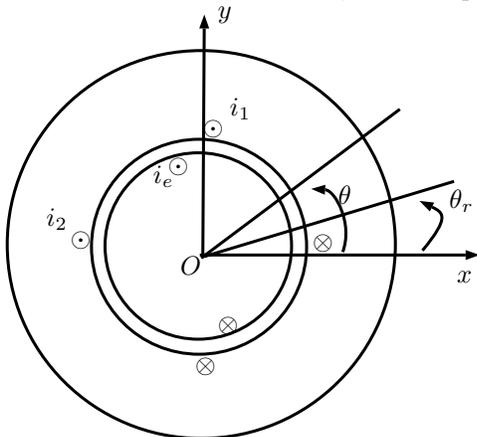


Les courants sont déphasés de  $\frac{\pi}{2}$  :  $i_1 = I_m \cos \omega t$  et  $i_2 = I_m \sin \omega t$

Le champ glissant est donc  $\vec{B}_S = KI_m \cos(\omega t - \theta) \vec{u}_r$

**3. 2 Champ glissant rotorique**

Dans le cas d'un rotor bobiné, alimenté par un courant  $i_e$ , on a :



Le champ magnétique glissant relatif au rotor est :

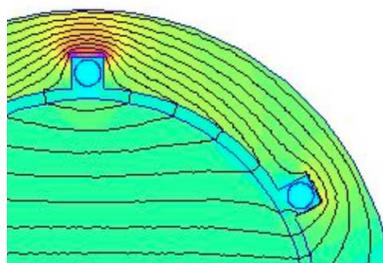
$$\vec{B}_R = K' I_e \cos(\theta - \theta_r) \vec{u}_r$$

**3. 3 Champ total dans l'entrefer**

Le champ total est  $\vec{B} = KI_m \cos(\omega t - \theta) \vec{u}_r + K' I_e \cos(\theta - \theta_r) \vec{u}_r$

**3. 4 Calcul du couple dans le cas des forces de Laplace**

Pourquoi ce calcul est impossible ici ?



### 3.5 Energie dans l'entrefer

$$\text{On part de } E = \iiint_{\text{entrefer}} \frac{B^2}{2\mu_0} d^3\mathcal{V}$$

$$E = \frac{K'^2 I_e^2 e h R}{4\mu_0} + \frac{K^2 I_s^2 e h R}{2\mu_0} + \frac{K' K I_s I_e e h R}{\mu_0} \cos(\omega t - \theta_r)$$

### 3.6 Calcul du couple

$$\text{On part de } C = \frac{\partial E}{\partial \theta_r}$$

En régime permanent  $\theta_r = \Omega t - \alpha$

donc  $C = A I_s I_e \sin((\omega - \Omega)t + \alpha)$

### 3.7 Rôle de $\alpha$

## 4. Schématisation électrique

### 4.1 Schéma

### 4.2 Diagramme de Behn Eschenburg