

## Contacteur électromagnétique en translation

### Exemple de l'électroaimant de levage

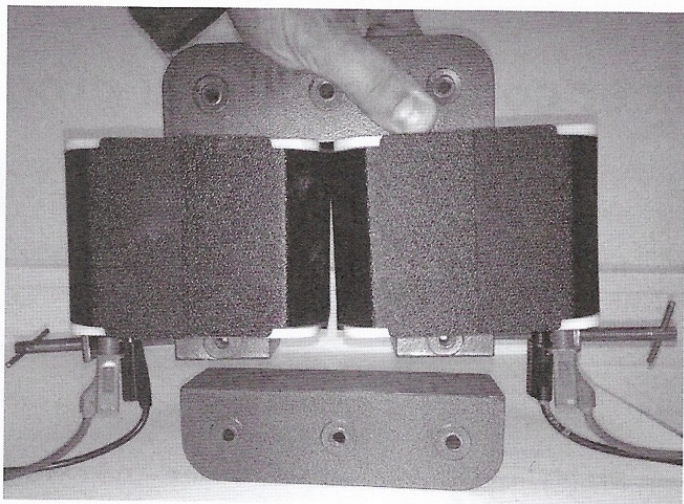


Figure 19.1. Électroaimant de levage de laboratoire d'enseignement.

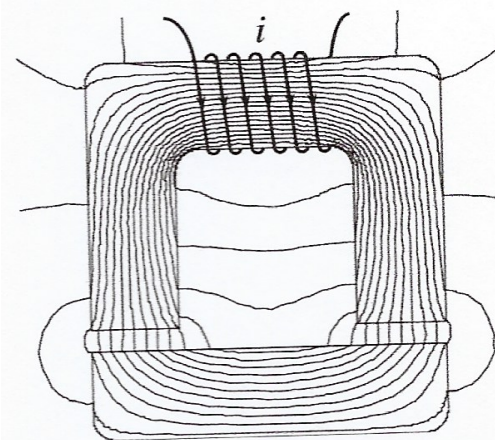
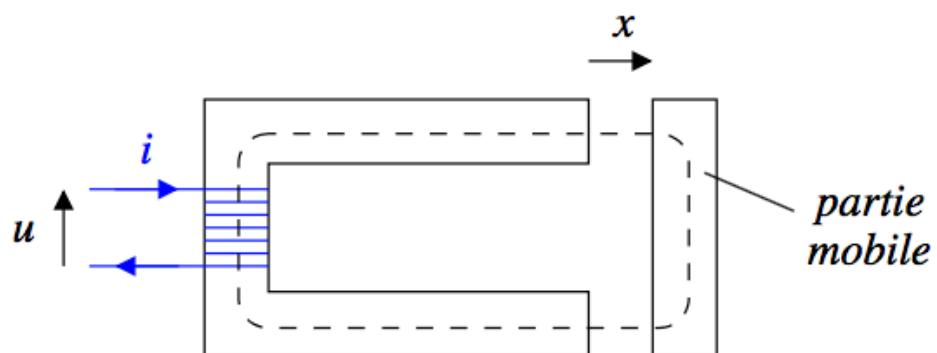


Figure 25.2 – Carte de champ.

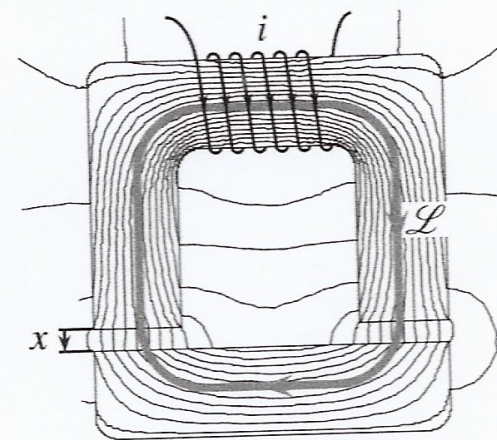
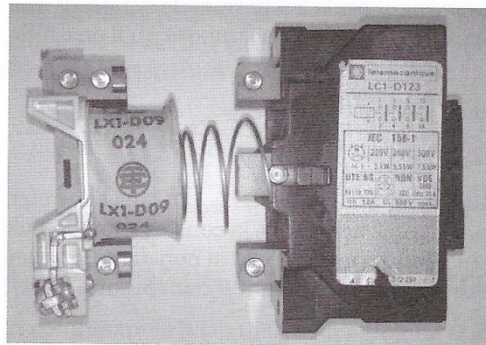
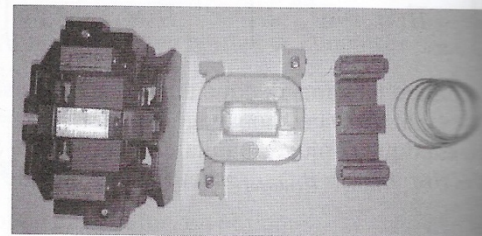


Figure 25.3 – Ligne de champ moyenne.

## Applications : le relais...



a. Un contacteur électromagnétique (relais) partiellement démonté.



b. Les différents constituants du contacteur électromagnétique.

**Figure 19.3.** Contacteur électromagnétique

Un contacteur électromagnétique est un interrupteur commandé constitué d'un circuit magnétique en deux parties, séparées par un entrefer et reliées l'une à l'autre par un ressort comprimé (voir les figures 19.3a et 19.3b). Autour d'une des parties du circuit magnétique, on enroule un fil conducteur, ce qui constitue la bobine excitatrice. Lorsque qu'un courant circule dans la bobine, un champ magnétique est engendré et le circuit emmagasine de l'énergie magnétique. Cette énergie électromagnétique est associée à une force électromagnétique qui attire les deux parties de circuit magnétique l'une vers l'autre en réduisant l'entrefer. La partie mobile est associée mécaniquement à un conducteur qui, lors de son déplacement, va fermer un circuit électrique secondaire. Lorsque qu'aucun courant ne circule dans la bobine, la force électromagnétique est nulle et les deux portions de circuit magnétique s'éloignent l'une de l'autre en raison de la force de rappel qu'exerce le ressort comprimé. Le contact du circuit secondaire est alors coupé.

Les contacteurs linéaires tels que celui étudié simplement ici offrent la possibilité de déplacer une pièce en translation sous l'effet d'une commande électrique.

Compte tenu du sens unique de la force s'exerçant sur la partie mobile, on doit munir le dispositif d'un système de rappel, par exemple à l'aide d'un ressort.

En l'absence d'intensité appliquée, la pièce mobile est écartée sous l'action de la force de rappel  $F_r$ , jusqu'à une butée. L'entrefer a alors la valeur  $e_0$ .

La commande de basculement s'effectue par l'intermédiaire du passage d'un courant d'intensité  $I_0$ , qui doit être suffisante pour vaincre la force du ressort (la différence est proportionnelle à l'accélération) :

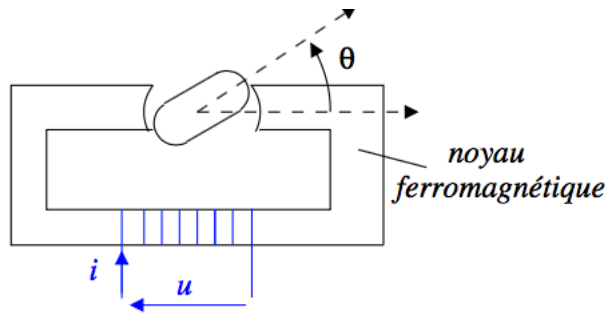
$$\mu_0 \frac{(NI_0)^2}{2} \frac{S}{e_0^2} > F_r.$$

Une fois la pièce mobile déplacée, jusqu'à quasiment annuler l'entrefer, il n'est plus nécessaire d'imposer une intensité aussi élevée que celle qui a déclenché la commutation, il suffit d'une faible intensité de maintien, qui permette de vaincre la force de rappel.

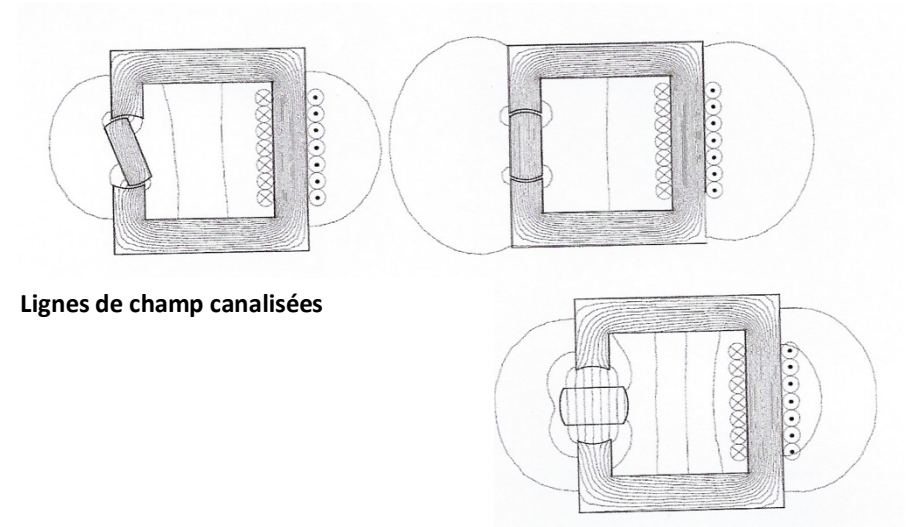
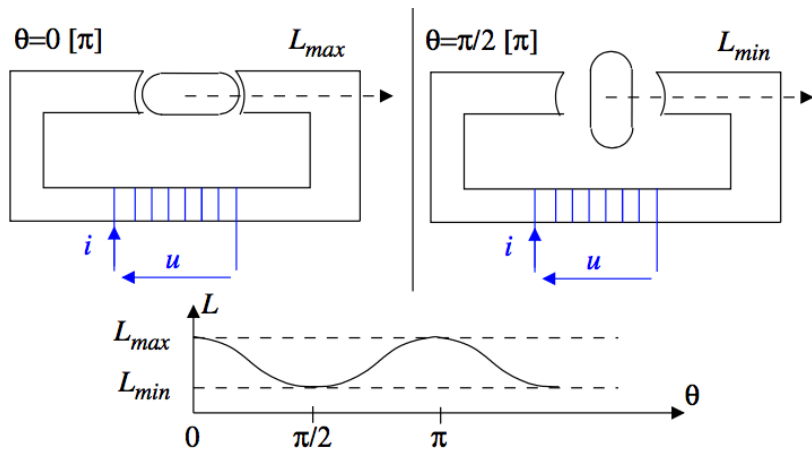
De multiples applications résultent de ce principe de fonctionnement d'actionneur en translation. Quelques exemples peuvent être cités :

- le déplacement d'une vanne de circuit hydraulique commandé à distance, ou effectué de manière automatique ;
- l'ouverture/fermeture d'un circuit électrique, avec une isolation galvanique importante. La pièce déplacée est solidaire d'un conducteur électrique, dont le déplacement permet d'ouvrir un circuit. On peut ainsi, par un signal de faible puissance, commander l'état de fonctionnement d'un circuit de très forte puissance.

**Un exemple de contacteur en rotation :  
le moteur à réluctance variable**

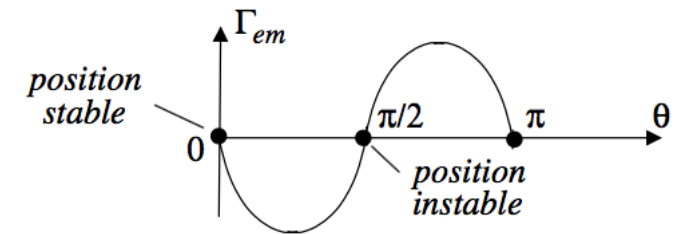


Modélisation simple d'une inductance périodique selon l'angle

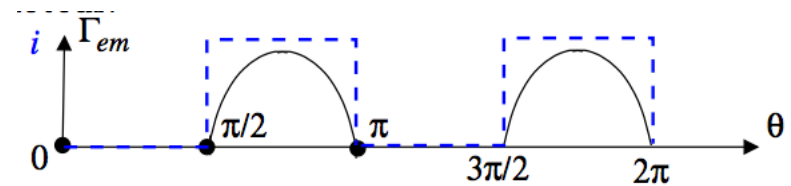


Lignes de champ canalisées

Couple résultant du circuit magnétique

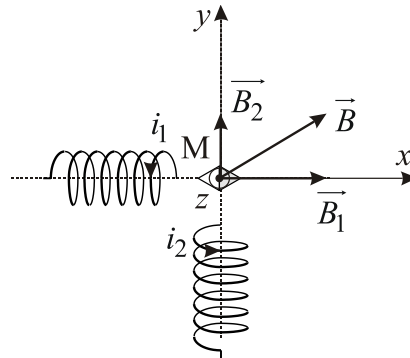


Un exemple d'une intensité variable pour le fonctionnement moteur

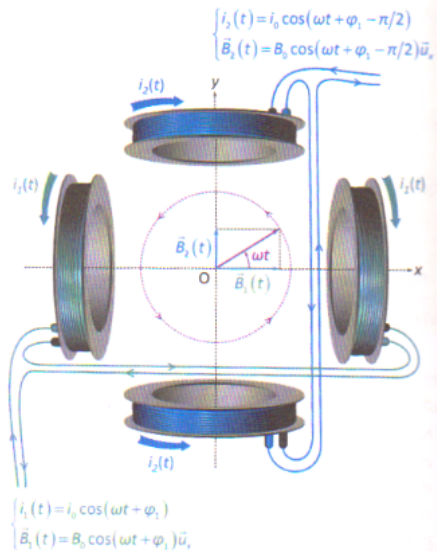


➔ Rappel PCSI :  
Principe du moteur synchrone

Création d'un champ magnétique tournant

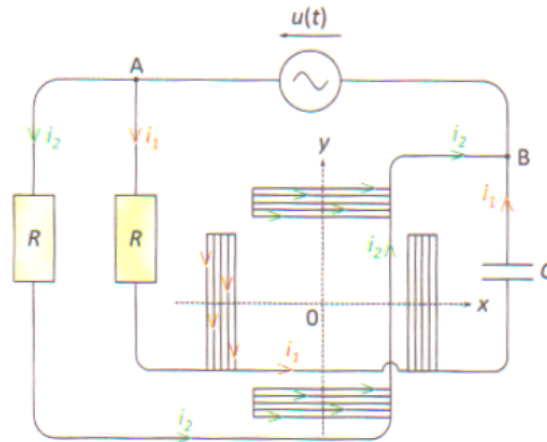


a Réalisation d'un champ magnétique tournant



Mise en rotation d'un moment magnétique avec champ tournant

b Schéma électrique d'alimentation



➔ Architecture de la machine synchrone

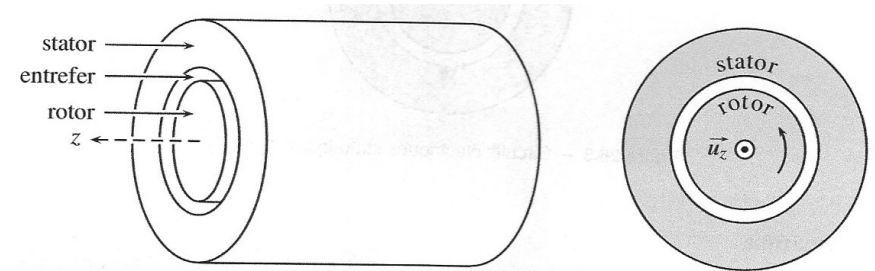


Figure 26.1 – Vue et coupe d'une machine synchrone.

Constitution du rotor

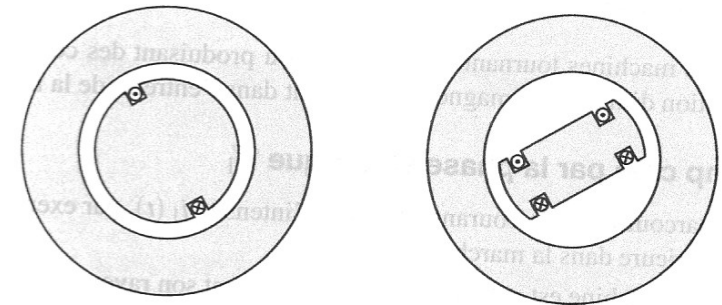


Figure 26.4 – Les deux types de rotor : pôle lisse à gauche, pôle saillant à droite.

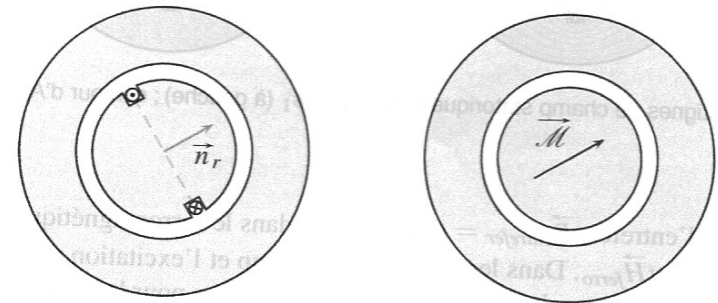


Figure 26.5 – Rotor bobiné à gauche, à aimants permanents à droite.

Constitution du stator : deux circuits électriques statoriques pour la machine diphasée forment l'induit

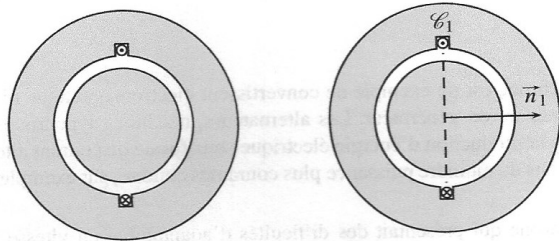


Figure 26.2 – Circuit électrique statorique  $\mathcal{C}_1$  et son vecteur normal.

Un second circuit électrique, identique au premier, mais tourné de  $+\pi/2$ , est ajouté. Son vecteur normal  $\vec{n}_2$ , non représenté, serait vertical ascendant sur la figure 26.3.

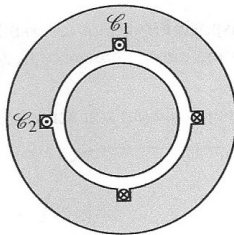


Figure 26.3 – Circuits électriques statoriques  $\mathcal{C}_1$  et  $\mathcal{C}_2$ .

## → Champs magnétiques glissants dans l'entrefer

Excitation et champ magnétiques créés par une phase statorique

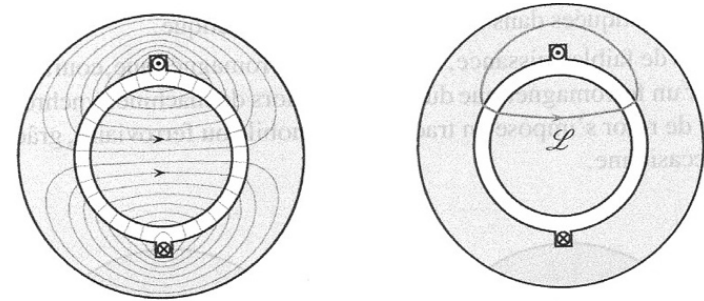


Figure 26.6 – Lignes de champ statorique créées par  $\mathcal{C}_1$  (à gauche) ; contour d'Ampère (à droite).

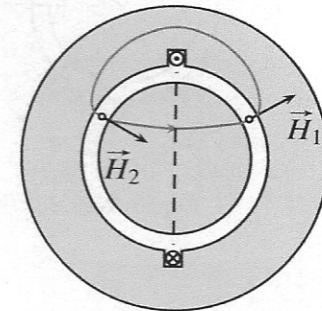


Figure 26.7 – Propriété de symétrie.

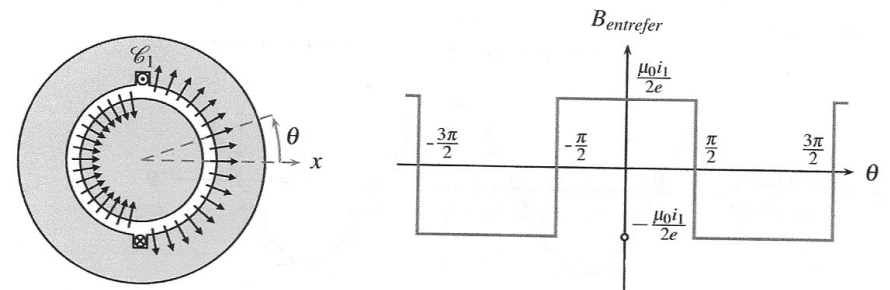


Figure 26.8 – Champ magnétique créé par une phase dans l'entrefer.

### Effet d'une multiplication des encoches

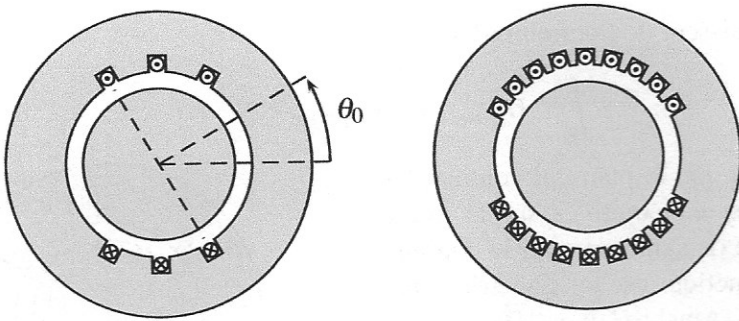


Figure 26.9 – Effet d'une multiplication des encoches.

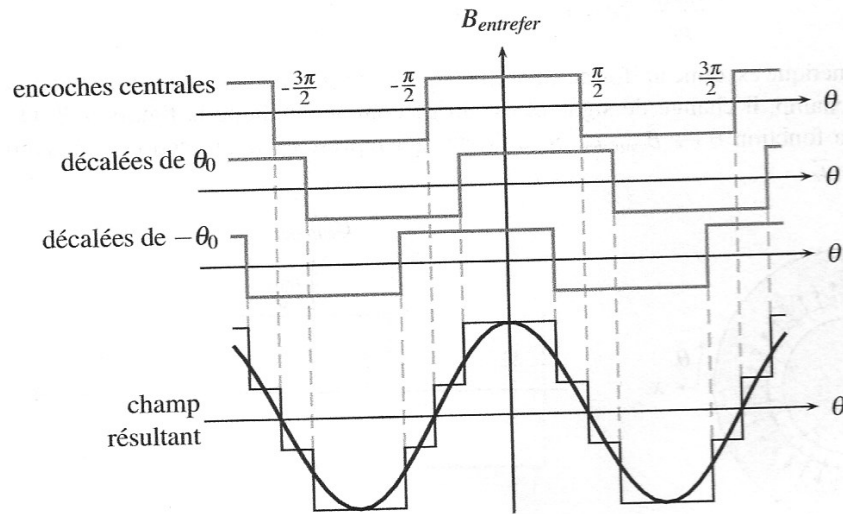


Figure 26.10 – Construction graphique dans le cas de 3 paires d'encoches.

Avec de nombreuses encoches, judicieusement placées, l'enroulement  $\mathcal{C}_1$ , parcouru par le courant d'intensité  $i_1(t) = I_S \cos(\omega t)$ , génère au point  $M$  de l'entrefer, repéré par l'angle  $\theta$ , le champ magnétique :

$$\vec{B}_{S1}(M, t) = K_S i_1(t) \cos(\theta) \vec{u}_r(M).$$

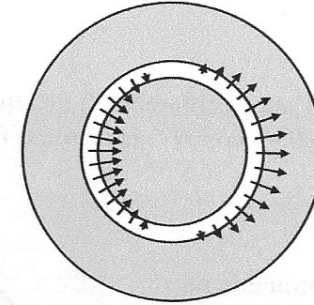


Figure 26.11 – Multiplication des encoches : champ spatialement harmonique.

### Champ magnétique glissant créé par les deux phases statoriques

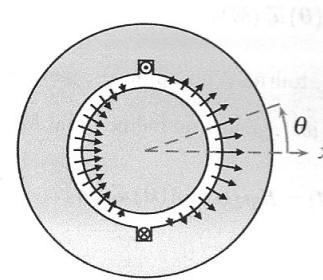


Figure 26.12 – Champ magnétique en un angle  $\theta$ .

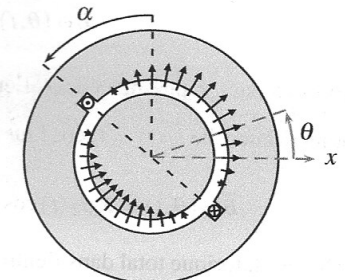


Figure 26.13 – Effet d'une rotation des encoches.

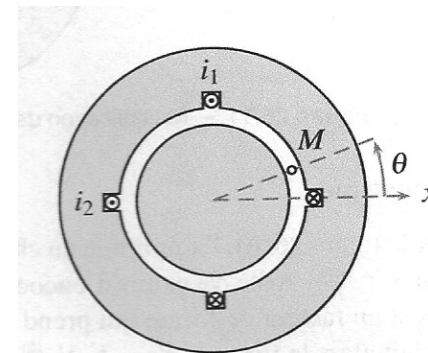
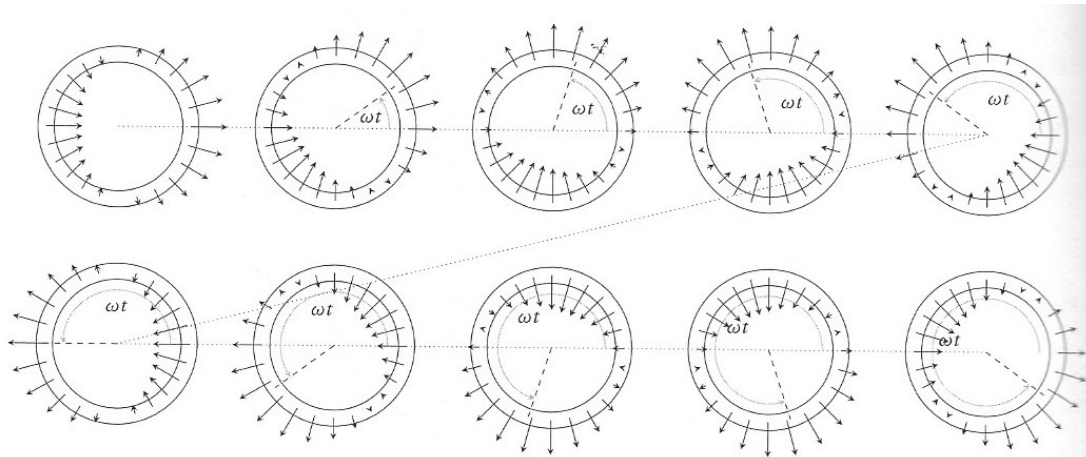
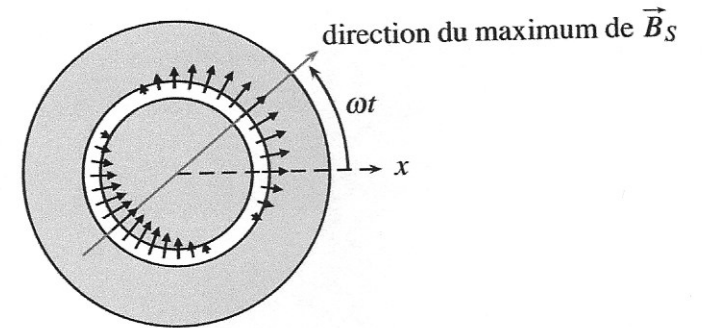


Figure 26.14 – Alimentation des deux circuits statoriques.

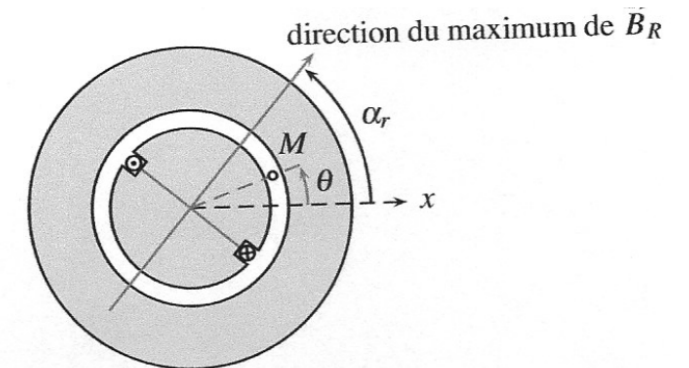


**Figure 20.4.** Évolution temporelle du champ magnétique statorique en différents points régulièrement répartis dans l'entrefer (la lecture s'effectue de gauche à droite et de haut en bas, selon le trait en pointillés).



**Figure 26.15** – Champ glissant résultant.

### Repérage du champ glissant rotorique



**Figure 26.16** – Champ rotorique.

Superposition des champs glissants et repérage du retard de phase

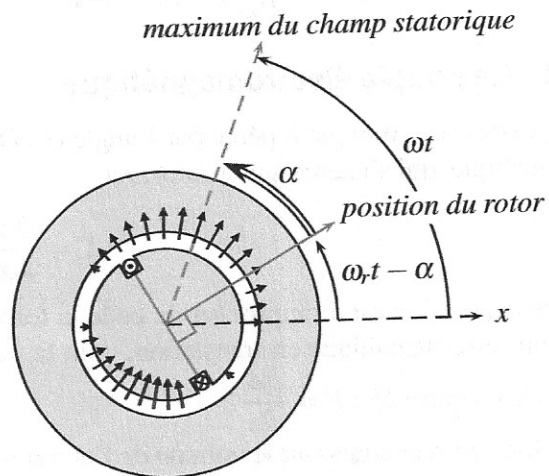
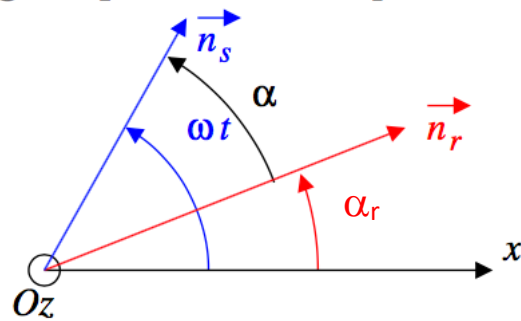


Figure 26.17 – Où  $\alpha$  est l'angle entre le rotor et le champ statorique.

## → Modèle électrocinétique des circuits rotorique et statorique

- Modélisation électrique du rotor, l'inducteur : flux mutuel constante entre rotor et stator

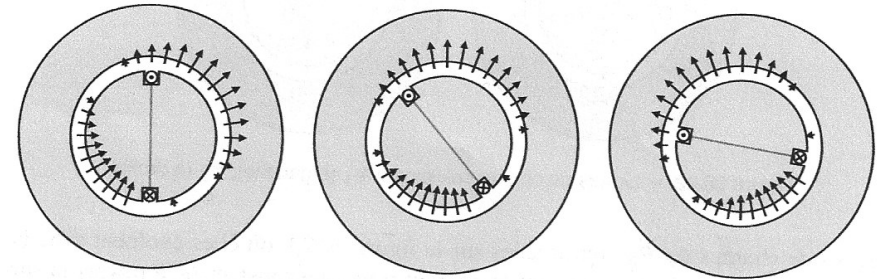


Figure 26.20 – Rotor et champ statorique tournent au synchronisme (le temps s'écoule de gauche à droite).

- Modélisation électrique de la première phase statorique : l'induit

Inductance mutuelle nulle entre les deux phases statoriques spatialement orthogonales

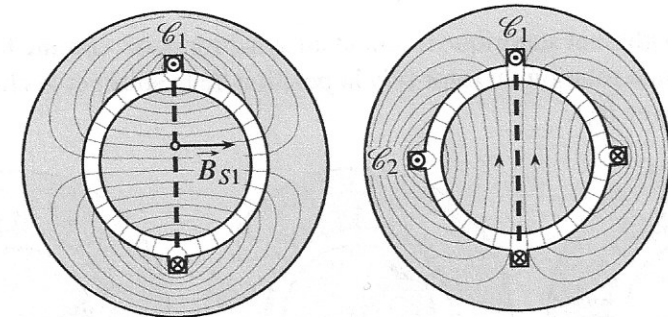


Figure 26.22 – Lignes de champ créées par  $\mathcal{C}_1$  (à gauche),  $\mathcal{C}_2$  (à droite).

Inductance mutuelle rotor -> phase 1 en fonction de l'angle rotorique  
-> Fonction de  $\cos(\alpha_r)$

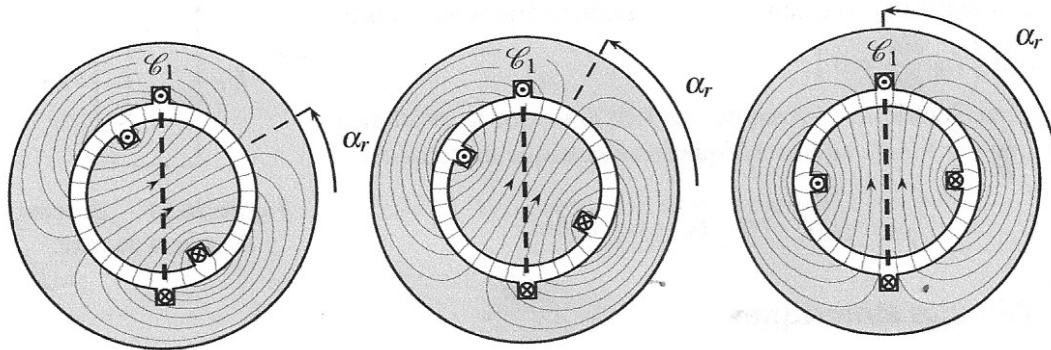


Figure 26.23 – Lignes de champ rotorique lors d'une rotation dans le sens positif (le temps s'écoule de gauche à droite).

Flux propre de la phase 1 stator et flux mutuel rotor-> stator

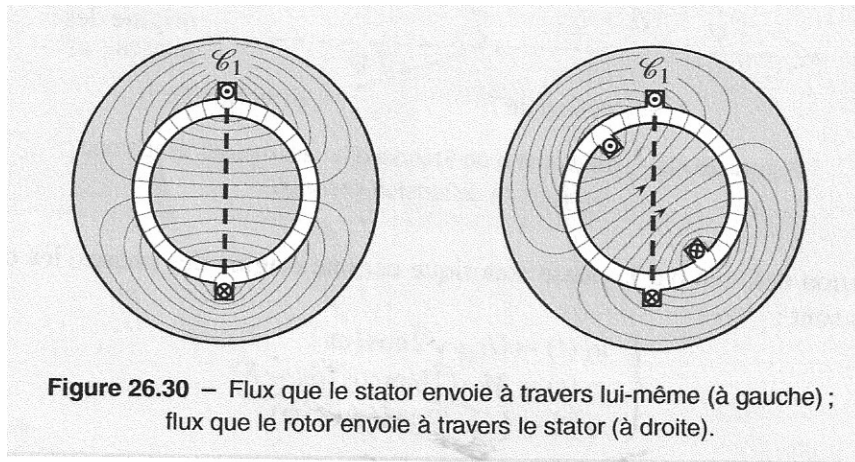


Figure 26.30 – Flux que le stator envoie à travers lui-même (à gauche) ; flux que le rotor envoie à travers le stator (à droite).

→ Bilan de puissance en fonctionnement moteur

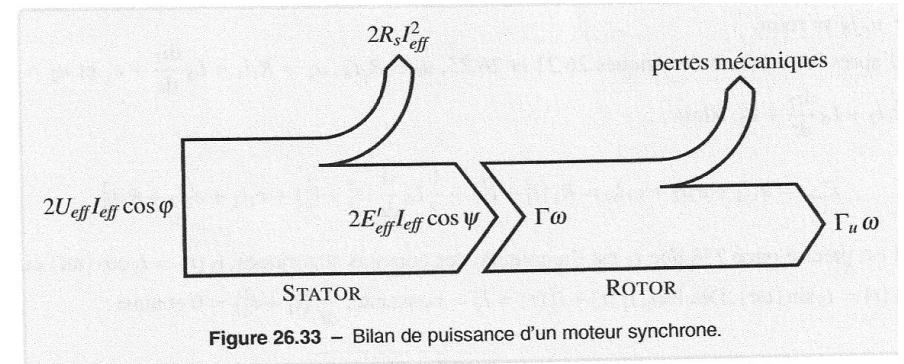


Figure 26.33 – Bilan de puissance d'un moteur synchrone.

→ Exemple d'asservissement autopiloté

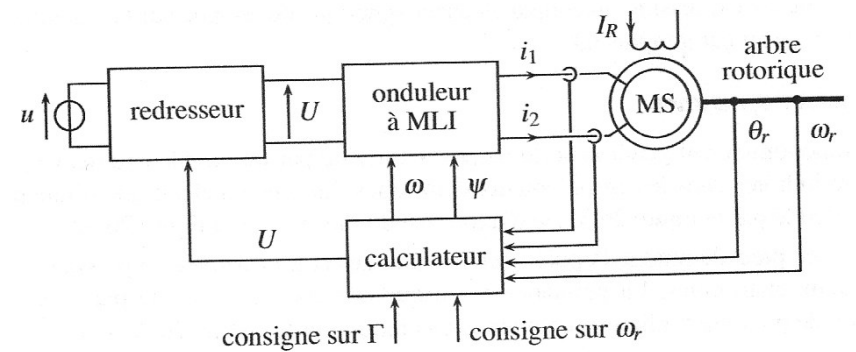


Figure 26.35 – Moteur synchrone alimenté par un onduleur de courant.