

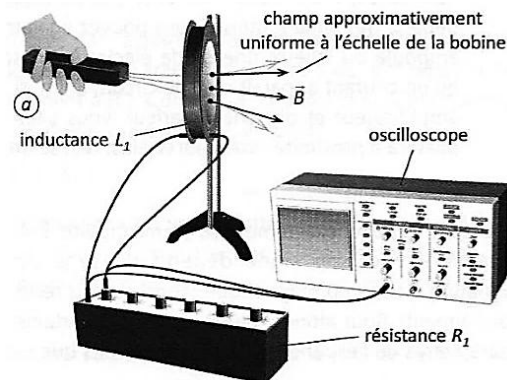
EM4 INDUCTION

Programme ATS

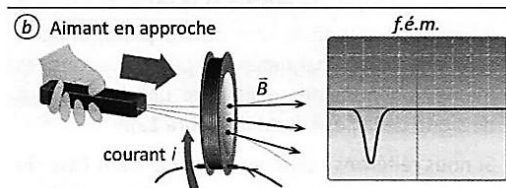
7. Lois de l'induction	
Flux d'un champ magnétique à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté	Évaluer le flux d'un champ magnétique uniforme à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté plan.
Loi de Faraday Courant induit par le déplacement relatif d'une boucle conductrice par rapport à un aimant ou un circuit inducteur. Sens du courant induit	Décrire, mettre en œuvre et interpréter des expériences illustrant les lois de Lenz et de Faraday.
Loi de modération de Lenz	Utiliser la loi de Lenz pour prédire ou interpréter les phénomènes physiques observés.
Force électromotrice induite, loi de Faraday	Utiliser la loi de Faraday en précisant les conventions d'algèbrisation.
8. Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps	
Auto-induction Flux propre et inductance propre Étude énergétique	Différencier le flux propre des flux extérieurs. Utiliser la loi de modération de Lenz. Évaluer l'ordre de grandeur de l'inductance propre d'une bobine de grande longueur, le champ magnétique créé par la bobine est admis comme étant équivalent à celui déterminé en régime stationnaire. Mesurer la valeur de l'inductance propre d'une bobine. Conduire un bilan de puissance et d'énergie dans un système siège d'un phénomène d'auto-induction en s'appuyant sur un schéma électrique équivalent. Définir la notion de densité volumique d'énergie magnétique à l'aide de l'exemple du solénoïde infini. Mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant de mesurer l'énergie emmagasinée par une bobine.
Induction mutuelle entre deux bobinages	Définir les flux mutuels. Indiquer l'égalité des inductances mutuelles. Conduire un bilan de puissance et d'énergie dans un système siège d'un phénomène d'auto-induction et d'induction mutuelle en s'appuyant sur un schéma électrique équivalent. Définir le couplage parfait de deux circuits. Mettre en œuvre un protocole expérimental utilisant un transformateur utilisé en transformateur de tensions, de courants et adaptateur d'impédance.
Applications	Expliquer le principe du chauffage inductif, le principe d'une détection ampèremétrique, le fonctionnement d'un alternateur.
9. Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire	
Circuit en translation rectiligne dans un champ magnétique stationnaire. Rail de Laplace	Interpréter qualitativement les phénomènes observés dans le cas du rail de Laplace. Établir les équations électrique et mécanique en précisant les conventions de signe. Établir et interpréter la relation entre la puissance de la force de Laplace et la puissance électrique. Effectuer un bilan énergétique. Expliquer l'origine des courants de Foucault et en connaître des exemples d'utilisation.
Conversion de puissance électrique en puissance mécanique Haut-parleur électrodynamique	Mettre en évidence qualitativement les courants de Foucault. Expliquer le principe de fonctionnement d'un haut-parleur électrodynamique. Établir l'équation mécanique et l'équation électrique. Effectuer un bilan énergétique. Effectuer une étude en régime sinusoïdal forcé.

I) LOIS DE L'INDUCTION

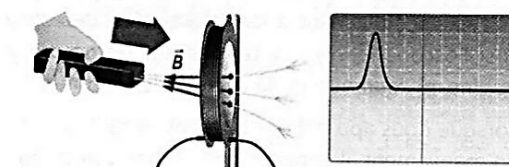
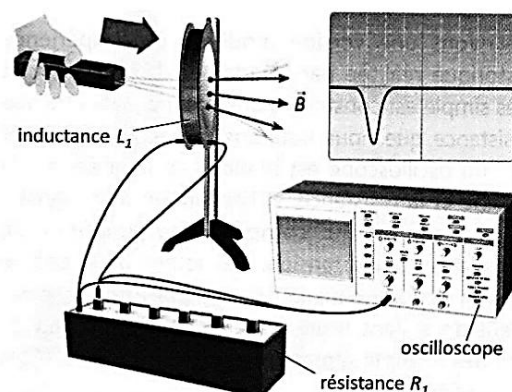
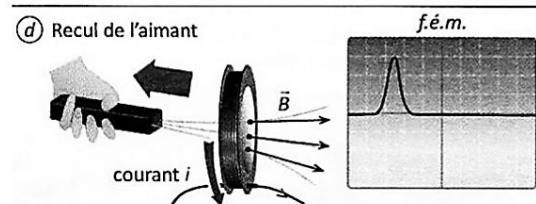
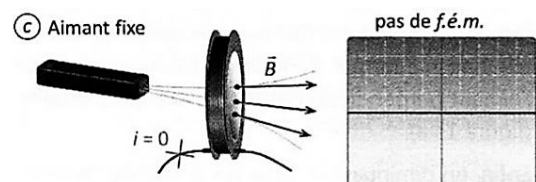
I)1) Phénomène d'induction



- ✓ Mouvement relatif d'un aimant (**inducteur**) par rapport à une bobine ou inductance (**induit**)
- ⇒ Apparition d'une **force électromotrice induite** ($e(t)$),
- ⇒ Apparition d'un **courant induit** $i(t)$ si le circuit est fermé.

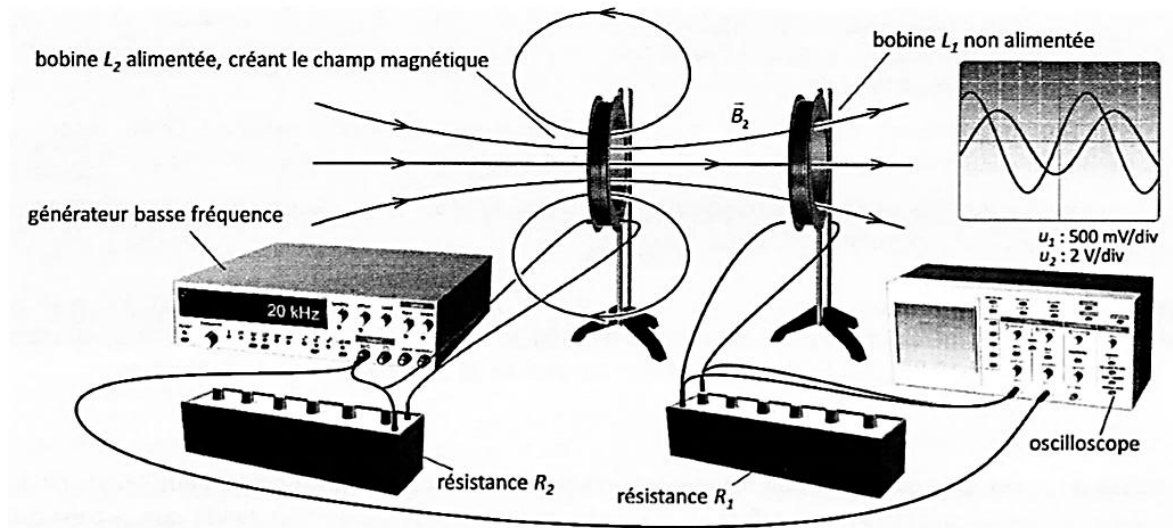


- ✓ Le signe de la fem induite $e(t)$ et le sens du courant induit $i(t)$ dépendent de la nature du déplacement (approche ou recul).



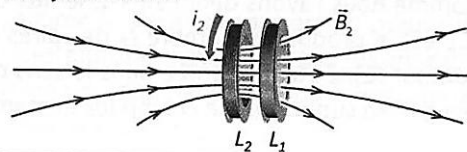
La même expérience est effectuée en inversant les pôles de l'aimant. La $f.é.m.$ induite change de signe.

- ✓ Le signe de la fem induite $e(t)$ et le sens du courant $i(t)$ dépendent de la nature du pôle (Nord ou Sud) approché du circuit inductif.



- ✓ Bobine L_2 = électroaimant = inducteur
- ✓ Bobine L_1 = induit
- ✓ Bobine L_2 alimentée par une tension alternative
 - ⇒ Champ magnétique variable dans tout l'espace,
 - ⇒ Des lignes champ magnétique créé par L_2 traversent L_1 ,
 - ⇒ Apparition d'une fem alternative ou tension alternative aux bornes de L_1 .

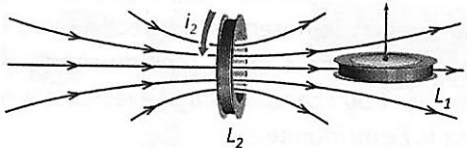
(a) forte f.é.m. induite



a. Proximité inducteur et induit

- ⇒ Peu de fuites magnétiques,
- ⇒ Forte fem induite.

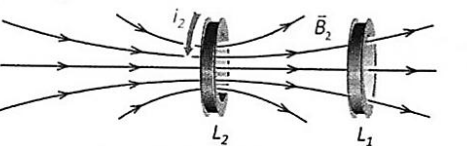
(b) f.é.m. induite pratiquement nulle



b. Induit « mal orienté » c'est-à-dire non traversé par des lignes de champ

- ⇒ « Flux » nul à travers L_1 ,
- ⇒ fem induite nulle.

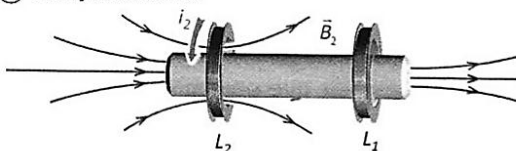
(c) faible f.é.m. induite



c. Eloignement inducteur et induit

- ⇒ « Fuites magnétiques »,
- ⇒ Peu de lignes de champ ou faible flux à travers L_1 ,
- ⇒ Faible fem induite.

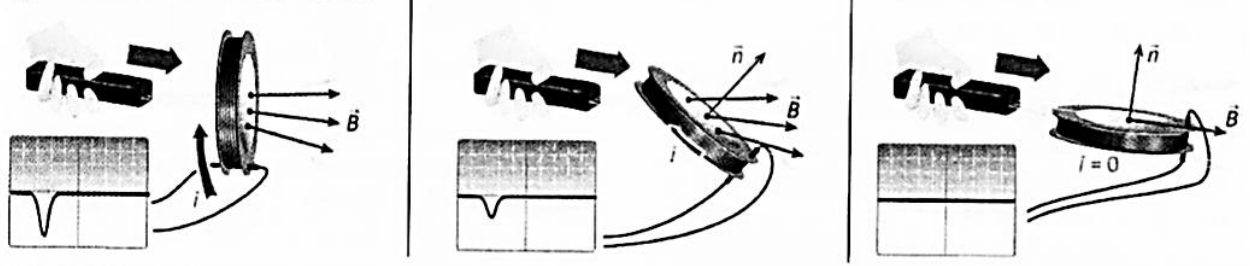
(d) forte f.é.m. induite



d. Circuit magnétique entre inducteur et induit

- ⇒ Canalisation du flux magnétique,
- ⇒ Flux important à travers L_1
- ⇒ Forte fem induite
- Application : Transformateur

① Effet de l'orientation de la bobine



- ✓ Si la bobine (induit) est orientée perpendiculairement aux lignes de champ,

Mouvement d'aimant

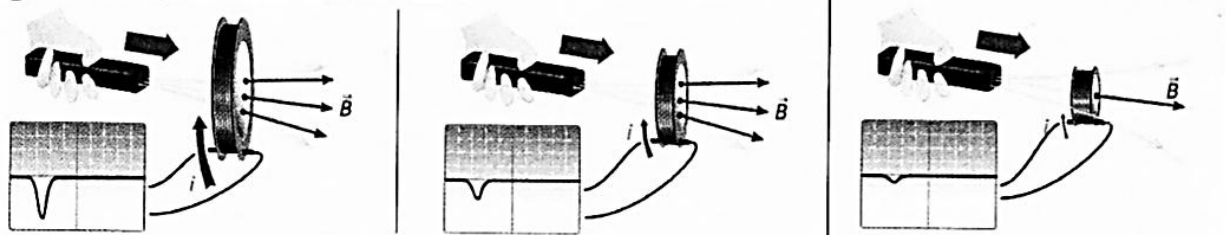
⇒ fem importante.

- ✓ Si la bobine est orientée parallèlement aux lignes de champ,

Mouvement d'aimant

⇒ fem nulle.

② Effet de la superficie de la section de la bobine



- ✓ La fem induite dépend de la surface de la bobine.

Bilan

Champ magnétique **variable**, créé par un aimant ou un électroaimant (**inducteur**) à proximité d'un circuit électrique (**induit**)

- ⇒ Apparition d'une **force électromotrice (fem) induite** (tension) si le circuit est ouvert,
- ⇒ Apparition d'un **courant induit** si le circuit est fermé.

La fem induite dépend :

- Du champ magnétique $\vec{B}$ (1),
- De l'orientation et la surface du circuit d'induit (2),
- De la variation dans le temps des conditions (1) et (2).

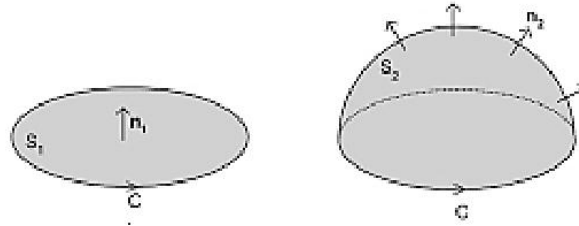
1)2) Flux d'un champ magnétique à travers une surface

Le **flux** Φ d'un champ magnétique $\vec{B}$ à travers une surface S orientée est défini par :

$$\Phi = \iint_S \vec{B}(\mathbf{M}) \cdot \vec{dS}_M \quad \text{avec : } \vec{dS}_M = dS_M \cdot \vec{n}_M$$

où dS_M est la surface élémentaire centrée sur M et $\vec{n}_M$ est le vecteur normal orienté en M .

Le flux s'exprime en **Weber** (Wb) : $1 \text{ Wb} = 1 \text{ T.m}^2$



Restriction du programme : le circuit magnétique est plan, le champ magnétique est uniforme à l'échelle du circuit.

Conséquence :

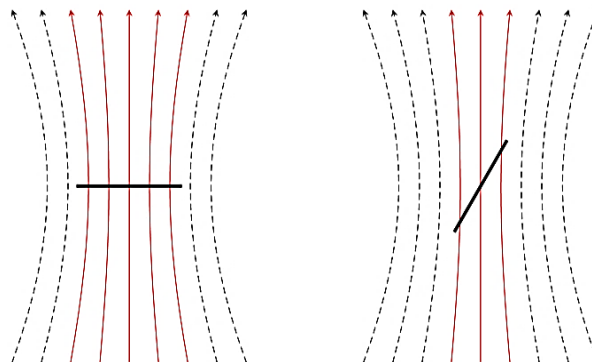
$$\Phi = \iint_S \vec{B}(\mathbf{M}) \cdot \vec{dS}_M = \iint_S \vec{B} \cdot dS \cdot \vec{n} = \vec{B} \cdot \vec{n} \iint_S dS = \vec{B} \cdot \vec{n} \cdot S = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

Schémas :

Flux magnétique à travers une bobine d'une spire :

Flux magnétique à travers un enroulement de N spires :

Le flux peut être vu comme le nombre de lignes de champ magnétique qui traversent le circuit.



I)3) Lois de l'induction

Loi de Lenz

Un phénomène d'induction tend toujours, par ses conséquences, à modérer les variations de flux magnétique qui l'ont engendré.

Les effets produits par un phénomène d'induction s'opposent toujours à leurs causes : La loi de Lenz est une **loi de modération**.

Le sens du courant induit est tel que le **flux propre** qu'il produit à travers le circuit fermé s'oppose à la variation du **flux inducteur**.

Schéma :



Loi de Faraday

La fem induite $e(t)$ dans un circuit sous l'effet d'un champ magnétique variable $\overrightarrow{B}(t)$ est l'opposé de la dérivée temporelle du flux magnétique $\phi(t)$ à travers le circuit :

$$e(t) = -\frac{d\phi}{dt}(t)$$

L'**induction** est donc liée aux **variations temporelles** du flux magnétique.

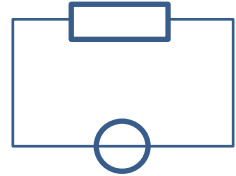
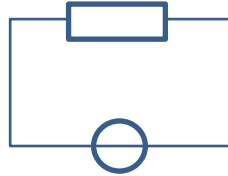
La fem induite $e(t)$ et le courant induit $i(t)$ sont des **grandeurs algébriques** définies par rapport à l'orientation du circuit.





Le sens de $\vec{n}$ est défini par la règle de la main droite.

Le sens de $e(t)$ est le même que le sens de $i(t)$: la **convention** électrique est **générateur**.



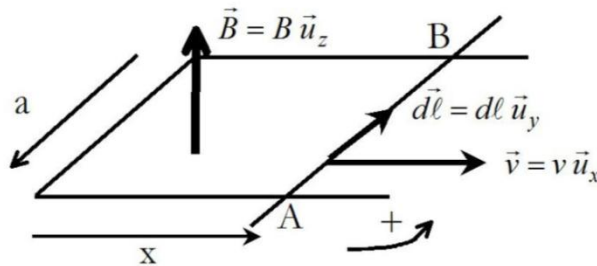
I)4) Méthode d'étude d'un phénomène d'induction

1. Analyser qualitativement la situation, justifier l'existence d'un phénomène d'induction et prévoir l'apparition d'un courant induit : **Loi de Lenz**.
2. Choisir une orientation pour le contour $\mathcal{C}$, définir la surface S s'appuyant sur le contour $\mathcal{C}$, orienter la normale $\vec{n}$.
3. Calculer le flux magnétique ϕ à travers le circuit en précisant l'hypothèse de champ magnétique uniforme.
4. Constater quel le flux ϕ dépend du temps t , affirmer le phénomène d'induction et représenter un circuit électrique équivalent faisant apparaître la fem $e(t)$ et le courant induit $i(t)$.
5. Appliquer la **loi de Faraday** pour déterminer $e(t)$.
6. Appliquer la **loi des mailles** dans le circuit électrique équivalent pour déterminer le courant d'induit $i(t)$.
7. Déterminer le sens réel du courant d'induit, ainsi que l'influence des divers paramètres et commenter. Confronter aux observations expérimentales.

Induction : Création, à distance, d'un courant électrique et d'une force électromotrice induite dans un circuit, sous l'effet de la variation temporelle du flux du champ magnétique à travers ce circuit.

II) CIRCUIT MOBILE DANS UN CHAMP STATIONNAIRE

II)1) Rails de Laplace : conversion de puissance mécanique en puissance électrique



Les rails sont fixes. Le circuit est fermé.

Hypothèses

- ✓ Champ magnétique uniforme et stationnaire suivant axe z,
- ✓ Force $\vec{F}$ (exercée par un opérateur) suivant axe x, qui entraîne un déplacement et une vitesse de la tige suivant l'axe x.

Interprétation qualitative

Mouvement de la tige

- ⇒ La surface S du circuit varie,
- ⇒ Le flux Φ du champ magnétique $\vec{B}$ à travers S varie,
- ⇒ Apparition d'une fem e et d'un courant i par phénomène d'induction,
- ⇒ Apparition d'une force de Laplace :

$$\vec{F}_L = \int_L i \cdot d\vec{l} \wedge \vec{B} = i \cdot \vec{l} \wedge \vec{B} \quad (\text{Règle de la main droite})$$

La loi de Lenz permet de déterminer le sens du courant induit i : le courant i est tel qu'il s'oppose aux causes qui lui donnent naissance :

Equation électrique

On néglige le phénomène d'auto-induction.

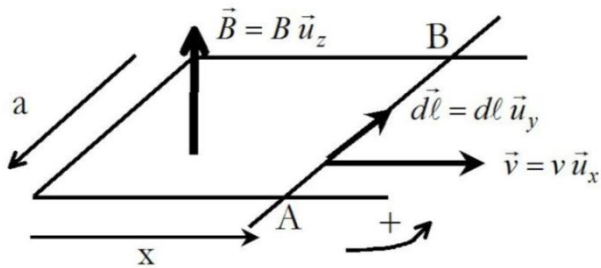
Soit R la résistance totale du circuit.

Equation électrique :

Schéma électrique équivalent :

Equation mécanique

- ✓ Référentiel : Galiléen
- ✓ Système : tige en mouvement, longueur a , masse m
- ✓ Bilan des forces :



- ✓ Principe Fondamental de la Dynamique :
- ✓ Projection sur l'axe x :

Remarque sur les signes :

Application : tige lancée puis lâchée à $t = 0$

Bilan énergétique

Puissance mécanique fournie à la tige :

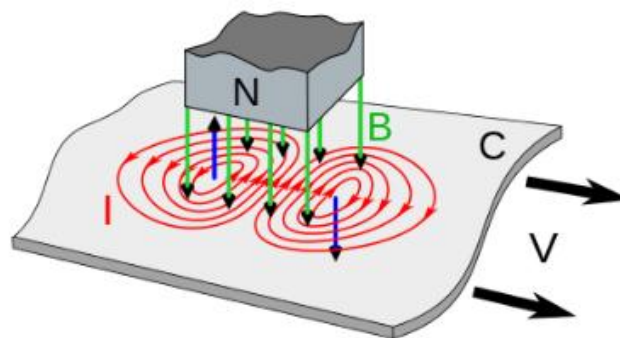
Puissance électrique fournie au circuit :

Hypothèses :

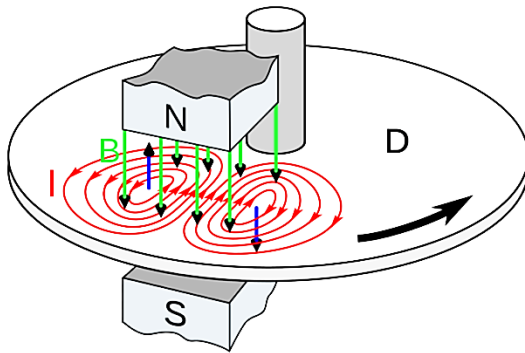
- ✓ Auto-induction négligée
- ✓ Frottements négligés
- ✓ Vitesse v constante

Conclusion :

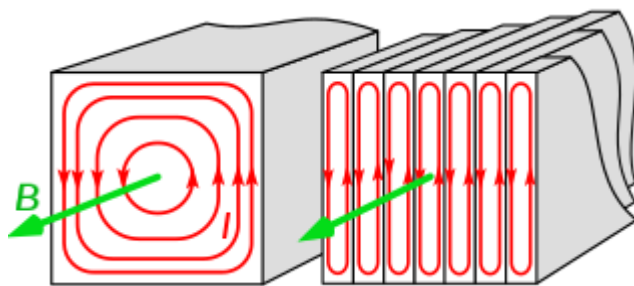
II)2) Freinage par induction : Conversion de puissance mécanique en puissance électrique



Application : freinage des poids lourds



Courants de Foucault et effet joule



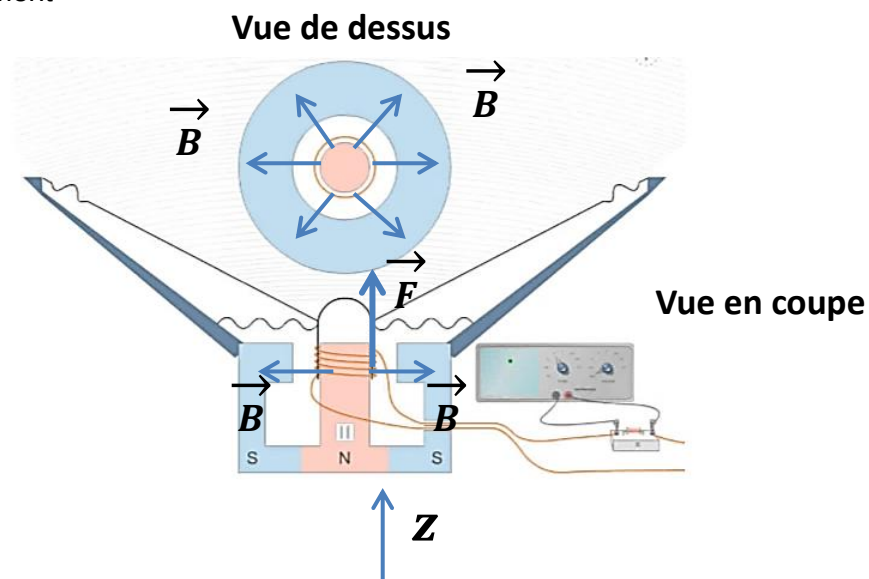
II)3) haut-parleur électrodynamique : conversion de puissance électrique en puissance mécanique

Principe

Bobine (mobile) solidaire de la membrane plongée dans un champ magnétique radial créé par aimant (fixe)

Bobine traversée par un courant (issu de l'amplificateur)

- ⇒ Forces de Laplace
- ⇒ Mouvement



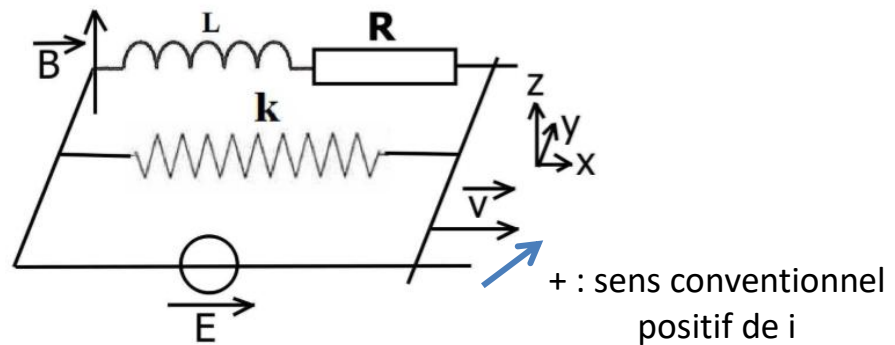
La bobine est liée à l'aimant par un système élastique
 ⇒ Modélisation par un ressort unique de raideur k

La bobine ne peut se déplacer que suivant l'axe z

Bobine alimentée par générateur $E(t)$ donc parcourue par courant $i(t)$
 ⇒ Conducteur mobile dans un champ stationnaire
 ⇒ **Force de Laplace et mouvement**
 ⇒ Conséquence : phénomène d' **induction** et **auto-induction**

Modèle équivalent simplifié

- ✓ Bobine modélisée par tige de masse m mobile selon Ox sur des rails de Laplace espacés d'une distance l , reliés au conducteur fixe par ressort de raideur k
- ✓ Prise en compte du phénomène d'auto-induction par inductance L
- ✓ Allongement du ressort (par rapport à sa position d'équilibre) mesuré par x



Equation mécanique

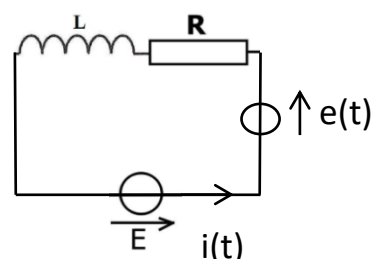
- ✓ Poids $\vec{P}$ vertical / réaction des rails $\vec{N}$ verticale
- ✓ Force de Laplace :
- ✓ Force de rappel élastique :
- ✓ Force de frottement :

Principe fondamental de la dynamique :

Principe fondamental de la dynamique suivant Ox :

Modèle électrique

- ✓ Induction modélisée par
- ✓ Auto-induction modélisée par L
- ✓ Résistance R du circuit
- ✓ Générateur $E(t)$



Equation électrique

Les équations différentielles mécanique et électrique sont couplées (les grandeurs i et x , leurs dérivées, et leurs dérivées secondes apparaissent dans chaque équation différentielle).

Bilan de puissances

Le haut-parleur reçoit de la puissance électrique du générateur.

Equation électrique :

Puissance électrique reçue du générateur :

Equation mécanique :

En multipliant par v :

C'est-à-dire:

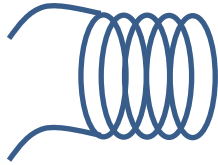
D'où:

- ✓ p_j = Pertes joule
- ✓ E_m = Energie magnétique stockée dans bobine
- ✓ E_C = Energie cinétique
- ✓ E_P = Energie potentielle
- ✓ $E_C + E_m$ = Energie mécanique (liée au déplacement de la bobine)
- ✓ $h.v^2$ = Puissance dissipée sous forme de frottements

L'énergie électrique fournie par le générateur est transformée en énergies magnétique et mécanique, en frottements et pertes joule.

III) AUTO-INDUCTION

III)1) Présentation du phénomène d'induction



Circuit parcouru par un courant i

- ⇒ Apparition d'un champ magnétique (propre) $\vec{B}_p$ en tout point de l'espace,
- ⇒ Création d'un **flux magnétique propre** au circuit Φ_p : ce flux n'est pas provoqué par un inducteur (qui serait extérieur) mais par le composant lui-même.

Si le courant i est variable, alors :

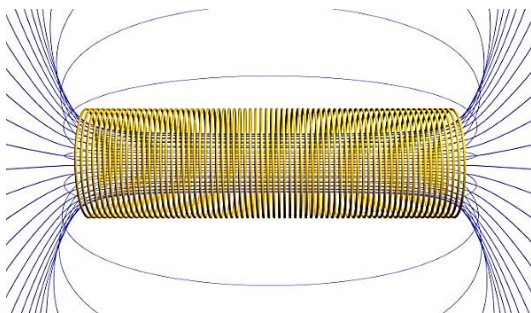
- ⇒ Le champ magnétique $\vec{B}_p$ est variable,
- ⇒ Le flux Φ_p est variable,
- ⇒ Il apparaît un phénomène d'induction, que l'on nomme **auto-induction**.

Lorsque le circuit électrique est bobiné, le flux propre peut-être important. On parle de **comportement inductif** du circuit.

III)2) Flux propre et inductance propre

L'**inductance propre** d'un circuit est définie de la façon suivante :

Exemple : bobine longue solénoïde



Remarques :

- ✓ L'inductance L est positive
- ✓ L'inductance L est proportionnelle à N^2 ,
- ✓ Ordre de grandeur de L : μH à H .

III)3) Force électromotrice d'auto-induction

Soit une bobine résistive :



Son modèle électrique équivalent est le suivant :

La **fem d'auto-induction** est définie à partir de la loi de Faraday :

Effet inductif = conséquence de la loi de Lenz :

- ⇒ Retard dans l'apparition du courant, modélisé par une constante de temps :
- ⇒ Opposition aux variations brutales de courant.

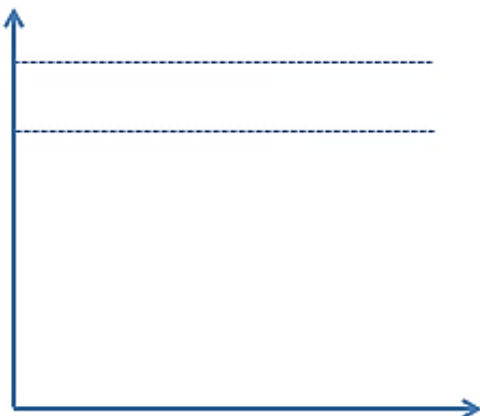
III)4) effet inductif

Soit une bobine résistive :

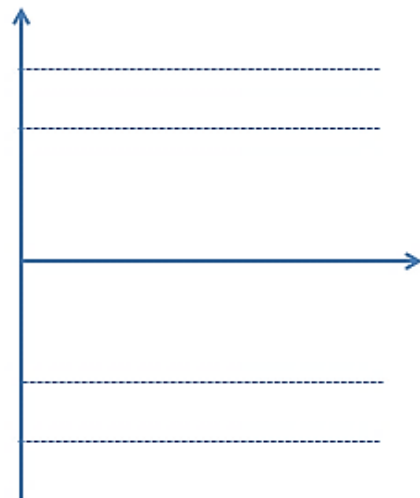


Son modèle électrique équivalent est le suivant :

Réponse à un échelon de tension :



Régime sinusoïdal :



III)5) Etude énergétique



A partir de la loi des mailles :

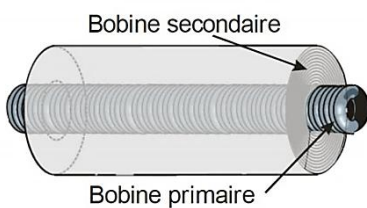
Puissance électrique fournie par le générateur :

Energie emmagasinée dans l'inductance :

Lors de l'établissement du courant dans le circuit (à la **fermeture du circuit**), l'inductance **emmagasine de l'énergie**.

Lors de l'extinction du courant dans le circuit (à l'**ouverture du circuit**), l'inductance **restitue de l'énergie**.

IV) COUPLAGE DE DEUX CIRCUITS : INDUCTANCE MUTUELLE



IV)1) Inductance mutuelle

2 circuits bobinés :

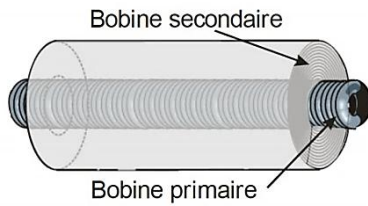
- ✓ Circuit 1 : N_1 spires, section S_1 , longueur L_1 , courant i_1
- ✓ Circuit 2 : N_2 spires, section S_2 , longueur L_2 , courant i_2

Flux à travers le circuit 1 :

Flux à travers le circuit 2 :

M est l'**inductance mutuelle** qui quantifie le couplage magnétique entre les 2 circuits.

Exemple : 2 solénoïdes de même longueur L , bobinés dans le même sens.



Φ_{12} : Flux créé par le circuit 2 sur le circuit 1

Φ_{21} : Flux créé par le circuit 1 sur le circuit 2

L'inductance mutuelle s'écrit :

dans laquelle S est la plus petite des 2 sections (surfaces) S_1 et S_2

Remarque : $\sqrt{L_1 L_2} = \sqrt{\mu_0 \frac{N_1^2 S_1}{L} \cdot \mu_0 \frac{N_2^2 S_2}{L}} = \mu_0 \frac{N_1 N_2}{L} \sqrt{S_1 S_2}$

Exemple : 2 solénoïdes de même longueur L , bobinés en sens inverse.

Φ_{12} : Flux créé par le circuit 2 sur le circuit 1

Φ_{21} : Flux créé par le circuit 1 sur le circuit 2

L'inductance mutuelle s'écrit :

Conclusion :

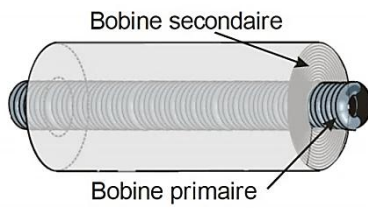
- ✓ Le signe de l'inductance mutuelle M , positif ou négatif, dépend des orientations relatives des deux circuits magnétiques,
- ✓ La valeur de M dépend de la géométrie et de la position des 2 circuits magnétiques : elle baisse très vite lorsqu'on éloigne les deux circuits,
- ✓ $|M| \leq \sqrt{L_1 L_2}$ en général, $|M| = \sqrt{L_1 L_2}$ si le couplage magnétique est « total » entre les deux circuits : toutes les spires des 2 circuits sont traversées par toutes les lignes de champ produits par les 2 circuits,
- ✓ M se calcule en ne considérant que les parties bobinées.

IV)2) Cas du régime sinusoïdal forcé : Exemple

Soient 2 circuits bobinés $\mathcal{S}_1$ et $\mathcal{S}_2$, d'inductances propres respectives L_1 et L_2 et couplés par le coefficient d'inductance mutuelle M .

Le circuit $\mathcal{S}_1$ est alimenté par un générateur de tension sinusoïdale $u_G(t)$ à la pulsation ω .

1. Faire le schéma électrique du dispositif.
2. Établir les équations différentielles régissant le fonctionnement de chacun des circuits.
3. Réécrire ces équations en notation complexe.
4. En notant $\underline{i}_1(t) = I_1 e^{j(\omega t + \varphi_1)}$ et $\underline{i}_2(t) = I_2 e^{j(\omega t + \varphi_2)}$, exploiter les équations précédentes pour exprimer $\frac{I_2}{I_1}$ et $\delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$.
5. Montrer que $\frac{I_2}{I_1} \leq \frac{|M|}{L_2} \leq \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$



IV)3) Bilan énergétique

Bilan de puissances au primaire :

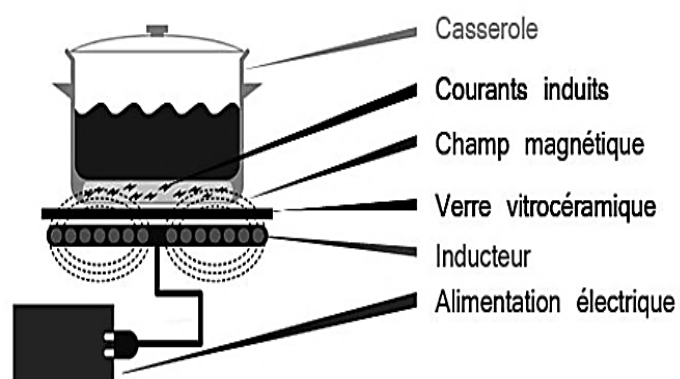
Bilan de puissances au secondaire :

Bilan de puissances :

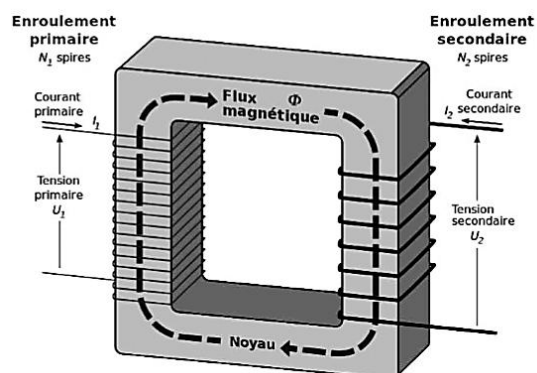
Les 2 circuits convertissent de l'énergie électrique en énergie magnétique.

V) APPLICATIONS

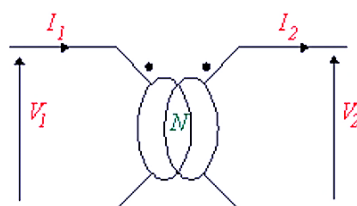
V)1) Chauffage par induction



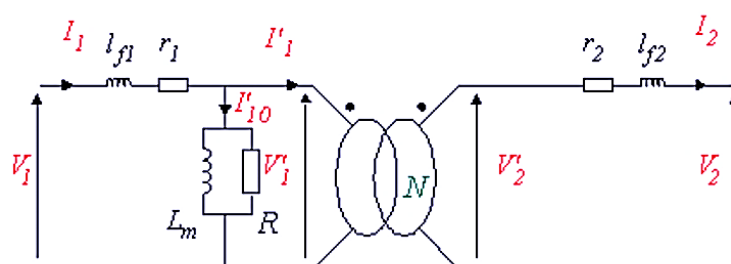
V2) Transformateur de tension



Modèle équivalent du transformateur monophasé parfait :



Modèle équivalent du transformateur monophasé réel :

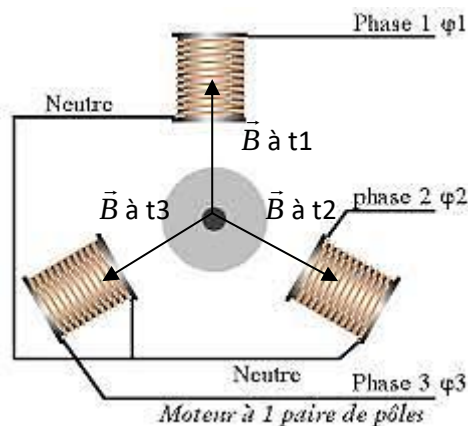


V)3) Machine synchrone triphasée

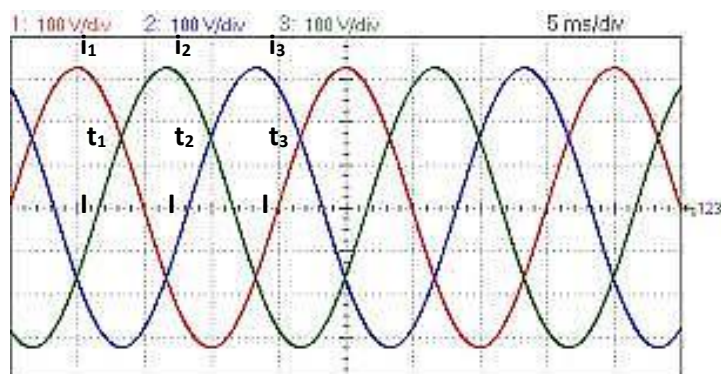
Le fonctionnement de la Machine Synchrone triphasée est basé sur la création d'un **champ magnétique tournant** par les enroulements statoriques.

⇒ Manipulation : création d'un champ magnétique tournant et principe de fonctionnement du Moteur Synchrone.

Les **enroulements statoriques** sont traversés par les 3 courants d'un réseau alternatif triphasé, ce qui provoque l'apparition d'un champ magnétique tournant $\vec{B}$ au niveau du rotor.



Lorsque $i_1(t)$ est maximal (à l'instant t_1), le champ magnétique $\vec{B}$ est dans l'axe de l'enroulement de la phase 1. Lorsque $i_2(t)$ est maximal (à l'instant t_2), le champ magnétique $\vec{B}$ est dans l'axe de l'enroulement de la phase 2 ...etc ...



Le **rotor** du Moteur Synchrone se comporte comme un aimant dans un champ magnétique : il a tendance à s'aligner sur le champ magnétique et suivre le champ magnétique tournant.

Toute machine est réversible : elle peut fonctionner :

- En moteur : conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique,
- En générateur (ou, ici, alternateur) : conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique.

Applications industrielles :



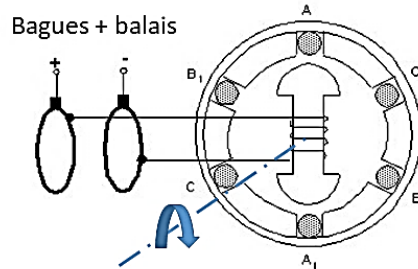
Alternateur centrale :
Production d'électricité
Puissance jusqu'à 1 GW



Moteur TGV Atlantique :
Moteur synchrone autopiloté
Puissance 8 MW

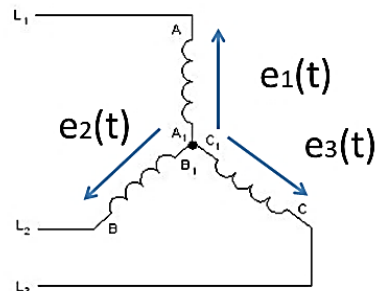
Principe de fonctionnement (fonctionnement alternateur) :

ROTOR : inducteur (aimant permanent ou électroaimant)



Alimentation roue polaire
(inducteur) en DC +
Entraînement mécanique
à la vitesse $n = n_s$

STATOR : induit



Production d'un système
de tensions alternatives
triphase
 $e_1(t), e_2(t), e_3(t)$

Conclusion : La **vitesse de rotation n** de la **Machine Synchrone** est la même que celle du champ magnétique tournant, appelée **vitesse de synchronisme n_s** , d'où l'appellation « Machine Synchrone ».

V)4) Machine asynchrone triphasée

Applications industrielles :



TGV Duplex – 8 moteurs asynchrones 1,1MW

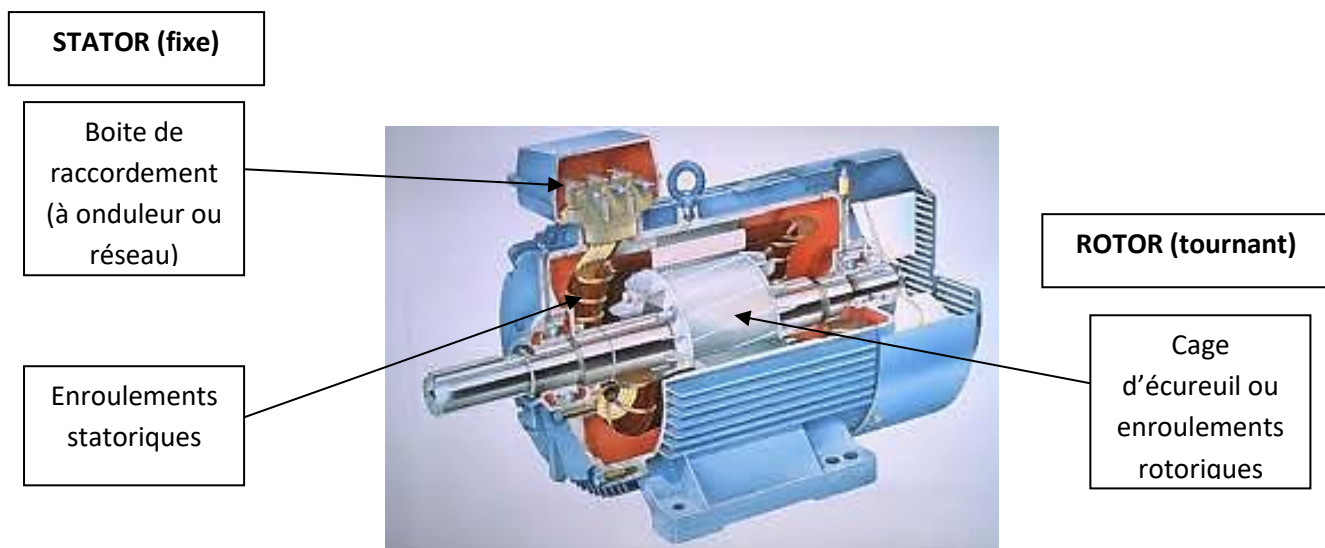


Pont Flaubert – 32 machines asynchrones 37kW



Eolienne – Génératrice asynchrone 2MW

Constitution de la Machine Asynchrone triphasée :



Comme pour la Machine Synchrone, la rotation de la Machine Asynchrone est basée sur la création d'un **champ tournant** par les enroulements statoriques. Mais, à la différence de la Machine Synchrone, le rotor ne tourne pas à la vitesse du champ tournant, d'où l'appellation Machine **Asynchrone**.

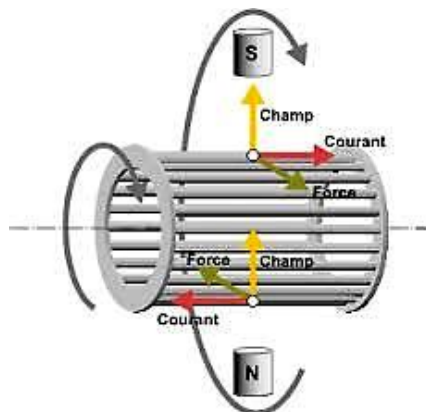
⇒ Manipulation : Principe de fonctionnement du Moteur Asynchrone

Fonctionnement moteur : Courants induits au rotor

Prenons l'exemple d'une machine asynchrone dont le rotor est « à cage » c'est à dire en court-circuit. Le **champ magnétique** tournant provoque, au niveau du rotor, des **variations de flux** $\phi(t)$, d'où l'apparition de forces électromotrices induites (**fem**) au rotor, en vertu de la loi de Faraday :

$$e(t) = -\frac{d\phi}{dt}(t)$$

Ces fem créent des **courants induits** au niveau du rotor. Ces courants induits, associés au champ magnétique tournant, provoquent l'apparition de **forces de Laplace**, qui provoquent la **rotation** du rotor.



Glissement

Si le rotor tournait à la vitesse du champ magnétique tournant, il n'y aurait plus, vu du rotor, de variation de flux, donc plus de fem induites, plus de courants induits, plus de forces de Laplace ... et donc plus de rotation !

Le rotor du moteur asynchrone tourne moins vite que le champ tournant : il y a un **glissement** g :

$$g = \frac{n_s - n}{n_s}$$

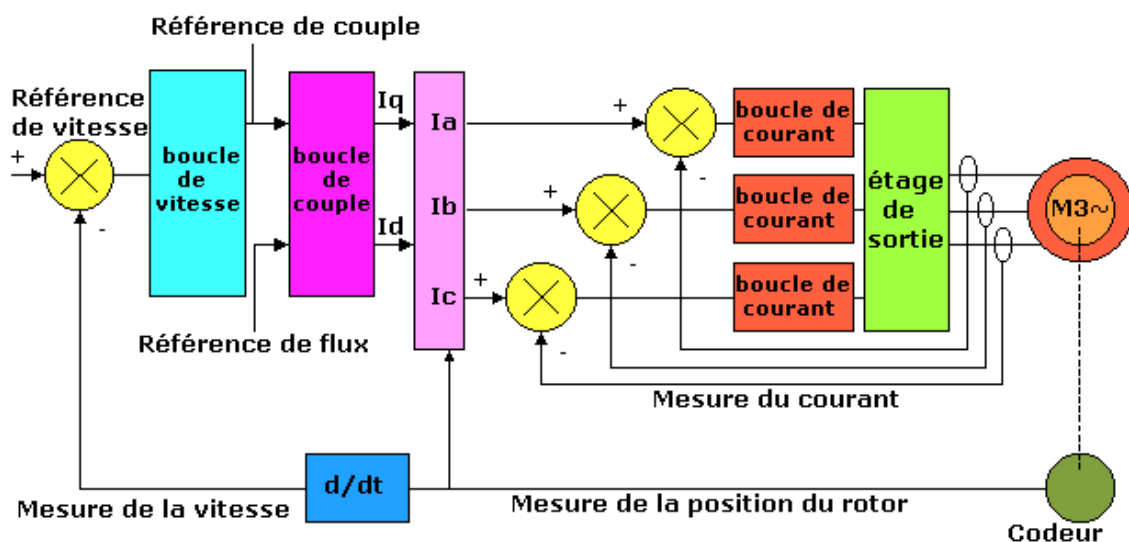
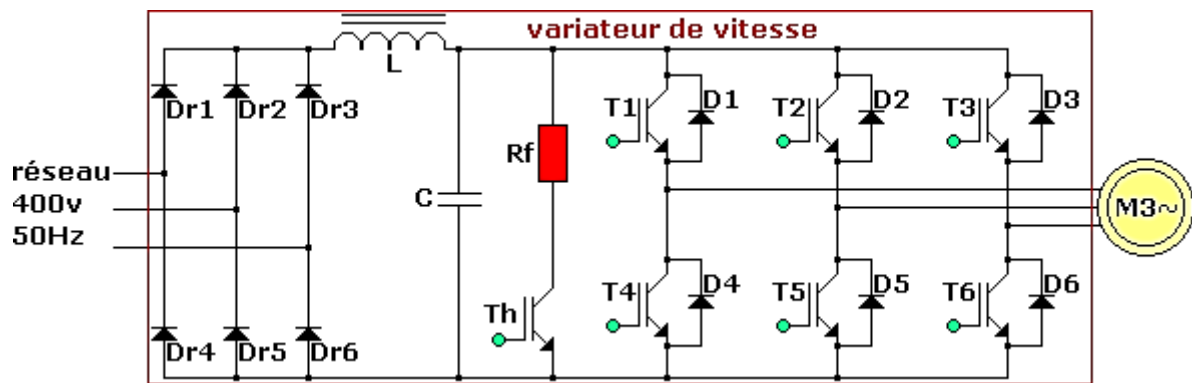
g = glissement (sans unité), de l'ordre de 0 à 10 %

n_s = vitesse de synchronisme (tr.min^{-1})

n = vitesse de rotation (tr.min^{-1})

Plus la charge est importante, plus le moteur doit développer de couple, et plus le glissement g est important.

Lorsque la variation de vitesse est nécessaire, la MAS est en général commandée par un **onduleur**.

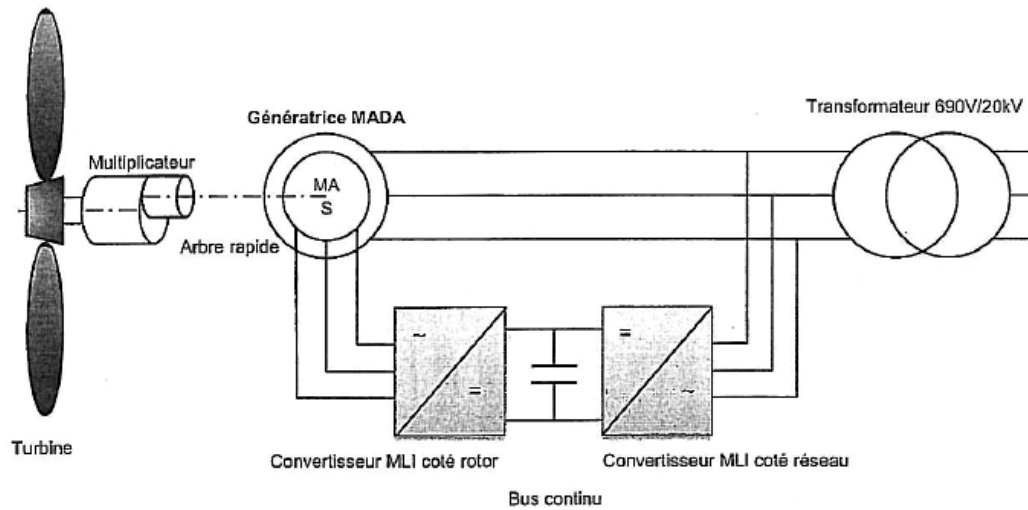


Synoptique contrôle vectoriel de flux

Exemple de fonctionnement génératrice : Machine Asynchrone à Double Alimentation (MADA)

La MADA est une technologie exploitée dans les génératrices des éoliennes.

La MADA est une MAS à rotor bobiné dont les enroulements rotoriques sont alimentés par un onduleur. Les enroulements statoriques sont quant à eux couplés sur le réseau.



Structure d'une génératrice de type MADA

Malgré un couplage sur le réseau (dont la fréquence est fixe ...) et une vitesse de rotation variable, le contrôle de l'onduleur alimentant le rotor permet de maintenir un fonctionnement génératrice avec renvoi d'énergie sur le réseau quelle que soit la vitesse du vent.