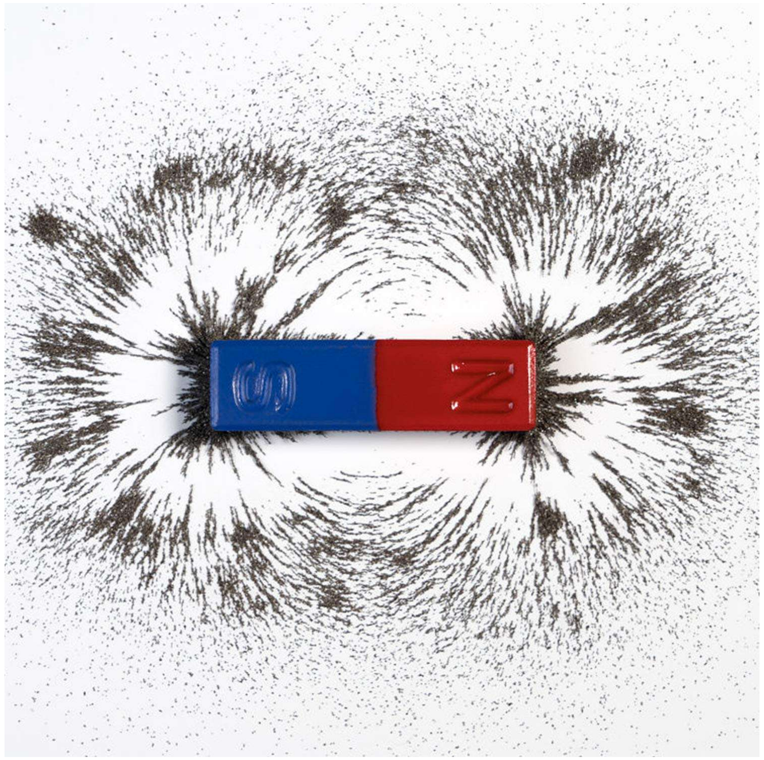
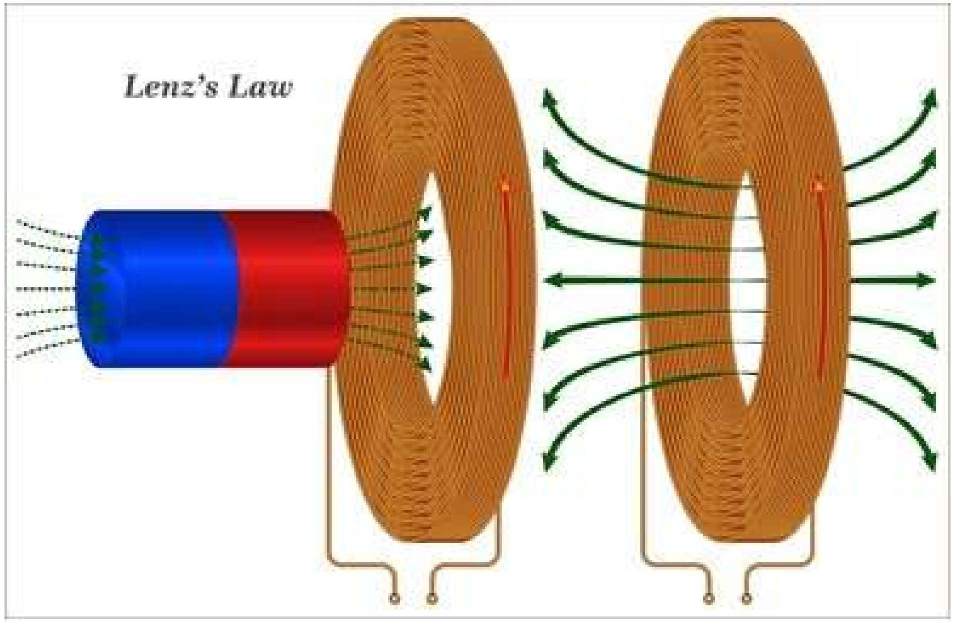
Magnétostatique et Induction





Sommaire

- Fiches de cours
- Étude des sujets de concours
- Méthodologie

Magnétostatique

Quelque soit leur forme et leur taille, les aimants sont polarisés, avec un pôle nord (N) et un pôle sud (S), tel que :

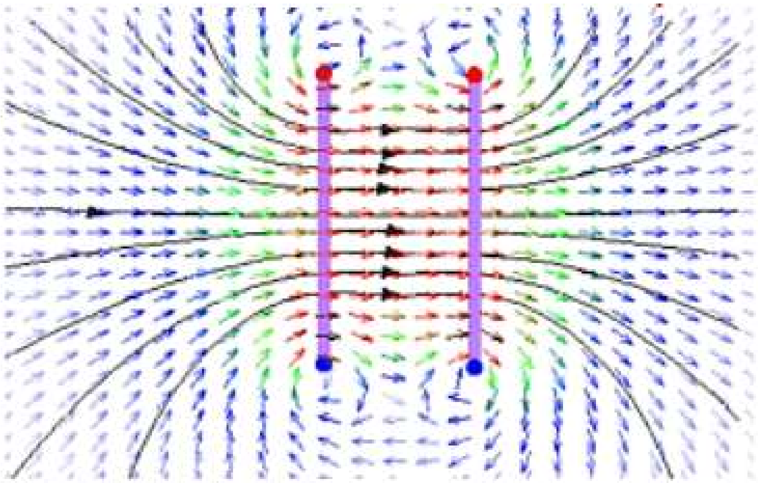
- deux pôles identiques se repoussent ;
- deux pôles opposés s’attirent ;
- si un aimant est brisé, chaque éclat se comporte comme un aimant, avec à nouveau deux pôles.

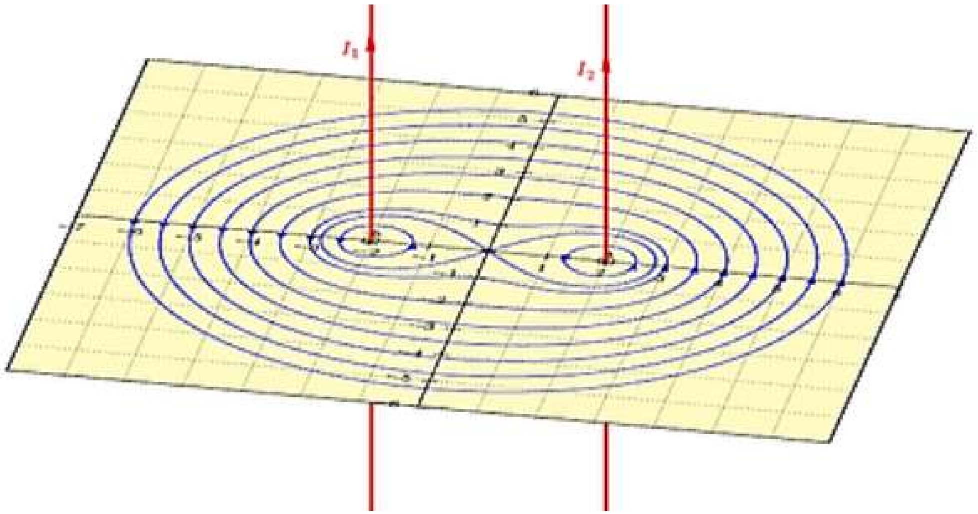
Quelques propriétés du champ magnétique :

- Pour un <u>aimant</u>, les lignes de champ sont orientées <u>du NORD vers le SUD</u>.
- Les lignes de champ sont des courbes <u>fermées</u> et <u>orientées</u>.
- Les boucles de champ enroulent les courants électriques en respectant la règle de la main droite.
- Les lignes de champ <u>ne se croisent jamais</u>, sauf si le champ magnétique <u>s'annule en un point</u>.
- Des lignes de <u>champ parallèles</u> traduisent un <u>champ magnétique homogène</u>.
- Plus les lignes de champ se resserrent, plus le champ magnétique est intense
- Le champs magnétique est à <u>flux conservatif</u> donc : $\forall \mathcal{S}$ fermée, $\oiint_{\mathcal{S}} \vec{B} \cdot \overrightarrow{\mathrm{d}S} = 0.$
- On peut appliquer le <u>principe de superposition</u>

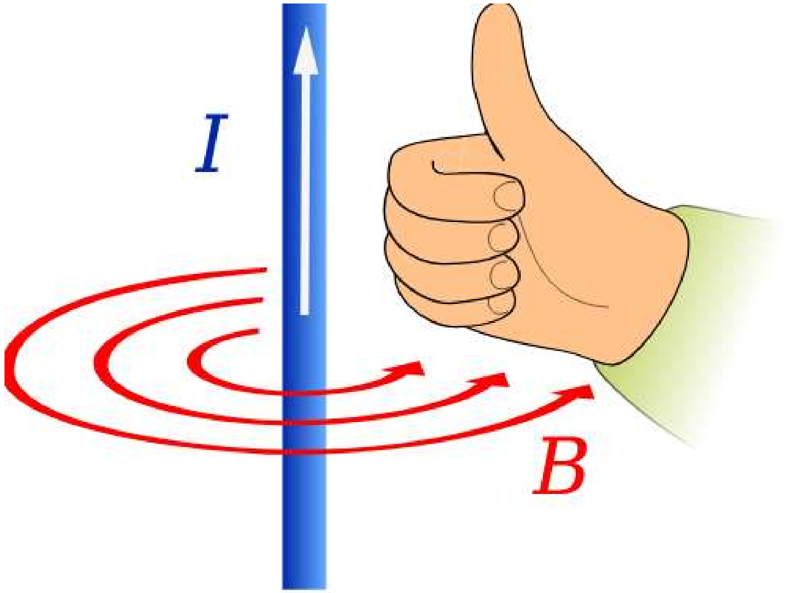
On définit le champ magnétique, comme une grandeur vectorielle (orientée et normée) tangente aux lignes de champ, notée et d’unité le tesla (T).

Le champ magnétique peut être représenté dans une carte de ligne de champ magnétique:





La <u>règle de la main droite</u> peut donner l'<u>orientation du champ magnétique</u> à partir de l'<u>orientation du courant</u> et réciproquement.



Détermination du champ B

-Choisir un système de coordonnées adaptés

-Repérer les plans de symétrie si possible sinon les plans d'antisymétries (agi sur les vecteurs) de la distribution de courant

-Repérer les invariances, de quelle(s) coordonnée(s) le champs ne dépend pas (translation (longueur supposée infinie..) ou rotation autour d'un axe)

-Citer le principe de Curie

-Se débarrasser du superflux $\vec{B}(M) = B(r)\,\vec{e_\theta}$

-Contour d'Ampère un cercle fermé et orienté (un rectangle dans le cas d'une bobine)
passant par un axe

-Théorème d'Ampère :

$$\oint_C \vec{B} \cdot \vec{\mathrm{d}l} = \mu_0 \, I_{\text{enlacé}}$$

μ_0 : perméabilité magnétique du vide

-Calcule de l'intégrale du contour fermé et de $I_{\text{enlacée}}$

$$\oint_C \vec{B} \cdot \vec{\mathrm{d}l}$$

$$I = \iint_S \vec{j} \cdot \vec{\mathrm{d}S}.$$

Le vecteur densité de distribution de courant j peut dépendre de la variable discrète ou non

Pour finir, le tracé de graphe (vigilance sur les continuités et discontinuités) :

Fil : si r=0 → non définie
Solénoïde si r = R → discontinuité

- Flux propre pour un solénoïde : $\Phi = N\,\varphi = \frac{\mu_0 N^2 \pi a^2}{H} I$

- Inductance propre pour un solénoïde : $L = \Phi/I = \frac{\mu_0 N^2 \pi a^2}{H}$

- Densité volumique d'énergie pour toute ddc : $\frac{dU_m}{d\tau} = \frac{B^2}{2\mu_0}$

- Moment magnétique d'une spire : $\overrightarrow{m_{\text{spire}}} = i\,\vec{S} = i\,S\,\vec{n}$

- Moment magnétique d'un solénoïde : $\overrightarrow{m_{\text{solénoïde}}} = N\,i\,\vec{S} = N\,i\,S\,\vec{n}$

Ordres de grandeurs

Nature du champ magnétique	$\|\vec{B}\|$ (T)
terrestre	2.10^{-5}
Bobine de 1000 spires parcourues par un courant de 1 A	1.10^{-2}
Aimant standard	0,1 à 1
Appareil d'IRM (Imagerie par Résonance Magnétique)	5
Champ pulsé	10^{2}

Lois de l'induction

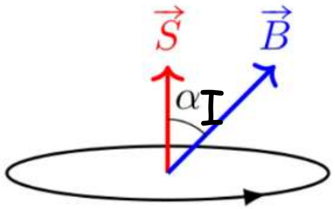
Le mouvement <u>relatif</u> bobine / aimant qui importe

Le phénomène d'induction apparaît donc :

Avec un circuit fixe soumis à un champ magnétique variable dans le temps ;

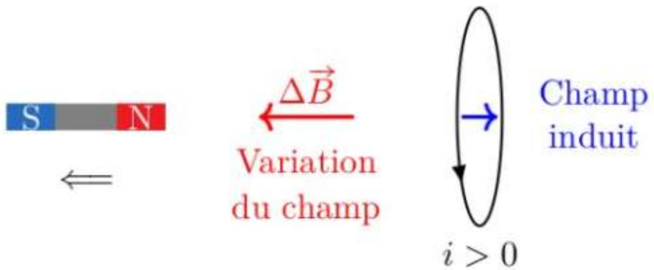
et/ou avec un circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire.

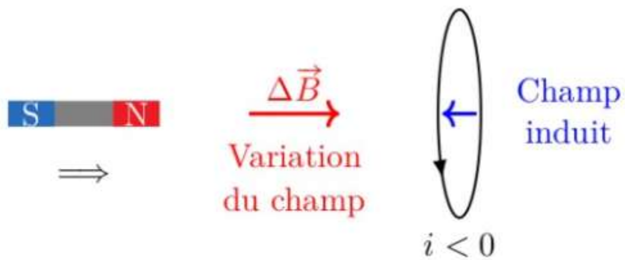
Le flux du champ magnétique pour une spire : $\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = ||\vec{B}|| \, S \cos\alpha$



Loi de modération de Lenz :

« Le courant induit dans la bobine tend, par le champ magnétique qu'il crée, à modérer la variation du flux qui lui a donné naissance. »





Loi de Faraday :

La variation du flux magnétique homogène à travers une spire induit une force électromotrice, donc en convention générateur : $e = -\dfrac{d\Phi}{dt}$

Un courant électrique dans un circuit fermé créé un **flux propre** tel que : $\Phi_p = L\ i$

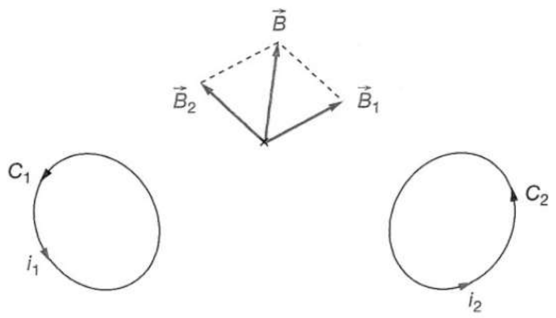
donc en convention générateur : $e(t) = -\dfrac{d\Phi_p}{dt} = -L\ \dfrac{di}{dt}$

Le flux magnétique $\Phi_{2\to1}$ du champ $\overrightarrow{B_2}$ au travers de C_1 est proportionnel à $||\overrightarrow{B_2}||$ donc à l'intensité i_2 :

$$\Phi_{2\to1} = M \quad i_2$$

De même, le flux magnétique $\Phi_{1\to2}$ du champ $\overrightarrow{B_1}$ au travers de C_2 est proportionnel à $||\overrightarrow{B_1}||$ donc à i_1 :

$$\Phi_{1\to2} = M \quad i_1$$



On a principe de superposition : $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$

Le flux global du circuit C_1 est : $\Phi_1 = \Phi_{p,1} + \Phi_{2\to1} = L_1\ i_1 + M\ i_2$

La loi de Faraday donne : $e_1 = -\dfrac{d\Phi_1}{dt} = -L_1\ \dfrac{d\,i_1}{dt} - M\ \dfrac{d\,i_2}{dt}$

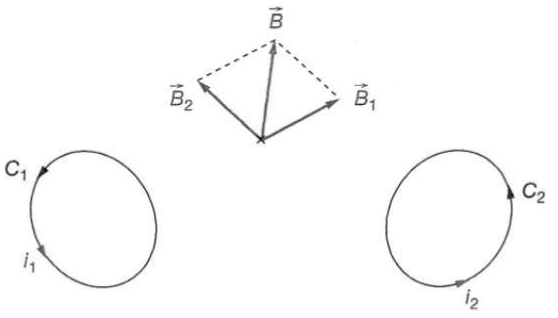
Induction mutuelle

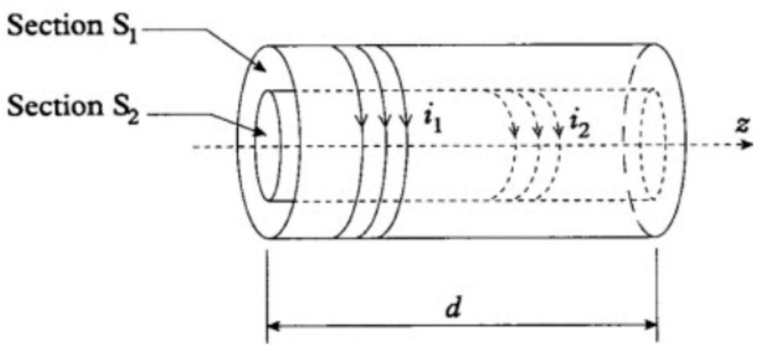
Le flux magnétique $\Phi_{2\to1}$ du champ $\overrightarrow{B_2}$ au travers de C_1 est proportionnel à $||\overrightarrow{B_2}||$ donc à l'intensité i_2 :

$$\Phi_{2\to1} = M \quad i_2$$

De même, le flux magnétique $\Phi_{1\to2}$ du champ $\overrightarrow{B_1}$ au travers de C_2 est proportionnel à $||\overrightarrow{B_1}||$ donc à i_1 :

$$\Phi_{1\to2} = M \quad i_1$$





On a principe de superposition : $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$

Le flux global du circuit C_1 est : $\Phi_1 = \Phi_{p,1} + \Phi_{2\to1} = L_1\, i_1 + M\, i_2$

La loi de Faraday donne : $e_1 = -\dfrac{d\Phi_1}{dt} = -L_1 \dfrac{d i_1}{dt} - M \dfrac{d i_2}{dt}$

Le coefficient d'inductance est en induction mutuelle:

$$M = \mu_0 \frac{N_1\, N_2\, S_2}{d}$$

Et pour le cas d'une infuence totale,Sonc si $S_1 = S_2$:

$M^2 = L_1 L_2$

Méthodologie pour aborder un exercice avec **induction mutuelle** :

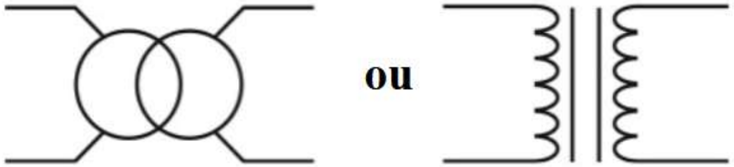
- Appliquer la loi de Faraday pour exprimer les forces électromotrices induites dans chaque bobine.

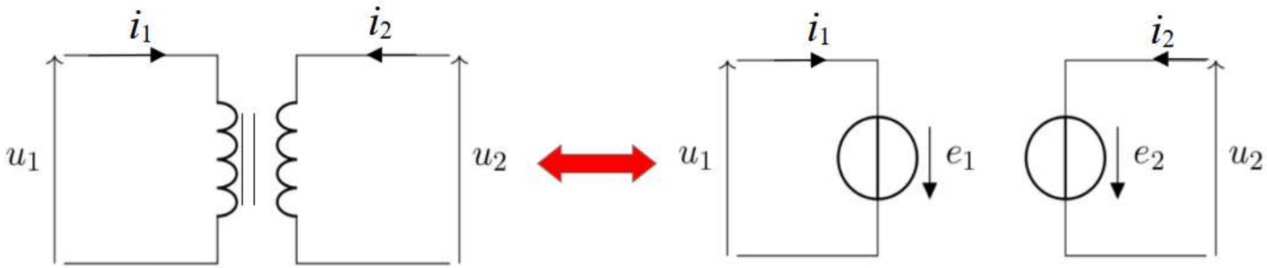
- Remplacer les bobines (idéales) par des sources de tension idéales de f.é.m. correspondantes.

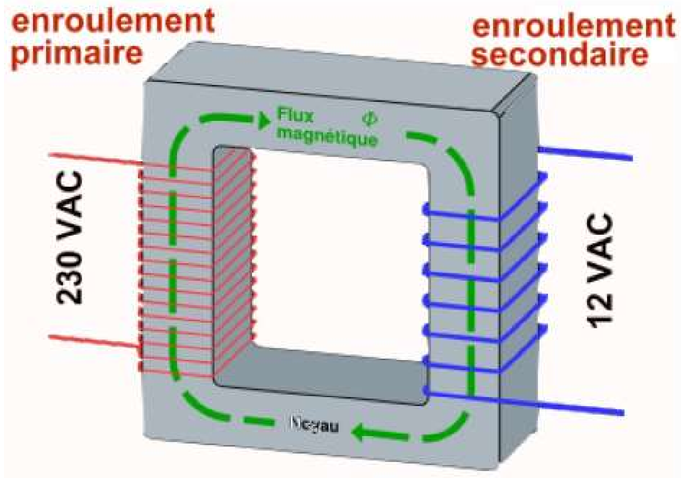
- Déterminer les équations différentielles couplées par application des lois de Kirchhoff.

Principe du transformateur

Schéma électrique d'un transformateur :







On note φ le champs magnétique dans le noyau

On a N_1 spires dans le primaire et N_2 dans le secondaire

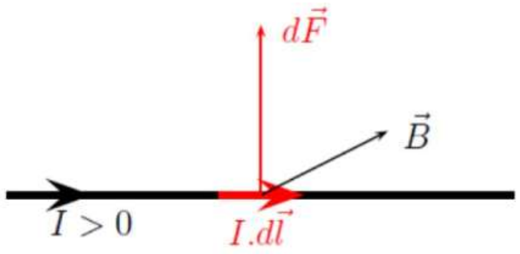
On a donc le flux magnétique dans le <u>primaire</u> : $\Phi_1 = N_1\ \varphi$

et dans le <u>secondaire</u> : $\Phi_2 = N_2\ \varphi$

Avec la loi des mailles et la loi de Faraday, on obtient l'égalité :

$$\frac{u_2(t)}{u_1(t)} = \frac{N_2}{N_1} = m$$ avec m le rapport de transformation

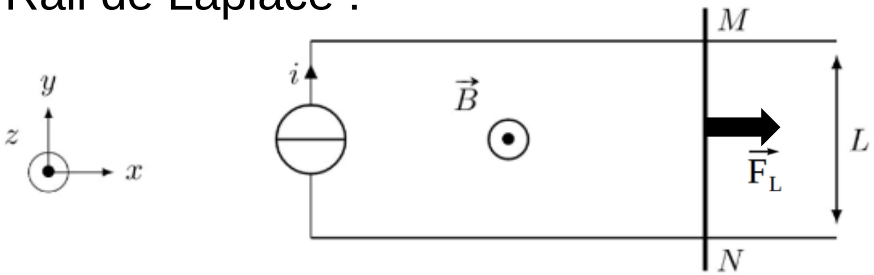
Force de Laplace



Force élémentaire de Laplace :

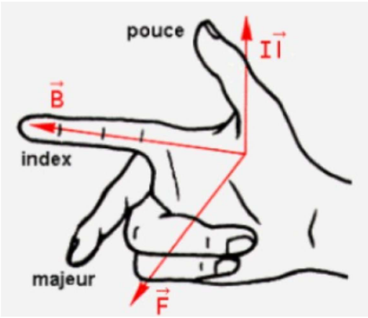
$$\overrightarrow{dF_L} = I\,\overrightarrow{d\ell} \wedge \vec{B}$$

Rail de Laplace :

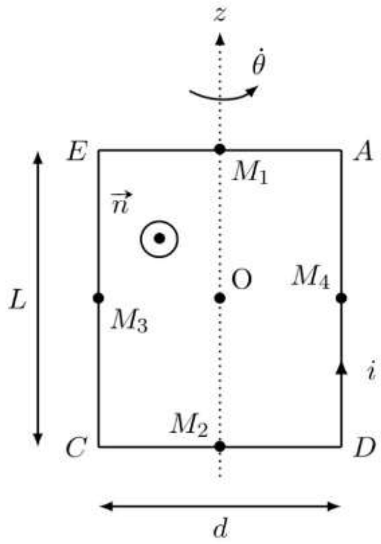


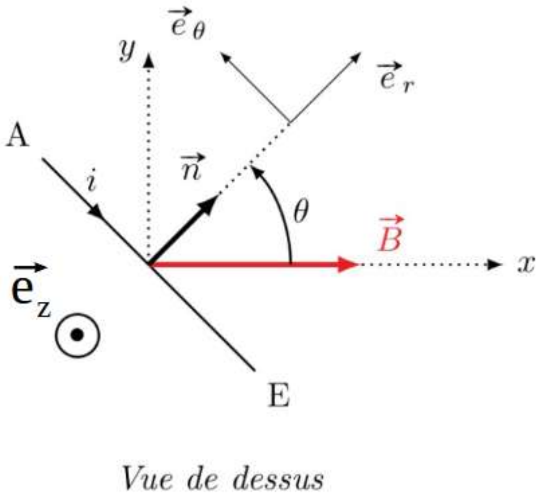
Force de Laplace :

$$\vec{F}_L = \int_M^N I\,\overrightarrow{d\ell} \wedge \vec{B} = I\,\overrightarrow{MN} \wedge \vec{B} = I\,\vec{L} \wedge \vec{B}$$



Pour l’orientation de la troisième valeur, du pouce au majeur (moyen mnémotechnique IBF ~ EDF, élèc..)





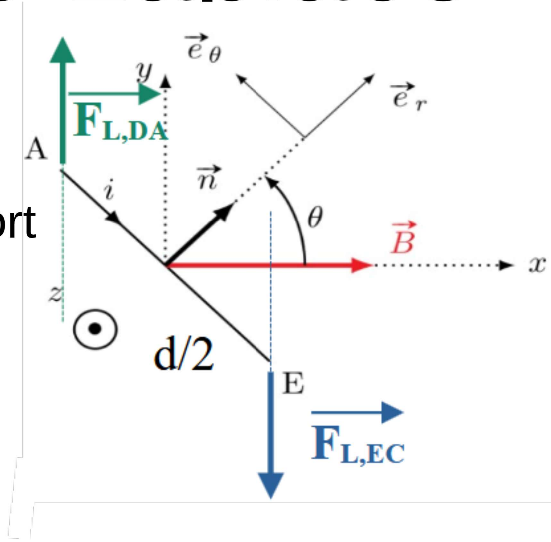
Soit un cadre ADCE de centre O dans lequel circule un courant i **orienté**, traversé par un champ magnétique B **uniforme**

On note theta l'angle entre la normal au cadre n et B

En général, la somme des forme sur un circuit fermé est **nulle** car les forces se compensent deux à deux dans ces conditions

$$\begin{aligned}\overrightarrow{F_{L,tot}} &= \overrightarrow{F_{L,AE}} + \overrightarrow{F_{L,EC}} + \overrightarrow{F_{L,CD}} + \overrightarrow{F_{L,DA}} \\ &= i\ \overrightarrow{AE} \wedge \vec{B} + i\ \overrightarrow{EC} \wedge \vec{B} + i\ \overrightarrow{CD} \wedge \vec{B} + i\ \overrightarrow{DA} \wedge \vec{B} \\ &= \vec{0} \quad \text{car} \quad \overrightarrow{CD} = -\overrightarrow{AE} \quad \text{et} \quad \overrightarrow{DA} = -\overrightarrow{EC}\end{aligned}$$

Couple de Laplace



Pour les portions AE et CD :

La force de Laplace est verticale, parallèle à l'axe Oz, donc son moment est nul par rapport à cet axe !

Pour EC : $\mathcal{M}_{Oz}(\overrightarrow{F_{L,EC}}) = -\|\overrightarrow{F_{L,EC}}\| \times \frac{d}{2}\sin\theta$

donc $\mathcal{M}_{Oz}(\overrightarrow{F_{L,EC}}) = -\frac{i\ L\ d\ B\ \sin\theta}{2}$

Pour DA : $\mathcal{M}_{Oz}(\overrightarrow{F_{L,DA}}) = -\|\overrightarrow{F_{L,DA}}\| \times \frac{d}{2}\sin\theta$

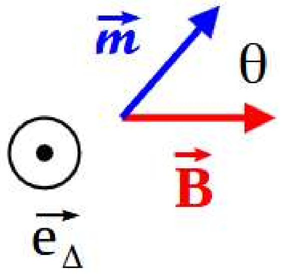
donc $\mathcal{M}_{Oz}(\overrightarrow{F_{L,DA}}) = -\frac{i\ L\ d\ B\ \sin\theta}{2}$

En général, le moment du couple de Laplace par rapport d'un axe Δ traversé par un champ B uniforme est : $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F_L}) = \mathcal{C}_L = (\vec{m} \wedge \vec{B}) \cdot \vec{e}_\Delta$

Si $\vec{m}$ et $\vec{B}$ sont **colinéaire** et dans le **même sens**, alors il y a **équilibre stable,**
si ils sont dans le **sens inverse** alors il y a **équilibre instable**

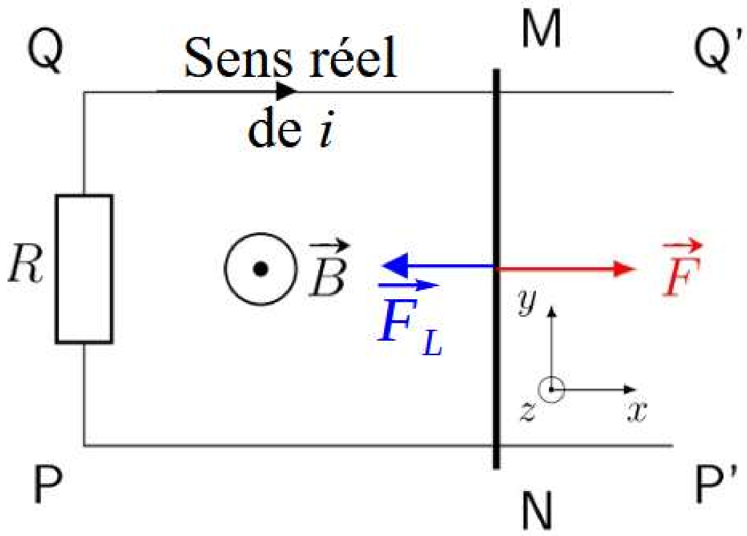
En général, le moment du couple de Laplace par rapport d'un axe Δ traversé par un champ B uniforme est : $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_L) = \mathcal{C}_L = (\vec{m} \wedge \vec{B}) \cdot \vec{e}_\Delta$

Si $\vec{m}$ et $\vec{B}$ sont **<u>colinéaire</u>** et dans le **<u>même sens</u>**, alors il y a **<u>équilibre stable,</u>**
si ils sont dans le **<u>sens inverse</u>** alors il y a **<u>équilibre instable</u>**

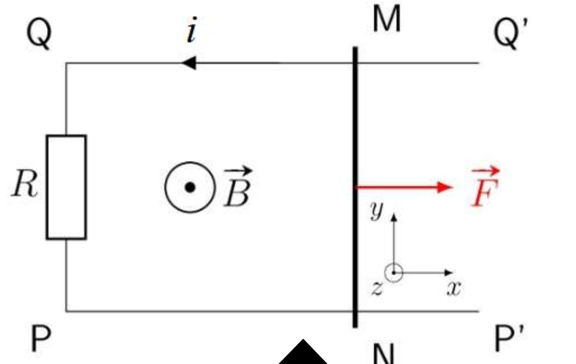


Conversion en puissance électromécanique

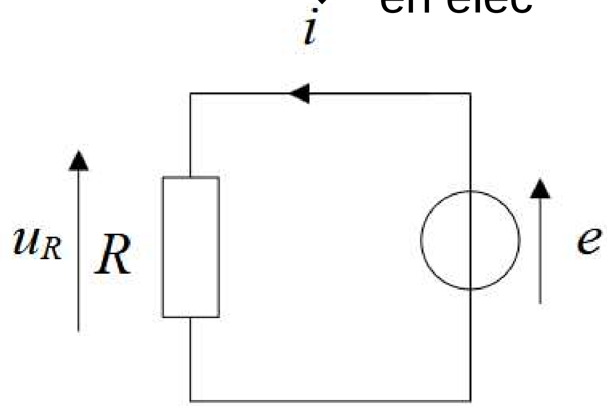
La déformation du circuit créer une variation du champs magnétique passant par le circuit donc d'après la **loi de modération de Lenz** on a apparition d'un courant i induit qui provoque l'apparition d'une force de Laplace qui compense la force F



On réalise **3 études** pour obtenir l'équation différentielle



Circuit équivalent en élec



<u>Étude de l'induction :</u>

Flux magnétique :

$$\Phi = \vec{B}\cdot\vec{S} = +\,B\;S = B\;L\;x$$

Loi de Faraday :

$$e = -\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t} = -\,B\;L\;\dot{x}$$

en convention générateur

<u>Étude électrique :</u>

Loi d'ohm et des mailles : u_r = e = Ri

<u>Étude mécanique :</u>

Force de Laplace : $\vec{F}_L = |i|\;\overrightarrow{MN}\wedge\vec{B} = i\;L\;B\;\vec{u}_x = -\frac{(BL)^2}{R}\;\dot{x}\;\vec{u}_x$

<u>PFD</u> sur le système de la {tige de masse m cste} dans un RTLSG avec projection sur l'axe x :

$$m\;\ddot{x} = F + F_L = F - \frac{(BL)^2}{R}\;\dot{x}$$

Rmq : F_L agi comme des frottements fluides

Étude en puissance :

Si on multiplie la loi des mailles par l'intensité i, on obtient la **puissance de Laplace** qui est converti en perte Joule :

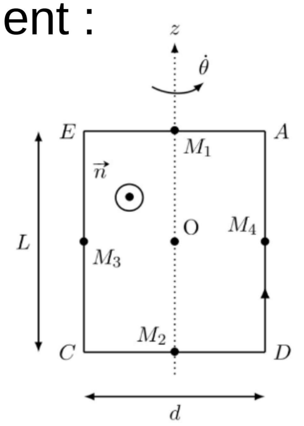
$$P_J = R\, i^2 = e\, i = -\, B\, L\, v\, i = -\, P\left(F_L\right)$$

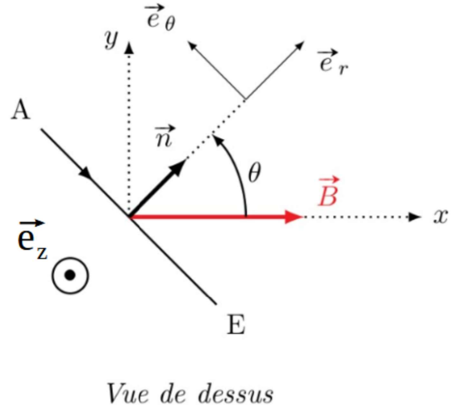
Si on multiplie la deuxième loi de Newton par la vitesse de déplacement, on obtient le **théorème de la puissance cinétique** appliqué à la tige :

$$\frac{\mathrm{d}\mathcal{E}_c}{\mathrm{d}t} = P\left(F\right) + P\left(F_L\right) \Leftrightarrow P\left(F\right) = \frac{\mathrm{d}\mathcal{E}_c}{\mathrm{d}t} + P_J$$

De même pour le cadre en rotation, in fine, on obtient :

$$i = \frac{B\ S\ \sin\theta}{R}\ \dot{\theta}$$





Le couple de Laplace est ainsi :

$$\Gamma_L = (\vec{m} \wedge \vec{B}) \cdot \vec{e}_z = i\ S\ (\vec{n} \wedge \vec{B}) \cdot \vec{e}_z$$

$$\Gamma_L = -i\ S\ B \sin\theta = -\frac{(B\ S\ \sin\theta)^2}{R}\ \dot{\theta} < 0$$

Et en appliquant le théorème du moment cinétique au cadre de moment d'inertie J par rapport à l'axe z:

$$J\ \ddot{\theta} = \Gamma + \Gamma_L = \Gamma - \frac{(BS\sin\theta)^2}{R}\ \dot{\theta}$$

On remarque qu'on a un couple résistant donc de freinage

Étude en puissance :

Si on multiplie la loi des mailles par l'intensité i, on obtient la **<u>puissance de Laplace</u>** qui est converti en puissance électrique :

$$P_J = R\, i^2 = e\, i = \frac{(B\ S\ \sin\theta)^2}{R}\,\dot{\theta}\times\dot{\theta} = -\,P(\Gamma_L)$$

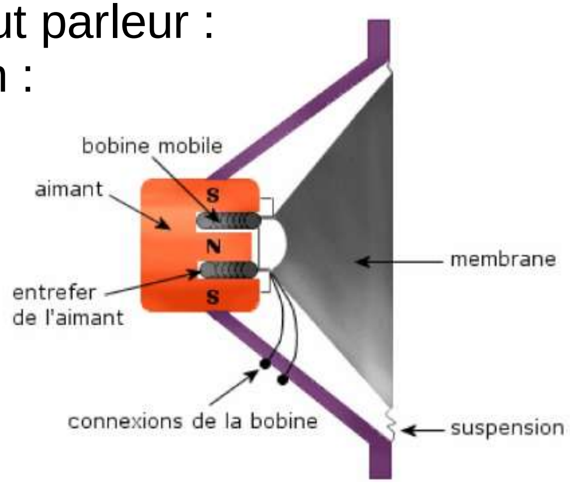
Si on multiplie la deuxième loi de Newton par la vitesse de rotation, on obtient le **<u>théorème de la puissance cinétique de rotation</u>** appliqué au cadre :

$$J\,\ddot{\theta}\,\dot{\theta} = \frac{\mathrm{d}\mathcal{E}_{c,rot}}{\mathrm{d}t} = P(\Gamma)+P(\Gamma_L) \;\Leftrightarrow\; P(\Gamma)=\frac{\mathrm{d}\mathcal{E}_{c,rot}}{\mathrm{d}t} + P_J$$

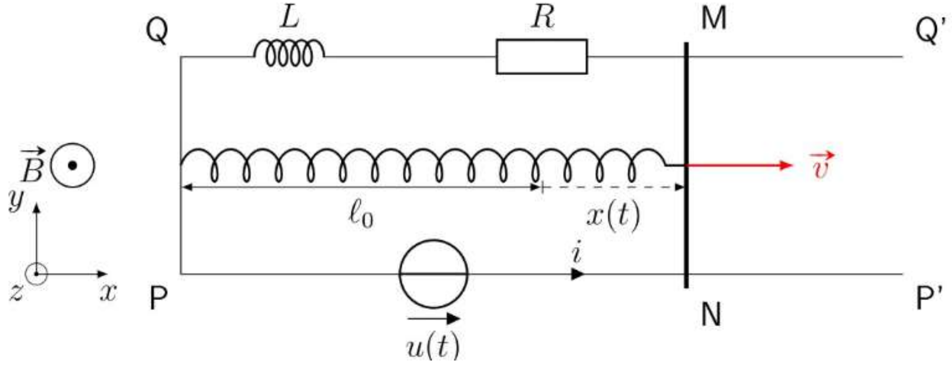
Une partie de la puissance de la puissance mécanique du couple est convertie en <u>mouvement</u> et le reste en <u>puissance électrique</u>

Cas du haut parleur :

Description :



Modélisation :



-Le ressort (k, l_0) modélise la suspension de la membrane

-La tige de longueur MN=a représente la bobine (de masse m)

- x caractérise la position de la bobine (x=0 au repos)

- frottements fluides membrane/air => modèle linéaire

- l'auto-induction, non négligeable, est prise en compte par l'inductance L de la bobine

- R représente la résistance globale du circuit électrique

- u(t) représente la tension d'alimentation du circuit.

Début de l'étude :

RTLSG ; système = {tige de masse m = cste}

Force de rappel du ressort : $\overrightarrow{F_r} = -k\,x\,\vec{e_x}$

Force de frottement fluide : $\overrightarrow{F_f} = -\alpha\,\dot{x}\,\vec{e_x}$

Force de Laplace : $\overrightarrow{F_L} = i\,a\,B\,\vec{e_x}$

Poids & frottements solides négligés

Étude mécanique :

2ème loi de Newton : $m\,\ddot{x} = -k\,x - \alpha\,\dot{x} + i\,a\,B$

Étude de l'induction :

Flux magnétique de B : $\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = +\,B\,a\,(\ell_0 + x)$

Force électromotrice induite (convention générateur) : $e_{ind} = -\,B\,a\,\dot{x}$

Étude électrique :

Lois des mailles et de comportement : $u + e_{ind} = R\,i + L\,\dfrac{di}{dt} = u - B\,a\,\dot{x}$

Les bilans de puissances donnent :

- Bilan de puissance mécanique :

$$m\,\ddot{x}\,\dot{x} = -k\,x\,\dot{x} - \alpha\,(\dot{x})^2 + i\,a\,B\,\dot{x} \iff \frac{d\mathcal{E}_{méca}}{dt} = -\,\alpha\,(\dot{x})^2 + \boxed{P_L}$$

- Bilan de puissance électrique :

$$u\,i = R\,i^2 + L\,i\,\frac{di}{dt} + B\,a\,\dot{x}\,i \iff P_{fournie} = P_J + \frac{d\mathcal{E}_{magn.}}{dt} + \boxed{P_L}$$

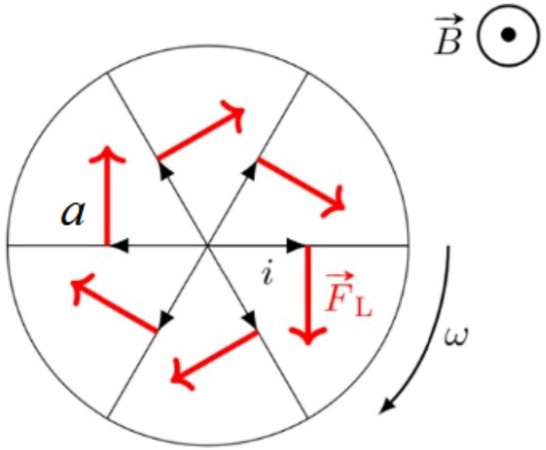
Donc :

$$P_{fournie} = P_J + \frac{d\mathcal{E}_{magn.}}{dt} + \boxed{\frac{d\mathcal{E}_{méca.}}{dt} + \alpha\,v^2}$$

Cas MCC à entrefer plein :

<u>Description</u> :
Muni d'un rotor d'axe (Oz)
Et d'un stator à aiment permanent qui génèrent un champ magnétique $\vec{B} = -\|\vec{B}\|\,\vec{e}_z$ stationnaire selon (Oz) :

<u>Modélisation</u> :



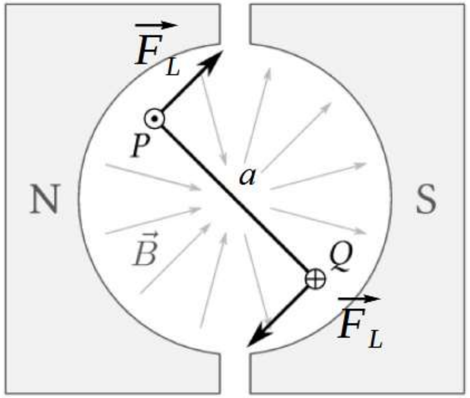
Le couple d'un MCC est proportionnel à l'intensité qui le parcourt :

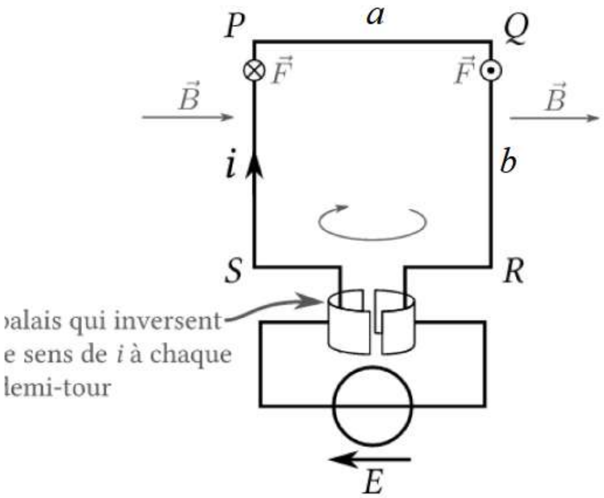
$$\Gamma_{tot} = +\frac{N}{2} i a^2 B = K\ i_{tot}$$

Et : e_{ind} = -K*w avec w la vitesse de rotation

Cas MCC :

Modélisation :





Le couple d'un MCC est proportionnel à l'intensité qui le parcourt :

$$\Gamma_{tot} = N\,a\,b\,B\ i = K\ i_{tot}$$

La constante de proportionnalité K est homogène à un flux magnétique constant

Et : e_{ind} = -K*w avec w la vitesse de rotation

L'équa diff qui décrit son mouvement est :

$$\frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega}{\tau} = \frac{\omega_s}{\tau}$$

Avec le temps caractéristique : $\tau = \dfrac{J R}{K^2}$

Et $\omega_s = \dfrac{E}{K} + \dfrac{R\Gamma_C}{K^2}$ si à vide : $\omega_{max} = \dfrac{E}{K}$

De plus, La vitesse maximale de rotation d'un moteur à courant continu est proportionnelle à la f.é.m. qui l'alimente :

CCINP – 2020

Haut-parleur (association d’un aimant et d’une bobine)

Mots-clés	**Notions de cours**	**Méthodologie**	**Liens entre les questions**
Sans calcul, principe de fonctionnement du haut-parleur	Tension=>courant électrique dans la bobine = force de Laplace=> déplacement membrane	x	x
Forces de Laplace	Règle de la main droite, calculer un produit scalaire et vectoriel	dFl=i.dl∧B, intégration sur une petite longueur, calcul du prod. vectoriel	x
Principe fondamental de la Dynamique	Lois de Newton, forces de rappel/frottements	Bilan des forces, projeter, écrire l’équation du mouvement	x
Puissance des forces de Laplace et f.e.m induite se compensent, vitesse v(t)	Loi de Lenz, force électromotrice, puissance de Laplace : Pl = Fl.v	Bilan de puissances électriques et mécaniques	Forces de Laplace (Q1)
Circuit, résistance, inductance	Symboles des composants	Représenter le schéma (avec f.e.m) et générateur de tension + loi des mailles	x
Equation électrique	Loi des mailles	Vérifier les conventions (générateur ou récepteur)	Schéma précédent
Notations complexes, impédance électrique totale	d.../dt= jw, $\underline{Z}=\underline{u}/\underline{i}$	Exprimer u et i en grâce aux équations précédentes	PFD + loi des mailles

CCINP - 2022

Perturbation d’une boussole à cause des câbles électriques

Mots-clés	**Notions de cours**	**Méthodologie**	**Liens entre les questions**
Perturbations	Un courant électrique dans un câble crée un champ magnétique autour de ce câble	x	x
Symétries/invariances distribution de courant, direction de B	Invariances et symétries de la distribution de courant (B appartient au plan d’antisymétrie), principe de Curie	Coordonnées cylindriques, point M qcq	x
Allure des lignes de champ électrique / schéma	Les lignes de champ sont parallèles au champ B	Savoir la direction de B	Direction de B (Q précédente)
Th. d’Ampère, expression du champ magnétique	Th. d’Ampère	Choisir un contour d’Ampère adapté, calculer B sur une petite longueur et Ienlacé	x
Solutions, aucune perturbation	Le champ B diminue avec la distance	Placer la boussole loin d’un câble	x

CCINP - 2023

Mots-clés	**Notions de cours**	**Méthodologie**	**Liens entre les questions**
Equations de Maxwell, trièdre direct entre E, B, k	Equations de Maxwell (complexes)	Exprimer Maxwell Faraday en complexe et isoler B (relation de propagation), forment une base directe	X
Calculer B	Relation de propagation, relation de dispersion	Calculer le produit vectoriel	Utiliser la relation

CCINP-2024

Chauffage d'un casserole par induction

Mots-clés	**Notions de cours**	**Méthodologie**	**Liens entre les questions**
Equation Maxwell, champ magnétique/électrique, vecteur densité de courant	Equations de Maxwell	Donner l'équation de Maxwell-Ampère	x
Régime lentement variable, champ magnétique seul	Dérivée nulle	Simplifier l'eq. de Maxwell-Ampère	Simplification de l'expression précédente
Expression de B au point M en fonction deB0, r, OM	Trigonométrie, DL à l'ordre 1	Triangle OMH représenté sur un schéma, trigonométrie et/ou DL à l'ordre 1	x
Valeur max pour OM pour que B soit équivalent à B0 (10%)		Reprendre les équations précédentes et isoler x	x
Flux magnétique, spire	Définition du flux	Champ magnétique uniforme (Φ=B.S)	x
Force électromotrice induite, spire	Loi de Faraday	Appliquer la loi de Faraday	La question précédente demande de trouver le flux
Expression courant induit, bobine	Schéma élec. équivalent, loi des mailles	Convention générateur pour f.e.m, négliger l'inductance propre	f.e.m induite est simplifiée dans i(t)
Puissance dissipée, thermique, effet Joule	Def pertes Joules	Appliquer $P=Ri^2$	Intégration de i dans cette relation
D'après les résultats précédents, calculer puissance moyenne	Valeur moyenne $\sin^2=1/2$	Calculer la puissance moyenne en sachant que $\sin^2=1/2$	Réutiliser la puissance dissipée par effet Joule

CCS1-2022

Rail de Laplace

Mots-clés	**Notions de cours**	**Méthodologie**	**Liens entre les questions**
Qualitativement, évolution vitesse	Loi de Lenz, force de Laplace	En bougeant, une force de Laplace va apparaître et d'après la loi de Lenz, elle va s'opposer au mvt, vitesse augmente et tend vers une vitesse limite	x
Force de Laplace, champ magnétique uniforme et stationnaire	Force de Laplace	Règle de la main droite, calculer le produit vectoriel	Calcul de la force de Laplace
Étude temporelle : Force électromotrice	Force de Laplace, Loi de Faraday	Calculer de la force de Laplace puis de la force électromotrice	x
Équation électrique	Loi des mailles	Faire un schéma électrique puis faire la loi des mailles	x
Équation mécanique	PFD, lois de Newton	Bilan des forces, application de la 2nd loi de Newton	x

Suite CCS1-2022

Mots-clés	**Notions de cours**	**Méthodologie**	**Liens entre les questions**
Déduire des équations précédentes une equa diff sur v(t)	x	Rassembler les 2 équations	Bilan des Q précédentes
Résoudre l'équa diff	x	Solution homogène, solution particulière, condition initiale	Fais rappel à la Q1 (vitesse augmente vers une certaine limite)
Puissance de la force de Laplace	Force de Laplace et déf de la puissance de la force de Laplace	Faire le produit scalaire avec la force de Laplace de la Q2	Q2
Puissance dissipée par effet Joule, interpréter	Déf de pertes par effet Joule	Remplacer e=Ri (déjà calculer avant)	Rappel de la Q3,4
Puissance fournie par opérateur extérieur	Déf puissance d'un point matériel qui de déplace avec une vitesse v	Relever les directions de la force et de la vitesse, faire le produit scalaire	x
À partir de l'éq. méca, faire un bilan de puissance global, interpréter	x	Faire le bilan de puissance	Rappel de la Q5

CCS1-2024

Solénoïde constitué de N spires

Mots-clés	**Notions de cours**	**Méthodologie**	**Liens entre les questions**
Orientation du champ magnétique au point M	Symétries/invariances, principe de Curie	Etudier les symétries et invariances (B est perpendiculaire au plan de symétrie)	x
Expression du champ B	Th. d’Ampère	Choisir un contour d’Ampère, calculer B et Ienlacé	Suite de la question précédente
Equa diff vérifiée par i(t)	Loi des mailles	Faire schéma électrique du solénoïde, faire une loi des mailles	x
Expression de i(t) sur un intervalle	Résolution d’une équa diff	Résoudre l’equa diff homogène + solution particulière	Repartir de la Q précédente
Régime transitoire	Temps caractéristique, 5*tau		x
Allure de i(t)		Phase de charge et de décharge, indiquer tau	x

CCS1-2025

Arrivée du Blue Fire

Mots-clés	Notions de cours	Méthodologie	Liens entre les questions
Décrire (qualitativement et précisément), le phénomène qui se produit	Force de Laplace, loi de Lenz	Loi de Lenz, force de la Laplace, loi de Faraday, variation de flux => freinage	x
Schéma, f.e.m induite, équa électrique	Flux magnétique, f.e.m, équa électrique	Intégrer B sur une surface, dériver le flux par rapport au temps, loi d'ohm (e=Ri), remplacer e	x
Spire soumise à une force	Force de Laplace	Calculer force de Laplace	Remplacer i de la question précédente
N aimants, recalculer la force de Laplace, équa diff, déterminer tau	Laplace	Recalculer la force de Laplace, appliquer le PFD, 2ème loi de Newton	x
Energie cinétique perdue, relation entre deux termes énergétiques	Théorème de l'énergie cinétique		x
Freinage mécanique d'appoint à faible vitesse		Force de Laplace dépend de v donc si v diminue, freinage diminue	x

CCS2-2023

Champ magnétique crée par une bobine

Mots-clés	**Notions de cours**	**Méthodologie**	**Liens entre les questions**
Schéma, direction du champ magnétique, variable dont il dépend	Règle de la main droite, symétries, invariances	Faire le schéma, appliquer la règle de la main droite, étudier les symétries => B est perpendiculaire au plan de symétrie	x
Champ magnétique nul à l'ext. de la bobine, le déterminer à l'intérieur	Th. d'Ampère pour un solénoïde infini	Choisir un contour D'Ampère (rectangulaire), calculer B, trouver l'orientation de I, calculer Ienlacé	Suite de la question précédente
Tracer allure des lignes de champ (pour une bobine de longueur infinie et finie)	Allure des lignes de champ magnétique	x	x
Indiquer sens du courant électrique, nom et expression de la force qui s'exerce dessus	Règle de la main droite, force de Laplace	Appliquer la règle de la main droite pour trouver le sens de I, nom de la force : force de Laplace	x

CCS2-2025

2 solénoïdes cylindres coaxiaux

Mots-clés	**Notions de cours**	**Méthodologie**	**Liens entre les questions**
Déf inductance propre et mutuelle entre deux circuits	Déf du flux propre et induction mutuelle	Exprimer les définitions du cours en fonction de ce qui est demandé	x
Établir expression des inductances propres (des 2 solénoïdes)	Déf du champ magnétique crée par un solénoïde infini, du flux	Calculer le champ magnétique puis le flux pour N spires dans chaque solénoïde	Calcul de la question précédente
Aucune perte magnétique, établir expression de l'inductance mutuelle	Déf de l'inductance mutuelle	Calculer les 2 flux	Calcul de la Q1
Exprimer l'inductance mutuelle en fonction des inductances des solénoïdes et d'un facteur k (dépendant des 2 rayons)	x	Faire le produit des des inductances, simplifier, exprimer k	Dépend de la question d'avant
k=1, montrer que ...	x	Grâce à k=1 mettre la relation précédente sous la forme demandée	Dépend de la Q précédente
Circuit primaire, circuit secondaire, transformateur, équation électrique montrer que ...			x

Conclusion

- CCINP 2020 : 13 % du sujet
- CCINP 2022 : 6 % du sujet
- CCINP 2023 : 2 questions
- CCINP 2024 : 20 % du sujet
- CCS1 – 2022 : 23 % du sujet
- CCS1 – 2024 : 12 % du sujet
- CCS1 – 2025 : 15 % du sujet
- CCS2 – 2023 : 10 % du sujet
- CCS2 – 2025 : 13 % du sujet