

Induction électromagnétique

Plan de la présentation

Prérequis

- Électrocinétique
- Force de Laplace
- Notion de champ magnétique, champ magnétique du solénoïde infini
- Loi de Biot et Savart

Sommaire

- Introduction: approche historique (Ørsted, Ampère, Faraday)
- Loi de Lenz-Faraday et loi de modulation de Lenz
- Induction de Neumann et équation de Maxwell Faraday
- Inductance propre et mutuelle
- Expérience: transformateur, mesure de l'induction mutuelle
- Courant de Foucault et applications: chauffage/freinage par induction

Introduction: approche historique

Introduction: approche historique

- Ørsted, 1820: un fil parcouru par un courant dévie l'aiguille d'une boussole

Introduction: approche historique

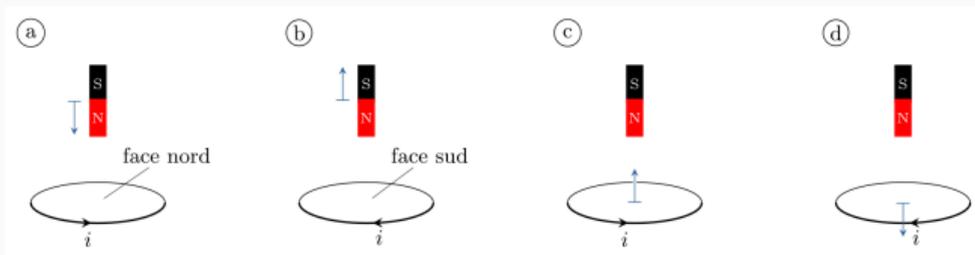
- Ørsted, 1820: un fil parcouru par un courant dévie l'aiguille d'une boussole
- Ampère/Biot Savart, 1820-1823: deux relation mathématique permettent de calculer le champ magnétique créé par des courants électriques

Introduction: approche historique

- Ørsted, 1820: un fil parcouru par un courant dévie l'aiguille d'une boussole
- Ampère/Biot Savart, 1820-1823: deux relation mathématique permettent de calculer le champ magnétique créé par des courants électriques
- Michael Faraday, 1831:

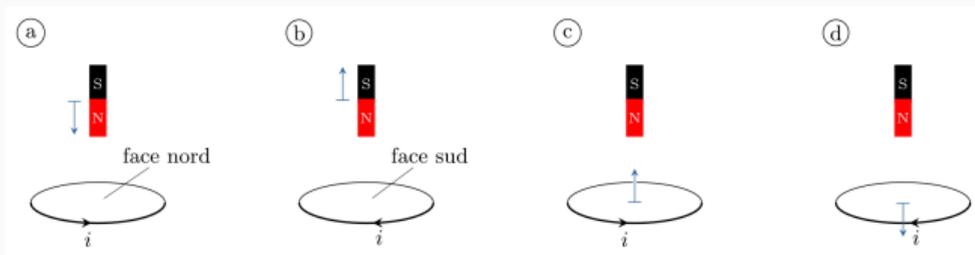
Introduction: approche historique

- Ørsted, 1820: un fil parcouru par un courant dévie l'aiguille d'une boussole
- Ampère/Biot Savart, 1820-1823: deux relation mathématique permettent de calculer le champ magnétique créé par des courants électriques
- Michael Faraday, 1831:
 - Expérience n°1 et n°2



Introduction: approche historique

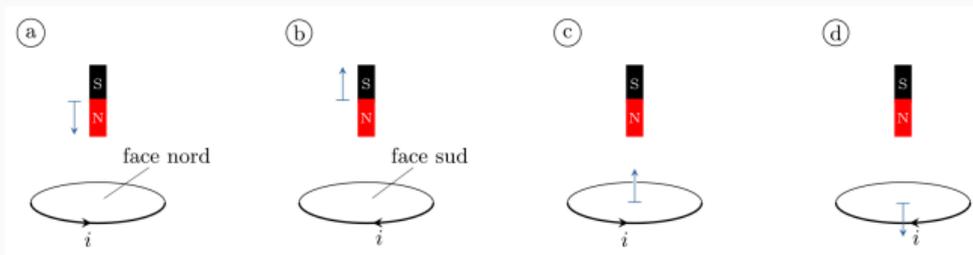
- Ørsted, 1820: un fil parcouru par un courant dévie l'aiguille d'une boussole
- Ampère/Biot Savart, 1820-1823: deux relation mathématique permettent de calculer le champ magnétique créé par des courants électriques
- Michael Faraday, 1831:
 - Expérience n°1 et n°2



- Expérience n°3 (Expérience n°1 mais en ouvrant le circuit) : le circuit se comporte comme une pile de f.é.m e (la polarité change selon le sens du mouvement).

Introduction: approche historique

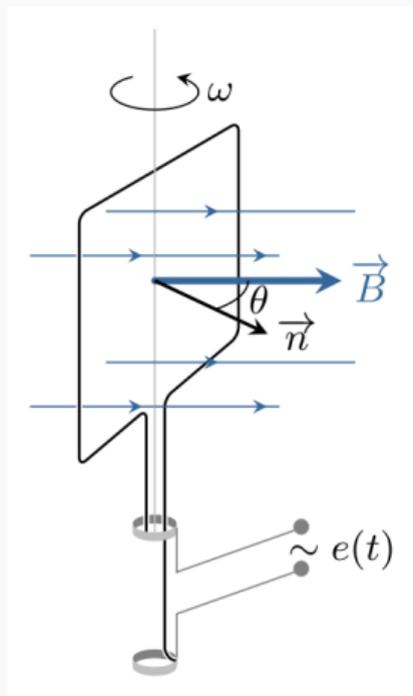
- Ørsted, 1820: un fil parcouru par un courant dévie l'aiguille d'une boussole
- Ampère/Biot Savart, 1820-1823: deux relation mathématique permettent de calculer le champ magnétique créé par des courants électriques
- Michael Faraday, 1831:
 - Expérience n°1 et n°2



- Expérience n°3 (Expérience n°1 mais **en ouvrant le circuit**) : le circuit se comporte comme **une pile** de f.é.m e (la polarité change selon le sens du mouvement).
- Lenz 1834, formulation mathématique des résultats expérimentaux de Faraday.

Conversion énergie mécanique / énergie électrique

Principe simplifié d'un alternateur: il permet de convertir l'énergie mécanique d'un rotor en mouvement (inducteur) en un courant alternatif au sein d'un stator (induit).



- Champ magnétique \vec{B} uniforme et permanent
- Cadre entraîné à une vitesse angulaire constante ω
- Flux magnétique qui traverse le rotor vaut

$$\phi_B = NSB \cos(\theta(t)) \quad N = \text{enroulements du cadre}$$

- Mouvement angulaire: $\theta(t) = \omega t + \theta_0$
- La f.é.m d'induction vaut:

$$e(t) = NSB\omega \sin(\theta(t))$$

Electricité produite par induction électromagnétique

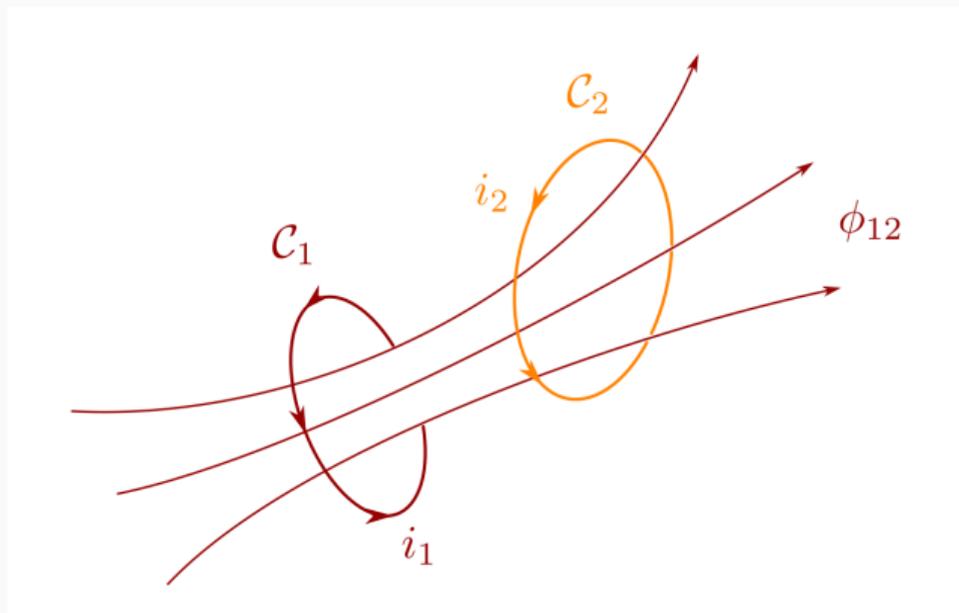
Source	Induction électromagnétique ?	%
Thermique (charbon, nucléaire, etc.)	✓	~60–65 %
Hydroélectrique	✓	~15–20 %
Éolien	✓	~7–10 %
Solaire (photovoltaïque)	✗	~3–5 %
Autres (pile, chimie)	✗	< 1 %

Electricité produite par induction électromagnétique

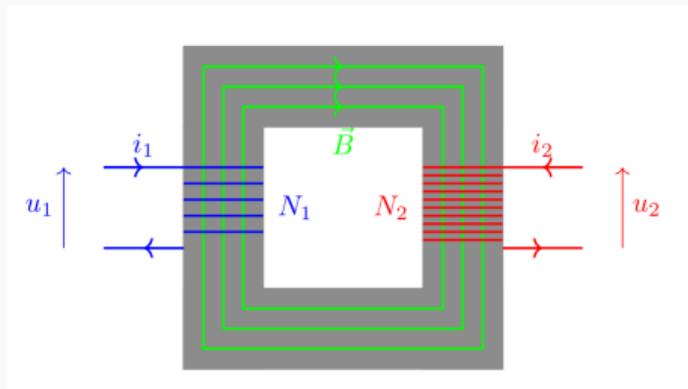
Source	Induction électromagnétique ?	%
Thermique (charbon, nucléaire, etc.)	✓	~60–65 %
Hydroélectrique	✓	~15–20 %
Éolien	✓	~7–10 %
Solaire (photovoltaïque)	✗	~3–5 %
Autres (pile, chimie)	✗	< 1 %

Les sources non inductives représentent une petite minorité (~5 %)

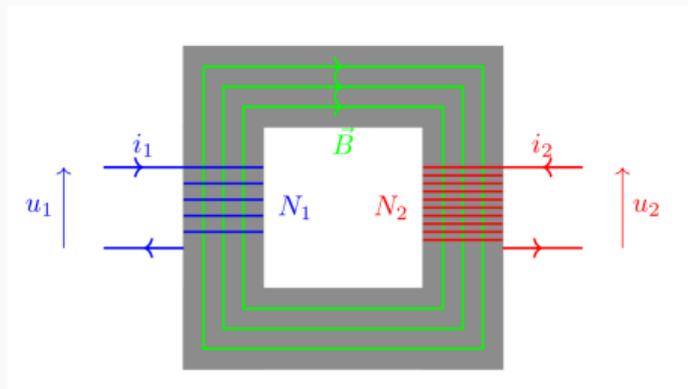
Inductance mutuelle



Transformateur



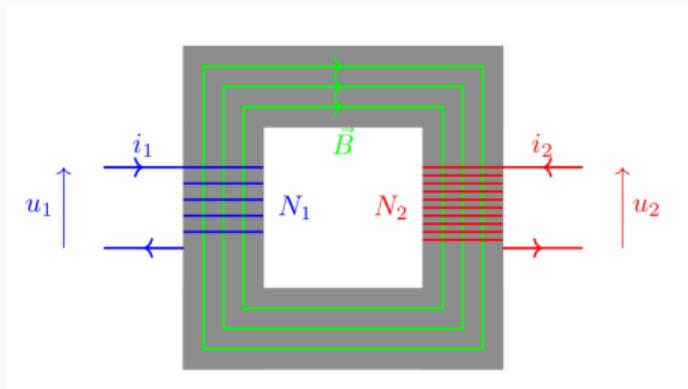
Transformateur



- Transformateur parfait:
 - $M = \sqrt{L_1 L_2}$
 - pas de fuite de champ magnétique
 - pas de phénomène dissipatif
- Bobine de même géométrie:

$$\frac{u_1}{u_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = \frac{N_1}{N_2}$$

Transformateur



- Transformateur parfait:
 - $M = \sqrt{L_1 L_2}$
 - pas de fuite de champ magnétique
 - pas de phénomène dissipatif
- Bobine de même géométrie:

$$\frac{u_1}{u_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = \frac{N_1}{N_2}$$

Utilité

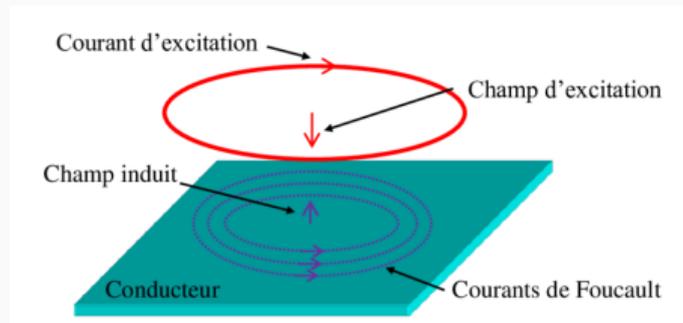
Faire passer la tension des lignes hautes tensions (20kV) à celle du secteur (220V).

Limites du transformateur parfait

- Pertes par effet joule dans les bobinages (pertes cuivre)
- Pertes liées au cycle d'hystérésis du matériau doux utilisé (pertes fer)

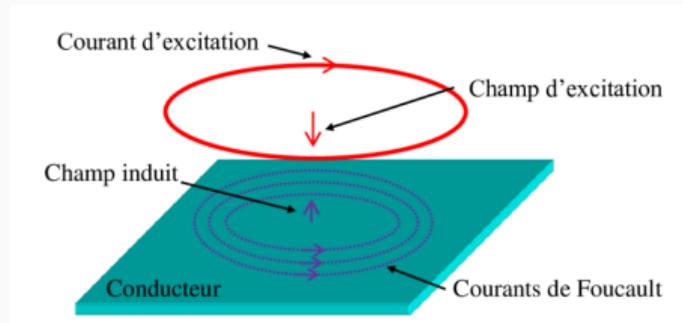
Courants de Foucault

Courants volumiques dans autre chose qu'un circuit filiforme



Courants de Foucault

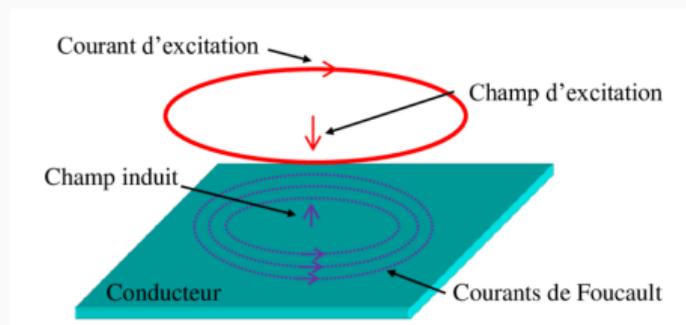
Courants volumiques dans autre chose qu'un circuit filiforme



O.D.G. de la puissance dissipée:

Courants de Foucault

Courants volumiques dans autre chose qu'un circuit filiforme

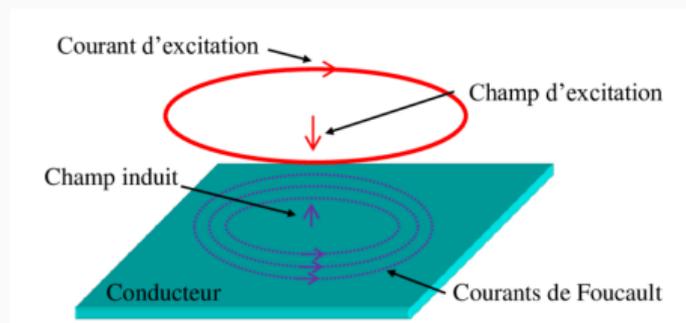


O.D.G. de la puissance dissipée:

- Conducteur de cylindrique de rayon R , hauteur h , conductivité σ .
- $\vec{B}_e = B_0 \cos(\omega t) \vec{e}_z \implies \vec{E}_i = E_i(r) \vec{e}_\theta$

Courants de Foucault

Courants volumiques dans autre chose qu'un circuit filiforme



O.D.G. de la puissance dissipée:

- Conducteur de cylindrique de rayon R , hauteur h , conductivité σ .
- $\vec{B}_e = B_0 \cos(\omega t) \vec{e}_z \implies \vec{E}_i = E_i(r) \vec{e}_\theta$
- $E_i \approx \omega R B_0$ (d'après la loi de Faraday-Lenz)
- Courant volumique de Foucault $J_F = \sigma E_i \approx \sigma \omega R B_0$
- Puissance volumique dissipée: $\mathcal{P}_V = J_F E_i = \sigma \omega^2 R^2 B_0^2$
- Puissance dissipée: $\mathcal{P} = V \mathcal{P}_V$, avec $V = \text{volume}$

Feuilletage

Typiquement dans les transformateurs où les courants de Foucault représentent une source de perte non négligeable.

Feuilletage

Typiquement dans les transformateurs où les courants de Foucault représentent une source de perte non négligeable.

Puissance dissipée:

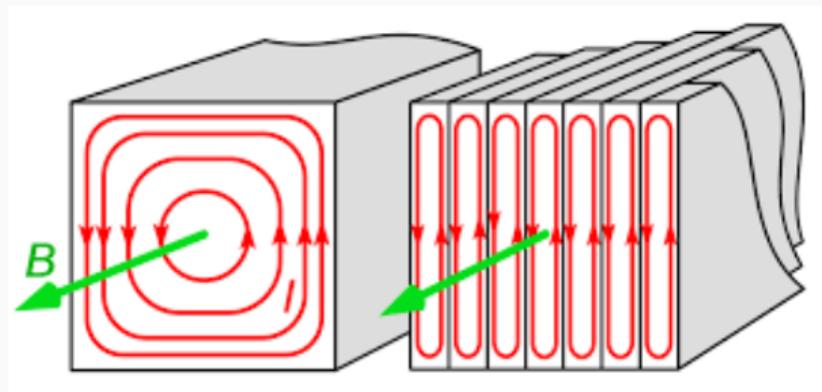
$$\mathcal{P} = J_F E_i = V \sigma \omega^2 R^2 B_0^2$$

Feuilletage

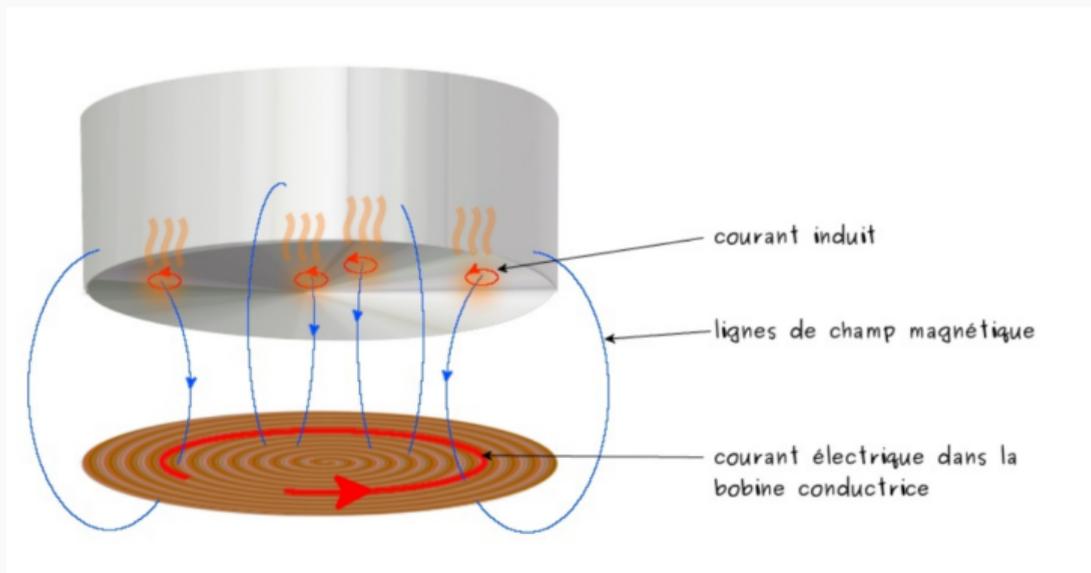
Typiquement dans les transformateurs où les courants de Foucault représentent une source de perte non négligeable.

Puissance dissipée:

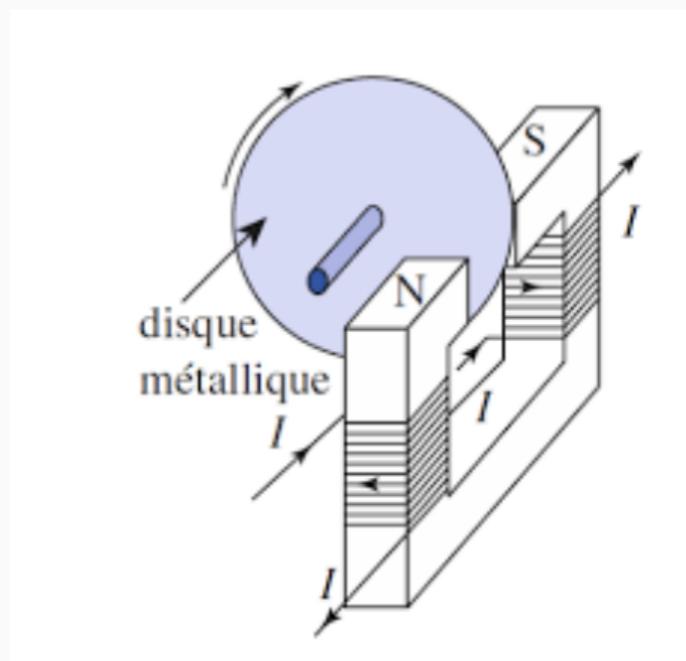
$$\mathcal{P} = J_F E_i = V \sigma \omega^2 R^2 B_0^2$$



Chauffage par induction



Freinage par induction



Conclusions

- Induction électromagnétique: phénomènes électriques qui apparaissent à cause du mouvement des charges électriques dans un conducteur, éventuellement mobile, en présence d'un champ électromagnétique variable dans le temps.

Conclusions

- Induction électromagnétique: phénomènes électriques qui apparaissent à cause du mouvement des charges électriques dans un conducteur, éventuellement mobile, en présence d'un champ électromagnétique variable dans le temps.
- Loi de Lenz-Faraday, induction de Lorentz et Neumann, loi de modération

Conclusions

- Induction électromagnétique: phénomènes électriques qui apparaissent à cause du mouvement des charges électriques dans un conducteur, éventuellement mobile, en présence d'un champ électromagnétique variable dans le temps.
- Loi de Lenz-Faraday, induction de Lorentz et Neumann, loi de modération
- Applications:

Conclusions

- Induction électromagnétique: phénomènes électriques qui apparaissent à cause du mouvement des charges électriques dans un conducteur, éventuellement mobile, en présence d'un champ électromagnétique variable dans le temps.
- Loi de Lenz-Faraday, induction de Lorentz et Neumann, loi de modération
- Applications:
 - Conversion énergie mécanique / énergie électrique

Conclusions

- Induction électromagnétique: phénomènes électriques qui apparaissent à cause du mouvement des charges électriques dans un conducteur, éventuellement mobile, en présence d'un champ électromagnétique variable dans le temps.
- Loi de Lenz-Faraday, induction de Lorentz et Neumann, loi de modération
- Applications:
 - Conversion énergie mécanique / énergie électrique
 - Transformateur

Conclusions

- Induction électromagnétique: phénomènes électriques qui apparaissent à cause du mouvement des charges électriques dans un conducteur, éventuellement mobile, en présence d'un champ électromagnétique variable dans le temps.
- Loi de Lenz-Faraday, induction de Lorentz et Neumann, loi de modération
- Applications:
 - Conversion énergie mécanique / énergie électrique
 - Transformateur
 - Chauffage/Freinage par induction