



Licence 3 – Sciences de la Terre, de l'Univers et de l'Environnement

Université Joseph Fourier

TUE 302 : Outil Physique et Géophysique

⑤ Électromagnétisme Équations de Maxwell générales

✉ Daniel.Brito@ujf-grenoble.fr

👁 MAISON DES GÉOSCIENCES
UNIVERSITÉ JOSEPH–FOURIER

☎ 04 76 82 80 42

Loi de Faraday

Loi de Lentz

Écriture locale

Equations de ...

Page d'accueil

Page de Titre



Page 1 de 10

Retour

Plein écran

Fermer

Quitter

\vec{E} et \vec{B} varient dans le temps et dans l'espace désormais.

Exemple : Ondes électromagnétiques (transmission radio, télé, lumière, rayons X, etc...)

Jusqu'à maintenant, études de \vec{E} et \vec{B} séparément :

- ✓ distributions de charges $\rho \rightarrow \vec{E}$ électrostatique.
- ✓ courant continu $\vec{J} \rightarrow \vec{B}$ constant au cours du temps. Magnéto-
statique.

On a vu 4 equations (Maxwell) :

$$\left\{ \begin{array}{ll}
 \text{Électrostatique} & \text{div } \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}, \\
 & \text{rot } \vec{E} = \vec{0} \left(\text{vient de } \text{rot} \left(-\text{grad} V \right) = \vec{0} \quad \forall V \right), \\
 \text{Magnétostatique} & \text{div } \vec{B} = 0, \\
 & \text{rot } \vec{B} = \mu_0 \vec{J}.
 \end{array} \right.$$

Loi de Faraday

Loi de Lentz

Écriture locale

Equations de ...

Page d'accueil

Page de Titre

◀ ▶

◀ ▶

Page 2 de 10

Retour

Plein écran

Fermer

Quitter

Loi de Faraday

1840 : Faraday démontre que pour créer \vec{E} (ou I) , il faut que \vec{B} varie dans le temps

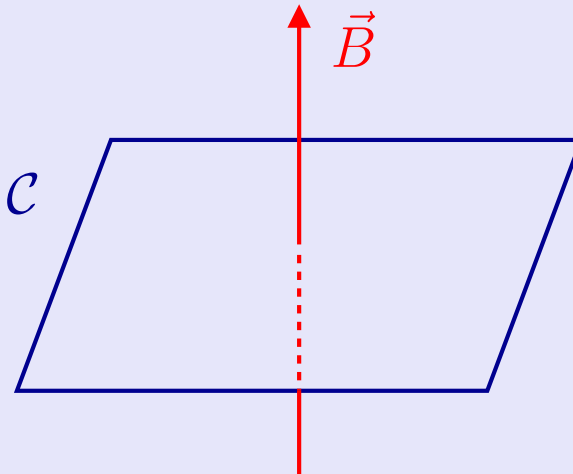
→ Equations de Maxwell générales

Exemple :

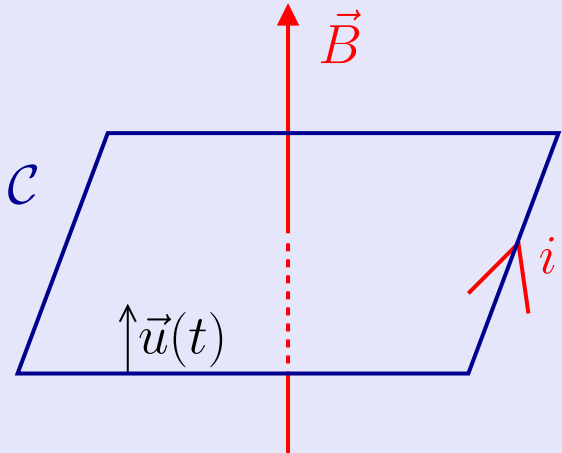
- ✓ Conducteur qui bouge au sein d'un champ magnétique \vec{B} .
(trousseau de clefs bougeant au sein du champ magnétique terrestre !)

Loi de base de l'électromagnétisme découverte par Faraday

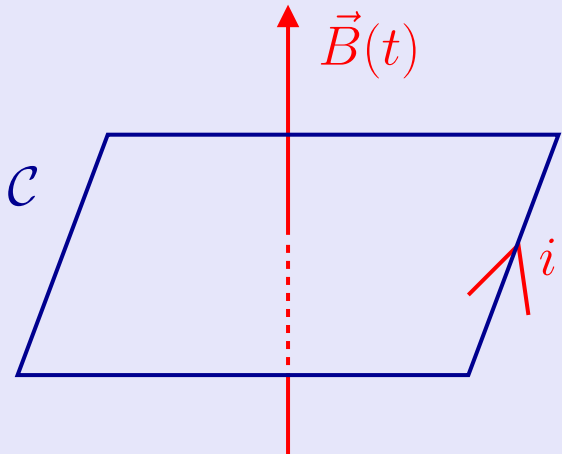
Soit un champ magnétique \vec{B} au sein d'un circuit fermé quelconque.



Loi de Faraday



- ✓ Si on fait bouger le circuit à une vitesse non stationnaire dans un \vec{B} stationnaire, il apparaît un courant i dans le circuit fermé.



- ✓ Si on fait fait varier dans le temps \vec{B} au sein du circuit fixe, il apparaît aussi un courant I dans le circuit fermé.

Loi de Lentz

Une force électromotrice apparaît dans le circuit : \rightarrow

$$\varepsilon = \text{f. e. m.} = \oint_C \vec{E}_{\text{non statique}} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial \phi}{\partial t}$$

où ϕ est le flux magnétique à travers le circuit.

Loi de Lentz : ε crée par $\partial \vec{B} / \partial t$ tend à créer un champ magnétique \vec{b} qui s'oppose à cette variation temporelle, **ou**, la force électromotrice produit des effets qui s'opposent à l'action qui en est la cause.

$$\partial \vec{B} / \partial t \rightarrow \vec{E} \rightarrow I \rightarrow \vec{b}.$$

Les courant i créés par $\partial \vec{B} / \partial t$ sont appelés des courants de Foucault.

Loi de Faraday

Loi de Lentz

Écriture locale

Equations de ...

Page d'accueil

Page de Titre



Page 5 de 10

Retour

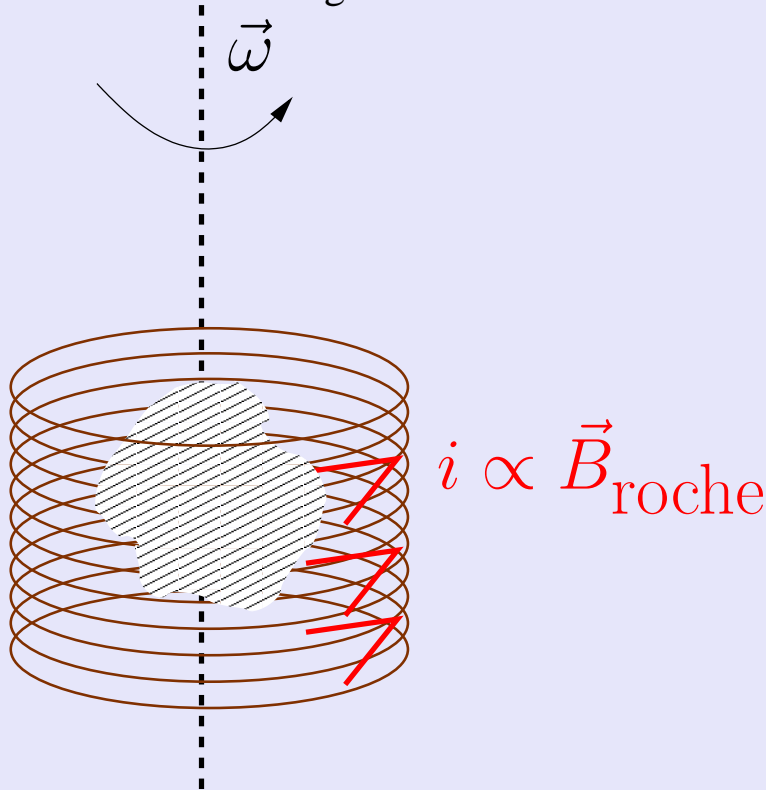
Plein écran

Fermer

Quitter

Loi de Lenz

Exemple d'application : Pour la géologie, mesure du champ magnétique porté par une roche. Faire tourner une roche au sein d'une bobine de cuivre. Paléomagnétisme.



Écriture locale

Écrivons localement la loi de Faraday :

$$\varepsilon = -\frac{\partial \phi}{\partial t} = \oint_c \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \iint_s \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

$$\Leftrightarrow \iint_s \text{rot} \vec{E} \cdot d\vec{S} = -\frac{\partial}{\partial t} \iint_s \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

$$\Leftrightarrow \text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

A ce stade, voici les équations de Maxwell :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ \text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \text{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{J} \\ \text{div} \vec{B} = 0 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{J} \\ \operatorname{div} \vec{B} = 0 \end{array} \right.$$

Écrites comme ceci, les équations de Maxwell ne sont pas générales ; en effet

$$\operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{J} \rightarrow \vec{J} = \frac{\operatorname{rot} \vec{B}}{\mu_0}.$$

Or dans le chapitre ④

$$\operatorname{div} \vec{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

$$\Leftrightarrow \frac{\partial \rho}{\partial t} = -\operatorname{div} \vec{J} = -\operatorname{div} \left(\frac{\operatorname{rot} \vec{B}}{\mu_0} \right) = 0 \text{ car } \operatorname{div} (\operatorname{rot} \vec{X}) = 0 \quad \forall \vec{X}$$

Étendons cette équation au cadre de l'électromagnétisme :

$$\begin{aligned}\iint_S \vec{J} \cdot d\vec{S} &= \iiint_V \operatorname{div} \vec{J} dV = \iiint_V -\frac{\partial \rho}{\partial t} dV = \iiint_V -\frac{\partial (\epsilon_0 \operatorname{div} \vec{E})}{\partial t} dV = \\ &= -\epsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \operatorname{div} \vec{E} dV = -\epsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} \oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{S}\end{aligned}$$

On en conclut

$$\vec{J} = -\epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}.$$

\vec{J} est donc la résultante de deux contributions :

$$1) \operatorname{rot} \vec{B} / \mu_0,$$

$$\text{et } 2) -\epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}.$$

$$\rightarrow \vec{J} = \operatorname{rot} \vec{B} / \mu_0 - \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}.$$

Equations de Maxwell générales

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \operatorname{div} \vec{B} = 0 \\ \operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \left(\vec{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) \end{array} \right.$$

Loi de Faraday

Loi de Lenz

Écriture locale

Equations de...

Page d'accueil

Page de Titre



Page 10 de 10

Retour

Plein écran

Fermer

Quitter