



Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

Applications
de
th.d' Ampère

Dipôle
magnétique

Dipôles
magnétiques
atomiques

Magnétostatique



Magnétostatique

Loi de Biot et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

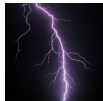
Applications
de
th.d' Ampère

Dipôle
magnétique

Dipôles
magnétiques
atomiques

1

Loi de Biot et Savart



Loi de Biot et Savart

Magnétostatique

Loi de Biot et Savart

Propriétés de symétries et d'invariances

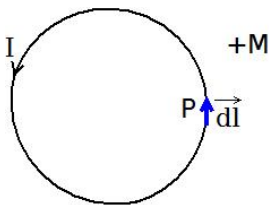
Flux de champ magnétique

Circulation de champ magnétique

Applications de th.d' Ampère

Dipôle magnétique

Dipôles magnétiques atomiques



$$\vec{B}(M) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_D \frac{I d\vec{l} \wedge \vec{PM}}{\|\vec{PM}\|^3}$$

- ▶ $\|\vec{B}\|$ = champ magnétique en Tesla (T)
- ▶ μ_0 = perméabilité du vide = $4\pi \times 10^{-7} \text{ H}\cdot\text{m}^{-1}$
- ▶ I = intensité dans le fil (A)

Calcul de $B(M)$ par méthode intégrale

Magnétostatique

Loi de Biot et Savart

Propriétés de symétries et d'invariances

Flux de champ magnétique

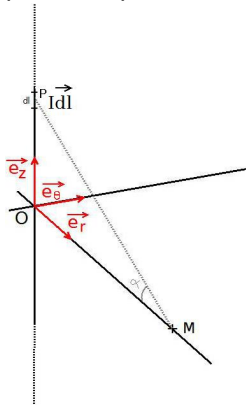
Circulation de champ magnétique

Applications de th.d' Ampère

Dipôle magnétique

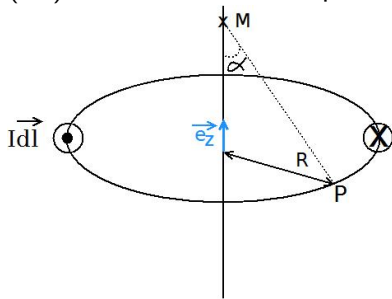
Dipôles magnétiques atomiques

Pour un fil infini d'axe (Oz) parcouru par un courant I ,



$$\vec{B}(M) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \vec{e}_\theta$$

Pour une spire de courant d'axe (Oz) située en O , le champ,



$$\vec{B}(M \in (Oz)) = \frac{\mu_0 I \sin^3 \alpha}{2R} \vec{e}_z$$



Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

Applications
de
th.d' Ampère

Dipôle
magnétique

Dipôles
magnétiques
atomiques

2

Propriétés de symétries et d'invariances

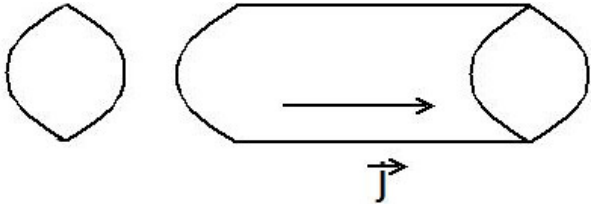
Symétries de la distribution de courant

On regarde les propriétés de la distribution de courant :

Soit \mathcal{D} une distribution de courant. Π est un plan de symétrie pour \mathcal{D} si, pour tout couple (M, M') tel que $M' = \text{sym}_{\Pi}(M)$, on

a

$$I \vec{d}\vec{l}(M') = \text{sym}_{\Pi} I \vec{d}\vec{l}(M)$$



Vecteur densité de courant :

.....



Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

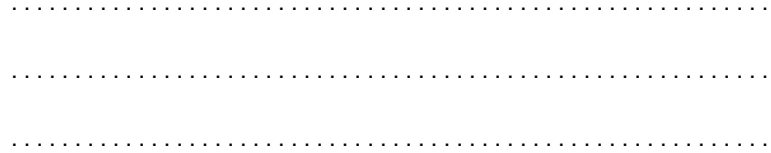
Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

Applications
de
th.d' Ampère

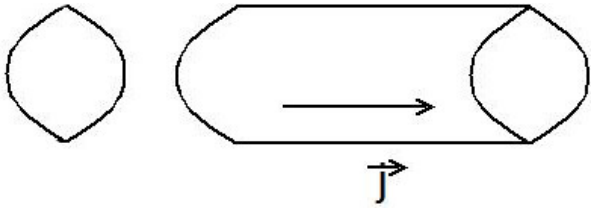
Dipôle
magnétique

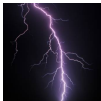
Dipôles
magnétiques
atomiques



Soit \mathcal{D} une distribution de courant. Π^* est un plan d'anti-symétrie pour \mathcal{D} si, pour tout couple (M, M') tel que $M' = \text{sym}_{\Pi^*} M$, on a

$$I \vec{dl}(M') = -\text{sym}_{\Pi^*} I \vec{dl}(M)$$





Invariances de la distribution de courant

Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

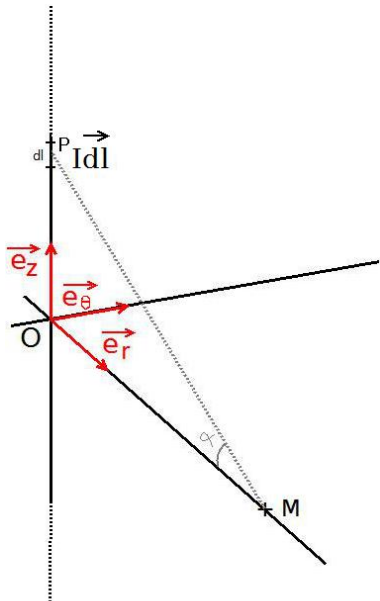
Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

Applications
de
th.d' Ampère

Dipôle
magnétique

Dipôles
magnétiques
atomiques



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Propriétés du champ magnétique

Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

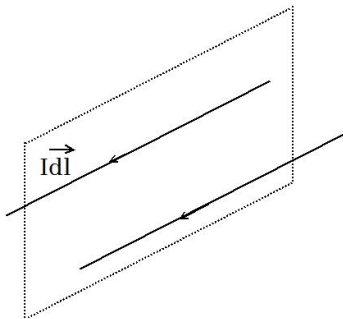
Applications
de
th.d' Ampère

Dipôle
magnétique

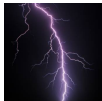
Dipôles
magnétiques
atomiques

Le principe de Curie permet d'obtenir les invariances du champ magnétique.

Par contre les propriétés du champ \vec{B} ne s'expriment pas de la même manière à cause du \wedge



$$\vec{B}(M \in \Pi) \dots \Pi$$



Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

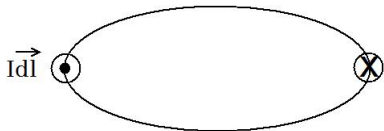
Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

Applications
de
th.d' Ampère

Dipôle
magnétique

Dipôles
magnétiques
atomiques



$$\vec{B}(M \in \Pi^*) \dots \Pi^*$$



Cartes de champ

Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

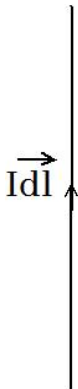
Flux de
champ
magnétique

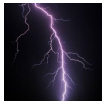
Circulation
de champ
magnétique

Applications
de
th.d' Ampère

Dipôle
magnétique

Dipôles
magnétiques
atomiques





Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

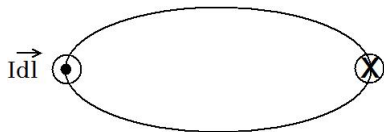
Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

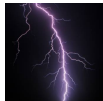
Applications
de
th.d' Ampère

Dipôle
magnétique

Dipôles
magnétiques
atomiques



Les lignes de champ magnétique sont



Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

**Flux de
champ
magnétique**

Circulation
de champ
magnétique

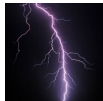
Applications
de
th.d' Ampère

Dipôle
magnétique

Dipôles
magnétiques
atomiques

3

Flux de champ magnétique



Flux de champ magnétique

Magnétostatique

Définition :

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

**Flux de
champ
magnétique**

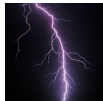
Circulation
de champ
magnétique

Applications
de
th.d' Ampère

Dipôle
magnétique

Dipôles
magnétiques
atomiques

Propriétés pour une surface fermée et formulation locale



Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

Flux de
champ
magnétique

**Circulation
de champ
magnétique**

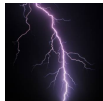
Applications
de
th.d' Ampère

Dipôle
magnétique

Dipôles
magnétiques
atomiques

4

Circulation de champ magnétique



Circulation de champ magnétique sur un contour fermé

Magnétostatique

Définition :

Loi de Biot et Savart

Propriétés de symétries et d'invariances

Flux de champ magnétique

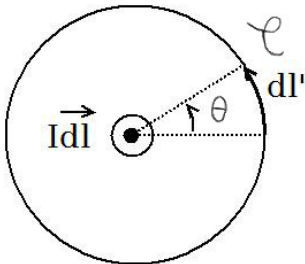
Circulation de champ magnétique

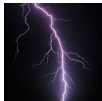
Applications de th.d' Ampère

Dipôle magnétique

Dipôles magnétiques atomiques

Exemple : Contour fermé (orienté) enlaçant un fil





Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

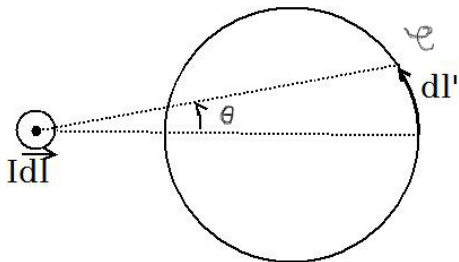
Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

Applications
de
th.d' Ampère

Dipôle
magnétique

Dipôles
magnétiques
atomiques



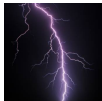
.....

.....

.....

.....

.....



Magnétostatique Théorème d'Ampère

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

Applications
de
th.d'Ampère

Dipôle
magnétique

Dipôles
magnétiques
atomiques

.....

.....

.....

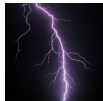
.....

Formulation locale du théorème d'Ampère

.....

.....

.....



Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

**Applications
de
th.d'Ampère**

Dipôle
magnétique

Dipôles
magnétiques
atomiques

5

Applications de th.d'Ampère



Champ magnétique crée par un fil infini

Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

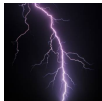
Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

**Applications
de
th.d' Ampère**

Dipôle
magnétique

Dipôles
magnétiques
atomiques



Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

Applications
de
th.d'Ampère

Dipôle
magnétique

Dipôles
magnétiques
atomiques



Champ magnétique crée par un cylindre infini

Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

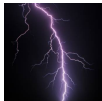
Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

Applications
de
th.d'Ampère

Dipôle
magnétique

Dipôles
magnétiques
atomiques



Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

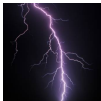
Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

Applications
de
th.d' Ampère

Dipôle
magnétique

Dipôles
magnétiques
atomiques



Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

Applications
de
th.d'Ampère

Dipôle
magnétique

Dipôles
magnétiques
atomiques

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Champ magnétique dans un solénoïde infini

Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

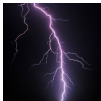
Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

**Applications
de
th.d' Ampère**

Dipôle
magnétique

Dipôles
magnétiques
atomiques



Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

Applications
de
th.d' Ampère

Dipôle
magnétique

Dipôles
magnétiques
atomiques

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

Applications
de
th.d' Ampère

Dipôle
magnétique

Dipôles
magnétiques
atomiques

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

**Applications
de
th.d' Ampère**

Dipôle
magnétique

Dipôles
magnétiques
atomiques

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Inductance d'un solénoïde



- Magnétostatique**
- Loi de Biot et Savart
- Propriétés de symétries et d'invariances
- Flux de champ magnétique
- Circulation de champ magnétique
- Applications de th.d'Ampère**
- Dipôle magnétique
- Dipôles magnétiques atomiques

.....

.....

.....

.....

.....

.....

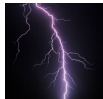
.....

.....

.....

.....

Densité volumique d'énergie magnétique



Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

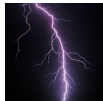
Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

Applications
de
th.d'Ampère

Dipôle
magnétique

Dipôles
magnétiques
atomiques



Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

Applications
de
th.d' Ampère

**Dipôle
magnétique**

Dipôles
magnétiques
atomiques

6

Dipôle magnétique



Force de Lorentz et force de Laplace

Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

Applications
de
th.d' Ampère

Dipôle
magnétique

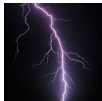
Dipôles
magnétiques
atomiques

► Force de Lorentz :

Force exercée par un champ électromagnétique sur une particule ponctuelle de charge q , en mouvement à vitesse \vec{v} dans le référentiel d'étude :

► Force de Laplace :

On considère une portion de circuit de longueur dl plongée dans un champ magnétique extérieur B ($\vec{E} = \vec{0}$). Pendant la durée dt , une quantité de charge dq parcourt la distance dl à la vitesse \vec{v} .



Résultante des forces

Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

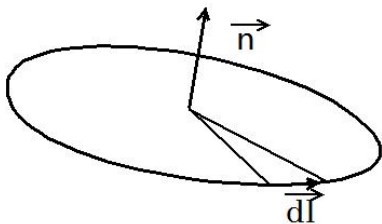
Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

Applications
de
th.d' Ampère

Dipôle
magnétique

Dipôles
magnétiques
atomiques



Dans le cas où le champs \vec{B}_{ext} est uniforme,

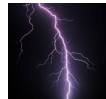
.....

.....

.....

.....

Moment des forces de Laplace



Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

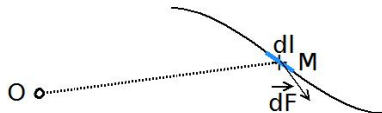
Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

Applications
de
th.d' Ampère

Dipôle
magnétique

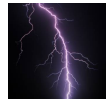
Dipôles
magnétiques
atomiques



Pour une portion dl de circuit :

Sur l'ensemble du circuit :

Moment magnétique dipolaire



Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

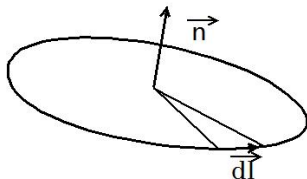
Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

Applications
de
th.d' Ampère

Dipôle
magnétique

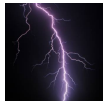
Dipôles
magnétiques
atomiques



Définition du moment magnétique dipolaire :

Lien avec le moment des forces de Laplace quand \vec{B}_{ext} est uni-
forme :

Énergie potentielle, positions d'équilibre



Magnétostatique

Loi de Biot
et Savart

Propriétés de
symétries et
d'invariances

Flux de
champ
magnétique

Circulation
de champ
magnétique

Applications
de
th.d' Ampère

**Dipôle
magnétique**

Dipôles
magnétiques
atomiques