

# MAGNÉTOSTATIQUE

Lycée Henri Poincaré, Classe de PC\*

I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

# I. Le champ magnétique

I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

# I. Le champ magnétique

## 1. Forces magnétiques sur les charges en mouvement

I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

# I. Le champ magnétique

1. Forces magnétiques sur les charges en mouvement
2. Cadre de la magnétostatique

I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

# I. Le champ magnétique

1. Forces magnétiques sur les charges en mouvement
2. Cadre de la magnétostatique  
Ordres de grandeur :

- ▶ Champ magnétique terrestre  $B = 50 \mu\text{T}$
- ▶ Aimant permanent au néodyme :  $B = 1 \text{ T}$
- ▶ Examen IRM :  $B = 5 \text{ T}$
- ▶ Record du monde :  $50 \text{ T}$

I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

# I. Le champ magnétique

1. Forces magnétiques sur les charges en mouvement
2. Cadre de la magnétostatique
3. Propriétés d'invariance et de symétrie

I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

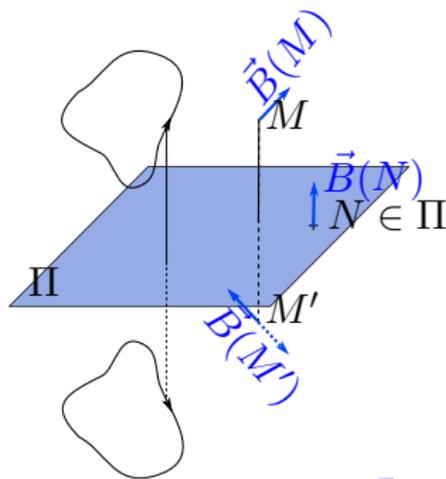


# I. Le champ magnétique

1. Forces magnétiques sur les charges en mouvement
2. Cadre de la magnétostatique
3. Propriétés d'invariance et de symétrie

Soient des sources possédant un plan de symétrie  $\Pi$  et soit  $M'$  le symétrique d'un point  $M$  par rapport à  $\Pi$ . Alors :

- ▶  $\vec{B}(M')$  est l'opposé du symétrique de  $\vec{B}(M)$ .
- ▶ En tout point  $N$  de  $\Pi$ ,  $B(\vec{N})$  est orthogonal à  $\Pi$ .



I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

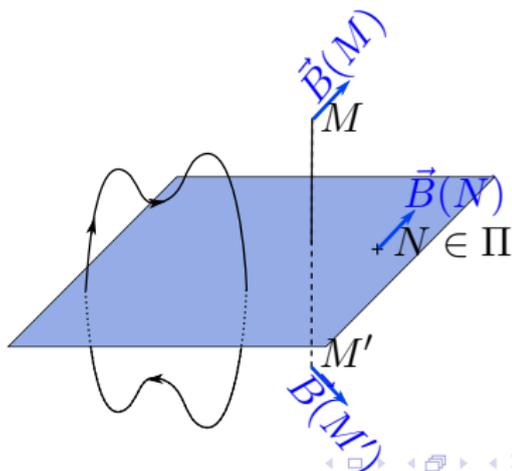


# I. Le champ magnétique

1. Forces magnétiques sur les charges en mouvement
2. Cadre de la magnétostatique
3. Propriétés d'invariance et de symétrie

Soient des sources possédant un plan d'antisymétrie  $\Pi$  et soit  $M'$  le symétrique d'un point  $M$  par rapport à  $\Pi$ . Alors :

- ▶  $\vec{B}(M')$  est le symétrique de  $\vec{B}(M)$ .
- ▶ En tout point  $N$  de  $\Pi$ ,  $B(\vec{N})$  est inclus dans  $\Pi$ .



I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

# I. Le champ magnétique

1. Forces magnétiques sur les charges en mouvement
2. Cadre de la magnétostatique
3. Propriétés d'invariance et de symétrie
4. Flux du champ magnétique

I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

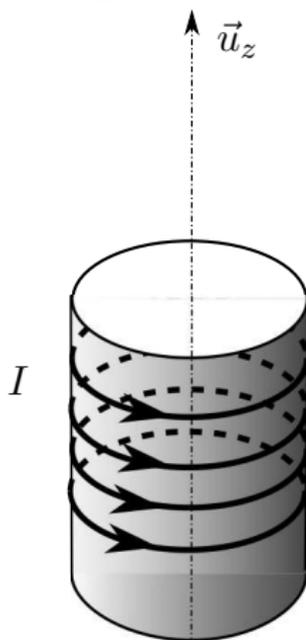
III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

# I. Le champ magnétique

1. Forces magnétiques sur les charges en mouvement
2. Cadre de la magnétostatique
3. Propriétés d'invariance et de symétrie
4. Flux du champ magnétique



I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

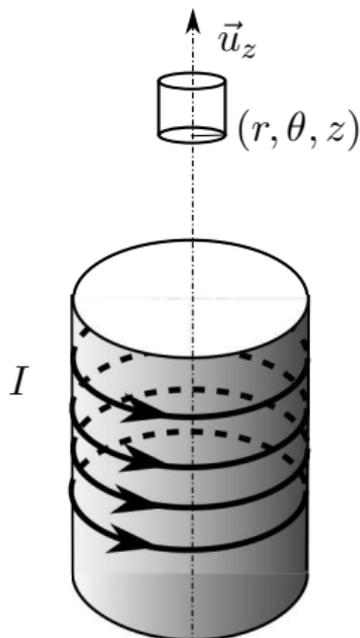
III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

# I. Le champ magnétique

1. Forces magnétiques sur les charges en mouvement
2. Cadre de la magnétostatique
3. Propriétés d'invariance et de symétrie
4. Flux du champ magnétique



I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

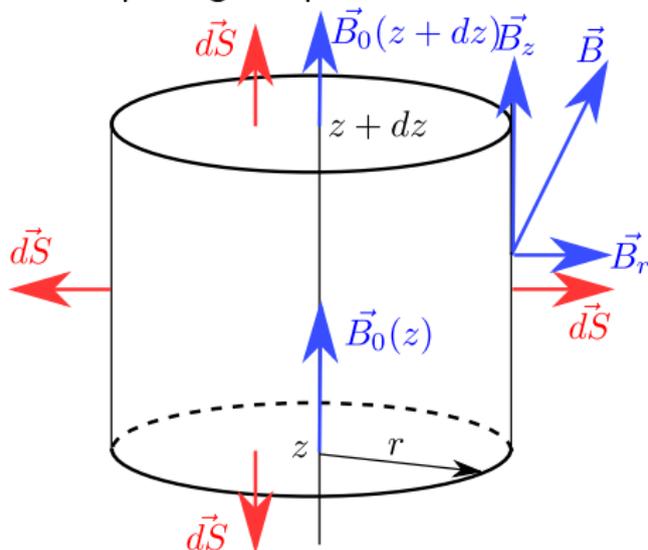
III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

# I. Le champ magnétique

1. Forces magnétiques sur les charges en mouvement
2. Cadre de la magnétostatique
3. Propriétés d'invariance et de symétrie
4. Flux du champ magnétique



## I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

# I. Le champ magnétique

1. Forces magnétiques sur les charges en mouvement
2. Cadre de la magnétostatique
3. Propriétés d'invariance et de symétrie
4. Flux du champ magnétique
5. Circulation du champ magnétique

## Théorème d'Ampère

Soit  $\Gamma$  une courbe fermée orientée. Soit  $I_{enl}$  l'intensité totale des courants enlacés par  $\Gamma$ , algébrisés selon le sens de circulation choisi sur  $\Gamma$ . Alors la circulation de  $\vec{B}$  le long de  $\Gamma$  est donnée par

$$\oint \vec{B}(M) \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I_{enl} \quad .$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$  s'appelle perméabilité magnétique du vide.

I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

# I. Le champ magnétique

1. Forces magnétiques sur les charges en mouvement
2. Cadre de la magnétostatique
3. Propriétés d'invariance et de symétrie
4. Flux du champ magnétique
5. Circulation du champ magnétique

## Équation de Maxwell-Ampère

$$\text{rot } \vec{B}(M) = \mu_0 \vec{j}(M)$$

I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

# I. Le champ magnétique

1. Forces magnétiques sur les charges en mouvement
2. Cadre de la magnétostatique
3. Propriétés d'invariance et de symétrie
4. Flux du champ magnétique
5. Circulation du champ magnétique
6. Exemple : analyse d'une carte de champ

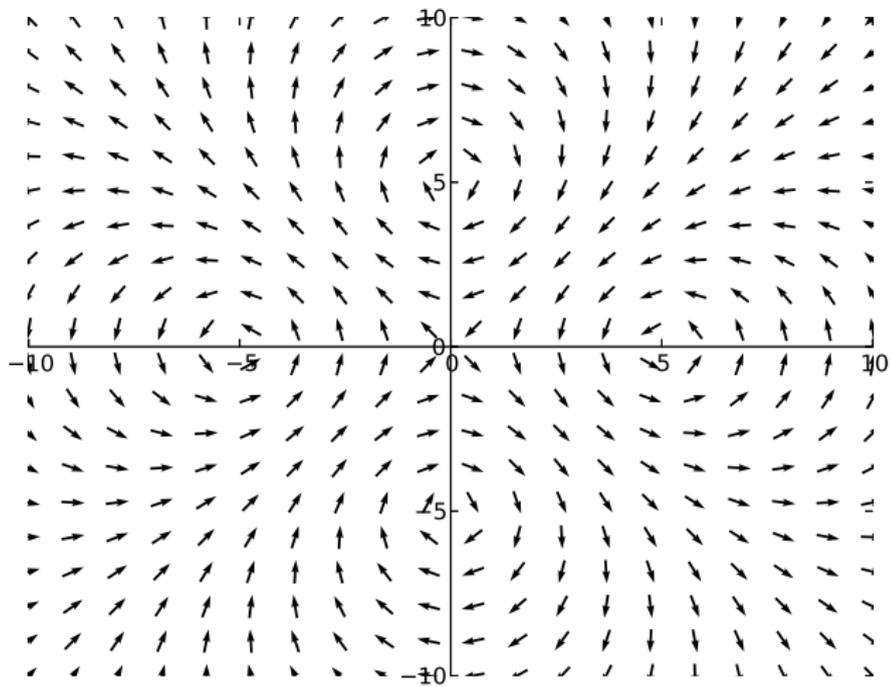
I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach



## II. Exemples de champ créés par des courants permanents

I. Le champ magnétique

**II. Exemples de champ créés par des courants permanents**

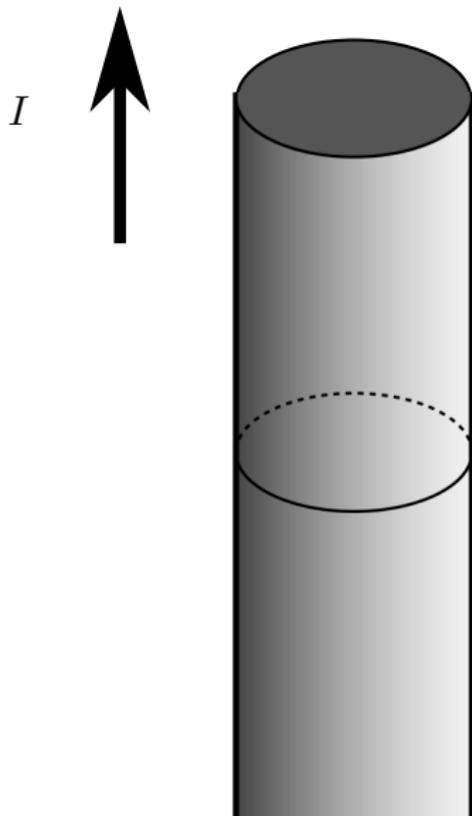
III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

## II. Exemples de champ créés par des courants permanents

### 1. Champ créé par un câble rectiligne



I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

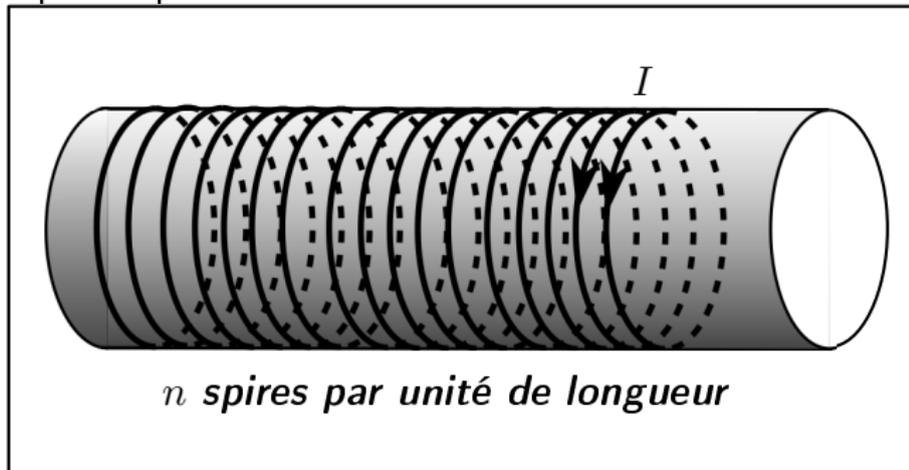
III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

## II. Exemples de champ créés par des courants permanents

1. Champ créé par un câble rectiligne
2. Champ créé par un solénoïde



I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

## II. Exemples de champ créés par des courants permanents

1. Champ créé par un câble rectiligne
2. Champ créé par un solénoïde

*I vers l'avant de la figure*



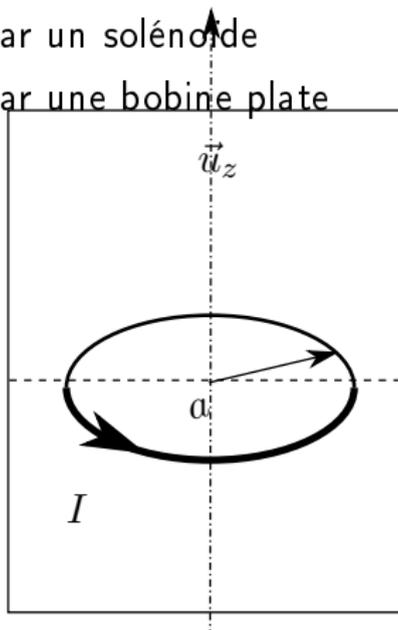
$\vec{u}_z$



*I vers l'arrière de la figure*

## II. Exemples de champ créés par des courants permanents

1. Champ créé par un câble rectiligne
2. Champ créé par un solénoïde
3. Champ créé par une bobine plate



I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

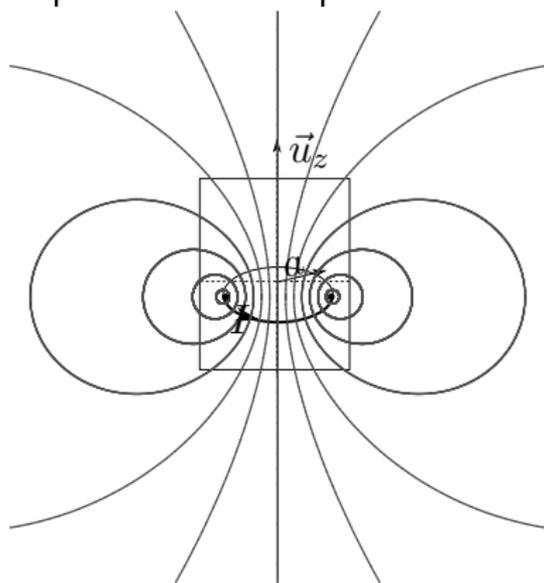
III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

## II. Exemples de champ créés par des courants permanents

1. Champ créé par un câble rectiligne
2. Champ créé par un solénoïde
3. Champ créé par une bobine plate



I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

# III. Dipôles magnétiques

I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

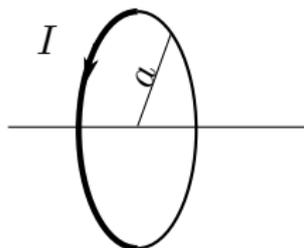
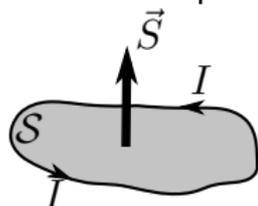
III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

# III. Dipôles magnétiques

## 1. Moment dipolaire d'une boucle de courant



I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

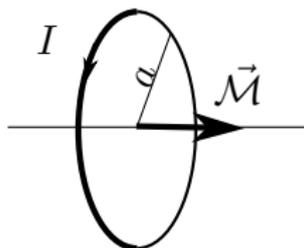
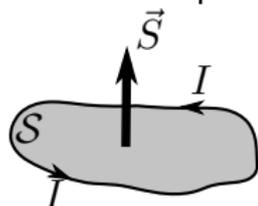
III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

# III. Dipôles magnétiques

## 1. Moment dipolaire d'une boucle de courant



I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

### III. Dipôles magnétiques

1. Moment dipolaire d'une boucle de courant
2. Champ magnétique produit

$$\vec{B}(r, \theta) = \frac{\mu_0 \mathcal{M}}{4\pi r^3} (2 \cos \theta \vec{u}_r + \sin \theta \vec{u}_\theta)$$

I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

III. Dipôles magnétiques

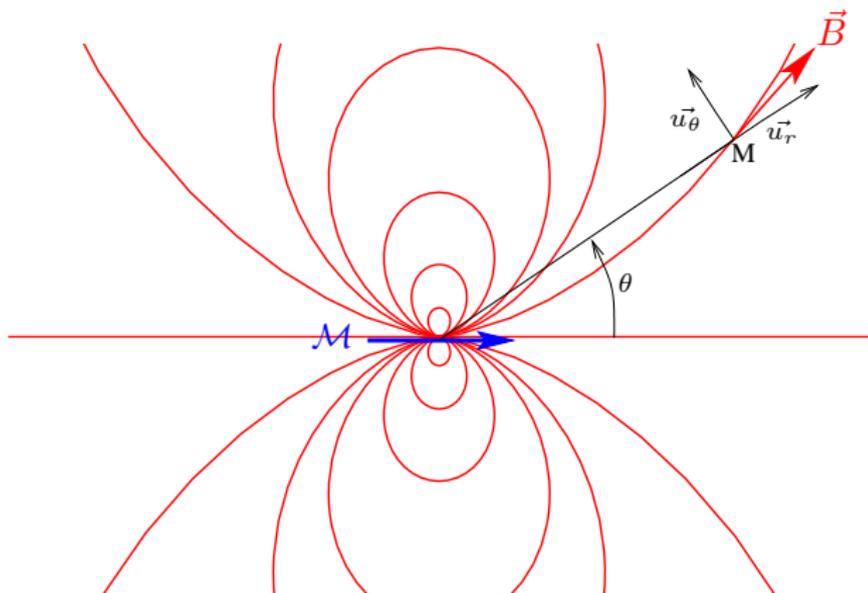
IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

### III. Dipôles magnétiques

1. Moment dipolaire d'une boucle de courant
2. Champ magnétique produit

$$\vec{B}(r, \theta) = \frac{\mu_0 \mathcal{M}}{4\pi r^3} (2 \cos \theta \vec{u}_r + \sin \theta \vec{u}_\theta)$$



I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

# III. Dipôles magnétiques

1. Moment dipolaire d'une boucle de courant
2. Champ magnétique produit
3. Matière aimantée

I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

# III. Dipôles magnétiques

1. Moment dipolaire d'une boucle de courant
2. Champ magnétique produit
3. Matière aimantée
4. Efforts sur un dipôle magnétique plongé dans un champ magnétique extérieur

I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

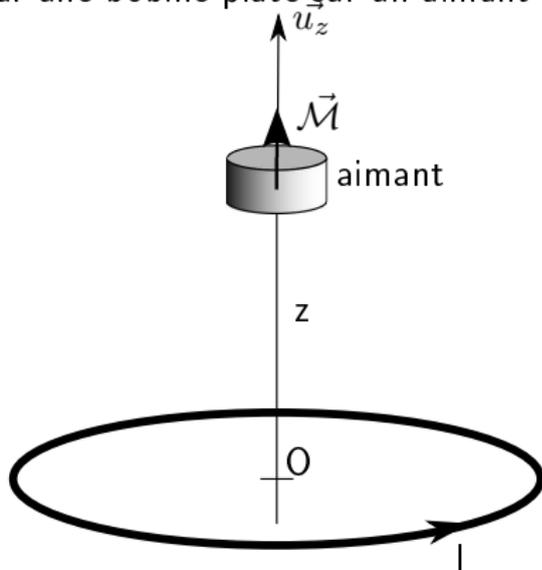
III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

### III. Dipôles magnétiques

1. Moment dipolaire d'une boucle de courant
2. Champ magnétique produit
3. Matière aimantée
4. Efforts sur un dipôle magnétique plongé dans un champ magnétique extérieur
  - a. Force exercée par une bobine plate sur un aimant



I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

# III. Dipôles magnétiques

1. Moment dipolaire d'une boucle de courant
2. Champ magnétique produit
3. Matière aimantée
4. Efforts sur un dipôle magnétique plongé dans un champ magnétique extérieur
  - a. Force exercée par une bobine plate sur un aimant
  - b. Force exercée sur un circuit rectangulaire

I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

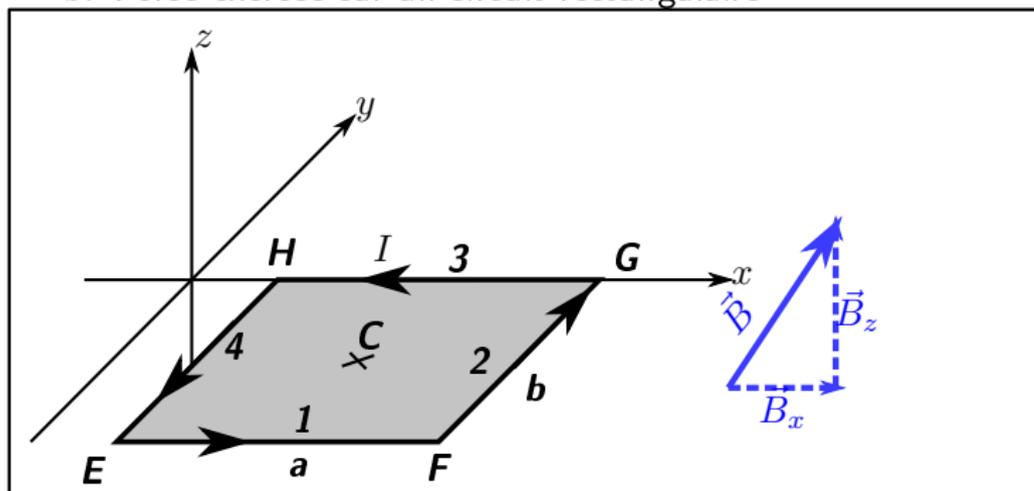
III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

### III. Dipôles magnétiques

1. Moment dipolaire d'une boucle de courant
2. Champ magnétique produit
3. Matière aimantée
4. Efforts sur un dipôle magnétique plongé dans un champ magnétique extérieur
  - a. Force exercée par une bobine plate sur un aimant
  - b. Force exercée sur un circuit rectangulaire



I. Le champ magnétique

II. Exemples de champs créés par des courants permanents

III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

# IV. Aspects microscopiques du magnétisme

I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

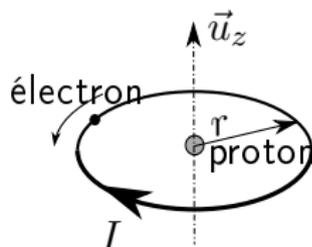
III. Dipôles magnétiques

**IV. Aspects microscopiques du magnétisme**

V. Expérience de Stern et Gerlach

# IV. Aspects microscopiques du magnétisme

## 1. Magnétisme orbitalaire



I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

III. Dipôles magnétiques

IV. Aspects microscopiques du magnétisme

V. Expérience de Stern et Gerlach

# IV. Aspects microscopiques du magnétisme

1. Magnétisme orbitalaire
2. Quantification de  $\vec{L}$

I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

III. Dipôles magnétiques

**IV. Aspects microscopiques du magnétisme**

V. Expérience de Stern et Gerlach

## IV. Aspects microscopiques du magnétisme

1. Magnétisme orbitalaire
2. Quantification de  $\vec{L}$
3. Magnétisme de spin et magnétisme atomique

I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

III. Dipôles magnétiques

**IV. Aspects microscopiques du magnétisme**

V. Expérience de Stern et Gerlach

## IV. Aspects microscopiques du magnétisme

1. Magnétisme orbitalaire
2. Quantification de  $\vec{L}$
3. Magnétisme de spin et magnétisme atomique
4. Estimation de l'aimantation magnétique maximale d'un solide

I. Le champ magnétique

II. Exemples de champ créés par des courants permanents

III. Dipôles magnétiques

**IV. Aspects microscopiques du magnétisme**

V. Expérience de Stern et Gerlach

# V. Expérience de Stern et Gerlach

Document spécifique

I. Le champ  
magnétique

II. Exemples de  
champ créés par  
des courants  
permanents

III. Dipôles  
magnétiques

IV. Aspects  
microscopiques  
du magnétisme

V. Expérience de  
Stern et Gerlach