



# Éléments de Physique : Électromagnétisme

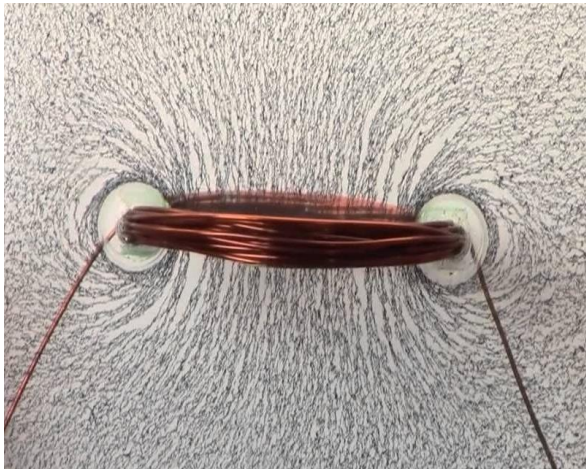
---

CHAPITRE 6 : MOMENT MAGNÉTIQUE ET CHAMP  
GÉNÉRÉ PAR UN COURANT

# Table des matières

---

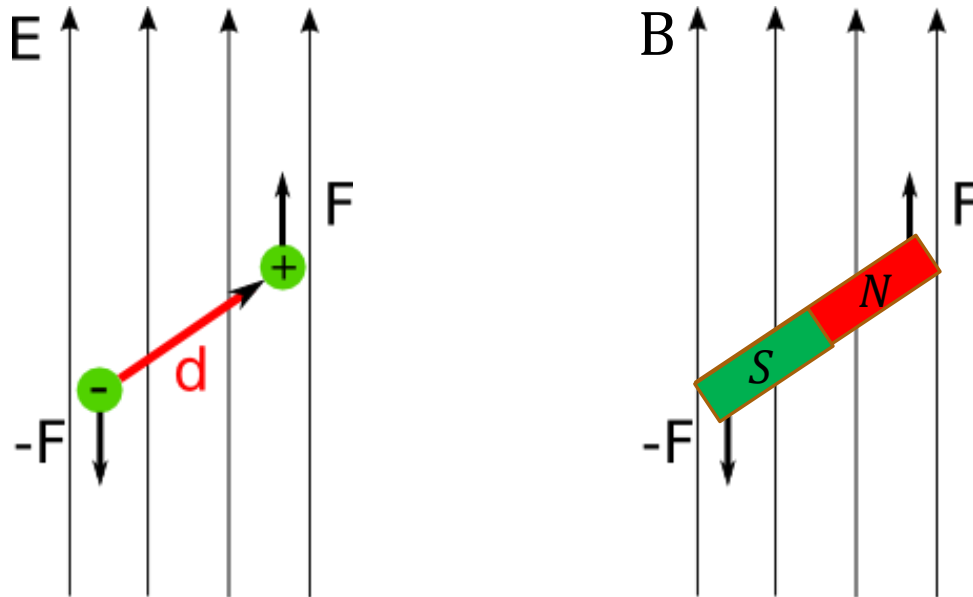
- Moment magnétique
- Origine du magnétisme dans la matière
- Champ magnétique créé par un courant



# Dipôles magnétiques

Un aimant forme un **dipôle magnétique** (un pôle  $N$  et un pôle  $S$  séparés).

Comme pour un dipôle électrique (charge  $+$  et charge  $-$  séparées d'une distance  $d$ ) dans un champ  $E$ , le dipôle magnétique s'oriente dans le champ  $B$ .



# Moment magnétique dans $\mathbf{B}$

Lorsqu'un dipôle magnétique est placé dans un champ magnétique  $\mathbf{B}$ , il subit un moment de force

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{m} \times \mathbf{B}$$

qui tend à l'aligner avec  $\mathbf{B}$ .

Le moment de force est lié à un couple de forces (pas de mouvement du centre de masse).

## Application : la boussole

$$B_T = 50 \mu\text{T} \quad \rightarrow \quad \tau_{\text{max}} = 2 \times 10^{-5} \text{ N.m}$$
$$m_b = 0,4 \text{ A.m}^2$$

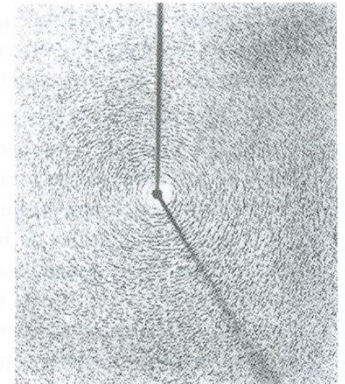
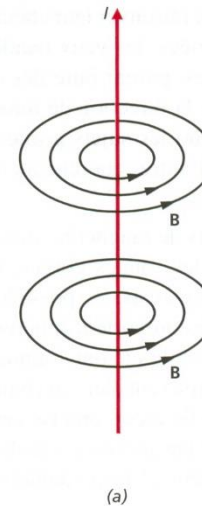
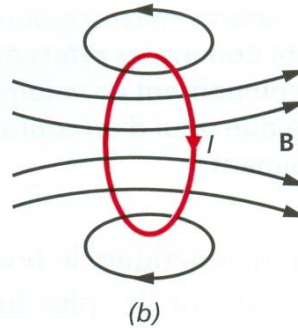
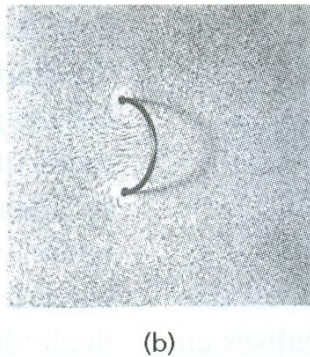
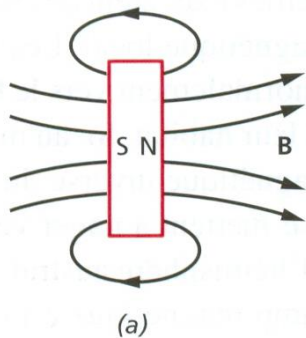
Le côté N de l'aiguille de la boussole indique le pôle N géographique = pôle S magnétique.



# Champ d'une boucle de courant

## Expérience d'Ampère

Une **boucle de fil** parcourue par un courant donne un **champ magnétique** analogue à celui d'un aimant permanent.



Pour trouver le sens du champ magnétique par rapport au courant, on utilise la règle de la main droite.

Une boucle de courant se comporte comme un aimant dans un champ magnétique  $B$ .

# Moment magnétique

Le **moment magnétique** dipolaire  $\mathbf{m}$  d'une boucle d'aire  $A$  parcourue par un courant  $I$  s'écrit :

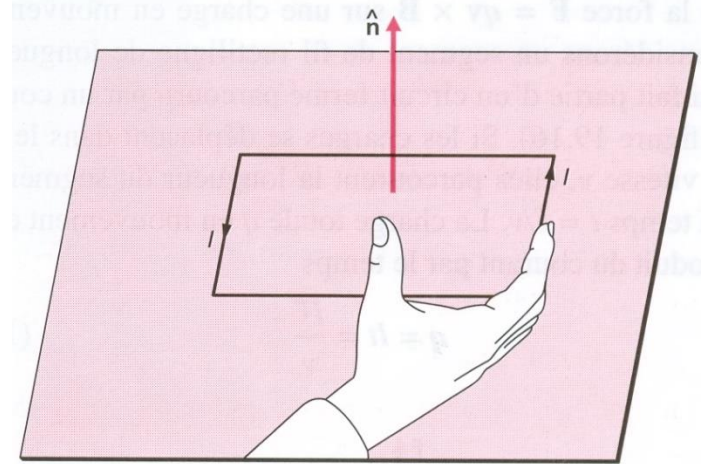
$$\mathbf{m} = IA\hat{\mathbf{n}}$$

$\hat{\mathbf{n}}$  est le vecteur unitaire normal à la surface de la boucle.

Le moment magnétique est l'analogue du moment dipolaire électrique vu au chapitre 1.

Le **moment de force**  $\boldsymbol{\tau}$  sur la boucle s'écrit :

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{m} \times \mathbf{B}$$





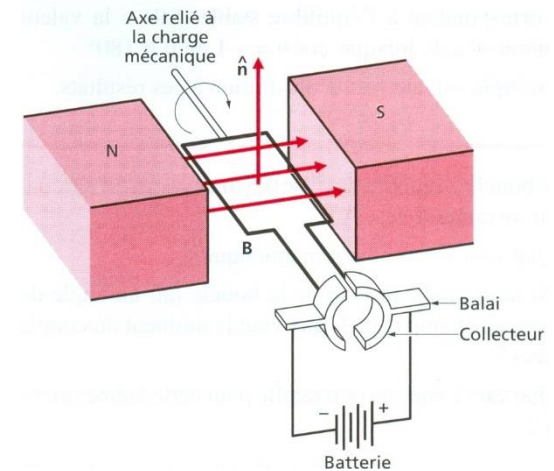
# Moteurs et galvanomètres

## Utilisations du couple de force

- Transformer le courant en force motrice

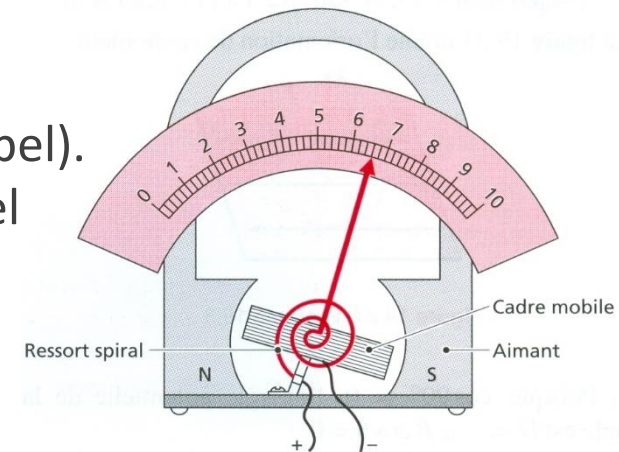
Le courant injecté dans la boucle change de sens au bon moment pour que le moment de force soit toujours dans le même sens.

→ On maintient la boucle en rotation.



- Mesurer le courant avec un galvanomètre

Une bobine est attachée à un ressort (force de rappel).  
Le moment de force sur la bobine est proportionnel au courant qui la traverse.



# Matière magnétique

---

- Certains matériaux présentent des **moments magnétiques locaux** qui proviennent :
  - des courants atomiques autour des noyaux
  - du spin des électrons

Ces moments magnétiques locaux existent indépendamment du champ magnétique appliqué.

- En plus de cela, tous les matériaux génèrent des courants microscopiques en présence d'un champ magnétique appliqué : ce phénomène s'appelle le **diamagnétisme**.

En l'absence de champ magnétique appliqué, ces matériaux présentent un moment magnétique nul.



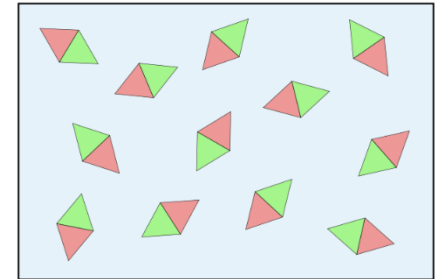
# Matière magnétique

## Classification des matériaux

Parmi les matériaux qui présentent des **moments magnétiques locaux**, on distingue les matériaux

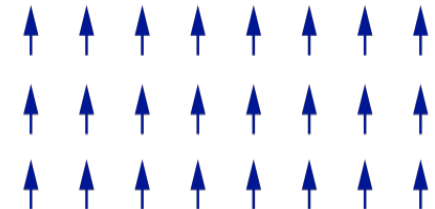
### ➤ paramagnétiques

orientation aléatoire des moments



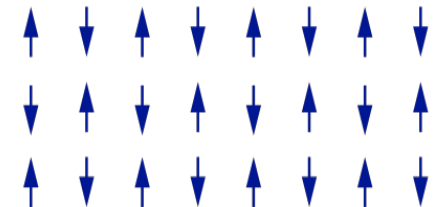
### ➤ ferromagnétiques

moments parallèles (Fe, Co)



### ➤ antiferromagnétiques

moments anti-parallèles (FeMn, NiO)

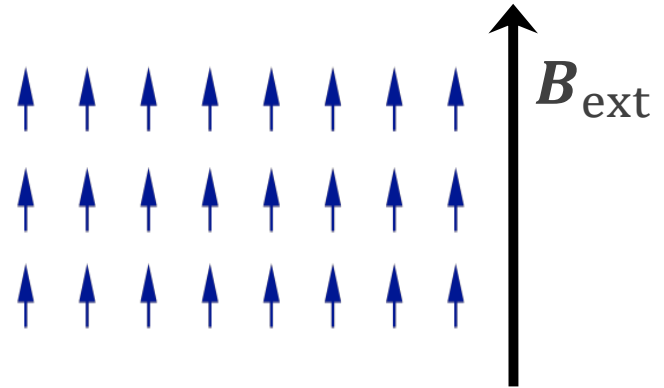


# Matière magnétique

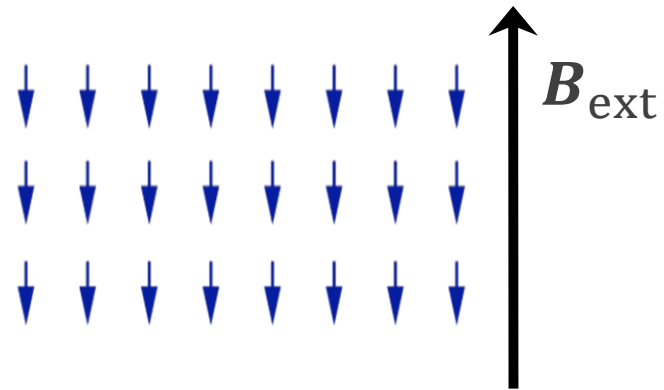
## Réponse à un champ magnétique

Lorsque les matériaux sont plongés dans un champ magnétique externe :

➤ Les **paramagnétiques** et **ferromagnétiques** alignent leurs moments (préexistants) avec  $B_{\text{ext}}$ .



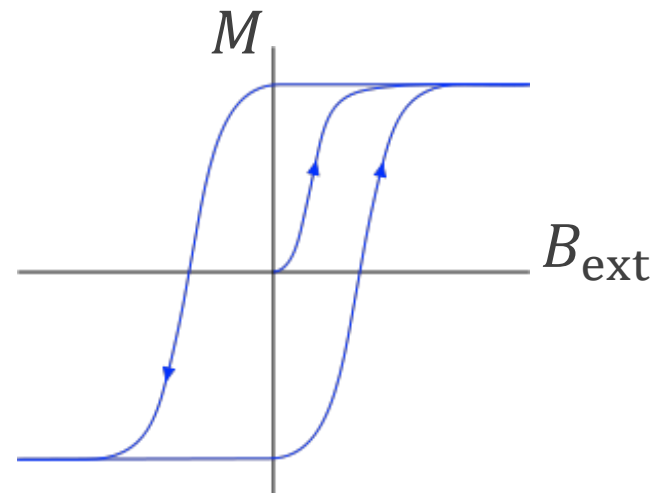
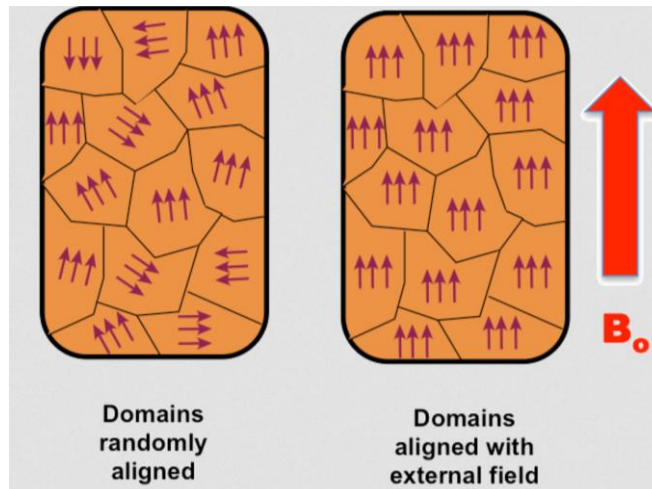
➤ Les **diamagnétiques** ont leurs moments orientés dans le sens opposé à  $B_{\text{ext}}$ . Les moments (petits) sont induits par  $B_{\text{ext}}$  lui-même.



# Ferromagnétisme

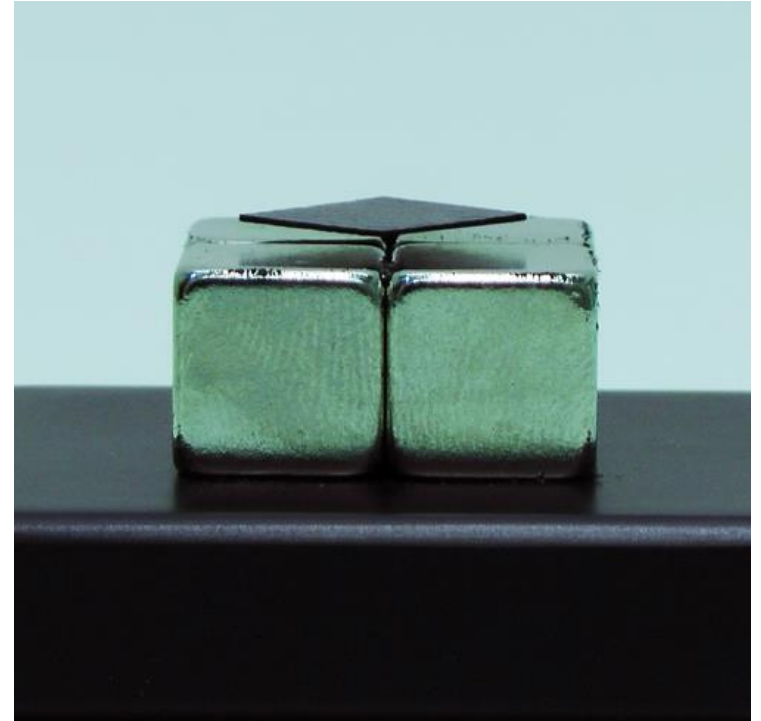
## Caractéristiques du ferromagnétisme

- Les ferromagnétiques sont divisés en domaines où l'aimantation (le moment magnétique) a une seule direction.
- Lorsqu'un champ extérieur est appliqué, les domaines s'alignent  
→ aimant permanent
- Pour renverser l'aimantation, il faut fournir un travail plus important : il s'agit du phénomène d'hystérèse.



# Diamagnétisme

---

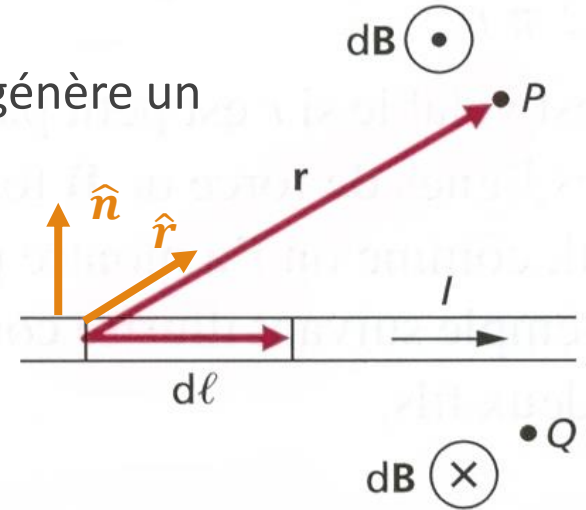


# Champ généré par un courant

## Loi de Biot et Savart

Un segment de fil  $d\ell$  parcouru par un courant  $I$  génère un champ magnétique  $d\mathbf{B}$  au point  $\mathbf{r} = r\hat{\mathbf{r}}$ :

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{d\ell \times \hat{\mathbf{n}}}{r^2}$$



$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m.A}^{-1}$  est la perméabilité magnétique du vide.

- $\mathbf{B}$  s'enroule autour du fil (selon la règle de la main droite).
- L'amplitude de  $\mathbf{B}$  décroît comme le champ  $\mathbf{E}$ .

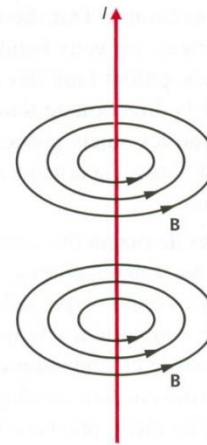
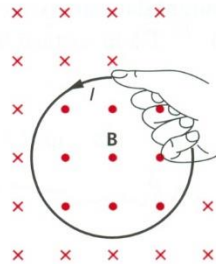
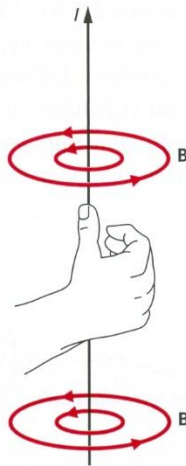
# Champ généré par un fil rectiligne

## Fil rectiligne infini

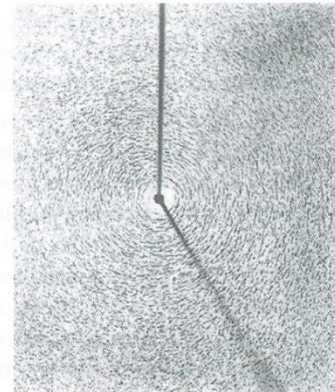
- En intégrant toutes les contributions de  $d\mathbf{l}$  on trouve le module de  $\mathbf{B}$  à une distance radiale  $r$  du fil :

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

- La direction est toujours azimuthale et est donnée par la règle de la main droite :



(a)

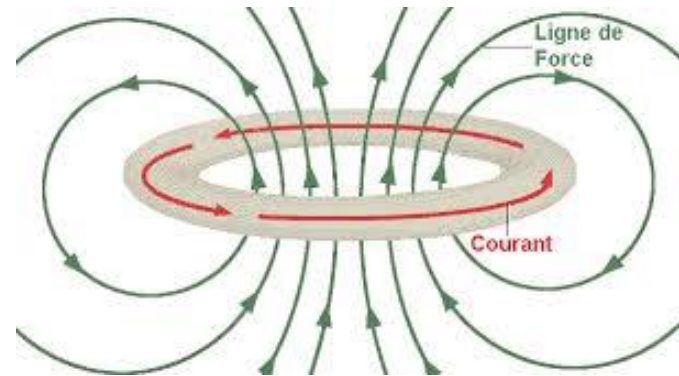


# Champ généré par une boucle

## Boucle de fil parcourue par un courant

Le champ au centre d'une boucle (de rayon  $a$ ) est relativement homogène :

$$B = \frac{\mu_0 I}{2a}$$



Sens : règle de la main droite



# Champ généré par un solénoïde

## Solénoïde

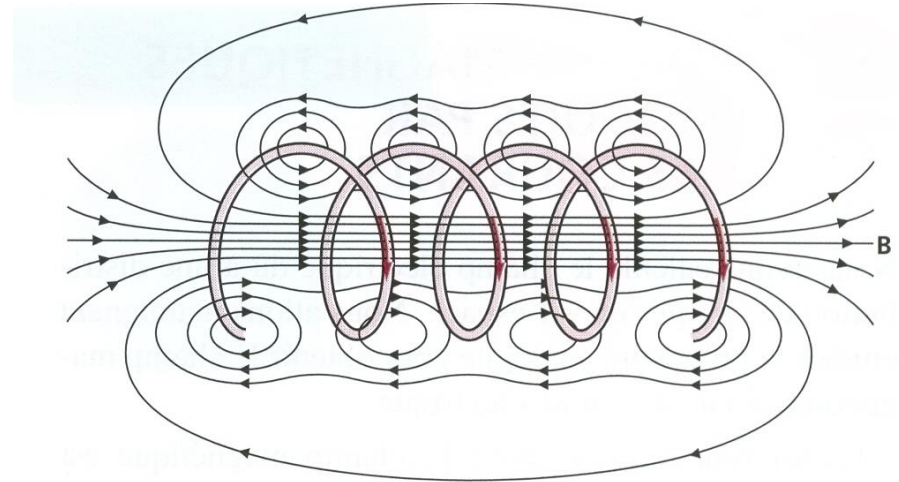
Un solénoïde (bobine) est une juxtaposition de  $N$  spires : les contributions des boucles s'ajoutent :

$$B = \frac{\mu_0 I N}{2a}$$

Pour un solénoïde infini :

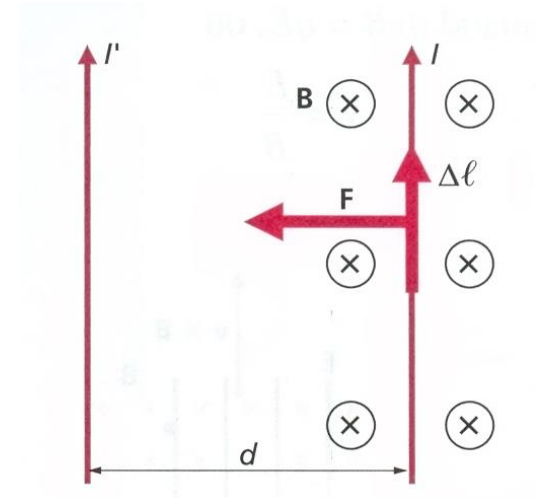
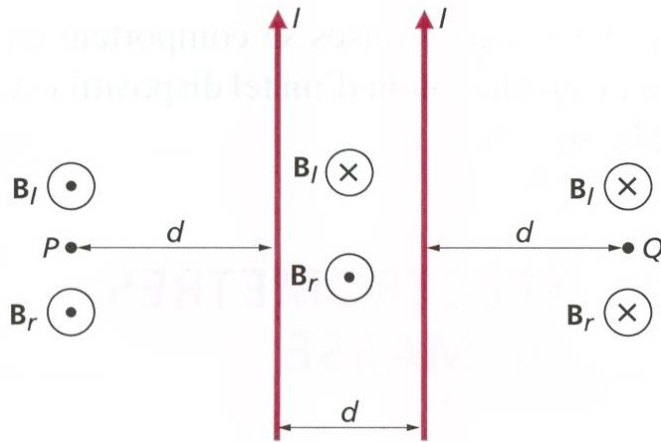
$$B = \mu_0 I n$$

où  $n$  est la densité de spires (nombre de spires par mètre)



# Force entre deux fils de courant

Deux fils parcourus par du courant vont chacun créer un champ  $\mathbf{B}$ , qui va générer une force sur l'autre fil.



Si les courants sont dans le même sens, la force rapproche les fils.

$$\mathbf{F} = I\mathbf{L} \times \mathbf{B}_{I'}$$

$$F = IL \frac{\mu_0 I'}{2\pi d}$$

# Force entre deux fils de courant

## Définition de l'ampère

Un courant de 1 A donne une force  $F = 2 \times 10^{-7}$  N entre deux fils de  $L = 1$  m de long séparés de  $d = 1$  m.

À partir de l'ampère, on peut définir le coulomb :  $[A]=[C/s]$ .

On pourrait définir le tesla [T] à partir de

- l'ampère [A]
- la force de Lorentz et le coulomb [C]

Ce sont des unités SI dérivées.

