# CHAPITRE XI : Le magnétisme

Les scientifiques n'ont découvert qu'au XIX$^{ème}$ le lien qui existe entre le magnétisme et l'électricité. Pourtant le magnétisme était connu depuis fort longtemps. Son observation remonte aux anciennes civilisations d'Asie mineure : certaines roches, provenant de Magnésie, en Asie mineure, avaient la propriété de s'attirer, d'où l'origine du nom donné à ce phénomène, le magnétisme. Dès le XI$^{ème}$ siècle, les marins chinois utilisaient des aimants naturels comme boussoles pour s'orienter. Lorsqu'on déplace une aiguille aimantée autour d'une pierre magnétisée sphérique, cette aiguille dessine des lignes de forces qui convergent en deux points diamétralement opposés de la pierre, comme les lignes de longitude de la terre (voir figure XI.1). Cette observation, faite en 1269 par Pierre de Maricourt, l'a conduit à appeler ces deux régions d'un aimant des pôles magnétiques.

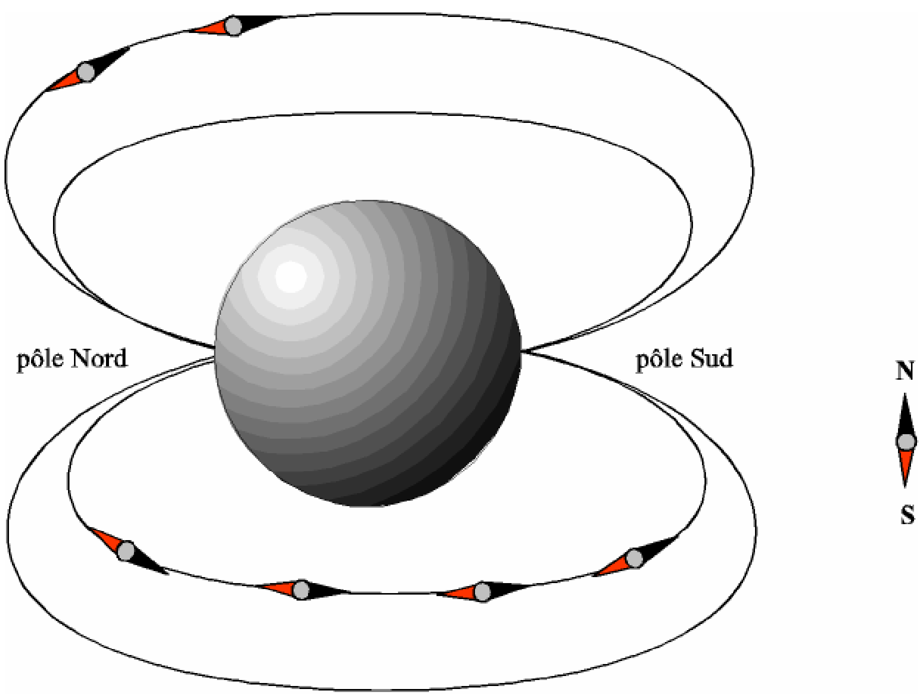



Figure XI.1.

Lorsqu'une aiguille aimantée est suspendue, libre de s'orienter, l'une de ses extrémités pointe approximativement vers le pôle nord géographique de la terre, c'est pourquoi cette extrémité, est appelée pôle nord de l'aiguille, l'autre extrémité étant appelée pôle sud. Cette observation fit suggérer à William Gilbert, en 1600, que la terre est elle-même un gigantesque aimant. Le pôle nord d'un aimant attire le pôle sud d'un autre aimant. C'est donc un pôle magnétique sud qui se trouve situé près du pôle nord géographique de la terre (voir figure XI.2).

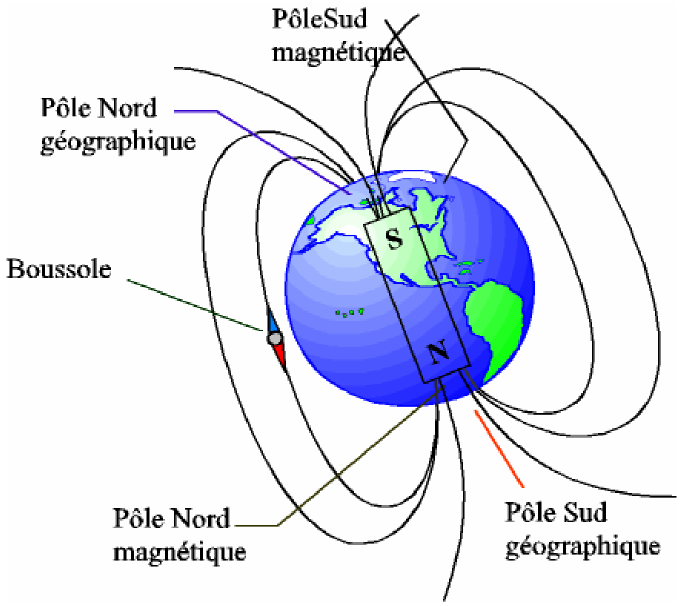



Figure XI.2.

## XI.1 : Le champ magnétique

Deux aimants rapprochés exercent une force l'un sur l'autre, sans même avoir à se toucher. Cette force est répulsive entre pôles de même nom, attractive entre un pôle nord et un pôle sud (voir figure XI.3).

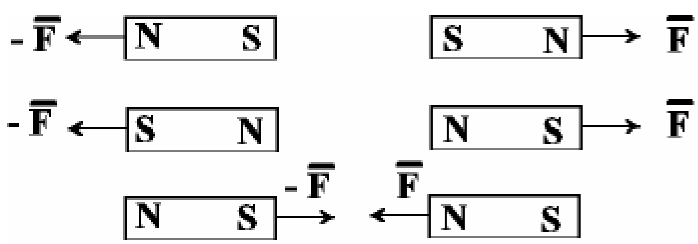



Figure XI.3.

Bien qu'il semble y avoir une certaine analogie avec la force électrique discutée au chapitre IV, il s'agit de quelque chose de différent : **un aimant n'exerce aucune attraction sur un morceau d'isolant électrisé**. Seuls le fer et dans une moindre mesure, le cobalt, le nickel et le gadolinium peuvent montrer des propriétés magnétiques significatives. On qualifie ces matériaux de ferromagnétiques.

Au voisinage d'un barreau aimanté, la limaille de fer forme une configuration caractéristique (voir figure XI.4) qui montre l'influence de l'aimant sur le milieu environnant.

C'est à partir de l'observation de ces configurations que Michael Faraday a eu l'idée d'appliquer la notion de champ au magnétisme, comme il l'avait fait pour l'électricité : les aimants produisent dans l'espace environnant un champ magnétique $\overline{B}$. Il est alors possible de décrire la force qu'un aimant exerce sur un autre par l'interaction qui existe entre lui et le champ magnétique de l'autre aimant. Toutefois, le champ magnétique est un peu plus difficile à définir. Dans cette section nous nous contenterons de définir sa direction : c'est celle que prendrait le pôle nord d'une aiguille aimantée. Nous définirons son intensité à la section XI.3.

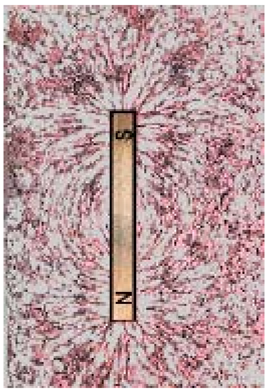



Figure XI.4.

## XI.2 : La production d'un champ magnétique par un courant

Au cours du XVIII$^{\text{ème}}$ siècle, un grand nombre de physiciens ont cherché à établir un lien entre électricité et magnétisme, mais ce n'est qu'en 1820 que Hans Christian Oersted s'est aperçu qu'une aiguille aimantée placée à proximité d'un fil électrique parcouru par un courant est déviée. A proximité d'un segment de fil rectiligne, l'aiguille se place de façon à être tangente à une circonférence tracée autour de lui, dans un plan perpendiculaire (voir figure XI.5.a).

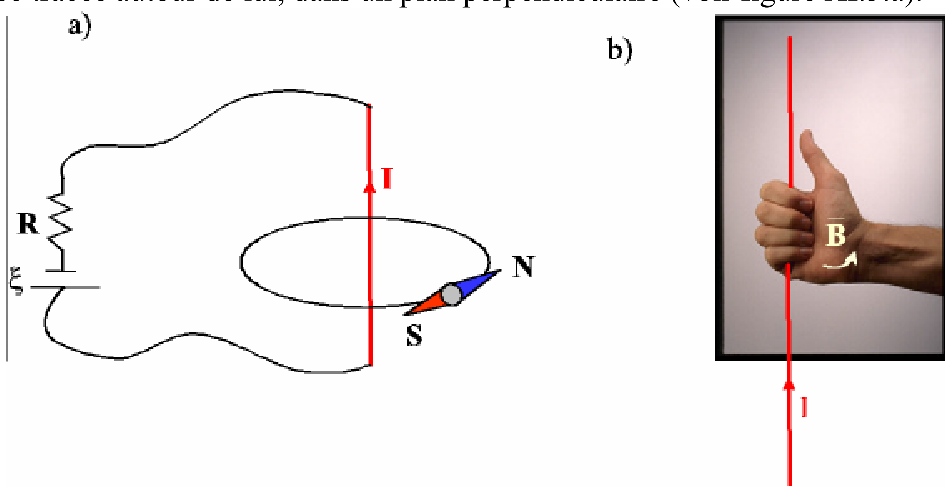



Figure XI.5.

Ceci veut dire que le courant qui circule dans le fil, produit un champ magnétique dans l'espace qui l'entoure, tout comme un aimant, et que ce champ magnétique a la direction de l'aiguille aimantée. Pour se souvenir du sens de $\overline{B}$, on applique la règle de la main droite : on prend le fil dans sa main droite, pouce pointé dans le sens du courant conventionnel, les doigts entourent alors le fil, dans le sens du champ magnétique (voir figure XI.5.b).

## XI.3 : La force magnétique s'exerçant sur un courant

Nous venons de voir qu'un courant électrique peut faire dévier un aimant. Il exerce donc une force sur celui-ci. En vertu du principe de l'action et de la réaction, on s'attend à ce qu'un aimant exerce en retour une force égale et opposée sur le fil porteur de courant. C'est exactement ce qu'on peut observer. Supposons qu'un fil rectiligne passe entre les pôles d'un aimant, comme le montre la figure XI.6. Lorsqu'il est parcouru par un courant, il subit une force qui agit à angle droit par rapport à la direction du champ magnétique et par rapport à celle du courant. Si on inverse le sens du courant ou si on inverse les pôles de l'aimant, la force change de sens.

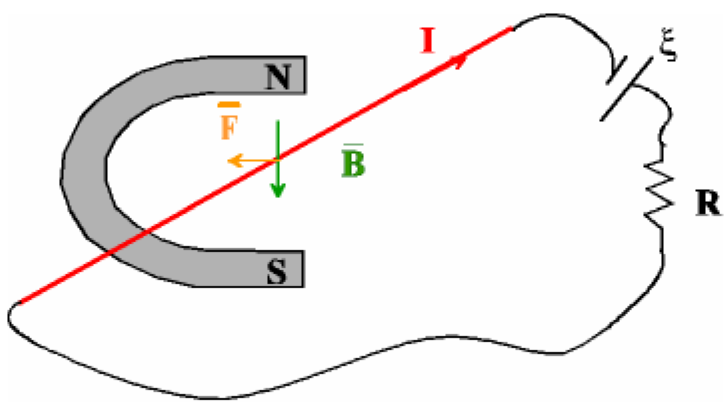



Figure XI.6.

Pour se rappeler le sens de cette force magnétique, on utilise la règle de la main droite illustrée sur la figure XI.7.

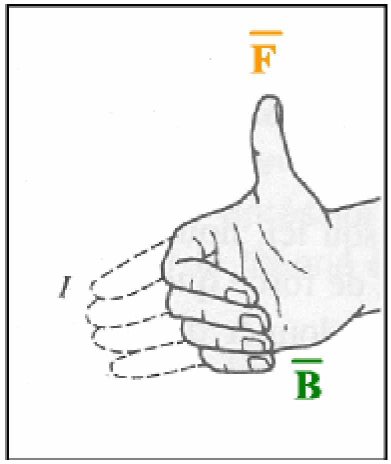



Figure XI.7.

On oriente d'abord son avant-bras le long du fil conducteur, les doigts dépliés pointant dans le sens conventionnel du courant. Ensuite on fait tourner le bras sur lui-même jusqu'à ce que les doigts, repliés cette fois, pointent dans la direction du champ magnétique. Le pouce tendu indique alors le sens de la force.

Des expériences ont montré que l'intensité de la force ci-dessus est proportionnelle à l'intensité du courant qui parcourt le fil, à la longueur L de celui-ci, située dans le champ magnétique supposé uniforme. Si le fil fait un angle θ avec le champ magnétique (voir figure XI.8), l'intensité de la force est proportionnelle au sinus de cet angle :

$$\mathbf{F \propto I\ L\ \sin\theta.}$$

Il va de soi que la force doit également dépendre du champ magnétique B et croître avec celui-ci :

$$\mathbf{F = f\,(B)\ I\ L\ \sin\theta.}$$

En fait on se sert de la relation ci-dessus pour définir l'intensité du champ magnétique que nous n'avions pas encore définie, en posant f (B) ≡ B. Dès lors :

$$\mathbf{B \equiv \frac{F}{I\ L\ \sin\theta}} \qquad \text{(XI.1)}$$

L'unité SI de champ magnétique est le tesla (T). D'après la relation (XI.1), on voit que I T ≡ 1 (N.s)/(C.m).

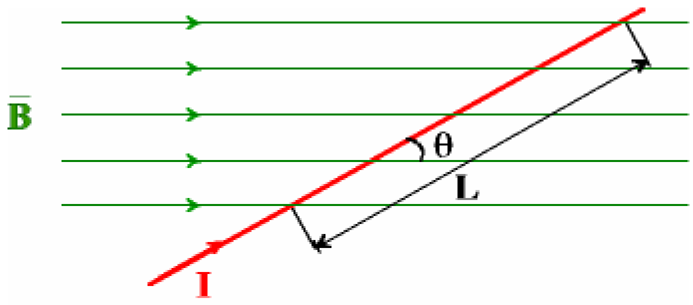



Figure XI.8.

Rappelons que le produit vectoriel de deux vecteurs $\overline{A}$ et $\overline{B}$, faisant entre eux un angle θ, a pour norme :

$$\left|\overline{\mathbf{A}} \times \overline{\mathbf{B}}\right| = \mathbf{A\,B} \sin \theta \qquad \text{(XI.2)}$$

Dès lors si on définit un vecteur $\overline{L}$ qui a pour norme L et a le sens du courant I, la norme du produit vectoriel de $\overline{L}$ par $\overline{B}$, vaut (voir XI.1) :

$$\left|\overline{\mathbf{L}} \times \overline{\mathbf{B}}\right| = \mathbf{L\,B} \sin \theta = \frac{\mathbf{F}}{\mathbf{I}},$$

ce qui donne :

$$\mathbf{F} = \mathbf{I}\left|\overline{\mathbf{L}} \times \overline{\mathbf{B}}\right|.$$

Dès lors le vecteur force magnétique peut s'écrire :

$$\boxed{\overline{\mathbf{F}} = \mathbf{I}\,\overline{\mathbf{L}} \times \overline{\mathbf{B}}\text{, pour un courant rectiligne et un champ uniforme}} \qquad \text{(XI.3)}$$

En utilisant les règles du produit vectoriel, on vérifie aisément que le deuxième membre de la relation (XI.3) donne bien un vecteur force qui satisfait à la règle de la main droite illustrée sur la figure XI.7.

Lorsque le champ magnétique n'est pas uniforme ou lorsque le fil n'est pas rectiligne, il faut faire appel au calcul différentiel pour calculer la force magnétique qui s'exerce sur ce dernier. La force infinitésimale $\overline{dF}$ qui agit sur un segment de fil infinitésimal $\overline{dl}$, parcouru par un courant I et plongé dans un champ magnétique $\overline{B}$ est donné, d'après (XI.3), par :

$$\boxed{\overline{\mathbf{dF}} = \mathbf{I}\,\overline{\mathbf{dl}} \times \overline{\mathbf{B}}} \qquad \text{(XI.4)}$$

La force totale s'exerçant sur le fil, $\overline{F}$, est donnée par l'intégrale des forces infinitésimales $\overline{dF}$ :

$$\overline{\mathbf{F}} = \int_{\text{le long du fil}} \overline{\mathbf{dF}} \qquad \text{(XI.5)}$$

## XI.4 : Application au galvanomètre et au moteur électrique

Le galvanomètre (voir section IX.4) et le moteur électrique fonctionnent tous deux grâce aux forces magnétiques qui s'exercent sur une boucle de courant plongée dans un champ magnétique, c'est pourquoi nous allons tout d'abord calculer celles-ci.

### XI.4.1 : Les forces agissant sur une boucle de courant

Considérons une boucle de courant rectangulaire, de côtés a et b, parcourue par un courant I, placée de telle sorte à pouvoir pivoter autour d'un axe vertical passant par son centre (voir figure XI.9).

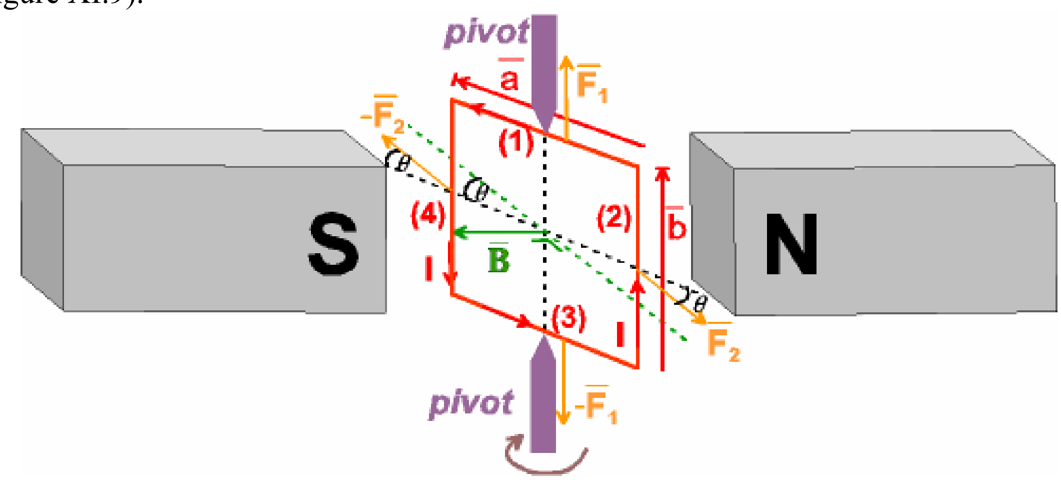



Figure XI.9.

Elle est plongée dans le champ magnétique $\overline{B}$ d'un aimant, horizontal, de droite à gauche sur la figure XI.9. Supposons qu'au lieu d'être parallèle aux faces de l'aimant, c'est-à-dire perpendiculaire au champ magnétique, la boucle ait tourné d'un angle θ par rapport à cette position de référence. Calculons la force magnétique qui s'exerce sur chacun des côtés de la boucle, à l'aide de la relation (XI.3) :

côté 1 : $\overline{F}_1 = I\,\overline{a} \times \overline{B}$

côté 2 : $\overline{F}_2 = I\,\overline{b} \times \overline{B}$

côté 3 : $\overline{F}_3 = I\left(-\overline{a}\right) \times \overline{B} = -\overline{F}_1$

côté 4: $\overline{F}_4 = I\left(-\overline{b}\right) \times \overline{B} = -\overline{F}_2$

$\overline{a}$ : de droite à gauche (sens du courant)

$\overline{b}$ : de bas en haut (sens du courant)

Les vecteurs $\overline{F}_1$ et $\overline{F}_3$ sont tous deux verticaux, de même intensité, de sens opposé, et sont situés dans le plan de la boucle ; leurs effets s'annulent mutuellement. Les vecteurs $\overline{F}_2$ et $\overline{F}_4$, aussi égaux et opposés, font un angle θ avec le plan de la boucle car ils sont perpendiculaires à $\overline{B}$ : $\overline{F}_2$ tire le côté droit de la boucle vers l'avant, $\overline{F}_2$ tire le côté gauche de la boucle vers l'arrière. Ces deux forces forment ce qu'on appelle un couple ou un moment de force et font tourner la boucle autour des pivots. L'intensité des deux forces qui font tourner la boucle est :

$$\mathbf{F_2 = I\ b\ B,\ car\ \overline{B} \perp \overline{b}} \qquad \text{(XI.6)}$$

$\overline{F}_2$ tire sur la boucle à un angle θ ; l'effet est donc maximum lorsque la boucle est parallèle au champ magnétique et que θ = 90°. Lorsque la boucle est perpendiculaire au champ magnétique et que θ = 0°, les forces opposées $\overline{F}_2$ et $\overline{F}_4$ sont dans le plan de la boucle et ne peuvent plus la faire tourner ; le couple de forces s'annule. Lorsque la boucle dépasse cette position et est inclinée de l'autre côté, les forces qui gardent le même sens tendent à ramener la boucle dans cette position et font donc tourner la boucle en sens inverse.

### XI.4.2 : Le galvanomètre d'Arsonval

La relation XI.6 montre que les forces qui font tourner une boucle de courant dans un champ magnétique sont proportionnelles à l'intensité du courant I qui parcourt la boucle. C'est cette propriété qui est utilisée dans le galvanomètre d'Arsonval schématisé sur la figure XI.10.

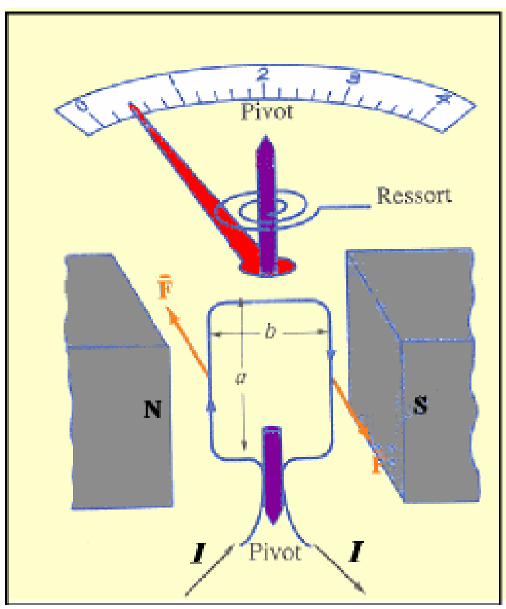



Figure XI.10.

On fait passer le courant, dont on désire mesurer l'intensité, dans la boucle. Une aiguille, fixée au pivot se déplace devant une échelle graduée lorsque la boucle tourne sous l'effet du courant. Le ressort exerce une force de rappel qui permet de stabiliser la boucle dans une position donnée lorsque cette force de rappel compense les forces magnétiques dues au courant qui passe dans la boucle.

### XI.4.3 : Le moteur électrique

Le schéma de principe du moteur électrique est illustré à la figure XI.11.

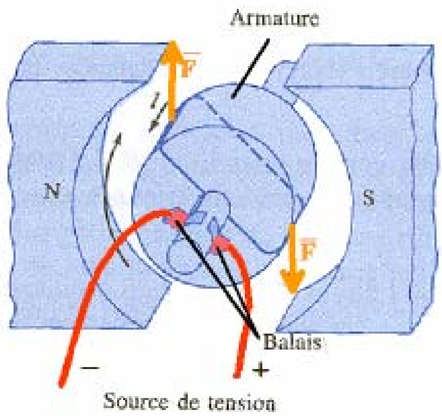



Figure XI.11.

Sous l'effet du champ magnétique créé par un aimant, le courant qui alimente le moteur fait tourner la boucle et entraîne l'axe du moteur dans sa rotation. Normalement les forces devraient changer de sens à chaque passage de la boucle à la position perpendiculaire au champ magnétique (voir section XI.4.1), ce qui aurait pour effet d'inverser continuellement le sens de rotation du moteur. Pour éviter cela, on utilise des balais qui inversent la polarité du courant à chaque demi-tour, au moment où la boucle passe par la position perpendiculaire au champ magnétique, ce qui empêche l'inversion du sens des forces qui font tourner le moteur (voir figure XI.12).

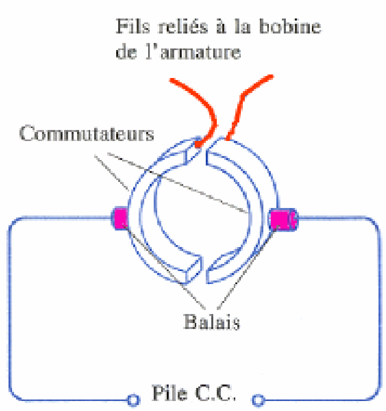



Figure XI.12.

**Remarque :** dans la pratique, à la fois pour le galvanomètre et pour le moteur électrique, les choses se présentent de manière un peu plus compliquée. Afin de renforcer les effets, il n'y a pas qu'une seule boucle mais un grand nombre de boucles, formant un bobinage. Pour maintenir le champ magnétique parallèle aux boucles, même lorsque celles-ci ont tourné (effet maximum, $\theta = 90°$), le fil est bobiné sur un noyau de fer doux (voir figure XI.13).

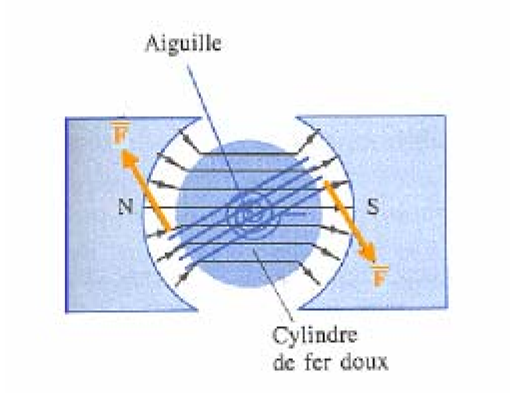



Figure XI.13.

## XI.5 : La force de Lorentz

Nous avons vu qu'un fil parcouru par un courant, c'est-à-dire des charges électriques en mouvement, subit une force lorsqu'il se trouve dans un champ magnétique. On peut donc s'attendre à ce que des particules chargées qui se déplacent librement soient elles aussi soumises à une force magnétique et il en est bien ainsi. Nous allons calculer cette force à partir de la relation (XI.3). Supposons des particules de charge q ayant une vitesse $\overline{v}$ ; elles parcourent en ligne droite une distance $\overline{L}$ dans un champ magnétique uniforme $\overline{B}$, en un temps t. Par conséquent ces particules constituent un courant. Si n d'entre elles passent en un point durant le temps t, ce courant vaut :

$$\mathbf{I} = \frac{\mathbf{nq}}{\mathbf{t}},$$

d'après la définition (VII. 2). D'après XI.3, la force qui s'exerce sur ce courant vaut :

$$\overline{\mathbf{F}}_{\mathbf{I}} = \mathbf{I}\,\overline{\mathbf{L}} \times \overline{\mathbf{B}} = \frac{\mathbf{nq}}{\mathbf{t}}\overline{\mathbf{L}} \times \overline{\mathbf{B}} = \mathbf{nq}\,\overline{\mathbf{v}} \times \overline{\mathbf{B}},$$

puisque $\overline{v} = \overline{L} / t$. Cette force est en fait la force qui s'exerce sur les n particules de charge q. Par conséquent la force qui s'exerce sur une seule d'entre elle vaut :

$$\boxed{\overline{\mathbf{F}} = \mathbf{q}\,\overline{\mathbf{v}} \times \overline{\mathbf{B}}} \qquad \text{(XI.7)}$$

Cette force est appelée force de Lorentz.

## XI.6 : Le mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique

Dès qu'une particule chargée pénètre dans une zone où règne un champ magnétique, avec une vitesse initiale, elle est soumise à la force de Lorentz (XI.7). Toutefois, vu la forme de cette force qui s'exprime sous forme d'un produit vectoriel, celle-ci sera nulle si cette vitesse est parallèle au champ magnétique même si la vitesse et le champ magnétique sont non nuls. En effet, d'après (XI.7), l'intensité de la force de Lorentz est :

$$\mathbf{F = q\ v\ B \sin \theta,} \qquad \text{(XI.8)}$$

où $\theta$ est l'angle entre la vitesse et le champ magnétique ; elle s'annule donc pour $\theta = 0°$. Pour v et B fixés, elle sera maximum pour $\theta = 90°$ :

$$\mathbf{F = q\ v\ B}\,, \qquad \text{lorsque } \overline{\mathbf{v}} \perp \overline{\mathbf{B}} \qquad \text{(XI.9)}$$

D'après (XI.7), la force de Lorentz est perpendiculaire à la fois à $\overline{\mathrm{v}}$ et à $\overline{\mathrm{B}}$. Pour connaître le sens de la force de Lorentz, on applique la règle de la main droite : on place sa main droite, doigts dépliés dans le sens de déplacement de la particule, c'est-à-dire celui de $\overline{\mathrm{v}}$. On fait tourner la main sur elle-même de sorte que les doigts une fois pliés indiquent la direction de $\overline{\mathrm{B}}$. Le pouce tendu indique alors le sens de $\overline{\mathrm{F}}$. Attention, cette règle donne le sens de $\overline{\mathrm{F}}$ pour une charge q positive. Lorsque la charge est négative, le sens de la force est opposé.

**Exemple :**

Un électron se déplace verticalement vers le haut avec une vitesse de $2{,}0 \times 10^{6}$ m/s lorsqu'il pénètre dans un champ magnétique. Il subit alors une force de $4{,}0 \times 10^{-14}$ N vers l'ouest. Sachant que cette force s'annule lorsque l'électron se déplace horizontalement vers le nord, déterminer l'intensité et le sens de ce champ magnétique .

Puisque la force s'annule lorsque l'électron se dirige horizontalement vers le nord, c'est qu'il a, à ce moment, un parcours parallèle ou antiparallèle à $\overline{\mathrm{B}}$. Donc $\overline{\mathrm{B}}$ est horizontal avec une direction nord-sud ou sud-nord. Lorsque l'électron se dirige vers le haut, on a :

$$\overline{\mathbf{F}}_{\mathbf{0}} = (-\mathbf{e})\,\overline{\mathbf{v}}_{\mathbf{haut}} \times \mathbf{B}_{\mathbf{N-S(?)}}$$

Si $\overline{\mathrm{B}}$ était dirigé vers le nord (voir figure XI.14.a), en appliquant la règle de la main droite et en inversant le résultat pour tenir compte de la charge négative de l'électron, la force $\overline{\mathrm{F}}$ serait dirigée vers l'est. C'est donc vers le sud que $\overline{\mathrm{B}}$ est dirigé (voir figure XI.4.b).

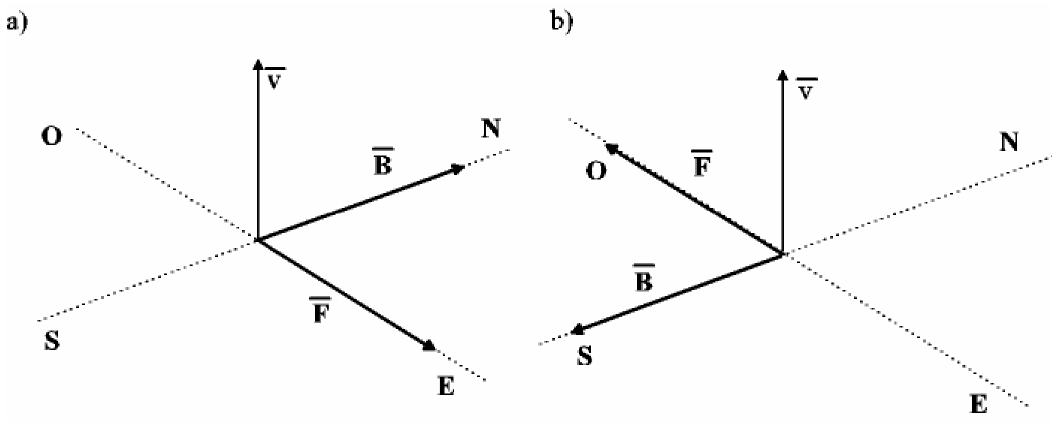



Figure XI.14.

Quant à l'intensité de B, puisque $\overline{\mathrm{v}}$ est perpendiculaire à $\overline{\mathrm{B}}$ elle est donnée par :

$$\left|\overline{\mathbf{F}}\right| = \mathbf{e\ v\ B}\,,$$

d'où

$$\mathbf{B} = \frac{\left|\overline{\mathbf{F}}\right|}{\mathbf{e\ v}} = \frac{\mathbf{4{,}0 \times 10^{-14}\,N}}{\mathbf{1{,}6 \times 10^{-19}\,C \times 2{,}0 \times 10^{6}\,m/s}}$$

$$= \mathbf{1{,}25 \times 10^{-1} = 0{,}125\ T.}$$

## XI.7 : Le champ magnétique dû à des courants

A la section XI.2, nous avons vu qu'un courant créait un champ magnétique dans l'espace qui l'entoure. L'intensité, la direction et le sens de ce champ magnétique dépendent de la forme et de l'intensité du courant mais aussi, bien sûr, de la distance à laquelle il se trouve. Par conséquent, dans la grande majorité des cas, les champs magnétiques ne sont pas uniformes. Pour calculer le champ magnétique qui correspond à une configuration de courants donnés on utilise le théorème d'Ampère que nous n'avons pas le temps d'étudier dans ce cours. Toutefois, nous allons passer en revue quelques résultats auxquels il conduit pour des situations courantes. Ces résultats peuvent aussi être obtenus expérimentalement.

### XI.7.1 : Le champ magnétique dû à un fil rectiligne

Dans le cas d'un conducteur rectiligne, nous avons déjà vu à la section XI.2 que le champ magnétique était perpendiculaire au fil dans un plan qui lui est perpendiculaire. On s'attend à ce que l'intensité de ce champ magnétique augmente avec l'intensité du courant électrique et diminue avec la distance r à laquelle on se trouve par rapport au fil. Effectivement, on constate que :

$$\mathbf{B} \propto \frac{\mathbf{I}}{\mathbf{r}},$$

à condition que r soit petit par rapport à la distance à laquelle on se trouve des extrémités du fil rectiligne (ce rapport serait exact pour un fil infini). La constante de proportionnalité s'exprime par $\mu_0/2\pi$, de sorte que :

$$\boxed{\mathbf{B} = \frac{\boldsymbol{\mu_0}\,\mathbf{I}}{\mathbf{2\pi\, r}}, \text{ pour un fil rectiligne}} \tag{XI.10}$$

La constante $\mu_0$ est appelée perméabilité du vide et vaut :

$$\boldsymbol{\mu_0} = \mathbf{4\pi \times 10^{-7}\ T.m/A} \tag{XI.11}$$

### XI.7.2 : Le champ magnétique dû à un solénoïde

Dans les circuits électriques, on trouve souvent des solénoïdes. Un solénoïde est un fil conducteur enroulé plusieurs fois sur une surface cylindrique ; de cette manière, il forme plusieurs boucles appelées spires (voir figure XI.15).

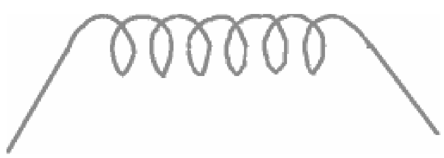


Figure XI.15.

Celles-ci sont le plus souvent serrées l'une contre l'autre, mais pas nécessairement.

L'intérêt du solénoïde réside en ce qu'il permet de créer un champ magnétique à peu près uniforme dans une région de l'espace, à l'intérieur de ses spires. En effet, on peut montrer que pour un solénoïde de longueur infinie, le champ magnétique est nul à l'extérieur et constant à l'intérieur, dirigé suivant l'axe du solénoïde. La figure XI.16 montre une coupe dans un tel solénoïde ; les cercles avec un point indiquent une section du fil avec le courant qui sort de la page, tandis que les cercles avec une croix indiquent un courant entrant.

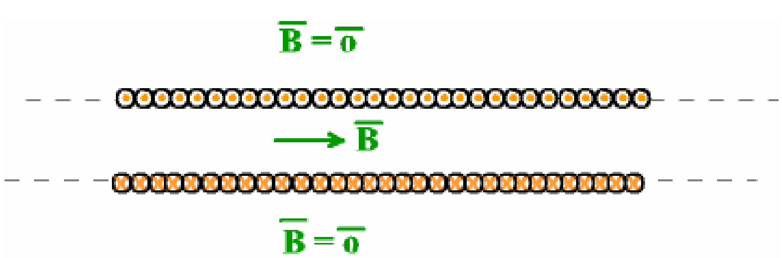



Figure XI.16.

C'est en appliquant la règle de la main droite à un segment de spire quelconque, comme on l'avait fait à la section XI.2 pour un fil rectiligne infini, qu'on trouve le sens de $\overline{B}$ dans le solénoïde. Son intensité est donnée par :

$$\boxed{\mathbf{B = \mu_0\, n\, I}\text{ , pour un solénoïde infini,}} \qquad \text{(XI.12)}$$

où n = N/L est le nombre N de spires sur une longueur L du solénoïde.

Dans la pratique les solénoïdes ont une longueur finie et les résultats ci-dessus restent valables, à condition de se trouver loin des extrémités du solénoïde.

## XI.8. : La définition de l'ampère et du coulomb

Si la constante $\mu_0$ vaut exactement $4\ \pi \times 10^{-7}$ T.m/A, c'est parce que cette valeur a été posée et qu'on a déduit la définition de l'ampère à partir du champ magnétique produit par un courant d'un ampère. Pour cela, considérons deux longs conducteurs parallèles, séparés par une distance r (voir figure XI.17) et parcourus par des courants respectifs $I_1$ et $I_2$. Le conducteur 1 crée autour de lui un champ magnétique $\overline{B}_1$, dont l'intensité vaut, à l'endroit où se trouve le conducteur 2 :

$$\mathbf{B_1 = \frac{\mu_0\, I_1}{2\pi\, r}} \qquad \text{(XI.13)}$$

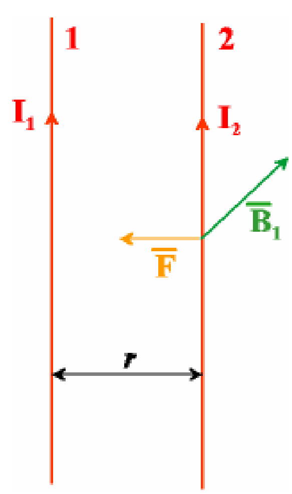



Figure XI.17.

Par conséquent le conducteur 2 plongé dans le champ magnétique $\overline{B}_1$, dû au conducteur 1, subit de la part de ce dernier une force. Pour une longueur L de fil, cette force est donnée par la relation (XI.3) : $F = I_2\ L\ B_1$. En remplaçant $B_1$ par son expression donnée en (XI.13) et en divisant par L, on obtient la force par unité de longueur :

$$\frac{\mathbf{F}}{\mathbf{L}} = \frac{\mu_0}{2\pi}\ \frac{\mathbf{I_1\, I_2}}{\mathbf{r}} \qquad \text{(XI.14)}$$

En utilisant la règle de la main droite, on peut vérifier que la force est attractive si les deux courants circulent dans le même sens (cf. figure XI.17) ; elle est répulsive si les courants circulent en sens opposé.

On peut vérifier aisément que la force exercée par le conducteur 2 sur le conducteur 1 a la même intensité et est de sens opposé, ce qui satisfait bien au principe de l'action et de la réaction.

La relation (XI.14) est utilisée pour définir l'ampère. Si $I_1 = I_2 = 1$ A et que les deux fils se trouvent à 1 m l'un de l'autre, alors :

$$\frac{\mathbf{F}}{\mathbf{L}} = \frac{4\pi\times 10^{-7}\,\mathbf{Tm/A}}{2\pi}\ \frac{\mathbf{1A\times 1A}}{\mathbf{1m}} = 2\times 10^{-7}\,\mathbf{N/m}$$

Ainsi :

**un ampère se définit comme le courant circulant dans deux longs conducteurs parallèles, séparés par une distance de 1 m et produisant l'un sur l'autre une force de $2 \times 10^{-7}$ N par mètre de longueur.**

Le coulomb quant à lui est défini par rapport à l'ampère :

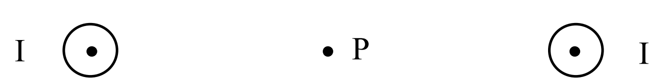
**Le coulomb est la charge qui traverse une section d'un conducteur parcouru par un courant d'un ampère pendant une seconde 1 C ≡ 1 A . s.**

## XI.9. : Exercices

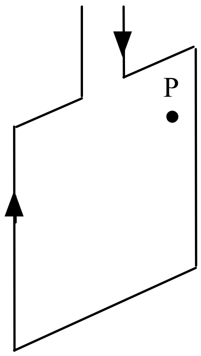
1. Indiquer par une flèche la direction du champ magnétique $\overline{B}$ aux points P dans les différentes situations ci-dessous. Si $\overline{B} = 0$, faites un cercle autour du point P

a) au voisinage d'un conducteur rectiligne infini parcouru par un courant I, sortant perpendiculairement de la feuille :


b) entre deux conducteurs rectilignes infinis, parallèles et parcourus par un courant I de même intensité et de même sens. P se trouve à égale distance des deux conducteurs :

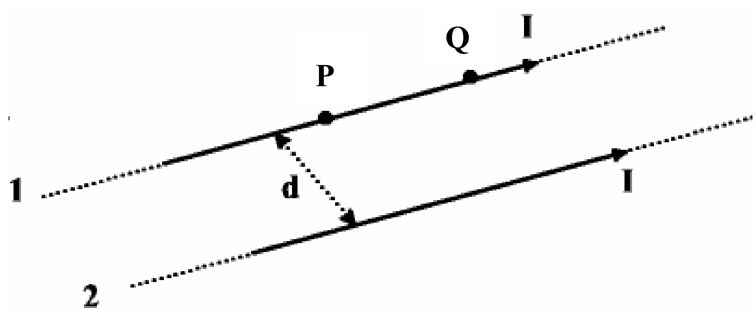


c) à l'intérieur d'un circuit constitué d'un fil conducteur en forme de rectangle, parcouru par un courant I :




2. Déterminez l'intensité d'un champ magnétique à 2,0 cm d'un long fil rectiligne portant un courant de 3,8 A. (R = 3,8 $10^{-5}$ T).

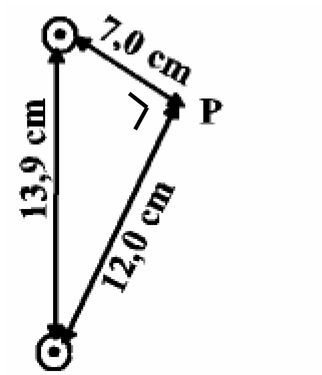
3. Deux fils conducteurs rectilignes infinis sont parallèles et parcourus tous deux par un courant I de même sens. Ils sont placés à une distance d l'un de l'autre.




Donnez l'expression de la force exercée par le conducteur 2 sur la portion PQ, de longueur L, du conducteur 1. Préciser sa direction et son sens. Représenter cette force par une flèche sur le schéma ci-dessus.

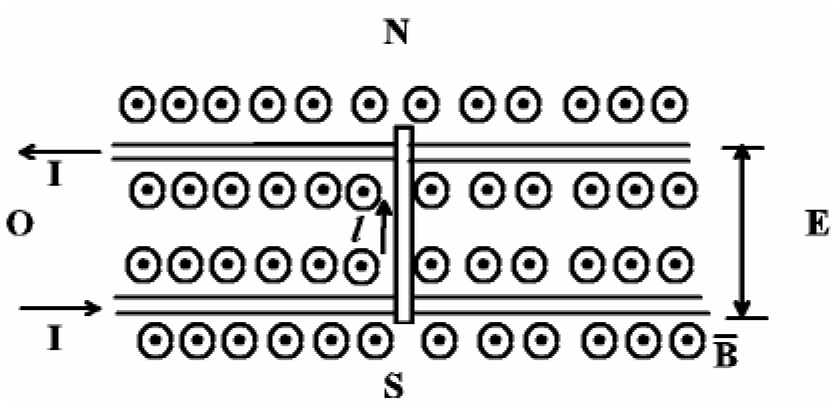
4. Calculez la force magnétique qui s'exerce sur les 240 m de fil rattachés à deux pylônes et portant un courant de 150 A si le champ magnétique de la Terre, d'une intensité de $5.0 \times 10^{-5}$ T, forme un angle de 60° avec ce fil. (R : 1,56 N).

5. Deux longs fils minces parallèles séparés par une distance de 13,9 cm sont parcourus dans le même sens par un courant de 25 A. Calculez l'intensité du champ magnétique en un point situé à 12,0 cm d'un des fils et à 7,0 cm de l'autre ; remarquer que les trois distances citées forment les côtés d'un triangle rectangle. (R: 8,3 $10^{-5}$ T).



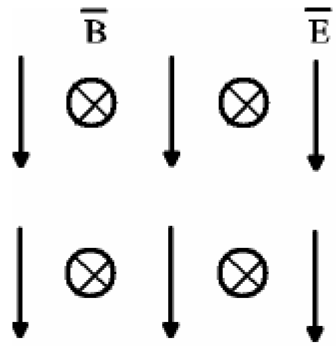

6. Un solénoïde mesurant 32 cm de longueur et 1,2 cm de diamètre doit produire un champ magnétique de 0,20 T en son centre. Combien de spires doit-il comporter s'il est parcouru par un courant maximal de 3,7 A ? (R: 1,38 $10^4$ ).

7. Deux fils rigides parallèles séparés par une distance *l* dans un plan horizontal servent de rails à une légère tige métallique de masse m (perpendiculaire à chaque rail), comme dans la figure. Un champ magnétique B, qui s'oriente verticalement vers le haut, agit en tout point de ce système. A t = 0, on branche les fils reliés aux rails à une source de courant continu et le système se trouve parcouru par un courant d'intensité I. Déterminez la vitesse de la tige en fonction du temps en supposant qu'il n'y a aucun frottement entre la tige et les rails. Si le courant qui parcourt la tige s'oriente vers le nord, dans quelle direction se déplace-t-elle, est ou ouest ? (Re : v(t) = I*l*Bt/m, est).




Vue de haut d'une tige qui glisse sur des rails.

8. Un électron pénètre dans une région de l'espace où règne un champ électrique de $9{,}5 \times 10^3$ V/m et un champ magnétique de $4{,}0 \times 10^{-3}$ T ; leurs directions respectives sont perpendiculaires :




a. Quelles doivent être la direction et la vitesse de l'électron pour qu'il traverse cette région sans être dévié ?

b. Quel serait le rayon de l'orbite décrit par ce même électron si on supprimait le champ électrique ?

(R : a) horizontale de gauche à droite ; $v = 2,4 \times 10^6$ m/s b) $R = 3,38 \times 10^{-3}$ m).