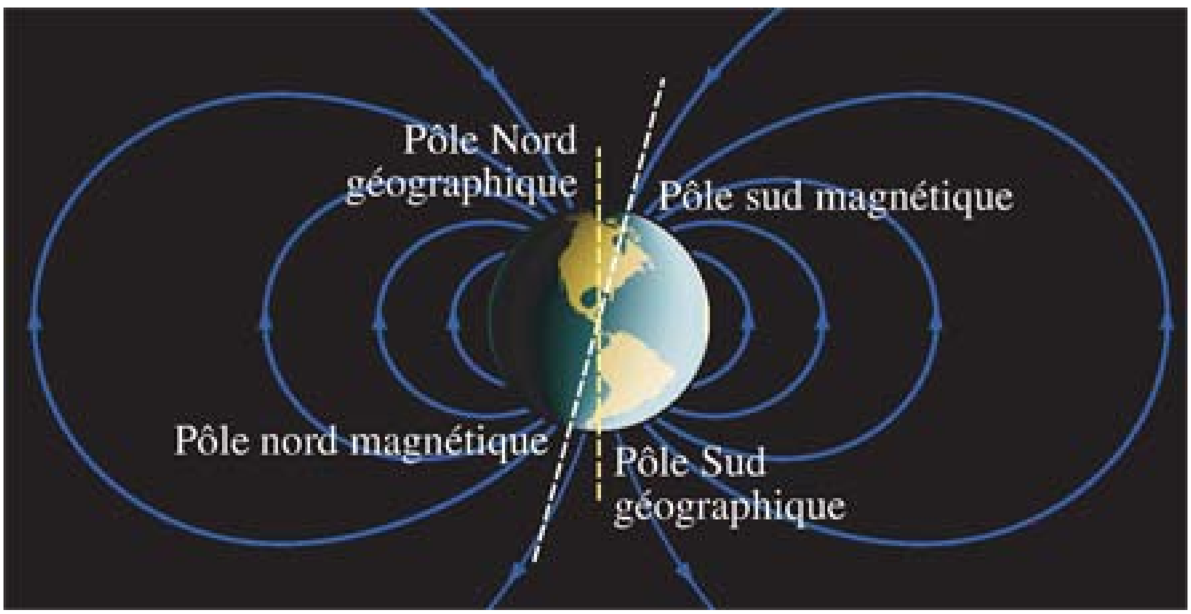
MODULE 7

LE CHAMP MAGNÉTIQUE



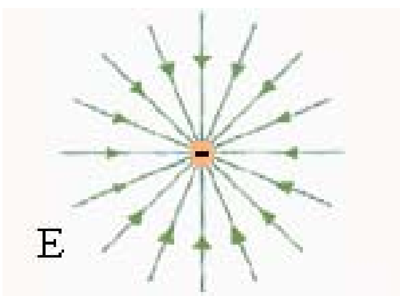
Représentation du champ magnétique terrestre

7.1 CHAMP MAGNÉTIQUE

Dans les modules précédents, nous avons traité des champs électriques. Nous avons vu qu'une particule chargée crée un champ électrique dans l'espace qui l'entoure. La charge étant immobile, nous avons parlé ″d'électrostatique″.

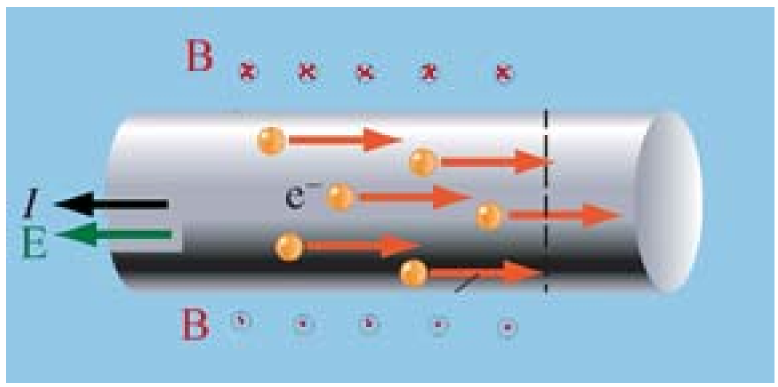
Dans le présent module, nous verrons qu'une particule chargée en mouvement crée un champ magnétique. On parlera donc ″d'électromagnétisme″.

Électrostatique



- charge immobile
- champ électrique (**E**)

Électromagnétisme



- charge en mouvement
- champ magnétique (**B**)
- champ électrique (**E**) (aussi présent)

Figure 7.1 Schémas représentant la différence entre champ électrique et champ magnétique

A) Ressemblances :   1) La configuration des lignes de champ est analogue.

2) Présence de 2 bornes (+ ou -) ou de 2 pôles (N (nord) ou S (sud)) .

Rappelons que les lignes de champ électrique sont dirigées du potentiel le plus élevé (+) vers le potentiel le moins élevé (-). Précisons aussi que les lignes de champ magnétique vont du pôle Nord vers le pôle Sud à l'extérieur du barreau aimanté, mais du Sud vers le Nord à l'intérieur. De plus, ces lignes de champs forment des boucles fermées, ce qui n'est pas nécessairement le cas pour les lignes de champ électrique.

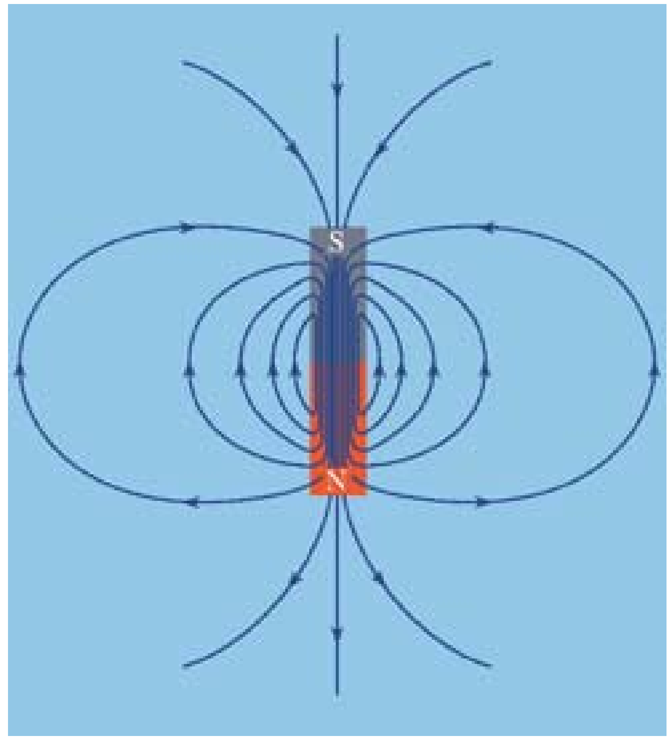


Figure 7.2   Schéma représentant la configuration des lignes de champ magnétique d'un barreau aimanté.

B) Différences :   1) On peut isoler une charge électrique (+ ou -), mais pas un pôle magnétique. Ils se présentent toujours par paires.

2) Le champ magnétique est toujours perpendiculaire au champ électrique.

3) Une charge électrique immobile dans un champ magnétique n'est pas influencée par ce dernier, alors que dans un champ électrique, elle est influencée. La charge se déplacera selon les lignes de champ électrique.

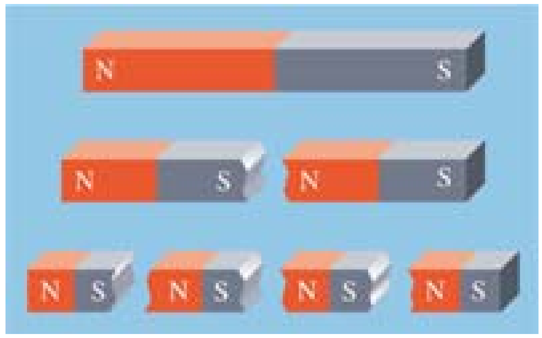


Figure 7.3 Lorsqu'un aimant est cassé en deux, nous n'obtenons pas deux pôles séparés, mais bien un aimant plus petit comportant toujours un pôle Nord et un pôle Sud.

Si on se rappelle que la loi de Coulomb permet de calculer la force électrique agissant sur une particule chargée, on se rend compte que cette force ne dépend pas de la vitesse de la particule, mais uniquement de la charge de chacune des particules en présence ($\mathbf{F}_é = k \mid q_1 q_2 \mid / \mathbf{r}^2$) .

Pour ce qui est de la force magnétique crée sur une particule chargée qui se trouve sous l'influence d'un champ magnétique, nous verrons un peu plus loin dans ce module, qu'elle dépend de la charge (q) de la particule, de sa vitesse (**v**) et du champ magnétique (**B**) ($\mathbf{F}_B = q \, \mathbf{v} \times \mathbf{B}$).

C) <u>Aimants</u>

Les aimants sont des matériaux possédant des propriétés magnétiques. Ils sont de différents types (permanent ou non permanent), de différentes formes (circulaire, fer à cheval, barreau, etc…), de différentes grosseurs (petit ou gros) et de différentes puissances (faible ou élevée). La **démo 7.1**, que l'on retrouve sur LÉA, illustre ces caractéristiques.

Nous venons de voir qu'il devait y avoir des charges en mouvement pour générer un champ magnétique. Mais dans le cas des aimants, où sont les charges en mouvement ? On n'est pas obligé de déplacer l'aimant pour qu'il fonctionne ! En fait, la réponse à cette question se trouve au niveau atomique. Le spin des électrons et leur rotation autour des noyaux constituent le mouvement des charges qui crée le champ magnétique des aimants. Bien qu'il y ait des électrons en mouvement dans tous les matériaux, ces derniers ne sont pas tous aimantés. Cela dépend de la nature du matériau (ferromagnétique, paramagnétique ou diamagnétique) et donc de l'organisation des électrons (spin ″up″ ou ″down″) sur les différents niveaux d'énergie. Pour une explication plus détaillée de ces notions, je vous invite à consulter le chapitre 9.6 du Benson.

D) <u>Champ magnétique terrestre</u>

Cette partie est clairement expliquée à la fin du chapitre 9 du Benson (sujet connexe). Je vous invite donc à la consulter pour en savoir plus sur le champ magnétique terrestre, ainsi que sur des notions connexes telles que : les ceintures de Van Allen, la magnétosphère, le vent solaire et les aurores boréales.

E) <u>Boussole</u>

Une boussole est simplement un aimant monté sur une base pivotante, qui permet à son utilisateur de s'orienter de par l'interaction qu'elle a avec le champ magnétique terrestre. Le pôle Nord de l'aimant (boussole) est attiré par le pôle Sud de l'aimant formé par la Terre (qui correspond au pôle Nord géographique) (un peu mélangeant, mais bon !).

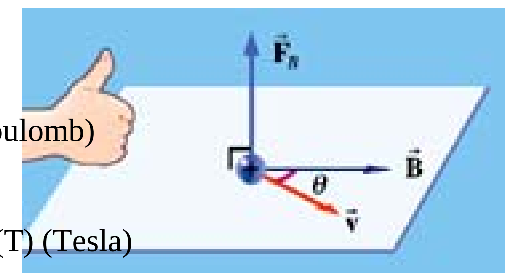
7.2 FORCE MAGNÉTIQUE

Dans cette section, nous allons étudier certaines situations dans lesquelles une force magnétique ($\mathbf{F}_B$) est produite.

A) <u>$\mathbf{F}_B$ sur une charge en mouvement</u>

La force magnétique agissant sur une particule chargée en mouvement dans un champ magnétique est donnée par l'équation 7.1. On peut voir dans cette équation qu'il faut effectivement une particule chargée ($q \neq 0$) pour que la force magnétique ne soit pas nulle. Par contre, ce n'est pas suffisant pour s'assurer de la présence d'une force magnétique. Il faut aussi que le produit vectoriel de **v** par **B** ne soit pas nul. On se rappelle que le produit vectoriel entre deux vecteurs donne un vecteur qui est perpendiculaire aux deux premiers. De plus, le produit vectoriel de deux vecteurs parallèles est nul. Donc, une particule chargée se déplaçant parallèlement à un champ magnétique n'est pas influencée par ce dernier.

$$\mathbf{F}_B = q\,\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$ **Force magnétique (charge en mouvement) (7.1)**

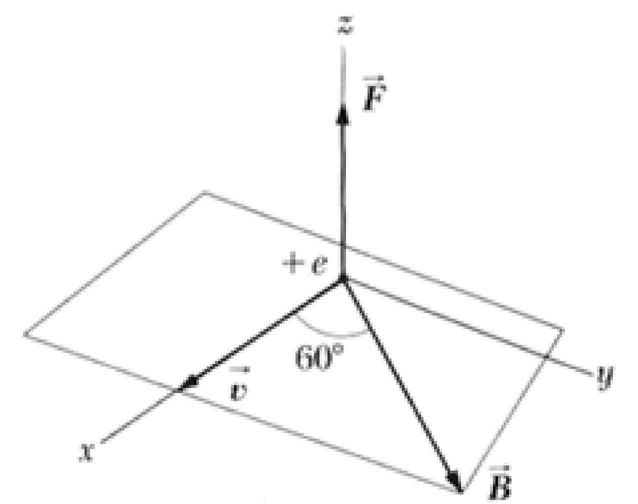


où : $\mathbf{F}_B$ = force magnétique (vecteur) (N) (newton)
q = charge de la particule en mouvement (scalaire) (C) (coulomb)
v = vitesse de la particule en mouvement (vecteur) (m/s)
B = champ magnétique agissant sur la particule (vecteur) (T) (Tesla)

<u>Règle de la main droite #1</u> : 1) Placer les doigts de la main droite dans le sens de **v**.
2) Replier les doigts pour qu'ils s'alignent sur **B** (il faut tourner du côté où l'angle est le plus petit entre **v** et **B**)
3) Le pouce vous donne la direction de $\mathbf{F}_B$.

Note : La règle de la main droite #1 est définie pour une particule positive. Dans le cas d'une particule négative, on procède de la même manière, mais à la fin, on inverse le sens de notre pouce.

Exemple 7.1 : Un proton se déplace à une vitesse de 8×10^6 m/s suivant l'axe des x. Il entre dans un champ magnétique de 2.5 T dont l'orientation forme un angle de 60° avec l'axe des x dans le plan xy. Calculez la force et l'accélération initiales subies par le proton.



$$\mathbf{F}_B = q\,\mathbf{v} \times \mathbf{B} = 1{,}602 \times 10^{-19} \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ 8 \times 10^6 & 0 & 0 \\ 2{,}5 \cos 60° & 2{,}5 \sin 60° & 0 \end{vmatrix}$$

$$\mathbf{F}_B = q\,\mathbf{v} \times \mathbf{B} = 1{,}602 \times 10^{-19} \left(0 \,;\, 0 \,;\, (8 \times 10^6)(2{,}5 \sin 60°) - (2{,}5 \cos 60°)(0) \right) \text{N}$$

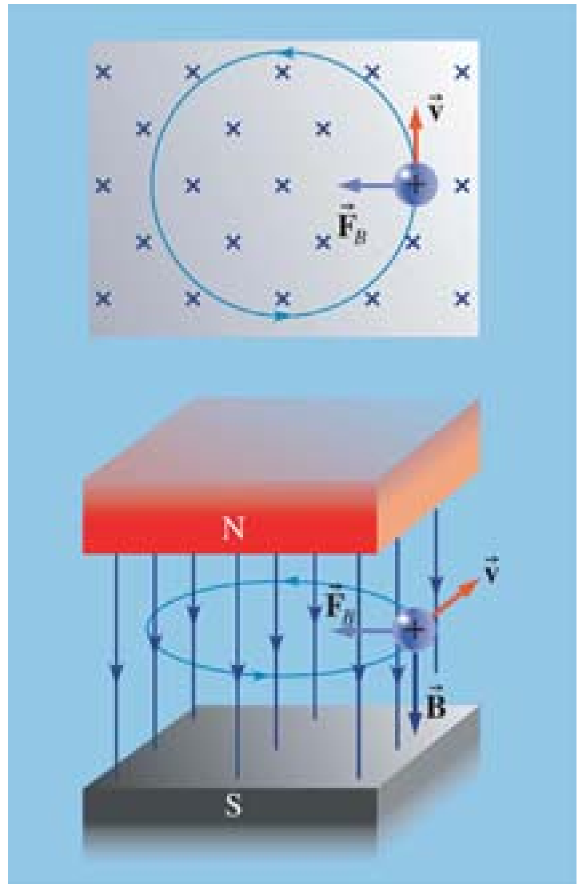
$$\mathbf{F}_B = q\,\mathbf{v} \times \mathbf{B} = (\,0 \,;\, 0 \,;\, 2{,}77 \times 10^{-12}\,)\ \text{N}$$

$\sum \mathbf{F} = m\mathbf{a}$

$\sum F_x = ma_x$	$\sum F_y = ma_y$	$\sum F_z = ma_z$
$0 = ma_x$	$0 = ma_y$	$2{,}77 \times 10^{-12} = (1{,}67 \times 10^{-27})\, a_z$
$a_x = 0$ m/s^2	$a_y = 0$ m/s^2	$a_z = 1{,}66 \times 10^{15}$ m/s^2

$\mathbf{a} = (\,0 \,;\, 0 \,;\, 1{,}66 \times 10^{15}\,)$ m/s^2

Cette force magnétique agissant sur la particule chargée a donc pour effet de modifier la trajectoire de la particule (puisqu'une force résultante non nulle produit une accélération d'après la deuxième loi de Newton ($\sum F = ma$)). Si la particule se déplace perpendiculairement au champ magnétique, nous observons un mouvement circulaire de la particule dans le champ magnétique. C'est alors la force magnétique qui joue le rôle de la force centripète.



$$\sum F = ma$$

$$|q|\, v\, B = m\, v^2 / r$$

$$r = (m\, v) / (|q|\, B)$$

Le calcul précédent nous donne donc la valeur du rayon de la trajectoire circulaire effectuée par la particule chargée se déplaçant perpendiculairement à un champ magnétique.

Figure 7.4 Trajectoire circulaire d'une particule chargée ayant une vitesse entièrement perpendiculaire au champ magnétique.

Si la vitesse de la particule a aussi une composante qui est parallèle au champ magnétique, le mouvement devient alors hélicoïdal. La distance d représentée à la figure 7.5 est le pas de l'hélice (distance parcourue parallèle à **B** pendant une rotation).

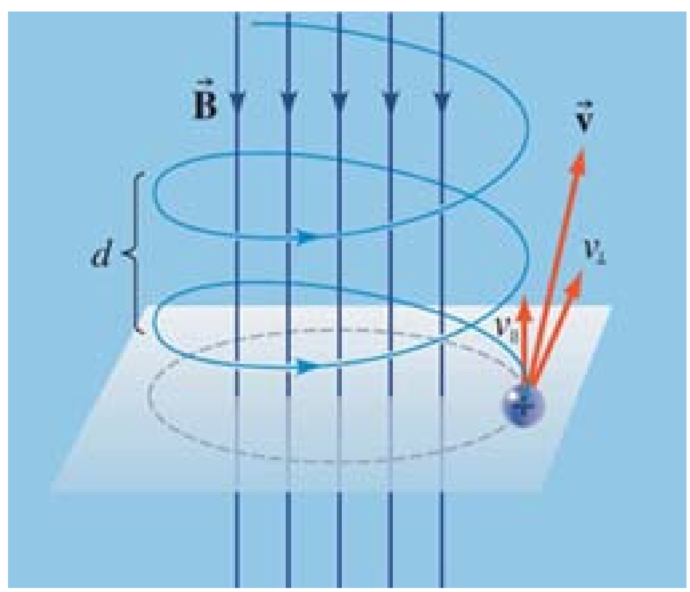


Figure 7.5 Trajectoire hélicoïdale d'une particule chargée ayant une vitesse en partie parallèle au champ magnétique.

B) <u>$\mathbf{F}_B$ sur un conducteur parcouru par un courant</u>

La force magnétique agissant sur un conducteur parcouru par un courant et soumis à un champ magnétique externe est donnée par l'équation 7.2. On se rend compte rapidement ici qu'il s'agit en fait de la même relation que précédemment, mais qu'elle est exprimée différemment. Nous avions au module 7.2 A) une particule chargée se déplaçant dans un champ magnétique. Ici, nous avons aussi des particules chargées (les électrons), mais qui circulent dans un fil au lieu de circuler dans l'air.

$\mathbf{F}_B = q\,\mathbf{v} \times \mathbf{B}$	Équation 7.1
$\mathbf{F}_B = q\,(\,\mathbf{l} / t\,) \times \mathbf{B}$	La vitesse est un déplacement sur un temps.
$\mathbf{F}_B = (q / t\,)\,\mathbf{l} \times \mathbf{B}$	Un courant est une charge sur un temps.
$\mathbf{F}_B = I\,\mathbf{l} \times \mathbf{B}$	Équation 7.2

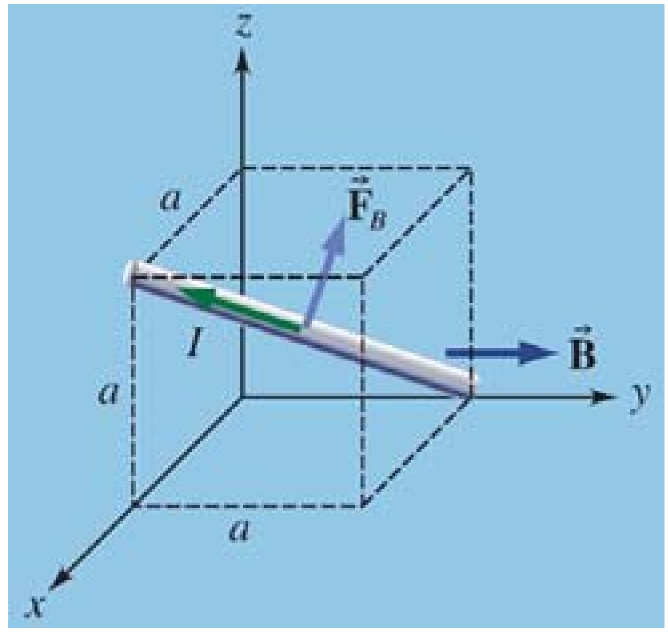
$$\mathbf{F}_B = I\,\mathbf{l} \times \mathbf{B}$$ **Force magnétique (sur un conducteur) (7.2)**

où : $\mathbf{F}_B$ = force magnétique (vecteur) (N) (newton)
I = courant (scalaire) (A) (ampère)
l = longueur d'un segment rectiligne de fil (vecteur) (m)
B = champ magnétique agissant sur la particule (vecteur) (T) (Tesla)

<u>Règle de la main droite #2</u> :
1) Placer les doigts de la main droite dans le sens du courant (**l** est orienté dans le même sens que le courant).
2) Replier les doigts pour qu'ils s'alignent sur **B** (il faut tourner du côté où l'angle est le plus petit entre **l** et **B**)
3) Le pouce vous donne la direction de $\mathbf{F}_B$.

Je vous invite à consulter immédiatement la **démo 7.5** et la **démo 7.6** sur LÉA pour voir les effets que la force magnétique peut avoir sur un fil conducteur parcouru par un courant et soumis à un champ magnétique externe.

Exemple 7.2 : Un fil rectiligne est orienté selon une diagonale centrale du cube imaginaire d'arrête a = 20 cm et il est parcouru par un courant de 5 A. Calculez la force magnétique agissant sur le fil s'il se trouve dans un champ magnétique $\mathbf{B} = 0{,}6\,\mathbf{j}$ T.



$$\mathbf{F}_B = I\,\mathbf{l} \times \mathbf{B} = 5 \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ 0{,}20 & -0{,}20 & 0{,}20 \\ 0 & 0{,}6 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\mathbf{F}_B = I\,\mathbf{l} \times \mathbf{B} = 5\,\Big((-0{,}20)(0) - (0{,}6)(0{,}20)\ ;\ 0\ ;\ (0{,}20)(0{,}6) - (0)(-0{,}20) \Big)\ \text{N}$$

$$\mathbf{F}_B = I\,\mathbf{l} \times \mathbf{B} = (-0{,}6\ ;\ 0\ ;\ 0{,}6)\ \text{N}$$

Note : Le vecteur **l** = (a ; -a ; a) m est défini dans le même sens que le courant, donc en suivant le courant, on se déplace vers les x+, vers les y– et vers les z+ . Si le courant avait circulé dans l'autre sens, nous aurions eu **l** = (-a ; a ; -a) m.

C) <u>Moment de force sur une boucle de courant</u>

Nous venons de voir qu'une force magnétique agissait sur un fil rectiligne s'il était parcouru par un courant et s'il était placé dans un champ magnétique externe. Si nous plions le fil rectiligne de façon à former une boucle rectangulaire (voir figure 7.6), nous avons en fait quatre sections rectilignes qui peuvent être traitées chacune comme au module 7.2 B). Par contre, leur effet combiné fera tourner le cadre (boucle) ainsi formé, s'il existe un angle θ entre le champ magnétique et la normale au plan du cadre.

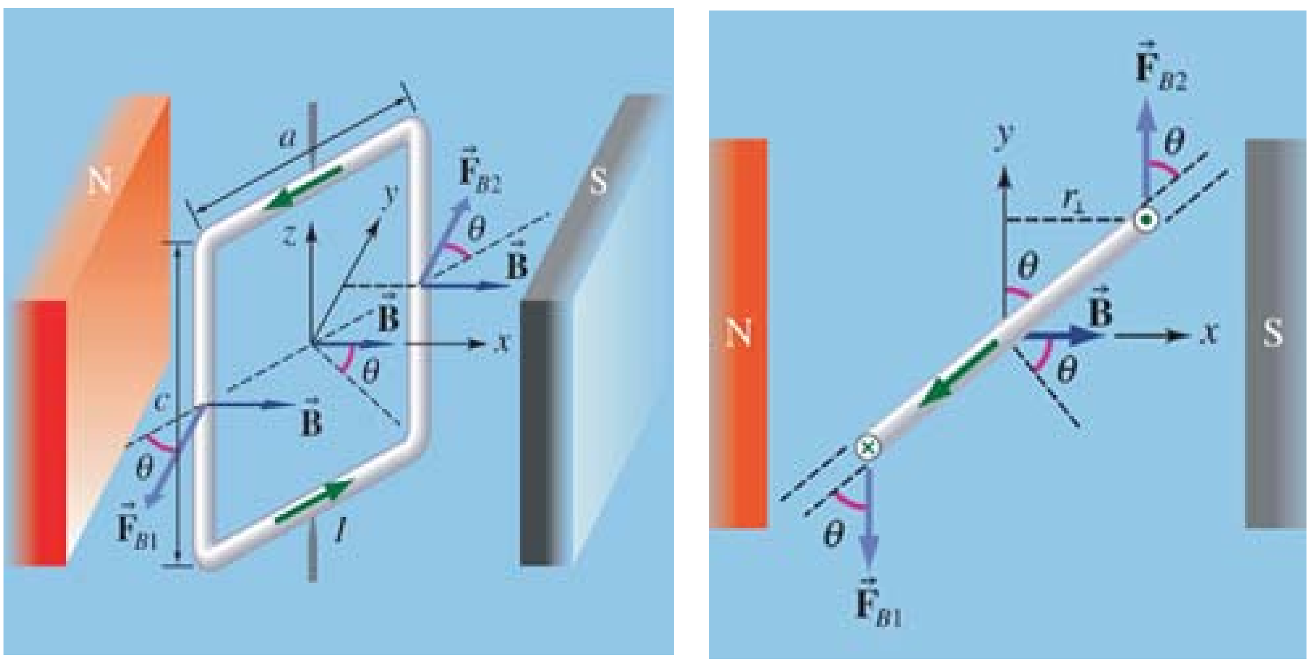


Figure 7.6 Cadre parcouru par un courant et libre de pivoter dans un champ magnétique (vue de côté et vue d'en haut).

Les forces magnétiques exercées sur les sections horizontales sont égales et orientées selon z, mais de signes contraires ($\sum F_z = 0$) (vérifiez le avec la règle de la main droite #2). Les forces magnétiques agissant sur les sections verticales sont elles aussi de même module et de signes contraires, mais orientées selon y ($\sum F_y = 0$). Par contre, un mouvement de rotation ($\sum \tau \neq 0$) est engendré par ces dernières puisqu'elles possèdent un bras de levier ($r_\perp$) par rapport à l'axe central (voir l'image de droite de la figure 7.6). Voyons maintenant comment obtenir le module de ce moment de force ($\tau = F\, r_\perp$).

$$\mathbf{F}_{B1} = I\,\mathbf{l} \times \mathbf{B} = I \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ 0 & 0 & -c \\ B & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\mathbf{F}_{B1} = I\,\mathbf{l} \times \mathbf{B} = I\,\big(0 \,;\, (-c\,B) - (0)(0) \,;\, 0 \big)\ \mathrm{N}$$

$$\mathbf{F}_{B1} = I\,\mathbf{l} \times \mathbf{B} = (0 \,;\, -I\,c\,B \,;\, 0)\ \mathrm{N}$$

$$\mathbf{F}_{B2} = I\,\mathbf{l} \times \mathbf{B} = I \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ 0 & 0 & c \\ B & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\mathbf{F}_{B2} = I\,\mathbf{l} \times \mathbf{B} = I\,\big(0 \,;\, (c\,B) - (0)(0) \,;\, 0 \big)\ \mathrm{N}$$

$$\mathbf{F}_{B2} = I\,\mathbf{l} \times \mathbf{B} = (0 \,;\, I\,c\,B \,;\, 0)\ \mathrm{N}$$

$\tau_1 = F_{B1}\, r_\perp$ $\qquad$ $\tau_2 = F_{B2}\, r_\perp$

$\tau_1 = (IcB)\,(\,(a/2)\sin\theta\,)$ $\qquad$ $\tau_2 = (IcB)\,(\,(a/2)\sin\theta\,)$

$\tau = \tau_1 + \tau_2 = (2)\,(IcB)\,(\,(a/2)\sin\theta\,)$

$\tau = I\,a\,c\,B\sin\theta$ $\qquad$ Pour une boucle de courant (une spire)

$$\tau = N\,I\,a\,c\,B\sin\theta$$ **Moment de force (sur un cadre) (7.3)**

où : τ = module du moment de force (N·m)

N = nombre de spires ou d’enroulements

I = courant circulant dans le cadre (A) (ampère)

a = longueur du côté horizontal du cadre (m)

c = longueur du côté vertical du cadre (m)

B = module du champ magnétique (T) (Tesla)

θ = angle entre le champ magnétique et la normal au plan du cadre (°) (degré)

D) **<u>$\mathbf{F}_B$ entre des fils conducteurs parallèles</u>**

Cette section constitue en fait qu'une application de ce qui vient d'être vue au module 7.2 B). Pour qu'une force magnétique existe sur un conducteur traversé par un courant, il faut qu'il soit soumis à un champ magnétique externe, qui jusqu'ici était donné sans qu'on se pose trop de question en regard à sa provenance. Nous verrons au module 7.3 qu'un champ magnétique est créé autour d'un fil conducteur traversé par un courant. Pour l'instant, limitons-nous à savoir que ce champ à un module égal à $\mu_o I \,/\, (2\pi r)$ et qu'il est perpendiculaire au rayon r. Calculons la force magnétique exercée sur un de ces fils.

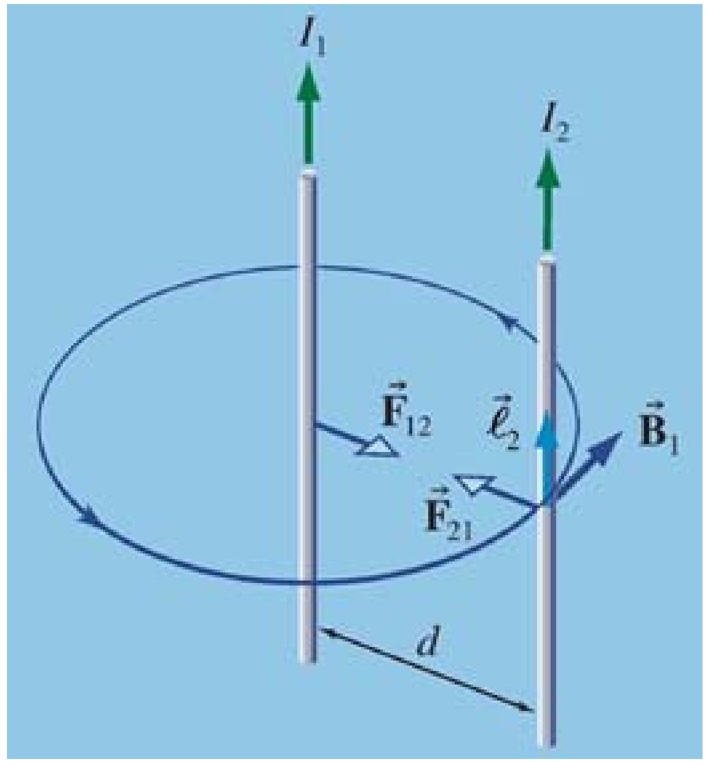


Figure 7.7 Forces magnétiques exercées entre deux fils conducteurs parallèles.

$$\mathbf{F}_{21} = I_2\, \mathbf{l_2} \times \mathbf{B_1} = I_2 \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ 0 & 0 & l \\ -B_1 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Le système d'axe utilisé est z positif vers le haut (sens de I_2), y positif vers la droite (sens contraire à $\mathbf{F}_{21}$) et x positif sortant de la page (sens contraire à $\mathbf{B}_1$) (l est une longueur quelconque de fil).

$$\mathbf{F}_{21} = I_2\, \mathbf{l_2} \times \mathbf{B_1} = I_2 \Big(0 \,;\, (l)(-B_1) - (0)(0) \,;\, 0 \Big) \text{ N}$$

$$\mathbf{F}_{21} = I_2\, \mathbf{l_2} \times \mathbf{B_1} = (0 \,;\, - I_2\, l\, B_1 \,;\, 0) \text{ N}$$

Le module de la force magnétique est donc :

$$F_{21} = I_2\, l\, B_1 = I_2\, l \left(\mu_o I_1 / (2\pi\, d)\right)$$

$$F_{21} = I_2\, l \left(\mu_o I_1 / (2\pi\, d)\right)$$

$$F_{21} = \left(\mu_o I_1\, I_2\, l / (2\pi\, d)\right) = F_{12} = F_B$$

$F_B / l = \mu_o I_1\, I_2 / (2\pi\, d)$ **Module de la force magnétique (entre 2 fils) (7.4)**

où : F_B/l = force magnétique par unité de longueur de fil (N/m)

μ_o = perméabilité du vide = $4\,\pi \times 10^{-7}$ T·m / A

I_1 = courant circulant dans le fil #1 (A) (ampère)

I_2 = courant circulant dans le fil #2 (A) (ampère)

d = distance entre les deux fils (m)

Note : Remarquez ici que c'est le fil #1 qui crée le champ magnétique que le fil #2 subi. Si nous analysions la situation inverse, nous aurions également un champ magnétique créé par le fil #2 et subi par le fil #1.

La force magnétique entre deux fils parallèles parcourus par des courants allant dans le même sens est attractive (comme la démonstration que nous venons de faire), alors qu'elle est répulsive si les courants sont de sens opposés. Ceci est dû au fait que le sens du champ magnétique sera inversé pour un courant I_1 circulant dans le sens inverse à celui illustré à la figure 7.7 (voir la règle de la main droite #3 au module 7.3 B)).

7.3 SOURCES DE CHAMP MAGNÉTIQUE

Nous avons travaillé à la section précédente avec des champs magnétiques, mais sans se questionner au sujet de leur provenance. Nous verrons donc dans cette section des sources de champ magnétique.

A) Théorème d'Ampère

Le théorème d'Ampère sert à déterminer le champ magnétique au même titre que le théorème de Gauss servait à déterminer le champ électrique. Vous remarquerez qu'ils possèdent la même forme et s'utilise pratiquement de la même façon.

But du théorème : Déterminer l'expression du champ magnétique B en un point de l'espace.

Théorème d'Ampère (7.5)

champ magnétique

parcours fermé (P_f)

$$\boxed{\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell}} = \mu_0 I$$

somme algébrique des courants traversant la surface délimitée par le parcours fermé
($\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}$ T·m / A)

circulation du champ

élément de parcours

Étapes d'application du théorème :

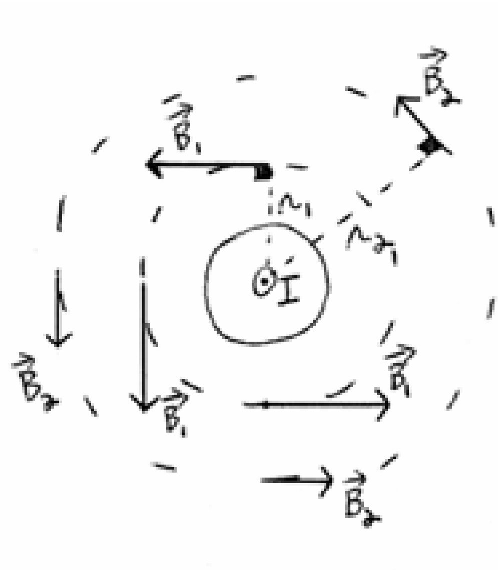
1. **Tracez** les lignes de champ magnétique produites par la source.
   Tracez et identifiez le vecteur champ magnétique $\vec{B}$ au point où on veut le calculer.

2. Choisissez un **parcours fermé** P_f qui convient à la symétrie du champ :
   B est constant pour tous les éléments de parcours $d\ell$;
   θ est constant entre $\vec{B}$ et les $d\vec{\ell}$.
   Tracez et identifiez le vecteur élément de parcours $d\vec{\ell}$ au point d'application du vecteur $\vec{B}$.

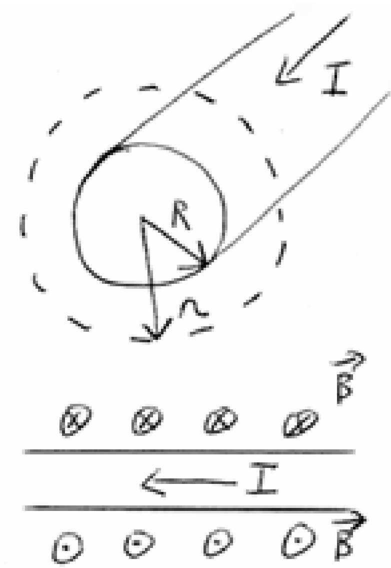
3. Du **théorème d'Ampère**, calculez la circulation du champ magnétique sur le parcours fermé (terme de gauche) et l'expression de la somme algébrique des courants traversant la surface délimitée par le parcours fermé (terme de droite). Il reste à mettre le champ B en évidence.

B) **B créé par un long fil conducteur rectiligne**

En appliquant le théorème d'Ampère, il sera possible de déterminer le champ magnétique créé par un long fil conducteur rectiligne. Avant d'appliquer le théorème, il faut connaître la configuration des lignes de champ associée à la situation étudiée. Dans le cas du long fil conducteur rectiligne, nous pouvons déterminer cette configuration en utilisant de la limaille de fer ou simplement une boussole pour constater que le champ magnétique est tangent à un cercle de rayon r entourant le fil.



Vue de face



Vue de côté

Les symboles utilisés sont le point pour un vecteur sortant de la page et une croix pour un vecteur entrant dans la page. Si vous avez de la difficulté à vous en rappeler, imaginez une flèche se dirigeant vers vous (vous verriez la pointe de la flèche : un point) ou une flèche s'éloignant de vous (vous verriez les plumes de la flèche : une croix).

Remarquez également que $\mathbf{B}_1$ est plus grand que $\mathbf{B}_2$ puisqu'il est situé plus près du fil (voir équation 7.6 pour la dépendance en (1/r) du champ magnétique). De plus, pour déterminer le sens des vecteurs champ magnétique, il s'agit d'utiliser la règle de la main droite suivante (#3).

Notez en terminant que le champ magnétique n'est pas tournant autour du fil, mais qu'il prend simplement une direction différente à chaque position autour du fil.

Règle de la main droite #3 : 1) Placer le pouce de la main droite dans le sens du courant.

2) Les doigts s'enroulent dans le sens du champ magnétique.

ou

1) Enrouler les doigts (main droite) dans le sens du champ magnétique.

2) Le pouce donne le sens du courant.

$\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_o I$ — Théorème d'Ampère

$B\,l = \mu_o I$ — Le parcours fermé étant un cercle concentrique au fil de rayon r. Avec ce choix de parcours fermé, **B** est constant en grandeur (pour un même r) et toujours parallèle à chaque élément de parcours d**l**. L'intégrale donne donc simplement le produit de B par l (le parcours total, dans ce cas-ci, une circonférence de cercle).

$B\,(2\pi r) = \mu_o I$

$B = \mu_o I / (2\pi r)$ — **Module du champ magnétique (fil infini) (7.6)**

où : B = champ magnétique (T) (tesla)

μ_o = perméabilité du vide = $4\,\pi \times 10^{-7}$ T·m / A

I = courant circulant dans le fil (A) (ampère)

r = distance radiale (à partir du centre du fil) (m)

C) <u>**B** créé au centre d'une boucle</u>

Le champ magnétique créé au centre d'une boucle de courant est donné par l'équation 7.7. Si vous voulez plus de détails au sujet de la provenance de cette équation, consultez les pages 324 à 327 du Benson.

Précisons que cette équation donne le module du champ magnétique pour seulement un point de l'espace, c'est-à-dire dans le plan de la boucle et en son centre uniquement.

Par contre, il s'avère important de connaître la distribution des lignes de champ magnétique à l'intérieur et à l'extérieur de la boucle pour comprendre celle du solénoïde (module 7.3 D)).

Notez que la règle de la main droite #3 (voir page précédente) s'applique dans cette situation, puisqu'il s'agit en fait d'un fil parcouru par un courant que l'on a simplement courbé.

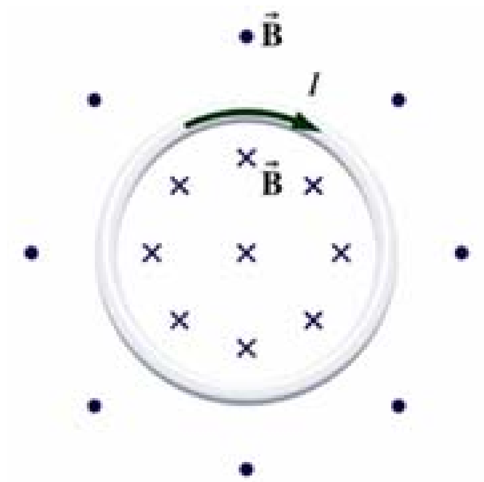


Figure 7.8 Champ magnétique d'une boucle de courant.

$B = \mu_o N I / (2a)$ **Module du champ magnétique (boucle de courant) (7.7)**

où : B = champ magnétique (T) (tesla)

μ_o = perméabilité du vide = $4 \pi \times 10^{-7}$ T·m / A

N = nombre de spires ou d'enroulements

I = courant circulant dans le fil (A) (ampère)

a = rayon de la boucle (m)

D) **B** <u>créé à l'intérieur d'un solénoïde</u>

Le champ magnétique créé à l'intérieur d'un long solénoïde (ou bobine) est donné par l'équation 7.8. Si vous voulez plus de détails au sujet de la provenance de cette équation, consultez les pages 329 à 331 du Benson. Consultez également la **démo 7.4** sur LÉA pour avoir une idée de ce qu'est un solénoïde. Vous y verrez aussi une application (électroaimant).

Précisons que cette équation donne le module du champ magnétique pour tous les points de l'espace à l'intérieur du solénoïde (pas seulement sur l'axe) et éloignés des deux extrémités où le champ est légèrement perturbé. Le champ magnétique à l'intérieur d'un solénoïde est donc uniforme, c'est-à-dire constant en grandeur et en direction, alors qu'à l'extérieur, il est pratiquement nul (voir figure 7.9). Le solénoïde constitue donc une excellente source de champ magnétique uniforme.

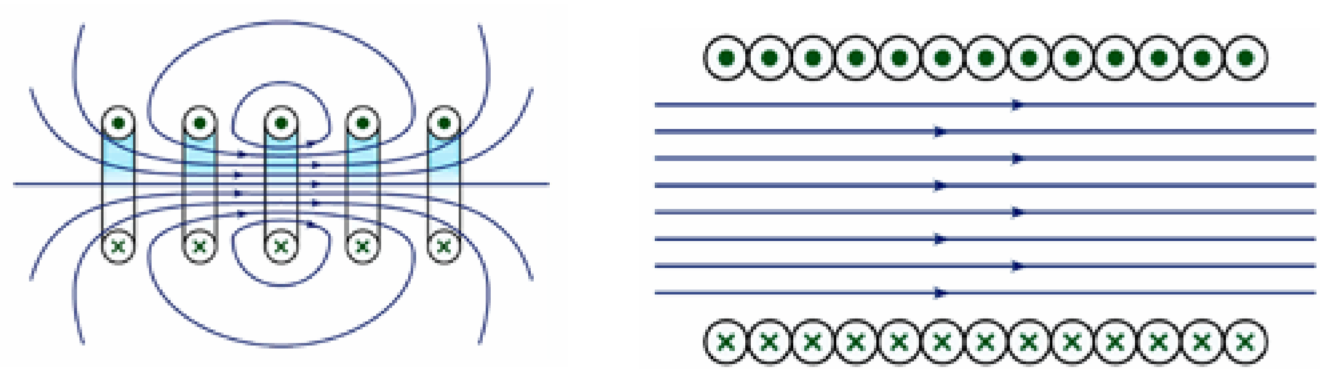


Figure 7.9 Champ magnétique d'un solénoïde : cinq spires séparées d'une certaine distance et coupe transversale de plusieurs spires collées les unes sur les autres.

Notez que pour déterminer le sens du champ magnétique à l'intérieur du solénoïde, il faut utiliser la règle de la main droite suivante (#4).

<u>Règle de la main droite #4</u> : 1) Placer le pouce de la main droite dans le sens du champ magnétique.
2) Les doigts s'enroulent dans le sens du courant.

ou

1) Enrouler les doigts (main droite) dans le sens du courant.
2) Le pouce donne le sens du champ magnétique à l'intérieur du solénoïde.

$$B = \mu_o \, n \, I$$ **Module du champ magnétique (solénoïde) (7.8)**

où : B = champ magnétique (T) (tesla)

μ_o = perméabilité du vide = $4 \pi \times 10^{-7}$ T·m / A

n = nombre de spires ou d'enroulements par unité de longueur (m^{-1})

I = courant circulant dans le fil du solénoïde (A) (ampère)

<u>Électroaimant</u>

Un électroaimant est simplement une bobine (solénoïde) à l'intérieur de laquelle on a introduit une tige de fer doux, afin d'augmenter l'intensité du champ magnétique.

Les domaines magnétiques du fer doux s'alignent tous dans la direction du champ créé par le solénoïde pour ainsi augmenter le champ magnétique résultant. On utilise le fer doux car il possède la propriété d'avoir des domaines magnétiques qui se réorganisent de façon aléatoire très rapidement lorsqu'ils ne sont plus soumis à l'effet d'un champ magnétique externe.

L'électroaimant, contrairement à un aimant permanent, possède l'avantage d'attirer les substances ferromagnétiques lorsqu'un courant circule dans le solénoïde et de ne pas les attirer lorsque la bobine n'est pas alimentée par un courant. C'est une caractéristique très importante des électroaimants de pouvoir obtenir un aimant fonctionnel ou non fonctionnel au moment souhaité. On utilise par exemple les électroaimants dans les cours à ″scrap″ pour soulever les vieilles voitures et par la suite s'en défaire lorsqu'on coupe le courant.