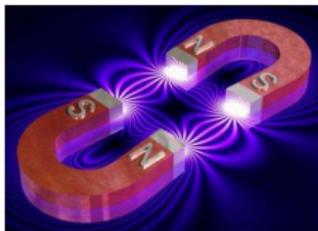


Cours préparatoire en Médecine

Magnétisme



Dr D. Wattiaux

Université de Mons

8 *novembre* 2017

Sommaire

1 Magnétisme et courants alternatifs

Aimants naturels et aimants artificielles

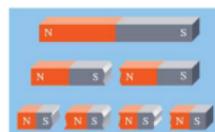
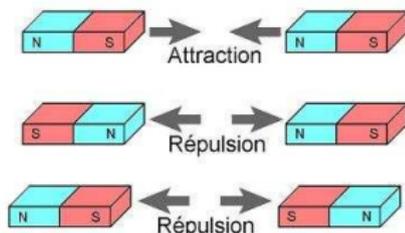
- Les premiers aimants étaient des **aimants naturels**. Il s'agit d'un oxyde de fer appelé **magnétite** (Fe_2O_4) en hommage à la région où on les extrayait il y a 2500 ans : en Magnésie (Asie Mineure).
- Aujourd'hui, on utilise des **aimants artificiels** fabriqués à partir de différents alliages à base de fer, cobalt, nickel, gadolinium (matériaux qualifiés de **ferromagnétiques**). Ils peuvent avoir différentes formes, et différentes puissances (l'aiguilles aimantée d'une boussole, barreaux aimantés, aimants en U, ...).



Les aimants exercent une attraction/répulsion à distance → existence d'une force : la **force magnétique**

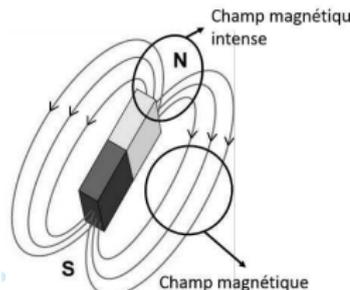
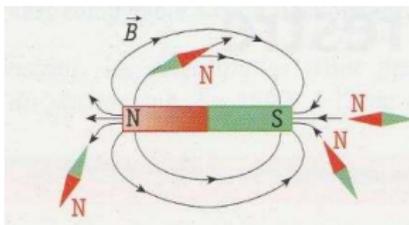
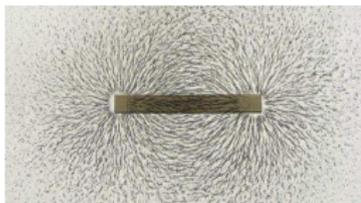
Notion de pôles magnétiques

- Tous aimants possèdent deux pôles magnétiques : un pôle **nord** et un **pôle sud**.
- Des pôles identiques se repoussent et des pôles différents s'attirent.
- Les pôles magnétiques sont inséparables. Différence avec l'électricité où on peut trouver des charges **positives** et **négatives** séparées.



Notion de champ magnétique

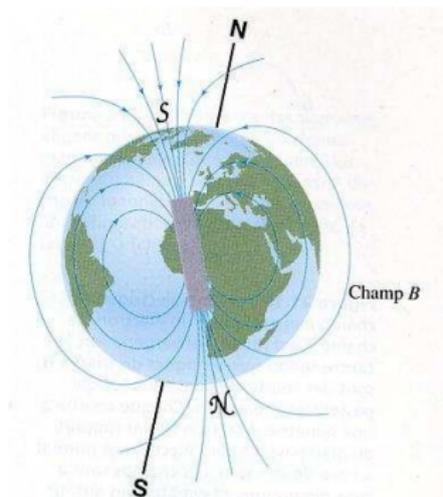
- Tout corps aimanté produit dans l'espace qui l'entoure un **champ magnétique** \vec{B} .
- Le champ magnétique se mesure dans le S.I en **tesla** (T).
- Le champ magnétique \vec{B} peut-être mis en évidence par un objet d'essai (boussole, limaille de fer).
- Le champ magnétique \vec{B} en un point de l'espace est défini comme :
 - **Direction** : celle prise par l'aiguille de la boussole
 - **sens** : conventionnellement du pôle sud vers le pôle nord
 - **Intensité** : dépend de l'aimant et de la position par rapport à l'aimant.
- Le champ magnétique \vec{B} peut être représenté par des **lignes de champ magnétique**. Ces lignes possèdent les propriétés suivantes :
 - Elles sortent du pôle nord de l'aimant, et rentrent dans le pôle sud.
 - Elles ne se croisent jamais (elles forment des courbes fermées).
 - L'intensité du champ magnétique est proportionnelle à la concentration des lignes de champs.



Notion de champ magnétique

Ordre de grandeur typique

Quelques valeurs typiques de B	
Surface d'un noyau	10^{12} T
Aimant supraconducteur	35 T
Gros électro-aimant	5 T
Limite d'exposition humaine	0,2 T
Surface terrestre	5×10^{-5} T
Induction produite par le corps humain	3×10^{-10} T



Induction magnétique

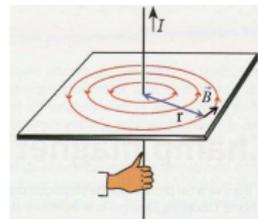
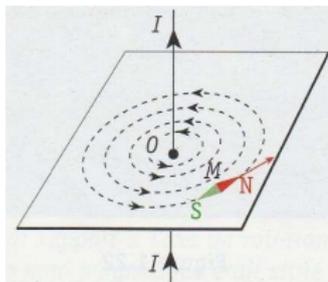
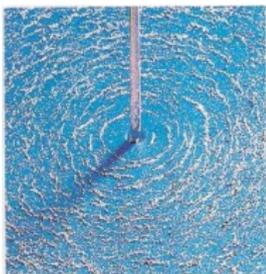
Cas 1 : Champ magnétique créé par un conducteur rectiligne

Soit un fil rectiligne parcouru par un courant électrique I . Le champ magnétique \vec{B} créé présente les propriétés suivantes :

- **Direction** : Les lignes de champ sont des cercles concentriques disposés dans un plan perpendiculaire au conducteur et centré sur celui-ci. En chaque point, le vecteur B est tangent au cercle.
- **Sens** : dépend du sens du courant \rightarrow règle de la **main droite** : le pouce indique le sens du courant, les doigts recourbés donnent le sens du champ magnétique.
- **Intensité** : proportionnel au courant I parcourant le fil et inversement proportionnel à la distance r à laquelle on se trouve du fil.

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

où μ représente la perméabilité magnétique qui est égale dans le vide (air) à : $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Tm/A



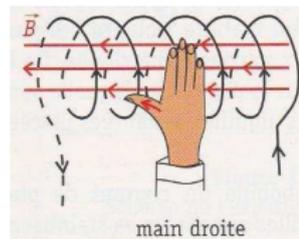
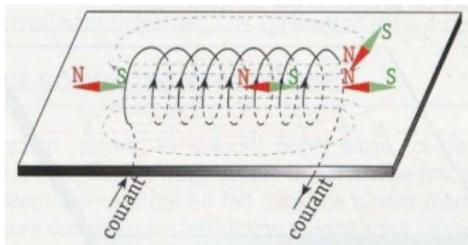
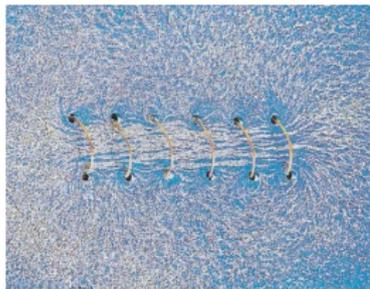
Induction magnétique

Cas 2 : Champ magnétique créé par un solénoïde

Un fil enroulé hélicoïdalement sur un mandrin cylindrique constitue un **solénoïde**. Chaque boucle porte le nom de **spire**. À l'**intérieur** du solénoïde, le champ magnétique \vec{B} présente les caractéristiques suivantes :

- **Direction** : parallèle à l'axe du solénoïde.
- **Sens** : dépend du sens du courant \rightarrow règle du **tir-bouchon** : si les doigts indiquent le sens du courant de le solénoïde, le pouce donne le sens de \vec{B} .
- **Intensité** : proportionnel au courant I parcourant le solénoïde, proportionnel au nombre de spire N et inversement proportionnel à la longueur L du solénoïde :

$$B = \frac{\mu NI}{L}$$



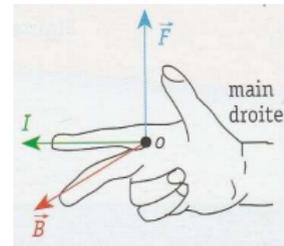
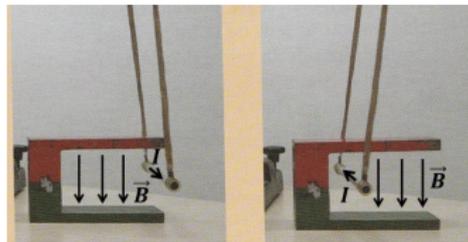
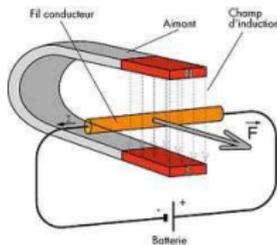
La force électromagnétique

Cas 1 : Champ magnétique perpendiculaire au conducteur

Les caractéristiques de la **force électromagnétique** subie par le conducteur parcouru par un courant I perpendiculaire à un champ magnétique \vec{B} sont :

- **Direction** : perpendiculaire au plan défini par le conducteur et le champ magnétique
- **Sens** : dépend du sens du courant I et du champ magnétique \vec{B} → **règle de la main droite**
- **Intensité** : est proportionnel à l'intensité du courant I et du champ magnétique B ainsi qu'à la longueur L du conducteur soumis au champ magnétique :

$$F = BIL$$

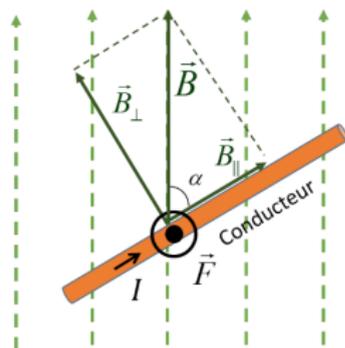


La force électromagnétique

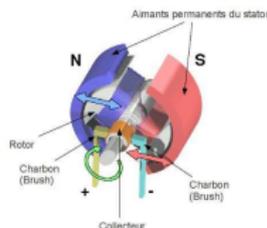
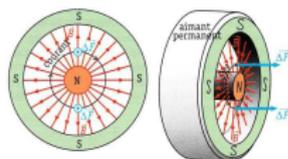
Cas 2 : champ magnétique de direction quelconque par rapport au conducteur

Les caractéristiques de la force exercée sur un conducteur de longueur L , parcouru par un courant d'intensité I soumis à l'action d'un champ magnétique \vec{B} et faisant un angle α avec le conducteur sont :

- **Direction** : perpendiculaire au plan défini par les directions du conducteur et du champ magnétique \vec{B}
- **Sens** : donné par la **règle de la main droite**
- **Intensité** : $F = BIL \sin \alpha$



Remarque : La force électromagnétique est à la base de nombreuses applications de la vie quotidienne, comme le haut-parleur ou le moteur électrique.



La force électromagnétique

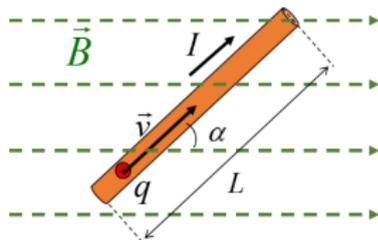
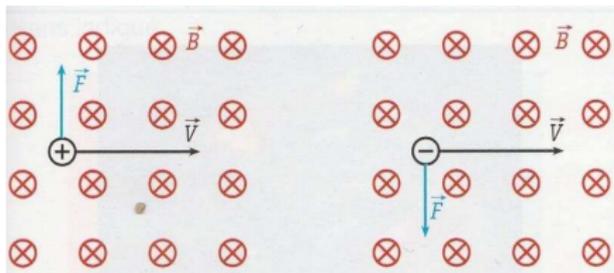
Charges en mouvement dans un champ magnétique

Supposons qu'une charge q parcourt un conducteur de longueur L en un temps Δt , à la vitesse v .

La force qui agit sur la charge en mouvement doit avoir les mêmes caractéristiques que la force subie par le conducteur.

- **Direction** : perpendiculaire au champ magnétique \vec{B} et à la direction de la vitesse \vec{v} de la charge q .
- **Sens** : si $q > 0$ donné par la règle de la main droite et si $q < 0$ sens inverse de celui donné par la règle de la main droite
- **Intensité** : $F = BIL \sin \alpha = B \frac{q}{\Delta t} L \sin \alpha = B \frac{q}{\Delta t} \sin \alpha$:

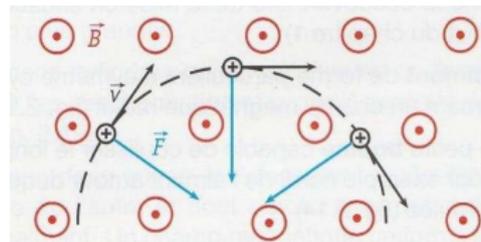
$$F = qvB \sin \alpha$$



La force électromagnétique

Charges en mouvement circulaire uniforme

Lorsqu'une charge électrique est lancée dans une direction **perpendiculaire** à un champ magnétique **uniforme**, elle subit une force électromagnétique constante et dirigée perpendiculairement à sa vitesse \vec{v} et au champ magnétique \vec{B} . La charge décrit donc un Mouvement Circulaire Uniforme (MCU).



L'équation d'équilibre dynamique ($\vec{F} = m\vec{a}$) s'écrit pour un MCU :

$$qvB = m\frac{v^2}{\rho} \quad \rightarrow \quad \boxed{\rho = \frac{m v}{q B}}$$

Le rayon de courbure ρ de la trajectoire dépend donc de la vitesse v , de la masse m , de la valeur de la charge électrique q ainsi que du champ magnétique B .

La force électromagnétique

Exercices d'application

Exercice 202 du syllabus

Si un électron se déplace à une vitesse v parallèlement à un fil électrique dans lequel circule un courant I , alors :



- a. l'électron est dévié vers le haut
- b. l'électron est dévié vers le bas
- c. l'électron est dévié perpendiculairement à la feuille
- d. l'électron n'est pas dévié

La force électromagnétique

Exercices d'application

Exercice 201 du syllabus

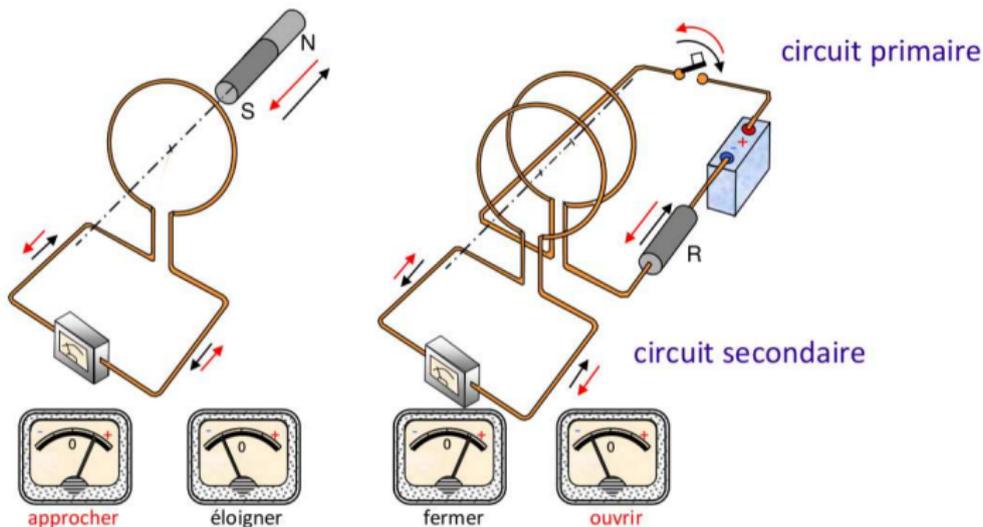
Lorsqu'un électron animé d'un mouvement rectiligne uniforme (MRU) pénètre dans un champ magnétique,

- a. il peut subir une accélération conduisant à une variation de sa vitesse en grandeur et en direction
- b. il peut subir une accélération conduisant à une variation de la grandeur de sa vitesse sans variation de sa direction
- c. il peut subir une accélération conduisant à une variation de la direction de sa vitesse sans variation de sa grandeur
- d. il n'est jamais accéléré et donc sa vitesse ne varie ni en grandeur ni en direction

Loi de Faraday

Induction électromagnétique

L'expérience montre que si on fait varier \vec{B} dans le voisinage d'un circuit électrique (spire), une variation de potentiel apparaît aux bornes de celui-ci. C'est le phénomène d'**induction électromagnétique** (Faraday, 1831).



La tension qui apparaît transitoirement aux bornes de la spire porte le nom de **force électromotrice induite** ϵ

Loi de Faraday

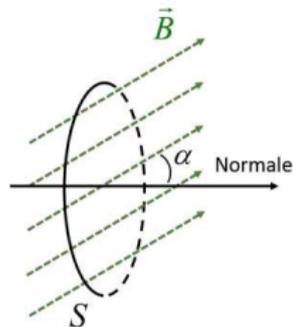
Notion de flux magnétique

Le **flux magnétique**, noté Φ , est défini par :

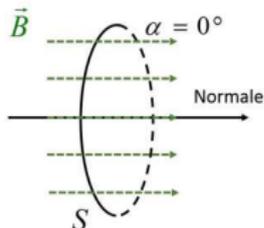
$$\Phi = BS \cos \theta$$

où ,

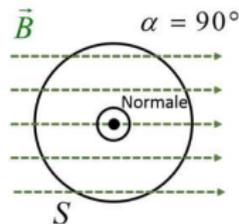
- B est la valeur du champ magnétique \vec{B} (unité : Tesla)
- S représente l'aire de surface que le champ magnétique traverse (Unité : m^2)
- θ est l'angle entre le champ magnétique \vec{B} et la normale au plan de la surface
- l'unité S.I du flux magnétique est le weber (wb) :
 $1wb = 1Tm^2$



Si \vec{B} est **perpendiculaire** à la surface : $\Phi = BS$



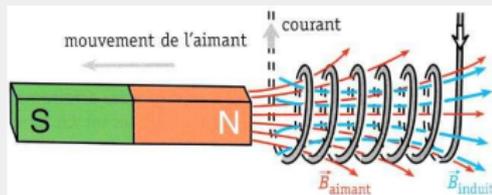
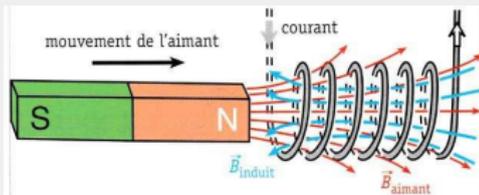
Si \vec{B} est **parallèle** à la surface : $\Phi = 0$



Loi de Faraday

Loi de Lenz

Le sens du courant induit par une variation de flux magnétique est tel qu'il donne naissance à un champ magnétique induit, noté \vec{B}_{induit} , qui s'oppose à la variation du flux magnétique qui lui a donné naissance



Loi d'induction de Faraday

La **tension électrique induite** ϵ aux bornes d'un circuit électrique produite par la variation d'un flux magnétique $\Delta\Phi$ en un temps Δt vaut :

$$\epsilon = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Si le circuit à une résistance R , le courant induit I dans le circuit est donné par la loi d'Ohm :

$$I = - \frac{1}{R} \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Loi d'induction de Faraday

Exercices d'application

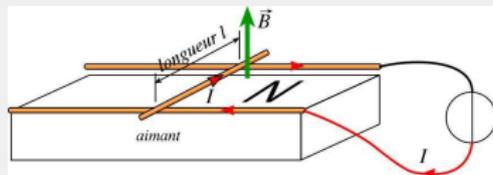
Exercice 196 du syllabus

Lorsqu'un barreau aimanté est introduit à l'intérieur d'une bobine reliée à un voltmètre, la valeur maximale de la tension mesurée :

- a. dépend de la vitesse de déplacement de l'aimant
- b. dépend du flux magnétique
- c. ne dépend pas des caractéristiques de la bobine
- d. dépend du pôle (nord ou sud) introduit en premier lieu dans la bobine

Exercice 195 du syllabus

Un fil conducteur de 20 cm de longueur se déplace dans un plan perpendiculaire à un champ magnétique de 0.2T. Quelle est la vitesse de déplacement du fil si celui-ci est le siège d'une tension électromotrice de 0.4V ?



Génération de courant

Alternateur

Les alternateurs permettent de générer de l'électricité en convertissant de l'énergie cinétique en énergie électrique. L'intensité du courant est d'autant plus grande que la variation de flux magnétique a lieu en un temps court (loi d'induction de Faraday).

Le générateur le plus simple est constitué d'une bobine fixe (stator) et d'un aimant qui tourne (rotor).

Examinons ce qu'il se produit lorsque l'aimant est en rotation :

- Dans la position 1 de l'aimant, le flux magnétique dans la bobine est nul.
- Dans la position 2, le flux magnétique est maximum
- Dans la position 3, le flux magnétique est à nouveau nul.

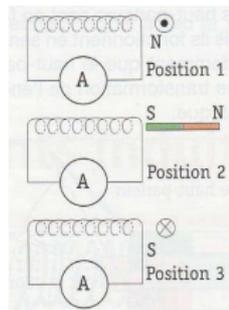
Le flux magnétique Φ est donné par :

$$\Phi(t) = B S N \cos \theta = B S N \cos(2\pi f t)$$

où f représente la fréquence à laquelle tourne le rotor, N le nombre de spires de la bobine, S la section de la bobine et B le champ magnétique dans la bobine.

La tension induite est donc donnée par

$$\epsilon(t) = -\frac{d\Phi}{dt} = B S N (2\pi f) \sin(2\pi f t) = \epsilon_{\max} \sin(2\pi f t)$$



Puissance active d'un courant alternatif

Le courant généré par un générateur est un courant **alternatif** qui s'exprime sous la forme :

$$I(t) = \frac{\epsilon(t)}{R} = I_0 \sin(2\pi f t)$$

où I_0 représente le courant maximum et f la fréquence.

On définit la **valeur efficace** I_{eff} du courant $I(t)$ comme étant la racine quadratique moyenne :

$$I_{\text{eff}} \equiv \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2(t) dt} = \sqrt{I_0^2 \int_0^T \frac{\sin^2(2\pi f t)}{T} dt} = \sqrt{I_0^2 \underbrace{\int_0^{2\pi} \frac{\sin^2(x)}{2\pi} dx}_{=1/2}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$$

La puissance **active** (ou puissance réelle) \bar{P} pour un circuit **Ohmique** est donnée par

$$\bar{P} = RI_{\text{eff}}^2 = I_{\text{eff}} V_{\text{eff}} \quad \text{où } V_{\text{eff}} = RI_{\text{eff}} \text{ loi d'Ohm}$$

En Belgique, la distribution électrique en **monophasé** est caractérisée par une fréquence f de 50 Hz et une valeur efficace de la tension V_{eff} de 230 Volts.

Courants alternatifs

Exercices d'application

Exercice 206 du syllabus

Le courant alternatif qui traverse un appareil de 600 W à une valeur maximale de 2.5 A. Quelle est la tension efficace entre ses bornes ?

- a. 140 V
- b. 240 V
- c. 340 V
- d. impossible à déterminer sans connaître la résistance de l'appareil