

Chapitre I

Champ magnétique

Les aimants sont des objets de la vie de tous les jours. L'..... et la de deux aimants selon leur orientation respective est un phénomène connu de tous.

Les causes de cette interaction invisible et à distance sont **les champs magnétiques**.

On les utilise aujourd'hui pour détecter les cancers grâce aux IRM, chauffer l'eau dans les casseroles par induction, convertir l'énergie mécanique en énergie électrique dans les centrales électriques et faire la conversion inverse dans les électriques.

Grandeurs physiques :

Grandeur physique	Symbole	Unité (Unité du S.I.)	Dimension
	\vec{B}	. (.....)	$MI^{-1}T^{-2}$
moment magnétique	\vec{m}	A.m ²	
perméabilité du vide	μ_0	H.m ⁻¹ (.....)	$MLI^{-2}T^{-2}$

I. Description du champ magnétique

Le champ magnétique a été découvert et utilisé par les Chinois il y a plus de deux millénaires. Les premières boussoles chinoises étaient faites en pierre noire aimantée ou **magnétite** qui est un oxyde de fer Fe_3O_4 . Le NO du fer vaut $\dots \approx \dots$ car $NO(O) = -II$.

Le NO du fer n'est car la magnétite est un "mélange" appelé "solution solide" de wustite FeO et d'hématite Fe_2O_3 , des cristaux neutres d'ions O^{2-} , Fe^{2+} et Fe^{3+} .

A. Aimants permanents

Les éléments chimiques naturellement aimantés ou sont le fer, le cobalt, le nickel, et quelques lanthanides et encore jusqu'à une certaine température...

Température de Curie en °C																					
H																	He				
Li	Be															B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg															Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr				
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe				
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn				
Fr	Ra	Ac																			
			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	...						
			Th	Pa	U	Np	Pu	...	20	-53	-186	-253	-241	-241	...						

1. Notion de champ

Lorsqu'une grandeur physique peut être définie en chaque point de l'espace $M(x,y,z)$ et du temps t alors elle peut être décrite comme un **champ**. Il existe des champs scalaires :

- le champ de température =
- le champ de pression = , etc...

Ce sont donc des fonctions de l'espace-temps *i.e.* des fonctions à

Il existe aussi des champs **vectoriels** comme le champ de vitesse : =

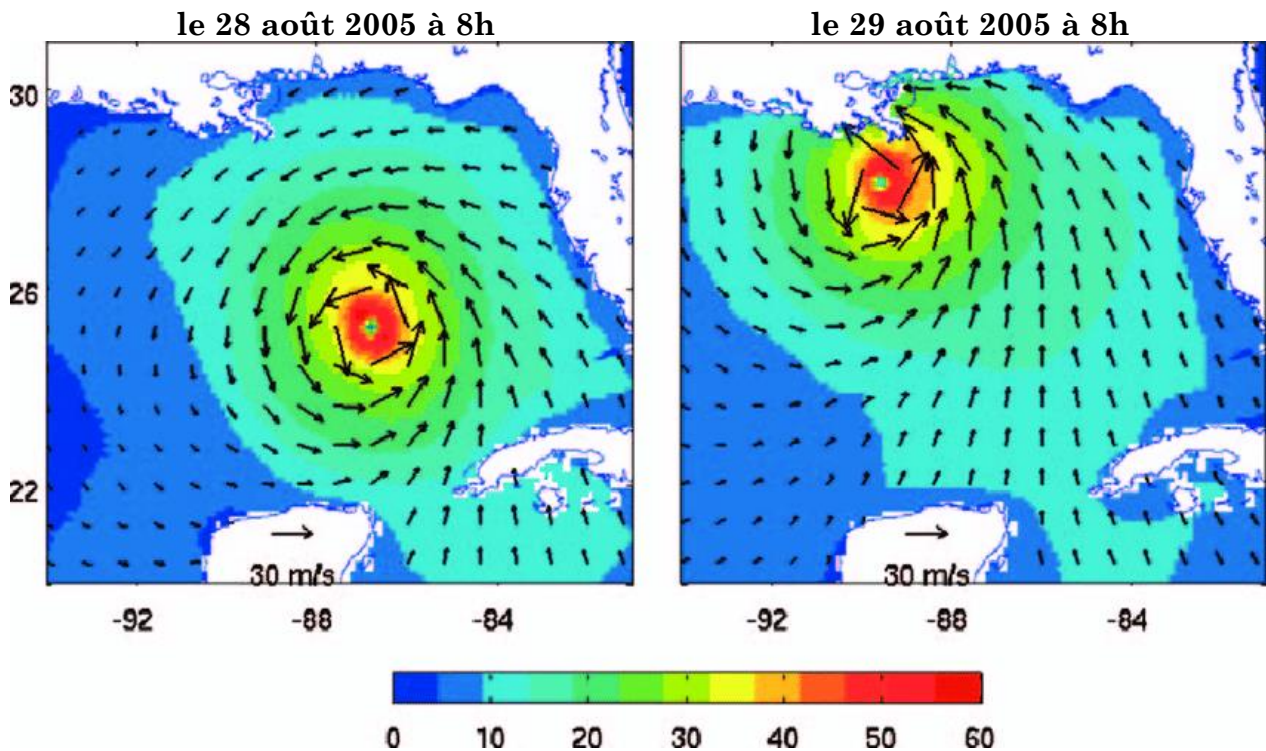
Comme un vecteur, un champ vectoriel contient comme d'habitude 3 informations : norme $v(x,y,z,t)$, direction et sens ou 3 coordonnées $v_x(x,y,z,t)$, $v_y(x,y,z,t)$ et $v_z(x,y,z,t)$.

En coordonnées sphériques, $\vec{v}(M,t) =$

Culture scientifique :

En relativité restreinte, on rajoute une coordonnée temporelle $v_t(x,y,z,t)$ pour fabriquer un champ de vecteurs à 4 dimensions *i.e.* un quadrivecteur mais ça reste un vecteur.

Voici les cartes du champ de vitesse du vent lors de l'ouragan Katerina en 2005 :



En chaque point M de l'espace, il existe un vecteur-vitesse $\vec{v}(M,t)$ du vent qui possède indiquée selon leur longueur sur les cartes précédentes. Ce champ de vitesse évolue entre le 27 et le 28 août 2005, il dépend donc aussi

La carte des vents en France aujourd'hui : <http://meteo.region-nord.com/carte/vent.php>

Lorsqu'un champ \vec{B} est indépendant de l'espace donc de M alors il est :

$$\vec{B} = \vec{B}(t) \text{ et}$$

Lorsqu'un champ \vec{B} est indépendant du temps alors il est :

$$\vec{B} = \vec{B}(M) \text{ et}$$

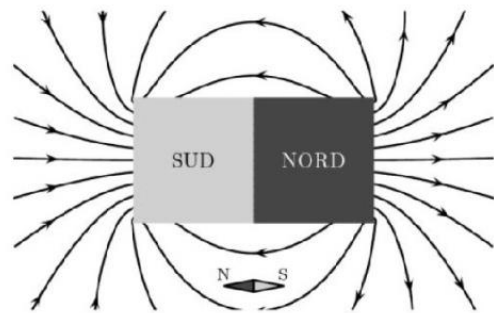
La norme d'un champ uniforme et stationnaire est : $\vec{B}(M,t) = \vec{B}$ et $\|\vec{B}\| = cste$

Si $\vec{B} = B\vec{u}$ avec $\vec{u} = \overrightarrow{cste}$ alors $\vec{B} = \overrightarrow{cste}$: uniforme, stationnaire et

2. Direction et sens d'un champ

<https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/Elec/Champs/topoB.php>

On constate que la poudre de fer En effet, le fer étant ferromagnétique, il s'aimante naturellement en direction du champ magnétique.



Plutôt que de représenter \vec{B} par des flèches en plusieurs points M , par manque d'informations ou pour faciliter la visualisation, on peut utiliser les

Les lignes de champ sont

Elles donnent la direction du champ magnétique. Par ajout de flèches, elles en donnent aussi On doit leur découverte à Faraday en 1831 sous le nom de "lignes de forces".

Aimant droit, poudre de fer, support transparent : [COSMOS S01E10 Partie 1.mkv](#)

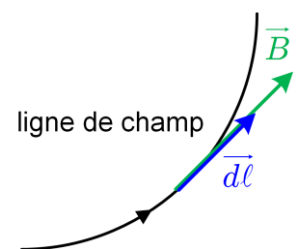
Les **pôles magnétiques** d'un aimant sont tels que les lignes de champ

.....

Soit un **élément de longueur** *i.e* une longueur infinitésimal $d\vec{l}$ tangent à une ligne de champ à tout instant, le champ \vec{B} est tel que :

(définition mathématique)

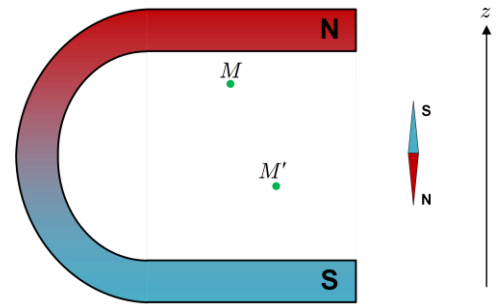
$$\text{car } \vec{B} \parallel d\vec{l} \Leftrightarrow (d\vec{l}, \vec{B}) = 0 \Leftrightarrow \sin(d\vec{l}, \vec{B}) = 0$$



Un aimant **droit** crée un champ mais non *i.e.* indépendant du temps mais dépendant de l'espace. Il est plus important près des pôles.

Un aimant **en U** peut créer un champ dans une zone particulière de l'espace entre les pôles.

Pour un champ constant, $\vec{B} = -B\vec{e}_z$ alors :



...

⇒ = = ... d'où $d\vec{l} = dz\vec{e}_z$. Les lignes de champ sont parallèles à l'axe Oz .

3. Norme et source du champ

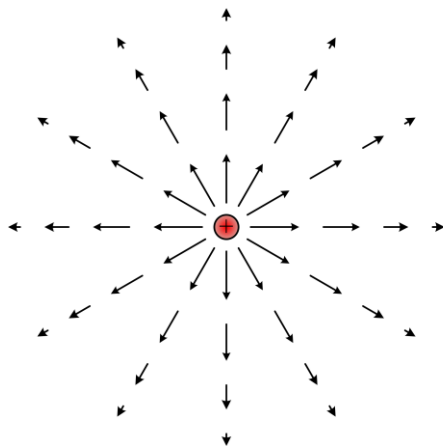
Perd-on l'information sur la norme du champ magnétique lorsqu'on trace des lignes de champ plutôt que la carte du champ vectoriel ?

On s'intéresse aux lignes de champ **électrique** \vec{E} créé par une charge ponctuelle $q' > 0$.

On sait que $\vec{E}(M) =$ où r est la distance entre le point M et la charge q'

\vec{e}_r est le vecteur unitaire de la base **sphérique**, la norme E du champ est en

Une autre charge q serait soumise à la force de Coulomb $\vec{F} = q\vec{E}$ (chapitre IV Mécanique).



Le champ est stationnaire, unidirectionnel dans la base, et non uniforme.

Les lignes d'un champ unidirectionnel sont des Plus on s'éloigne de la charge q' , plus r augmente et plus la norme de \vec{E} comme représentée ci-dessus.

**Lorsque les lignes de champ s'écartent les unes des autres,
 Lorsqu'elles se resserrent,**

La réponse est oui, on perd l'information quantitative de la norme du champ mais pas son information qualitative *i.e.* les lignes de champ ne donnent pas la valeur en T du champ magnétique mais elles permettent de savoir si le champ devient

Là où se croisent les lignes de champ, le champ est et il s'agit de la **source** du champ.

B. Champ magnétique terrestre

Depuis les boussoles chinoises, il faut attendre 1600 après JC pour une première compréhension du phénomène magnétique par William Gilbert qui définit la planète comme *Magno Magete Tellure* : Grand Aimant Terre.

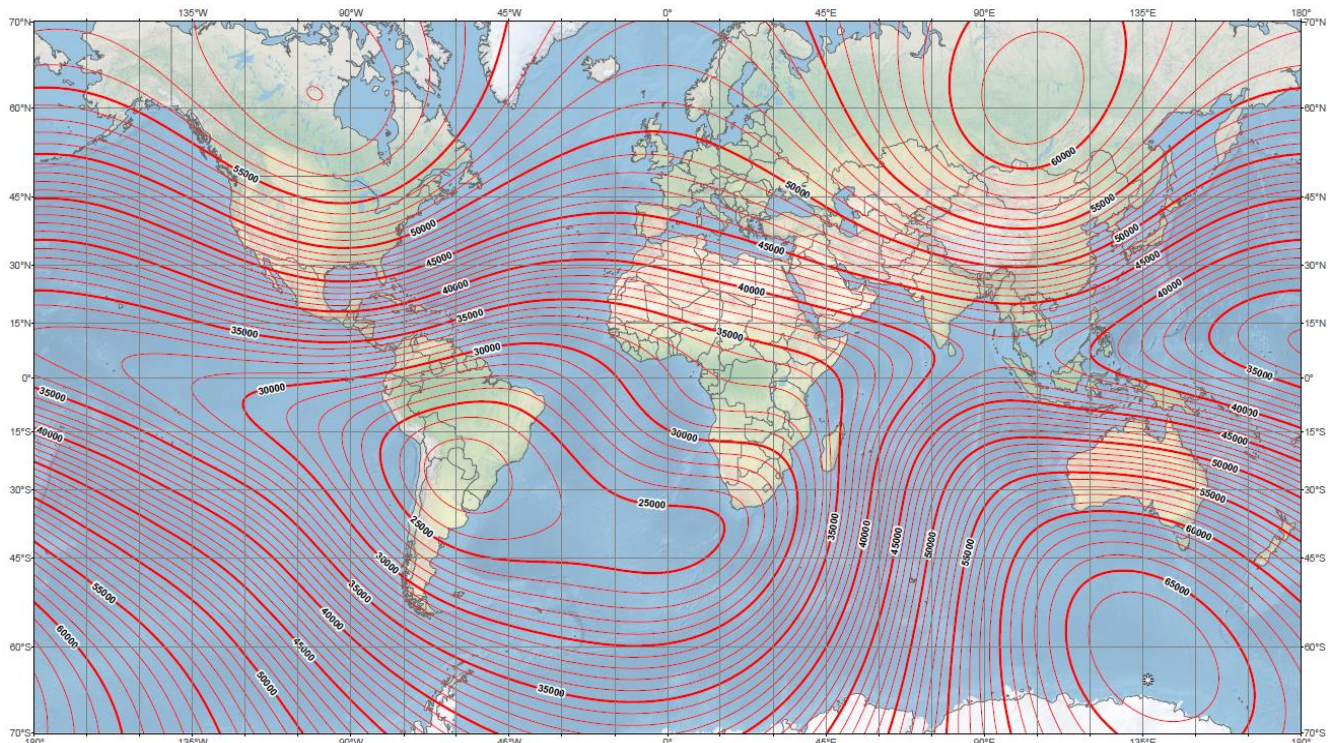
Gilbert est le premier à étudier l'électricité et le magnétisme de manière scientifique avec **l'ambre**, caractère électrostatique, et **la magnétite**, caractère magnétostatique.

Il publie sa compréhension du magnétisme mais mort de la peste en 1603, il n'a pas le temps de publier ses connaissances sur l'ambre appelé *elektron* en grec.

1. Les boussoles

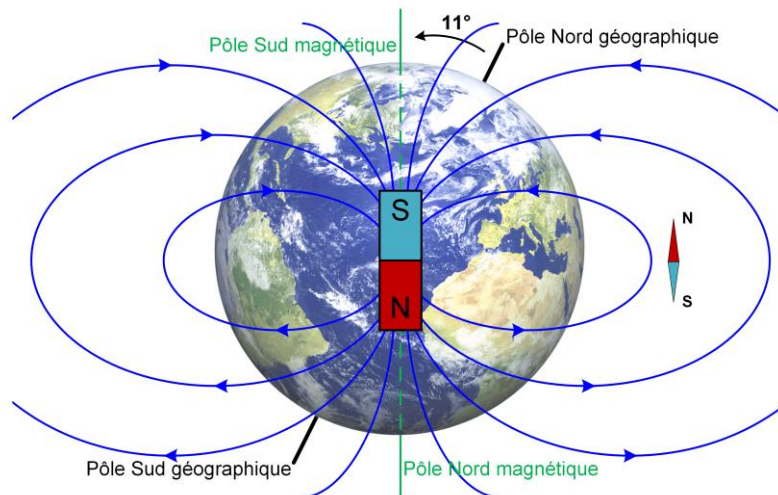
Le champ magnétique terrestre n'est

Toutefois, lorsqu'on mesure la norme du champ magnétique en nT ("nanoTesla"), on obtient le type de carte expérimentale suivante dont les mesures datent de 2010 :



Il existe des zones où le champ magnétique atteint un maximum relatif au nord du Canada, en Sibérie et à l'est de l'Antarctique donc pour des régions proches des pôles géographiques. Les champs magnétiques sont plus faibles proches de l'équateur avec un minimum au sud du Brésil. En Europe, l'ordre de grandeur du champ magnétique est de 50 000 nT soit 50 μ T.

Pour expliquer une intensité forte du champ magnétique à proximité des pôles et plus faible à l'équateur, on peut choisir de modéliser la Terre par un **aimant droit** :



Puisque le champ n'est pas maximum aux pôles mais à **proximité des pôles**, on ne modélise pas la Terre entière mais **son noyau** par un aimant droit.

Par ce modèle, les lignes de champ se resserrent aux zones où le champ est maximum : nord du Canada et Sibérie, ce qui est cohérent avec la carte expérimentale précédente

Les boussoles sont des aiguilles ferromagnétiques s'orientant naturellement dans la direction du champ magnétique terrestre comme la poudre de fer.



Culture scientifique :

C'est **une chance** qu'on puisse assimiler avec un écart de seulement 11° les pôles magnétiques avec les pôles géographiques même s'ils sont par convention inversés.

C'est **une chance** qu'en Europe, la déclinaison angulaire *i.e.* le décalage entre la direction indiquée par une boussole : le pôle sud magnétique et la direction du pôle nord géographique soit pratiquement de 0° rendant les boussoles justes dans leur indication du nord géographique alors qu'elles s'orientent vers le sud magnétique terrestre. Au Québec ou en Afrique du Sud, les boussoles se trompent de 20° lorsqu'elles indiquent le nord.

Les pôles **magnétiques** se déplacent de 50 km par an : actuellement le pôle Sud est au nord du Canada et le pôle Nord est à l'est de l'Antarctique montrant que le champ magnétique terrestre dépend du temps et n'est **pas stationnaire**.

2. Les aurores polaires

<http://www.youtube.com/watch?v=sBWPCvdv8Bk>

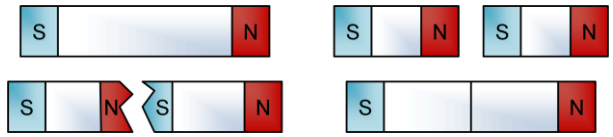
D'où viennent ces phénomènes colorés surprenants ?

Contrairement aux champs électriques, les équations de Maxwell montrent qu'un champ magnétique **ne peut pas** être produit par un seul pôle magnétique.

Il en résulte des conséquences fondamentales pour les champs magnétiques.

Il n'existe pas de

➤ En cassant un aimant même au changement de couleur, on obtient



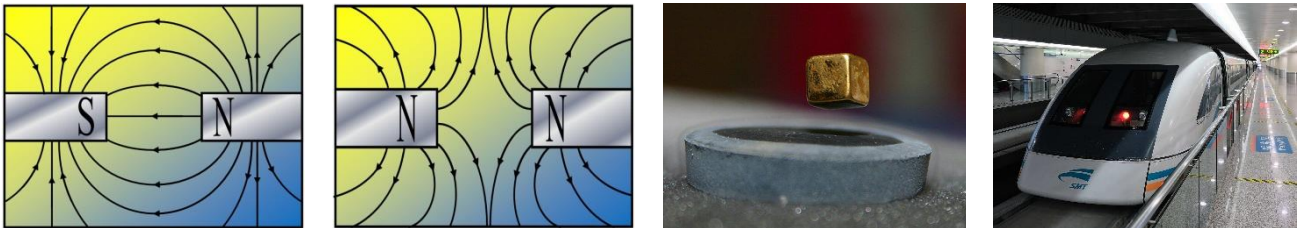
La réciproque est vraie : en accolant 2 aimants, on obtient, le nombre de pôles étant toujours

➤ Les champs magnétiques, une charge ponctuelle q ne peut pas créer un champ magnétostatique comme elle crée un champ électrostatique. Ce type de lignes de champ n'est pas possible pour un champ magnétique jusqu'à preuve expérimentale du contraire.



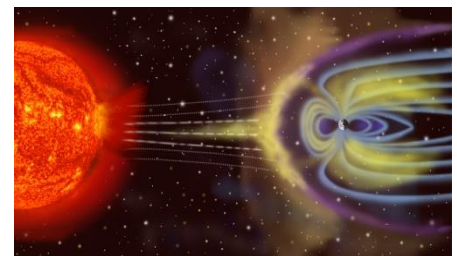
➤ Les lignes de champ magnétique ne peuvent donc pas être **brisées**. C'est pour cette raison que 2 aimants s'attirent ou se repoussent selon leur orientation. La répulsion de 2 aimants provient des lignes de champ qui ".....".

COSMOS S01E10 Partie 2.mkv



↳ Les lignes de champ magnétique des aimants ne peuvent pas "entrer" dans les matériaux **supraconducteurs**. Si on dépose un aimant au-dessus d'un supraconducteur alors celui-ci va rester en lévitation "soutenu" par ses propres lignes de champ impossibles à briser. Des trains notamment à Shanghai depuis 2004 utilisent ce phénomène.

↳ Ne pouvant être brisées, les lignes du champ magnétique terrestre forment le **terrestre** ou **magnétosphère** face aux vents solaires.



Les pôles magnétiques étant proches des pôles géographiques, ils ne sont des vents solaires qui s'engouffrent dans le "cornet polaire". Les **particules ionisées** venant du Soleil interagissent avec celles de l'atmosphère et forment les aurores **polaires** : la couleur dominante verte provient de la raie chromatique à 557 nm de l'oxygène.

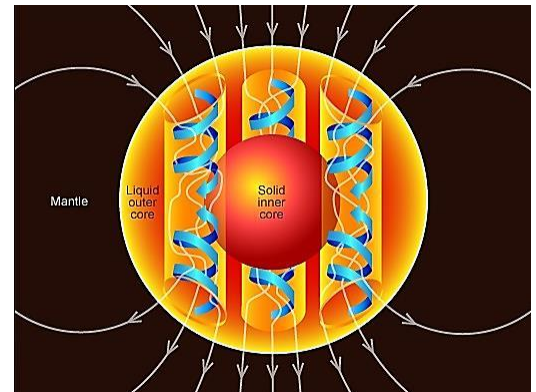
Les aurores **boréales** au nord sont plus observées que les aurores **australes** au sud simplement parce que les zones où ils apparaissent au sud sont dépeuplées.

II . Source du champ magnétique

D'où vient le champ magnétique terrestre ?

L'étude de l'origine du champ magnétique terrestre fait partie du domaine de la **magnétohydrodynamique**, qui combine l'électrodynamique et la mécanique des fluides. C'est le qui est responsable du champ magnétique terrestre.

C'est l'étude des soumis à des champs électriques ou magnétiques. Le terme a été introduit par Hannes Alfvén, physicien Suédois, prix Nobel 1970 dans ce domaine.

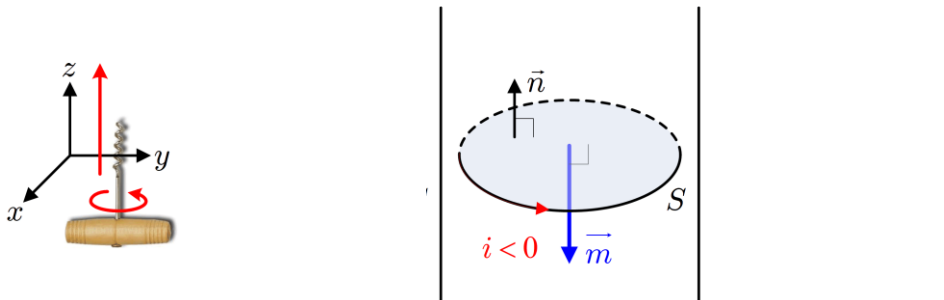


A . Boucle plane de courant

La rotation antihoraire du noyau interne dur en fer entraîne la rotation horaire de la matière en fusion du noyau externe liquide. Cette rotation horaire de fluide ionisé, donc chargé, entraîne la production du champ magnétique terrestre.

1 . Moment magnétique

Par analogie avec une circulation de fluide ionisé, on s'intéresse au modèle de la boucle **plane** de courant électrique d'intensité i , capable de créer un champ magnétique. Cette boucle de courant est **fermée** pour qu'un courant puisse circuler.



Le sens de parcours sur la boucle doit être

On définit le **moment magnétique** comme la grandeur physique telle que :

$$\vec{m} = \dots$$

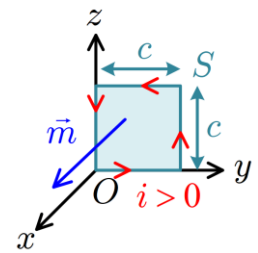
où S est la **section** liée à la boucle de courant fermée, \vec{n} est le vecteur de la surface dont le sens est donné par le sens du courant : on utilise la règle du tire-bouchon (Mécanique chapitre IV page 10) ou règle de la main droite.

Indépendamment du sens du courant,
 si $i > 0$ alors \vec{m} est selon
 si $i < 0$ alors \vec{m} est selon

Si la boucle est un cercle du plan xOy de rayon R parcouru par un courant $i = -I$ avec $I > 0$ dans le sens **horaire** alors $S =$, $\vec{n} =$ d'où $\vec{m} =$.

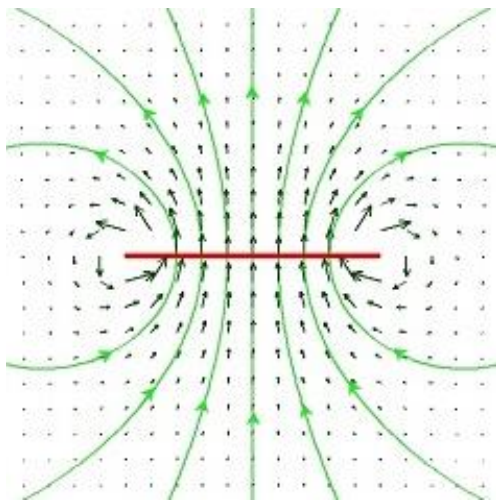
Si la boucle est un carré du plan yOz de côté c parcouru par un courant i dans le sens **trigonométrique** alors $S =$, $\vec{n} =$ d'où $\vec{m} =$

Le sens de \vec{m} selon $\pm \vec{e}_x$ dépend du signe de i .



2. Champ magnétique

Une boucle de courant engendre un champ magnétique \vec{B} :



Plus on s'approche de la boucle de courant, plus les lignes de champ se rapprochent les unes des autres donc le champ est bien entendu plus fort à proximité de la boucle.

Par analyse vectorielle, on montre que $\vec{B}(M) =$

$$\vec{B}(M) = \frac{\mu_0 i}{4\pi r^3} \int \vec{r} \times d\vec{l}$$

μ_0 est la perméabilité du vide, une constante universelle telle que $\mu_0 =$

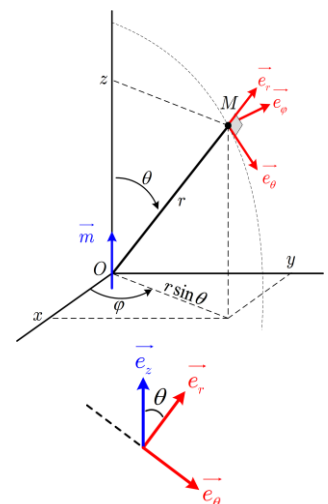
$\vec{r} = r\vec{e}_r$ avec $r = OM$, la distance entre

Entre crochets, on a la somme entre le produit du moment magnétique par le vecteur-position porté par le et un produit vectoriel faisant intervenir ces mêmes vecteurs.

On considère que la boucle appartient au plan xOy de sorte à ce que l'axe Oz soit un axe de symétrie de la boucle : $\vec{m} =$

Objectif : Déterminer le champ pour un point M de l'axe Oz .

$$\vec{m} =$$



➤ $2(\vec{m} \cdot \vec{r})\vec{r} =$ pour le premier terme entre crochets de \vec{B} .

➤ $\vec{m} \wedge \vec{r} =$ donc $(\vec{m} \wedge \vec{r}) \wedge \vec{r} =$

D'où $\vec{B}(M) =$ en coordonnées sphériques.

Si $M \in Oz$, alors $\theta = \dots$, $r = \dots$ et $\vec{e}_r = \dots$ et $\vec{B}(M \in Oz) =$ d'où :



@**Simplicius** m et B ne sont pas les normes des vecteurs \vec{m} et \vec{B} mais leurs coordonnées selon l'axe Oz . On aura donc $\|\vec{m}\| = m$ si $m > 0$ sinon $\|\vec{m}\| = -m$ (Mécanique chapitre I p.2).

Si le moment magnétique est selon un axe Oz , alors en un point de l'axe Oz , on constate que le champ magnétique est aussi selon Oz .

3. Ordres de grandeur

➤ Constantes électrique et magnétique du vide :

nom	permittivité du vide	
domaine	électrique	
symbole	ϵ_0	
unité	$F \cdot m^{-1}$ (“.....”) (“Henry par mètre”)
valeur	$\approx 8,854 \cdot 10^{-12}$	$4\pi \cdot 10^{-7}$

On sait que $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \Leftrightarrow \epsilon_0 \approx \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9}$ d'où $\mu_0 \epsilon_0 \approx \frac{1}{c^2} =$ unités SI

$i = \frac{dq}{dt} \Leftrightarrow [Q] =$, $q = Cu \Leftrightarrow [C] =$ et $u = L \frac{di}{dt} \Leftrightarrow [L] =$

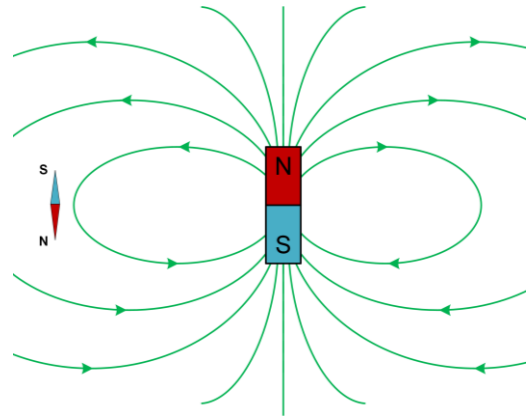
$[\mu_0 \epsilon_0] =$

On en déduit donc en valeur et en unité que \Leftrightarrow où $c \approx 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

La, la et la vitesse de la lumière dans le vide sont **liées**.

➤ Ordre de grandeurs des moments magnétiques :

On remarque que les lignes de champ d'une boucle de courant et d'un aimant droit *i.e.* ils se comportent magnétiquement
, on pourra donc

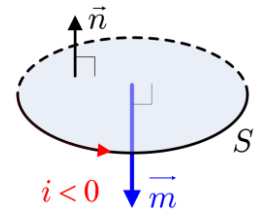


Un moment magnétique est donc une grandeur qui définit vectoriellement un **dipôle magnétique**.

On sait que les aimants droits peuvent engendrer des champs magnétiques de 0,1 à 1 T. Pour déterminer le moment magnétique d'un aimant droit, à proximité du pôle nord ou du pôle sud de l'aimant, on peut utiliser l'expression du champ d'une boucle de courant :

$$B = \quad \Leftrightarrow \quad m =$$

Le moment magnétique s'exprime en **A.m²**



On choisit un aimant de 4 cm capable d'engendrer un champ de 0,5 T.

Centré sur l'origine, on aura $z = \dots$ cm au pôle nord magnétique ce qui donne $m =$

Les moments magnétiques des aimants **permanents** usuels comme les aimants droits sont de l'ordre de d'Ampère mètre carré.

Au pôle nord magnétique **terrestre**, le champ est de l'ordre de $60 \mu T$.

A la surface de la Terre, $z = 6370$ km en modélisant la Terre par une boucle de courant :

$$m =$$

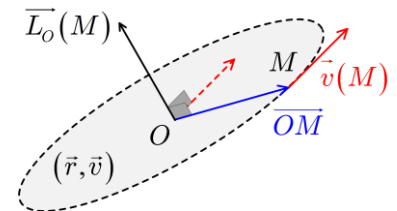
Le moment magnétique dépend fortement de la car $m \propto S$.

Plus la taille de l'aimant est grande, plus le moment est grand.

Plus le champ créé est grand, plus le moment magnétique qui en est l'origine est

4. Origine microscopique

On modélise un atome d'hydrogène par le modèle classique de Bohr {proton-électron} où l'électron assimilé à un point M de masse m_e de charge q_e est en mouvement circulaire de rayon r et uniforme autour du proton assimilé à un point O .



Dans la base cylindrique, $\overrightarrow{OM} = r\vec{e}_r$ et $\vec{v}(M) = r\omega\vec{e}_\theta$ où ω est la vitesse angulaire de l'électron autour du proton. Le moment cinétique de M par rapport à O est tel que :

$$\vec{L}_o(M) =$$

L'électron étant une charge en mouvement, il peut être vu comme une boucle de courant.
 Il parcourt la boucle pendant un temps T ,
 période de révolution autour du proton. Par définition du courant électrique :

...

Salviati : Cette relation reste vraie même en mécanique quantique car même si l'électron est délocalisé autour du proton et qu'il n'est pas sur une orbite circulaire, en sommant l'ensemble des répartitions de charge sur une période, la somme donnera toujours q_e .

Le moment magnétique s'écrit par définition : $\vec{m} =$

Or on sait que la vitesse angulaire et la période sont liées par la relation $T = \frac{\dots}{\dots}$

En remplaçant T et en faisant apparaître m_e : $\vec{m} =$

On reconnaît $\vec{L}_O = m_e r^2 \omega \vec{e}_z$ d'où

Le champ magnétique créé par cette boucle de courant s'écrit pour un point $M \in Oz$:

$\vec{B} =$ \vec{B} , \vec{m} et \vec{L}_O sont colinéaires.

**Toute particule chargée qui possède un engendre un
**

Culture scientifique :

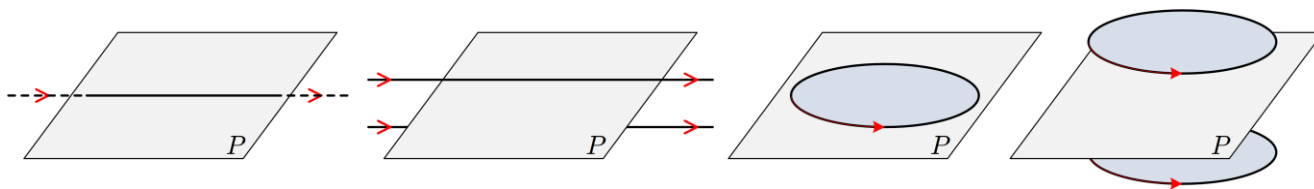
A l'échelle macroscopique, si la somme de tous ces moments est non nulle *i.e.* si toutes les particules ont un moment cinétique orienté dans la même direction et le même sens alors le matériau sera un aimant permanent, c'est le ferromagnétisme.

Sinon et c'est le cas en général, la somme de tous ces moments est nul et la plupart des matériaux ne sont pas aimantés : diamagnétisme, paramagnétisme, etc...

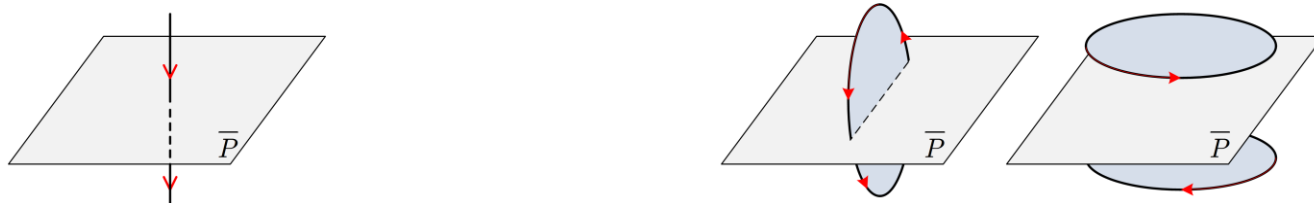
5. Symétries et invariances

Les champs de vecteur respectent les qui les engendrent *i.e.* si la boucle de courant est circulaire alors des propriétés du cercle vont se retrouver dans l'expression du champ magnétique engendré par cette boucle.

- Soit P un plan de symétrie de la distribution de courant.
- Soit \bar{P} ("p barre") un plan d'antisymétrie de la distribution de courant.



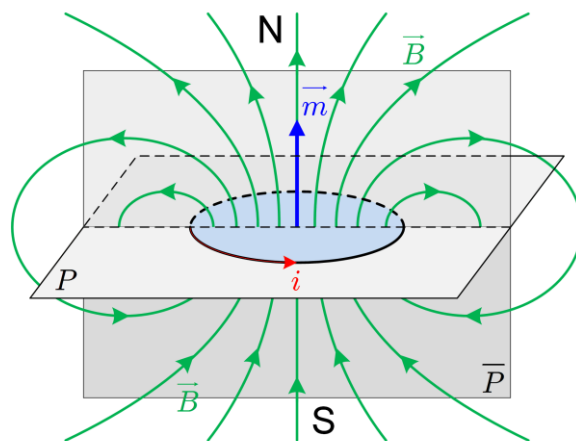
La distribution de courant est de part et d'autre du plan de symétrie P .



Le système qui permet la circulation du courant *i.e.* la source du courant reste symétrique mais de part et d'autre du plan d'antisymétrie \bar{P} .

Le plan qui contient la boucle de courant est un plan de Il existe une infinité de plans à la boucle et passant par le centre de la boucle, ce sont des plans d'**antisymétrie** puisque le courant circule de façon de part et d'autre de ces plans.

De façon très générale : et



Pour la boucle de courant, si $\vec{m} = m\vec{e}_z$ alors le plan de symétrie est xOy or \vec{e}_φ vecteur unitaire de la base, identique à \vec{e}_θ de la base, appartient à xOy . Donc \vec{B}

Pour la boucle de courant, les plans \bar{P} contiennent \vec{e}_r et \vec{e}_θ quel que soit le point M .

C'est pourquoi \vec{B} s'exprime

Par ailleurs, lorsqu'on tourne autour de Oz *i.e.* lorsqu'on change l'angle φ , on tombe sur et la boucle ne change pas car symétrique par rapport à l'axe Oz .

Cette invariance par rotation de l'angle φ doit se retrouver dans l'expression de \vec{B} .

C'est pourquoi \vec{B} ne doit, en effet, il ne dépend que de r et de θ :

$$\vec{B} =$$

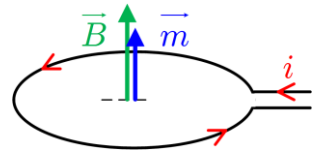
Grâce aux, on peut savoir dans quelle direction donnée par un vecteur unitaire le champ s'oriente ($\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z, \vec{e}_r, \vec{e}_\theta, \vec{e}_\varphi$). Grâce aux

....., on peut savoir de quelle variable d'espace dépend le champ ($x, y, z, r, \theta, \varphi$).

Salviati : Ne pas confondre les symétries du courant avec les symétries des aimants.

B. Autres sources de courant

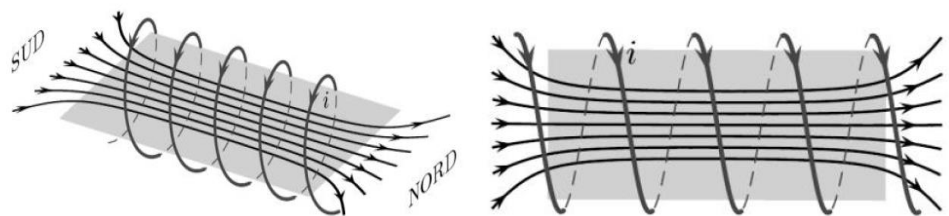
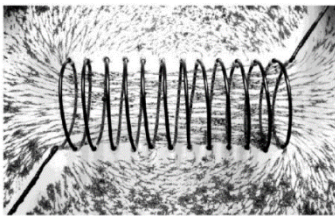
Comment obtenir une boucle de courant fermée ?



Il est **impossible** d'obtenir une boucle de courant fermée dans la réalité car le circuit doit forcément contenir une source de tension ou une source de courant *i.e.* un générateur électrique. La boucle de courant est un **modèle théorique**. Toutefois, il est possible de s'en approcher comme proposé sur le schéma ci-contre. Une boucle de courant réelle ne peut donc être fermée, elle est nécessairement **ouverte**, on parle de

1. Bobine longue

Un ensemble de spires de courant reliées les unes aux autres ne formant qu'une seule boucle hélicoïdale est un ou En général, elle est en cuivre.



En ARQS, le même courant i parcourt tout le solénoïde. Soit Oz l'axe de symétrie de la bobine. Lorsque la bobine contient un nombre N de spires **suffisamment grand** tel que $N \gg 1$ alors les plans d'antisymétrie qui contiennent le champ magnétique sont les plans en gris les 2 schémas de droite.

Comme pour la boucle de courant, il y a invariance par rotation de φ autour de Oz donc \vec{B} ne dépend pas de φ . Lorsque la bobine est **suffisamment longue** de longueur $\ell \gg 1$, il y a invariance donc Donc $\vec{B} = B\vec{e}_z$.

Cela se confirme par les lignes de champ dans le solénoïde.

Le champ magnétique est donc **uniforme** et **unidirectionnel**. Il dépend de μ_0, i, N, ℓ .

Par analyse dimensionnelle, $B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2m}{z^3} \Rightarrow [B] =$

Il est logique que plus le nombre de spires est important, plus le champ est grand.

On en déduit immédiatement que le champ d'un solénoïde s'écrit : $B =$ d'où :

où N est le nombre total de spires et ℓ la longueur totale du solénoïde selon Oz

Salviati : Une vraie démonstration est au programme de MP avec le théorème d'Ampère.

Dans une bobine, plus le courant est fort, plus le champ magnétique créé est
 Le champ d'une bobine peut éventuellement dépendre du temps comme le courant, dans le cas général, il n'est mais il est en ARQS.

Si on écarte les spires les unes des autres *i.e.* si le pas de la boucle hélicoïdale augmente, N reste le même mais donc le champ magnétique sera plus faible que lorsque les spires sont resserrées entre elles.

Pour une bobine infiniment longue : $N \rightarrow +\infty$ et $\ell \rightarrow +\infty$, les lignes de champ extérieur ne hors de la bobine et on aura alors $\overline{B}_{ext} = \dots$

➤ **Ordre de grandeur du champ créé par une bobine :**

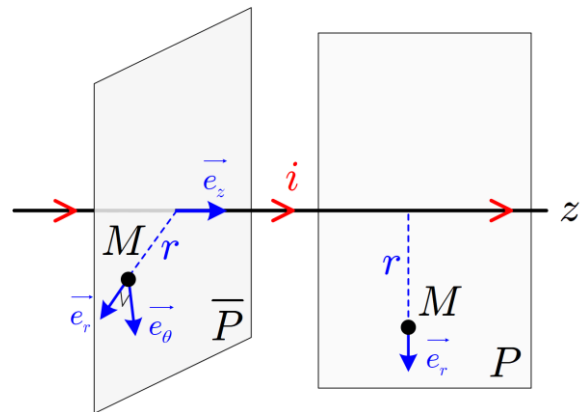
Une bobine de 50 cm de longueur contenant 500 spires alimentées par un courant d'intensité 800 mA va engendrer un champ uniforme d'environ

2. Fil rectiligne

Soit un fil rectiligne, infiniment long, parcouru par un courant d'intensité i . Soit Oz l'axe du fil.

Les plans de symétrie sont tous les plans passant par donc puisque $\overline{B} \perp P$, $\overline{B} \perp \vec{e}_z$ et $\overline{B} \perp \vec{e}_r$ où \vec{e}_r vecteur unitaire de la base cylindrique.

Les plans d'antisymétrie sont tous les plans orthogonaux à Oz donc \overline{B} est bien selon

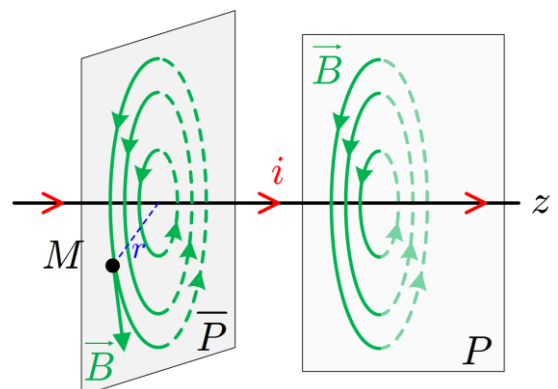


Le fil étant infini, une translation selon Oz ne change pas le système donc \overline{B} ne dépend pas de ... Une rotation de θ des coordonnées cylindriques laisse le système aussi donc \overline{B} ne dépend pas de ... Le champ ne dépend donc que de r : $\overline{B} =$

Le théorème d'Ampère montre que :

$$\overline{B}(M) =$$

où r est la distance entre le fil et un point M



Salviati : L'équation de Maxwell-Faraday d'où proviennent toutes les formules de ce chapitre de magnétostatique montre qu'entre le courant et le champ magnétique, l'un tourne toujours autour de l'autre.

Table des matières

I . Description du champ magnétique	1
A . Aimants permanents.....	1
1 . Notion de champ	2
2 . Direction et sens d'un champ.....	3
3 . Norme et source du champ	4
B . Champ magnétique terrestre.....	5
1 . Les boussoles	5
2 . Les aurores polaires.....	6
II . Source du champ magnétique	8
A . Boucle plane de courant.....	8
1 . Moment magnétique.....	8
2 . Champ magnétique.....	9
3 . Ordres de grandeur	10
4 . Origine microscopique	11
5 . Symétries et invariances	12
B . Autres sources de courant	14
1 . Bobine longue	14
2 . Fil rectiligne	15
Table des matières.....	16