

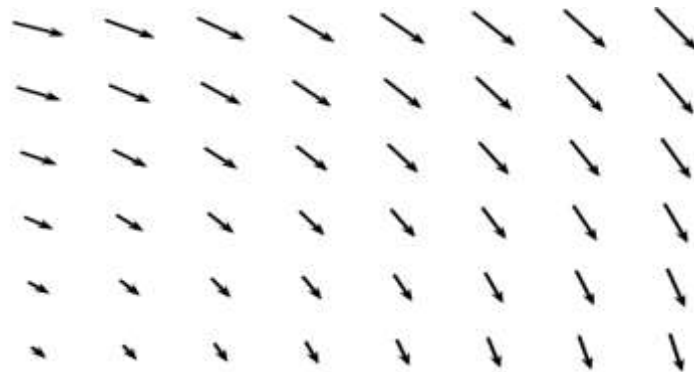
CHAPITRE 1 : Champ magnétique

Dans ce chapitre nous décrivons quelques propriétés des champs magnétiques et de leurs sources.

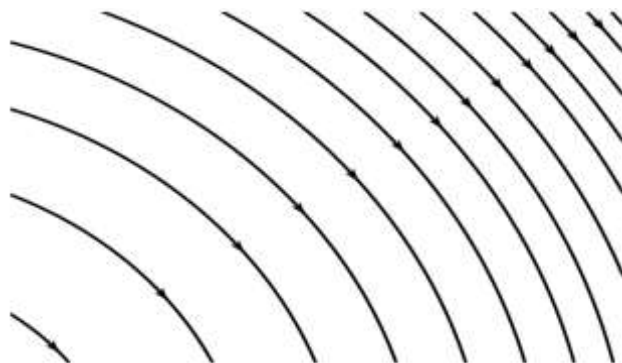
1. Cartes de champ magnétique

1.1. Champs en physique

Un **champ** est une grandeur physique qui dépend de la position et du temps. Il y a deux types de champs : le champ scalaire et le champ vectoriel. Exemple de champ scalaire : la température $T(M, t) = T(x, y, z, t)$ et la pression $P(M, t) = P(x, y, z, t)$ en un point M de la surface du globe à l'instant t ; ces deux champs ne sont définis que par un unique nombre. Le champ vectoriel est défini par trois nombres, selon une direction et un sens, ces trois nombres sont les coordonnées du vecteur dans l'espace à trois dimensions. Exemple de champ vectoriel : le champ électrique $\vec{E} = \vec{E}(M, t)$ et le champ magnétique $\vec{B} = \vec{B}(M, t)$.



On passe aux **lignes de champs** en traçant les courbes qui sont en tout point tangentes aux vecteurs. Si une ligne de champ montre bien la direction que prend le champ dans l'espace, l'information relative à la norme du vecteur semble perdue. Toutefois, on peut prendre la convention que plus la norme est importante, plus on dessine des lignes de champ serrées convention qui est appliquée sur la figure suivante.



1.2. Source de champ magnétique

Un champ vectoriel permet de décrire une interaction à distance. Lorsqu'on approche un aimant d'un noyau de fer, d'une pièce de 100 francs ou de 200 francs CFA, tous ces objets sont attirés par l'aimant. Mais comment ? Il n'y a rien qui relie ces objets à l'aimant, aucun fil visible. Pour interpréter cette action à distance invisible, on utilise le concept de champ : l'aimant crée un champ magnétique en tout point de l'espace autour de lui et c'est ce champ qui a une influence sur les objets.

Dans la théorie des interactions, le champ magnétique, comme le champ électrique, sont des champs vectoriels, intermédiaires qui transmettent des actions mécaniquement observables. Ces champs contiennent une certaine énergie, fournie à l'objet qui se met en mouvement selon une direction et un sens.

1.3. Unités et ordres de grandeur du champ magnétique

1.3.1. Unité du champ magnétique

Pour chercher l'unité du champ magnétique, on utilise la définition de la force magnétique et du courant électrique :

$$\begin{cases} \vec{f}_m = q\vec{v} \wedge \vec{B} = m \frac{d\vec{v}}{dt} \\ i = \frac{dQ}{dt} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} N = C \, m \, s^{-1} \\ A = C \, s^{-1} \end{cases} [B] = kg \, m \, s^{-2} \, A^{-1} \Rightarrow [B] = kg \, A^{-1} \, s^{-2} = Tesla \, (T)$$

Le module du champ magnétique s'exprime en **Tesla (T)**.

Nikola Tesla, 1856-1943, ingénieur serbe naturalisé américain, dont les travaux portèrent sur l'électromagnétisme et ses applications.

1.3.2. Ordres de grandeur du champ magnétique

Les champs magnétiques existent autour de nous, mais leur valeur dépend de leur utilisation et de leur source.

	ordre de grandeur (en T)
champ terrestre	$4,7 \cdot 10^{-5}$
aimant usuel	0,1 à 1
appareil d'IRM	3

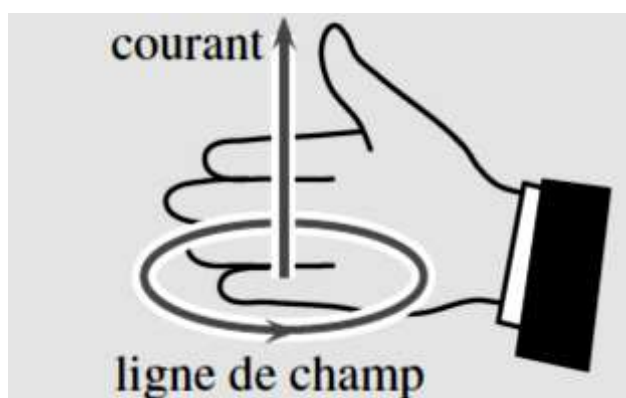
1.4. Topographie du champ magnétique

La topographie du champ magnétique est l'étude de ses lignes de champ. On admet deux propriétés importantes qui sont illustrées par les exemples qui suivent ; ces exemples seront justifiés en 2^{ème} année.

1.4.1. Première propriété

Une manière de créer un champ magnétique est de faire passer un courant, continu ou variable dans un circuit.

Les lignes de champ du champ magnétique sont, dans la plupart des cas, des courbes fermées qui entourent les fils dans lesquels le courant électrique qui crée le champ magnétique passe. L'orientation de la ligne de champ et le sens du courant dans les fils sont liés par **la règle de la main droite** : si l'on met la main droite le long de la ligne de champ orientée de la base des doigts vers le bout des doigts, le pouce donne le sens du courant.



Cette propriété permet de savoir immédiatement, à l'observation d'une carte des lignes de champ magnétique, le lieu où il y a un courant qui passe et le sens du courant.

1.4.2. Deuxième propriété

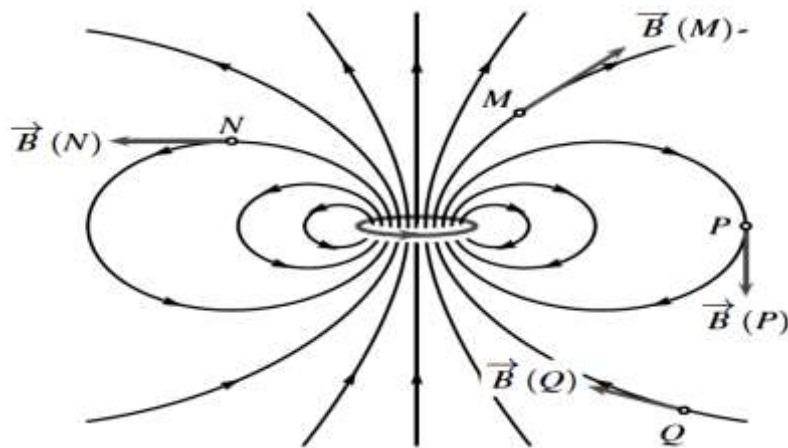
Sur une carte des lignes de champ magnétique, le champ magnétique est plus intense là où les lignes de champ se resserrent.

1.5. Quelques cartes de champ magnétique

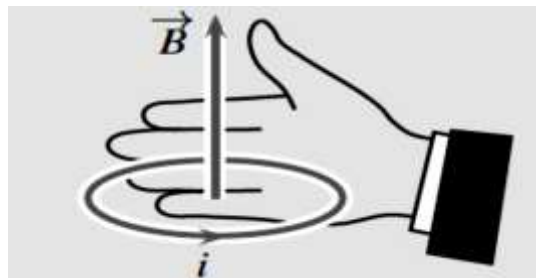
Les champs magnétiques pris pour exemples dans ce paragraphe sont créés par un courant électrique qui circule ou bien un aimant.

1.5.1. Spire circulaire de courant

On examine les lignes de champ créées par le circuit le plus simple : une spire circulaire, parcourue par un courant d'intensité constante, dû à un générateur non représenté.



On observe sur la figure précédente les lignes de champ créées par une spire circulaire, parcourue par un courant d'intensité i constante, dû à un générateur non représenté. On constate sur cette figure que le champ magnétique n'est pas uniforme en tout point de l'espace, les lignes de champ sont resserrées sur la surface définie par la spire : c'est là que la source du champ magnétique est la plus importante. On constate aussi que les lignes de champ s'enroulent autour du courant et sont orientées selon la règle de la main droite donnée ci-dessus. De plus, le champ traverse la spire en respectant une autre règle de la main droite :



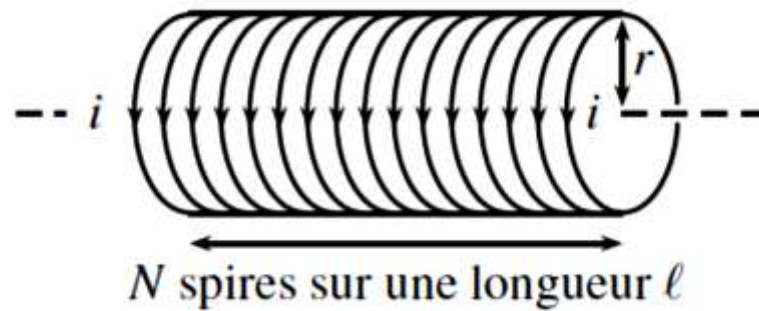
Si l'on met la main droite le long de la spire parcourue par le courant de la base vers le bout des doigts, le pouce indique le sens du vecteur champ magnétique.

Cette propriété est générale et elle permet d'orienter systématiquement le champ magnétique par rapport au courant qui le crée.

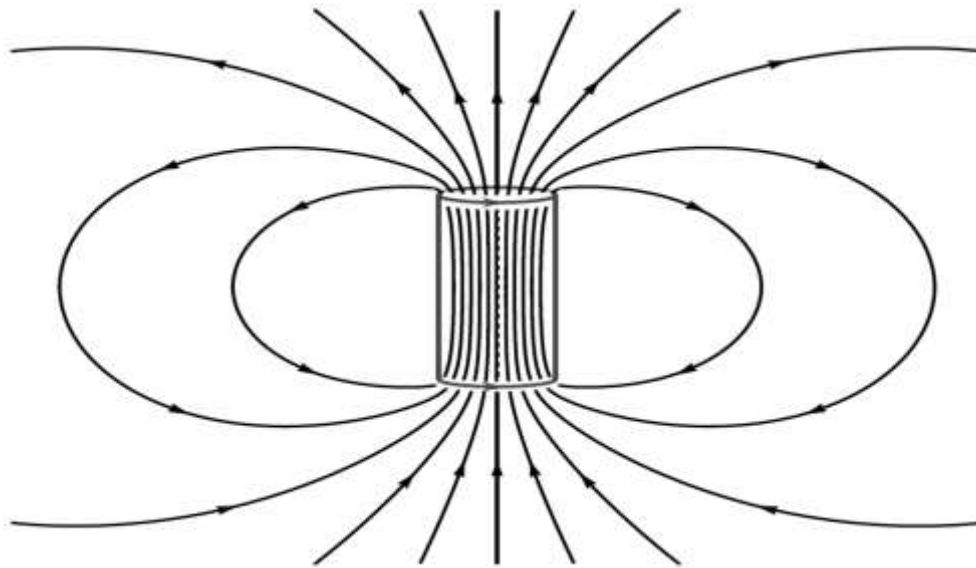
Enfin, la mesure de la norme du champ magnétique en un point pour différentes valeurs de l'intensité i permet d'établir que : la norme du champ magnétique est proportionnelle à l'intensité du courant qui traverse la spire.

1.5.2. Bobine longue

Une bobine est constituée de N spires jointives, de rayon r , de même axe, alignées sur une distance ℓ , toutes parcourues par le même courant d'intensité i . On définit le nombre de spires par unité de longueur n : $n = \frac{N}{\ell}$.



Les lignes de champ magnétique créées par la bobine, sont représentées sur la figure suivante.



Leur orientation par rapport aux spires de la bobine vérifie la règle de la main droite. On observe sur la figure que le champ magnétique est quasi-uniforme à l'intérieur de la bobine ; les lignes de champ restent parallèles, sans se resserrer ni s'éloigner.

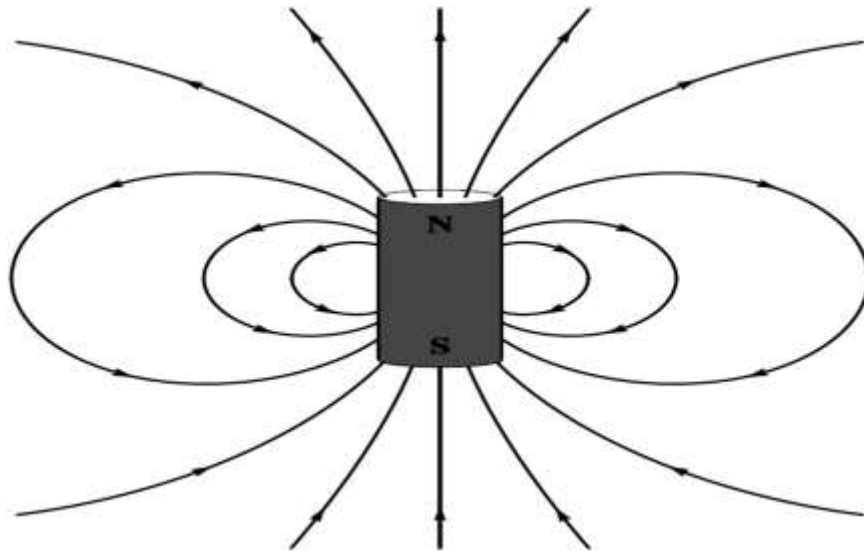
A l'intérieur d'une bobine longue, le champ magnétique est quasi-uniforme, parallèle à l'axe de la bobine et son sens est relié à celui du courant par la règle de la main droite. Sa norme s'écrit $B = \mu_0 n i$ (1 – 1).

n est le nombre de spires par unité de longueur et $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$ (perméabilité magnétique du vide).

Une bobine longue est aussi appelé solénoïde du grec $\sigma\omega\lambda\eta\nu$, solen, qui signifie tuyau.

1.5.3. Aimant

La carte de champ magnétique d'un aimant est similaire à celle d'une spire ou d'une bobine. Par convention, on appelle pôle nord, la face de l'aimant d'où les lignes de champ sortent et pôle sud, la face de l'aimant par laquelle les lignes de champ entrent.



2. Moment magnétique

Une spire, une bobine longue, un aimant, admettent tous trois des lignes de champ magnétique de même allure à grande distance, c'est-à-dire en un point M tel que, si on note O le centre de la spire, de la bobine longue ou de l'aimant, la distance OM est très grande par rapport à la dimension de la spire, de la bobine longue ou de l'aimant. Afin de comparer leurs effets magnétiques, on introduit le **moment magnétique**.

2.1. Vecteur surface

Avant de caractériser le moment magnétique, il convient de définir le vecteur surface associé à une spire de courant plane. Le vecteur surface associé à une spire de courant plane est un vecteur normal au plan de la spire, de norme égale à la surface S définie par la spire. La direction du vecteur surface étant orthogonale au plan de la spire, il y a deux possibilités pour son sens. Laquelle choisir ? Si le sens de parcours du courant est indiqué, on met la main droite le long de la spire parcourue par le courant de la base vers le bout des doigts ; le pouce indique alors le sens du vecteur surface. C'est encore une règle de la main droite.



Cette méthode est applicable pour des boucles de courant de toute forme.

- Pour une surface orientée, de surface S , le vecteur surface \vec{S} est un vecteur de norme S , orthogonale au plan de la surface, de sens donné par la règle de la main droite. Le vecteur \vec{S} s'écrit ainsi: $\vec{S} = S \vec{n}$ où \vec{n} est un vecteur unitaire perpendiculaire au plan de S , donc à S .

2.2. Définition du moment magnétique

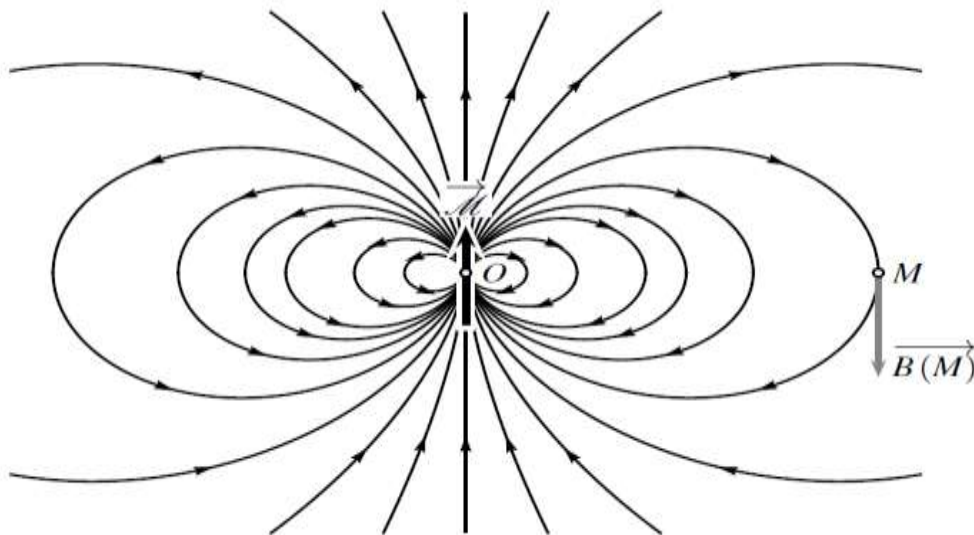
Le moment magnétique d'une boucle de courant plane, de surface S , parcourue par un courant i , est défini par le vecteur $\vec{M} = i \cdot \vec{S}$ (1 – 2). $\|\vec{M}\|$ s'exprime en $A \cdot m^2$.

2.3. Moment magnétique d'un courant

Les lignes de champ d'une boucle de courant et celles d'un aimant étant identiques à grande distance, on étend la notion de moment magnétique aux aimants. Mais les aimants n'étant parcourus par aucun courant interne, leur moment magnétique, qui s'exprime aussi en $A \cdot m^2$, ne représente plus le produit de deux termes. Le moment magnétique d'un aimant dépend de sa taille. L'ordre de grandeur du moment magnétique d'un aimant usuel est d'environ $10 A \cdot m^2$. Le moment magnétique de la terre vaut $7,9 \cdot 10^{22} A \cdot m^2$.

2.4. Lignes de champ d'un moment magnétique

Un moment magnétique représente tout aussi bien une boucle de courant qu'un aimant. Il présente de manière unifiée le champ magnétique



La distance OM est très supérieure à la longueur caractéristique de la source modélisée par le moment magnétique \vec{M} , comme le rayon d'une spire, le rayon ou la longueur d'une bobine ou d'un aimant. Ainsi, la source n'est pas représentée car totalement concentrée au point O .