

CHAPITRE OS12

Champ magnétique

- Pour avoir dès notre plus jeune âge manipulé les **aimants** qui équipent les jouets, nous connaissons tous leurs propriétés : deux aimants peuvent s'attirer ou se repousser selon leur orientation relative. Cette **interaction à distance** peut être modélisée en faisant intervenir la notion de **champ magnétique**. Le champ magnétique peut être mis en évidence à l'aide d'un petit aimant en forme d'aiguille (aiguille aimantée), libre de prendre toutes les orientations possibles. En particulier, loin de tout aimant et de toute masse ferreuse perturbatrice, une aiguille aimantée libre de pivoter autour d'un axe vertical s'aligne toujours sensiblement sur la direction sud-nord géographique : c'est le **principe de la boussole**.
- La notion de **magnétisme** regroupe un ensemble de phénomènes apparaissant au voisinage de quatre types de systèmes : les aimants, les circuits électriques, les faisceaux de particules chargées et les astres (pulsars).
- L'objet de ce chapitre est de découvrir les outils permettant de **modéliser ces systèmes** et de donner une **représentation du vecteur champ magnétique** \vec{B} .

1 Sources de champ magnétique

1.1 Champ magnétique créé par un aimant

- Action sur la limaille de fer

Sous l'action du champ magnétique de l'aimant droit, la limaille de fer :

- est attirée vers l'aimant,
- et s'oriente selon les lignes de champ.

Les morceaux de limaille de fer dessinent ce qu'on appelle le « spectre » du champ magnétique.

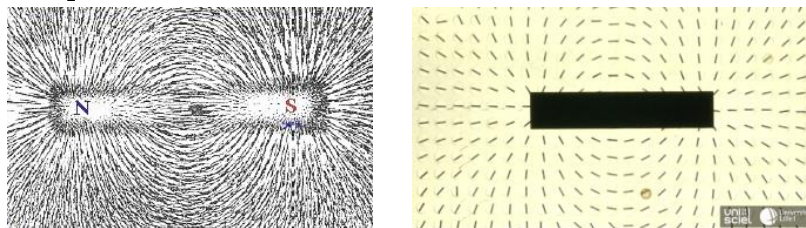


FIGURE 1 : Spectre du champ magnétique créé par un aimant droit

- Spectre du champ magnétique

👁 **Animation 1 : Figures animées pour la physique / Électricité / Champs / Topographie du champ magnétostatique**

<http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/Elec/Champs/topoB.php>

On peut visualiser le spectre du champ magnétique en utilisant une plaque en plastique possédant des alvéoles. Dans chaque alvéole est disposé un petit barreau ferreux, qui ne peut que tourner.

Les petits barreaux de fer s'orientent suivant les lignes de champ.

1.2 Champ créé par un courant

Un courant constant d'intensité I parcourt un solénoïde (bobine « longue » : la longueur de la bobine est plus grande que le rayon de chaque spire).

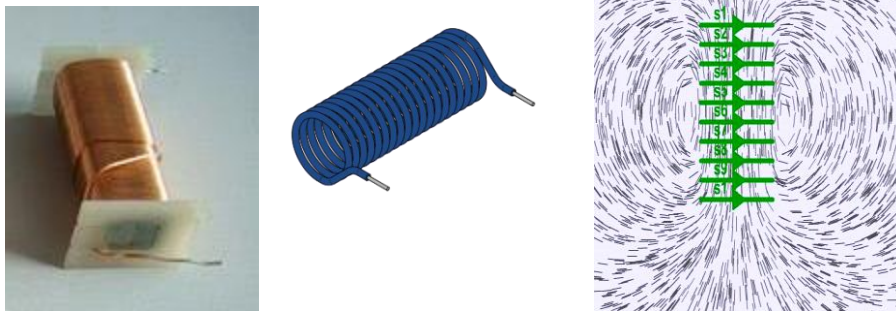


FIGURE 2 : Solénoïde et spectre du champ magnétique créé

Les morceaux de limaille de fer sont attirés et **s'orientent de façon non aléatoire**, témoignant de l'existence d'un champ magnétique.

1.3 Conclusion

➤ Propriété :

➤ Remarque

À très petite échelle, les faisceaux de particules chargées constituent des courants particuliers et créent un champ magnétique. À très grande échelle, une étoile à neutrons (pulsar), qui est un cadavre d'étoile très dense en rotation rapide, produit un champ magnétique intense.

2 Cartes de champ magnétique

2.1 Champ magnétique

➤ Boussole et pôles magnétiques

Définition :

➤ Notion de champ

➤ Champ vectoriel magnétique

- sa direction est indiquée par une boussole,
- son sens est défini par convention par rapport à la boussole.

Définition :

2.2 Carte de champ vectorielle d'un aimant droit

- Le champ magnétique créé par un aimant droit (par exemple) **existe** en tout point de l'espace. Des logiciels permettent de tracer ce **champ de vecteurs** \vec{B} en tout point de l'espace.

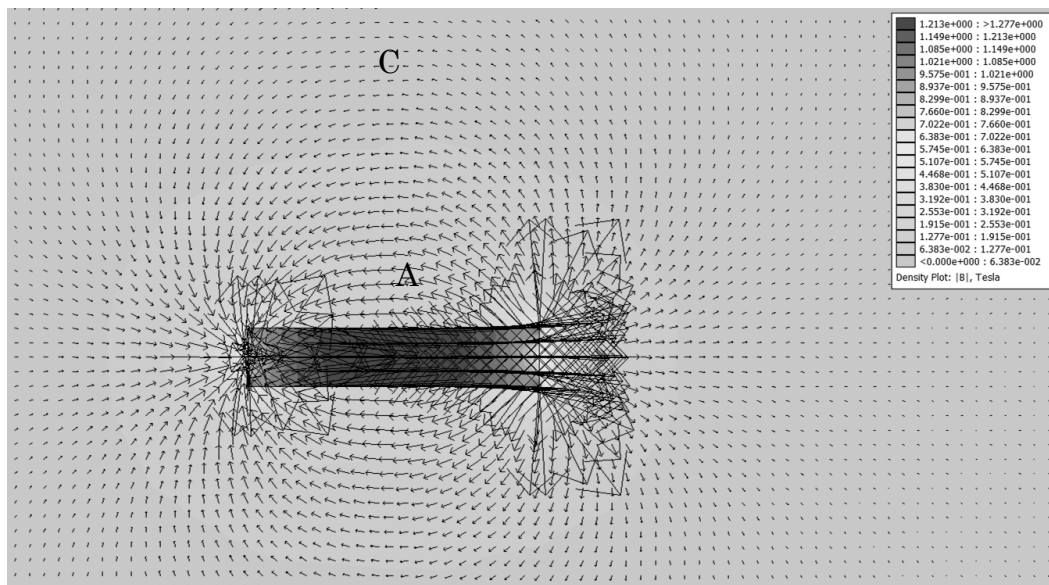


FIGURE 3 : Carte de champ vectorielle pour un aimant droit

Question : Le champ magnétique est-il plus important en A ou en C ?

Réponse :

2.3 Carte de lignes de champ d'un aimant droit

➤ Lignes de champ

Définition :

Question : Orienter les lignes de champ de la FIGURE 4.

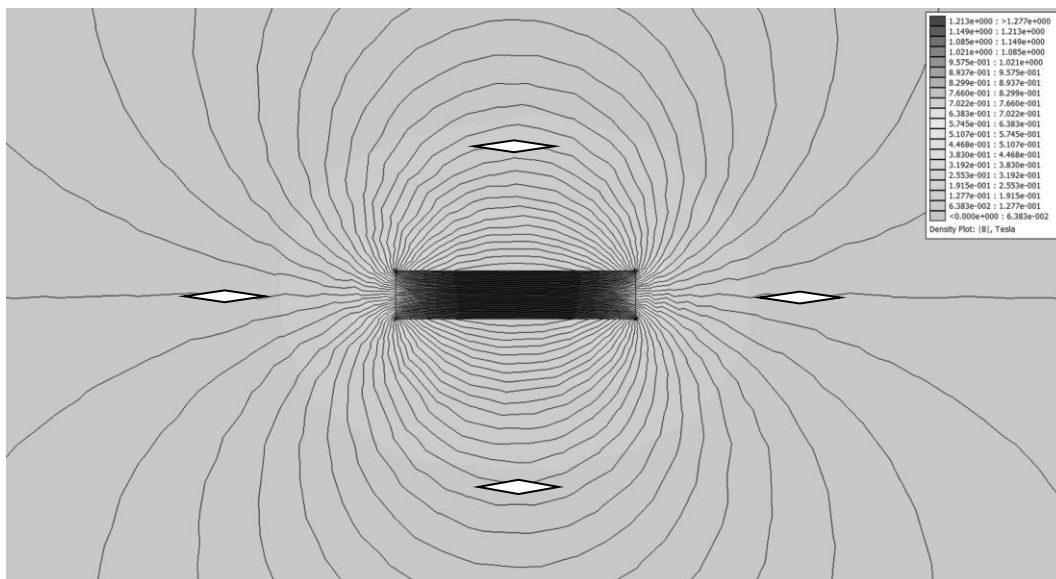


FIGURE 4 : Carte de lignes de champ pour un aimant droit

➤ Pôles d'un aimant**Propriété :**

Question : Indiquer le pôle N et le pôle S de l'aimant sur les FIGURES 3 et 4.

➤ Boussole ou aiguille aimantée

Par convention, la pointe **rouge** d'une aiguille aimantée correspond à son pôle Nord et donne le **sens** des lignes de champ.

Question : Représenter la pointe rouge des 4 boussoles sur la FIGURE 4

2.4 Champ magnétique terrestre

Du point de vue du champ magnétique créé, la Terre est assimilable à un aimant droit. Le pôle nord géographique de la terre est un pôle sud magnétique et inversement.

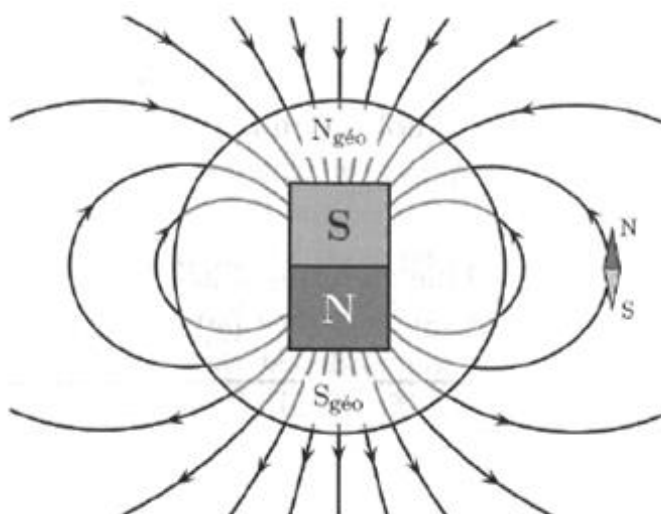


FIGURE 5 : Lignes de champ magnétique terrestre

2.5 Autres cartes de lignes de champ usuelles

2.5.1 Aimant droit et aimant en U

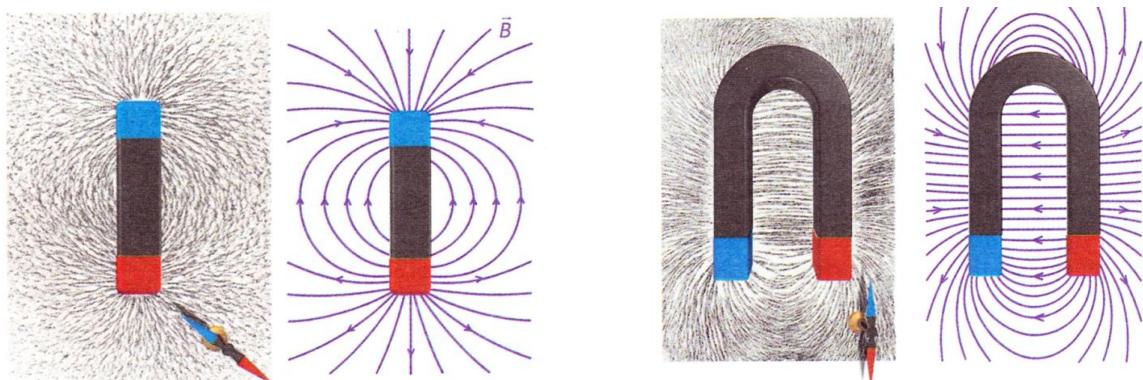


FIGURE 6 : Cartes de champ d'un aimant droit (à gauche) et d'un aimant en U (à droite)

Question : Indiquer le pôle N et le pôle S pour chaque carte de champ.

Question : Comment sont les lignes de champ dans l'entrefer de l'aimant en U ?

Réponse :

2.5.2 Bobines

➤ Réalisation

Une bobine est constituée d'un enroulement de fil de cuivre sur une longueur L . Chaque tour constitue une **spire** de rayon r .

➤ Différentes bobines

Définitions :

-
-
-

➤ Solénoïde

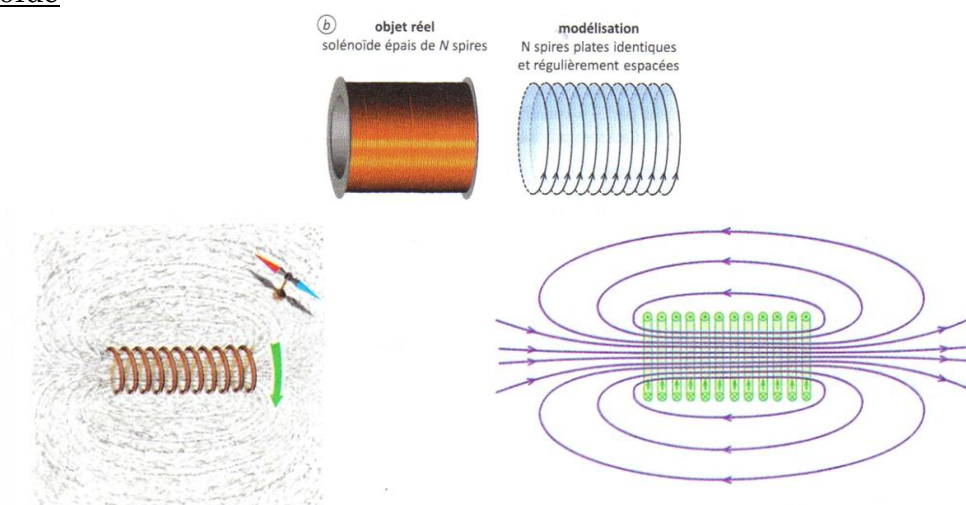


FIGURE 7 : Modélisation d'un solénoïde (en haut) et carte de champ dans un plan méridien (en bas)

➤ Spire circulaire ou bobine plate

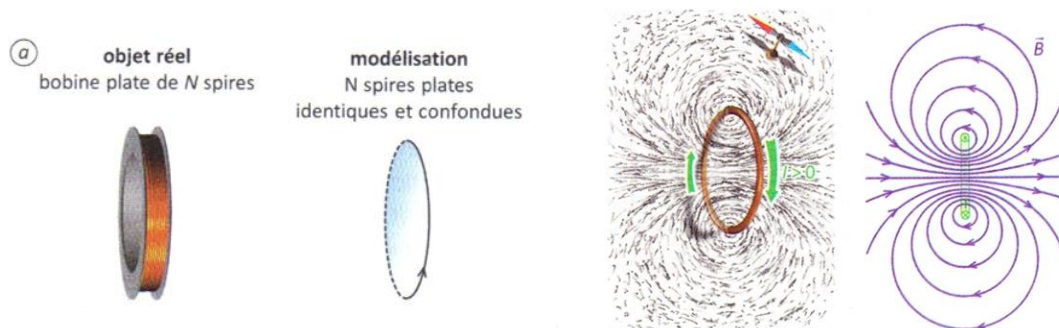


FIGURE 8 : Modélisation d'une bobine plate (à gauche) et carte de champ dans un plan méridien (à droite)

➤ Pôles magnétiques d'une bobine

Définition :

Propriété :

2.5.3 Fil rectiligne infini

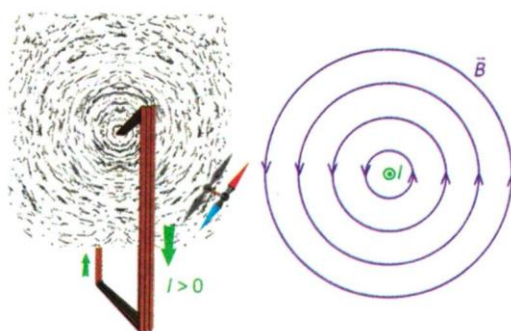


FIGURE 9 : Carte de champ d'un fil rectiligne infini

2.5.4 Lien entre lignes de champ et sources

Propriété :

3 Intensité du champ magnétique

3.1 Ordres de grandeur

L'unité usuelle du champ magnétique est le Tesla (T).

Appareil IRM (Imagerie à Résonance Magnétique)	7 T
Aimant	0,1 à 1 T
Champ magnétique terrestre	$5,0 \cdot 10^{-5}$ T (50 μ T)

3.2 Lien entre intensité du champ magnétique et carte

3.2.1 Intensité du champ et lignes de champ

On constate expérimentalement deux phénomènes lorsqu'on s'éloigne de la source (aimant ou bobine) qui crée un champ magnétique :

- l'intensité du champ magnétique décroît,
- les lignes de champ magnétique s'écartent les unes des autres.

Propriété :

Propriété

3.2.2 Création d'un champ magnétique uniforme

➤ Aimant en U

➤ Solénoïde

➤ Bobines de Helmholtz

En plaçant deux bobines plates de même rayon R sur le même axe, à la distance L l'une de l'autre, et parcourues par des courants de même sens et de même intensité, on obtient un dispositif créant un champ magnétique quasiment uniforme entre les bobines.

👁 **Animation 2 : Physique et simulations numériques / Électricité / Magnétostatique / Bobines de Helmholtz**

<http://subaru.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/electri/helmoltz.html>

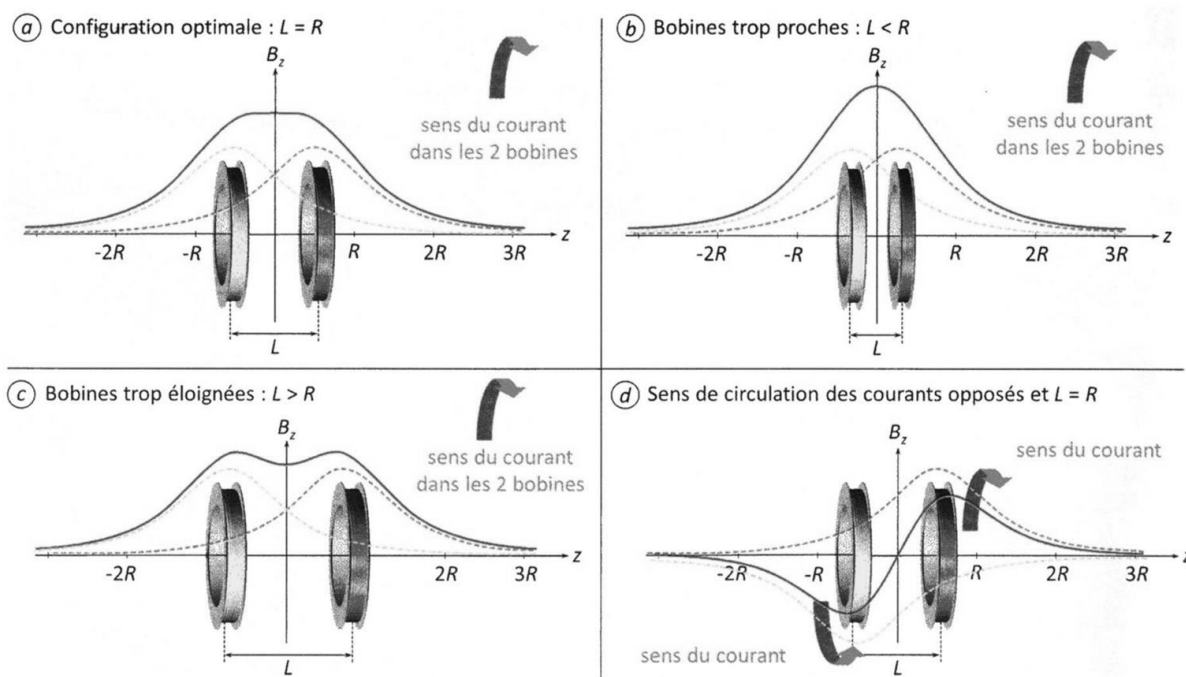


FIGURE 10 : Dispositif des Bobines de Helmholtz

3.3 Lien entre courant électrique et champ magnétique

3.3.1 Sens du champ créé par une bobine

➤ Règle de la main droite

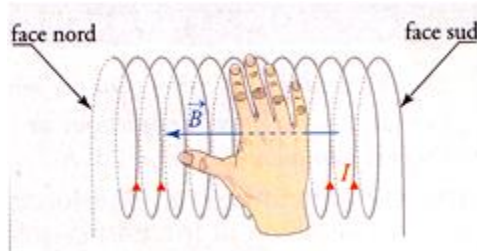


FIGURE 11 : Illustration de la règle de la main droite

➤ Détermination des faces Nord et Sud

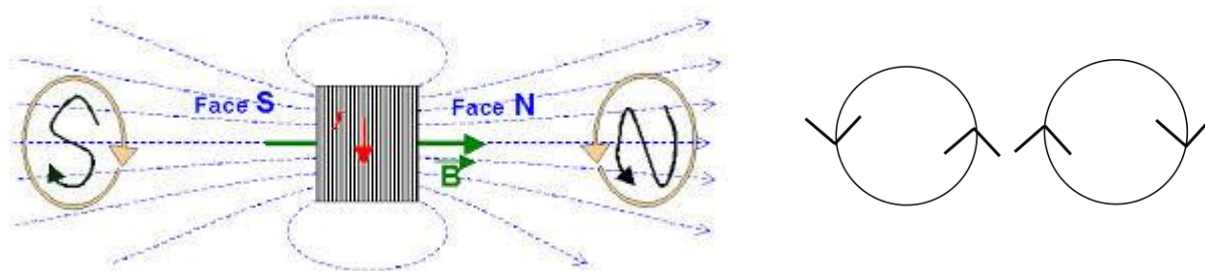


FIGURE 12 : Détermination des faces Nord et Sud d'un solénoïde

3.3.2 Sens du champ créé par un fil rectiligne infini

Autre règle de la main droite

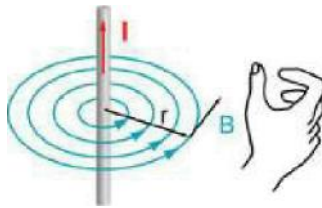


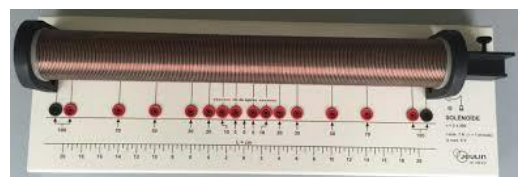
FIGURE 13 : Sens du champ pour un fil rectiligne infini

3.3.3 Intensité du champ magnétique créé par un circuit parcouru par un courant

➤ Champ magnétique créé par un solénoïde infini

Propriété :

A.N.



➤ Champ créé par un fil infini

Le champ magnétique créé à la distance r du fil parcouru par un courant d'intensité I a pour expression, en coordonnées cylindriques :

A.N. : $I = 1 \text{ A}$, $r = 1 \text{ cm}$

4 Moment magnétique

4.1 Similitudes entre les cartes de champ à grande distance

➤ Analogie

On a constaté une analogie de comportement (pôles) entre les bobines et les aimants et une similitude des cartes de champ.

➤ Observation à grande distance

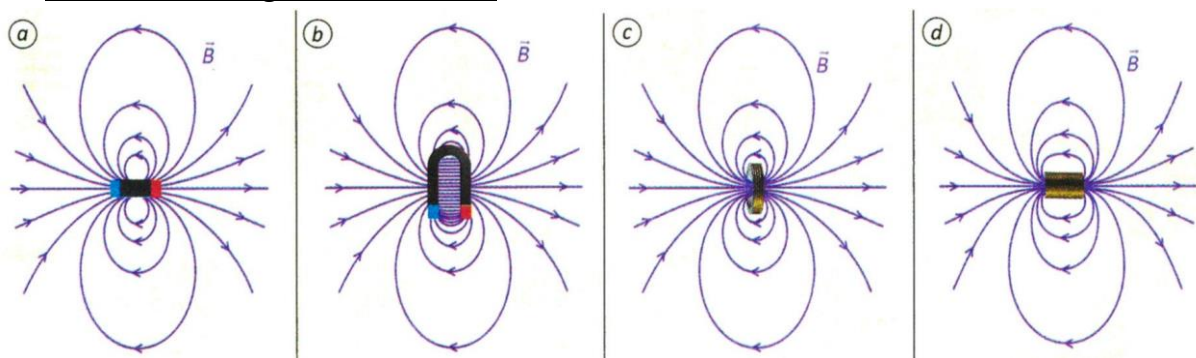


FIGURE 14 : Spectres magnétiques **vus de loin** d'un aimant droit (a), d'un aimant en U (b), d'une bobine plate (c) et d'un solénoïde (d).

➤ Commentaire

➤ Modélisation

4.2 Moment magnétique

➤ Vecteur surface d'une spire

Définition :

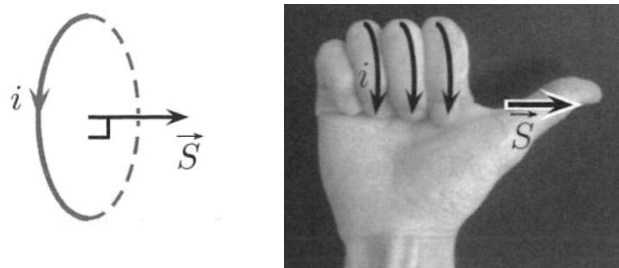


FIGURE 15 : Vecteur surface d'une spire

➤ Moment magnétique d'un circuit filiforme

Définition :

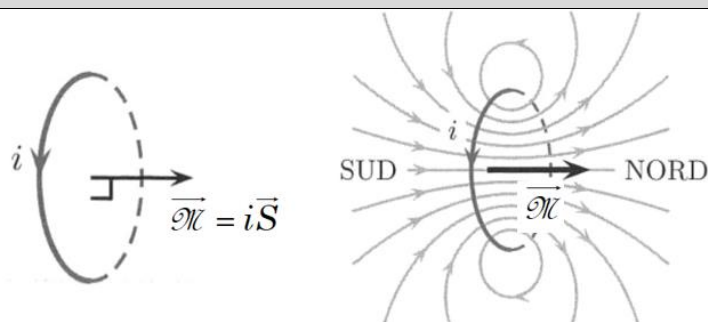


FIGURE 16 : Vecteur moment magnétique d'une spire circulaire

➤ Moment magnétique d'un solénoïde

Un enroulement de N spires jointives (solénoïde) parcourues par l'intensité i est équivalent à une seule spire parcourue par l'intensité Ni .

En conséquence, le moment magnétique **d'une bobine de N spires** est :

➤ Moment magnétique d'un aimant

Le moment magnétique d'un aimant dépend de sa taille.

Pour un aimant usuel (alliage NdFeB), il varie entre 0,10 et 10 A.m².

Le moment magnétique de la Terre vaut 8,0.10²² A.m².