

# LE CHAMP MAGNETIQUE

## 1. LES AIMANTS.

Depuis les temps le plus reculés, les hommes ont remarqué que certaines pierres "magnétiques" ont la propriété de s'attirer entre elles en certaines zones, leurs **pôles**.

Ces corps, appelés **aimants**, sont constitués par de l'oxyde magnétique de fer  $Fe_3O_4$ .

Les pierres magnétiques possèdent une autre propriété: libres de s'orienter, elles prennent toujours la même direction. selon certains auteurs, deux siècles avant notre ère, les Chinois ont utilisé ce phénomène pour construire les premières boussoles.

Les boussoles actuelles (une aiguille aimantée mobile sur un pivot central au-dessus de la rose des vents) proviennent d'un lent perfectionnement de ces premières boussoles.

De nos jours les aimants artificiels sont en acier ou en alliages et ils ont des formes variées: barreau droit, aimant en U, aiguille aimantée...

Les pôles d'un aimant ne sont pas identiques; on distingue le **pôle nord** du **pôle sud**. Deux pôles de même nom se repoussent, alors que deux pôles de noms différents s'attirent.

**Il est impossible d'isoler le pôle nord du pôle sud d'un aimant.** En effet, chaque fragment obtenu après avoir brisé un aimant en deux se comporte comme un nouvel aimant possédant un pôle nord et un pôle sud.

Les abeilles, des oiseaux, des poissons se dirigent grâce au champ magnétique terrestre.

Mais qu'est-ce qu'un champ magnétique ?

## 2. NOTION DE CHAMP MAGNETIQUE.

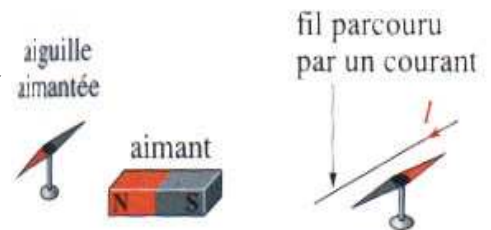
### 2.1. ACTION SUR UNE AIGUILLE AIMANTEE.

#### Dispositif.

Poser sur une table une petite aiguille aimantée mobile autour d'un axe fixe vertical. La direction prise par l'aiguille est matérialisée par un fil.

Approcher successivement de l'aiguille un aimant, puis un circuit parcouru par un courant: fil ou bobine.

Renouveler l'expérience en inversant les pôles de l'aimant, le sens du courant, la forme de l'aimant....



#### Observations.

L'aiguille aimantée indique spontanément le nord magnétique. Elle change d'orientation quand on approche un aimant ou un fil parcouru par un courant électrique. Sa nouvelle orientation dépend de nombreux facteurs:

- La position de l'aimant, notamment de ses pôles;
- La position du circuit, sa forme, le sens et l'intensité du courant.

#### Conclusion.

L'orientation particulière prise par la petite aiguille aimantée met en évidence la modification des propriétés magnétiques au point de l'espace où elle est placée.

L'espace autour des aimants et des circuits électriques parcourus par des courants a des propriétés magnétiques particulières qui peuvent être détectées par une aiguille aimantée.

### 2.2. L'ESPACE CHAMP MAGNETIQUE.

#### Dispositif.

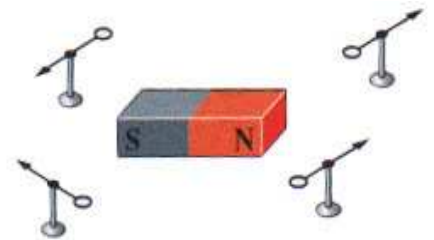
Placer au voisinage d'un aimant plusieurs petites aiguilles aimantées, mobiles autour d'un axe fixe vertical.

#### Observation.

En chaque point, les aiguilles aimantées prennent une orientation et un sens déterminés.

#### Interprétation.

Un point dans l'environnement de l'aimant a des propriétés magnétiques particulières que l'on peut caractériser par la direction d'une aiguille aimantée et son sens. On dit alors qu'il règne un **champ magnétique**.



### 2.3. LE VECTEUR CHAMP MAGNETIQUE.

A chaque point d'une région de l'espace dans laquelle règne un champ magnétique, on associe un **vecteur champ magnétique  $\vec{B}$**  qui caractérise les propriétés de ce champ.

Par définition en un point M de l'espace:

- la **direction de  $\vec{B}$**  est celle d'une aiguille aimantée mobile dans toutes les directions de l'espace et placée en ce point;
- le **sens de  $\vec{B}$**  va du pôle sud au pôle nord de l'aiguille aimantée.

En outre dans le système international, la valeur du champ magnétique s'exprime en **Tesla (T)**.

## 2.4. LA MESURE DE LA VALEUR DU CHAMP MAGNETIQUE

Elle se mesure à l'aide d'un appareil appelé teslamètre.

En pratique, la sonde, située à l'extrémité d'une tige, est placée au point M où l'on souhaite réaliser la mesure. L'appareil donne directement la valeur du champ magnétique en tesla.

Quelques ordres de grandeur:

Champ terrestre	Aimants permanents	Electroaimants	Taches solaires	Etoiles à neutrons.
$5 \times 10^{-5} \text{ T}$	de 0,001 à 0,1 T	quelques teslas	10 T	de 100 MT à 1 GT

## 3. LES LIGNES DE CHAMP MAGNETIQUE.

### 3.1. LE SPECTRE MAGNETIQUE.

Descartes (1596 - 1650) répandant de la limaille de fer autour d'un aimant, est le premier à constater que les grains de fer s'orientent comme des petites aiguilles aimantées pour former des lignes qui structurent l'espace.

#### Dispositif.

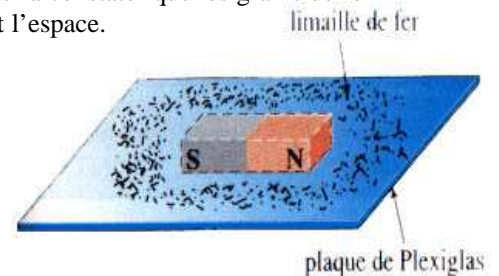
Saupoudrer de limaille de fer une plaque de Plexiglas.  
Amener la plaque au-dessus d'un aimant droit et tapoter cette plaque.  
Sur la plaque de Plexiglas, ajouter quelques petites aiguilles aimantées.

#### Observations.

La limaille de fer s'oriente et dessine des lignes dans l'espace autour de l'aimant.

#### Conclusion.

Chaque grain de limaille de fer s'oriente dans le champ magnétique comme une minuscule aiguille aimantée. Grâce à la limaille de fer, il est alors possible de visualiser la direction du champ magnétique en tout point de l'espace étudié: on obtient un spectre magnétique.



### 3.2. LES LIGNES DE CHAMP MAGNETIQUE.

La limaille de fer du spectre magnétique du barreau semble suivre des lignes, appelées lignes de champ magnétique.

En chaque point d'une ligne de champ, une aiguille aimantée prend une direction qui est donnée par la tangente en ce point à la ligne de champ. Le vecteur champ magnétique  $\vec{B}$  en ce point est donc porté par cette tangente.

#### Conclusion.

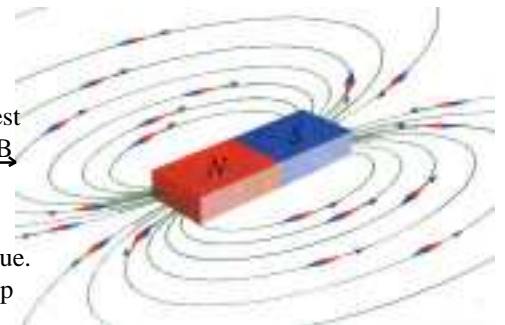
Le vecteur champ magnétique est en tout point tangent à une ligne de champ magnétique. Les lignes de champ magnétique sont orientées dans le même sens que le vecteur champ magnétique au point considéré.

Les lignes de champ sortent par le pôle nord de l'aimant, entrent dans l'aimant par le pôle sud et se referment sur elles-mêmes dans l'aimant.

#### Remarques.

Deux lignes de champ ne peuvent se couper, car au point d'intersection, l'aiguille aimantée aurait simultanément deux orientations différentes.

Dans un domaine, plus les lignes de champ se resserrent et plus la valeur du champ magnétique est élevée.

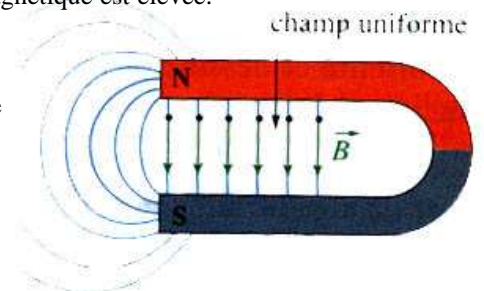


### 3.3. CHAMP MAGNETIQUE UNIFORME.

Un champ magnétique est uniforme dans un domaine de l'espace si, en tout point de ce domaine, il conserve la même direction, le même sens et la même valeur. Les lignes de champ magnétique sont alors des droites parallèles.

#### Exemple.

Entre les deux branches d'un aimant en U.



Nikola Tesla  
(1857 - 1943)  
Ingénieur croate.

Le nom de l'unité du champ magnétique vient de celui de cet ingénieur croate qui a effectué de nombreux travaux sur les systèmes mécaniques utilisant des champs magnétiques et qui a inventé le moteur électrique dit à *champ tournant*.



## 4. SUPERPOSITION DE CHAMPS MAGNETIQUES.

### Dispositif.

Placer une aiguille aimantée en un point M de l'espace.

Placer un aimant droit en un point A. Noter la direction prise par l'aiguille.

Retirer l'aimant et placer un autre aimant droit identique au premier en un point B tel que  $\widehat{AMB} = 90^\circ$  et  $MA = MB$ . Noter la direction prise par l'aiguille.

Placer simultanément les deux aimants en A et en B. Noter la direction prise par l'aiguille.

### Observations.

Quand le premier aimant seul est placé en A, la direction prise par l'aiguille aimantée est celle de l'axe de l'aimant.

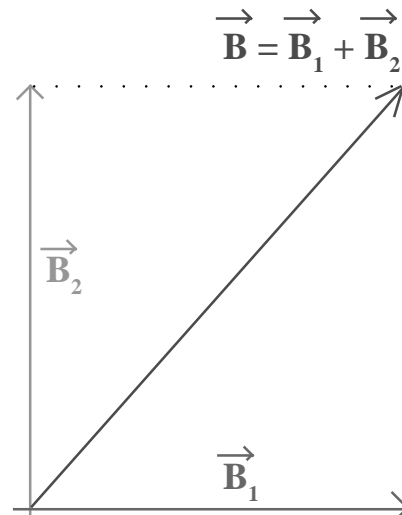
Quand le second aimant seul est placé en B, la direction prise par l'aiguille aimantée est celle de l'axe de l'aimant.

Quand les deux aimants identiques sont présents simultanément en A et en B, la direction prise par l'aiguille aimantée fait un angle de  $45^\circ$  avec chacune des deux directions précédentes.

### Conclusion.

Les champs magnétiques se composent de manière vectorielle. Si deux champs  $\vec{B}_1$  et  $\vec{B}_2$  se superposent en un point M, le champ magnétique B en ce point est leur somme vectorielle:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$$



## 5. CHAMP MAGNETIQUE TERRESTRE.

Comme beaucoup de corps célestes (Soleil, planètes...) la Terre est une source de champs magnétique. Le pôle Nord d'une aiguille aimantée s'oriente vers le pôle Nord magnétique de la Terre, voisin du pôle Nord géographique.

Le plan vertical contenant une aiguille aimantée, libre de s'orienter dans le champ magnétique terrestre, définit le plan du méridien magnétique du lieu.

Dans l'hémisphère Nord, le pôle Nord de l'aiguille aimantée s'incline vers le sol, l'aiguille faisant avec l'horizontale un angle  $\hat{I}$  appelé inclinaison. L'inclinaison  $\hat{I} = (\vec{B}_h, \vec{B}_T)$ , est d'environ  $60^\circ$  en France.

En un lieu donné, le vecteur champ magnétique terrestre  $\vec{B}_T$ , situé dans le plan méridien, est caractérisé par l'inclinaison  $\hat{I}$  et la valeur  $B_h$  de sa composante horizontale.

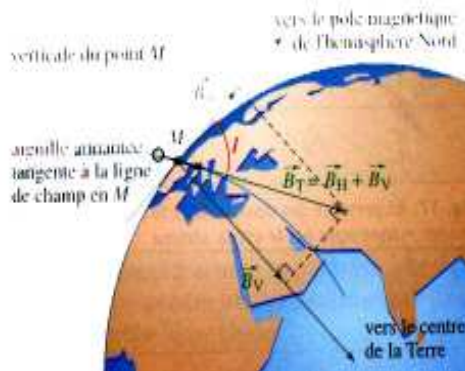
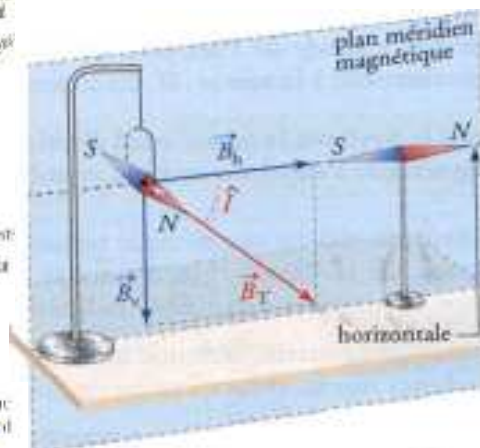
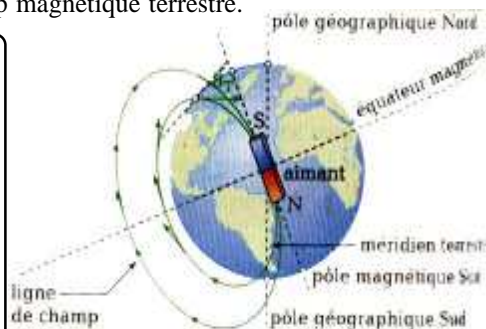
$B_h$  est de l'ordre de  $0,2 \times 10^{-4}$  T et  $B_T$  de l'ordre de  $0,5 \times 10^{-4}$  T.

Le plan méridien magnétique ne coïncide pas avec le plan du méridien géographique.

L'angle D entre ces deux plans est la déclinaison magnétique. L'aiguille d'une boussole tourne dans le plan horizontal: elle s'oriente suivant la composante horizontale du champ magnétique terrestre.



**40 km par an.** C'est la vitesse à laquelle se déplace le pôle Nord magnétique. Situé aujourd'hui dans l'Arctique canadien, il devrait approcher le pôle Nord géographique vers 2004, avant de rejoindre les îles de Severnaya Zemlya au nord de la Russie vers 2050.



## DES ARCHIVES INSCRITES DANS L'ARGILE.



Comment connaître l'intensité et l'orientation du champ magnétique terrestre d'il y a 2 000 ans ? Grâce à des poteries ! L'argile dont elles sont constituées contient des grains aimantés, qui s'orientent dans le champ magnétique comme les aiguilles d'une boussole. Une orientation figée par la cuisson dans le four. Plusieurs milliers d'années plus tard, il suffit de comparer l'orientation des grains avec celle des grains des terrains alentour.

### *Enjeux...*

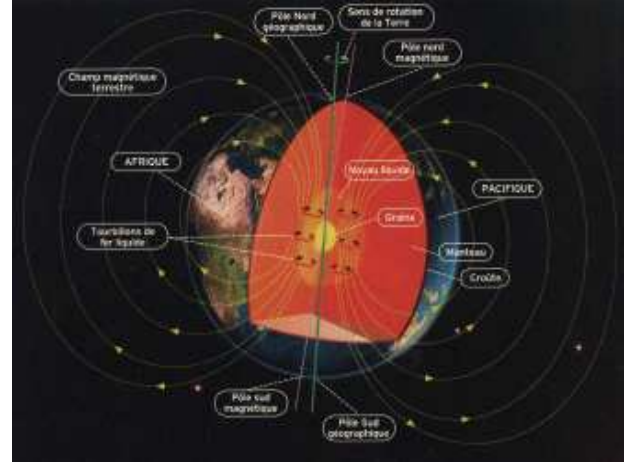
Savoir ce que renferme le centre de la Terre pourrait mieux expliquer la formation et l'évolution de la planète, ainsi que le processus engendrant le champ magnétique qui la protège des rayons cosmiques et des vents solaires, flots de particules de fer issus du Soleil. Des modèles numériques simulent déjà ces flux de particules dans l'énorme masse liquide autour du noyau. Mais le processus qui induit les inversions du champ magnétique reste une énigme. Or, mieux l'appréhender pourrait limiter ses effets sur les satellites. De fait, ces inversions altèrent le champ magnétique, ce qui génère une hausse du rayonnement cosmique, dont les satellites risquent de pâtir.

### **Mercure**

Mercure est petite (de la Taille de la Lune), mais sa densité est si forte que la gravité à sa surface est la même que sur Mars. Les astronomes pensent que les deux tiers de la planète sont occupés par un très volumineux noyau métallique. Ainsi, Mercure et la Terre sont les deux seules planètes telluriques possédant un champ magnétique global.

Sciences et Avenir Septembre 2004

## L'ORIGINE DU CHAMP MAGNETIQUE .



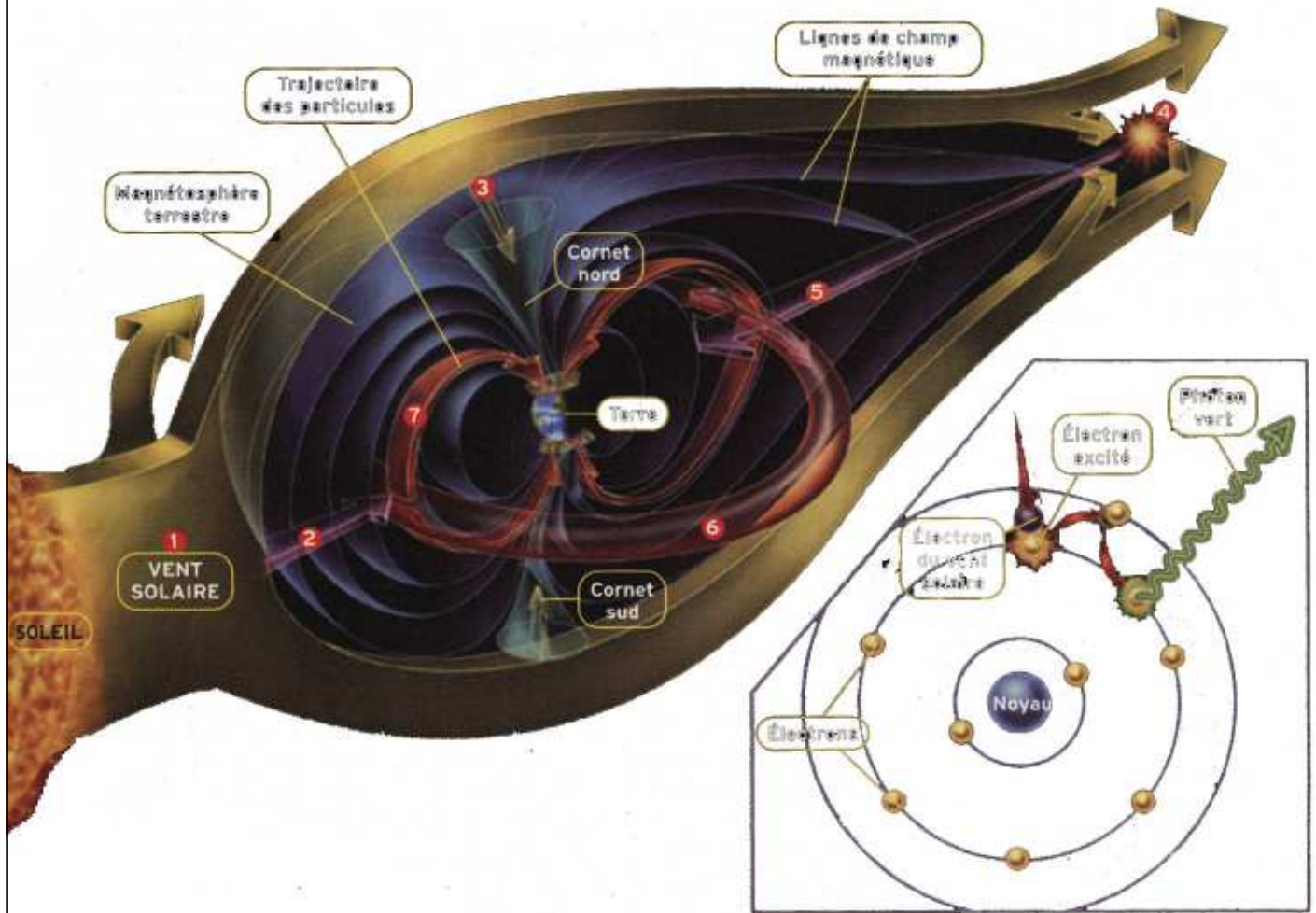
L'origine du champ magnétique terrestre est étroitement liée aux mouvements qui agitent le bouillonnant noyau liquide de la planète. Sous les régions du globe où le champ a peu changé au cours des vingt dernières années (Pacifique), des tourbillons de fer liquide tournent dans le sens de rotation de la Terre. Sous les régions où les baisses d'intensité du champ ont été les plus importantes (Afrique), des tourbillons de même nature tournent en sens inverse.

## ATMOSPHERE ET CHAMP MAGNETIQUE .

Le champ magnétique protège l'atmosphère terrestre des agressions liées aux radiations solaires émises par le Soleil. En absence de champ magnétique, l'atmosphère terrestre serait petit à petit détruite par ces vents solaires... et la vie ne pourrait exister sur Terre.

C'est ce qui explique l'absence d'atmosphère sur Mars, puisque le noyau de fer au centre de cette planète s'est solidifié plus vite que celui de la Terre (qui est encore liquide)... de sorte que le champ magnétique sur Mars n'existe plus... A sa disparition, l'atmosphère présente sur Mars a alors été soumise aux agressions des vents solaires, provoquant alors la destruction de cette atmosphère.

# LE MECANISME DES AURORES POLAIRES.



Le vent solaire ①, composé d'électrons et de protons, heurte la partie avant de la magnétosphère - l'armure magnétique de la Terre. Les particules sont contraintes de contourner l'armure, sauf une petite partie qui entre tout droit ② et une autre ③ qui s'engouffre dans les cornets polaires, nord et sud, ouverts sur l'espace (le "défaut" de l'armure terrestre). Mais ces particules là n'ont pas assez de vitesse pour allumer des aurores. D'autres particules parviennent à l'arrière de la magnétosphère où se produit un carambolage ④; le choc est tel que certaines sont projetées dans la magnétosphère. Au total, c'est environ 10% du vent solaire qui s'invite chez nous. Les intruses gagnent énormément de vitesse ⑤ à mesure qu'elles progressent vers l'origine du champ magnétique: la Terre. Elles fument ensuite vers une sorte d'anneau de stockage ⑥. Puis, en quelques minutes, elles sont captées par les lignes du champ magnétique terrestre et prennent la direction des deux pôles ⑦. Là, dans la haute atmosphère (entre 1 000 et 100 km), elles percutent atomes et molécules de gaz, leur communiquant de l'énergie. Exemple: l'atome d'oxygène ⑧. L'un de ses huit électrons, à la périphérie, ramasse une particule baladeuse - le plus souvent, un électron - sur la cafetière. Le voilà tout excité, sautant sur une couche électronique externe. Il revient vite à sa place de départ, mais en relâchant l'énergie acquise sous forme d'un photon, c'est-à-dire un grain de lumière. Les aurores polaires sont faites de la somme de tous ces photons. Leur couleur dépend du gaz-cible et de la vitesse de la particule-munition.