

## LE CHAMP MAGNETIQUE TERRESTRE

Si on dispose une boussole loin de tout autre aimant, elle prendra toujours la même direction. Si on l'écarte de sa position d'équilibre, elle va osciller et reprendre sa position initiale : elle est soumise à un champ magnétique : **le champ magnétique terrestre**.

Si on prend une aiguille mobile dans toutes les directions, on constate que l'aiguille est inclinée par rapport à l'horizontale.

Le plan du méridien magnétique ne se confond pas avec le plan du méridien géographique : une boussole n'indique donc qu'approximativement le nord géographique. Le **méridien magnétique** est le plan vertical contenant la direction du champ magnétique terrestre. Le **méridien géographique** est le plan défini par la verticale du lieu et l'axe de rotation de la Terre.

L'angle que font les deux plans s'appelle **la déclinaison magnétique D**. L'angle que fait le champ avec l'horizontale passant par le point considéré s'appelle **l'inclinaison magnétique I**. (Voir schéma ci-dessous).

La composante horizontale du champ magnétique terrestre est de l'ordre de  $2 \cdot 10^{-5} T$ .

La déclinaison magnétique D en un point varie au cours du temps.

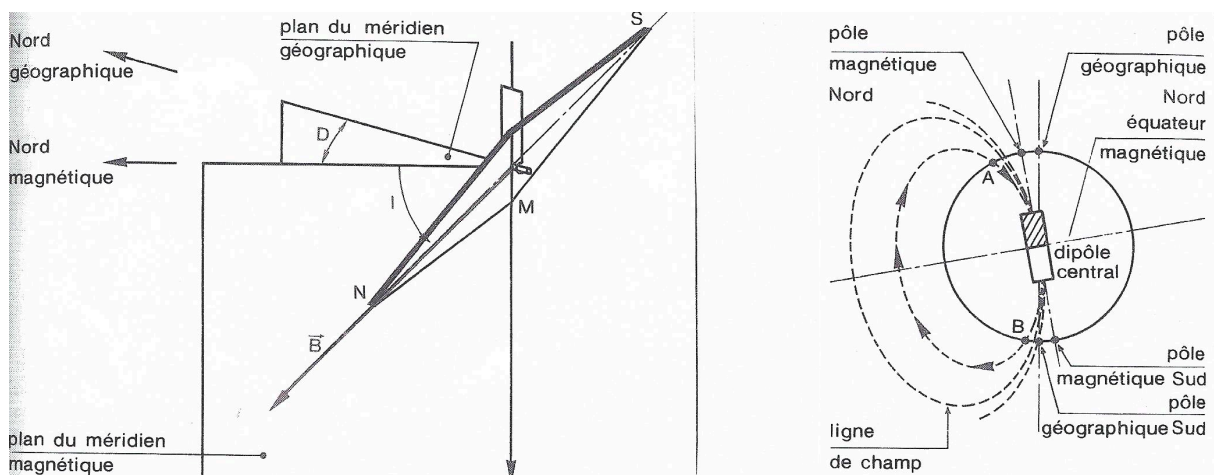
A Paris, elle valait  $8^\circ$  est en 1540,  $0^\circ$  en 1670,  $22^\circ$  ouest en 1800,  $4,5^\circ$  ouest en 1983.

Chez nous, la valeur de la déclinaison était plus ou moins nulle en 2007. Au premier janvier 2017, en Belgique (Uccle) la déclinaison magnétique était de 57 minutes d'angle à l'est du nord géographique. Elle subit une variation annuelle d'environ  $9'$  vers l'est.

L'inclinaison magnétique dépend du temps et du lieu considéré

On a pu, en étudiant des échantillons de roches volcaniques très anciennes, retracer l'évolution du champ magnétique depuis plusieurs millions d'années : l'intensité du champ a beaucoup varié au cours des âges. L'étude du champ montre qu'il existe des variations séculaires, des variations journalières, des variations accidentelles (orages magnétiques, foudre). Le champ magnétique s'est également inversé plusieurs fois depuis la création de la Terre. Durant certaines périodes, lors des inversions, le champ magnétique terrestre était donc nul. Certains scientifiques ont fait le lien entre ces périodes où le champ magnétique était nul et la disparition de certaines espèces animales ou végétales.

La Terre peut être assimilée à un très gros aimant droit. Le centre de la Terre est occupé par un noyau métallique de 3500km de rayon surtout constitué de fer. Celui-ci comporte une partie centrale solide et une partie externe liquide. On admet en général que le champ magnétique terrestre est produit par des courants dans la partie liquide externe du noyau.

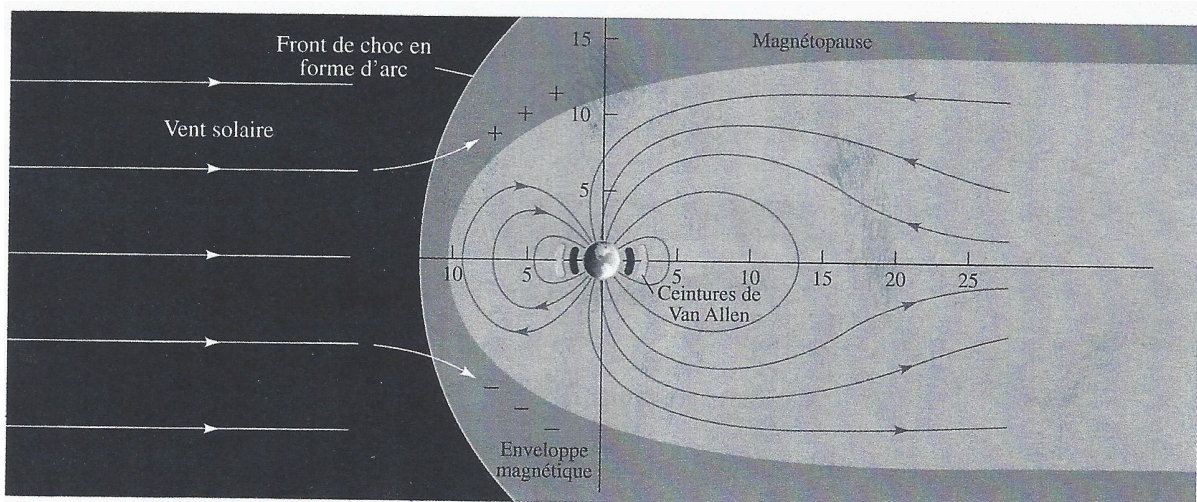


En 1958, lorsqu'on a lancé pour la première fois les satellites artificiels équipés de compteur Geiger, les chercheurs soviétiques et américains ont découvert un phénomène inattendu : les appareils signalaient une grande densité de particules énergétiques dans le voisinage de la Terre. Le champ magnétique de la Terre retient un grand nombre de particules : électrons, protons. Leur énergie et leur concentration dépendent de la distance par rapport à la Terre. Ces particules forment des anneaux ou des ceintures énormes encerclant la Terre autour de l'équateur géomagnétique. Il existe deux ceintures appelées **ceintures de Van Allen**. La ceinture inférieure commence à 2400 km et finit à 5600 km de la Terre. La ceinture extérieure est située entre 12000 et 20000 km. Elle contient des électrons et des protons d'énergie plus faible. La région entourant la Terre contenant les particules se déplaçant dans le champ magnétique s'appelle la **magnétosphère**.

Dès le 18<sup>ème</sup> S, on avait remarqué que le champ magnétique subissait des variations de brève durée : la déclinaison et l'inclinaison changent et oscillent parfois pendant de nombreuses heures, pour reprendre ensuite leur niveau précédent. Ce phénomène porte le nom d'**orage magnétique**.

Lors des perturbations du champ magnétique, on observe sous des hautes latitudes, des aurores boréales souvent visibles durant plusieurs heures. Les perturbations du champ s'accompagnent de l'altération des communications radio-électriques dans les régions polaires. Les orages magnétiques sont liés aux éruptions solaires qui apparaissent au cours de l'évolution du groupe des taches. Le rayonnement corpusculaire de soleil associé aux éruptions provoque des orages magnétiques. Le courant corpusculaire appelé vent solaire se déplace ordinairement à des vitesses moyennes de 1000 km/s, lors des éruptions, il arrive sur Terre un jour après l'observation. Ce courant (plasma en mouvement rapide) est freiné par le champ magnétique de la Terre qui s'oppose au déplacement du gaz ionisé perpendiculairement aux lignes de champ magnétique. Le courant s'arrête en déformant les lignes de champ. Donc cela provoque des perturbations. Les particules du vent solaire sont captées par le champ magnétique de la Terre et forment la ceinture extérieure. Ces particules émises par le soleil sont chargées.

Dans les régions polaires, les conditions sont moins favorables pour capturer les particules. Les électrons et les protons vont pénétrer dans l'atmosphère avec des énergies relativement faibles. Dans les couches supérieures de l'atmosphère, les particules du vent solaire fournissent un surcroît d'ionisation qui modifie la propagation des ondes radio et excite la lumière ce qui donne les aurores boréales dans le nord ou les aurores australes dans le sud.



### **Conséquences des éruptions solaires**

Les fluctuations du champ magnétique terrestre peuvent induire des courants dans les longues lignes de transmissions électriques et engendrer des tensions et des courants d'intensité considérable pouvant excéder les seuils de sécurité des équipements du réseau.

L'éruption solaire de 1859 a produit de très nombreuses aurores polaires visibles jusque dans certaines régions tropicales et a fortement perturbé les communications par télégraphe électrique.

Le 10 mars 1989 a lieu une forte éruption solaire. Deux jours plus tard des variations de tension au Québec provoquent des perturbations qui plongent le Québec dans le noir pendant plus de neuf heures.

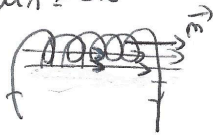
En octobre et novembre 2003, des orages magnétiques obligent les contrôleurs aériens à modifier le trajet de certains avions. Ces orages causent aussi des perturbations dans les communications avec les satellites, provoquent une panne de courant d'environ une heure en Suède et endommagent des transformateurs en Afrique du Sud.

En 2012 il y a eu de très fortes éruptions solaires mais heureusement, la matière n'a pas été éjectée vers la Terre.

Chaque année de nombreuses baleines s'échouent sur les plages, les tempêtes solaires pourraient en être responsables. Certaines espèces de baleines comme les baleines grises parcourent des milliers de km (parfois plus de 18000) des eaux chaudes vers les eaux plus froides pour mettre bas ou encore se nourrir. Ces périples seraient guidés par le champ magnétique terrestre. En cas d'orages magnétiques, les baleines pourraient être déboussolées.

Exercices (radénoisole = bobine)

1.  $l_{\text{bobine}} = 0,2 \text{ m}$   
 $d_{\text{bobine}} = 0,06 \text{ m}$   
 $N = 2000$   
 $I = 0,5 \text{ A}$   
 $\mu r = 240$



$$B = \mu \frac{IN}{l_{\text{bobine}}} \text{ avec } \mu = \mu_0 \cdot \mu r$$

$$B = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 240 \cdot \frac{0,5 \cdot 2000}{0,2} = 1,508 \text{ T}$$

$$\Phi = BS \cos \alpha \text{ avec } S = \pi r^2 = \pi \left(\frac{0,06}{2}\right)^2 = 0,002827 \text{ m}^2$$

$\swarrow$  section bobine       $\searrow$  angle entre la normale à la surface et les lignes de champ

Dans une bobine les lignes de champ sont // à la section des spires  $\Rightarrow$  // à la normale  $\alpha = 0^\circ$  Le flux est max

$$\Phi = 1,508 \cdot 0,002827 \cdot \cos 0^\circ = 0,00426377 \dots \text{ Wb}$$

2.  $l_{\text{bobine}} = 0,25 \text{ m}$   
 $d_{\text{bobine}} = 0,02 \text{ m}$   
 $I = 3 \text{ A}$   
 $B = 151 \cdot 10^{-5} \text{ T}$

Où on ne prend rien, dans la bobine il y a de l'air et  $\mu_{\text{air}} = 1$

$$B = \mu \frac{IN}{l_{\text{bobine}}} \Rightarrow 151 \cdot 10^{-5} = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{3 \cdot N}{0,25}$$

$$N = 100,13 \dots \approx 100$$

$$l_{\text{fil}} = N \cdot P$$

$\swarrow$  périmètre d'une spire

Si la spire est circulaire

$$l_{\text{fil}} = N \pi d_{\text{bobine}} \quad d_{\text{bobine}} = d_{\text{spire}}$$

$$l_{\text{fil}} = 100 \pi \cdot 0,02 = 6,28 \text{ m}$$

3. bobine 1  $l_1 = 0,4 \text{ m}$   
 $d_{\text{fil}} = 0,5 \text{ mm} = 0,0005 \text{ m}$

Spires jointives (qui se touchent)

- bobine 2  $N_2 = 5 \cdot 1000 = 5000$   
 $l_2 = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$

Si les spires sont jointives

$$l_{\text{bobine}} = N d_{\text{fil}}$$

$\downarrow$   
nombre spires par couche

$$I_1 = I_2$$

(a)  $\frac{B_1}{B_2} ? \quad N_1 = \frac{l_1}{d_{\text{fil}}} = \frac{0,4}{0,0005} = 800$

$$\frac{B_1}{B_2} = \frac{\mu \frac{I_1 N_1}{l_1}}{\mu \frac{I_2 N_2}{l_2}} = \frac{800}{\frac{5000}{0,5}} = 0,2$$

$$\frac{B_1}{B_2} = \frac{1}{5}$$

(pas de barre  $\Rightarrow$  met dans l'air)

(b)  $\frac{\Phi_1}{\Phi_2} ?$  où  $d_2 = 2d_1$   
 $\Rightarrow r_2 = 2r_1$

$$\text{or } S = \pi r^2 \Rightarrow S_2 = 4S_1$$

$$\left| \frac{\Phi_1}{\Phi_2} \right| = \frac{B_1 S_1 \cos 0^\circ}{B_2 S_2 \cos 0^\circ} = \frac{1 \cdot \frac{1}{5}}{5 \cdot 4} = \left| \frac{1}{20} \right|$$

$$\text{car } \frac{B_1}{B_2} = \frac{1}{5} \text{ et } \frac{S_1}{S_2} = \frac{1}{4}$$

4.  $l_{\text{bobine}} = 0,5 \text{ m}$

$N = 500$

$d_{\text{bobine}} = 0,04 \text{ m} \Rightarrow r_{\text{bobine}} = 0,02 \text{ m}$

$\mu_n = 2650$

$\phi = 10^{-3} \text{ Wb}$

a)  $B?$   $\boxed{\phi = BS \cos \alpha}$

Dans une bobine  $\alpha = 0^\circ$

$S = \pi r^2 = \pi (0,02)^2 = 0,0012566 \dots \text{ m}^2$

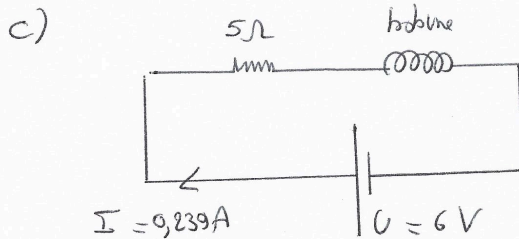
$\Rightarrow 10^{-3} = B \cdot 0,0012566 \dots \cdot \cos 0^\circ$

$\boxed{B = 0,796 \text{ T}}$

b)  $B = \mu \frac{IN}{l_{\text{bobine}}}$  avec  $\mu = \mu_0 \mu_n$

$0,796 = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2650 \cdot \frac{I \cdot 500}{0,5}$

$0,796 = 3,3300882 \dots \cdot I \Rightarrow \boxed{I = 0,239 \text{ A}}$



Loi d'ohm  $\Rightarrow R = \frac{U}{I}$

$R_{\text{totale}} = \frac{6}{0,239} = 25,1 \Omega$

$\boxed{R_{\text{bobine}} = 25,1 - 5 = 20,1 \Omega}$

5. Reponses

a)  $l_{\text{fil}} = 471,239 \text{ m}$

b)  $\phi = 0,00518 \text{ Wb}$

$R = 1200 \Omega$