

LE CHAMP MAGNETOSTATIQUE*: UNE INTRODUCTION



* On appelle **champ magnétostatique** un **champ magnétique indépendant du temps** (programme de PTSI). Beaucoup de livres parlent simplement de champs magnétiques qui peuvent, ou pas, dépendre du temps

0-Action d'un champ sur les particules

Sources

Champs

Effets

Masse M

produit



Champ gravitationnel \vec{g}

affecte



Les autres masses

via

$$\vec{F} = m \vec{g}$$

Charge Q

produit



Champ électrique \vec{E}

affecte



Les autres charges

via

$$\vec{F} = q \vec{E}$$

Charge en mouvement
(courant)

produit



Champ magnétique \vec{B}

affecte



Les autres charges
en mouvement (courant)

via

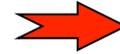
$$\vec{F} = q \vec{v} \wedge \vec{B}$$

$$\vec{F} = I \vec{\ell} \wedge \vec{B}$$

1-Sources et effet d' un champ magnétostatique

Source: les charges en mouvement

- Charge libre possédant une vitesse dans un référentiel donné
- Courant électrique (écoulement de charges dans un conducteur)
 - Aimant. Il y a des courants électriques ordonnés dans la matière à l'échelle atomique: mouvement des électrons autour du noyau mais surtout le spin des électrons, c'est à dire leur « rotation » sur eux même



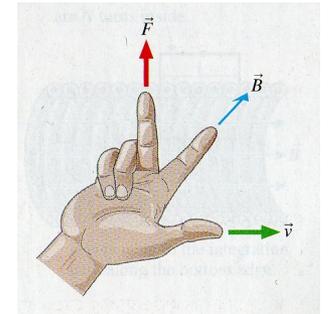
production: Champ magnétique

champ vectoriel \vec{B}
en tout point de l'espace



Effet: Force sur les particules chargées en mouvement

- Une particule de charge q , animée d'une vitesse \vec{v} , dans un référentiel donné, va subir la **force de Lorentz**: $\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$
- Un conducteur parcouru par un courant électrique va subir une force car chaque porteur de charge va subir la force de Lorentz
- Un aimant va aussi subir une force car il possède des courants à l'échelle atomique



Remarques:

- Nous reparlerons en détail de la force de Lorentz dans le prochain chapitre
- Les seules sources du champ magnétique au programme de PTSI sont **les courants filiformes permanents**

2-Le champ magnétostatique et les lignes de champ

Il s'agit du même concept que dans le cas du champ électrostatique. Les lignes de champ magnétostatique sont **des lignes tangentes**, dans une région de l'espace, au vecteur champ magnétostatique et dirigées suivant ce vecteur

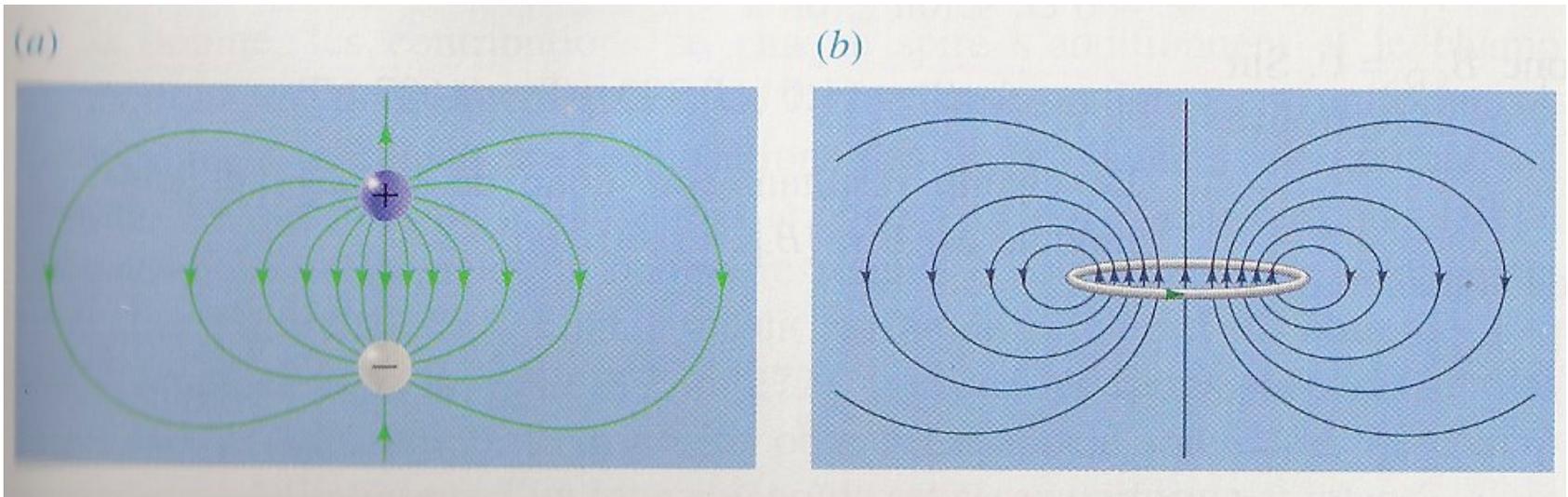


Figure 9.13 ◀

Les lignes de champ pour (a) un dipôle électrique et (b) un dipôle magnétique. Bien que les champs en des points éloignés semblent similaires, les champs au voisinage des dipôles sont de sens opposés.

On constate que:

Les lignes de champ magnétostatique sont **fermées et tournent autour des distributions de courant en suivant la règle de la main droite**

Il s'agit d'un comportement très différent des lignes de champ électrostatique qui divergent des charges plus et convergent vers les charges moins (**il n'y a pas de charges magnétiques**)

$$1 \text{ T} = 1 \text{ N.s.C}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} = 1 \text{ N.A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$$

TABLE 32-1 Typical Values of Some Magnetic Fields^a

Location	Magnetic Field (T)
At the surface of a neutron star (calculated)	10^8
Near a superconducting magnet	5
Near a large electromagnet	1
Near a small bar magnet	10^{-2}
At the surface of the Earth	10^{-4}
In interstellar space	10^{-10}
In a magnetically shielded room	10^{-14}

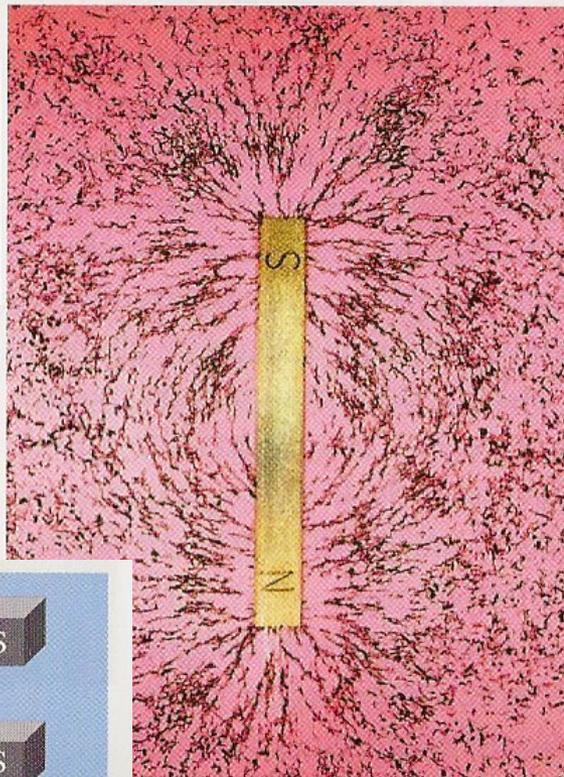
^a Approximate values.

3-Sources du champ magnétostatique: les aimants permanents

Figure 8.2 ▶

(a) La configuration de la limaille de fer autour d'un barreau aimanté. (b) Les lignes du champ magnétique d'un barreau aimanté. Les lignes forment des boucles fermées.

(a)



(b)

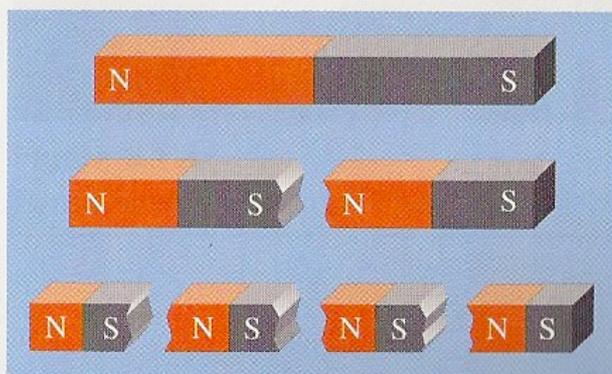
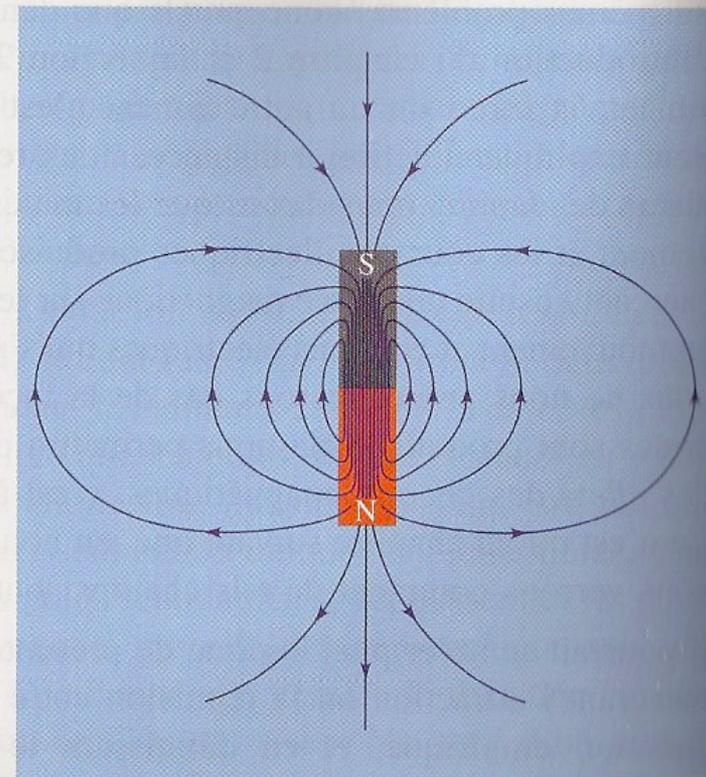


Figure 8.3 ▲

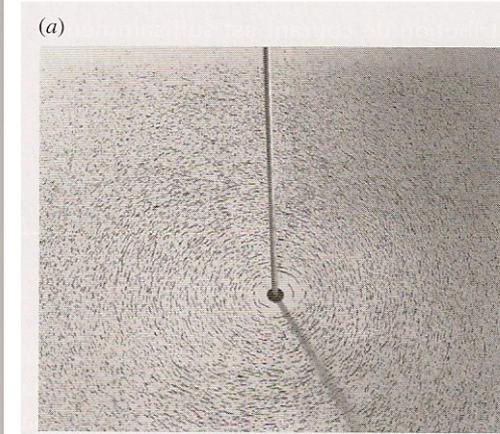
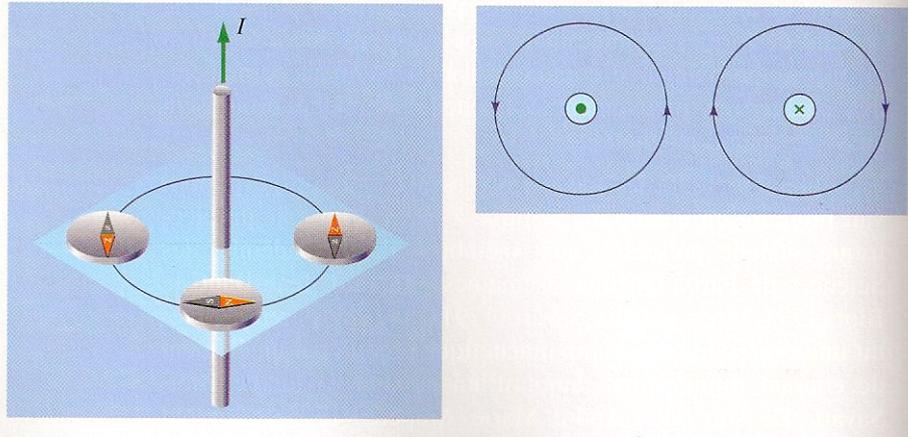
Lorsqu'on coupe un aimant, on obtient deux aimants plus petits. Il n'est pas possible d'isoler le pôle nord ou le pôle sud.

4-Source du champ magnétostatique: Les courants électriques

Fil conducteur rectiligne

Figure 9.1 ▶

(a) La configuration de la limaille de fer autour d'un long conducteur rectiligne parcouru par un courant. Par définition, les lignes de champ suivent l'orientation de la limaille et ont donc la forme de cercles.
 (b) La forme circulaire des lignes de champ magnétique peut également être mise en évidence à l'aide d'une boussole.
 (c) Une des lignes de champ magnétique associée à un courant sortant de la page (point) et entrant dans la page (croix).



Boucle (spire) de courant

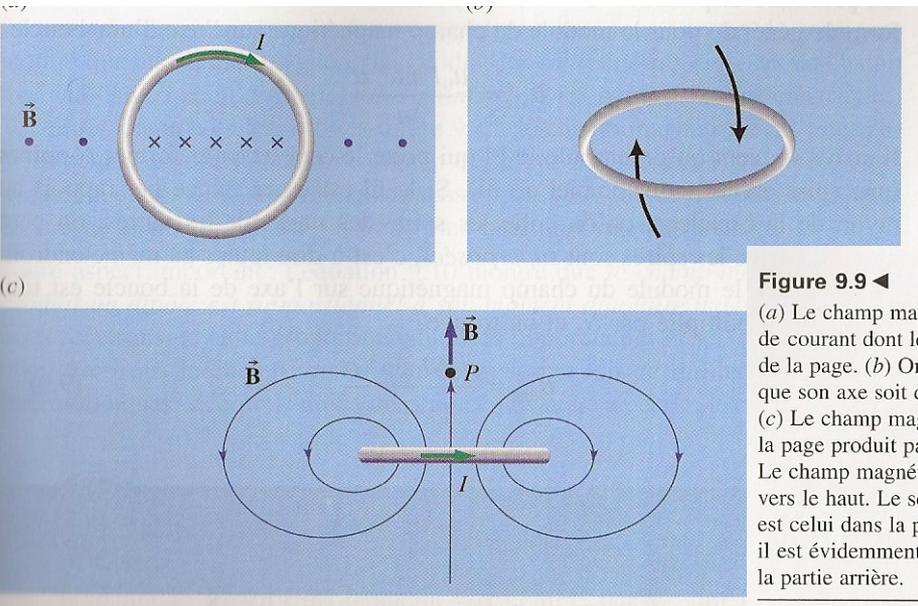


Figure 9.9 ◀

(a) Le champ magnétique d'une boucle de courant dont le plan coïncide avec le plan de la page. (b) On fait pivoter la boucle pour que son axe soit dans le plan de la page. (c) Le champ magnétique dans le plan de la page produit par la boucle de courant. Le champ magnétique au point P est vers le haut. Le sens du courant illustré est celui dans la partie *avant* de la boucle ; il est évidemment vers la gauche dans la partie arrière.



Figure 9.10 ◀

La configuration de la limaille de fer associée à une boucle parcourue par un courant.

Sept spires

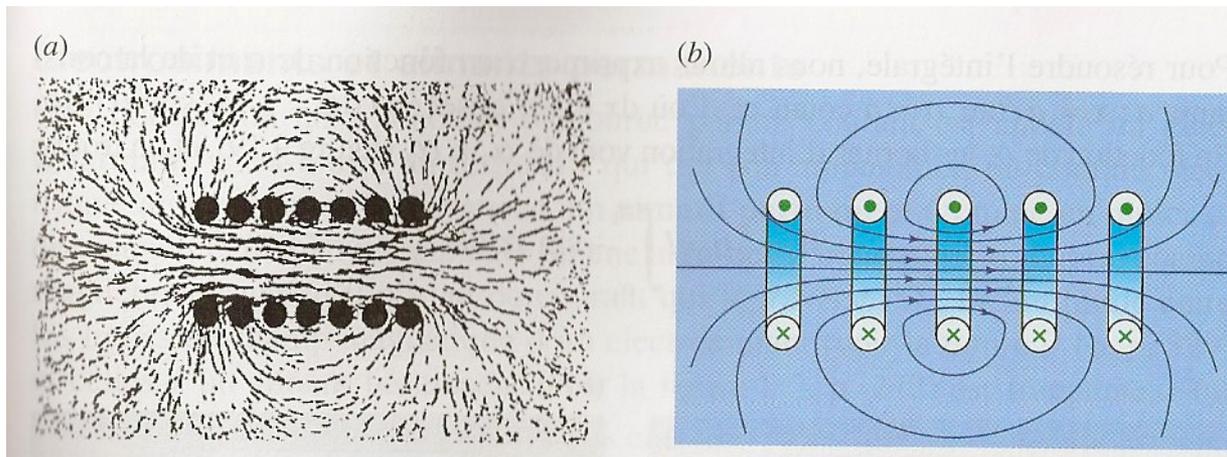


Figure 9.16 ◀

(a) La configuration de la limaille de fer dans le cas de sept spires. (b) Les lignes de champ magnétique dans le cas de cinq spires.

Solénoïde

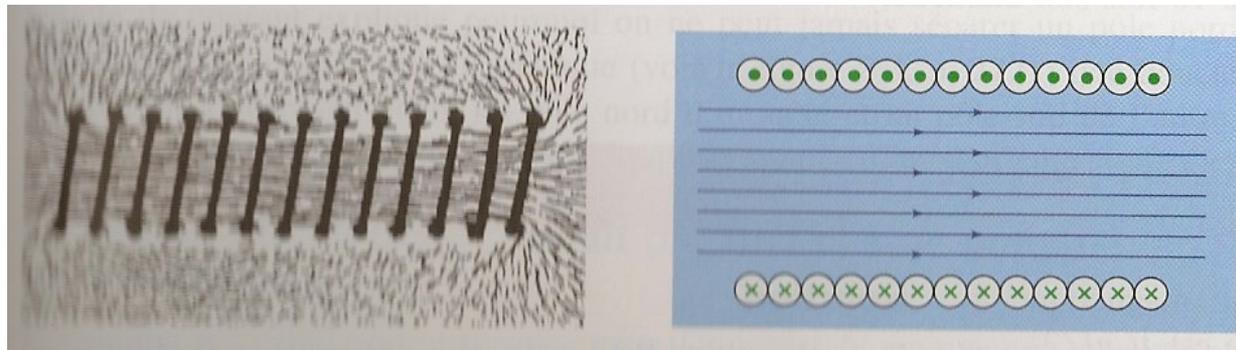


Figure 9.17 ◀

Le champ magnétique à l'intérieur d'un long solénoïde est uniforme. À l'extérieur, il est pratiquement nul.

5-Le champ magnétostatique et ces effets: Force magnétique de Lorentz

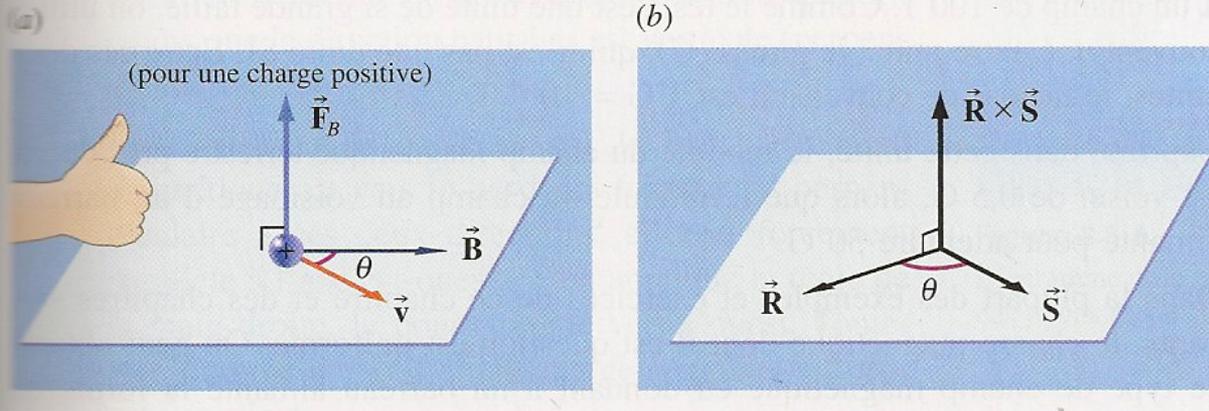


Figure 8.4 ◀

(a) La force magnétique \vec{F}_B agissant sur une particule de vitesse \vec{v} dans un champ magnétique \vec{B} est perpendiculaire à la fois à \vec{v} et à \vec{B} . (b) D'après la règle de la main droite, si on oriente les doigts de la main droite (sauf le pouce) selon \vec{R} et qu'on les replie pour qu'ils s'alignent sur \vec{S} , alors le pouce pointe selon $\vec{R} \times \vec{S}$.

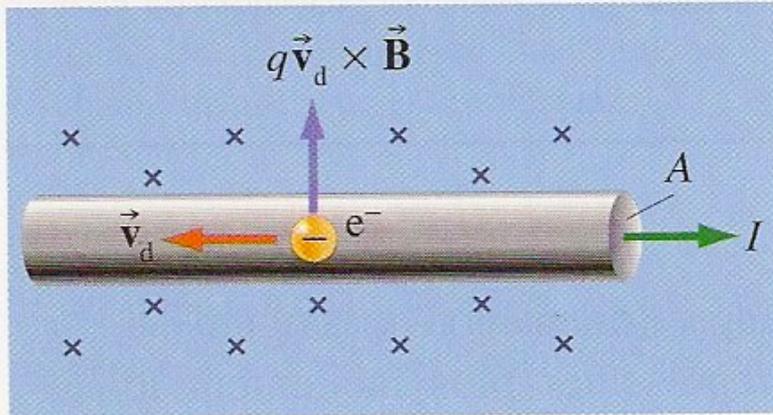


Figure 8.10 ▲

Lorsqu'un courant circule dans un fil, la force magnétique sur les électrons en mouvement est transmise au fil.

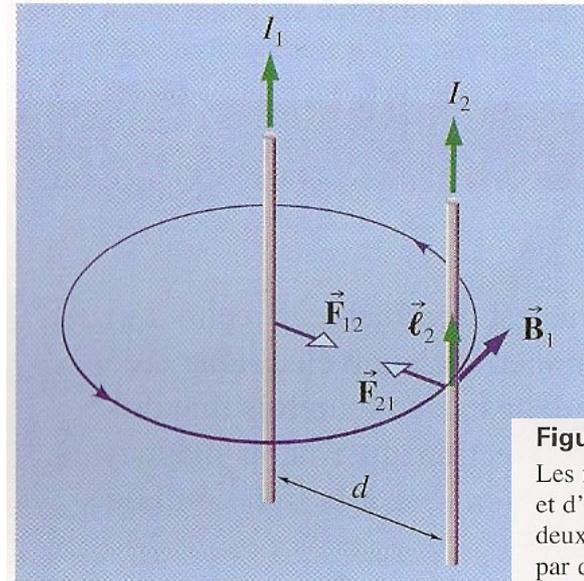


Figure 9.4 ▲

Les forces magnétiques de même module et d'orientations opposées exercées par deux fils conducteurs parallèles parcourus par des courants. La force est répulsive si les courants sont de sens opposés. (Notons que la force \vec{F}_{12} est illustrée sur le fil 1, mais que le champ \vec{B}_2 qui la cause, lui, n'est pas illustré.)

6-Exemple du champ magnétique terrestre et solaire

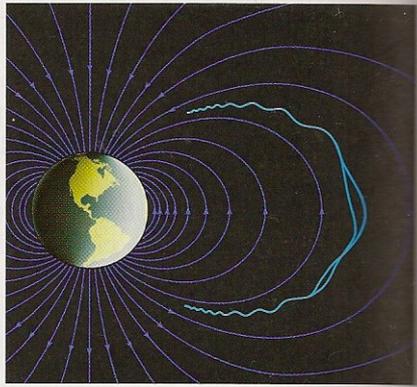
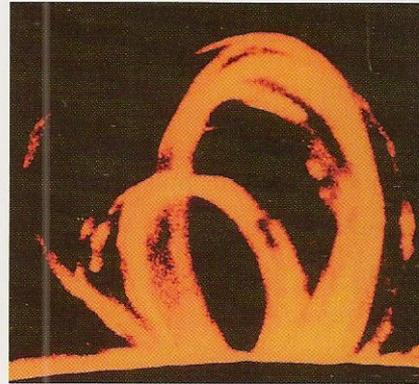


Figure 8.29 ▲

Les protons et les électrons de l'espace sont confinés par le champ magnétique terrestre.



La forme de ces éruptions solaires montre qu'une force centripète agit sur elles. La seule façon d'expliquer cela est de concevoir que le Soleil produit un puissant champ magnétique.

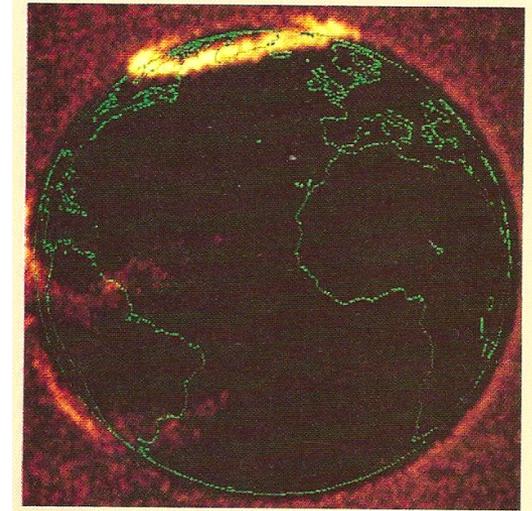


Image colorée d'une aurore boréale tirée de données obtenues par un satellite situé à une distance d'environ trois fois le rayon de la Terre du pôle Nord. Les longueurs d'onde mesurées sont les raies de 130,4 nm et 135,6 nm émises par l'oxygène. L'aurore observée résulte de l'interaction des électrons contenus dans le vent solaire avec les atomes de l'ionosphère. Le mouvement des électrons est déterminé de façon complexe par le champ magnétique terrestre.

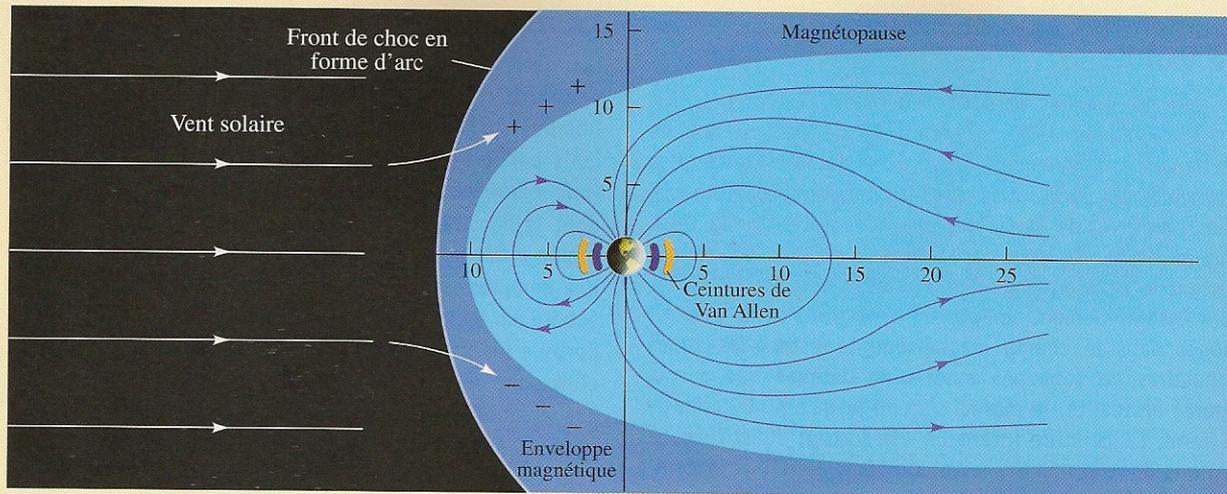


Figure 9.49 ▲

Le champ magnétique terrestre observé à grande échelle est très différent de celui d'un dipôle. La déformation est créée par le « vent solaire », qui est un flux de particules chargées émanant du Soleil.