

Prenons la clé des champs ... magnétiques !

Hubert Baty, Observatoire astronomique de Strasbourg

hubert.baty@unistra.fr



Recherche google: 'Magnétisme'

<https://www.sante-sur-le-net.com/sante-quotidien/therapies/magnetisme/>

Guérisseur, rebouteux voire sorcier sont autant de termes employés pour décrire un magnétiseur. D'abord vénéré puis décrié, le magnétisme est une discipline ancestrale qui se fait de plus en plus présente dans notre société actuelle. La relation des médecins avec les magnétiseurs, ou plus généralement les guérisseurs, est encore ambiguë : à la fois de la défiance et de la collaboration. Officiellement, les deux pratiques s'opposent, l'une est savante, apprise en universités ou en écoles, tandis que l'autre est empirique et transmise par les anciens. Elles ont toujours cohabité depuis l'Antiquité avec plus ou moins de difficultés. Aujourd'hui, considérée comme une médecine alternative, le magnétisme intervient là où la médecine conventionnelle échoue, par exemple en cas de zona, stress, douleurs chroniques, etc. Cependant, la prudence est de rigueur, car le magnétisme n'est pas une science qui se prouve, et bon nombre d'imposteurs s'en donne à cœur joie.

- 1. Les sources de champ magnétique**
- 2. De l'expérience d'Oersted à la théorie d'Ampère**
- 3. Champs magnétiques d'astres en rotation, et les colères du champ magnétique solaire**
- 4. La fusion thermonucléaire par confinement magnétique**

Plan du premier cours

- 1. Aimants**
- 2. Courants électriques**
- 3. Autre mise en évidence du champ magnétique**
- 4. Astres**

1. Aimants

Alliage de Fer

-> Oxyde de fer

”

-> Fer/néodyme/bore

Alliage de métaux

-> Aluminium/nickel/cobalt
ou AlNiCo



Sources de champ magnétique

Tableau périodique des éléments

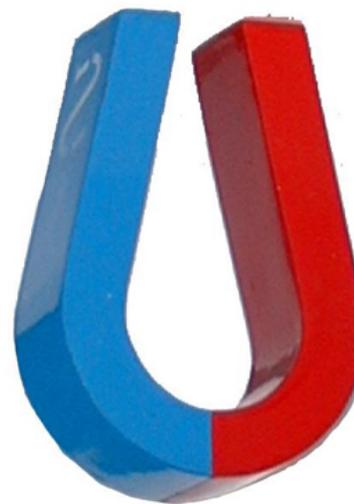
																		Numéro atomique: 6 Principaux nombres d'oxydation: (Le plus fréquent est en gras)					C Symbole de l'élément Masse atomique Electronegativité									
																		Nom: Carbone (2c): deux électrons célibataires (3p): trois paires d'électrons														
																		Al														
																		Fe														
																		Co														
																		Ni														
																		Nd														

Métaux	Métaux de transition	Non métaux	Gaz rares et inertes
--------	----------------------	------------	----------------------

Éléments artificiels

* Signifie élément radioactif (instable)

1. Aimants : mise en évidence du champ magnétique ?



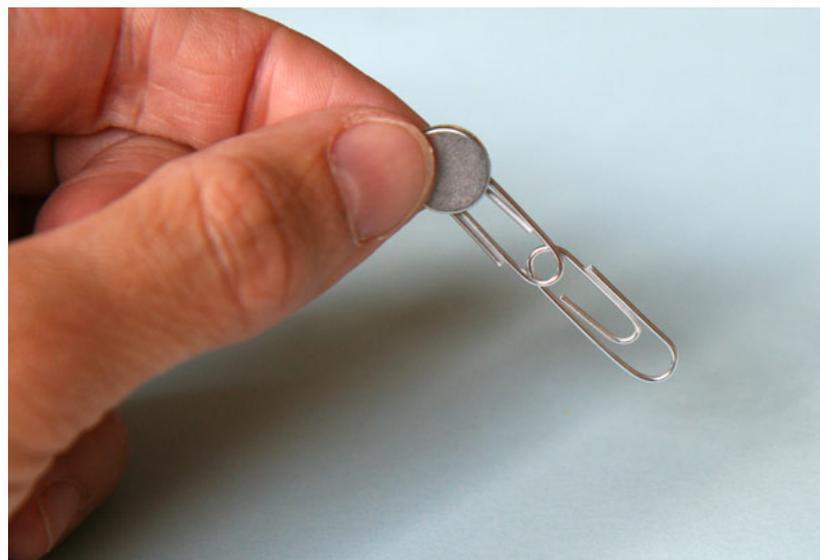
1. Aimants : mise en évidence de la force magnétique !



Limaille de fer = fer en poudre

=> Force qui attire certains métaux comme le Fer

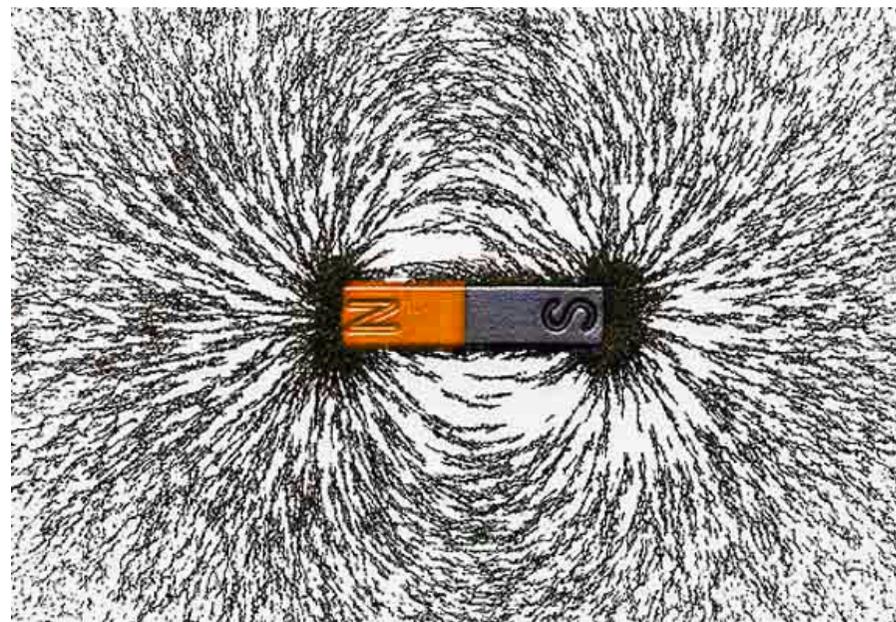
1. Aimants : mise en évidence de la force magnétique !



trombones en acier

=> Force qui attire certains métaux comme le Fer

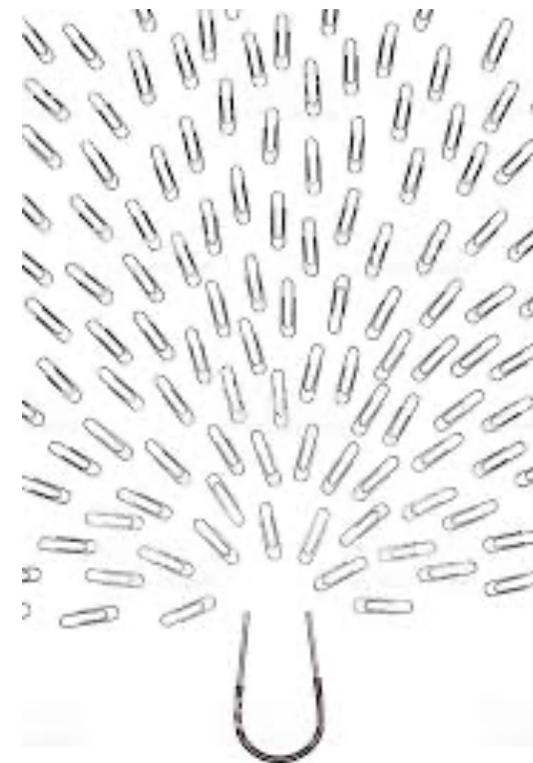
1. Aimants : mise en évidence de la force magnétique !



Limaille de fer sur un support neutre

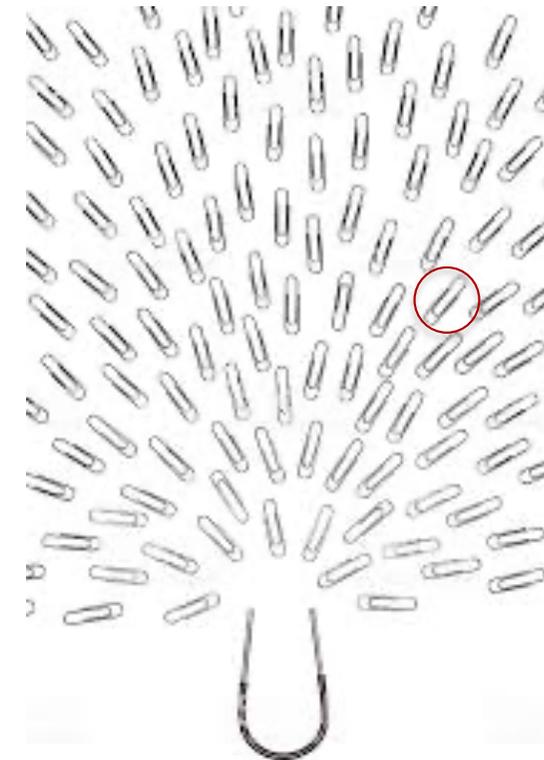
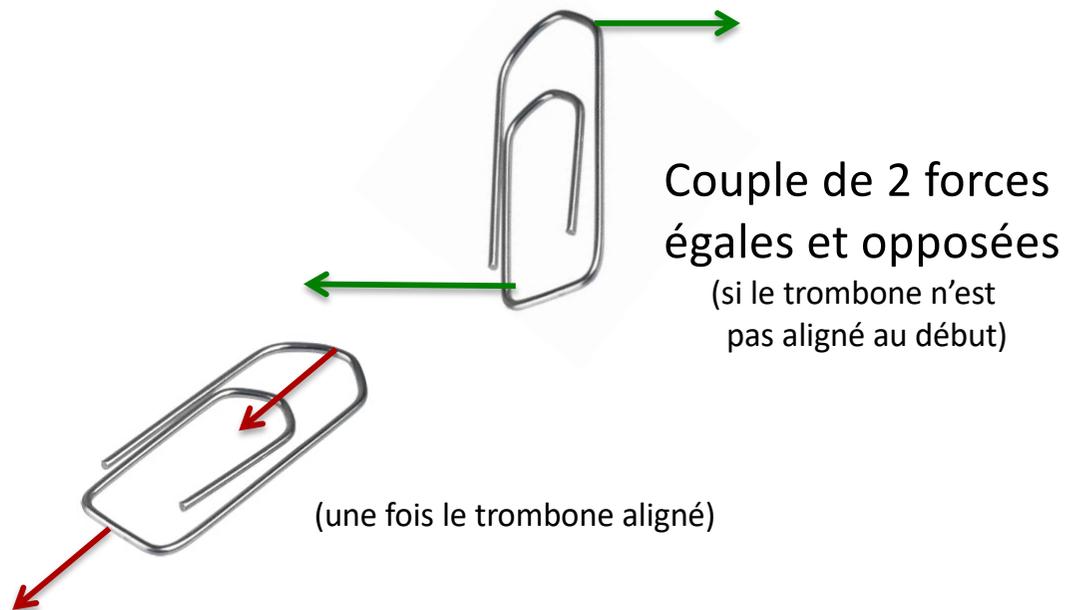
=> Force qui en plus oriente certains métaux comme le Fer

1. Aimants : mise en évidence de la force magnétique !



=> Force qui en plus oriente certains métaux comme le Fer

1. Aimants : mise en évidence de la force magnétique !

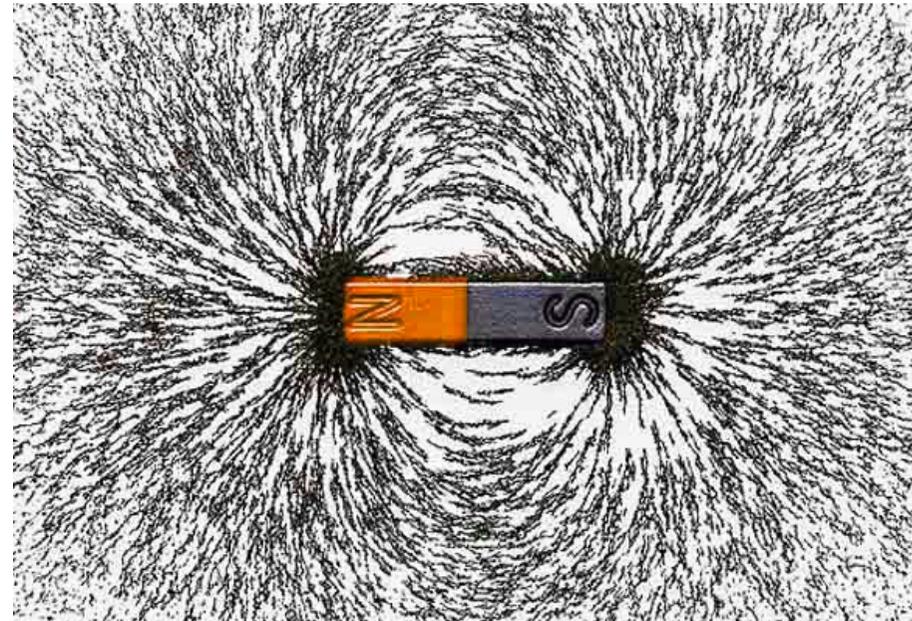


=> Force qui attire et oriente certains métaux comme le Fer

1. Aimants : mise en évidence de la force magnétique !

Lignes apparaissent qui traduisent
la variation spatiale de la force

=> Lignes du champ magnétique

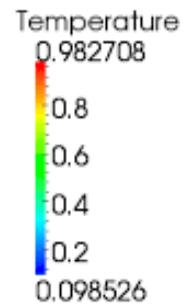
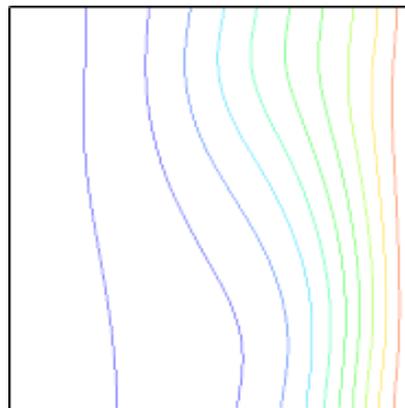


Limaille de fer sur un support neutre

=> Force qui attire et oriente certains métaux comme le Fer

1. Aimants : mise en évidence de la force magnétique !

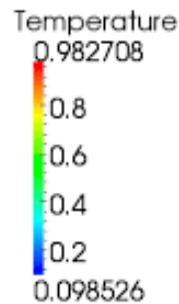
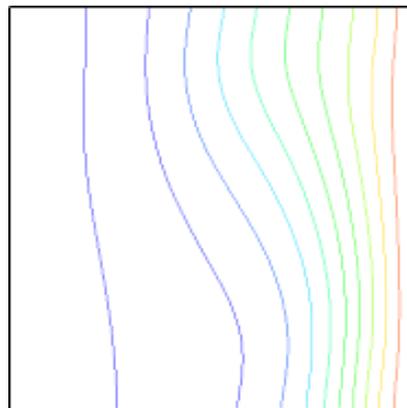
Définition mathématique de champs => Champ scalaire: exemple température $T(x, y, z)$



isocontours de T

1. Aimants : mise en évidence de la force magnétique !

Définition mathématique de champs => Champ scalaire: exemple température $T(x, y, z)$

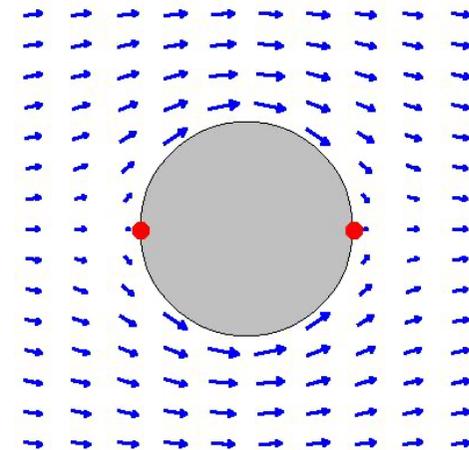


isocontours de T

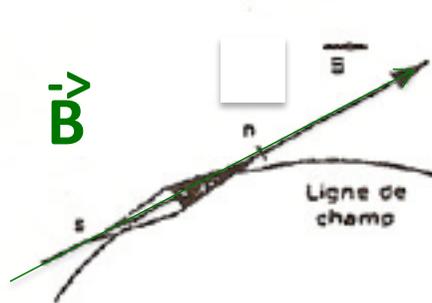
Définition mathématique de champs
=> Champ vectoriel: exemple vitesse

->
 $V(x, y, z)$

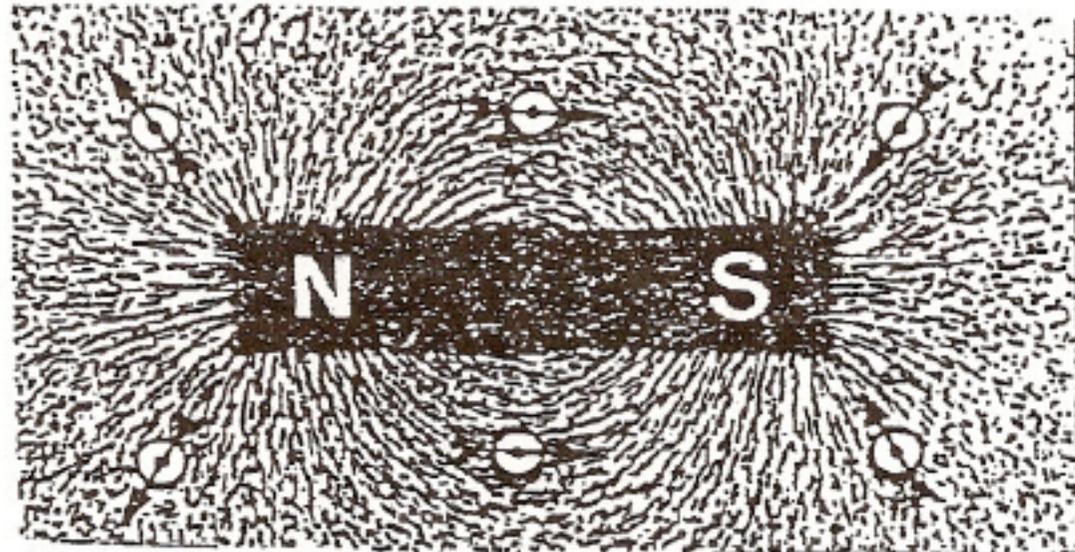
Écoulement fluide/obstacle



1. Aimants : mise en évidence du champ (ou force) magnétique !



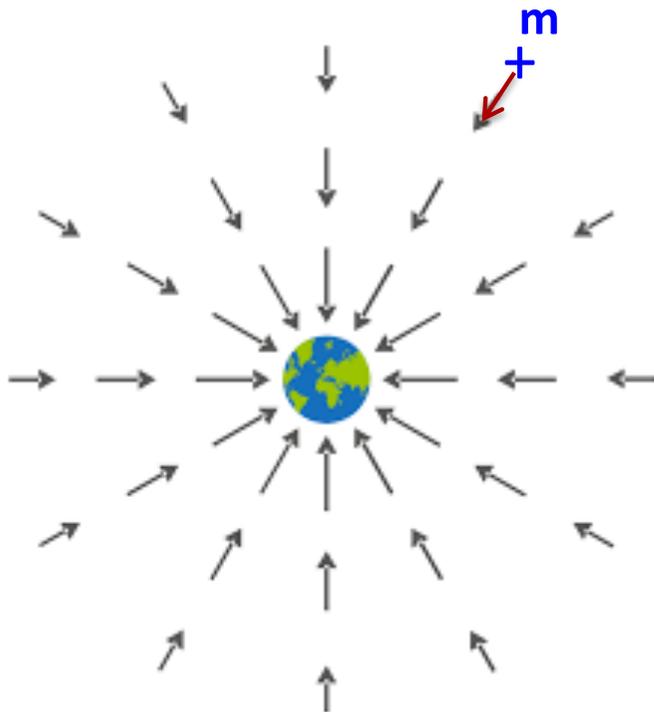
->
Champ \vec{B} tangent aux lignes
appelé champ magnétique



=> Force qui attire/repousse et oriente (avec **un sens**) l'aiguille d'une boussole

Une boussole va indiquer un pôle de l'aimant (pôle SUD magnétique)
=> Lignes du champ magnétique sont orientées et entrent dans le SUD

1. Aimants : mise en évidence du champ (ou force) magnétique !



Différence entre champ et force : cas de la gravitation

Loi de Newton (de la gravitation universelle) - 1687

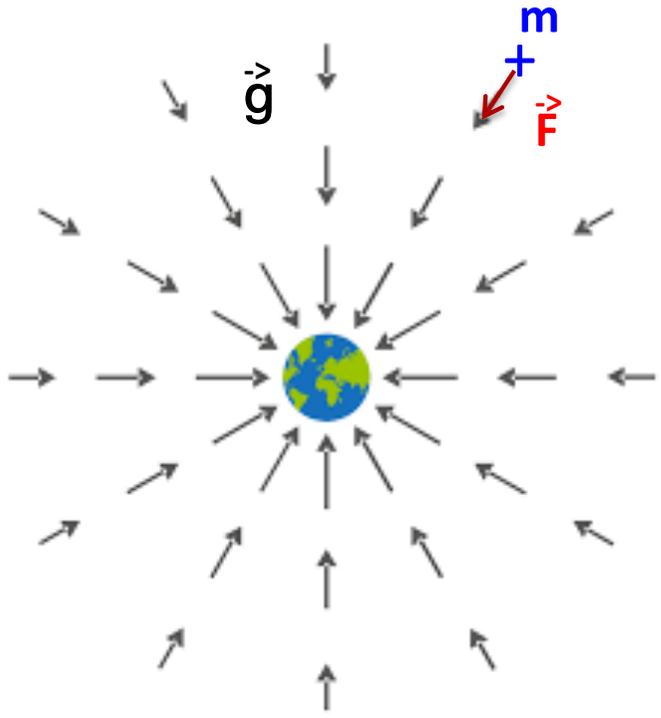
$$\text{Force} = G \frac{m M}{d^2} \quad \text{et est radiale}$$

d : distance entre m et M

M : masse de la Terre

G : constante de la gravitation $\rightarrow 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$

1. Aimants : mise en évidence du champ (ou force) magnétique !



$$g = G M/d^2$$

Différence entre champ et force : cas de la gravitation

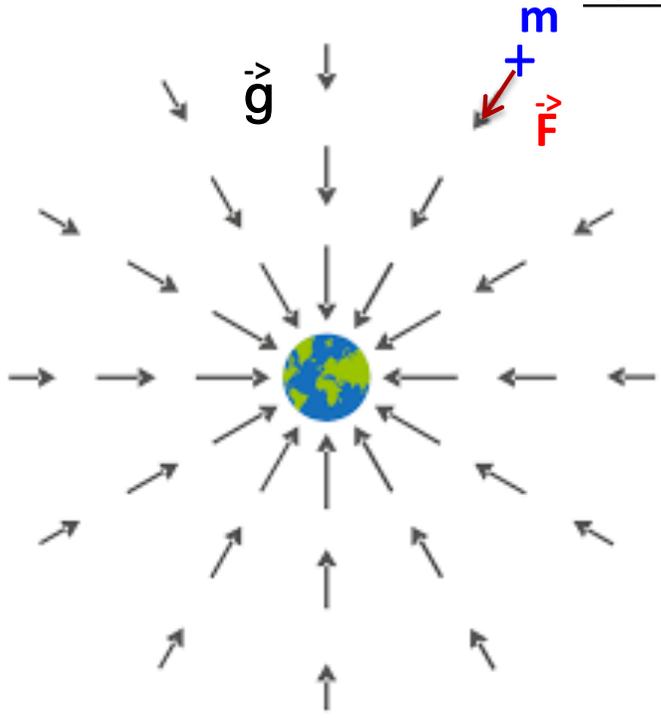
- . La force n'existe qu'en présence d'un corps caractérisé par une masse m
- . Le champ est une entité mathématique notée \vec{g}

Relation entre les deux : $\vec{F} = m \vec{g}$

(F est le poids au niveau de la surface terrestre)
Unité pour g -> N/kg ou m/s² donc -> accélération !

1. Aimants : mise en évidence du champ (ou force) magnétique !

Le champ de gravitation est une propriété de l'espace autour de M



$$g = G M/d^2$$

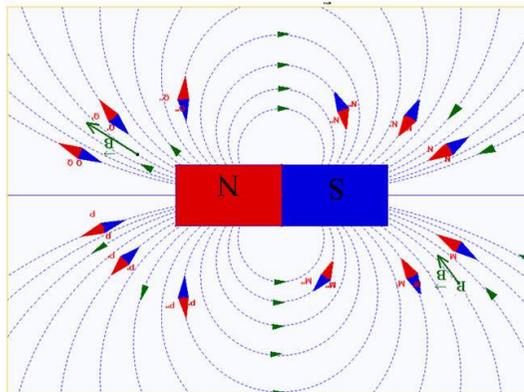
Différence entre champ et force : cas de la gravitation

- . La force n'existe qu'en présence d'un corps caractérisé par une masse m
- . Le champ est une entité mathématique notée \vec{g}

Relation entre les deux : $\vec{F} = m \vec{g}$

(F est le poids au niveau de la surface terrestre)
Unité pour g -> N/kg ou m/s² donc -> accélération !

1. Aimants : mise en évidence du champ (ou force) magnétique !



Différence entre champ et force : cas magnétique

- . La force n'existe qu'en présence d'un corps caractérisé par ?
- . Le champ est une entité mathématique notée \vec{B}

Relation entre les deux ?
unité pour B ?

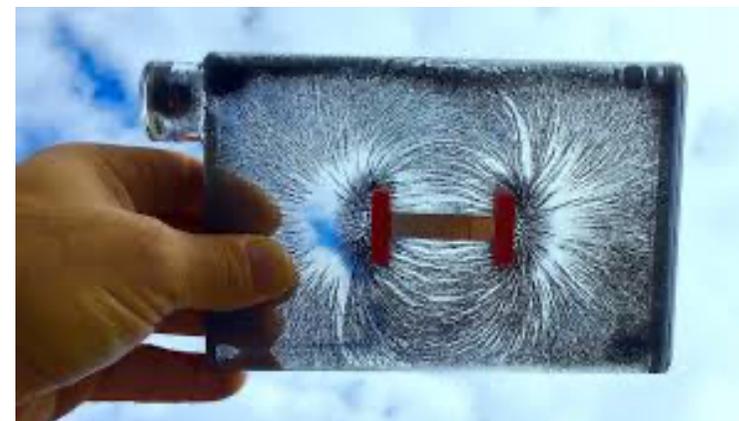
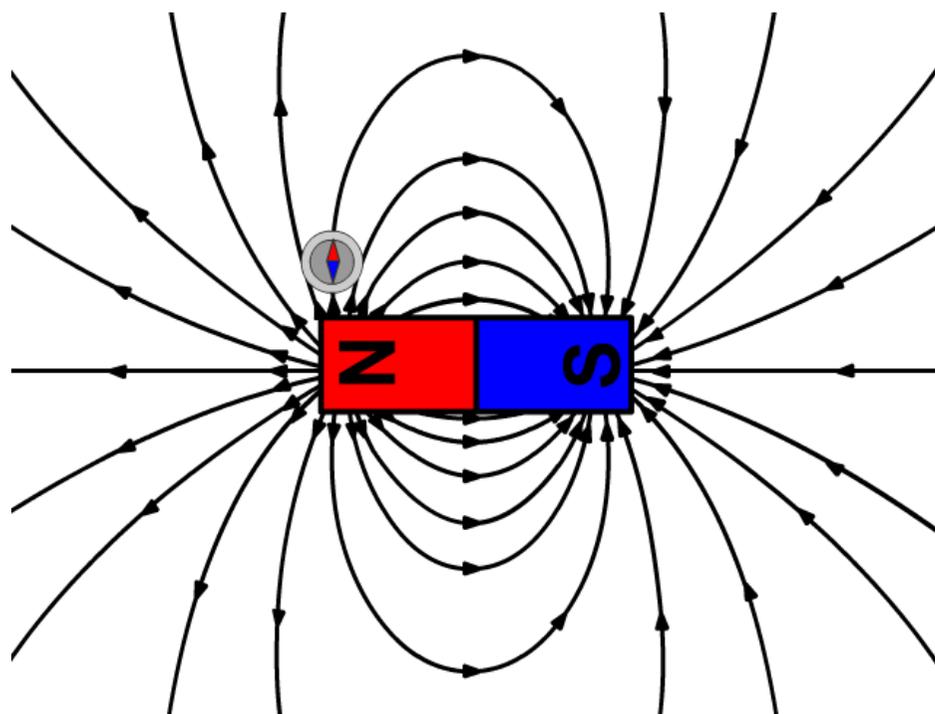
'masse magnétique'
(unité n'est pas kg)

1. Aimants : mise en évidence du champ (ou force) magnétique !

Différence entre un aimant et l'aiguille d'une boussole ?

En effet, l'aiguille d'une boussole se comporte comme un mini-aimant

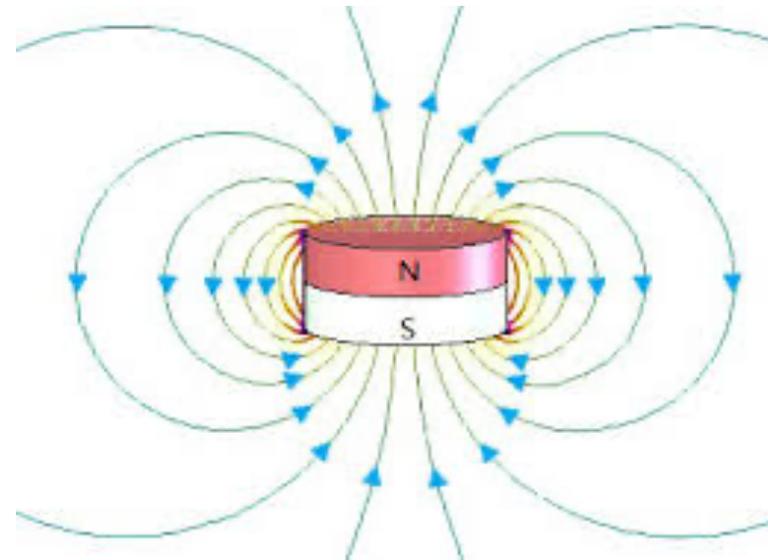
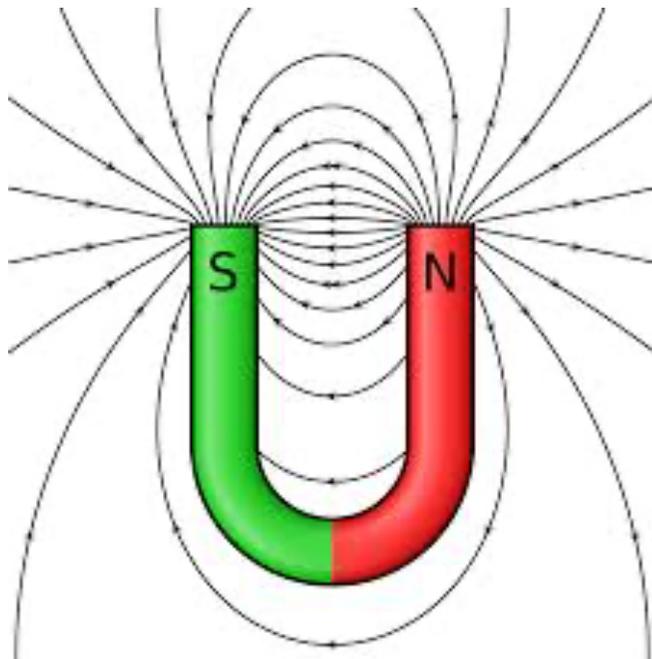
1. Aimants : mise en évidence du champ (ou force) magnétique !



(fluide visqueux)

Le champ est tri-dimensionnel

1. Aimants : différentes topologies de champ magnétique



Le champ magnétique décroît aussi avec la distance à l'aimant

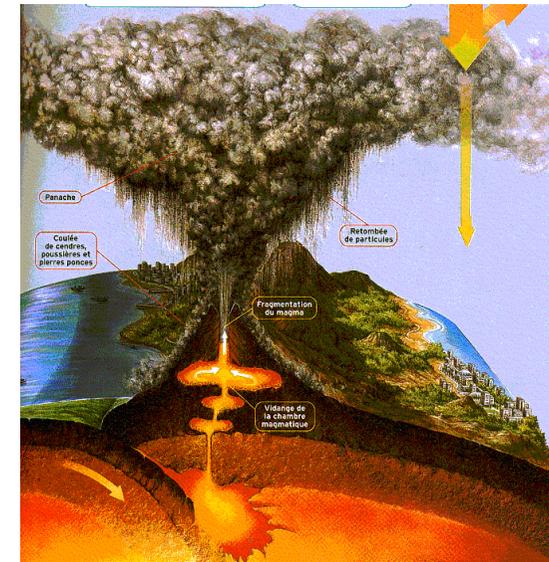
1. Aimants : il existe aussi des aimants naturels



1. Aimants : il existe aussi des aimants naturels



Minerai de magnétite (alliage de Fer: Fe_3O_4)
dans les roches magmatiques
-> magnétisation acquise lors de l'éruption
(refroidissement)



-> 'image' du champ magnétique terrestre
au moment de l'éruption

=> utilisée par le Paléomagnétisme

1. Aimants : il existe aussi des aimants naturels



**Minerai de magnétite (alliage de Fer : Fe_3O_4)
dans les roches magmatiques**



Premières boussoles
Chine – avant JC ?

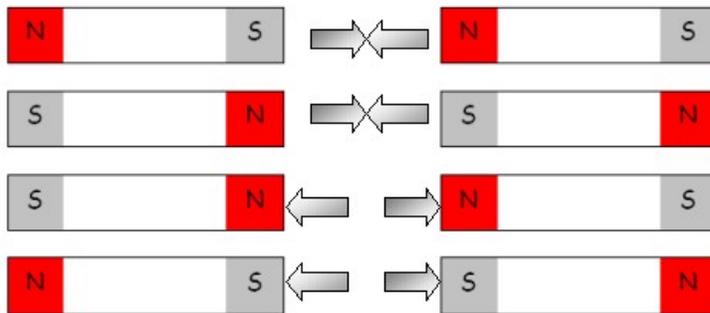
Première référence attestée : en 1200 environ
-> aiguille aimantée obtenue en frottant une
aiguille en fer sur sur une roche de magnétite

1. Aimants : il existe aussi des aimants naturels

Orientation des oiseaux (pigeons) -> cristaux de magnétite au niveau du crâne ?

Minerai de magnétite (alliage de Fer : Fe_3O_4)
dans les roches magmatiques

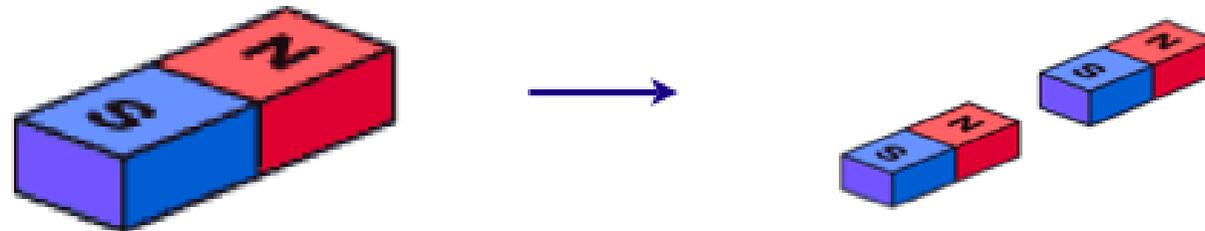
1. Aimants : propriétés mystérieuses



<- Attraction/répulsion

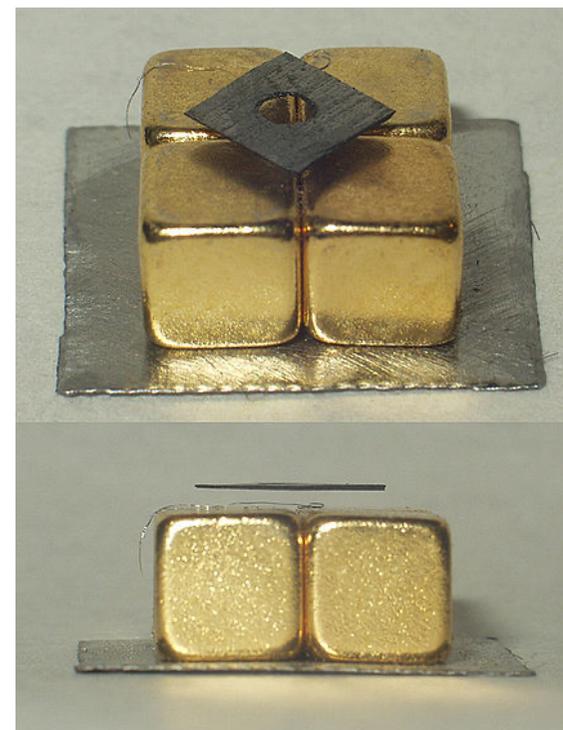
Pas de mono-pole

- Casser un aimant en deux parties :



1. Aimants : peut aussi repousser certains matériaux ...

Carbone pyrolytique
ou effet léger avec de l'eau



1. Aimants : résumons toutes nos questions

- Intérieur de l'aimant -> source du champ ?
- Propriété dipolaire de l'aimant (pas de mono-pole) ?
- Comment est fabriqué un aimant ?

1. Aimants : résumons toutes nos questions

- Intérieur de l'aimant -> source du champ ?
- Propriété dipolaire de l'aimant (pas de mono-pole) ?
- Comment est fabriqué un aimant ?

- Différence entre aiguille d'une boussole et un aimant ?
- Différence entre aiguille et Fer (limaille) dans le champ d'un aimant ?

1. Aimants : résumons toutes nos questions

- Intérieur de l'aimant -> source du champ ?
- Propriété dipolaire de l'aimant (pas de mono-pole) ?
- Comment est fabriqué un aimant ?

- Différence entre aiguille d'une boussole et un aimant ?
- Différence entre aiguille et Fer (limaille) dans le champ d'un aimant ?

- Le paramètre physique reliant le champ à la force ?
(masse magnétique)

2. Courants électriques : fil 'droit'

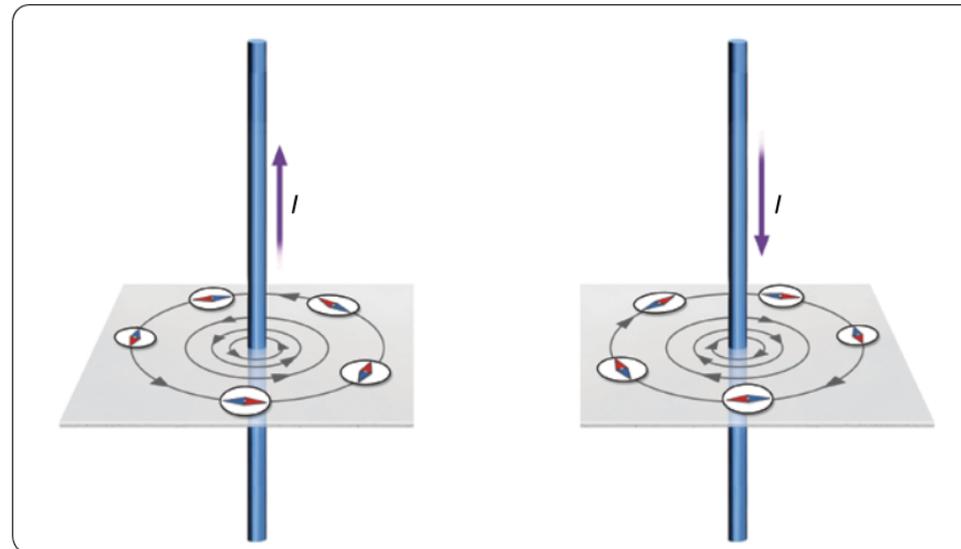
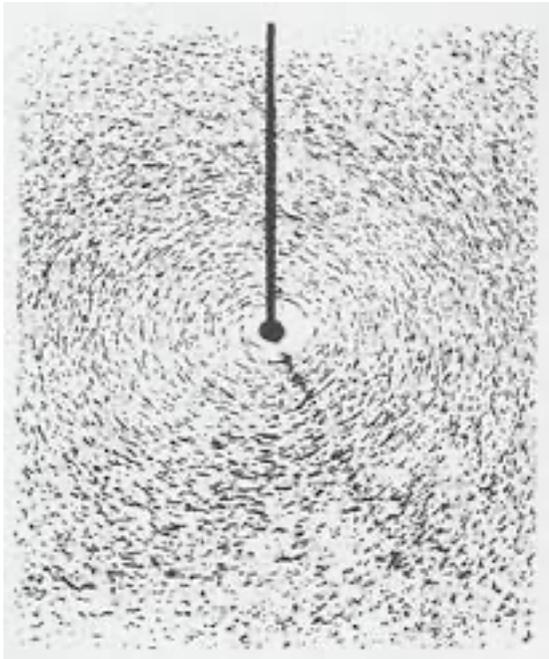
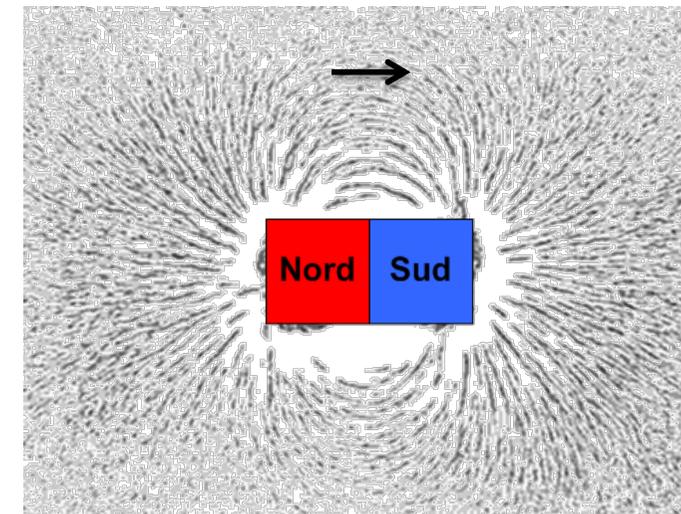
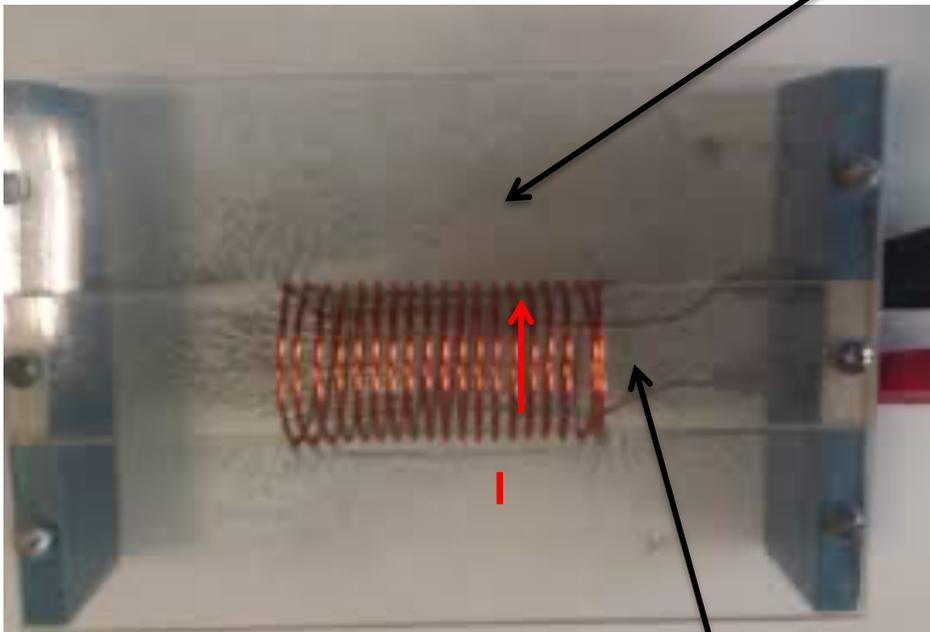


FIGURE 22 | Si l'on place des boussoles autour d'un fil parcouru par un courant, leurs aiguilles s'orienteront tangentiellement aux cercles centrés sur le fil. Les pôles Nord pointeront dans le sens des lignes de champ.

⇒ Force qui oriente limaille de fer et l'aiguille d'une boussole : lignes de champ fermées et circulaires !

2. Courants électriques : fil 'enspirallé' de type solénoïde

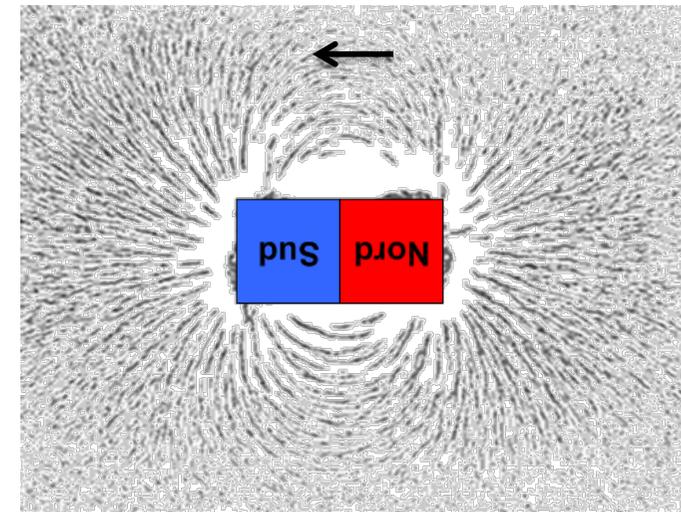
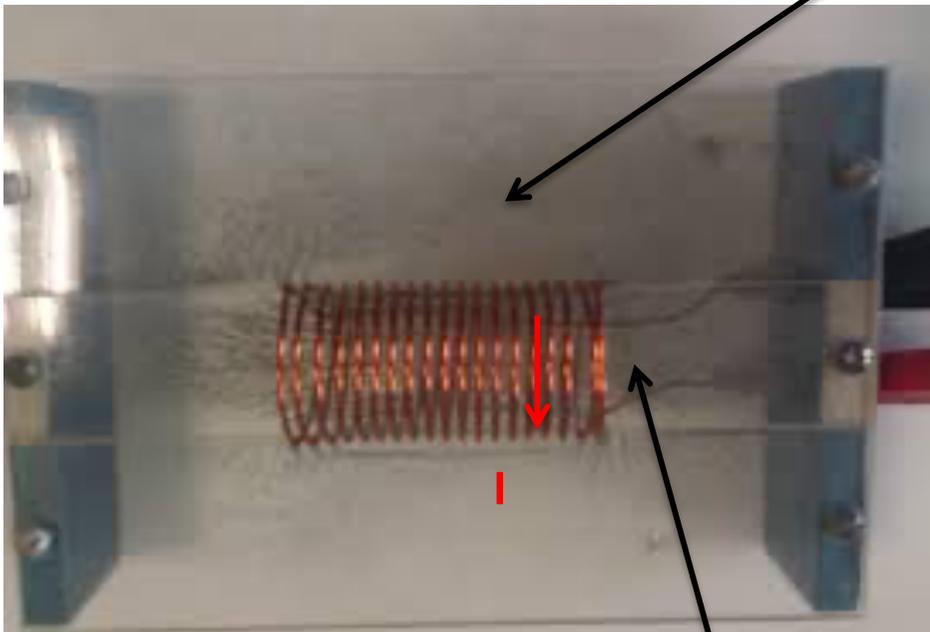
⇒ Champ magnétique similaire à l'extérieur du solénoïde !



⇒ Lignes de champ magnétique se referment en traversant l'intérieur !

2. Courants électriques : fil 'enspirallé' de type solénoïde

⇒ Champ magnétique similaire à l'extérieur du solénoïde !



⇒ Lignes de champ magnétique se referment en traversant l'intérieur !

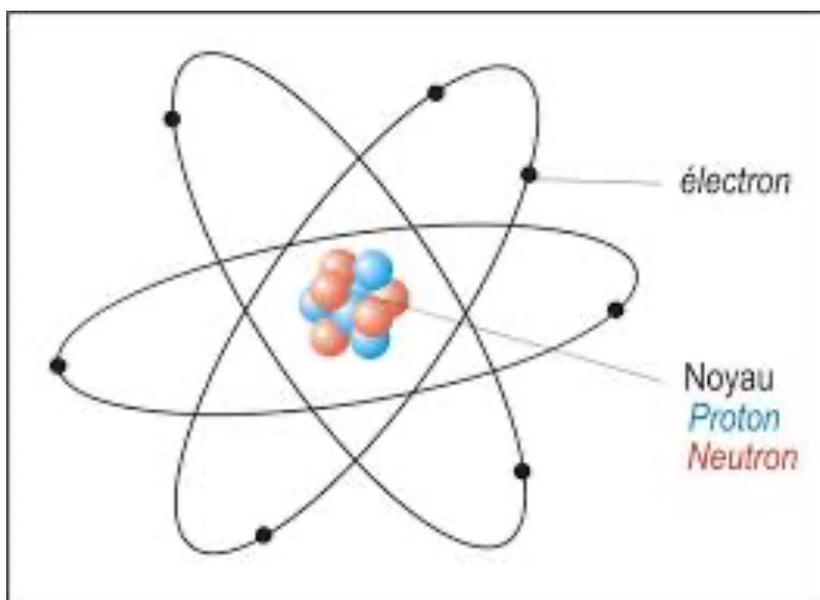
2. Courants électriques : résumons toutes nos questions

- **Champ magnétique de même nature que celui d'un aimant ?**
- **Mêmes propriétés ?**
- **Propriété dipolaire (pas de mono-pole) ?**

- **Le paramètre physique reliant le champ à la force ?
(masse magnétique)**

3. Autre mise en évidence du champ (ou force) magnétique ?

3. Autre mise en évidence du champ (ou force) magnétique ?

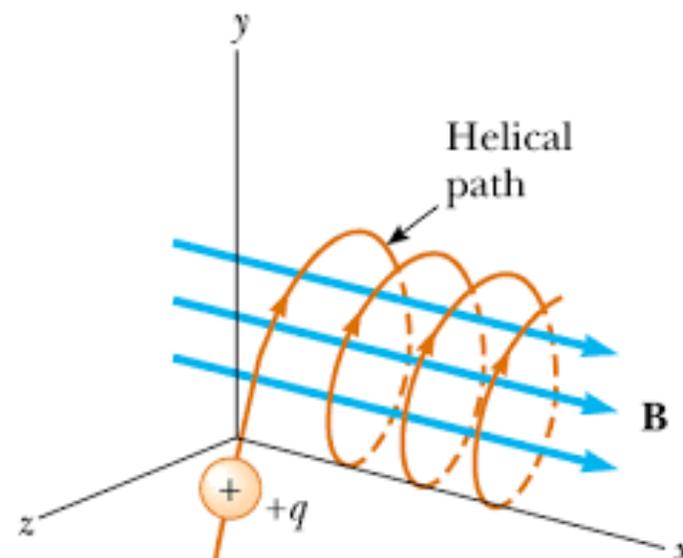


Structure atomique

(solide, liquide, gaz)

3. Autre mise en évidence du champ (ou force) magnétique !

Proton (particule chargée $q > 0$)



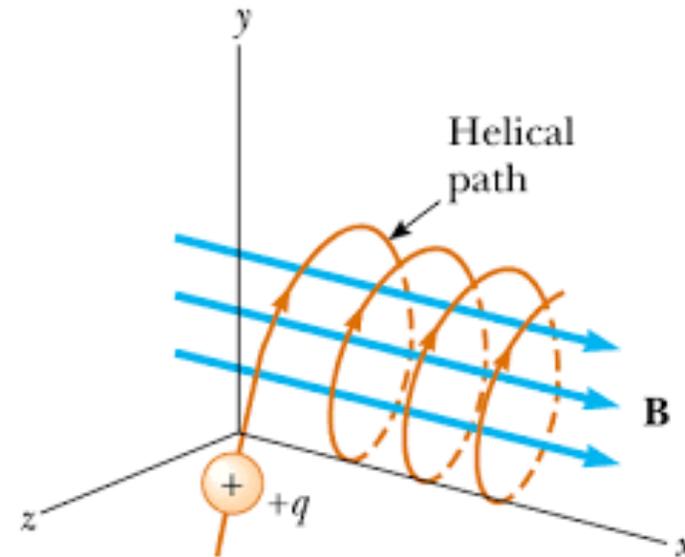
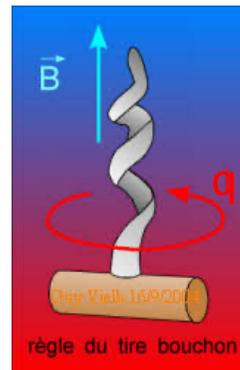
3. Autre mise en évidence du champ (ou force) magnétique ?

Proton (particule chargée $q > 0$)

⇒ La **charge** intervient dans la relation entre force et champ !

- un électron ($q < 0$) tourne dans l'autre sens => celui du tire-bouchon !

- Proton : sens inverse du tire-bouchon

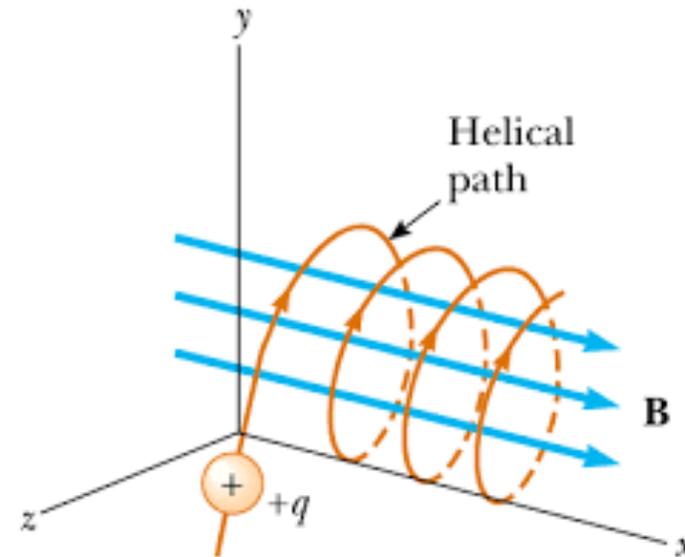


3. Autre mise en évidence du champ (ou force) magnétique ?

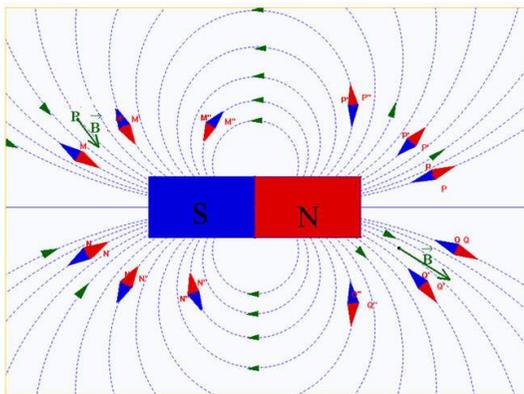
Proton (particule chargée $q > 0$)

- Le sens de progression le long du champ et la taille de l'hélice dépendent de la vitesse initiale !

⇒ La **vitesse** de la particule intervient dans la relation entre force et champ



3. Autre mise en évidence du champ (ou force) magnétique : retour sur aimants



Différence entre champ et force : cas magnétique

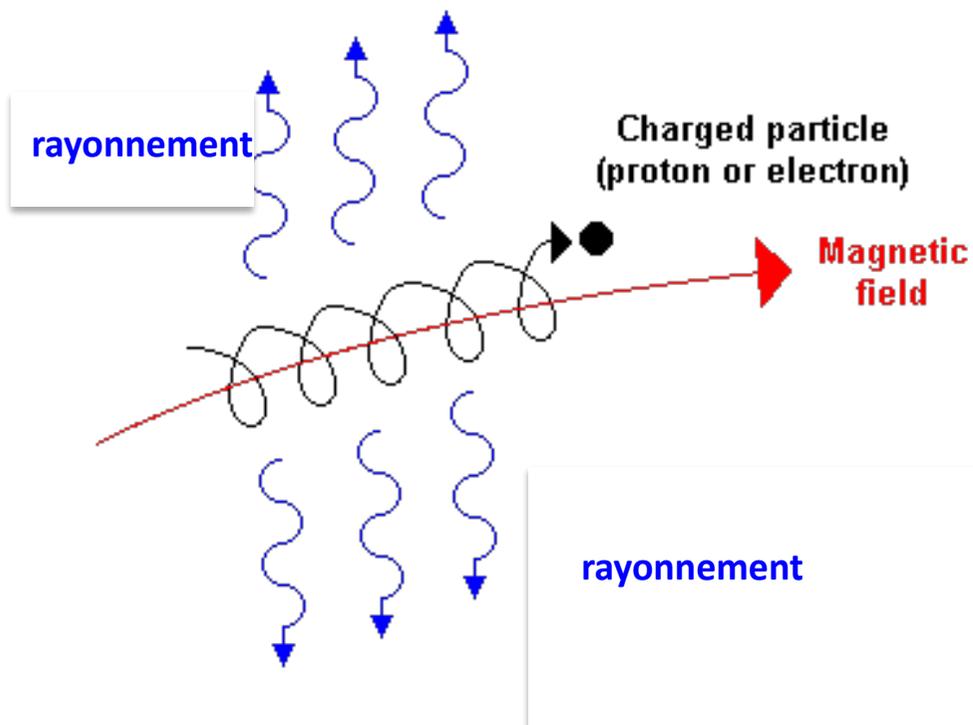
. La force n'existe qu'en présence d'un corps caractérisé par ?

. Le champ est une entité mathématique notée \vec{B}

Relation entre les deux : **charge et vitesse ? ?**
'masse magnétique'

3. Autre mise en évidence du champ (ou force) magnétique !

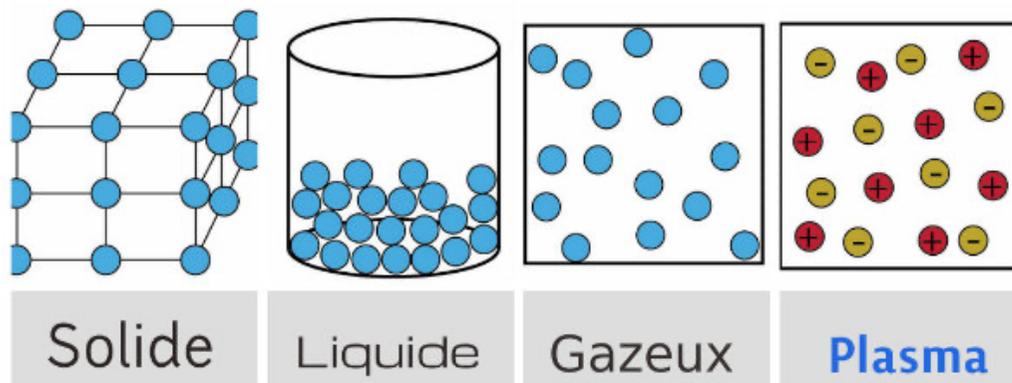
- Le champ magnétique est tracé par le rayonnement des particules



Soleil (plasma) => très chaud (particules chargées libres)

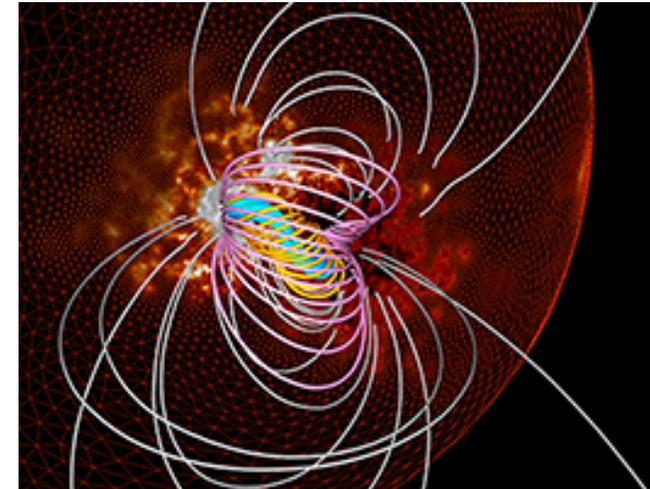
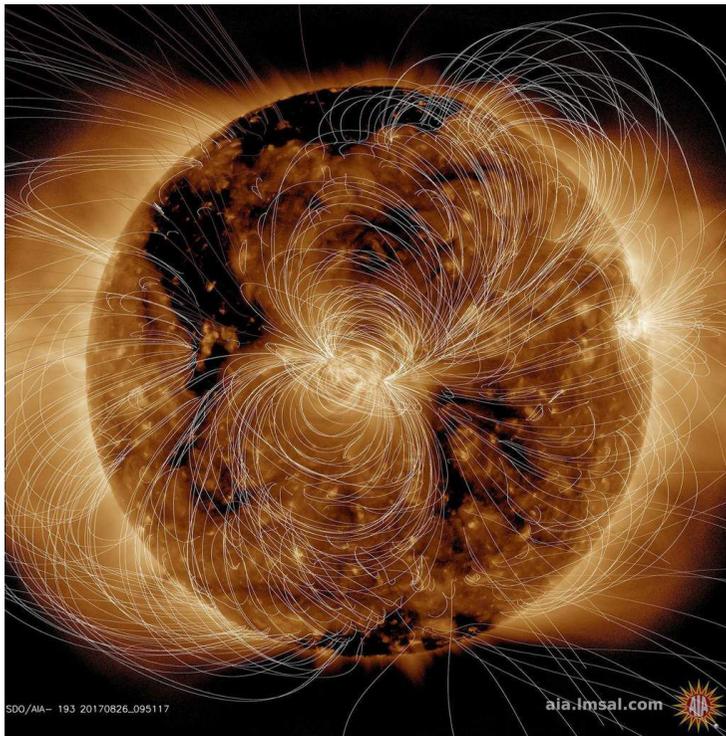
3. Autre mise en évidence du champ (ou force) magnétique !

- Le champ magnétique est tracé par le rayonnement des particules



Soleil (plasma) => très chaud (particules chargées libres)

4. Astres : le Soleil

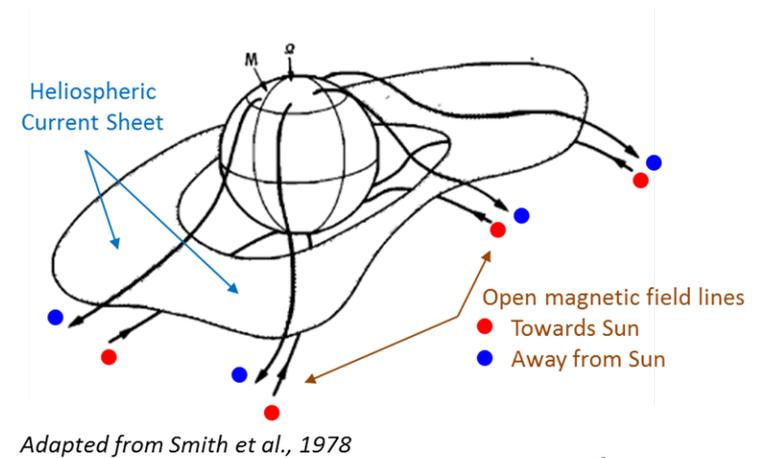
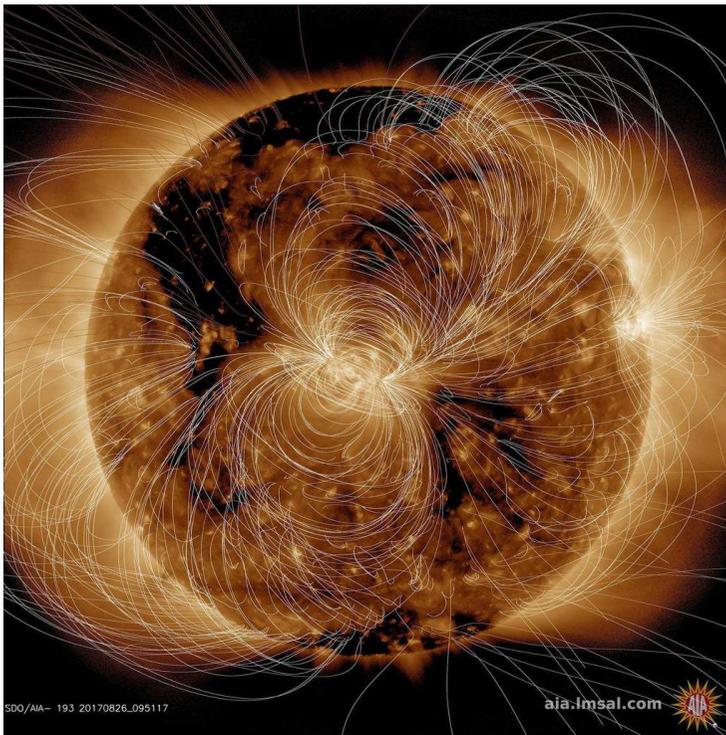


Champ solaire 200 plus intense que celui de la Terre

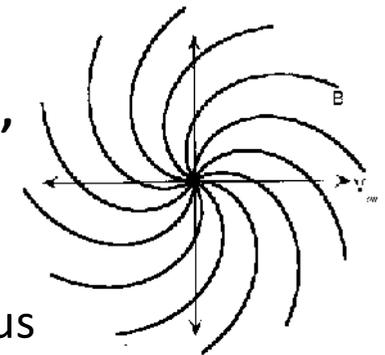
Lignes de champ reconstruites :

Champ est très complexe => **lignes fermées multipolaires**
(multitudes de poles S et N)

4. Astres : le Soleil

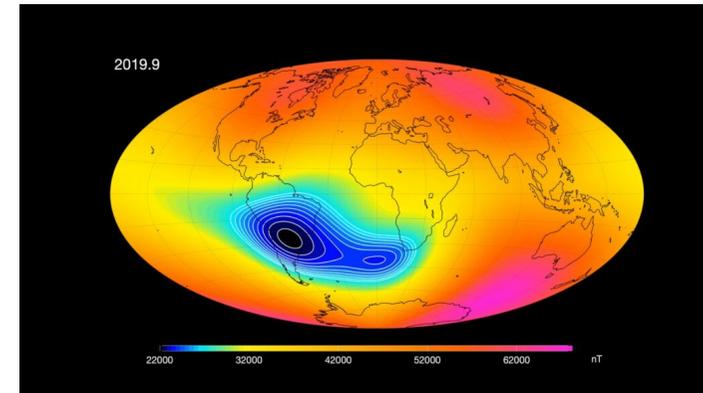
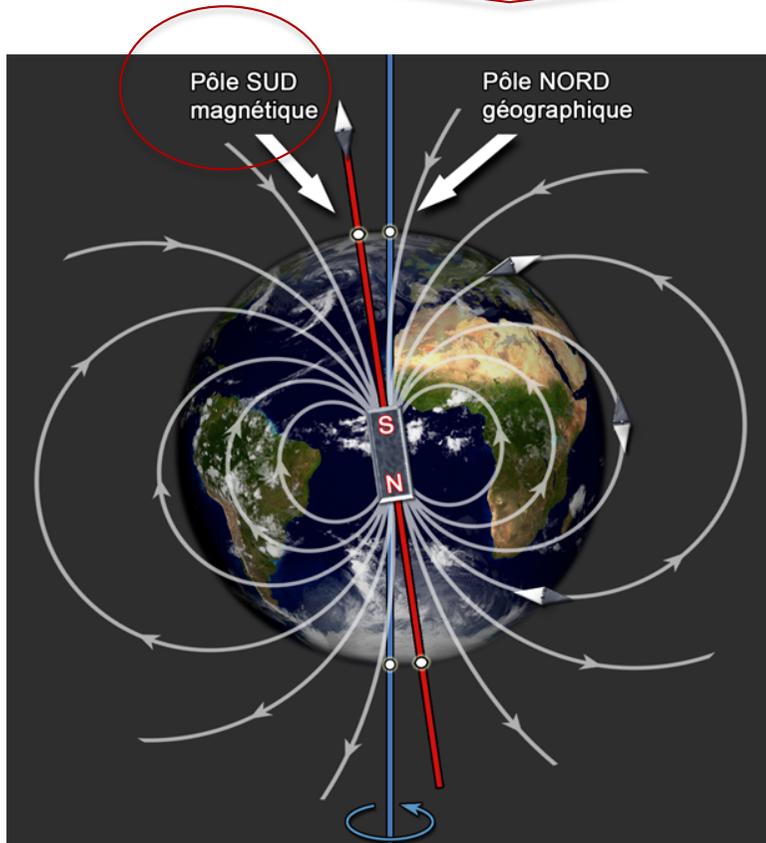


Aussi des lignes 'quasi-ouvertes'



vue de dessus

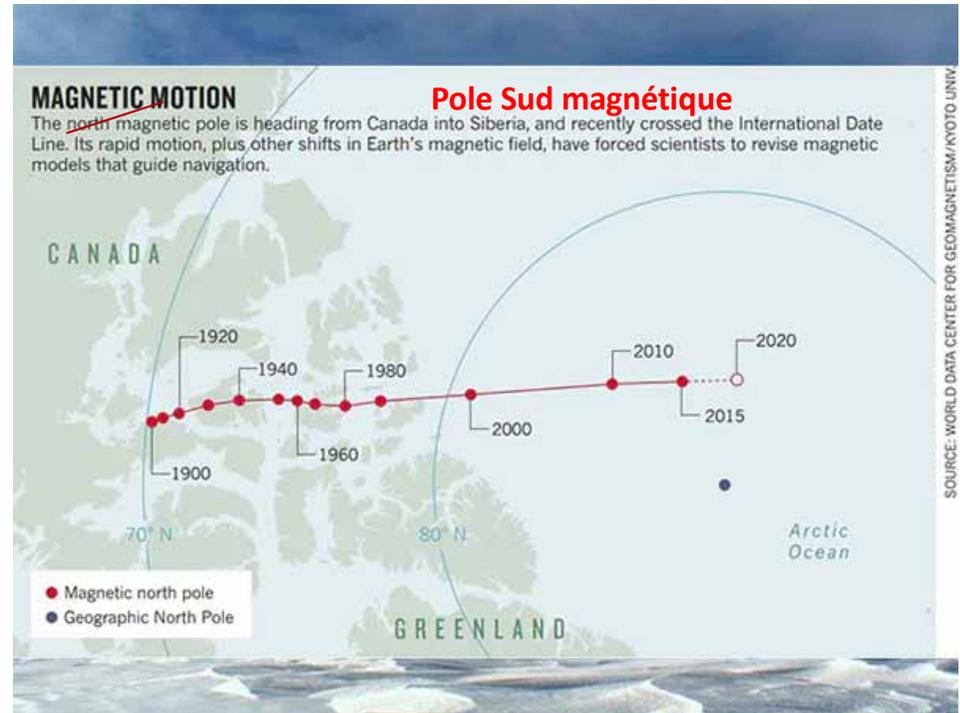
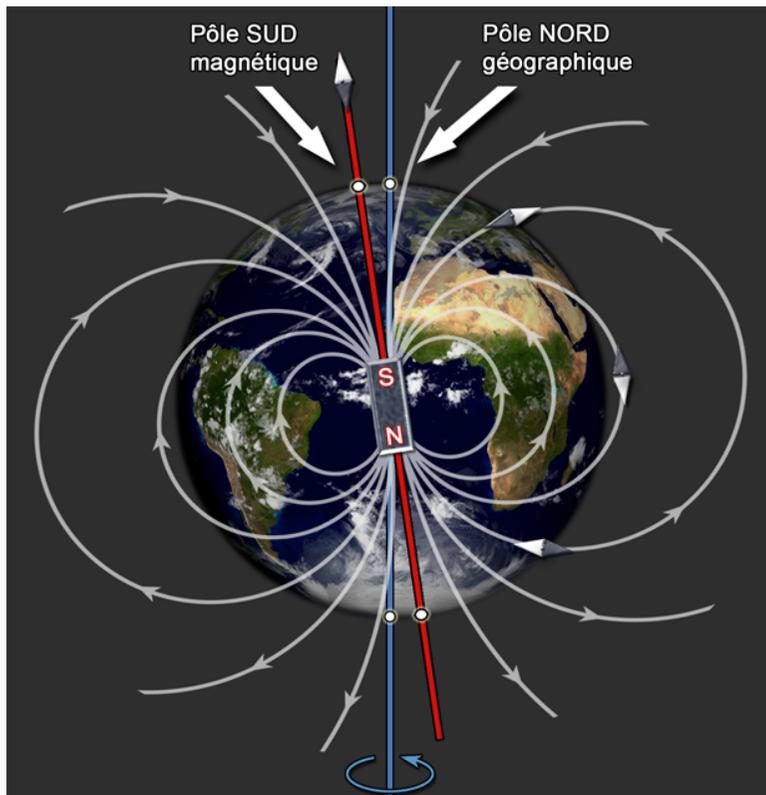
4. Astres : la Terre



Marcus Dupont-Besnard
26 mai 2020 - Sciences

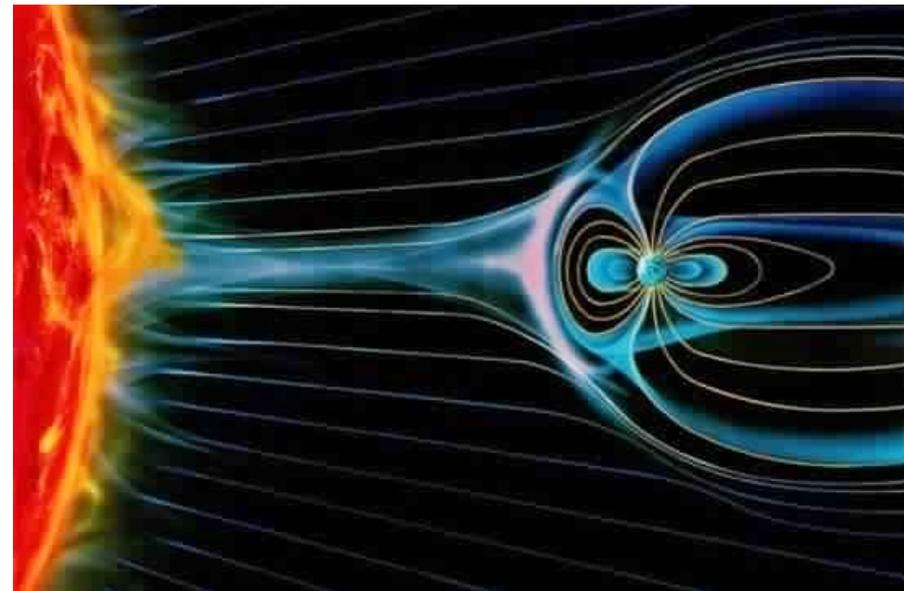
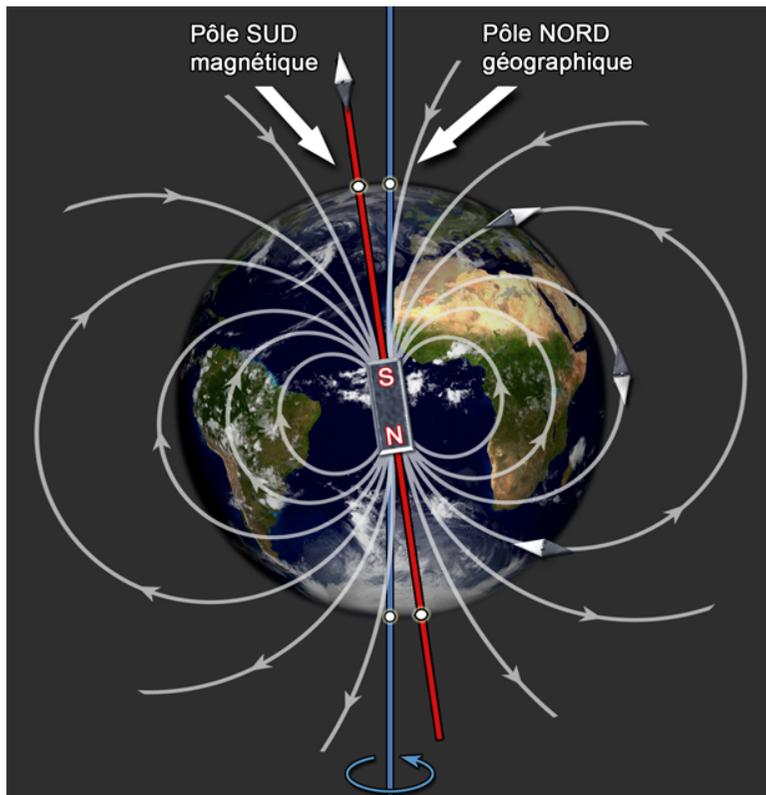
est globalement dipolaire (comme pour un aimant droit) mais ... anomalies !

4. Astres : la Terre



est dipolaire mais ... dérive !

4. Astres : la Terre



est dipolaire mais ... déformé par
le vent solaire !

4. Astres : planètes, étoiles, ...



<- Jupiter – visible

Preuve de présence d'un champ
magnétique ?

4. Astres : planètes, étoiles, ...

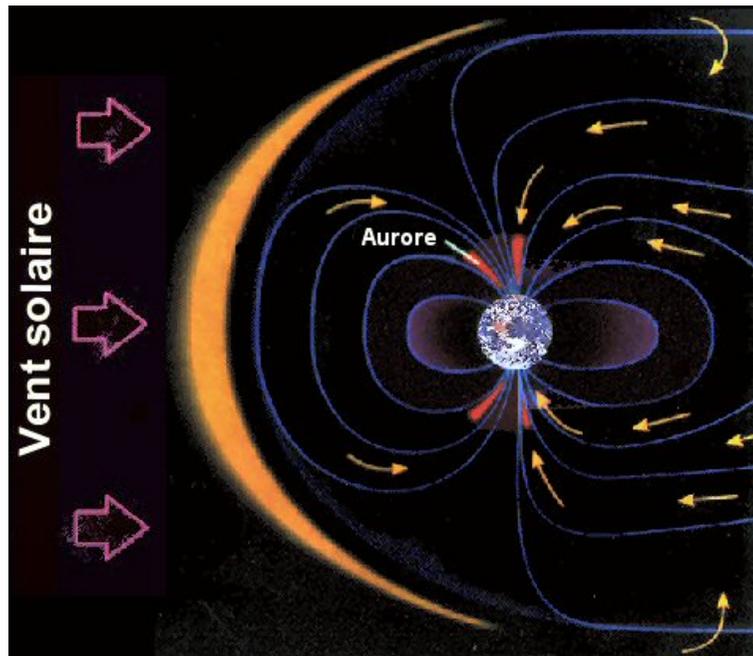


<- Aurores polaires (boréales/australes)

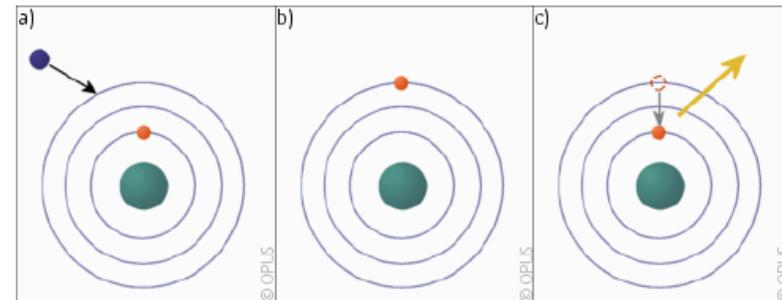
Preuve de présence d'un champ
magnétique

4. Astres : planètes, étoiles, ...

<- Aurores polaires (boréales/australes)



Preuve de présence d'un champ magnétique



a). la particule du vent solaire vient percuter une molécule de l'atmosphère.

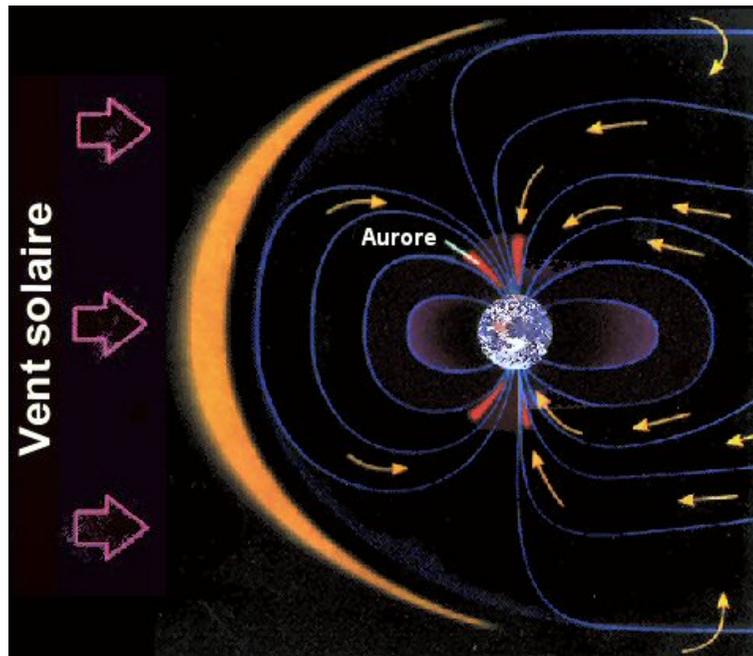
b). la particule percute un électron de la molécule qui va changer de couche (K, L ; M) ce qui va faire que la molécule sera dans un état d'excitation , la molécule sera instable.

c). Lorsque l'électron revient à son orbite, sur sa couche initiale, l'excès d'énergie est relâché sous forme de photon (une particule lumineuse.)

Chaque désexcitation va donner lieu à une couleur qui sera différente selon les niveaux de désexcitation.

4. Astres : planètes, étoiles, ...

<- Aurores polaires (boréales/australes)

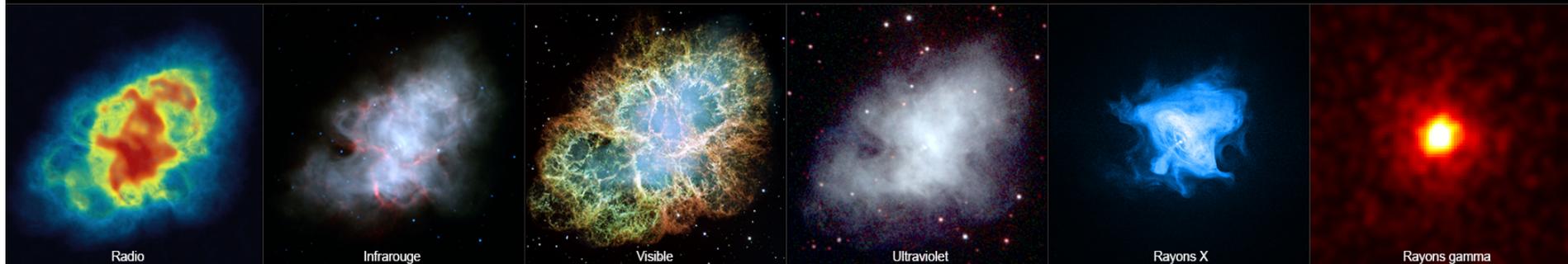


Preuve de présence d'un champ magnétique

Longueur d'onde nm	Atomes/molécules	Altitude Km	Couleur de radiation
391,4 427,8	Azote	1000	violet
557,7	Oxygène	90 - 150	vert
630,0 636,4	Oxygène	>150	rouge
656,3	Hydrogène	120	rouge
662,1 669,6 676,8 686,1	Azote	65 - 90	rouge

4. Astres : planètes, étoiles, ...

La nébuleuse du Crabe, M1



"[...] the appearance of a guest star, above which some yellow-colored light was faintly seen [...] there is a person of great wisdom and virtue in the country."

Yang Welt, August 25, 1054 A.D.

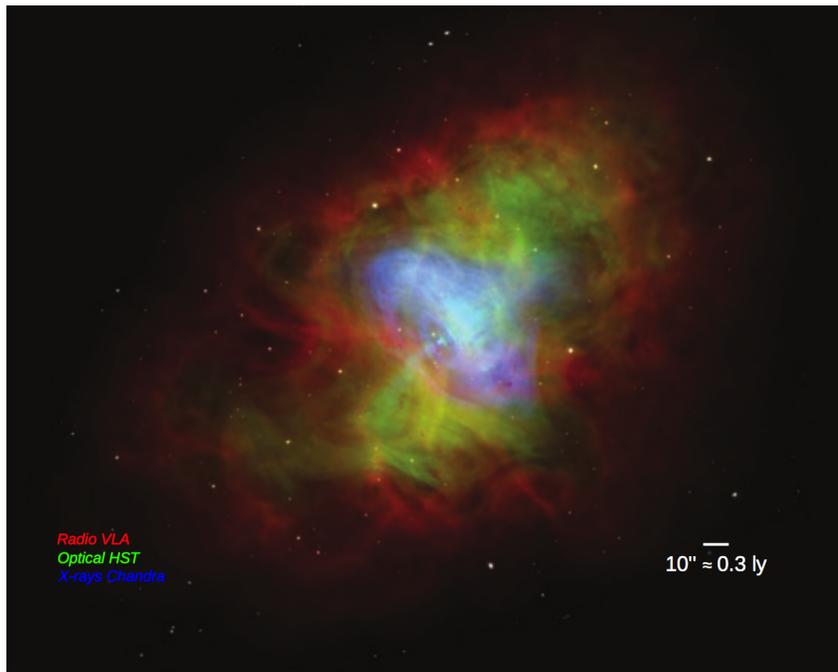


Etoile qui a explosé en 1054 !

=> Nébuleuse du Crabe (région en expansion)



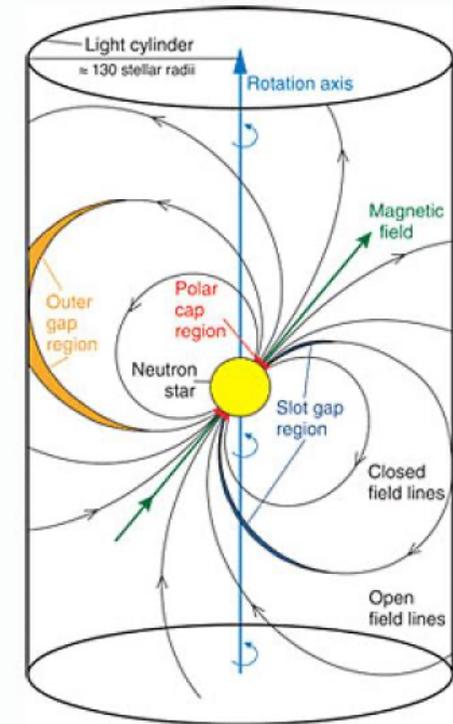
4. Astres : planètes, étoiles, ...



**Etoile à neutrons
très magnétisée**

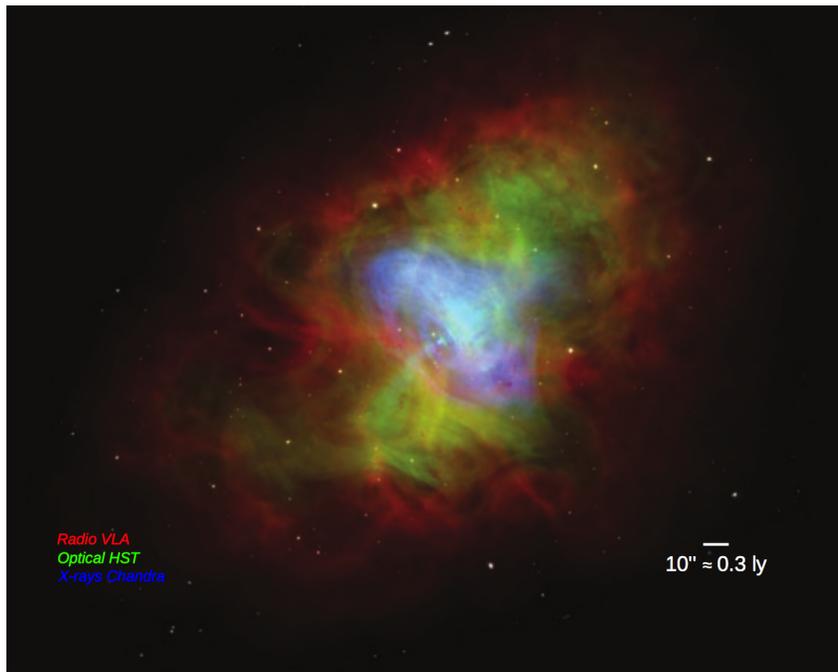
**Champ magnétique
1 milliard de fois
celui du Soleil**

**Rayon: 10 km
Masse: 1,4 Masse
solaire**



Rayon solaire = 700 000 km

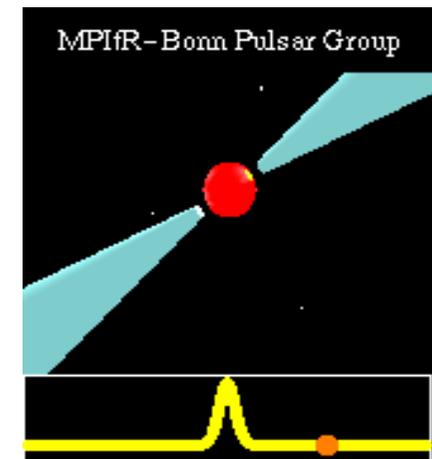
4. Astres : planètes, étoiles, ...



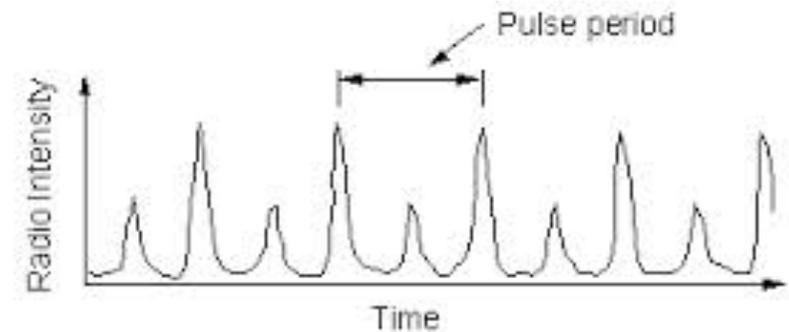
Etoile à neutrons
très magnétisée

Appelée Pulsar du
Crabe

Rotation de 30 tours/s



Rayonnement dit synchrotron
aligné avec l'axe magnétique



Résumé : 3 sources de champ -> aimants, courants électriques, astres

Prochain cours :

**Réponses aux questions concernant la nature du champ magnétique
-> des aimants et des courants**

**Au travers de quelques expériences => théorie de l'électromagnétisme
à laquelle a contribué Ampère**

Résumé : 3 sources de champ -> aimants, courants électriques, astres

<https://ampere2020.fr/>

Bicentenaire des découvertes d'André-Marie Ampère 1820-2020 :

