Induction & Forces de Laplace

Objectifs :

- Topographie du champ magnétique. Réalisation de champs.
- Notion de Flux & induction : Loi de Lenz et Faraday.
- Application aux circuits & conversion : transformateur.
- Force de Laplace.
- Applications aux machines électriques.

Champs magnétiques

Objectifs :

- ODG & TOPOGRAPHIE du champ magnétique
- Réalisation d'un champ B uniforme.
- Moment magnétique.

1 - Topographie du champ magnétique

α - Champ magnétique stationnaire : définitions

C'est la donnée des composantes vectorielles du champ magnétique en tout point de l'espace. Celles-ci sont exprimées dans un système de coordonnées donné :

$$\vec{B}(M)=\vec{B}(x,z,z)=\left| \begin{array}{l} B_x(x,y,z) \\ B_y(x,y,z) \\ B_z(x,y,z) \end{array} \right.$$

Coordonnées cartésiennes

$$\vec{B}(M)=\vec{B}(r,\theta,\varphi)=\left| \begin{array}{l} B_r(r,\theta,\varphi) \\ B_\theta(r,\theta,\varphi) \\ B_\varphi(r,\theta,\varphi) \end{array} \right.$$

Coordonnées sphériques

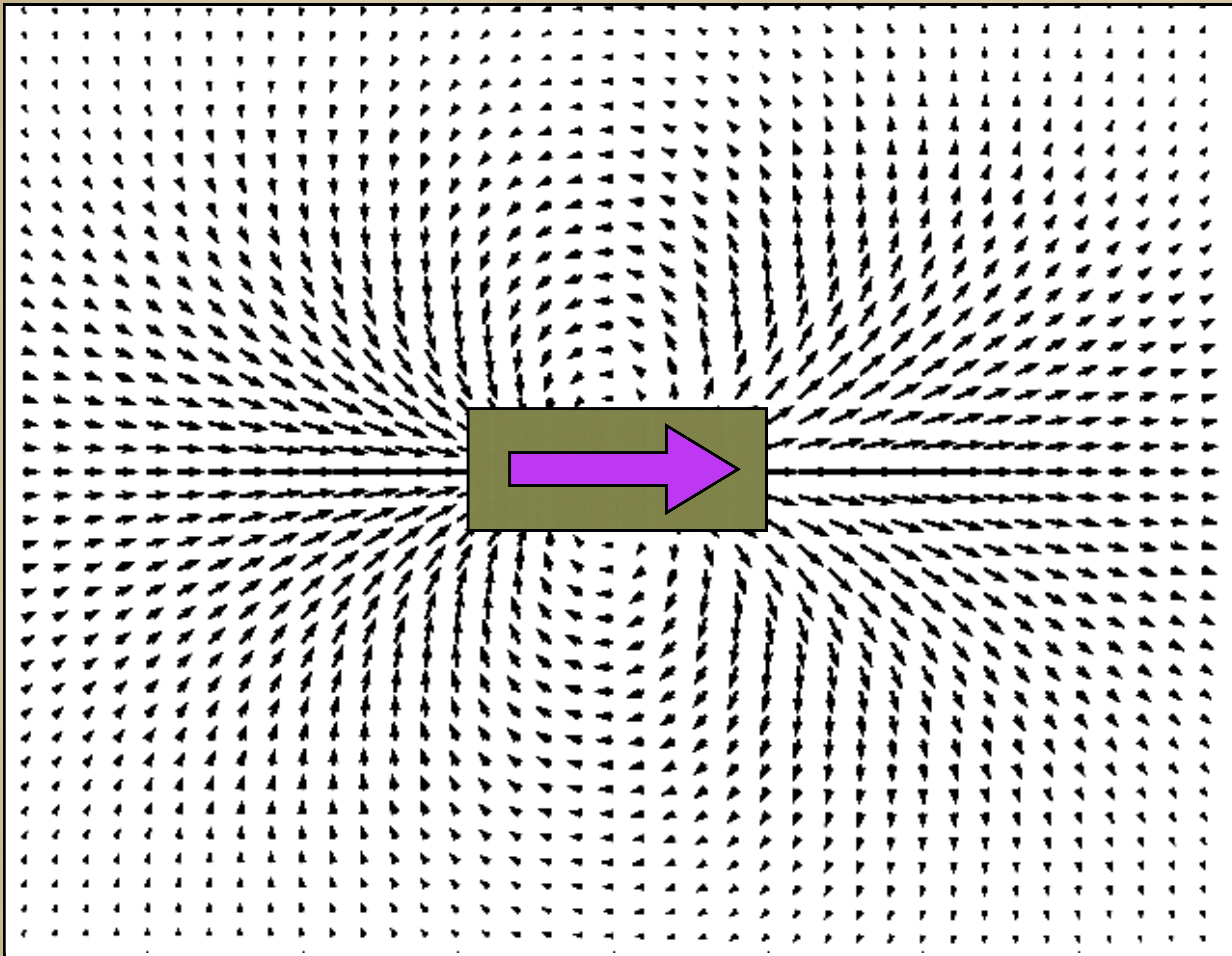
Ne pas noter

<u>Graphiquement on peut représenter le champ par la donnée d'une carte de champ :</u>

- Flèche indiquant la direction du champ en différents points de l'espace
- lignes de champ passant par des points particuliers.
- on utilise, pour des raisons de lisibilité, une coupe bidimensionnelle adaptée aux symétries du problème.

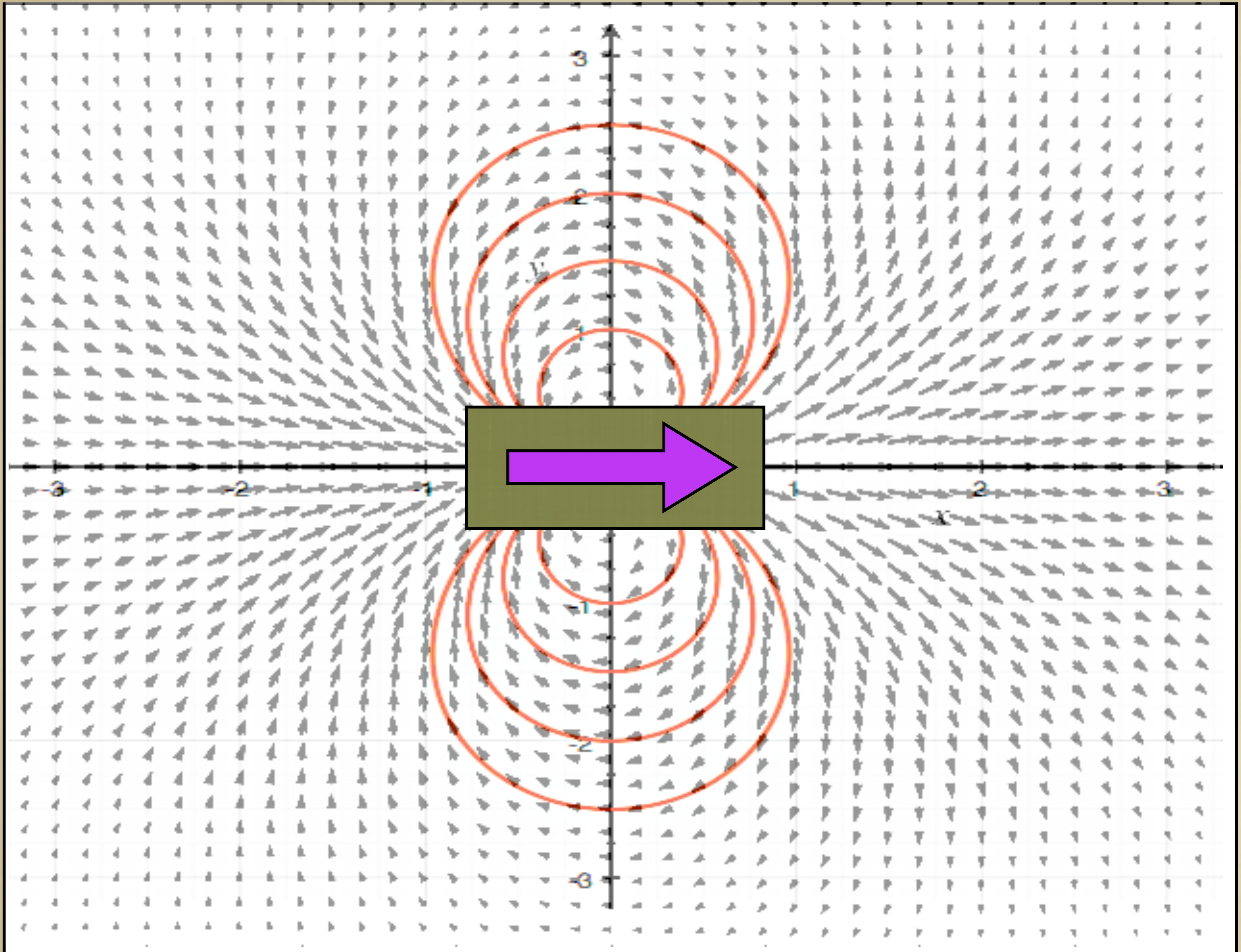
Rq : dans le cas général ce champ peut aussi évoluer dans le temps $\vec{B}(M,t)$

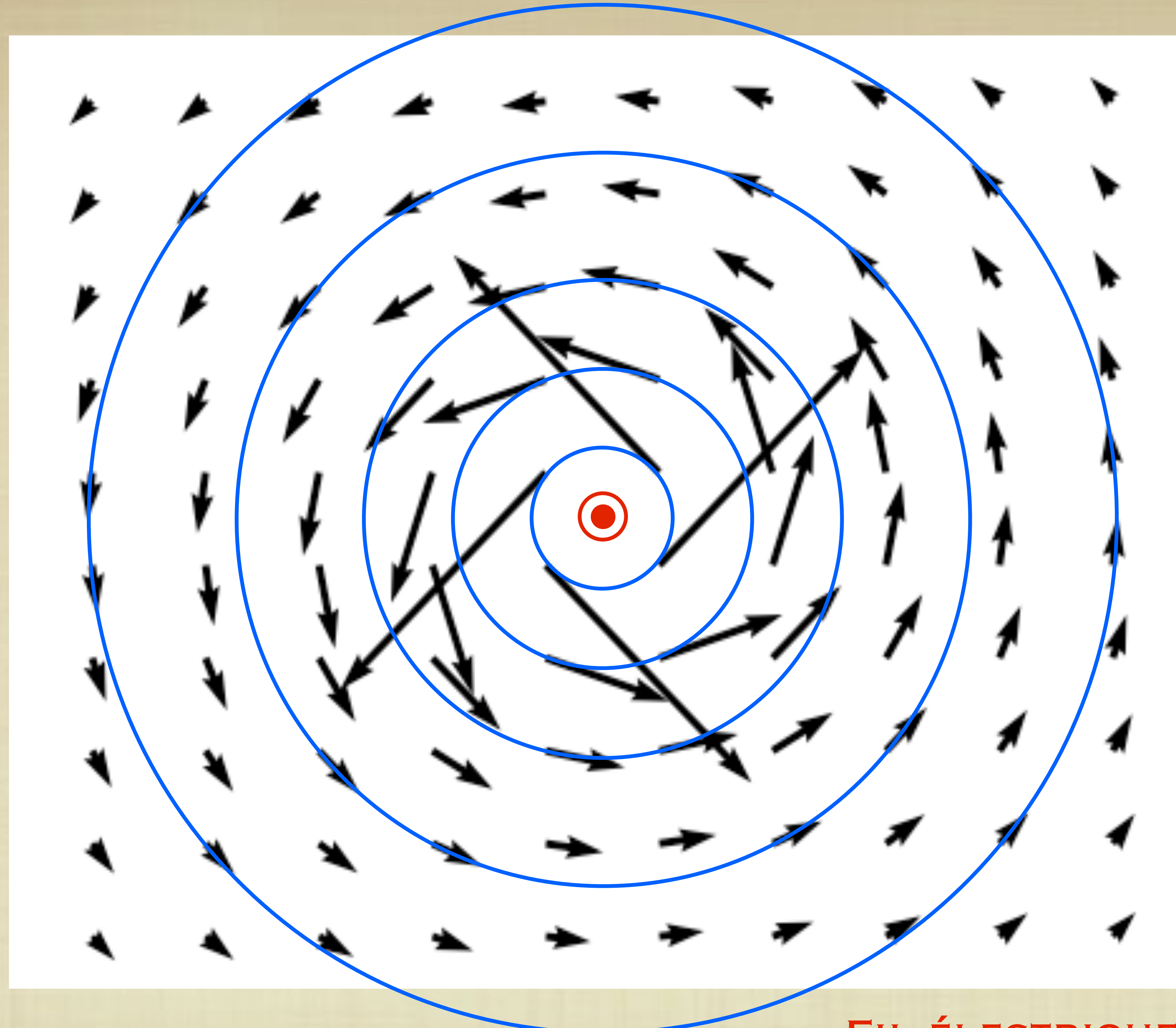
Champ magnétique d'un dipôle



Rq : dans le cas général ce champ peut aussi évoluer dans le temps $\vec{B}(M,t)$

Champ magnétique d'un dipôle





Fil électrique

Définition :

On appelle ligne de champ une ligne telle que le champ magnétique lui est tangent en tout point.

β - ODG du champ magétique stationnaire $\vec{B}(M)$

C'est un champ vectoriel produit par une distribution de courants.

Il se mesure en Tesla : T

Rq : dans le système cgs on le mesurait en Gauss $1 gauss = 10^{-4} Tesla$

<u>ODG :</u> Champ magnétique terrestre (< 1 gauss) : $20\mu T < B < 65\mu T$

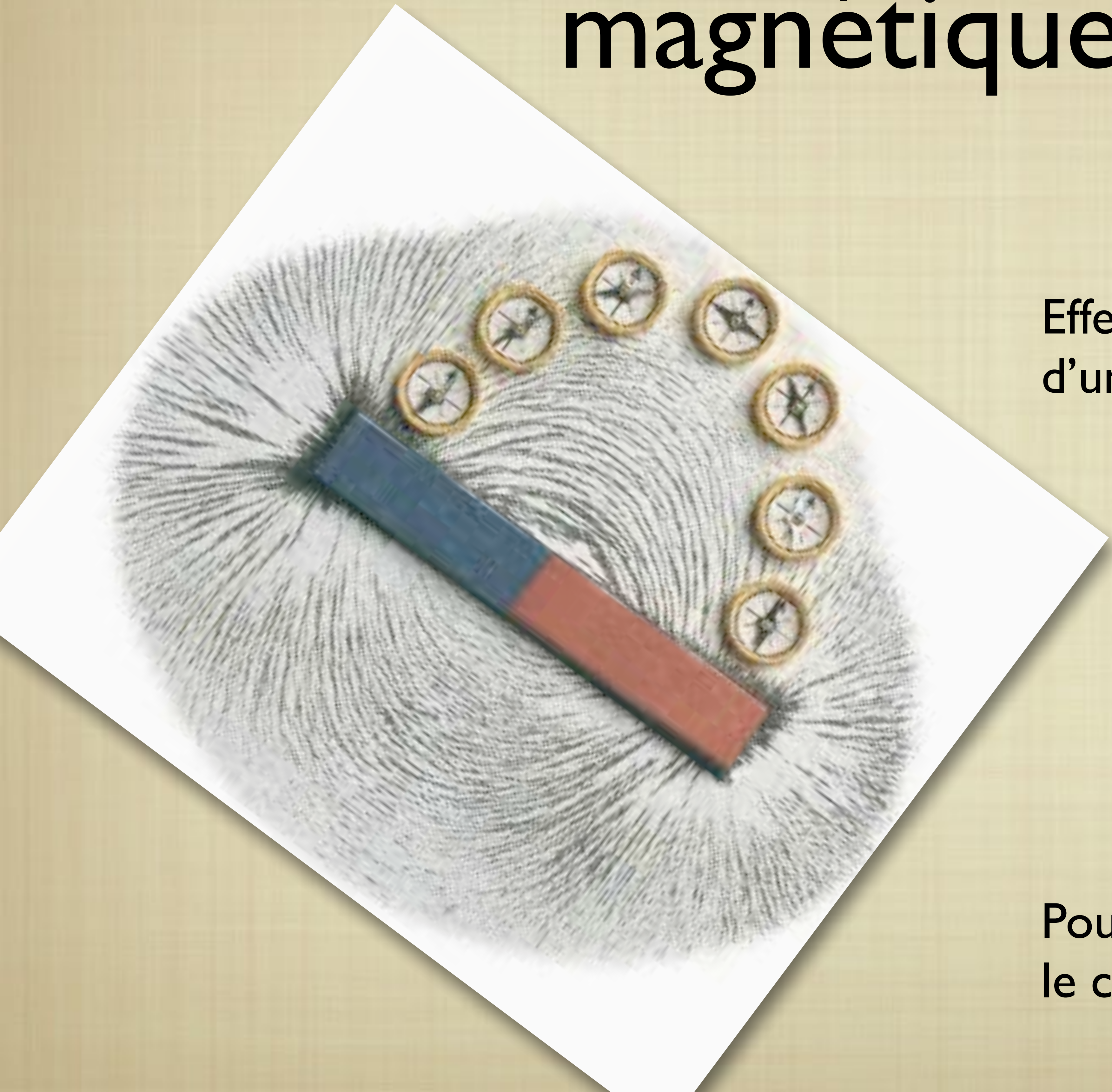
Aimants «naturels» : $0.01T < B < 0.1T$

électro-Aimant [IRM - RMN] : $1T < B < 20T$

Utilisent des supra-conducteurs dans l'Hélium liquide

Non permanents : nécessitent un courant très fort

γ - Topographie du champ magnétique

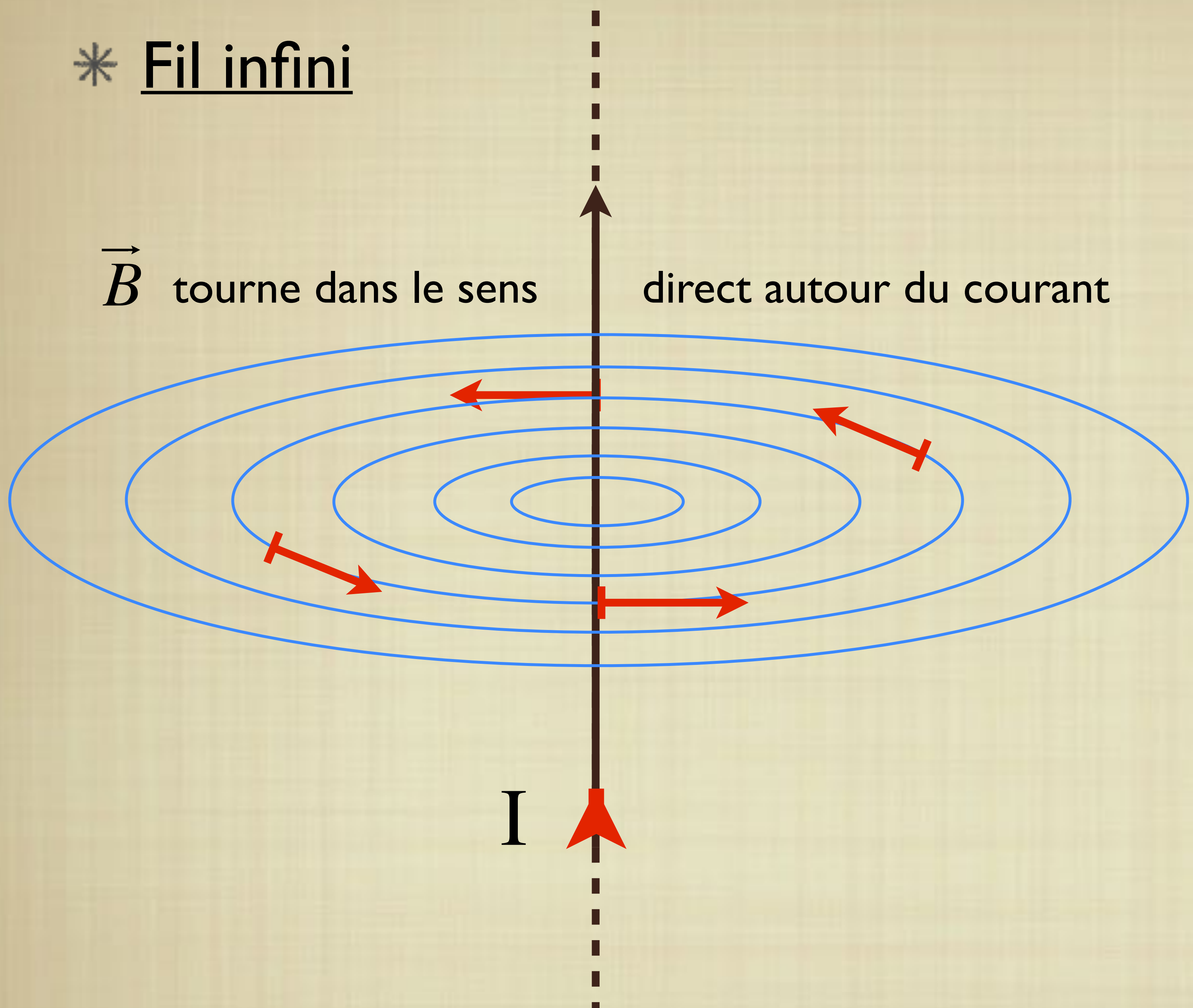


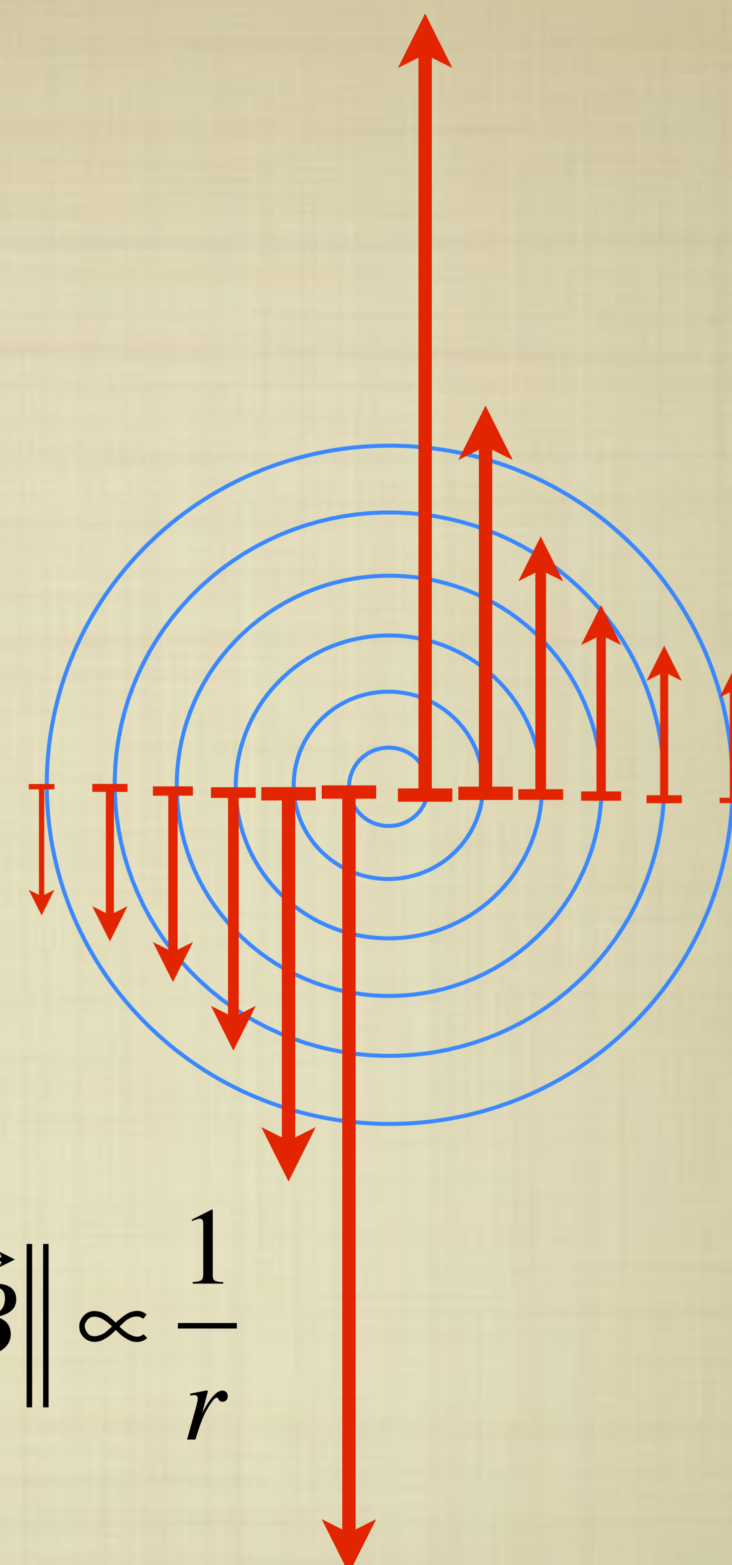
Effet d'un aimant sur l'aiguille d'une boussole.

Poudre de limaille de fer dans le champ d'un aimant droit.

✳ Fil infini

$\vec{B}$ tourne dans le sens direct autour du courant



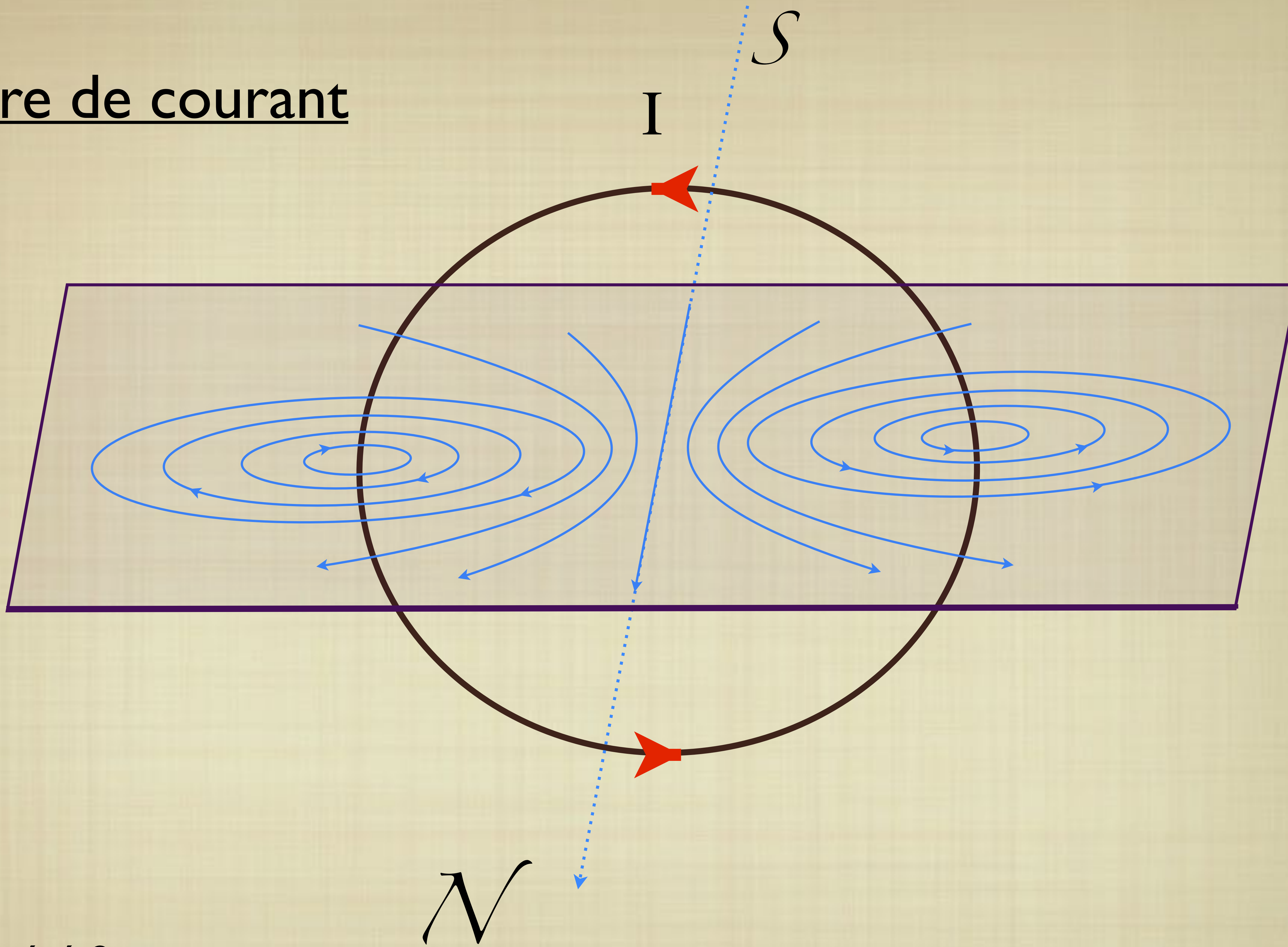


$$\left\|\vec{B}\right\| \propto \frac{1}{r}$$

Propriété 1 :

$$\boxed{\text{Les lignes de champ se referment toujours sur elles-mêmes}}$$

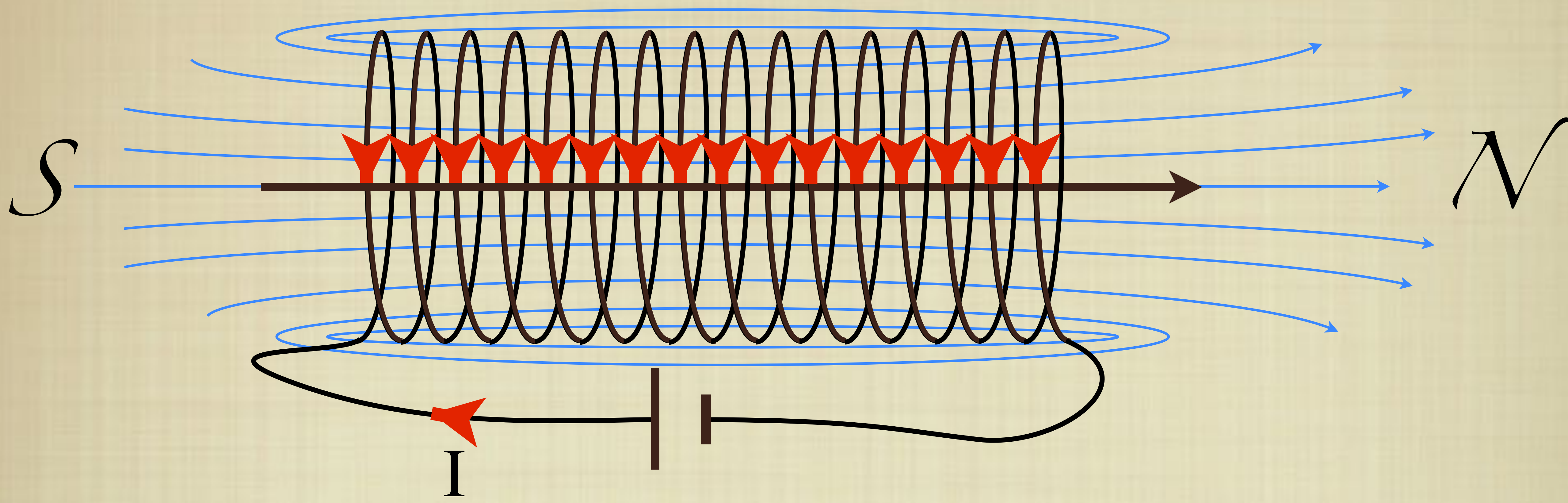
* Spire de courant



Propriété 2 :

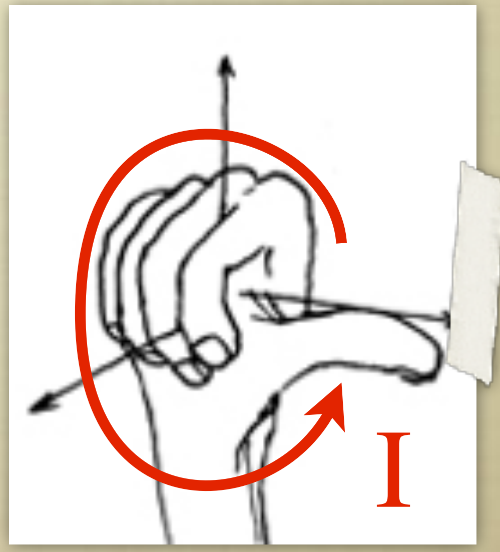
Les lignes de champ ne peuvent pas se couper

✳Solénoïde



Propriété 3 :

Le champ magnétique rentre par le pôle sud et sort par le pôle nord



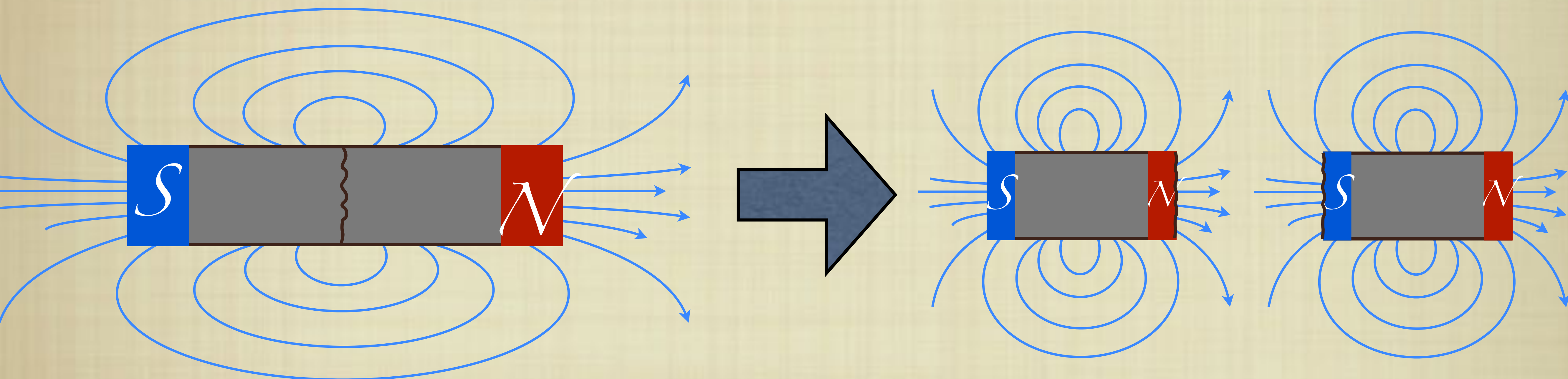
*Aimant

Les éléments de courant sont des entités microscopiques :

- Mvt. orbital des électrons dans les corps ferromagnétiques.
- De plus il y a une orientation coordonnée des ces micro-aimants

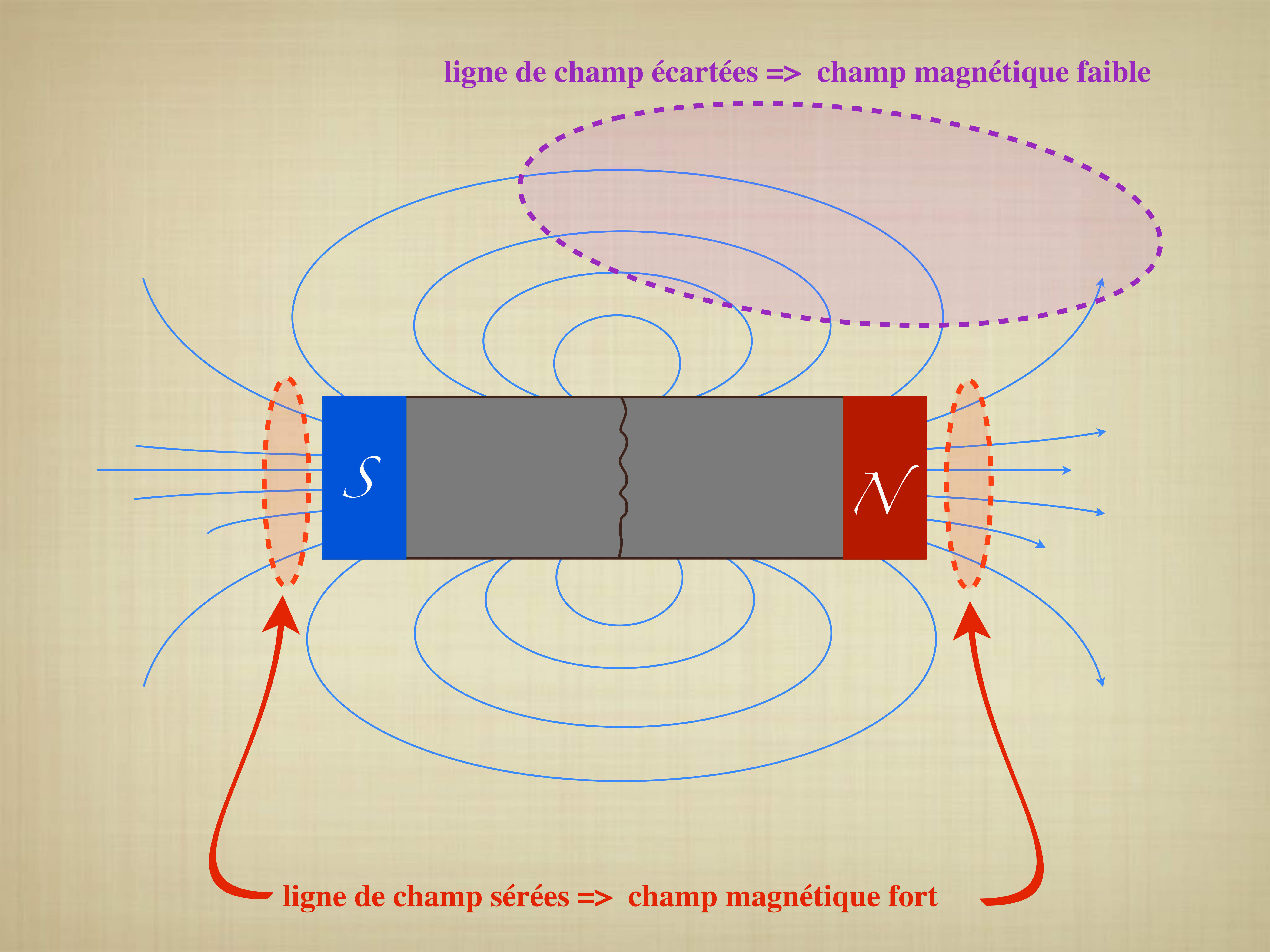
L'expérience de l'aimant brisé :

Pierre de Maricourt 1269

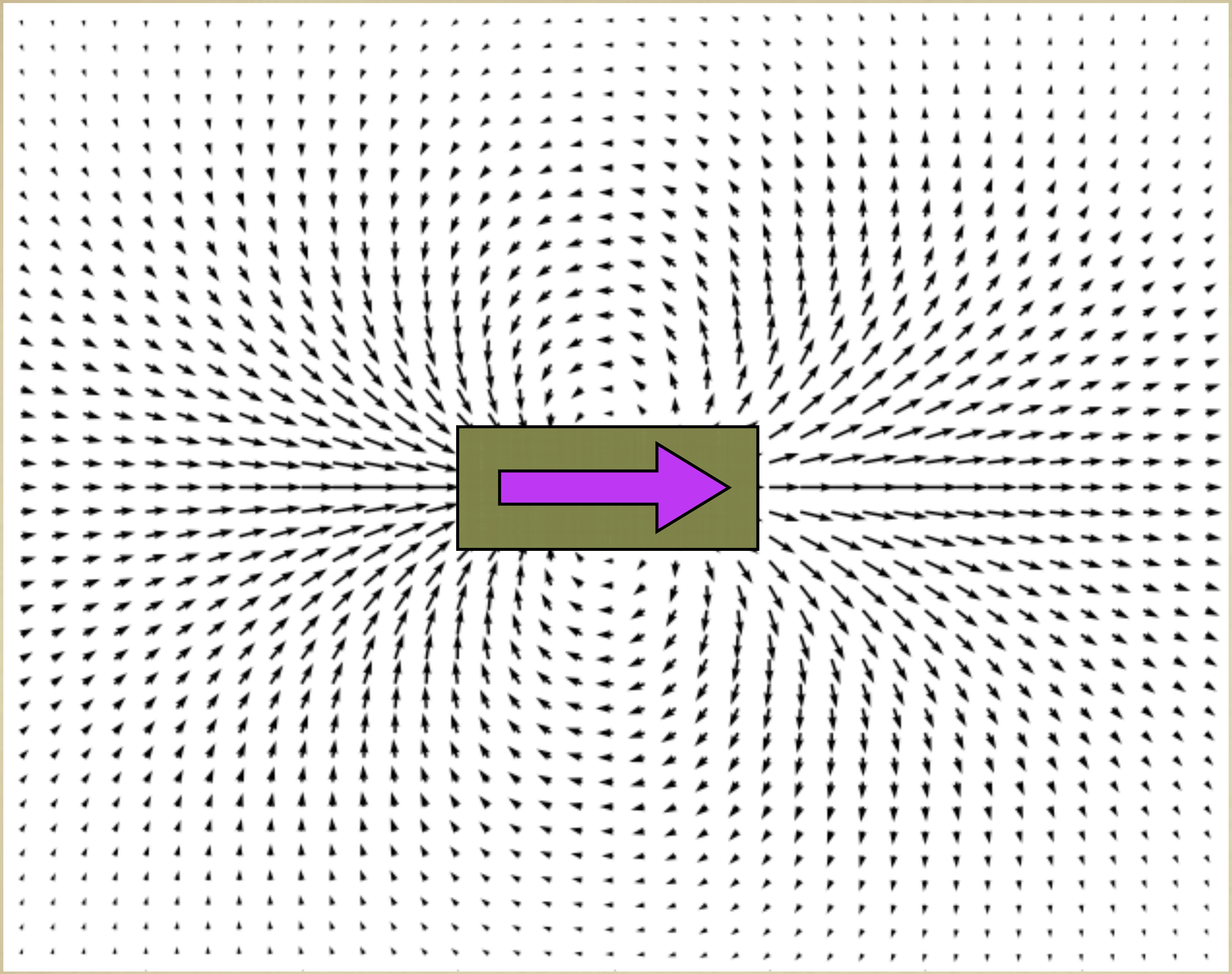


Propriété 4 :

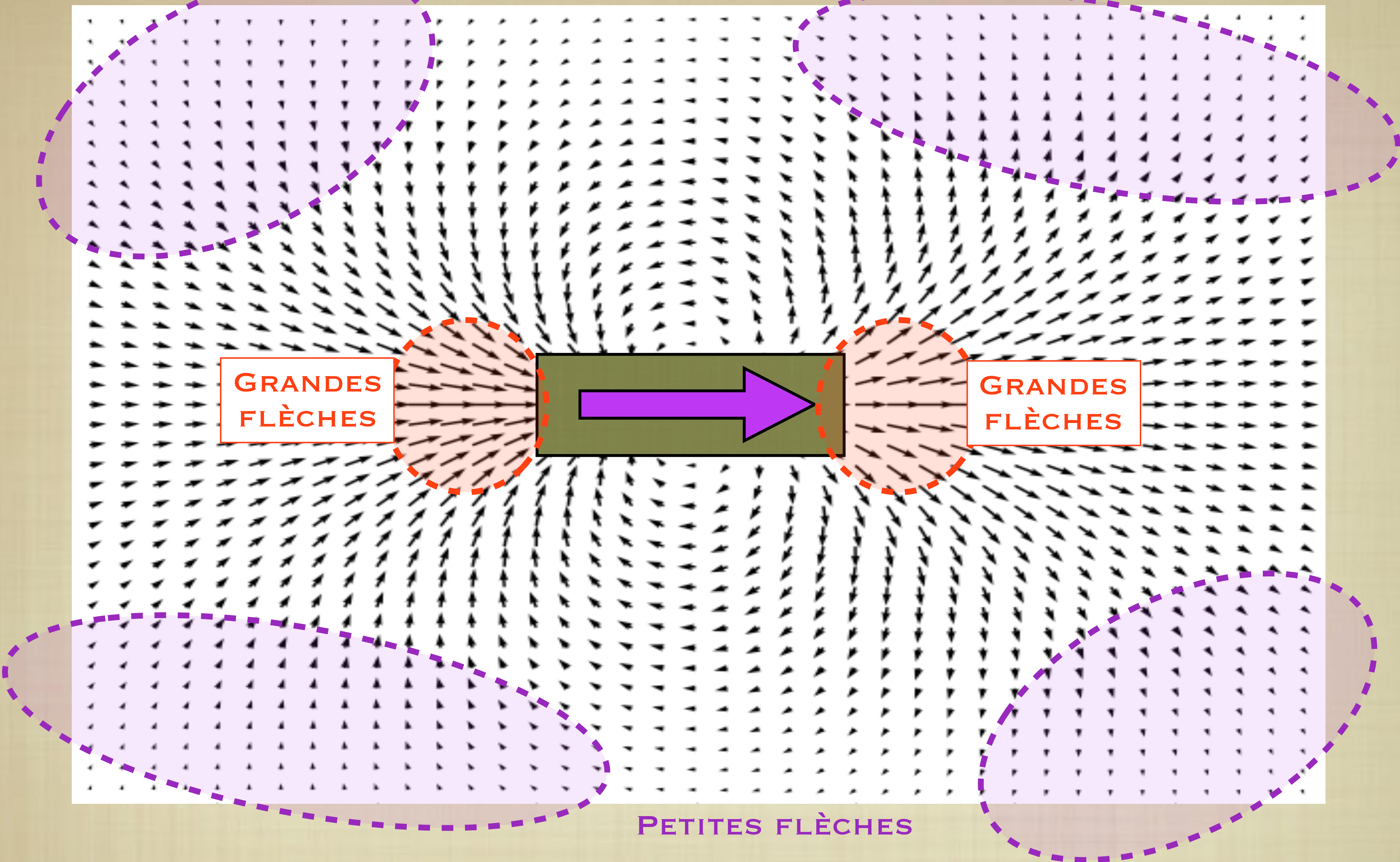
Il n'existe pas de charge élémentaire (monopôle) magnétique.


ligne de champ écartées => champ magnétique faible
S
N
ligne de champ sérées => champ magnétique fort

Champ magnétique d'un dipôle



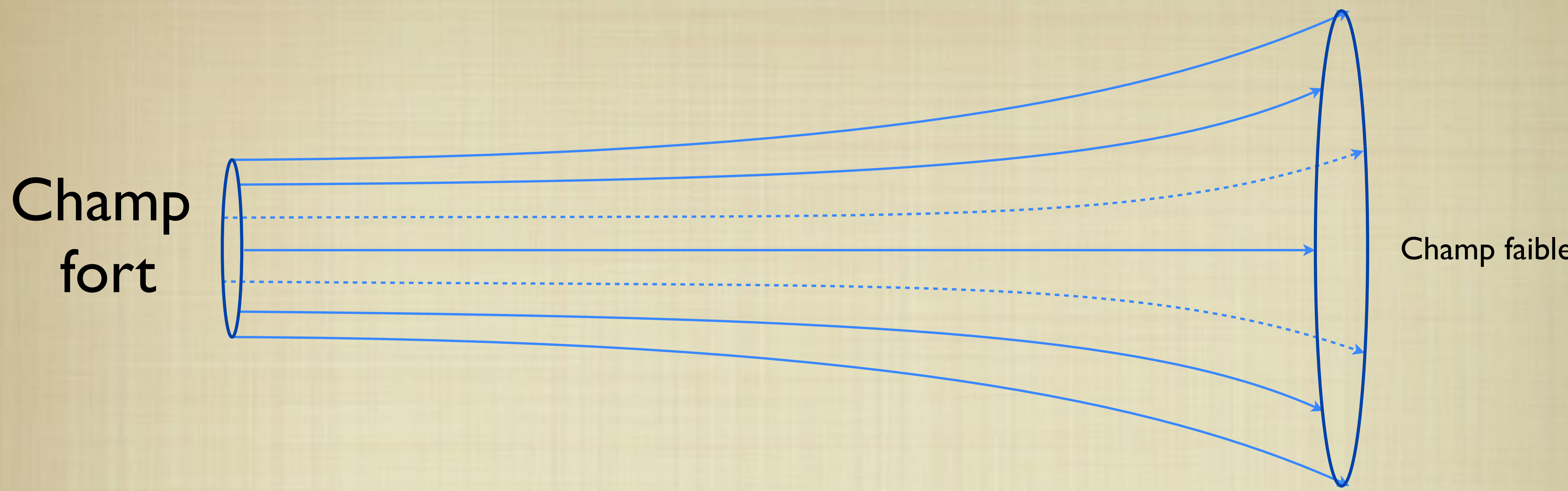
Champ magnétique d'un dipôle



- Le champ se renforce là où les lignes se concentrent

- Le champ s'affaiblit là où les lignes s'écartent.

✳Tube de champ



$$\oiint_{\Sigma} \vec{B} d\vec{S} = \vec{0} \quad \Leftrightarrow \quad Div(\vec{B}) = 0$$

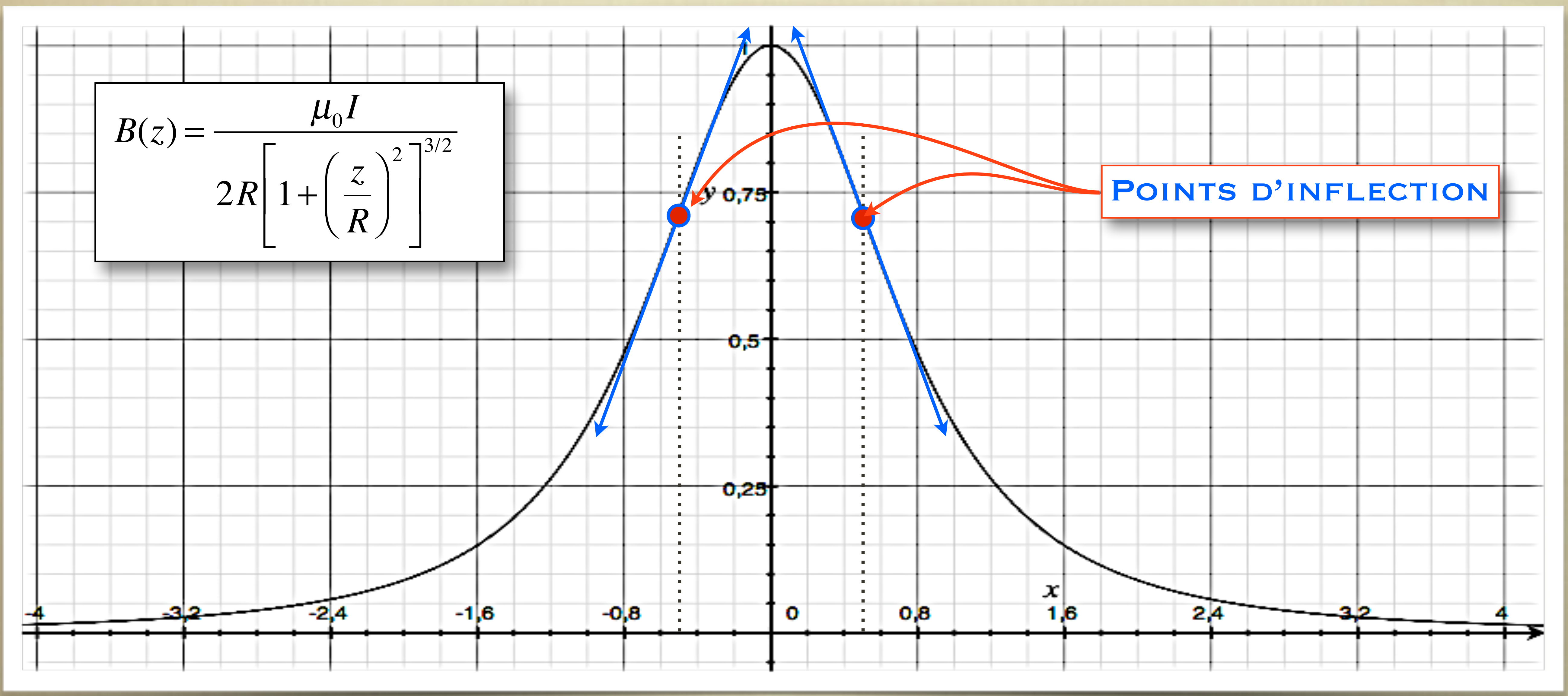
Propriété 5 :

Le flux est <u>toujours</u> conservé !

$$\boxed{\phi_e = \phi_s}$$

2 - Réalisation d'un champ magnétique quasi-uniforme :

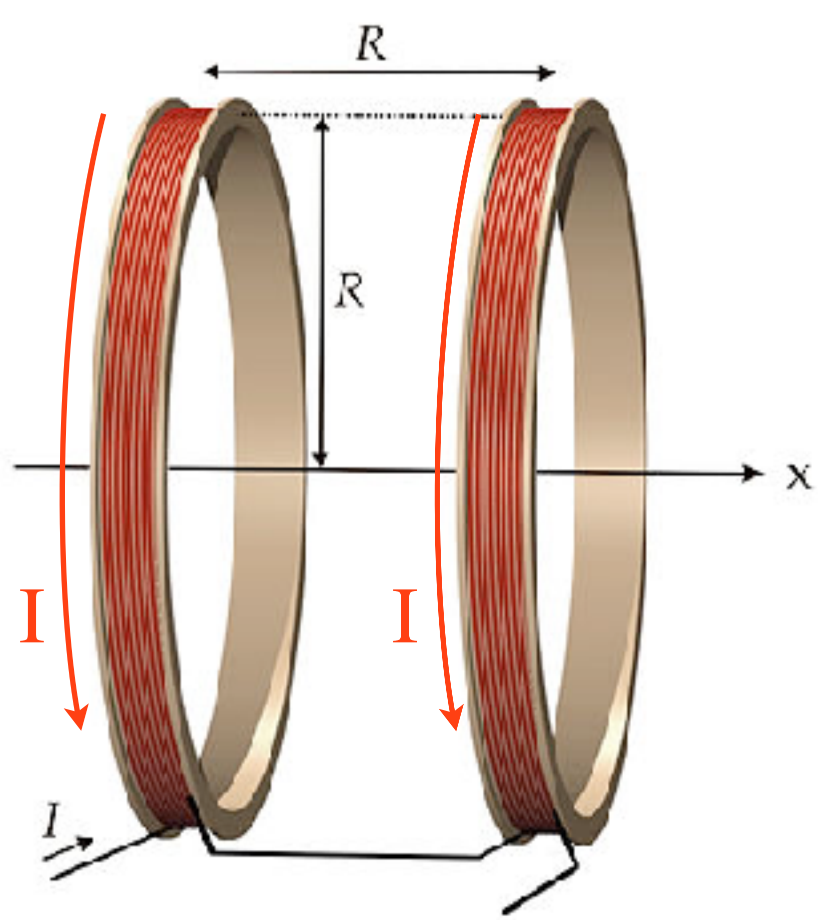
On s'appuie pour cela sur le champ d'une spire de courant. Vous montrerez en seconde année avec la loi de Biot & Savart, que le champ produit par une spire vaut sur son axe z :



L'idée étant de superposer les champs produits par deux bobines, séparées de la distance idéale.

[Cf TD]

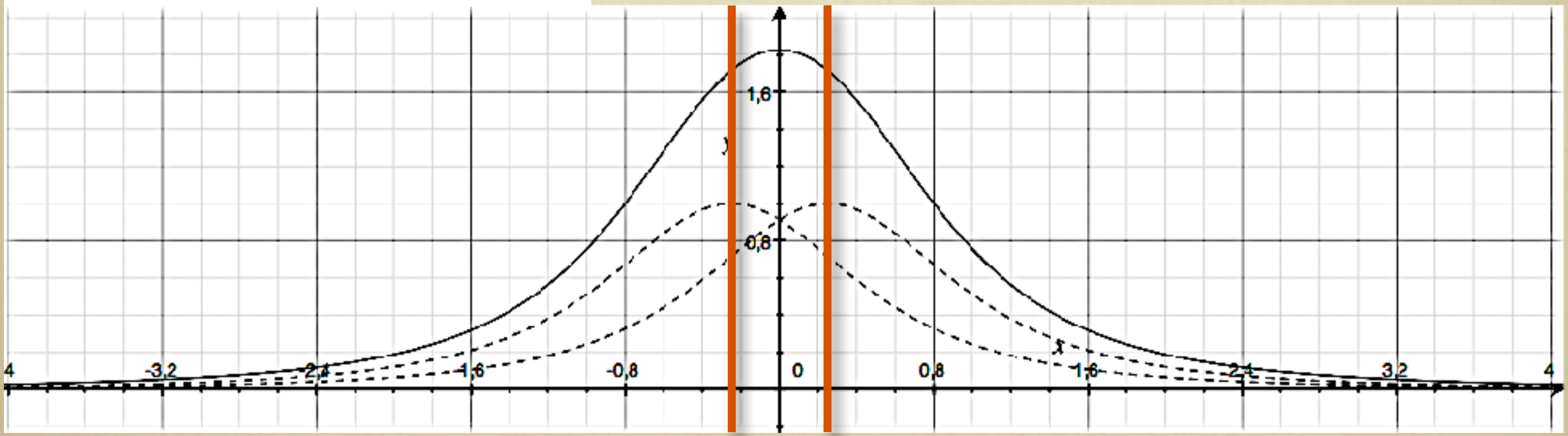
Bobines de Helmholtz



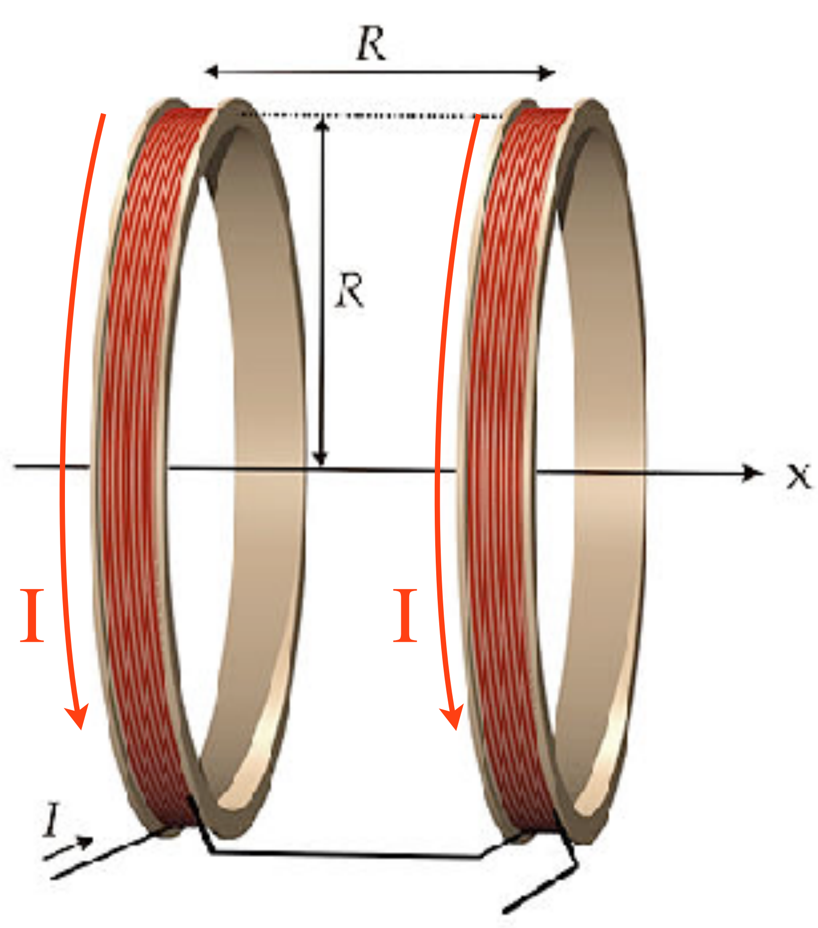
$$d < R$$

NE PAS NOTER

Trop concave



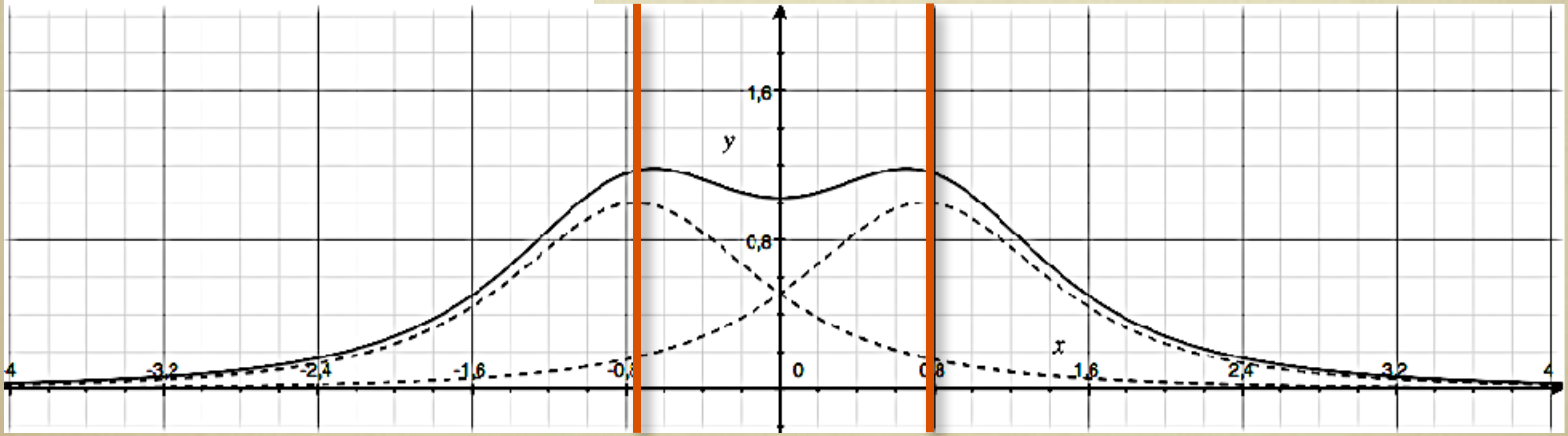
Bobines de Helmholtz



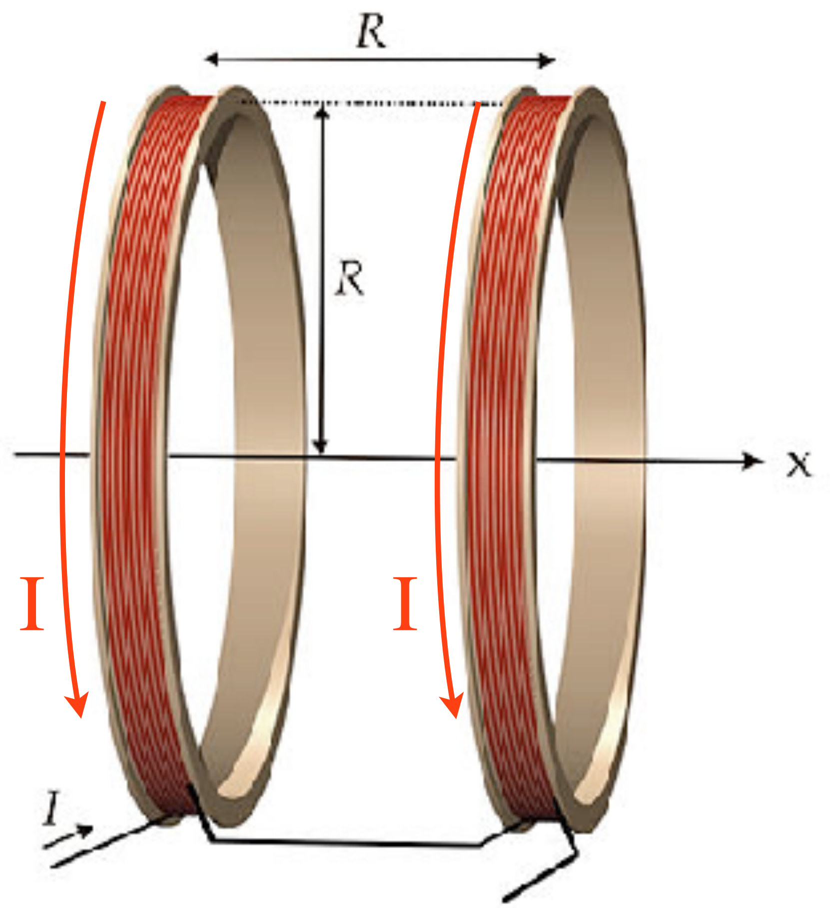
$$d > R$$

NE PAS NOTER

TROP CONVEXE



Bobines de Helmholtz



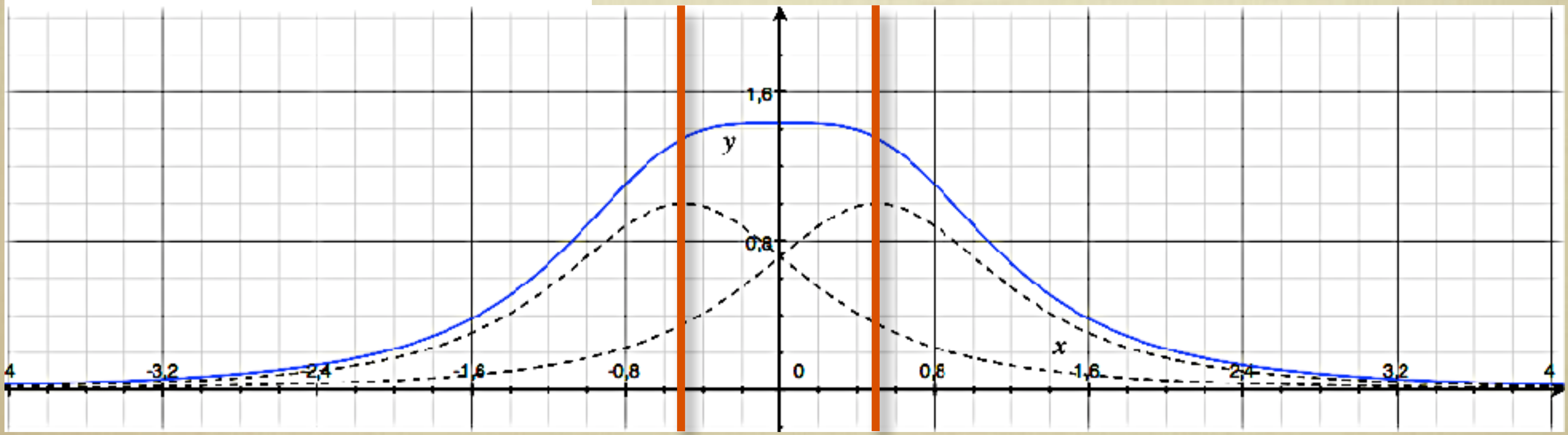
$$\boxed{d = R}$$

On supperpose les points d'inflection des deux champs :

=>

dérivée seconde nulle en z = 0 lorsque d = R

UNIFORME



Calcul du champ magnétique :

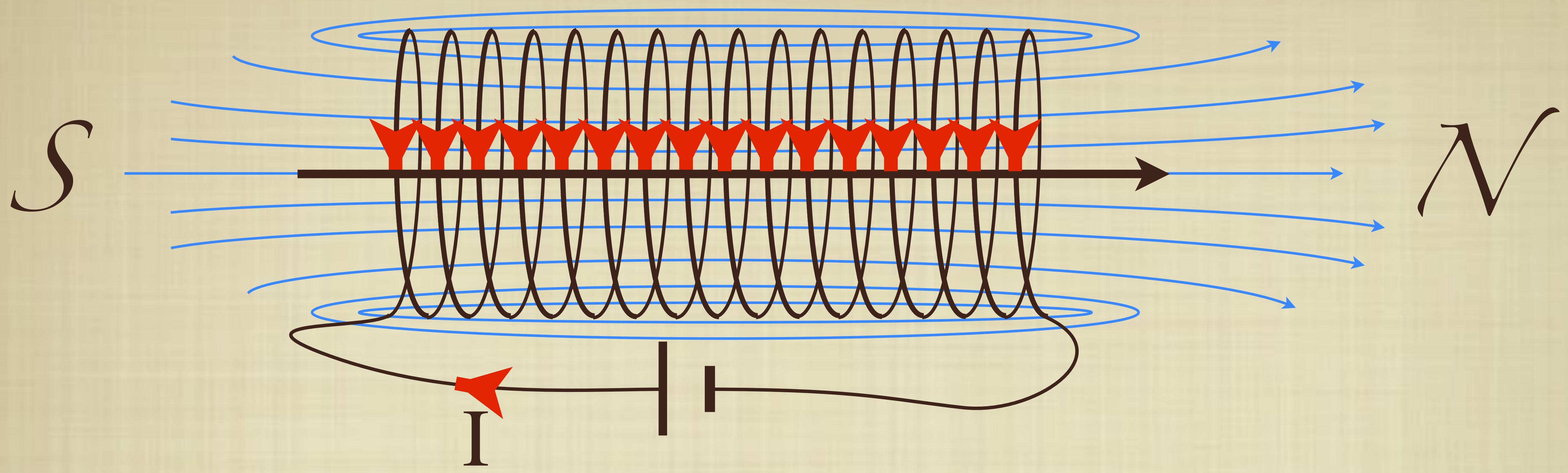
On considère que chaque bobine est un enroulement de N spires de rayon R. Elles sont parcourues par un courant I dans le même sens !

— superposer les champs de deux spires —

$$B(-R/2) + B(+R/2)$$

ODG :

Autre solution : Solénoïde de courant



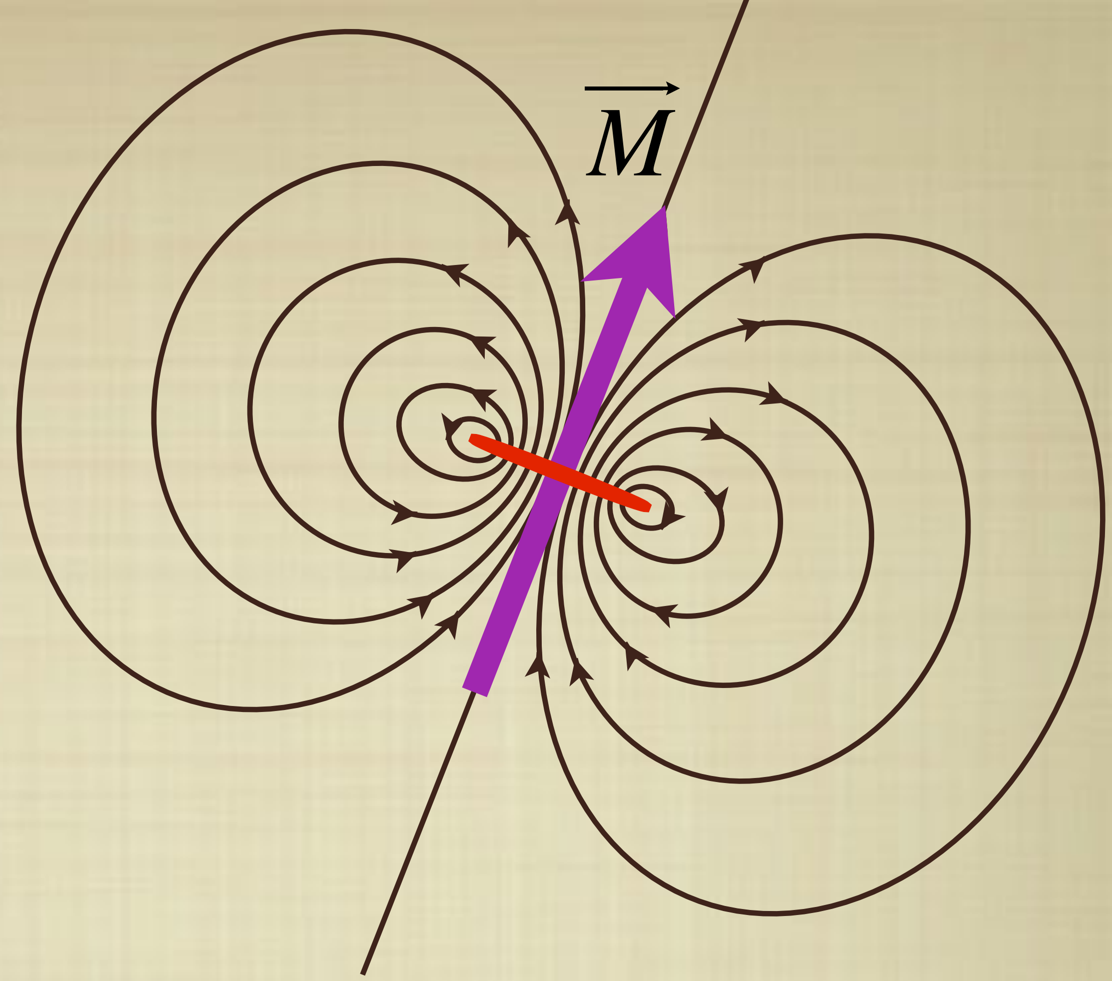
$$\boxed{B = \mu_0 n I}$$

ODG :

+ Le champ est plus uniforme si le solénoïde est long.

- il faut beaucoup plus de spires (plus cher)
- le champ uniforme n'est plus accessible par les cotés.

3 - MOMENT MAGNÉTIQUE



α - Définition :

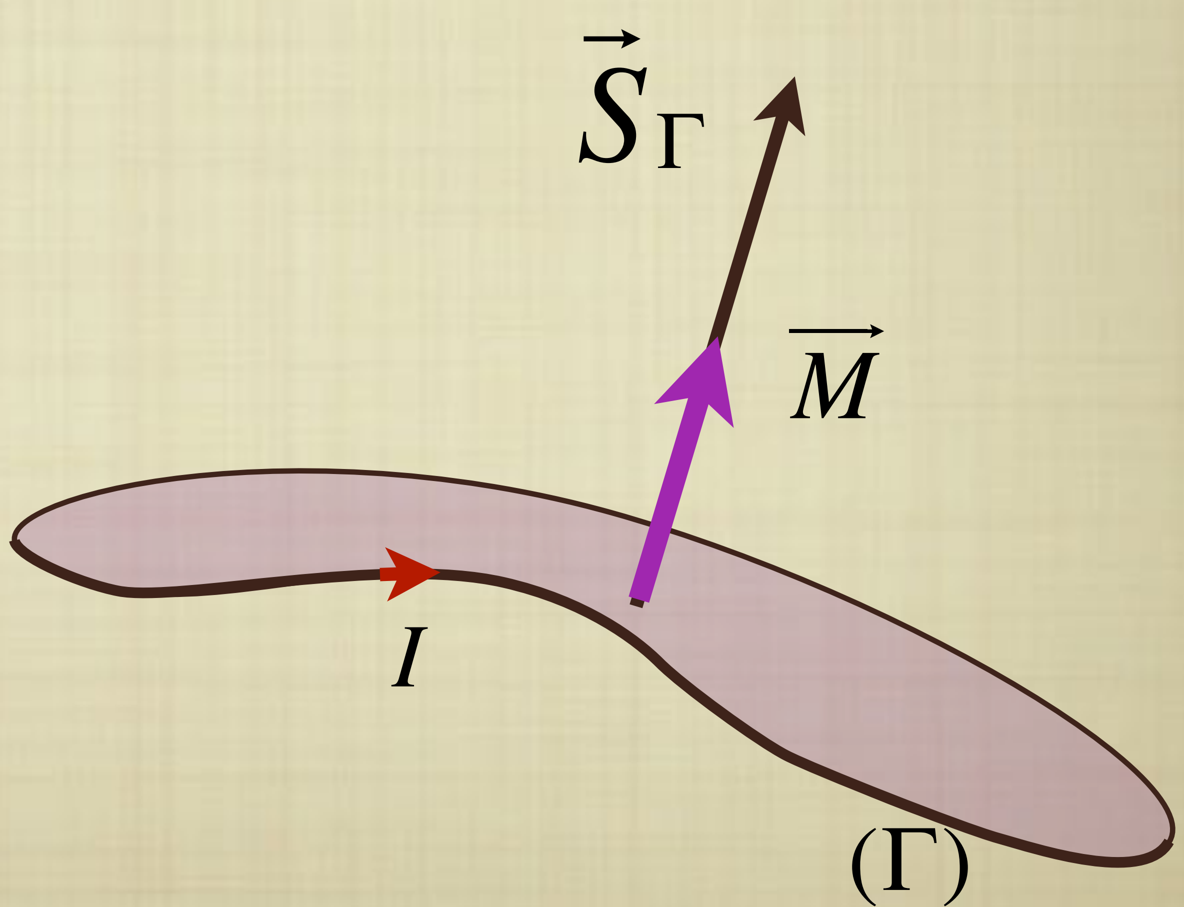
La plupart des systèmes peuvent être modélisés par une simple boucle de courant.

Définition :

Soit un circuit orienté de vecteur surface $\vec{S}$ et parcouru par un courant I :

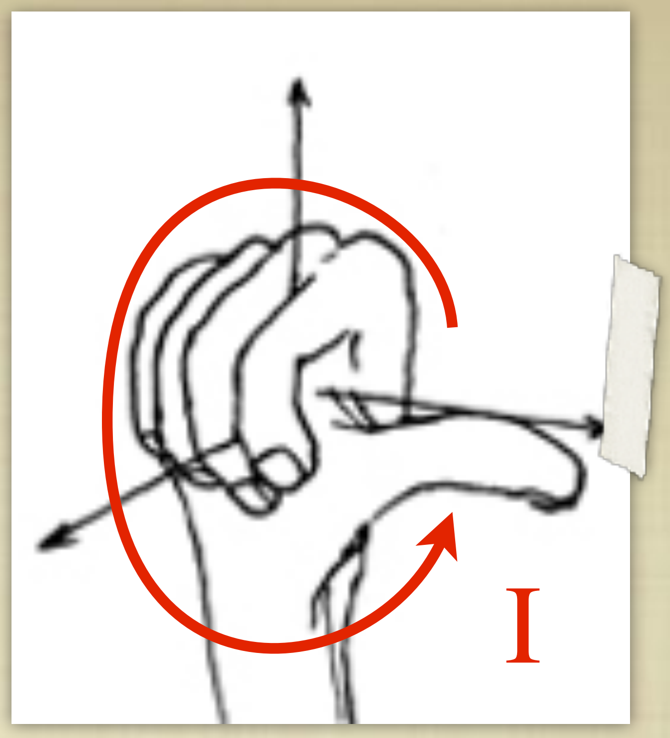
On appelle moment magnétique du circuit le vecteur axial :

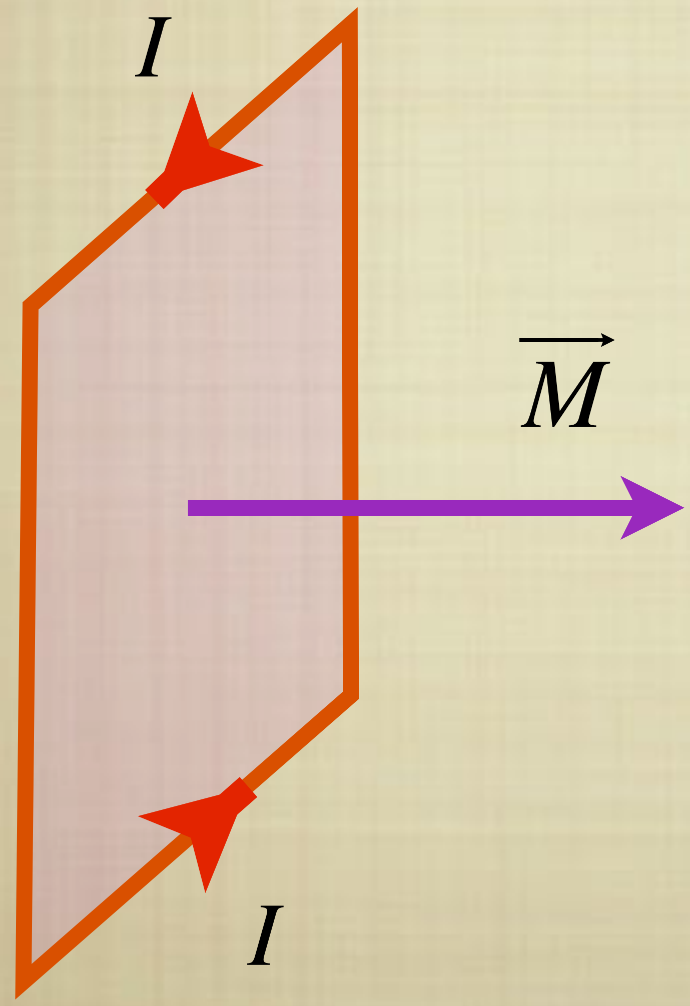
$$\overrightarrow{M} \equiv I\vec{S}$$



Le moment magnétique indique le sens du champ magnétique qui sort de la boucle de courant.

Son sens est donc aussi donné par la règle de la main droite.





<u>Moment magnétique d'une boucle rectangulaire :</u>

— appliquer la définition —

β - ODG des moments magnétiques :

— En classe —

V - Application : origine microscopique du magnétisme

— En classe —