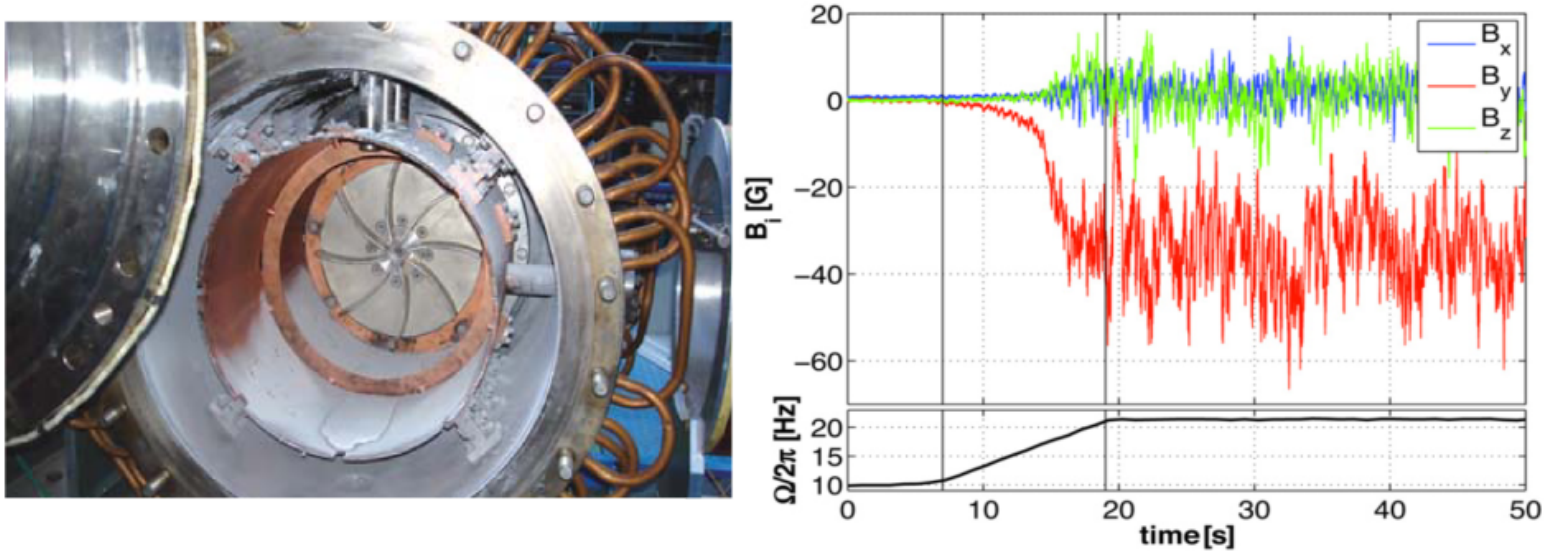


Figure – Expérience VKS permettant la rotation de sodium (gauche) et champ magnétique crée à $t = 20\,\mathrm{s}$ lorsque la vitesse de rotation Ω dépasse une valeur critique. Photo CEA et courbes issues de *The VKS experiment : turbulent dynamical dynamos, Compte rendu de l'académie des sciences, 2008.*

Origine	Terre	Bobines de T.P.	Aimant permanent	Bobines supra-conductrices
Ordre de grandeur	50 μT	1 mT	$0,1 - 1$ T	10 T
Application	boussole	transfor--mateur	Disques durs	IRM et RMN

Table – Valeur de champs magnétiques usuels.

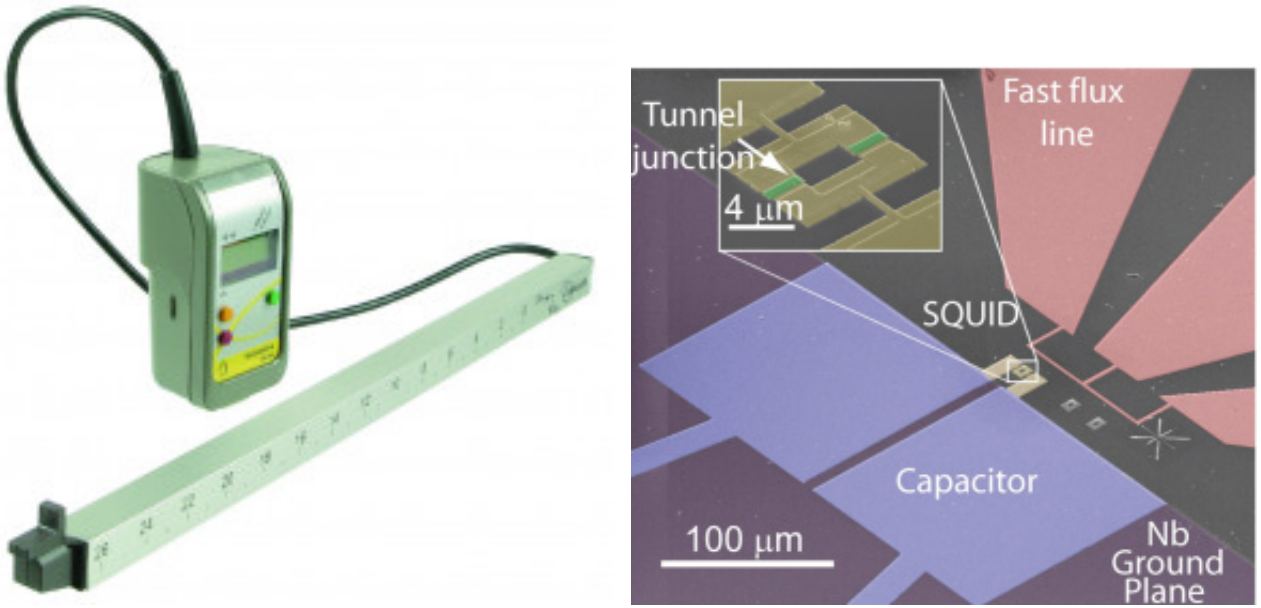


Figure – Teslamètre commercial à but éducatif (Jeulin ©) ou utilisant la supraconductivité : SQUID (droite). D'après *Dispersive magnetometry with a quantum limited SQUID parametric amplifier, PRB 2011*.

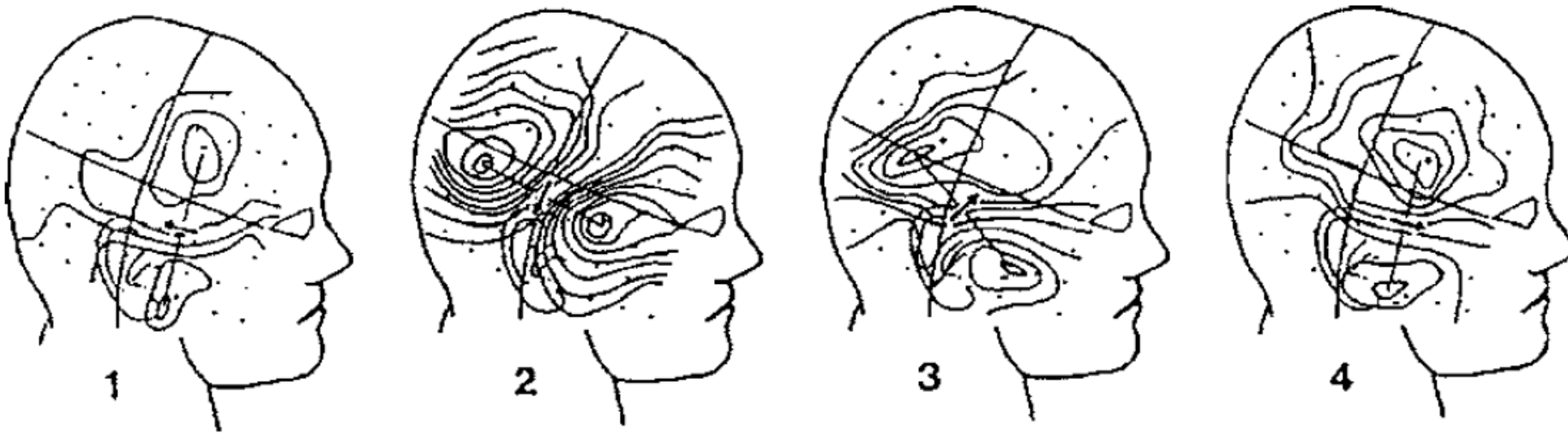


Figure – Évolution du champ magnétique dans un cerveau d'une personne épileptique (intervalle de 20 ms environ). D'après *Superconducting quantum interference device instruments and applications, Review of Scientific Instruments,2006*.

Figure – Bobine résistive créant un champ de 41 T au centre de recherche National High FIeld Laboratory (Floride, Aout 2017). Puissance nécessaire 41 MW. Image courtesy of Tim Murphy, NHL.

Définition :

Une **ligne de champ** magnétique est une courbe dont la tangente en tout point est donnée par le vecteur $\vec{B}$.

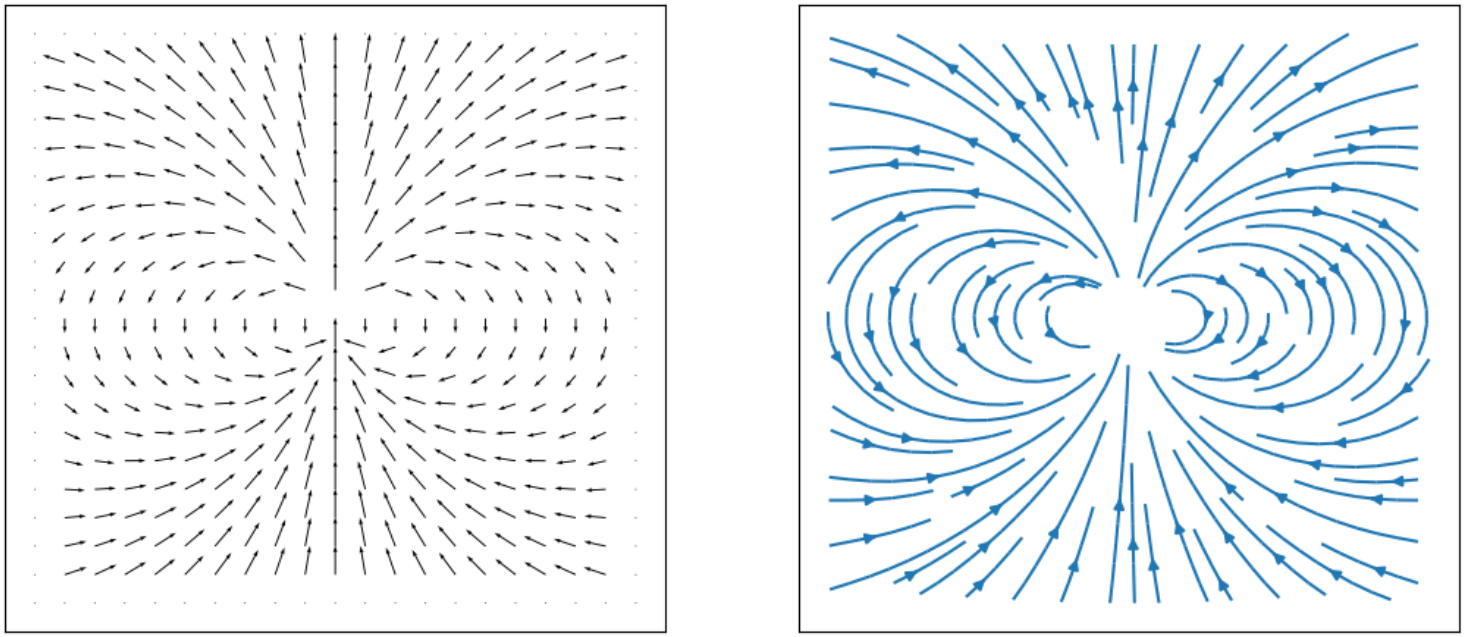


Figure – Représentation du champ magnétique $\vec{B}$ d'un dipole placé au centre, soit par une collections de vecteurs (gauche) ou soit par ligne de champ (droite).

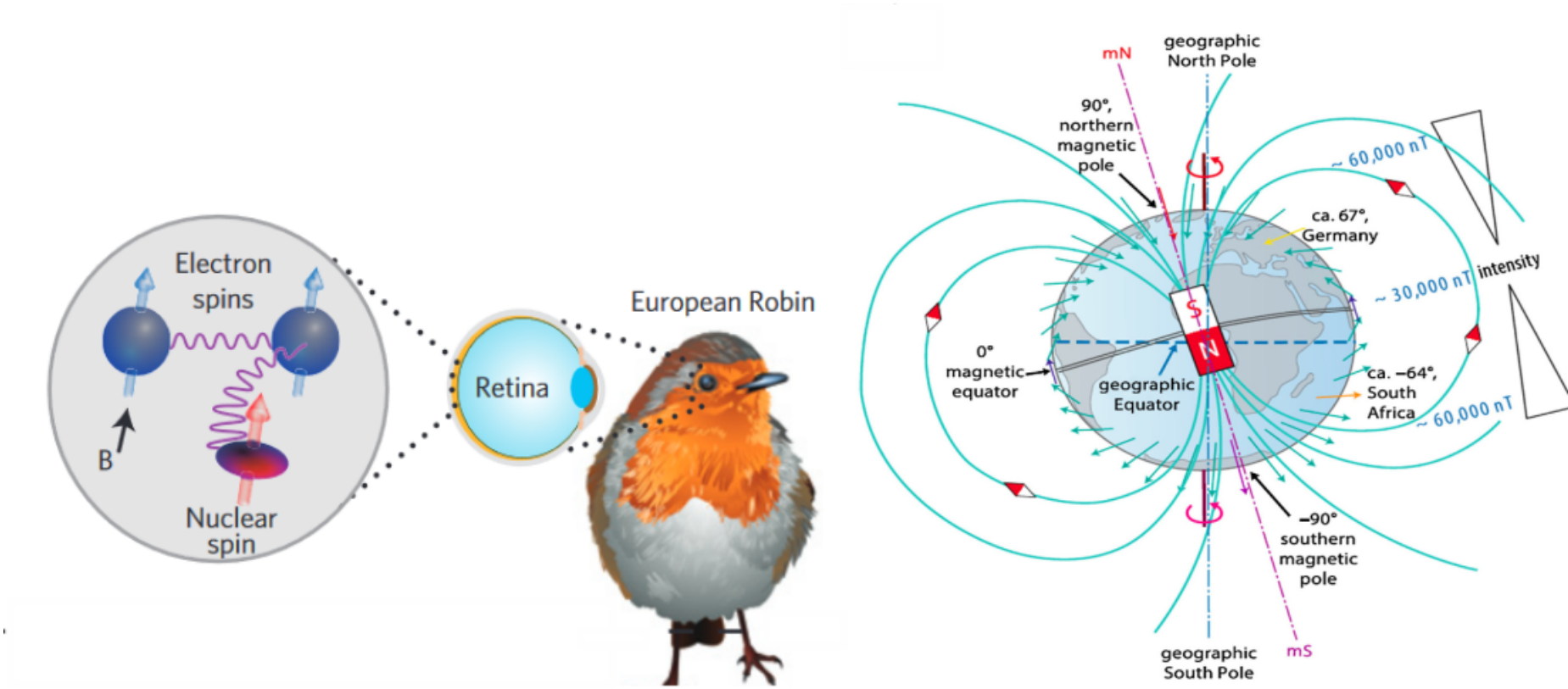


Figure – Certains oiseaux migrateurs s'appuient sur l'orientation du champ magnétique terrestre et sa déviation par rapport au nord géographique pour s'orienter. La fréquence d'oscillations d'un système quantique présent dans la rétine des rouge-gorges dépendrait de l'inclinaison du champ magnétique. *D'après Quantum biology, Nature 2013*.

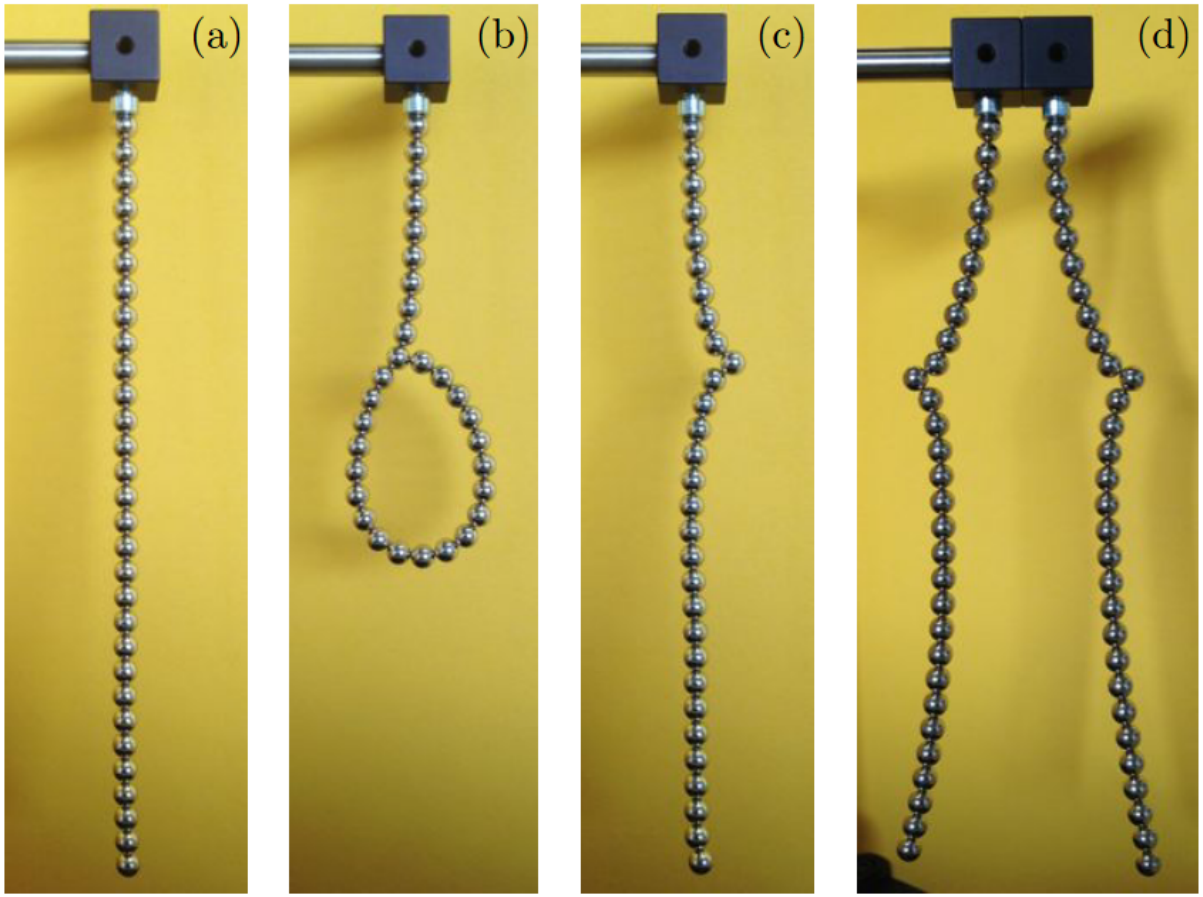
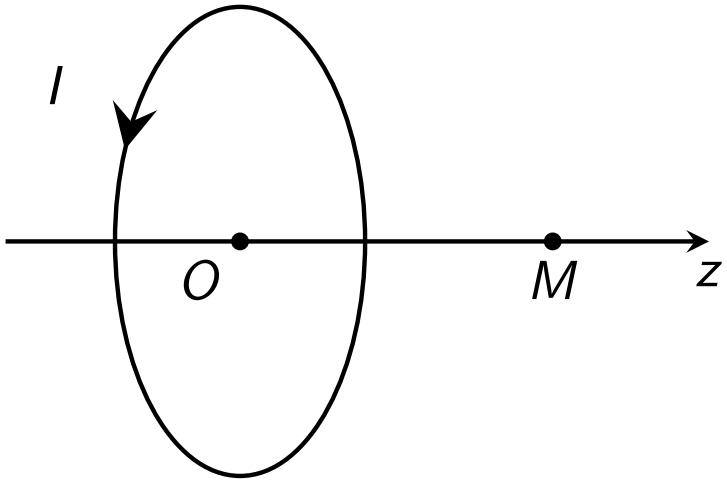


Figure – Modifications d'une chaines de sphères aimantées et apparition de jonctions fantomes. *D'après Magnetic ghosts and monopoles, New J. Physics, 2014.*

Exemple 1

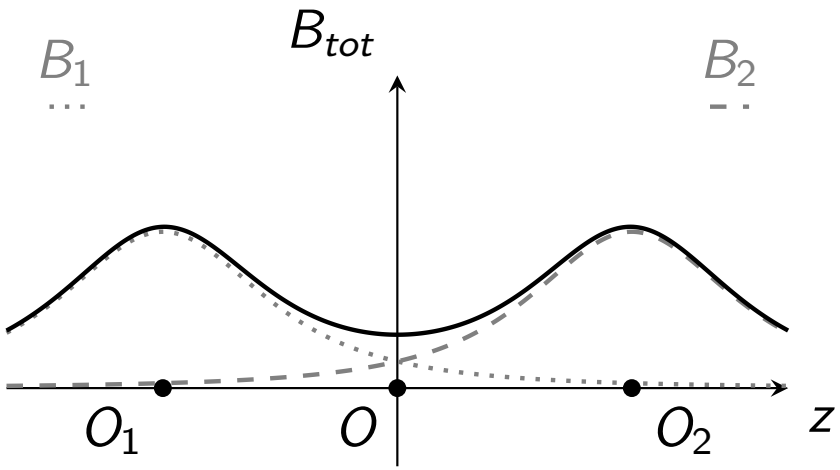
Le champ magnétique crée par une bobine plate le long de son axe est donné par (cf. annexe **??**) :

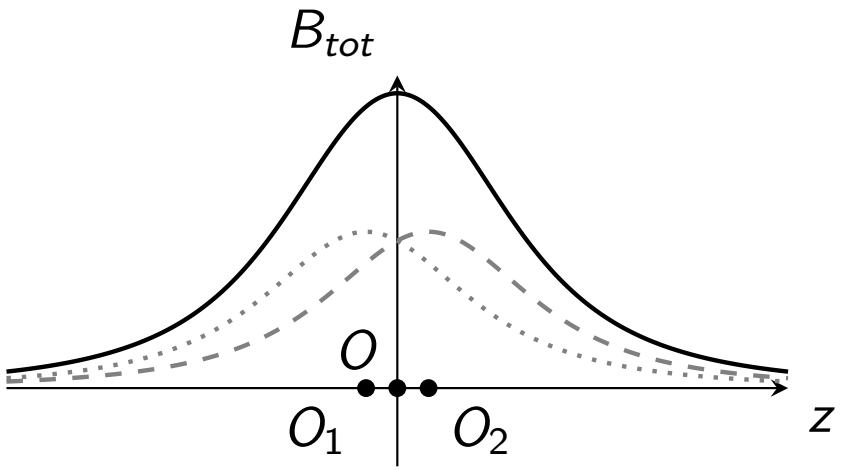


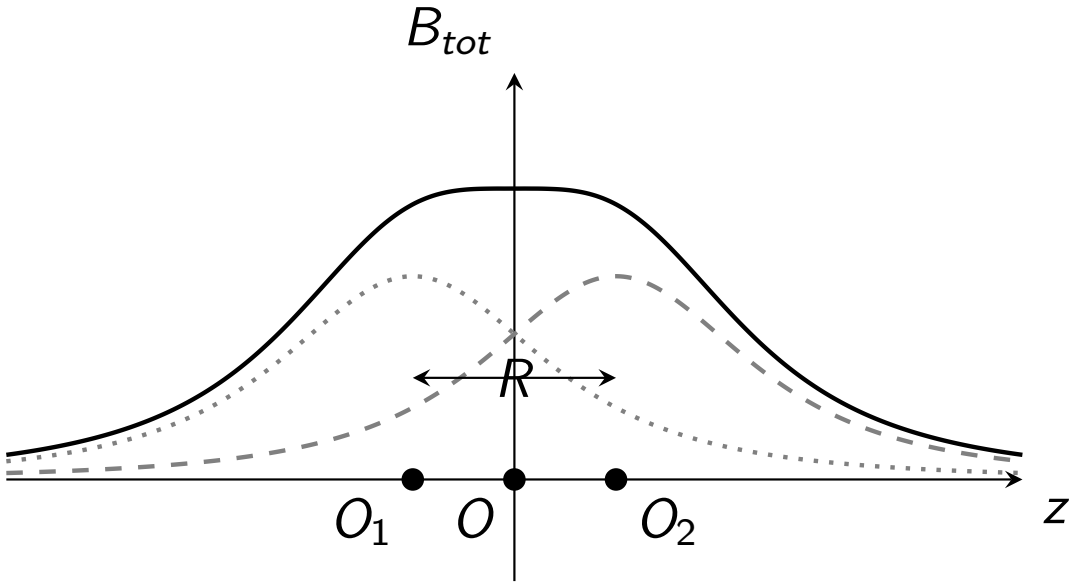
$$\vec{B}(z) = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{3/2}} \vec{e}_z$$

1 - Représenter l'allure du champ magnétique en fonction de z.

2 - Représenter le champ créer par deux bobines plates identiques assez éloignées, puis très proches. Justifier qu'il est possible d'obtenir un champ constant dans une certaine zone de l'espace.


B_{tot}
B_1
B_2
O_1
O
O_2
z


B_{tot}
O
O_1
O_2
z


B_{tot}
R
O_1
O
O_2
z

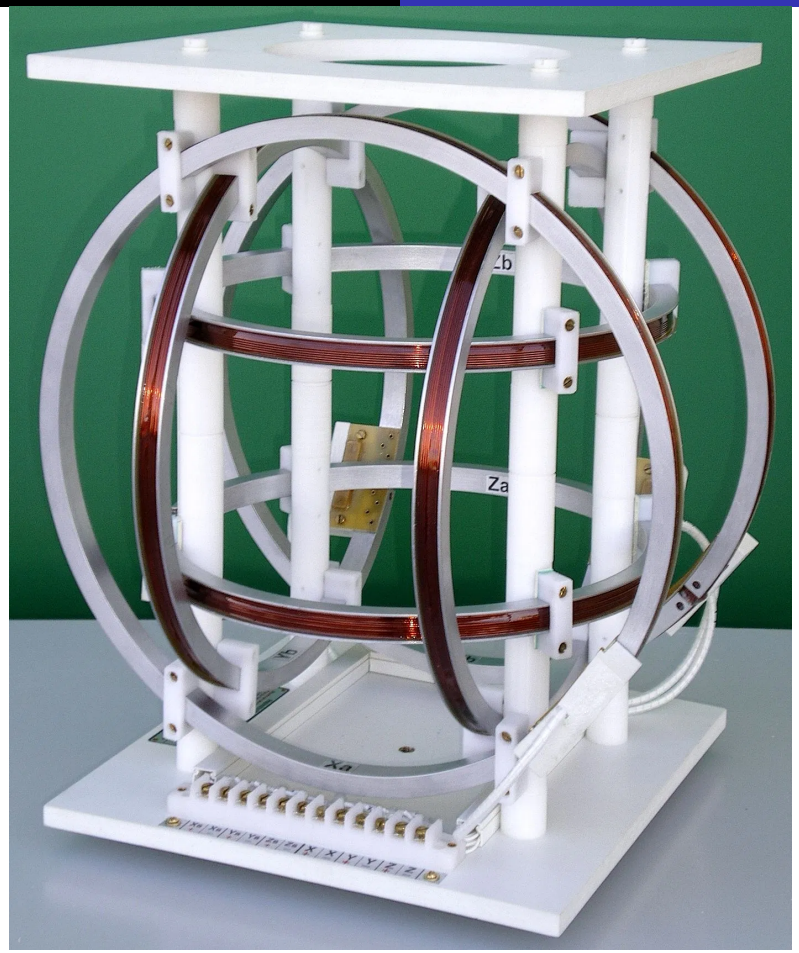
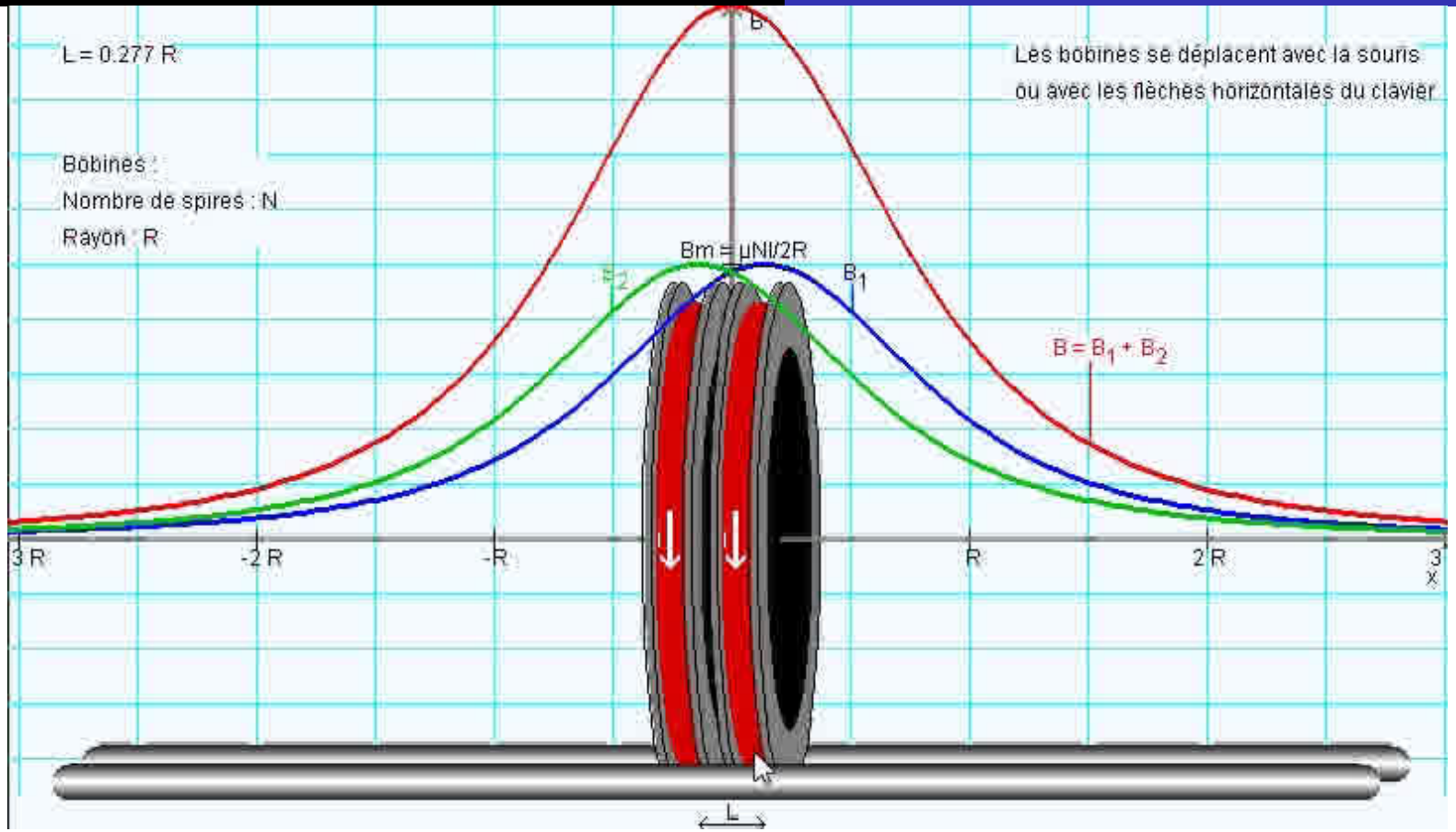


Figure – Champ magnétique quasi-uniforme dans une configuration de type Helmoltz et bobines commerciales (Feronnato ©.)


L = 0.277 R
Les bobines se déplacent avec la souris
ou avec les flèches horizontales du clavier
Bobines :
Nombre de spires : N
Rayon : R
B
Bm = μNI/2R
B1
B2
B = B1 + B2
3 R
-2 R
-R
R
2 R
3
x
L

Exemple 2

Dans les dispositifs d'imagerie médicale par résonance magnétique (IRM), le patient est placé au milieu d'une spire supraconductrice verticale (plan Oxz) comme indiqué dans la figure ci-contre.

1 - En utilisant les coordonnées cartésiennes, représenter la spire dans le plan Oxz parcourue par un courant I.

2 - Préciser la direction du champ magnétique $\vec{B}(M)$ en un point M du plan Oxz.

Définition :

Un plan d'antisymétrie d'une distribution de courant est un plan de symétrie du circuit électrique sans changement de signe du courant à la traversée de ce plan.

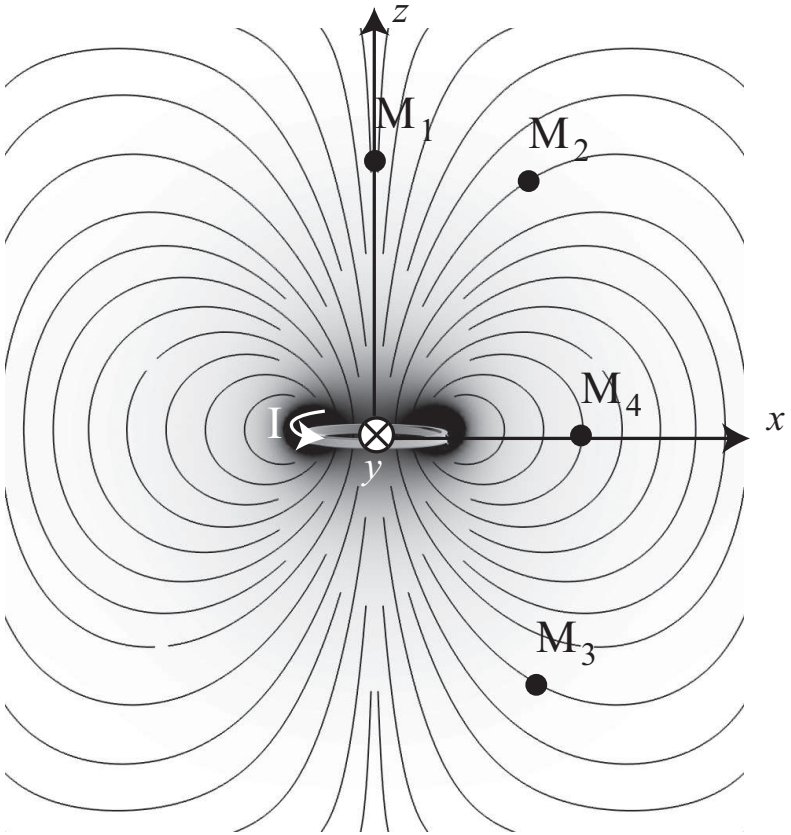
Exemple 3

Considérons une spire parcourue par un courant I (cf. fig. ci-contre).

1 - Que représentent les plans Oxy, Oxz et Oyz pour la distribution de courant ?

2 - Justifier l'orientation du champ magnétique au point M_1.

3 - Justifier l'orientation du champ magnétique au point M_4.



4 - Représenter les champs magnétiques aux points M_2 et M_3. Quelle propriété géométrique relie ces deux vecteurs ?

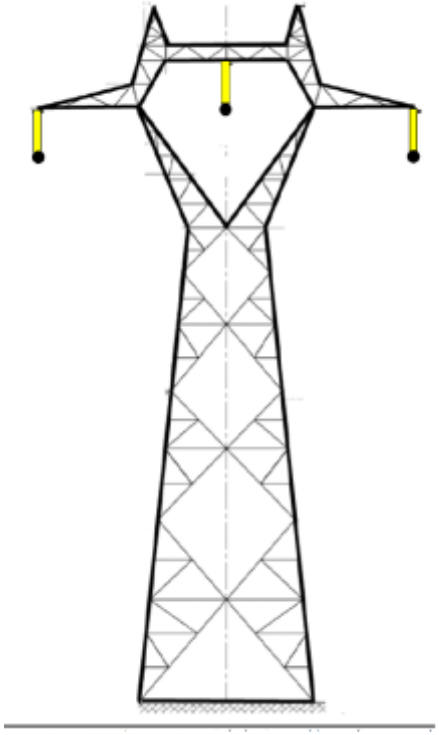
Exemple 4

On considère un fil quasi-infini parcouru par un courant I.

1 - Déterminer le système de coordonnées le plus adapté à la description du champ magnétique.

2 - En utilisant les symétries, donner la direction du champ magnétique en un point M quelconque de l'espace.

3 - En exploitant les invariances du courant, proposer une écriture pour le champ magnétique en un point M quelconque de l'espace.



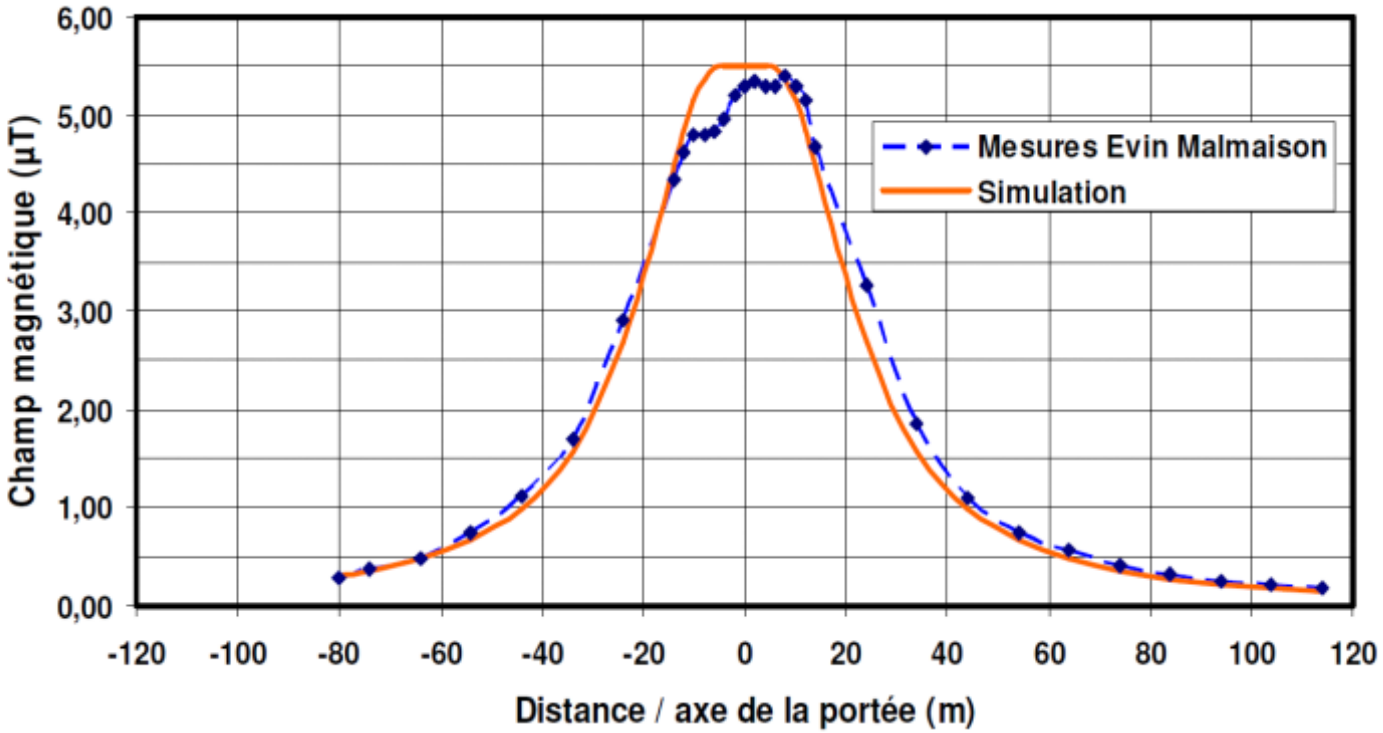


Figure – Comparaison de la simulation à la mesure de champ magnétique sur le site d'Evin Malmaison *D'après Etude du champ magnétique (induction magnétique) à proximité de la ligne 400 kV Avelin-Gavrelle (mars 2014).*

Définition :

Un **contour orienté** est une ligne fermée dont on définit le sens de parcours. Ce contour est associé à une surface dont le vecteur normal est orienté de manière directe (par la règle de la main droite (cf. fig. 10).

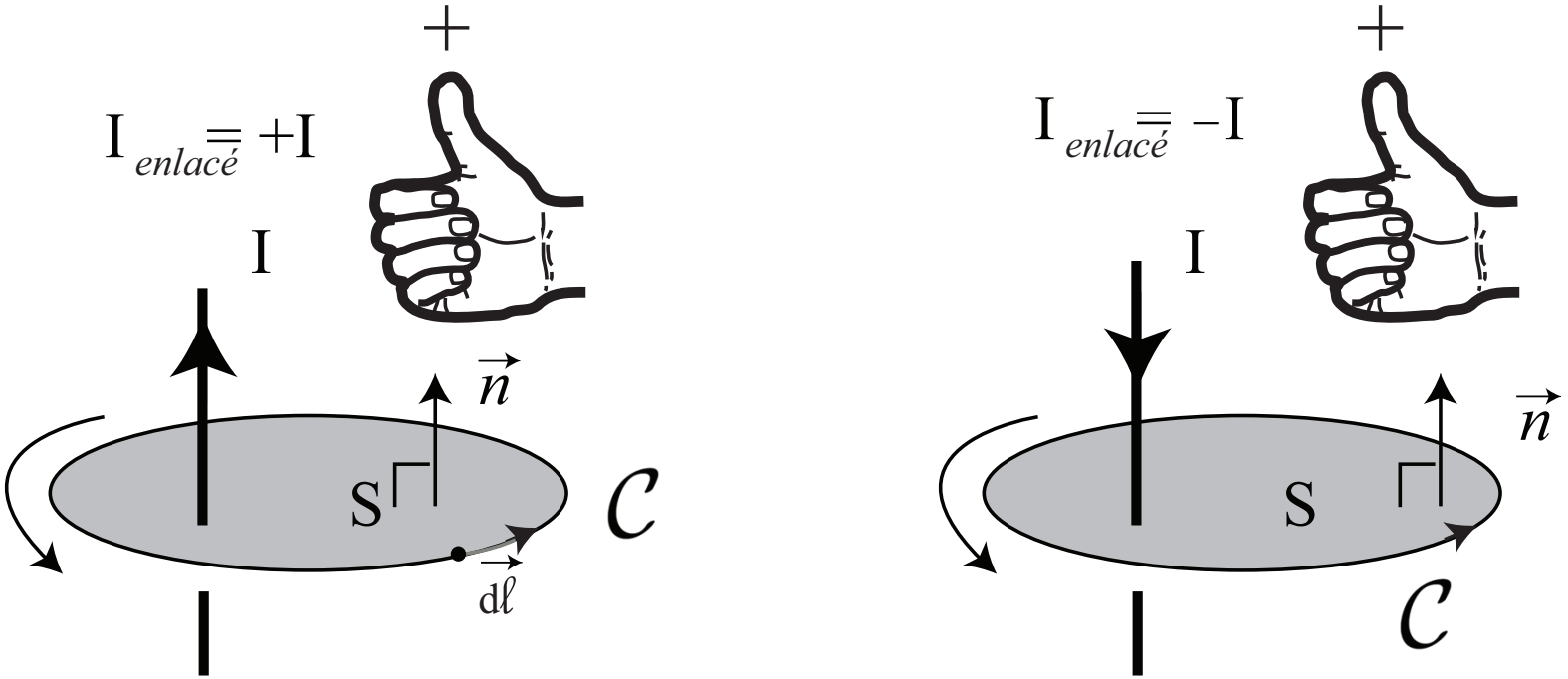


Figure – Orientation du courant « enlacé ».

Définition :

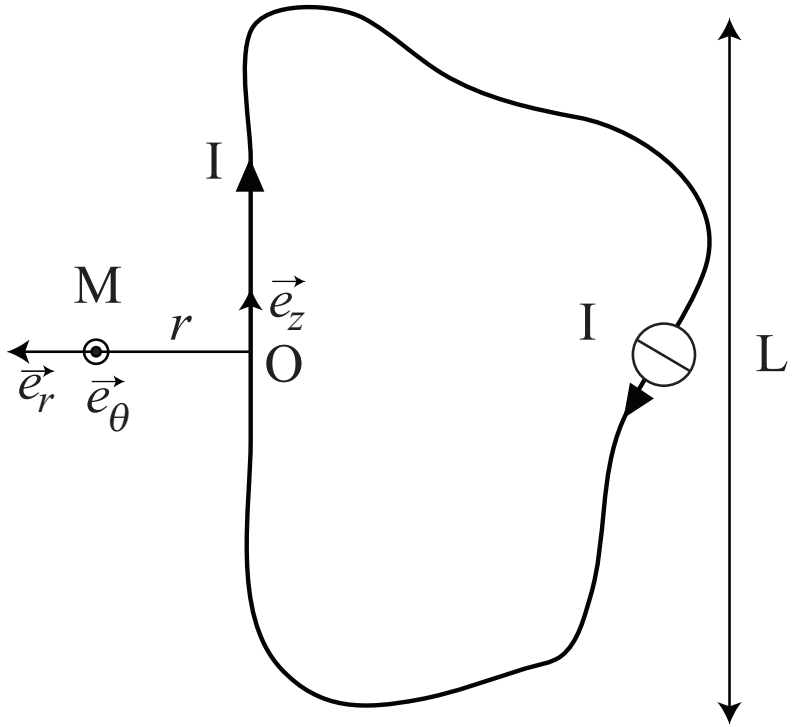
La circulation d'un vecteur $\vec{B}$ sur un contour fermé $\mathcal{C}$ est définie par

$$C_{\mathcal{C}}(\vec{B}) = \oint_{\mathcal{C}} \vec{B}.\mathrm{d}\vec{\ell}$$

où $\mathrm{d}\vec{\ell}$ est un vecteur unitaire orienté dans le même sens que $\mathcal{C}$.

Exemple 5

On considère un fil étiré sur une longueur L parcouru par un courant I. On cherche à connaître le champ à une distance r du fil en utilisant les coordonnées cylindriques associées à la partie rectiligne.



1 - À quelle condition sur la position de M, le fil pourra être considéré comme infini.

2 - Déterminer dans ce cas, l'orientation du champ magnétique créé par ce fil.

3 - Déterminer les variables dont dépend le champ magnétique.

4 - Enfin, établir l'expression du champ magnétique créé par ce fil supposé infini.

5 - Représenter la norme du champ magnétique en fonction de r

et en déduire l'allure des lignes de champ.
6 - Calculer le champ magnétique à $1,0\ \mathrm{cm}$ d'un un fil infini parcouru par un courant de $1\ \mathrm{A}$.
Données : $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ \mathrm{H.m^{-1}}$

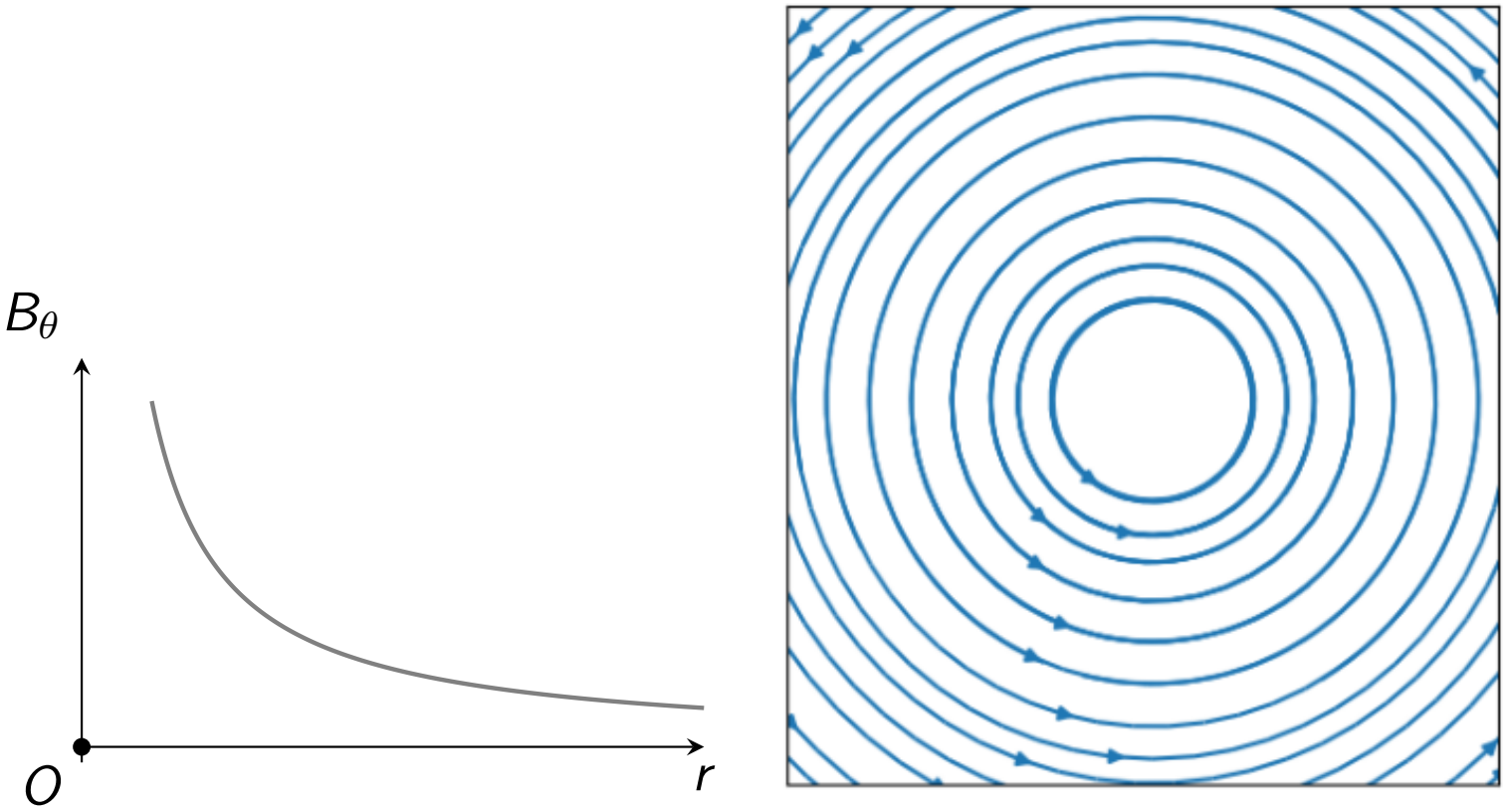
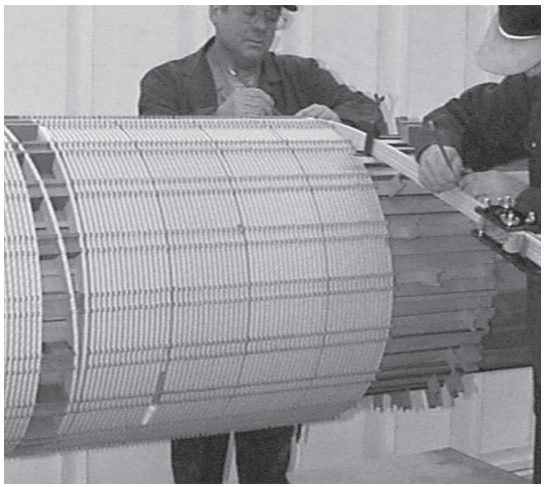
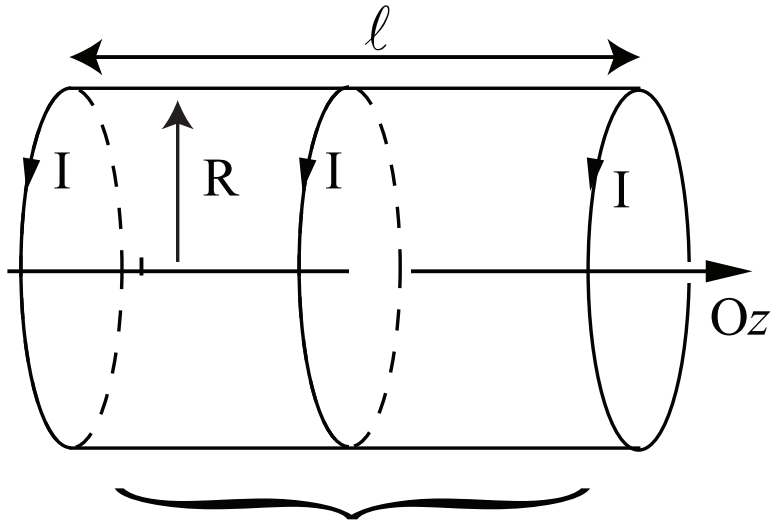


Figure – Représentations du champ magnétique $\vec{B}$ crée par un fil infini situé au centre.

Exemple 6 Dans les transformateurs industriels, on utilise des des solénoïdes. Notons ℓ sa longueur, R son rayon R et N le nombre de spires. On considère qu'elles sont toutes parcourues par un courant I. On cherche à connaître le champ dans tout l'espace



bobine de transformateur
Surplec ©



1 - À quelle condition le solénoïde pourra être considéré comme infini.

2 - Déterminer dans ce cas, l'orientation du champ magnétique.
3 - Déterminer les variables dont dépend le champ magnétique.
4 - En admettant que le champ magnétique est nul à l'extérieur du solénoïde, établir l'expression du champ magnétique.
5 - Calculer la valeur du champ magnétique pour une bobine contenant 1000 spires par mètre et parcouru par un courant de 10 A

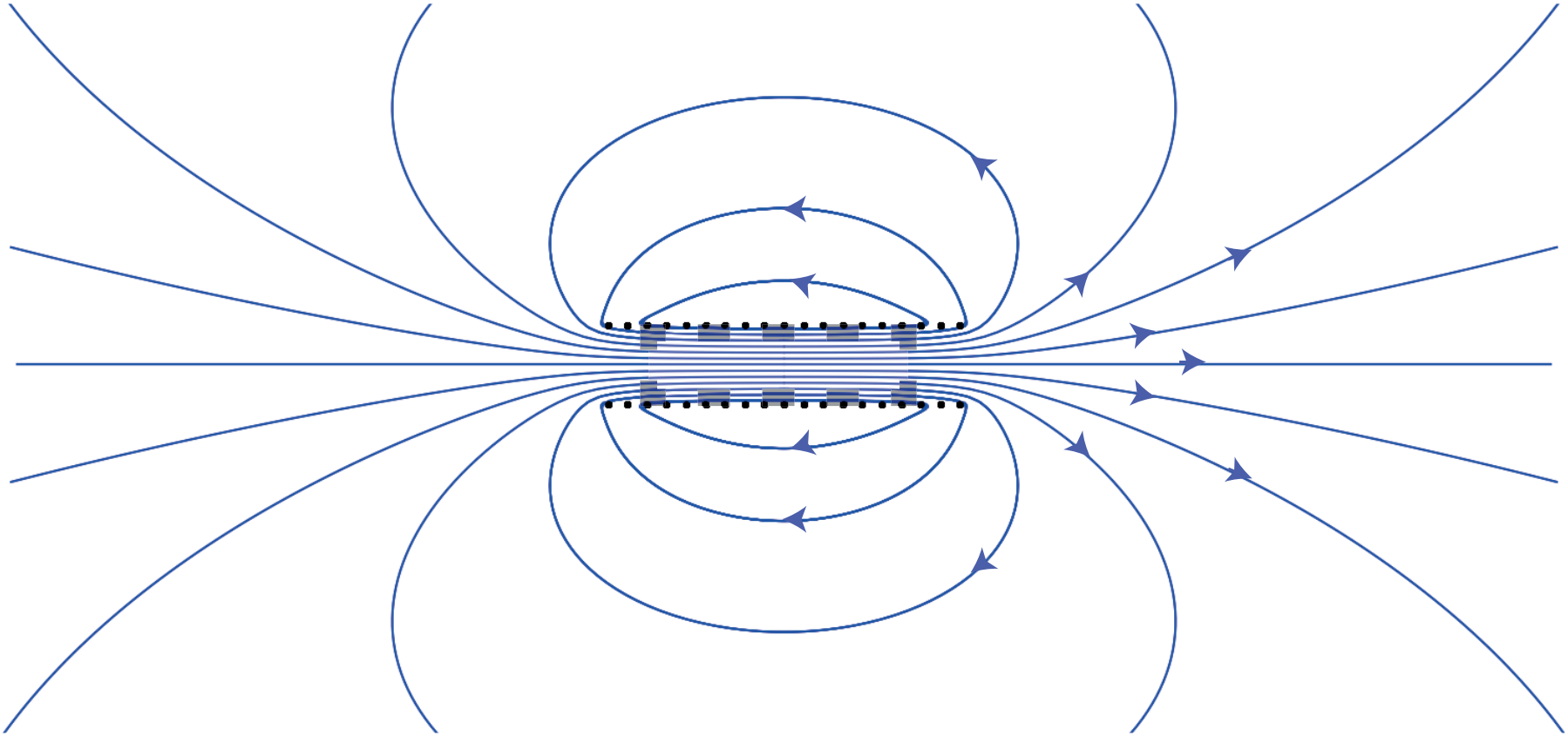


Figure – Simulation du champ magnétique d'un solénoïde pour $\ell = 10 \times R$ et zone de validité de l'approximation du solénoïde infini (pointillés).

Définition :

Dans un conducteur cylindrique de section S, parcouru par un courant I, le vecteur densité de courant $\vec{j}$ est défini par

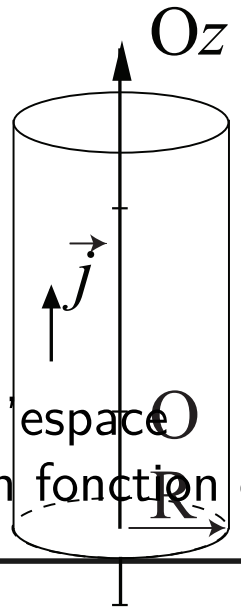
$$I = \iint_S \vec{j} \cdot \overrightarrow{\mathrm{d}S}$$

$\vec{j}$ s'exprime en $A \cdot \mathrm{m}^{-2}$.

Exemple 7

Un cylindre infini d'axe Oz et de rayon R est parcouru par une courant volumique uniforme et permanent de densité $\vec{j} = j\,\vec{e}_z$.

1 - Déterminer l'expression du courant circulant dans le cylindre.



2 - À l'aide du théorème d'Ampère, déterminer le champ magnétique créé en tout point de l'espace.

3 - Représenter la norme du champ magnétique en fonction de r.

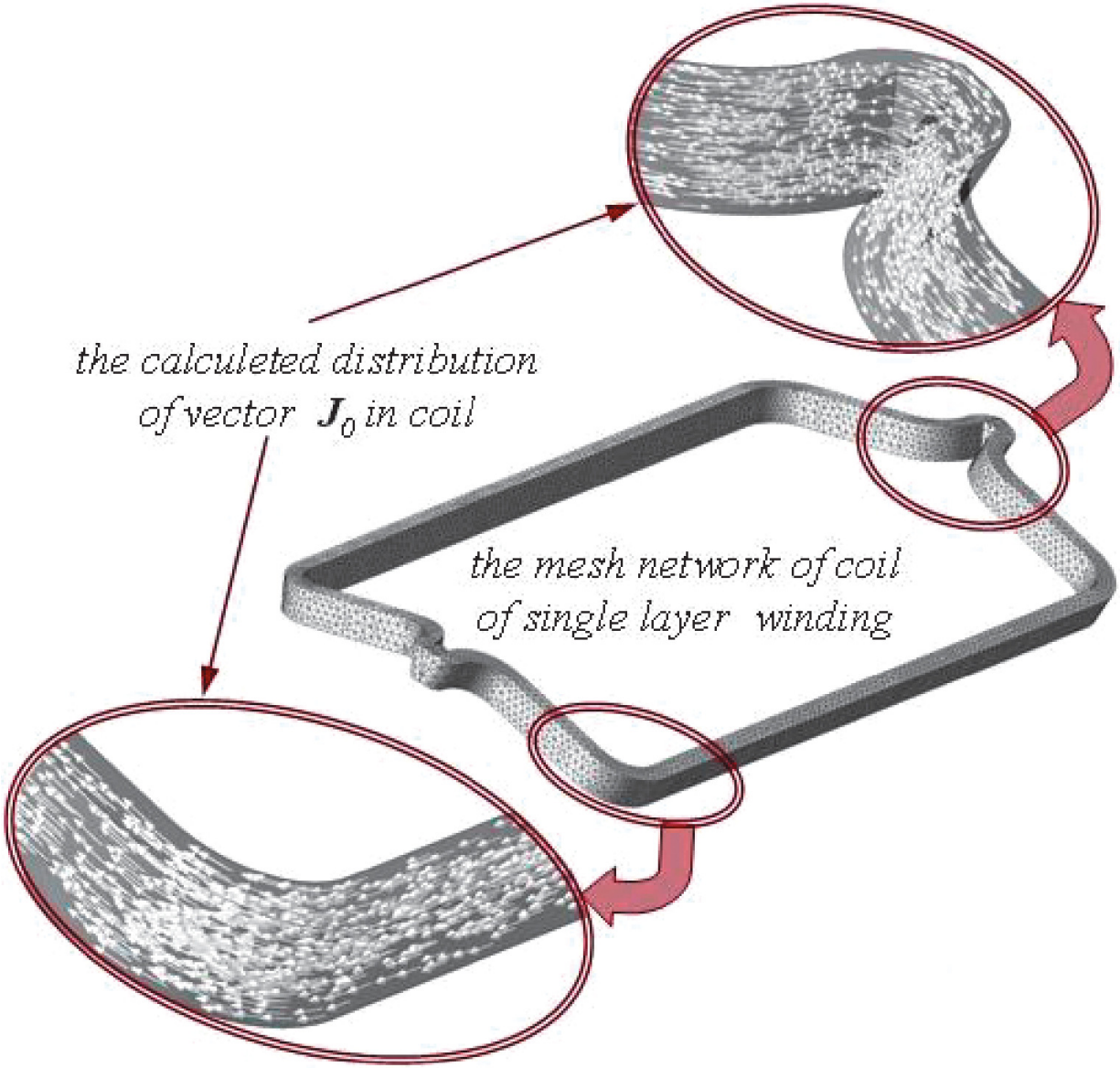

the calculeted distribution
of vector J_0 in coil
the mesh network of coil
of single layer winding

Figure – Modélisation de la densité de courant dans une spire de moteur asynchrone. D'après *A description of the sources of magnetic field using edge values of the current vector potential, Archives of electrical engineering*, **67**, *17 (2018)*.

Temporary page!

LaTeX was unable to guess the total number of pages correctly. As the
was some unprocessed data that should have been added to the final
page this extra page has been added to receive it.
If you rerun the document (without altering it) this surplus page will g
away, because LaTeX now knows how many pages to expect for this
document.