

Diagrammes de lignes de champ : propriétés et limites

S. AYRINHAC

simon.ayrinhac@sorbonne-universite.fr



Partie 1 : champ \vec{E}

Le champ électrique \mathbf{E} est un champ vectoriel qui peut être visualisé par un **diagramme de lignes de champ** dans lequel :

- chaque ligne est tangente à \mathbf{E}
- chaque ligne est orientée dans la direction de \mathbf{E}
- le nombre de lignes par unité de surface est proportionnel à la norme de \mathbf{E} : plus les lignes sont serrées, plus le champ est intense

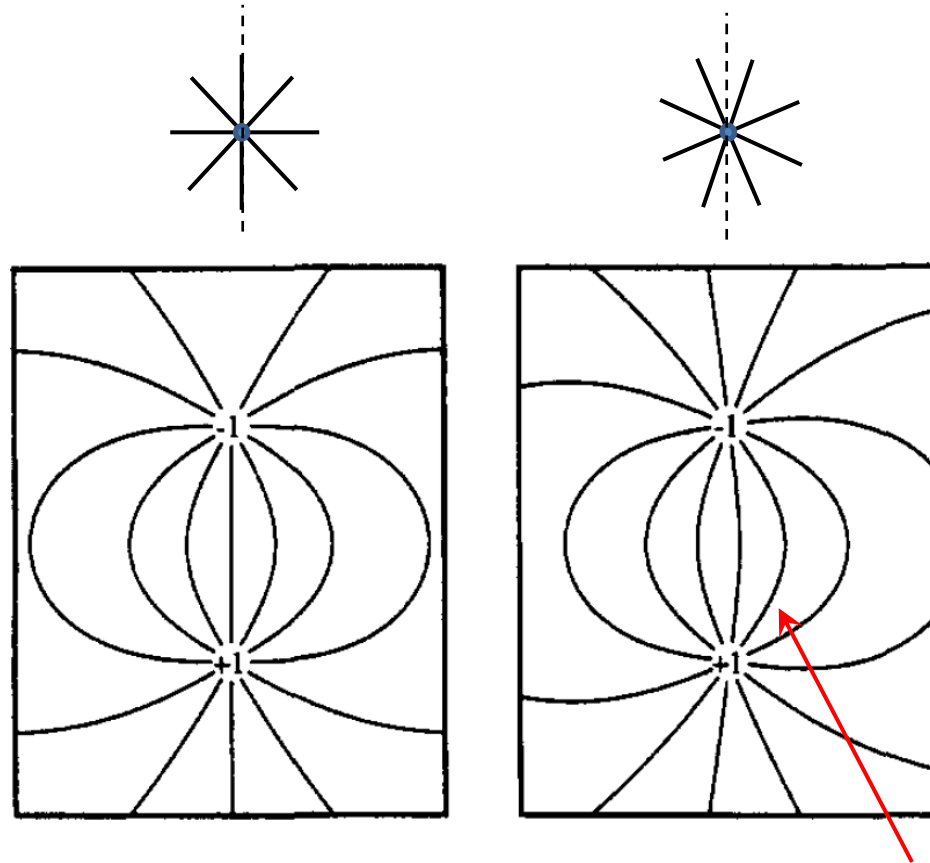
Bien qu'utiles, ces diagrammes **représentent parfois mal le champ \mathbf{E} .**

Nous allons le voir à travers 3 exemples.

1.

Ce qu'on sait : un dipôle $\{-1,+1\}$ est symétrique, donc \mathbf{E} est symétrique

Modification de l'angle de départ des lignes de champ

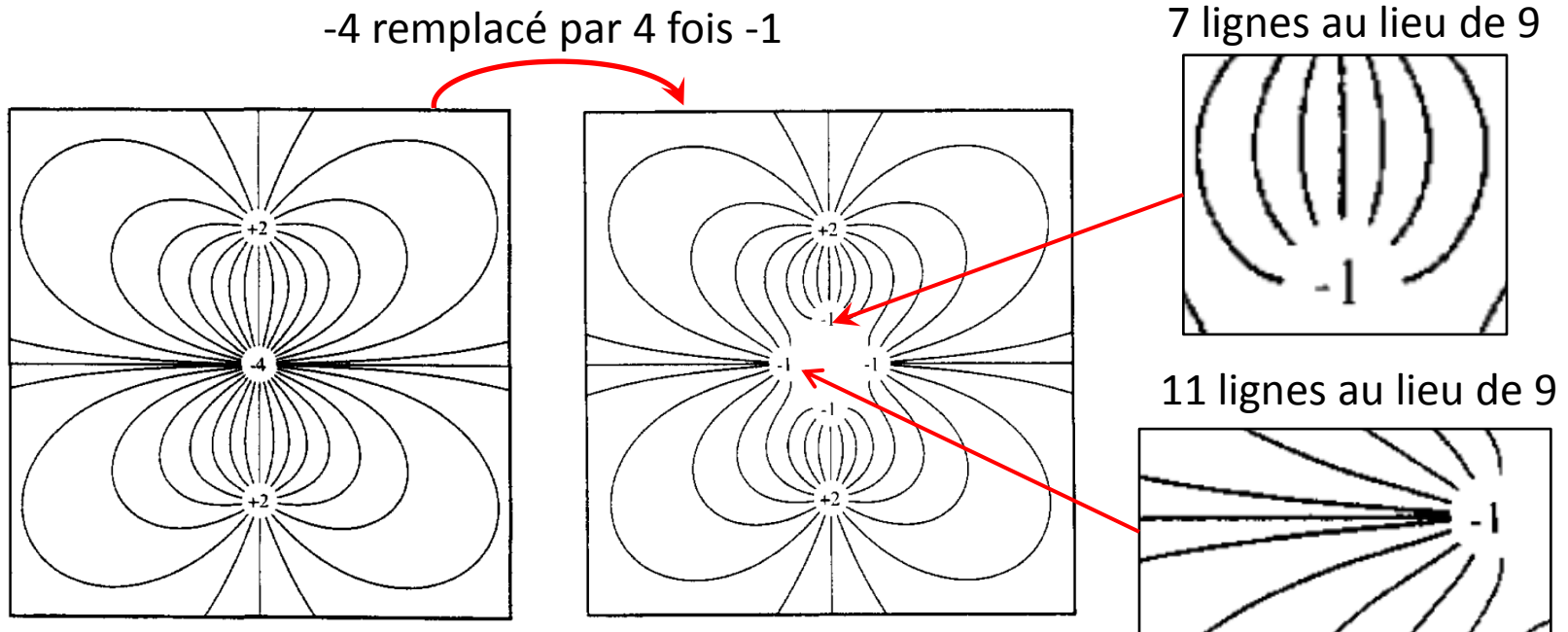


Ce qu'on constate : le champ électrique apparaît dissymétrique !

Pourquoi ? les lignes de champ sont choisies parmi une infinité ; et ce choix a un impact sur la représentation.

2.

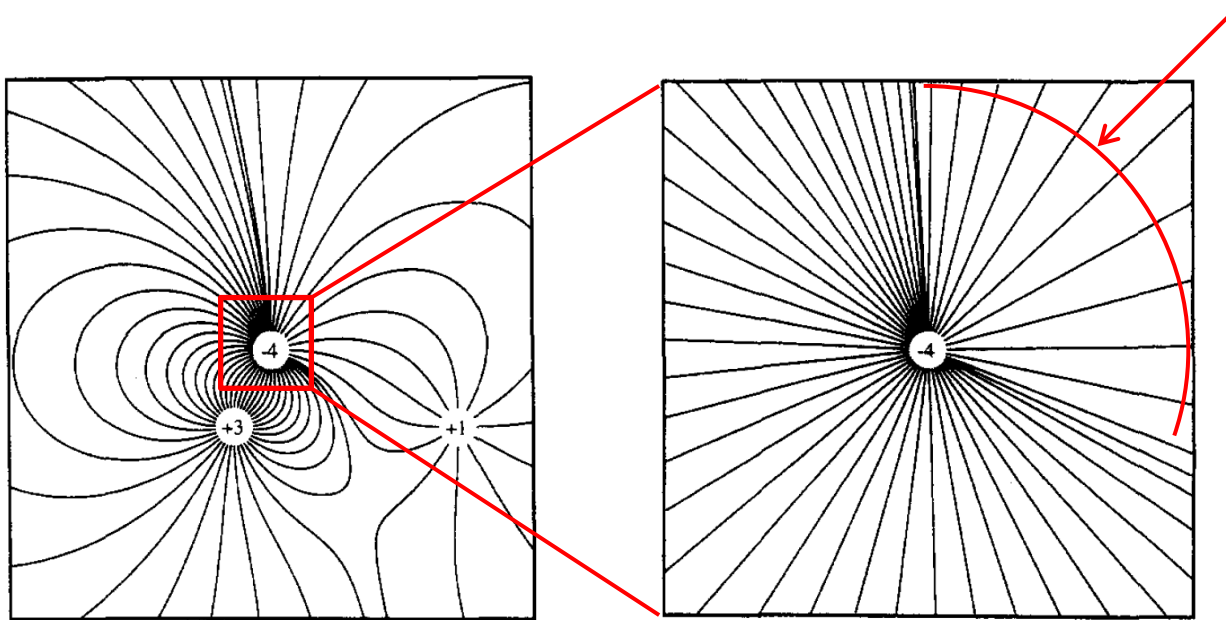
Ce qu'on sait : le nombre de lignes qui atteignent une même charge sont égales



Ce qu'on constate : les lignes de champ s'agglutinent sur l'axe équatorial. Les charges -1 absorbent 7 lignes **ou** 11 lignes, au lieu de 9!

3.

Ce qu'on sait : la densité de lignes proche d'une charge est uniforme



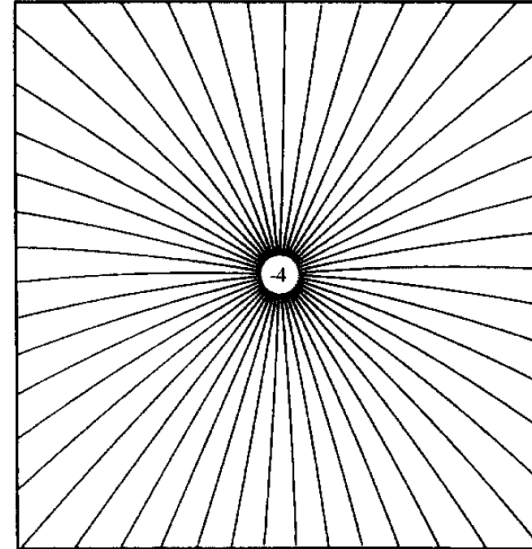
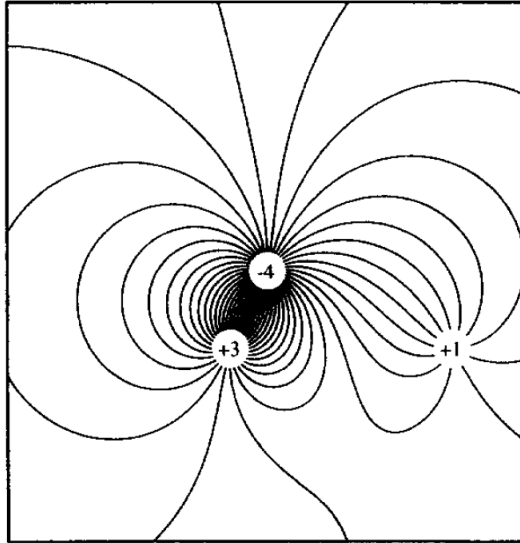
Ce qu'on constate : le champ électrique semble plus faible dans le quart nord-est du dessin !

Pourquoi ? Les diagrammes de ligne de champ, qui sont 2D, ne peuvent pas représenter correctement le champ 3D !

Conclusion : nous avons montré à travers 3 exemples que les diagrammes de lignes de champ **ne représentent pas toujours fidèlement** le champ électrique **E**.

Solution possible : utiliser une loi de Gauss 2D

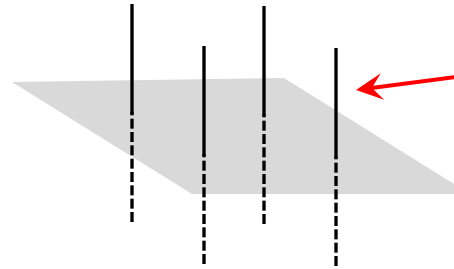
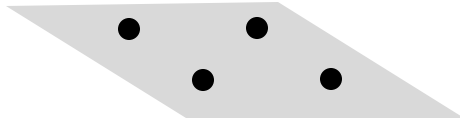
$$\oint \vec{E} \cdot \vec{n} dl = \frac{q_{int}}{\epsilon_0}$$



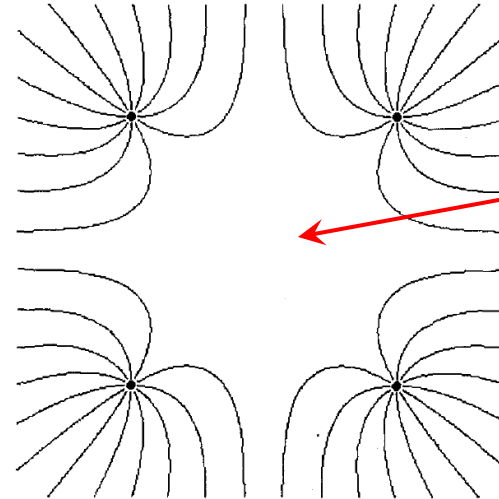
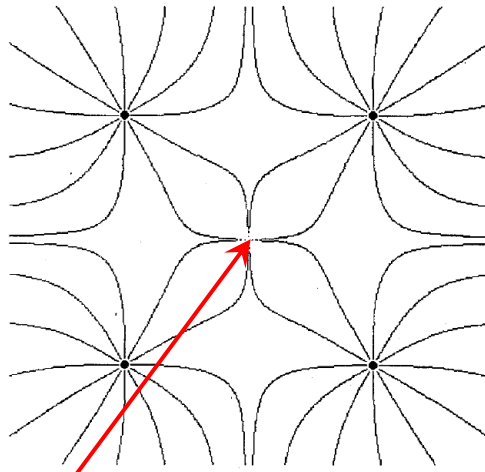
Inconvénients :

- limité à un univers 2D, ou des distributions infinies \perp au plan
- $V(r) \propto \ln(r)$

Exemple : 4 charges ponctuelles égales réparties sur un carré



On remplace les "points" par des "tiges" infinies



E nul au centre, comme attendu

Problème : convergence des lignes vers un point sans charges !

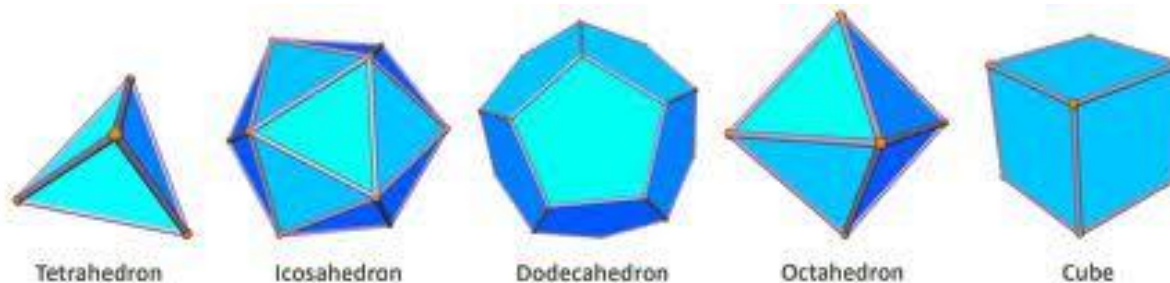
Autre solution possible : utiliser des diagrammes
strictement 3D

Créer une distribution uniforme 3D de lignes de
champ est identique au **problème du pavage
uniforme de la sphère.**



<http://plus.maths.org/content/trouble-five>

Or l'uniformité n'est obtenue que pour 5 cas
particuliers : **les 5 polyèdres de Platon.**



Inconvénient : toutes les distributions 3D de
charges ne peuvent pas être représentées !

Partie 2 : champ \vec{B}

Les diagrammes représentant les lignes de champ B pour un aimant droit sont parfois **faux**.

Les lignes de champ magnétique dessinées dans différents livres sont incorrectes :

- les lignes sortent ou rentrent uniquement des parois à l'extrémité
- les lignes de champ quittent les parois perpendiculairement à celle-ci
- les lignes qui sortent ou rentrent des parois latérales ont une orientation incorrecte

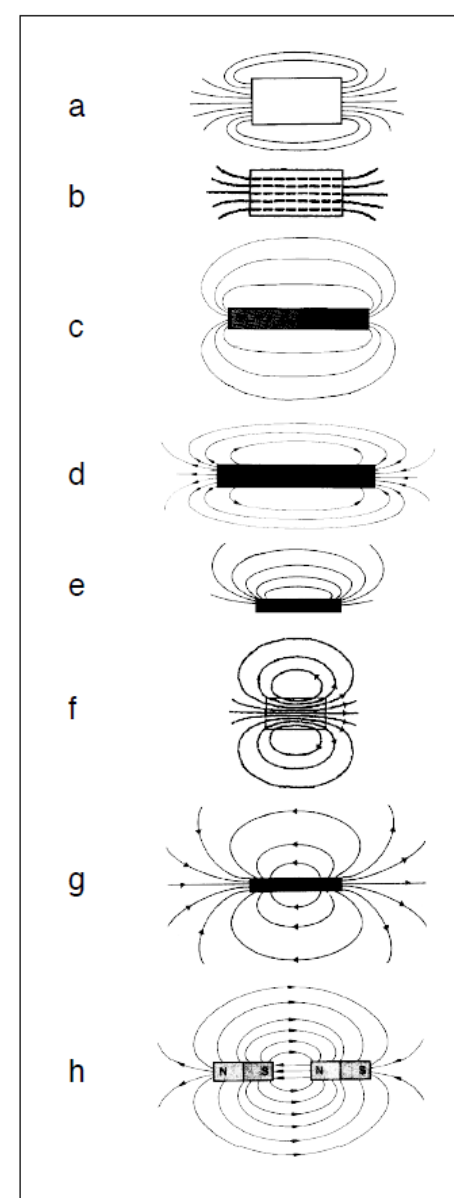


Fig. 1. Lignes de champ magnétique d'un barreau magnétique, telles que montrées dans les manuels du secondaire

Voici une représentation correcte
des lignes de champ, d'après A.
Sommerfeld

[1] A. Sommerfeld : Vorlesungen über Theoretische Physik,
Band III, Elektrodynamik (Leçons de physique théorique,
tome III, électrodynamique) – Akademische Verlagsge-
sellschaft, Leipzig 1964. – p. 78

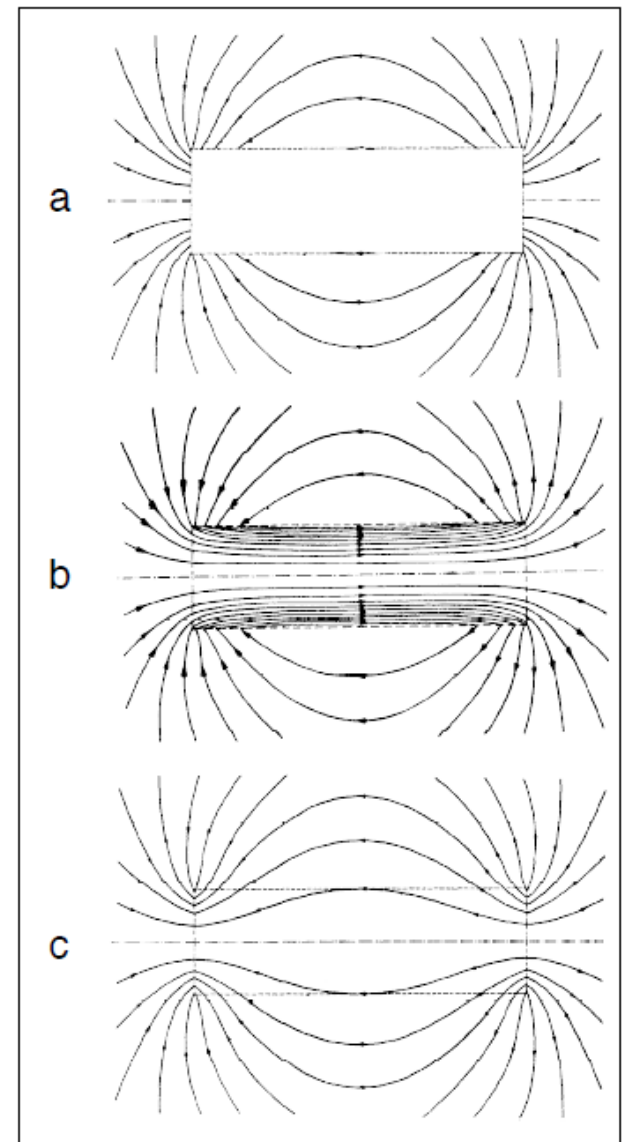


Fig. 2. Barreau magnétique. (a) Lignes de champs \mathbf{H} et \mathbf{B} à l'ex-
térieur de l'aimant ; (b) lignes de
champ \mathbf{B} ; (c) lignes de champ \mathbf{H}

Pour certains systèmes simples, les lignes de champs se referment sur elles-mêmes.

Mais de manière générale, les lignes de champ B ne forment pas forcément des **boucles fermées**.

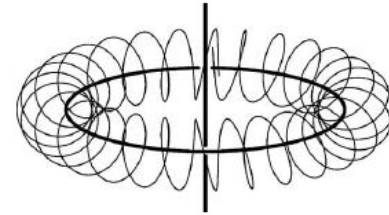


Fig. 2. A magnetic field line wrapping around a circular current with an additional infinitely long straight current along its symmetry axis.

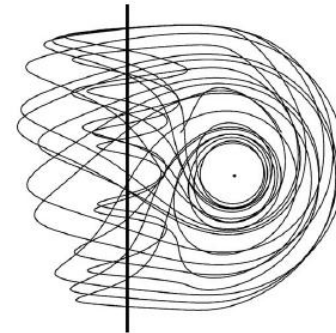


Fig. 5. A magnetic field line around two long straight wires at right angles with a small constant background field (view parallel to the wire on the right represented as a small filled circle). The magnetic field is very easy to calculate making this case accessible to undergraduate students.

M.Lieberherr A.J.P, **78**, 1117 (2010)

Bibliographie

- **Electric field line diagrams don't work**

Alan Wolf, Stephen J. Van Hook, and Eric R. Weeks

American Journal of Physics **64**, 714 (1996)

doi: 10.1119/1.18237

- **One, two, or threedimensional fields?**

T. E. Freeman

American Journal of Physics **63**, 273 (1995)

doi: 10.1119/1.17939

- **The magnetic field lines of a helical coil are not simple loops**

M.Lieberherr

American Journal of Physics **78**, 1117 (2010)

- **Le poids de l'Histoire sur la Physique**

F.Herrmann et Georg Job

Licence Creative Commons

http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/publication/pub_fremdsprachen/franzoesisch.html