ELM1 | Electromagnétisme

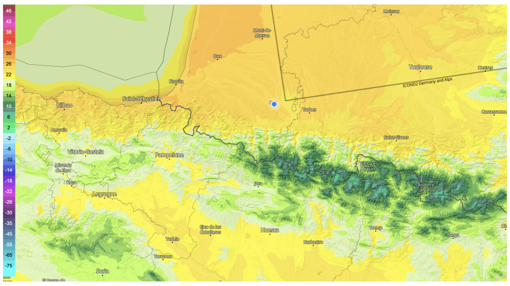
Champ magnétique

Prérequis

Forces, moment d'une force, PFD	M1 à M6
Produit vectoriel	Math-CPGE
Intégrale de chemin scalaire et vectorielle	Math-CPGE et M5

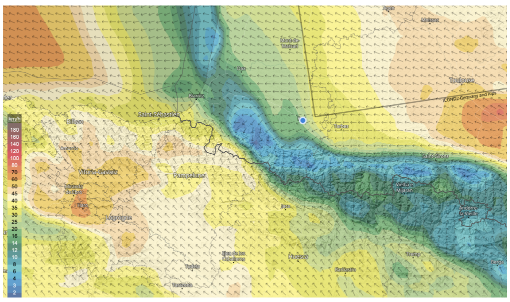
I Notion de champ

I.A Champ scalaire (exemple : température)



Qu'est-ce qu'un champ scalaire ? ☐

I.B Champ vectoriel (exemple : vitesse)



Qu'est-ce qu'un champ vectoriel ? ☐

Lire et interpréter une carte de champ vectoriel ☐

Le champ magnétique est un champ vectoriel ☐

II Sources du champ magnétique ($\vec{B}$)

II.A Aimant permanent

Représenter une ligne de courant pour un aimant droit ☐

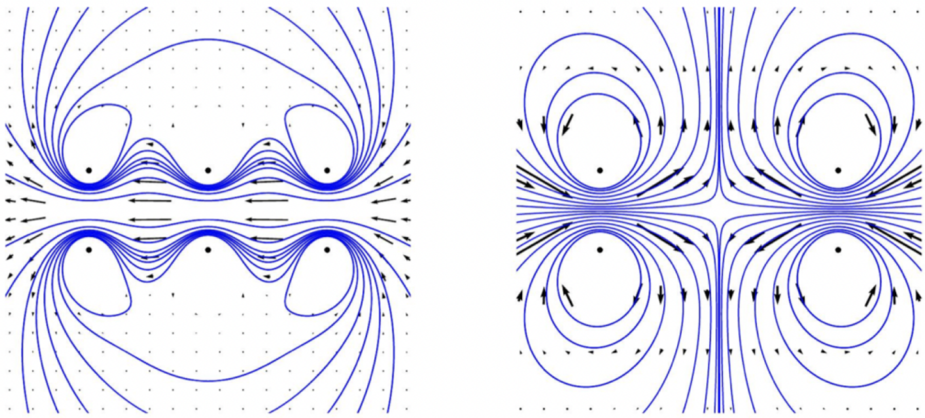
Ligne de courant du champ $\vec{B}$ ☐

II.B Courant électrique

Règle de la main droite ☐

Application 1 : lecture de carte de champ magnétique

Pour les deux cartes de champ vectoriel ci-dessous, déterminer :
(1) la localisation des sources ;
(2) le sens du courant ;
(3) les zones de champ fort et faible ;
(4) cas échéant s'il existe une zone de l'espace où le champ magnétique est uniforme.



Solution
(1) Les sources sont localisées au centre des zones où le champ magnétique forme des boucles ;
(2) Le sens du courant est donné par la règle de la main droite ;
(3) Le champ est fort dans les zones où les lignes de champs se resserrent ;
(4) Le champ est fort et uniforme dans les zones où les lignes de champ sont proches et parallèles.

II.C Moment magnétique

- ♡ Moment magnétique d'une spire : $\overrightarrow{m} = iS\overrightarrow{n}$ où $\overrightarrow{n}$ est orienté selon la règle de la main droite ☐
- ♡ Modèle du moment magnétique d'un aimant : pas de formule ☐
- ♡ Passer d'une spire ou d'un aimant à la représentation par un moment magnétique ☐

III Force de Laplace

III.A Expérience du rail de Laplace

III.B Force de Laplace

- ♡ Force de *Laplace* sur un conducteur linéique infinitésimal : $\overrightarrow{\mathrm{d}F} = i\overrightarrow{\mathrm{d}\ell} \wedge \overrightarrow{B_{\text{ext}}}$ où $\overrightarrow{\mathrm{d}\ell}$ est orienté dans le sens du courant i ☐
- ♡ Force de *Laplace* sur un conducteur : $\overrightarrow{F} = \int_A^B i\overrightarrow{\mathrm{d}\ell} \wedge \overrightarrow{B_{\text{ext}}}$ ☐

Que devient la force de *Laplace* si le courant est constant ? si $\overrightarrow{B}$ est constant ☐

III.C Théorie du rail de Laplace

Déterminer l'équation du mouvement d'un conducteur traversé par un courant ☐

III.D Puissance des forces de Laplace

IV Moment des forces de Laplace

IV.A Cas d'une spire rectangulaire

IV.B Cas d'une spire quelconque

Couple exercé sur une spire par un champ magnétique extérieur : $\overrightarrow{C} = \overrightarrow{m} \wedge \overrightarrow{B_{\text{ext}}}$ ☐

IV.C Conséquences

Le couple tend à aligner $\overrightarrow{m}$ avec le champ magnétique extérieur ☐

Application 2 : rotation d'une boussole

Soit une boussole, aiguille assimilable à un aimant droit de moment magnétique $\overrightarrow{m}$, libre de tourner autour de son centre. Elle est plongée dans un champ magnétique extérieur $\overrightarrow{B} = B_0\overrightarrow{e_x}$ avec $B_0 > 0$.
1. Rappeler l'expression du couple exercé par $\overrightarrow{B}$ sur l'aiguille.
2. Pour les cas 1 et 2, indiquer le sens de rotation de l'aiguille.
3. On note J le moment d'inertie de l'aiguille par rapport à l'axe (Oz). Seule l'action du champ $\overrightarrow{B}$ est considérée. Donner l'équation différentielle du mouvement sur l'angle θ. Donner la pulsation des petites oscillations (sans résoudre !).
4. Quelles sont les positions d'équilibre ? Laquelle est stable ?

Solution

1. $\overrightarrow{C} = \overrightarrow{m} \wedge \overrightarrow{B} = -m\sin(\theta)\overrightarrow{e_z}$
2. Cas 1 : $-\overrightarrow{e_z}$ - Cas 2 : $\overrightarrow{e_z}$
3. $$\ddot{\theta} + \frac{mB_0}{J}\sin(\theta) = 0$$

$\omega_0 = \sqrt{\frac{mB_0}{J}}$

4. Position d'équilibre $\theta = 0$ est stable et la position $\theta = \pi$ est instable.