

1. Mouvement d'une particule dans  $\vec{E}$  et  $\vec{B}$ .
2. Distributions de courants et magnétostatique selon programme de colles précédent. Théorème d'Ampère.
3. Ajouter en question de cours et en exercices :

### V. Équations locales de la magnétostatique

- Conservation du flux de  $\vec{B}$  : formulations intégral et locale. Équation de Maxwell - Thomson (ou Maxwell - flux) :  $\text{div } \vec{B} = 0$ .
- Formulation locale du théorème d'Ampère. Équation de Maxwell - Ampère de la magnétostatique :  $\text{rot } \vec{B} = \mu_0 \vec{j}$ .
- Application au calcul de  $\vec{B}$  par un cylindre infini avec  $\vec{j}$  uniforme et axial et par une nappe de courant délimitée par deux plans parallèles.

### VI. Action d'un champ magnétique sur un courant

- Effet Hall dans un conducteur.
- Forces électromagnétiques exercées sur un conducteur. Pour un élément de volume  $d\tau_M$  de conducteur. Force de Laplace élémentaire :

$$\delta \vec{F}_L = \left( \rho \vec{E}(M) + \vec{j} \wedge \vec{B}(M) \right) d\tau_M$$

En général, un conducteur est localement neutre électriquement donc  $\rho = 0$  en tout point du conducteur. On a donc (Force de Laplace) :

$$\delta \vec{F}_L = \vec{j} \wedge \vec{B}(M) d\tau_M$$

Dans le cas d'un conducteur filiforme parcouru par un courant  $I$  constant :

$$\delta \vec{F}_L = I d\vec{\ell}_M \wedge \vec{B}(M)$$

- Quelques définitions sur les ensembles de forces agissant sur un système mécanique non ponctuel : résultante et moment résultant. Théorème du transport du moment. Cas particulier d'un couple.
- Moment magnétique d'une spire parcourue par  $I$ .
- Action d'un champ magnétique uniforme  $\vec{B}$  sur une spire parcourue par  $I$ . L'ensemble des forces de Laplace forme un couple dont le moment résultant est  $\vec{\Gamma} = \vec{m} \wedge \vec{B}$ . Positions d'équilibre et stabilité.

### 4. En question de cours uniquement :

## DIPÔLES ÉLECTROSTATIQUE ET MAGNÉTOSTATIQUES

### I. Dipôles électriques

- Doublet de charges électriques  $(P, q)$  et  $(N, -q)$ . Vecteur moment dipolaire électrique  $\vec{p}$  du doublet. Calcul du potentiel et du champ électrique à grande distance, dans l'approximation dipolaire (pas de développement multipolaire : HP).
- Généralisation : définition et propriétés du moment dipolaire  $\vec{p}$  d'une distribution de charges ponctuelles de charge totale nulle.
- Définition d'un dipôle électrostatique.
- Exemple en physique atomique et moléculaire. Dipôles électriques permanents et induits. Unité Debye.
- Action d'un champ électrostatique extérieur  $\vec{E}_{\text{ext}}$  sur un dipôle : force résultante, moment des forces et énergie potentielle.

a) Cas d'un champ uniforme :

$$\vec{F}_{\text{el}} = \vec{0} ; \vec{\Gamma} = \vec{p} \wedge \vec{E}_{\text{ext}}$$

(les actions électriques forment un couple).

$$E_P(\text{él}) = -\vec{p} \cdot \vec{E}_{\text{ext}}(G) \quad \text{et} \quad \vec{F}_{\text{él}} = -\overrightarrow{\text{grad}}_G E_P(\text{él})$$

( $G$  = centre d'inertie du dipôle = point  $M$  où le dipole est placé quand la taille du dipôle est très petite) la seconde relation étant valable si et seulement si le vecteur  $\vec{p}$  est maintenu constant dans la dérivation de  $E_P$ .

Positions d'équilibre en orientation du dipôle et stabilité.

### QUESTIONS DE COURS :

1. Expression du vecteur densité de courant  $\vec{j}$  en fonction de la vitesse de dérive des PCM. Lien avec l'intensité électrique  $i_S$ .
2. Démontrer l'équation de conservation de la charge : intégrale puis locale.
3. Montrer qu'en régime stationnaire,  $\vec{j}$  est à flux conservatif. En montrer les conséquences suivantes : intensité électrique conservée le long d'un tube de courant, loi des nœuds.
4. Énoncé du théorème d'Ampère. Application au calcul de  $\vec{B}$  pour un cylindre infini parcouru par  $\vec{j}$  axial et uniforme.
5. Énoncé du théorème d'Ampère. Application au calcul de  $\vec{B}$  pour un solénoïde infini en admettant que  $\vec{B} = \vec{0}$  à l'extérieur.
6. Énoncé du théorème d'Ampère. Application au calcul de  $\vec{B}$  pour une nappe de courant délimitée par deux plans infinis et parcourue par  $\vec{j}$  uniforme.
7. Les équations locales de la magnétostatique. Démonstration de l'équation de Maxwell - Ampère.
8. Définition du moment magnétique d'une spire parcourue par un courant constant  $I$ . Expression du moment des forces de Laplace dans un champ magnétique uniforme. Position d'équilibre et stabilité.
9. Actions d'un champ magnétique uniforme sur une spire de courant. Moment magnétique de la spire, résultante des forces et moment résultant (la valeur du moment résultant pourra se montrer avec une spire circulaire de rayon  $R$ )
10. Modèle du doublet de charges électrique. Potentiel et champ électrostatiques créés à grande distance du doublet.