

Semaine 31 : du 25 au 29 mai

Au programme

Chapitre I1 : Champ magnétique

- ▶ Exemples de cartes de champ et de lignes de champ, prévisions qualitatives par la règle de la main droite ;
- ▶ Symétries et invariances des distributions de courant, conséquences pour le champ magnétique, exemples du fil infini et du solénoïde infini ;
- ▶ Moment magnétique d'une spire et d'un aimant ;
- ▶ Force de Laplace élémentaire, résultante sur une tige rectiligne, application au rail de Laplace ;
- ▶ Couple de Laplace, lien au moment magnétique, démonstration dans le cas d'une spire rectangulaire, généralisation admise ;
- ▶ Énergie potentielle magnétique (démonstration par l'intégrale première) ;
- ▶ Mouvement d'un aimant dans un champ uniforme : équation du mouvement, positions d'équilibre, stabilité, mouvement pendulaire ou révolatif ;
- ▶ Mouvement d'un aimant dans un champ tournant, fonctionnement qualitatif d'un moteur synchrone.
- ✘ Aucune expression de champ magnétique n'est à connaître. Les étudiants doivent savoir déterminer direction et sens par analyse des symétries, mais la norme doit toujours être donnée.
- ✘ Le rail de Laplace n'a été présenté que dans le but d'illustrer la force de Laplace. Aucune étude d'induction n'a été menée pour le moment.

Chapitre T4 : Second principe de la thermodynamique

- ▶ Critères qualitatifs de réversibilité, critère quantitatif : le second principe !
- ▶ Irréversibilité et dégradation/dissipation d'énergie, quand de l'entropie est créée c'est que de l'énergie est « mal » utilisée ;
- ▶ Antagonisme entre réversibilité et rapidité des transformations ;
- ▶ Formule de Boltzmann, sens de variation de S avec n , V et T ;
- ▶ Identité thermodynamique (démontrée mais non-exigible), entropie d'une phase condensée (expressions à connaître, démonstration non-exigible), entropie d'un gaz parfait (expressions *pas* à connaître), retour sur la loi de Laplace ;
- ▶ Exemple : bilan entropique d'une thermalisation, conséquence sur le signe d'une capacité thermique ;
- ▶ Exemple : bilan entropique d'une compression monotherme réversible et monotherme monobare, conséquence sur le travail à fournir ;
- ▶ Théorèmes de Carnot (à connaître et à savoir démontrer) pour un moteur, une PAC et une machine réfrigérante ;
- ▶ Cycle de Carnot, problématique de la puissance : l'irréversibilité est nécessaire dans une machine.
- ✘ L'identité thermodynamique $dU = T dS - P dV$ a été démontrée et utilisée pour établir l'expression de la variation d'entropie d'une phase condensée, mais n'est pas exigible et la démonstration encore moins.

Chapitre I2 : Auto-induction et induction mutuelle

🔥🔥🔥 **Attention ! Le TD ne sera terminé que mercredi.**

- ▶ Flux magnétique au travers d'un circuit plan ;
- ▶ Loi de Faraday, importance des orientations ;
- ▶ Loi de Lenz (sans référence aux actions mécaniques pour le moment) ;

- ▶ Flux propre et inductance propre, exemple d'un solénoïde infini ;
 - ▶ Énergie magnétique stockée dans une bobine (démonstration par un bilan de puissance d'un circuit RL) ;
 - ▶ Flux croisé et inductance mutuelle, exemple de deux solénoïdes imbriqués, théorème de Neumann (admis) ;
 - ▶ Loi de comportement de deux bobines couplées ;
 - ▶ Exemple du transformateur idéal modélisé par deux bobinages en influence totale : étude en régime sinusoïdal forcé, rapport de transformation, impédance équivalente vue du primaire ;
 - ▶ Énergie magnétique en présence de couplage inductif.
- ✘ Le seul cas dans lequel nous avons calculé des flux est celui d'un champ uniforme à l'échelle de la spire, mais il n'est pas interdit d'aller plus loin en privilégiant un raisonnement physique (découpage mésoscopique) ... et en guidant l'étudiant(e) ;
 - ✘ Par conséquent, nous n'avons jamais exprimé explicitement le vecteur \vec{dS} dans aucun système de coordonnées, ni décomposé d'intégrale double en un produit d'intégrales simples ;
 - ✘ L'énergie magnétique n'a été exprimée qu'en fonction des courants dans les bobines, aucune expression en fonction du champ magnétique n'a été discutée ;
 - ✘ Rien n'est à connaître à propos du transformateur : ni la modélisation, ni le vocabulaire, tout doit être rappelé dans un éventuel exercice.

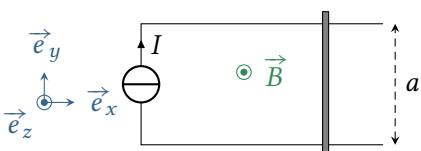
Applications de cours

Ces applications de cours sont des « briques élémentaires » des raisonnements à mener dans les exercices : les maîtriser est incontournable. Elles sont toutes traitées de manière exhaustive dans le cours.

Le travail demandé consiste à se les approprier, afin d'être capable de les réinvestir dans un sujet d'écrit ou d'oral. Je n'attends pas des étudiants un apprentissage par cœur, mais j'attends qu'ils les aient travaillées suffisamment pour les mener à bien en autonomie, c'est-à-dire savoir refaire seul les raisonnements, sans aide de l'interrogateur.

I1.1 - Déterminer la direction du champ magnétique créé par un fil rectiligne infini et la/les variable(s) d'espace dont il dépend. La justification s'appuiera **obligatoirement** sur un schéma propre sur lequel figureront le(s) plan(s) intéressant(s).

I1.2 - Déterminer la direction du champ magnétique créé par un solénoïde infini et la/les variable(s) d'espace dont il dépend. La justification s'appuiera **obligatoirement** sur un schéma propre sur lequel figureront le(s) plan(s) intéressant(s).



I1.3 - Exprimer la force de Laplace subie par la tige mobile dans l'expérience des rails de Laplace, schématisée ci-contre.

I1.4 - Considérons un aimant de moment magnétique $\vec{\mu}$, en liaison pivot autour d'un axe (Oz) vertical passant par son centre de masse. Cet aimant est placé dans un champ magnétique extérieur $\vec{B} = B\vec{e}_x$ uniforme. Établir l'équation différentielle du mouvement. Établir l'expression de l'énergie potentielle magnétique en utilisant l'intégrale première.

I1.5 - Considérons un aimant de moment magnétique $\vec{\mu}$, en liaison pivot autour d'un axe (Oz) vertical passant par son centre de masse. Cet aimant est placé dans un champ magnétique extérieur $\vec{B} = B\vec{e}_x$ uniforme. Rappeler sans démonstration l'expression de l'énergie potentielle magnétique. En s'appuyant sur un graphe d'énergie potentielle, identifier les positions d'équilibre de l'aimant et analyser leur stabilité. En supposant l'aimant initialement aligné sur le champ, déterminer la vitesse angulaire minimale à lui communiquer pour qu'il ait un mouvement révolutif.

I1.6 - Montrer qu'un champ magnétique tournant peut être créé à partir de deux bobines placées à 90° l'une de l'autre. En déduire le principe de fonctionnement d'un moteur synchrone, et mettre en évidence la condition de synchronisme.

T4.1 - Un solide de masse m et capacité thermique massique c , initialement à la température T_1 est placé à l'air libre, de température T_0 , jouant le rôle de thermostat. Procéder au bilan entropique de la transformation et l'interpréter.

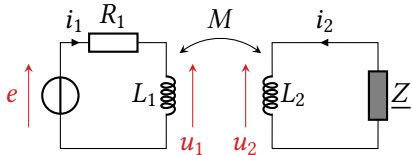
T4.2 - Un gaz parfait subit une compression monotherme et monobare d'un état 1 (T_0, P_1, V_1) vers un état 2 ($T_0, P_2 = \alpha P_1, V_2 = V_1/\alpha$). Procéder au bilan d'entropie de la transformation. Quelle est la cause d'irréversibilité mise en jeu ?

Donnée : au cours d'une transformation \widehat{IF} , $\Delta S_{GP} = \frac{\gamma n R}{\gamma - 1} \ln \frac{T_F}{T_I} - n R \ln \frac{P_F}{P_I}$.

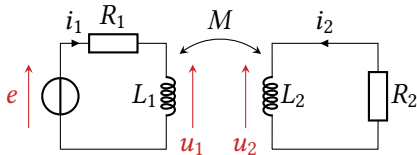
T4.3 - Pour une machine ditherme au choix de l'interrogateur (moteur ou pompe à chaleur ou machine réfrigérante), montrer que le rendement/l'efficacité est borné(e) et établir l'expression du rendement/efficacité de Carnot.

I2.1 - Calculer l'inductance propre d'un solénoïde de grande longueur (N spires sur une longueur $\ell \gg$ rayon R), puis l'inductance mutuelle de deux solénoïdes de même longueur imbriqués l'un dans l'autre (rayons R_1 et R_2 , N_1 et N_2 spires). On rappelle le champ magnétique créé par un solénoïde de grande longueur :

$$\vec{B} = \begin{cases} \mu_0 \frac{N}{\ell} i \vec{e}_z & \text{à l'intérieur} \\ \vec{0} & \text{à l'extérieur} \end{cases}$$



I2.2 - Un transformateur alimenté par une source de tension sinusoïdale e débite dans une charge d'impédance complexe \underline{Z} . Déterminer l'impédance d'entrée du transformateur, c'est-à-dire son impédance équivalente vue du primaire.



I2.3 - Procéder au bilan de puissance du montage ci-contre. L'interpréter : montrer qu'il permet un transfert d'énergie sans contact, et identifier l'énergie magnétique.

À quoi s'attendre pour les programmes suivants ?

- ▷ Chapitre T5 : Changements d'état.
- ▷ Chapitre I3 : Conversion électromécanique.