BLAISE PASCAL
PT 2023-2024

Programme des colles semaines 17 et 18 : du 22 janvier au 2 février

Électromagnétisme

La colle commence par une application de cours extraite de la liste ci-dessous et se poursuit par un exercice. Je rappelle que vous trouverez sur mon site la version complétée du poly de cours, ainsi que les corrigés des TD et des DM. N'hésitez surtout pas à me signaler s'il en manque !

Au programme

Chapitre 16 : Conduction électrique

Questions de cours et exercices.

- ▷ Les bilans de charge mésoscopiques dans une géométrie autre que cartésienne ne font plus partie du programme. En particulier, les étudiants n'ont pas à connaître le volume d'une coquille sphérique ou cylindrique (je n'en ai parlé qu'au groupe de TD PT⋆).

Chapitre 17 : Champ magnétique, théorème d'Ampère

Questions de cours et exercices.

Chapitre 18 : Retour sur les phénomènes d'induction

Questions de cours et exercices.

- ▷ Ce chapitre reprend la totalité du programme de PTSI. Les étudiants n'ayant jamais été interrogés sur ce thème l'an dernier, il fera l'objet d'exercices au même titre que les autres chapitres du programme de PT.

Chapitre 19 : Équations de Maxwell, énergie électromagnétique

Questions de cours et exercices.

- ▷ Le but de ce chapitre est d'apprendre à travailler avec les équations de Maxwell en régime variable, mais on restera très raisonnable sur le niveau de technicité requis pour les exercices.
- ▷ Aucune formule de combinaison d'opérateurs d'analyse vectorielle n'est exigible des étudiants pour le moment, et nous n'en avons rencontré que très peu. En particulier, nous n'avons pas encore croisé la formule du double rotationnel : il est nécessaire de la donner si elle est utile pour un exercice.
- ▷ Les ondes électromagnétiques et l'effet de peau n'ont évidemment pas encore été vus, l'utilisation des champs complexes non plus.

Révisions R7 : Mouvement des particules chargées

Questions de cours, et éventuellement exercices en lien direct avec le programme de PT.

Applications directes du cours

Seuls les étudiants du groupe PT⋆ (trinômes 1 à 6) seront interrogés sur les questions marquées d'une étoile, car elles sont plus techniques et/ou moins essentielles ... mais tous les étudiants sont bien sûr invités à les travailler !

(★) 16.1 - Établir le lien entre le vecteur densité volumique de courant $\vec{\jmath}$, la densité volumique de charge libre ρ_{libre} et la vitesse d'ensemble des porteurs $\vec{v}$. On raisonnera sur un système unidimensionnel ne contenant qu'un seul type de porteurs libres.

> *La démonstration consiste à identifier les définitions « microscopique » (charge traversant une section) et « mésoscopique » (flux de $\vec{\jmath}$) de l'intensité pour obtenir l'identité $\vec{\jmath} = \rho_{\text{libre}}\vec{v}$.*

16.2 - Établir l'équation de conservation de la charge à une dimension à partir d'un bilan mésoscopique, et la généraliser sans démonstration au cas tridimensionnel.

Étienne Thibierge, 19 janvier 2024, www.etienne-thibierge.fr

16.3 - Établir l'équation de conservation de la charge à partir des équations de Maxwell.

16.4 - En raisonnant sur un conducteur ohmique unidimensionnel, retrouver la loi d'Ohm intégrale à partir de la loi d'Ohm locale ainsi que l'expression de la résistance du cylindre.

17.1 - Établir l'expression du champ magnétostatique créé par un fil rectiligne infiniment fin parcouru par un courant d'intensité I.

17.2 - Établir l'expression du champ magnétostatique créé par un cylindre d'axe (Oz), de rayon R, parcouru par une densité volumique de courant $\vec{\jmath} = J_0 \vec{e}_z$ uniforme.

17.3 - Établir l'expression du champ magnétostatique créé à l'intérieur d'un solénoïde d'axe (Oz) formé de n spires par unité de longueur et parcouru par un courant d'intensité I. On admettra que le champ à l'extérieur du solénoïde est uniformément nul.

17.4 - Établir l'expression de l'inductance d'une bobine de grande longueur assimilée à un solénoïde infini « en passant par le flux propre ». Le champ à l'intérieur de la bobine sera rappelé sans démonstration par l'étudiant.

17.5 - Établir l'expression de l'inductance d'une bobine de grande longueur assimilée à un solénoïde infini « en passant par l'énergie ». Le champ à l'intérieur de la bobine sera rappelé sans démonstration par l'étudiant.

18.1 - Établir les équations mécanique et électrique des rails de Laplace utilisés comme un moteur, c'est-à-dire fermés sur un générateur extérieur de fém E_0. On tiendra compte de la résistance r des rails.

18.2 - Établir les équations mécanique et électrique des rails de Laplace utilisés comme un générateur, c'est-à-dire dont la tige mobile est tractée par une force constante $\overrightarrow{F_0}$. On tiendra compte de la résistance r des rails.

> *Rappelons qu'aucun calcul de force de Laplace ou de fém induite ne peut être correct tant que le courant n'a pas été explicitement orienté sur un schéma !*

18.3 - Procéder au bilan de puissance sur l'un des deux exemples précédents et l'interpréter. Les équations électrique et mécanique seront données par l'interrogateur.

(★) 18.4 - Définir le moment magnétique d'une spire plane et rappeler (sans démonstration) l'expression du couple de Laplace qu'elle subit lorsqu'elle est placée dans un champ magnétique uniforme. Un schéma est indispensable pour définir correctement les orientations.

> *Une spire parcourue par un courant i est orientée par la règle de la main droite, ce qui définit le vecteur normal unitaire $\vec{n}$. En notant S la surface de la spire, son moment magnétique est défini par*
>
> $$\vec{m} = iS\vec{n}\,.$$
>
> *Quand elle est placée dans un champ uniforme $\vec{B}$, elle subit le couple de Laplace*
>
> $$\vec{\Gamma}_{Lapl} = \vec{m} \wedge \vec{B}\,.$$

(★) 18.5 - On modélise un alternateur par une spire rectangulaire, de normale $\vec{n}$, plongée dans un champ magnétique constant $\vec{B} = B\vec{e}_x$, voir figure 1. Sous l'effet d'un couple extérieur $\Gamma_0 \vec{e}_z$, cette spire tourne à vitesse constante Ω_0 autour de l'axe (Oz). Cette spire possède une résistance interne r et alimente une résistance électrique extérieure R, qui modélise un récepteur. Établir les équations électrique et mécanique.

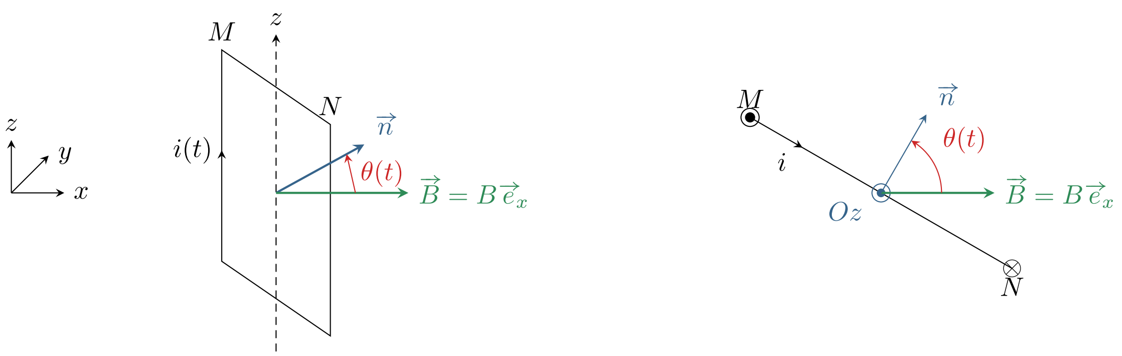
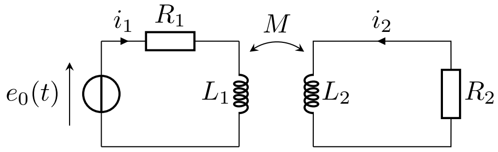


Figure 1 – Schéma d'alternateur modèle.

Étienne Thibierge, 19 janvier 2024, www.etienne-thibierge.fr

18.6 - Établir le système d'équations différentielles couplées vérifié par les courants i_1 et i_2 dans le montage ci-dessous.



19.1 - Énoncer les équations de Maxwell sous forme locale et intégrale.

(★) 19.2 - Énoncer le bilan d'énergie pour un volume de contrôle macroscopique en l'expliquant qualitativement. En déduire l'équation locale de Poynting.

19.3 - Considérons un conducteur ohmique de conductivité γ, longueur ℓ et rayon a. On impose un champ $\vec{E}$ uniforme, ce qui créé un courant de densité $\vec{j}$ uniforme, et par suite un champ magnétique

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{r}{a^2} I \vec{e}_\theta \,.$$

Calculer la puissance totale dissipée par effet Joule dans l'échantillon, le vecteur de Poynting, et la puissance rayonnée. Interpréter physiquement.

R7.1 - On considère un système de deux électrodes planes parallèles (type condensateur) distantes de L le long de l'axe (Ox). Elles sont soumises à une tension $U = V(x{=}0) - V(x{=}L)$. Une particule de charge $q > 0$ est lâchée sans vitesse de l'électrode située en $x = 0$, on souhaite qu'elle atteigne la deuxième. Identifier le sens de $\vec{E}$ puis le signe de U pour que ce soit possible ? Déterminer la vitesse avec laquelle l'électrode située en $x = L$ est atteinte.

> *Une charge positive subit une force de Lorentz dirigée dans le même sens que $\vec{E}$, donc ici selon $+\vec{e}_x$. Le champ étant dirigé vers les potentiels décroissants, on en déduit qu'on doit avoir $V(x{=}L) < V(x{=}0)$ soit $U > 0$. La vitesse finale s'obtient par la conservation de l'énergie mécanique,*
>
> $$E_m \underset{\substack{\uparrow \\ x\,=\,0}}{=} 0 + qV(0) \underset{\substack{\uparrow \\ x\,=\,L}}{=} \frac{1}{2} m\, v(L)^{\,2} + q\, V(L) \qquad \text{d'où} \qquad \boxed{v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}\,.}$$
>
> *Je rappelle plus généralement qu'une méthode énergétique est toujours à privilégier lorsque l'on cherche la vitesse en une position donnée. Le PFD est à conserver lorsque l'on veut introduire la variable temps.*

(★) R7.2 - On considère une particule de charge $q < 0$ dans un champ magnétostatique uniforme $\vec{B} = B\vec{e}_z$. On admet que sa trajectoire est un cercle parcouru en sens trigonométrique. Montrer que le mouvement est uniforme. Définir et déterminer le rayon et la pulsation cyclotron.

À quoi s'attendre pour le programme suivant

- ▷ Chapitre 20 : Conduction thermique ;
- ▷ Chapitre 21 : Cinétique électrochimique ;
- ▷ Chapitre 22 : Corrosion ;
- ▷ Révisions R8 : Diagrammes E-pH.