PREPARATION AUX ORAUX – ATS

ELECTROMAGNETISME ET ONDES

TABLE DES MATIERES

Préparation aux oraux – ATS 1
Electromagnétisme et ondes 1
■ Rapports du jury ATS pour l'oral 1
■ Autour du cours d'électromagnétisme 2
■ Electrostatique 3
■ Magnétostatique 10
■ Induction de Neumann 12
■ Induction de Lorentz 16
■ Ondes électromagnétiques 19
■ Interférences 25

■ RAPPORTS DU JURY ATS POUR L'ORAL

- **Extrait du rapport du jury 2019**

L'épreuve orale de physique se divise en trente minutes de préparation et vingt-cinq minutes d'interrogation. Les sujets donnés aux candidats comprennent deux exercices qui portent sur deux parties différentes du programme. La calculatrice n'est pas autorisée.

Liste non exhaustive de difficultés souvent rencontrées

Electromagnétisme. On remarque une utilisation peu rigoureuse du signe intégrale : intégrale simple pour un calcul de flux… intégrale double pour le calcul d'une circulation… intégrale sans bornes... Avec un mélange fréquent des théorèmes de Gauss et Ampère !

On rappelle également que le sens d'un vecteur $\mathbf{d}\vec{S}$ est lié au choix d'un sens positif d'orientation de la surface.

Induction. La connaissance de la loi de Lenz est attendue, mais aussi le commentaire physique d'expériences telles que celle des rails de Laplace.

Interférences. Elles sont au programme et tombent à l'oral ! Les candidats ne savent toujours pas traiter les exercices sur les interférences, même s'ils sont simples.

- **Extrait du rapport du jury 2018 –** ***Liste non exhaustive de difficultés souvent rencontrées***

Electromagnétisme. Coordonnées sphériques. Etudes des symétries et invariances souvent mal comprise, les candidats doivent s'employer à visualiser la distribution de charges ou de courants dans l'espace et ne surtout pas dire « symétries et invariances du champ ».
Une amélioration est constatée pour les théorèmes de Gauss et Ampère même si le contour d'Ampère reste difficile pour les candidats.

Induction. Savoir énoncer la loi de Lenz, être capable de justifier le sens physique du courant. Les classiques rails de Laplace posent beaucoup de difficultés aux candidats.

Ondes. Confusion entre direction de propagation et direction de polarisation. Confusion entre onde stationnaire et onde progressive. Confusion entre période spatiale et période temporelle. Equations de Maxwell plutôt connues, leur sens physique pas toujours clair… Il est surprenant que la valeur numérique de c ne soit pas bien connue.

Interférences. Elles sont au programme et tombent à l'oral !

- **Extrait du rapport du jury 2017 –** ***Liste non exhaustive de difficultés souvent rencontrées***

Electromagnétisme. Les candidats ont souvent du mal à dire qu'ils étudient les propriétés des sources (charges, courants) pour en déduire celles des champs.
Les théorèmes de Gauss et d'Ampère sont moins bien connus, et surtout leur application est de moins en moins maîtrisée (surface de Gauss, contour d'Ampère oubliés ou faux).
Beaucoup d'erreurs sur la base cylindrique : vecteurs de la base, angle θ…
Problème de vocabulaire, on entend par exemple « E dépend de $\vec{u}_r$ ».

Induction. Les exercices sur ce thème sont difficiles pour les candidats.
Pour effectuer le produit vectoriel dans l'expression de la force de Laplace, on recommande d'utiliser la règle des trois doigts de la main droite.
La loi de Lenz n'est pas bien sue, la notion d'inductance mutuelle est méconnue.

Ondes et optique : Les équations de Maxwell sont un peu moins bien connues.
Une meilleure description qualitative des ondes est attendue (stationnaire ou progressive, sens de propagation, amortie ou non...). Confusion entre propagation et polarisation. Des erreurs pour placer le bleu et le rouge dans le spectre du visible.

Interférences : Rares sont les candidats qui traitent les exercices sur les interférences, très peu savent ce qu'est l'ordre d'interférence.

AUTOUR DU COURS D'ELECTROMAGNETISME

Exo EM1. Electromagnétisme (2008)

1. Considérons un électron placé dans un champ électrique uniforme horizontal $\vec{E} = E\,\overrightarrow{u_x}$. Exprimer la force subie par l'électron. Faire une figure.
2. Donner les équations de Maxwell dans le vide.
3. Considérons un cylindre infini de rayon R chargé uniformément avec la densité volumique ρ. Exprimer le champ électrique et le potentiel créés par cette distribution de charge.

Exo EM2. Sphère creuse (4 fois ; 2012)

Calculer le champ électrostatique et le potentiel V d'une sphère de rayon R, creuse, de charge répartie uniformément sur la surface, de densité σ.

Exo EM3. Sphère pleine (10 fois ; 2018)

Soit une sphère de densité volumique ρ.

1. Déterminer en tout point de l'espace le champ $\vec{E}$ et le potentiel V créés par cette distribution de charges.
2. Peut-on assimiler la sphère à une charge ponctuelle Q en tout point de l'espace ?

question supplémentaire : D'où vient la relation $\vec{E}.d\vec{M} = -dV$?

Exo EM5 - bis. ♥ Plan infini chargé (5 fois ; 2022)

Déterminer le champ électrique et le potentiel créés par un plan infini chargé en surface avec une densité surfacique de charges σ. *(souvent en question bonus)*

Exo EM4. ♥ Résistance d'une portion de conducteur (1 fois)

À l'aide de la loi d'Ohm locale, démontrer la relation donnant la résistance d'un conducteur ohmique en fonction de la longueur du conducteur, sa section et la résistivité du matériau : $R = \rho\ell/s$.

Exo EM5. ♥ Fil rectiligne (variantes : 9 fois ; 2018)

Un fil infini est parcouru par un courant I. Calculer $\vec{B}$ en un point situé à une distance r du fil.

Exo EM6. Cylindre infini : distributions volumique et surfacique (6 fois, 2018)

1. Déterminer le champ $\vec{B}$ pour un cylindre infini avec une distribution volumique de courant $\vec{j}$
2. Déterminer le champ $\vec{B}$ pour un cylindre infini avec une distribution surfacique de courant $\vec{j_s}$
3. Tracer $\|\vec{B}\|$ en fonction de *r*. Comparer les deux études.

Exo EM7. ♥ Inductance d'un long solénoïde

Le champ magnétique créé par un solénoïde long d'axe (Oz), de longueur ℓ, de section S, comportant N spires parcourues par un courant d'intensité I est :

$$\vec{B}_{intérieur} = \frac{\mu_0 NI}{\ell}\vec{e}_z \; ; \vec{B}_{extérieur} = \vec{0}$$

Calculer le coefficient d'auto-inductance du solénoïde

Exo EM8. Densité volumique d'énergie magnétique

Vérifier que l'énergie électromagnétique d'un solénoïde infiniment long a une densité $\frac{B^2}{2\mu_0}$.

Exo EM9. Des équations de Maxwell au théorème de Gauss (2 fois, 2006)

Enoncer les équations de Maxwell dans le vide et donner leur signification.
Retrouver le théorème de Gauss (par « équation de Maxwell-Gauss »).
Donnée : Théorème d'Ostrogradski

$$\oint\!\!\!\oint_{(\Sigma)} \vec{a}.d\vec{S} = \iiint_{\mathcal{V}} div(\vec{a})\ d\tau$$

Le flux d'un champ vectoriel $\vec{a}$ à travers une surface fermée (Σ) est égal à l'intégrale de sa divergence étendue au volume $\mathcal{V}$ délimité par (Σ).

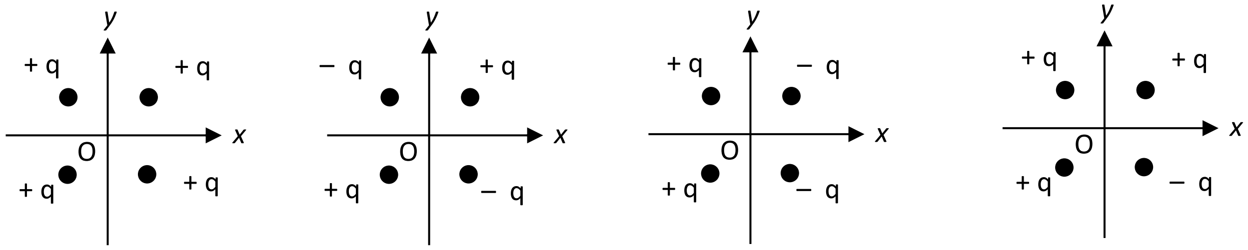
ELECTROSTATIQUE

Exo EM10. Champ électrostatique (2010)

On considère deux charges $q_1 = +q$ et $q_2 = +q > 0$ placées respectivement aux points en M_1 et M_2 distants de $2a$.
Calculer le champ électrostatique créé par les deux charges en un point M de la médiatrice du segment M_1M_2.

Exo EM11. Charges ponctuelles (2 fois ; 2012)

Calculer $\overrightarrow{E(O)}$et $V(O)$ pour les quatre cas suivants (charges distantes de a par rapport à O) :



Exo EM12. Gouttes d'eau chargées électriquement (1 fois, 2023)

On assimile deux gouttes d'eau à deux charges électriques ponctuelles de charges opposées $+q$ et $-q$, situées à la distance d l'une de l'autre. On considère également un bâton portant une charge $+Q > q$ se trouvant sur le même axe que les charges, à la distance D de la charge $-q$.

1) Que se produit-il pour les deux charges ? (quel mouvement les gouttes d'eau ont-elles ?) Schématiser le mouvement en distinguant les différentes phases de ce mouvement.

2) Quelle force est ainsi mise en avant ? Déterminer son expression.

3) Que se passe-t-il si le bâton porte une charge $-Q$? (établir la nouvelle expression de la force et indiquer la nature du mouvement obtenu)

Remarque : Comme je n'avais pas d'axe donné pour l'approche du bâton j'ai dû en proposer un

Exo EM13. Cylindre chargé en surface (2 fois ; 2017)

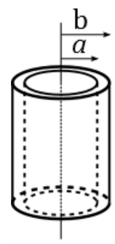
Si $r < R$ Calculer le champ électrique d'un cylindre chargé en surface, ainsi que le potentiel.

Exo EM14. Cylindres chargés en surface et en volume (2 fois ; 2012)

Soit un cylindre infini de rayon R, chargé.

1. Déterminer $\vec{E}$ dans tout l'espace si la densité surfacique est σ.
2. Déterminer $\vec{E}$ dans tout l'espace si la densité volumique est $\rho = \rho_0\ \frac{R}{r}$.
3. Tracer le champ en fonction de r puis commenter.

Exo EM15. Cylindre épais



Considérons un cylindre infini épais, d'épaisseur comprise entre les rayons a et b (cf. figure ci-contre), portant une densité volumique ρ de charges électriques.

Déterminer les expressions du champ électrique et du potentiel créés par cette distribution de charges en tout point de l'espace.

Version 2 Charge volumique entre deux cylindres

Soit un câble coaxial constitué de deux conducteurs cylindriques de rayon R_1 et R_2 avec $R_1 < R_2$. Les deux cylindres sont coaxiaux et de hauteur h. On négligera les effets de bords liés au caractère fini de la longueur h. ($h \gg R_1, R_2$). La densité volumique de charge est nulle si $r < R_1$ ou $r > R_2$. Sinon, elle vaut $\rho = Cte$.

Que vaut le champ électrique $\vec{E}$ en tout point de l'espace ?

Exo EM16. Cylindre chargé en surface ou en volume de façon non uniforme (5 fois, 2015)

Soit un cylindre infini d'axe Oz et de rayon R. Calculer le champ électrique et le potentiel en un point $M(r,\theta,z)$ quelconque, sachant que le potentiel sur la surface du cylindre en $r = R$ vaut V_0.
- 1er cas : le cylindre est chargé en surface σ ($\sigma = cte$)
- 2^{e} cas : le cylindre est chargé en volume selon la loi suivante :

$\rho(r) = \rho_0 \frac{R}{r}$ à l'intérieur du cylindre
$\rho(r) = 0$ à l'extérieur du cylindre

Exo EM17. Sphère chargée en volume (3 fois, 2022)

Soit une sphère de rayon R, de centre O chargée uniformément avec une densité volumique de charges ρ (ou alors : de charge totale Q (répartition volumique))

a) Déterminer $\vec{E}$ en tout point M de l'espace

b) Déterminer V en tout point M de l'espace, , sachant $V(r \to \infty) = 0$

Rq : il m'a demandé si je connaissais une formule équivalente à $\vec{E}.\overrightarrow{dl} = -dV$.

Exo EM18. Boule et sphère chargées (8 fois, 2017)

1. Soit une boule de rayon R chargée en volume (ρ). Calculer le champ électrique et le potentiel en tout point de l'espace.
2. Même question pour une sphère chargée en surface (σ).
3. Comparaison des deux distributions ?

Exo EM19. Sphère et cavité (2010)

Soit une sphère de densité volumique ρ, de rayon R_1 et de centre O_1.

1. Calculer le champ $\vec{E}$ créé en tout point.
2. Calculer V créé en tout point.
3. Faire un schéma du champ et du potentiel
4. Calculer l'énergie emmagasinée par la sphère.
5. Calculer $\vec{E}$ créé à l'intérieur d'une cavité sphérique de rayon R_2 et de centre O_2.

Pour aller plus loin *(hors-programme, mais apparemment demandé ! L'étudiant était manifestement brillant.)*

Électrostatique
Écrire la force exercée sur une charge q placée en M par une charge q_0 placée en O.
Écrire le champ électrostatique créé en M par la charge q_0.
Énoncer le théorème de Gauss.

Gravitation
Écrire la force exercée sur une masse m placée en M par une masse m_0 placée en O.
Écrire le champ gravitationnel créé en M par la masse m_0.
Énoncer le théorème de Gauss appliqué à la gravitation.
En déduire le champ gravitationnel créé dans une grotte sphérique creusée dans la Terre.

Exo EM20. Cavité sphérique (9 fois ; 2022)

Soit une sphère de centre O, de rayon R, avec une densité volumique de charge volumique ρ uniforme.

1. Calculer le champ et le potentiel électriques en tout point.
2. On ajoute une cavité sphérique de centre C. Calculer le champ électrique en tout point de la cavité.

Eventuellement : montrer que dans la cavité, $\vec{E}(M) = \frac{\rho\overrightarrow{OC}}{3\varepsilon_0}$;

indication : on pourra étudier le champ en définissant une charge $-\rho$ dans la cavité.

3. Par analogie, calculer le champ gravitationnel d'un astre sphérique de masse volumique μ (assimilé à une boule de centre O et de rayon R) où il existe une grotte (assimilé à une sphère de centre O' de rayon r).

Exo EM21.♥ Atome d'hydrogène (6 fois ; 2022)

Dans le modèle de Thomson, l'atome d'hydrogène est constitué d'un électron supposé ponctuel, de charge négative $-e$ et d'une charge positive $+e$ (représentant le proton) répartie uniformément en volume dans une sphère de rayon r_0.

1. Déterminer en tout point M de l'espace le champ électrostatique crée par le proton seul.
2. Calculer le potentiel V de ce champ électrique.
3. Calculer l'énergie potentielle de l'électron soumis à un tel champ.
4. Déterminer la position d'équilibre de l'électron et en discuter la stabilité.
5. Déterminer l'énergie d'ionisation de l'électron.

☑ *Remarque : Possibilité d'étudier le mouvement, de chercher la période des oscillations.*

Remarque : J'ai eu du mal car ce sujet mélangeait du calcul d'énergie potentielle (stabilité du système avec courbe de l'Ep) et de l'électrostatique.

Exo EM22. Boule de densité volumique variable – détermination d'une répartition de charge (1 fois, 2021) *énoncé incertain*

Soit une boule de centre O, de rayon R, chargé en volume avec une densité volumique de charge $\rho(r) > 0$. La permittivité diélectrique du vide est notée ε_0.

1. Déterminer l'orientation de $\vec{E}$.

2. On note $Q_{int}(r)$ la charge contenue dans la boule de rayon $r \leq R$.

Exprimer $\vec{E}(M)$ en un point situé à l'intérieur de la boule, en fonction de $Q_{int}(r)$, r, ε_0 et d'un vecteur unitaire.

3. Justifier que

$$Q_{int}(r) = \int_0^r \rho(r) 4\pi r^2 dr$$

4. On suppose que le champ électrique a un module constant à l'intérieur de la sphère : $\|\vec{E}(M)\| = E_0$, où E_0 est une constante. Déterminer $\rho(r)$ en fonction de E_0, ε_0 et r.

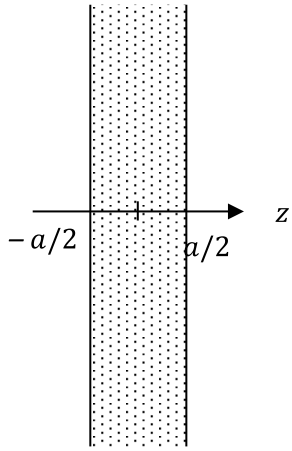
Exo EM23. Densité de charge d'une distribution (2015)

Soit un champ électrique $E_1 = 93\,V/m$ situé à une altitude $h_1 = 100\,m$ puis un champ électrique $E_2 = 30\,V/m$ situé à une altitude $h_2 = 1\,km$. h représente l'altitude entre la surface de la terre et l'atmosphère avec les champs dirigés vers le centre de la Terre.

1. En utilisant le théorème de Gauss, calculer la densité volumique des charges libres supposé constante entre les 2 altitudes des atmosphères.
2. En déduire la composante normale du champ au niveau de l'écorce

Exo EM24. Plasma ou mur (12 fois, 2023)

Soit un plasma (ou un mur vertical) modélisé par une charge uniformément répartie en volume selon la densité η entre deux plans infinis d'équations respectives $z = a/2$ et $z = -a/2$.



1. Calculer le champ et le potentiel créés par le plasma en fonction de z en tout point de l'espace.
2. Tracer l'allure des courbes.
3. ** avant 2015 : Calculer l'énergie cinétique minimale d'une particule de charge q placée en $z = d$ pour qu'elle traverse le plasma.

Exo EM25. Potentiel de Yukawa (5 fois, 2019)

À une distance r d'un point O, le potentiel électrostatique d'une distribution de charge a pour expression

$$V = \frac{q}{4\,\pi\,\varepsilon_0\,r} e^{-\frac{r}{a}}$$

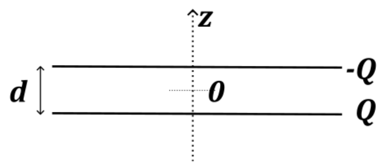
où a est une constante et $q > 0$.

Coordonnées sphériques : $\overrightarrow{grad}\,f = \frac{\partial f}{\partial r}\overrightarrow{u_r} + \frac{1}{r}\frac{\partial f}{\partial \theta}\overrightarrow{u_\theta} + \frac{1}{rsin\theta}\frac{\partial f}{\partial \varphi}\overrightarrow{u_\varphi}$ et $div\,\vec{A} = \frac{1}{r}\frac{\partial (rA_r)}{\partial r} + \frac{1}{r}\frac{\partial A_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{rsin\theta}\frac{\partial A_\varphi}{\partial \varphi}$.

1. Calculer le champ électrique $\vec{E}$ en tout point de l'espace.
2. Calculer le flux de $\vec{E}$ à travers la sphère de centre O et de rayon r.
3. Que vaut la charge contenue à l'intérieur de la sphère de rayon r ?
4. Limites sur $r \ll a$? Si $r \gg a$? Que modélise ce potentiel ?
5. Déterminer la densité de charge volumique $\rho(r)$ répartie dans l'espace autour de O.

Exo EM26. Condensateur plan (18 fois, 2023)

Deux plans d'une surface $S = 1{,}1\ \mathrm{dm}^2$ espacés d'une distance $d = 10\ \mu\mathrm{m}$ portent deux charges $+Q$ et $-Q$.



1) Déterminer le champ électrostatique régnant entre les armatures.
2) Déterminer le potentiel électrostatique $V(z)$ entre ces armatures.
3) Etablir le lien entre la charge du condensateur ainsi constitué et sa capacité.

Permittivité diélectrique du vide : $\boldsymbol{\varepsilon_0 = 8,85.10^{-12}\ F.m^{-1}}$

Version 2 : 2010

On considère un plan infini d'équation $z = 0$, portant une densité surfacique de charge σ constante. Ce plan est plongé dans un milieu quasi isolant dans lequel la permittivité du vide ε_0 doit être remplacée, notamment dans l'expression du théorème de Gauss, par le produit $\varepsilon_r\varepsilon_0$ (ε_r est la permittivité relative du milieu considéré, constante sans dimension).

1. Déterminer le champ électrostatique partout dans l'espace. Étudier sa continuité.

On considère deux plans infinis d'équation $z = a/2$ et $z = -a/2$ portant respectivement les densité σ et $-\ \sigma$ constantes et opposées.

2. En utilisant le principe de superposition, déterminer le champ partout dans l'espace.
3. En déduire la différence de potentiel entre les deux plans, ainsi que la capacité du condensateur ainsi formé.

Exo EM27. Nuage d'orage (6 fois, 2022)

Soit la terre de rayon $R_T = 6400\ km$

Lorsqu'un orage arrive, le champ électrique à sa surface vaut $E = 100\ V.m^{-1}$

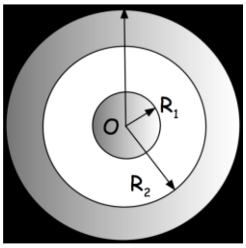
On donne : $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\,\pi} 10^{-9}\ F.m^{-1}\ et\ \pi \approx 3$

Version 1 : Situation d'orage : terre + nuage chargés.
Calculer la valeur de la densité surfacique de charge σ.

Version 2 Pas de schéma fourni.

1. Exprimer E en fonction de Q, ε_0, R_T
2. Calculer la valeur de la densité surfacique de charge σ.

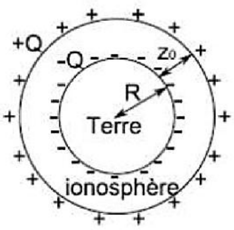
Exo EM28. Etude électrostatique d'un condensateur sphérique (2 fois ; 2010)



Le condensateur est constitué de 2 sphères concentriques de rayons R_1 et R_2 (avec $R_1 < R_2$), la surface de la sphère intérieure est chargée $+Q$, l'autre est chargée $-Q$.

1. Calculer le champ $\vec{E}$ en tout point de l'espace.
2. Calculer la différence de potentiel entre les armatures et en déduire la capacité du condensateur. Examiner le cas où $R_2 = R_1 + e$ avec $e \ll R_1$.

Exo EM29.♥ Capacité terrestre (ionosphère) (10 fois, 2022)



On représente l'ensemble Terre-ionosphère comme un volumineux condensateur sphérique. La Terre, de rayon R, se comporte comme un conducteur parfait et porte une charge négative $-Q\ (Q > 0)$ uniformément répartie sur sa surface, avec un potentiel $V_T = 0$, tandis que l'ionosphère représentée par une surface équipotentielle sphérique de rayon $R + z_0$ possède une charge totale $+Q$ et un potentiel V_I. On suppose que l'atmosphère a la permittivité du vide ε_0.

1. Déterminer pour $R < r < R + z_0$, l'expression du champ électrostatique $\vec{E}$ en fonction de Q, r et ε_0.
2. Déterminer l'expression de la différence de potentiel $V_I - V_T = V(r = R + z_0) - V(r = R)$ entre l'ionosphère et la surface de la Terre. (+ à l'oral « redémontrer » $dV = -\vec{E}.\vec{dl}$ et donner le gradient simplifié en coordonnées sphériques).
3. Déterminer l'expression de la capacité C du condensateur sphérique ainsi formé. Expliquer pourquoi il est ici inutile de supposer le condensateur idéal.

Des mesures à l'altitude $z_0 = 60\ km$ ont permis d'évaluer le potentiel à environ $360\ kV$, le rayon terrestre valant environ $R\ = 6000\ km$.

Permittivité diélectrique du vide : $\boldsymbol{\varepsilon_0 = 8{,}85.10^{-12}\ F.m^{-1}}$

4. En déduire une expression approchée de C. Dans ces conditions, comment le système se comporte-t-il ? Calculer C.

Variante : Des mesures à l'altitude $z_0 = 60\ km$ ont permis d'évaluer le potentiel à environ $360\ kV$. Justifier que, dans ces conditions, le système se comporte comme un condensateur plan.

« Les calculs étaient demandés, mais une fois au tableau, le prof ne me les a pas demandés. Toutes les valeurs (même ε_0) et le schéma étaient donnés. »

Version 2 (5 fois)

La Terre de rayon R a une répartition de charge équilibrée, de charge $-Q$. L'ionosphère se situe entre R et $R + z_0$ et a une charge Q *(sur sa surface externe)*.

a. Calculer $\vec{E}$ entre R et $R + z_0$.

b. En déduire $V_{iono} - V_T$ et la capacité C du condensateur entre R et $R + z_0$.

c. Montrer quand on peut se ramener à un condensateur plan sachant que $z_0 = 30\ km$ et $R = 6370\ km$.

Permittivité diélectrique du vide : $\boldsymbol{\varepsilon_0 = 8{,}85.10^{-12}\ F.m^{-1}}$

Version 3 (1 fois)

La Terre et l'ionosphère sont assimilables à un condensateur sphérique.
La Terre est chargée $-Q$ et l'ionosphère Q
La Terre a un rayon R et l'ionosphère $R + z_0$

1) Calculer le champ électrostatique entre la Terre et l'ionosphère.
2) Calculer la différence de potentiels $V_i - V_T$.
3) Calculer la capacité de ce condensateur sphérique.

Exo EM30. Condensateur cylindrique (19 fois ; 2023)

Un câble coaxial cylindrique est formé de deux cylindres conducteurs très longs, d'axe Oz, séparés par le vide. Le premier, plein de rayon r_1, au potentiel V_1, porte la charge linéique λ_1 ; le second, au potentiel V_2 inférieur à V_1, est creux et de rayon intérieur $r_2 > r_1$.

1. Que vaut le champ électrique $\vec{E}$ en un point intérieur d'un conducteur en équilibre électrostatique ? Que peut-on en déduire pour le potentiel à l'intérieur et sur la surface ? Pour la répartition de charge ?

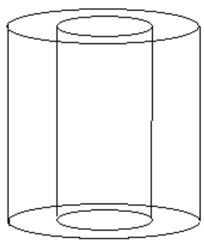
2. Quels sont la direction et le sens de $\vec{E}$ entre les 2 conducteurs ? En déduire le signe de λ_1.

3. Quelle est la charge linéique λ_2 de la face interne du cylindre externe ?

4. Déterminer $la\ capacité\ C$. En déduire la capacité par unité de longueur.

Version 2 (2023)

Soit un câble coaxial constitué d'un conducteur intérieur de rayon R_1 chargé surfaciquement $(+Q)$, entouré d'air et d'un deuxième conducteur chargé surfaciquement $(-Q)$, de rayon intérieur R_2 avec $R_1 < R_2$. Les deux cylindres sont creux, coaxiaux et de hauteur h. On négligera les effets de bords liés au caractère fini de la longueur h. ($h \gg R_1,\ R_2$). Le cylindre de rayon R_1 est au potentiel $V_1 > 0$ et le potentiel du cylindre de rayon R_2 est $V_2 < V_1$.



1. Déterminer en tout point de l'espace le champ électrostatique $\vec{E}$.

2. Déterminer le potentiel électrostatique V créé en tout point. Donner le graphique de V.

3. Déterminer la différence de potentiel $V(r = R_1) - V(r = R_2)$ ainsi que la capacité du condensateur ainsi créé.

Version 3

Soit deux cylindres coaxiaux, de rayon $R_1 < R_2$ d'une hauteur h, suffisamment importante pour limiter les effets de bords. Les deux cylindres ont une charge totale Q opposée.

1. Calculer le champ E et le potentiel V dans tout l'espace. Donner le graphique de V.
2. Soit $\sigma = Q / S$ avec S surface de l'armature 1. Calculer la capacité du condensateur C en fonction de σ.

Version 4

Un câble coaxial cylindrique est formé de deux cylindres conducteurs très longs, d'axe Oz, séparés par le vide. Le premier, plein de rayon R_1, au potentiel V_1, porte la charge surfacique σ_1 ; le second, au potentiel V_2 inférieur à V_1, est creux et de rayon intérieur $R_1 < R_2$.

5. Que vaut le champ électrique $\vec{E}$ en un point intérieur d'un conducteur en équilibre électrostatique ? Que peut-on en déduire pour le potentiel à l'intérieur et sur la surface ? Pour la répartition de charge ?

6. Quels sont la direction et le sens de $\vec{E}$ entre les 2 conducteurs ? En déduire le signe de σ_1.

7. Quelle est la charge surfacique σ_2 de la face interne du cylindre externe ?

8. Déterminer $\vec{E}$ entre les 2 conducteurs. En déduire la capacité par unité de longueur.

Exo EM31. Cylindre et fil (8 fois, 2023)

Considérons la distribution de charges correspondant à un fil infini chargé uniformément de charge linéique λ à l'intérieur d'un cylindre infini de rayon R, de charge surfacique σ ayant pour axe le fil.

1. Déterminer le champ électrostatique $\vec{E}$ créé en tout point de l'espace par cette distribution de charges.
2. Tracer $\|\vec{E}(M)\|$ en fonction de la variable définie.
3. Étudier la continuité du champ. Discussion.
4. Déterminer le potentiel V dans tout l'espace.
5. Pourquoi ce montage peut-il se comporter comme un condensateur ? Donner sa capacité.

MAGNETOSTATIQUE

Exo EM32.♥ Fil et cylindre infinis

1. Un fil infini est parcouru par un courant I. Calculer le champ magnétique $\vec{B}$ en un point situé à une distance r du fil.
2. Déterminer le champ $\vec{B}$ pour un cylindre infini avec une distribution volumique de courant $\vec{j}$.
3. Tracer $\|\vec{B}\|$ en fonction de r. Comparer les deux études.

Exo EM33. Conducteur cylindrique (16 fois, 2023)

Un fil de cuivre infini, rectiligne, de rayon R, est traversé par un courant $\vec{j}$ suivant l'axe du fil.
Calculer le champ magnétique $\vec{B}$ créé en un point M à une distance r de l'axe du fil. Tracer l'allure de $B(r)$.
Peut-on retrouver ainsi le champ créé par le fil infini ?

Exo EM34. Fil, conducteur cylindrique creusé (7 fois, 2021)

Un fil de cuivre infini, rectiligne, de rayon R, est parcouru par un courant $\vec{j}$ suivant l'axe du fil.

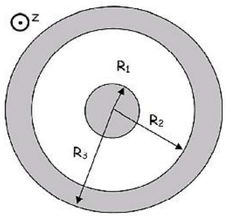
a. Calculer le champ magnétique $\vec{B}$ créé en tout point.
Continuité, discontinuité (Simon)

b. Lien avec le fil infini.

c. Ce conducteur est creusé, calculer le champ magnétique créé par le cylindre creux (cavité de rayon a, de même axe que le cylindre initial).
Homogénéité, continuité, discontinuité, application ?

Exo EM35. Cable coaxial (25 fois, 2023)

On considère un câble coaxial cylindrique de longueur supposée infinie, constitué d'un conducteur central plein de rayon R_1 parcouru par un courant uniforme d'intensité I et d'un d'un conducteur périphérique évidé, de rayon intérieur R_2, de rayon extérieur R_3 $(R_1 < R_2 < R_3)$ et parcouru par un courant uniforme également d'intensité I mais circulant en sens inverse par rapport au courant du conducteur central.



1. Etudier les symétries et invariance et en déduire la direction, le sens de $\vec{B}$ et les variables dont il dépend.

2. Déterminer le vecteur densité de courant $\vec{j}_{int}$ (pour $R < R_1$) en fonction de R_1 et I ; puis $\vec{j}_{ext}$ (pour $R_2 < R < R_3$) en fonction R_2, R_3 et I.

3. Calculer le champ $\vec{B}$ en tout point de l'espace. Tracer l'allure de $B = f\ (r)$.

4. Le champ subit-il une discontinuité à la limite de chaque conducteur ?

5. Quel est l'avantage d'un câble coaxial contrairement aux 2 fils classiques ?

6. Qu'est-ce qu'un matériau isolant ?

Exo EM36. Cable coaxial volumique et surfacique

Soit un câble coaxial de longueur infinie composé d'un câble cylindrique de rayon R_1 et d'un tube de rayon R_2 avec $R_1 < R_2$. Le courant I (volumique) parcourt le câble dans un sens. Le courant I (surfacique) parcourt le tube dans l'autre sens.

1. Etudier les symétries et invariance et en déduire le sens et la direction de $\vec{B}$.

2. Déterminer les expressions de j_{int} et j_{ext}.

3. Calculer le champ $\vec{B}$ en tout point de l'espace et Tracer $B = f\ (r)$.

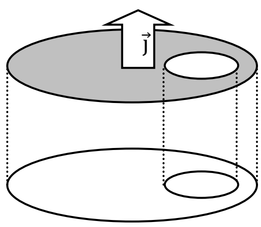
4. Le champ subit-il une discontinuité à la limite de chaque conducteur ?

Exo EM37. Cavité cylindrique (10 fois, 2021)

Soit un cylindre infini plein, de rayon R, parcouru par $\vec{j}$.

1. Calculer $\vec{B}$ dans tout l'espace.

2. En déduire $\vec{B}$ pour un fil infini.



On perce ce cylindre d'une cavité d'axe (O_2z), et de rayon R_2, et on suppose que la distribution volumique de courant en dehors de la cavité reste inchangée.

3. Déterminer le champ magnétostatique en tout point de la cavité.

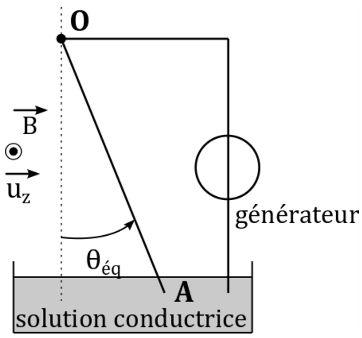
Exo EM38. Solénoïde infini – bis

On considère un solénoïde infini comportant n spires par mètre et parcouru par un courant I.

Sachant que le champ magnétique créé sur l'axe est $\left\|\overrightarrow{B_0}\right\| = \mu_0 n I$, calculer le champ créé en un point M quelconque.
[Bien respecter l'énoncé !]

Exo EM39. Nappe de courant

Calculer le champ magnétique créé par un courant surfacique plan infini $\vec{j}_S$.



Exo EM40. ♥ Pendule magnétostatique (9 fois, 2023)

On considère une tige conductrice de longueur $OA = \ell$, de masse m, alimentée par un générateur et pouvant osciller librement et sans frottements autour du point O. L'extrémité A de la tige reste plongée dans une solution conductrice permettant de fermer le circuit ; un courant électrique circule donc dans la tige. L'ensemble est plongé dans un champ magnétique $\vec{B} = B\vec{u}_z$ uniforme.

1. Dans quel sens doit circuler le courant i pour que la tige conductrice soit en équilibre comme sur le schéma ci-dessus ?
2. Exprimer $\theta_{éq}$ en fonction de B, i, ℓ, m, g. **(H.P. !)**

Induction de Neumann

Exo EM41. ♥ Solénoïde infini et bobine courte – Inductance et mutuelle (5 fois, 2021)

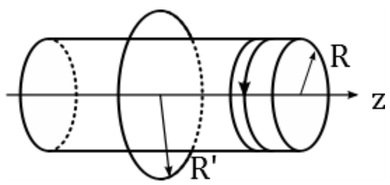
On étudie une bobine longue de $N = 500$ spires, autour de l'axe Oz, cette bobine a un rayon $R = 10\ cm$, et une longueur $\ell = 1\ m$, on suppose que la bobine se comporte comme une bobine infinie.
$\mu_0 = 4\pi.10^{-7}\ H.m^{-1}$

1. Calculer le champ magnétique créé (calcul complet attendu).

2. Définir et calculer l'inductance propre L de la bobine.

3. Calculer la f.é.m. $e(t)$ aux bornes de la bobine lorsque le courant traversant la bobine varie linéairement de $1\ A$ à 0 en $0{,}5\ s$.

On ajoute autour de la première bobine une bobine courte de rayon $R' = 20\ cm$ comportant $N' = 100\ spires$.



4. Calculer le flux du champ du solénoïde infini à travers cette bobine.

5. Définir et calculer le coefficient d'inductance mutuelle M.

6. Exprimer la nouvelle f.é.m. $e'(t)$ aux bornes de la bobine longue en présence de la bobine courte.
Donnée : $\mu_0 = 4\pi.10^{-7}\ H.m^{-1}$

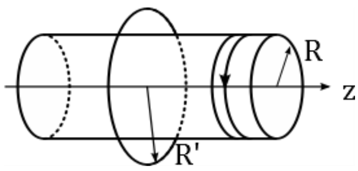
Version 2 (2017)

Un solénoïde de longueur ℓ, de rayon R, composé de N spires est parcouru par un courant i. L'axe du solénoïde est (Oz). Nous faisons l'hypothèse qu'avec les valeurs de R et ℓ nous pouvons opter pour le modèle du solénoïde infini. Le champ magnétique créé à l'intérieur du solénoïde est :

$$\vec{B} = \mu_0 \frac{N}{\ell} i\, \vec{u}_z$$

1. Calculer le coefficient d'inductance propre L du solénoïde.

On ajoute une bobine coaxiale de rayon $R' > R$, comportant N' spires parcourue par un courant I.



2. Calculer le flux du champ créé par le solénoïde à travers la bobine.

3. Calculer le coefficient d'inductance mutuelle M du solénoïde et de la bobine.

4. Exprimer la fém. en fonction de L et M.

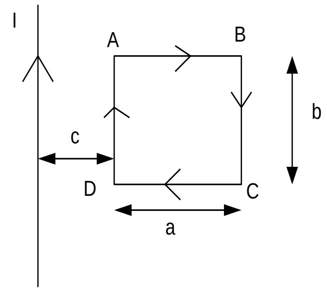
5. Effectuer le schéma électrique du système en supposant qu'il y a une tension U d'alimentation.

6. Donner l'équation différentielle vérifiée par i. La résoudre ?

L'examinateur a posé des questions sur le sens du courant (convention générateur).

Exo EM42. Fil rectiligne et cadre (7 fois ; 2010)

On considère un fil vertical infini parcouru par un courant $I = 10\,A$ à proximité d'un cadre rectangulaire ABCD parcouru par un courant $I' = 5\,A$ situé dans le plan méridien du fil. Le côté AD est parallèle au fil et à la distance c du fil. On donne $c = 20\,cm$; $a = 20\,cm$; $b = 30\,cm$; $\mu_0 = 4\pi.10^{-7} H.m^{-1}$.



1. Déterminer le champ $\vec{B}$ crée par le fil.

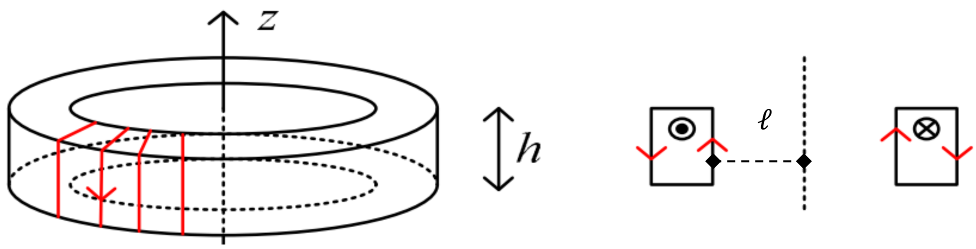
2. Calculer la direction et l'intensité de la somme $\vec{F}$ des forces exercées par le fil sur le cadre.

3. Calculer le flux du champ magnétique créé par le fil à travers le cadre carré. En déduire le coefficient d'induction mutuelle.

4. Quelle est la f.é.m. associée au cadre ?

Exo EM43.♥ Tore (11 fois, 2021)

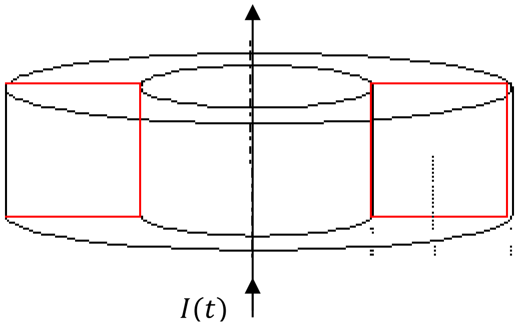
Soit un tore de N spires carrées de côté h, parcourues par un courant i. On note ℓ la distance moyenne du tore interne à l'axe.

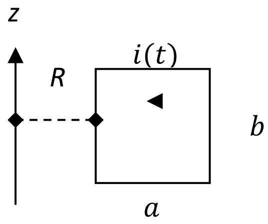


1. Déterminer les invariances et symétries.
2. Déterminer le champ magnétique en tout point de l'espace. Etudier les discontinuités.
3. Déterminer le flux crée dans une spire.
4. Déterminer l'inductance du tore.
5. Que vaut la f.é.m. associée au tore ?

Exo EM44. Tore et fil infini

Soit un fil vertical parcouru par $I(t) = \mathrm{Im}\cos(\omega t)$. Ce fil est entouré d'un tore de N spires rectangulaires de longueur a et de hauteur b, de résistance r, parcourues par un courant $i(t)$. On note R la distance du tore interne à l'axe et R' la distance telle que $R' = R + a$.





.

1. Justifier qu'il y a apparition d'un courant dans une spire du tore.

2. Si $\vec{B}$ désigne le champ résultant (créé par les deux courants), expliquer pourquoi $\vec{B} = B(r, z, t)\,\vec{e}_\theta$.

3. Démontrer l'expression du champ magnétique à l'intérieur du tore : $\vec{B} = \frac{\mu_0\,(I(t) - N\,i(t))}{2\pi r}\vec{e}_\theta$.

4. Exprimer le flux magnétique $\Phi(t)$ à travers le tore.

5. Calculer la f.é.m. associée.

6. On court-circuite le circuit torique et on néglige sa résistance. On se place en régime sinusoïdal forcé. Déterminer la valeur efficace du courant i. Quel est l'intérêt de ce dispositif ?

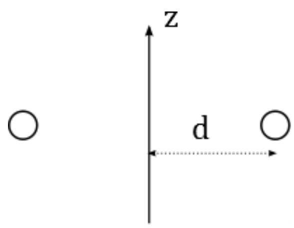
Exo EM45. Pince ampèremétrique (2016)

Soit un fil infini, parcouru par un courant I constant.

1. Calculer le champ magnétique créé en tout point.

2. Retrouver la dimension de B en utilisant les relations connues.

Un tore enlace le fil, parcouru maintenant par $i(t) = I_{eff}\sqrt{2}\cos(\omega t)$.



Caractéristiques du tore : N spires, section circulaire S, distance d entre le fil et le centre des spires.

On considère que le champ magnétique est le même en tout point d'une spire.

3. Donner l'expression de la fém. qui apparaît.

4. Donner sa valeur efficace E_{eff} en fonction de I_{eff}, d, ω, μ_0, N, S.

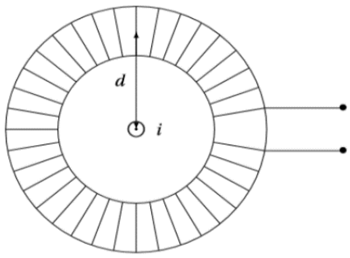
Version 2 (5 fois, 2021)

Les ampèremètres usuels ne supportent pas les fortes intensités (en général, $10\ A$ maximum).
Pour mesurer des intensités plus importantes, on utilise une pince ampèremétrique.

Un fil rectiligne infini est parcouru suivant l'axe Oz par un courant $i(t) = I_m cos(\omega t) = I_{eff}\sqrt{2}cos(\omega t)$.

1) Calculer le champ magnétique créé en tout point en supposant que le fil est parcouru par un courant I constant.
2) Retrouver la dimension de B en utilisant les relations connues.

On admet que l'expression du champ est valable également si le courant est variable.



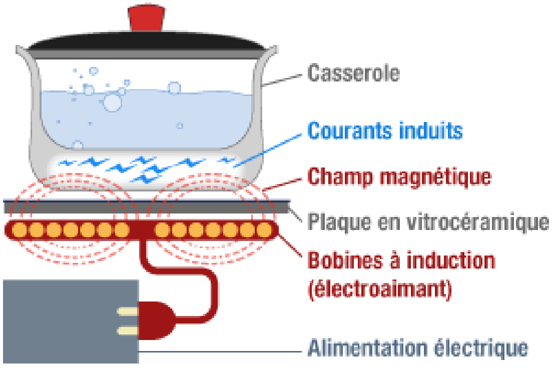
Ce fil est entouré par un tore de section carrée (Joris) ou circulaire (Pierre) centré sur l'axe Oz, composé de N spires de surface S et de rayon moyen d.

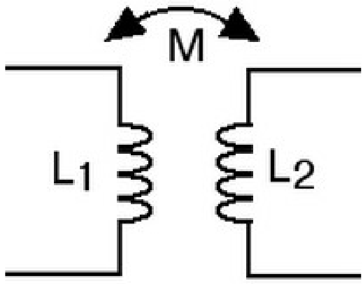
On considère que le champ magnétique est le même en tout point d'une spire.

3) Donner l'expression de la f.é.m. qui apparaît.
4) Donner sa valeur efficace E_{eff} en fonction de I_{eff}, d, ω, μ_0, N, S.

Exo EM46. ♥ Plaque à induction (1 fois, 2023)

Le bobinage logé sous la plaque en céramique est soumis à une tension sinusoïdale $v_1(t)$ de valeur efficace $V_1 = 130\ V$, de fréquence $25\ kHz$.
Il comporte 20 spires de rayon $R = 5\ cm$ de résistance totale $R_1 = 2.10^{-2}\ \Omega$ et d'auto inductance $L_1 = 30\ \mu H$.
Le circuit dans lequel circulent les courants induits sera représenté par une bobine à une seule spire de résistance $R_2 = 10\ m\Omega$ et d'auto inductance $L_2 = 0{,}2\ \mu H$.
L'ensemble se comporte comme deux circuits couplés par une mutuelle inductance $M = 2\ \mu H$.
On s'intéresse au transfert d'énergie.



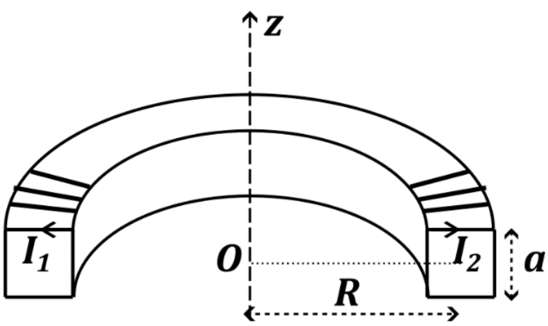


1. Compléter le schéma électrique afin de modéliser le système complet. On indiquera ce que représente chaque élément du circuit électrique.
2. Écrire les équations électriques relatives aux deux circuits 1 et 2.
3. On se place en notation complexe. Déterminer le rapport $\underline{A} = \frac{\underline{i_2}}{\underline{i_1}}$ et l'impédance d'entrée $\underline{Z_e} = \frac{\underline{v_1}}{\underline{i_1}}$.
4. Vérifier que la fréquence choisie amène à pouvoir négliger les résistances R_1 et R_2. Simplifier les expressions littérales précédentes en conséquence puis effectuer le calcul numérique des modules de $\underline{A}$ et $\underline{Ze}$.
5. Déterminer la puissance moyenne dissipée dans chacune des parties résistives.
6. Déterminer la puissance moyenne fournie par le générateur de tension.

Exo EM47. Transformateur torique (3 fois, 2023)

(le terme de transformateur n'apparaissait pas dans l'énoncé)

Deux bobines de N_1 et N_2 spires sont enroulées sur un tore de section carrée (côté a) et de rayon moyen R.
Elles sont parcourues par des courants d'intensités I_1 et I_2.
La distribution de courant est supposée invariante dans toute rotation autour de l'axe Oz du tore.



1) Exprimer le champ magnétique créé par chacune des bobines.

2) Exprimer les inductances propres L_1 et L_2.
3) Exprimer le coefficient de mutuelle inductance M des deux bobines.

Exo EM49-bis. **Transformateur (2016)**

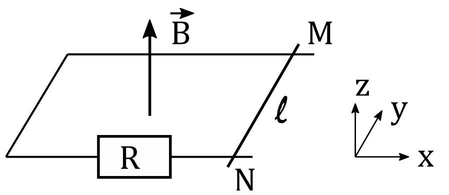
Je n'ai pas l'énoncé de cet exercice alors je l'ai remplacé par celui-ci.
On utilise un transformateur pour recharger les batteries des appareils électroniques portables. Le rapport des spires pour un transformateur spécifique présent dans un lecteur de DVD est de 13 pour 1. Lorsqu'il fonctionne avec le courant domestique de $130\,V$ (efficace) (aux US !), le transformateur tire un courant efficace de $20{,}0\,mA$.
Déterminez
- la tension de sortie efficace du transformateur
- la puissance transmise au lecteur de DVD.

INDUCTION DE LORENTZ

Exo EM48.♥ **Rail de Laplace générateur (10 fois, 2023)**

Deux rails horizontaux, avec une tige de masse m, parfaitement conductrice, qui peut glisser sans frottement. Le système est soumis à un champ $\vec{B}$ stationnaire et uniforme.

À $t = 0$, $i(t = 0) = 0$ et on donne une vitesse $\vec{v}_0 = v_0\vec{e}_x$ à la tige, qu'on laisse ensuite livrée à elle-même.

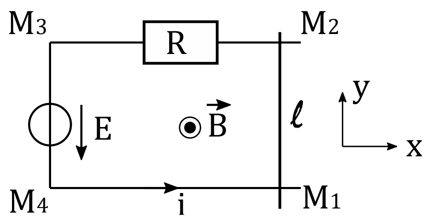


1. Décrire qualitativement le mouvement à partir de la loi de Lenz.
2. Etablir l'équation électrique associée au système.
3. Etablir l'équation mécanique.
4. Donner la relation entre la puissance associée à la force de Laplace et la puissance induite.
5. En quoi est convertie l'énergie cinétique ? (effectuer un bilan de puissance pour justifier).

Exo bonus improvisé (Kilian) : Même étude avec deux tiges mobiles dur le circuit (cf plus loin version détaillée).

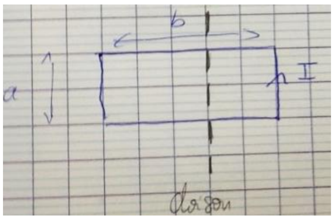
Exo EM49. **Rail de Laplace moteur (4 fois, 2019)**

Considérons un circuit horizontal fermé par une barre de masse m, de longueur $M_1M_2 = \ell$, mobile sans frottement sur les rails. L'ensemble est plongé dans un champ magnétique $\vec{B} = B\,\vec{u}_z$ uniforme et stationnaire. Le circuit comporte une source de tension continue de f.é.m. E et une résistance R.



1. Prévoir le mouvement de la tige à partir de la loi de Lenz.
2. Définir et calculer la f.é.m. induite e ; écrire la loi des mailles.
3. Définir et calculer la force de Laplace ; écrire l'équation mécanique.
4. Déterminer $v(t)$ en régime permanent.
5. En quoi est-ce un rail de Laplace moteur ? Effectuer un bilan de puissance.

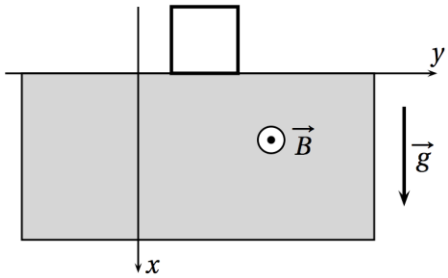
Exo EM50. **Rails de Laplace (Mines 2017)**



Soit un circuit et une cloison. Il règne un champ $\vec{B}$ uniforme et stationnaire à droite de la cloison.

Il n'y avait pas vraiment de questions. Il fallait donner l'étendue de ma connaissance sur le sujet (décrire le mouvement, I variable, …)

Exo EM51.♥ Chute d'une spire (7 fois ; 2022)

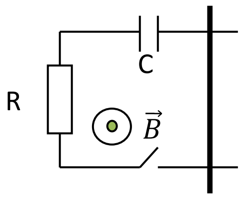


Une spire carrée de côté a, de résistance R, de masse m, tombe dans le champ de pesanteur $g = g\,\overrightarrow{e_x}$. Dans le demi-espace $x > 0$ règne le champ magnétique uniforme et permanent $\vec{B}$.
À l'instant $t = 0$, la spire se trouve dans la situation représentée sur la figure ; sa vitesse est $\overrightarrow{v_0} = v_0\,\overrightarrow{e_x}$ et son côté inférieur est en $x = 0$.

1. Expliquer qu'il apparaît un courant induit dans le cadre (analyse qualitative).
2. Exprimer l'équation électrique, puis en déduire i.
3. Exprimer l'équation mécanique, en déduire l'équation différentielle en $v(t)$.
4. En déduire l'expression de $v(t)$.
5. Que se passe-t-il si $x > a$?
6. Effectuer un bilan de puissance à partir des équations électrique et mécanique

Exo EM52. Rails de Laplace avec circuit capacitif (6 fois ; 2010)

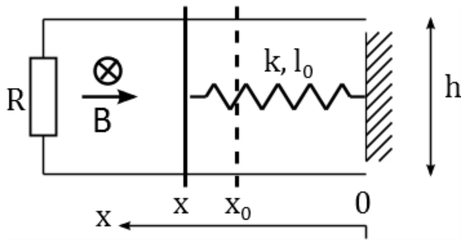
Soit le circuit suivant :



La barre a une masse m. A $t = 0$, le condensateur est chargé avec une charge Q, et on ferme l'interrupteur.

1. Déterminer l'équation mécanique du système.
2. Déterminer l'équation électrique du système.
3. Déterminer l'équation différentielle de la charge $q(t)$ du condensateur et la résoudre.

Exo EM53.♥ Rails de Laplace avec ressort(2 fois, 2015)



Une tige de masse m peut se déplacer sans frottements sur deux rails horizontaux distants de h.
Elle est reliée à un ressort de raideur k et de longueur à vide ℓ_0.
L'ensemble est plongé dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$.
À $t = 0$, la tige est en $x_0 \neq \ell_0$ et sa vitesse est nulle.

a. Exprimer l'équation mécanique.
b. Exprimer l'équation électrique.
c. En déduire l'équation différentielle en $x(t)$. Sa résolution n'est pas demandée.

Exo EM54. Doubles rails de Laplace (2 fois, 2022)

Soient deux rails, parallèles et horizontaux espacés de d, placés dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ et constant de direction perpendiculaire au plan formé par les deux rails.

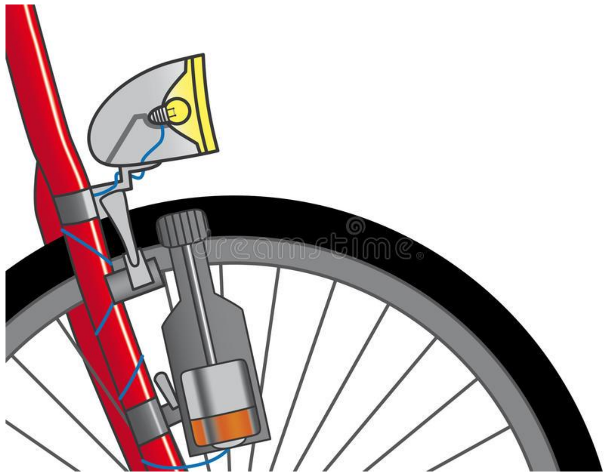
Deux tiges mobiles (tige 2 à gauche, tige 1 à droite) peuvent glisser sans frottements sur ces rails parallèles. La résistance de chaque tige est R. La tige 2 est initialement immobile, la tige 1 a une vitesse $\overrightarrow{v_{10}} = v_{10}\,\overrightarrow{u_x}$.

1. Expliquer qualitativement ce qui se passe.
2. Etablir l'équation électrique du système.

3. Equations mécaniques.
4. En déduire les vitesses de chaque barre.

Astuce attendue par le correcteur : considérer le système tige 1 + tige 2 ensemble permet de montrer que $\overrightarrow{v_1} + \overrightarrow{v_2} = \overrightarrow{cte} = \overrightarrow{v_{10}} \quad \Rightarrow \overrightarrow{v_2} = \overrightarrow{v_{10}} - \overrightarrow{v_1}$

Exo EM55. Dynamo de vélo (4 fois, 2022)



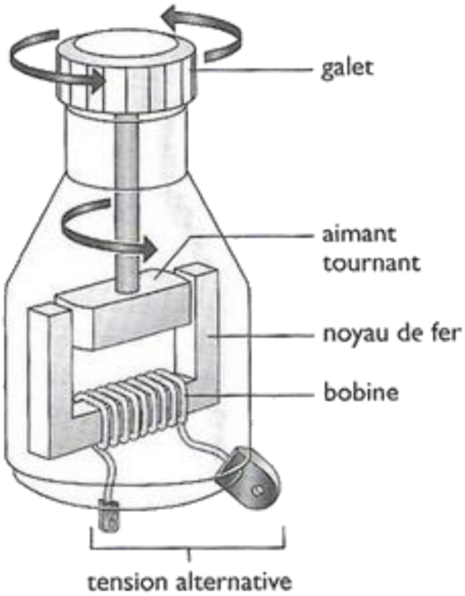
Une lampe est reliée à une dynamo de vélo.

On cherche la vitesse minimale du cycliste pour que la lampe s'allume.

La roue du vélo (de diamètre D) entraine le galet (de rayon R_g) qui vient s'appuyer sur cette roue.

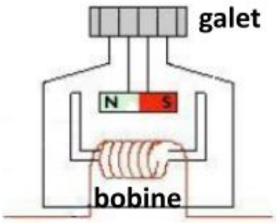
Le galet à son tour fait tourner l'aimant qui crée alors un champ magnétique variable dans le noyau de fer de la bobine, l'ensemble bobine et noyau de fer restant immobiles.

La bobine (constituée de N spires de rayon R_s) qui entoure le noyau de fer est donc soumise à un champ magnétique variable $B(t) = B_0\, cos(\omega t)$, où ω est la vitesse angulaire du galet de la dynamo.



La tension efficace minimale nécessaire pour que la lampe s'allume est U_{min}.

Données :



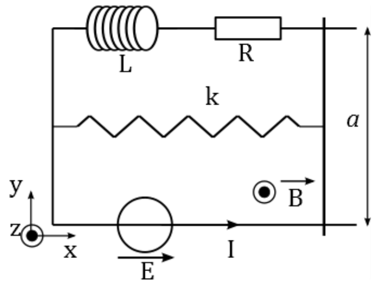
Diamètre de la roue : $D = 70\ cm$
Rayon du galet de dynamo : $R_g = 1{,}2\ cm$
Rayon du solénoïde de la dynamo : $R_s = 1\ cm$
Nombre de spires de la bobine : $N = 1000\ spires$
Intensité du champ magnétique : $B_0 = 50\ mT$
Tension d'allumage : $U_{min} = 1{,}5\ V$.

1. Calculer le flux magnétique Φ à travers une spire sachant que $B = B_0 \cos(\omega t)$.
2. Déterminer la f.é.m. induite e par l'ensemble des spires du solénoïde.
3. L'ampoule peut s'allumer si la tension à ses bornes a une valeur efficace supérieure à U_{min}. Déterminer la condition correspondante sur ω.
4. Exprimer la vitesse du cycliste V_{cycl} en fonction de r_g et ω.
5. En déduire la vitesse minimale du cycliste pour que la lampe s'allume.

Rq : je suis un peu déçue de ne pas avoir répondu à la dernière question du sujet car on a perdu trop de temps sur la manière dont j'avais démontré que $v = r\ w$ puisqu'il jugeait hors programme physique la méthode employée à savoir que la vitesse du point de contact entre le galet et la roue était nulle et utiliser la composition de vitesse.

Exo EM56.♥ Haut-parleur (5 fois ; 2023)

Le schéma représente un haut-parleur sous la forme d'un rail de Laplace, placé dans un champ magnétique $\vec{B}$ constant, de plus la barre subit une force de frottement $\vec{F} = -\alpha\vec{v}$.



1. Décrire qualitativement le comportement de la barre au cours du temps, à l'aide de la loi de Lenz.
2. Déterminer la fem induite par la barre en mouvement
3. Déterminer l'équation électrique en fonction de $E(t), i(t)$ et $v(t)$.
4. Déterminer l'équation mécanique.
5. À partir des équations précédentes, faire un bilan énergétique.
6. Question bonus : si la tension d'entrée est sinusoïdale, déterminer l'impédance complexe $\underline{Z} = \frac{\underline{E}}{\underline{I}}$ où $\underline{E}$ et $\underline{I}$ sont les amplitudes de la tension et de l'intensité.

Question bonus : comment marche un micro, surtout la transformation du son en signal électrique

ONDES ELECTROMAGNETIQUES

Exo EM57. Champ variable pour un cylindre infini (2 fois, 2017)

1. Déterminer l'expression du champ magnétostatique $\vec{B}$ créé en tout point M de l'espace par un fil de cuivre cylindrique (rayon R), rectiligne, infini, parcouru par un courant d'intensité I stationnaire.
2. Ordre de grandeur : Déterminer l'intensité du champ magnétostatique à $1\ m$ du fil s'il est parcouru par un courant de $1\ A$. On rappelle : $\mu_0 = 4\,\pi\,10^{-7}\ H.m^{-1}$
3. Déterminer le champ électrostatique créé par le fil.
4. Les résultats des questions 1 et 3 sont-ils changés si le courant parcourant le fil est variable dans le temps ($I \rightarrow i\,(t)$) ?

Exo EM58.♥ Onde électromagnétique (11 fois, 2023)

Version 1 (2023)

On considère une onde électromagnétique de champ électrique $\vec{E} = E_0 \cos\left(\frac{\omega}{c}(ct - z + \phi_0\right)\overrightarrow{u_x}$.

Donnée : $\overrightarrow{rot}\left(\overrightarrow{rot}\vec{A}\right) = \overrightarrow{grad}\left(div\ \vec{A}\right) - \vec{\Delta}\vec{A}$.

1) Donner la direction de polarisation et le sens de propagation.
2) Rappeler les équations de Maxwell, dans le vide, sans charges ni courants. Préciser leur signification et leur origine. (parfois : d'abord l'expression générale des équations de Maxwell en présence de charges et de courants, puis expression dans le vide).
3) Etablir l'équation de propagation pour le champ électrique.
4) Trouver un lien entre la vitesse de propagation c de cette onde et les constantes μ_0 et ε_0.
5) Quelle est la valeur numérique de c ?
6) Calculer le champ magnétique associé (*en 2023 : « en utilisant Maxwell-Faraday » est souvent imposé*).

   Ces dernières questions n'apparaissent pas toujours

7) Calculer le vecteur de Poynting ainsi que sa moyenne.

8) Exprimer la célérité de propagation en fonction des pulsations temporelle et spatiale puis en fonctions des périodes temporelle et spatiale.

9) Donner un exemple permettant de prouver qu'une onde électromagnétique transporte de l'énergie.

Remarque : Question bonus à la fin : Énoncer l'équation de Bernoulli

Version 2 (2010)

1. Que signifie OEMPP ?
2. Rappeler la structure de l'OEMPP.
3. On considère une OEMPPM. On prendra $\vec{E}$ sous la forme : $\vec{E} = E_0 \cos(\omega t - kx)\,\overrightarrow{u_y}$

a. Exprimer la célérité de propagation en fonction des pulsations temporelle et spatiale puis en fonctions des périodes temporelle et spatiale.

b. Établir l'expression du champ magnétique.

c. Établir l'expression de la norme du vecteur de Poynting.

d. En déduire sa valeur moyenne sur une période appelée en optique éclairement.

Exo EM59. Laser (14 fois, 2022)

Soit un laser qui produit une onde plane de section transversale $S = 1\,mm^2$, de puissance $P = 10\,W$ et tel que $\vec{E} = E_0\, cos\,(\omega\, t - k\, x)\,\overrightarrow{e_z}$.

1. Déterminer la direction et le sens de propagation de l'onde.
2. Donner la polarisation de l'onde.
3. Donner l'expression du vecteur d'onde en fonction de la pulsation spatiale puis en fonction de la pulsation temporelle.
4. Déterminer le champ magnétique $\vec{B}$ crée par l'onde.
5. Déterminer le vecteur de Poynting $\vec{\Pi}$ associé à l'onde.
6. Retrouver les amplitudes E_0 et B_0 des champs électriques et magnétiques $\vec{B}$ et $\vec{E}$.
7. Question supplémentaire : donner les 4 équations de Maxwell dans le vide dans une zone dans charge ni courants puis retrouver l'expression de l'équation de propagation des champs.
8. Question bonus : sens physique du vecteur de Poynting

Données (pas toujours fournies !) : $\mu_0 = 4\pi.10^{-7} H.m^{-1}$ et $\overrightarrow{rot}\left(\overrightarrow{rot}\vec{A}\right) = \overrightarrow{grad}\left(div\,\vec{A}\right) - \vec{\Delta}\vec{A}$.

$$\boldsymbol{\sqrt{2} = 1{,}44\,;\ \sqrt{24\,\pi} = 8{,}7\,;\ \frac{8{,}7}{3} = 2{,}9}$$

Remarque : il fallait connaitre $\mu_0 = 4.\pi.10^{-7}$ USI : non donné

Remarque : Quand il a vu que je maitrisais le cours, il m'a fait passer à la fin de l'exercice mais je n'arrivais rien à faire. Donc il m'a posé des questions sur des démo...

Version 2 : bain de soleil (3 fois, 2023)

Soit un champ électromagnétique se propageant dans le vide selon l'axe $\overrightarrow{u_x}$ avec $\vec{E} = E(x,t)\overrightarrow{u_y}$ et $\vec{B}(x,t)$.

1) Rappeler les équations de Maxwell et les simplifier en exploitant les hypothèses de l'énoncé.

2) Montrer que l'équation de propagation de $\vec{E}$ dans le vide est, dans ces conditions, $\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2} = 0$. Exprimer c et commenter.

La solution de cette équation peut s'écrire $\vec{E} = E_0 \cos(\omega t - k x) \overrightarrow{u_y}$ (ou $\vec{E} = E_0 \cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{c}\right) + \varphi_0\right] \overrightarrow{e_y}$)

3) Quel nom donne-t-on à ce type de solution ? Quel est le sens de propagation de l'onde ? quelle est sa vitesse de propagation ?

4) Calculer le champ magnétique correspondant. Quel est le rapport entre l'amplitude des deux champs ? Donner une représentation spatiale de l'onde électromagnétique.

5) *Etape pas toujours fournie :* Calculer alors le vecteur de Poynting $\vec{\Pi}$ et prouver que $\langle \Pi \rangle = \frac{E_0^2}{2\mu_0 c}$, où $\langle \quad \rangle$ représente la valeur moyenne.

6) Le rayonnement en provenance du Soleil arrive au sol avec une puissance surfacique d'environ 1 kW.m^{-2}, calculer l'amplitude du champ électrique correspondant. Peut-on s'électrocuter avec un « bain de soleil » ?

VARIANTE : Déterminer le champ magnétique crée par l'onde à partir des équations de Maxwell.

Exo EM60. OPPM (4 fois, 2023)

On considère une onde plane progressive monochromatique polarisée rectilignement suivant Ox se propageant suivant Oy, de fréquence $f = 100\ Hz$ et donc le champ électrique a une amplitude E_0.

1. Donner les expressions de la pulsation, de la longueur d'onde, du nombre d'onde, du vecteur d'onde.
2. Donner les expressions des champs $\vec{E}$ et $\vec{B}$.
3. Donner l'expression du vecteur de Poynting après avoir rappelé sa définition.
4. Donner un exemple dans la vie de tous les jours montrant qu'une onde électromagnétique possède une énergie.
5. Calculer la puissance moyenne par unité de surface de cette onde.

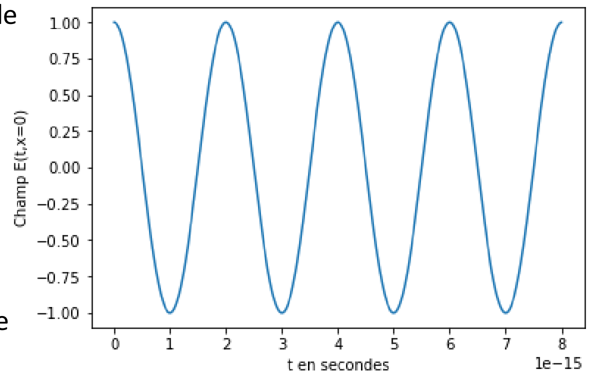
Exo EM61. Propagation d'une OPPM (2 fois ; 2018)

On donne une OEMPPM : $\vec{E} = E_0 \cos(\omega t - kx) \overrightarrow{e_y}$

1. Que signifie OEMPPM ?

2. Déterminer la direction et le sens de propagation et de polarisation.

3. On donne le graphe de $E(t, x = 0)$. En déduire l'amplitude E_0, T, f et λ. Quel est le domaine de l'onde ?



4. Tracer $E(x)$ à $t = 0$ puis à $t = T/4$. Remarque ?

5. Établir l'expression du champ magnétique.

6. Établir l'expression de la norme du vecteur de Poynting.

7. En déduire sa valeur moyenne sur une période appelée en optique éclairement.

Exo EM62. Laser - bis (4 fois ; 2023)

Soit une onde électromagnétique dont le champ électrique est donné par :

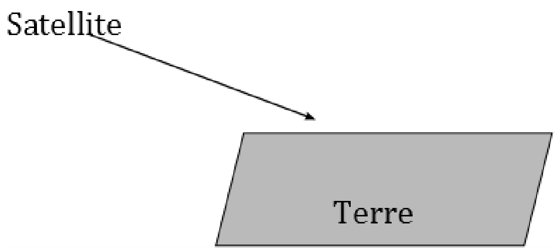
$$\vec{E} = E_0\, e^{i(kz - \omega t)} \overrightarrow{e_x}$$

1. Justifier que c'est une onde plane, monochromatique. Donner la direction et le sens de propagation. Justifier le sens. Quelle est la direction de polarisation ?

2. La longueur d'onde est $\lambda = 13000\ nm$; quel est le domaine de l'onde ?
3. Donner les relations liant les grandeurs $\omega\ et\ k$ puis $f\ et\ k$.
4. Tracer $\vec{E}$ à différents instants.
5. Déterminer l'expression du champ magnétique $\vec{B}$.
6. Présenter sur un schéma les vecteurs $\vec{E}$, $\vec{B}$ et $\vec{k}$ au même point M, à un instant t quelconque.
7. Donner les équations de Maxwell dans le vide.
8. Déterminer les expressions du vecteur de Poynting et de l'intensité de l'onde.

Exo EM63. Onde électromagnétique (2 fois ; 2018)

Un satellite émet une onde électromagnétique dans le vide.



1. Énoncer les équations de Maxwell dans le vide. Commenter, préciser ce que deviennent ces équations en présence de charges et de courants.
2. Placer le champ $\vec{E}$ et le vecteur d'onde $\vec{k}$ en un point M proche de la Terre. Placer un repère et exprimer ces vecteurs dans la base cartésienne.
3. Placer en M le champ $\vec{B}$ au même instant.
4. Dans le cas d'une OPPH, écrire le champ électrique $\vec{E}$ en notation complexe.

Exo EM64. Onde (1 fois, 2022)

Soit $E = E_0\, f(z)\, cos\,(\omega t - kx)$

1. Dire si l'onde est plane, progressive, harmonique, polarisée rectilignement.
2. Ecrire les équations de Maxwell dans le vide et donner leur nom.
3. Montrer que l'équation de Maxwell-Gauss n'apporte rien.
4. Montrer que l'équation de Maxwell-Faraday nous montre que $B_y = 0$

3 questions supplémentaires dont l'étudiant ne se souvient plus.

Exo EM65.♥ Réflexion d'une onde sur un miroir (7 fois, 2023)

Soit une onde incidente d'expression $\overrightarrow{E_\iota} = E_0 \cos(\omega t - kz)\,\overrightarrow{u_x}$. Elle se reflète sur un conducteur parfait en $z = 0$. L'onde réfléchie a pour expression $\overrightarrow{E_r} = \overrightarrow{E_0} \cos(\omega t + kz + \varphi)$.
On donne les relations suivantes :

$$\cos(a-b) - \cos(a+b) = 2\sin a \sin b$$
$$\cos(a-b) + \cos(a+b) = 2\cos a \cos b$$

1. Comment qualifier l'onde incidente ?
2. Commenter l'expression de l'onde réfléchie. Déterminer φ et $\overrightarrow{E_0}$.

Remarque : parfois : caractéristiques de l'onde réfléchie données, il fallait les commenter et retrouver celles de l'onde incidente

A priori il y avait des questions supplémentaires que le candidat n'a pas eu le temps de traiter. On peut imaginer :

3. Déterminer $\overrightarrow{B_\iota}$ et $\overrightarrow{B_r}$.

4. Déterminer la densité de courant surfacique sur le plan $z = 0$.

5. Déterminer les champs résultants et préciser la nature de l'onde obtenue.

6. Donner la définition du vecteur de Poynting et expliciter la formule.

Question : discussion sur la composante tangentielle et la composante normale du champ électrique à la réflexion

Version 2 : Onde em + Miroir (énoncé incertain) (2022)

On considère une onde électromagnétique $\overrightarrow{E_\iota} = \overrightarrow{E_{0\iota}}\, cos(\omega t - kx)$ en incidence normale sur un miroir parfaitement conducteur.

1. Justifier les termes de l'équation 1 : $\overrightarrow{E_\iota} = \overrightarrow{E_{0\iota}}\, cos(\omega t - kx)$

2. Quelle est la direction de propagation de l'onde réfléchie ?

3. Expliquer pourquoi l'onde réfléchie par le miroir s'écrit sous la forme : $\overrightarrow{E_r} = \overrightarrow{E_{0r}}\, cos(\omega t + kx + \varphi)$

4. Que se passe-t-il pour la composante tangentielle et la composante normale du champ électrique à la réflexion ?

5. Déterminer $\overrightarrow{E_{0r}}$ et φ .

6. Déterminer l'onde résultante.

7. Calcul du vecteur de Poynting

RQ : Le jury a demandé d'expliquer le vecteur de Poynting ainsi que de donner toutes les équations de Maxwell dans le vide

Version 3 (2019)

L'énoncé de l'exercice prenait 3/4 de la feuille et expliquait le système (onde réfléchie sur un miroir).

(1) $\overrightarrow{E_\iota} = E_0\, cos\,(\omega\, t - k\, x + \varphi)\,\overrightarrow{e_y}$ (2) $\overrightarrow{E_r} = E_{r0}\, cos\,(\omega t + kx + \varphi)\,\overrightarrow{e_y}$

1. Justifier les termes de l'équation 1

2. Déterminer E_0 en fonction de E_{r0}

3. Déterminer $\overrightarrow{B_\iota}$ en fonction de $\overrightarrow{E_\iota}$ et d'une constante que l'on précisera. Déterminer $\overrightarrow{B_r}$.

4. Donner la définition du vecteur de Poynting et expliciter la formule. Déterminer $\overrightarrow{\Pi_\mathrm{\iota}}$ et $\overrightarrow{\Pi_\mathrm{r}}$. Conclure.

Exo EM66.♥ Cavité résonante (9 fois, 2023)

On donne $\overrightarrow{\mathrm{rot}}\left(\overrightarrow{\mathrm{rot}\mathrm{A}}\right) = \overrightarrow{\mathrm{grad}}\left(\mathrm{div}\,\overrightarrow{\mathrm{A}}\right) - \Delta\vec{A}$

Dans le vide, deux conducteurs parfaits parallèles sont situés en $x = 0$ et $x = a$.

Entre les deux, règne un champ $\vec{E} = E_0 \times f(x) \times \cos(\omega t)\,\overrightarrow{e_y}$.

1. Caractériser l'onde associée au champ.

2. Citez les 4 équations de Maxwell dans le vide puis déterminer l'équation de propagation de l'onde

3. Mettre l'équation trouvée sous la forme $f'' + \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 f = 0$ et en déduire la forme de $f(x)$.

4. Que vaut $\vec{E}$ en $x = 0$ et $x = a$? En déduire les solutions possibles pour $f(x)$. (parfois : justifier les conditions aux limites en exploitant la relation de passage $\overrightarrow{E_2} - \overrightarrow{E_1} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\overrightarrow{n_{12}}$).

Exo EM67. Four à micro-ondes (2 fois, 2023)

Une cavité est formée par deux plans parallèles de conducteurs parfaits situés en $x = 0$ et en $x = a$. Entre les deux plans, ona le vide.

On cherche un champ électrique de la forme $\overrightarrow{E(z,t)} = E_0(z)\, cos(\omega t)\, \overrightarrow{e_x}$ pouvant s'établir dans cette cavité.

1. Donner les équations de Maxwell dans ce milieu.
2. En déduire l'équation de propagation d'une onde em.
3. Commenter $\overrightarrow{E(z,t)}$. l'onde est-elle polarisée ?
4. Déterminer l'eqd vérifiée par $E_0(z)$.
5. Expliquer les conditions aux limites vérifiées par $E_0(z)$.
6. Déterminer l'expression de $E_0(z)$ puis les fréquences propres de la cavité.

Donnée : $\overrightarrow{rot}(\overrightarrow{rot}\,\vec{F}) = \overrightarrow{grad}(div\vec{F}) - \vec{\Delta}\vec{F}$

Exo EM68. ♥ Représentation spatiale et temporelle d'une onde stationnaire (2 fois, 2023)

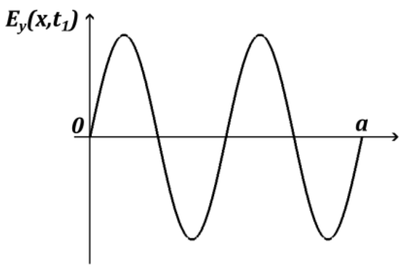
On donne le champ électrique dans une cavité entre deux conducteurs parfaits situés en $x = 0$ et $x = a$:

$$\vec{E}(x,t) \;=\; E_0 \sin\left(\frac{4\pi c t}{a}\right) \sin\left(\frac{4\pi x}{a}\right) \overrightarrow{u_y}$$

a. Que peut-on dire de la polarisation de l'onde ?

b. L'onde est-elle stationnaire ou progressive ? Justifier.

c. La courbe $E_y(x,t_1)$ pour $0 \le x \le a$ est donnée, t_1 étant une date fixée quelconque telle que $\cos(\omega t_1) > 0$.



Déterminer longueur d'onde et fréquence de l'onde.

d. Tracer $E_y(a/8,t)$ pour $0 \le t \le 2T$.

e. Donner la position des nœuds, des ventres.

Exo EM69. ♥ Equation des télégraphistes (2 fois, 2023)

Wikipédia
Les équations des télégraphistes sont un système de deux équations aux dérivées partielles qui permettent de décrire l'évolution de la tension et du courant sur une ligne électrique en fonction de la distance et du temps. Ces équations ont été élaborées par Oliver Heaviside qui a développé dans les années 1880 le modèle des lignes électriques présenté dans cet article. Ce modèle permet en particulier de couvrir les phénomènes de transmission et de réflexion sur une ligne. Cette théorie est applicable à toute ligne électrique et à toute

fréquence, en particulier aux lignes à haute fréquence (lignes de télégraphe par exemple), aux lignes à fréquence audio (lignes téléphoniques) ainsi qu'à basse fréquence (ligne à haute tension).

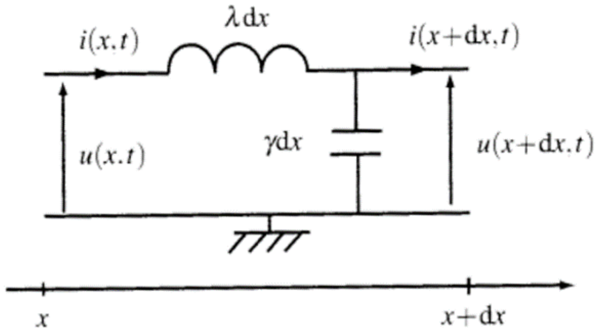
1. Montrer les relations suivantes à l'aide de la loi des mailles et de la loi des nœuds (voir schéma ci-dessous):

$$\frac{\partial u}{\partial x} = -\lambda \frac{\partial i}{\partial t} \quad et \quad \frac{\partial i}{\partial x} = -\gamma \frac{\partial u}{\partial t}$$

2. En déduire les équations portant sur u et i.

3. Comment appelle-t-on cette relation ? Dans quel autre cadre les retrouve-t-on ?

4. Autre question possible : Définir une grandeur caractéristique du phénomène mis en évidence.

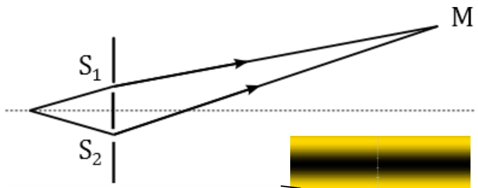


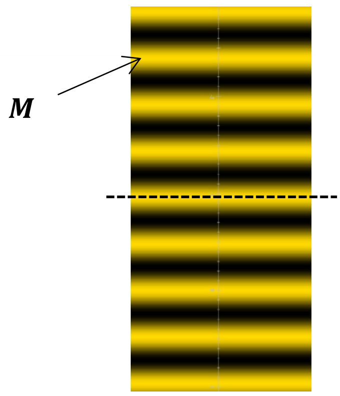
■ INTERFERENCES

Exo EM70. Fentes d'Young (5 fois, 2019)

Apparemment, pas mal de candidats interrogés sur les interférences en 2017.

Deux ondes cohérentes arrivent en M, avec pour expressions :





$\underline{s_1}\,(M,t) \;=\; a.\,e^{j(\omega t - k.r_1)}$ avec $r_1 = S_1M$

$\underline{s_2}\,(M,t) \;=\; a.\,e^{j(\omega t - k.r_2)}$ avec $r_1 = S_2M$

1. Pourquoi peut-on additionner les deux signaux ?

2. Exprimer l'intensité lumineuse résultante en M.

3. Définir l'ordre d'interférence en M.

4. Quelles valeurs pour des franges sombres ? brillantes ? Que vaut $p(M)$?

5. Commenter la figure d'interférences obtenue (ci-contre).

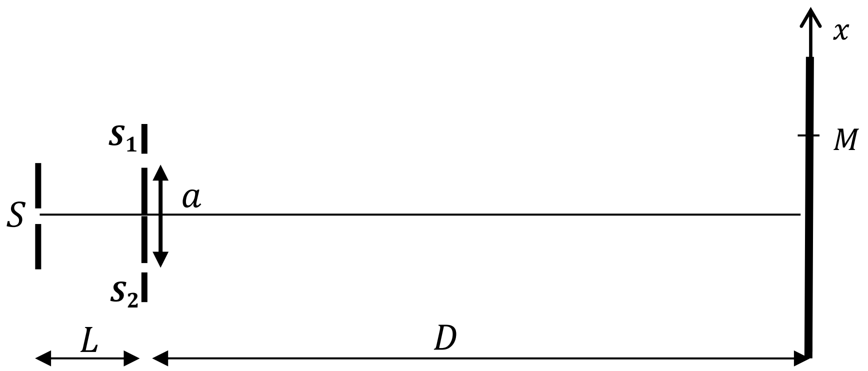
6. Comment avoir une figure d'interférence plus lumineuse ?

7. On donne l'expression de l'interfrange : $i = \frac{\lambda D}{a}$. En déduire la longueur d'onde λ.

Une application numérique était demandée.

Exo EM71. Interférences lumineuses (2018)

S est une source monochromatique, S_1 et S_2 deux ouvertures très petites.



1. Définir et calculer la différence de marche δ en M.
2. On déplace la source S d'une altitude X. Montrer qualitativement que la différence de marche devient :
$$\delta = \frac{ax}{D} + \frac{aX}{L}.$$
3. Trouver la position x_{01} du point M correspondant à l'ordre 0.

On ajoute une deuxième source primaire S' dans le même plan vertical que S, on note x_{02} la position du point M correspondant à l'ordre 0 pour cette seconde source seule. S et S' ont la même longueur d'onde.

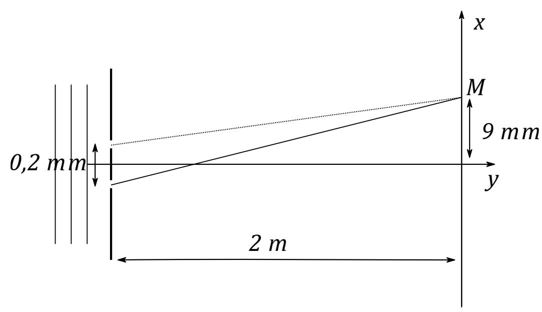
4. On remarque que si $x_{01} - x_{02} = \frac{i}{2} + ni$ (n entier), l'écran est totalement éclairé, expliquer.

Exo EM72. Interférences (1 fois, 2019)

énoncé incertain

Un laser tombe perpendiculairement sur une plaque comportant deux trous d'Young comme le montre le schéma.

Notations :
- intensité de chaque onde arrivant en M : I_0
- longueur d'onde du laser : $\lambda = 6.10^{-7}\ m$



1. Exprimer l'intensité en un point pour lequel la différence de marche est δ.
2. Exprimer cette intensité en fonction de la position du point sur l'écran. En déduire la forme des franges d'interférences.
3. Donner une solution permettant d'obtenir des interférences plus lumineuses.
4. Donner l'ordre d'interférence du point M sur la figure et conclure sur l'observation.

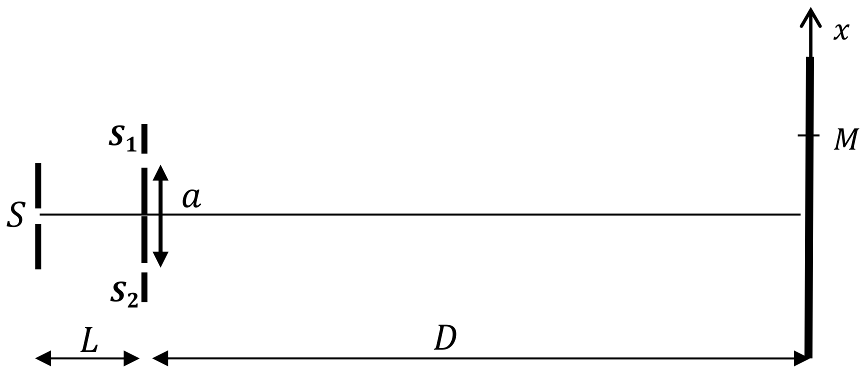
Exo EM73. Interférences (2018)

Donner un système pouvant créer une interférence avec la lumière du soleil.

Exo EM74. Du Laser aux fentes d'Young (1 fois, 2023)

Enoncé incertain

Soit S une source monochromatique obtenue à l'aide d'un laser éclairant un dispositif de type trous d'Young constitué de S_1 et S_2 deux ouvertures très petites et identiques, telles que la source S se trouve sur la médiatrice de ces deux sources (voir schéma ci-dessous).



1) Le laser utilisé produit une onde plane de section transversale $S = 1\,mm^2$, de puissance $P = 10\,W$. Déterminer les amplitudes des champs électrique et magnétique associés.

2) Le point M étant situé dans une zone éclairée par les deux sources S_1 et S_2, décrire les observations faites sur l'écran en expliquant le phénomène associé.

3) Rappeler (ou démontrer ??) la formule de Fresnel des interférences.

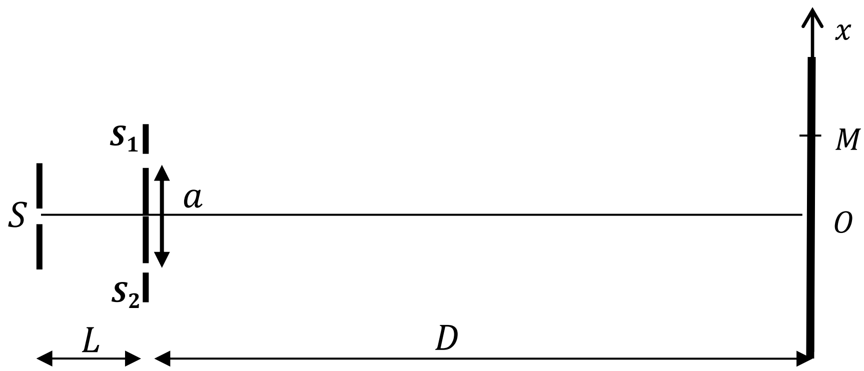
4) Indiquer les conditions sur la différence de phase puis sur la différence de marche permettant d'obtenir des interférences constructives puis destructives.

Données (pas toujours fournies !) : $\mu_0 = 4\pi.10^{-7} H.m^{-1}$

Exo EM75. interférences (1 fois, 2023)

énoncé incertain

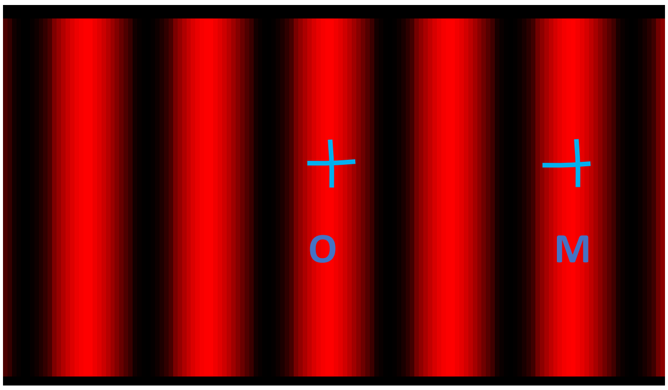
Soit S une source monochromatique obtenue à l'aide d'un laser éclairant un dispositif de type trous d'Young constitué de S_1 et S_2 deux ouvertures très petites et identiques, telles que la source S se trouve sur la médiatrice de ces deux sources (voir schéma ci-dessous).
Soit O l'intersection de cette médiatrice avec l'écran



Deux ondes cohérentes interfèrent en M.

1. Exprimer l'intensité lumineuse I résultante en M en fonction de $\cos\Delta\varphi$ et exprimer $\Delta\varphi$ en fonction de k et λ.

2. Comment faire en sorte d'augmenter la luminosité de la figure observée ?



3. Pouvait-on prévoir un éclairement maximal au niveau du point O ? En exploitant la figure observée ci-contre, donner l'ordre d'interférence au point M.

Eclairement en fonction de la position x sur l'écran

Au-dessus : Figure d'interférence observée sur l'écran du dispositif, axe (Ox) en abscisse