Physique Chimie - DS2

Calculatrice interdite

Ce sujet comporte XX pages. Le devoir dure 4h.

On rappelle que tout résultat non justifié ne sera pas pris en compte, de même que toute application numérique sans unité. On demande de travailler avec les expressions littérales.

Les différents problèmes sont indépendants. Un résultat fourni dans l'énoncé peut être utilisé par la suite même s'il n'a pas été démontré.

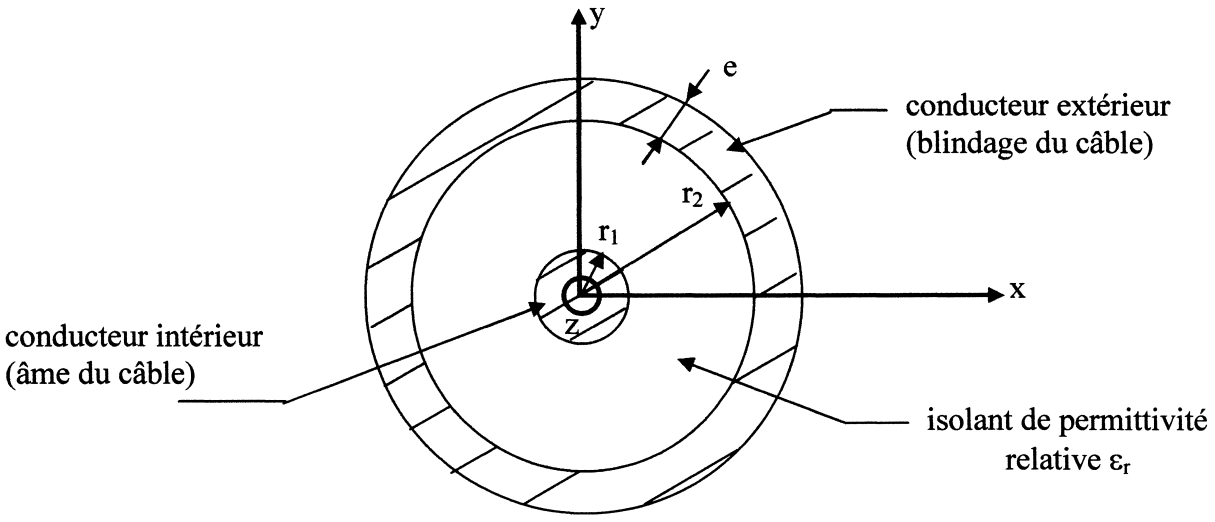
Il est vivement recommandé de regarder l'intégralité du sujet avant de commencer.

NB : Sauf indication contraire, les applications numériques demandées seront faites avec 2 chiffres significatifs.

I Paramètres d'une ligne coaxiale

Un câble coaxial est constitué par deux cylindres coaxiaux parfaitement conducteurs, de même axe Oz, et de rayons respectifs r_1, r_2 et $(r_2 + e)$, et de longueur ℓ. La longueur de la ligne ℓ est assez grande devant r_1 et r_2 pour que l'on puisse négliger les effets d'extrémités : on considère que les symétries et invariances sont les mêmes que si la longueur ℓ était infinie.

L'espace entre les deux conducteurs contient un isolant, homogène et isotrope de permittivité relative $\varepsilon_r = 2,0$. On rappelle que la permittivité absolue ε de l'isolant est liée à sa permittivité relative par la relation $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$, la notation ε_0 désignant la permittivité absolue du vide.



Pour les applications numériques, on prendra $r_1 = 0,15\,cm$, $r_2 = 0,50\,cm$, $\ell = 10\,m$, $e = 0,10\,cm$, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\,H \cdot m^{-1}$, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}\,F \cdot m^{-1}$.

1. Le conducteur intérieur est porté au potentiel V_1 constant et le conducteur extérieur au potentiel V_2 , qu'on suppose nul. Les conducteurs, en équilibre électrostatique, portent alors respectivement les charges électriques $+Q$ et $-Q$, supposées uniformément réparties sur les deux seules surfaces des conducteurs de rayon r_1 et r_2.

1.1 Montrer que le champ électrique est radial et que sa valeur algébrique ne dépend que de r, soit : $\overrightarrow{E}(M) = E(r)\vec{u}_r$

1.2.a. Établir l'expression de $E(r)$ en fonction de Q, de la permittivité $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$ de l'isolant, de r et de ℓ, en distinguant les trois cas : $r < r_1$, $r_1 < r < r_2$ et $r_2 < r < (r_2 + e)$. Il est rappelé que l'expression de $E(r)$ demandée se déduit de celle obtenue dans le cas d'un câble coaxial « à vide » en remplaçant la permittivité absolue ε_0 du vide par celle, ε , du matériau isolant.

1.2.b Montrer que dans le domaine $r > (r_2 + e)$, $E(r) = 0$.

1.3.a. Tracer le graphe de $E(r)$.

1.3.b. Commenter physiquement les éventuelles discontinuités de $E(r)$ à la traversées des cylindres de rayon r_1, r_2 et $e + r_2$.

1.4. Exprimer la tension $U_{12} = V_1 - V_2$ en fonction de Q, ε, ℓ, r_1 et r_2.

1.5. Montrer que la capacité par unité de longueur du câble coaxial, notée C_1, est donnée par

$$C_1 = \frac{2\pi\varepsilon}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

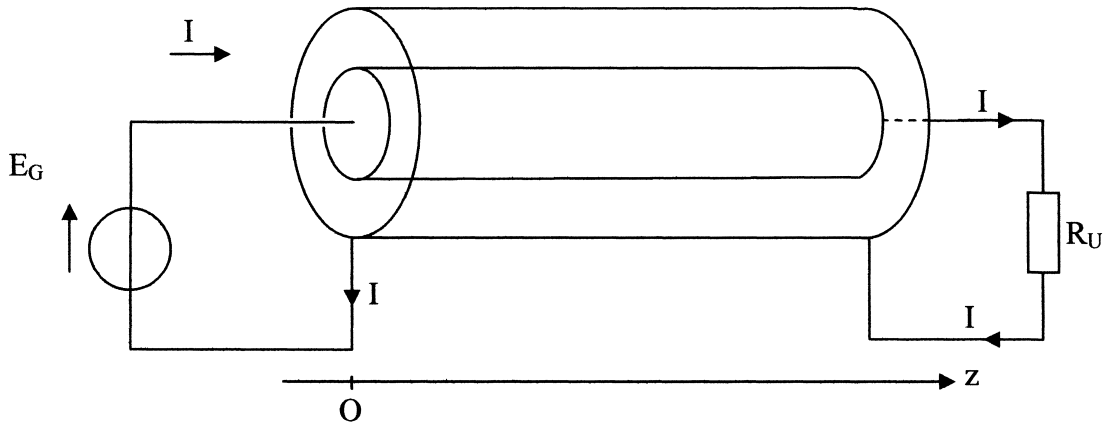
1.6. En déduire simplement l'expression de l'énergie électrostatique W_e emmagasinée par le câble coaxial de longueur ℓ .

1.7. Calculer la valeur numérique de C_1.

1.8. Calculer la valeur numérique de W_e pour une tension $U_{12} = 10\,V$ entre les armatures du câble.

2. Le câble coaxial est chargé à sa sortie par une résistance R_u et alimenté par un générateur de tension continue E_G.

Le conducteur intérieur constitue le conducteur aller du courant électrique d'intensité I. Le conducteur extérieur constitue le conducteur retour de ce courant.



Les conducteurs sont parcourus dans toute leur épaisseur par des courants volumiques de densités uniformes $\vec{j}_1$ et $\vec{j}_2$, de même direction que Oz. On considère de nouveau que les symétries et invariances sont les mêmes que si la longueur ℓ était infinie.

2.1. Montrer que le champ magnétique est de la forme $\overrightarrow{B} = B(r)\vec{u}_\theta$.

2.2. Établir les expressions de Br) en fonction de μ_0, I, r_1, r_2 et e en distinguant quatre domaines.

2.3.a. Tracer le graphe de $B(r)$.

2.3.b. Commenter physiquement les éventuelles discontinuités de $B(r)$ à la traversées des cylindres de rayon r_1 r_2 et $e + r_2$.

2.4.a. Rappeler l'expression de la densité volumique d'énergie magnétique en un point de l'espace, en fonction du champ magnétique en ce point.

Dans toute la suite, on néglige, notamment pour alléger les calculs, la part de l'énergie magnétique emmagasinée dans l'âme - région $r < r_1$ - et celle localisée dans le blindage - région $r_2 < r < (r_2 + e)$ - du câble coaxial.

2.4.b. Exprimer, dans ces conditions, l'énergie magnétique W_m emmagasinée par le câble coaxial de longueur ℓ , en fonction de μ_0, I, r_1, r_2 et ℓ.

2.5. En déduire l'expression de l'inductance propre du câble coaxial par unité de longueur notée L_1.

2.6. Calculer la valeur numérique de L_1.

2.7. Le câble coaxial est parcouru par un couant d'intensité $I = 0,10\,A$. Calculer la valeur numérique de l'énergie magnétique W_m emmagasinée par le câble coaxial.

3. Les conducteurs intérieur et extérieur ont une conductivité $\gamma = 5,8 \cdot 10^7\, S \cdot m^{-1}$.

3.1. Exprimer la résistance des conducteurs par unité de longueur, notée R_1, en fonction de γ , r_1 , r_2 , et de $r_3 = (r_2 + e)$.

3.2. Calculer la valeur numérique de R_1.

3.3. On souhaite régler la tension E_G du générateur pour obtenir un courant d'intensité $I = 0,20\,A$. La ligne est chargée par $R_u = 50\,\Omega$. Calculer la valeur numérique de E_G.

II Étude d'un microphone de guitare (Banque PT 2013)

Situés sous les cordes, les microphones sont l'un des éléments les plus fondamentaux d'une guitare électrique, car c'est sur eux que repose toute reproduction du son, même en l'absence totale de caisse de résonance. Un microphone de guitare est composé de plusieurs aimants entouré d'une bobine de cuivre.

1 Préliminaires

1. Théorème d'Ampère

1.a. Énoncer l'équation locale de Maxwell-Ampère en présence de charges et de courants.

1.b. En déduire le théorème d'Ampère en régime variable.

1.c. Comment ce théorème s'écrit-il en régime quasi-stationnaire ?

2 Solénoïde infini

Le champ produit par un solénoide de longueur finie est donné par

$$\overrightarrow{B}(M) = \frac{\mu_0 n I}{2}(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)\vec{u}_z$$

2.a. On considère un solénoïde infini. Retrouver l'expression du champ produit par un solénoïde infini sur son axe en effectuant un passage à la limite.

2.b Calculer directement, en utilisant le théorème d'Ampère, le champ produit par un solénoide à l'intérieur du solénoide. On supposera que le champ est nul à l'extérieu du solénoide.

2.c. En déduire le flux de $\overrightarrow{B}$ à travers une des spires du solénoïde.

3 Résistance du bobinage

On considère un conducteur ohmique cylindrique d'axe Oz se section S, de longueur d et de conductivité électrique γ. Il est soumis au champ électrique uniforme $\overrightarrow{E}$ créé par un générateur électrique et est par conséquent parcouru par un courant de densité volumique $\vec{j}$.

3.a. Préciser la signification de $\vec{j}$ et donner son unité.

3.b. Déterminer l'intensité du courant I en fonction de γ, des caractéristiques géométriques du conducteur et de la différence de potentiel U aux bornes du conducteur.

3.c. En déduire la résistance électrique du conducteur.

3.d. Le bobinage comporte $N = 10000$ spires et est réalisé à l'aide d'un fil de cuivre de diamètre $0,05\,mm$ et de conductivité $\gamma = 6 \cdot 10^7\, S \cdot m^{-1}$. Le rayon des spires est de $5\,mm$. Calculer la résistance.

4 Inductance propre du bobinage

4.a Le fil de la question précédente est bobiné pour créer un solénoide d'axe Oz comportant N spires de rayon R, de longueur h et parcouru par un courant d'intensité I. On suppose que cette bobine peut être considérée comme un solénoide infini et que les résultats le concernant sont valables.

Exprimer le flux total Φ_N du champ magnétique à travers l'ensemble du solénoide en fonction de N, h, R, μ_0 et I.

4.b. On rappelle que l'inductance d'une bobine vaut

$$L = \frac{\Phi_N}{I}$$

Donner l'expression de L.

III Condensateur et One Piece (CCINP2023)

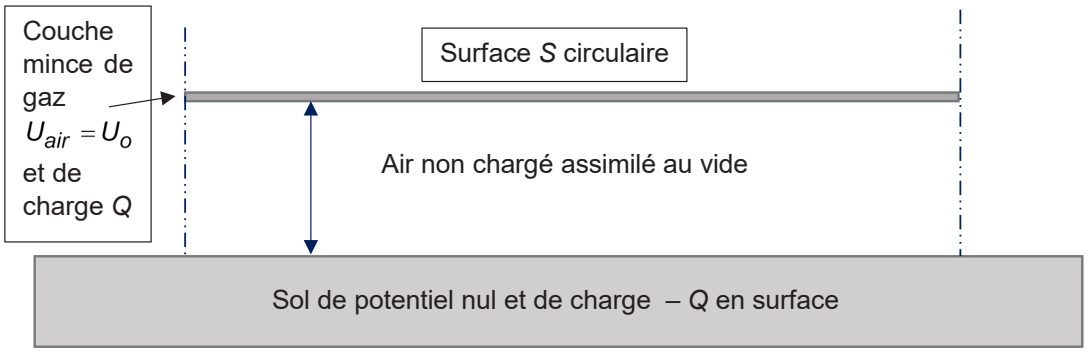


Figure 3 - Condensateur créé par Enel

Les échelles ne sont pas respectées par souci de représentation.

Le pouvoir d'*Enel* lui permet d'imposer un potentiel à un volume d'air extrêmement fin au-dessus de lui. On s'intéresse ici au condensateur formé par cette surface d'air circulaire et le sol, localement plan (**figure 3**).

Dans cette modélisation, on pourra considérer deux disques (plans) parallèles de surfaces S distants de d avec $d \ll \sqrt{S}$ de potentiels électriques respectifs $U_{sol} = 0$ et U_{air} (U_{air} potentiel électrique de la couche d'air chargé). On négligera les effets de bord. On appellera (Oz) l'axe vertical ascendant dont l'origine est prise au sol et $\vec{u}_z$ son vecteur unitaire.

On assimile l'air non chargé entre ces plaques au vide de permittivité $\varepsilon_o = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{F \cdot m^{-1}}$.

On se place ici en régime statique, $U_{air} = U_o = \textit{constante positive}$ et on note $\sigma_{air} = \sigma_o$ la densité surfacique des charges électriques de la surface d'air chargée.

Q24. Justifier que le champ électrique est de direction Oz : $\vec{E} = E\vec{u_z}$. Exprimer ce champ électrique créé dans l'espace $0 < z < d$ en fonction de σ_o et de ε_o.

Q25. En déduire la différence de potentiel U_o en fonction de σ_o, ε_o et de d.

Q26. Calculer E et σ_o pour $d = 5{,}0\,\mathrm{m}$ et $U_o = 1{,}0 \cdot 10^5\ \mathrm{V}$.

Q27. Doit-on craindre une telle tension ? On donne la valeur du champ disruptif de l'air dans les conditions d'étude : $E_{disruptif}(air) = 3{,}6 \cdot 10^6\ \mathrm{V \cdot m^{-1}}$.

Le condensateur est soumis désormais à une tension alternative de basse fréquence f, de telle sorte que $U_{air} = U_o \cos(\omega t)$. On travaillera en coordonnées cylindriques d'axe (Oz). On admet qu'à cette fréquence, la relation entre le champ électrique $\vec{E}$ et le potentiel électrique est la même qu'en régime statique.

Q28. Écrire $\vec{E}$ sous la forme $\vec{E} = E_o \cos(\omega t)\vec{u}_z$ avec E_o à préciser en fonction de U_o et des autres données de l'énoncé.

Q29. Rappeler les équations de Maxwell du champ électromagnétique.

Q30. Justifier l'existence d'un champ magnétique $\vec{B}$ et montrer que $\overrightarrow{B(M,t)} = B(r,z,t)\overrightarrow{e_\theta}$.

Q31. Justifier que, si l'on reste dans l'espace entre les armatures, la circulation du champ magnétique le long d'un contour orienté s'écrit : $\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \frac{1}{c^2}\frac{d\Phi_{\vec{E}}}{dt}$, avec c et $\Phi_{\vec{E}}$ à préciser.





Enel (Eneru en VO) est l'antagoniste principal de l'Arc Skypiea. Son fruit du démon, le goro goro no mi, lui permet de produire de la foudre et du courant électrique en maîtrisant la formation de particules chargées….

IV Thermochimie

L'acide fluorhydrique est obtenu industriellement par réaction du difluorure de calcium solide avec l'acide sulfurique liquide pur. La réaction d'obtention de l'acide fluorhydrique peut s'écrire

$$\mathrm{CaF_{2(s)}} + \mathrm{H_2SO_{4(liq)}} = 2\,\mathrm{HF_{(g)}} + \mathrm{CaSO_{4(s)}}\,.$$

On introduit dans un four cylindrique (20 m de longueur et 3 m de diamètre, volume V_0) 220 kg de difluorure de calcium et 280 kg d'acide sulfurique. Le contenu du four (air et réactifs) est porté à la température $T_0 = 573\,\mathrm{K}$ sous $P_0 = 1\,\mathrm{bar}$ avant que la réaction ne démarre. Le four est maintenu à cette même température par un chauffage externe. On admet que dans ces conditions la transformation est totale.

1 - Déterminer le transfert thermique reçu par les réactifs pour les chauffer de 298 K à 573 K.

2 - Calculer l'enthalpie standard $\Delta_\mathrm{r}H^\circ$ de la réaction à 298 K. Dans la suite, on approximera la valeur de l'enthalpie standard de réaction à 573 K à celle calculée à 298 K : comment se nomme cette approximation ?

3 - Déterminer la masse des liquides et solides présents dans l'état final.

4 - Déterminer la pression finale P_F dans le réacteur. On pourra négliger le volume des phases condensées devant celui de la phase gazeuse.

5 - Montrer que pour que la transformation soit isotherme le chauffage externe doit fournir au système réactionnel un transfert thermique

$$Q_\mathrm{c} = \xi_F\,\Delta_\mathrm{r}H^\circ - V_0(P_F - P_0)$$

avec ξ_F l'avancement final de la transformation.

6 - Pourrait-on se passer de chauffage externe ?

Données : à 298 K

Composé	$\mathrm{CaF_{2(s)}}$	$\mathrm{H_2SO_{4(liq)}}$	$\mathrm{HF_{(g)}}$	$\mathrm{CaSO_{4(s)}}$
$\Delta_\mathrm{f}H^\circ$ $(\mathrm{kJ\cdot mol^{-1}})$	−1228,0	−814,0	−271,1	−1430,0
C_P° $(\mathrm{J\cdot K^{-1}\cdot mol^{-1}})$	67,0	138,9	29,1	100,0
M $(\mathrm{g\cdot mol^{-1}})$	78,1	98,0	20,0	136,0