REPUBLIQUE TUNISIENNE
Ministère de l'Enseignement
Supérieur, de la Recherche Scientifique
et de la Technologie

Concours Nationaux d'Entrée aux Cycles de Formation d'Ingénieurs
Session : Juin 2004

Concours Physique et Chimie
Epreuve de Physique

Date : Jeudi 10 juin 2004	**Heure : 8 H**	**Durée : 4 H**	**Nbre pages : 07**
Barème : Problème1 : 08,5 pts ; Problème2 : 11,5 pts			

Seules les calculatrices non programmables sont autorisées.

Si au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

L'épreuve est constituée de deux problèmes indépendants. Dans chaque problème, certaines parties et de nombreuses questions sont indépendantes.

Un candidat peut toujours se servir d'un résultat fourni par l'énoncé pour continuer sa composition.

PROBLEME N°1

I - Préliminaires :

1- Enoncer, dans le cas général, le premier principe de la thermodynamique pour un système fermé.

2- On considère un système défini par le contenu d'une surface (Σ)(Figure 1), fixe dans le référentiel du laboratoire supposé Galiléen. Un tel dispositif peut représenter une turbine, une tuyère, un compresseur, etc.... Il est le siège d'un écoulement fluide non visqueux en régime *stationnaire*. On note δm_1 la masse qui est entrée dans (Σ) et δm_2 la masse qui en est sortie , au cours d'une évolution entre les instants t et t + dt.

Au cours de cette évolution, le fluide dans (Σ) échange avec le milieu extérieur une puissance thermique $\mathcal{P}_{th}$ et une puissance mécanique $\mathcal{P}_u$ (puissance utile). Cette dernière n'inclut pas la puissance des forces de Pression. On note q l'énergie thermique massique associée à $\mathcal{P}_{th}$ et w le travail massique associé à $\mathcal{P}_u$.

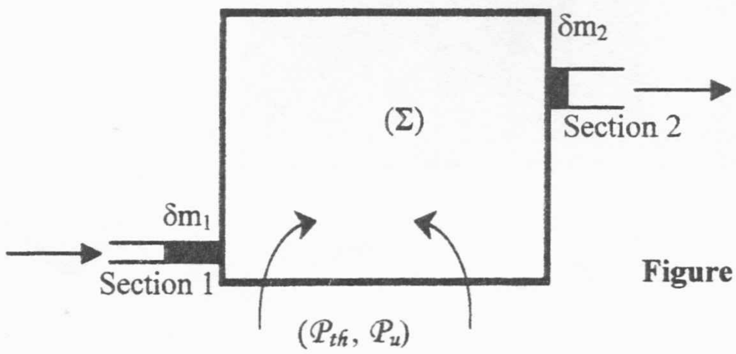

Figure 1

Les grandeurs physiques sont repérées par l'indice 1 sur la section amont et l'indice 2 sur la section aval. Le milieu extérieur est assimilé à un thermostat de température T_0. On suppose que la variation de l'énergie potentielle de pesanteur est nulle en tout point de l'écoulement.

2-1- Montrer, qu'en régime stationnaire, le débit massique D_m se conserve.

2-2- En considérant un système *fermé* convenablement choisi, montrer que le premier principe s'écrit sous la forme :

$$D_m\left[\left(h_2+\frac{1}{2}c_2^2\right)-\left(h_1+\frac{1}{2}c_1^2\right)\right]=\mathcal{P}_{th}+\mathcal{P}_u$$

où h est l'enthalpie massique du fluide et c sa vitesse macroscopique dans le référentiel du laboratoire.

2-3- Décrire l'expérience de la détente de Joule – Thomson. En déduire que cette détente est isenthalpique.

3- Enoncer le second principe de la thermodynamique pour un système fermé quelconque en notant S son entropie.

4- En effectuant un bilan entropique du système *fermé* considéré dans la question **2-2**, montrer que :

$$s_2-s_1\geq\frac{q}{T_0}$$

où s est l'entropie massique du fluide.

II – Gaz parfait :

On considère un gaz parfait ayant pour masse molaire M et pour capacités thermiques massiques c_v et c_p, respectivement à volume constant et à pression constante. Les capacités c_v et c_p sont supposées constantes. On note $\gamma=\frac{c_p}{c_v}$ et $r=\frac{R}{M}$, où $R = 8{,}314\ J.K^{-1}.mol^{-1}$ est la constante des gaz parfaits.

5-

5-1- Ecrire la relation liant la pression P, la température T et le volume massique v du gaz parfait.

5-2- Exprimer la différentielle dh de l'enthalpie massique en fonction de r, γ et dT.

5-3- Déterminer la variation élémentaire ds de l'entropie massique en fonction des variations élémentaires de T et P.

6- Un gaz parfait subit la détente de Joule - Thomson.

6-1- Calculer la variation ΔT de sa température au cours de cette détente. En déduire l'énoncée de la deuxième loi de Joule.

6-2- Déterminer la variation de son entropie massique. La détente est-elle réversible ? Justifier.

7- Dans le diagramme entropique (T - s) on porte la température en ordonnée et l'entropie massique en abscisse.

7-1- On considère l'isobare P_1. Déterminer la relation entre $s(T, P_1)$ et $s(T_1, P_1) = s_1$. Représenter l'allure de cette isobare.

7-2- Pour l'isobare $P_2 = 3P_1$, déterminer la relation entre $s(T, P_2)$ et $s(T, P_1)$. Représenter l'allure de cette isobare.

7-3- En déduire que les isobares se déduisent les unes des autres par une simple opération que l'on définira.

III – Gaz réel :

8- En quoi diffère un gaz réel d'un gaz parfait ?

9- Dans le modèle de VAN DER WAALS (VDW), l'équation d'état d'un gaz réel s'écrit :

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = rT$$, avec a et b des constantes positives.

9-1- Donner les significations des termes $\frac{a}{v^2}$ et b.

9-2- La quantité de transfert thermique δq échangée, d'une manière infinitésimale, par l'unité de masse de ce gaz peut s'écrire, à l'aide des coefficients calorimétriques c_v et ℓ sous la forme : $\delta q = c_v dT + \ell dv$. Etablir les relations de Clapeyron :

$$\ell = T\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v \quad \text{et} \quad \left(\frac{\partial c_v}{\partial v}\right)_T = T\left(\frac{\partial^2 P}{\partial T^2}\right)_v$$

9-3- Montrer que c_v est indépendant du volume v. En admettant que c_v est aussi indépendant de la température, déterminer la variation de l'énergie interne massique u (T, v) puis celle de l'entropie massique s (T, v) de ce gaz.

9-4- L'expression approchée de l'enthalpie massique du gaz de VDW est donnée par :

$$h = h_0 + (c_v + r)\,T + \left(b - \frac{2a}{rT}\right) P$$ où h_0 est une constante.

9-4-1- Calculer $\left(\frac{\partial h}{\partial P}\right)_T$. Discuter le sens de variation de h en fonction de la pression, à température donnée.

9-4-2- Montrer que la détente de Joule – Thomson ne permet de refroidir un gaz réel que si sa température initiale est inférieure à une température limite T_i appelée température d'inversion. Exprimer T_i en fonction de r, a et b.

Calculer T_i pour le diazote N_2 et le dihydrogène H_2. Peut-on refroidir ces gaz en leur faisant subir une détente de Joule - Thomson à partir de la température ambiante ? Justifier.

On donne :

gaz	a (10^{-3} J.m^3.g^{-2})	b (10^{-5} m^3.g^{-1})	M (g.mol^{-1})
H_2	6,250	1,350	2
N_2	0,165	0,136	28

IV – Potentiel thermodynamique :

10- Qu'appelle-t-on potentiel thermodynamique ?

11- Déterminer, en justifiant, le potentiel thermodynamique décrivant l'évolution d'un système thermodynamique dans les cas suivants :

11-1- un système fermé thermiquement isolé.

11-2- un système fermé qui subit une évolution monotherme sans échange de travail avec l'extérieur.

11-3- un système fermé qui subit une évolution à la fois monotherme et monobare.

12- On s'intéresse au système fermé considéré dans la question **2-2**.

12-1- Quelle est la puissance maximale récupérable par le milieu extérieur par unité de masse du fluide ?

12-2- Quel est le travail maximal correspondant ?

12-3- En déduire le potentiel thermodynamique décrivant l'évolution du système.

PROBLEME N°2

On donne : $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\,10^9$ SI et $\frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7}$ SI, où ε_0 et μ_0 représentent respectivement la permittivité électrique et la perméabilité magnétique du vide.

I- Questions préliminaires :

1- Décrire une expérience réalisable dans un laboratoire et permettant de mettre en évidence un phénomène de propagation à une dimension. Préciser la grandeur qui se propage.

On rappelle qu'un phénomène ondulatoire se propageant suivant la direction Ox, décrit par une grandeur physique $\psi(x,t)$, est gouverné par l'équation aux dérivées partielles suivantes :

$$\frac{\partial^2 \psi(x,t)}{\partial x^2} - \frac{1}{V^2}\frac{\partial^2 \psi(x,t)}{\partial t^2} = 0 \qquad \text{(équation 1)}$$

2- Qu'appelle-t-on cette équation ? Ecrire sa solution générale.

3- Que représente la grandeur V ? Préciser son unité.

4-

4-1- Définir les ondes transversales et longitudinales. Donner des exemples.

4-2- Dans le cas des ondes sonores et électromagnétiques, quelles sont les grandeurs représentées par la fonction d'onde $\psi(x,t)$.

5- Vérifier que les fonctions d'ondes $\psi_1(x,t) = a\cos(\omega(t - \frac{x}{V}))$ et $\psi_2(x,t) = a\cos(\omega(t + \frac{x}{V}))$ sont des solutions de l'équation 1. Que représentent les fonctions ψ_1 et ψ_2 ? Préciser leurs caractéristiques.

6- Déterminer la fonction d'onde $\Psi(x,t)$ résultant de la superposition des deux phénomènes ondulatoires décrits par ψ_1 et ψ_2. Caractériser l'onde résultante.

II- Etude d'une ligne de transmission d'un signal électromagnétique

Pour transmettre un signal électromagnétique à des grandes distances, on utilise un câble coaxial jouant le rôle de guide d'ondes électromagnétiques. Il peut être modélisé par deux fils conducteurs identiques de faible rayon et parallèles entre eux.

II-A- Ligne bifilaire sans perte

La ligne est constituée de deux fils parfaitement conducteurs de rayon a, rectilignes, parallèles à l'axe Ox, de longueurs infinies, parcourus par des courants électriques de sens opposés et sont placés dans le vide à une distance ℓ l'un de l'autre tel que $\ell >> a$. Cette ligne, caractérisée par une capacité linéique $\Gamma = \frac{\pi\varepsilon_0}{\mathrm{Log}(\frac{\ell}{a})}$ et une inductance propre linéique $\Lambda = \frac{\mu_0}{\pi}\mathrm{Log}(\frac{\ell}{a})$, peut se décomposer en cellules élémentaires, de longueur dx, dont une est représentée sur la figure 2.

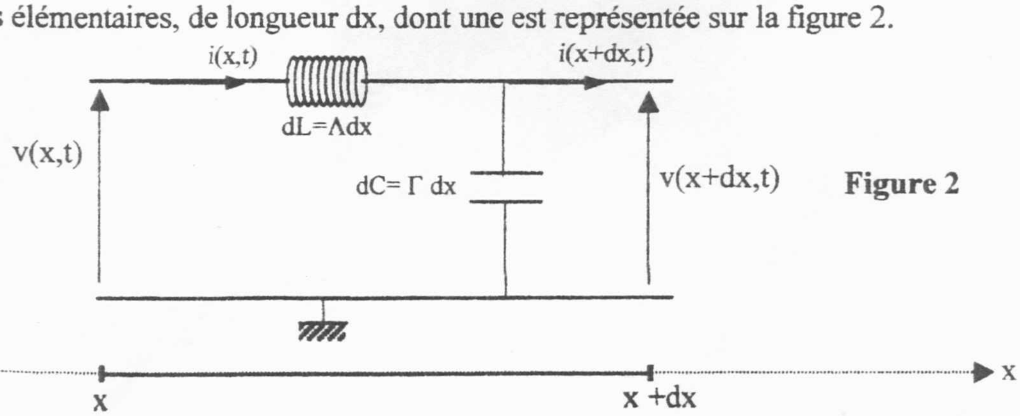

Figure 2

La tension entre les fils conducteurs et l'intensité de courant qui les parcourt sont notées respectivement v(x,t) et i(x,t), à l'abscisse x et à l'instant t.

7-

7-1- En utilisant les lois de l'électrocinétique, établir, au premier ordre, deux équations aux dérivées partielles liant $\frac{\partial v(x,t)}{\partial x}$ à $\frac{\partial i(x,t)}{\partial t}$ d'une part, et $\frac{\partial i(x,t)}{\partial x}$ à $\frac{\partial v(x,t)}{\partial t}$ d'autre part.

7-2- Déterminer les équations aux dérivées partielles vérifiées respectivement par v(x,t) et i(x,t). En déduire que le signal électrique se propage à la célérité de la lumière dans le vide.
Ecrire la forme générale de la solution relative à la propagation du signal électrique représentée par la fonction d'onde v(x,t).

8- La ligne, située dans l'espace $x \leq 0$ et alimentée par une tension sinusoïdale de pulsation ω, se ferme sur une résistance R située en x = 0 (Figure 3).

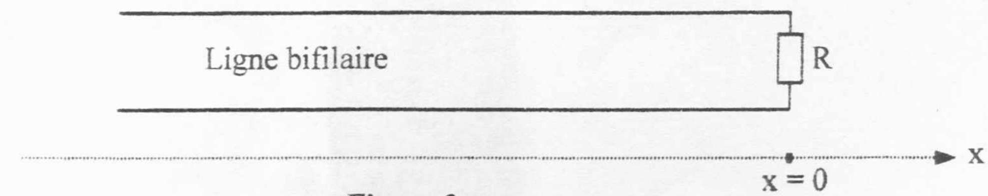

Figure 3

La fonction d'onde caractérisant la tension v(x,t) peut s'écrire, en notations complexes :

$$\underline{v}(x,t) = \left[A \exp(-j\frac{\omega}{c}x) + B\exp(j\frac{\omega}{c}x)\right] \exp(j\,\omega\, t)$$

où A et B sont des constantes.

8-1- Justifier l'écriture de la fonction d'onde $\underline{v}(x,t)$. Déduire la fonction d'onde de courant $\underline{i}(x,t)$ associée à $\underline{v}(x,t)$.

8-2- Exprimer l'impédance $\underline{Z}(x) = \frac{\underline{v}(x,t)}{\underline{i}(x,t)}$ en tout point de la ligne. On fera apparaître la quantité Z_c, homogène à une impédance, qu'on exprimera en fonction de Γ et Λ.

8-3- Déterminer le rapport $\frac{B}{A}$ en fonction de R et Z_c. Décrire le comportement de l'onde de **courant le long de la ligne dans les cas suivants :**

$R = Z_c \quad , \quad R = 0 \quad$ et $\quad R \to \infty.$

8-4- On ferme la ligne sur une résistance R = 1500 Ω.
Calculer l'inductance linéique propre Λ et la capacité linéique Γ de cette ligne permettant d'empêcher la réflexion du signal électrique en x = 0.

9- Dans cette question, la ligne est supposée infinie ($x \in]-\infty,+\infty[$). En x = 0, on relie les deux fils de la ligne par une résistance $R = Z_c$ (Figure 4).

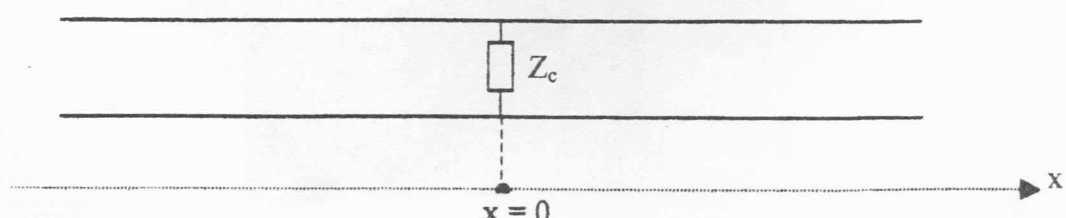

Figure 4

9-1- Exprimer, en fonction de Z_c, l'impédance de la ligne en x = 0 vue depuis la région x < 0.

9-2- En déduire le module ρ du coefficient de réflexion en courant ou en tension de l'onde en x = 0.

II-B- Ligne bifilaire réelle (avec pertes) :

En réalité, la transmission d'un signal électrique le long de la ligne est accompagnée d'une atténuation et d'une distorsion (diminution et déformation de l'amplitude du signal). Ces pertes sont dues au caractère non parfait du conducteur constituant la ligne bifilaire ainsi qu'au défaut d'isolation des deux fils de la ligne par un diélectrique. Par conséquent, on peut associer, à chaque cellule élémentaire de longueur dx de la ligne, une résistance linéique *r* et une conductance linéique *g* qui s'ajoutent aux caractéristiques précédentes.
Le schéma équivalent de cette cellule est représenté sur la figure 5.

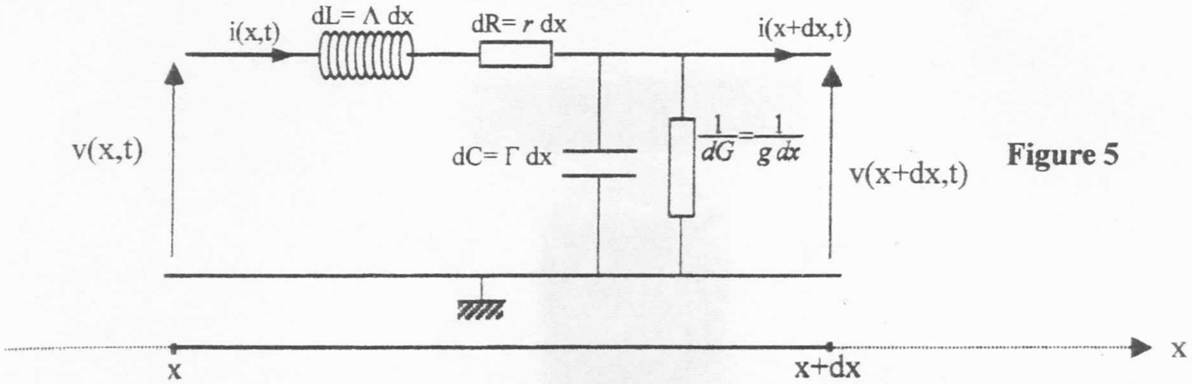

Figure 5

On note, comme précédemment, v(x,t) la d.d.p entre les deux conducteurs et i(x,t) l'intensité du courant qui parcourt chaque branche de la ligne à l'abscisse x et à l'instant t.

10- En appliquant les lois de l'électrocinétique, établir les nouvelles équations aux dérivées partielles permettant d'exprimer, au premier ordre, $\frac{\partial v(x,t)}{\partial x}$ en fonction de i(x,t) et $\frac{\partial i(x,t)}{\partial t}$ puis $\frac{\partial i(x,t)}{\partial x}$ en fonction de v(x,t) et $\frac{\partial v(x,t)}{\partial t}$.

Montrer que l'équation aux dérivées partielles vérifiée par v(x,t) s'écrit sous la forme :

$$\frac{\partial^2 v(x,t)}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 v(x,t)}{\partial t^2} - 2\frac{K}{c}\frac{\partial v(x,t)}{\partial t} - \frac{\Omega^2}{c^2} v(x,t) = 0 \quad \text{(équation 2)}$$

avec $K = \frac{c}{2}(r\,\Gamma + g\,\Lambda)$ et $\Omega^2 = r\,g\,c^2$

11- Un générateur relié à l'entrée de la ligne, délivre une tension sinusoïdale de pulsation ω. Une onde, décrite par la fonction d'onde v(x,t), prend naissance le long de la ligne. L'amplitude complexe $\underline{V}(x)$ de la tension $\underline{v}(x,t) = \underline{V}(x)\exp(j\omega t)$ obéit à l'équation suivante :

$$\frac{d^2\underline{V}(x)}{dx^2} + \underline{k}^2\underline{V}(x) = 0$$

En utilisant l'équation 2, établir la relation de dispersion liant $\underline{k}$ à ω.

12- On se place dans le cas où l'onde de tension est progressive et on pose, $\underline{k} = k_1 - j\,k_2$.
k_1 et k_2 sont des réels positifs.
Déterminer l'expression générale de la solution de l'équation 2. Caractériser l'onde décrite par $\underline{v}(x,t)$. Que peut-on dire lorsque k_1 est une fonction de ω?

13- Généralement, les pertes le long de la ligne sont faibles et peuvent être considérées comme indépendantes de la pulsation. On se place alors dans les conditions où $\Lambda\omega \gg r$ et $\Gamma\omega \gg g$.
En effectuant un développement limité au second ordre de $\underline{k}(\omega)$, déterminer une expression simplifiée du nombre d'onde complexe $\underline{k}(\omega)$. Déduire les expressions de $k_1(\omega)$ et $k_2(\omega)$.

14- Déterminer la vitesse de phase V_φ de cette onde progressive le long de la ligne. Commenter.

15- Quelle condition (dite de Heaviside) doivent vérifier les quatre paramètres linéiques de la ligne pour éviter la déformation du signal lors de la propagation ? Commenter.

16- On considère une ligne téléphonique caractérisée par les données numériques suivantes :

$\Lambda = 5.10^{-6}$ H m^{-1} ; $\Gamma = 2{,}22\,.10^{-12}$ F m^{-1} ; $r = 4{,}5.10^{-2}$ Ω m^{-1} et $g = 2.10^{-8}$ Ω^{-1} m^{-1}

16-1- Vérifier si la condition de Heaviside est satisfaite.

16-2- Calculer, à la fréquence f_0 = 1 kHz (appartenant au domaine des fréquences vocales), la valeur de k_2 et la distance x_0 (comptée à partir de l'entrée de la ligne) au bout de laquelle l'amplitude de la tension est divisée par $\sqrt{2}$. Analyser les résultats numériques obtenus.

17- On se place en dehors de la condition de Heaviside. Pour des fréquences supérieures à 1 MHz, Montrer que la propagation du signal électrique est réalisée sans dispersion. Commenter

FIN DE L'EPREUVE