

DS1

Le sujet comporte des odg, une question ouverte, deux planches d'oral d'électronique et trois planches d'oral de thermodynamique

Consignes

- ✗ Dès réception du sujet, lire intégralement les parties indépendantes.
- ✗ Repérer notamment les questions clefs, c'est à dire les questions dont les réponses ont un impact important sur la résolution du sujet. \Rightarrow Passer du temps sur ces questions !
- ✗ Si au cours de votre résolution vous vous apercevez que "quelque chose ne va pas", arrêtez vous et reprenez votre raisonnement afin de trouver le moment où votre raisonnement est devenu faux.
- ✗ Ne pas utiliser de valeurs numériques au cours d'une démonstration littérale.
- ✗ Vérifier systématiquement l'homogénéité et la cohérence de vos résultats.
- ✗ Pour les applications numériques, faites attention aux chiffres significatifs et aux unités.
- ✗ Ne jamais poser d'équations électriques sans avoir au préalable défini ces grandeurs sur un schéma (conventions). Même chose pour les systèmes thermodynamiques et mécaniques.
- ✗ Ne jamais mener un calcul en mélangeant la notation réelle instantanée (notamment des cosinus et des sinus) et la représentation complexe.
- ✗ Un schéma vaut toujours mieux que de longs discours.
- ✗ Les applications numériques et les commentaires sont souvent surcotés dans les barèmes.

1 Ordre de grandeur

- ✗ La pression atmosphérique est équivalente à quelle masse par cm^2 ?
- ✗ Quelle est la masse de l'atmosphère ?
- ✗ Y a-t-il plus ou moins de molécules d'eau dans une goutte d'eau que de gouttes d'eau sur terre ?
- ✗ Quel est l'ordre de grandeur de la puissance volumique fournie par un four à micro-onde aux aliments ?
- ✗ On ouvre une bouteille (type bouteille de vin), dans lequel on a fait le vide, pendant une durée de très courte (1ms). Quelle est l'odg du nombre de molécules « d'air » étant rentrées dans le flacon ?
- ✗ Quand il fait $10^\circ C$ à Lyon par temps sec, quelle est la température en haut du Mont-Blanc ?
- ✗ Dans un ancien téléviseur (tube cathodique), quel est l'ordre de grandeur de la pression qui doit régner dans le tube pour que les électrons puissent atteindre l'écran sans encombre ?
- ✗ Lors de son cours d'introduction à l'électromagnétisme, Richard Feynman, prononça la phrase suivante :
« Si vous vous teniez à un bras de distance de quelqu'un et que chacun de vous ait un pour cent d'électrons de plus que de protons, la force de répulsion serait incroyable. De quelle grandeur ? Suffisante pour soulever l'Empire State Building ? Non ! Pour soulever le mont Everest ? Non ! La répulsion serait suffisante pour soulever une masse égale à celle de la terre entière ! »

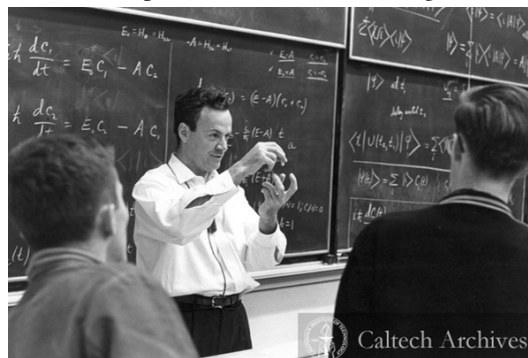


FIGURE 1 – Richard Feynman avec des étudiants

L'ordre de grandeur proposé par Feynman est-il correct ?

2 Question ouverte



FIGURE 2 – Personnage de Dark Sidious lançant des éclairs

Dark Sidious est capable de créer un champ électrique nécessaire pour produire le phénomène d'ionisation de l'air (condition nécessaire pour que l'air conduise sous forme d'éclairs). Ce champ est de l'ordre de $E_i = 3.6 \text{ kV} \cdot \text{mm}^{-1}$ pour de l'air sec à la pression atmosphérique. On estime que les éclairs produits par l'Empereur ont une longueur d'environ $l = 3 \text{ m}$ ce qui correspond à une différence de potentiel $U_0 = E_i l$. On assimile l'Empereur à un condensateur de capacité C initialement chargée sous U_0 qui se décharge dans le corps de son adversaire modélisé par une résistance $R = 100 \text{ M}\Omega$ (principalement due aux semelles). L'électrocution n'est pas nécessairement mortelle, il s'agit de l'ensemble des lésions consécutives au passage d'un courant électrique à travers le corps. Le décès peut survenir lorsque le courant traversant le coeur dépasse 75 mA (en valeur absolue) pendant 1 seconde. Dans le cas contraire on parle d'électrification.

Question : Déterminer la capacité C nécessaire pour provoquer la mort de l'adversaire.

3 Capteur de déplacement micrométrique

On rappelle la capacité d'un condensateur plan :

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{e}$$

Où : S est la surface en regard des deux armatures et où e est la distance entre les deux armatures.

Pour mesurer un déplacement micrométrique, on souhaite réaliser un filtre réjecteur (ou coupe-bande), en associant un résistor de résistance R , un condensateur de capacité C variable et une bobine d'inductance L d'après le schéma de la figure (3).

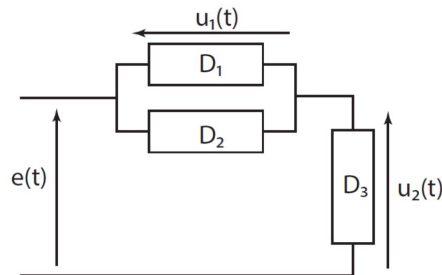


FIGURE 3 – Montage pour le filtre réjecteur

La tension $e(t)$ est appliquée à l'entrée du filtre. Le condensateur est constitué de deux peignes imbriqués (voir figure (4)), comptant un nombre de « dents » $N \gg 1$. Chaque dent est une plaque métallique. On néglige les effets de bord et on suppose que seules les dents des peignes contribuent à la capacité ; on note S les surfaces en regard de deux dents voisines. Les supports portant les deux peignes peuvent se déplacer horizontalement. On règle ainsi x de sorte que la capacité $C(x)$ présente sa valeur minimale, notée C_0 . L'espace inter-armature est de l'air, assimilé à du vide pour ses propriétés diélectriques.

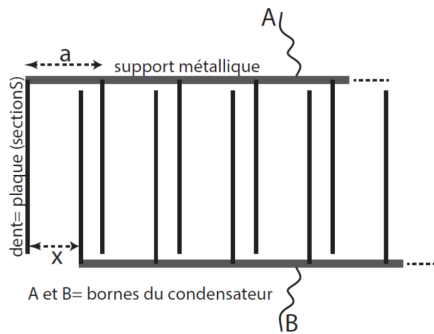


FIGURE 4 – Condensateur utilisé pour le filtre

1. Exprimer la capacité $C(x)$ en fonction de x , N , S , a et ϵ_0 .
2. En déduire C_0 et la calculer numériquement pour $a=10\mu\text{m}$, $N=500$, $S=0,10\text{ cm}^2$.
3. Après avoir précisé le comportement d'un filtre coupe-bande, identifier chaque composant D_1 , D_2 et D_3 . Quelle tension u_1 ou u_2 faut-il choisir comme grandeur de sortie ? Exprimer la fréquence f_0 rejetée par le filtre en fonction des valeurs des composants.
4. La bobine utilisée a une inductance $L = 50\text{ mH}$. En prenant $C = C_0$, déterminer la fréquence coupée.
5. Avec les composants de la question précédente (notamment $C = C_0$), on alimente le filtre avec un générateur de tension sinusoïdale, d'amplitude $e_0=5,0\text{V}$ et de fréquence f_0 . A la suite d'un choc, les peignes se déplacent l'un par rapport à l'autre. Comment faut-il choisir R pour qu'un déplacement de $\frac{a}{4}$ de traduise par l'apparition d'une tension de sortie d'amplitude $u_0=0,50\text{ V}$?
6. Commenter.

4 Tripleur de fréquence

1. Rappeler la fonction de transfert $\underline{H}(j\omega) = \left(\frac{u_s}{u_e}\right)(j\omega)$ d'un filtre passe-bande du second ordre ; tracer de manière asymptotique son diagramme de Bode dans un cas de grande acuité puis tracer son diagramme de Bode.
2. Soit le filtre (F) (fig. 5) fonctionnant en régime sinusoïdal établi sous tension d'entrée $u_e(t) = E \cos(\omega t)$.
L'amplificateur, de gain G , d'impédances infinies aux entrées et nulle en sortie, est alimenté par une source continue non représentée.

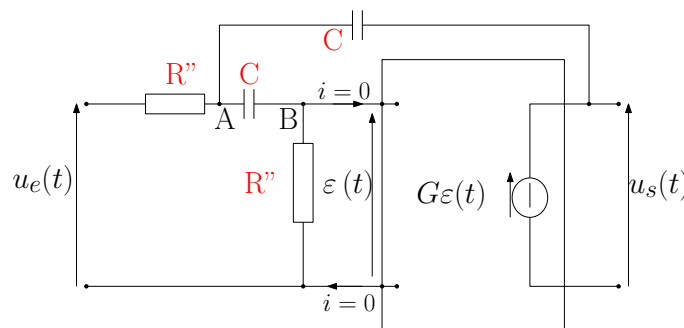


FIGURE 5 – Filtre (F)

Identifier la pulsation de résonance, le facteur de qualité et le gain maximum de (F).

3. Soit le montage (M) donné par la figure (6).

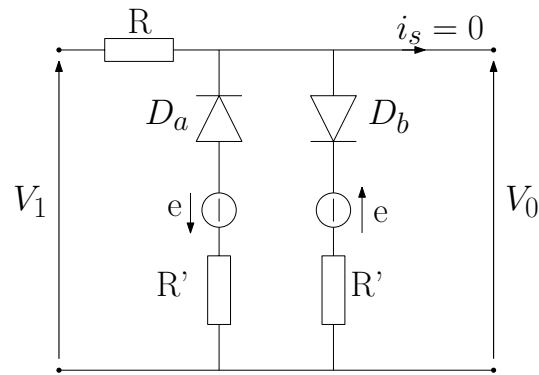


FIGURE 6 – Montage écreteur

Dans ce montage :

- ✘ Les générateurs de tension sont réversibles en courant,
- ✘ Les diodes D_a et D_b sont des diodes de caractéristique (\mathcal{C}) donnée par la figure (7), de tension de seuil V_{d_0} de tension de claquage $-U_{inv_m}$ et de résistance dynamique r_d .

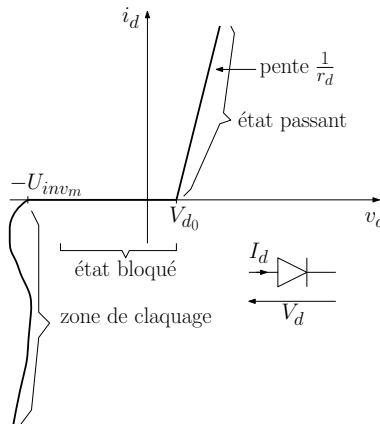


FIGURE 7 – Caractéristique des diodes

- (a) On considère une tension V_1 continue de l'ordre de grandeur de e . Exprimer le transfert $V_0 = f(V_1)$ en sortie à vide ($i_s = 0$) et en faire le graphe. On distinguera les cas [D_a et D_b bloquées], [D_a passante, D_b bloquée] et [D_b passante, D_a bloquée]. Quelle fonction (M) réalise-t-il ?
- (b) On considère maintenant une tension $V_1(t) = V_{m_1} \cos(\omega t)$ sinusoïdale et telle que $e \lesssim V_{m_1}$. Tracer le graphe de $V_0(t)$.
4. L'association de (M) avec (F) permet de réaliser un tripleur de fréquence. Justifier et dimensionner C et G en conséquence.

Données :

- ✘ Décomposition en série de Fourier d'une sinusoïde écrettée $v(t)$ (figure 8), avec $t_0 = \frac{1}{\omega} \arccos\left(\frac{B}{A}\right)$:

$$v(t) = \frac{2B}{\pi} \left\{ \left[\sin(\theta_0) + \frac{\pi}{2 \cos(\theta_0)} - \frac{\theta_0}{\cos(\theta_0)} \right] \cos(\omega t) + \sum_{p=1}^{\infty} \left[\frac{2 \sin((2p+1)\theta_0)}{2p+1} - \frac{1}{\cos(\theta_0)} \left\{ \frac{\sin[(2p+2)\theta_0]}{2p+2} + \frac{\sin[(2p)\theta_0]}{2p} \right\} \right] \cos[(2p+1)\omega t] \right\}$$

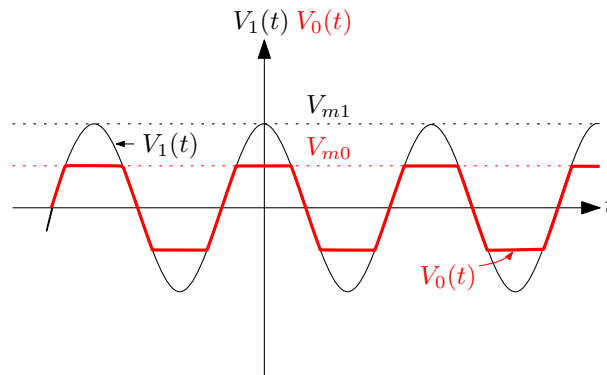


FIGURE 8 – Signal écreté

✘ Valeurs numériques du montage (M) :

- $R = 10\text{k}\Omega$
- $R' = 150\Omega$
- $V_{m1} = 11.4\text{V}$
- $\omega = 60\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
- $e = 5\text{V}$

✘ Valeurs numériques du filtre (F) :

- $R'' = 100\text{k}\Omega$

✘ Diodes N4007

- $V_{d0} = 0.7\text{V}$
- $r_d = 1.5\Omega$
- $U_{inv_m} = 1000\text{V}$

5 Moteur à ballons d'hélium

On considère la machine représentée figure 9. Celle-ci est constituée de ballons remplis d'hélium, contenant chacun n moles d'hélium, situés aux extrémités de tiges rigides, de rayon H , régulièrement espacées, pouvant tourner autour de l'axe (Δ). Le dispositif est placé dans l'air. Dans la partie supérieure de la roue, l'air est à la température T_f : la zone ainsi définie est la zone de la source froide. Dans la partie inférieure de la roue, l'air est à la température T_c : la zone définie est la zone de la source chaude. Entre ces deux zones l'air est à la température T_e . La distance entre les deux zones chaude et froide vaut $2H$. La figure 9 n'est pas à l'échelle : à tout instant le rayon d'un ballon d'hélium est très inférieur devant H .

Hypothèses (non données dans l'énoncé de l'oral) :

- ✘ On considérera que le passage d'un ballon au niveau d'une source se fait à altitude constante (z_c et z_f).
- ✘ On supposera qu'à la sortie d'une source, l'hélium s'est thermalisé avec la source.
- ✘ On supposera que les transferts thermiques, entre l'air et l'hélium, n'existent qu'au niveau des sources.

1. Démontrer l'évolution de la pression dans une atmosphère isotherme. Appliquer votre résultat pour déterminer les pressions P_f et P_c , respectivement sur les parties supérieure et inférieure de la roue.
2. Définir le rendement de la machine thermique ainsi réalisée et déterminer son expression littérale.

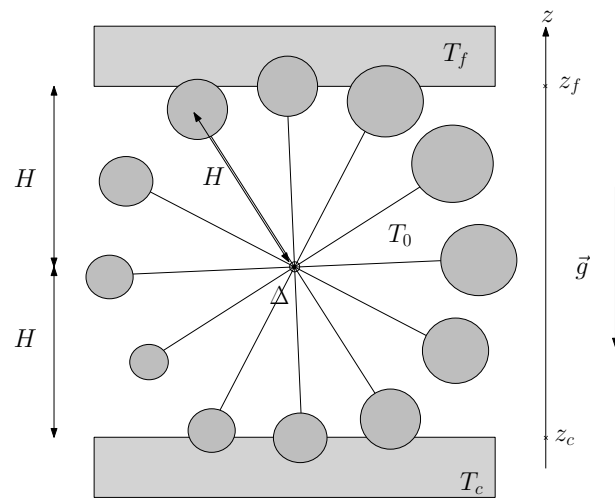


FIGURE 9 – Machine thermique étudiée

6 Chauffer un appartement sur la lune

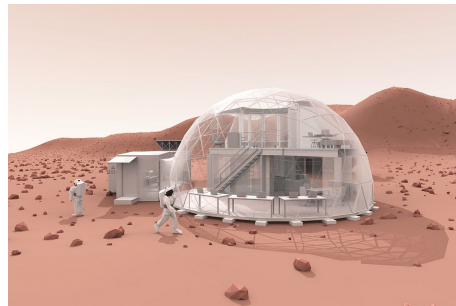


FIGURE 10 – Exemple de prototype lunaire

Le cycle jour/nuit à la surface de la Lune a une durée d'environ 28 jours terrestres. Le Soleil, visible en un point donné pendant environ 14 jours, se déplace très lentement, de façon presque imperceptible, mais à son lever, en un instant, un lieu passe de l'obscurité à la lumière, car il n'y a pas d'atmosphère pour diffuser la lumière solaire et servir de bouclier thermique. Cette transition s'accompagne d'une hausse importante de température, qui peut passer de $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1. Rappeler les efficacités d'une pompe à chaleur et d'un climatiseur fonctionnant suivant des cycles de Carnot réversibles entre les températures T_f et $T_c > T_f$.
2. En supposant que l'on dispose d'une machine fonctionnant suivant des cycles de Carnot réversibles, estimer la puissance moyenne (sur un jour lunaire) minimale à fournir pour maintenir une habitation lunaire à $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Données :

Un bilan thermique indique que les fuites thermiques de l'habitat (exprimées en Watts) sont correctement modélisées par une loi de la forme :

$$P_{th} = k(T - T_{ext}) \quad (1)$$

où T_{ext} est la température extérieure à l'habitation et k une constante qui vaut $0.5\text{ kW}\cdot\text{K}^{-1}$ pour l'habitation envisagée.

7 Geyser

Le geyser le plus connu du parc national du Yellowstone est Old Faithful.



FIGURE 11

Ce geyser peut être considéré comme une large cavité surmontée d'un étroit conduit qui la relie à la surface.

Le mécanisme d'éruption est le suivant. La cavité, puis le conduit, se remplissent d'eau par des sources souterraines. Des forages montrent que dans cette zone la température augmente de 1°C par mètre en profondeur. Ainsi, l'activité volcanique locale chauffe l'eau contenue dans la cavité, qui se met à bouillir lorsque sa température est telle que la pression régnant dans la cavité est égale à la pression de vapeur saturante.

Une fois l'ébullition commencée, le conduit se remplit alors de très nombreuses bulles d'air qui remontent à la surface, ce qui met brutalement l'ensemble du conduit et de la cavité en contact avec la pression atmosphérique. Une partie de l'eau de la cavité est alors vaporisée rapidement et éjectée violemment par le conduit : 44 tonnes de vapeur jaillissent du geyser en 4 minutes ! Après l'éruption, l'ensemble se remplit d'eau en 30 minutes environ, et le cycle recommence.

On donne la pression de vapeur saturante de l'eau en fonction de la température :

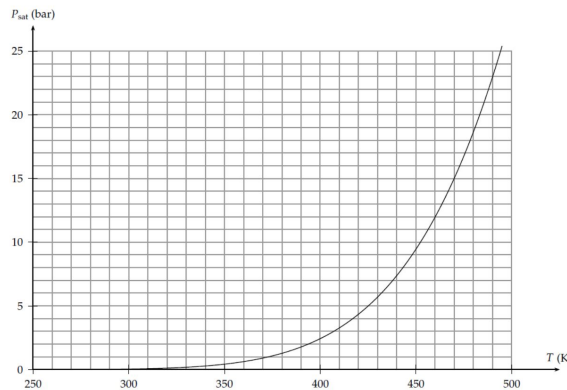


FIGURE 12 – Pression de vapeur saturante de l'eau en fonction de la température

On donne également :

- ✗ enthalpie massique de vaporisation de l'eau : $h_v = 2257 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
- ✗ capacité thermique massique de l'eau liquide : $c = 4180 \text{ (J}\cdot\text{kg}^{-1})$

1. Faire un schéma de la situation.
2. Proposer une expression pour $T(z)$ pour l'eau à l'équilibre.
3. En déduire, dans l'eau à l'équilibre, la pression $p(z)$ en fonction de $T(z)$
4. Á l'aide de la courbe fournie ci-dessus, donner une évaluation de la profondeur minimale à laquelle se trouve la cavité du geyser. (Compléter la figure 13 et rendre le document avec la copie).
5. Expliquer le fonctionnement du geyser et évaluer la masse totale d'eau dans la cavité.
6. En déduire une estimation du volume maximal de la cavité.

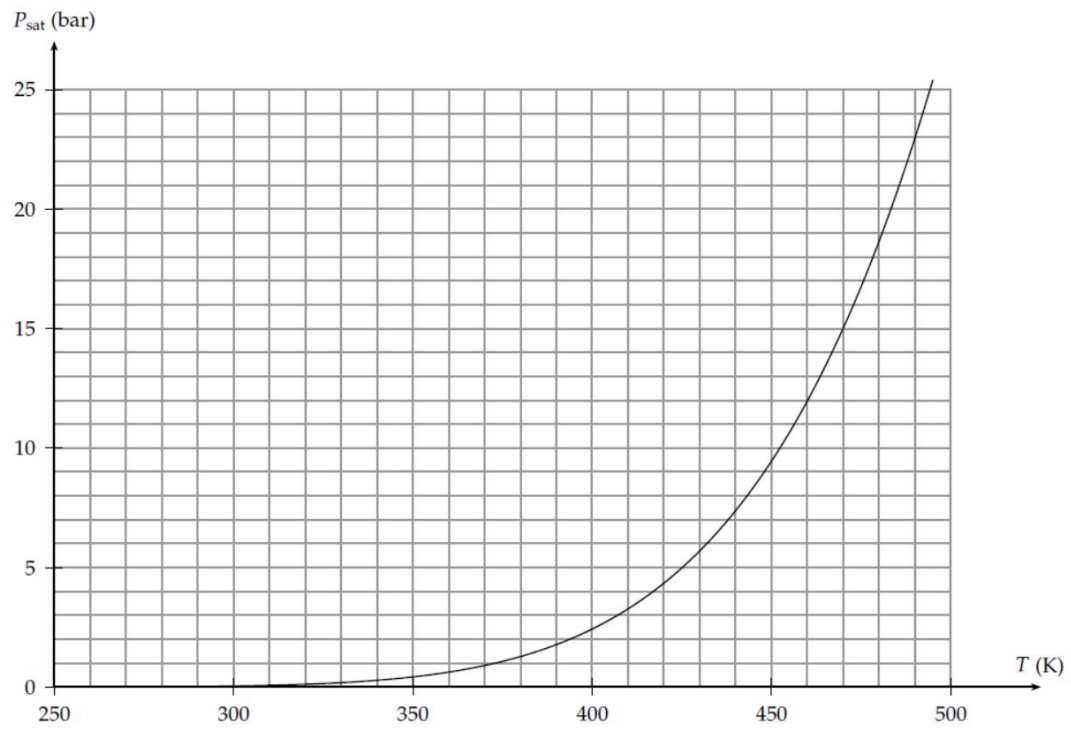


FIGURE 13 – Document à rendre avec la copie