

Devoir Surveillé 3

L'emploi des calculatrices personnelles est interdit.

Instructions générales

Les candidats sont invités à porter une attention particulière à la rédaction. La présentation, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies. En particulier, les résultats non encadrés et non justifiés ne seront pas pris en compte.

Toute application numérique ne comportant pas d'unité ne donnera pas lieu à attribution de points.
Le candidat prendra soin de bien numéroter les questions et d'y répondre dans l'ordre sur sa copie.

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

Toutes les données et aides aux applications numériques se trouvent en fin de sujet.

ATTENTION : - La rédaction doit être faite à l'encre noire ou bleue. Les couleurs doivent être réservées à l'encadrement des résultats et/ou les schémas.
- Les encres vertes et violettes sont interdites.
- Sont interdits également : les stylos plumes, les correcteurs type « Typex » ou « blanco », les stylos à friction.

1 Autour de la guitare

Dans ce sujet, nous allons aborder la composition de différents composants utilisés par les guitaristes : un accordeur, et un microphone que l'on peut retrouver par exemple dans une guitare électrique.

1.1 Principe de l'accordeur

La problématique est la suivante :

- La guitare comporte six cordes : Mi grave, La, Ré, Sol, Si, Mi aigu.
- Les fréquences fondamentales théoriques de vibration de ces cordes, notées f_{ac} sont données dans le tableau 1.
- On souhaite accorder une corde légèrement désaccordée : on notera f_{co} la fréquence fondamentale de vibration de la corde en question.

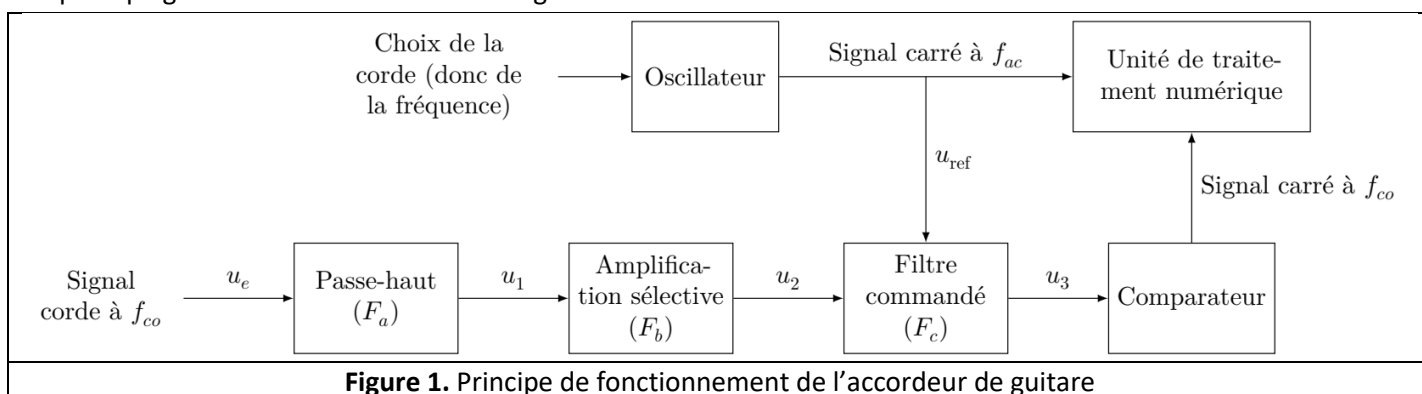
Corde	Fréquence (f_{ac})
Mi grave	82,4 Hz
La	110,0 Hz
Ré	146,8 Hz
Sol	196 Hz
Si	246,9 Hz
Mi aigu	329,6 Hz

Tableau 1. Fréquences fondamentales de vibration des cordes de guitare.

Il faut alors réaliser les étapes suivantes :

- Sélection de la corde à accorder (donc f_{ac} est fixée).
- Création d'un signal carré de référence de fréquence f_{ac} avec un oscillateur de type astable (non étudié).
- Enregistrement (à l'aide d'un microphone étudié en partie 1.2) du signal $u_e(t)$ provenant de l'excitation de la corde à accorder : signal quelconque, d'amplitude assez faible, de fréquence f_{co} .
- Amplification et filtrage de ce signal.
- Extraction de la fondamentale du signal : obtention d'un signal sinusoïdal de fréquence f_{co} par l'utilisation d'un filtre à fréquence caractéristique réglable par le signal extérieur de référence.
- Mise en forme de ce signal : obtention d'un signal carré de fréquence f_{co} .
- On a donc à disposition deux signaux carrés (signaux logiques) de fréquences respectives f_{ac} et f_{co} . Dans les accordeurs récents le traitement est numérique : le traitement est numérique : les signaux sont envoyés dans un calculateur numérique intégré qui calcule l'écart de fréquence et indique à l'utilisateur quand la corde est accordée, c'est-à-dire quand $f_{co} = f_{ac}$.

Ce principe général est schématisé sur la Figure 1.



1.1.1 Le signal

La figure 2 montre un exemple de signal électrique à la sortie du micro d'une guitare électrique de période 3,2 ms.

- 1) Proposer une expression mathématique du signal tracé en Figure 2. On proposera en particulier une valeur numérique pour sa valeur moyenne et sa fréquence. De quelle corde de guitare s'agit-il ?

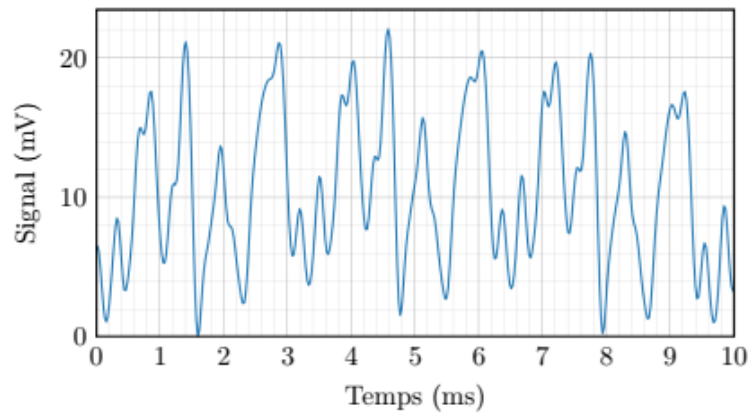
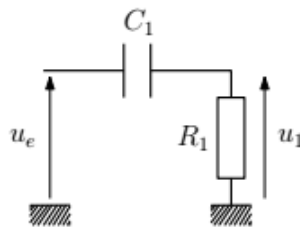


Figure 2. Signal de la guitare

1.1.2 Premier filtre (F_a)

Avant toute chose, le signal électrique provenant du micro de la guitare est envoyé sur le filtre de la figure 3 (Filtre (F_a)).

- 4) En supposant l'entrée sinusoïdale, définir et exprimer la fonction de transfert $H_1(j\omega)$ de ce filtre en fonction de R_1 , C_1 et de la pulsation ω du signal. De quel type de filtre s'agit-il ? Faire apparaître une pulsation caractéristique ω_1 en fonction de R_1 et C_1 et préciser sa signification.
- 5) Au vu de l'allure du signal de la figure 2, quel est le rôle de ce premier filtre ?

Figure 3. Filtre (F_a)

1.1.3 Deuxième filtre (F_b)

Dans cette sous-partie, les signaux sont sinusoïdaux et les amplificateurs linéaires intégrés (ALI) sont supposés idéaux et fonctionnent en régime linéaire.

1.1.3.1 Préambule

Soit le filtre de la figure 4(a).

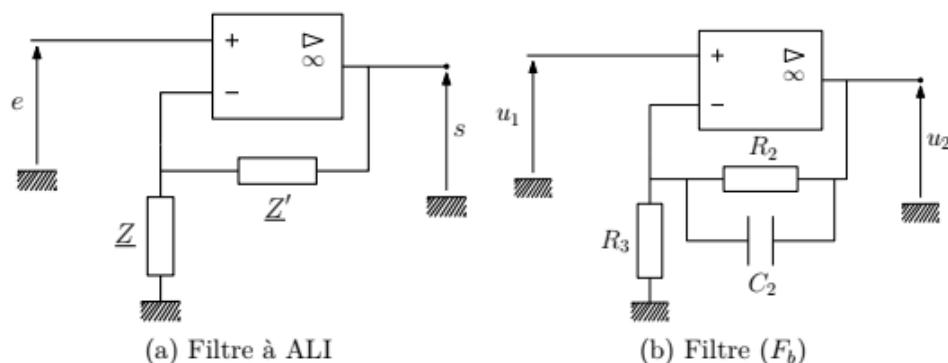


Figure 4. Deux filtres

- 6) Exprimer sa fonction de transfert H en fonction de Z et Z' .
- 7) Que devient H si Z et Z' sont des résistances ($Z = R$, $Z' = R'$) ? Quel est, dans ce cas, l'intérêt du montage ?

1.1.3.2 Amplification (légèrement) sélective

En sortie du filtre de la figure 3 le signal $u_1(t)$ est envoyé sur le filtre de la figure 4(b) (Filtre (F_b)).

- 9) Donner l'expression de la fonction de transfert $\underline{H}_2$ de ce filtre en fonction de R_2 , R_3 et C_2 . La mettre sous la forme : $\underline{H}_2 = 1 + \frac{G_0}{1+j\omega/\omega_2}$ et donner les expressions de G_0 et ω_2 .
- 10) Quelle est la limite de $|\underline{H}_2|$ en basse fréquence ? en haute fréquence ?
- 11) Calculer numériquement la fréquence caractéristique f_2 correspondant à ω_2 si $R_2 = 680k\Omega$, $R_3 = 6k\Omega$ et $C_2 = 470pF$ ainsi que son gain G_0 . Expliquer quel est le rôle de ce second filtre.

1.1.4 Filtre (très) sélectif commandé (F_c)

On souhaite maintenant sélectionner la fréquence fondamentale f_{co} du signal u_2 , dont la valeur est a priori voisine de celle de la fréquence fondamentale théorique de vibration de la corde sélectionnée sur l'accordeur (f_{ac}) (on suppose que la corde est légèrement désaccordée). On suppose pour la suite que c'est la corde Mi Aiguë que l'on souhaite accorder.

Le principe du filtre (F_c) est que sa fréquence caractéristique soit réglée par le signal de référence de fréquence f_{ac} . Ce type de commande ne sera pas étudiée dans ce problème.

1.1.4.1 Diagramme de Bode

La figure 5 représente le diagramme de Bode relatif au gain du filtre (F_c) tracé à deux échelles différentes.

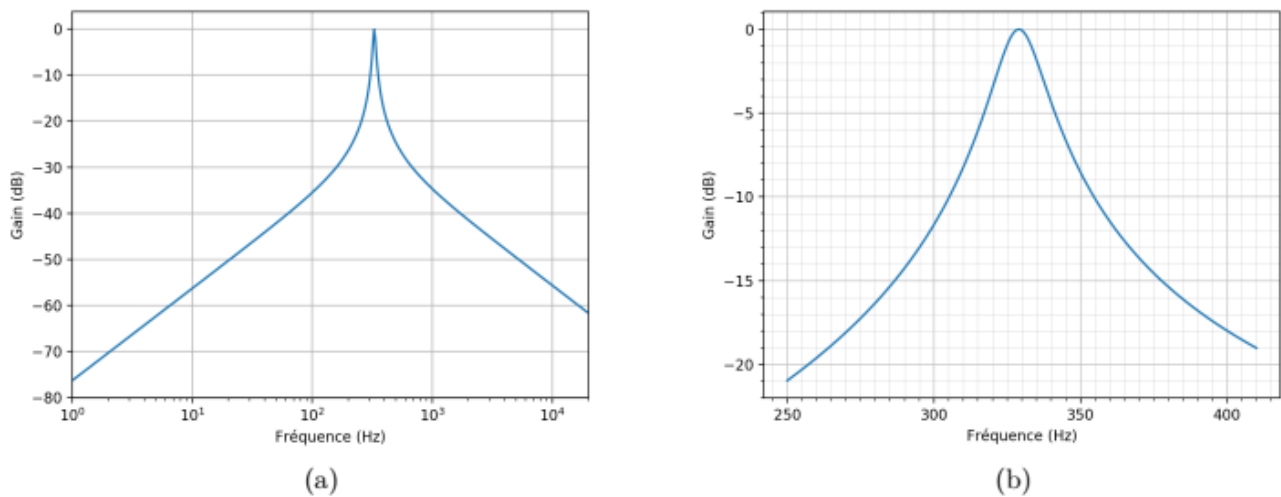


Figure 5. Diagramme de Bode en gain du filtre (F_c)

- 12) Dire en le justifiant rapidement, de quel type de filtre il s'agit. Quelle est sa fréquence centrale caractéristique ? Donner une estimation de sa bande passante à -3 dB après l'avoir définie.
- Si la corde est désaccordée à $f_{co} = 315 \text{ Hz}$, estimer, en le justifiant, de quel facteur est atténué sa composante spectrale fondamentale en sortie de ce filtre.

1.1.5 Mise en forme

À la sortie de l'étage précédent, le signal est donc proche d'un signal sinusoïdal de fréquence f_{co} et d'amplitude dépendant de la force avec laquelle on a gratté la corde, mais de l'ordre du volt. Pour effectuer un traitement numérique qui permettra de comparer f_{co} à la fréquence théorique f_{ac} , on souhaite fabriquer à partir du signal précédent un signal créneau de fréquence f_{co} . Pour cela, on utilise un comparateur à hystérésis, représenté Figure 6.

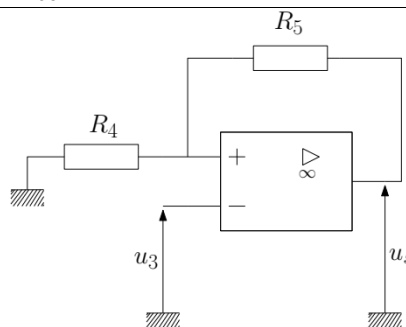


Figure 6. Comparateur à hystérésis

On note U_{sat} la tension de saturation de l'ALI et on suppose que l'ALI est idéal. Le signal u_3 est sinusoïdal alternatif d'amplitude 1 V et de fréquence f_{co} (c'est le signal sortant du filtre sélectif (F_c)).

13) Qu'est-ce qui permet d'être certain que l'ALI fonctionne en régime saturé ? Rappeler les propriétés d'un ALI idéal en régime saturé.

14) Exprimer V_+ le potentiel de la borne non inverseuse de l'ALI en fonction de R_4 , R_5 et u_s . En déduire l'expression de $\varepsilon = V_+ - V_-$.

15) Comment varie ε quand u_3 varie (u_s étant fixé) ?

Supposons que u_3 soit suffisamment faible pour que $\varepsilon > 0$.

16) Quelle est la valeur de u_s ? A partir de cette situation, u_3 augmente : exprimer en fonction des données la valeur U_{seuil} de u_3 pour laquelle on observera le basculement de u_s . Quelle est alors la nouvelle expression de ε ?

17) À partir de cette nouvelle situation, traiter le cas où u_3 diminue.

18) Représenter finalement le cycle d'hystérésis de ce montage : $u_s = f(u_3)$.

Dans le cadre de l'accordeur de guitare, $R_4 = 1k\Omega$, $R_5 = 10k\Omega$ et $U_{sat} = 5V$.

19) Tracer sur le document réponse l'allure du signal de sortie $u_s(t)$ correspondant aux deux exemples de signal $u_3(t)$ proposés.

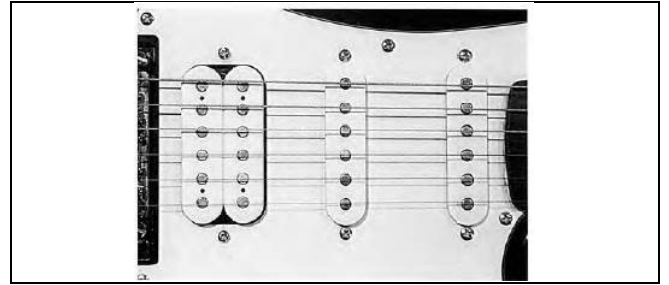
20) Que peut-il se passer si la corde est vraiment trop désaccordée ?

Applications numériques utiles à la partie 1.1		
$\frac{1}{3,2} = 0,315$	$\frac{1}{2\pi} = 0,16$	$\frac{1}{2\pi \times 6,8 \times 4,7} = 5,0 \times 10^{-3}$
$20\log 3 = \frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{6,8}{6} = 1,1$	$\frac{6}{6,8} = 0,88$

1.2 Microphones

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 production du son, même en l'absence totale de caisse de résonance. Il existe deux types de microphones :

- microphones électrodynamiques
- microphones électrostatiques



1.2.1 Microphone électrodynamique

Le schéma d'un microphone électrodynamique est donné en Figure 7. Il est constitué :

- d'un aimant fixe d'axe (Oz) créant un champ magnétique permanent $\vec{B} = B\vec{u}_r$ (Figure 8) où B est la norme du champ magnétique supposée constante en tous points de l'entrefer et $\vec{u}_r$ est un vecteur unitaire dirigé selon le rayon de la bobine mobile et perpendiculaire à l'axe (Oz) ;
- d'une bobine d'axe (Oz) comportant N spires de rayon a et situé dans l'entrefer de l'aimant. La longueur totale du bobinage est notée l ;
- d'une membrane solidaire de la bobine.

Le vecteur $\vec{u}_z$ est un vecteur unitaire dirigé selon l'axe (Oz) et orienté dans le sens des z positifs.

Lorsqu'une onde sonore arrive sur la membrane du microphone, celle-ci est mise en mouvement entraînant la bobine qui se déplace dans l'aimant. Il apparaît alors un courant $i(t)$ dans la bobine orienté dans le sens indiqué sur la Figure 8.

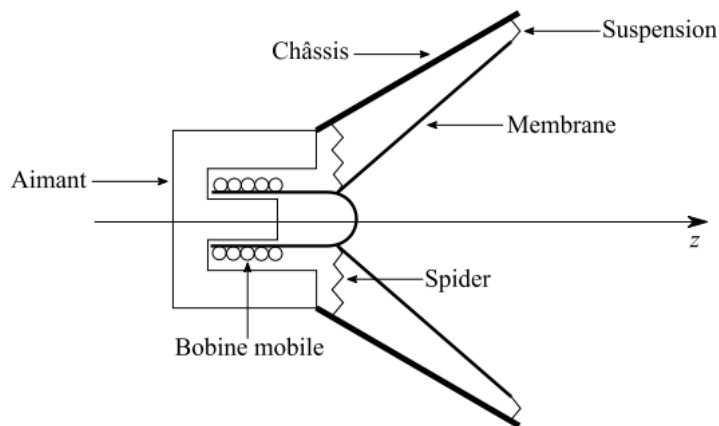


Figure 7. Schéma en coupe d'un microphone électrodynamique

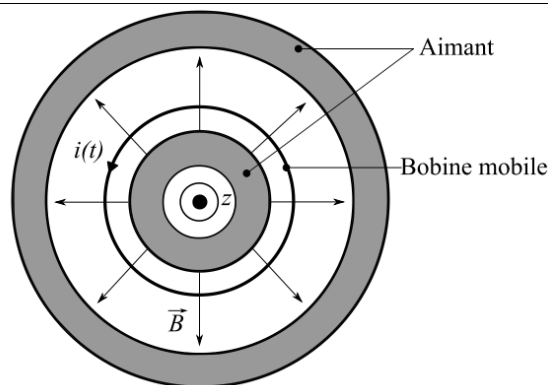


Figure 8. Vue de face du système bobine-aimant

1.2.1.1 Etude de la bobine

21) Donner l'équation locale de Maxwell-Ampère en présence de charges et de courants. En déduire le théorème d'Ampère en régime variable, aussi appelé théorème d'Ampère généralisé. Comment ce théorème se simplifie-t-il en régime quasi-stationnaire dans un conducteur ?

La bobine cuivre est assimilée à un solénoïde dit infini d'axe (Oz) parcouru par un courant i_s . On considère donc que sa longueur l est très grande devant le rayon a de ses spires. On appelle alors n le nombre de spires par unité de longueur. On suppose que le champ magnétique est nul en tout point extérieur au solénoïde.

22) Déterminer le champ magnétique $\vec{B}_s$ en tout point intérieur du solénoïde.

24) Exprimer le flux total Φ_N du champ magnétique à travers toutes les spires du solénoïde. Donner l'expression de l'inductance L de la bobine.

25) Enoncer l'équation de Maxwell-Thomson. Que nous dit-elle sur le flux du champ magnétique ? Cela est-il en contradiction avec les calculs réalisés précédemment ?

1.2.1.2 Etude électromécanique du microphone

L'ensemble {bobine + membrane} est assimilé à un solide de masse m , mobile en translation selon l'axe (Oz).

Le spider et la suspension exercent sur cet ensemble une force de rappel élastique vers la position d'équilibre $z = 0$ (k est une constante) :

$$\vec{F}_e = -kz\vec{u}_z$$

Cet ensemble est également soumis à une force de frottement visqueux de la part de l'air de la forme (f est une constante) :

$$\vec{F} = -f \frac{dz}{dt} \vec{u}_z$$

26) Donner l'équation de Maxwell à l'origine du phénomène créant un courant variable dans la bobine. Quelle loi peut-on en déduire ?

27) Expliquer, sans calcul, le principe de fonctionnement d'un microphone électrodynamique.

28) Déterminer l'équation mécanique vérifiée par l'ensemble {bobine + membrane}.

30) Montrer que l'expression de la force électromotrice $e(t)$ induite par le mouvement de la bobine à la vitesse $v(t)$ dans le champ magnétique est donnée par la relation :

$$e(t) = 2\pi NaB v(t)$$

31) L'ensemble du circuit mobile possède une résistance électrique R et une inductance propre L (déterminée en Q24). En déduire l'équation électrique du système.

Données utiles à la partie 1.2

Théorème de Green-Ostrogradsky :

Soit une surface fermée S limitant un volume fini V à l'intérieur duquel est défini un champ de vecteur $\vec{a}$. Si les dérivées partielles de $\vec{a}$ sont bornées dans V alors : $\oint_S \vec{a} \cdot \vec{dS} = \iiint_V (\text{div} \vec{a}) dV$

Théorème de Stokes :

Soit une surface ouverte S s'appuyant sur un contour fermé C dans une région de l'espace V où est défini un champ de vecteur $\vec{a}$, alors : $\oint_C \vec{a} \cdot \vec{dl} = \iint_S \text{rot}(\vec{a}) \cdot \vec{dS}$

Identités vectorielles : $\text{div}(\vec{\text{grad}}(m)) = \Delta m$

1.2.2 Microphone électrostatique

Le microphone électrostatique est quant à lui constitué d'une membrane P_1 de surface S , extrêmement légère de masse m_e . Celle-ci, réalisée en métal (ou en polyester rendu conducteur par un saupoudrage de métal), est mobile et constitue l'une des armatures d'un condensateur plan. L'espace entre la membrane P_1 et l'armature fixe P_2 est entièrement rempli d'air de permittivité électrique ϵ_0 . Au repos, la distance entre les deux armatures parallèles est notée e . En mouvement, la liaison entre l'isolant et la membrane peut être modélisée par une force de rappel élastique de constante de raideur k_e .

Les variations de pression provoquées par l'onde sonore font varier la distance entre les deux armatures par un déplacement de la membrane parallèlement à l'axe (Ox) . Ce déplacement induit une variation de la capacité et cet effet est exploité dans le circuit électrique de la Figure 9 de manière à récupérer le signal $u(t)$ aux bornes de la résistance $R = 10k\Omega$. Les variations de $u(t)$ sont à l'image de celles de la pression acoustique.

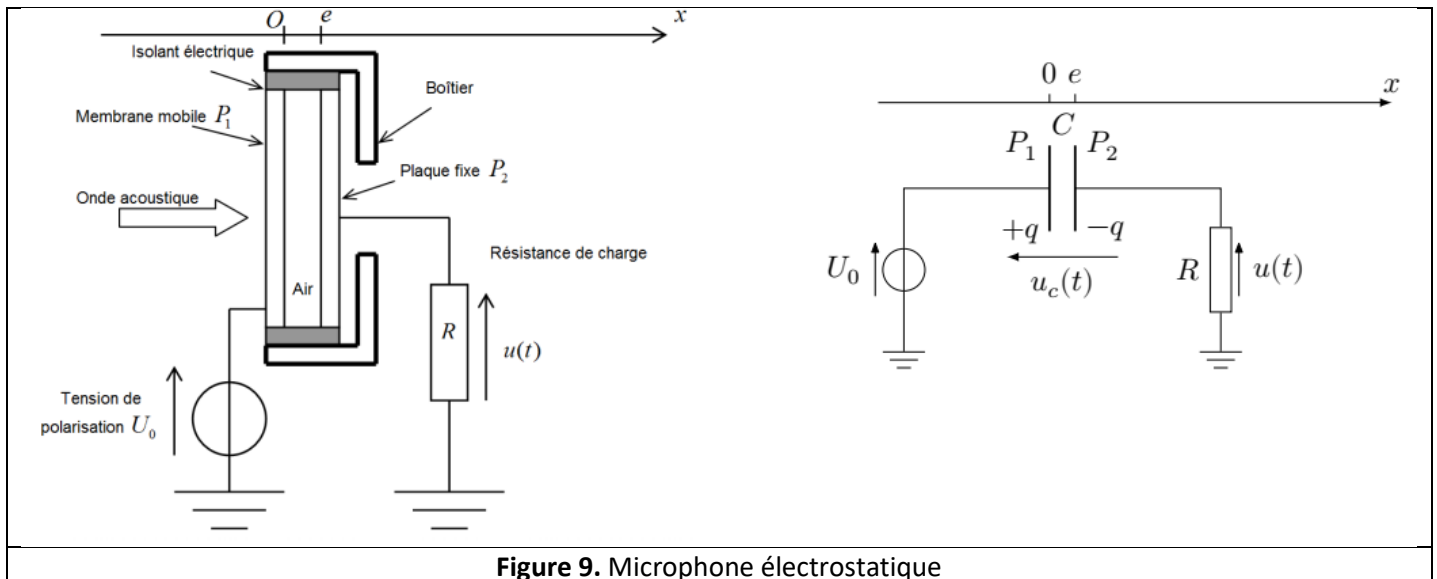


Figure 9. Microphone électrostatique

La membrane P_1 et l'armature fixe P_2 sont chargées uniformément par les charges $+q$ et $-q$. On associe à P_1 et P_2 les densités surfaciques uniformes de charges $+\sigma = +q/S$ pour P_1 et $-\sigma = -q/S$ pour P_2 . De plus, on assimile les deux plaques à des plans infinis afin de négliger par la suite les effets de bord.

- 33) Donner l'équation locale de Maxwell-Gauss en présence de charges et de courants. En déduire le théorème de Gauss. Ce théorème est-il toujours valable quelque soit le régime considéré ?
- 34) Exprimer le champ électrique $\vec{E}_1(M)$.
- 37) Déduire du résultat précédent l'expression du champ électrique total $\vec{E}(M) = \vec{E}_1(M) + \vec{E}_2(M)$ créé par les deux plaques P_1 et P_2 en tout point de l'espace.
- 38) Rappeler l'équation locale liant le champ et le potentiel électrostatique. A partir de l'équation de Poisson, que l'on démontrera, montrer que le potentiel $V(x)$ varie de manière linéaire entre les armatures du condensateur.
- 39) Exprimer la différence de potentiel entre les deux plaques $u_c = V_{P_1} - V_{P_2}$. En déduire la capacité C_0 du condensateur au repos.
- 40) Expliquer alors comment fonctionne un microphone électrostatique. Cette question doit être détaillée en s'appuyant sur les explications et documents fournis.

2 Caractéristiques physiques et chimiques de Mars

2.1 Les perchlorates : un « cocktail » toxique à la surface de Mars

En 2008, la mission Mars phoenix de la NASA découvre dans les sols martiens la présence de sels de perchlorate ($Mg(ClO_4)_2$, $Ca(ClO_4)_2$, $KClO_4$, ...) susceptibles de se décomposer sous l'effet de températures élevées ou d'une exposition aux rayons ultra-violetes solaires pour former des espèces chlorées capables de dégrader les acides aminés (constituants élémentaires des protéines) rendant l'habitabilité de Mars plus difficile que prévu.

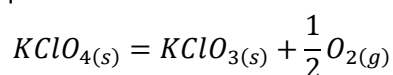
En 2015, la NASA découvre également que ces sels de perchlorate mélangés à l'eau forment des saumures qui demeurent liquides lors des étés martiens et ravinent les terrains.

2.1.1 Généralités

- 41) Donner, en la justifiant, la configuration électronique des atomes O et Cl dans leur état fondamental et préciser le nombre d'électrons de valence pour chaque atome.
- 42) Etablir le schéma de Lewis des ions perchlorate ClO_4^- (l'atome de chlore est l'atome central de l'ion) ; on rappelle que ce schéma implique de mettre notamment en évidence les paires liantes et non liantes.
- 43) Rappeler la définition d'un oxydant et d'un réducteur.
- 44) Sur Mars, l'élément chlore est présent, notamment dans les saumures, dans les espèces suivantes : ClO_4^- , ClO_3^- (ion chlorate), ClO_2^- (ion chlorite), ClO^- (ion hypochlorite), Cl^- (ion chlorure). Quel est le nombre d'oxydation de l'élément chlore dans chacune de ces espèces ? Justifier la réponse.

2.1.2 Etude thermodynamique d'une réaction de destruction des ions perchlorate

On étudie ici la réaction modélisée par l'équation suivante :



- 45) Enoncer la loi de Hess. Expliquer pourquoi $\Delta_f H_{O_{2(g)}}^0 = 0$.
- 46) Calculer $\Delta_r H^0$, l'enthalpie standard de la réaction à la température $T_1 = 298K$. La réaction est-elle endothermique ? exothermique ? Quelle est l'influence d'une augmentation de température sur cet équilibre à pression constante ?
- 47) La constante d'équilibre de la réaction à la température $T_1 = 298K$ vaut $K^0(T_1) = 6,43 \cdot 10^{-2}$. En faisant l'hypothèse de l'approximation d'Ellingham que l'on explicitera, exprimer $K^0(T)$ en fonction des températures T et T_1 , de R , $K^0(T_1)$ et de $\Delta_r H^0$.

On rappelle la relation de Van't Hoff : $\frac{d \ln(K^0(T))}{dT} = \frac{\Delta_r H^0}{RT^2}$

Par la suite, nous prendrons comme valeur : $K^0(T_0) = 1,7 \cdot 10^{-4}$.

- 48) Sur Terre, la pression atmosphérique au sol est de l'ordre de la pression standard P^0 tandis que sur Mars, elle vaut environ $8 \cdot 10^2 Pa$. La valeur de la constante d'équilibre à $T_0 = 210K$ (température moyenne de la surface de Mars) est-elle influencée par les conditions de pression qui règnent sur Mars ? Justifier la réponse.
- 49) Exprimer le quotient de réaction Q_r de la réaction en fonction des activités des constituants, puis en fonction de la pression partielle de dioxygène P_{O_2} et de P^0 . Quelle est l'influence d'une augmentation de pression sur cet équilibre à température constante ?
- 50) Calculer la pression d'équilibre en dioxygène $P_{O_2,eq}$, associée à la réaction précédente à la température T_0 .
- 51) En réalité, il existe sur Mars un ensemble de mécanismes fixant la pression partielle en dioxygène gazeux : à $T_0 = 210K$, cette dernière vaut $P'_{O_2} = 0,80 Pa$. Sous ces conditions, dans quel sens la réaction est-elle thermodynamiquement possible ? Justifier la réponse avec soin.

Applications numériques utiles à la partie 2.1

$1,7^2 = 2,9$	$\sqrt{1,7} = 1,3$	$6,43^2 = 41,3$
$\sqrt{8} = 2,8$		

2.2 Champ de pesanteur Martien

2.2.1 Théorème de Gauss de la gravitation

- 52)** Rappeler l'expression de la force électrostatique $\vec{F}_e$ exercée par une charge ponctuelle q sur une autre charge ponctuelle q' située en un point M à une distance r . Faire un schéma précisant les notations utilisées. En déduire l'expression du champ électrostatique $\vec{E}(M)$ créé par la charge q en M .
- 53)** Rappeler l'expression de la force gravitationnelle $\vec{F}_g$ exercée par un point matériel de masse m sur un autre point matériel, de masse m' , situé en un point M à une distance r . Faire un schéma précisant les notations utilisées. En déduire l'expression du champ gravitationnel $\vec{G}(M)$ créé par le point matériel de masse m en M .
- 54)** Dans un tableau, lister les analogies entre les grandeurs électrostatiques (charge électrique, champ électrostatique, permittivité du vide ϵ_0) et gravitationnelles.
- 55)** Rappeler le théorème de Gauss de l'électrostatique. En déduire l'énoncé du théorème de Gauss de la gravitation universelle.

2.2.2 Champ de pesanteur martien

On modélise la planète Mars par une boule immobile de centre O , de rayon R_M , de masse M_M uniformément répartie en volume. Tout point M de l'espace est repéré grâce à ses coordonnées sphériques (r, θ, φ) dans la base $(O, \vec{u}_r, \vec{u}_\theta, \vec{u}_\varphi)$ (Figure 10).

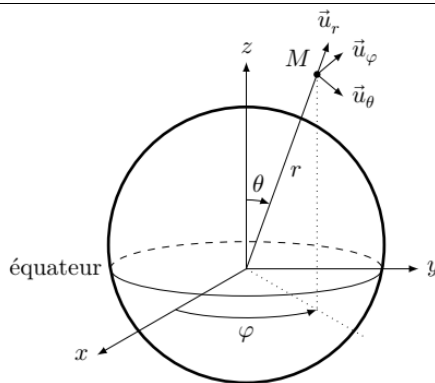


Figure 10. Paramétrage d'un point M de l'espace dans la base sphérique au voisinage de Mars

- 56)** Etablir l'expression de $\vec{G}(M)$ en tout point intérieur ou extérieur de Mars. Commentez le résultat obtenu. On désigne par $\vec{g}(M)$ le champ de pesanteur créé par Mars au point M . On note encore $\|\vec{g}(M)\|$ sa norme (intensité du champ de pesanteur en M). On confond les champs de pesanteur $\vec{g}(M)$ et de gravitation $\vec{G}(M)$.
- 59)** En déduire une valeur numérique de l'intensité du champ de pesanteur g_0 à la surface de Mars. Comparer cette valeur à la valeur tabulée et à celle de l'intensité du champ de pesanteur sur Terre.

Données utiles à la partie 2**Constantes universelles**

Constante de gravitation universelle

$$G = 6,673 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$$

Constante des gaz parfaits

$$R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Extrait du tableau périodique des éléments

Hydrogène 1 H 1,0080	← Nom de l'élément ← Numéro atomique ← Symbole chimique ← Masse molaire atomique						Hélium 2 He 4,0026
Lithium 3 Li 6,9395	Béryllium 4 Be 9,0122	Bore 5 B 10,814	Carbone 6 C 12,011	Azote 7 N 14,007	Oxygène 8 O 15,999	Fluor 9 F 18,998	Néon 10 Ne 20,180
Sodium 11 Na 22,990	Magnésium 12 Mg 24,306	Aluminium 13 Al 26,982	Silicium 14 Si 28,085	Phosphore 15 P 30,974	Soufre 16 S 32,068	Chlore 17 Cl 35,452	Argon 18 Ar 39,948

Enthalpies standard de formation (à $T_1 = 298 \text{ K}$)

Perchlorate de potassium solide

$$\Delta_f H^\circ_{\text{KClO}_4(\text{s})} = -432,8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Chlorate de potassium solide

$$\Delta_f H^\circ_{\text{KClO}_3(\text{s})} = -397,7 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Dioxygène gazeux

$$\Delta_f H^\circ_{\text{O}_2(\text{g})} = 0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Données sur la planète Mars

Rayon moyen

$$R_M = 3389 \text{ km}$$

Masse

$$M_M = 6,39 \times 10^{23} \text{ kg}$$

Intensité du champ de pesanteur au sol

$$g_0 = 3,71 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Masse molaire de l'atmosphère

$$M = 43,3 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Masse volumique de l'atmosphère au sol

$$\rho_0 = 1,20 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Pression atmosphérique moyenne au sol

$$P_0 = 8,00 \times 10^2 \text{ Pa}$$

Température uniforme de l'atmosphère

$$T_0 = 210 \text{ K}$$

Durée du jour sidéral

$$T_{\text{sid}} = 8,86 \times 10^4 \text{ s} = 24 \text{ h } 37 \text{ min}$$

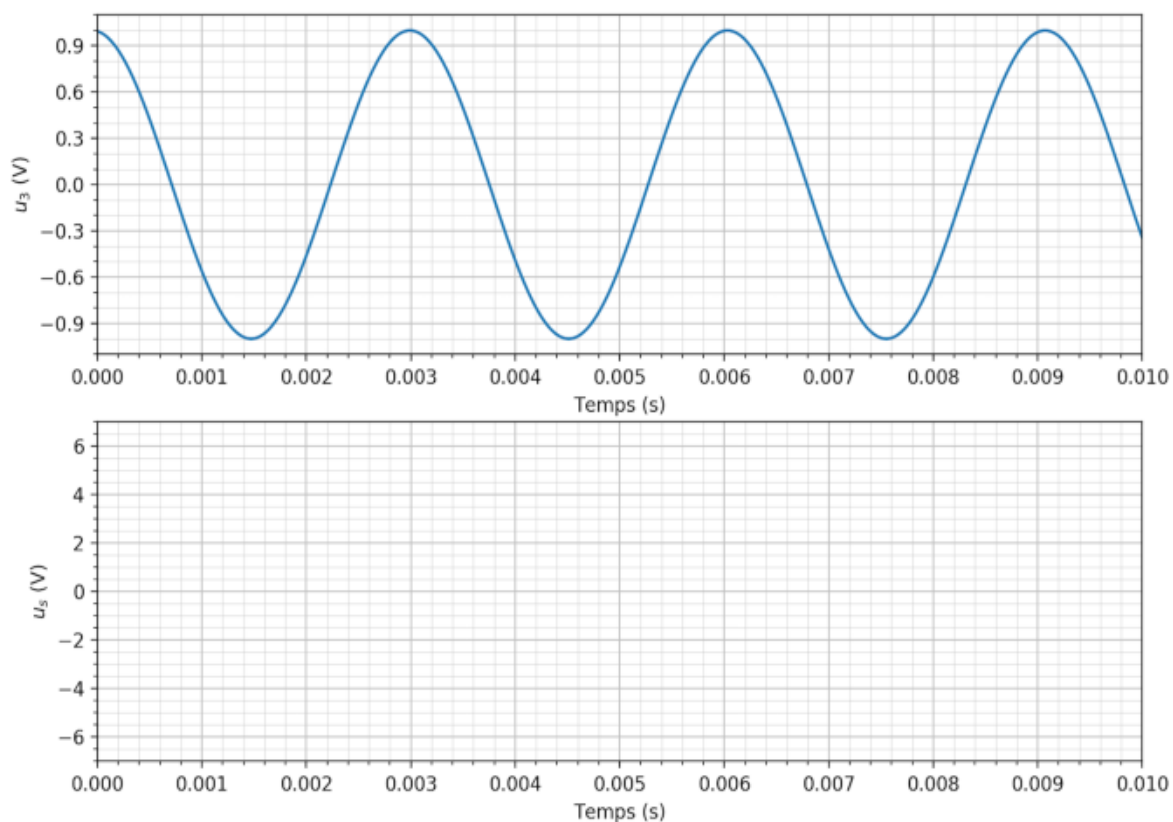
Durée de l'année

$$T_{\text{an}} = 669 T_{\text{sid}} = 688 \text{ jours sidéraux terrestres}$$

Mars possède quatre saisons, toutes de même durée, $T_{\text{an}}/4$.

Annexe à rendre avec la copie

Nom :

Question 19 – Exemple 1**Question 19 – Exemple 2**