

Physique-chimie – DS 5

Calculatrices autorisées

Le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction. Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler 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.

Instructions générales :

- Toutes les réponses devront être justifiées.
- Les copies illisibles ou mal présentées seront pénalisées.
- Toute application numérique ne comportant pas d'unité ne donnera pas lieu à attribution de points.
- Les diverses parties sont indépendantes et peuvent être traitées dans l'ordre choisi par le candidat. Il prendra toutefois soin de bien numéroter les questions, et de traiter les questions dans l'ordre au sein d'une même partie.

DONNÉES

Données à 298 K.

Constantes

Constante d'Avogadro $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Constante de Faraday $F = 96,5 \times 10^3 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$

Constante des gaz parfaits $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

On prendra $\frac{RT \ln 10}{F} \approx 0,059 \text{ V}$ à 298 K

Extrait du tableau périodique des éléments

	H	C	N	O	Al	Si	Cl	Ca
Numéro atomique	1	6	7	8	13	14	17	20
Masse molaire ($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$)	1,01	12,0	14,0	16,0	27,0	28,1	35,5	40,1

Relation de Van't Hoff

$$\frac{d \ln(K^0)}{dT} = \frac{\Delta_r H^0}{RT^2}$$

Données thermodynamiques

	Si _(s)	SiO _{2(s)}	SiHCl _{3(g)}	H _{2(g)}	HCl _(g)	CaC _{2(s)}	CaO _(s)
Température de fusion T_{fusion} (K)	1683	1883	139	14	159	2430	2886
Enthalpie standard de formation $\Delta_f H^0$ ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)	?	-911	-488,5	?	-92,3	-63	-635

• • • FIN • • •

I Partie I

I.C. La présence d'un champ magnétique

L'existence du champ magnétique terrestre est liée à la structure interne de la Terre. Cette dernière peut être modélisée par la superposition de différentes couches concentriques : en son cœur, un noyau interne solide auquel vient se superposer un noyau externe formé de fer liquide, puis le manteau terrestre solide et enfin la croûte terrestre.

La Terre se refroidit peu à peu et le noyau externe se solidifie lentement au contact du noyau interne. Cette solidification implique une libération de chaleur localement à la frontière entre les deux noyaux. Au contraire, la frontière entre noyau externe et manteau est refroidie par le contact avec le manteau plus froid. On estime l'écart de température entre la surface du noyau interne et la surface du noyau externe à 1 000 °C environ.

Sous l'effet de cet écart, le fer liquide du noyau externe se met en mouvement. Ce mouvement est à l'origine du champ magnétique terrestre.

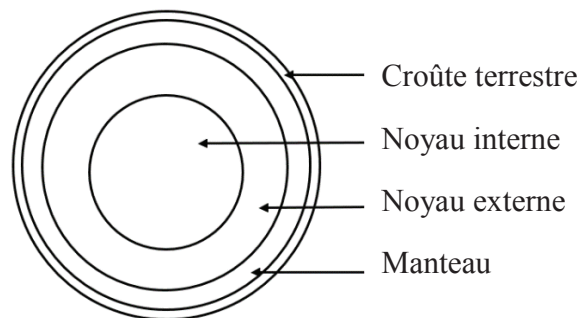


Figure 5 - Structure interne de la Terre

I.C.1. Généralités

18. Quelle est la nature du transfert thermique au sein du fer liquide du noyau terrestre ?

19. Quel est le terme scientifique utilisé pour caractériser la « libération de chaleur » locale entre les deux noyaux ?

20. Formuler une hypothèse permettant d'expliquer la faiblesse du champ magnétique vénusien.

I.C.2. Mesure de la composante horizontale locale du champ magnétique terrestre

I.C.2.a. Etude préliminaire : champ magnétique créé par un fil

Soit un fil infini d'axe (Oz) parcouru par un courant d'intensité I . On souhaite déterminer le champ magnétique créé par ce fil.

21. Choisir un système de coordonnées adaptées et étudier les invariances et les symétries du problème.

22. Enoncer et appliquer le théorème d'Ampère. En déduire l'expression du champ magnétique créé par le fil en un point M de l'espace.

23. On suppose que le fil est parcouru par un courant d'intensité $I = 1 \text{ A}$. On rappelle la valeur de la perméabilité du vide : $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$. Quelle sera la valeur du champ magnétique à une distance $r = 2 \text{ cm}$ du fil ?

I.C.2.b. Expérience

Dans un laboratoire situé à Paris, on souhaite déterminer la norme $\|\vec{B}_h\|$ de la composante horizontale locale \vec{B}_h du champ magnétique terrestre dont le sens et la direction sont donnés sur la figure 6 suivante :

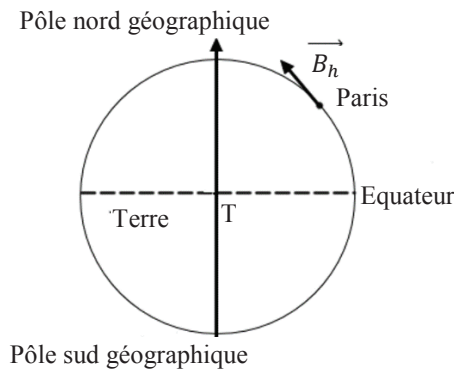
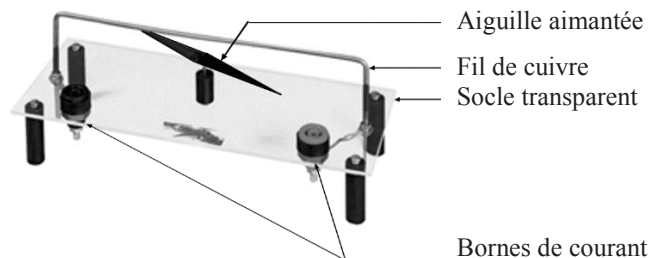


Figure 6 - Sens de la composante horizontale locale du champ magnétique terrestre à Paris

On dispose du matériel suivant :

- une aiguille aimantée libre de pivoter sans frottements sur son axe fixé à un socle transparent et un fil de cuivre (suffisamment long pour être considéré comme infini) relié à 2 bornes de sécurité de courant admissible 5 A fixé au même socle transparent (voir la figure 7)



http://www.3bscientific.fr/aiguille-aimantee-doersted-u29310.p_623_17258.html

Figure 7 - Dispositif d'Oersted

- un rapporteur
- des fils électriques
- un interrupteur
- une alimentation électrique stabilisée 0 - 30 V / 5 A
- un ampèremètre
- un teslamètre à sonde à effet Hall bi-axiale pouvant mesurer des champs de 0,1 mT à 100 mT.

On souhaite établir un protocole permettant de mesurer la composante horizontale locale du champ magnétique terrestre à Paris en faisant appel au principe de superposition des champs magnétostatiques et à l'étude préliminaire.

On précise que l'axe de la boussole est perpendiculaire à la direction du fil parcouru par le courant, et que cet axe est juste en dessous du fil.

On indique également que la norme du champ magnétique terrestre est de l'ordre de $5 \times 10^{-5} \text{ T}$.

Les questions qui suivent sont de type “résolution de problème” et nécessitent une certaine initiative. Toute tentative correcte et argumentée sera valorisée, même si elle n’est pas menée jusqu’au bout.

24 - Pour quelles raisons ne peut-on pas se servir directement du teslamètre pour effectuer la mesure du champ magnétique terrestre ?

25 - On place le dispositif de sorte à ce que, à courant nul, la boussole et le fil soient alignés et pointent donc dans la direction du champ magnétique terrestre.

On impose ensuite un courant $I > 0$ dans le fil. Faire un schéma sur lequel apparaît la boussole, le fil, la direction du champ magnétique terrestre, et la direction du champ magnétique produit par le fil à l’endroit de la boussole.

Proposer ensuite un protocole qui utilise le matériel mis à disposition et qui permet d’aboutir à une mesure de la norme du champ magnétique terrestre (sans utiliser le teslamètre).

26 - Schématiser l’expérience.

27 - Préciser les mesures à réaliser.

28 - Donner un ordre de grandeur des grandeurs physiques à employer pour réaliser l’expérience.

II Partie II

II Solar Impulse 2, une structure en matériaux composites

L'avion suisse Solar Impulse 2, uniquement propulsé à l'énergie solaire, a réussi le 2 juin 2014 son premier vol d'essai sur la base aérienne de Payerne, dans le centre de la Suisse. Cet avion équipé de quatre moteurs électriques alimentés par 17 200 cellules solaires a eu une durée de vol de 2 heures 15 minutes.

Le Solar Impulse est construit autour d'un squelette en matériaux composites constitués de fibres de carbone et de nid d'abeilles assemblés en sandwich. Les matériaux sandwich sont constitués de deux peaux (ou semelles) éloignées l'une de l'autre par une âme creuse ou pleine qui maintient leur écartement.

Dans une structure en nid d'abeille, l'âme est formée de cellules hexagonales régulièrement espacées. La géométrie de la structure fait penser à une ruche, d'où l'appellation de « nids d'abeille ».

Sur son extradors l'aile est recouverte des cellules solaires encapsulées et sur son intrados d'un film flexible léger. Entre les deux peaux, une structure sandwich est présente.

II.A – Les matériaux sandwich sont reconnus pour leur faible densité. En examinant la structure décrite ci-dessus, expliquer qualitativement leur densité remarquable.

Les matériaux composites ont été introduits en quantité sans cesse croissante par tous les constructeurs d'avions. Ils se substituent de plus en plus à des métaux tels l'aluminium, le titane. Nous nous proposons dans cette partie de comparer les propriétés des métaux aux matériaux composites.

II.B – Comparaison des densités

II.B.1) Donner la configuration électronique de l'aluminium dans son état fondamental en précisant les électrons de valence et de cœur.

II.B.2) À l'aide de la configuration électronique trouvée précédemment, préciser puis expliquer la place de l'aluminium dans la classification périodique (numéro de ligne et de colonne).

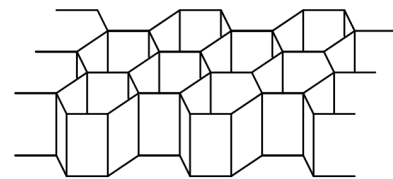
II.B.3) Le tableau ci-dessous donne les densités de différents matériaux, justifier pourquoi l'industrie aéronautique s'est très tôt intéressée à l'aluminium, puis aux matériaux composites.

	Acier courant	Titane	Fibres de carbone (matériaux composites)	Aluminium	Alliage Aluminium-Cuivre
Densité	7,8	4,5	1,5 – 1,8	2,6	2,7

II.B.4) Pour améliorer les propriétés mécaniques de l'aluminium, des alliages aluminium-cuivre ont été développés. Dans un Airbus A320, la structure représente une masse d'environ 22 500 kg et le taux massique de matériau composite est d'environ 20%.



Profil d'une aile de Solar Impulse



Âme d'une structure en nid d'abeille

Figure 4

En considérant la densité des matériaux composites à 1,8 et en supposant que l'ensemble de la structure métallique est un alliage aluminium-cuivre, évaluer un ordre de grandeur du gain (ou de la perte) de masse qu'engendre l'utilisation des matériaux composites s'ils prennent le même volume que l'alliage métallique.

Conclure sur l'intérêt d'avoir utilisé des matériaux composites dans Solar Impulse 2.

II.C – Étude des dégradations par corrosion

Les matériaux composites ne sont pas sujets à la corrosion. Comparons cette aptitude avec celle des métaux.

II.C.1) Étude du diagramme E-pH de l'aluminium

Le diagramme E-pH simplifié de l'aluminium a été tracé figure 5 pour une concentration atomique totale en élément aluminium égale à $c_{\text{tracé}} = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ en se limitant aux espèces $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{s})$, $\text{Al}(\text{OH})_4^-(\text{aq})$, $\text{Al}^{3+}(\text{aq})$ et $\text{Al}(\text{s})$. On a également superposé le diagramme E-pH de l'eau.

Par convention, sur la frontière séparant deux espèces dissoutes, les concentrations atomiques en élément aluminium dans chacune des deux espèces sont égales. Sur la frontière séparant une espèce dissoute et une espèce insoluble, la concentration atomique en élément aluminium de l'espèce soluble est prise égale à $c_{\text{tracé}}$.

a) Préciser le nombre d'oxydation de l'aluminium dans chacune des espèces envisagées et attribuer les domaines A, B, C et D.

b) Déterminer par le calcul la pente de la frontière B/D.

c) À l'aide du graphique, déterminer la valeur du potentiel standard $E^\circ(\text{Al}^{3+}/\text{Al}(\text{s}))$.

II.C.2) Oxydation de l'aluminium

Dans un diagramme E-pH, on distingue :

- le domaine d'immunité qui correspond au domaine de stabilité du métal ;
- les domaines de corrosion qui correspondent aux domaines de stabilité des espèces solubles ;
- les domaines de passivation.

La passivation ou passivité représente un état des métaux ou des alliages dans lequel leur vitesse de corrosion est notablement ralentie par la présence d'un film passif naturel ou artificiel, par rapport à ce qu'elle serait en l'absence de ce film.

Dans la plupart des cas (aluminium, acier, acier inoxydable, titane, ...), ce film passif apparaît spontanément par oxydation, parce que l'oxyde formé sur la surface est insoluble et constitue un obstacle qui ralentit les processus ultérieurs. Dans un milieu aqueux, la formation de ce film est liée à un domaine de potentiel électrochimique ainsi qu'à un domaine de pH dans lesquels l'oxyde est stable.

Une couche d'oxyde ou d'hydroxyde se forme à la surface du métal le protégeant de toute attaque.

Prenons deux plaques d'aluminium A et B. La plaque A est plongée dans une eau aérée (présence de dioxygène) de pH neutre pendant une trentaine de minutes. Simultanément, la plaque B est décapée. On plonge alors les deux plaques dans une solution concentrée d'acide chlorhydrique (pH $\simeq 1$). La plaque A subit une attaque lente avec un dégagement gazeux et sur la plaque B, on observe un fort dégagement gazeux à la surface.

a) Identifier la nature du gaz observé dans cette expérience. Écrire l'équation de la réaction se produisant au niveau de la plaque B.

b) Pourquoi le dégagement gazeux est-il faible au niveau de la plaque A ?

c) Peut-on laisser sans protection particulière une barre d'aluminium en contact avec de l'eau de pluie ? En déduire si l'oxydation de l'aluminium peut-être un frein pour son utilisation en aéronautique.

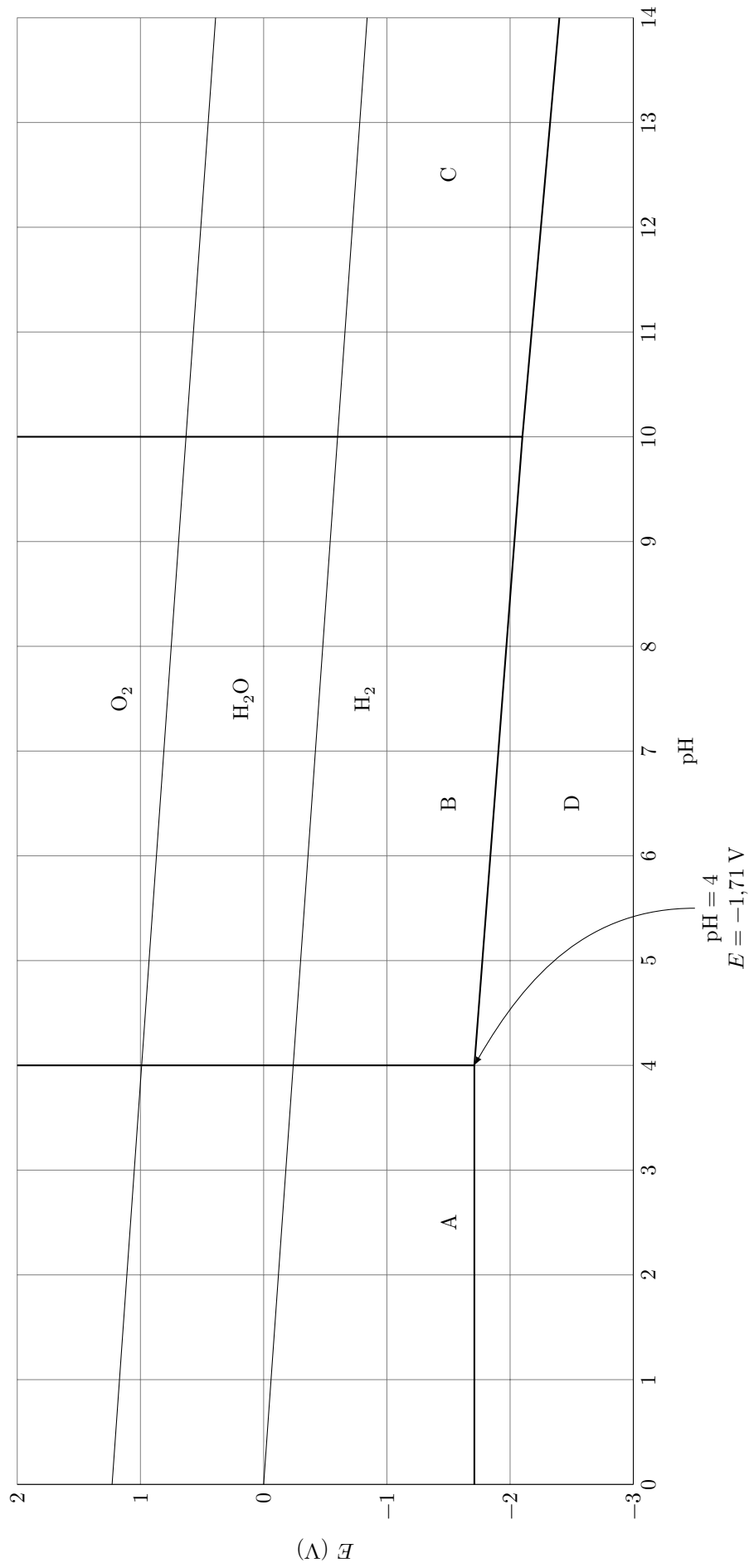


Figure 5 Diagramme E-pH de l'aluminium à $c_{\text{tracé}} = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

III Partie III

III Fonctionnement et technologie de l'accéléromètre

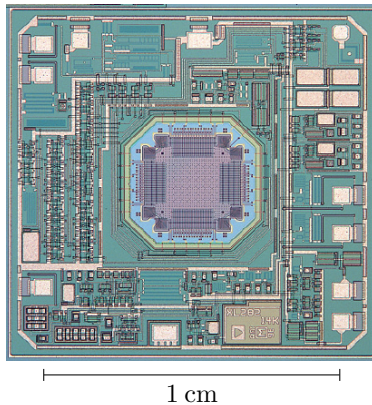
La miniaturisation, la fiabilité et le faible coût des capteurs à MEMS (Micro-Electro-Mechanical-Systems) permettent de les intégrer dans de nombreux dispositifs électroniques embarqués. La plupart des accéléromètres à MEMS permettent de mesurer les accélérations suivant deux axes.

En aéronautique, les accéléromètres sont utilisés en tant que tels dans les avions soumis à de fortes contraintes, avions de chasse ou de voltige, et couplés à des gyromètres ils entrent dans la composition de centrales à inertie.

III.A – Étude mécanique du capteur

On limite l'étude à la modélisation du fonctionnement d'un accéléromètre à un seul axe. Un accéléromètre est modélisé par un système masse-ressorts amorti, dont le schéma de principe est représenté sur la **figure 6**. On suppose que les déplacements ne s'effectuent que selon l'axe Ox horizontal.

L'accéléromètre se compose d'une masse mobile m , assimilée à un point matériel C , astreinte à se déplacer sans frottements secs selon l'axe horizontal Ox . Le boîtier rigide de l'accéléromètre, de longueur L selon l'axe Ox , de centre B se déplace dans le référentiel d'étude terrestre \mathcal{R} supposé galiléen et on note \vec{a} son accélération dans ce référentiel. Son accélération s'écrit $\vec{a} = a\vec{e}_x$.



Photographie d'un accéléromètre deux axes : le capteur MEMS est situé au centre (source *Analog Devices*)

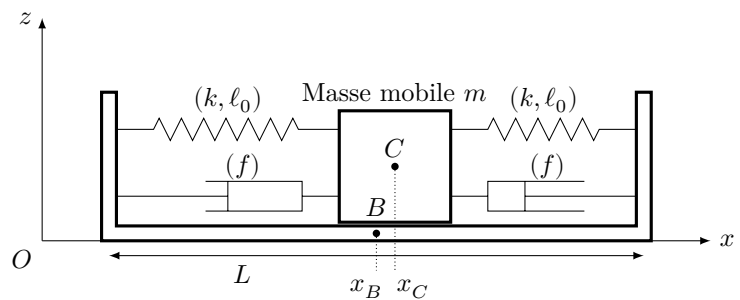


Schéma de principe du fonctionnement mécanique de l'accéléromètre suivant un axe

Figure 6 Accéléromètre MEMS

On note à un instant t quelconque, x_C la position de la masse mobile en mouvement, x_B la position du centre du boîtier et $X = x_C - x_B$ la position de la masse mobile par rapport au centre du boîtier. Lorsque le boîtier de l'accéléromètre est au repos ou animé d'un mouvement rectiligne uniforme, la position de la masse mobile par rapport au centre du boîtier vérifie $X = 0$. Lorsque le boîtier subit une accélération, la masse mobile quitte la position définie précédemment.

La masse mobile est soumise :

- aux forces de rappel \vec{T}_1 et \vec{T}_2 exercées par deux ressorts identiques, de constante de raideur k et de longueur à vide ℓ_0 ;
- à des forces de frottement visqueux dont la résultante est proportionnelle à la vitesse relative de la masse mobile par rapport au boîtier $\vec{F}_f = -2f(\dot{x}_C - \dot{x}_B)\vec{e}_x$ où f est le coefficient de frottement visqueux ;
- au poids \vec{P} ;
- à la réaction du boîtier \vec{R} .

III.A.1) Mise en équation

a) Montrer que la résultante des forces de rappel exercées par les deux ressorts s'écrit $\vec{T} = -2kX\vec{e}_x$.

b) Montrer que, lorsque le boîtier subit une accélération, l'équation différentielle vérifiée par l'élongation X s'écrit :

$$\ddot{X} + \frac{\omega_0}{Q}\dot{X} + \omega_0^2 X = -a$$

avec ω_0 et Q deux constantes que l'on exprimera en fonction de k , m et f .

c) Quelle est la signification physique de ω_0 et Q ? Quelles sont les dimensions et les unités de ces deux grandeurs ?

III.A.2) Étude de la réponse harmonique

On recherche maintenant les conditions pour lesquelles l'élongation X est directement proportionnelle à l'accélération a du boîtier. Pour cela, on étudie la réponse du capteur en régime harmonique établi.

- a) La grandeur d'entrée du capteur étant l'accélération $a(t) = a_m \cos(\omega t)$, sous quelle forme mathématique doit-on rechercher la grandeur de sortie $X(t)$?
- b) Établir la relation entre l'amplitude complexe de l'élongation \underline{X}_m et celle de l'accélération \underline{a}_m .
- c) Après avoir étudié le comportement asymptotique de $\frac{X_m}{a_m/\omega_0^2}$, montrer qu'il existe un domaine de fréquences, que l'on précisera, pour lequel on peut considérer que l'élongation X est directement proportionnelle à l'accélération a du boîtier et vérifie

$$X(t) = -\frac{m}{2k}a(t)$$

Pour la suite du problème, on considère que le domaine de fréquences dans lequel le capteur de l'accéléromètre est utilisé est tel que la relation précédente soit vérifiée.

La fréquence typique de résonance mécanique du capteur d'un accéléromètre à MEMS est de l'ordre de 5,5 kHz et son facteur de qualité est voisin de 5.

- d) Déterminer l'expression du rapport $\frac{X_m}{a_m/\omega_0^2}$ en fonction de $x = \frac{\omega}{\omega_0}$ et Q .
- e) Déterminer l'expression de la fréquence f_r à laquelle se produit un phénomène de résonance. Commenter.
- f) Déterminer la valeur numérique de l'amplitude finale du déplacement de la masse mobile pour une accélération constante de « 1g » ($a = g$), correspondant à l'accélération de la pesanteur à la surface de la Terre. Commenter le résultat.

III.B – Étude de la détection par une méthode électrostatique

On s'intéresse dans cette partie au système de détection du déplacement X de la masse mobile de l'accéléromètre pour cela on utilise un condensateur à écartement variable dont les électrodes successives sont liées alternativement à la masse mobile et au boîtier.

III.B.1) Condensateur unique

Une première méthode, dont le principe est représenté sur la figure 8, consiste à mesurer la capacité d'un condensateur dont une électrode, liée à la masse mobile, fait face à une électrode fixe liée au boîtier de l'accéléromètre. Le déplacement de la masse mobile modifie la distance entre les deux électrodes et par voie de conséquence la capacité du condensateur.

On applique une différence de potentiel U entre les deux électrodes, l'électrode fixe étant portée au potentiel V_a et l'électrode mobile étant reliée à la masse. Les deux électrodes sont assimilées à deux plans infinis parallèles séparés d'une distance $e + X$. Les charges qui apparaissent sur chacune des électrodes se répartissent uniformément en surface. On note $+\sigma$ la charge surfacique portée par l'électrode fixe liée au boîtier.

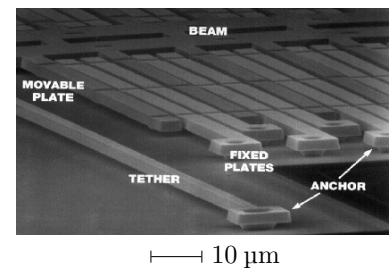


Figure 7 Détail de la microstructure de la partie détection d'un accéléromètre (source Analog Devices)

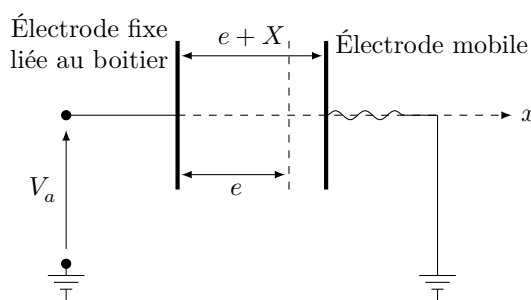


Figure 8

Détermination du champ électrostatique créé par l'électrode fixe

- a) En utilisant les propriétés de symétrie et d'invariance de la distribution de charges, préciser, en les justifiant, la direction du champ électrostatique créé par l'électrode fixe $\vec{E}_1(M)$ et les variables dont il dépend.
- b) Comparer les champs $\vec{E}_1(M)$ et $\vec{E}_1(M')$ créés par l'électrode fixe en deux points M et M' symétriques par rapport à l'électrode fixe.
- c) En appliquant le théorème de Gauss, déterminer l'expression du champ électrostatique $\vec{E}_1(M)$ créée par l'électrode fixe en tout point de l'espace.

Détermination de la relation entre C et X

d) Déterminer l'expression du champ électrostatique $\vec{E}(M)$ qui règne dans le condensateur puis celle de la différence de potentiel U entre les deux électrodes en fonction de Q , e , X , S et ϵ_0 . Q représente la charge portée par l'électrode fixe de surface S .

e) Montrer que la capacité C du condensateur s'écrit $C = C_0 \frac{e}{e+X}$ où C_0 est la capacité du condensateur pour $X = 0$.

Imperfection du dispositif

f) Montrer que la force électrostatique \vec{F} qu'exerce l'électrode fixe sur l'électrode mobile s'écrit :

$$\vec{F} = -\frac{1}{2}C_0U^2 \frac{e}{(e+X)^2} \vec{e}_x$$

Les caractéristiques typiques d'un accéléromètre à MEMS sont $C_0 = 0,1$ pF, $e = 1$ μm , $V_a = 1$ V et la masse mobile est de 1 μg .

g) Pour $X = 0$, donner l'ordre de grandeur de la force électrostatique s'exerçant sur l'électrode liée à la masse mobile.

h) Discuter la faisabilité de réaliser une mesure capacitive du déplacement de la masse mobile d'un accéléromètre à MEMS prévu pour mesurer des accélérations de « 1g » ($a = g$).

III.B.2) Condensateur double différentiel

Dans les accéléromètres à MEMS, la méthode de mesure consiste à déterminer le potentiel électrostatique V de l'électrode liée à la masse mobile. Le schéma de principe de la méthode de mesure est représenté figure 9. Une seconde électrode fixe, liée au boîtier, est placée symétriquement par rapport à $X = 0$. La première électrode fixe est portée au potentiel V_a , la seconde au potentiel $-V_a$. L'électrode mobile, qui reste isolée et globalement neutre, sert alors de sonde de mesure du potentiel V qui est fonction du déplacement X de l'électrode mobile entre les deux électrodes fixes liées au boîtier.

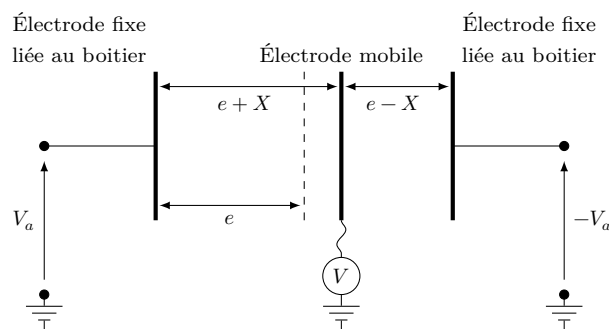


Figure 9

Dans cette configuration, le potentiel V de l'électrode mobile s'écrit $V = -V_a \frac{X}{e}$.

a) En utilisant l'expression établie en III.B.1f, calculer la résultante des forces électrostatiques s'exerçant sur l'électrode mobile.

b) Conclure sur les avantages de cette méthode de mesure.

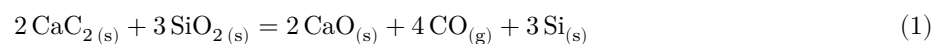
III.D – Le silicium, utilisé dans la fabrication des accéléromètres

Les MEMS (Micro Electro Mechanical System) utilisent pour leur fabrication le silicium. Les accéléromètres appartiennent à la catégorie des MEMS. Dans cette partie, on s'intéresse à la production du silicium.

III.D.1) Réduction du dioxyde de silicium

Pour produire le silicium, on réduit le dioxyde de silicium SiO_2 par le carbure de calcium $\text{CaC}_2(\text{s})$. Pour $T < 1683$ K, aucun changement d'état n'intervient.

L'équation de la réaction est :



Sa constante d'équilibre est noté K_1^0 .

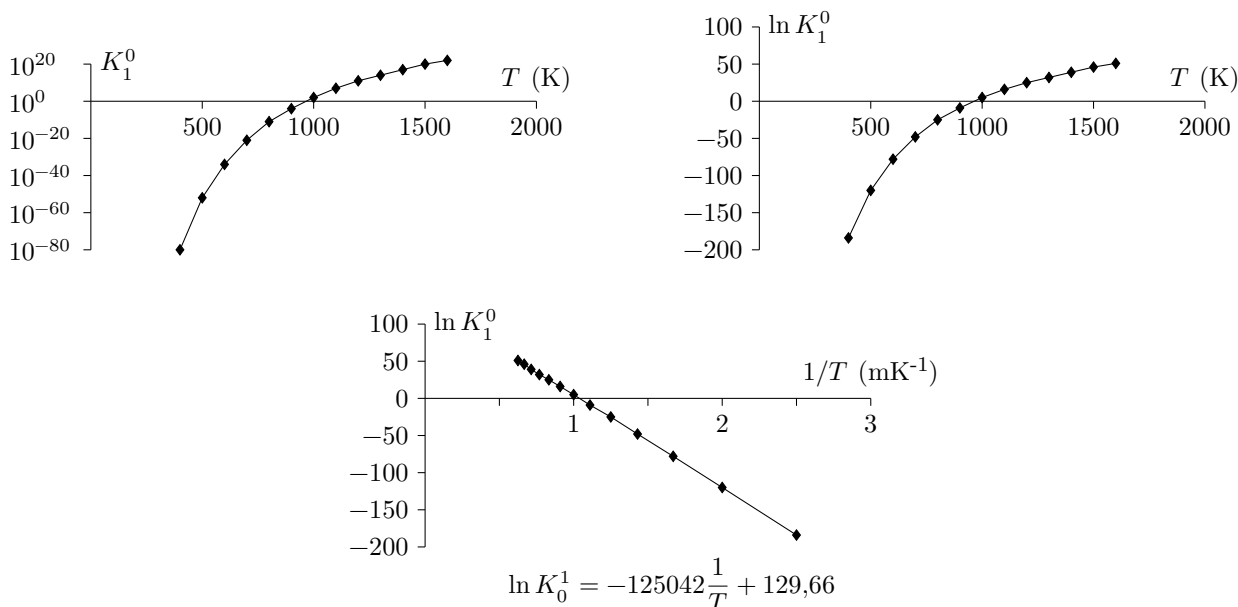


Figure 14 Courbes $K_1^0 = f(T)$, $\ln K_1^0 = f(T)$, $\ln K_1^0 = f(1/T)$

a) À l'aide de la **figure 14**, déterminer le signe de l'enthalpie standard $\Delta_r H_1^0$ de la réaction (1) puis sa valeur en la supposant indépendante de la température.

b) Quelle est l'influence d'une augmentation de la température à pression et composition constante ? Justifier. En déduire si l'industriel a intérêt à travailler à basse ou haute température.

III.D.2) Dans un réacteur de volume constant 8 litres, préalablement vide, on introduit 18 g de SiO_2 solide et 32 g de CaC_2 solide. On opère à $T = 1730 \text{ K} > 1683 \text{ K}$. On suppose que la phase gazeuse est assimilable à un gaz parfait.

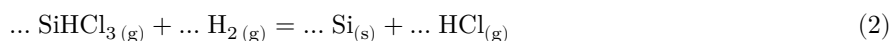
a) Écrire l'équation (1') en précisant les états physiques des espèces chimiques.

b) Sachant que la constante d'équilibre de la réaction (1') vaut : $K_{1'}^0(1730 \text{ K}) = 3,68 \times 10^{24}$, calculer la pression du système si l'équilibre est atteint puis la quantité de matière de monoxyde de carbone formé. Conclure.

c) En déduire les quantités de matière des différents espèces chimiques à l'état final, ainsi que la pression de la phase gazeuse (supposée parfaite).

III.D.3) Le silicium obtenu est mis en réaction avec du chlorure d'hydrogène gazeux (HCl) à 300 °C . On forme majoritairement le trichlorosilane (SiHCl_3) mais également le dichlorosilane SiH_2Cl_2 . Après refroidissement à 15 °C , on obtient un mélange liquide de SiHCl_3 et de SiH_2Cl_2 de composition molaire 80% en SiHCl_3 . Une distillation fractionnée permet alors de purifier le trichlorosilane SiHCl_3 .

Le trichlorosilane ultra-pur est réduit par l'hydrogène vers 1000 °C , selon la réaction :



Le silicium ultra-pur, produit par cette réaction, est déposé sur un barreau de silicium. Le silicium obtenu est directement utilisable pour la fabrication des MEMS.

a) Ajuster les nombres stœchiométriques de l'équation (2).

b) Que valent à 298 K les enthalpies standard de formation de $\text{H}_2(\text{g})$ et de $\text{Si}(\text{s})$?

c) Calculer l'enthalpie $\Delta_r H_2^0$ de la réaction à 298 K .

d) La réaction est réalisée à la pression $P = 0,1 \text{ bar}$. Justifier le choix de pression égale à $0,1 \text{ bar}$ plutôt que $1,0 \text{ bar}$ à température fixée.