

Durée 4h

N.B. : 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.

RAPPEL DES CONSIGNES

- Utiliser uniquement un **stylo noir ou bleu foncé non effaçable** pour la rédaction de votre composition ; **d'autres couleurs, excepté le vert**, peuvent être utilisées, mais exclusivement pour les **schémas** et la **mise en évidence des résultats**.
- **Ne pas utiliser de correcteur**.
- **Numéroter les copies** : "i/nombre total".
- **Respecter les notations** de l'énoncé et préciser, dans chaque cas, la **numérotation de la question posée**.
- Écrire le mot **FIN** à la fin de votre composition.

Ex 1 : Glissement d'un anneau sur une tige

On considère une tige horizontale en rotation uniforme à la vitesse angulaire constante ω autour de l'axe vertical (Oz).

On introduit la demi-droite $[Ox')$ de même direction que la tige.

Un ressort de longueur à vide ℓ_0 et de raideur k est enfilé sur la tige. Une de ses extrémités est fixée en O et l'extrémité mobile est reliée à un anneau qui peut glisser sans frottement sur $[Ox')$. Initialement, $OM = \ell_0$ et la vitesse de glissement de l'anneau le long de la tige est nulle.

On assimile l'anneau à un point matériel M de masse m .

On note R' le référentiel lié à la tige.

- 1) Etablir l'équation du mouvement de l'anneau dans le référentiel R' .
- 2) Discuter la nature du mouvement de l'anneau.

Ex 2 : Sonogramme

On enregistre, à l'aide d'un microphone, le son d'une note de musique tenue produite en sifflant avec la bouche.

On note $s_a(t)$ le signal obtenu. Le spectre d'amplitude du signal en sortie du microphone est donné sur la figure 8, l'échelle verticale étant graduée en décibels. L'amplitude du pic 1 vaut $a_1 = 100$ mV.

❑ 16 — Déterminer la fréquence f_1 du fondamental (pic 1) de cette note ainsi que l'amplitude a_2 du pic 2. On donne $10^{0,5} \approx 3,16$.

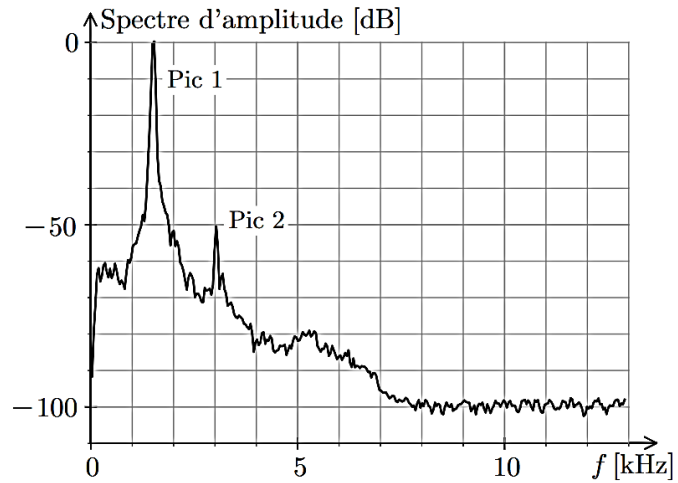


FIGURE 8 – Spectre d'amplitude d'un son sifflé tenu.

Les pics 1 et 2 sont assimilés à des composantes harmoniques et on néglige tout autre contenu spectral. On note T_a la durée totale de l'enregistrement et f_e la fréquence d'échantillonnage. La méthode d'analyse spectrale employée génère un spectre dont la résolution spectrale, notée δf , est l'inverse de la durée d'acquisition du signal.

❑ 17 — Calculer numériquement la plus petite valeur de f_e respectant la condition de Nyquist-Shannon, et la durée d'acquisition T_a donnant une résolution spectrale de 100 Hz.

Un sonogramme est une représentation graphique permettant de visualiser l'évolution des composantes harmoniques d'un son au cours du temps. Dans sa version simplifiée, c'est un diagramme à deux dimensions ayant en abscisse le temps et en ordonnée les fréquences. À un instant t donné, une composante harmonique de fréquence f est représentée par un point de coordonnées (t, f) .

Le sonogramme simplifié de $s_a(t)$ est représenté sur la figure 9a. Dans un sonogramme complet, on ajoute l'information sur l'amplitude des composantes harmoniques en grisant les points du diagramme à l'aide d'une échelle allant du blanc pour les faibles amplitudes (< -50 dB), au noir pour les fortes (> 0 dB). Le sonogramme complet de $s_a(t)$ est donné sur la figure 9b.

Pour construire un sonogramme, on calcule les spectres successifs du signal entre les dates nT_a et $(n+1)T_a$, n étant un entier positif ou nul et T_a , la durée des intervalles temporels d'acquisition.

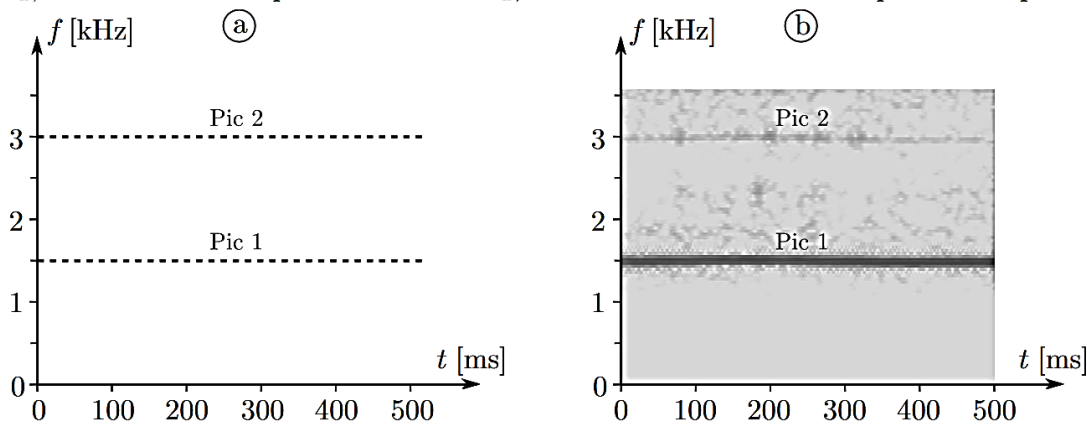


FIGURE 9 – Sonogramme d'un son sifflé tenu a) simplifié b) complet.

❑ 18 — On note τ la durée totale de l'enregistrement sonore. La résolution spectrale δf du sonogramme dépend-elle de T_a ou de τ ? Combien de pixels (rectangles élémentaires composant le sonogramme) comporte un sonogramme de fréquence maximale f_M et de durée τ ? Effectuer l'application numérique lorsque $f_M = 3,5$ kHz et $\tau = 500$ ms.

On produit un nouveau son sifflé, $s_b(t)$, mais cette fois, de hauteur décroissante (donc vers les sons graves). Ce son possède encore deux composantes harmoniques, mais la fréquence f'_1 du fondamental décroît au cours du temps de manière affine : $f'_1(t) = f_1 \times (1 - t/\tau_d)$, $\tau_d > 0$ étant une constante temporelle.

❑ 19 — Quelle condition doit vérifier τ_d afin que l'on puisse suivre l'évolution temporelle de la fréquence du fondamental sur le sonogramme? Construire le sonogramme simplifié de $s_b(t)$ dans l'intervalle temporel $[0; 0,5 \tau_d]$. On prendra soin de mentionner sur le graphique toutes les informations connues.

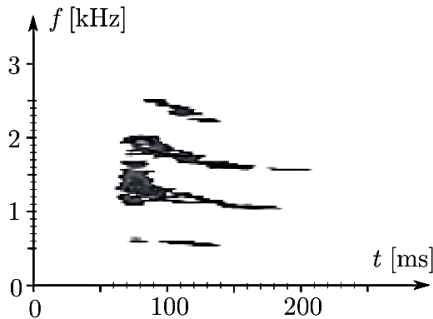


FIGURE 10 – Sonogramme du quetzal

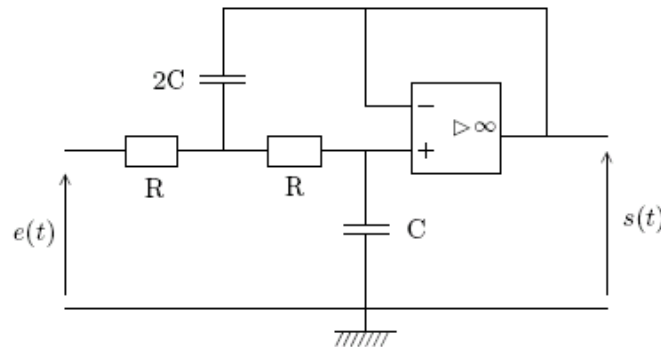
Le chant d'un oiseau est plus riche en harmoniques que le sifflement précédent.

Le sonogramme d'un quetzal *jeune* est représenté sur la figure 10 extraite de Lubman, D., J. Acoust. Soc. Am. 112 (5), 2008.

❑ 20 — Déterminer la durée approximative τ_q du chant du quetzal puis mesurer, à la date $t = 130$ ms, la fréquence $f_{q,1}$ du fondamental du chant ainsi que celles $f_{q,i}$ (i entier) des autres harmoniques visibles sur le sonogramme.

Ex 3 : Etude d'un filtre actif

On considère le circuit électronique ci-dessous comportant un Amplificateur Linéaire Intégré, ALI, supposé idéal et qui fonctionne en régime linéaire. Dans ce cadre, pour les deux entrées de l'ALI, on a des courants nuls : $i^+ = i^- = 0$ et entre les entrées de l'ALI, on a une différence de potentiel nulle : $\varepsilon = V^+ - V^- = 0$.



Dans ce **Données** : $R = 100 \Omega$ et $C = 1 \mu F$.

La tension d'entrée $e(t)$ est fournie par un GBF, elle s'écrit : $e(t) = E \cdot \cos(\omega t)$.

La tension de sortie sera notée : $s(t) = S \cdot \cos(\omega t + \varphi)$.

On adopte la notation complexe.

- 1) En étudiant le circuit à très basse puis très haute fréquence, déterminer la nature du filtre.
- 2) Montrer que la fonction de transfert $\underline{H}$ du montage s'écrit : $\underline{H} = \frac{1}{1 + 2jRC\omega - 2R^2C^2\omega^2}$.
- 3) Réécrire la fonction de transfert $\underline{H}$ sous la forme canonique : $\underline{H} = \frac{1}{1 + 2j\sigma\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right) - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}$. Exprimer

les constantes σ – coefficient d'amortissement – et ω_0 – pulsation propre – en fonction de R et C .
Faire les applications numériques pour σ et ω_0 .

- 4) Tracer le diagramme de Bode asymptotique pour le gain.

Ex 4 : Le bioéthanol

Données :

Numéros atomiques : $Z(\text{Mn})=25$, $Z(\text{Rh})=45$

Masses molaires :

$M(\text{Rh})= 103 \text{ g.mol}^{-1}$, $M(\text{C}) = 12 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$

Constante d'Avogadro : $N_A= 6,0.10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Constante des gaz parfaits : $R= 8,3 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Constante de Faraday : $F= 96500 \text{ C.mol}^{-1}$

Constante de Nernst à 298 K : $\frac{RT}{F} \ln 10 = 0,06V$

$\text{p}K_s(\text{Mn}(\text{OH})_2) = 12,7$ à 25°C

Constante d'équilibre de la réaction d'autoprotolyse de l'eau à 25°C : $K_e = 10^{-14}$

$\text{p}K_a(\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^-) = 4,8$ à 25°C

Potentiels redox standards à $\text{pH} = 0$ et à 25°C :

$E^\circ(\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = 0,037 \text{ V}$

$E^\circ(\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}) = 1,23 \text{ V}$

Approximations numériques : $\sqrt{2} \approx \frac{10}{7}$ $\sqrt{3} \approx \frac{7}{4}$

L'épuisement des ressources fossiles ainsi que l'augmentation de l'effet de serre impliquent de trouver des solutions économes en consommation de pétrole notamment dans le domaine des transports. Une voie consiste à mélanger l'essence à des biocarburants: le bioéthanol est ainsi présent à hauteur de 10% dans l'essence SP95-E10, et jusqu'à 85% dans le superethanol E85.

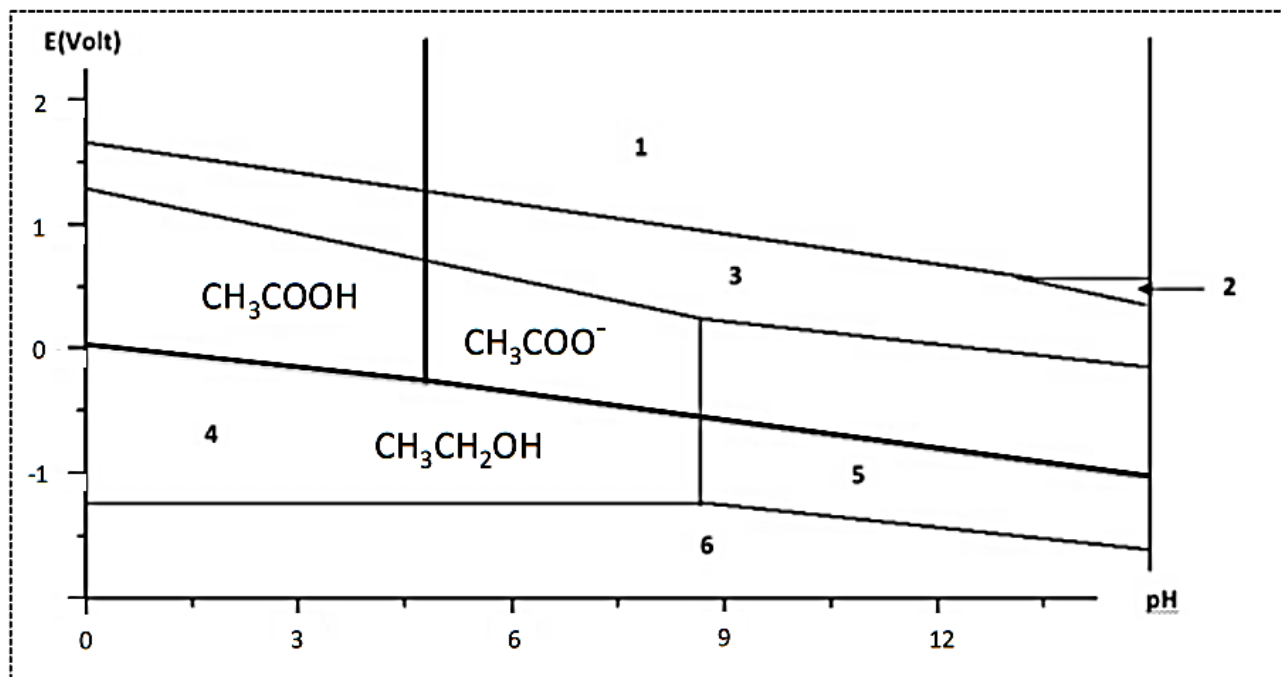
Les biocarburants de seconde génération sont issus de sources ligno-cellulosiques (bois, feuilles, pailles). Afin de fabriquer le biocarburant, la cellulose contenue dans ces végétaux est tout d'abord séparée de la lignine et de l'hémicellulose par cuisson acide puis par explosion à la vapeur. La cellulose, polymère de glucose, est ensuite transformée en glucose (sucre à six atomes carbone de formule brute $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_{6(s)}$) par hydrolyse enzymatique. Le glucose est enfin transformé en éthanol lors d'une étape de fermentation utilisant des levures.

1- Représenter la structure de Lewis de la molécule d'éthanol. Expliquer pourquoi l'eau et l'éthanol sont miscibles. Quelle est la conséquence sur les carburants à base de mélange d'essence et d'éthanol ?

Ont été superposés ci-après les diagrammes potentiel-pH du manganèse (traits fins) et de l'éthanol (traits épais).

Conventions de tracé :

- Concentration totale en espèce dissoute : $C = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.
- On considérera qu'il y a égalité des concentrations aux frontières séparant deux espèces en solution.



7- Associer aux différents domaines du diagramme potentiel-pH de l'élément manganèse les espèces solides Mn , MnO_2 et Mn(OH)_2 ainsi que les ions en solution Mn^{2+} , MnO_4^- et MnO_4^{2-} . Justifier. On précisera pour chaque espèce du manganèse son degré d'oxydation.

8- Déterminer l'équation de la frontière verticale séparant l'espèce 4 de l'espèce 5.

9- Donner (en justifiant) l'équation de la frontière verticale séparant CH_3COOH et CH_3COO^- ainsi que celle de la frontière séparant CH_3COOH et $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$.

10- En utilisant le graphique, déterminer le potentiel standard du couple $\text{MnO}_2/\text{Mn}^{2+}$.

On souhaite doser l'éthanol contenu dans un flacon étiqueté « équivalent biocarburant ». Le protocole à suivre est le suivant.

1^{ère} étape : Extraction de l'éthanol du mélange initial

Placer le biocarburant dans une ampoule à décanter, introduire 20 mL d'eau distillée, agiter et laisser décanter. Récupérer la phase aqueuse. Renouveler cette opération 2 fois. Mélanger les 3 phases aqueuses obtenues dans une fiole jaugée de 100 mL. Compléter jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée ; on obtient ainsi la solution S_1 de concentration molaire C_1 en éthanol. Cette solution contient a priori tout l'éthanol provenant du biocarburant.

2^{ème} étape : Préparation de la solution à titrer

La solution S_1 étant trop concentrée, il est nécessaire de réaliser une dilution. On veut obtenir 50 mL de solution S_2 de concentration $C_2 = C_1/10$.

3^{ème} étape : Oxydation de l'éthanol

Dans un erlenmeyer, introduire : précisément $V_3 = 100$ mL de solution de permanganate de potassium de concentration $C_3 = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$, un volume $V_2 = 2,00$ mL de S_2 prélevé à la pipette jaugée, environ 2 mL d'acide sulfurique concentré manipulé avec précaution. Boucher l'erlenmeyer puis le fixer dans un cristalliseur rempli d'eau chaude et laisser pendant 20 à 30 minutes.

4^{ème} étape : Dosage de l'excès d'ions MnO_4^- dans la solution

Doser le contenu de l'erlenmeyer par une solution contenant des ions Fe^{2+} de concentration $C_4 = 2 \cdot 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$. Noter le volume V_E versé à l'équivalence. Le titrage doit être réalisé suffisamment lentement sur la fin pour dissoudre le précipité brun de MnO_2 qui se forme pendant la réaction.

- 12- Décrire un protocole pour l'étape de dilution en précisant la verrerie et le matériel utilisé.
- 13- Ecrire l'équation de la réaction qui a lieu entre l'éthanol et MnO_4^- en milieu acide.
- 14- Ecrire l'équation de la réaction de dosage entre Fe^{2+} et MnO_4^- en milieu acide.
- 15- Pourquoi ne dose-t-on pas directement l'éthanol par MnO_4^- ?
- 16- Sachant que $V_E = 10,0$ mL, calculer la quantité d'éthanol n_2 contenue dans la solution S_2 . En déduire la concentration C_1 en éthanol de la solution S_1 .
- 17- A l'aide du diagramme potentiel-pH, expliquer pourquoi on doit rajouter de l'acide sulfurique concentré dans le mélange pour réaliser la 3^{ème} étape. Comment peut-on s'assurer que la réaction d'oxydation de l'éthanol par les ions permanganate est bien possible grâce à ce diagramme ?

Ex 5 : Excitation paramétrique d'un pendule

Nous nous proposons d'étudier la réponse d'un pendule simple dont le point auquel il est suspendu est mis en mouvement oscillant verticalement. Nous considérons un pendule (2) constitué d'une masse m fixée à une extrémité M d'une tige rigide, de masse négligeable, de longueur l , en rotation autour d'un point pivot A (se reporter à la figure 1). Par une action extérieure, l'élément (1) auquel le pendule est suspendu, peut être mis en mouvement vertical, par rapport au support (0). Ce système mécanique est soumis au champ de pesanteur $\vec{g} = g\vec{u}_z$. Nous notons θ l'angle repérant angulairement ce pendule. Le référentiel d'observation $\mathcal{R}_0(O, \vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z)$ est supposé galiléen. Le repère $\mathcal{R}_1(O, \vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z)$, solide de l'élément (1), est en mouvement de translation selon l'axe (Oz) lorsque le pivot A est mis en mouvement. Nous notons $\vec{OA} = h\vec{u}_z$. Enfin, nous ne prenons en compte aucune cause de dissipation.

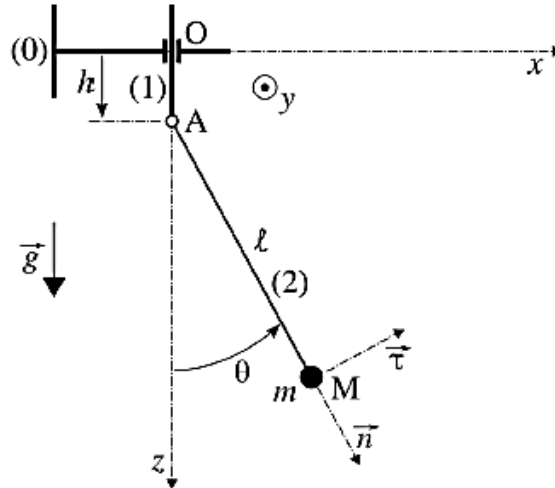


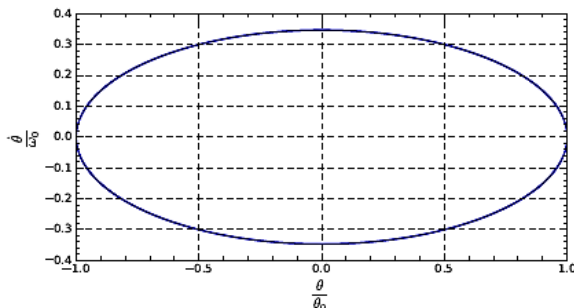
FIGURE 1 – Pendule (2) (m, l) oscillant autour du point A. Ce point peut être animé d'un mouvement selon l'axe (Oz) , relativement au référentiel galiléen d'observation $\mathcal{R}_0$, par une action extérieure (action sur le paramètre géométrique h).

L'étude porte sur l'amplification de l'amplitude des oscillations du pendule autour de l'angle nul en agissant périodiquement sur le paramètre géométrique h . Nous ne nous placerons dans la limite des petits angles que lorsque cela sera précisé.

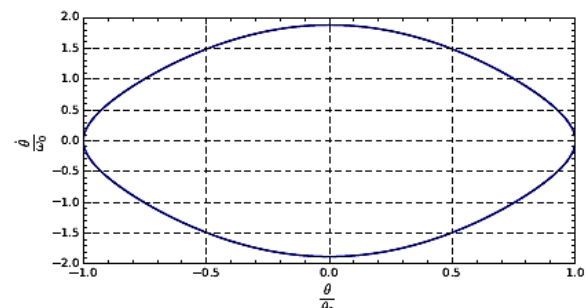
Données :

- $\vec{g} = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- $2 \cos a \cos b = \cos(a + b) + \cos(a - b)$

1. **Pas d'excitation du pendule : A est immobile.** Les référentiels $\mathcal{R}_0$ et $\mathcal{R}_1$ sont alors confondus. On se place dans ce référentiel.
 - 1.1 Écrire l'énergie mécanique du pendule (on prendra $\theta = 0$ comme origine des énergies potentielles). Que dire de sa valeur au cours du temps ?
 - 1.2 Discuter l'existence et la stabilité de positions d'équilibre.
 - 1.3 Déterminer l'équation du mouvement vérifiée par θ . Identifier et exprimer la pulsation ω_0 caractéristique du système.
 - 1.4 Dans cette question, on suppose qu'à $t = 0$ le pendule est abandonné sans vitesse initiale en $\theta(t = 0) = \theta_0$. En justifiant, associer à chacune des trajectoires de phase proposées fig.2 les valeurs $\theta_0 = 20^\circ$ et $\theta_0 = 140^\circ$.



(a)



(b)

FIGURE 2 – Trajectoires de phase du pendule pour deux valeurs initiales de θ différentes.

- 1.5 Écrire et résoudre l'équation vérifiée par θ pour les petits mouvements autour de la position d'équilibre stable en prenant l'origine des temps $t = 0$ telle que l'angle vérifie $\theta(0) = 0$ et la vitesse algébrique vérifie $v(0) = v_0 > 0$.
2. **Excitation paramétrique du pendule : A est en mouvement.** L'équation du mouvement du pendule est modifiée par l'accélération $\ddot{h}$ du point A.

2.1 Montrer que la nouvelle équation du mouvement s'écrit :

$$\ddot{\theta} + \omega_0^2(1 - G) \sin \theta = 0$$

avec ω_0 la pulsation caractéristique déterminée précédemment et $G = \ddot{h}/g$.

2.2 Proposer une interprétation physique du paramètre G .

2.3 On peut montrer que l'élément (1) exerce au point A de l'élément (2) la force de réaction :

$$\vec{R} = \begin{pmatrix} -mg(U + (1 - G) \cos \theta) \sin \theta \\ 0 \\ -mg(U + (1 - G) \cos \theta) \cos \theta \end{pmatrix}_{(\vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z)} \quad \text{avec} \quad U = \dot{\theta}^2/\omega_0^2 \quad \text{et} \quad G = \ddot{h}/g$$

Initialement, le pendule est immobile. L'opérateur impose alors un mouvement vertical harmonique de A :

$$h(t) = -a \sin(\Omega t)$$

où a et Ω sont des constantes positives.

On suppose $|G| \ll 1$ et on se place au démarrage des oscillations : $\theta \ll 1$ et $\theta(t) = K \sin \omega_0 t$.

- 2.3.1 Proposer une expression approchée des composantes de $\vec{R}$ à l'ordre 2 en θ .
- 2.3.2 En déduire la puissance instantanée $P(t)$ reçue dans le référentiel $\mathcal{R}_0$ par le pendule via la force $\vec{R}$ exercée en A dans le cadre de la même approximation.
- 2.3.3 A quelle condition sur Ω , la puissance moyenne P_m reçue par le pendule est-elle non nulle? On supposera K indépendant du temps pour effectuer le calcul.
- 2.3.4 Cette condition étant supposée vérifiée, interpréter l'évolution de l'amplitude du mouvement du pendule représentée fig.3.

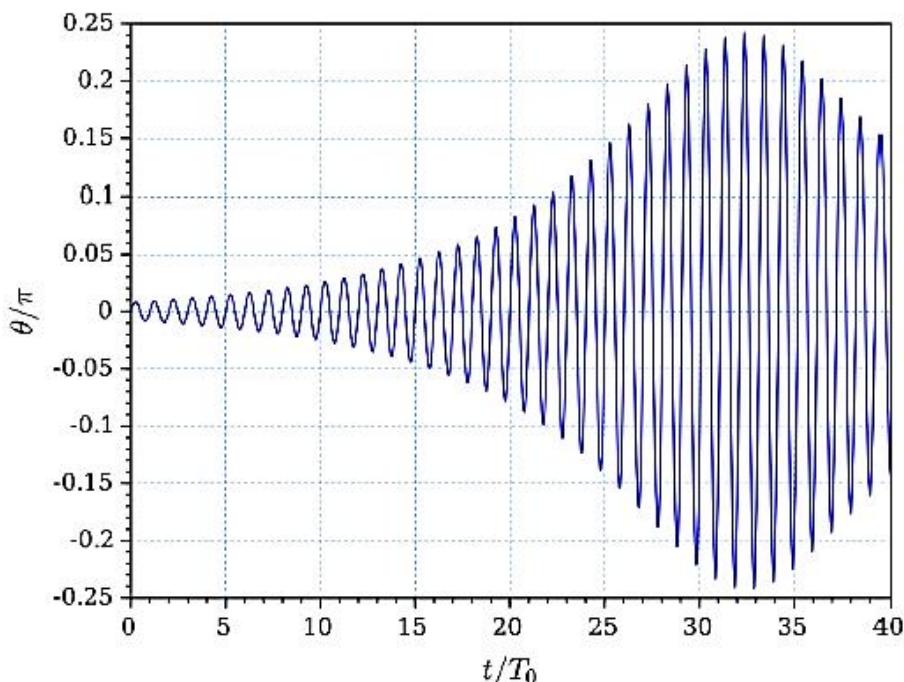


FIGURE 3 – Oscillations du pendule

Ex 6 : Supports : adhérence ou pas ?

Le sujet s'intéresse à différents cas de frottements secs qui induisent des types de mouvement relatif possible dans certaines conditions pour un couple solide1-solide2. Ces propriétés viennent du choix du support pour un mobile donné.

La **partie I** est une question de cours à propos des lois de Coulomb dont les réponses attendues permettront aux candidats de mieux exploiter les parties II, III et IV qui peuvent néanmoins être traitées de manière indépendante.

Les **parties II** et **III** présentent des exemples de mesures de coefficients de frottement solide.

La **partie IV** développe une modélisation simple du phénomène de « slip-stick ».

Partie I - Lois de Coulomb relatives au glissement

On rappelle ci-dessous les lois de Coulomb, en notant f_s et f_g les coefficients statiques et dynamiques du frottement et $\vec{T}$ et $\vec{N}$ les composantes tangentielle et normale de la réaction.

- En mode statique (absence de glissement donc adhérence), la norme de la composante tangentielle $\|\vec{T}\|$ est inférieure à la quantité $f_s \|\vec{N}\|$ dans laquelle $\|\vec{N}\|$ représente la norme de la composante normale $\vec{N}$ de la réaction : $\|\vec{T}\| \leq f_s \|\vec{N}\|$.
- En mode dynamique (présence de glissement), on a alors l'égalité $\|\vec{T}\| = f_g \|\vec{N}\|$ avec une composante tangentielle toujours opposée à la vitesse de glissement : $\vec{T} \cdot \vec{v}_g < 0$ et $\vec{T} \wedge \vec{v}_g = 0$.

- Q1.** a) Définir ce qu'on appelle la vitesse de glissement $\vec{v}_g$ d'un solide par rapport à un autre en un point de contact.
b) Doit-on préciser dans quel référentiel elle est exprimée ?
- Q2.** Expliquer à quelle condition on passe de l'adhérence au glissement.
- Q3.** Expliquer à quelle condition on passe du glissement à l'adhérence.

Partie II - Mesure du coefficient de frottement dynamique

On utilise le dispositif représenté sur la **figure 1**. Un solide 1 de masse M est lié, par un fil inextensible et supposé sans masse, à un solide 2 de masse αM ($\alpha > 1 > f_s$). Le fil sans masse de longueur L passe sur la gorge d'une poulie idéale. Le solide 1 se déplace sur un support fixe S horizontal. On appelle H l'altitude du centre de masse du solide 2 au-dessus d'un support horizontal S'.

À l'état initial, les solides sont tous immobiles, le solide 1 est à l'abscisse $X(t=0) = X_0$ et le solide 2 est à l'altitude $H(t=0) = H_0$.

On veut dans cette expérience déterminer la valeur du coefficient f_g de frottement relatif au glissement entre le matériau constitutif de S et celui du solide 1. On mesure la distance D parcourue par le solide 1 sur le support S, sachant que le solide 2 touche S'avant que le solide 1 ne s'arrête.

Consignes : on note g l'accélération de la pesanteur. On notera systématiquement T et N les normes des composantes tangentielle et normale de la réaction du support S sur le solide 1 (**figure 1**), avec f_g le coefficient de frottement dynamique. On supposera l'appui du solide 1 uniformément réparti avec une même valeur du coefficient de frottement en tout point de la surface de contact.

- Q4.** Décrire qualitativement les deux phases successives du mouvement de l'ensemble en précisant pour chacune d'elles si le fil est tendu ou non tendu.
- Q5.** La nature « idéale » de la poulie et du fil permet de considérer que la norme F de la tension du fil est conservée tout le long du fil. En appliquant le théorème de la résultante cinétique au solide 1 et au solide 2, écrire les 3 relations qui lient N , T , F , g , α , M , l'accélération horizontale $\ddot{X}$ du solide 1 et l'accélération verticale $\ddot{Z}$ du solide 2.
- Q6.** Traduire la loi de Coulomb pour exprimer $\vec{T}$.
- Q7.** On s'intéresse à la première phase du mouvement.
 a) Exprimer le lien entre $\ddot{X}$ et $\ddot{Z}$ en le justifiant dans cette première phase.
 b) Établir dans cette phase la vitesse $\dot{X}(t)$ en fonction de α , f_g et g .
 c) Quelle est la durée t_1 de cette première phase ?
 d) Quelle est la vitesse correspondante atteinte V_1 ?
- Q8.** On s'intéresse à la deuxième phase du mouvement.
 a) Exprimer $X(t)$ dans cette phase en fonction de t , t_1 , V_1 , X_0 , H_0 , g et f_g .
 b) Exprimer f_g en fonction de α , H_0 et D .
- Q9.** Retrouver ce résultat en appliquant le théorème de l'énergie cinétique à chacune des deux phases du mouvement.

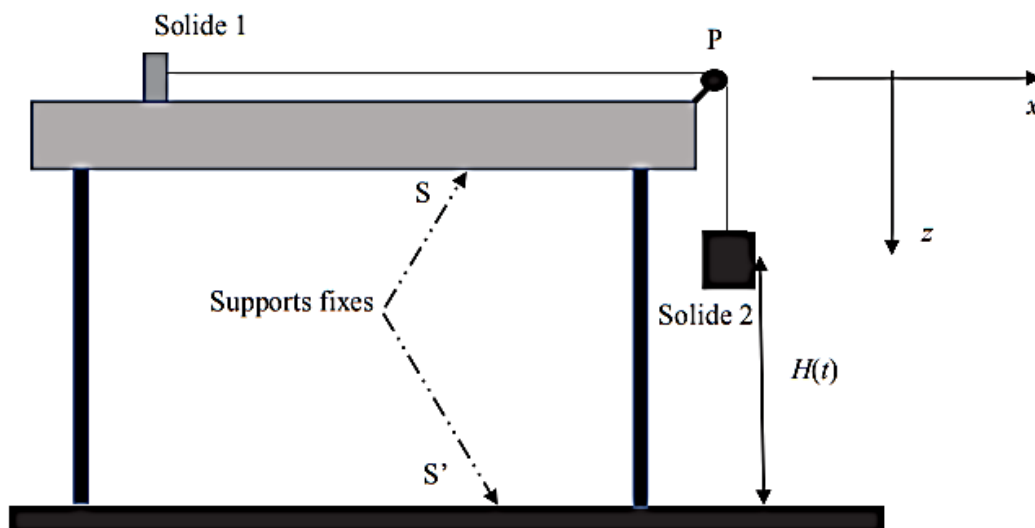


Figure 1 - Premier dispositif : mesure du coefficient de frottement dynamique.

- Q10.** On réalise l'expérience plusieurs fois de suite, en partant toujours de la valeur de $H_0 = 40,0$ cm. La masse du solide 1 vaut $M = 50$ g et celle du solide 2 vaut $\alpha M = 60$ g. Calculer la valeur du coefficient de frottement f_g sachant qu'on a trouvé une valeur moyenne de la distance D égale à $\langle D \rangle = 1,50$ m.

Partie III - Mesure du coefficient de frottement statique

- Q11.** On pose maintenant le solide 1 sur le support S qui fait un angle θ avec le plan horizontal. Le dispositif est représenté sur la **figure 2**. On fait augmenter, à partir d'une valeur faible, l'angle θ en déplaçant lentement un coin et on mesure pour quelle valeur $\theta = \theta_{lim}$ le solide 1 se met à glisser. Montrer que cette expérience permet de mesurer le coefficient de frottement f_s .

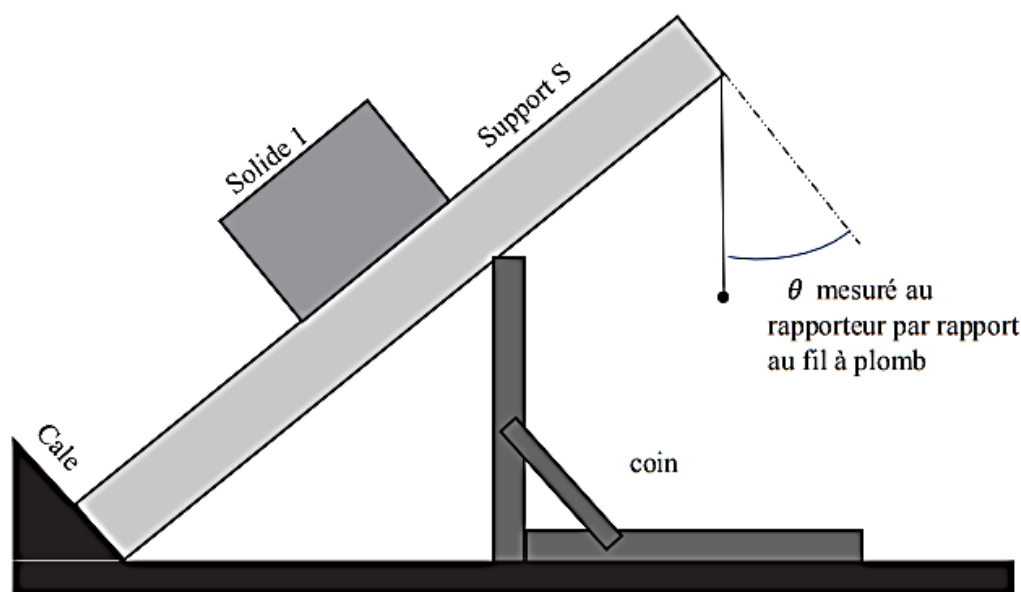


Figure 2 - Second dispositif : mesure du coefficient de frottement statique.

- Q12.** On réalise plusieurs essais successifs de décrochement et la valeur moyenne de θ_{lim} est de l'ordre de $29,5^\circ$. En déduire l'ordre de grandeur du coefficient de frottement mesuré.

-- FIN DE L'ENONCE --