



DEVOIR SURVEILLÉ 6 – PHYSIQUE-CHIMIE

D.Malka – MPSI 2019-2020 – Lycée Jeanne d'Albret

29.02.2020

Durée de l'épreuve : 2h00

L'usage de la calculatrice est autorisé.

L'énoncé de ce devoir comporte 5 pages

- La numérotation des exercices doit être respectée.
- Les résultats doivent être systématiquement encadrés.
- Les pages doivent être numérotées de la façon suivante : n° page courante / nombre total de pages.
- Il ne faudra pas hésiter à formuler des commentaires. Le barème tiendra compte de ces initiatives ainsi que des qualités de rédaction de la copie.
- Si, au cours de l'épreuve, vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, signalez le sur votre copie et poursuivez votre composition en expliquant les raisons des initiatives que vous êtes amené à prendre.

Problème 1 – 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.

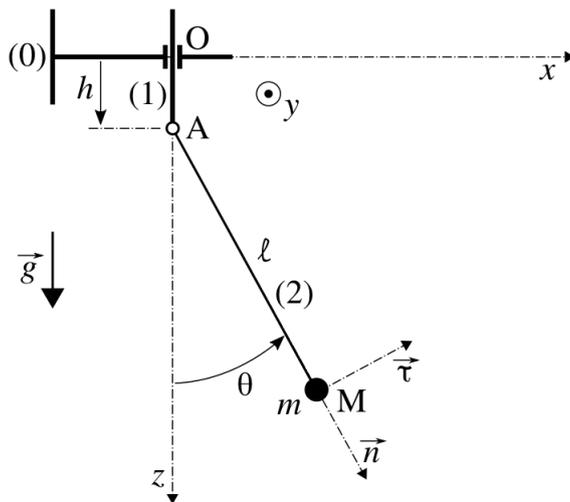


FIGURE 1 – Pendule (2) (m, l) oscillant autour du point A . Ce point peut être animé d'un mouvement selon l'axe (Oz) , relativement au référentiel galiléen d'observation \mathcal{R}_0 , par une action extérieure (action sur le paramètre géométrique h).

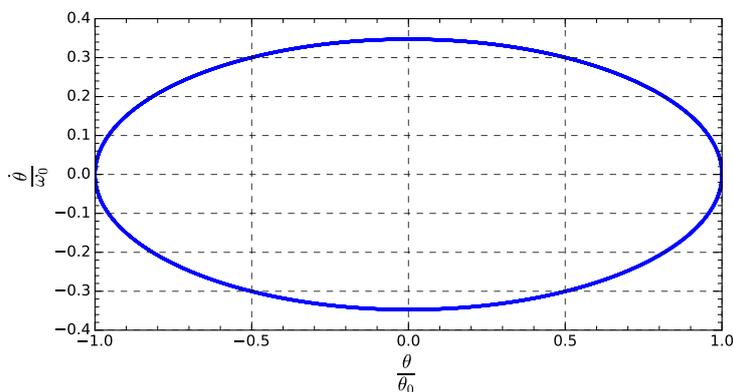
L'étude porte sur l'amplification de l'amplitude des oscillations du pendule autour de l'angle nul en agissant périodiquement sur le paramètre géométrique h . Nous ne nous placerons dans la limite des petits angles que lorsque cela sera précisé.

Données :

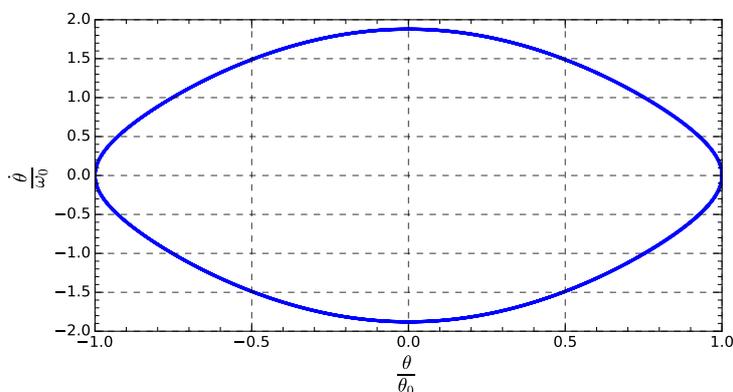
— $\vec{g} = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

— $2 \cos a \cos b = \cos(a + b) + \cos(a - b)$

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 D’après vous, quelle est la nouvelle équation du mouvement entre les choix :

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

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

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

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 :

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

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.

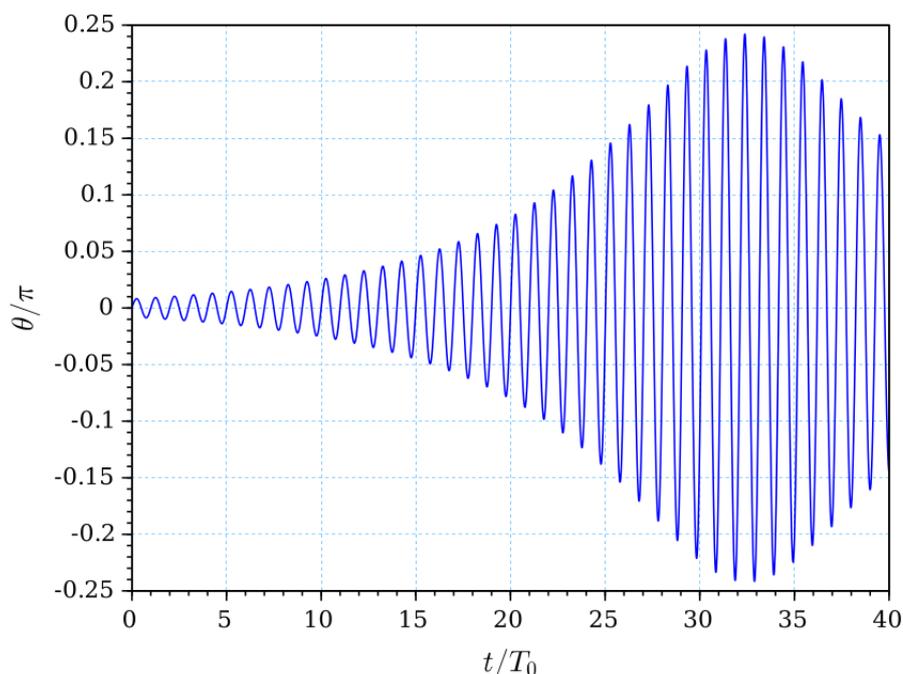


FIGURE 3 – Oscillations du pendule

Problème 2 – Le sol martien

En 2008, la mission Mars phoenix de la NASA découvre dans les sols martiens la présence de sels de perchlorate ($Mg(ClO_4)_2$, $Ca(ClO_4)_2$, $KClO_4, \dots$), susceptibles de se décomposer sous l’effet de températures élevées ou d’une exposition aux rayons ultra-violetts 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.

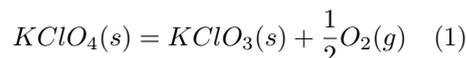
1. Généralités

1.1 Les configurations électroniques des atomes O et Cl dans leur état fondamental.

1.2 Établir le schéma de Lewis de l’ion perchlorate ClO_4^- (l’atome de chlore est l’atome central de l’ion).

2. Étude thermodynamique d’une réaction de destruction des ions perchlorate

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



de constante d’équilibre $K(T_0) = 1,7 \times 10^{-4}$ pour $T_0 = 210$ K.

2.1 Étant donnée la valeur de la constante d’équilibre de la réaction, la décomposition des perchlorates à la surface de Mars semble-t-elle être un problème ?

2.2 En réalité, il existe sur Mars un ensemble de mécanismes fixant la pression partielle en dioxygène gazeux à la valeur $P_{O_2} = 0,80$ Pa. Quel est l’effet de ce mécanisme sur la décomposition des perchlorates et l’habitabilité de Mars ?

3. Étude cinétique de la décomposition des molécules de chloro-glycine

En 2012, en reproduisant les conditions d’exposition aux rayons ultra-violetts solaires qui règnent sur Mars, l’université de Weber (Utah, États-unis) a étudié, en solution aqueuse, les réactions de formation d’acides α -aminés chlorés (chloro-glycine et chloro-alanine) à partir des ions hypochlorite (constituant issu de réactions de réduction des ions chlorate sur Mars) et d’acides α -aminés (glycine et alanine). Exposée aux rayons ultra-violetts, la chloro-glycine (que nous désignons par A (aq) par la suite), par exemple, est un constituant instable.

Nous nous intéressons ici, à la température de 298 K, à la cinétique de la réaction de décomposition de ce constituant en solution aqueuse selon la réaction d’équation écrite formellement :



Trois expériences ont été réalisées avec des concentrations molaires initiales $[A]_0$ valant $1,00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $2,00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et $5,00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. L’évolution temporelle de la concentration molaire en A est représentée sur la figure 4.

3.1 Définir le temps de demi-réaction et l’estimer graphiquement pour chacune des trois expériences. En déduire l’ordre de la réaction.

3.2 L’université de Weber a obtenu une valeur de la constante de vitesse k égale à $1,65 \times 10^{-6}$ SI. Est-ce en accord avec les données expérimentales de la figure 4.

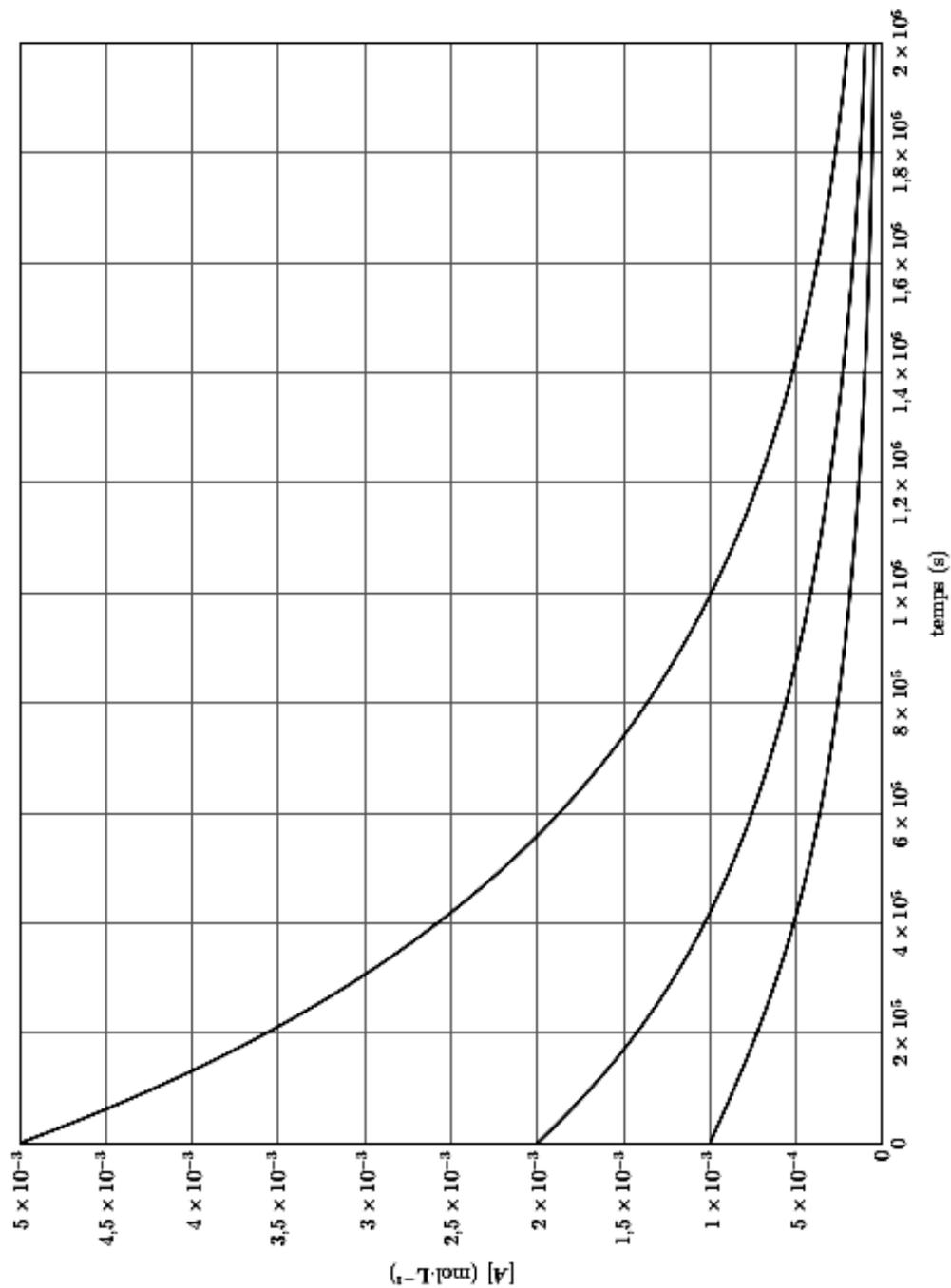


FIGURE 4 – Évolution temporelle de la concentration en chloro-glycine pour trois concentrations molaires initiales différentes $[A]_0 = 1,00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $[A]_0 = 2,00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $[A]_0 = 5,00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$