

# Préparation à l'agrégation de chimie : Devoir de rentrée

Option Chimie

Composition de physique

Durée : 4 heures

Calculatrice de poche - y compris programmable, alphanumérique ou à écran graphique - à fonctionnement autonome, non imprimante autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

*Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.*

***NB : Hormis l'en tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc... Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.***

Tournez la page svp

## Données :

### Quelques propriétés de l'eau :

Capacité calorifique massique de l'eau liquide sous pression atmosphérique :

$$c = 4,18 \text{ J.g}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Chaleur latente massique de fusion de la glace sous pression atmosphérique :

$$\Delta h_f = 335 \text{ J.g}^{-1}$$

Chaleur latente massique de vaporisation sous pression atmosphérique :

$$\Delta h_v = 2256 \text{ J.g}^{-1}$$

Point triple de l'eau : (273,16 K - 611 Pa)

Diagramme P-T de l'eau :

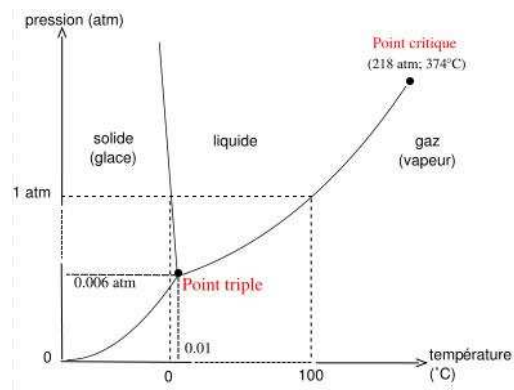


Figure 1: Diagramme P-T de l'eau.

## I - Mécanique : Variations autour du pendule simple

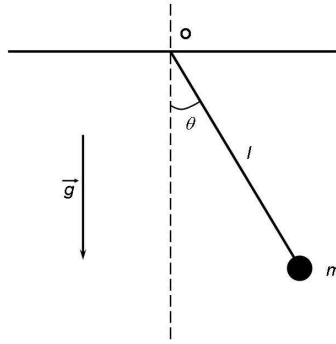


Figure 2: Schéma d'un pendule.

### I.1. Mise en équation et résolution analytique.

On considère un pendule formé par une masse  $m$ , supposée ponctuelle, située au bout d'une liaison rigide de longueur  $l$  de masse négligeable et fixée en un point O (cf figure 2). Le référentiel du laboratoire est supposé galiléen et les frottements sont négligés. Initialement, le pendule est écarté de sa position d'équilibre d'un angle  $\theta_0$  et lâché avec une vitesse nulle.

Pour les applications numériques, on considérera un pendule de longueur  $l = 1$  m et de masse  $m = 2$  kg.

I.1.a. Définir le poids d'un corps. Quelle autre force s'exerce sur la masse  $m$  ?

I.1.b. Quel est le nombre de degré de liberté du système ? Quelle méthode est la plus efficace pour traiter un tel problème ?

I.1.c. Que vaut l'énergie potentielle du système lorsque la masse fait un angle  $\theta$  par rapport à la position d'équilibre ? (On pourra prendre par exemple une énergie potentielle nulle pour la position d'équilibre). Tracer son allure et commenter la parité de cette fonction. Que devient cette fonction aux petits angles ?

I.1.d. Déterminer les positions d'équilibre du système, leur stabilité, l'équation d'évolution du pendule et la pulsation des petites oscillations au voisinage des équilibres stables. On introduira une pulsation caractéristique du système dont on justifiera la dimension.

I.1.e. Application numérique : que vaut la période  $T_0$  du pendule ?

I.1.f. Retrouver l'équation d'évolution du pendule en utilisant le principe fondamental de la dynamique. A quelle tension maximale le fil doit-il pouvoir résister ? Application numérique pour un angle initial de  $10^\circ$ .

I.1.g. Énoncer le théorème du moment cinétique en un point fixe. L'appliquer au pendule et retrouver l'équation d'évolution.

## I.2. Discussion

I.2.a. En réalité, le pendule s'arrête au bout d'un temps fini. Expliquer pourquoi.

I.2.b. À quoi sert un tel dispositif ?

I.2.c. Hormis les frottements, par quel phénomène l'air peut-il modifier la période du pendule par rapport au cas idéal ?

I.2.d. Citer d'autres oscillateurs régis par l'équation d'évolution du pendule aux petits angles dans différents domaines de la physique ?

I.2.e. Quel est le principe physique sous-jacent au fait que  $\omega_0$  ne dépend pas de la masse du système, contrairement à tous les autres oscillateurs mécaniques ?

I.2.f. Le Botafumeiro de Saint-Jacques de Compostelle est un encensoir qui se comporte comme un pendule de longueur variable. Huit hommes donnent de la corde au point le plus élevé et tirent sur elle au point le plus bas. En quoi est-ce utile ? Comment appelle-t-on ce type d'oscillateur ?

I.2.g. Que se passe-t-il lorsque le référentiel terrestre ne peut plus être considéré comme galiléen ? Connaissez-vous une célèbre expérience illustrant ce phénomène ?

I.2.h. On considère cinq pendules de mêmes masses  $m$  initialement tangents formant

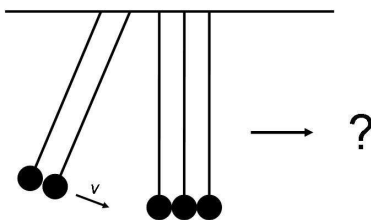


Figure 3: Les pendules de Newton.

un dispositif dit des pendules de Newton (cf figure 3). On écarte deux pendules de leur position d'équilibre et on les lâche ensemble, de telle sorte qu'ils arrivent sur les trois

autres avec une vitesse  $v$ . Après le choc, peut on avoir un pendule (celui de droite) qui se soulève, avec une vitesse  $2v$  ?

### I.3. Pendule aimanté

On considère maintenant que le pendule contient un petit aimant. Un autre aimant

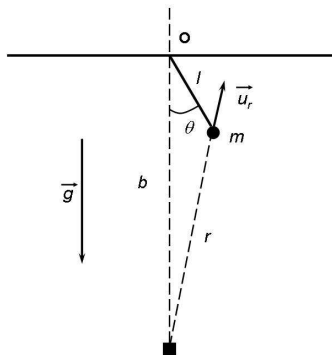


Figure 4: Schéma d'un pendule aimanté.

est placé sous le pendule, verticalement et à une distance  $b$  du point d'attache. La masse subit alors une force centrale répulsive,  $\vec{F} = \frac{k}{r^2} \vec{u}_r$  (cf figure 4). On va chercher quel est le nouveau comportement du pendule.

I.3.a. Donner les valeurs possibles de  $r$  en fonction de  $\lambda^3 = \frac{kb}{mg}$ . Quelle est la dimension de cette constante et que traduit elle ?

I.3.b. Combien de degrés de liberté caractérisent l'état du système? Donner les expressions des énergies cinétique et potentielle du pendule.

I.3.c. Ecrire la conservation de l'énergie mécanique. La mettre sous une forme  $\frac{\dot{\theta}^2}{2} + \omega_0^2 h(\theta) = \text{cste}$  où  $\omega_0$  est une constante à préciser et  $h$  une fonction de  $\theta$  dont on donnera l'expression (on pourra introduire la grandeur  $\lambda$ ).

I.3.d. Quelles sont les positions d'équilibre possibles pour le pendule aimanté?

I.3.e. Discuter intuitivement la stabilité de ces équilibres (On séparera les cas  $\lambda < b-l$ ,  $b-l < \lambda < b+l$  et  $\lambda > b+l$ ). Comment ferait-on pour prouver mathématiquement ces résultats ?

I.3.f. Calculer la pulsation des petites oscillations autour de  $\theta = 0$  pour  $\lambda < b-l$ .

## II - Thermodynamique : 12 questions sur différents aspects des changements d'états de l'eau

Le but de cette partie est d'utiliser les connaissances de base de la thermodynamique afin d'expliquer certains phénomènes de la vie de tous les jours. Pour répondre aux questions, on demande une réponse courte et précise, pouvant s'appuyer sur un calcul, un schéma ou encore l'évaluation d'un ordre de grandeur (on pourra utiliser à bon escient les données fournies dans l'énoncé).

**Q1** - Avec l'énergie nécessaire pour évaporer 1 litre d'eau liquide, de combien d'étages pourrait-on lever une voiture ?

**Q2** - Quel est l'intérêt de cuisiner avec une cocotte-minute ?

**Q3** - On fait bouillir de l'eau une première fois. On la laisse refroidir, puis on la reporte à nouveau à ébullition. Observe-t-on des différences dans la casserole ?

**Q4** - Pourquoi les océans s'évaporent-ils (les nuages se forment) alors que la température ambiante n'est pas de  $100^{\circ}\text{C}$  ?

**Q5** - Que se passe-t-il lorsque l'on souffle sur une vitre froide ?

**Q6** - Pourquoi pour décongeler une gourde, la remplit-on d'eau et la place-t-on au congélateur ?

**Q7** - Pour refroidir un verre de pastis, doit-on mettre 10 grammes de glace à  $0^{\circ}\text{C}$  ou 10 grammes d'eau liquide à  $0^{\circ}\text{C}$  ?

**Q8** - Pourquoi trouve-t-on toujours une piscine à côté d'une patinoire ?

**Q9** - Pour lyophiliser un aliment, on le congèle (on est donc à basse température pour ne pas dénaturer l'aliment), puis on le sublime. Est-on à forte ou à faible pression pour réaliser la sublimation ?

**Q10** - Pourquoi transpire-t-on ?

**Q11** - Est-il facile de faire bouillir de l'eau dans une station spatiale ?

**Q12** - Peut-on trouver de l'eau liquide à pression atmosphérique à des températures en dessous de  $0^{\circ}\text{C}$  ?

### III - Electrostatique : conducteurs chargés et effet de pointe

Le but de cette partie est d'expliquer la nature du champ électrique au voisinage d'un conducteur chargé à l'équilibre (problème électrostatique). En particulier, on regardera le comportement du champ lorsque le conducteur a une forme de pointe.

III.1. Rappeler pourquoi le champ électrique à l'intérieur d'un conducteur à l'équilibre est nul.

III.2. Redonner les équations de Maxwell où intervient le champ électrique. Redémontrer le théorème de Gauss. Que deviennent ces équations pour un problème statique ? En déduire une relation entre le champ électrique  $\vec{E}$  et le potentiel  $V$ .

III.3. On considère maintenant une sphère de rayon  $R$  conductrice à l'équilibre, chargée par une charge  $Q$ . Déterminer le champ électrique ainsi que le potentiel juste à l'extérieur de la sphère (on prendra  $V = 0$  à l'infini).

III.4. Enoncer les conditions de continuité du champ électrique à une interface. En déduire la charge surfacique de la sphère chargée conductrice à l'équilibre.

III.5. On considère maintenant deux sphères chargées par des charges  $Q_1$  et  $Q_2$ , de rayons  $R_1$  et  $R_2$ . Elles sont reliées par un fil de section négligeable, non chargé, servant juste à maintenir les deux sphères au même potentiel. On appelle  $E_1$  et  $E_2$  les valeurs des champs électriques au niveau des surfaces extérieures des sphères. Exprimer le rapport  $\frac{E_2}{E_1}$  en fonction du rayon des sphères.

III.6. Que se passe-t-il si l'un des rayons des sphères est très petit devant l'autre ? Expliquer pourquoi au bout d'une pointe chargée, le champ électrique est grand. Connaissez vous des manifestations de ce phénomène dans la vie quotidienne ?