

BACCALAUREAT GENERAL

EPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPECIALITE

SESSION 2024

Spécialité Physique-Chimie

Sujet 1

Durée de l'épreuve : **3 heures 30 min**

Avril 2024

Sommaire :

Exercice 1 : La planète Mercure (5 points)

Exercice 2 : Chauffe-eau (5 points)

Exercice 3 : Batterie lithium – fer – phosphate d'une automobile (5 points)

Exercice 4 : Le pomelo (5 points)

Ce sujet comporte 7 pages.

Les quatre exercices sont obligatoires.

Calculatrice en mode examen autorisée.

Exercice 1 : La planète Mercure (5 points)

Planète la plus proche du Soleil, Mercure est longtemps restée mal connue. En première approximation, sa trajectoire dans le référentiel héliocentrique peut être considérée comme circulaire. Toutefois, de toutes les planètes du Système solaire, c'est celle qui possède l'orbite la plus excentrique. Sa distance au Soleil varie en effet de 0,31 ua à 0,47 ua. La vitesse orbitale de Mercure, qui vaut en moyenne $47 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$, varie quant à elle entre les valeurs extrêmes $39 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ et $59 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$.

Ce n'est que récemment, entre mars 2011 et avril 2015, que la sonde américaine MESSENGER (MErcury Surface, Space ENvironment, GEochemistry and Ranging) a pu être satellisée autour de Mercure. En complément d'autres informations précieuses, la mission MESSENGER a permis de connaître avec précision la masse de cette planète qui ne possède aucun satellite naturel.

L'objectif de cet exercice est d'étudier le mouvement de Mercure autour du Soleil et le mouvement de MESSENGER autour de Mercure. Dans la première partie, on cherchera à déterminer la période de révolution de Mercure. Dans la seconde partie, on cherchera à préciser la trajectoire de MESSENGER.

Données :

- Rayon de Mercure : $R_M = 2440 \text{ km}$
- Unité astronomique : $1 \text{ ua} = 1,5 \times 10^{11} \text{ m}$
- Constante universelle de gravitation : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

Étude de la trajectoire de Mercure.

1. Énoncer la première loi de Kepler, dite « loi des orbites ». Représenter, sans souci d'échelle, l'allure de la trajectoire de Mercure autour du Soleil. Le schéma fera apparaître la position du Soleil et le demi-grand axe de l'orbite.
2. En vous appuyant sur le schéma réalisé et sur des informations tirées du texte introductif, montrer par un calcul simple que le demi-grand axe vaut 0,39 ua.
3. Énoncer la deuxième loi de Kepler, dite « loi des aires ». Appliquer cette loi pour déterminer dans quelle partie de sa trajectoire Mercure atteint la vitesse de $39 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. Une justification claire, pour laquelle le schéma pourra être complété, est attendue.

La troisième loi de Kepler est souvent écrite sous la forme : $\frac{T^2}{a^3} = k$, où la constante de Kepler k évoque le mot allemand « konstante ».

Donnée :

- Constante de Kepler pour le Système solaire : $k = 2,9 \times 10^{-19} \text{ s}^2 \cdot \text{m}^{-3}$

4. Donner la signification des grandeurs T et a pour Mercure. À l'aide des données utiles et de la troisième loi de Kepler, justifier que cette planète parcourt l'ensemble de son orbite autour du Soleil en un peu moins de trois mois.

Étude de la trajectoire de MESSENGER.

Une fois satellisée autour de Mercure, la sonde MESSENGER a effectué ses orbites avec une période de révolution T_S égale à 8,00 heures. Lors de son passage au plus près de la surface de la planète, à l'altitude h égale à 200 km, la sonde possédait une accélération a_S de valeur $3,15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. On supposera que cette accélération était uniquement due à l'attraction gravitationnelle de Mercure.

On rappelle l'expression de la force gravitationnelle exercée par un corps A de masse m_A sur un corps B de masse m_B : $\vec{F}_{A/B} = \frac{G \cdot m_A \cdot m_B}{r^2} \cdot \vec{u}$.

Dans cette expression, $\vec{u}$ est un vecteur unitaire orienté de B vers A et r représente la distance entre les centres de masse des corps.

Pour les questions suivantes, on pourra noter m_S la masse de la sonde, M la masse de Mercure et R_M son rayon.

La figure 1 représente la sonde MESSENGER (symbolisée par son centre de masse S) se déplaçant sur une portion de sa trajectoire à l'altitude h .

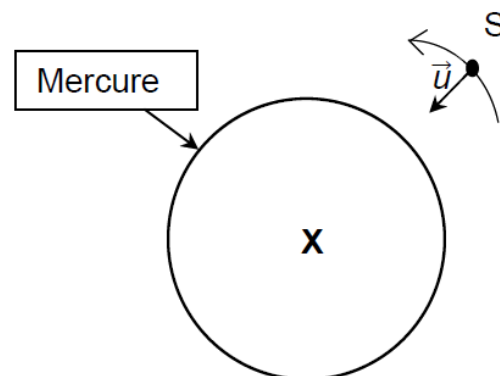


Figure 1 : La sonde MESSENGER passant au plus près de Mercure
(échelle non respectée)

5. Reproduire le schéma de la figure 1 pour le compléter en y faisant apparaître sans souci d'échelle :
- les distances R_M , h et r ;
 - le vecteur force gravitationnelle exercée par Mercure sur la sonde $\vec{F}_{M/S}$;
 - le vecteur vitesse $\vec{v}_S$ de la sonde ;
 - le vecteur accélération $\vec{a}_S$ de la sonde.
6. Énoncer la deuxième loi de Newton, puis l'appliquer au système MESSENGER dans le référentiel mercurocentrique considéré comme galiléen. En déduire l'expression du vecteur accélération $\vec{a}_S$ de la sonde.

7. À l'aide des données utiles, montrer que la valeur de l'accélération mesurée à l'altitude h permet d'attribuer à la planète Mercure une masse M égale à $3,29 \times 10^{23}$ kg.

Ses lois de la gravitation et du mouvement ont permis à Newton d'établir l'expression de la constante de Kepler pour tout corps de masse m orbitant autour d'un astre attracteur de masse M (très supérieure à m) : $k = \frac{4\pi^2}{G.M}$.

8. En appliquant la troisième loi de Kepler au mouvement de la sonde MESSENGER autour de Mercure, calculer la valeur du demi-grand axe, a , de son orbite. À l'aide de cette valeur, expliquer pourquoi la trajectoire de la sonde ne peut pas être considérée comme circulaire.

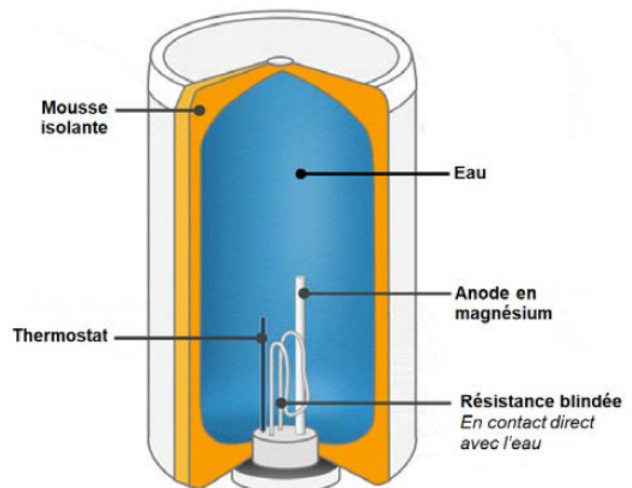
Exercice 2 : Chauffe-eau (6 points)

Mots clés : bilans énergétiques, premier principe de la thermodynamique, transfert thermique, travail

L'eau chaude sanitaire est le deuxième poste de dépense en électricité des foyers de France après le chauffage. Selon le fournisseur d'énergie EDF, elle représente entre 11 % et 15 % de la dépense totale.

Un chauffe-eau électrique, encore appelé cumulus ou ballon d'eau chaude, se compose principalement d'une cuve isolée (grâce à une mousse isolante) qui maintient l'eau à bonne température, et d'une résistance blindée qui permet la montée en température de l'eau. Cette isolation interne est généralement insuffisante et n'empêche pas les déperditions thermiques.

La température idéale de l'eau contenue dans un chauffe-eau se situe aux alentours de 55 à 60 °C. Au-delà de 65 °C, le risque d'apparition de tartre augmente. À l'inverse, une température trop basse (moins de 50 °C) peut favoriser le développement de bactéries comme la salmonelle.



La résistance thermique des parois du ballon contenant l'eau chaude est $R_{th} = 0,624 \text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$.

- Donner l'expression du flux thermique ϕ à travers les parois du ballon, entre l'eau chaude et l'air de la buanderie. Calculer sa valeur lorsque la température de l'eau est de 60°C . Préciser le sens du transfert thermique.
- Vérifier que la valeur de l'énergie perdue sur une journée par l'eau du ballon sous forme de transfert thermique vers l'air extérieur est environ $Q_{\text{journée}} = 5,5 \times 10^6 \text{ J}$. On négligera les pertes thermiques pendant la phase de chauffage.

La résistance blindée du chauffe-eau convertit l'énergie qu'elle reçoit par travail électrique W_{el} en énergie thermique. On considère que cette énergie est restituée intégralement par transfert thermique à l'eau du ballon, en contact direct avec la résistance.

- En appliquant le premier principe de la thermodynamique à l'eau du ballon et en tenant compte des pertes thermiques à travers les parois du ballon, montrer que la consommation d'énergie électrique de la famille pour produire 200 L d'eau chaude sanitaire par jour a pour valeur environ $4,3 \times 10^7 \text{ J}$.
Pour cette question, la rigueur des calculs, la rédaction du raisonnement et toute initiative prise durant la démarche, même non aboutie, seront valorisées lors de la correction.

Exercice 3 : Batterie Lithium – Fer - Phosphate (5 points)

Les batteries lithium-ion sont devenues une source d'électricité indispensable pour nos dispositifs électroniques portables et portatifs dont la taille ne cesse de se réduire. En outre, du fait de leurs avantages remarquables par rapport aux autres types de batteries, par exemple leur densité de stockage d'énergie supérieure, elles ont permis le développement d'un large éventail d'applications au-delà de leur cœur de cible technologique, notamment pour les véhicules hybrides et électriques. <https://cordis.europa.eu/article/id/242819-improved-lithiumion-batteries-to-boost-electric-vehicles/fr>

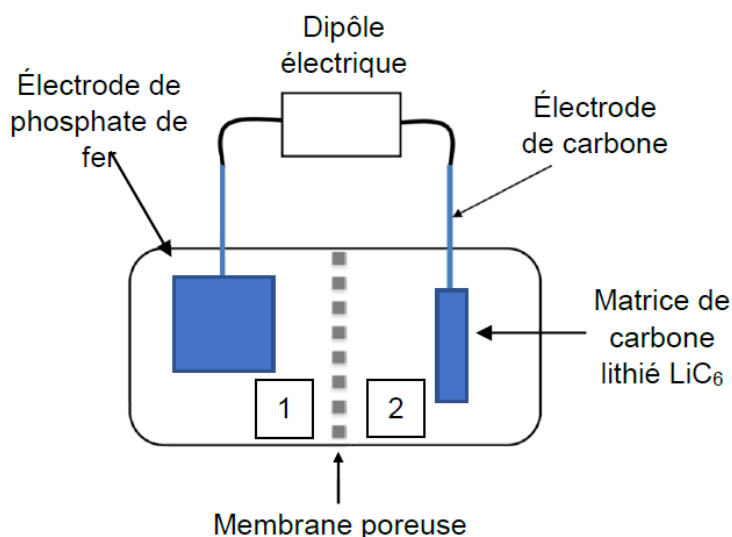
Données :

- charge élémentaire : $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$;
- constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$;
- équivalence ampère-heure / coulomb : $1,0 \text{ Ah} = 3,6 \times 10^3 \text{ C}$;
- masses molaires : $M(\text{LiC}_6) = 78,9 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, $M(\text{FePO}_4) = 150,8 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Caractéristiques de la batterie

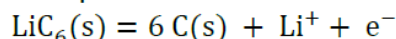
L'électrode de phosphate de fer, FePO_4 , du compartiment 1 a une masse $m(\text{FePO}_4) = 4,7 \text{ kg}$ et lorsque la batterie est chargée, l'électrode du compartiment 2 est recouverte d'une matrice de carbone lithié de formule LiC_6 pesant $1,1 \text{ kg}$. Les électrodes plongent dans un électrolyte organique ionique contenant des ions lithium et les deux compartiments sont séparés par une membrane.

Pour démarrer, la voiture nécessite une charge électrique $q_D = 45 \text{ Ah}$.

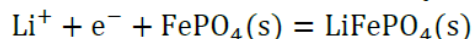


Lors de la décharge de la batterie, les transformations chimiques en jeu sont modélisables par deux réactions électrochimiques aux électrodes dont les équations figurent ci-dessous.

- Libération du lithium dans le compartiment 2 :



- Formation de phosphate de fer lithié de formule LiFePO_4 :



1. Identifier l'électrode où se produit une oxydation et celle où se produit une réduction. Justifier.
2. Reproduire le schéma de la pile, indiquer les polarités des électrodes et représenter les porteurs de charges et leur sens de circulation lorsque la pile débite.
3. Écrire l'équation de la réaction modélisant le fonctionnement de la pile.
4. La valeur de la constante d'équilibre de la réaction de fonctionnement de la pile à 25 °C vaut $K = 10^{54}$. Conclure quant à la transformation chimique mise en jeu dans la pile.
5. Montrer que la valeur de l'avancement final de la transformation est $x_{\text{max}} = 14 \text{ mol}$. Indiquer ce qu'il se passe lorsque cette valeur est atteinte lors du fonctionnement de la batterie ?
6. Déterminer la valeur de la capacité électrique maximale q_{max} de cette batterie.
7. Indiquer si la batterie permet le démarrage du véhicule.

Exercice 4 : Le pomelo (5 points)

Le pomelo est un fruit résultant d'un croisement entre un pamplemoussier et un oranger. Cet agrume est connu pour sa teneur élevée en acide ascorbique (vitamine C) par rapport aux autres fruits, ce qui lui confère des propriétés « anti-oxydantes ». Il contient également de l'acide citrique.



L'objectif de cet exercice est d'étudier deux propriétés du jus de pomelo : des propriétés acido-basiques essentiellement dues à l'acide citrique et des propriétés « anti-oxydantes » dues à l'acide ascorbique.

Données :

- masse molaire moléculaire de l'acide citrique : $M(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7) = 192,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- masse molaire moléculaire de l'acide ascorbique : $M(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6) = 176,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- indicateurs colorés acide-base :

Nom	Couleur de la forme acide	Zone de virage	Couleur de la forme basique
Bleu de bromothymol	Jaune	6,0 – 7,6	Bleu
Hélianthine	Rouge	3,1 – 4,4	Jaune
Rouge de crésol	Jaune	7,2 – 8,8	Rouge

1. Acidité titrable d'un jus de pomelo

Le jus de pomelo est acide. Cette acidité est principalement due à trois espèces : l'acide citrique, le plus abondant, l'acide malique et l'acide ascorbique, présents en plus faible quantité.

Afin de comparer plus facilement l'acidité entre les agrumes, on considère que le seul acide présent dans le jus de pomelo est l'acide citrique, un triacide, que l'on note H_3A . On définit l'acidité titrable comme la masse, exprimée en grammes, d'acide citrique par litre de jus extrait de l'agrumes. L'acidité titrable d'un jus de pomelo est de l'ordre de la dizaine de grammes d'acide citrique pour un litre de jus.

Pour déterminer la valeur de l'acidité titrable d'un jus de pomelo, on réalise un titrage acido-basique de 20,0 mL de jus frais et filtré par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($Na^+(aq)$; $HO^-(aq)$) de concentration égale à $0,50 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, et on suit le titrage par pH-métrie. La courbe du titrage est présentée ci-dessous.

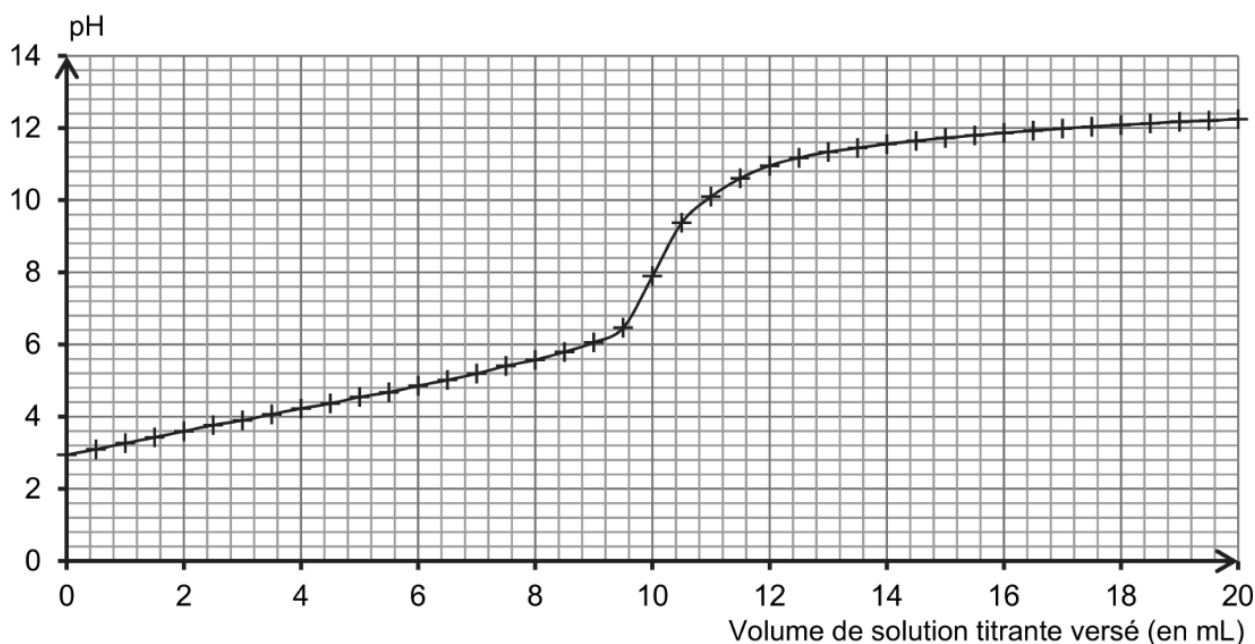


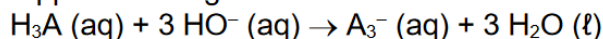
Figure 1. Courbe du titrage du jus de pomelo par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium

- 1.1. Déterminer graphiquement la valeur du pH du jus de pomelo frais et filtré. Commenter.
- 1.2. Schématiser et légender le montage permettant de réaliser ce titrage.
- 1.3. Titrage suivi par colorimétrie

1.3.1. Choisir, dans la liste des indicateurs colorés acido-basiques, celui qui peut être utilisé pour réaliser le titrage suivi par colorimétrie de l'acidité du jus de pomelo. Justifier.

1.3.2. Préciser le changement de couleur qui peut être observé lors du titrage.

L'équation de la réaction support du titrage est la suivante :



- 1.4. En exploitant la courbe du titrage (figure 1), déterminer l'acidité titrable du jus de pomelo. Commenter.