BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2024

PHYSIQUE-CHIMIE

MERCREDI 11 SEPTEMBRE 2024

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.

L'annexe page 12 est à rendre avec la copie.

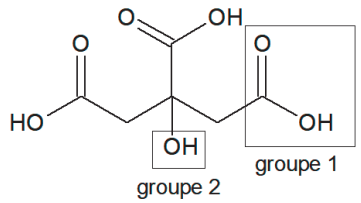
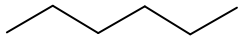
Exercice 1 - L'acide citrique comme produit ménager (9 points)

L'acide citrique est un acide naturellement présent dans les fruits, en particulier dans le jus de citron. Ses propriétés acides en font un détartrant utilisé comme produit ménager.
Le but de cet exercice est de déterminer la quantité de matière d'acide citrique présente dans le jus extrait d'un citron puis de vérifier l'indication « 1 pelle doseuse = la puissance de 10 citrons » notée sur l'emballage d'un produit ménager (voir photo ci-contre).



Données :

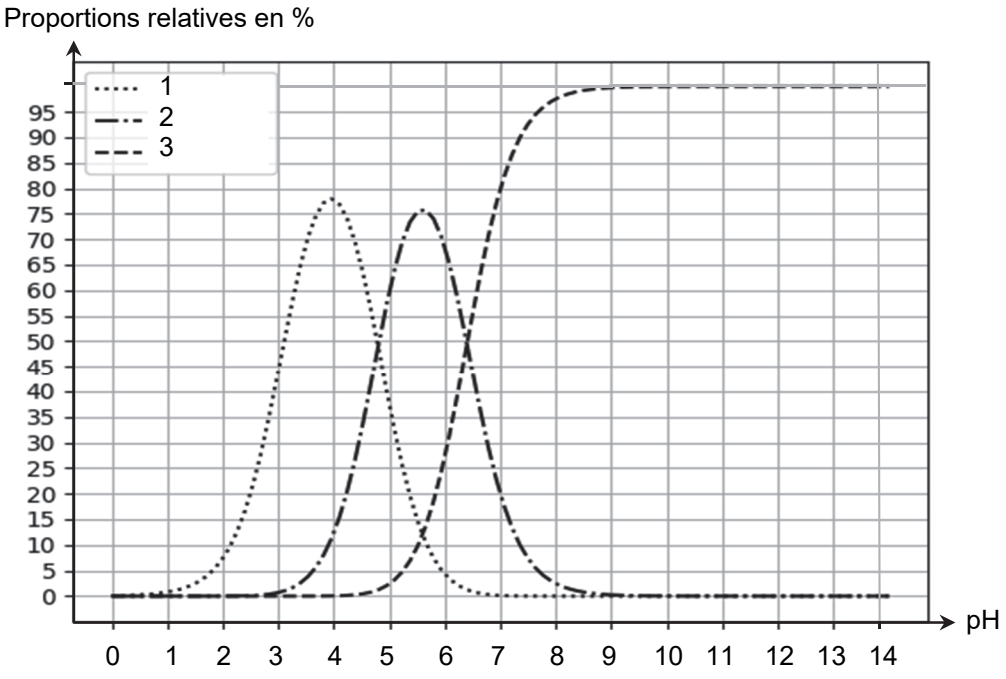
- l'acide citrique est un triacide, il est noté H_3A dans cet exercice ;
- les autres espèces acide-base associées à l'acide citrique sont notées H_2A^-, HA^{2-} et A^{3-} ;
- formules topologiques :

Acide citrique	Hexane
	

- masse molaire de l'acide citrique : M = 192,1 g·mol^{-1} ;
- pK_A à 25 °C des couples acide/base associés à l'acide citrique : pK_{A1} = 3,1 ; pK_{A2} = 4,8 ; pK_{A3} = 6,4 ;
- concentration standard : $c°$ = 1 mol·L^{-1} ;
- données de spectroscopie infrarouge :

Liaison	O–H d'un alcool	O–H d'un acide carboxylique	C=O	C–O	C=C
Nombre d'onde (en cm^{-1})	3100 – 3500	2800 – 3400	1700 – 1800	1200 – 1300	1620 – 1680
Allure de la bande caractéristique	Forte et large	Forte et large	Forte et fine	Forte et fine	Faible et fine

- diagramme de distribution de différentes espèces acido-basiques des couples associés à l'acide citrique :



1. Étude de quelques propriétés de l'acide citrique

Q1. Nommer les groupes caractéristiques 1 et 2 encadrés sur la formule topologique de l'acide citrique. Préciser celui qui est responsable des propriétés acides de la molécule dans l'eau.

Q2. Justifier que le spectre infrarouge de la figure 1 est compatible avec la structure chimique de l'acide citrique.

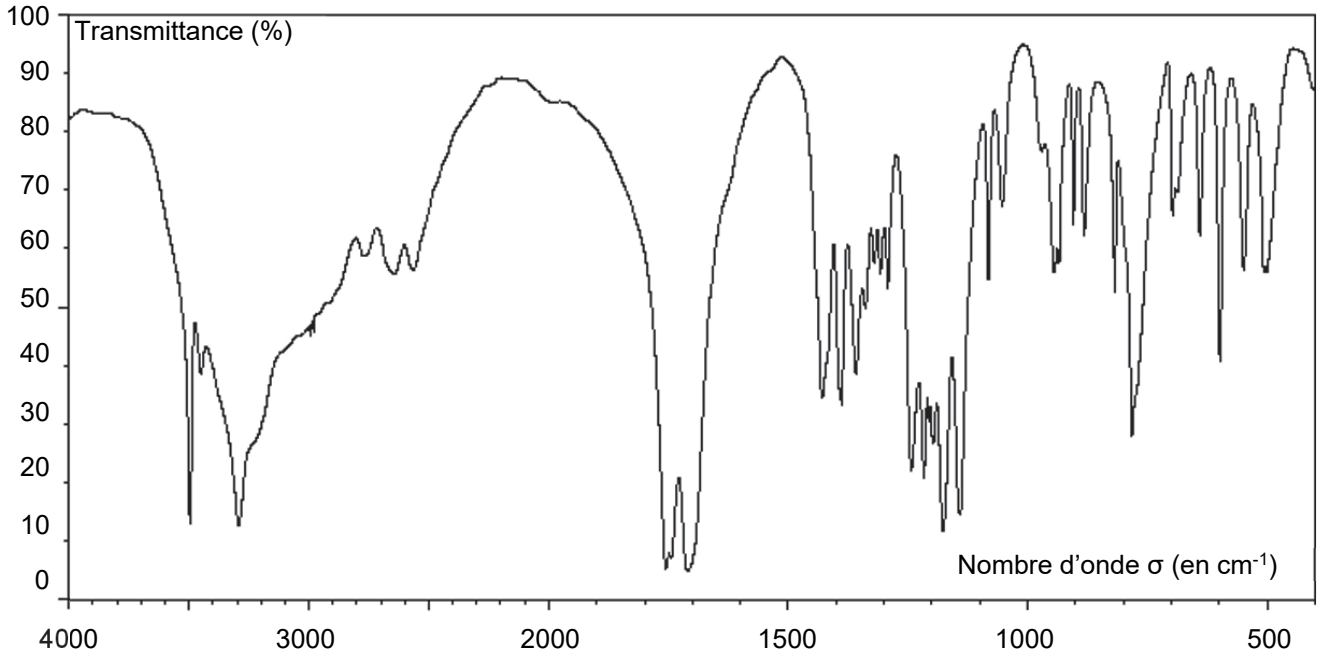


Figure 1. Spectre infrarouge de l'acide citrique

La solubilité de l'acide citrique dans l'eau à 25 °C est égale à 592 $g \cdot L^{-1}$. La solubilité de l'hexane dans l'eau vaut 9,5 $mg \cdot L^{-1}$.

Q3. Proposer une explication de la différence entre ces deux valeurs de solubilité.

Q4. Attribuer à chaque courbe numérotée du diagramme de distribution de l'acide citrique l'espèce chimique correspondante. Justifier ces attributions.

L'équation modélisant la réaction entre l'acide citrique H_3A et l'eau est :

$$H_3A(aq) + H_2O(\ell) \rightarrow H_2A^-(aq) + H_3O^+(aq)$$

On dispose au laboratoire d'une solution aqueuse d'acide citrique de concentration $c = 2{,}6\times10^{-2}$ $mol \cdot L^{-1}$. Son pH vaut environ 2,3.

Q5. Estimer, à l'aide du diagramme de distribution, les proportions en pourcentage de chaque espèce acido-basiques H_3A et H_2A^- de cette solution.

Q6. En déduire, par le calcul, qu'à pH = 2,3 les concentrations des espèces chimiques H_3A et H_2A^- sont voisines de $[H_3A]_{éq} = 2{,}2\times10^{-2}$ $mol \cdot L^{-1}$ et $[H_2A^-]_{éq} = 3{,}9\times10^{-3}$ $mol \cdot L^{-1}$.

Q7. Donner l'expression de la constante d'acidité K_{A1} du couple $H_3A(aq)/H_2A^-(aq)$ en fonction des concentrations en quantité de matière à l'équilibre $[H_3A]_{éq}$, $[H_2A^-]_{éq}$, $[H_3O^+]_{éq}$ et de la concentration standard $c°$. En déduire l'égalité $\frac{[H_2A^-]_{éq}}{[H_3A]_{éq}} = 10^{pH - pK_{A1}}$.

Q8. Déterminer si les proportions du diagramme de distribution à pH = 2 ,3 sont cohérentes avec la valeur du quotient $\frac{[H_2A^-]_{éq}}{[H_3A]_{éq}}$ calculée à l'aide de la relation démontrée la question **Q7**.

2. Titrage de l'acide citrique

Dans cette partie, on cherche à déterminer expérimentalement la masse d'acide citrique présente dans un citron. Le protocole expérimental suivant est réalisé :

- presser un citron avec un presse-agrumes ;
- filtrer le jus obtenu. Le volume de jus mesuré vaut V_{jus} = 46 mL après filtration ;
- diluer 10 fois le jus de citron filtré ;
- prélever un volume $V_{dilué}$ = 25,0 mL de jus de citron dilué et réaliser le titrage par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration $c_B = 2{,}5\times10^{-1}$ mol·L^{-1}, à l'aide d'un suivi pH-métrique.

Les valeurs des trois pK_A de l'acide citrique étant proches, les trois acidités sont titrées simultanément. L'équation de la réaction support du titrage s'écrit :

$$H_3A(aq) + 3\ HO^-(aq) \rightarrow A^{3-}(aq) + 3\ H_2O(\ell)$$

La courbe de titrage obtenue est représentée à la figure 2.

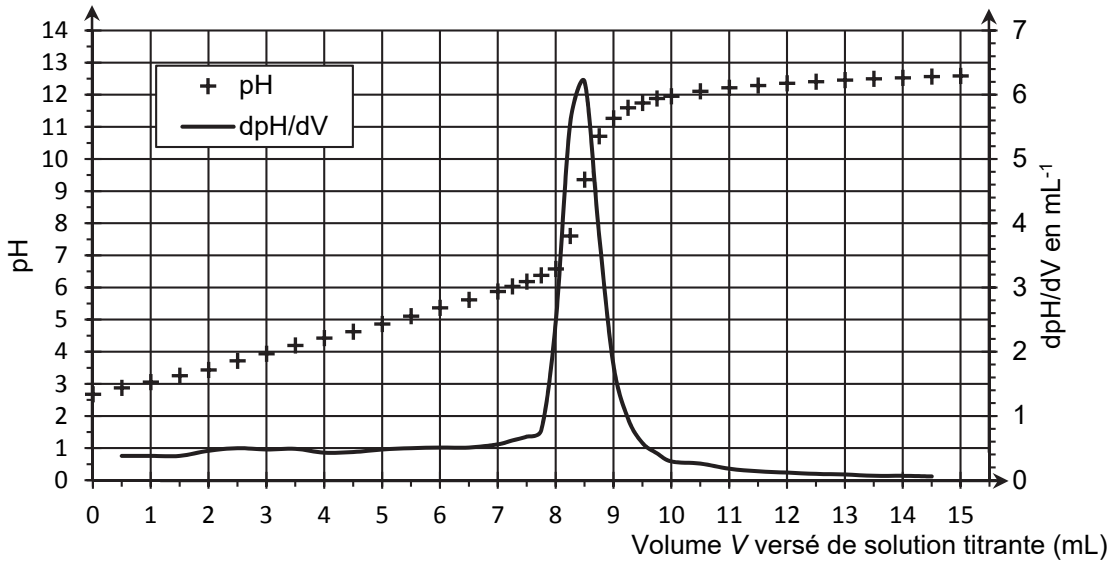


Figure 2. Courbe du titrage suivi par pH-métrie

Q9. À partir de la formule topologique de l'acide citrique H_3A, représenter la formule semi-développée de l'ion A^{3-}.

Q10. Proposer un protocole expérimental permettant de diluer 10 fois le jus de citron filtré. Justifier la verrerie utilisée.

Q11. Réaliser un schéma légendé du dispositif de titrage, en nommant le matériel et les solutions utilisées.

Q12. Choisir dans le tableau ci-dessous, en justifiant, un indicateur coloré adapté à ce titrage. Préciser, en justifiant, le changement de couleur de l'indicateur coloré à l'équivalence.

Nom de l'indicateur coloré	Zone de virage	Teinte en milieu acide	Teinte en milieu basique
hélianthine	3,1 – 4,4	rouge	jaune
rouge de méthyle	4,2 – 6,2	rouge	jaune
bleu de bromothymol	6,0 – 7,6	jaune	bleu
phénolphtaléine	8,2 – 10,0	incolore	rose

Q13. En supposant que l'acide citrique est le seul acide présent dans le fruit, déterminer la masse d'acide citrique présente dans le citron.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et doit être correctement présentée.

Avec un protocole similaire, on détermine que la masse d'acide citrique contenue dans une pelle-doseuse est égale à 23 g.

Q14. En déduire le nombre de citrons apportant la même masse d'acide citrique. Commenter.

Exercice 2 - La découverte de Neptune (5 points)

Suite à la découverte de la planète Uranus en 1781 et à l'étude de sa trajectoire, certains astronomes supposèrent l'existence d'une autre planète qui influencerait son mouvement. En 1846, le français Urbain Le Verrier parvint à proposer, par le calcul, des caractéristiques de cette nouvelle planète. Grâce aux indications de Le Verrier et à l'aide de la lunette astronomique de l'observatoire de Berlin, l'astronome Johann Galle repéra dès ses premières nuits d'observation le nouvel astre qui porte depuis le nom de Neptune.

Le but de cet exercice est d'analyser certaines prévisions de Le Verrier puis d'étudier l'observation de Neptune avec la lunette astronomique de l'observatoire de Berlin.

1. Les caractéristiques de Neptune selon les prévisions de Le Verrier

Données :

- conversion d'une distance exprimée en mètre (m) en une distance exprimée en unité astronomique (UA) : 1 UA = $1{,}50\times10^{11}$ m ;
- valeurs de référence actuellement admises pour quelques paramètres planétaires :
  - demi-grand axe l'orbite de la planète Uranus : $a_{\text{Réf U}}$ = 19,2 UA ;
  - période de révolution de la planète Uranus autour du Soleil *:* $T_{\text{Réf U}}$ = 84,1 ans ;
  - période de révolution de la planète Neptune autour du Soleil : $T_{\text{Réf N}}$ = 165 ans ;
- la planète Neptune est plus éloignée du Soleil que la planète Uranus ;
- pour discuter de l'accord du résultat d'une mesure avec une valeur de référence, on peut utiliser le quotient $\frac{|\,x - x_{\text{ref}}\,|}{u(x)}$ avec x la valeur mesurée, x_{ref} la valeur de référence et u(x) l'incertitude-type associée à la valeur mesurée x.

Sur la figure 1 ci-dessous, ont été représentés l'orbite elliptique d'une planète autour du Soleil ainsi que le demi-grand axe a de cette orbite.

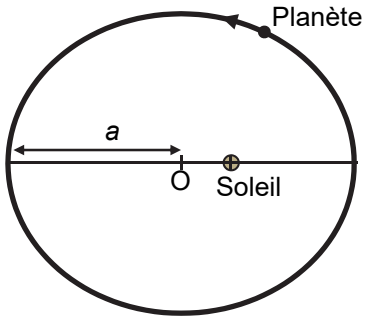


Figure 1. Orbite elliptique, de demi-grand axe a, d'une planète autour du Soleil

Q1. Nommer la position particulière occupée par le Soleil pour l'ellipse représentée en figure 1. Préciser le nom de l'astronome connu pour avoir établi ce résultat.

On peut montrer que pour tous les objets en orbite elliptique autour du Soleil, le rapport $\frac{T^2}{a^3}$ entre le carré de la période de révolution T et le cube du demi-grand axe a de l'orbite est le même.

Q2. Justifier que la période de révolution de Neptune est plus grande que celle d'Uranus.

Dans son mémoire présenté en 1846, Le Verrier indique que, selon ses calculs, Neptune a une orbite elliptique de demi-grand axe $a_{\text{Verrier N}}$ = 36,2 UA.

Q3. Déterminer à l'aide de $a_{\text{Réf U}}$, $T_{\text{Réf U}}$ et $a_{\text{Verrier N}}$, la valeur en années de la période de révolution $T_{\text{Verrier N}}$ de la planète Neptune pour l'orbite prévue par Le Verrier.

Grâce au mémoire de Le Verrier, il est possible d'estimer l'incertitude-type u($T_{\text{Verrier N}}$) associée à la valeur $T_{\text{Verrier N}}$ obtenue en **Q3** : u($T_{\text{Verrier N}}$) = 13 ans.

Q4. Discuter de l'accord du résultat de $T_{\text{Verrier N}}$ avec la valeur de référence actuelle $T_{\text{Réf N}}$.

Le Verrier a mené ses calculs en étudiant les perturbations exercées par Uranus sur Neptune. L'orbite d'Uranus n'était pas encore décrite avec précision au début du XIXe siècle. Le Verrier a donc été contraint à plusieurs approximations, ce qui explique la différence obtenue sur la trajectoire calculée pour Neptune comme en témoigne la figure 2.

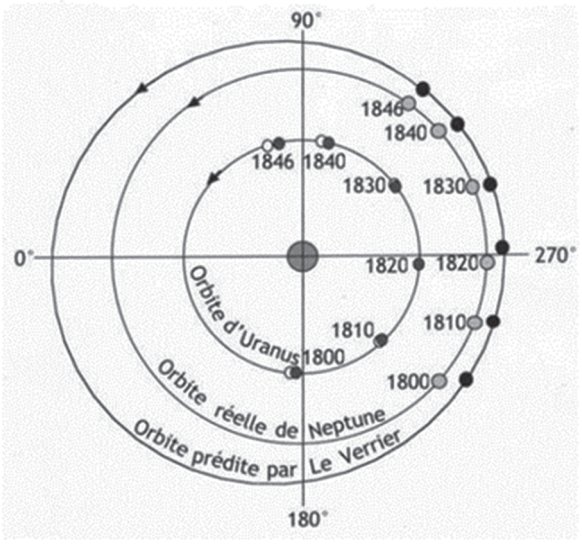


Figure 2. Orbites d'Uranus et de Neptune (le schéma n'est pas à l'échelle)
D'après La découverte de Neptune par Le Verrier (1846), James Lequeux

Q5. À l'aide de la figure 2, comparer de manière qualitative la valeur du demi-grand axe de l'orbite prédite par Le Verrier avec la valeur du demi-grand axe de l'orbite réelle de Neptune. Montrer la cohérence de la réponse avec les résultats de la question **Q3**.

2. Observation de Neptune

Données :

- distance entre Neptune et la Terre en août 1846 : $d_{\text{T–N}} = 4{,}4\times10^{9}$ km ;
- diamètre de Neptune : $D = 4{,}95\times10^{4}$ km ;
- pouvoir séparateur de l'œil : on peut distinguer deux points différents d'un astre si l'angle sous lequel on voit ces deux points depuis la Terre est supérieur ou égal à 3×10^{-4} rad environ ;
- approximation dans le cas de petits angles ($\theta << 1$ rad : $\tan\theta = \theta$).

L'observation de Neptune par Galle avec la lunette astronomique de l'observatoire de Berlin a été réalisée en août 1846. On note θ l'angle sous lequel Neptune a pu être vue à l'œil nu depuis la Terre à la fin de l'été 1846.

Q6. À l'aide des données, montrer que la valeur de l'angle θ est voisine de $1{,}1\times10^{-5}$ rad.

On modélise la lunette astronomique étudiée par un système de deux lentilles minces convergentes notées L_1 et L_2 comme représenté sur la figure 3 de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE.** Cette lunette est constituée d'un objectif (lentille L_1) et d'un oculaire (lentille L_2), dont les centres optiques sont notés respectivement O_1 et O_2 et dont les foyers images sont représentés par F'_1 et F'_2. Le foyer image F'_1 de l'objectif est par ailleurs confondu avec le foyer objet F_2 de l'oculaire.

Sur la figure 3 de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, la planète Neptune est modélisée par un objet AB situé à l'infini. Le point A est situé sur l'axe optique. Les rayons qui arrivent de A sont parallèles à l'axe optique. Le point B est situé en dehors de l'axe optique. Les rayons issus de B sont parallèles entre eux et atteignent la lentille L_1 avec une inclinaison θ par rapport à l'axe optique.

Q7. Expliquer pourquoi la figure 3 de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE** représente une lunette astronomique afocale.

Q8. Sur la figure 3 de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, compléter la marche des trois rayons lumineux du faisceau incident issu de B déjà tracés et traversant l'ensemble de la lunette.

On note θ' l'angle sous lequel on voit l'image donnée par la lunette astronomique et $G = \frac{\theta'}{\theta}$ le grossissement de celle-ci.

On donne deux caractéristiques de la lunette astronomique présente à l'Observatoire de Berlin en août 1846 :

- distance focale de l'objectif : $f'_1 = 4{,}27$ m ;
- distance focale de l'oculaire : $f'_2 = 28$ mm.

On négligera les effets liés à la diffraction lors de l'observation de Neptune avec cette lunette astronomique.

Le Verrier a écrit : « non seulement on pourra apercevoir la nouvelle planète dans les bonnes lunettes, mais encore on la distinguera par l'amplitude de son disque ; son apparence ne sera pas réduite à celle d'une étoile [ponctuelle]. ».

Q9. Après avoir établi l'expression du grossissement G en fonction des distances focales f'_1 et f'_2, calculer la valeur de l'angle θ' sous lequel Galle a pu observer Neptune avec la lunette astronomique de l'observatoire de Berlin. Commenter la phrase de Le Verrier.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et doit être correctement présentée.

Exercice 3 - Étude d'une bouteille isotherme (6 points)



Une bouteille isotherme permet de maintenir un liquide au chaud ou au froid pendant une certaine durée. L'efficacité de la bouteille isotherme dépend des conditions d'utilisation mais aussi de sa constitution.

L'objectif de cet exercice est d'évaluer la capacité thermique du vase interne d'une bouteille isotherme, schématisée en figure 1, et d'en déduire la nature possible du métal qui constitue ce vase.

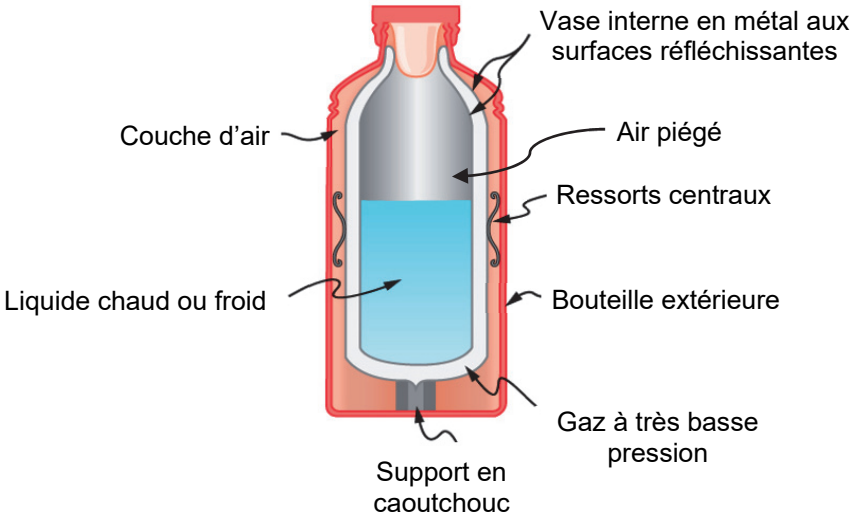


Figure 1. Schéma simplifié, en coupe, d'une bouteille isotherme

1. Constitution de la bouteille isotherme et échanges thermiques

Dans les bouteilles isothermes de qualité médiocre, l'espace entre le vase interne et la bouteille extérieure est rempli d'un matériau qui joue le rôle d'isolant thermique (polystyrène par exemple).

Dans le cas de la bouteille isotherme de qualité supérieure étudiée ici et représentée sur la figure 1, le vase interne n'est pas en contact direct avec la paroi de la bouteille extérieure et est maintenu par des ressorts centraux et un support en caoutchouc.

Q1. Identifier le mode de transfert thermique entre le vase interne et l'extérieur que l'usage des ressorts centraux et du support en caoutchouc vise à minimiser.

Q2. Expliquer l'intérêt de rendre réfléchissantes les surfaces intérieure et extérieure du vase interne.

Q3. L'espace situé entre la surface intérieure et la surface extérieure du vase interne contient un gaz à très basse pression. Expliquer l'intérêt de ce choix.

2. Expérience visant à déterminer la capacité thermique du vase interne de la bouteille isotherme

On verse une masse d'eau froide m_{EF} = 300 g dans la bouteille isotherme. Le vase interne et l'eau froide sont à la température initiale θ_{EF} = 15°C. On complète le contenu de la bouteille avec une masse d'eau chaude m_{EC} = 100 g à la température θ_{EC} = 60 °C. La bouteille isotherme pleine est rapidement fermée puis agitée légèrement. Après trois minutes, la température d'équilibre thermique est atteinte et vaut $\theta_{éq}$ = 26 °C.

Données :

- capacités thermiques massiques de plusieurs métaux à la pression atmosphérique et à la température de 25°C :

Matériau	Capacité thermique massique ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)
Argent	235
Acier inoxydable	450
Titane	520
Aluminium	900

- on néglige l'influence de l'air piégé après fermeture de la bouteille isotherme ;
- la température de l'air extérieur et la pression atmosphérique sont constantes pendant la durée des expériences ;
- la température de l'air extérieur vaut : θ_{ext} = 19 °C ;
- la capacité thermique du vase interne de la bouteille isotherme est notée C_{Vase} ;
- la capacité thermique massique de l'eau est constante et vaut : $c_E = 4{,}18 \times 10^3$ $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$;
- la durée de l'expérience est : Δt = 180 s.

On modélise la bouteille isotherme par un système {S} constitué des trois sous-systèmes :

- {Vase interne} ;
- {Eau froide introduite dans le vase} ;
- {Eau chaude introduite dans le vase}.

Les variations d'énergie interne de chacun des sous-systèmes s'écrivent :

- $\Delta U_{Vase} = C_{Vase} \cdot (\theta_{éq} - \theta_{EF})$ pour le sous-système {vase interne} ;
- $\Delta U_{Eau\ froide} = m_{EF} \cdot c_E \cdot (\theta_{éq} - \theta_{EF})$ pour le sous-système {eau froide} ;
- $\Delta U_{Eau\ chaude} = m_{EC} \cdot c_E \cdot (\theta_{éq} - \theta_{EC})$ pour le sous-système {eau chaude}.

Pendant l'expérience, on considère que le système {S} vérifie les hypothèses suivantes :

- hypothèse 1 : les transferts thermiques avec le milieu extérieur sont négligés ;
- hypothèse 2 : les transferts d'énergie sous forme de travail sont également négligés.

Au regard du modèle retenu, la variation d'énergie interne du système {S} s'écrit :

$$\Delta U_S = \Delta U_{Vase} + \Delta U_{Eau\ froide} + \Delta U_{Eau\ chaude}$$

Q4. Indiquer en quoi les deux hypothèses faites permettent d'écrire que le premier principe de la thermodynamique appliqué au système {S} donne : $\Delta U_S = 0$.

Q5. En déduire que la capacité thermique C_{Vase} est donnée par la relation :

$$C_{Vase} = \frac{m_{EC} \cdot c_E \cdot (\theta_{EC} - \theta_{éq})}{(\theta_{éq} - \theta_{EF})} - m_{EF} \cdot c_E$$

Q6. Calculer la valeur de la capacité thermique C_{Vase}.

Q7. Sachant que le vase interne a une masse m_1 = 100 g, déterminer sa capacité thermique massique. Commenter le résultat au regard des données fournies.

En réalité, les transferts thermiques entre le système {S} et le milieu extérieur ne sont pas inexistants. En effet, une fois l'équilibre thermique atteint, on constate que la température du système diminue au bout de quelques heures.

La résistance thermique, notée R, entre le système {S} et le milieu extérieur vaut approximativement $R = 23\ K \cdot W^{-1}$.

Q8. En considérant que le système {S} est à la température de 26 °C et que l'air extérieur est à la température 19 °C, montrer que le flux thermique, noté Φ_{ext}, du système {S} vers l'extérieur vaut environ 0,3 W.

Q9. En déduire l'ordre de grandeur de l'énergie Q_{ext} échangée par le système {S} avec le milieu extérieur pendant la durée Δt de l'expérience.

Q10. Comparer Q_{ext} à la variation d'énergie interne $\Delta U_{Eau\ chaude}$ de l'eau chaude introduite dans le vase au cours de l'expérience . Commenter en indiquant si l'hypothèse 1 est justifiée.

Page blanche laissée intentionnellement.

Ne rien inscrire dessus.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

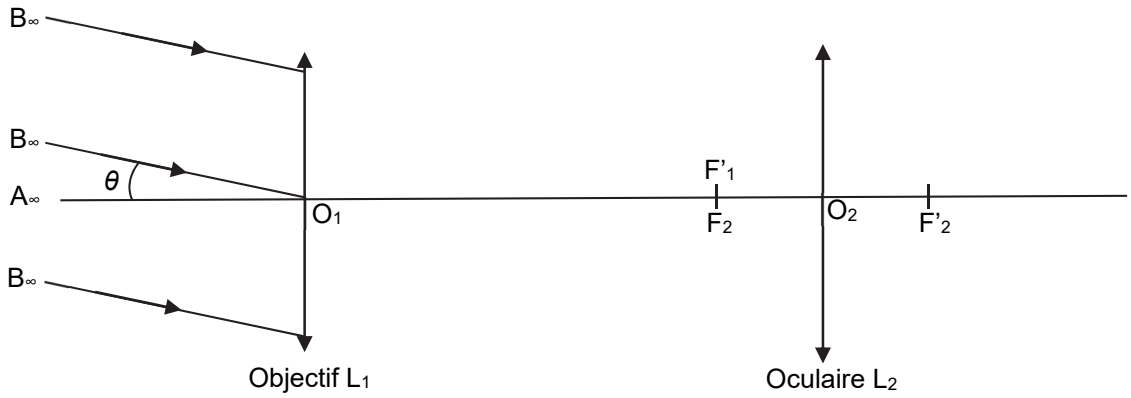


Figure 3. Schématisation de la lunette astronomique afocale (le schéma n'est pas à l'échelle)

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) **:**
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

1.2