Bac Général Physique-Chimie + SVT (Physique-chimie et Sciences de la vie et de la Terre)

SUJET D'EXAMEN (SESSION OFFICIELLE)

Physique-chimie - Session 2024

Sujet de l'examen national tel que publié pour la session indiquée. Source : sujets nationaux publiés par le ministère chargé de l'examen et les services académiques. Document mis à disposition par FormaV pour la révision.

Toutes les annales et leurs corrigés : https://bac-physique-svt.fr/annales-sujets-et-corriges

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2024

PHYSIQUE-CHIMIE

Jour 2

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

Matériel autorisé

L'usage de la calculatrice **avec le mode examen activé** est autorisé.

L'usage de la calculatrice **sans mémoire**, « type collège », est autorisé.

Dès que le sujet est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 10 pages numérotées de 1/10 à 10/10.

Le candidat traite l'intégralité du sujet, qui se compose de 3 exercices.

EXERCICE 1 : l'ammoniac : un futur carburant pour les transports maritimes
(9 points)

L'industrie chimique produit chaque année 180 millions de tonnes d'ammoniac. L'ammoniac est principalement utilisé dans la production d'engrais et dans le stockage de l'énergie. C'est aussi un carburant potentiel pour les années futures, notamment dans le domaine des transports maritimes.

Dans les conditions normales de température et de pression, l'ammoniac, de formule NH_3, est un gaz incolore à l'odeur très désagréable.

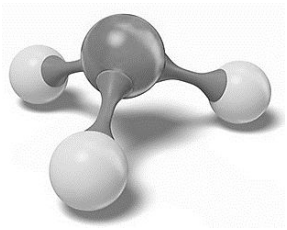
D'après le site Médiachimie.

Cet exercice comporte deux parties : la première s'intéresse à la molécule d'ammoniac et ses propriétés chimiques, la seconde traite de la synthèse de l'ammoniac et de l'amélioration du procédé.

1. Étude de la molécule et de ses propriétés chimiques

Données :

- numéro atomique de l'azote : Z(N) = 7 ;
- électronégativités : χ(N) = 3,04 ; χ(H) = 2,20 ; χ(O) = 3,44 ;
- la géométrie de la molécule d'ammoniac est pyramidale :



- pK_A du couple NH_4^+ (aq) / NH_3 (aq) = 9,2 ;
- zones de virage de quelques indicateurs colorés :

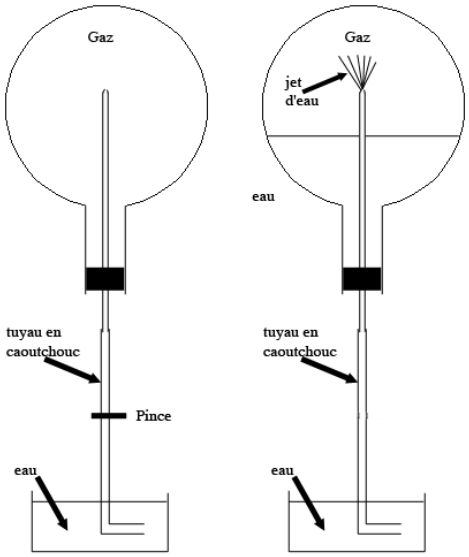
Indicateur coloré	Teinte acide	Zone de virage	Teinte basique
Hélianthine	Rouge	3,1 – 4,4	Jaune
Rouge de méthyle	Rouge	4,2 – 6,2	Jaune
Bleu de bromothymol ou BBT	Jaune	6,0 – 7,6	Bleu
Thymolphtaléine	Incolore	9,3 – 10,5	Bleu

Q.1. Représenter le schéma de Lewis de la molécule d'ammoniac.

Q.2. Donner un argument justifiant la grande solubilité de l'ammoniac dans l'eau.

Exercice 1

Pour vérifier la dissolution de l'ammoniac dans l'eau, on réalise l'expérience dite du jet d'eau.



Sous la hotte, on remplit de gaz ammoniac un ballon bien sec.

On immerge le tuyau de caoutchouc dans un cristallisoir contenant de l'eau à pH = 7. On observe alors un jet d'eau dans le ballon. Une fois le ballon totalement rempli de solution, on y ajoute du BBT.

Q.3. Définir une base selon Brönsted.

Q.4. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation de l'ammoniac avec l'eau.

Q.5. En déduire, en la justifiant, la couleur de la solution obtenue.

On mesure le pH de la solution aqueuse d'ammoniac obtenue : pH = 11,0.

Q.6. Indiquer l'espèce qui prédomine en justifiant la réponse à l'aide d'un diagramme de prédominance.

On simule le titrage d'un volume V_B = 20,0 mL d'une solution aqueuse d'ammoniac de pH = 11,0 par de l'acide chlorhydrique (H_3O^+(aq) ; $C\ell^-$ (aq)) de concentration C_A = 0,100 mol·L^{-1}.

On obtient la courbe suivante :

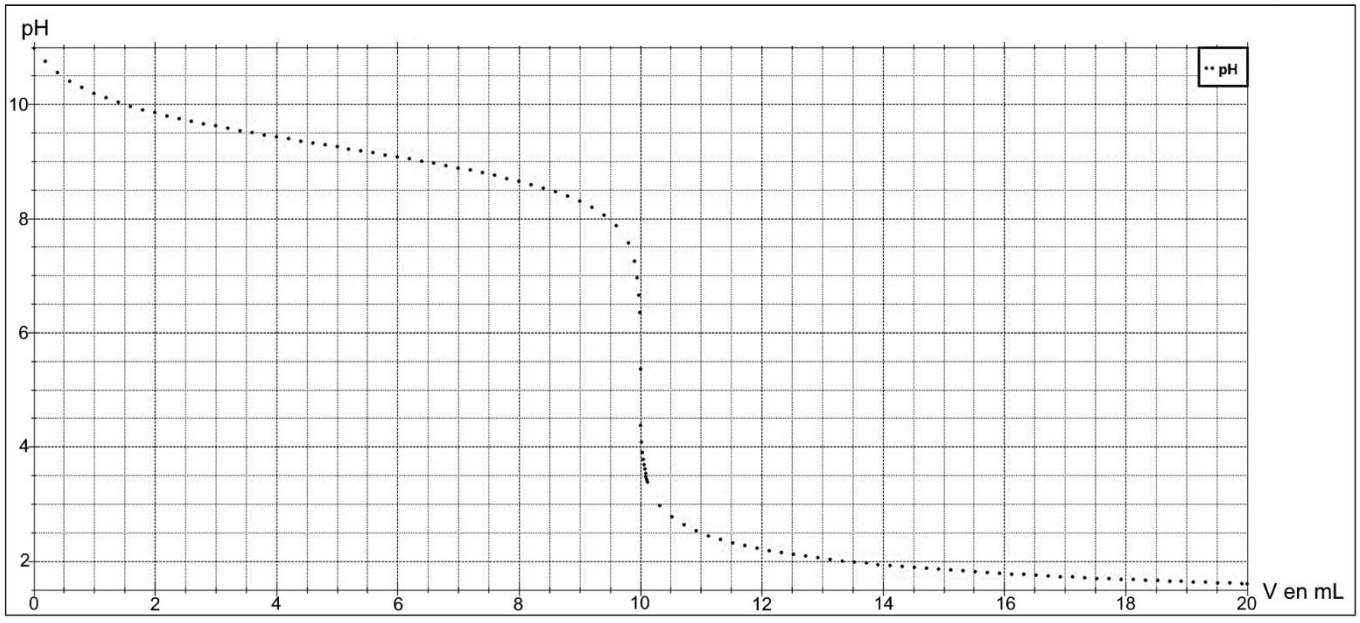


Figure 1 : courbe simulée du titrage de 20,0 mL de la solution aqueuse d'ammoniac par l'acide chlorhydrique de concentration 0,100 mol·L^{-1}.

Q.7. Écrire l'équation de la réaction support du titrage.

Q.8. Justifier l'utilisation du rouge de méthyle comme indicateur coloré pour ce titrage.

Q.9. Déterminer la valeur de la concentration C_B de la solution aqueuse d'ammoniac choisie pour cette simulation.

2. Synthèse de l'ammoniac

En 1909, le chimiste allemand, Fritz Haber, chercheur à l'Université de Karlsruhe, réussit, en laboratoire, la synthèse de l'ammoniac $NH_3(g)$ à partir du diazote de l'air $N_2(g)$ et de dihydrogène $H_2(g)$.

Aujourd'hui, cette synthèse se fait sous une pression d'environ 300 bar, à 500 °C en présence d'un catalyseur riche en fer. En utilisant 6,0 mol de diazote et 6,0 mol de dihydrogène, on obtient 0,80 mol d'ammoniac.

Q.10. Écrire l'équation de la réaction modélisant la synthèse de l'ammoniac.

Q.11. Déterminer l'avancement final x_f de cette réaction dans les conditions données. Comparer la valeur obtenue à celle de l'avancement maximal et conclure.

La société française ENGIE investit dans le développement d'un des premiers projets de dihydrogène renouvelable. Ce projet est situé dans la région de Pilbara en Australie. En 2024, la première phase produira 640 tonnes de dihydrogène par an. Le dihydrogène sera utilisé comme matière première pour la production d'ammoniac. Le rendement de la production d'ammoniac sera de 20 %.

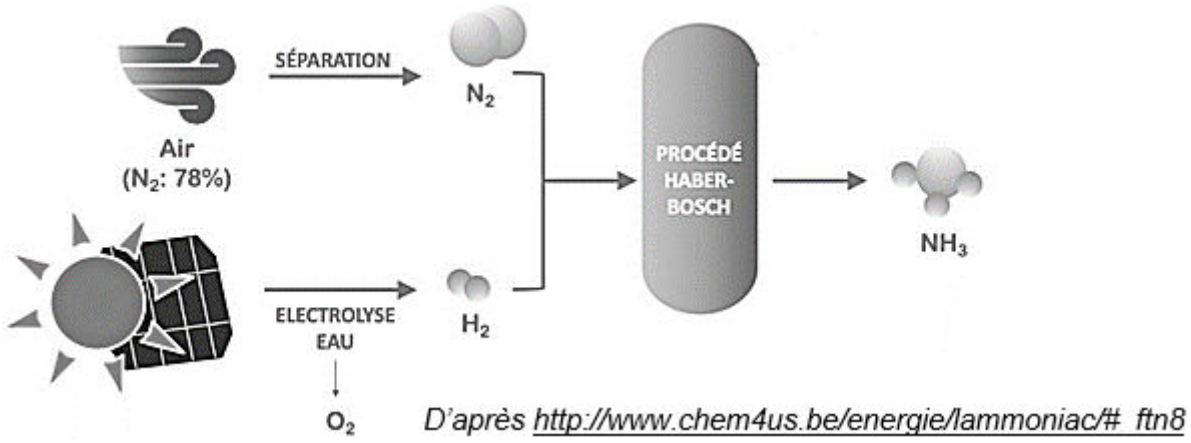


Figure 2 : schéma du procédé Haber-Bosch

Données :

- équations des réactions électrochimiques modélisant les transformations aux électrodes :
  - $2\ H^+(aq) + 2\ e^- \rightarrow H_2(g)$
  - $2\ H_2O(\ell) \rightarrow O_2(g) + 4\ H^+(aq) + 4\ e^-$;
- volume molaire dans les conditions de l'expérience : $V_m = 24\ L \cdot mol^{-1}$;
- nombre d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ mol^{-1}$;
- charge élémentaire $e = 1{,}6 \times 10^{-19}\ C$;
- quantité d'électricité Q : $Q = I \times \Delta t = n_{e^-} \times N_A \times e$ avec n_{e^-} la quantité de matière d'électrons échangés (en mol) ;
- masses molaires atomiques en $g \cdot mol^{-1}$: $M(H) = 1{,}0$; $M(N) = 14{,}0$.

Exercice 1

L'électrolyse de l'eau utilisée dans l'usine de Pilbara peut être reproduite au laboratoire grâce au montage de la figure 3, en remplaçant la cellule photovoltaïque par un générateur.

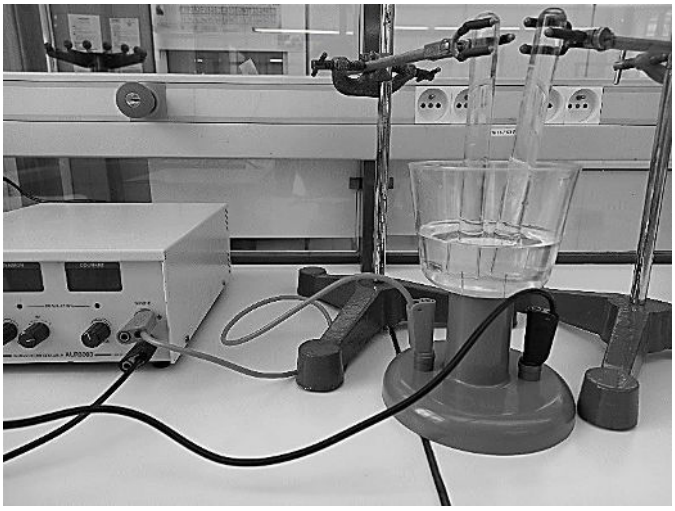


Figure 3 : montage expérimental

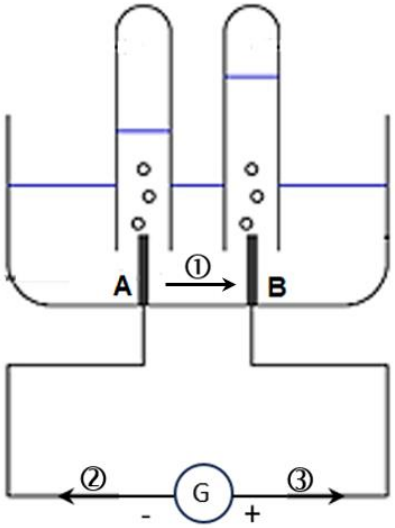


Figure 4 : schéma du montage

Q.12. Indiquer, parmi celles numérotées ①, ② ou ③ sur la figure 4, les deux flèches représentant respectivement le sens du courant électrique et celui du déplacement des électrons.

Q.13. Associer à chacune des électrodes, A et B, une des équations des réactions électrochimiques figurant dans les données et nommer les gaz formés à chaque électrode.

On recueille 4,0 mL de gaz dans un des tubes et 2,0 mL dans l'autre.

Q.14. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique qui se déroule dans l'électrolyseur. Valider la stœchiométrie des deux gaz formés en analysant les volumes de gaz obtenus aux électrodes.

La manipulation dure Δt = 3 min et 20 s. L'intensité du courant est de 0,16 A.

Q.15. Calculer la quantité d'électricité Q ayant circulé dans le circuit électrique pendant la durée de l'électrolyse au laboratoire et en déduire la quantité de matière d'électrons échangés.

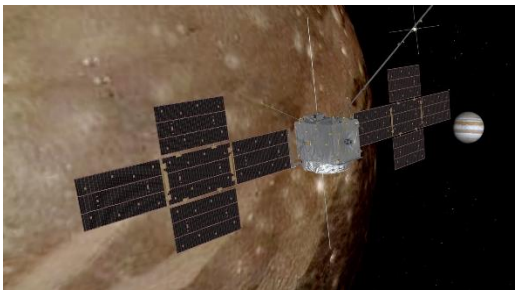
Q.16. En déduire le volume de dihydrogène que l'on pourrait obtenir dans les conditions de l'expérience. Comparer aux données expérimentales.

Q.17. Déterminer la masse d'ammoniac qui pourra être produite en 2024 à partir du dihydrogène produit dans l'usine de Pilbara. Commenter.

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 nécessite d'être correctement présentée.

EXERCICE 2 : à la découverte des lunes glacées de Jupiter (6 points)

Quelles sont les conditions qui président à la formation des planètes et à l'émergence de la vie ? Comment est né le système solaire ? Autant de questions fondamentales auxquelles la mission JUICE (*Jupiter Icy Moons Explorer*), qui a décollé avec succès le 14 avril 2023, tentera de répondre à partir de 2031, grâce à l'exploration de Jupiter et de trois de ses lunes. Au cours de cette phase d'exploration qui durera 4 ans, la sonde JUICE s'intéressera tout particulièrement à l'une d'elle, Ganymède, suspectée d'abriter un océan liquide sous sa croûte de glace.



Exploring Jupiter and Ganymede (artist's impression). Source : esa.int

Le but de cet exercice est d'étudier le mouvement de la sonde JUICE autour de Ganymède.

Données :

- rayon de Ganymède : $R_G = 2{,}63\times10^{3}$ km ;
- masse de Ganymède : $M_G = 1{,}82\times10^{23}$ kg ;
- distance maximale entre Jupiter et la Terre : $9{,}3\times10^{8}$ km ;
- valeur de la constante gravitationnelle : $G = 6{,}67\times10^{-11}$ $m^3\cdot kg^{-1}\cdot s^{-2}$;
- la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide est supposée connue.

1. Orbites de la sonde JUICE autour de Ganymède

À partir de décembre 2034, la sonde JUICE se placera sur différentes orbites autour de Ganymède :

- durant une première phase de 30 jours, la sonde circulera sur une orbite elliptique ;
- elle restera ensuite 90 jours sur une orbite circulaire d'altitude 5 000 km ;
- une nouvelle manœuvre la placera sur une orbite circulaire d'altitude 500 km d'où elle étudiera Ganymède durant 102 jours ;
- enfin, la sonde se placera sur une orbite circulaire d'altitude inférieure à 500 km pour une durée de 30 jours.

Source : Wikipedia

Exercice 2

On s'intéresse à l'orbite circulaire d'altitude h = 500 km de la sonde JUICE autour de Ganymède.

Q.1. Schématiser, sans souci d'échelle, Ganymède et l'orbite de la sonde JUICE. Placer le repère de Frenet $(\overrightarrow{u_t}, \overrightarrow{u_n})$ et représenter $\overrightarrow{F_G}$ la force d'interaction gravitationnelle à laquelle la sonde JUICE est soumise de la part de Ganymède, à un point quelconque de sa trajectoire.

Q.2. Exprimer, dans le repère de Frenet, le vecteur de la force $\overrightarrow{F_G}$.

Q.3. On considère que $\overrightarrow{F_G}$ est la seule force qui s'exerce sur la sonde JUICE. Montrer que la sonde JUICE a un mouvement circulaire uniforme dans le référentiel, supposé galiléen, centré sur Ganymède.

Q.4. Montrer que la vitesse de la sonde JUICE peut s'écrire :

$$v = \sqrt{\frac{G \times M_G}{R_G + h}}$$

Q.5. Établir l'expression de la période T en fonction de R_G, h, M_G et G puis en déduire que sur l'orbite circulaire d'altitude 500 km, la sonde JUICE a une période de valeur proche de T_{500} = 2,77 h.

Q.6. En utilisant la troisième loi de Kepler, déterminer la période de la sonde JUICE sur son orbite circulaire d'altitude 5 000 km.

« Les 1167 orbites que la sonde JUICE effectuera autour de Ganymède suffiront à révéler les secrets qu'elle cache sous sa couche de glace. »

D'après Science&Vie du 19 avril 2023.

Q.7. En utilisant les réponses aux questions 5 et 6, estimer le nombre d'orbites effectuées par la sonde JUICE autour de Ganymède et commenter la phrase ci-dessus.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter sa démarche. Toute démarche pertinente, même non aboutie, sera valorisée.

2. Communication avec la Terre

« Le temps mis par le signal radio pour faire un aller-retour de la sonde JUICE à la Terre est de 1 h 46. »

D'après Wikipedia

Q.8. Indiquer à quel type d'ondes les ondes radio appartiennent : mécanique ou électromagnétique.

Q.9. Montrer, en négligeant la distance entre la sonde JUICE et Jupiter, que le temps mis par le signal radio pour faire un aller-retour entre la sonde JUICE et la Terre est proche de celui annoncé.

EXERCICE 3 : couverture de survie ou couverture en laine ? (5 points)

Une couverture de survie est une couverture isolante utilisée couramment dans les situations d'urgence afin de réduire les pertes thermiques et les risques d'hypothermie.



Photo : Filippo Bacci Istock

Le matériau la constituant a été inventé en 1964 par l'Agence spatiale américaine (NASA) pour améliorer l'isolation des satellites, des navettes et des combinaisons spatiales qui doivent être protégés de la lumière du soleil pour éviter la surchauffe.

Les couvertures de survie actuelles sont revêtues de deux faces métallisées distinctes, respectivement dorée et argentée, qui enveloppent une couche de PET (Polyéthylène téréphtalate) qui isole de l'humidité ambiante ou à l'inverse évite la déshydratation. Les deux faces répondent à deux fonctions distinctes : le côté argenté, initialement développé par la Nasa, réfléchit 90 % du rayonnement infrarouge, tandis que le côté doré absorbe 50 % de l'énergie thermique incidente. De ce fait, si on positionne la face dorée vers l'extérieur, on protège la personne de l'humidité et du froid, en retenant sa chaleur corporelle. Si à l'inverse, on la place côté intérieur, on le protège du coup de chaud.

D'après Sciences et Avenir.

Q.1. Citer les trois modes de transferts thermiques. Préciser celui pour lequel il est majoritairement nécessaire de protéger les satellites.

Une personne est recouverte d'une couverture. Dans cette partie, on étudie le transfert thermique par conduction à travers la couverture.

Le coefficient de transfert thermique de conduction, noté u en $W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}$, indique la facilité avec laquelle l'énergie thermique est transférée d'un milieu à un autre à travers une paroi. Des mesures ont été réalisées avec une couverture de survie d'épaisseur e_1 = 38 µm et avec une couverture en laine d'épaisseur e_2 = 0,50 mm.

Les valeurs obtenues sont u_1 = 408 $W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}$ pour la couverture de survie et u_2 = 38 $W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}$ pour la couverture en laine.

La conductivité thermique d'un matériau représente sa capacité à permettre le transfert thermique par conduction, elle se note λ et s'exprime en $W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}$.

Q.2. Établir, en s'appuyant sur une analyse dimensionnelle, la relation entre u, λ et e.

Q.3. Calculer la valeur de la conductivité thermique de la couverture de survie et celle de la couverture en laine. Les comparer puis commenter.

Exercice 3

Le rayonnement du corps humain se fait essentiellement dans l'infrarouge.

On réalise au laboratoire une expérience avec une lampe à halogène dont le spectre est donné figure 1. La radiance est proportionnelle à la puissance du rayonnement par unité de surface.

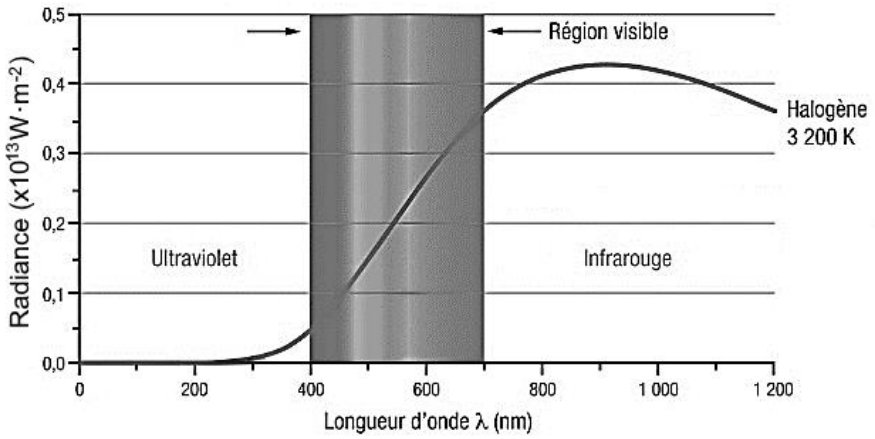


Figure 1 : spectre de la lampe à halogène utilisée (d'après : le_monde_en_image_CCDMD)

Q.4. Indiquer le domaine d'onde dans lequel la lampe à halogène émet le plus de rayonnement et justifier son utilisation pour l'étude du transfert thermique à travers les couvertures.

On réalise l'expérience ci-contre avec la couverture de survie puis avec la couverture en laine.

Le thermomètre est relié à un dispositif d'acquisition assisté par ordinateur.

On mesure la température, en degré Celsius, à intervalle de temps régulier exprimé en seconde.

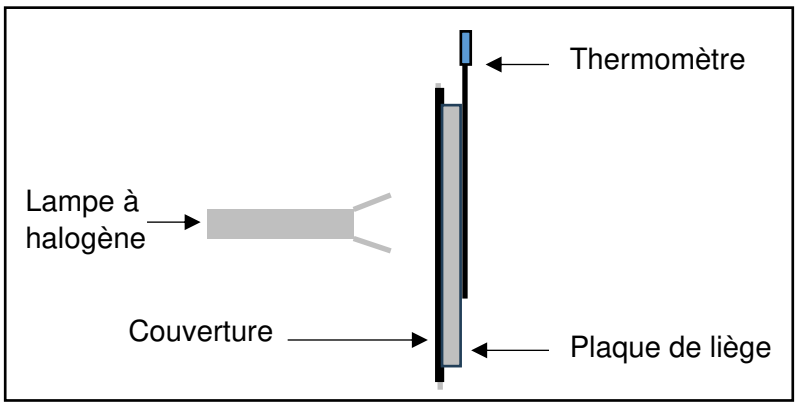


Figure 2 : schéma du dispositif expérimental

Données :

- épaisseur de la plaque de liège : 1,0 cm ;
- masse de la plaque de liège : 72,4 g ;
- capacité thermique massique du liège : c_{liege} = 2008 J·K^{-1}·kg^{-1} .

On obtient les courbes, figures 3 et 4, qui donnent l'évolution de la température du liège en fonction du temps.

On modélise la partie rectiligne de chaque courbe, correspondant à un flux constant, pour déterminer le coefficient directeur $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ en °C·s^{-1}.

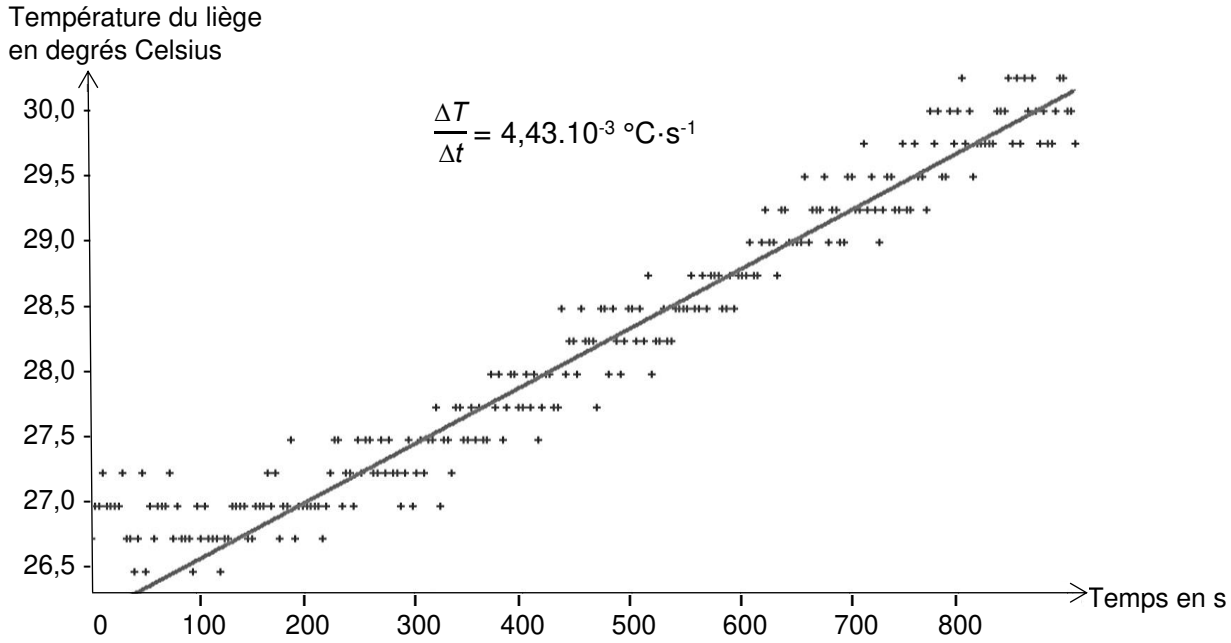


Figure 3 : évolution de la température du liège en fonction du temps, dans l'étude de la couverture de survie.

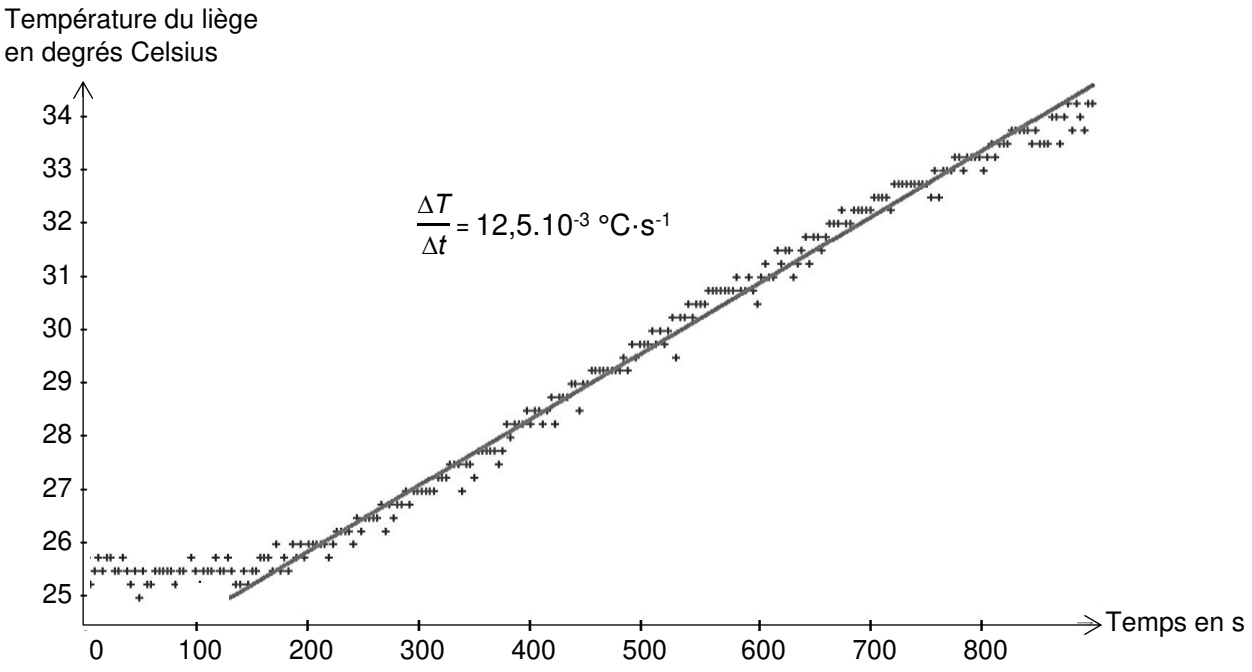


Figure 4 : évolution de la température du liège en fonction du temps, dans l'étude de la couverture en laine.

Q.5. Montrer que l'expression de la variation d'énergie interne d'un système incompressible peut s'exprimer : $\Delta U = m \cdot c \cdot \Delta T$ (m : masse du système ; c : capacité thermique massique du système ; ΔT : variation de température du système).

Q.6. Exprimer le flux thermique ϕ à travers la plaque de liège en fonction de la variation de température et du temps.

Pour chaque expérience en régime permanent, on suppose que le flux thermique qui traverse la couverture est le même que celui qui traverse la plaque de liège.

Q.7. Comparer l'efficacité des deux couvertures à retenir la chaleur corporelle.