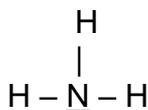


1. Étude de la molécule et de ses propriétés chimiques.**Q1. Représenter le schéma de Lewis de la molécule d'ammoniac.**

Explications non demandées : $Z(\text{N}) = 7$ ainsi structure électronique $(1s)^2 (2s)^2 (2p)^3$

L'atome d'azote N possède 5 électrons de valence répartis en 3 électrons célibataires et un doublet non liant.

L'atome H possède un seul électron donc forcément célibataire.

On associe les atomes de façon à former des doublets liants avec les électrons célibataires.

Q2. Donner un argument justifiant la grande solubilité de l'ammoniac dans l'eau.

On compare les électronégativités de l'azote et de l'hydrogène.

$$\Delta\chi = \chi(\text{N}) - \chi(\text{H}) = 3,04 - 2,20 = 0,84 > 0,4$$

On en déduit que les liaisons N–H sont polarisées.

Les atomes d'hydrogène sont porteurs d'une charge partielle positive et l'atome d'azote de charge partielle négative.

Par ailleurs, au regard de la géométrie pyramidale de la molécule, on constate que le centre géométrique des charges positives n'est pas confondu avec le centre géométrique des charges négatives.

La molécule NH_3 est polaire.



Pour la molécule d'eau H_2O : $\Delta\chi = \chi(\text{O}) - \chi(\text{H}) = 3,44 - 2,20 = 1,24 > 0,4$

Les liaisons O–H sont polarisées.

La molécule d'eau possède une géométrie triangulaire donc là encore le centre géométrique des charges positives n'est pas confondu avec le centre géométrique des charges négatives.

L'eau est une molécule polaire, cela explique la grande solubilité de l'ammoniac dans l'eau.

Q3. Définir une base selon Brönsted.

Une base est une espèce chimique capable d'accepter un proton H^+ .

Q4. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation de l'ammoniac avec l'eau.**Q5. En déduire, en la justifiant, la couleur de la solution obtenue.**

La formation d'ion hydroxyde HO^- conduit à augmenter la valeur du pH.

On peut penser que le pH devient supérieur à 7,6, ainsi le BBT colore la solution en bleu.

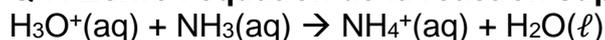
On mesure le pH de la solution aqueuse d'ammoniac obtenue : $\text{pH} = 11,0$.

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

Le pK_A du couple $\text{NH}_4^+(\text{aq}) / \text{NH}_3(\text{aq}) = 9,2$, donc $\text{pH} > \text{pK}_A$ ainsi la base NH_3 prédomine sur l'acide NH_4^+ .



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

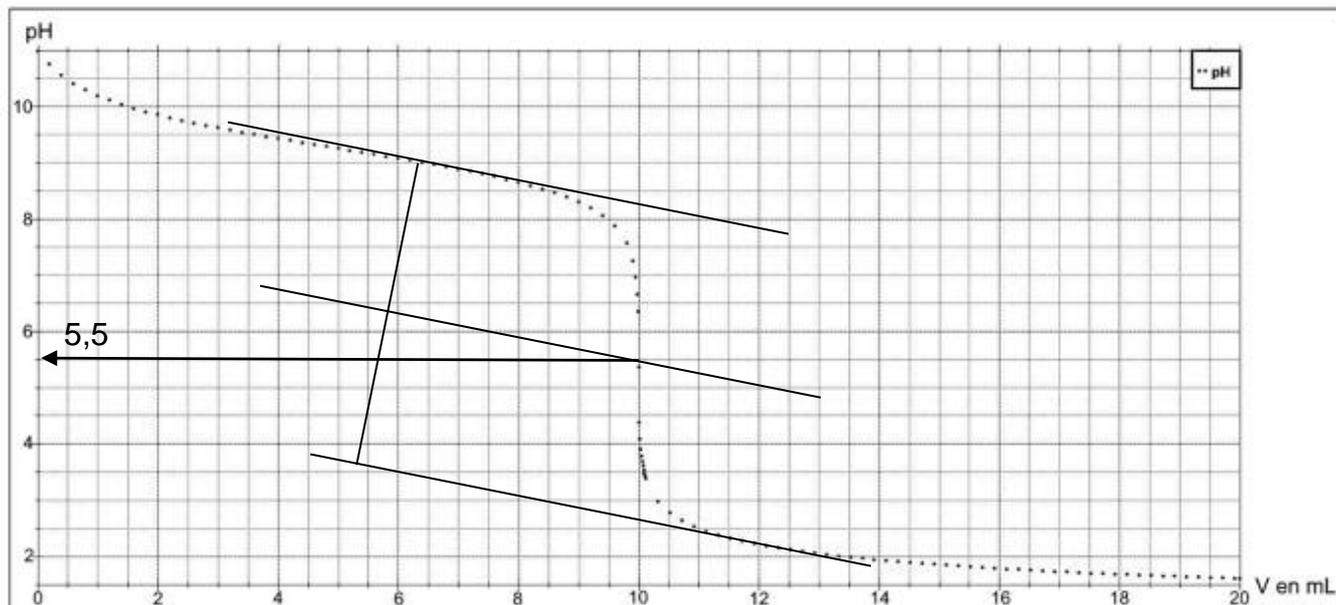


Q.8. Justifier l'utilisation du rouge de méthyle comme indicateur coloré pour ce titrage.

La zone de virage de l'indicateur coloré doit contenir le pH à l'équivalence.

Sur la figure 1, on utilise la méthode des tangentes (<http://acver.fr/tangentes>) et on détermine un pH à l'équivalence égal à 5,5.

Seul le rouge de méthyle convient.



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

À l'équivalence, les réactifs sont introduits dans les proportions stœchiométriques

$$n(\text{NH}_3)_{\text{initiale}} = n(\text{H}_3\text{O}^+)_{\text{versée}}$$

$$C_B \times V_B = C_A \times V_{\text{éq}}$$

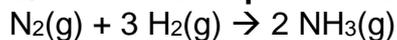
$$C_B = \frac{C_A \times V_{\text{éq}}}{V_B}$$

À l'aide de la méthode des tangentes, on lit $V_{\text{éq}} = 10,0 \text{ mL}$.

$$C_B = \frac{0,100 \text{ mol.L}^{-1} \times 10,0 \text{ mL}}{20,0 \text{ mL}} = 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

2. Synthèse de l'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.

équation chimique		$N_2(g)$	+	$3 H_2(g)$	\rightarrow	$2 NH_3(g)$
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)				
État initial	0	6,0		6,0		0
En cours de transformation	x	$6,0 - x$		$6,0 - 3x$		$2x$
État final	x_f	$6,0 - x_f$		$6,0 - 3x_f$		$2x_f = 0,80$
État final si totale	x_{max}	$6,0 - x_{max} = 0$		$6,0 - 3x_{max}$		$2x_{max}$

Avancement final ?

D'après le tableau d'avancement $2x_f = 0,80$ mol, donc $x_f = 0,40$ mol

Avancement maximal ?

Si le diazote est réactif limitant alors $6,0 - x_{max} = 0$ donc $x_{max} = 6,0$ mol

Si le dihydrogène est réactif limitant alors $6,0 - 3x_{max} = 0$ donc $x_{max} = 2,0$ mol

Le réactif limitant est celui qui conduit à l'avancement maximal le plus faible. C'est donc H_2 et on a $x_{max} = 2,0$ mol.

On constate que $x_f < x_{max}$, donc la réaction n'est pas totale.

Remarque : on pourrait calculer le taux d'avancement final $\tau = \frac{x_f}{x_{max}}$

$$\tau = \frac{0,40}{2,0} = 0,20 = 20\% < 100\%$$

Q12. 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.

Sens conventionnel du courant ③

Sens de déplacement des électrons ②

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.

L'électrode A est reliée à la borne négative du générateur qui fournit des électrons permettant une réaction de réduction d'un oxydant.

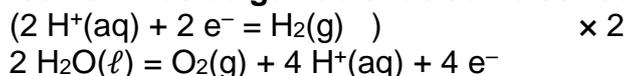
On y associe la demi-équation : $2 H^+(aq) + 2 e^- = H_2(g)$.

L'électrode B est reliée à la borne positive du générateur qui pompe les électrons libérés par l'oxydation d'un réducteur.

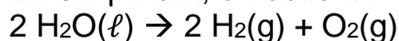
On associe la demi-équation : $2 H_2O(\ell) = O_2(g) + 4 H^+(aq) + 4 e^-$

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.



En simplifiant, on obtient :



La figure 4 montre un volume de gaz deux fois plus important du côté de l'électrode A où il y a libération de dihydrogène H_2 . Ceci est conforme avec l'équation de la réaction qui donne 2 mol de H_2 pour 1 mol de O_2 .

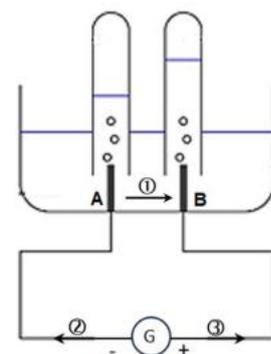


Figure 4 : schéma du montage

La manipulation dure $\Delta t = 3 \text{ min et } 20 \text{ s}$. L'intensité du courant est de $0,16 \text{ A}$.

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.

$$Q = I \cdot \Delta t$$

$$Q = 0,16 \times (3 \times 60 + 20) = 32 \text{ C}$$

$$Q = n_{e^-} \times N_A \times e$$

$$n_{e^-} = \frac{Q}{N_A \times e}$$

$$n_{e^-} = \frac{32}{6,02 \times 10^{23} \times 1,6 \times 10^{-19}} = 3,3 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

$\frac{32}{6.02E23 * 1.6E-19}$
$3.322259136E-4$

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

D'après la demi-équation $2 \text{ H}^+(\text{aq}) + 2 \text{ e}^- = \text{H}_2(\text{g})$, ainsi on a $\frac{n_{e^-}}{2} = n_{\text{H}_2}$

D'autre part $n_{\text{H}_2} = \frac{V_{\text{H}_2}}{V_m}$, ainsi $\frac{V_{\text{H}_2}}{V_m} = \frac{n_{e^-}}{2}$ soit $V = \frac{n_{e^-}}{2} \times V_m$

$$V_{\text{H}_2} = \frac{3,322 \times 10^{-4}}{2} \times 24 = 4,0 \times 10^{-3} \text{ L} = 4,0 \text{ mL}$$

$3.322259136E-4$
$\text{Rep}/2 * 24$
$3.986710963E-3$

Ce résultat est totalement conforme 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.

L'énoncé indique que la production de dihydrogène sera de 640 tonnes.

D'après l'équation $\text{N}_2(\text{g}) + 3 \text{ H}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{ NH}_3(\text{g})$, on a $\frac{n_{\text{H}_2}}{3} = \frac{n_{\text{NH}_3}}{2}$

$$\frac{m_{\text{H}_2}}{3M_{\text{H}_2}} = \frac{m_{\text{NH}_3}}{2M_{\text{NH}_3}}$$

$$m_{\text{NH}_3} = \frac{m_{\text{H}_2}}{3M_{\text{H}_2}} \times 2M_{\text{NH}_3}$$

$$m_{\text{NH}_3} = \frac{640 \times 10^6 \text{ g}}{3 \times (2 \times 1,0) \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \times 2 \times (14,0 + 3 \times 1,0) \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 3,6 \times 10^9 \text{ g} = 3,6 \times 10^6 \text{ kg} = 3,6 \times 10^3 \text{ tonnes}$$

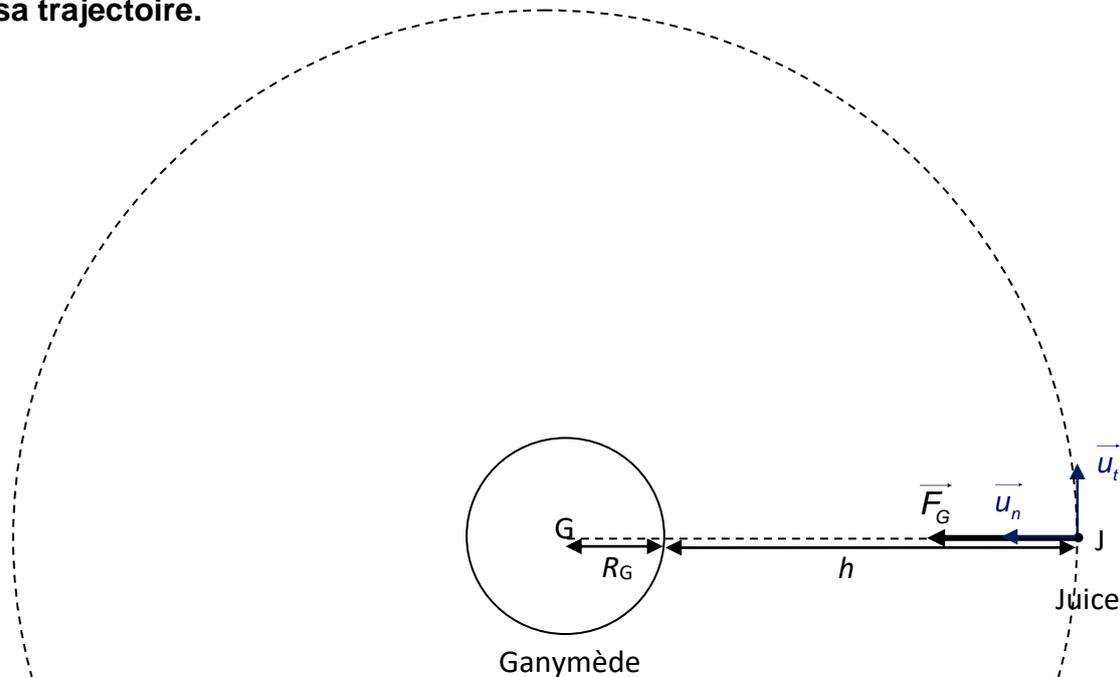
Il faut cependant tenir compte du rendement de 20%.

Donc on n'obtiendra que $\frac{20}{100} \times 3600 = 720$ tonnes d'ammoniac.

Si vous avez trouvé une erreur, merci de nous écrire à labolycee@labolycee.org

1. Orbites de la sonde JUICE autour de Ganymède

Q.1. Schématiser, sans soucis d'échelle, Ganymède et l'orbite de la sonde JUICE. Placer le repère de Frenet (\vec{u}_t, \vec{u}_n) et représenter \vec{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 \vec{F}_G .

$$\vec{F}_G = \frac{G.m_J.M_G}{(R_G + h)^2} \cdot \vec{u}_n \quad \text{avec } m_J \text{ la masse de la sonde JUICE.}$$

Q.3. On considère que \vec{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.

Système : {JUICE} de masse m_J

Référentiel de Ganymède considéré galiléen

Repère de Frenet : $(G, \vec{u}_t, \vec{u}_n)$

Inventaire des forces : seule la force d'attraction gravitationnelle \vec{F}_G exercée par Ganymède sur JUICE est prise en compte.

$$\text{Deuxième loi de Newton : } \Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = m_J \vec{a}$$

$$\vec{F}_G = m_J \vec{a}$$

$$\frac{GM_G m_J}{(R_G + h)^2} \vec{u}_n = m_J \vec{a}$$

$$\vec{a} = \frac{GM_G}{(R_G + h)^2} \vec{u}_n$$

Dans le repère de Frenet, $\vec{a} = \frac{v^2}{R_G + h} \vec{u}_n + \frac{dv}{dt} \vec{u}_t$.

Or $\vec{a} = \frac{GM_G}{(R_G + h)^2} \vec{u}_n$ que l'on peut aussi écrire : $\vec{a} = \frac{GM_G}{(R_G + h)^2} \vec{u}_n + 0 \vec{u}_t$.

Par analogie entre ces deux expressions de \vec{a} , on en déduit que :

$$\begin{cases} \frac{v^2}{R_G + h} = \frac{GM_G}{(R_G + h)^2} \text{ sur } \vec{u}_n \\ \frac{dv}{dt} = 0 \text{ sur } \vec{u}_t \end{cases}$$

Comme $\frac{dv}{dt} = 0$ alors $v = \text{Cte}$: le mouvement du satellite JUICE est bien uniforme autour de Ganymède.

Q.4. Montrer que la vitesse de la sonde JUICE peut s'écrire : $v = \sqrt{\frac{G \times M_G}{R_G + h}}$

$$\frac{v^2}{R_G + h} = \frac{GM_G}{(R_G + h)^2} \text{ donc } v^2 = \frac{GM_G}{R_G + h} \text{ finalement : } v = \sqrt{\frac{G \times M_G}{R_G + h}}$$

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.

Pendant une période de révolution T , la sonde JUICE parcourt son orbite circulaire de périmètre $2\pi(R_G + h)$ à la vitesse v .

$$v = \frac{2\pi(R_G + h)}{T}$$

$$T = \frac{2\pi(R_G + h)}{v}$$

$$T = \frac{2\pi(R_G + h)}{\sqrt{\frac{G \times M_G}{R_G + h}}}$$

$$T^2 = \frac{(2\pi)^2 (R_G + h)^2}{\frac{G \times M_G}{R_G + h}}$$

$$T^2 = 4\pi^2 (R_G + h)^2 \times \frac{(R_G + h)}{G \times M_G} = 4\pi^2 \frac{(R_G + h)^3}{G \times M_G}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(R_G + h)^3}{G \times M_G}}$$

Pour $h = 500 \text{ km} = 500 \times 10^3 \text{ m}$:

$$T_{500} = 2\pi \sqrt{\frac{(2,63 \times 10^6 + 500 \times 10^3)^3}{6,67 \times 10^{-11} \times 1,82 \times 10^{23}}} \approx 9,99 \times 10^3 \text{ s} = 2,77 \text{ h.}$$

$2\pi \sqrt{\frac{(2.63E6+500E3)^3}{6.67E-11*1.82E23}}$	9986.142608
Rep/3600	2.773928502

Q6. En utilisant la troisième loi de Kepler, déterminer la période de la sonde JUICE sur son orbite circulaire d'altitude 5 000 km.

$$3^{\text{ème}} \text{ loi de Kepler : } \frac{T^2}{(R_G + h)^3} = \text{Cte.}$$

On applique cette loi sur les orbites circulaire d'altitude 500 km et 5000 km soit :

$$\frac{T_{500}^2}{(R_G + h_{500})^3} = \frac{T_{5000}^2}{(R_G + h_{5000})^3} \text{ soit } T_{5000}^2 = T_{500}^2 \frac{(R_G + h_{5000})^3}{(R_G + h_{500})^3} \text{ d'où : } T_{5000}^2 = T_{500}^2 \left(\frac{R_G + h_{5000}}{R_G + h_{500}} \right)^3$$

$$\text{Finalement : } T_{5000} = T_{500} \left(\frac{R_G + h_{5000}}{R_G + h_{500}} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$T_{5000} = 2,77 \times \left(\frac{2,63 \times 10^6 + 5000 \times 10^3}{2,63 \times 10^6 + 500 \times 10^3} \right)^{\frac{3}{2}} = 10,54 \text{ h.}$$

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

Q7. 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.

La sonde JUICE restera 90 jours = 90×24 h sur une orbite circulaire d'altitude 5 000 km. Elle effectue donc :

$$N_{5000} = \frac{90 \times 24}{T_{5000}} = \frac{90 \times 24}{10,54} \approx 205 \text{ orbites.}$$

La sonde JUICE restera 102 jours = 102×24 h sur une orbite circulaire d'altitude 5 00 km. Elle

$$\text{effectue donc : } N_{500} = \frac{102 \times 24}{T_{500}} = \frac{90 \times 24}{2,77} \approx 884 \text{ orbites.}$$

Le nombre total d'orbites circulaire est donc : $N_{\text{tot}} = N_{5000} + N_{500} = 205 + 884 = 1089$ orbites. La différence avec les 1167 orbites est due aux orbites elliptiques durant la première phase et à celles durant la dernière phase avec une orbite circulaire d'altitude inférieure à 500 km.

$$\begin{array}{r} 90 \times 24 \\ 10,54 \\ \hline 204.9335863 \\ 102 \times 24 \\ 2,77 \\ \hline 883.7545126 \\ \hline 205 + 884 \\ \hline 1089 \end{array}$$

2. Communication avec la Terre

Q.6. Indiquer à quel type d'ondes les ondes radio appartiennent : mécanique ou électromagnétique.

Les ondes radio sont des ondes électromagnétiques : elles peuvent se propager dans le vide de l'espace.

Q.7. 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.

Le signal radio effectue un aller-retour entre la Terre et Jupiter, de distance $2d_{\text{max}}$, pendant la durée maximale Δt à la célérité $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$:

$$c = \frac{2d_{\text{max}}}{\Delta t} \text{ soit } \Delta t = \frac{2d_{\text{max}}}{c} \text{ d'où : } \Delta t = \frac{2 \times 9,3 \times 10^{11} \text{ m}}{3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} = 6,2 \times 10^3 \text{ s} \approx 1,72 \text{ h} = 1 \text{ h } 43 \text{ min.}$$

La valeur obtenue est voisine de celle indiquée 1 h 46 min.

$$\begin{array}{r} 2 \times 9,3 \text{E}11 \\ 3,00 \text{E}8 \\ \hline 6200 \\ \hline \text{Rep} / 3600 \\ \hline 1,722222222 \\ \hline \text{Rep} - 1 \\ \hline 0,722222222 \\ \hline \text{Rep} * 60 \\ \hline 43,33333333 \end{array}$$

Merci de nous signaler d'éventuelles erreurs par email : labolycee@labolycee.org

Q.1. Les trois modes de transferts thermiques sont : **conduction**, **convection** et **rayonnement**.

Dans le vide spatial, il convient de protéger les satellites des transferts par **rayonnement** issus du Soleil.

Q.2. Vu que : - e s'exprime en m (dans le système international) ;

- u s'exprime en $W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}$;

- λ s'exprime en $W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}$;

On en déduit que $u = \frac{\lambda}{e} \Leftrightarrow \lambda = u \times e$ pour que la relation soit homogène.

Q.3. Pour la couverture de survie : $\lambda_1 = 408 \times 38 \times 10^{-6} = 1,6 \times 10^{-2} W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}$.

Pour la couverture en laine : $\lambda_2 = 38 \times 0,50 \times 10^{-3} = 1,9 \times 10^{-2} W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}$.

Ainsi, la conductivité thermique de la laine est environ 1,2 fois plus élevée que celle du matériau de la couverture de survie. À épaisseur égale, une couverture de laine est donc un peu moins efficace pour limiter les transferts **par conduction** qu'une couverture de survie.

Rq : *l'énoncé parle de conductivité thermique de la couverture alors qu'il faut parler de la conductivité thermique du matériau qui constitue la couverture.*

Q.4. D'après la figure 1, la lampe halogène émet majoritairement dans l'infrarouge. Le rayonnement du corps humain se fait essentiellement dans l'infrarouge également, d'où l'utilisation d'une lampe halogène pour remplacer le corps humain pour l'étude du transfert thermique à travers les couvertures.

Q.5. Par définition, la variation d'énergie interne d'un système incompressible est donnée par la relation : $\Delta U = m \times c \times \Delta T$.

?On pourrait le vérifier par analyse dimensionnelle ? $m \times c \times \Delta T \Leftrightarrow kg \times J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1} \times K = J$ cohérent avec une énergie.

Q.6. Par définition du flux thermique : $\phi = \frac{Q}{\Delta t}$

D'après le 1^{er} principe de la thermodynamique : $\Delta U = W + Q$.

Le système n'échange pas de travail avec le milieu extérieur $W = 0$, ainsi $\Delta U = Q = m \times c \times \Delta T$

$$\phi = \frac{m \times c \times \Delta T}{\Delta t} = m \times c \times \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

Q.7. En utilisant les valeurs de $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ de la figure 4 :

Avec la couverture de survie : $\phi_1 = 72,4 \times 10^{-3} \times 2008 \times 4,43 \times 10^{-3} = 0,64 W$

Avec la couverture en laine : $\phi_2 = 72,4 \times 10^{-3} \times 2008 \times 12,5 \times 10^{-3} = 1,8 W$

Conclusion : le flux thermique est environ trois fois plus faible avec la couverture de survie que celle en laine.

Rq : *sans calculer les flux thermiques, on pouvait dire que l'élévation de température par seconde est environ trois fois plus faible pour la couverture de survie et conclure.*

On en déduit que la couverture de survie a été plus efficace pour « protéger » la plaque de liège du rayonnement émis par la lampe halogène.

La lampe halogène modélisant ici le corps humain, la couverture de survie est plus efficace que la couverture en laine pour retenir la chaleur corporelle.