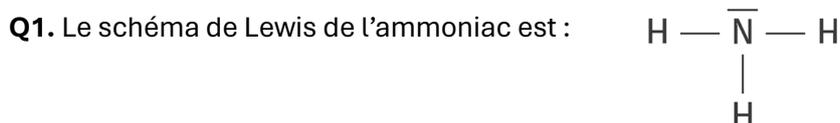


Sciences Physiques : Centres Etrangers Jour 2 (6 juin 2024)

> **Exercice 1 : l'ammoniac : un futur carburant pour les transports maritimes**

1. Étude de la molécule et de ses propriétés chimiques



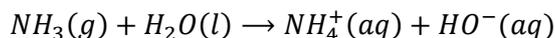
Q2.

$$\chi_N - \chi_H = 3,04 - 2,20 = 0,84$$

La différence d'électronégativité entre un atome d'hydrogène et un atome d'azote est supérieure à 0,4. Les liaisons N-H sont polarisées. La géométrie de la molécule étant pyramidale (d'après les données de l'énoncé), le centre des charges partielles positives ne coïncide pas avec le centre des charges partielles négatives. La molécule est donc polaire. Les molécules polaires sont solubles dans les solvant polaire. L'eau est un solvant polaire. Donc l'ammoniac est soluble dans l'eau.

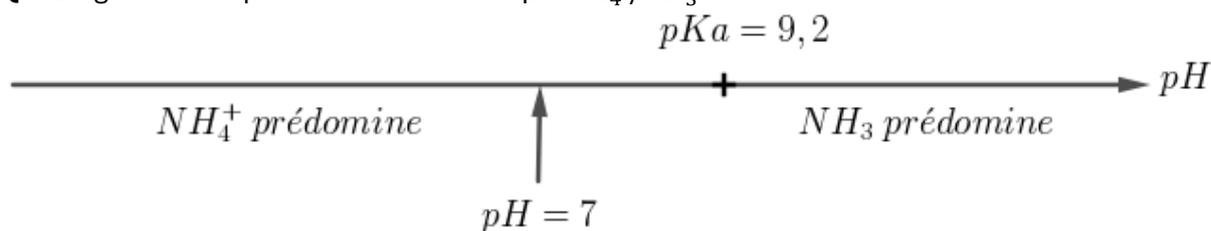
Q3. Une base de Brønsted est une espèce chimique capable de capter un ou plusieurs protons.

Q4. Équation de la réaction entre l'ammoniac et l'eau :



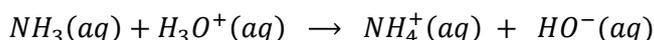
Q5. Lors de la dissolution de l'ammoniac dans l'eau, des ions hydroxyde sont produits. Ils sont responsables du caractère basique de la solution. Le BBT prend une teinte bleue en milieu basique d'après le tableau des indicateurs colorés donné. La solution obtenue est de teinte bleue.

Q6. Diagramme de prédominance du couple $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$



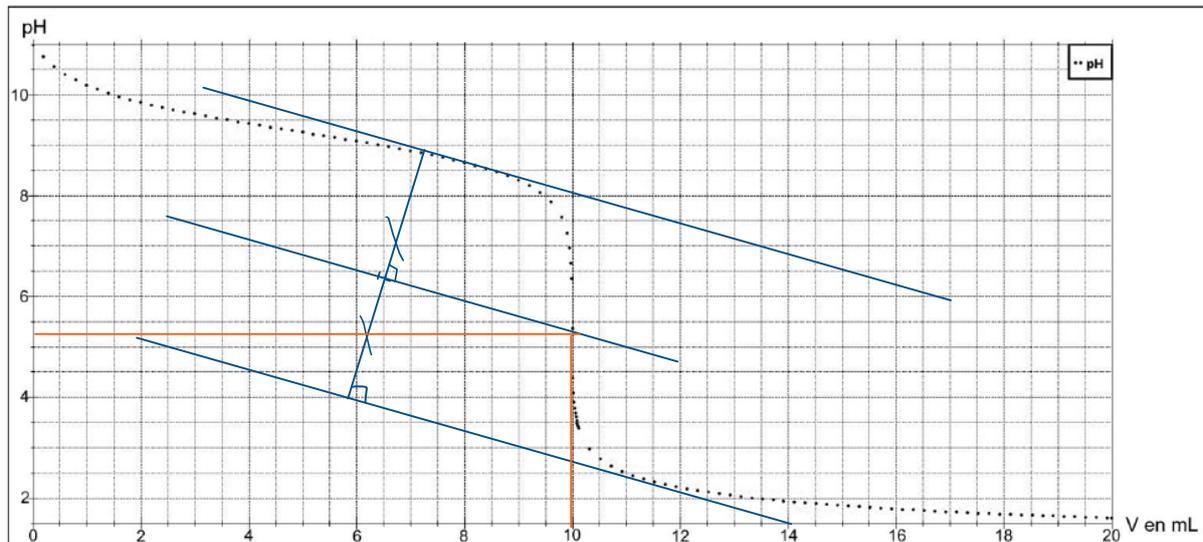
À pH = 7, c'est l'espèce $\text{NH}_4^+(aq)$ qui prédomine en solution.

Q7. La réaction support du titrage de l'ammoniac par l'acide chlorhydrique est :



Q8. D'après la figure 1 simulant la courbe du titrage, le pH à l'équivalence est $\text{pH}_{eq} = 5,3$.

L'indicateur coloré doit avoir une zone de virage contenant le pH à l'équivalence. Le rouge de méthyle change de couleur entre pH = 4,2 et pH = 6,2. Il est donc approprié à ce titrage.



Q9. À l'équivalence, les réactifs ont été introduits en quantités stœchiométriques.
Le volume d'acide chlorhydrique versé à l'équivalence est $V_E = 10,0 \text{ mL}$.

$$\frac{n_B}{1} = \frac{n_{AE}}{1}$$

$$C_B V_B = C_A V_E$$

$$C_B = \frac{C_A V_E}{V_B}$$

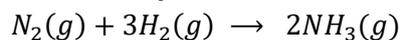
$$C_B = \frac{0,100 \times 10,0}{20,0}$$

$$C_B = 5,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

La concentration de la solution aqueuse d'ammoniac est de $5,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

2. Synthèse de l'ammoniac

Q10. Équation de la réaction modélisant la synthèse de l'ammoniac :



Q11. On peut dresser un tableau d'avancement :

Equation de la réaction :		$\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$		
Etat du système	Avancement	Quantité de matière (mol)		
initial	$x = 0$	6,0	6,0	0
intermédiaire	x	$6,0 - x$	$6,0 - 3x$	$2x$
final	$x = x_f$	$6,0 - x_f$	$6,0 - 3x_f$	$2x_f = 0,80$



$$\begin{aligned}n_{NH_3f} &= 2x_f \\0,80 &= 2x_f \\x_f &= 0,40 \text{ mol}\end{aligned}$$

Dans les conditions données, l'avancement final de la réaction est $x_f = 0,40 \text{ mol}$.

Déterminons le réactif limitant :

$$\frac{n_{N_2i}}{1} = \frac{6,0}{1} = 6,0 \text{ mol} \quad \text{et} \quad \frac{n_{H_2i}}{3} = \frac{6,0}{3} = 2,0 \text{ mol}$$

$$\frac{n_{N_2i}}{1} > \frac{n_{H_2i}}{3} \text{ donc } H_{2(g)} \text{ est le réactif limitant et } x_{max} = 2,0 \text{ mol}$$

$$\tau = \frac{x_f}{x_{max}} = \frac{0,40}{2,0} = 0,20$$

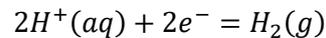
Le taux d'avancement est inférieur à 1, la réaction n'est donc pas totale.

Q12. Le courant électrique (i.e. les électrons) circule à l'extérieur du circuit. Les ions circulent dans l'électrolyseur.

La flèche ② indique le sens du déplacement des électrons (du - au +).

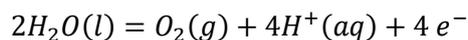
La flèche ③ indique le sens conventionnel du courant (du + au -).

Q13. L'électrode A est le siège de l'oxydation. À l'anode A :



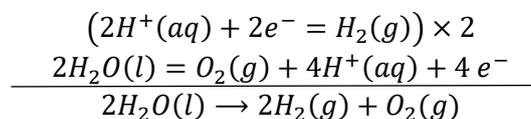
Il se forme du dihydrogène.

L'électrode B est le siège de la réduction. À la cathode B :



Il se forme du dioxygène.

Q14. L'équation de la réaction est :



Exprimons les quantités de matière des deux gaz formés.

$$n_{H_2} = \frac{V_{H_2}}{V_m} \quad \text{et} \quad n_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_m}$$

Ainsi $\frac{n_{H_2}}{n_{O_2}} = \frac{V_{H_2}}{V_{O_2}}$ et d'autre part $\frac{n_{H_2}}{n_{O_2}} = \frac{2}{1}$ d'après la stœchiométrie de la réaction.

On en déduit que $\frac{V_{H_2}}{V_{O_2}} = \frac{2}{1}$ c'est-à-dire $V_{H_2} = 2V_{O_2}$.

Il se forme deux fois plus de dihydrogène en volume que de dioxygène. Ceci confirme les résultats expérimentaux. On observe 4,0 mL de gaz dans un tube et 2,0 mL dans l'autre. Il s'est formé 4,0 mL de dihydrogène et 2,0 mL de dioxygène.

Q15. Par définition $Q = I \times \Delta t$

$$Q = 0,16 \times (3 \times 60 + 20)$$

$$Q = 32 \text{ C}$$

La quantité d'électricité ayant circulé dans le circuit est de 32 C.

D'autre part $Q = n_{e^-} \times \mathcal{N}_A \times e$

$$n_{e^-} = \frac{Q}{\mathcal{N}_A \times e}$$

$$n_{e^-} = \frac{32}{6,02 \cdot 10^{23} \times 1,6 \cdot 10^{-19}}$$

$$n_{e^-} = 3,3 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

$3,3 \cdot 10^{-4}$ mol d'électrons ont été échangées durant l'expérience.

Q16. D'après la demi-équation d'oxydo-réduction $2H^+(aq) + 2e^- = H_2(g)$ on a

$$n_{H_2} = \frac{n_{e^-}}{2}$$

et $V_{H_2} = n_{H_2} \times V_m$

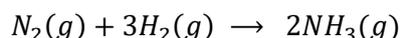
donc $V_{H_2} = \frac{n_{e^-}}{2} \times V_m$

$$V_{H_2} = \frac{3,3 \cdot 10^{-4}}{2} \times 24$$

$$V_{H_2} = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ L}$$

On pourrait obtenir 4,0 mL de dihydrogène dans les conditions expérimentales décrites. D'après la question 14, il s'est formé 4,0 mL de dihydrogène. La réaction est totale.

Q17. La synthèse de l'ammoniac a lieu suivant la réaction étudiée précédemment :



On a $\frac{n_{H_2}}{3} = \frac{n_{NH_3}}{2}$ d'où $n_{NH_3} = \frac{2}{3}n_{H_2}$

Le rendement de cette réaction est $\eta = \frac{n_{NH_3 \text{ exp}}}{n_{NH_3 \text{ théorique}}}$



$$n_{NH_3 \text{ exp}} = \eta \times n_{NH_3 \text{ théorique}}$$

$$n_{NH_3 \text{ exp}} = \eta \times \frac{2}{3} n_{H_2}$$

Ainsi la masse d'ammoniac produite est :

$$m_{NH_3} = n_{NH_3 \text{ exp}} \times M_{NH_3}$$

$$m_{NH_3} = \eta \times \frac{2}{3} n_{H_2} \times (M_N + 3M_H)$$

$$m_{NH_3} = \eta \times \frac{2}{3} \times \frac{m_{H_2}}{2M_H} \times (M_N + 3M_H)$$

Application numérique :

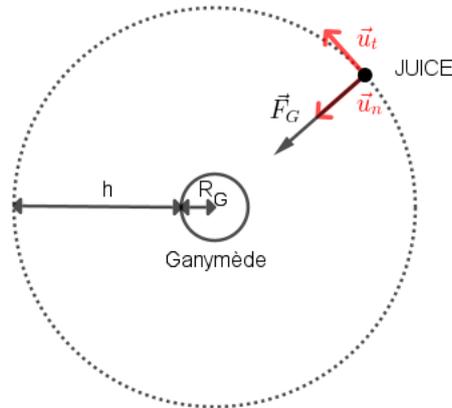
$$m_{NH_3} = 0,20 \times \frac{2}{3} \times \frac{640 \cdot 10^6}{2 \times 1,0} \times (14,0 + 3 \times 1,0)$$
$$m_{NH_3} = 7,3 \cdot 10^9 \text{ g}$$

L'usine de Pilbara pourrait produire en 2024 une masse de 730 tonnes d'ammoniac à partir des 640 tonnes de dihydrogène renouvelable.

> **Exercice 2 : À la découverte des lunes glacées de Jupiter.**

1. Orbite de la sonde JUICE autour de Ganymède

Q1. Schéma de la sonde JUICE en orbite autour de Ganymède :



Q2. Dans le repère de Frenet précédent, le vecteur force gravitationnelle a pour expression :

$$\vec{F}_G = G \times \frac{m \times M_G}{(R_G + h)^2} \times \vec{u}_N$$

avec m la masse de la sonde JUICE exprimée en kg.

Q3. Dans le référentiel de Ganymède, supposé galiléen, le système {JUICE} n'est soumis qu'à la force gravitationnelle \vec{F}_G . D'après la seconde loi de Newton :

$$\sum \vec{F}_{\text{extérieures}} = m \times \vec{a}$$

$$\vec{F}_G = m \times \vec{a}$$

$$G \times \frac{m \times M_G}{(R_G + h)^2} \times \vec{u}_N = m \times \vec{a}$$

$$\vec{a} = G \times \frac{M_G}{(R_G + h)^2} \times \vec{u}_N \quad (1)$$

D'autre part, dans un repère de Frenet $\vec{a} = \frac{v^2}{r} \vec{u}_n + \frac{dv}{dt} \vec{u}_t$ (2) avec v , la vitesse du satellite et r le rayon de sa trajectoire.

D'après la relation (1) le vecteur accélération n'a pas de composante tangentielle. On en déduit que dans la relation (2) on a $\frac{dv}{dt} = 0$.

Ainsi $v = \text{constante}$.

Le mouvement circulaire JUICE est donc uniforme.

Q4. On a :

$$\vec{a} = \frac{v^2}{R_G + h} \vec{u}_n = G \times \frac{M_G}{(R_G + h)^2} \times \vec{u}_N$$

d'où :



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

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

$$\Leftrightarrow v^2 = \frac{G \times M_G}{R_G + h}$$

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

Q5. Par définition $v = \frac{d}{\Delta t}$.

La sonde JUICE parcourt la distance $d = 2\pi(R_G + h)$ en un temps $\Delta t = T$ lors d'une orbite.

D'où : $v = \frac{2\pi(R_G + h)}{T}$

Ainsi :

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

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

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

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

Application numérique :

$$T_{500} = 2\pi \sqrt{\frac{(2,63 \cdot 10^6 + 500 \cdot 10^3)^3}{6,67 \cdot 10^{-11} \times 1,82 \cdot 10^{23}}}$$

$$T_{500} = 9,99 \cdot 10^3 \text{ s}$$

$$\frac{9,99 \cdot 10^3}{3600} = 2,77 \text{ h}$$

$$T_{500} = 2,77 \text{ h}$$

La sonde JUICE a une période proche de 2,77 h en orbite à 500 km d'altitude autour de Ganymède.



Q6. D'après la 3^e loi de Kepler : $\frac{T^2}{(R_G+h)^3} = \text{constante}$

$$\text{Ainsi } \frac{T_{500}^2}{(R_G+h_{500})^3} = \frac{T_{5000}^2}{(R_G+h_{5000})^3}$$

$$T_{5000} = T_{500} \times \sqrt{\frac{(R_G+h_{5000})^3}{(R_G+h_{500})^3}}$$

$$T_{5000} = 2,77 \times \sqrt{\left(\frac{2,63 \cdot 10^6 + 5000 \cdot 10^3}{2,63 \cdot 10^6 + 500 \cdot 10^3}\right)^3}$$

$$T_{5000} = 10,5 \text{ h}$$

Q7. Déterminons le nombre d'orbites nécessaires à l'étude de Ganymède.

La sonde reste en orbite haute (5000 km) durant 90 jours.

$$\frac{90 \times 24}{10,5} = 206$$

La sonde effectue 206 orbites à 5000 km d'altitudes.

La sonde reste en orbite basse (500 km) durant 102 jours.

$$\frac{102 \times 24}{2,77} = 884$$

La sonde effectue 884 orbites à 500 km d'altitudes.

$$206 + 884 = 1090$$

La sonde effectue 1090 orbites entre 500 et 5000 km d'altitude pour étudier Ganymède.

L'article indique que la sonde effectuera 1167 orbites. Cette valeur est supérieure au nombre d'orbites réalisées aux deux altitudes prévues pour l'étude de Ganymède. Les 1167 orbites sont suffisantes pour révéler les secrets de Ganymède.

2. Communication avec la Terre

Q8. Les ondes radio sont des ondes électromagnétiques pouvant se propager dans le vide.

Q9. Une onde électromagnétique se propage dans le vide à la vitesse de la lumière soit $c=3,00 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

$$\Delta t = \frac{d}{c}$$
$$\Delta t = \frac{2 \times 9,3 \cdot 10^{11}}{3,00 \cdot 10^8}$$

$$\Delta t = 6200 \text{ s}$$

$$\frac{6200}{3600} = 1,72 \text{ h} = 1 \text{ h } 43 \text{ min}$$

Le temps mis par le signal radio pour faire un aller-retour entre la sonde et la Terre est de 1h43 min donc proche de la valeur annoncée de 1h46 min.



> Exercice 3 : Couverture de survie ou couverture en laine ?

Q1. Les trois modes de transferts thermiques sont la conduction, la convection et le rayonnement. Les satellites doivent être protégés du soleil pour éviter la surchauffe. C'est le transfert thermique par rayonnement qu'il faut limiter.

Q2. Par analyse dimensionnelle on a : $W.K^{-1}.m^{-1} = W.K^{-1}.m^{-2} \times m$
Ainsi $\lambda = u \times e$

Q3. Conductivité thermique de la couverture de survie :

$$\lambda_1 = u_1 \times e_1$$

$$\lambda_1 = 408 \times 38.10^{-6}$$
$$\lambda_1 = 1,6.10^{-2} W.K^{-1}.m^{-1}$$

Conductivité thermique de la couverture de survie :

$$\lambda_2 = u_2 \times e_2$$

$$\lambda_2 = 38 \times 0,50.10^{-3}$$
$$\lambda_2 = 1,9.10^{-2} W.K^{-1}.m^{-1}$$

Comparons ces deux conductivités thermiques :

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{1,9.10^{-2}}{1,6.10^{-2}} = 1,2$$

La conductivité thermique de la couverture en laine est 1,2 fois plus grande que celle de la couverture de survie. La couverture en laine est moins efficace que la couverture de survie pour lutter contre le transfert thermique par conduction.

Q4. D'après la figure 1, la radiance de la lampe halogène est maximale dans le domaine des ondes infrarouges. Cette grandeur étant proportionnelle à la puissance du rayonnement par unité de surface, la lampe halogène émet le plus de rayonnement dans l'infrarouge. Le rayonnement du corps humain se fait essentiellement dans l'infrarouge. La lampe halogène permet de simuler le rayonnement du corps humain dans l'étude du transfert thermique à travers les couvertures.

Q5. Par définition, pour un système incompressible :

$$\Delta U = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Q6. Par définition $\Phi = \frac{Q}{\Delta t}$.

D'après le premier principe de la thermodynamique, la variation d'énergie interne d'un système est la somme du travail et de la chaleur échangés avec l'extérieur.

$$\Delta U = W + Q$$

Et pour un système incompressible, $W = 0$ donc :

$$\Delta U = Q$$



Ainsi $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ donc

$$\text{donc } \Phi = m \cdot c \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

Q7. Déterminons le flux qui traverse la plaque de liège dans les deux cas des figures 3 et 4.

Avec la couverture de survie :

$$\begin{aligned}\Phi_1 &= m \cdot c_{\text{liège}} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t_1} \\ \Phi_1 &= 72,4 \cdot 10^{-3} \times 2008 \times 4,43 \cdot 10^{-3} \\ \Phi_1 &= 0,644 \text{ W}\end{aligned}$$

Avec la couverture en laine :

$$\begin{aligned}\Phi_2 &= m \cdot c_{\text{liège}} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t_2} \\ \Phi_2 &= 72,4 \cdot 10^{-3} \times 2008 \times 12,5 \cdot 10^{-3} \\ \Phi_1 &= 1,82 \text{ W}\end{aligned}$$

Comparons les résultats :

$$\frac{\Phi_2}{\Phi_1} = \frac{1,82}{0,644} = 2,83$$

Le flux thermique qui traverse la couverture en laine est environ trois fois plus grand que le flux thermique qui traverse la couverture de survie. La couverture de survie est plus efficace que la couverture en laine à retenir la chaleur corporelle.