Corrigé complet — Bac 2024 Centres étrangers 1 Jour 2

Physique-chimie, enseignement de spécialité **20 points** **3 h 30**

Ex 1	**L'ammoniac : un futur carburant pour les transports** Schéma de Lewis et polarité · Couple acide-base et diagramme de prédominance · Titrage pH-métrique · Avancement et taux d'avancement · Électrolyse et quantité d'électricité · Rendement d'une synthèse	9 pts	1 h 35	17 questions	p. 2
Ex 2	**à la découverte des lunes glacées de Jupiter** Repère de Frenet · Deuxième loi de Newton · Mouvement circulaire uniforme · Période de révolution · Troisième loi de Kepler · Ondes électromagnétiques	6 pts	1 h 03	9 questions	p. 9
Ex 3	**Couverture de survie ou couverture en laine ?** Modes de transfert thermique · Analyse dimensionnelle · Conductivité thermique · Premier principe de la thermodynamique · Flux thermique · Capacité thermique massique	5 pts	53 min	7 questions	p. 13

Comment s'en servir. Fais d'abord le sujet en temps limité, puis corrige-toi exercice par exercice. À gauche de chaque question, sur les carreaux : ce qu'il faut écrire sur ta copie. À droite : les pièges, ce qu'il faut comprendre et les méthodes.

L'ammoniac : un futur carburant pour les transports

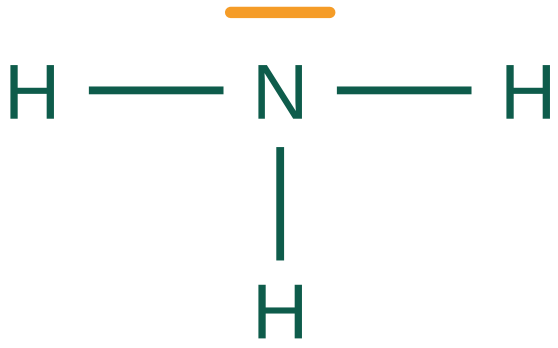
Bac 2024 Centres étrangers 1 Jour 2 · Exercice 1 **9 points** **Durée conseillée 1 h 35**

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

Données utiles $Z(\mathrm{N}) = 7$

Azote : $Z = 7$, configuration $1s^2\,2s^2\,2p^3$, soit 5 électrons de valence. Chaque hydrogène en apporte 1 : $5 + 3 \times 1 = 8$ électrons, donc 4 doublets.

L'azote porte trois liaisons simples N–H et un doublet non liant (schéma ci-contre).



Q.1 · Schéma de Lewis de l'ammoniac ; le doublet non liant est en orange

PIÈGE
Oublier le doublet non liant de l'azote : sans lui, l'azote n'a que 6 électrons autour de lui au lieu de 8, et le schéma est compté faux.

COMPRENDRE
Ce doublet non liant repousse les trois liaisons : c'est lui qui explique la géométrie pyramidale donnée par l'énoncé, et le caractère basique de l'ammoniac.

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

Données utiles $\chi(\mathrm{N}) = 3{,}04$; $\chi(\mathrm{H}) = 2{,}20$; $\chi(\mathrm{O}) = 3{,}44$; molécule pyramidale

Liaison N–H : $\Delta\chi = 3{,}04 - 2{,}20 = 0{,}84 > 0{,}4$, la liaison est polarisée ; N porte une charge partielle négative, chaque H une charge partielle positive.

La molécule est pyramidale : le centre des charges partielles positives ne coïncide pas avec celui de la charge négative. L'ammoniac est donc une molécule polaire.

L'eau est elle aussi polaire ($\Delta\chi = 3{,}44 - 2{,}20 = 1{,}24$ et molécule coudée).

Une espèce polaire est très soluble dans un solvant polaire ; de plus, $\mathrm{NH_3}$ et $\mathrm{H_2O}$ établissent entre elles des liaisons hydrogène.

PIÈGE
Des liaisons polarisées ne suffisent pas à rendre une molécule polaire : il faut aussi invoquer la géométrie. Une molécule plane et symétrique serait apolaire.

Q.3 Définir une base selon Brönsted.

Une base de Brönsted est une espèce chimique capable de capter un ion hydrogène $\mathrm{H^+}$ (un proton).

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

L'ammoniac est la base du couple NH_4^+/NH_3 ; l'eau est l'acide du couple H_2O/HO^- et lui cède un ion H^+.

$$NH_3\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons NH_4^+\,(aq) + HO^-\,(aq)$$

PIÈGE
Écrire H_3O^+ parmi les produits : ici l'eau joue le rôle d'acide, elle perd un H^+ et devient HO^-.

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

Données utiles BBT : jaune en dessous de pH 6,0 ; bleu au-dessus de pH 7,6 ; eau initialement à pH = 7

La réaction de l'ammoniac avec l'eau forme des ions hydroxyde HO^- : la solution devient basique et son pH, initialement égal à 7, augmente. L'ammoniac étant très soluble, il s'en dissout beaucoup et le pH dépasse 7,6.

Le BBT prend sa teinte basique : la solution est bleue.

COMPRENDRE
La mesure donnée juste après le confirme : pH = 11,0, bien au-dessus de la zone de virage du BBT.

Q.6 Indiquer l'espèce qui prédomine dans la solution de pH = 11,0 en justifiant à l'aide d'un diagramme de prédominance.

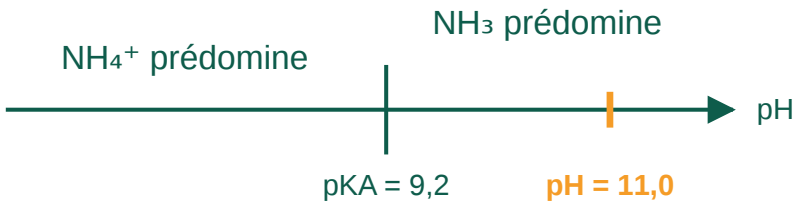
Données utiles $pK_A(NH_4^+/NH_3) = 9{,}2$; pH = 11,0

Pour $pH < pK_A$, l'acide NH_4^+ prédomine ; pour $pH > pK_A$, c'est la base NH_3.

Ici $pH = 11{,}0 > pK_A = 9{,}2$.

L'ammoniac NH_3 prédomine dans la solution.

MÉTHODE
Tracer l'axe des pH, placer le pK_A, écrire l'acide à gauche et la base à droite, puis situer le pH de la solution.



Q.6 · Diagramme de prédominance du couple ion ammonium / ammoniac

Q.7 Écrire l'équation de la réaction support du titrage de l'ammoniac par l'acide chlorhydrique.

La base titrée NH_3 capte l'ion H^+ cédé par l'acide titrant H_3O^+.

$$NH_3\,(aq) + H_3O^+\,(aq) \longrightarrow NH_4^+\,(aq) + H_2O\,(l)$$

PIÈGE
Flèche simple obligatoire : une réaction support de titrage est totale. Les ions chlorure sont spectateurs, ils ne figurent pas dans l'équation.

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

Données utiles zones de virage : hélianthine 3,1 – 4,4 ; rouge de méthyle 4,2 – 6,2 ; BBT 6,0 – 7,6 ; thymolphtaléine 9,3 – 10,5

Un indicateur convient si sa zone de virage contient le pH à l'équivalence.

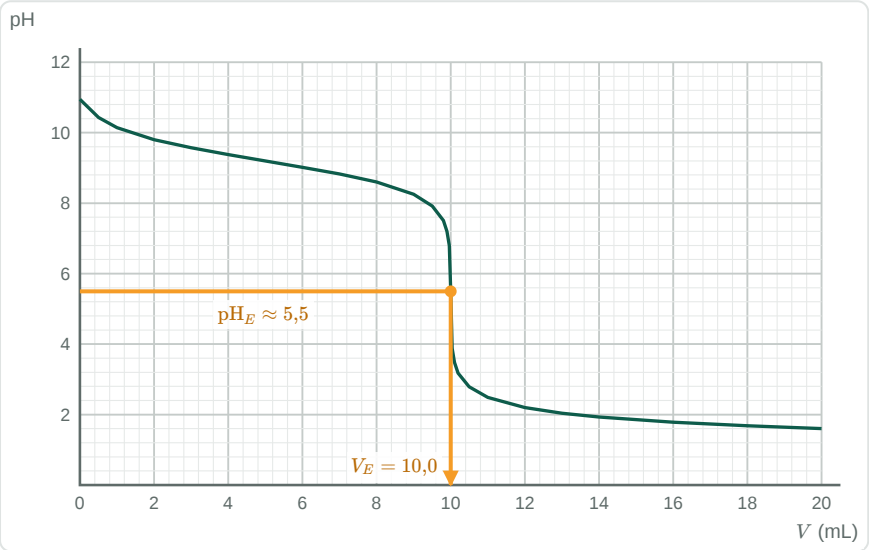
La méthode des tangentes parallèles, appliquée à la courbe de la figure 1, donne le point équivalent E : $V_E = 10{,}0\ \text{mL}$ et $\text{pH}_E \approx 5{,}5$.

Seule la zone de virage du rouge de méthyle contient cette valeur : $4{,}2 < 5{,}5 < 6{,}2$.

Le rouge de méthyle convient : il passe du jaune au rouge à l'équivalence.

PIÈGE
La solution est basique au départ, donc l'indicateur est d'abord jaune. Annoncer un virage « du rouge au jaune » inverse le sens du titrage.

COMPRENDRE
À l'équivalence, la solution contient l'acide faible NH_4^+ : le pH y est inférieur à 7. C'est pourquoi le BBT, adapté aux titrages acide fort – base forte, ne convient pas ici.



Q.8 · Figure 1 du sujet (allure), avec le repérage du point équivalent

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

Données utiles $V_B = 20{,}0\ \text{mL}$; $C_A = 0{,}100\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $V_E = 10{,}0\ \text{mL}$ (Q8)

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de l'équation du titrage (1 pour 1) :

$n(NH_3)_{\text{initial}} = n(H_3O^+)_{\text{versé}}$, soit $C_B \times V_B = C_A \times V_E$.

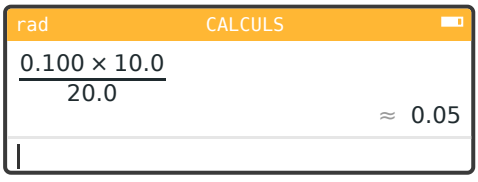
$$C_B = \frac{C_A \times V_E}{V_B} = \frac{0{,}100 \times 10{,}0}{20{,}0}$$

$C_B = 5{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : V_E est lu sur un graphique dont une petite division vaut 0,4 mL ; deux chiffres suffisent pour C_B. Écrire $5{,}00 \times 10^{-2}$ est accepté.

MÉTHODE
Les deux volumes figurent dans un rapport : on peut les laisser en mL, à condition de garder la même unité pour les deux.

À LA CALCULATRICE



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

Réactifs : diazote et dihydrogène ; produit : ammoniac. On ajuste d'abord N (2 de chaque côté), puis H (6 de chaque côté).

$$\mathrm{N_2\,(g) + 3\,H_2\,(g) \longrightarrow 2\,NH_3\,(g)}$$

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

Données utiles $n_i(\mathrm{N_2}) = 6{,}0\ \mathrm{mol}$; $n_i(\mathrm{H_2}) = 6{,}0\ \mathrm{mol}$; $n_f(\mathrm{NH_3}) = 0{,}80\ \mathrm{mol}$

Pour un avancement x, les quantités de matière sont : $n(\mathrm{N_2}) = 6{,}0 - x$; $n(\mathrm{H_2}) = 6{,}0 - 3x$; $n(\mathrm{NH_3}) = 2x$.

Avancement final : $2x_f = 0{,}80\ \mathrm{mol}$, donc $x_f = 0{,}40\ \mathrm{mol}$.

Avancement maximal :

- si $\mathrm{N_2}$ est limitant : $6{,}0 - x_{max} = 0$, soit $x_{max} = 6{,}0\ \mathrm{mol}$;
- si $\mathrm{H_2}$ est limitant : $6{,}0 - 3x_{max} = 0$, soit $x_{max} = 2{,}0\ \mathrm{mol}$.

On retient la plus petite valeur : $\mathrm{H_2}$ est le réactif limitant et $x_{max} = 2{,}0\ \mathrm{mol}$.

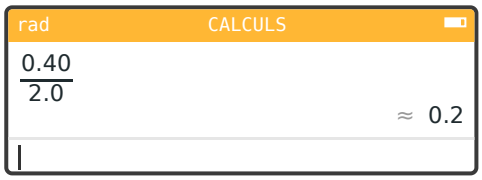
Taux d'avancement final : $\tau = \dfrac{x_f}{x_{max}} = \dfrac{0{,}40}{2{,}0} = 0{,}20$.

$x_f = 0{,}40\ \mathrm{mol} < x_{max} = 2{,}0\ \mathrm{mol}$: la transformation n'est pas totale ($\tau = 20\ \%$).

PIÈGE
Les quantités initiales sont égales, mais le dihydrogène est consommé trois fois plus vite : c'est lui le réactif limitant. Prendre $x_{max} = 6{,}0$ mol donne un taux faux.

COMPRENDRE
On retrouve 20 %, la valeur du rendement annoncée plus loin par l'énoncé pour la production d'ammoniac.

À LA CALCULATRICE



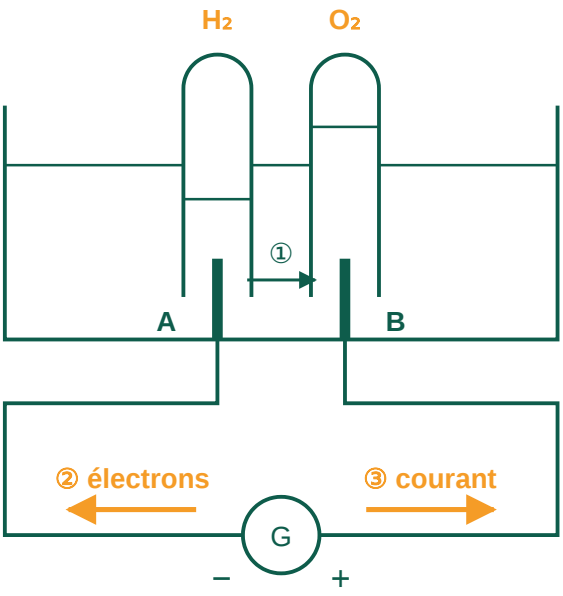
Q.12 Indiquer, parmi les flèches ①, ② et ③ de la figure 4, celles qui représentent respectivement le sens du courant électrique et celui du déplacement des électrons.

À l'extérieur du générateur, le courant électrique sort par la borne $+$: c'est la flèche ③.

Les électrons circulent dans les fils en sens inverse du courant : ils sortent par la borne $-$, c'est la flèche ②.

Courant électrique : flèche ③ ; déplacement des électrons : flèche ②.

PIÈGE
La flèche ① est tracée dans la solution, où aucun électron ne circule : le courant y est assuré par les ions. Elle ne répond à aucune des deux demandes.



Q.12 · Figure 4 complétée : sens du courant, sens des électrons et gaz formés (Q.12 et Q.13)

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

L'électrode A est reliée à la borne $-$ du générateur : elle reçoit des électrons, il s'y produit une réduction (cathode).

Électrode A : $2\,H^+\,(aq) + 2\,e^- \longrightarrow H_2\,(g)$; le gaz formé est le dihydrogène.

L'électrode B est reliée à la borne $+$: des électrons la quittent, il s'y produit une oxydation (anode).

Électrode B : $2\,H_2O\,(l) \longrightarrow O_2\,(g) + 4\,H^+\,(aq) + 4\,e^-$; le gaz formé est le dioxygène.

A : réduction des ions H^+, dégagement de dihydrogène ; B : oxydation de l'eau, dégagement de dioxygène.

PIÈGE
Dans une électrolyse, le générateur impose le sens : la cathode est reliée à la borne $-$, à l'inverse d'une pile où la borne $-$ est l'anode.

MÉTHODE
Repérer où arrivent les électrons. Ils sont consommés par une réduction (électrons à gauche de la flèche) et libérés par une oxydation (électrons à droite).

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

Données utiles volumes recueillis : 4,0 mL dans un tube et 2,0 mL dans l'autre

Il faut autant d'électrons captés que cédés : on multiplie la réduction par 2.

$4\,H^+\,(aq) + 4\,e^- \longrightarrow 2\,H_2\,(g)$ et $2\,H_2O\,(l) \longrightarrow O_2\,(g) + 4\,H^+\,(aq) + 4\,e^-$

En additionnant, les ions H^+ et les électrons se simplifient :
$2\,H_2O\,(l) \longrightarrow 2\,H_2\,(g) + O_2\,(g)$.

D'après cette équation, $n(H_2) = 2\,n(O_2)$. Les deux gaz ont le même volume molaire, donc $V(H_2) = 2\,V(O_2)$.

Expérimentalement, le tube de l'électrode A (dihydrogène) contient le plus de gaz : $\dfrac{V(H_2)}{V(O_2)} = \dfrac{4{,}0}{2{,}0} = 2{,}0$.

$2\,H_2O\,(l) \longrightarrow 2\,H_2\,(g) + O_2\,(g)$; le rapport des volumes vaut 2,0, la stœchiométrie est validée.

COMPRENDRE
Pour des gaz dans les mêmes conditions, $n = V/V_m$ avec le même V_m : un rapport de volumes est égal au rapport des quantités de matière.

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

Données utiles $I = 0{,}16$ A ; $\Delta t = 3$ min 20 s ; $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1} ; $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C

Durée en secondes : $\Delta t = 3 \times 60 + 20 = 200$ s.

$Q = I \times \Delta t = 0{,}16 \times 200 = 32$ C

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

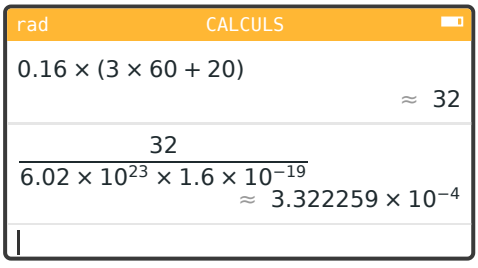
$$n_{e^-} = \frac{Q}{N_A \times e} = \frac{32}{6{,}02 \times 10^{23} \times 1{,}6 \times 10^{-19}}$$

$Q = 32$ C et $n_{e^-} = 3{,}3 \times 10^{-4}$ mol

PIÈGE
Laisser la durée en minutes : la relation $Q = I \times \Delta t$ donne des coulombs seulement si Δt est en secondes.

MÉTHODE
Mettre le dénominateur entre parenthèses à la calculatrice, sinon le résultat est multiplié par e au lieu d'être divisé.

À LA CALCULATRICE



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

Données utiles $n_{e^-} = 3{,}3 \times 10^{-4}$ mol (Q15) ; $V_m = 24$ L · mol^{-1} ; volume recueilli à l'électrode A : 4,0 mL

D'après $2\,H^+\,(aq) + 2\,e^- \longrightarrow H_2\,(g)$, il faut 2 moles d'électrons pour former 1 mole de dihydrogène : $n(H_2) = \dfrac{n_{e^-}}{2}$.

$$V(H_2) = n(H_2) \times V_m = \frac{n_{e^-}}{2} \times V_m = \frac{3{,}3 \times 10^{-4}}{2} \times 24 = 4{,}0 \times 10^{-3}\ \text{L}$$

$V(H_2) = 4{,}0$ mL : c'est exactement le volume recueilli à l'électrode A, le modèle est en accord avec l'expérience.

PIÈGE
Oublier la division par 2 conduit à 8,0 mL, le double du volume recueilli : ce désaccord doit alerter.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{3.3 \times 10^{-4}}{2} \times 24$

≈ 0.00396

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

Données utiles $m(\mathrm{H_2}) = 640$ t par an ; rendement 20 % ; $M(\mathrm{H}) = 1{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{N}) = 14{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; production mondiale : 180 millions de tonnes par an

Masses molaires : $M(\mathrm{H_2}) = 2{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{NH_3}) = 14{,}0 + 3 \times 1{,}0 = 17{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$.

Quantité de dihydrogène produite : $n(\mathrm{H_2}) = \dfrac{m(\mathrm{H_2})}{M(\mathrm{H_2})} = \dfrac{640 \times 10^6}{2{,}0} = 3{,}2 \times 10^8$ mol.

D'après $\mathrm{N_2 + 3\,H_2 \longrightarrow 2\,NH_3}$, si la transformation était totale : $n_{max}(\mathrm{NH_3}) = \dfrac{2}{3} n(\mathrm{H_2}) = 2{,}1 \times 10^8$ mol.

Avec un rendement $\eta = 0{,}20$:

$$m(\mathrm{NH_3}) = \eta \times \frac{2}{3} n(\mathrm{H_2}) \times M(\mathrm{NH_3})$$

$$m(\mathrm{NH_3}) = 0{,}20 \times \frac{2}{3} \times 3{,}2 \times 10^8 \times 17{,}0 = 7{,}3 \times 10^8\ \mathrm{g}$$

Commentaire : c'est très peu devant les 180 millions de tonnes produites chaque année dans le monde, environ 4 millionièmes. Ce n'est qu'une première phase, et le rendement de 20 % impose de recycler les gaz qui n'ont pas réagi.

$m(\mathrm{NH_3}) = 7{,}3 \times 10^2$ t, soit environ 730 tonnes d'ammoniac par an.

PIÈGE
Une tonne vaut 10^6 g, pas 10^3 g. Et le rendement s'applique à la quantité maximale d'ammoniac : oublier le facteur $2/3$ ou les 20 % fausse le résultat.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer le plan (masse → quantité de $\mathrm{H_2}$ → stœchiométrie → rendement → masse), garder les valeurs intermédiaires non arrondies en mémoire, n'arrondir qu'à la fin.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{640 \times 10^6}{2.0}$

$\approx 3.2 \times 10^8$

$\dfrac{0.20 \times 2}{3} \times 3.2 \times 10^8 \times 17.0$

$\approx 7.253333 \times 10^8$

$\dfrac{7.3 \times 10^2}{180 \times 10^6}$

$\approx 4.055556 \times 10^{-6}$

à la découverte des lunes glacées de Jupiter

Bac 2024 Centres étrangers 1 Jour 2 · Exercice 2 **6 points** **Durée conseillée 1 h 03**

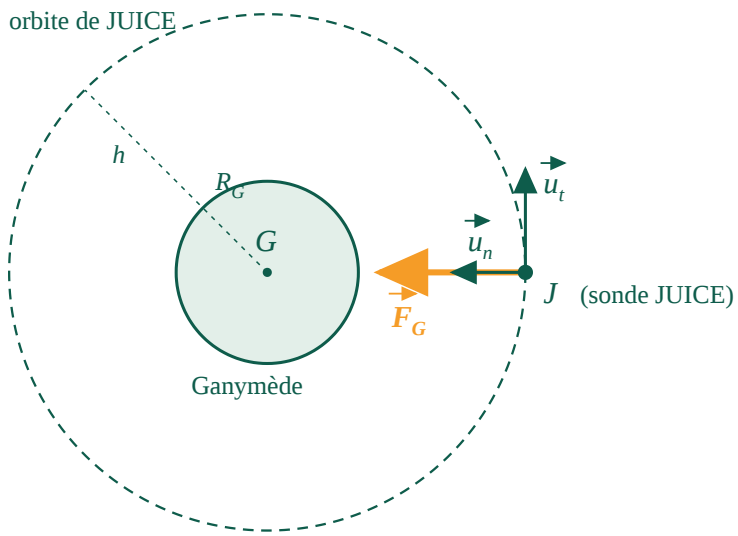
Q.1 Schématiser, sans souci d'échelle, Ganymède et l'orbite de la sonde JUICE. Placer le repère de Frenet $(\vec{u}_t, \vec{u}_n)$ et représenter la force gravitationnelle $\overrightarrow{F_G}$ exercée par Ganymède sur la sonde.

Ganymède est au centre G de l'orbite circulaire, de rayon $R_G + h$. En un point J de la trajectoire :

- $\vec{u}_t$ est tangent au cercle, dans le sens du mouvement ;
- $\vec{u}_n$ est porté par le rayon et dirigé vers le centre G ;
- $\overrightarrow{F_G}$ a pour origine J, pour direction la droite (JG) et pour sens de J vers G.

Schéma ci-dessous : $\overrightarrow{F_G}$ est colinéaire à $\vec{u}_n$ et de même sens.

PIÈGE
Dessiner $\vec{u}_n$ vers l'extérieur du cercle, ou faire partir la force du centre de Ganymède : son point d'application est la sonde.



Q.1 · Ganymède, l'orbite de JUICE, le repère de Frenet et la force

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

En notant m la masse de la sonde, la distance entre les centres étant $R_G + h$:

$$\overrightarrow{F_G} = \frac{G\,m\,M_G}{(R_G+h)^2}\,\vec{u}_n$$

PIÈGE
Écrire h^2 ou R_G^2 au dénominateur : la distance qui compte va du centre de Ganymède à la sonde. Pas de signe « $-$ » : la force attractive est dans le sens de $\vec{u}_n$.

Q.3 $\overrightarrow{F_G}$ étant la seule force exercée sur la sonde, montrer que son mouvement circulaire est uniforme dans le référentiel, supposé galiléen, centré sur Ganymède.

Système {sonde JUICE}, de masse m constante ; référentiel centré sur Ganymède, supposé galiléen ; seule force : $\overrightarrow{F_G}$.

Deuxième loi de Newton : $\sum \overrightarrow{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}$, soit $\dfrac{G\,m\,M_G}{(R_G+h)^2}\,\vec{u}_n = m\,\vec{a}$, donc

$$\vec{a} = \frac{G\,M_G}{(R_G+h)^2}\,\vec{u}_n + 0\,\vec{u}_t$$

Pour un mouvement circulaire de rayon R_G+h, dans le repère de Frenet : $\vec{a} = \dfrac{v^2}{R_G+h}\,\vec{u}_n + \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\,\vec{u}_t$.

Par identification selon $\vec{u}_t$:

$\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$: la valeur v de la vitesse est constante, le mouvement circulaire est **uniforme**.

PIÈGE
Affirmer que l'accélération est nulle parce que la vitesse est constante. Seule la valeur de la vitesse est constante : sa direction change, donc $\vec{a} \neq \vec{0}$.

MÉTHODE
Orbite circulaire et force centrale : 1) deuxième loi de Newton ; 2) accélération dans le repère de Frenet ; 3) identification. Selon $\vec{u}_t$ on obtient l'uniformité, selon $\vec{u}_n$ la vitesse (Q.4).

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

L'identification des deux expressions de $\vec{a}$ (Q.3) selon $\vec{u}_n$ donne :

$$\frac{v^2}{R_G+h} = \frac{G\,M_G}{(R_G+h)^2} \quad \text{donc} \quad v^2 = \frac{G\,M_G}{R_G+h}$$

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

COMPRENDRE
La masse de la sonde a disparu : sur une orbite donnée, tout objet a la même vitesse. Plus l'altitude est grande, plus la vitesse est faible.

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 d'altitude 500 km, la période est proche de $T_{500} = 2{,}77$ h.

Données utiles $R_G = 2{,}63 \times 10^3$ km ; $M_G = 1{,}82 \times 10^{23}$ kg ; $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ m$^3 \cdot$ kg$^{-1} \cdot$ s^{-2} ; $h = 500$ km

En une période T, la sonde parcourt à vitesse constante le périmètre $2\pi(R_G+h)$ de son orbite :

$$T = \frac{2\pi(R_G+h)}{v} = 2\pi(R_G+h)\sqrt{\frac{R_G+h}{G\,M_G}} \quad \text{soit} \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{(R_G+h)^3}{G\,M_G}}$$

Avec $R_G + h = 2{,}63 \times 10^6 + 500 \times 10^3 = 3{,}13 \times 10^6$ m :

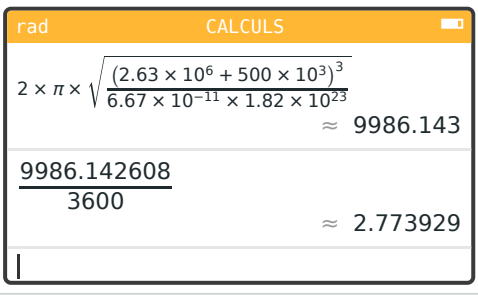
$$T_{500} = 2\pi\sqrt{\frac{(3{,}13 \times 10^6)^3}{6{,}67 \times 10^{-11} \times 1{,}82 \times 10^{23}}} = 9{,}99 \times 10^3 \text{ s}$$

$T_{500} = \dfrac{9{,}99 \times 10^3}{3600} = 2{,}77$ h : c'est bien la valeur annoncée.

PIÈGE
Laisser R_G et h en kilomètres : G est en m$^3 \cdot$ kg$^{-1} \cdot$ s^{-2}, les distances doivent être en mètres. La formule donne alors des secondes, à diviser par 3600.

COMPRENDRE
Les données ont trois chiffres significatifs : le résultat en garde trois.

À LA CALCULATRICE



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.

Données utiles $T_{500} = 2{,}77$ h (Q.5) ; $R_G = 2{,}63 \times 10^3$ km ; $h_{500} = 500$ km ; $h_{5000} = 5\,000$ km

Troisième loi de Kepler : pour tous les satellites de Ganymède, le rapport $\dfrac{T^2}{r^3}$ est le même, $r = R_G + h$ étant le rayon de l'orbite circulaire.

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

$$T_{5000} = 2{,}77 \times \left(\frac{2{,}63 \times 10^3 + 5\,000}{2{,}63 \times 10^3 + 500}\right)^{3/2}$$

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

PIÈGE
Utiliser les altitudes à la place des rayons : $(5\,000/500)^{3/2}$ donnerait 88 h. Le rayon de l'orbite est $R_G + h$.

COMPRENDRE
Dans un rapport, les unités se simplifient : on peut laisser les distances en kilomètres et la période en heures, pourvu que numérateur et dénominateur aient la même unité.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$2.77 \times \left(\dfrac{2.63 \times 10^3 + 5000}{2.63 \times 10^3 + 500}\right)^{1.5} \approx 10.54266$

Q.7 À l'aide des réponses aux questions 5 et 6, estimer le nombre d'orbites effectuées par la sonde autour de Ganymède et commenter la phrase « Les 1167 orbites que la sonde JUICE effectuera autour de Ganymède […] ».

Données utiles 90 jours à 5 000 km d'altitude, $T_{5000} = 10{,}5$ h (Q.6) ; 102 jours à 500 km d'altitude, $T_{500} = 2{,}77$ h (Q.5)

Le nombre d'orbites sur une phase est $N = \dfrac{\text{durée de la phase}}{T}$, les deux durées étant en heures.

Orbite d'altitude 5 000 km : $N_{5000} = \dfrac{90 \times 24}{10{,}5} \approx 206$ orbites.

Orbite d'altitude 500 km : $N_{500} = \dfrac{102 \times 24}{2{,}77} \approx 884$ orbites.

Pour les deux phases étudiées : $N = 206 + 884 \approx 1{,}09 \times 10^3$ orbites.

Les deux autres phases (30 jours sur orbite elliptique, 30 jours à moins de 500 km) ne sont pas calculables ici et ajoutent des orbites à ce total.

$N \approx 1{,}09 \times 10^3$ orbites sur les deux phases circulaires connues : même ordre de grandeur que les 1167 annoncées (écart de 7 % environ), la phrase est cohérente.

COMPRENDRE
Sous 500 km, la période est inférieure à 2,77 h : en 30 jours, la dernière phase compterait plus de 260 orbites. Le total réel dépasserait donc 1167 : la valeur de l'article est à lire comme un ordre de grandeur.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer la démarche, mener un calcul par phase, additionner, puis confronter à la valeur citée en nommant ce que le calcul laisse de côté. Une démarche incomplète mais claire rapporte des points.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{90 \times 24}{10.5} \approx 205.7143$

$\dfrac{102 \times 24}{2.77} \approx 883.7545$

$\dfrac{1167 - 1090}{1167} \approx 0.06598115$

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

Le signal traverse le vide spatial entre Jupiter et la Terre : il ne nécessite pas de milieu matériel pour se propager.

Les ondes radio sont des ondes **électromagnétiques**.

COMPRENDRE
Une onde mécanique (son, houle, onde sismique) a besoin d'un milieu matériel. Dans le vide, toutes les ondes électromagnétiques se propagent à la célérité c.

Q.9 Montrer, en négligeant la distance entre la sonde et Jupiter, que la durée d'un aller-retour du signal radio entre la sonde JUICE et la Terre est proche de celle annoncée (1 h 46).

Données utiles distance maximale Jupiter-Terre : $d = 9{,}3 \times 10^8$ km ; $c = 3{,}00 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

La sonde est supposée à la même distance de la Terre que Jupiter.
Pour un aller-retour, le signal parcourt $2d$ à la célérité c :

$$\Delta t = \frac{2d}{c} = \frac{2 \times 9{,}3 \times 10^{11}}{3{,}00 \times 10^8} = 6{,}2 \times 10^3\ \text{s}$$

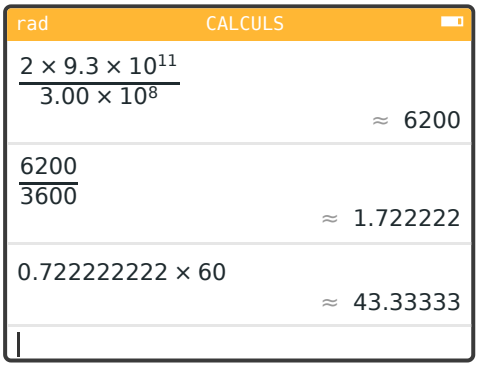
Conversion : $\dfrac{6{,}2 \times 10^3}{3600} = 1{,}72$ h, soit 1 h et $0{,}72 \times 60 \approx 43$ min.

$\Delta t \approx 6{,}2 \times 10^3\ \text{s} \approx 1\ \text{h}\ 43\ \text{min}$, proche de 1 h 46 annoncée (écart de 3 % environ).

PIÈGE
Oublier le facteur 2 de l'aller-retour, ou laisser la distance en kilomètres : $9{,}3 \times 10^8$ km $= 9{,}3 \times 10^{11}$ m.

COMPRENDRE
La distance n'a que deux chiffres significatifs : le résultat aussi. C'est une durée maximale, calculée avec la plus grande distance Terre-Jupiter.

À LA CALCULATRICE



Couverture de survie ou couverture en laine ?

Bac 2024 Centres étrangers 1 Jour 2 · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

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

Les trois modes de transfert thermique sont la **conduction**, la **convection** et le **rayonnement**.

Un satellite évolue dans le vide : sans matière autour de lui, il n'y a ni conduction ni convection avec l'extérieur. L'énergie qu'il reçoit du Soleil lui parvient uniquement par rayonnement.

Il faut protéger les satellites du transfert thermique par **rayonnement**.

COMPRENDRE
Conduction et convection exigent un milieu matériel (la convection, un fluide en mouvement). Le rayonnement, onde électromagnétique, est le seul mode qui se propage dans le vide.

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

Données utiles u en $\mathrm{W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}}$; λ en $\mathrm{W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}}$; e en m

Les unités de u et de λ ne diffèrent que par la puissance du mètre : $\mathrm{m^{-2}}$ pour u, $\mathrm{m^{-1}}$ pour λ.

En divisant λ par une longueur, l'épaisseur e, on obtient :

$$\frac{\mathrm{W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}}}{\mathrm{m}} = \mathrm{W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}}$$

C'est bien l'unité de u : la relation est homogène.

$u = \dfrac{\lambda}{e}$, soit $\lambda = u \times e$

COMPRENDRE
La relation est cohérente physiquement : plus la paroi est épaisse, plus u est petit, donc moins l'énergie la traverse facilement.

MÉTHODE
Écrire l'unité de chaque grandeur, repérer ce qui les distingue, puis combiner les grandeurs pour que les deux membres aient la même unité.

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.

Données utiles $u_1 = 408\ \mathrm{W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}}$; $e_1 = 38\ \mu\mathrm{m}$; $u_2 = 38\ \mathrm{W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}}$; $e_2 = 0{,}50\ \mathrm{mm}$; $\lambda = u \times e$ (Q.2)

Couverture de survie : $\lambda_1 = u_1 \times e_1 = 408 \times 38 \times 10^{-6} = 1{,}6 \times 10^{-2}\ \mathrm{W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}}$

Couverture en laine : $\lambda_2 = u_2 \times e_2 = 38 \times 0{,}50 \times 10^{-3} = 1{,}9 \times 10^{-2}\ \mathrm{W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}}$

Comparaison : $\dfrac{\lambda_2}{\lambda_1} = \dfrac{1{,}9 \times 10^{-2}}{1{,}6 \times 10^{-2}} \approx 1{,}2$. Les deux conductivités sont du même ordre de grandeur, celle de la laine étant un peu plus élevée.

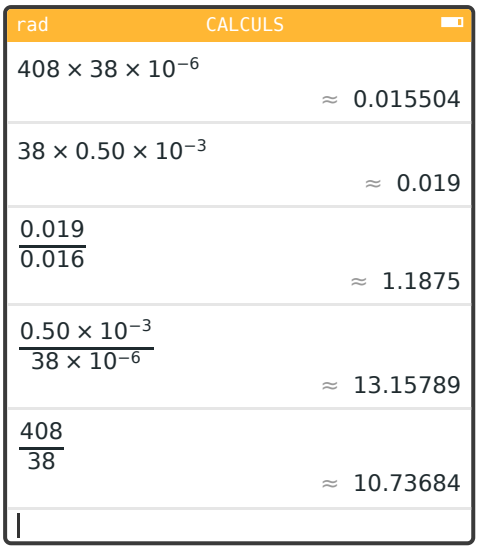
Commentaire : à épaisseur égale, les deux matériaux s'opposent presque autant à la conduction. Mais la couverture en laine est environ 13 fois plus épaisse, donc u_2 est environ 11 fois plus petit que u_1 : telle qu'elle est fabriquée, la couverture en laine limite mieux la conduction.

$\lambda_1 = 1{,}6 \times 10^{-2}\ \mathrm{W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}}$ et $\lambda_2 = 1{,}9 \times 10^{-2}\ \mathrm{W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}}$: valeurs voisines.

PIÈGE
Les épaisseurs se convertissent en mètres : $38\ \mu\mathrm{m} = 38 \times 10^{-6}\ \mathrm{m}$ et $0{,}50\ \mathrm{mm} = 0{,}50 \times 10^{-3}\ \mathrm{m}$. Une erreur de puissance de dix fausse toute la comparaison.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme e_1, e_2 et u_2, les données les moins précises. La conductivité caractérise le matériau ; le coefficient u caractérise la couverture, épaisseur comprise.

À LA CALCULATRICE



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.

Sur la figure 1, la radiance est maximale vers 900 nm et reste élevée au-delà de 700 nm, limite de la région visible : la lampe à halogène émet surtout dans l'**infrarouge**.

Or le corps humain rayonne lui aussi essentiellement dans l'infrarouge. La lampe est donc une source adaptée pour jouer le rôle du corps humain dans l'expérience.

La lampe émet majoritairement dans l'infrarouge, comme le corps humain qu'elle modélise.

MÉTHODE
Pour exploiter un spectre : repérer l'abscisse du maximum, puis la situer par rapport aux limites du visible (400 nm et 700 nm environ).

Q.5 Montrer que la variation d'énergie interne d'un système incompressible peut s'exprimer $\Delta U = m \cdot c \cdot \Delta T$.

Premier principe de la thermodynamique appliqué au système au repos : $\Delta U = W + Q$.

Le système est incompressible : son volume ne varie pas, il n'échange donc pas d'énergie par travail, $W = 0$. Ainsi $\Delta U = Q$.

Le transfert thermique reçu par un système de masse m et de capacité thermique massique c, dont la température varie de ΔT sans changement d'état, vaut $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$.

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

COMPRENDRE
L'expression est homogène : $\text{kg} \times \text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} \times \text{K} = \text{J}$. Un écart de température a la même valeur en kelvins et en degrés Celsius.

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

Le flux thermique est l'énergie transférée par unité de temps : $\phi = \dfrac{Q}{\Delta t}$.

Pour la plaque de liège, de masse m et de capacité thermique massique $c_{\text{liège}}$, la question Q.5 donne $Q = \Delta U = m \cdot c_{\text{liège}} \cdot \Delta T$.

$$\phi = m \cdot c_{\text{liège}} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

COMPRENDRE
$\dfrac{\Delta T}{\Delta t}$ est le coefficient directeur de la partie rectiligne des figures 3 et 4 : une pente constante traduit un flux constant.

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

Données utiles $m = 72{,}4\ \text{g}$; $c_{\text{liège}} = 2008\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$; figure 3 (survie) : $\frac{\Delta T}{\Delta t} = 4{,}43\times10^{-3}\ ^\circ\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$; figure 4 (laine) : $\frac{\Delta T}{\Delta t} = 12{,}5\times10^{-3}\ ^\circ\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$; expression de ϕ (Q.6)

Le flux qui traverse chaque couverture est égal à celui reçu par le liège : $\phi = m\cdot c_{\text{liège}}\cdot\dfrac{\Delta T}{\Delta t}$.

Couverture de survie : $\phi_1 = 72{,}4\times10^{-3}\times2008\times4{,}43\times10^{-3} = 0{,}644\ \text{W}$

Couverture en laine : $\phi_2 = 72{,}4\times10^{-3}\times2008\times12{,}5\times10^{-3} = 1{,}82\ \text{W}$

$\dfrac{\phi_2}{\phi_1} = \dfrac{1{,}82}{0{,}644} \approx 2{,}8$: pour la même lampe, la couverture de survie laisse passer un flux près de trois fois plus faible que la couverture en laine.

La lampe jouant le rôle du corps humain, la couverture de survie laisse s'échapper moins d'énergie vers l'extérieur.

$\phi_1 = 0{,}644\ \text{W} < \phi_2 = 1{,}82\ \text{W}$: la couverture de survie retient mieux la chaleur corporelle que la couverture en laine.

PIÈGE
La masse du liège se convertit en kilogrammes : $72{,}4\ \text{g} = 72{,}4\times10^{-3}\ \text{kg}$, car $c_{\text{liège}}$ est donnée par kilogramme.

COMPRENDRE
En conduction seule, la laine l'emportait ($u_2 < u_1$, Q.3). Ici le transfert se fait surtout par rayonnement infrarouge, que la face métallisée réfléchit : c'est ce qui rend la couverture de survie plus efficace.

MÉTHODE
Le rapport des flux est égal au rapport des pentes, $12{,}5 \div 4{,}43 \approx 2{,}8$: comparer les coefficients directeurs suffit pour conclure.

À LA CALCULATRICE

