Corrigé complet — Bac S 2014 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme)

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

Ex 1	**Quelle teneur en cuivre dans une pièce de 5 centimes d'euro ?** Spectre d'absorption et couleur d'une solution · Loi de Beer-Lambert · Dosage par étalonnage spectrophotométrique · Pourcentage massique · Incertitude-type et incertitude élargie	5 pts	50 min	6 questions	p. 2
Ex 2	**Batiment à énergie positive** Résistance thermique d'une paroi · Conductivité thermique · Variation d'énergie interne · Puissance thermique · Pompe à chaleur et coefficient de performance · Coût de l'énergie électrique	10 pts	1 h 40	16 questions	p. 5
Ex 3	**Le dioxyde de carbone : le réduire dans l'atmosphère et le valoriser ?** Réaction acide-base · Diagramme de prédominance · Titrage suivi par pH-métrie · Équivalence · Valorisation du dioxyde de carbone · Synthèse de documents	5 pts	50 min	6 questions	p. 12
Ex 4	**Spécialité : Mission Apollo** Pile à combustible · Demi-équations et équation de fonctionnement d'une pile · Puissance et énergie électriques · Quantité de matière et masse molaire · Résolution de problème	5 pts	50 min	1 questions	p. 16

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.

Quelle teneur en cuivre dans une pièce de 5 centimes d'euro ?

Bac S 2014 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 1 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Déterminer, en argumentant, les couleurs attendues pour une solution d'ions cuivre (II) et pour une solution d'ions fer (III). Pourquoi travaille-t-on à 800 nm ?

Données utiles document 1 : spectres d'absorption des deux solutions et tableau des couleurs complémentaires

Une solution a la couleur complémentaire de celle des radiations qu'elle absorbe.

- Ions $\mathrm{Cu^{2+}}$: l'absorbance est forte entre 650 et 830 nm environ, donc dans le rouge (647-850 nm). La solution est **bleu-vert**.
- Ions $\mathrm{Fe^{3+}}$: l'absorbance n'est notable qu'en dessous de 430 nm environ, donc dans le violet (400-424 nm). La solution est **jaune-vert**.

À 800 nm, l'absorbance des ions $\mathrm{Fe^{3+}}$ est nulle alors que celle des ions $\mathrm{Cu^{2+}}$ est proche de son maximum.

À 800 nm, seuls les ions $\mathrm{Cu^{2+}}$ absorbent : l'absorbance de S_2 ne dépend que de leur concentration, et la mesure est la plus sensible.

PIÈGE
Donner la couleur absorbée au lieu de la couleur perçue : une solution qui absorbe le rouge n'est pas rouge, elle est bleu-vert.

COMPRENDRE
Les ions $\mathrm{Fe^{3+}}$ absorbent encore plus fortement en dessous de 400 nm, dans l'ultraviolet : cela ne change rien à la couleur observée, puisque l'œil n'y est pas sensible.

1.2 Montrer, à l'aide du document 2 et en complétant l'annexe, que la loi de Beer-Lambert est vérifiée pour les solutions d'ions cuivre (II).

Données utiles document 2 : absorbance A à 800 nm de six solutions de concentration c connue

Loi de Beer-Lambert : à longueur d'onde fixée, l'absorbance est proportionnelle à la concentration de l'espèce absorbante, $A = k\,c$.

On place sur l'annexe les six points $(c\,;\ A)$ du document 2. Ils sont alignés, aux écarts de mesure près, sur une droite qui passe par l'origine : A est donc proportionnelle à c.

Coefficient directeur, avec le point $(50\ \mathrm{mmol\cdot L^{-1}}\,;\ 0{,}69)$ de la droite tracée :

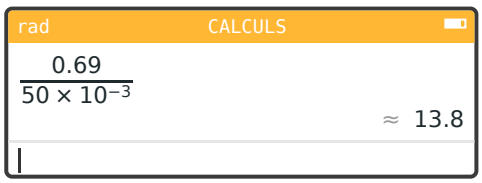
$$k = \frac{0{,}69}{50 \times 10^{-3}} = 13{,}8\ \mathrm{L\cdot mol^{-1}}$$

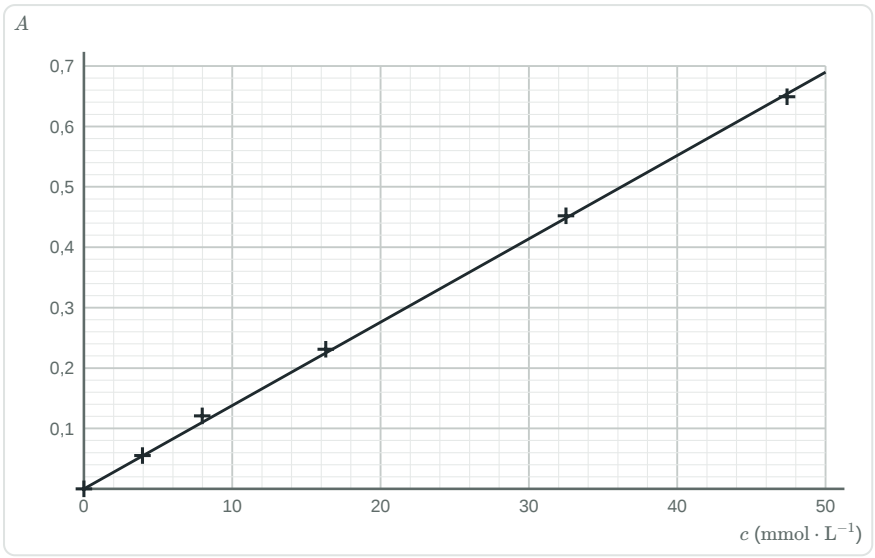
Les points sont alignés avec l'origine : $A = k\,c$ avec $k \approx 13{,}8\ \mathrm{L\cdot mol^{-1}}$, la loi de Beer-Lambert est vérifiée.

PIÈGE
Se contenter de « les points sont alignés ». La proportionnalité exige deux arguments : une droite, et qui passe par l'origine.

MÉTHODE
Tracer la droite à la règle, en partant de l'origine et en passant au plus près de tous les points, sans les relier un à un. Le coefficient directeur se calcule avec un point de la droite, pas avec un point du tableau.

À LA CALCULATRICE





1.2 · Annexe complétée : absorbance à 800 nm en fonction de la concentration en ions cuivre (II)

2.1 Déterminer la masse de cuivre contenue dans la pièce de 5 centimes d'euro.

Données utiles $A = 0{,}575$ pour la solution S_2 ; $V = 100$ mL ; $M(\mathrm{Cu}) = 63{,}5\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $k = 13{,}8\ \mathrm{L \cdot mol^{-1}}$ (1.2)

Sur la droite d'étalonnage, l'ordonnée $A = 0{,}575$ correspond à l'abscisse $c \approx 42\ \mathrm{mmol \cdot L^{-1}}$. Par le calcul :

$$[\mathrm{Cu^{2+}}] = \frac{A}{k} = \frac{0{,}575}{13{,}8} = 4{,}17 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$$

D'après l'équation de la réaction, tout le cuivre de la pièce est transformé en ions $\mathrm{Cu^{2+}}$, qui se retrouvent tous dans les 100 mL de S_2 : $n(\mathrm{Cu}) = n(\mathrm{Cu^{2+}}) = [\mathrm{Cu^{2+}}]\,V$.

$$m(\mathrm{Cu}) = [\mathrm{Cu^{2+}}]\,V\,M(\mathrm{Cu}) = 4{,}17 \times 10^{-2} \times 0{,}100 \times 63{,}5 = 0{,}265\ \mathrm{g}$$

$m(\mathrm{Cu}) \approx 0{,}265$ g, soit environ 265 mg

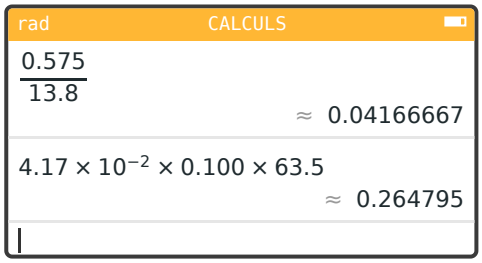
PIÈGE

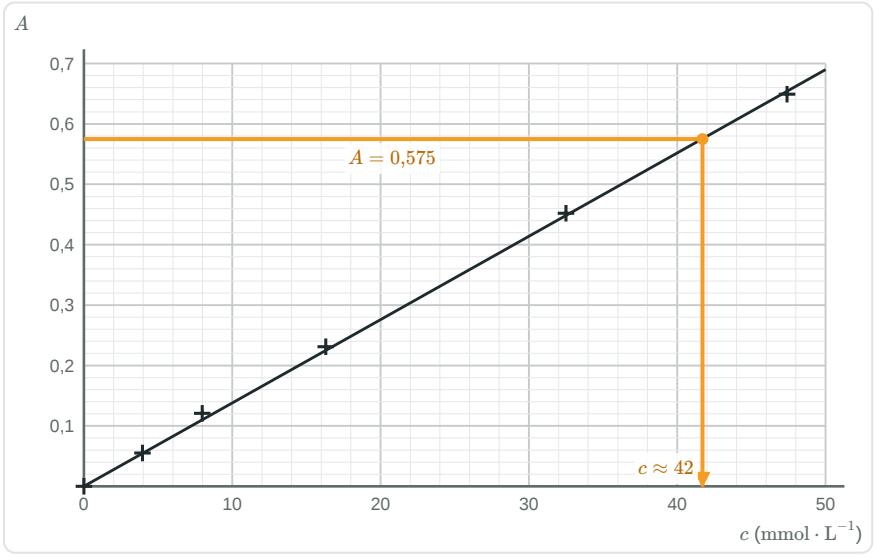
Prendre 20 mL, volume d'acide versé, au lieu de 100 mL : la concentration lue sur la droite est celle de S_2, préparée dans la fiole jaugée.

COMPRENDRE

Le résultat repose sur une droite tracée à la main : selon le tracé, on trouve de 0,26 à 0,27 g. Le troisième chiffre n'est donc pas sûr, d'où l'étude d'incertitude de la partie 3.

À LA CALCULATRICE





2.1 · Lecture de la concentration de S_2 sur la droite d'étalonnage

2.2 En déduire la teneur (pourcentage massique) en cuivre dans la pièce.

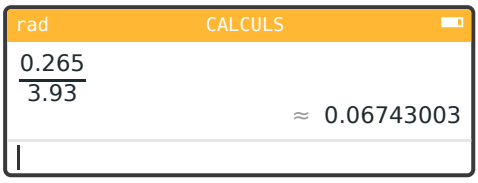
Données utiles $m(\text{Cu}) = 0{,}265$ g (2.1) ; $m_{\text{pièce}} = 3{,}93$ g

La teneur est le rapport de la masse de cuivre à la masse de la pièce :

$$t = \frac{m(\text{Cu})}{m_{\text{pièce}}} = \frac{0{,}265}{3{,}93} = 0{,}067$$

$t \approx 6{,}7\ \%$: la pièce contient environ 6,7 % de cuivre en masse.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Diviser des milligrammes par des grammes : les deux masses doivent être dans la même unité avant de faire le rapport.

COMPRENDRE
La pièce paraît entièrement en cuivre, mais ce métal ne forme qu'une mince couche en surface : l'essentiel de la masse est celle du centre en acier.

3.1 Déterminer, à partir des dix valeurs trouvées par les élèves, l'incertitude élargie (niveau de confiance de 95 %) sur la mesure de la masse de cuivre dans une pièce.

Données utiles masses en mg : 260 ; 270 ; 265 ; 263 ; 264 ; 265 ; 262 ; 261 ; 269 ; 267 ; $n = 10$; $k = 2$ pour 95 % (document 3)

Avec le mode statistique de la calculatrice : moyenne $\overline{m} = 264{,}6$ mg et écart-type expérimental $\sigma_{n-1} = 3{,}31$ mg.

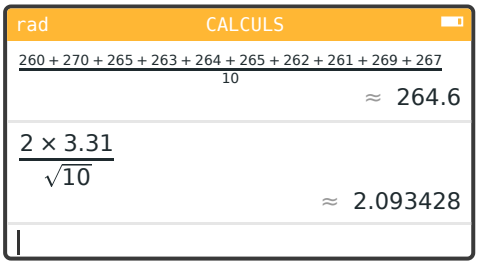
Incertitude-type sur la moyenne : $u(\overline{m}) = \dfrac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$.

Incertitude élargie, avec $k = 2$ pour un niveau de confiance de 95 % :

$$U(\overline{m}) = k\,\frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} = 2 \times \frac{3{,}31}{\sqrt{10}} = 2{,}1 \text{ mg}$$

$U(\overline{m}) \approx 2$ mg (un seul chiffre significatif)

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Choisir sur la calculatrice l'écart-type σ_n (3,14 mg) au lieu de l'écart-type expérimental σ_{n-1} (3,31 mg), ou oublier de diviser par $\sqrt{n}$.

COMPRENDRE
Une incertitude s'écrit avec un seul chiffre significatif, parfois deux : dix mesures ne permettent pas de la connaître plus finement.

3.2 En déduire l'intervalle dans lequel devrait se situer le résultat du mesurage de la masse de cuivre, avec un niveau de confiance de 95 %.

Données utiles $\overline{m} = 264{,}6$ mg et $U(\overline{m}) = 2$ mg (3.1)

L'incertitude porte sur le milligramme : la moyenne est arrondie au milligramme, $\overline{m} = 265$ mg.

$$m = \overline{m} \pm U(\overline{m}) = (265 \pm 2) \text{ mg}$$

$263 \text{ mg} \leqslant m \leqslant 267 \text{ mg}$ avec un niveau de confiance de 95 %

COMPRENDRE
La masse trouvée à la question 2.1 (0,265 g) se situe dans cet intervalle : la mesure faite sur la pièce est cohérente avec celles des dix groupes.

MÉTHODE
Écrire un résultat : arrondir d'abord l'incertitude, puis arrondir la valeur au même rang décimal. Ici l'incertitude vaut 2 mg, donc la masse s'écrit au milligramme près.

Batiment à énergie positive

Bac S 2014 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 2 **10 points** **Durée conseillée 1 h 40**

1.1 Estimer le coût annuel de la consommation électrique en France par habitant.

Données utiles figure 1 du document 1 ; prix du kWh d'électricité en France en 2013 : $0{,}13$ €

Sur la figure 1, le point repéré « France » a pour abscisse environ 140 kWh par habitant et par jour.

Sur une année de 365 jours, au prix de $0{,}13$ € le kilowattheure :

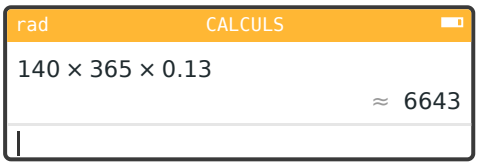
$$\text{coût} = 140 \times 365 \times 0{,}13 = 6{,}6 \times 10^3 \text{ €}$$

Le coût annuel est d'environ $6{,}6 \times 10^3$ € par habitant.

PIÈGE
La figure donne une consommation par jour : sans le facteur 365, on obtient le coût journalier (environ 18 €) et non le coût annuel.

COMPRENDRE
La lecture graphique et le prix du kilowattheure ont deux chiffres significatifs : le résultat aussi. « Estimer » demande un ordre de grandeur ; toute lecture entre 130 et 150 kWh est recevable.

À LA CALCULATRICE



1.2 Interpréter la figure 1 en 10 lignes maximum.

La figure 1 place chaque pays selon sa consommation d'électricité par habitant et par jour (abscisse) et son indice de développement humain (ordonnée).

- Pour les faibles consommations (moins de 50 kWh par habitant et par jour environ), l'IDH croît très vite avec la consommation : il passe de $0{,}4$ (R. D. Congo, Mozambique) à plus de $0{,}8$ (Cuba). Accéder à l'électricité améliore directement la santé, l'éducation et le niveau de vie.
- Au-delà d'une centaine de kWh par habitant et par jour, l'IDH plafonne entre $0{,}9$ et 1 : la France (140), les États-Unis (250) et l'Islande (390) ont des IDH voisins.

L'IDH augmente avec la consommation d'électricité puis sature : au-delà d'environ 100 kWh par habitant et par jour, consommer davantage n'apporte plus de bien-être supplémentaire, ce qui laisse une marge d'économie d'énergie aux pays développés.

MÉTHODE
Interpréter un nuage de points : 1) nommer les deux grandeurs ; 2) décrire l'allure par zones, avec des valeurs lues ; 3) proposer une explication ; 4) conclure en lien avec le thème de l'exercice.

2.1 Quel est le rôle du polystyrène ? Justifier le choix de ce matériau.

Données utiles conductivités thermiques en $\mathrm{W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}}$: polystyrène $0{,}036$ (document 3) ; plâtre $0{,}325$; béton $1{,}4$; ciment $1{,}1$

Le polystyrène sert d'isolant thermique : il limite le transfert thermique par conduction entre l'intérieur et l'extérieur de la maison.

Sa conductivité thermique, $0{,}036\ \mathrm{W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}}$, est environ 10 fois plus faible que celle du plâtre et 30 à 40 fois plus faible que celles du ciment et du béton. Or, d'après le document 2, $R_{th} = \dfrac{e}{\lambda \times S}$: à épaisseur et surface égales, plus λ est petite, plus la résistance thermique est grande.

Le polystyrène est l'isolant du mur : sa très faible conductivité thermique lui donne une grande résistance thermique pour une faible épaisseur.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{0.325}{0.036} \approx 9.027778$

$\dfrac{1.4}{0.036} \approx 38.88889$

2.2 Déterminer la résistance thermique équivalente R_{the} pour le pan de mur.

Données utiles $S = 20\ \mathrm{m^2}$; $e_1 = 1{,}3$ cm ; $e_2 = e_4 = 5{,}0$ cm ; $e_3 = 20$ cm ; $e_5 = 1{,}5$ cm ; conductivités de la question 2.1

Les parois sont superposées : les résistances thermiques s'ajoutent (document 2), avec $R_{th} = \dfrac{e}{\lambda \times S}$ et les épaisseurs en mètres.

- Plâtre : $R_1 = \dfrac{1{,}3 \times 10^{-2}}{0{,}325 \times 20} = 2{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{K \cdot W^{-1}}$
- Polystyrène (deux couches, $e_2 + e_4 = 10$ cm) : $R_2 + R_4 = \dfrac{10 \times 10^{-2}}{0{,}036 \times 20} = 0{,}139\ \mathrm{K \cdot W^{-1}}$
- Béton : $R_3 = \dfrac{20 \times 10^{-2}}{1{,}4 \times 20} = 7{,}1 \times 10^{-3}\ \mathrm{K \cdot W^{-1}}$
- Ciment : $R_5 = \dfrac{1{,}5 \times 10^{-2}}{1{,}1 \times 20} = 6{,}8 \times 10^{-4}\ \mathrm{K \cdot W^{-1}}$

$R_{the} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = 0{,}0020 + 0{,}139 + 0{,}0071 + 0{,}0007 = 0{,}149\ \mathrm{K \cdot W^{-1}}$

$R_{the} = 0{,}15\ \mathrm{K \cdot W^{-1}}$

PIÈGE
Laisser les épaisseurs en centimètres rend le résultat 100 fois trop grand. Ne pas oublier non plus que le polystyrène apparaît deux fois dans le mur.

COMPRENDRE
Les 10 cm de polystyrène représentent 93 % de la résistance totale, alors que les 20 cm de béton n'en apportent que 5 % : c'est l'isolant qui fait l'isolation, pas l'épaisseur du mur.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{1.3 \times 10^{-2}}{0.325 \times 20} \approx 0.002$

$\dfrac{10 \times 10^{-2}}{0.036 \times 20} \approx 0.1388889$

$\dfrac{20 \times 10^{-2}}{1.4 \times 20} \approx 0.007142857$

$\dfrac{1.5 \times 10^{-2}}{1.1 \times 20} \approx 6.818182 \times 10^{-4}$

$2 \times 10^{-3} + 0.1388888889 + 7.142857143 \times 10^{-3} + 6.818181818 \times 10^{-4} \approx 0.1487136$

2.3 Entre le polystyrène et la laine de chanvre, quel matériau serait-il préférable d'utiliser ? Argumenter avec un calcul.

Données utiles laine de chanvre : $\lambda = 0{,}039\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, bilan carbone faible ; polystyrène : bilan carbone élevé ; $R_{the} = 0{,}149\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ (2.2)

Avec 10 cm de laine de chanvre à la place du polystyrène :

$R_{\text{chanvre}} = \dfrac{10 \times 10^{-2}}{0{,}039 \times 20} = 0{,}128\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ contre $0{,}139\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ pour le polystyrène.

La résistance du mur deviendrait $R'_{the} = 0{,}128 + 0{,}0098 = 0{,}138\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$, soit une baisse de 7 % seulement : l'isolation est presque aussi bonne.

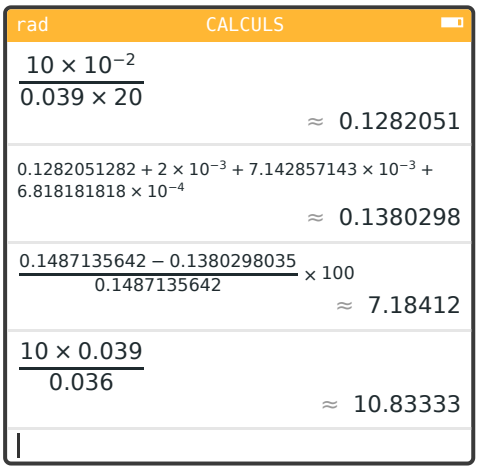
En revanche, le bilan carbone de la laine de chanvre est faible alors que celui du polystyrène est élevé : sa fabrication émet beaucoup moins de gaz à effet de serre.

La laine de chanvre est préférable : isolation à peine inférieure ($0{,}14$ contre $0{,}15\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ pour le mur) et bilan carbone bien meilleur.

MÉTHODE

Pour retrouver la même résistance qu'avec le polystyrène, il suffirait d'une épaisseur de chanvre multipliée par $0{,}039/0{,}036$, soit 10,8 cm au lieu de 10 cm : un argument chiffré de plus.

À LA CALCULATRICE



3.1 Exprimer, puis calculer, la variation de l'énergie interne ΔU de l'air contenu dans la maison.

Données utiles $T_1 = 19{,}0\ °\text{C}$; $T_2 = 15{,}6\ °\text{C}$; $c_a = 1000\ \text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$; $V = 400\ \text{m}^3$; $\rho = 1{,}3\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Système : l'air intérieur, de masse $m_a = \rho \times V$. Sa température varie sans changement d'état :

$\Delta U = m_a \times c_a \times (T_2 - T_1) = \rho \times V \times c_a \times (T_2 - T_1)$

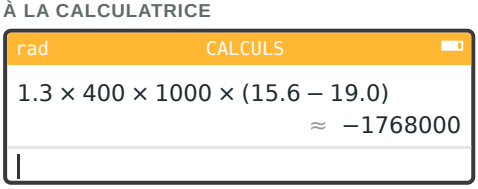
$\Delta U = 1{,}3 \times 400 \times 1000 \times (15{,}6 - 19{,}0) = -1{,}8 \times 10^6\ \text{J}$

$\Delta U = -1{,}8 \times 10^6\ \text{J}$

PIÈGE

Écrire $T_1 - T_2$ donne un résultat positif : la variation est toujours « état final moins état initial ». Inutile de convertir en kelvins, un écart de température a la même valeur en °C et en K.

À LA CALCULATRICE



3.2 Interpréter le signe du résultat obtenu à la question précédente.

$\Delta U < 0$: l'énergie interne de l'air a diminué. Le chauffage étant coupé, l'air intérieur, plus chaud que l'extérieur, a cédé de l'énergie par transfert thermique à travers les parois de la maison.

Le signe négatif traduit une perte d'énergie : l'air de la maison a cédé $1{,}8 \times 10^6$ J au milieu extérieur en une heure.

3.3 Déterminer la puissance thermique P_{th} nécessaire au maintien d'une température constante de 19,0 °C à l'intérieur de la maison.

Données utiles $\Delta U = -1{,}768 \times 10^6$ J (3.1) ; $\Delta t = 1{,}00$ h $= 3600$ s

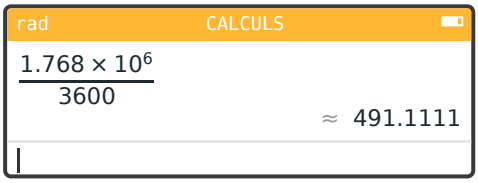
Pour que la température reste constante, le chauffage doit apporter chaque seconde l'énergie que l'air perd, soit $|\Delta U|$ pendant la durée Δt :

$$P_{th} = \frac{|\Delta U|}{\Delta t} = \frac{1{,}768 \times 10^6}{3600} = 4{,}9 \times 10^2 \text{ W}$$

$P_{th} = 4{,}9 \times 10^2$ W, soit environ 0,49 kW.

PIÈGE
La durée doit être en secondes pour obtenir des watts. Reprendre la valeur non arrondie de ΔU : avec $1{,}8 \times 10^6$ J, on trouverait $5{,}0 \times 10^2$ W.

À LA CALCULATRICE



3.4 La puissance thermique réellement nécessaire est $P'_{th} = 4{,}0$ kW. Quelle peut être la raison de l'écart avec la valeur trouvée à la question précédente ?

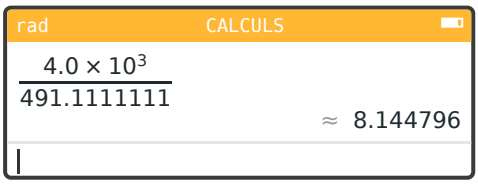
Données utiles $P_{th} = 4{,}9 \times 10^2$ W (3.3)

La puissance réelle est environ 8 fois plus grande que celle calculée. Le calcul précédent ne tient compte que de l'air. Or, pendant l'heure sans chauffage, les murs, les sols et le mobilier, à 19,0 °C eux aussi, ont cédé de l'énergie à l'air intérieur et ont ralenti son refroidissement : la maison a perdu bien plus d'énergie que l'air seul.

L'expérience sous-estime les pertes, car elle néglige l'énergie cédée par les murs et les objets de la maison ; il faut y ajouter le renouvellement de l'air et les jours où l'extérieur est plus froid.

COMPRENDRE
C'est l'inertie thermique de la piste 2 du document 4 : les matériaux lourds emmagasinent beaucoup d'énergie et amortissent les variations de température de l'air.

À LA CALCULATRICE



3.5 Qu'entend-on par « sens naturel » pour un transfert thermique ? Qu'en est-il pour la pompe à chaleur ? Compléter le schéma du bilan énergétique avec W, Q_C, Q_F et les sources.

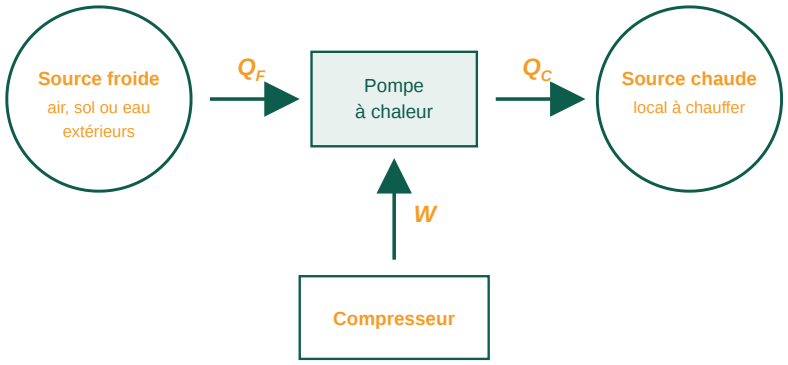
Sens naturel : un transfert thermique se fait spontanément du corps le plus chaud vers le corps le plus froid.

La pompe à chaleur réalise le transfert inverse : son fluide prélève l'énergie Q_F à la source froide (air, sol ou eau extérieurs) et cède l'énergie Q_C à la source chaude (le local). Ce transfert n'est pas spontané : il exige le travail électrique W reçu par le compresseur.

Sur le schéma : cercle de gauche = source froide, cercle de droite = source chaude, rectangle du bas = compresseur ; les flèches portent Q_F, Q_C et W.

Sens naturel : du chaud vers le froid. La pompe à chaleur transfère l'énergie du froid vers le chaud grâce au travail W (schéma complété ci-contre).

PIÈGE
Inverser les sources : la source chaude est le local à chauffer, même s'il n'est qu'à 19 °C ; la source froide est l'extérieur, où l'énergie est prélevée.



3.5 · Bilan énergétique de la pompe à chaleur (schéma du sujet complété)

3.6.1 Justifier l'expression $\text{COP} = \dfrac{Q_C}{W}$.

Un coefficient de performance compare l'énergie utile à l'énergie dépensée, c'est-à-dire payée.

- Énergie utile : Q_C, cédée par le fluide au local, puisque le but est de chauffer.
- Énergie dépensée : le travail électrique W reçu par le compresseur. L'énergie Q_F prélevée à l'extérieur est gratuite.

$$\text{COP} = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie dépensée}} = \frac{Q_C}{W}$$

COMPRENDRE
Sur un cycle, le fluide revient à son état initial : $Q_C = W + Q_F$ en valeurs absolues. Donc $Q_C > W$ et le COP dépasse 1, ce qui fait l'intérêt de la pompe à chaleur.

3.6.2 Déterminer l'énergie Q_C échangée par le fluide caloporteur avec l'habitat pendant 24 heures de fonctionnement ininterrompu.

Données utiles $P'_{th} = 4{,}0$ kW ; $\Delta t' = 24$ h

$Q_C = P'_{th} \times \Delta t'$ avec $\Delta t' = 24 \times 3600 = 86\,400$ s

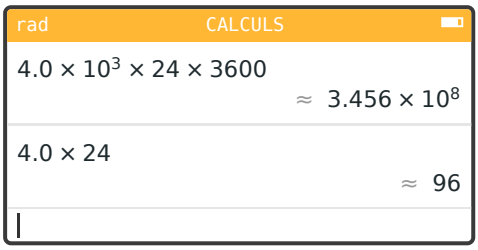
$Q_C = 4{,}0 \times 10^3 \times 86\,400 = 3{,}5 \times 10^8$ J

En kilowattheures : $Q_C = 4{,}0\ \text{kW} \times 24\ \text{h} = 96\ \text{kWh}$.

$Q_C = 3{,}5 \times 10^8$ J (soit 96 kWh)

MÉTHODE
Deux jeux d'unités cohérents pour $E = P \times \Delta t$: watts et secondes donnent des joules ; kilowatts et heures donnent des kilowattheures, directement utilisables pour un coût.

À LA CALCULATRICE



3.6.3 Le coefficient de performance vaut 3,1. En déduire le travail électrique W reçu par le compresseur en une journée.

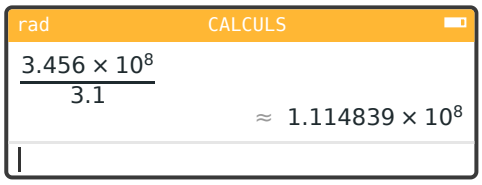
Données utiles $\text{COP} = 3{,}1$; $Q_C = 3{,}456 \times 10^8$ J (3.6.2)

$\text{COP} = \dfrac{Q_C}{W}$ donc $W = \dfrac{Q_C}{\text{COP}}$

$W = \dfrac{3{,}456 \times 10^8}{3{,}1} = 1{,}1 \times 10^8$ J

$W = 1{,}1 \times 10^8$ J

À LA CALCULATRICE



3.6.4 Calculer le coût journalier d'utilisation de cette pompe à chaleur.

Données utiles $W = 1{,}115 \times 10^8$ J (3.6.3) ; prix du kWh : 0,13 € ; $1\ \text{kWh} = 3{,}6 \times 10^6$ J

Conversion : $1\ \text{kWh} = 1000\ \text{W} \times 3600\ \text{s} = 3{,}6 \times 10^6$ J, donc

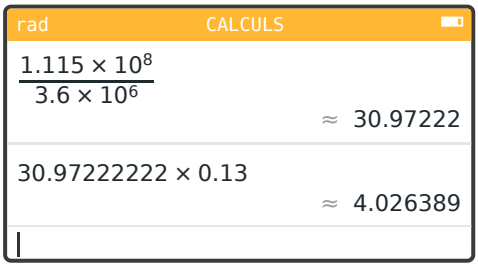
$W = \dfrac{1{,}115 \times 10^8}{3{,}6 \times 10^6} = 31\ \text{kWh}$

$\text{coût} = 31 \times 0{,}13 = 4{,}0$ €

La pompe à chaleur coûte environ 4,0 € par jour.

PIÈGE
Seul le travail électrique W est facturé. Calculer le coût à partir de Q_C revient à payer aussi l'énergie prélevée gratuitement à l'extérieur.

À LA CALCULATRICE



3.6.5 Calculer le coût journalier si l'habitation était chauffée par des radiateurs électriques de coefficient de performance égal à 1. Conclure.

Données utiles $Q_C = 96$ kWh (3.6.2) ; prix du kWh : $0{,}13$ € ; coût avec la pompe à chaleur : $4{,}0$ € (3.6.4)

Avec un coefficient de performance de 1, l'énergie électrique consommée est égale à l'énergie thermique fournie : $W' = Q_C = 96$ kWh.

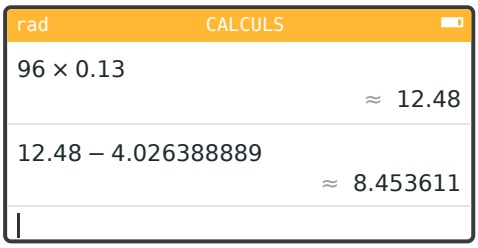
$\text{coût}' = 96 \times 0{,}13 = 12$ €

Les radiateurs coûtent $3{,}1$ fois plus cher que la pompe à chaleur, soit environ 8 € de plus chaque jour.

> Radiateurs électriques : environ 12 € par jour contre $4{,}0$ € avec la pompe à chaleur, qui divise la facture de chauffage par $3{,}1$.

COMPRENDRE
Le rapport des coûts est exactement le COP. L'économie n'est pas de l'énergie créée : les deux tiers de l'énergie de chauffage sont prélevés dans l'air, le sol ou l'eau extérieurs.

À LA CALCULATRICE



3.6.6 Proposer une piste supplémentaire pour compenser le coût journalier d'utilisation de la pompe à chaleur.

Le coût vient de l'électricité consommée par le compresseur. La maison peut la produire elle-même avec des panneaux solaires photovoltaïques (piste 3 du document 4), éventuellement associés à des batteries de stockage (piste 5).

> Installer des panneaux photovoltaïques pour produire l'électricité qui alimente le compresseur.

COMPRENDRE
On peut aussi réduire le besoin : meilleure isolation (piste 1) pour abaisser P'_{th}, ou domotique (piste 7) pour ne chauffer qu'au bon moment.

Le dioxyde de carbone : le réduire dans l'atmosphère et le valoriser ?

Bac S 2014 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Écrire l'équation de la réaction qui se produit lors de l'ajout de l'acide chlorhydrique dans la solution S.

Données utiles couples H_3O^+/H_2O et H_2O/HO^-

L'acide H_3O^+ apporté réagit avec la base HO^- de la solution S ; les ions Na^+ et Cl^- sont spectateurs.

$$H_3O^+(aq) + HO^-(aq) \longrightarrow 2\,H_2O(l)$$

PIÈGE
Faire figurer Na^+ ou Cl^- dans l'équation, ou écrire HCl : en solution aqueuse, l'acide chlorhydrique est entièrement sous forme d'ions H_3O^+ et Cl^-.

1.2 Lors de la neutralisation par le dioxyde de carbone, quelle espèce carbonatée (CO_3^{2-}, HCO_3^- ou CO_2) prédomine à l'équivalence du titrage ? Justifier.

Données utiles $pK_{A1} = 6{,}4$ pour $H_2O, CO_2/HCO_3^-$; $pK_{A2} = 10{,}3$ pour HCO_3^-/CO_3^{2-} ; document 2

Sur la courbe en tirets du document 2, le saut de pH se situe à $V_E = 20$ mL ; la méthode des tangentes y donne $pH_E \approx 8{,}3$.

Domaines de prédominance :

- $pH < 6{,}4$: H_2O, CO_2 prédomine ;
- $6{,}4 < pH < 10{,}3$: HCO_3^- prédomine ;
- $pH > 10{,}3$: CO_3^{2-} prédomine.

Or $6{,}4 < 8{,}3 < 10{,}3$.

À l'équivalence, l'espèce carbonatée qui prédomine est l'ion hydrogénocarbonate HCO_3^-.

PIÈGE
Répondre sans lire le pH sur la courbe : la justification attendue repose sur la valeur de pH_E comparée aux deux pK_A.

MÉTHODE
Pour savoir quelle espèce d'un couple prédomine : lire le pH, le placer sur l'axe par rapport au pK_A. Si $pH > pK_A$, la base prédomine ; si $pH < pK_A$, c'est l'acide.

1.3 En déduire l'équation de la réaction lors de l'ajout de la solution de dioxyde de carbone dans la solution S.

L'acide H_2O, CO_2 cède un ion H^+ à la base HO^- et se transforme en HCO_3^-, espèce prédominante à l'équivalence (1.2).

$$H_2O, CO_2(aq) + HO^-(aq) \longrightarrow HCO_3^-(aq) + H_2O(l)$$

PIÈGE
Écrire la formation de CO_3^{2-} (avec $2\,HO^-$) : cette espèce ne prédomine pas à l'équivalence, et le volume équivalent serait alors 10 mL et non 20 mL.

1.4 Comparer les points d'équivalence des deux neutralisations et interpréter le résultat.

Données utiles $c = c_A = 1{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; document 2 ; pH autorisé entre 6,5 et 8,5 (document 1)

Lecture par la méthode des tangentes :

- acide chlorhydrique : E_1 ($V_{E1} = 20$ mL ; $\text{pH}_{E1} = 7{,}0$) ;
- dioxyde de carbone : E_2 ($V_{E2} = 20$ mL ; $\text{pH}_{E2} \approx 8{,}3$).

Même volume équivalent : les deux réactions consomment une mole d'acide par mole de HO^- (1.1 et 1.3), et les deux solutions acides ont la même concentration c_A. Il faut donc le même volume pour consommer tous les ions HO^- de S.

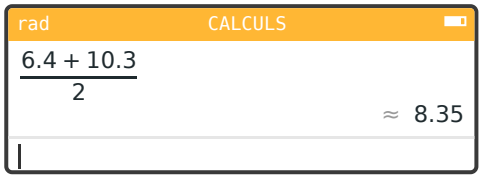
pH différents : en E_1 la solution ne contient plus que de l'eau et des ions spectateurs, elle est neutre ($\text{pH} = 7{,}0$ à 25 °C). En E_2 elle contient l'ion HCO_3^-, qui a des propriétés basiques : le pH est supérieur à 7.

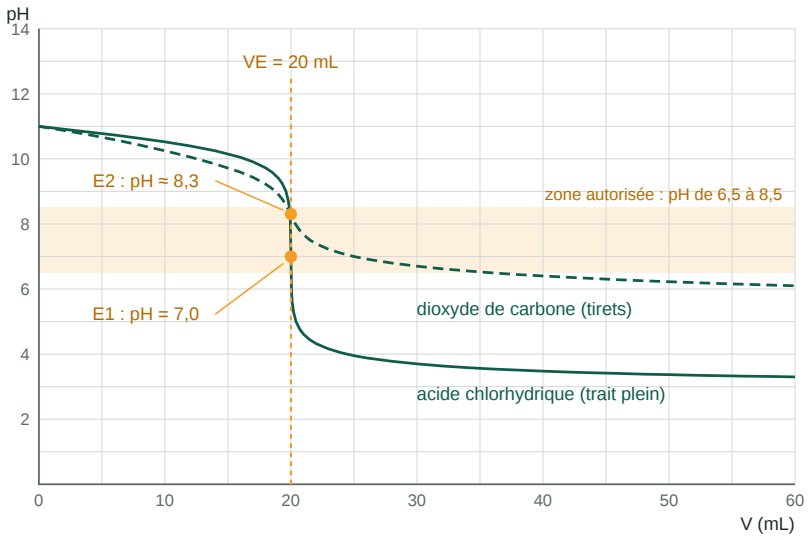
$V_{E1} = V_{E2} = 20$ mL ; $\text{pH}_{E1} = 7{,}0$ et $\text{pH}_{E2} \approx 8{,}3$: dans les deux cas le pH à l'équivalence est compris entre 6,5 et 8,5, l'eau peut être rejetée.

COMPRENDRE

Une lecture graphique de pH se donne au dixième près. L'ion HCO_3^- est à la fois acide d'un couple et base de l'autre : pH_{E2} est proche de la moyenne des deux $\text{p}K_A$.

À LA CALCULATRICE





1.4 · Document 2 : les deux points d'équivalence, à comparer à la zone de pH autorisée

1.5 Pour les deux neutralisations, évaluer graphiquement les variations du pH autour de $V_E \pm 2$ gouttes. En déduire la neutralisation la plus adaptée au traitement des eaux usées.

Données utiles document 2 ; $V_E = 20$ mL (1.4) ; pH autorisé entre 6,5 et 8,5 (document 1)

Deux gouttes représentent environ 0,1 mL (une goutte vaut à peu près 0,05 mL) : on regarde les courbes entre 19,9 mL et 20,1 mL.

- Acide chlorhydrique : la courbe est pratiquement verticale. Le pH passe d'environ 8,5 à environ 5,5, soit une variation de l'ordre de 3 unités.
- Dioxyde de carbone : la courbe est beaucoup moins pentue. Le pH passe d'environ 8,4 à environ 8,2, soit une variation de l'ordre de 0,2 unité.

Avec l'acide chlorhydrique, deux gouttes de trop suffisent pour que le pH descende sous 6,5 : l'eau rejetée est hors norme. Avec le dioxyde de carbone, le pH reste dans l'intervalle autorisé, même pour un excès de plusieurs millilitres.

La neutralisation par le dioxyde de carbone est la plus adaptée : le pH varie très peu autour de l'équivalence (environ 0,2 unité contre 3), ce qui écarte le risque de surdosage.

PIÈGE

Oublier de préciser le volume attribué à deux gouttes : il n'est pas donné, il faut annoncer l'hypothèse (environ 0,1 mL) avant de lire le graphique.

COMPRENDRE

Après l'équivalence, le CO_2 ajouté en excès coexiste avec HCO_3^- : le pH descend lentement vers $pK_{A1} = 6{,}4$. Un acide fort en excès impose au contraire un pH très bas.

2 À l'aide des documents et de vos connaissances, rédiger une synthèse de 15 à 20 lignes répondant à la problématique : « Comment réduire le dioxyde de carbone dans l'atmosphère et le valoriser ? »

Données utiles documents 1 et 3 à 7

Les activités humaines émettent plus de dioxyde de carbone que le cycle naturel du carbone ne peut en absorber (doc. 3). Ce gaz étant le principal gaz à effet de serre d'origine humaine, deux actions se complètent : en rejeter moins et utiliser celui qui est produit.

Réduire. La première voie est d'en produire moins : maîtrise de la consommation d'énergie et meilleure efficacité énergétique (doc. 3). Comme on ne peut pas encore se passer des énergies fossiles, la seconde voie est le captage et le stockage du CO_2 dans le sous-sol, appliqué aux sites où il est concentré : centrales thermiques, raffineries, sidérurgie, cimenteries (doc. 3).

Valoriser. Le CO_2 capté devient alors une matière première.

- Utilisation directe : acide doux pour neutraliser les eaux usées basiques, sans risque de surdosage (doc. 1 et partie 1) ; solvant à l'état supercritique pour extraire parfums et principes actifs, à basse température, puis recyclé (doc. 5).
- Transformation chimique : réactif de synthèse au laboratoire (acide benzoïque) et dans l'industrie (urée, 70 millions de tonnes par an, à partir d'ammoniac) (doc. 4).
- Transformation biologique : culture de microalgues qui le consomment et fournissent des biocarburants (doc. 6) ; biocatalyse par des enzymes, encore au stade de la recherche (doc. 7).

Réduire le CO_2 atmosphérique, c'est d'abord en émettre moins et capter puis stocker celui des grands sites industriels ; le valoriser, c'est l'employer comme acide, solvant, réactif de synthèse ou nourriture pour microalgues. Ces voies restent complémentaires de la baisse des émissions.

PIÈGE
Développer l'effet de serre ou recopier les documents un par un : c'est hors sujet ou sans plan. Ne pas dépasser 20 lignes, et exploiter tous les documents.

COMPRENDRE
Remplacer un solvant organique par du CO_2 recyclé ou valoriser un déchet relève de la chimie verte, qui ne figure plus au programme actuel de spécialité. Le raisonnement sur les documents reste accessible sans cours.

MÉTHODE
Synthèse de documents : une phrase d'introduction qui pose le problème, un plan calqué sur la problématique (ici « réduire » puis « valoriser »), chaque idée rattachée à son document, une conclusion qui répond à la question.

Spécialité : Mission Apollo

Bac S 2014 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

P Vérifier que le système de production électrique et les réservoirs attenants sont correctement proportionnés pour permettre le bon déroulement d'une mission de 14 jours avec un équipage de 3 astronautes.

Données utiles puissance moyenne nécessaire : 1,70 kW ; par jour et par personne : 0,82 kg de O_2 et 4,0 kg d'eau (doc. 1) ; 3 piles de 1,4 kW ; 21 mol de H_2 pour 1,0 kW pendant une heure (doc. 2) ; 2 réservoirs de 147 kg de O_2 et 2 réservoirs de 12,8 kg de H_2 (doc. 4) ; $M(O) = 16{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(H) = 1{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Démarche. Quatre vérifications : la puissance des piles, puis les stocks de H_2 et de O_2, enfin l'eau produite, chaque fois comparés aux besoins de 14 jours.

1. Puissance électrique. Les trois piles peuvent fournir $3 \times 1{,}4 = 4{,}2$ kW, pour un besoin moyen de 1,70 kW. Deux piles (2,8 kW) suffisent : la puissance installée convient, même si une pile tombe en panne.

2. Énergie électrique nécessaire. La mission dure $\Delta t = 14 \times 24 = 336$ h :

$$E = P \times \Delta t = 1{,}70 \times 336 = 571\ \text{kW}\cdot\text{h}$$

3. Dihydrogène. Produire 1,0 kW pendant une heure, c'est fournir $1{,}0\ \text{kW}\cdot\text{h}$, ce qui consomme 21 mol de H_2. Par proportionnalité :

$$n(H_2) = 21 \times 571 = 1{,}2 \times 10^4\ \text{mol}$$

$$m(H_2) = n(H_2) \times M(H_2) = 1{,}2 \times 10^4 \times 2{,}0 = 2{,}4 \times 10^4\ \text{g} = 24\ \text{kg}$$

Stock : $2 \times 12{,}8 = 25{,}6$ kg. Comme $24 < 25{,}6$, le dihydrogène embarqué suffit.

4. Dioxygène. Équation de fonctionnement de la pile (demi-équation de l'anode multipliée par 2, ajoutée à celle de la cathode, pour échanger 4 électrons) :

$$2\,H_2 + O_2 \longrightarrow 2\,H_2O$$

Donc $n(O_2) = \dfrac{n(H_2)}{2} = 6{,}0 \times 10^3$ mol, soit

$$m(O_2) = 6{,}0 \times 10^3 \times 32{,}0 = 1{,}9 \times 10^5\ \text{g} = 1{,}9 \times 10^2\ \text{kg}$$

Respiration de l'équipage : $0{,}82 \times 3 \times 14 = 34$ kg.

Besoin total : $192 + 34 = 226$ kg. Stock : $2 \times 147 = 294$ kg. Comme $226 < 294$, le dioxygène embarqué suffit.

5. Eau. D'après l'équation, $n(H_2O) = n(H_2) = 1{,}2 \times 10^4$ mol :

$$m(H_2O) = 1{,}2 \times 10^4 \times 18{,}0 = 2{,}2 \times 10^5\ \text{g} = 2{,}2 \times 10^2\ \text{kg}$$

Besoin de l'équipage : $4{,}0 \times 3 \times 14 = 168$ kg. Les piles produisent plus d'eau (environ 216 kg) qu'il n'en faut.

6. Regard critique.

- La marge est confortable pour le dioxygène (environ 70 kg de réserve) et pour l'eau, mais faible pour le dihydrogène : $25{,}6/24{,}0 = 1{,}07$, soit 7 % de réserve, à peine un jour de mission en plus. C'est le dihydrogène qui limite la durée du vol.
- Le calcul repose sur une puissance moyenne et sur une consommation de 21 mol par kilowattheure donnée avec deux chiffres significatifs : l'incertitude sur 24 kg est du même ordre que la marge.

PIÈGE
Oublier que le dioxygène sert deux fois : aux piles et à la respiration. Autre oubli fréquent : multiplier les besoins de l'équipage par 3 personnes et par 14 jours, et les réservoirs par 2.

COMPRENDRE
La donnée « 21 moles » a deux chiffres significatifs : les masses calculées aussi. On garde les valeurs non arrondies dans la calculatrice pour les étapes suivantes, sinon l'écart avec le stock de dihydrogène serait faussé.

MÉTHODE
Résolution de problème : lister les besoins (énergie, H_2, O_2, eau), calculer chacun pour la durée totale, le comparer au stock ou à la production, puis conclure par une phrase chiffrée et discuter les marges.

- On n'a pas compté le dioxygène servant à renouveler l'atmosphère de la cabine en cas de fuite ou de sortie.

Le système est correctement proportionné pour 14 jours : 4,2 kW disponibles pour 1,70 kW ; 24 kg de H_2 pour 25,6 kg embarqués ; 226 kg de O_2 pour 294 kg ; 216 kg d'eau produite pour 168 kg nécessaires.

À LA CALCULATRICE

