Corrigé complet — Bac S 2015 Inde (Pondichéry) (ancien programme)

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

Ex 1	**La vitamine C** Groupes caractéristiques · Stéréoisomérie · Couple acide-base et prédominance · Titrage conductimétrique · Incertitudes de mesure	9 pts	1 h 30	14 questions	p. 2
Ex 2	**Transfert thermique lors du chauffage d'une piscine** Premier principe et bilan d'énergie · Variation d'énergie interne · Capacité thermique massique · Modes de transfert thermique · Changement d'état · Coefficient de performance	6 pts	1 h	9 questions	p. 9
Ex 3	**Les ondes au service de la voiture du futur** Ondes mécaniques et électromagnétiques · Longueur d'onde et fréquence · Effet Doppler · Mesure d'une distance par écho · Réponse argumentée	5 pts	50 min	10 questions	p. 12
Ex 4	**Spécialité : Des cellules photovoltaïques pour un tour du monde en avion** Énergie et puissance · Rendement d'une cellule photovoltaïque · Stockage de l'énergie dans une batterie · Conversions d'unités · Regard critique sur un résultat · 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.

La vitamine C

Bac S 2015 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 1 **9 points** **Durée conseillée 1 h 30**

1.1 Nommer les familles associées aux groupes caractéristiques (a) et (b) entourés sur la molécule d'acide ascorbique.

Le groupe (a) est un enchaînement $-CO-O-C$: un carbone doublement lié à un oxygène et relié à un second oxygène, lui-même lié à un carbone.

Le groupe (b) est un groupe hydroxyle $-OH$ porté par un carbone tétraédrique.

(a) : famille des **esters** ; (b) : famille des **alcools**.

PIÈGE
Répondre « acide carboxylique » pour (a). Le second oxygène est lié à un carbone du cycle et non à un hydrogène : c'est un ester, ici cyclique.

MÉTHODE
Distinguer le nom du groupe (hydroxyle, ester) et celui de la famille (alcool, ester). La question demande la famille.

1.2.1 Recopier la formule de la molécule puis repérer le ou les atomes de carbone asymétriques par un astérisque, en justifiant.

Un atome de carbone asymétrique est un carbone tétraédrique lié à quatre atomes ou groupes d'atomes tous différents.

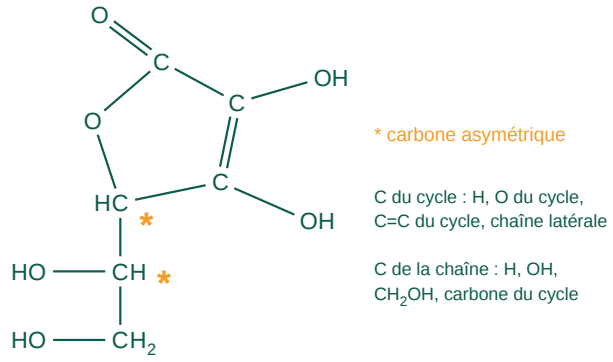
Deux carbones de la molécule remplissent cette condition :

- le carbone CH du cycle, lié à H, à l'oxygène du cycle, au carbone de la double liaison $C=C$ et au carbone de la chaîne latérale ;
- le carbone CH de la chaîne, lié à H, à OH, au groupe CH_2OH et au carbone du cycle.

La molécule possède **deux** carbones asymétriques, repérés sur la formule ci-dessous.

PIÈGE
Marquer un carbone engagé dans une double liaison ($C=O$ ou $C=C$) : il n'a que trois voisins. Le carbone de CH_2OH porte deux H identiques : il n'est pas asymétrique non plus.

COMPRENDRE
Le carbone asymétrique et les énantiomères étaient au programme de Terminale S. Ils ne figurent plus au programme actuel de la spécialité.



1.2.1 · Formule recopiée, carbones asymétriques repérés

1.2.2 Reconnaître si les trois représentations de stéréoisomères données sont identiques, énantiomères ou diastéréoisomères.

Représentations 1 et 2 : chacune est l'image de l'autre dans un miroir plan, et les deux carbones asymétriques ont des configurations inversées. Elles ne sont pas superposables : ce sont des énantiomères.

Représentations 2 et 3 : seul le carbone asymétrique de la chaîne diffère (son hydrogène pointe vers l'arrière dans l'une, vers l'avant dans l'autre). Elles ne sont ni identiques ni symétriques l'une de l'autre par rapport à un plan : ce sont des diastéréoisomères.

Représentations 1 et 3 : seul le carbone asymétrique du cycle diffère, ce sont aussi des diastéréoisomères.

1 et 2 : **énantiomères** ; 2 et 3 : **diastéréoisomères** ; 1 et 3 : **diastéréoisomères**.

PIÈGE
Ne comparer que 1 avec 2, puis 2 avec 3. Trois représentations donnent trois couples à examiner.

MÉTHODE
Avec deux carbones asymétriques : tous les deux inversés, énantiomères ; un seul inversé, diastéréoisomères ; aucun, molécules identiques.

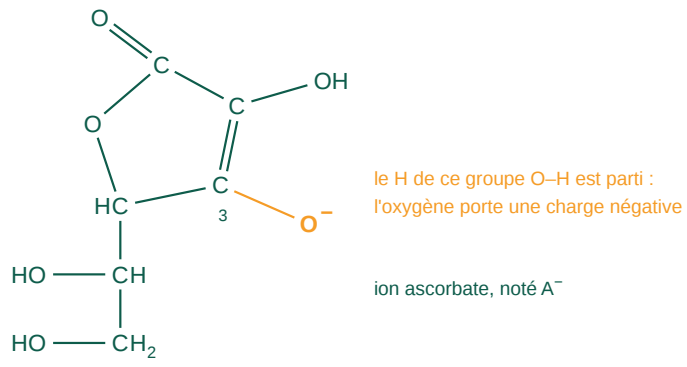
1.3 Représenter l'ion ascorbate, base conjuguée de l'acide ascorbique, sachant que l'hydrogène acide est celui du groupe hydroxyle porté par le carbone 3.

La base conjuguée s'obtient en retirant un ion H^+ à l'acide : $HA = A^- + H^+$.

L'hydrogène du groupe $-OH$ porté par le carbone 3 est cédé ; l'oxygène garde le doublet de la liaison et porte une charge négative. Le reste de la molécule est inchangé.

Ion ascorbate $C_6H_7O_6^-$: le groupe $-OH$ du carbone 3 devient $-O-$ (formule ci-dessous).

PIÈGE
Oublier la charge négative sur l'oxygène, ou retirer l'hydrogène d'un autre groupe hydroxyle que celui du carbone 3.



1.3 · Ion ascorbate

1.4 Sous quelle forme la substance active se trouve-t-elle sur la langue ? Dans l'estomac ? Justifier.

Données utiles $\mathrm{p}K_A(\mathrm{HA}/\mathrm{A}^-) = 4{,}1$; pH de l'estomac $\approx 1{,}5$; pH de la salive entre 5,5 et 6,1

Pour un couple acide-base : si $\mathrm{pH} < \mathrm{p}K_A$, l'acide HA prédomine ; si $\mathrm{pH} > \mathrm{p}K_A$, la base A^- prédomine.

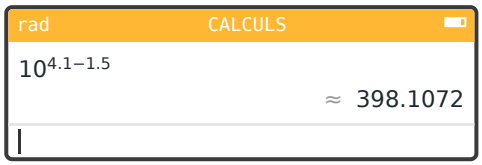
Sur la langue : $5{,}5 \leqslant \mathrm{pH} \leqslant 6{,}1$, donc $\mathrm{pH} > 4{,}1$.

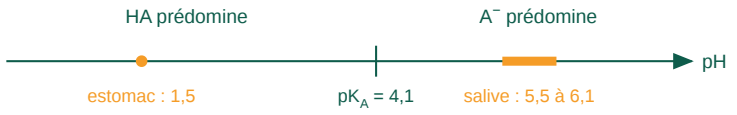
Dans l'estomac : $\mathrm{pH} \approx 1{,}5 < 4{,}1$.

Sur la langue, la forme prédominante est l'**ion ascorbate** A^- ; dans l'estomac, c'est l'**acide ascorbique** HA.

COMPRENDRE
Prédominer ne veut pas dire être seul. Dans l'estomac, $\mathrm{pH} - \mathrm{p}K_A = -2{,}6$: il reste environ un ion A^- pour 400 molécules HA.

À LA CALCULATRICE





1.4 · Diagramme de prédominance du couple HA/A^-

2.1 Rédiger le protocole de préparation de la solution aqueuse S_A.

Données utiles un comprimé entier ; $V = 200{,}0$ mL

Il s'agit d'une dissolution.

- Réduire le comprimé en poudre dans un mortier, à l'aide d'un pilon.
- Avec un entonnoir, introduire toute la poudre dans une fiole jaugée de 200,0 mL.
- Rincer le mortier, le pilon et l'entonnoir à l'eau distillée, en recueillant l'eau de rinçage dans la fiole.
- Ajouter de l'eau distillée jusqu'aux deux tiers environ, boucher, agiter jusqu'à dissolution.
- Compléter à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge (bas du ménisque sur le trait).
- Boucher et retourner plusieurs fois la fiole pour homogénéiser.

Dissolution du comprimé broyé dans une **fiole jaugée de 200,0 mL**, complétée au trait de jauge avec de l'eau distillée.

PIÈGE
Oublier le rinçage du mortier et de l'entonnoir : toute la matière du comprimé doit arriver dans la fiole, sinon la masse mesurée est sous-estimée.

COMPRENDRE
Le volume est donné avec quatre chiffres significatifs (200,0 mL) : seule une fiole jaugée offre cette précision, pas un bécher ni une éprouvette.

2.2 Écrire l'équation de la réaction support du titrage.

L'espèce titrée est l'acide HA ; l'espèce titrante est la base HO^- apportée par la solution d'hydroxyde de sodium. L'acide cède un ion H^+ à la base.

$$\mathrm{HA\,(aq) + HO^-\,(aq) \longrightarrow A^-\,(aq) + H_2O\,(l)}$$

PIÈGE
Faire figurer Na^+ dans l'équation : c'est un ion spectateur. Une réaction de titrage est totale, on l'écrit avec une flèche simple.

2.3 La solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C_B = 0{,}100\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ convient-elle pour obtenir V_E proche de 10 mL ? Sinon, que peut-on faire ?

Données utiles $m = 250$ mg (étiquette) ; $M = 176{,}1\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $V = 200{,}0$ mL ; $V_A = 20{,}0$ mL

La prise d'essai représente un dixième de la solution S_A ($V_A = V/10$) : elle contient $n_A = \dfrac{m}{10\,M}$.

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques : $n_A = n(\text{HO}^-)_{\text{versé}} = C_B\,V_E$, d'où

$$V_E = \frac{m}{10\,M\,C_B} = \frac{250\times10^{-3}}{10\times176{,}1\times0{,}100} = 1{,}42\times10^{-3}\ \text{L} = 1{,}42\ \text{mL}$$

Ce volume est bien inférieur à 10 mL : la solution disponible est trop concentrée et ne convient pas.

Comme V_E est inversement proportionnel à C_B, on dilue dix fois la solution titrante : $C'_B = 1{,}00\times10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ donne $V'_E = 14{,}2$ mL, de l'ordre de 10 mL.

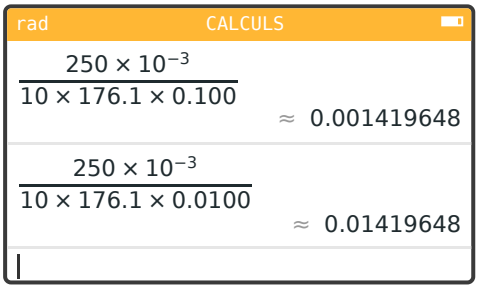
$V_E = 1{,}42$ mL : la solution **ne convient pas** ; il faut la **diluer environ dix fois** ($V'_E \approx 14$ mL).

PIÈGE
Calculer avec la quantité d'acide du comprimé entier. Seuls 20,0 mL sur 200,0 mL sont titrés : il faut diviser par 10.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme m, C_B et V_A. Un volume de 1,4 mL lu sur une burette graduée à 0,1 mL près serait connu à 7 % seulement.

MÉTHODE
Dilution au dixième : prélever 10,0 mL de solution mère à la pipette jaugée, verser dans une fiole jaugée de 100,0 mL, compléter à l'eau distillée, homogénéiser.

À LA CALCULATRICE



2.4 Parmi les quatre graphiques, lequel représente l'allure de la conductivité σ du mélange en fonction du volume V de solution d'hydroxyde de sodium versé ? Justifier.

Données utiles en $\text{mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$: $\lambda(\text{Na}^+) = 5{,}01$; $\lambda(\text{HO}^-) = 19{,}9$; $\lambda(\text{A}^-) = 3{,}42$

Avant l'équivalence : chaque ion HO^- versé est consommé par une molécule HA, non chargée, et il se forme un ion A^-. Le milieu s'enrichit en ions Na^+ et A^- : σ augmente.

Après l'équivalence : il n'y a plus de HA. Les ions Na^+ et HO^- versés s'accumulent, la quantité de A^- ne change plus : σ augmente encore.

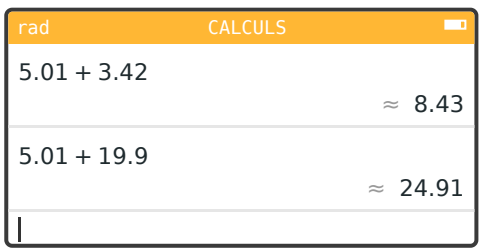
Comme $\lambda(\text{HO}^-) > \lambda(\text{A}^-)$, l'augmentation est plus rapide après l'équivalence : $5{,}01 + 19{,}9 = 24{,}9$ contre $5{,}01 + 3{,}42 = 8{,}43\ \text{mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$ avant.

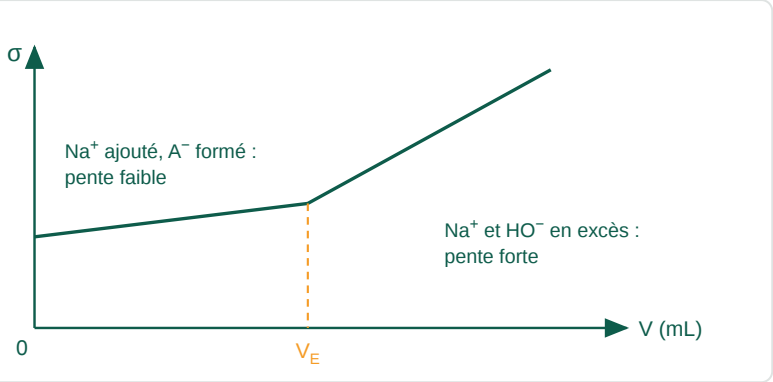
Représentation 2 : deux portions de droite croissantes, la seconde de pente plus forte.

PIÈGE
Choisir la représentation 3 par habitude. La pente n'est négative avant l'équivalence que si l'ion consommé est très conducteur (H_3O^+) ; ici l'espèce titrée est une molécule.

COMPRENDRE
La conductivité initiale n'est pas nulle : le comprimé contient aussi de l'ascorbate de sodium, donc des ions Na^+ et A^- dès le départ.

À LA CALCULATRICE





2.4 · Allure de la représentation 2

2.5.1 Déterminer l'incertitude relative $\frac{U(m_{\text{exp}})}{m_{\text{exp}}}$ à l'aide de la relation fournie.

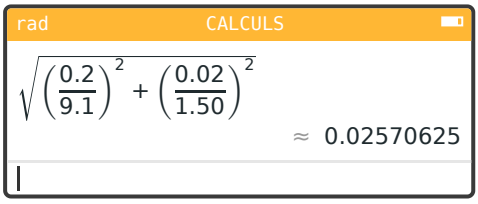
Données utiles $C_B = (1{,}50 \pm 0{,}02) \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_E = (9{,}1 \pm 0{,}2)$ mL

$$\frac{U(m_{\text{exp}})}{m_{\text{exp}}} = \sqrt{\left(\frac{U(V_E)}{V_E}\right)^2 + \left(\frac{U(C_B)}{C_B}\right)^2}$$

$$\frac{U(m_{\text{exp}})}{m_{\text{exp}}} = \sqrt{\left(\frac{0{,}2}{9{,}1}\right)^2 + \left(\frac{0{,}02}{1{,}50}\right)^2} = 0{,}026$$

$\frac{U(m_{\text{exp}})}{m_{\text{exp}}} = 0{,}026$, soit **2,6 %**.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Oublier la racine carrée : la relation de l'énoncé donne le carré de l'incertitude relative. Les puissances de dix de C_B et de $U(C_B)$ se simplifient dans le rapport.

COMPRENDRE
Le volume équivalent pèse le plus : 2,2 % contre 1,3 % pour la concentration. Pour gagner en précision, il faut d'abord mieux repérer l'équivalence.

2.5.2 Le résultat expérimental est-il en accord avec la mention portée sur la boîte ? Interpréter l'écart éventuellement obtenu.

Données utiles $m_{\text{exp}} = 245$ mg ; incertitude relative 0,0257 (2.5.1) ; étiquette : 250 mg

$U(m_{\text{exp}}) = 0{,}0257 \times 245 = 6{,}3$ mg, arrondie par excès à un chiffre significatif : $U(m_{\text{exp}}) = 7$ mg.

$m_{\text{exp}} = (245 \pm 7)$ mg, soit $238\ \text{mg} \leqslant m \leqslant 252\ \text{mg}$.

La valeur de l'étiquette, 250 mg, appartient à cet intervalle : l'écart de 5 mg est inférieur à l'incertitude, il n'est pas significatif.

Il peut provenir d'une perte de poudre lors du broyage ou du transvasement, du repérage de l'équivalence sur le graphique, de l'ajustage des volumes (V, V_A) ou de la tolérance de fabrication du comprimé.

Remarque : avec les valeurs de l'énoncé, $10\,C_B\,V_E\,M$ donne 240 mg et non 245 mg ; on conserve la valeur fournie.

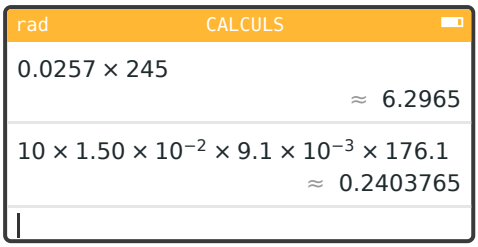
$m_{\text{exp}} = (245 \pm 7)$ mg : résultat **en accord** avec les 250 mg annoncés.

PIÈGE
Garder $U = 6{,}2965$ mg. Une incertitude s'écrit avec un seul chiffre significatif, arrondie par excès, et le résultat s'arrête au même rang qu'elle.

COMPRENDRE
Le sujet n'est pas cohérent : 245 mg correspondrait à $V_E \approx 9{,}3$ mL. Avec 240 mg, l'intervalle serait $[233; 247]$ mg et ne contiendrait plus 250 mg. Le jour de l'épreuve, on utilise la valeur donnée.

MÉTHODE
Comparer une mesure à une valeur de référence : calculer U, écrire l'intervalle $[m - U; m + U]$, puis regarder si la référence s'y trouve.

À LA CALCULATRICE



3.1 Pour vérifier par titrage la masse d'ascorbate de sodium d'un comprimé, quel réactif titrant choisir : A (hydroxyde de sodium), B (acide chlorhydrique) ou C (chlorure de sodium) ? Justifier.

L'ion ascorbate A^- est une base : il ne peut être titré que par un acide, qui lui cède un ion H^+.

- A : HO^- est une base, elle ne réagit pas avec A^-.
- B : $\mathrm{H_3O^+}$ est un acide, il réagit avec A^- selon $\mathrm{A^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq) \longrightarrow HA\,(aq) + H_2O\,(l)}$.
- C : Na^+ et Cl^- n'ont pas de propriétés acido-basiques dans l'eau, ils sont spectateurs.

Seule la proposition **B** convient : la solution d'acide chlorhydrique.

MÉTHODE
On titre un acide par une base et une base par un acide. Identifier d'abord la nature de l'espèce à doser, puis chercher son partenaire dans la solution titrante.

3.2 Vérifier par un calcul que la masse totale des deux espèces conjuguées est équivalente à 500 mg d'acide ascorbique.

Données utiles $m(\mathrm{NaA}) = 285$ mg ; $M(\mathrm{NaA}) = 198{,}1\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $m(\mathrm{HA}) = 250$ mg ; $M(\mathrm{HA}) = 176{,}1\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$

Quantité d'ions ascorbate apportée par l'ascorbate de sodium :

$$n(\mathrm{A}^-) = \frac{m(\mathrm{NaA})}{M(\mathrm{NaA})} = \frac{285 \times 10^{-3}}{198{,}1} = 1{,}44 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}$$

Un ion A^- qui capte un ion H^+ donne une molécule HA : cette quantité équivaut à une masse d'acide ascorbique

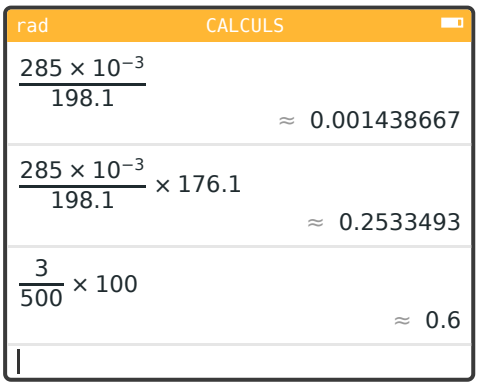
$$m' = n(\mathrm{A}^-) \times M(\mathrm{HA}) = \frac{285 \times 10^{-3}}{198{,}1} \times 176{,}1 = 0{,}253\ \mathrm{g} = 253\ \mathrm{mg}$$

Masse totale équivalente : $250 + 253 = 503$ mg.

$m_{\text{totale}} = 503\ \mathrm{mg} \approx 500\ \mathrm{mg}$: l'information de l'étiquette est vérifiée (écart de 0,6 %).

PIÈGE
Additionner les masses, $250 + 285 = 535$ mg. L'ascorbate de sodium contient du sodium : il faut passer par la quantité de matière, puis revenir à la masse d'acide.

À LA CALCULATRICE



3.3 Quel intérêt présente cette formulation par rapport à un comprimé qui contiendrait uniquement 500 mg d'acide ascorbique ?

La moitié de la vitamine C est apportée sous sa forme basique A^-. Le comprimé contient donc deux fois moins d'acide qu'un comprimé de 500 mg d'acide ascorbique pur, pour la même quantité de vitamine C disponible après passage dans l'estomac, où A^- redevient HA (1.4).

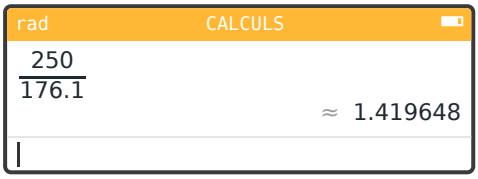
Croqué, il donne en bouche un milieu moins acide.

Formulation **moins acide**, donc moins agressive pour la bouche et le tube digestif, à quantité de vitamine C égale.

COMPRENDRE

Les quantités de HA et de A^- sont presque égales ($1{,}42$ et $1{,}44$ mmol) : le pH de la solution est voisin du $\mathrm{p}K_A$, soit 4,1. On parle de vitamine C tamponnée.

À LA CALCULATRICE



Transfert thermique lors du chauffage d'une piscine

Bac S 2015 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 2 **6 points** **Durée conseillée 1 h**

1.1 Parmi les transferts d'énergie Q_c, Q_f et W_e, indiquer ceux qui sont reçus par le fluide de la PAC et ceux qui sont cédés par ce fluide.

Sur la figure 1, les flèches Q_f (venant de l'air extérieur) et W_e (venant du réseau électrique) pointent vers le fluide ; la flèche Q_c part du fluide vers l'eau du bassin.

Énergies **reçues** par le fluide : Q_f et W_e. Énergie **cédée** par le fluide : Q_c.

MÉTHODE
Sur un schéma énergétique, le sens de la flèche donne le sens du transfert : une flèche qui arrive sur le système est une énergie reçue, une flèche qui en part est une énergie cédée.

1.2 Montrer que, pour un cycle du fluide, on a l'égalité $Q_c = Q_f + W_e$.

Système : {fluide frigorigène}. Sur un cycle, le fluide revient dans son état initial, donc $\Delta U = 0$.

Bilan d'énergie du système : la variation d'énergie interne est égale à l'énergie reçue diminuée de l'énergie cédée. Les trois grandeurs étant positives :

$$\Delta U = Q_f + W_e - Q_c = 0$$

$Q_c = Q_f + W_e$

PIÈGE
Écrire $Q_f + W_e + Q_c = 0$: ce serait juste avec des grandeurs algébriques ($Q_c < 0$), mais l'énoncé impose trois grandeurs positives. Il faut donc mettre soi-même le signe « $-$ » devant l'énergie cédée.

COMPRENDRE
Toute l'énergie qui entre dans le fluide en ressort : l'eau du bassin reçoit davantage que l'énergie électrique consommée, la différence étant prélevée dans l'air.

2.1 Nommer le changement d'état subi par le fluide frigorigène dans le vaporisateur. Le fluide a-t-il alors reçu ou cédé de l'énergie ?

D'après la figure 2, le fluide entre dans le vaporisateur à l'état liquide (basse pression) et en sort à l'état de vapeur (basse pression) : il passe de l'état liquide à l'état gazeux.

Dans le même temps, l'air extérieur ressort refroidi : il a cédé de l'énergie au fluide.

Le changement d'état est une **vaporisation** ; le fluide a **reçu** de l'énergie (c'est Q_f).

COMPRENDRE
Fusion, vaporisation et sublimation exigent un apport d'énergie : il faut rompre des interactions entre les molécules. Dans le condenseur, la liquéfaction fait l'inverse et libère Q_c vers l'eau du bassin.

2.2 Quels sont le ou les modes de transfert d'énergie entre l'air extérieur et le fluide frigorigène ?

Le fluide circule dans des tuyaux : il n'est jamais en contact direct avec l'air. L'énergie traverse donc la paroi solide des tuyaux, de proche en proche et sans déplacement de matière : c'est un transfert par **conduction**.

L'air, lui, est en mouvement le long des tuyaux (il entre puis ressort refroidi) : ce déplacement de matière apporte l'énergie jusqu'à la paroi par **convection**.

Conduction à travers la paroi des tuyaux, accompagnée de convection dans l'air extérieur.

PIÈGE
Citer un mode sans le justifier. L'argument attendu vient du texte : les tuyaux empêchent tout contact direct entre l'air et le fluide, donc l'énergie passe forcément par la paroi.

COMPRENDRE
Trois modes de transfert thermique : conduction (de proche en proche, sans transport de matière), convection (avec mouvement d'ensemble d'un fluide), rayonnement (ondes électromagnétiques, possible dans le vide). Ici le rayonnement est négligeable.

3.1 Calculer la variation d'énergie interne $\Delta U_{\{eau\}}$ de l'eau du bassin quand sa température a atteint 28 °C. En déduire la valeur de Q_c.

Données utiles $V = 560\ \text{m}^3$; $\rho_{eau} = 1000\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $c_{eau} = 4{,}18\ \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; $\theta_i = 17\ ^\circ\text{C}$; $\theta_f = 28\ ^\circ\text{C}$

Masse d'eau : $m_{eau} = \rho_{eau}\, V$.

Pour l'eau liquide, sans changement d'état : $\Delta U_{\{eau\}} = m_{eau}\, c_{eau}\, (\theta_f - \theta_i) = \rho_{eau}\, V\, c_{eau}\, (\theta_f - \theta_i)$

$$\Delta U_{\{eau\}} = 1000 \times 560 \times 4{,}18 \times 10^3 \times (28 - 17) = 2{,}6 \times 10^{10}\ \text{J}$$

Le transfert thermique issu de la PAC sert intégralement à chauffer l'eau, sans déperdition : l'eau ne reçoit que Q_c, donc $Q_c = \Delta U_{\{eau\}}$.

$$\boxed{\Delta U_{\{eau\}} = Q_c = 2{,}6 \times 10^{10}\ \text{J}}$$

PIÈGE
Laisser c_{eau} en $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$: le résultat sortirait en kJ. Convertir en $4{,}18 \times 10^3\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs : l'écart de température, 11 °C, n'en a que deux. Un écart de température a la même valeur en °C et en K, inutile de convertir.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
$1000 \times 560 \times 4.18 \times 10^3 \times (28 - 17)$
$\approx 2.57488 \times 10^{10}$

3.2 L'énergie électrique consommée pendant ce transfert vaut $W_e = 8{,}0 \times 10^9$ J. Déterminer la valeur de Q_f, énergie transférée par l'air extérieur.

Données utiles $W_e = 8{,}0 \times 10^9\ \text{J}$; $Q_c = 2{,}6 \times 10^{10}\ \text{J}$ (3.1)

D'après la relation établie en 1.2 : $Q_c = Q_f + W_e$, donc $Q_f = Q_c - W_e$.

$$Q_f = 2{,}6 \times 10^{10} - 8{,}0 \times 10^9 = 1{,}8 \times 10^{10}\ \text{J}$$

$$\boxed{Q_f = 1{,}8 \times 10^{10}\ \text{J}}$$

PIÈGE
Soustraire les deux nombres sans regarder les puissances de dix : $2{,}6 \times 10^{10}$ J, c'est 26×10^9 J.

COMPRENDRE
L'air fournit gratuitement plus des deux tiers de l'énergie reçue par l'eau.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
$2.6 \times 10^{10} - 8.0 \times 10^9$
$\approx 1.8 \times 10^{10}$

3.3 Exprimer, puis calculer le coefficient de performance η de la PAC.

Données utiles $Q_c = 2{,}57 \times 10^{10}$ J (3.1, valeur non arrondie) ; $W_e = 8{,}0 \times 10^9$ J

Le coefficient de performance est le rapport de l'énergie utile fournie par la PAC sur l'énergie électrique nécessaire à son fonctionnement. L'énergie utile est Q_c (elle chauffe l'eau), l'énergie électrique consommée est W_e :

$$\eta = \frac{Q_c}{W_e} = \frac{2{,}57 \times 10^{10}}{8{,}0 \times 10^9} = 3{,}2$$

Cette valeur est bien comprise entre 2,5 et 5, comme l'annonce le texte.

$$\boxed{\eta = \frac{Q_c}{W_e} = 3{,}2}$$

PIÈGE
Diviser par Q_f, ou par $Q_f + W_e$: l'énergie prélevée dans l'air est gratuite, elle ne figure pas au dénominateur. Seule compte l'énergie facturée, W_e.

COMPRENDRE
η est sans unité et supérieur à 1 : ce n'est pas un rendement de conversion. L'énergie n'est pas créée, elle est déplacée de l'air vers l'eau.

MÉTHODE
Reprendre la valeur non arrondie de la question précédente pour un calcul enchaîné : avec $2{,}6 \times 10^{10}$ J, on trouverait 3,3.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{2.57 \times 10^{10}}{8.0 \times 10^{9}} \approx 3.2125$$

4.1 Montrer qu'avec une PAC de coefficient de performance $\eta = 3{,}0$, on réalise 67 % d'économie sur la facture d'énergie électrique par rapport à un chauffage direct par résistance électrique.

Données utiles $\eta = 3{,}0$

Pour fournir à l'eau la même énergie Q_c :

- une résistance électrique convertit, au mieux, toute l'énergie électrique reçue en transfert thermique : $W_{res} = Q_c$;
- la PAC consomme $W_e = \dfrac{Q_c}{\eta} = \dfrac{Q_c}{3{,}0}$.

Économie relative sur l'énergie électrique facturée :

$$\frac{W_{res} - W_e}{W_{res}} = 1 - \frac{1}{\eta} = 1 - \frac{1}{3{,}0} = 0{,}67$$

L'économie est de 67 % : la PAC ne consomme que le tiers de l'énergie électrique d'une résistance, valeur attendue.

MÉTHODE
Pour comparer deux dispositifs, fixer le service rendu (ici la même énergie Q_c fournie à l'eau), puis comparer ce que chacun consomme. Le résultat ne dépend pas de la valeur de Q_c.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$1 - \frac{1}{3.0} \approx 0.6666667$$

4.2 En conclusion, expliquer en quelques lignes en quoi l'utilisation de pompes à chaleur apporte une réponse à des problématiques énergétiques contemporaines.

Le chauffage est un poste très consommateur d'énergie, et produire de l'électricité a un coût économique et environnemental.

Pour un même chauffage, une PAC consomme entre 2,5 et 5 fois moins d'énergie électrique qu'une résistance : ici $8{,}0 \times 10^9$ J facturés au lieu de $2{,}6 \times 10^{10}$ J.

Le complément, Q_f, est prélevé dans l'air extérieur : cette énergie est renouvelable et gratuite.

La PAC réduit la consommation d'énergie électrique et la facture, en exploitant une ressource renouvelable : elle contribue aux économies d'énergie.

COMPRENDRE
Limite à connaître : η dépend de la température de la source froide. Par temps froid, la PAC est moins performante et consomme davantage d'électricité.

MÉTHODE
Une question de synthèse se construit en trois temps : le problème posé, l'argument chiffré tiré de l'exercice (ici η et l'économie de 67 %), puis la conclusion qui répond à la question de l'introduction.

Les ondes au service de la voiture du futur

Bac S 2015 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Compléter le tableau de l'annexe en précisant, pour chaque capteur, le type d'onde utilisée (mécanique ou électromagnétique).

- Radar : ondes radio, donc onde **électromagnétique**.
- Capteurs à ultrasons : onde sonore, qui a besoin d'un milieu matériel, donc onde **mécanique**.
- Capteur laser (LIDAR) : rayonnement allant de l'ultraviolet à l'infrarouge, donc onde **électromagnétique**.

Radar : électromagnétique ; ultrasons : mécanique ; LIDAR : électromagnétique.

COMPRENDRE
Ancien programme : le laser y était étudié pour lui-même, ce n'est plus le cas en spécialité. Ici, il suffit de savoir qu'il émet de la lumière, donc une onde électromagnétique.

Capteur	Type d'onde	Justification (texte du sujet)
Radar	électromagnétique	ondes radio
Capteurs à ultrasons	mécanique	ultrasons : onde sonore
Capteur laser (LIDAR)	électromagnétique	de l'ultraviolet à l'infrarouge

1.1 · Annexe complétée : deuxième colonne du tableau (les colonnes « points forts » et « points faibles » ne changent pas)

1.2 À l'aide du tableau des bandes d'ondes radio, déterminer le nom de la bande utilisée par le capteur radar de l'ACC. Justifier par un calcul.

Données utiles fréquence d'émission : 76 à 77 GHz ; $c = 3{,}0 \times 10^8$ m · s^{-1} ; bande W : 2,7 mm à 4,0 mm

Dans l'air, la longueur d'onde vaut $\lambda = \dfrac{c}{f}$, avec $1\ \text{GHz} = 10^9\ \text{Hz}$.

Pour $f = 76$ GHz : $\lambda = \dfrac{3{,}0 \times 10^8}{76 \times 10^9} = 3{,}9 \times 10^{-3}$ m.

Pour $f = 77$ GHz, on trouve aussi $\lambda = 3{,}9 \times 10^{-3}$ m.

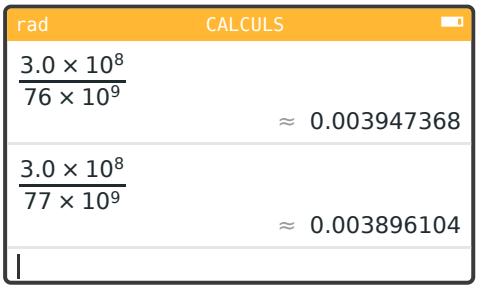
Or $2{,}7\ \text{mm} < 3{,}9\ \text{mm} < 4{,}0\ \text{mm}$.

$\lambda = 3{,}9$ mm : le radar de l'ACC émet dans la **bande W**.

PIÈGE
Oublier de convertir les gigahertz en hertz, ou laisser le résultat en mètres sans le comparer au tableau, qui est en millimètres.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme c et f. Les deux fréquences extrêmes donnent le même arrondi : un seul calcul suffit à conclure.

À LA CALCULATRICE



1.3 Recopier et compléter les deux phrases sur la fréquence de l'onde réfléchie, selon que l'objet se rapproche ou s'éloigne de l'émetteur.

Si l'objet se rapproche de l'émetteur, la fréquence de l'onde réfléchie **est supérieure à celle de l'onde émise**.

Si l'objet s'éloigne de l'émetteur, la fréquence de l'onde réfléchie **est inférieure à celle de l'onde émise**.

Rapprochement : fréquence plus grande ; éloignement : fréquence plus petite.

COMPRENDRE
L'écart entre les deux fréquences augmente avec la vitesse relative : en le mesurant, le radar en déduit cette vitesse. C'est le principe des radars routiers.

2.1 Légender la figure de l'annexe en indiquant les durées Δt_1 et Δt_2.

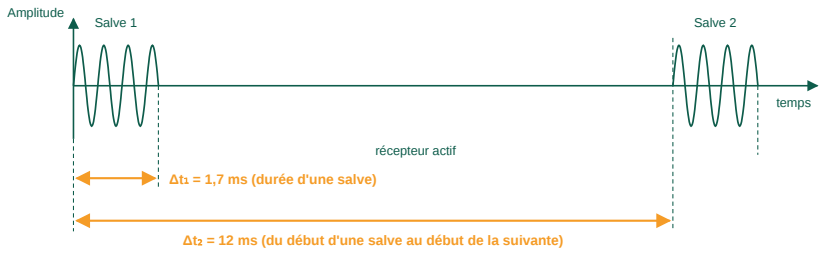
Données utiles salves de durée $\Delta t_1 = 1{,}7$ ms ; périodicité $\Delta t_2 = 12$ ms

Δt_1 est la durée d'une salve : elle va du début à la fin de la salve 1, pendant que le récepteur est inactif.

Δt_2 est la période de répétition des salves : elle va du début de la salve 1 au début de la salve 2.

Voir l'annexe complétée : Δt_1 sous la salve 1, Δt_2 entre les débuts des deux salves.

PIÈGE
Confondre Δt_2 avec la période des oscillations à l'intérieur d'une salve. C'est le motif complet « salve puis silence » qui se répète toutes les 12 ms.



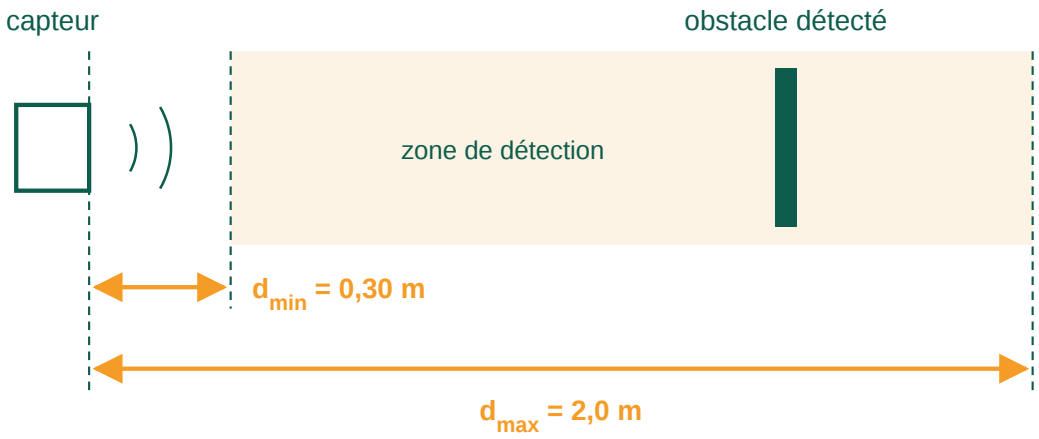
2.1 · Annexe complétée : fonctionnement de l'émetteur du radar de recul

2.2 Faire un schéma représentant un capteur détectant un obstacle, en y faisant apparaître la portée minimale d_{min} et la portée maximale d_{max} avec leurs valeurs.

Données utiles notice : distance affichée pour des valeurs comprises entre $0{,}3$ m et 2 m ; $d_{\text{min}} = 0{,}30$ m

D'après la notice, l'obstacle est détecté s'il se trouve entre $0{,}3$ m et 2 m du capteur. Les deux portées se mesurent à partir du capteur.

$d_{\text{min}} = 0{,}30$ m et $d_{\text{max}} = 2{,}0$ m (voir le schéma).



2.2 · Le capteur détecte un obstacle situé entre 0,30 m et 2,0 m (schéma à l'échelle)

2.3 Vérifier que, pour la distance $d_{\min}$ entre le capteur et l'obstacle, la durée entre l'émission et la réception est égale à Δt_1.

Données utiles $d_{\min} = 0{,}30$ m ; $v = 343\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $\Delta t_1 = 1{,}7$ ms

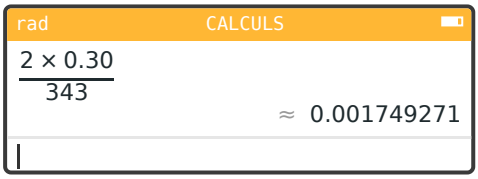
L'onde ultrasonore fait un aller-retour entre le capteur et l'obstacle : elle parcourt $2\,d_{\min}$ à la célérité v.

$$\Delta t = \frac{2\,d_{\min}}{v} = \frac{2 \times 0{,}30}{343} = 1{,}7 \times 10^{-3}\ \text{s}$$

$\Delta t = 1{,}7$ ms : c'est bien la valeur de Δt_1.

PIÈGE
Oublier le facteur 2 : l'onde va jusqu'à l'obstacle puis revient. Avec un aller simple, on trouve $0{,}87$ ms et la vérification échoue.

À LA CALCULATRICE



2.4 Si la durée que met l'onde émise pour revenir au capteur est inférieure à Δt_1, pourquoi le capteur ne peut-il pas détecter l'obstacle de manière satisfaisante ?

Le même matériau piézo-électrique sert d'émetteur et de récepteur, et il ne peut recevoir qu'une fois l'émission terminée.

Si l'onde revient en moins de Δt_1, le début de l'écho atteint le capteur alors que la salve est encore en cours d'émission : le récepteur est inactif.

L'arrivée de l'écho n'est pas repérée : la durée de l'aller-retour, donc la distance, ne peut pas être mesurée.

2.5 Quelle caractéristique du signal d'émission faut-il modifier pour que le capteur détecte un obstacle situé à une distance inférieure à $d_{\min}$? Justifier.

L'écho n'est détecté que si l'aller-retour dure au moins Δt_1, soit $\frac{2\,d}{v} \geqslant \Delta t_1$. La portée minimale est donc $d_{\min} = \frac{v\,\Delta t_1}{2}$: elle est proportionnelle à la durée de la salve.

Il faut **diminuer la durée Δt_1 des salves** : le capteur a alors fini d'émettre quand revient l'écho d'un obstacle plus proche.

MÉTHODE
Pour répondre à « quelle grandeur modifier », écrire la relation littérale qui relie la grandeur visée aux paramètres du signal, puis lire dans quel sens chacun agit.

2.6 Montrer que la valeur de la portée maximale de ce capteur est liée essentiellement à une des caractéristiques du signal émis.

Données utiles $v = 343\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $\Delta t_2 = 12$ ms ; $d_{\max} = 2{,}0$ m (Q2.2)

L'écho d'une salve doit revenir avant l'émission de la salve suivante, sinon il ne peut plus être attribué à la bonne salve. L'aller-retour doit donc durer au plus Δt_2 :

$$d_{\max} = \frac{v\,\Delta t_2}{2} = \frac{343 \times 12 \times 10^{-3}}{2} = 2{,}1\ \text{m}$$

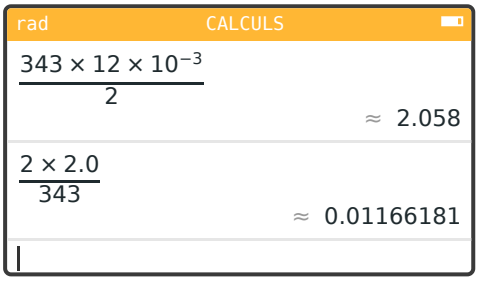
Cette valeur est très proche des 2 m annoncés par la notice.

$d_{\max} = \dfrac{v\,\Delta t_2}{2} \approx 2$ m : la portée maximale est fixée par la **périodicité Δt_2 des salves**.

COMPRENDRE

On peut aussi partir de $d_{\max} = 2{,}0$ m : l'aller-retour dure $\dfrac{2 \times 2{,}0}{343} = 12$ ms, soit exactement Δt_2. La périodicité est bien la grandeur qui limite la portée.

À LA CALCULATRICE



3 Les trois types de capteurs détectent un obstacle selon un principe semblable. Pourquoi ne pas en utiliser un seul dans un projet de voiture autonome ? Rédiger une réponse argumentée à partir des documents.

Les trois capteurs mesurent la durée d'un aller-retour d'une onde, mais leurs performances diffèrent : aucun ne convient à toutes les situations.

- **Distances couvertes.** Les capteurs à ultrasons ne détectent qu'entre $0{,}3$ m et 2 m : ils servent au stationnement. Le radar de l'ACC couvre de 1 m à 120 m et ne s'active qu'au-delà de $20\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$: il surveille les véhicules qui précèdent, pas les obstacles très proches. Le LIDAR a lui aussi une longue portée.
- **Conditions météorologiques.** Le radar y résiste bien, alors que le LIDAR et les ultrasons y sont sensibles ; la précision des ultrasons dépend de plus de la température. Par mauvais temps, seul le radar reste fiable à longue distance.
- **Informations fournies.** Le radar donne aussi la vitesse relative des objets grâce à l'effet Doppler. Le LIDAR apporte une grande précision et une bonne résolution, utiles pour percevoir l'environnement en détail.
- **Coût et contraintes.** Le radar est coûteux et encombrant, les ultrasons simples et bon marché : pour les courtes distances, mieux vaut multiplier les capteurs à ultrasons.

Les points forts de chaque capteur compensent les points faibles des autres : il faut les **associer** pour couvrir toutes les distances, par tous les temps.

PIÈGE

Recopier le tableau sans comparer les capteurs entre eux. Chaque argument doit montrer qu'un capteur fait ce qu'un autre ne peut pas faire.

MÉTHODE

Réponse argumentée : une phrase qui pose le problème, deux à quatre arguments appuyés chacun sur une information précise d'un document (valeur ou mot du tableau), puis une conclusion qui répond à la question posée.

Spécialité : Des cellules photovoltaïques pour un tour du monde en avion

Bac S 2015 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

P Vérifier que le nombre de cellules photovoltaïques de Solar Impulse 2 et la capacité de stockage de ses batteries suffisent à lui assurer une autonomie de 24 heures. Rédiger une réponse argumentée, avec un regard critique sur le résultat et les hypothèses.

Données utiles puissance solaire moyenne sur 24 h, au voisinage du sol : $p = 250$ W par m^2 horizontal ; $N > 17\,000$ cellules de $12{,}5$ cm $\times$ $12{,}5$ cm ; rendement $\eta = 23\,\%$; batteries : $m = 633$ kg, 260 Wh $\cdot$ kg^{-1} ; moteurs : 15 CV en moyenne sur 24 h, 70 CV au maximum ; 1 CV $= 736$ W

Démarche. L'avion vole 24 h sans carburant si deux conditions sont réunies :

- sur 24 h, les cellules produisent au moins l'énergie consommée par les moteurs ;
- les batteries stockent assez d'énergie pour la nuit, et le surplus produit le jour suffit à les recharger.

Les énergies sont calculées en wattheures : $E = P \times \Delta t$, avec P en W et Δt en h.

1. Énergie produite par les cellules en 24 h.

Surface minimale des cellules : $S = N \times a^2 = 17\,000 \times 0{,}125^2 = 266\ \text{m}^2$.

Hypothèse : les cellules sont horizontales et reçoivent la même puissance qu'au sol. Puissance électrique moyenne :

$$P_{\text{élec}} = \eta \times p \times S = 0{,}23 \times 250 \times 266 = 1{,}5 \times 10^4\ \text{W}$$

$$E_{\text{élec}} = P_{\text{élec}} \times \Delta t = 1{,}53 \times 10^4 \times 24 = 3{,}7 \times 10^5\ \text{Wh}$$

2. Énergie consommée par les moteurs.

Puissance moyenne : $P_{\text{mot}} = 15 \times 736 = 1{,}1 \times 10^4$ W.

En 24 h : $E_{\text{mot}} = 1{,}10 \times 10^4 \times 24 = 2{,}6 \times 10^5$ Wh.

$E_{\text{élec}} > E_{\text{mot}}$: le nombre de cellules est suffisant, avec une marge d'environ $1{,}0 \times 10^5$ Wh par jour.

3. Vol de nuit. Hypothèse : la nuit dure 12 h, et les moteurs y consomment leur puissance moyenne.

Énergie stockée dans les batteries chargées : $E_{\text{bat}} = 633 \times 260 = 1{,}6 \times 10^5$ Wh.

Énergie nécessaire la nuit : $E_{\text{nuit}} = 1{,}10 \times 10^4 \times 12 = 1{,}3 \times 10^5$ Wh.

$E_{\text{bat}} > E_{\text{nuit}}$: les batteries permettent de passer la nuit ; elles tiendraient $\dfrac{E_{\text{bat}}}{P_{\text{mot}}} \approx 15$ h.

4. Recharge de jour. Toute la production a lieu le jour. Une fois les moteurs alimentés pendant 12 h, il reste :

$$E_{\text{élec}} - E_{\text{nuit}} = 3{,}7 \times 10^5 - 1{,}3 \times 10^5 = 2{,}3 \times 10^5\ \text{Wh}$$

Ce surplus dépasse la capacité des batteries ($1{,}6 \times 10^5$ Wh) : elles sont de nouveau pleines au coucher du Soleil, et le cycle peut recommencer.

5. Regard critique.

PIÈGE
Comparer seulement production et consommation sur 24 h ne suffit pas : la nuit, les cellules ne produisent rien, il faut aussi vérifier les batteries. Et convertir 12,5 cm en 0,125 m avant de calculer la surface.

COMPRENDRE
Résultats à deux chiffres significatifs, comme 23 % et 15 CV ; les calculs enchaînés gardent les valeurs non arrondies. Les 250 W sont une moyenne jour et nuit : sur 12 h de jour, cela revient à 500 W, pour la même énergie.

MÉTHODE
Résolution de problème : traduire la question en inégalités entre énergies, poser chaque hypothèse avant le calcul qui l'utilise, conclure par une comparaison chiffrée, puis dire dans quel sens chaque hypothèse déplace le résultat.

- Les 250 W par mètre carré sont donnés au voisinage du sol. En altitude, au-dessus des nuages, la puissance reçue est plus grande : la production est sous-estimée.
- Le nombre de cellules est un minimum (« $> 17\,000$ ») : même effet.
- En revanche, les cellules du fuselage ne sont pas horizontales, et la charge puis la décharge des batteries s'accompagnent de pertes : la marge réelle est plus faible que celle calculée.
- La durée de la nuit dépend de la saison et de la latitude ; avec 15 h d'autonomie, il reste environ 3 h de réserve.
- À pleine puissance (70 CV, soit $5{,}2 \times 10^4$ W), les moteurs consomment plus de trois fois ce que les cellules fournissent en moyenne : ce régime ne peut être que bref.

$E_{\text{élec}} = 3{,}7 \times 10^5$ Wh $> E_{\text{mot}} = 2{,}6 \times 10^5$ Wh et $E_{\text{bat}} = 1{,}6 \times 10^5$ Wh $> E_{\text{nuit}} = 1{,}3 \times 10^5$ Wh : cellules et batteries suffisent pour une autonomie de 24 heures.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$17\,000 \times 0.125^2$	$\approx$ 265.625
$0.23 \times 250 \times 265.625$	$\approx$ 15273.44
$0.23 \times 250 \times 265.625 \times 24$	$\approx$ 366562.5
15×736	11 040
$11\,040 \times 24$	264 960
633×260	164 580
$11\,040 \times 12$	132 480
$\frac{164\,580}{11\,040}$	$\approx$ 14.90761
$366\,562.5 - 132\,480$	$\approx$ 234082.5
70×736	51 520