Corrigé complet — Bac S 2016 Métropole (ancien programme)

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

Ex 1	**De l'effet Doppler à ses applications** Effet Doppler · Période et fréquence · Longueur d'onde et célérité · Vélocimétrie Doppler · Exploitation d'un schéma à l'échelle	6 pts	1 h	9 questions	p. 2
Ex 2	**De la betterave sucrière aux carburants** Formule développée et carbone asymétrique · Mécanisme réactionnel · Spectroscopies IR et RMN · Chromatographie sur couche mince · Catalyse · Bilan de matière	9 pts	1 h 30	12 questions	p. 6
Ex 3	**Coucher de soleils sur Tatooine** Proportionnalité et échelle d'une photographie · Masse volumique · Force d'interaction gravitationnelle · Deuxième loi de Newton et repère de Frenet · Mouvement circulaire uniforme · Période de révolution	5 pts	50 min	6 questions	p. 12
Ex 4	**Spécialité : Pompage solaire dans le désert du Sahel** Énergie d'un photon · Cellule photovoltaïque · Énergie potentielle de pesanteur · Rendement d'une conversion · Puissance et énergie · Résolution de problème	5 pts	50 min	2 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.

De l'effet Doppler à ses applications

Bac S 2016 Métropole (ancien programme) · Exercice 1 **6 points** **Durée conseillée 1 h**

1.1.1 Définir par une phrase, en utilisant l'expression « bips sonores », la fréquence f_0 du signal périodique.

La fréquence f_0 est le nombre de bips sonores émis par la source en une seconde ; elle s'exprime en hertz et $f_0 = \dfrac{1}{T_0}$.

PIÈGE
Confondre avec la fréquence du son de chaque bip (sa hauteur). Ici, le phénomène périodique est la répétition des bips.

1.1.2 Comparer la période T des bips sonores perçus par le détecteur à la période d'émission T_0 (cas A, source immobile).

La source et le détecteur sont immobiles : chaque bip parcourt la même distance d à la même célérité, donc arrive avec le même retard $\tau = \dfrac{d}{v_{son}}$.

Deux bips émis aux dates t et $t + T_0$ sont reçus aux dates $t + \tau$ et $t + T_0 + \tau$: l'écart entre eux est conservé.

$T = T_0$: la période perçue est égale à la période d'émission.

COMPRENDRE
Le retard décale tous les bips de la même durée ; il ne change pas leur espacement. L'effet Doppler n'apparaît que si la distance source-détecteur varie.

1.2 Cas B (source s'approchant du détecteur) : indiquer si la fréquence f' des bips perçus est inférieure ou supérieure à f_0. Justifier.

Données utiles $T' = T_0\left(1 - \dfrac{v_S}{v_{son}}\right)$; $0 < v_S < v_{son}$

Comme $0 < v_S < v_{son}$, on a $0 < \dfrac{v_S}{v_{son}} < 1$, donc $0 < 1 - \dfrac{v_S}{v_{son}} < 1$.

La période T_0 est multipliée par un facteur positif plus petit que 1 : $T' < T_0$.

Or $f' = \dfrac{1}{T'}$ et $f_0 = \dfrac{1}{T_0}$; l'inverse d'une durée plus courte est plus grand.

$f' = \dfrac{f_0}{1 - \dfrac{v_S}{v_{son}}} > f_0$: la fréquence perçue est supérieure à la fréquence d'émission.

PIÈGE
Conclure sur les périodes sans passer aux fréquences. La question porte sur f' : période plus courte signifie fréquence plus grande.

COMPRENDRE
Entre deux bips, la source s'est rapprochée de $v_S T_0$: le second bip a moins de chemin à parcourir et arrive plus tôt. Les bips sont donc reçus plus rapprochés.

2.1 Le décalage en fréquence mesuré est de 1,5 kHz. Identifier le ou les types de vaisseaux sanguins dont il pourrait s'agir.

Données utiles $v = \dfrac{v_{ultrason}}{2\cos\theta} \cdot \dfrac{\Delta f}{f_E}$; $v_{ultrason} = 1{,}57 \times 10^3\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $\theta = 45^\circ$; $f_E = 10$ MHz ; $\Delta f = 1{,}5$ kHz

Avec $\Delta f = 1{,}5 \times 10^3$ Hz et $f_E = 10 \times 10^6$ Hz :

$$v = \frac{1{,}57 \times 10^3}{2 \times \cos 45^\circ} \times \frac{1{,}5 \times 10^3}{10 \times 10^6} = 0{,}17\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

soit $v = 17\ \text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$.

Sur la figure 2, la vitesse moyenne du sang vaut $17\ \text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ en deux endroits de la courbe : dans la partie descendante, au niveau des artérioles, et dans la partie montante, au niveau des veines.

$v = 17\ \text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$: il peut s'agir d'artérioles ou de veines.

PIÈGE
Laisser Δf en kHz et f_E en MHz : le rapport serait faux d'un facteur 1000. Vérifier aussi que la calculatrice est en degrés.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme Δf et f_E, les données les moins précises. La figure 2 est graduée en $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$: il faut convertir avant de lire.

À LA CALCULATRICE

deg CALCULS

$$\frac{\frac{1.57 \times 10^3}{2 \times \cos(45°)} \times 1.5 \times 10^3}{10 \times 10^6} \approx 0.1665236$$

2.2 Pour les mêmes vaisseaux et dans les mêmes conditions, on augmente la fréquence f_E des ultrasons émis. Indiquer comment évolue le décalage en fréquence Δf. Justifier.

On isole Δf dans la relation donnée :

$$\Delta f = \frac{2\,v\cos\theta}{v_{ultrason}}\,f_E$$

La vitesse v du sang, l'angle θ et la célérité $v_{ultrason}$ ne changent pas : Δf est proportionnel à f_E.

Si f_E augmente, le décalage en fréquence Δf augmente dans la même proportion.

MÉTHODE
Pour prévoir une évolution, isoler la grandeur étudiée, puis repérer ce qui reste constant et la place (numérateur ou dénominateur) de ce qui varie.

3.1 Déterminer, avec un maximum de précision, la longueur d'onde λ_0 de l'onde perçue lorsque l'hélicoptère est immobile, puis la longueur d'onde λ' lorsqu'il est en mouvement rectiligne uniforme.

Données utiles figures 4 et 5 ; échelle : le segment « 1,0 m » mesure 1,2 cm sur le sujet imprimé

La longueur d'onde est la distance entre deux maxima successifs. Pour gagner en précision, on mesure le long de l'axe la distance entre le premier et le sixième maximum, soit 5λ.

Figure 4 : $5\lambda_0$ est représenté par 2,6 cm.

$$\lambda_0 = \frac{2{,}6}{5} \times \frac{1{,}0}{1{,}2} = 0{,}43\ \text{m}$$

Figure 5 : $5\lambda'$ est représenté par 2,1 cm.

$$\lambda' = \frac{2{,}1}{5} \times \frac{1{,}0}{1{,}2} = 0{,}35\ \text{m}$$

$\lambda_0 = 0{,}43$ m et $\lambda' = 0{,}35$ m

PIÈGE
Six maxima délimitent cinq longueurs d'onde, pas six. Ne pas oublier l'échelle : 0,52 cm est une longueur sur le papier, pas λ_0.

COMPRENDRE
Les longueurs en centimètres dépendent de l'impression du sujet ; seul leur rapport à la longueur du segment d'échelle compte. La règle est lue au millimètre : deux chiffres significatifs.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{\frac{2.6}{5} \times 1.0}{1.2} \approx 0.4333333$$

$$\frac{\frac{2.1}{5} \times 1.0}{1.2} \approx 0.35$$

Figure 4 : hélicoptère immobile

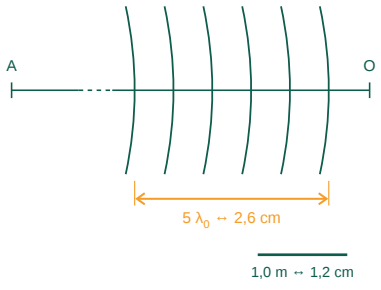
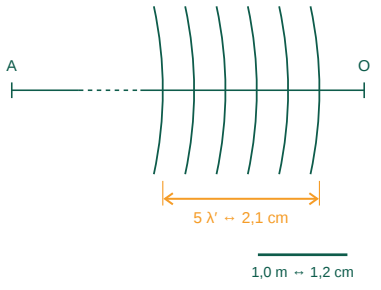


Figure 5 : hélicoptère en mouvement



3.1 · Mesure de cinq longueurs d'onde sur chaque figure (six maxima successifs)

3.2 En déduire une estimation de la valeur de la célérité de l'onde sonore. Commenter la valeur obtenue.

Données utiles $f_0 = 8{,}1 \times 10^2$ Hz ; $\lambda_0 = 0{,}43$ m (3.1)

Lorsque l'hélicoptère est immobile, l'onde perçue a la fréquence d'émission f_0 et la longueur d'onde λ_0 :

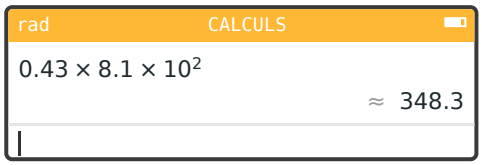
$$v_{son} = \lambda_0 \, f_0 = 0{,}43 \times 8{,}1 \times 10^2 = 3{,}5 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Cette valeur est très proche de la célérité du son dans l'air à température ambiante, environ $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. L'écart, de l'ordre de 2 %, s'explique par l'incertitude de la mesure sur la figure (un millimètre sur 2,6 cm représente déjà 4 %).

$v_{son} = \lambda_0 \, f_0 = 3{,}5 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, valeur cohérente avec la célérité du son dans l'air.

PIÈGE
Utiliser λ' avec f_0 : la fréquence f_0 n'est associée à λ_0 que lorsque la source est immobile.

À LA CALCULATRICE



3.3 Déterminer la fréquence du son perçu par l'observateur lorsque l'hélicoptère est en mouvement. Cette valeur est-elle en accord avec le résultat de la question 1.2 ? Comment la perception du son est-elle modifiée ?

Données utiles $\lambda' = 0{,}35$ m (3.1) ; $v_{son} = \lambda_0 f_0$ (3.2)

La célérité du son ne dépend pas de la fréquence : l'onde perçue se propage encore à v_{son}, avec la longueur d'onde λ'.

$$f' = \frac{v_{son}}{\lambda'} = \frac{\lambda_0 \, f_0}{\lambda'} = \frac{0{,}43 \times 8{,}1 \times 10^2}{0{,}35} = 1{,}0 \times 10^3 \text{ Hz}$$

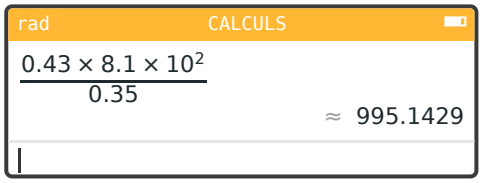
On trouve $f' > f_0$: c'est en accord avec la question 1.2, où la source s'approche du détecteur.

Une fréquence plus élevée correspond à un son plus aigu.

$f' = 1{,}0 \times 10^3$ Hz $> f_0$: accord avec 1.2 ; le son perçu est plus aigu que le son émis.

MÉTHODE
Garder la valeur non arrondie de v_{son} (ou son expression $\lambda_0 f_0$) dans le calcul suivant : on évite de cumuler les arrondis.

À LA CALCULATRICE



3.4 En déduire la valeur de la vitesse de l'hélicoptère. Cette valeur paraît-elle réaliste ?

Données utiles $T' = T_0\left(1 - \frac{v_S}{v_{son}}\right)$; $\lambda_0 = 0{,}43$ m et $\lambda' = 0{,}35$ m (3.1) ; $v_{son} = \lambda_0 f_0$ (3.2)

La relation de la partie 1 donne $\frac{T'}{T_0} = 1 - \frac{v_S}{v_{son}}$, soit

$$v_S = v_{son}\left(1 - \frac{T'}{T_0}\right) = v_{son}\left(1 - \frac{f_0}{f'}\right)$$

Comme $f_0 = \frac{v_{son}}{\lambda_0}$ et $f' = \frac{v_{son}}{\lambda'}$, on a $\frac{f_0}{f'} = \frac{\lambda'}{\lambda_0}$:

$$v_S = \lambda_0 f_0\left(1 - \frac{\lambda'}{\lambda_0}\right) = 0{,}43 \times 8{,}1 \times 10^2 \times \left(1 - \frac{0{,}35}{0{,}43}\right) = 65\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

soit $v_S = 65 \times 3{,}6 = 2{,}3 \times 10^2\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Un hélicoptère vole couramment entre 200 et 300 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$: la valeur est réaliste.

$v_S = 65\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1} \approx 2{,}3 \times 10^2\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, vitesse réaliste pour un hélicoptère.

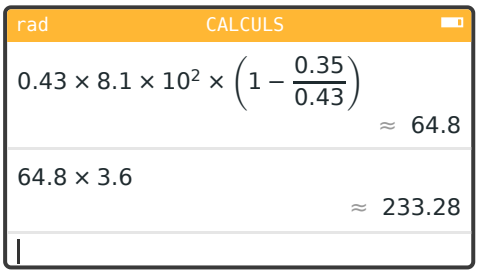
PIÈGE

Inverser le rapport et écrire $1 - \frac{f'}{f_0}$: la vitesse serait négative. Contrôler le signe : $f' > f_0$ donne bien $v_S > 0$.

COMPRENDRE

Le résultat repose sur l'écart $\lambda_0 - \lambda' = 0{,}08$ m, connu à un chiffre significatif : c'est un ordre de grandeur. Avec les valeurs arrondies $3{,}5 \times 10^2$ et $1{,}0 \times 10^3$, on obtient $67\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



De la betterave sucrière aux carburants

Bac S 2016 Métropole (ancien programme) · Exercice 2 **9 points** **Durée conseillée 1 h 30**

1.1 Écrire la formule développée de la forme linéaire du D-Glucose, puis repérer par un astérisque les atomes de carbone asymétriques.

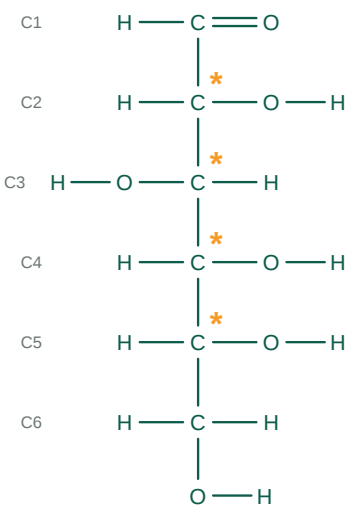
La formule topologique donnée correspond à une chaîne de six atomes de carbone : un groupe carbonyle en bout de chaîne (aldéhyde) et un groupe hydroxyle sur chacun des cinq autres carbones. La formule développée fait apparaître toutes les liaisons (voir figure).

Un atome de carbone asymétrique est lié à quatre atomes ou groupes d'atomes tous différents. C'est le cas des carbones 2, 3, 4 et 5. Le carbone 1 n'a que trois voisins (double liaison) et le carbone 6 porte deux atomes d'hydrogène.

Le D-Glucose linéaire, de formule brute $C_6H_{12}O_6$, possède **4 atomes de carbone asymétriques** (C2, C3, C4, C5).

PIÈGE
Donner une formule semi-développée : dans une formule développée, les liaisons $C-H$ et $O-H$ sont toutes dessinées.

COMPRENDRE
Le carbone asymétrique et la stéréoisomérie ne figurent plus au programme actuel de spécialité de Terminale ; la formule développée, elle, reste exigible.



1.1 · Formule développée de la forme linéaire du D-Glucose ; astérisques orange : carbones asymétriques

1.2 Que représentent les flèches courbes d'un mécanisme réactionnel ? Compléter les trois étapes du mécanisme de cyclisation du D-Glucose de l'annexe.

Une flèche courbe représente le déplacement d'un doublet d'électrons. Elle part d'un site donneur (doublet non liant ou doublet liant) et pointe vers un site accepteur d'électrons.

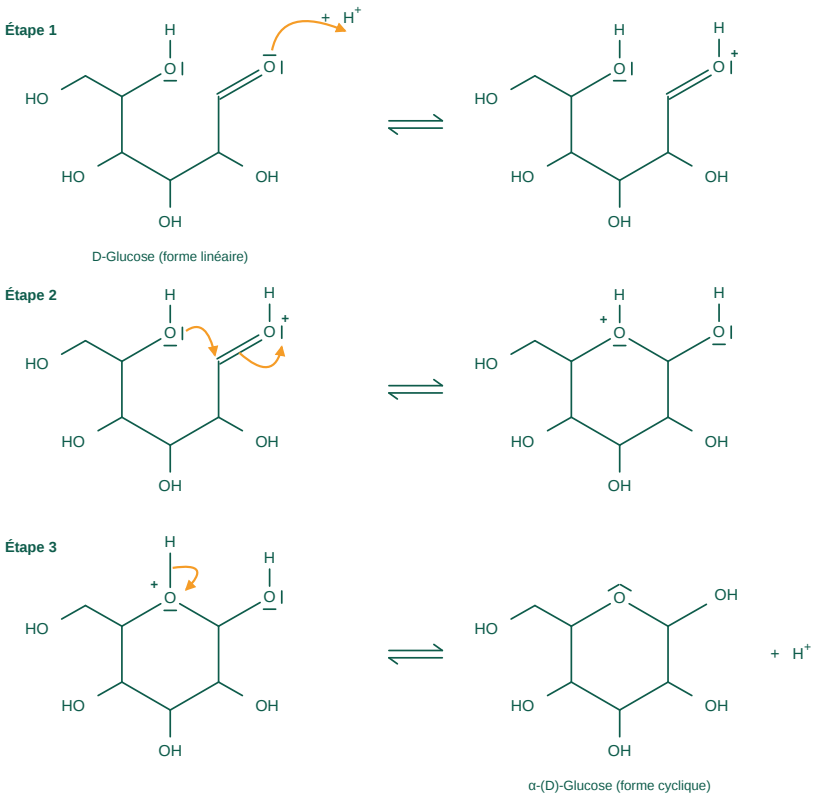
- Étape 1 : un doublet non liant de l'oxygène du groupe carbonyle attaque l'ion H^+ ; une liaison $O-H$ se forme.
- Étape 2 : un doublet non liant de l'oxygène du groupe hydroxyle attaque le carbone du groupe $C=O$ (le cycle se ferme) ; en même temps, un des deux doublets de la double liaison $C=O$ bascule sur l'oxygène chargé positivement.
- Étape 3 : le doublet de la liaison $O-H$ portée par l'oxygène chargé du cycle bascule sur cet oxygène ; l'ion H^+ est libéré.

Quatre flèches courbes : une à l'étape 1, deux à l'étape 2, une à l'étape 3 (annexe complétée ci-dessous).

PIÈGE
Faire partir une flèche de l'ion H^+ ou d'une charge « + ». La flèche part toujours d'un doublet, jamais d'un site pauvre en électrons.

COMPRENDRE
L'ion H^+ consommé à l'étape 1 est restitué à l'étape 3 : il joue le rôle de catalyseur de la cyclisation.

MÉTHODE
Comparer les deux membres de chaque étape : une liaison créée demande une flèche qui arrive entre les deux atomes ; une liaison rompue demande une flèche qui part de cette liaison.



1.2 · Annexe complétée : flèches courbes (en orange) des trois étapes de la cyclisation ; liaisons en perspective non reproduites

1.3 Le spectre infrarouge d'un échantillon de glucose confirme-t-il la très faible proportion de forme linéaire ? Justifier.

Données utiles $O-H$ lié : 3200 – 3400 cm^{-1}, bande large ; $C-H$: 2700 – 3100 cm^{-1} ; $C=O$: 1650 – 1750 cm^{-1}

Seule la forme linéaire possède un groupe carbonyle $C=O$; les formes cycliques n'en contiennent pas.

Sur le spectre, on repère une bande large vers 3300 cm^{-1} (liaisons $O-H$ liées) et une bande vers 2900 cm^{-1} (liaisons $C-H$). En revanche, entre 1650 et 1750 cm^{-1}, la transmittance reste proche de 100 % : aucune bande d'absorption n'est visible.

Pas de bande $C=O$ entre 1650 et 1750 cm^{-1} : le spectre **confirme** que la forme linéaire est présente en proportion négligeable.

PIÈGE
S'appuyer sur la bande $O-H$: toutes les formes du glucose possèdent des groupes hydroxyle, elle ne permet pas de les distinguer.

MÉTHODE
Pour départager deux structures par spectroscopie IR, chercher la liaison présente dans l'une et absente de l'autre, puis vérifier si sa bande figure sur le spectre.

1.4 Les formes linéaires du D-Glucose et du D-Fructose sont-elles stéréoisomères ? Justifier.

Deux stéréoisomères ont le même enchaînement d'atomes (même formule semi-développée) et ne diffèrent que par la disposition de leurs atomes dans l'espace.

Les deux molécules ont la même formule brute $C_6H_{12}O_6$, mais le groupe carbonyle est porté par le carbone 1 dans le D-Glucose (aldéhyde) et par le carbone 2 dans le D-Fructose (cétone). Leurs formules semi-développées sont différentes.

Les deux formes linéaires **ne sont pas stéréoisomères** : ce sont des isomères de constitution.

PIÈGE
Conclure à partir de la seule formule brute. Même formule brute signifie « isomères » ; il faut ensuite comparer les enchaînements d'atomes avant de parler de stéréoisomérie.

1.5 À partir de quelles formes cycliques du D-Glucose et du D-Fructose le saccharose est-il formé ?

Dans la formule du saccharose, on reconnaît deux cycles reliés par un atome d'oxygène :

- un cycle à six atomes (cinq carbones et un oxygène) issu du glucose ; la liaison vers l'oxygène du pont est dessinée en pointillés, vers l'arrière, comme la liaison $C-OH$ du carbone voisin de l'oxygène du cycle dans le α-(D)-Glucose ;
- un cycle à cinq atomes (quatre carbones et un oxygène) issu du fructose, qui ne peut provenir que de la forme furanose.

Formes cycliques de départ : le **α-(D)-Glucose** pour le cycle à six atomes, le **β-(D)-Fructofuranose** pour le cycle à cinq atomes.

MÉTHODE
Compter d'abord les atomes de chaque cycle, puis comparer l'orientation (trait plein ou pointillés) de la liaison portée par le carbone qui sert de pont.

1.6 Proposer une explication à la grande solubilité du saccharose dans l'eau.

Données utiles $\chi(\mathrm{O}) > \chi(\mathrm{C})$; $\chi(\mathrm{C}) \approx \chi(\mathrm{H})$

La molécule de saccharose possède huit groupes hydroxyle $-\mathrm{OH}$. Comme $\chi(\mathrm{O}) > \chi(\mathrm{C}) \approx \chi(\mathrm{H})$, l'oxygène est plus électronégatif que l'hydrogène : chaque liaison $\mathrm{O}-\mathrm{H}$ est polarisée, avec une charge partielle δ^- sur O et δ^+ sur H.

L'eau est elle aussi une molécule polaire comportant des liaisons $\mathrm{O}-\mathrm{H}$. Des liaisons hydrogène s'établissent donc entre les groupes hydroxyle du saccharose et les molécules d'eau.

Les nombreuses **liaisons hydrogène** entre le saccharose et l'eau expliquent sa grande solubilité.

COMPRENDRE
Une espèce est d'autant plus soluble dans un solvant qu'elle établit avec lui des interactions proches de celles qui existent dans le solvant pur.

1.7 Émettre une hypothèse sur le rôle de l'acide utilisé lors de l'hydrolyse et proposer une expérience simple pour la tester.

L'équation de l'hydrolyse ne fait pas intervenir l'acide : il n'est ni un réactif ni un produit. Hypothèse : il joue le rôle de **catalyseur**, c'est-à-dire qu'il augmente la vitesse de la transformation sans figurer dans son bilan.

Test : préparer deux échantillons identiques de solution S, à la même température, et ajouter l'acide dans un seul des deux. Suivre l'avancement de l'hydrolyse dans chaque échantillon, par exemple par des chromatographies réalisées à intervalles de temps réguliers.

Si le glucose et le fructose apparaissent plus vite dans l'échantillon acidifié, l'acide est bien un catalyseur.

PIÈGE
Modifier deux paramètres à la fois. Les deux échantillons doivent avoir la même concentration et la même température : seule la présence de l'acide change.

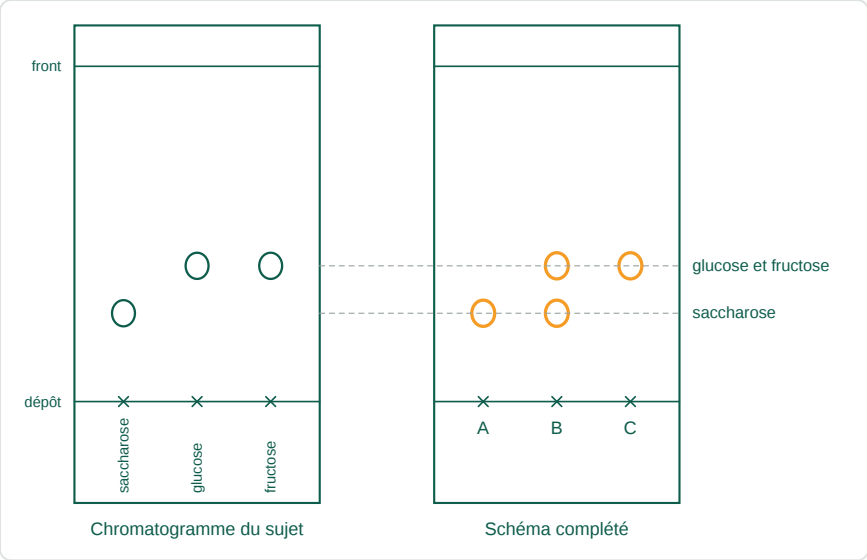
1.8 Représenter sur l'annexe l'allure du chromatogramme obtenu pour les dépôts A (avant hydrolyse), B (au cours de l'hydrolyse) et C (après hydrolyse complète).

Dans les mêmes conditions, une espèce migre toujours à la même hauteur. D'après le chromatogramme fourni, le saccharose monte moins haut que le glucose et le fructose, qui migrent tous deux à la même hauteur.

- Dépôt A : le milieu ne contient que du saccharose, donc une seule tache à la hauteur du saccharose.
- Dépôt B : le saccharose n'est pas encore entièrement consommé et les deux produits, glucose et fructose, sont déjà présents, donc deux taches.
- Dépôt C : la transformation est totale et l'eau en excès, il ne reste plus de saccharose ; une seule tache à la hauteur du glucose et du fructose.

A : une tache (saccharose) ; B : deux taches ; C : une tache (glucose et fructose confondus).

PIÈGE
Dessiner trois taches pour B. Le glucose et le fructose ont ici la même hauteur de migration : leurs taches se superposent.



1.8 · Annexe complétée : taches attendues (en orange) pour les dépôts A, B et C

2.1 Écrire la formule semi-développée de l'éthanol.

L'éthanol a pour formule brute C_2H_6O : c'est un alcool à deux atomes de carbone.

CH_3-CH_2-OH

2.2 Attribuer à la molécule d'éthanol l'un des deux spectres de RMN proposés. Justifier.

La molécule CH_3-CH_2-OH comporte trois groupes de protons équivalents, donc trois signaux. Règle des $(n+1)$-uplets : un groupe de protons ayant n protons voisins donne un signal à $n+1$ pics.

- Les protons de CH_3 ont 2 voisins (ceux de CH_2) : triplet.
- Les protons de CH_2 ont 3 voisins (ceux de CH_3) : quadruplet.
- Le proton de OH ne se couple pas avec ses voisins : singulet.

Le spectre 1 présente un doublet et un septuplet, incompatibles avec l'éthanol.

Le **spectre 2** (triplet, quadruplet, singulet) est celui de l'éthanol.

PIÈGE
Compter le proton du groupe hydroxyle parmi les voisins de CH_2 : on attendrait alors un quintuplet, absent des deux spectres.

COMPRENDRE
La spectroscopie de RMN du proton n'est plus au programme actuel de spécialité de Terminale ; la spectroscopie infrarouge, elle, y figure toujours.

2.3 Déterminer la masse d'éthanol obtenue par la fermentation du saccharose contenu dans une betterave sucrière de masse 1,25 kg.

Données utiles pourcentage massique de saccharose : 19,5 % ; $M(\text{saccharose}) = 342{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(\text{éthanol}) = 46{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Masse de saccharose dans la betterave de masse $m = 1{,}25\times10^3$ g : $m_s = 0{,}195\times m$.

Quantité de saccharose : $n_s = \dfrac{m_s}{M(\text{saccharose})}$.

D'après l'équation $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \longrightarrow 4\,C_2H_6O + 4\,CO_2$, la transformation étant totale et l'eau en excès : $n_e = 4\,n_s$.

Masse d'éthanol : $m_e = n_e \times M(\text{éthanol})$, soit

$$m_e = \frac{4\times0{,}195\times m\times M(\text{éthanol})}{M(\text{saccharose})} = \frac{4\times0{,}195\times1{,}25\times10^3\times46{,}0}{342{,}0}$$

$m_e = 131$ g

PIÈGE
Oublier le coefficient 4 de l'éthanol, ou utiliser la masse de la betterave à la place de la masse de saccharose qu'elle contient.

COMPRENDRE
Les données les moins précises (19,5 % ; 1,25 kg ; 46,0) ont trois chiffres significatifs : le résultat s'écrit avec trois chiffres.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{4 \times 0.195 \times 1.25 \times 10^3 \times 46.0}{342.0} \approx 131.1404$

3 Montrer que la masse de betteraves nécessaire pour produire $3 \times 10^6\ \text{m}^3$ de bioéthanol est de l'ordre de 2×10^7 tonnes. En déduire l'ordre de grandeur de la surface agricole nécessaire et la comparer à la surface agricole française cultivée.

Données utiles $\rho = 789 \times 10^3\ \text{g} \cdot \text{m}^{-3}$; rendement : 74,8 t par hectare ; surface cultivée : environ 10 millions d'hectares ; relation de la question 2.3

Masse d'éthanol à produire. Avec $\rho = 789\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$:

$m_e = \rho \times V = 789 \times 3 \times 10^6 = 2{,}4 \times 10^9\ \text{kg}$

Masse de betteraves. D'après la question 2.3, les masses d'éthanol et de betteraves sont proportionnelles : $m_e = \dfrac{4 \times 0{,}195 \times M(\text{éthanol})}{M(\text{saccharose})} \times m_{bet}$, donc

$$m_{bet} = \frac{m_e \times M(\text{saccharose})}{4 \times 0{,}195 \times M(\text{éthanol})} = \frac{2{,}367 \times 10^9 \times 342{,}0}{4 \times 0{,}195 \times 46{,}0} = 2{,}3 \times 10^{10}\ \text{kg}$$

Soit $m_{bet} = 2{,}3 \times 10^7$ t : on retrouve bien une masse de l'ordre de 2×10^7 tonnes.

Surface nécessaire. Avec un rendement de 74,8 t par hectare :

$S = \dfrac{2 \times 10^7}{74{,}8} = 2{,}7 \times 10^5$ ha, soit environ 3×10^5 ha (0,3 million d'hectares).

Comparaison. $\dfrac{0{,}3 \times 10^6}{10 \times 10^6} = 0{,}03$: cette surface représente environ 3 % de la surface agricole cultivée.

$m_{bet} \approx 2 \times 10^7$ t ; $S \approx 3 \times 10^5$ ha, soit environ 3 % de la surface agricole française cultivée : l'autosuffisance paraît accessible du point de vue des surfaces.

PIÈGE
Mélanger les unités de masse : la masse volumique est en $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ et le rendement en tonnes par hectare. Convertir avant de calculer ($1\ \text{t} = 10^3\ \text{kg} = 10^6\ \text{g}$).

COMPRENDRE
Le volume $3 \times 10^6\ \text{m}^3$ n'a qu'un chiffre significatif : les résultats sont des ordres de grandeur. On garde la valeur non arrondie de m_e dans le calcul suivant.

MÉTHODE
Dans une question ouverte, annoncer les étapes (volume, masse d'éthanol, masse de betteraves, surface), écrire une relation littérale à chaque étape et terminer par une phrase qui répond à la question posée.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$789 \times 3 \times 10^6 \approx 2.367 \times 10^9$

$\dfrac{2.367 \times 10^9 \times 342.0}{4 \times 0.195 \times 46.0} \approx 2.256171 \times 10^{10}$

$\dfrac{2 \times 10^7}{74.8} \approx 267379.7$

$\dfrac{0.3 \times 10^6}{10 \times 10^6} \approx 0.03$

Coucher de soleils sur Tatooine

Bac S 2016 Métropole (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 En s'appuyant sur la photo et sur le texte, montrer que le rayon de chacune des deux étoiles vaut environ deux millions de kilomètres. Justifier la démarche.

Données utiles texte : distance entre les deux étoiles $d \approx 10$ millions de km ; photo du sujet

Les deux étoiles sont à la même distance de Tatooine : elles apparaissent sur la photo à la même échelle. Les longueurs mesurées sur la photo sont donc proportionnelles aux longueurs réelles.

Mesures à la règle sur la photo : diamètre d'une étoile ≈ 7 mm ; distance entre les centres des deux étoiles ≈ 18 mm.

D'après le texte, ces 18 mm représentent $d \approx 10$ millions de km. Par proportionnalité, le diamètre réel $2R$ vérifie :

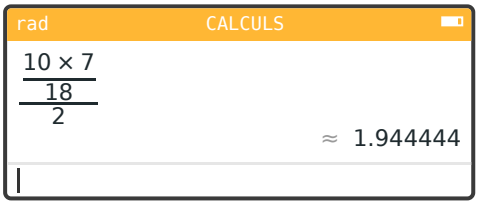
$$\frac{2R}{d} = \frac{7}{18} \quad \text{donc} \quad R = \frac{1}{2} \times 10 \times \frac{7}{18} = 1{,}9 \text{ million de km}$$

$R \approx 1{,}9 \times 10^6$ km, soit environ 2 millions de km comme attendu.

PIÈGE
Mesurer la distance de bord à bord au lieu de centre à centre, ou oublier de diviser par 2 : la photo donne le diamètre, la question demande le rayon.

COMPRENDRE
Seul le rapport des deux longueurs compte : il ne dépend pas de la taille d'impression du sujet. Le bord flou des étoiles limite la précision, d'où un seul chiffre significatif pour R.

À LA CALCULATRICE



1.2 En supposant que les deux étoiles ont la même masse volumique moyenne que le Soleil, évaluer l'ordre de grandeur de la masse M_{Tatoo} d'une étoile. Commenter.

Données utiles $M_S = 2{,}0 \times 10^{30}$ kg ; $R_S = 7{,}0 \times 10^5$ km ; $R = 2 \times 10^6$ km (1.1) ; $V = \frac{4}{3}\pi r^3$

Masse volumique d'une sphère : $\rho = \frac{M}{V} = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi r^3}$.

Égalité des masses volumiques : $\frac{M_{\text{Tatoo}}}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{M_S}{\frac{4}{3}\pi R_S^3}$, donc

$$M_{\text{Tatoo}} = M_S \left(\frac{R}{R_S}\right)^3 = 2{,}0 \times 10^{30} \times \left(\frac{2 \times 10^6}{7{,}0 \times 10^5}\right)^3 = 4{,}7 \times 10^{31} \text{ kg}$$

$M_{\text{Tatoo}} \approx 4{,}7 \times 10^{31}$ kg : ordre de grandeur 10^{31} kg.

Commentaire : $\frac{M_{\text{Tatoo}}}{M_S} \approx 23$. Chaque étoile serait une vingtaine de fois plus massive que le Soleil, alors que le texte les décrit comme assez semblables à lui : l'hypothèse d'une même masse volumique est discutable.

PIÈGE
Oublier le cube : un rayon environ 3 fois plus grand donne un volume, donc une masse, environ 23 fois plus grands, pas 3 fois.

MÉTHODE
Dans un rapport, les deux rayons doivent seulement avoir la même unité : inutile de convertir les kilomètres en mètres, et le facteur $\frac{4}{3}\pi$ se simplifie.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$2.0 \times 10^{30} \times \left(\frac{2 \times 10^6}{7.0 \times 10^5}\right)^3 \approx 4.664723 \times 10^{31}$

$\left(\frac{2 \times 10^6}{7.0 \times 10^5}\right)^3 \approx 23.32362$

2.1 Justifier, à l'aide du texte, que du point de vue de Tatooine les deux étoiles se comportent comme une étoile unique de masse $9{,}5 \times 10^{31}$ kg.

Données utiles texte : étoiles distantes d'environ 10 millions de km ; Tatooine à 200 millions de km ; $M_{\text{Tatoo}} = 4{,}7 \times 10^{31}$ kg (1.2)

Tatooine est à 200 millions de km de ses étoiles, elles-mêmes séparées d'environ 10 millions de km : la planète est 20 fois plus loin des étoiles que celles-ci ne le sont l'une de l'autre. Le critère de stabilité du texte (au moins 4 fois) est largement rempli.

Vues de Tatooine, les deux étoiles sont donc presque au même endroit et à la même distance : leurs attractions s'ajoutent comme celle d'un seul astre dont la masse est la somme des deux masses.

$M_{12} = 2\,M_{\text{Tatoo}} = 2 \times 4{,}7 \times 10^{31} = 9{,}3 \times 10^{31}$ kg, proche de la valeur $9{,}5 \times 10^{31}$ kg retenue.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$2 \times 4.66 \times 10^{31} \approx 9.32 \times 10^{31}$

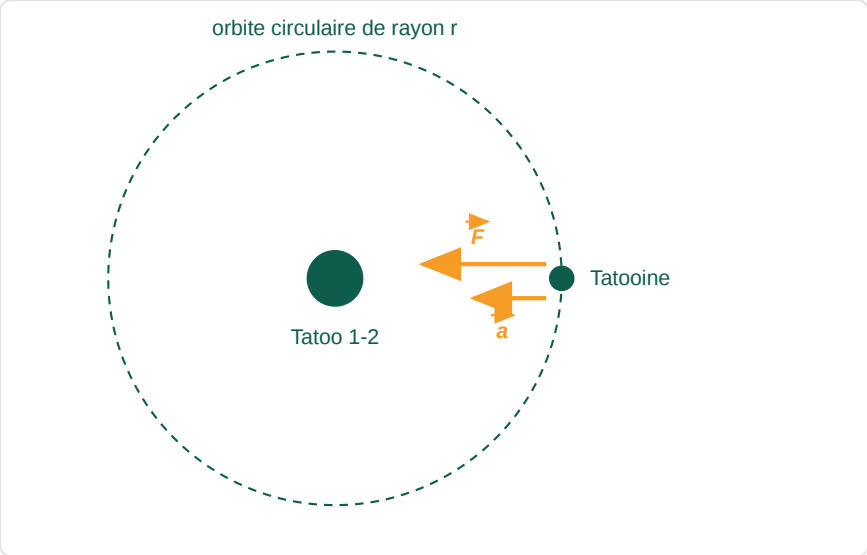
2.2 Faire un schéma du système Tatooine-Tatoo 1-2 et représenter, sans souci d'échelle, la force gravitationnelle exercée par Tatoo 1-2 sur Tatooine et le vecteur accélération de Tatooine.

La force $\overrightarrow{F}$ exercée par Tatoo 1-2 sur Tatooine est attractive : elle s'applique au centre de Tatooine, sa direction est la droite qui joint les deux centres et elle est orientée vers Tatoo 1-2.

Tatooine n'est soumise qu'à cette force. D'après la deuxième loi de Newton, $\overrightarrow{F} = m\,\vec{a}$ avec $m > 0$: l'accélération a la même direction et le même sens que la force.

$\overrightarrow{F}$ et $\vec{a}$ sont tous deux dirigés de Tatooine vers le centre de Tatoo 1-2 (voir le schéma).

PIÈGE
Tracer l'accélération tangente à la trajectoire, comme la vitesse. Sur une orbite circulaire, $\vec{a}$ est dirigée vers le centre attracteur, comme la force.



2.2 · Tatooine en orbite autour de Tatoo 1-2 : force et accélération (les deux vecteurs partent du centre de Tatooine ; ils sont décalés pour la lisibilité)

2.3 Montrer que le mouvement, supposé circulaire, de Tatooine dans le référentiel lié à Tatoo 1-2 est uniforme.

Système {Tatooine}, de masse m constante ; référentiel lié à Tatoo 1-2, supposé galiléen ; orbite circulaire de rayon r. Repère de Frenet $(\vec{u}_N, \vec{u}_T)$ lié à Tatooine, $\vec{u}_N$ dirigé vers le centre de Tatoo 1-2.

Seule force : $\overrightarrow{F} = \dfrac{G\,m\,M_{12}}{r^2}\,\vec{u}_N$.

Deuxième loi de Newton : $\overrightarrow{F} = m\,\vec{a}$, donc

$$\vec{a} = \frac{G\,M_{12}}{r^2}\,\vec{u}_N + 0\,\vec{u}_T$$

Or, dans le repère de Frenet : $\vec{a} = \dfrac{v^2}{r}\,\vec{u}_N + \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\,\vec{u}_T$.

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
Conclure « $\vec{a}$ est constant donc le mouvement est uniforme ». Le vecteur $\vec{a}$ change de direction : c'est sa composante tangentielle nulle qui prouve que v ne varie pas.

MÉTHODE
Orbite circulaire : 1) deuxième loi de Newton ; 2) $\vec{a}$ dans le repère de Frenet ; 3) identification. Selon $\vec{u}_T$: mouvement uniforme. Selon $\vec{u}_N$: la vitesse, utile à la question suivante.

2.4 Déduire des résultats précédents et du texte la valeur de la période de révolution de Tatooine. La comparer à celle de la Terre autour du Soleil.

Données utiles $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1}$; $M_{12} = 9{,}5 \times 10^{31}$ kg ; texte : $r = 200$ millions de km $= 2{,}0 \times 10^{11}$ m

Identification selon $\vec{u}_N$ (2.3) : $\dfrac{v^2}{r} = \dfrac{G\,M_{12}}{r^2}$, donc $v = \sqrt{\dfrac{G\,M_{12}}{r}}$.

Le mouvement est uniforme : pendant une période T, Tatooine parcourt le périmètre $2\pi r$ de son orbite à la vitesse v.

$$T = \frac{2\pi r}{v} = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{G\,M_{12}}}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{(2{,}0 \times 10^{11})^3}{6{,}67 \times 10^{-11} \times 9{,}5 \times 10^{31}}} = 7{,}1 \times 10^6\ \text{s}$$

Soit $T = \dfrac{7{,}1 \times 10^6}{24 \times 3600} \approx 82$ jours. La Terre fait le tour du Soleil en 365,25 jours.

$T \approx 7{,}1 \times 10^6$ s ≈ 82 jours : l'année de Tatooine est environ 4,5 fois plus courte que l'année terrestre ($T \approx 0{,}22$ an).

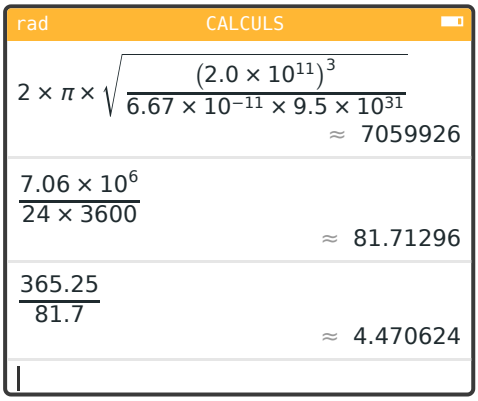
PIÈGE

Laisser r en kilomètres. G est en unités SI : r doit être en mètres, soit $200 \times 10^6 \times 10^3 = 2{,}0 \times 10^{11}$ m.

COMPRENDRE

Deux chiffres significatifs, comme r et M_{12}. L'astre central est près de 50 fois plus massif que le Soleil : l'attraction est bien plus forte, la planète tourne plus vite malgré une orbite du même ordre de grandeur.

À LA CALCULATRICE



Spécialité : Pompage solaire dans le désert du Sahel

Bac S 2016 Métropole (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 On souhaite un matériau dont la longueur d'onde de coupure est $\lambda_C = 1110$ nm. Proposer un type de cellule utilisable en précisant le ou les critères de choix retenus.

Données utiles $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1} (valeur à connaître) ; $1\ \text{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J ; tableau des caractéristiques des cellules.

Un photon n'est absorbé que si son énergie $\dfrac{h\,c}{\lambda}$ est au moins égale au gap E_g. La longueur d'onde de coupure correspond au cas limite :

$$E_g = \frac{h\,c}{\lambda_C} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{1110 \times 10^{-9}} = 1{,}79 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

En électronvolts : $E_g = \dfrac{1{,}79 \times 10^{-19}}{1{,}60 \times 10^{-19}} = 1{,}12\ \text{eV}$.

D'après le tableau, c'est le gap du silicium cristallin, monocristallin ou polycristallin ; le silicium amorphe (1,77 eV) est écarté.

Entre les deux, le monocristallin a un coût très élevé. Le polycristallin offre un bon rendement, une longue durée de vie et un bon rapport qualité / prix ; son défaut, un rendement faible sous faible éclairement, ne gêne pas au Sahel, où l'ensoleillement est fort.

$E_g = 1{,}12$ eV : on retient la cellule en **silicium polycristallin** (critères : gap, puis coût et ensoleillement).

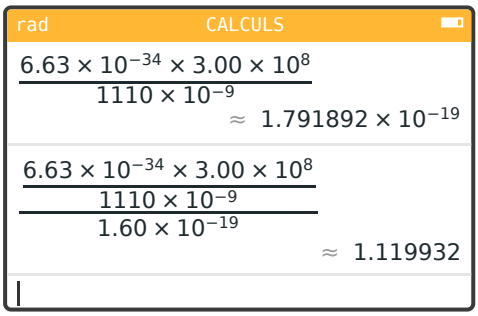
PIÈGE

Laisser λ_C en nanomètres : il faut 1110×10^{-9} m. Et s'arrêter au calcul du gap : la question demande un choix argumenté entre les deux cellules qui conviennent.

COMPRENDRE

Trois chiffres significatifs, comme h et la conversion en eV. Bandes d'énergie et gap d'un semi-conducteur relevaient de l'ancien programme ; l'énergie d'un photon $E = \dfrac{h\,c}{\lambda}$ et la cellule photovoltaïque restent au programme actuel.

À LA CALCULATRICE



2 Calculer l'énergie nécessaire pour élever $1{,}0\ \text{m}^3$ d'eau d'une hauteur de 50 m. Puis **Problème** : estimer la surface totale des panneaux solaires permettant de satisfaire aux besoins en eau au cours d'un mois de l'année où ces besoins sont importants au Sahel malien.

Données utiles $\rho = 1{,}0 \times 10^3\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $g = 9{,}8\ \text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$; $H = 50$ m ; volume quotidien $V = 35\ \text{m}^3$ élevé en 6 h ; rendement global $r = 5{,}2\ \%$ (silicium polycristallin, question 1) ; $P_{\text{reçu}} = P_{\text{surf}} \times S$; graphiques des précipitations et de la puissance surfacique.

Énergie pour $1{,}0\ \text{m}^3$. Il faut fournir à l'eau, de masse $m = \rho V_1$ avec $V_1 = 1{,}0\ \text{m}^3$, l'énergie potentielle de pesanteur qu'elle gagne en montant de H :

$$E_1 = m\,g\,H = \rho V_1\,g\,H = 1{,}0 \times 10^3 \times 1{,}0 \times 9{,}8 \times 50$$

$$\boxed{E_1 = 4{,}9 \times 10^5\ \text{J}}$$

Problème.

Mois retenu. Les besoins sont importants quand il ne pleut pas : de novembre à avril. Parmi les dates fournies pour cette période, c'est le 15 janvier que le rayonnement est le plus faible. On dimensionne l'installation pour janvier : elle suffira alors les autres mois secs.

Énergie utile par jour. Pour élever $V = 35\ \text{m}^3$:

$$E_u = \rho\,V\,g\,H = 1{,}0 \times 10^3 \times 35 \times 9{,}8 \times 50 = 1{,}7 \times 10^7\ \text{J}$$

Énergie solaire à recevoir. Avec les cellules en silicium polycristallin, $r = 5{,}2\ \%$:

$$E_{\text{reçue}} = \frac{E_u \times 100}{r} = \frac{1{,}7 \times 10^7 \times 100}{5{,}2} = 3{,}3 \times 10^8\ \text{J}$$

Puissance surfacique. La pompe fonctionne pendant les six heures les plus ensoleillées, de 9 h à 15 h (heure solaire), soit $\Delta t = 6 \times 3600 = 2{,}16 \times 10^4$ s. Le 15 janvier, P_{surf} varie de 790 à 900 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ sur cette durée : on prend la valeur moyenne $P_{\text{surf}} \approx 850\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Surface. $E_{\text{reçue}} = P_{\text{reçu}}\,\Delta t = P_{\text{surf}}\,S\,\Delta t$, donc

$$S = \frac{E_{\text{reçue}}}{P_{\text{surf}}\,\Delta t} = \frac{100\,\rho\,V\,g\,H}{r\,P_{\text{surf}}\,\Delta t} = \frac{100 \times 1{,}0 \times 10^3 \times 35 \times 9{,}8 \times 50}{5{,}2 \times 850 \times 2{,}16 \times 10^4}$$

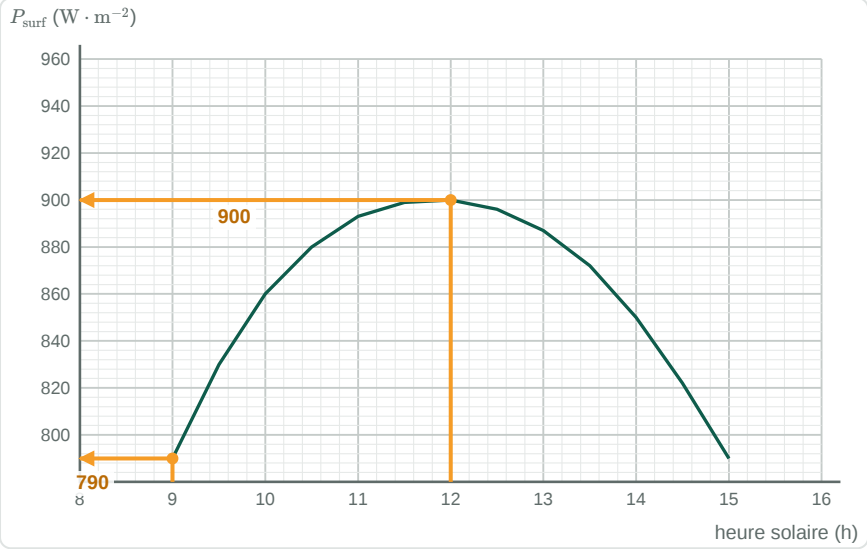
Regard critique. Une vingtaine de mètres carrés, soit un carré d'un peu plus de 4 m de côté : l'installation est réaliste pour un village.

$$\boxed{S \approx 18\ \text{m}^2 \text{ de panneaux en silicium polycristallin.}}$$

PIÈGE
Diviser par 5,2 sans le facteur 100, ou multiplier par le rendement : l'énergie reçue doit être environ vingt fois plus grande que l'énergie utile. Et laisser les 6 h en heures avec une puissance en watts.

COMPRENDRE
C'est une estimation : avec P_{surf} entre 790 et 900 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, on trouve entre 17 et 19 m^2. Deux chiffres significatifs suffisent, comme pour ρ, g, H et r.

MÉTHODE
Résolution de problème : partir du besoin (énergie utile), remonter par le rendement à l'énergie reçue, puis par $E = P\,\Delta t$ à la puissance et à la surface. Chaque valeur lue sur un document est citée et justifiée.



2 · Puissance surfacique le 15 janvier (allure relevée sur le graphique du sujet) : de 790 à 900 W·m^{-2} entre 9 h et 15 h

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$1.0 \times 10^3 \times 1.0 \times 9.8 \times 50 \approx 490000$

$1.0 \times 10^3 \times 35 \times 9.8 \times 50 \approx 1.715 \times 10^7$

$\dfrac{1.0 \times 10^3 \times 35 \times 9.8 \times 50 \times 100}{5.2} \approx 3.298077 \times 10^8$

$\dfrac{100 \times 1.0 \times 10^3 \times 35 \times 9.8 \times 50}{5.2 \times 850 \times 2.16 \times 10^4} \approx 17.96338$