Corrigé complet — Bac S 2017 Nouvelle-Calédonie (ancien programme)

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

Ex 1	**Lutte contre les moustiques** Formule topologique et nomenclature · Distillation et quantité de matière · Spectroscopies RMN et infrarouge · Mécanisme réactionnel et flèches courbes · Catalyse · Carbone asymétrique et stéréoisomérie	9 pts	1 h 30	11 questions	p. 2
Ex 2	**Mesure de vitesses : du K.L. au laboratoire de physique** Travail du poids · Conservation de l'énergie mécanique · Force de frottement de l'air · Analyse des unités · Vitesse moyenne · Précision d'une mesure	6 pts	1 h	11 questions	p. 6
Ex 3	**Diagnostic d'une maison** Intensité et niveau d'intensité sonore · Atténuation géométrique · Modes de transfert thermique · Résistance thermique · Flux thermique · Bilan énergétique d'un logement	5 pts	50 min	5 questions	p. 10
Ex 4	**Spécialité : Les cellules photovoltaïques multi-jonctions** Rendement d'une cellule photovoltaïque · Puissance lumineuse et éclairement · Énergie d'un photon · Conversion joule-électronvolt · Gap d'un semi-conducteur · Exploitation de documents	5 pts	50 min	5 questions	p. 13

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

Lutte contre les moustiques

Bac S 2017 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 1 **9 points** **Durée conseillée 1 h 30**

1.1 Donner la formule topologique du butan-1-ol.

Chaîne de quatre atomes de carbone, groupe hydroxyle sur le carbone 1.

Formule topologique : trois segments en ligne brisée, terminés par OH (voir la figure).

PIÈGE
Quatre carbones donnent trois segments, pas quatre. Seul le H du groupe hydroxyle s'écrit.



1.1 · Formule topologique du butan-1-ol

1.2 Indiquer pourquoi le montage de distillation simple permet d'extraire le butanal du milieu réactionnel.

Données utiles températures d'ébullition : butanal $75\ ^\circ\mathrm{C}$; butan-1-ol $117\ ^\circ\mathrm{C}$; acide butanoïque $162\ ^\circ\mathrm{C}$; milieu chauffé à $75\ ^\circ\mathrm{C}$

Le butanal a la température d'ébullition la plus basse ($75\ ^\circ\mathrm{C}$), égale à celle du milieu : il se vaporise dès sa formation, puis se liquéfie dans le réfrigérant à eau.

Le butan-1-ol ($117\ ^\circ\mathrm{C}$) et l'acide butanoïque ($162\ ^\circ\mathrm{C}$) restent liquides dans le ballon.

À $75\ ^\circ\mathrm{C}$, seul le butanal bout : il quitte le ballon et se retrouve dans le distillat.

COMPRENDRE
Sorti du ballon, le butanal échappe à l'oxydant : cela limite sa transformation en acide butanoïque.

1.3 Dans l'hypothèse d'une oxydation totale du butan-1-ol, vérifier que la masse maximale de butanal vaut 1,6 g.

Données utiles butan-1-ol : $V = 2{,}0\ \mathrm{mL}$, $\rho = 0{,}81\ \mathrm{g\cdot mL^{-1}}$, $M_{\mathrm{ol}} = 74{,}0\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$; butanal : $M_{\mathrm{al}} = 72{,}0\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$

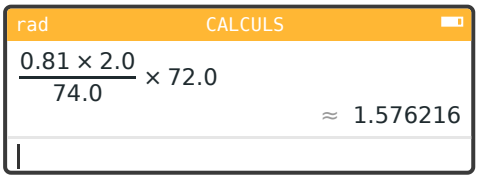
D'après l'équation, 5 mol de butan-1-ol donnent 5 mol de butanal : $n_{\mathrm{al,\,max}} = n_{\mathrm{ol}} = \dfrac{\rho V}{M_{\mathrm{ol}}}$.

$$m_{\mathrm{al,\,max}} = \frac{\rho V}{M_{\mathrm{ol}}} \times M_{\mathrm{al}} = \frac{0{,}81 \times 2{,}0}{74{,}0} \times 72{,}0$$

$m_{\mathrm{al,\,max}} = 1{,}6\ \mathrm{g}$, valeur conforme à celle de l'énoncé.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme ρ et V, les données les moins précises. Avec ρ en $\mathrm{g\cdot mL^{-1}}$ et V en mL, le produit ρV est directement en grammes.

À LA CALCULATRICE



1.4 Déterminer le volume de solution de permanganate de potassium nécessaire pour oxyder tout le butan-1-ol initialement présent.

Données utiles $C = 4{,}5 \times 10^{-1}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $n_{\text{ol}} = \dfrac{\rho V}{M_{\text{ol}}}$ (Q1.3)

Proportions stœchiométriques (5 pour 2) :

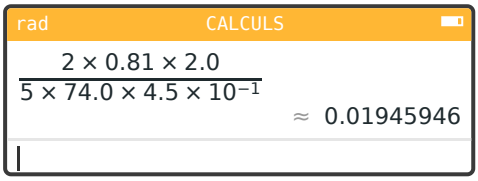
$$\frac{n_{\text{ol}}}{5} = \frac{n(\text{MnO}_4^-)}{2} \quad \text{avec} \quad n(\text{MnO}_4^-) = C\,V_{\text{ox}}$$

$$V_{\text{ox}} = \frac{2\,\rho\,V}{5\,M_{\text{ol}}\,C} = \frac{2 \times 0{,}81 \times 2{,}0}{5 \times 74{,}0 \times 4{,}5 \times 10^{-1}} = 1{,}9 \times 10^{-2}\ \text{L}$$

$V_{\text{ox}} = 19\ \text{mL}$ de solution de permanganate de potassium.

PIÈGE
Inverser les nombres stœchiométriques : il faut 2 ions permanganate pour 5 molécules d'alcool, donc moins d'oxydant que d'alcool. Le résultat sort en litres, car C est en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



1.5 Vérifier que le spectre RMN du distillat est compatible avec la molécule de butanal. Préciser, en la justifiant, la multiplicité du signal à 1 ppm.

Données utiles spectre : quatre signaux, vers 9,8 ppm (1H), 2,4 ppm (2H), 1,6 ppm (2H) et 1 ppm (3H)

Butanal : $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CHO}$, soit quatre groupes de protons équivalents : CH_3 (3 H), deux CH_2 différents (2 H chacun) et CHO (1 H).

Le spectre présente bien quatre signaux, d'intégrations 3H, 2H, 2H et 1H.

Le signal à 1 ppm (3H) est celui de CH_3, dont les protons ont $n = 2$ voisins (ceux du CH_2 adjacent) : règle des $(n+1)$-uplets, $2 + 1 = 3$ pics.

Spectre compatible avec le butanal ; le signal à 1 ppm est un **triplet**.

COMPRENDRE
La spectroscopie RMN ne figure plus au programme actuel de spécialité de Terminale. Le signal vers 9,8 ppm, très déblindé, est typique du proton d'un aldéhyde.

2.1 Sur l'annexe, utiliser le formalisme des flèches courbes pour rendre compte de la deuxième étape du mécanisme réactionnel.

Site donneur : le carbone chargé négativement du carbanion, porteur d'un doublet non liant.

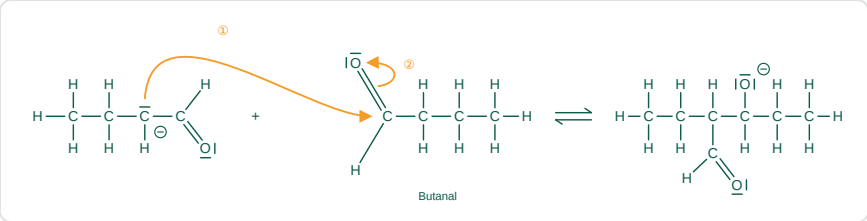
Site accepteur : le carbone du groupe carbonyle du butanal, de charge partielle $\delta+$ car $\chi(\text{C}) < \chi(\text{O})$.

Flèche ① : du doublet non liant du carbanion vers le carbone du carbonyle (liaison C–C formée).

Flèche ② : d'un doublet de la liaison $\text{C}=\text{O}$ vers l'atome d'oxygène, qui prend la charge négative.

Deux flèches courbes, tracées en orange sur l'annexe : ① doublet du carbanion → C du carbonyle ; ② doublet de $\text{C}=\text{O}$ → O.

PIÈGE
Une flèche part toujours d'un doublet, jamais d'un atome. Sans la flèche ②, le carbone aurait cinq liaisons.



2.1 · Annexe complétée : deuxième étape du mécanisme, flèches courbes en orange

2.2 Pourquoi peut-on dire que l'ion hydroxyde joue le rôle de catalyseur dans la transformation du butanal en produit A ?

D'après l'annexe, l'ion hydroxyde HO^- est un réactif de la première étape et un produit de la troisième.

Il n'apparaît donc pas dans le bilan : $2\,C_4H_8O \longrightarrow C_8H_{16}O_2$.

HO^- est consommé à l'étape 1 puis régénéré à l'étape 3 : absent du bilan, il se comporte en catalyseur.

PIÈGE
Ne pas confondre avec un intermédiaire réactionnel, formé puis consommé, comme le carbanion.

3.1 Proposer une explication au fait que l'on utilise une poudre fine de nickel plutôt qu'un bloc de nickel de même masse.

La réaction a lieu à la surface du nickel : seuls les atomes de nickel en surface sont au contact des réactifs.

À masse égale, la poudre fine offre une surface de contact bien plus grande que le bloc : la catalyse est plus efficace, la réaction plus rapide.

COMPRENDRE
Catalyse hétérogène : le catalyseur solide et les réactifs ne sont pas dans la même phase.

3.2 Une analyse par spectroscopie infrarouge du mélange final de l'étape 3 permettrait-elle de détecter des traces du composé A ? Justifier.

Données utiles table infrarouge : $C{=}O$ (aldéhyde, cétone) $1650 - 1730\ cm^{-1}$; $O{-}H$ (alcool lié) $3200 - 3600\ cm^{-1}$

Le composé A possède un groupe carbonyle $C{=}O$ (aldéhyde), absent de l'EHD. Les liaisons $O{-}H$ et $C{-}O$ d'alcool existent dans les deux molécules.

Oui : s'il reste du composé A, le spectre présente une bande entre 1650 et $1730\ cm^{-1}$ (liaison $C{=}O$), absente pour l'EHD seul.

COMPRENDRE
Pour de simples traces, la bande est peu intense. Son absence montre seulement que A est en quantité trop faible pour être détecté.

3.3 Recopier la formule topologique de l'EHD. Justifier la terminaison « diol », puis identifier et numéroter la chaîne carbonée principale afin de justifier le nom de la molécule.

« diol » : la molécule possède deux groupes hydroxyle $-OH$ (famille des alcools).

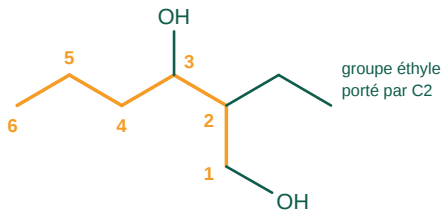
Chaîne principale : la plus longue chaîne contenant les carbones porteurs des deux $-OH$, soit 6 carbones (« hexan »).

Numérotation à partir du carbone terminal lié à $-OH$: groupes hydroxyle sur les carbones 1 et 3 (« 1,3-diol »).

Le carbone 2 porte un groupe éthyle $-CH_2-CH_3$ (« 2-éthyl »).

2-éthylhexan-1,3-diol : chaîne de 6 C, $-OH$ sur C1 et C3, groupe éthyle sur C2 (voir la figure).

PIÈGE
La chaîne principale descend vers le CH_2OH : la branche de droite est la ramification éthyle.



3.3 · EHD : chaîne principale (en orange) numérotée à partir du carbone 1

3.4 La molécule d'EHD possède-t-elle des stéréoisomères de configuration ? Justifier.

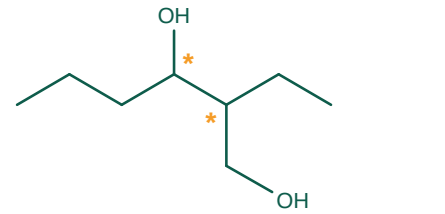
Carbone asymétrique : carbone tétraédrique lié à quatre groupes tous différents.

- C3 : lié à H, OH, au groupe propyle et au carbone 2 ramifié.
- C2 : lié à H, $\mathrm{CH_2OH}$, au groupe éthyle et au carbone 3.

Oui : l'EHD possède deux carbones asymétriques (C2 et C3) et n'a pas de plan de symétrie, donc elle a des stéréoisomères de configuration.

COMPRENDRE

Carbone asymétrique, énantiomérie et diastéréoisomérie ne sont plus au programme actuel de spécialité de Terminale. Ici, deux carbones asymétriques donnent $2^2 = 4$ stéréoisomères.



3.4 · Les deux atomes de carbone asymétriques de l'EHD, repérés par un astérisque

Mesure de vitesses : du K.L. au laboratoire de physique

Bac S 2017 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 2 **6 points** **Durée conseillée 1 h**

1.1 Justifier qu'au cours de la descente le travail du poids du skieur est « moteur », c'est-à-dire positif.

Le skieur descend d'un point A d'altitude h_A à un point B d'altitude $h_B < h_A$. Le poids $\vec{P}$ est une force constante, verticale et dirigée vers le bas :

$$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AB} = M\,g\,(h_A - h_B)$$

Comme $M > 0$, $g > 0$ et $h_A - h_B > 0$:

$W_{AB}(\vec{P}) > 0$: le travail du poids est **moteur** pendant la descente.

COMPRENDRE
Autre argument valable : l'angle entre $\vec{P}$ et le déplacement $\overrightarrow{AB}$ est inférieur à 90°, donc le produit scalaire est positif. Le poids favorise le mouvement.

COMPRENDRE
Le travail d'une force et l'énergie mécanique sont étudiés aujourd'hui en première ; ils restent utilisables en terminale.

1.2 En supposant la vitesse nulle au départ et l'énergie mécanique conservée, montrer que la vitesse au début de la zone de chronométrage vaut $85\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Données utiles $h_1 = 2715$ m (départ) ; $h_2 = 2345$ m (début de la zone de chronométrage, figure 1) ; $g = 9{,}81\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

Entre le départ (altitude h_1, vitesse $v_1 = 0$) et le début de la zone de chronométrage (altitude h_2, vitesse v_2), l'énergie mécanique $E_m = E_c + E_{pp}$ se conserve :

$$\tfrac{1}{2}Mv_1^2 + Mgh_1 = \tfrac{1}{2}Mv_2^2 + Mgh_2$$

Avec $v_1 = 0$ et après simplification par M : $\tfrac{1}{2}v_2^2 = g\,(h_1 - h_2)$, donc

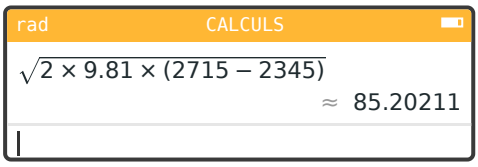
$$v_2 = \sqrt{2\,g\,(h_1 - h_2)} = \sqrt{2 \times 9{,}81 \times (2715 - 2345)}$$

$v_2 = 85{,}2\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \approx 85\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$: c'est la valeur attendue.

PIÈGE
Prendre l'altitude h_3 (fin de la zone) ou utiliser la distance de 450 m parcourue sur la piste : seule la différence d'altitude $h_1 - h_2$ intervient dans l'énergie potentielle de pesanteur.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme g et le dénivelé $h_1 - h_2 = 370$ m. La masse M se simplifie : dans ce modèle sans frottement, la vitesse ne dépend pas du skieur.

À LA CALCULATRICE



1.3 Comparer cette vitesse à celle réellement atteinte par S. Origone en avril 2015 et proposer une explication de la différence.

Données utiles $v_2 = 85{,}2\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (1.2) ; record : $252{,}632\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$

Conversion : $v_2 = 85{,}2 \times 3{,}6 = 307\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.

La vitesse calculée est supérieure à la vitesse réelle : $307 > 252{,}632\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, soit un écart d'environ $54\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ (le modèle surestime la vitesse d'environ 21 %).

Explication : le skieur subit des frottements (air, neige sur les skis) dont le travail est résistant. Une partie de l'énergie mécanique est dissipée, elle ne se conserve pas.

$v_{\text{modèle}} \approx 307\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1} > v_{\text{réelle}} = 252{,}632\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$: l'écart vient des frottements, négligés dans le modèle.

PIÈGE
Comparer des vitesses dans deux unités différentes. Pour passer des $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ aux $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, on multiplie par 3,6.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

85.2 × 3.6
≈ 306.72

306.72 − 252.632
≈ 54.088

306.72 / 252.632
≈ 1.214098

2.1 Montrer que k est une grandeur sans unité. Quelle est alors l'unité du produit $S \times k$?

Données utiles $F_{air} = 0{,}5 \times \rho_{air} \times S \times k \times v^2$

On isole k : $k = \dfrac{F_{air}}{0{,}5\,\rho_{air}\,S\,v^2}$

Unité du numérateur : d'après la deuxième loi de Newton ($F = m\,a$), $1\ \text{N} = 1\ \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Unité du dénominateur : $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \times \text{m}^2 \times (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})^2 = \text{kg} \cdot \text{m}^{-3+2+2} \cdot \text{s}^{-2} = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Les deux unités sont identiques : leur quotient n'a pas d'unité.

k est sans unité ; le produit $S \times k$ s'exprime donc comme S, en m^2.

MÉTHODE
Pour trouver l'unité d'un coefficient : l'isoler, remplacer chaque grandeur par son unité de base (kg, m, s) et simplifier. Le newton se décompose toujours avec $F = m\,a$.

2.2 Le coefficient k étant supposé constant, expliquer qualitativement la diminution du produit $S \times k$ entre les postures 1 et 2. Évaluer la surface S pour la posture 2 et donner un ordre de grandeur de k.

Données utiles posture 1 : $S \times k = 0{,}199\ \text{m}^2$; posture 2 : $S \times k = 0{,}159\ \text{m}^2$

Si k est constant, la baisse de $S \times k$ (de 0,199 à 0,159 m^2) traduit une diminution de S : en posture 2 le skieur est plus regroupé (buste plus bas, bras resserrés devant lui), il présente à l'air une surface frontale plus petite.

Évaluation de S : vu de face, le skieur en position de recherche de vitesse occupe à peu près un rectangle de largeur 0,5 m (largeur des épaules) et de hauteur 0,8 m :

$$S \approx 0{,}5 \times 0{,}8 = 0{,}4\ \text{m}^2$$

Alors $k = \dfrac{S \times k}{S} \approx \dfrac{0{,}159}{0{,}4} \approx 0{,}4$.

$S \approx 0{,}4\ \text{m}^2$; $k \approx 0{,}4$, soit un ordre de grandeur de 10^{-1}.

COMPRENDRE
Le document ne donne pas S : on attend une estimation raisonnée à partir de la taille d'un corps humain accroupi. Toute valeur de quelques dixièmes de m^2, justifiée, est acceptable ; un seul chiffre significatif suffit.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

0.5 × 0.8
≈ 0.4

0.159 / 0.4
≈ 0.3975

2.3 Indiquer la posture qui permet d'atteindre la plus grande vitesse au début de la zone de chronométrage. Justifier.

Données utiles posture 1 : $S \times k = 0{,}199\ \text{m}^2$; posture 2 : $S \times k = 0{,}159\ \text{m}^2$

À vitesse donnée, F_{air} est proportionnelle au produit $S \times k$. Ce produit est le plus petit pour la posture 2 ($0{,}159 < 0{,}199$) : le frottement de l'air y est plus faible, l'énergie dissipée pendant l'élan aussi.

La **posture 2** permet d'atteindre la plus grande vitesse.

2.4 Pour une posture donnée, expliquer comment évolue la force de frottement de l'air F_{air} lorsque la vitesse du skieur augmente. Justifier.

Pour une posture donnée, $S \times k$ est constant, de même que ρ_{air}. L'expression s'écrit alors $F_{air} = C \times v^2$ avec $C = 0{,}5\,\rho_{air}\,S\,k$ constante positive.

F_{air} augmente avec la vitesse, proportionnellement à v^2 : si v double, F_{air} est multipliée par 4.

PIÈGE
Écrire que F_{air} est proportionnelle à v. Elle est proportionnelle au carré de la vitesse : elle croît de plus en plus vite, ce qui limite la vitesse du skieur.

3.1 Calculer la durée t_c du passage du skieur dans la zone de chronométrage de distance D.

Données utiles $D = 100$ m ; vitesse du record : $v = 252{,}632\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$

La vitesse mesurée est la vitesse moyenne sur la zone de chronométrage : $v = \dfrac{D}{t_c}$, donc $t_c = \dfrac{D}{v}$.

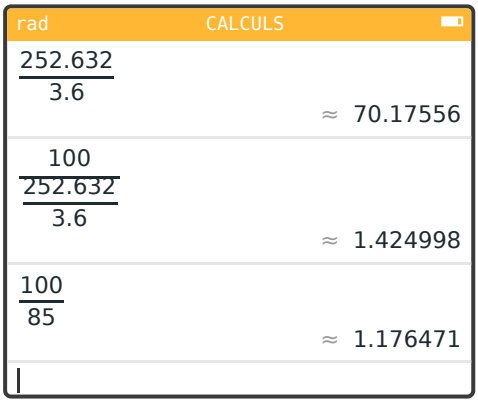
Conversion : $v = \dfrac{252{,}632}{3{,}6} = 70{,}18\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$t_c = \frac{100}{70{,}18}$$

$t_c = 1{,}42$ s

COMPRENDRE
Avec la vitesse du modèle sans frottement, $85\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (1.2), on obtient $t_c = 1{,}2$ s : réponse également recevable si le choix de la vitesse est annoncé. Dans les deux cas, la durée est à peine supérieure à une seconde.

À LA CALCULATRICE



3.2 Donner deux sources d'erreurs possibles pour la mesure de la vitesse d'un skieur de kilomètre lancé.

La vitesse est obtenue par $v = \dfrac{D}{t_c}$: les erreurs viennent de la mesure de ces deux grandeurs.

- Erreur sur la **distance** D : position des deux cellules de chronométrage sur la piste, distance réellement parcourue par le skieur si sa trajectoire n'est pas rectiligne.
- Erreur sur la **durée** t_c : déclenchement et arrêt du chronomètre (temps de réponse des cellules, partie du corps ou du ski qui coupe le faisceau), résolution du chronomètre.

Deux sources d'erreur : la mesure de la distance D et la mesure de la durée t_c.

3.3 Justifier à l'aide du texte d'introduction pourquoi des mesures précises sont nécessaires pour distinguer les différents records de vitesse.

Données utiles record de 2015 : $252{,}632\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$; record de 2014 : $252{,}454\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$

Écart entre les deux records : $252{,}632 - 252{,}454 = 0{,}178\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.

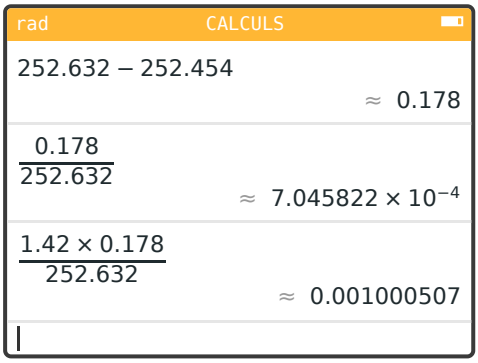
Écart relatif : $\dfrac{0{,}178}{252{,}632} = 7{,}05\times10^{-4}$, soit 0,07 %.

Les deux records ne diffèrent qu'à partir du quatrième chiffre significatif : une mesure de la vitesse à 1 % près, ou même à 0,1 % près, ne permettrait pas de les départager.

Écart de $0{,}178\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ seulement (0,07 %) : la mesure doit être plus précise que cet écart.

COMPRENDRE
Sur la durée $t_c = 1{,}42$ s (3.1), cet écart de 0,07 % représente environ un millième de seconde : le chronométrage doit être électronique.

À LA CALCULATRICE



3.4 Estimer la précision relative sur la mesure de la vitesse du skieur.

Données utiles $v = 252{,}632\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$

La vitesse est annoncée au millième de $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$: la précision de la mesure est estimée à $\Delta v = 0{,}001\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.

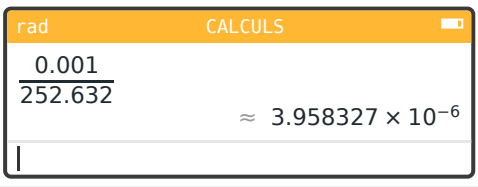
$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{0{,}001}{252{,}632}$$

$\dfrac{\Delta v}{v} \approx 4\times10^{-6}$, soit environ 0,0004 %.

PIÈGE
S'arrêter à la précision absolue ($0{,}001\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$). « Relative » signifie rapportée à la valeur mesurée.

COMPRENDRE
La précision relative est un rapport de deux grandeurs de même unité : elle n'a pas d'unité. Un seul chiffre significatif suffit, puisque Δv est une estimation.

À LA CALCULATRICE



Diagnostic d'une maison

Bac S 2017 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Montrer que l'intensité sonore maximale pour que la maison soit au calme est $I_{max} = 1{,}0 \times 10^{-8}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Données utiles $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$; échelle des niveaux sonores : sensation « calme » jusqu'à 40 dB

Sur l'échelle des niveaux sonores, la sensation reste « calme » tant que le niveau ne dépasse pas $L_{max} = 40$ dB.

Le niveau d'intensité sonore est défini par $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$, d'où $I = I_0 \times 10^{L/10}$.

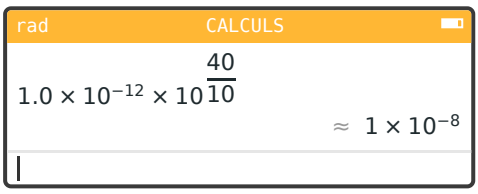
$$I_{max} = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{40/10} = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{4}$$

$I_{max} = 1{,}0 \times 10^{-8}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$, valeur attendue.

PIÈGE
La relation entre L et I n'est pas rappelée dans le sujet : elle est à connaître. Le niveau L est en décibels, l'intensité I en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$: ne pas les confondre.

MÉTHODE
Pour isoler I : diviser par 10, puis appliquer la fonction 10^x, réciproque du logarithme décimal. On obtient $I/I_0 = 10^{L/10}$.

À LA CALCULATRICE



1.2 Déterminer si la distance d entre l'éolienne et la maison est suffisante pour que la maison soit au calme.

Données utiles $P = 0{,}50$ W ; $I = \frac{P}{4\pi d^2}$; $I_{max} = 1{,}0 \times 10^{-8}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ (1.1) ; figure 1 avec son échelle de 500 m

La maison est au calme si $I \leqslant I_{max}$, soit $\frac{P}{4\pi d^2} \leqslant I_{max}$, donc si $d \geqslant d_{min}$ avec :

$$d_{min} = \sqrt{\frac{P}{4\pi\, I_{max}}} = \sqrt{\frac{0{,}50}{4\pi \times 1{,}0 \times 10^{-8}}} = 2{,}0 \times 10^{3}\ \text{m}$$

Mesures sur la figure 1 : le segment éolienne-maison mesure 8,0 cm et l'échelle indique 1,5 cm pour 500 m.

$$d = \frac{8{,}0}{1{,}5} \times 500 = 2{,}7 \times 10^{3}\ \text{m}$$

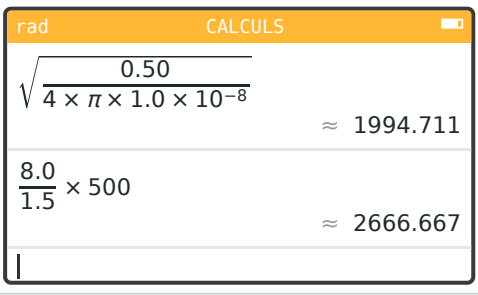
$d = 2{,}7\ \text{km} > d_{min} = 2{,}0\ \text{km}$: la distance est suffisante, la maison reste au calme.

PIÈGE
Oublier la racine carrée, ou conclure sans comparaison chiffrée. Mesurer de croix à croix, pas entre les mots « éolienne » et « maison ».

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme P, I_{max} et les longueurs mesurées à la règle. Les longueurs en cm dépendent de l'impression du sujet ; seul leur rapport compte.

MÉTHODE
Autre démarche possible : calculer l'intensité reçue à 2,7 km, soit $I = 5{,}6 \times 10^{-9}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$, et constater qu'elle est inférieure à I_{max} (niveau voisin de 37 dB).

À LA CALCULATRICE



2.1 Associer à chacune des trois propriétés le nom du mode de transfert thermique correspondant.

Propriété 1 (de proche en proche dans un milieu matériel, sans transport de matière) : **conduction**.

Propriété 2 (sans milieu matériel nécessaire, sans transport de matière) : **rayonnement**.

Propriété 3 (déplacement macroscopique de matière dans un fluide) : **convection**.

1 : conduction ; 2 : rayonnement ; 3 : convection.

COMPRENDRE
Le rayonnement est le seul mode qui se propage dans le vide : c'est ainsi que l'énergie du Soleil atteint la Terre. La convection exige un fluide en mouvement.

2.2 Calculer la résistance thermique de la toiture $R_{th(toit)}$ et en déduire que le flux thermique moyen à travers le toit en hiver vaut $\Phi_{toit} = 7{,}1 \times 10^2$ W.

Données utiles $S = 115\ \text{m}^2$; laine de chanvre : $e_1 = 100$ mm, $\lambda_1 = 0{,}042\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; tuile : $e_2 = 40$ mm, $\lambda_2 = 0{,}60\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; $T_i = 19\ ^\circ\text{C}$; $T_e = 4{,}0\ ^\circ\text{C}$

La toiture comporte deux couches de même surface S ; leurs résistances thermiques s'ajoutent :

$$R_{th(toit)} = \frac{e_1}{\lambda_1 S} + \frac{e_2}{\lambda_2 S}$$

$$R_{th(toit)} = \frac{100 \times 10^{-3}}{0{,}042 \times 115} + \frac{40 \times 10^{-3}}{0{,}60 \times 115} = 2{,}1 \times 10^{-2}\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Flux thermique à travers le toit : $\Phi_{toit} = \dfrac{T_i - T_e}{R_{th(toit)}}$

$$\Phi_{toit} = \frac{19 - 4{,}0}{2{,}1 \times 10^{-2}} = 7{,}1 \times 10^2\ \text{W}$$

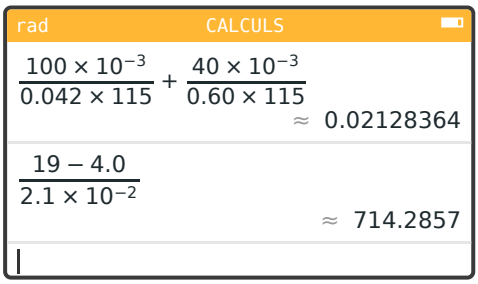
$R_{th(toit)} = 2{,}1 \times 10^{-2}\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ et $\Phi_{toit} = 7{,}1 \times 10^2$ W, valeur attendue.

PIÈGE
Les épaisseurs sont données en millimètres : les convertir en mètres. Un écart de température a la même valeur en °C et en K : aucune conversion à faire pour $T_i - T_e$.

COMPRENDRE
La valeur de l'énoncé s'obtient avec $R_{th(toit)}$ arrondie. Sans arrondi intermédiaire, on trouve $7{,}0 \times 10^2$ W : l'écart, de l'ordre de 1 %, reste compatible avec deux chiffres significatifs.

COMPRENDRE
La laine de chanvre assure à elle seule 97 % de la résistance du toit : la tuile, mince et bien plus conductrice, n'isole presque pas.

À LA CALCULATRICE



2.3 En estimant que le chauffage représente 60 % de la consommation d'énergie annuelle, déterminer la classe énergétique de cette maison.

Données utiles $\Phi_{toit} = 7{,}1 \times 10^2$ W (2.2) ; figure 3 : $\Phi_{murs} = 743$ W, $\Phi_{sol} = 66{,}8$ W, $\Phi_{portes+vitres} = 123$ W ; surface habitable $100\ \text{m}^2$; chauffage 120 jours par an ; figure 2 : classes énergétiques

Flux thermique total sortant de la maison :

$$\Phi_{total} = \Phi_{toit} + \Phi_{murs} + \Phi_{sol} + \Phi_{portes+vitres}$$

$$\Phi_{total} = 7{,}1 \times 10^2 + 743 + 66{,}8 + 123 = 1{,}64 \times 10^3 \text{ W}$$

La puissance moyenne du chauffage lui est égale : $P_{ch} = 1{,}64$ kW.

Durée annuelle de chauffage : $\Delta t = 120 \times 24 = 2{,}88 \times 10^3$ h.

Énergie annuelle de chauffage : $E_{ch} = P_{ch} \times \Delta t = 1{,}64 \times 2{,}88 \times 10^3 = 4{,}73 \times 10^3$ kWh.

Le chauffage représente 60 % du total : $E_{tot} = \dfrac{E_{ch}}{0{,}60} = \dfrac{4{,}73 \times 10^3}{0{,}60} = 7{,}9 \times 10^3$ kWh.

Par mètre carré habitable : $\dfrac{E_{tot}}{S_{hab}} = \dfrac{7{,}9 \times 10^3}{100} = 79\ \text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$.

Cette valeur est comprise entre 51 et 90 (figure 2).

Consommation d'environ $79\ \text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$: la maison est en **classe B**.

PIÈGE

Multiplier par 0,60 au lieu de diviser : le chauffage n'est qu'une partie de la consommation totale, qui est donc plus grande. Diviser par la surface habitable ($100\ \text{m}^2$), pas par celle des murs ou du toit.

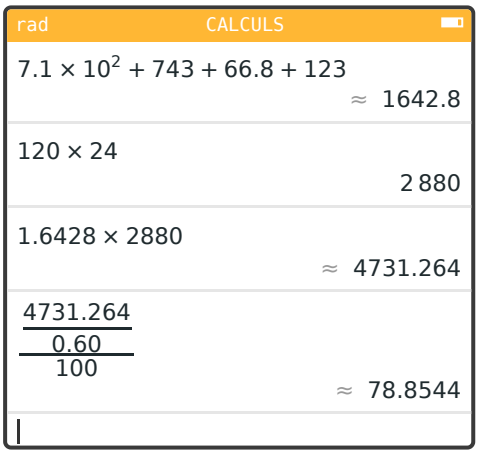
COMPRENDRE

Question à prise d'initiative : toute démarche cohérente est valorisée. La classe se lit sur la figure 2 du sujet ; les seuils de l'étiquette officielle actuelle sont différents.

MÉTHODE

Travailler en kW et en heures donne directement des kWh, unité de l'étiquette : la conversion en joules ($1\ \text{kWh} = 3{,}6 \times 10^6$ J) est alors inutile.

À LA CALCULATRICE



Spécialité : Les cellules photovoltaïques multi-jonctions

Bac S 2017 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Calculer les rendements des cellules triple-jonction de Sharp et Microsol au silicium.

Données utiles ensoleillement $E = 1000\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$; Sharp : $S = 8{,}9\times10^{-5}\ \text{m}^2$, courbe de puissance ; Microsol : $S' = 2{,}43\times10^{-2}\ \text{m}^2$, $P_{\max} = 4{,}210\ \text{W}$

Le rendement est $r = \dfrac{P_{\text{él,max}}}{P_{\text{lum}}}$, avec une puissance lumineuse reçue $P_{\text{lum}} = E \times S$.

Cellule Sharp. La courbe de puissance (trait épais, axe de droite) passe par un maximum, pour une tension voisine de 2,7 V : $P_{\text{él,max}} \approx 33\ \text{mW}$.

$$P_{\text{lum}} = 1000 \times 8{,}9 \times 10^{-5} = 8{,}9 \times 10^{-2}\ \text{W} = 89\ \text{mW}$$

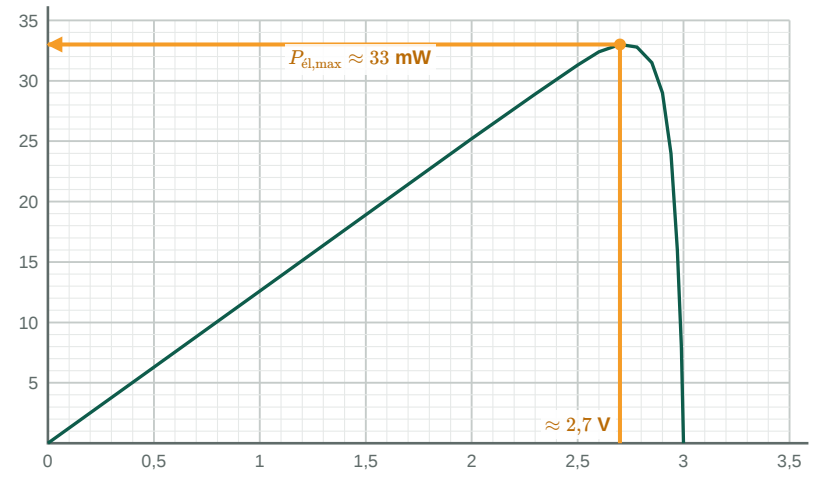
$$r_{\text{Sharp}} = \frac{33}{89} = 0{,}37$$

Cellule Microsol. Le tableau donne directement $P_{\max} = 4{,}210$ W.

$$P'_{\text{lum}} = 1000 \times 2{,}43 \times 10^{-2} = 24{,}3\ \text{W}$$

$$r_{\text{Si}} = \frac{4{,}210}{24{,}3} = 0{,}173$$

$r_{\text{Sharp}} \approx 37\ \%$ et $r_{\text{Si}} \approx 17\ \%$: la cellule triple-jonction a un rendement environ deux fois plus grand.



1 · Courbe de puissance de la cellule Sharp (axe de droite du sujet) et lecture du maximum

PIÈGE

Lire la puissance sur l'axe de gauche (celui de l'intensité, en mA), ou diviser des milliwatts par des watts. Les deux puissances du quotient doivent être dans la même unité.

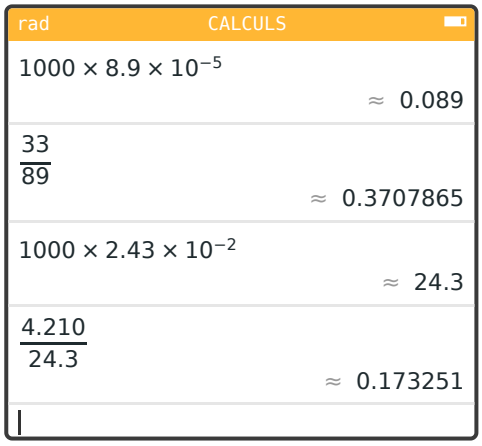
COMPRENDRE

Deux chiffres significatifs pour Sharp, comme la surface et la lecture graphique. Pour Microsol, les données en autorisent trois : 17,3 %.

MÉTHODE

Pour une lecture graphique précise, mesurer à la règle : distance entre deux graduations de l'axe, distance jusqu'au sommet de la courbe, puis proportionnalité.

À LA CALCULATRICE



2 Déterminer l'énergie de chacun des deux photons, de longueurs d'onde $\lambda_1 = 1{,}0\ \mu\text{m}$ et $\lambda_2 = 0{,}65\ \mu\text{m}$.

Données utiles $h = 6{,}63 \times 10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s}$; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $1\ \text{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}\ \text{J}$

L'énergie d'un photon de longueur d'onde λ dans le vide est $\mathcal{E} = \dfrac{h\,c}{\lambda}$, avec λ en mètre.

$$\mathcal{E}_1 = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{1{,}0 \times 10^{-6}} = 2{,}0 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

$$\mathcal{E}_2 = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{0{,}65 \times 10^{-6}} = 3{,}1 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

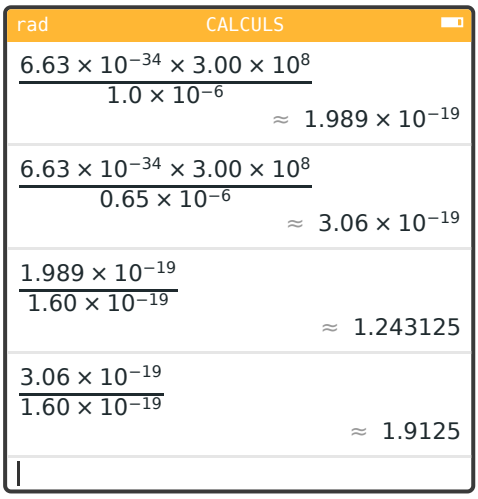
Les gaps étant donnés en électronvolt, on convertit en divisant par $1{,}60 \times 10^{-19}$:

$\mathcal{E}_1 = 2{,}0 \times 10^{-19}\ \text{J} = 1{,}2\ \text{eV}$ et $\mathcal{E}_2 = 3{,}1 \times 10^{-19}\ \text{J} = 1{,}9\ \text{eV}$

PIÈGE
Laisser λ en micromètre : $1\ \mu\text{m} = 10^{-6}$ m. Pour la conversion, garder la valeur non arrondie de la calculatrice, et diviser (ne pas multiplier) par $1{,}60 \times 10^{-19}$.

COMPRENDRE
Plus la longueur d'onde est courte, plus le photon est énergétique : le photon rouge (0,65 µm) transporte davantage d'énergie que le photon infrarouge (1,0 µm).

À LA CALCULATRICE



3 Les deux photons arrivent sur la cellule en silicium monocristallin. Déterminer l'énergie électrique maximale récupérée.

Données utiles gap du silicium : 1,1 eV ; $\mathcal{E}_1 = 1{,}2$ eV et $\mathcal{E}_2 = 1{,}9$ eV (Q2)

Un photon est absorbé si son énergie dépasse le gap du matériau. Ici $\mathcal{E}_1 = 1{,}2\ \text{eV} > 1{,}1\ \text{eV}$ et $\mathcal{E}_2 = 1{,}9\ \text{eV} > 1{,}1\ \text{eV}$: le silicium absorbe les deux photons.

Chaque photon absorbé fournit au mieux une énergie électrique égale au gap, le surplus étant converti en chaleur :

$\mathcal{E}_{\text{Si}} = 2 \times 1{,}1 = 2{,}2\ \text{eV}$

Énergie électrique maximale récupérée par le silicium : $\mathcal{E}_{\text{Si}} = 2{,}2\ \text{eV}$

PIÈGE
Additionner les énergies des photons (3,1 eV). L'énergie récupérable par photon absorbé est plafonnée à la valeur du gap, quelle que soit l'énergie du photon.

COMPRENDRE
Sur les 3,1 eV apportés, 0,9 eV part en chaleur, dont 0,8 eV pour le seul photon rouge. La notion de gap ne figure plus au programme actuel de spécialité : elle est ici fournie par le document.

4 Les deux photons arrivent sur la cellule triple-jonction de Sharp. Indiquer par quelle couche chaque photon est absorbé et déterminer l'énergie maximale récupérée. Conclure.

Données utiles gaps, de haut en bas : InGaP 1,8 eV ; GaAs 1,4 eV ; InGaAs 1,0 eV ; $\mathcal{E}_1 = 1{,}2$ eV et $\mathcal{E}_2 = 1{,}9$ eV (Q2) ; silicium : 2,2 eV (Q3)

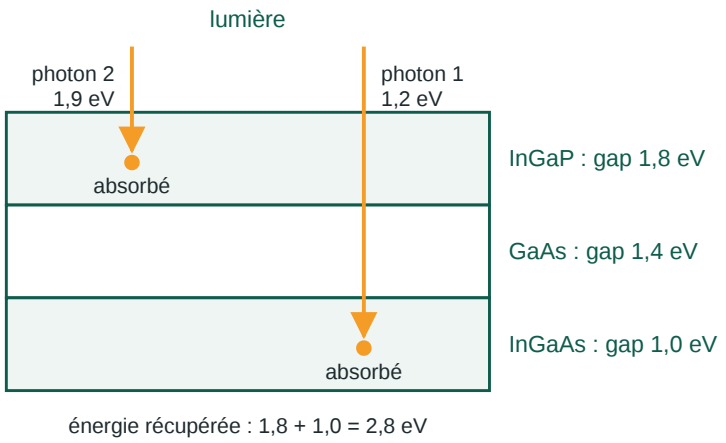
La lumière rencontre d'abord InGaP, puis GaAs, puis InGaAs.

Photon 2 ($\mathcal{E}_2 = 1{,}9$ eV) : $1{,}9 > 1{,}8$, il est absorbé dès la couche supérieure en InGaP, qui restitue au mieux 1,8 eV.

Photon 1 ($\mathcal{E}_1 = 1{,}2$ eV) : $1{,}2 < 1{,}8$ et $1{,}2 < 1{,}4$, il traverse InGaP puis GaAs ; $1{,}2 > 1{,}0$, il est absorbé par la couche inférieure en InGaAs, qui restitue au mieux 1,0 eV.

$\mathcal{E}_{\text{Sharp}} = 1{,}8 + 1{,}0 = 2{,}8$ eV

$\mathcal{E}_{\text{Sharp}} = 2{,}8$ eV contre 2,2 eV pour le silicium : avec les mêmes photons, la cellule triple-jonction récupère plus d'énergie électrique, d'où son meilleur rendement.



4 · Trajet des deux photons dans la cellule triple-jonction

PIÈGE
Oublier que le photon 1 doit d'abord traverser les deux premières couches : il faut comparer son énergie à chaque gap, dans l'ordre où la lumière rencontre les couches.

COMPRENDRE
Chaque photon est absorbé par la couche dont le gap est juste inférieur à son énergie : la perte en chaleur tombe à 0,3 eV, contre 0,9 eV dans le silicium.

5 Expliquer en quoi la constitution et l'ordre des couches de la cellule Sharp lui confèrent une meilleure performance que la cellule au silicium lorsqu'elles sont éclairées par la lumière du Soleil.

La lumière du Soleil est polychromatique : d'après le document, son énergie se répartit sur des longueurs d'onde allant d'environ 300 nm à 2000 nm, donc sur des photons d'énergies très variées.

Cellule au silicium. Un seul gap (1,1 eV) : tout photon absorbé ne fournit que 1,1 eV, même s'il en apporte deux ou trois fois plus. Pour les photons du visible, majoritaires dans le rayonnement solaire, une grande part de l'énergie est perdue en chaleur.

Cellule Sharp : constitution. Les trois gaps (1,8 eV, 1,4 eV, 1,0 eV) découpent le spectre en trois domaines, visibles sur le document : chaque couche convertit les photons dont l'énergie est proche de son gap, ce qui réduit l'énergie gaspillée par photon.

Cellule Sharp : ordre. Les gaps décroissent du haut vers le bas. La couche supérieure retient les photons de plus de 1,8 eV et laisse passer les autres ; la couche intermédiaire absorbe ceux compris entre 1,4 eV et 1,8 eV ; la couche inférieure, ceux compris entre 1,0 eV et 1,4 eV. Dans l'ordre inverse, la couche de gap 1,0 eV absorberait tout dès l'entrée et la cellule ne ferait pas mieux qu'une cellule à un seul gap.

Chaque photon est converti par la couche dont le gap est le plus proche de son énergie : moins de pertes thermiques, donc un rendement plus élevé (37 % contre 17 %, Q1).

PIÈGE
Affirmer que la cellule Sharp absorbe plus de photons. Son seuil (1,0 eV) est voisin de celui du silicium (1,1 eV) : le gain vient surtout de l'énergie mieux récupérée par photon absorbé.

MÉTHODE
Question de synthèse : s'appuyer sur chaque document (spectre solaire, gaps, schéma des couches), traiter séparément « constitution » et « ordre », puis conclure en reliant au rendement calculé.