Corrigé complet — Bac S 2015 Liban (ancien programme)

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

Ex 1	**Construction d'une maison passive** Résistance thermique · Flux thermique · Bilan d'énergie · Analyse dimensionnelle · Deuxième loi de Newton · Chute libre	7 pts	1 h 10	10 questions	p. 2
Ex 2	**Une piscine naturelle chauffée** Transferts thermiques · Nomenclature des alcools · Stéréoisomérie et représentation de Cram · RMN du proton · Couple acide-base et prédominance · Titrage avec indicateur coloré	8 pts	1 h 20	12 questions	p. 7
Ex 3	**Thermographie infrarouge** Énergie d'un photon · Domaine infrarouge et transitions vibratoires · Codage RVB d'une image · Taille d'une image numérique · Taux de compression	5 pts	50 min	8 questions	p. 11
Ex 4	**Spécialité : Autonomie électrique d'une maison passive** Puissance électrique · Puissance et énergie · Rendement d'un convertisseur · Lecture d'une caractéristique intensité-tension · Résolution de problème	5 pts	50 min	2 questions	p. 15

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.

Construction d'une maison passive

Bac S 2015 Liban (ancien programme) · Exercice 1 **7 points** **Durée conseillée 1 h 10**

1.1 Déterminer, par analyse dimensionnelle, l'unité d'une résistance thermique.

Données utiles $R_{th} = \dfrac{e}{\lambda S}$ avec e en m, λ en $\mathrm{W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}}$ et S en $\mathrm{m^2}$

On remplace chaque grandeur par son unité dans $R_{th} = \dfrac{e}{\lambda S}$:

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

Une résistance thermique s'exprime en $\mathrm{K \cdot W^{-1}}$ (kelvin par watt).

COMPRENDRE
Vérification avec l'autre relation du sujet : $R_{th} = \dfrac{T_i - T_e}{\Phi}$ est un écart de température (K) divisé par un flux (W). On retrouve bien des $\mathrm{K \cdot W^{-1}}$.

1.2 Pour une surface donnée à isoler, expliquer dans quel sens doivent évoluer les caractéristiques d'une paroi pour augmenter l'isolation de l'habitation.

Pour un écart de température fixé, $\Phi = \dfrac{T_i - T_e}{R_{th}}$: le flux qui traverse la paroi est d'autant plus faible que R_{th} est grande. Mieux isoler, c'est donc augmenter $R_{th} = \dfrac{e}{\lambda S}$.

La surface S étant imposée, il reste deux caractéristiques :

- l'épaisseur e, au numérateur, qu'il faut **augmenter** ;
- la conductivité thermique λ, au dénominateur, qu'il faut **diminuer** en choisissant un matériau plus isolant.

Il faut une paroi plus épaisse (e plus grande) faite d'un matériau de conductivité thermique λ plus faible.

PIÈGE
Se contenter de « il faut augmenter R_{th} ». La question porte sur les caractéristiques de la paroi : il faut citer e et λ, avec le sens de variation de chacune.

1.3 Calculer la résistance thermique des murs extérieurs R_m, en précisant l'unité.

Données utiles $S = 85\ \mathrm{m^2}$; cinq couches (épaisseur en cm, λ en $\mathrm{W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}}$) : 1,5 et 0,50 ; 5,0 et 0,80 ; 6,0 et 0,040 ; 20 et 0,60 ; 2,5 et 1,05

Le mur est formé de cinq couches de même surface S : leurs résistances thermiques s'additionnent.

$$R_m = \frac{1}{S} \sum_i \frac{e_i}{\lambda_i}$$

Avec les épaisseurs converties en mètre :

$$\sum_i \frac{e_i}{\lambda_i} = \frac{1{,}5 \times 10^{-2}}{0{,}50} + \frac{5{,}0 \times 10^{-2}}{0{,}80} + \frac{6{,}0 \times 10^{-2}}{0{,}040} + \frac{20 \times 10^{-2}}{0{,}60} + \frac{2{,}5 \times 10^{-2}}{1{,}05}$$

La somme vaut $1{,}95\ \mathrm{m^2 \cdot K \cdot W^{-1}}$, d'où :

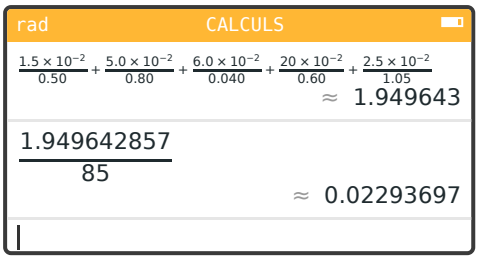
$$R_m = \frac{1{,}95}{85}$$

$R_m = 0{,}023\ \mathrm{K \cdot W^{-1}}$, soit $2{,}3 \times 10^{-2}\ \mathrm{K \cdot W^{-1}}$

PIÈGE
Laisser les épaisseurs en centimètre : le résultat serait cent fois trop grand. La formule exige e en mètre.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme les données du tableau. Le liège expansé (6,0 cm seulement) apporte à lui seul 1,5 sur le total de 1,95 : c'est lui le véritable isolant du mur.

À LA CALCULATRICE



1.4 Quelle épaisseur de laine de verre, utilisée seule, donnerait une résistance thermique identique à celle des combles ?

Données utiles $R_c = 0{,}053\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}$; $S = 79\ \text{m}^2$; $\lambda_{lv} = 0{,}038\ \text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

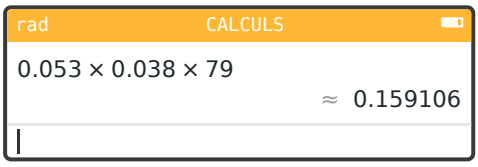
Pour une seule couche de laine de verre couvrant les combles : $R_c = \dfrac{e_{lv}}{\lambda_{lv}\,S}$, donc

$$e_{lv} = R_c\,\lambda_{lv}\,S = 0{,}053 \times 0{,}038 \times 79 = 0{,}16\ \text{m}$$

$e_{lv} = 0{,}16$ m, soit 16 cm de laine de verre.

COMPRENDRE
16 cm de laine de verre remplacent 21,3 cm de gypse et de chanvre : sa conductivité est plus faible, il en faut donc moins pour la même résistance.

À LA CALCULATRICE



1.5.1 Préciser le sens dans lequel s'effectuent les transferts thermiques.

Données utiles $T_i = 19\ ^\circ\text{C}$; air extérieur à $4\ ^\circ\text{C}$; sol à $10\ ^\circ\text{C}$

Un transfert thermique se fait spontanément du corps le plus chaud vers le corps le plus froid. L'intérieur de la maison (19 °C) est plus chaud que l'air extérieur (4 °C) et que le sol (10 °C).

Les transferts thermiques s'effectuent de l'intérieur de la maison vers l'extérieur : vers l'air à travers les murs, les vitres et les combles, vers le sol à travers le plancher.

1.5.2 Calculer Q_V ; en déduire la valeur de la chaleur fournie par le poêle à bois pendant une journée.

Données utiles vitres : $R_v = 0{,}10\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}$; $T_i = 19\ ^\circ\text{C}$; $T_e = 4\ ^\circ\text{C}$; $Q_m = 56$ MJ ; $Q_S = 37$ MJ ; $Q_C = 24$ MJ

Les deux expressions du flux à travers les vitres donnent $\dfrac{Q_V}{\Delta t} = \dfrac{T_i - T_e}{R_v}$, donc

$$Q_V = \frac{(T_i - T_e)\,\Delta t}{R_v}$$

Les vitres séparent l'intérieur de l'air extérieur : $T_e = 4\ ^\circ\text{C}$. Pour une journée, $\Delta t = 24 \times 3600 = 86\,400$ s.

$$Q_V = \frac{(19-4) \times 86\,400}{0{,}10} = 1{,}3 \times 10^7\ \text{J} = 13\ \text{MJ}$$

La température intérieure reste constante : l'énergie interne de la maison ne varie pas. Le poêle doit donc fournir exactement l'énergie perdue à travers toutes les parois.

$$Q_{\text{poêle}} = Q_m + Q_V + Q_S + Q_C = 56 + 13 + 37 + 24 = 130\ \text{MJ}$$

$Q_V = 13$ MJ et $Q_{\text{poêle}} = 130$ MJ par jour, soit $1{,}3 \times 10^2$ MJ

PIÈGE
Prendre 10 °C comme température extérieure : c'est celle du sol, qui ne concerne que le plancher. Autre oubli fréquent : la durée, à convertir en secondes.

COMPRENDRE
Inutile de convertir les températures en kelvin : un écart de 15 °C vaut 15 K. Les vitres, 15 m² seulement, laissent passer autant d'énergie qu'un quart des murs.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{(19-4)\times 24\times 3600}{0.10} \approx 1.296\times 10^7$

$56+13+37+24 = 130$

1.6 Si la période de chauffage dure 100 jours par an, peut-on considérer la maison comme passive ?

Données utiles $Q_{\text{poêle}} = 130$ MJ par jour (Q1.5.2) ; surface habitable 68 m² ; 1 kWh = 3,6 MJ ; maison passive : moins de 15 kWh par m² habitable et par an

Énergie de chauffage sur une année : $Q_{an} = 100 \times 130 = 1{,}30 \times 10^4$ MJ.

En kilowattheure : $Q_{an} = \dfrac{1{,}30\times 10^4}{3{,}6} = 3{,}6\times 10^3$ kWh.

Rapportée à la surface habitable :

$$\frac{Q_{an}}{S_{hab}} = \frac{3{,}6\times 10^3}{68} = 53 \text{ kWh par m}^2 \text{ et par an}$$

Or $53 > 15$.

Les besoins en chauffage valent environ 53 kWh par m² habitable et par an, plus de trois fois la limite de 15 : la maison n'est pas passive.

PIÈGE
Diviser par 70 m² (sol) ou par la surface des murs. La définition parle de surface habitable : 68 m².

COMPRENDRE
La maison reste très sobre : un bâtiment classique demande 250 à 300 kWh par m² et par an, soit environ cinq fois plus.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{100\times 130}{3.6} \approx 3611.111$

$\dfrac{\frac{100\times 130}{3.6}}{68} \approx 53.10458$

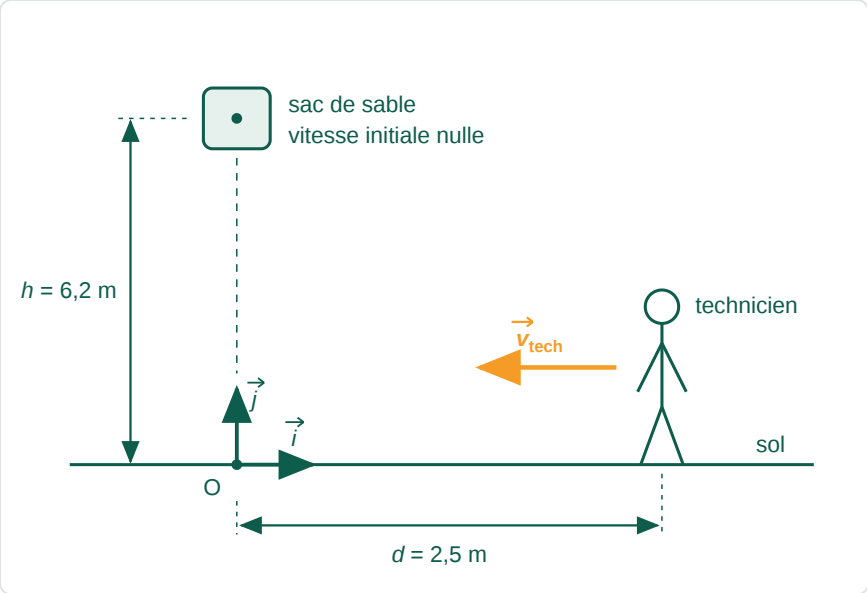
2.1 Faire un schéma de la situation initiale, sans souci d'échelle, avec le vecteur vitesse du technicien et les distances h et d.

Schéma ci-dessous, à l'instant $t = 0$ où le câble cède :

- le sac est sur l'axe vertical $(O, \vec{j})$, à la hauteur h au-dessus du point d'impact O, sans vitesse ;
- le technicien est au sol, à la distance d de O ;
- son vecteur vitesse $\vec{v}_{tech}$ est horizontal et dirigé vers O.

Schéma avec $h = 6{,}2$ m (vertical), $d = 2{,}5$ m (horizontal) et $\vec{v}_{tech}$ horizontal, pointé vers O.

PIÈGE
Dessiner $\vec{v}_{tech}$ vers la droite ou incliné. Le technicien marche vers le point d'impact : le vecteur est horizontal et pointe vers O.



2.1 · Situation initiale (t = 0), sans souci d'échelle

2.2 Montrer que, selon l'axe vertical, l'équation horaire du mouvement du centre du sac est $y_S = -4{,}9\,t^2 + 6{,}2$ (y_S en mètre, t en seconde).

Données utiles $g = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $h = 6{,}2$ m ; vitesse initiale nulle

Système {sac de sable}, de masse m ; référentiel terrestre supposé galiléen ; chute libre : seule force, le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$.

Deuxième loi de Newton : $m\,\vec{a} = m\,\vec{g}$, donc $\vec{a} = \vec{g}$.

L'axe $(O, \vec{j})$ est orienté vers le haut et $\vec{g}$ vers le bas : $a_y = -g$.

Comme $a_y = \dfrac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}$, une primitive donne $v_y = -g\,t + v_{0y}$. La vitesse initiale est nulle : $v_{0y} = 0$, donc $v_y = -g\,t$.

Comme $v_y = \dfrac{\mathrm{d}y_S}{\mathrm{d}t}$, une primitive donne $y_S = -\dfrac{1}{2}\,g\,t^2 + y_0$. À $t = 0$, le sac est à la hauteur h : $y_0 = h$.

$$y_S = -\frac{1}{2}\,g\,t^2 + h = -\frac{1}{2} \times 9{,}8 \times t^2 + 6{,}2$$

$y_S = -4{,}9\,t^2 + 6{,}2$: c'est bien l'équation attendue.

PIÈGE
Oublier le signe « − » : l'axe est orienté vers le haut, l'accélération vers le bas. Oublier aussi la constante $y_0 = h$ donnerait un sac partant du sol.

MÉTHODE
Toujours le même enchaînement : système, référentiel, bilan des forces, deuxième loi de Newton, projection sur l'axe, puis deux primitives successives. Chaque constante se détermine avec une condition initiale.

2.3 Cette situation entraîne-t-elle un risque d'accident corporel pour le technicien ?

Données utiles $y_S = -4{,}9\,t^2 + 6{,}2$ (Q2.2) ; $d = 2{,}5$ m ; $v_{tech} = 1{,}1\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

Démarche : il y a un risque si le technicien se trouve au point O au moment où le sac y arrive. On calcule la durée de la chute, puis la distance parcourue par le technicien pendant cette durée.

Durée de la chute : le sac touche le sol quand $y_S = 0$.

$$-4{,}9\,t_c^2 + 6{,}2 = 0 \quad \text{donc} \quad t_c = \sqrt{\frac{6{,}2}{4{,}9}} = 1{,}1\ \text{s}$$

Le technicien avance à vitesse constante. Pendant la chute, il parcourt :

$$d_{tech} = v_{tech} \times t_c = 1{,}1 \times 1{,}12 = 1{,}2\ \text{m}$$

Or $1{,}2\ \text{m} < d = 2{,}5\ \text{m}$: quand le sac touche le sol, le technicien est encore à $2{,}5 - 1{,}2 = 1{,}3$ m du point d'impact.

Le sac tombe environ 1,3 m devant le technicien : il n'est pas touché, la situation n'entraîne pas d'accident corporel.

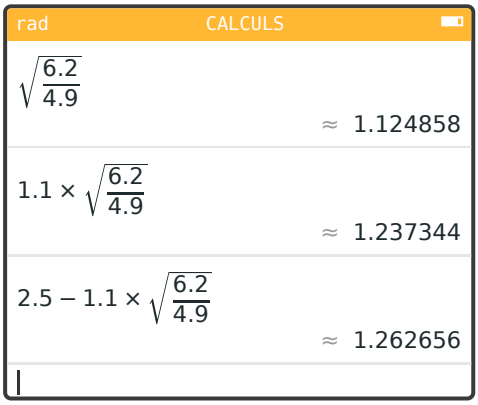
COMPRENDRE

Question ouverte : la démarche annoncée et rédigée compte autant que le résultat. La marge reste faible (1,3 m, alors que sac et technicien ne sont pas des points) : l'absence de choc ne signifie pas absence de danger.

MÉTHODE

Autre démarche possible : comparer les durées. Le technicien mettrait $\frac{d}{v_{tech}} = 2{,}3$ s pour atteindre O, soit le double de la durée de chute. La conclusion est la même.

À LA CALCULATRICE



Une piscine naturelle chauffée

Bac S 2015 Liban (ancien programme) · Exercice 2 **8 points** **Durée conseillée 1 h 20**

1.1 Quel est le mode principal de transfert thermique entre le capteur solaire (1) et le milieu extérieur ? En déduire la fonction de la chaudière d'appoint.

Le capteur reçoit l'énergie du Soleil par **rayonnement** : c'est le seul mode de transfert thermique qui se propage dans le vide.

Ce transfert dépend de l'ensoleillement : il est faible par temps couvert ou en hiver, nul la nuit.

Transfert par rayonnement ; la chaudière d'appoint fournit à l'eau du ballon l'énergie manquante quand l'ensoleillement ne suffit pas.

COMPRENDRE
Les trois modes de transfert thermique sont la conduction (dans un solide, de proche en proche), la convection (avec déplacement de fluide) et le rayonnement (ondes électromagnétiques, sans support matériel).

1.2 Quel est l'intérêt, pour le chauffe-eau solaire, d'intégrer du mono propylène glycol dans le fluide caloporteur ?

Le mono propylène glycol est un antigel : mélangé à l'eau, il abaisse la température de solidification du fluide.

Par temps froid, le fluide caloporteur reste liquide : il continue de circuler dans le circuit primaire et ne risque pas d'endommager les canalisations en gelant.

COMPRENDRE
Le capteur est sur le toit, donc exposé au gel. L'eau pure augmente de volume en se solidifiant, ce qui peut faire éclater un tuyau.

1.3 Justifier le nom donné, en nomenclature officielle, au mono propylène glycol.

- La chaîne carbonée compte trois atomes de carbone reliés par des liaisons simples : radical **propan(e)**.
- La molécule porte deux groupes hydroxyle $-\mathrm{OH}$: c'est un **diol**.
- En numérotant la chaîne depuis l'extrémité qui porte un groupe $-\mathrm{OH}$, ces groupes sont sur les carbones 1 et 2.

Le nom est bien propane-1,2-diol.

PIÈGE
Numéroter depuis l'autre extrémité donnerait propane-2,3-diol : on choisit toujours le sens qui attribue les plus petits indices aux groupes caractéristiques.

1.4 Justifier que la molécule possède plusieurs stéréoisomères. Donner leur représentation de Cram, préciser le type de stéréoisomérie qui les lie, dire s'ils sont chiraux et comment réaliser un mélange racémique.

Le carbone n°2 est lié à quatre groupes tous différents : $-\mathrm{H}$, $-\mathrm{OH}$, $-\mathrm{CH_3}$ et $-\mathrm{CH_2OH}$. C'est un carbone asymétrique (noté C*), et c'est le seul de la molécule : il existe donc deux stéréoisomères de configuration.

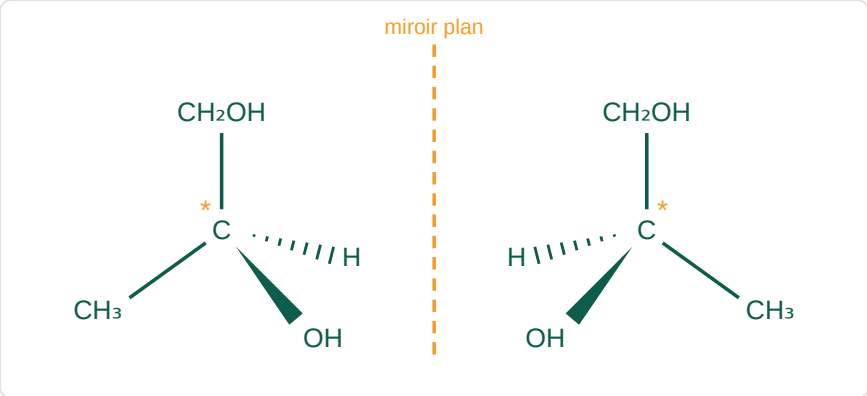
Ces deux molécules sont images l'une de l'autre dans un miroir plan sans être superposables : ce sont des **énantiomères**.

Chacune n'est pas superposable à son image : elles sont **chirales**.

Deux énantiomères, chiraux ; un mélange racémique s'obtient en mélangeant les deux énantiomères en quantités de matière égales.

COMPRENDRE
Chiralité, carbone asymétrique, énantiomères et représentation de Cram ne figurent plus au programme actuel de la spécialité de Terminale.

MÉTHODE
En représentation de Cram : deux liaisons dans le plan (traits simples), une vers l'avant (triangle plein), une vers l'arrière (triangle hachuré). Pour l'énantiomère, dessiner l'image dans un miroir ou échanger deux groupes.



1.4 · Les deux énantiomères du propane-1,2-diol, images l'un de l'autre dans un miroir plan

1.5 Déterminer le nombre de signaux du spectre de RMN du proton de cette molécule et la multiplicité de chacun, en admettant que les protons des groupes –OH donnent le même signal et ne se couplent pas.

Dans $HO-CH_2-CH(OH)-CH_3$, on distingue quatre groupes de protons équivalents : (a) les 2 H des groupes $-OH$; (b) les 2 H de CH_2 ; (c) le H de CH ; (d) les 3 H de CH_3.

Règle des $(n+1)$-uplets, n étant le nombre de protons voisins non équivalents :

- (a) : pas de couplage (admis), **singulet** ;
- (b) : 1 voisin, le H de CH, **doublet** ;
- (c) : $2+3=5$ voisins, **sextuplet** ;
- (d) : 1 voisin, le H de CH, **doublet**.

4 signaux : un singulet, deux doublets et un sextuplet.

PIÈGE
La multiplicité d'un signal dépend du nombre de protons voisins, pas du nombre de protons du groupe lui-même : les trois H de CH_3 donnent ici un doublet, pas un triplet.

COMPRENDRE
La spectroscopie de RMN ne figure plus au programme actuel de la spécialité de Terminale.

2.1 Quelle propriété les transformations chimiques de la méthode de Kjeldahl doivent-elles toutes avoir pour doser l'intégralité de l'azote de l'échantillon ?

Tout l'azote de la matière organique doit passer sous forme NH_4^+, puis NH_3, puis réagir avec l'acide lors du titrage.

Chaque transformation doit être **totale** (le réactif limitant est entièrement consommé).

COMPRENDRE
Les excès d'acide sulfurique puis de soude garantissent que l'espèce azotée est bien le réactif limitant à chaque étape. Le titrage exige en plus une réaction rapide et unique.

2.2 Justifier que NH_4^+ et NH_3 forment un couple acide-base ; préciser la forme acide et la forme basique.

Les deux espèces se déduisent l'une de l'autre par transfert d'un ion hydrogène H^+ :

$$NH_4^+ = NH_3 + H^+$$

Un acide est une espèce capable de céder un ion H^+ ; une base est capable d'en capter un.

NH_4^+ est la forme acide, NH_3 la forme basique : couple NH_4^+ / NH_3.

2.3 Lors de la distillation, pourquoi un pH égal à 8 pourrait-il ne pas convenir ?

Données utiles $\mathrm{p}K_a(\mathrm{NH_4^+} / \mathrm{NH_3}) = 9{,}2$

À $\mathrm{pH} = 8$, on a $\mathrm{pH} < \mathrm{p}K_a$: la forme acide $\mathrm{NH_4^+}$ prédomine.

Or seul l'ammoniac $\mathrm{NH_3}$ est entraîné par la vapeur d'eau, puis titré. Une grande partie de l'azote resterait dans le ballon sous forme d'ions ammonium.

À pH 8, l'azote ne serait pas dosé en totalité : le résultat serait sous-estimé. À pH 12, $\mathrm{NH_3}$ est ultra-majoritaire.

MÉTHODE
Tracer le diagramme de prédominance sur un axe de pH : acide à gauche de $\mathrm{p}K_a$, base à droite. Au-delà de $\mathrm{p}K_a + 2$, la forme acide est négligeable.

2.4.1 Quelle est l'espèce majoritaire dans le bécher au début du titrage ? À la fin du titrage ?

Données utiles $\mathrm{p}K_a(\mathrm{NH_4^+} / \mathrm{NH_3}) = 9{,}2$; graphe : $\mathrm{pH} \approx 10{,}6$ pour $V = 0$ et $\mathrm{pH} \approx 2$ pour $V = 23$ mL

Au début, $\mathrm{pH} \approx 10{,}6 > \mathrm{p}K_a$: la base $\mathrm{NH_3}$ prédomine.

À la fin, $\mathrm{pH} \approx 2 < \mathrm{p}K_a$: l'acide $\mathrm{NH_4^+}$ prédomine.

Début : $\mathrm{NH_3}$; fin : $\mathrm{NH_4^+}$.

2.4.2 En déduire l'équation de la réaction support du titrage.

Au cours du titrage, $\mathrm{NH_3}$ est transformé en $\mathrm{NH_4^+}$: la base $\mathrm{NH_3}$ capte l'ion $\mathrm{H^+}$ cédé par l'acide $\mathrm{H_3O^+}$ de la solution titrante.

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

PIÈGE
Les ions chlorure $\mathrm{Cl^-}$ sont spectateurs : ils n'apparaissent pas dans l'équation. Une flèche simple, car la réaction de titrage est totale.

2.4.3 Citer un indicateur coloré à utiliser dans la méthode de Kjeldahl. Justifier.

Données utiles zones de virage du tableau du sujet

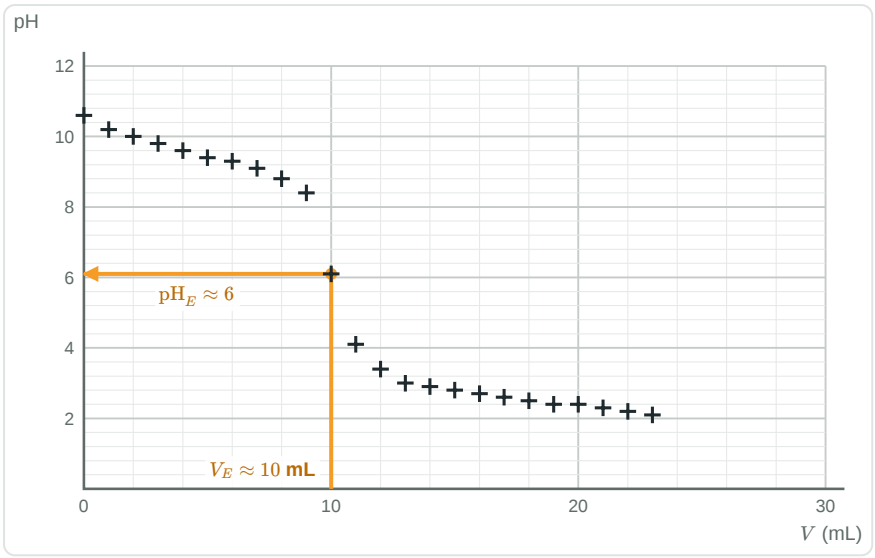
Sur le graphe, le saut de pH se situe vers $V = 10$ mL, entre $\mathrm{pH} \approx 8$ et $\mathrm{pH} \approx 4$; le pH à l'équivalence vaut environ 6.

Un indicateur convient si sa zone de virage est située dans le saut de pH et contient (ou encadre de près) le pH à l'équivalence. La zone du rouge de méthyle, 4,8 – 6,0, remplit cette condition.

Rouge de méthyle : la solution passe du jaune au rouge à l'équivalence.

PIÈGE
Le milieu passe de basique à acide : l'indicateur vire donc de sa couleur basique vers sa couleur acide. Vérifier les colonnes du tableau avant d'annoncer le changement de teinte.

COMPRENDRE
Le bleu de bromothymol (6,0 – 7,6) vire aussi dans le saut et serait accepté. La phénolphtaléine virerait bien avant l'équivalence, l'orange de méthyle après.



2.4.3 · Courbe de titrage du sujet, avec la lecture du point d'équivalence

2.5 L'eau résiduaire est-elle conforme aux normes européennes en ce qui concerne l'azote total Kjeldahl ?

Données utiles $V_{ech} = 20{,}0$ mL ; $V_E = 10{,}3$ mL ; $C_{ac} = 2{,}0 \times 10^{-3}$ mol · L^{-1} ; $M(\mathrm{N}) = 14$ g · mol^{-1} ; norme : moins de 20 mg · L^{-1} d'azote

À l'équivalence, l'acide versé et l'ammoniac titré sont en proportions stœchiométriques (équation de la Q2.4.2) : $n(\mathrm{NH_3}) = C_{ac}\,V_E$.

$$n(\mathrm{NH_3}) = 2{,}0 \times 10^{-3} \times 10{,}3 \times 10^{-3} = 2{,}06 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

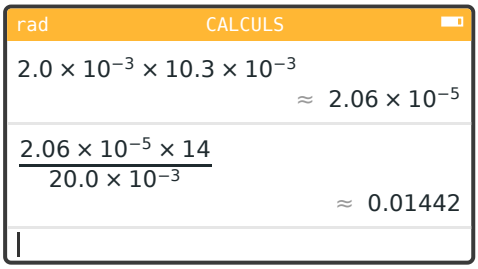
Les transformations étant totales, chaque atome d'azote de l'échantillon a donné une molécule $\mathrm{NH_3}$: $n(\mathrm{N}) = n(\mathrm{NH_3})$.

Masse d'azote par litre d'eau :

$$t = \frac{n(\mathrm{N})\,M(\mathrm{N})}{V_{ech}} = \frac{2{,}06 \times 10^{-5} \times 14}{20{,}0 \times 10^{-3}} = 1{,}4 \times 10^{-2} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

$t = 14$ mg · L^{-1} < 20 mg · L^{-1} : l'eau est conforme à la norme pour l'azote total Kjeldahl, la phyto-épuration est efficace.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Diviser par V_E au lieu de V_{ech} : l'azote dosé provient des 20,0 mL d'eau prélevés. Penser aussi à convertir les millilitres en litres et les grammes en milligrammes.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme C_{ac} et $M(\mathrm{N})$, les données les moins précises. On garde $2{,}06 \times 10^{-5}$ mol dans le calcul intermédiaire pour ne pas cumuler les arrondis.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer la démarche (quantité titrée, puis masse d'azote, puis masse par litre), calculer, et terminer par une comparaison explicite avec la norme.

Thermographie infrarouge

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

1.1 Citer une longueur d'onde typique du domaine infrarouge, puis déterminer la nature de la transition d'énergie mise en jeu dans ce domaine.

Données utiles $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1} ; 1 eV $= 1{,}6 \times 10^{-19}$ J ; bande spectrale de la thermographie : 2 à 15 µm

Longueur d'onde typique de l'infrarouge, prise dans la bande de travail de la caméra : $\lambda = 10\ \mu\text{m} = 10 \times 10^{-6}$ m.

Énergie du photon correspondant : $E = h\nu = \dfrac{h\,c}{\lambda}$

$$E = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{10 \times 10^{-6}} = 2{,}0 \times 10^{-20}\ \text{J}$$

En électronvolts : $E = \dfrac{1{,}989 \times 10^{-20}}{1{,}6 \times 10^{-19}} = 0{,}12\ \text{eV}$.

Cette énergie est comprise entre $0{,}003$ eV et $1{,}5$ eV.

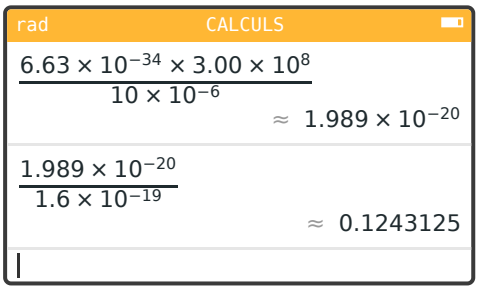
$E = 0{,}12$ eV : transition entre niveaux d'énergie **vibratoires**.

PIÈGE
Laisser λ en micromètres dans la formule, ou comparer au tableau une énergie restée en joules : le tableau est en eV.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la donnée $1\ \text{eV} = 1{,}6 \times 10^{-19}$ J. Toute la bande 2 à 15 µm donne des énergies de 0,083 à 0,62 eV : la conclusion ne dépend pas de la valeur choisie.

MÉTHODE
Pour convertir, garder la valeur non arrondie de l'énergie en joules, puis diviser par $1{,}6 \times 10^{-19}$.

À LA CALCULATRICE



1.2 Citer la propriété du laser qui permet de l'utiliser comme pointeur indiquant exactement l'objet visé par la caméra.

Le faisceau laser est très peu divergent : il reste fin sur une grande distance et ne forme qu'une petite tache sur l'objet visé.

Propriété utilisée : la **directivité** du faisceau laser.

PIÈGE
Citer la monochromaticité ou la concentration de l'énergie : ce sont bien des propriétés du laser, mais elles n'expliquent pas la précision du pointage.

COMPRENDRE
Les propriétés du laser figuraient au programme de Terminale S. Elles ne sont plus exigibles dans le programme actuel de spécialité.

1.3 Sur l'image infrarouge du premier document, quelle est la zone la plus froide de la maison ?

D'après le document, les parties les plus claires sont celles où les pertes d'énergie sont maximales : vues de l'extérieur, ce sont les surfaces les plus chaudes. La zone la plus froide est donc la plus sombre de l'image.

La zone la plus froide est la **toiture** (en dehors des fenêtres de toit et de la sortie de ventilation, qui sont claires).

COMPRENDRE
Une surface extérieure froide est le signe d'une bonne isolation : peu d'énergie traverse la paroi, donc sa face externe rayonne peu dans l'infrarouge.

1.4 Combien de nuances de gris peut-on distinguer en codage RVB 24 bits ? Justifier.

Données utiles n bits permettent de coder 2^n niveaux ; 1 octet = 8 bits

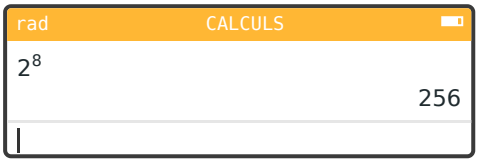
Chaque valeur (rouge, vert ou bleu) est codée sur un octet, soit 8 bits : elle peut prendre $2^8 = 256$ niveaux.

Un gris s'obtient en donnant la même valeur aux trois composantes : il est donc entièrement fixé par une seule valeur codée sur 8 bits.

On peut distinguer $2^8 = 256$ nuances de gris.

PIÈGE
Répondre 2^{24}, soit environ 16,8 millions : c'est le nombre total de couleurs, obtenu quand les trois valeurs sont choisies indépendamment.

À LA CALCULATRICE



1.5 Un pixel noir est codé R(0)V(0)B(0). Comment un pixel blanc serait-il codé ?

Le blanc s'obtient par synthèse additive, avec les trois composantes à leur valeur maximale. Les 256 niveaux d'un octet vont de 0 à 255.

Pixel blanc : R(255)V(255)B(255).

PIÈGE
Écrire 256 : les 256 niveaux sont numérotés à partir de 0, la valeur maximale est donc 255.

1.6 Quelle est la taille, en octets, de l'image codée en niveaux de gris ?

Données utiles définition : $640 \times 480 = 307\,200$ pixels ; trois valeurs par pixel, chacune sur un octet

Dans le codage RVB 24 bits du document, un gris est décrit par trois valeurs identiques, chacune sur un octet : chaque pixel occupe 3 octets.

Taille de l'image = nombre de pixels $\times$ taille d'un pixel

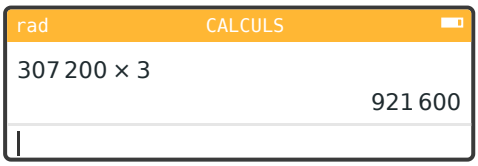
$$\text{Taille} = 307\,200 \times 3 = 921\,600 \text{ octets}$$

Taille de l'image : $9{,}216 \times 10^5$ octets, soit environ $0{,}92$ Mo.

PIÈGE
Multiplier par 24 donne une taille en bits, pas en octets.

COMPRENDRE
Stocker trois fois la même valeur est redondant : un format prévu pour les niveaux de gris n'utilise qu'un octet par pixel, soit $307\,200$ octets. Le sujet reste ici dans le codage RVB 24 bits.

À LA CALCULATRICE



1.7 Choisir, parmi les tableaux a, b et c, celui qui correspond au codage de la zone entourée d'un cadre blanc sur l'image infrarouge. Justifier.

L'image est en nuances de gris : les trois valeurs R, V, B d'un même pixel sont identiques. Le tableau a ne respecte pas cette condition (par exemple 10, 0, 100) : il est éliminé.

Plus un pixel est clair, plus sa valeur est élevée (0 pour le noir, 255 pour le blanc). Dans la zone agrandie :

- la première ligne et la colonne de droite sont gris foncé : valeur faible ;
- les trois premiers pixels de la deuxième ligne, puis le troisième pixel des lignes 3 et 4, sont les plus clairs : valeur la plus élevée ;
- les deux premiers pixels des lignes 3 et 4 sont d'un gris intermédiaire.

Le tableau b attribue la valeur 10, presque noire, aux pixels les plus clairs : il est éliminé. Le tableau c donne 10 aux pixels foncés, 215 aux plus clairs et 82 aux intermédiaires.

Le codage de la zone encadrée est le **tableau c**.

MÉTHODE
Procéder par élimination : d'abord le critère gris (R = V = B), puis l'ordre des valeurs comparé à l'ordre des luminosités, du pixel le plus sombre au plus clair.

Tableau c : une valeur par pixel (R = V = B)

10	10	10	10
215	215	215	10
82	82	215	10
82	82	215	10

1.7 · Zone encadrée reconstituée à partir du tableau c

2 Un film en noir et blanc de 15 min, à 24 images par seconde, peut-il être enregistré sur un disque CD dans un format compressé de taux de compression 95 % ?

Données utiles capacité du CD : 750 Mo ; taille d'une image : $9{,}216 \times 10^5$ octets (1.6) ; $\tau = 1 - \dfrac{\text{taille du fichier compressé}}{\text{taille du fichier initial}}$; $\tau = 0{,}95$

Nombre d'images du film : $N = 24 \times 15 \times 60 = 21\,600$ images.

Le film « en noir et blanc » est un film en nuances de gris : chaque image occupe $9{,}216 \times 10^5$ octets (1.6).

Taille du fichier initial :

$$T_i = 21\,600 \times 9{,}216 \times 10^5 = 1{,}99 \times 10^{10} \text{ octets} = 1{,}99 \times 10^4 \text{ Mo}$$

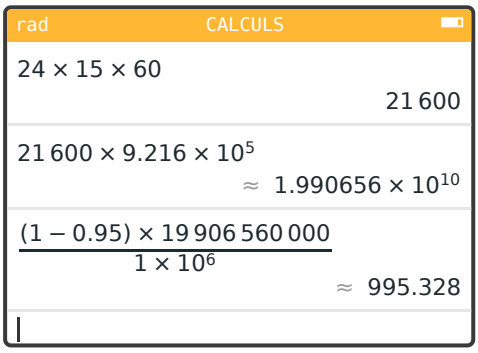
D'après la définition de τ : $T_c = (1 - \tau)\, T_i$

$$T_c = (1 - 0{,}95) \times 1{,}99 \times 10^4 = 995 \text{ Mo}$$

Or $995 \text{ Mo} > 750 \text{ Mo}$.

$T_c = 995$ Mo : le film compressé ne tient **pas** sur un disque CD.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE

Multiplier par $\tau = 0{,}95$ au lieu de $1 - \tau = 0{,}05$: un taux de 95 % signifie que le fichier compressé ne garde que 5 % de la taille initiale.

COMPRENDRE

La conclusion dépend du codage retenu. Avec un seul octet par pixel (voir 1.6), le film compressé occuperait 332 Mo et tiendrait sur le CD. Il faut donc annoncer clairement l'hypothèse choisie.

MÉTHODE

Enchaîner : nombre d'images, taille d'une image, taille totale, conversion ($1 \text{ Mo} = 10^6$ octets), compression, puis comparaison chiffrée à la capacité du support.

Spécialité : Autonomie électrique d'une maison passive

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

Q Question préalable. Évaluer la puissance de crête d'un panneau photovoltaïque de surface $12\ \text{m}^2$, puis déterminer son rendement lorsque la puissance lumineuse reçue par unité de surface est de $600\ \text{W/m}^2$.

Données utiles $P = U \times I$; caractéristiques intensité-tension du panneau ; $S_p = 12\ \text{m}^2$; puissance lumineuse surfacique $p = 600\ \text{W/m}^2$

Puissance de crête. Sur la caractéristique tracée pour $600\ \text{W/m}^2$, le point de fonctionnement optimal a pour coordonnées, par lecture graphique :

$U_{\text{opt}} \approx 124\ \text{V}$ $\quad$ $I_{\text{opt}} \approx 7{,}8\ \text{A}$

La puissance de crête est la puissance électrique délivrée en ce point :

$$P_c = U_{\text{opt}} \times I_{\text{opt}} = 124 \times 7{,}8 = 9{,}7 \times 10^2\ \text{W}$$

Rendement. Puissance lumineuse reçue par tout le panneau : $P_{\text{lum}} = p \times S_p = 600 \times 12 = 7{,}2 \times 10^3\ \text{W}$.

$$\eta = \frac{P_c}{P_{\text{lum}}} = \frac{9{,}7 \times 10^2}{7{,}2 \times 10^3} = 0{,}13$$

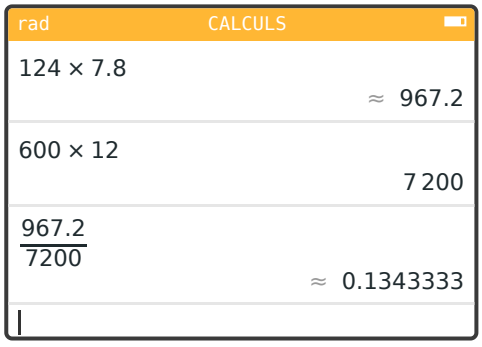
$P_c \approx 9{,}7 \times 10^2\ \text{W}$ et $\eta \approx 0{,}13$, soit $13\ \%$.

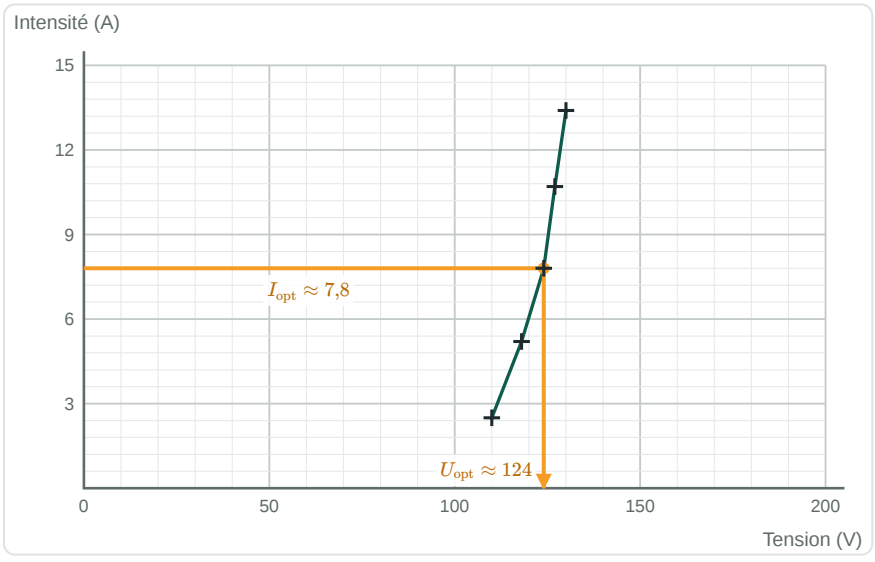
PIÈGE
Diviser la puissance de crête par 600 : c'est une puissance par mètre carré. Le panneau mesure $12\ \text{m}^2$, il reçoit donc 600×12 watts.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement : I_{opt} est lue sur le graphique à environ $0{,}2$ A près. Une lecture légèrement différente (123 V, 7,9 A) conduit au même rendement de $13\ \%$.

MÉTHODE
Un rendement est toujours le rapport de la puissance utile sur la puissance reçue, toutes deux dans la même unité. Il est sans unité et inférieur à 1.

À LA CALCULATRICE





Q · Points de fonctionnement optimal du panneau (un par éclairement) et lecture pour 600 W/m²

P Problème. Une maison passive en construction à Brest a une toiture de $100\ \text{m}^2$ et des besoins en énergie évalués à 8400 kWh par an. L'installation de panneaux photovoltaïques sur le toit permettrait-elle de couvrir ces besoins ?

Données utiles carte : ensoleillement annuel à Brest $E = 1310\ \text{kWh/m}^2$; durée d'ensoleillement à Brest $\Delta t = 1530$ h ; panneau de $S_p = 12\ \text{m}^2$; besoins $E_b = 8400$ kWh par an

1. Puissance lumineuse reçue à Brest. La carte place Brest sur la ligne $1310\ \text{kWh/m}^2$: c'est l'énergie lumineuse reçue en un an par mètre carré. Elle est reçue pendant $\Delta t = 1530$ h de soleil, d'où la puissance surfacique moyenne :

$$p = \frac{E}{\Delta t} = \frac{1310}{1530} = 0{,}856\ \text{kW/m}^2 = 856\ \text{W/m}^2$$

PIÈGE
Utiliser $1390\ \text{kWh/m}^2$: c'est la moyenne française. Pour Brest, la valeur se lit sur la carte (1310). Autre erreur : compter les $100\ \text{m}^2$ de toiture entiers, alors qu'un pan orienté au nord produit très peu.

2. Rendement des panneaux dans ces conditions. La caractéristique la plus proche est celle de $800\ \text{W/m}^2$. On y lit $U_{\text{opt}} \approx 127\ \text{V}$ et $I_{\text{opt}} \approx 10{,}7\ \text{A}$, et ce panneau reçoit alors $P_{\text{lum}} = 800 \times 12\ \text{W}$:

$$P_c = 127 \times 10{,}7 = 1{,}36 \times 10^3\ \text{W} \qquad \eta = \frac{P_c}{P_{\text{lum}}} = \frac{1{,}36 \times 10^3}{800 \times 12} = 0{,}14$$

Le rendement est voisin de celui de la question préalable : on retient $\eta \approx 0{,}14$.

3. Énergie électrique produite par mètre carré de panneau. Le rendement s'applique aussi aux énergies :

$$E_{\text{él}} = \eta \times E = 0{,}14 \times 1310 = 183\ \text{kWh/m}^2\ \text{par an}$$

4. Surface de panneaux nécessaire.

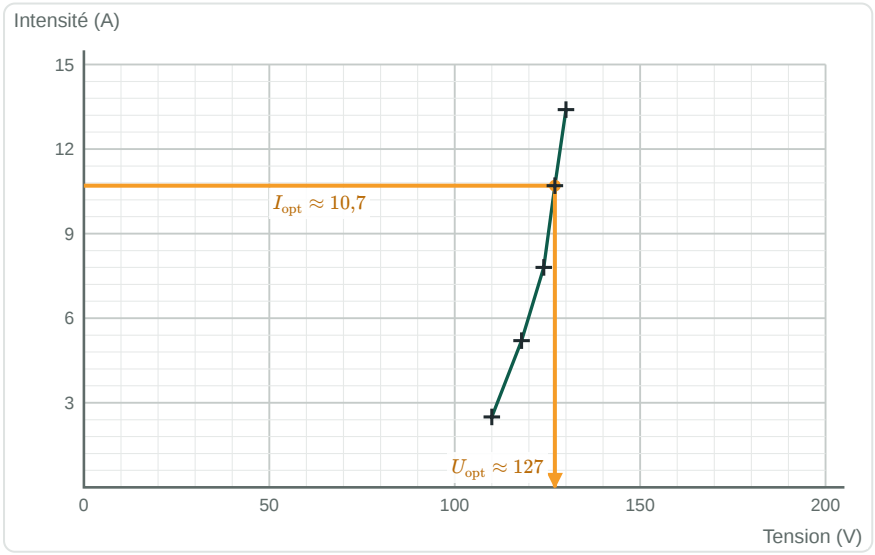
$$S = \frac{E_b}{E_{\text{él}}} = \frac{8400}{183} = 46\ \text{m}^2$$

Il faut donc 4 panneaux de $12\ \text{m}^2$, soit $48\ \text{m}^2$, qui produiraient $48 \times 183 = 8{,}8 \times 10^3$ kWh par an.

5. Comparaison avec la toiture. Les panneaux doivent être orientés au sud. Hypothèse : le toit a deux pans, dont un seul est tourné vers le sud, soit environ $50\ \text{m}^2$ utilisables. Les $48\ \text{m}^2$ nécessaires y tiennent, de justesse.

Regard critique. La marge est faible : environ $5\ \%$ au-dessus des besoins, alors que le rendement n'est connu qu'à deux chiffres significatifs (avec $\eta = 0{,}13$, la production tombe à $8{,}2 \times 10^3$ kWh). Le calcul suppose en outre une inclinaison idéale, des panneaux toujours à leur point optimal et un onduleur sans pertes. Enfin, la production est forte en été et faible en hiver : le bilan est annuel, la maison doit rester reliée au réseau ou stocker l'énergie.

Oui, en couvrant le pan sud du toit : 4 panneaux ($48\ \text{m}^2$) produisent environ $8{,}8 \times 10^3$ kWh par an pour 8400 kWh de besoins, mais sans réelle marge.



P · Lecture du point de fonctionnement optimal pour 800 W/m²

COMPRENDRE
Une énergie est une puissance multipliée par une durée : des kWh divisés par des heures donnent des kW. Le rendement, rapport de deux puissances sur la même durée, est aussi le rapport des deux énergies.

MÉTHODE
Résolution de problème : annoncer chaque étape par un titre, écrire les hypothèses (ici l'orientation du toit), conclure par une phrase qui répond à la question, puis critiquer le résultat.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{1310}{1530} \approx 0.8562092$

$127 \times 10.7 \approx 1358.9$

$\frac{1358.9}{800 \times 12} \approx 0.1415521$

$0.14 \times 1310 \approx 183.4$

$\frac{8400}{183} \approx 45.90164$

$48 \times 183 = 8\,784$

$48 \times 0.13 \times 1310 \approx 8174.4$