Corrigé complet — Bac S 2015 Métropole (ancien programme)

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

Ex 1	**Les trois records de Félix Baumgartner** Poussée d'Archimède · Première loi de Newton · Accélération et chute libre · Énergie mécanique · Lecture graphique	6,5 pts	1 h	10 questions	p. 2
Ex 2	**De la composition d'un soda à sa consommation** Formule topologique et doublets non liants · Synthèse organique et chauffage à reflux · Réactif limitant · Diagramme de prédominance · Titrage pH-métrique	8,5 pts	1 h 20	12 questions	p. 7
Ex 3	**Micro-texturation de surface par un laser femtoseconde** Longueur d'onde et fréquence · Domaines infrarouge et visible · Énergie et puissance · Énergie d'un photon · Lecture graphique · Résolution de problème	5 pts	50 min	5 questions	p. 13
Ex 4	**Spécialité : Un aspect du réchauffement climatique** Dilatation thermique de l'eau · Masse volumique · Conservation de la masse · Lecture graphique · Critique d'un modèle · Résolution de problème	5 pts	50 min	1 questions	p. 16

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

Les trois records de Félix Baumgartner

Bac S 2015 Métropole (ancien programme) · Exercice 1 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h**

1.1 Indiquer la force responsable de l'ascension du ballon.

Le ballon est entièrement plongé dans l'air : celui-ci exerce sur lui une force verticale dirigée vers le haut.

La force responsable de l'ascension est la **poussée d'Archimède** $\overrightarrow{F_A}$ exercée par l'air.

1.2 Faire le bilan des forces qui s'exercent sur le système {ballon ; équipage} juste après le décollage, frottements négligés. L'illustrer par un schéma cohérent, sans souci d'échelle.

Système {ballon ; équipage}, étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Deux forces s'exercent sur lui :

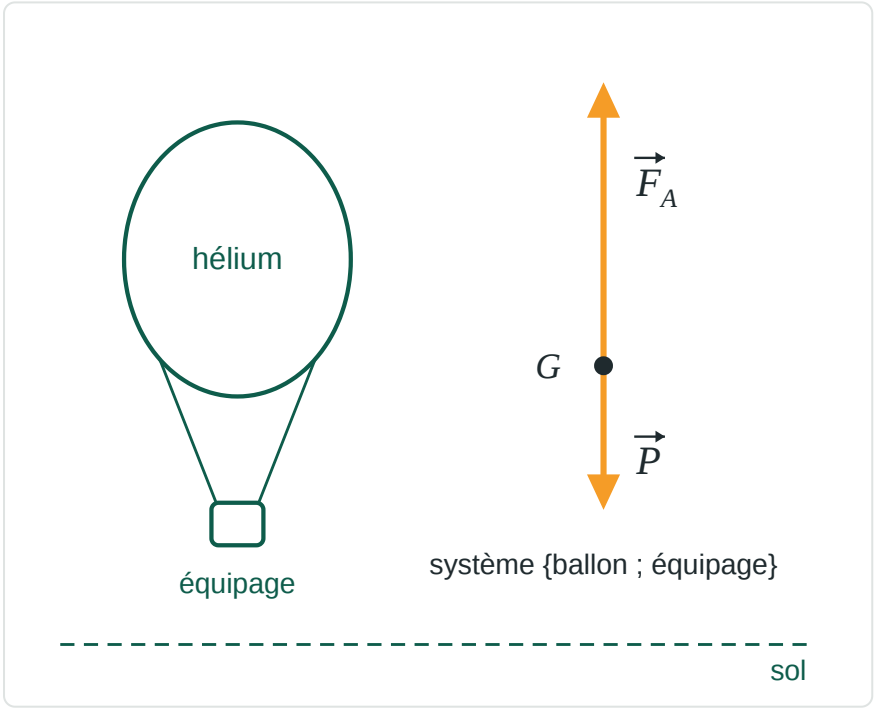
- son poids $\overrightarrow{P}$: vertical, vers le bas, de valeur $P = m_{\text{sys}}\, g$;
- la poussée d'Archimède $\overrightarrow{F_A}$: verticale, vers le haut, de valeur $F_A = \rho_{\text{air}}\, V\, g$.

Le ballon vient de quitter le sol et prend de la vitesse vers le haut : la somme des forces est dirigée vers le haut.

Sur le schéma, la flèche de $\overrightarrow{F_A}$ est plus longue que celle de $\overrightarrow{P}$: $F_A > P$.

PIÈGE

Dessiner deux flèches de même longueur : le système serait alors immobile ou en mouvement uniforme. « Cohérent avec la situation physique » impose $F_A > P$.



1.2 · Juste après le décollage : la poussée d'Archimède l'emporte sur le poids

1.3 Vérifier par un calcul que le ballon peut décoller.

Données utiles $m_{\text{sys}} \approx 3\ \text{t} = 3 \times 10^3\ \text{kg}$; $V = 5100\ \text{m}^3$; $\rho_{\text{air}} = 1{,}22\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ au sol ; $g = 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

Le ballon décolle si la poussée d'Archimède est supérieure au poids du système.

Poids : $P = m_{\text{sys}}\, g = 3 \times 10^3 \times 9{,}8 \approx 3 \times 10^4\ \text{N}$

Poussée d'Archimède au sol, le volume de l'équipage étant négligé :

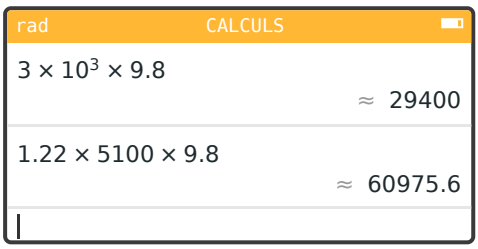
$$F_A = \rho_{\text{air}}\, V\, g = 1{,}22 \times 5100 \times 9{,}8 = 6{,}1 \times 10^4\ \text{N}$$

$F_A \approx 6{,}1 \times 10^4\ \text{N} > P \approx 3 \times 10^4\ \text{N}$: le ballon peut décoller.

PIÈGE
Prendre la masse volumique de la stratosphère ($0{,}015\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) : au décollage, le ballon est dans l'air du sol.

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : g en a deux, donc F_A aussi ; « environ 3 tonnes » n'en donne qu'un à P. On trouve $F_A \approx 2P$: c'est le « double du nécessaire » annoncé par le texte.

À LA CALCULATRICE



1.4 Après quelques minutes, le mouvement du système est rectiligne uniforme. Déterminer la valeur de la force de frottement de l'air.

Données utiles $F_A = 6{,}1 \times 10^4\ \text{N}$ et $P \approx 2{,}9 \times 10^4\ \text{N}$ (1.3)

Le mouvement est rectiligne uniforme dans un référentiel galiléen : d'après la première loi de Newton (principe d'inertie), les forces se compensent.

$$\vec{P} + \vec{F_A} + \vec{f} = \vec{0}$$

Le ballon monte, donc la force de frottement $\vec{f}$ est dirigée vers le bas. En projetant sur un axe vertical orienté vers le haut : $-P + F_A - f = 0$, soit

$$f = F_A - P$$

D'après le texte, la poussée d'Archimède reste constante pendant l'ascension :

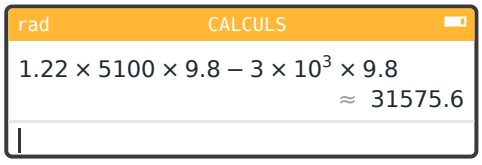
$f = 6{,}1 \times 10^4 - 2{,}9 \times 10^4 = 3{,}2 \times 10^4\ \text{N}$

$f \approx 3 \times 10^4\ \text{N}$

PIÈGE
Orienter $\vec{f}$ vers le haut : un frottement s'oppose toujours au mouvement, il est donc vers le bas pendant la montée.

COMPRENDRE
La masse n'étant connue qu'à un chiffre, le résultat n'en mérite pas plus. La force de frottement est ici du même ordre que le poids.

À LA CALCULATRICE



2.1 Utiliser la courbe 1 pour déterminer la valeur de l'accélération de Félix Baumgartner si $t < 20$ s. Commenter le résultat.

Le mouvement est vertical : la valeur de l'accélération est $a = \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$, coefficient directeur de la courbe $v(t)$.

Pour $t < 20$ s, la courbe 1 est une droite qui passe par l'origine et par le point $(20\ \text{s}\ ;\ 195\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1})$:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{195 - 0}{20 - 0} = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

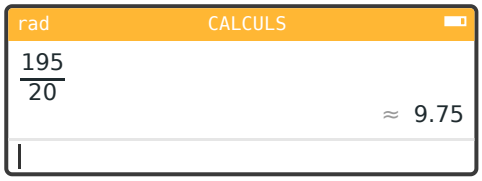
On retrouve $a \approx g$: au début du saut, le système n'est soumis qu'à son poids, c'est une chute libre. À cette altitude l'air est très peu dense et la vitesse encore faible : les frottements sont négligeables.

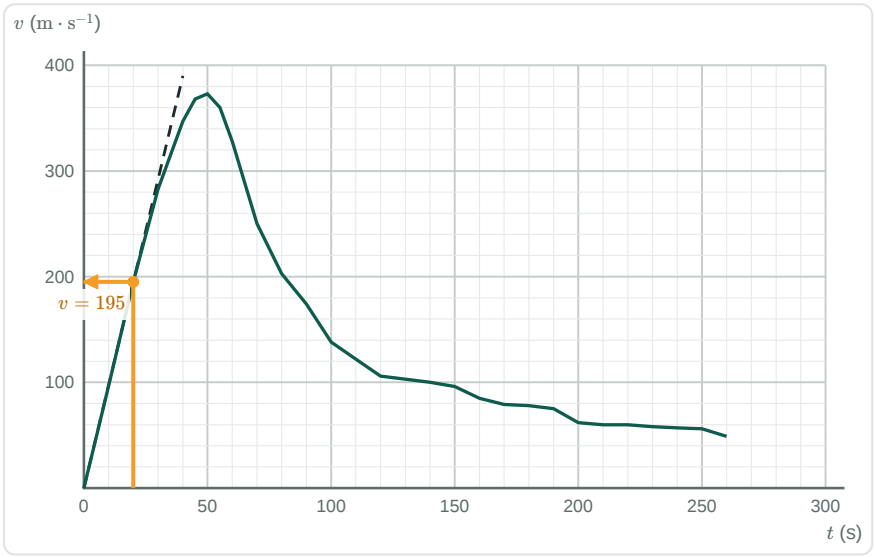
$a \approx 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2} = g$: chute libre pendant les 20 premières secondes.

COMPRENDRE
Deuxième loi de Newton avec le poids seul : $m\vec{a} = m\vec{g}$, donc $\vec{a} = \vec{g}$. Le vecteur accélération est vers le bas ; la question demande sa valeur.

MÉTHODE
Coefficient directeur : choisir deux points de la droite éloignés l'un de l'autre et les nommer avec leurs unités. Ici l'origine et le point d'abscisse 20 s.

À LA CALCULATRICE





2.1 · Courbe 1 : pour $t < 20$ s, une droite passant par l'origine et par le point (20 s ; 195 m · s^{-1})

2.2 Lors de son saut, Félix Baumgartner a-t-il atteint une vitesse supersonique ? Justifier.

Données utiles $v_{\text{max}} = 1341{,}9\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$; célérité du son entre 10 et 40 km : de 297 à 318 m · s^{-1}

Vitesse maximale en unité SI : $v_{\text{max}} = \dfrac{1341{,}9}{3{,}6} = 372{,}75\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

La courbe 1 confirme ce maximum, voisin de $375\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ à $t = 50$ s.

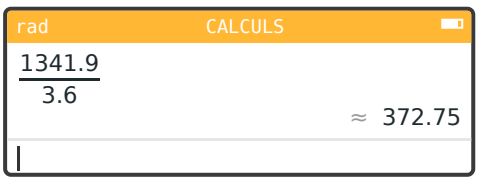
Entre 10 et 40 km d'altitude, la célérité du son ne dépasse pas $318\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

$v_{\text{max}} = 372{,}75\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1} > 318\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$: oui, la vitesse a été supersonique.

PIÈGE
Comparer 1341,9 à 318 sans convertir. Les deux vitesses doivent être dans la même unité : on divise par 3,6 pour passer des km · h^{-1} aux m · s^{-1}.

COMPRENDRE
Comparer à la plus grande célérité du tableau suffit : la conclusion vaut alors à toute altitude, sans avoir à savoir où se trouve le sauteur.

À LA CALCULATRICE



2.3 Calculer la variation d'énergie mécanique ΔE_m entre le moment où Félix Baumgartner saute et celui où il atteint sa vitesse maximale. Interpréter le résultat.

Données utiles $m = 120$ kg ; $g = 9{,}8$ m · s^{-2} ; $z_i = 39\,045$ m ; $v_f = 372{,}75$ m · s^{-1} (2.2)

Énergie mécanique : $E_m = E_c + E_{pp} = \frac{1}{2} m v^2 + m g z$, avec $E_{pp} = 0$ au sol.

- État initial : $v_i = 0$ et $z_i = 39\,045$ m.
- État final : la vitesse est maximale à $t = 50$ s (courbe 1) ; la courbe 2 donne alors $z_f \approx 28$ km $= 28 \times 10^3$ m.

$$\Delta E_m = E_{m,f} - E_{m,i} = \frac{1}{2} m v_f^2 + m g (z_f - z_i)$$

$$\Delta E_m = \frac{1}{2} \times 120 \times 372{,}75^2 + 120 \times 9{,}8 \times (28 \times 10^3 - 39\,045)$$

$$\Delta E_m = 8{,}3 \times 10^6 - 1{,}30 \times 10^7 = -4{,}7 \times 10^6 \text{ J}$$

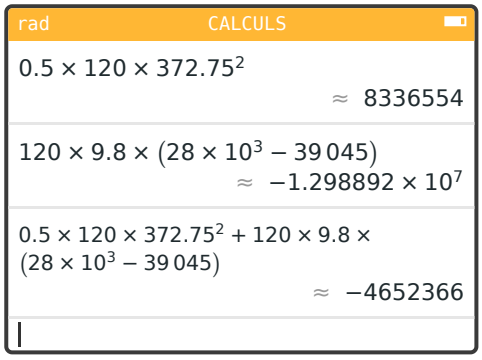
$\Delta E_m < 0$: l'énergie mécanique diminue. Elle ne se conserve pas car la force de frottement de l'air effectue un travail résistant ; l'énergie perdue est dissipée sous forme thermique.

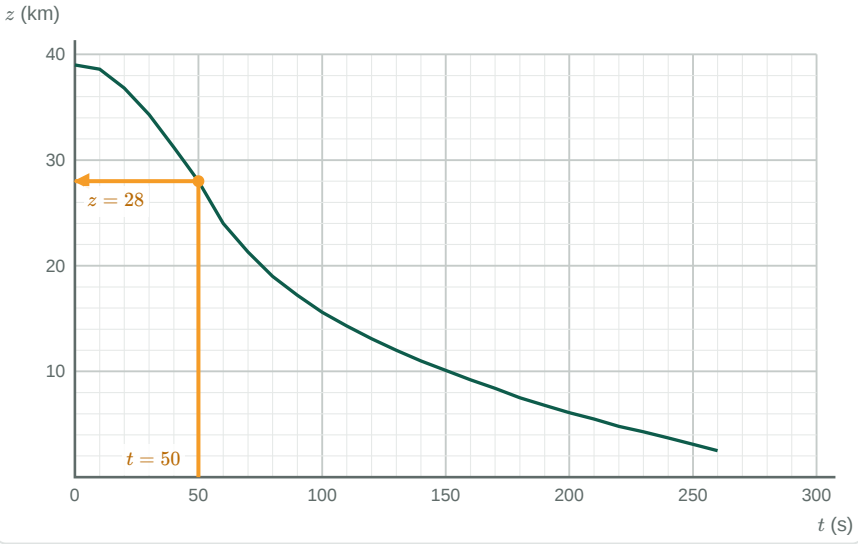
$\Delta E_m \approx -4{,}7 \times 10^6$ J : énergie dissipée par les frottements de l'air.

PIÈGE
Laisser z_f en kilomètres ou oublier le carré sur v_f. Attention aussi au sens : une variation se calcule « final moins initial ».

COMPRENDRE
L'énergie potentielle perdue vaut $1{,}3 \times 10^7$ J, l'énergie cinétique gagnée $8{,}3 \times 10^6$ J : l'écart est le travail des frottements. La lecture de z_f limite le résultat à deux chiffres.

À LA CALCULATRICE





2.3 · Courbe 2 : altitude à la date $t = 50$ s de la vitesse maximale

2.4 Affecter un des schémas A, B, C (poids $\vec{P}$ et force de frottement $\vec{f}$) à chacune des dates $t_1 = 40$ s, $t_2 = 50$ s et $t_3 = 60$ s.

On lit sur la courbe 1 le sens de variation de la vitesse, puis on applique la deuxième loi de Newton : $\vec{P} + \vec{f} = m\vec{a}$. Le mouvement se fait vers le bas.

- $t_1 = 40$ s : la vitesse augmente, $\vec{a}$ est vers le bas, donc $P > f$: schéma B.
- $t_2 = 50$ s : la vitesse est maximale, $\frac{dv}{dt} = 0$, donc $P = f$: schéma C.
- $t_3 = 60$ s : la vitesse diminue, $\vec{a}$ est vers le haut, donc $f > P$: schéma A.

t_1 : schéma B ; t_2 : schéma C ; t_3 : schéma A.

COMPRENDRE
Le poids ne change pas. La force de frottement augmente avec la vitesse et avec la densité de l'air : en descendant dans un air plus dense, elle finit par dépasser le poids et freine la chute.

MÉTHODE
Sommet d'une courbe $v(t)$: tangente horizontale, donc accélération nulle et forces qui se compensent à cet instant précis.

2.5 Déterminer l'altitude à laquelle Félix Baumgartner ouvre son parachute, puis la valeur de la vitesse du système entre l'ouverture et l'arrivée au sol, le mouvement étant supposé rectiligne uniforme.

Données utiles ouverture du parachute à 4 min 20 s ; durée totale du saut : 9 min 3 s

Ouverture du parachute : $t_o = 4 \times 60 + 20 = 260$ s. Sur la courbe 2, on lit $z(260\ \text{s}) \approx 2{,}5$ km.

Arrivée au sol : $t_s = 9 \times 60 + 3 = 543$ s. La distance $d = 2{,}5 \times 10^3$ m est parcourue à vitesse constante pendant $\Delta t = t_s - t_o$:

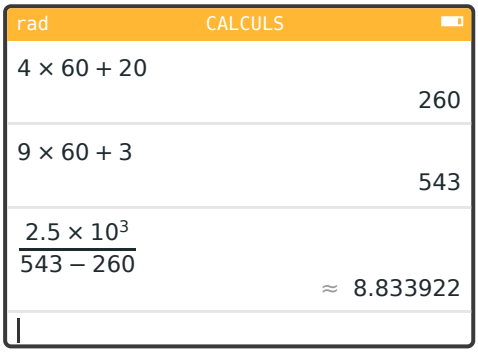
$$v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{2{,}5 \times 10^3}{543 - 260} = 8{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Ouverture à $z \approx 2{,}5$ km ; vitesse sous parachute $v \approx 8{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, soit environ $9\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

PIÈGE
Diviser par la durée totale du saut (543 s) : la phase sous parachute ne dure que $543 - 260 = 283$ s. Convertir aussi les kilomètres en mètres.

COMPRENDRE
L'altitude est lue sur un graphique gradué tous les 2 km : la vitesse n'est qu'un ordre de grandeur, deux chiffres au plus. Elle vaut environ $32\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



2.6 Pour acquérir la même vitesse à l'arrivée au sol, de quel étage d'un immeuble Félix Baumgartner aurait-il dû sauter ? Commenter.

Données utiles $v = 8{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (2.5) ; $g = 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

On modélise le saut depuis une hauteur h par une chute libre sans vitesse initiale : sur quelques mètres, les frottements sont négligeables et l'énergie mécanique se conserve.

- Départ : $v = 0$, altitude h, donc $E_m = m\,g\,h$.
- Arrivée au sol : $z = 0$, vitesse v, donc $E_m = \frac{1}{2}\,m\,v^2$.

$m\,g\,h = \frac{1}{2}\,m\,v^2$, d'où

$$h = \frac{v^2}{2\,g} = \frac{8{,}8^2}{2 \times 9{,}8} = 4{,}0\ \text{m}$$

Un étage mesure environ 3 m : cette hauteur correspond à une fenêtre du premier étage, au plus au deuxième.

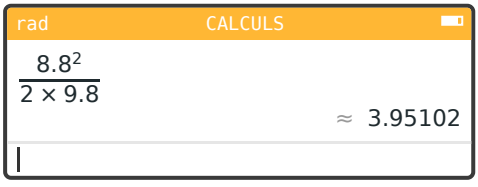
L'arrivée au sol sous parachute équivaut donc à un saut de 4 m : le choc reste rude, et l'atterrissage demande une technique d'amorti (jambes fléchies, roulade) pour éviter les blessures.

$h \approx 4$ m : un saut du premier ou du deuxième étage.

COMPRENDRE
La masse se simplifie : la hauteur ne dépend pas du sauteur. Avec la valeur non arrondie de v, on obtient $3{,}98$ m : même conclusion.

MÉTHODE
Relier une vitesse à une hauteur de chute sans frottement : conservation de l'énergie mécanique, $v^2 = 2\,g\,h$. Aucune durée n'est nécessaire.

À LA CALCULATRICE



De la composition d'un soda à sa consommation

Bac S 2015 Métropole (ancien programme) · Exercice 2 **8,5 points** **Durée conseillée 1 h 20**

1.1 Recopier et compléter la formule topologique de la molécule de caféine en faisant figurer les doublets non liants.

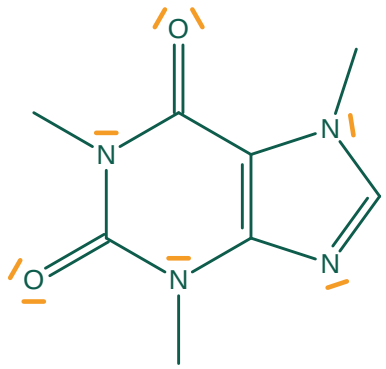
Données utiles $Z(\mathrm{N}) = 7$; $Z(\mathrm{O}) = 8$

Azote ($Z = 7$) : 5 électrons de valence. Chaque atome N de la molécule engage 3 électrons dans des liaisons ; il lui reste **1 doublet non liant**.

Oxygène ($Z = 8$) : 6 électrons de valence. Chaque atome O engage 2 électrons dans la double liaison $\mathrm{C{=}O}$; il lui reste **2 doublets non liants**.

4 atomes N portant chacun 1 doublet, 2 atomes O portant chacun 2 doublets : 8 doublets non liants à dessiner.

PIÈGE
Oublier le doublet de l'atome d'azote doublement lié du cycle à cinq atomes : il forme aussi trois liaisons (une simple, une double), donc il porte un doublet comme les trois autres.



doublet non liant

N : 1 doublet non liant
O : 2 doublets non liants

Total : $4 \times 1 + 2 \times 2 = 8$

1.1 · Formule topologique de la caféine complétée : les doublets non liants sont en orange

1.2 Déterminer la formule brute de la caféine.

Dans une formule topologique, chaque sommet et chaque extrémité de trait est un atome de carbone, qui porte assez d'atomes H pour former 4 liaisons.

- Carbone : 5 atomes dans les cycles et 3 groupes méthyle, soit 8 C.
- Hydrogène : $3 \times 3 = 9$ H dans les groupes $\mathrm{CH_3}$ et 1 H sur le carbone CH du cycle à cinq atomes, soit 10 H.
- 4 N et 2 O.

Vérification : $M = 8 \times 12{,}0 + 10 \times 1{,}0 + 4 \times 14{,}0 + 2 \times 16{,}0 = 194{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$, valeur de l'énoncé.

Formule brute de la caféine : $\mathrm{C_8H_{10}N_4O_2}$

MÉTHODE
Toujours contrôler une formule brute avec la masse molaire quand elle est donnée : un atome H oublié se voit tout de suite.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$8 \times 12.0 + 10 \times 1.0 + 4 \times 14.0 + 2 \times 16.0$

$\approx$ 194

1.3 À l'aide des données fournies, évaluer la concentration molaire approximative de la caféine dans le soda.

Données utiles 75 mg de caféine correspondent à environ deux canettes de 33 cL ; $M = 194{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Deux canettes représentent un volume $V = 2 \times 0{,}33 = 0{,}66$ L et contiennent une masse $m = 75\ \text{mg} = 75 \times 10^{-3}$ g de caféine.

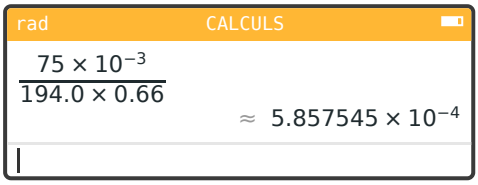
$$c = \frac{n}{V} = \frac{m}{M\,V} = \frac{75 \times 10^{-3}}{194{,}0 \times 0{,}66}$$

$c \approx 5{,}9 \times 10^{-4}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

PIÈGE
Les unités : 75 mg en grammes, 33 cL en litres, et le volume de DEUX canettes.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme 75 mg et 33 cL. La donnée dit « environ » : c'est un ordre de grandeur.

À LA CALCULATRICE



2.1 Dans l'opération 1, peut-on remplacer la solution aqueuse d'hydroxyde de sodium par des pastilles d'hydroxyde de sodium solide pour réaliser la synthèse ? Justifier.

D'après l'équation de l'étape (a), l'eau est un réactif, au même titre que le benzonitrile et l'ion hydroxyde. Dans le ballon, elle n'est apportée que par la solution aqueuse d'hydroxyde de sodium.

Avec des pastilles solides, il n'y aurait pas d'eau dans le milieu, et les ions HO^- ne seraient pas en solution.

Non : sans la solution aqueuse, il manque le réactif H_2O et la transformation (a) ne peut pas avoir lieu.

COMPRENDRE
Autre argument recevable : la soude solide est corrosive et sa dissolution dégage beaucoup d'énergie thermique ; une solution déjà préparée se manipule plus sûrement.

2.2 Quelles opérations correspondent à l'étape (a) de la synthèse de l'acide benzoïque ?

L'étape (a) est la réaction du benzonitrile avec l'eau et les ions hydroxyde : on introduit les réactifs (opération 1), puis on chauffe à reflux le temps que la réaction se fasse (opération 2).

L'opération 3 a lieu « une fois la réaction terminée » : on transvase et on refroidit le mélange qui contient l'ion benzoate. L'étape (b) commence à l'opération 4, avec l'apport des ions H_3O^+.

Étape (a) : opérations 1 et 2 ; l'opération 3 (refroidissement) fait la transition avec l'étape (b).

COMPRENDRE
Associer aussi l'opération 3 à l'étape (a) se défend, puisque l'acide n'est ajouté qu'à l'opération 4. L'essentiel est de justifier avec les réactifs présents.

2.3 Donner deux raisons qui justifient l'utilisation du chauffage à reflux.

- Chauffer : la température est un facteur cinétique ; à l'ébullition, la transformation est plus rapide.
- À reflux : les vapeurs se liquéfient dans le réfrigérant à eau et retombent dans le ballon ; on chauffe longtemps sans perdre de réactifs ni de produits.

Le chauffage à reflux accélère la réaction et évite les pertes de matière.

2.4 Donner les rôles de chacune des opérations 4, 5 et 6.

Données utiles solubilité de l'acide benzoïque : $1{,}7\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ à 0 °C ; ion benzoate : $650\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ à 25 °C

- Opération 4 : l'acide chlorhydrique apporte les ions H_3O^+ qui transforment l'ion benzoate en acide benzoïque (étape (b)). Très peu soluble dans l'eau froide, celui-ci précipite. L'excès d'acide garantit que tout l'ion benzoate réagit.
- Opération 5 : la filtration sous vide sépare les cristaux d'acide benzoïque du liquide ; le lavage élimine les impuretés restées sur le solide.
- Opération 6 : le passage à l'étuve sèche les cristaux en éliminant l'eau qui les imprègne.

4 : formation et précipitation de l'acide benzoïque ; 5 : isolement du solide ; 6 : séchage.

COMPRENDRE
Le lavage se fait à froid et en milieu acide pour perdre le moins de produit possible : l'acide benzoïque est peu soluble à 0 °C, alors que l'ion benzoate est très soluble.

2.5 Quel critère doit-on choisir pour régler une température de l'étuve adaptée à l'opération 6 ? Justifier.

Données utiles T_{fusion}(acide benzoïque) $= 122{,}4$ °C

L'étuve doit faire évaporer l'eau des cristaux : la température doit être assez élevée pour que le séchage soit rapide.

Mais le produit doit rester solide : il faut rester nettement en dessous de la température de fusion de l'acide benzoïque, 122,4 °C.

Critère : une température inférieure à 122,4 °C, par exemple entre 80 °C et 100 °C.

2.6 Citer deux méthodes permettant de vérifier la nature du produit obtenu.

- Mesurer la température de fusion du solide sur un banc Kofler et la comparer à la valeur tabulée, 122,4 °C.
- Réaliser une chromatographie sur couche mince, avec un dépôt du produit obtenu et un dépôt d'acide benzoïque de référence.

Température de fusion (banc Kofler) et chromatographie sur couche mince.

COMPRENDRE
Un spectre infrarouge convient aussi (bandes O–H et C=O du groupe carboxyle). En 2015, on pouvait encore citer la RMN du proton : elle ne figure plus au programme actuel de spécialité.

2.7 Quelle masse maximale d'acide benzoïque peut être obtenue par la mise en œuvre de ce protocole ?

Données utiles benzonitrile : $V = 2{,}0$ mL, $\rho = 1{,}01\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, $M = 103{,}04\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; soude : $V' = 24$ mL à $c_m = 100\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, $M(\text{NaOH}) = 40{,}00\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2) = 122{,}12\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Quantités initiales :

$$n(\text{C}_7\text{H}_5\text{N}) = \frac{\rho V}{M} = \frac{1{,}01 \times 2{,}0}{103{,}04} = 2{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol}$$

$$n(\text{HO}^-) = \frac{c_m V'}{M(\text{NaOH})} = \frac{100 \times 24 \times 10^{-3}}{40{,}00} = 6{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol}$$

Dans l'étape (a), les nombres stœchiométriques valent tous 1 et $n(\text{C}_7\text{H}_5\text{N}) < n(\text{HO}^-)$; l'eau, solvant, est en large excès : le benzonitrile est le réactif limitant.

Si les deux étapes sont totales (acide en excès à l'étape (b)) : $n(\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2)_{\max} = n(\text{C}_7\text{H}_5\text{O}_2^-) = n(\text{C}_7\text{H}_5\text{N})$.

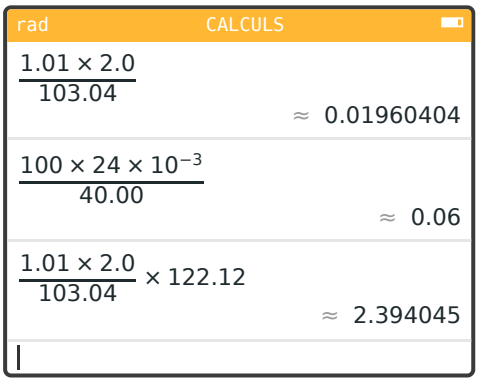
$$m_{\max} = \frac{\rho V}{M} \times M(\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2) = \frac{1{,}01 \times 2{,}0}{103{,}04} \times 122{,}12$$

$m_{\max} \approx 2{,}4$ g

PIÈGE
Calculer la masse sans avoir identifié le réactif limitant, ou oublier de convertir 24 mL en litres dans le calcul de $n(\text{HO}^-)$.

COMPRENDRE
La masse pesée sera plus faible : un peu d'acide benzoïque reste dissous dans le filtrat et l'eau de lavage.

À LA CALCULATRICE



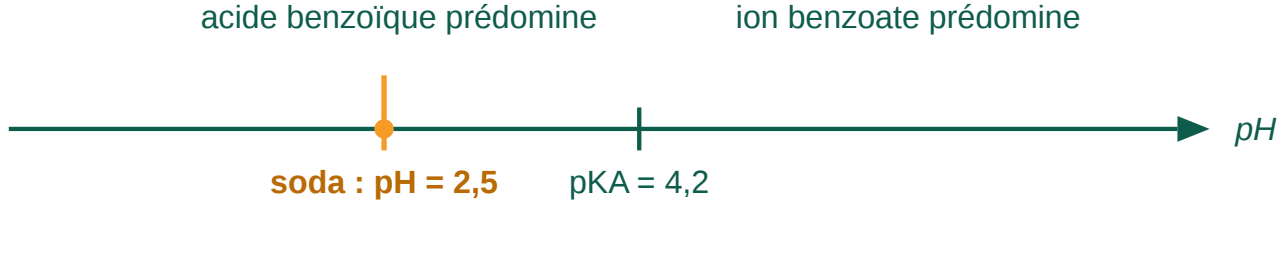
2.8 L'étiquette indique la présence d'acide benzoïque comme conservateur. Est-ce bien sous cette forme que l'espèce prédomine dans cette boisson ? Justifier.

Données utiles pH du soda : 2,5 ; $\text{p}K_A(\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2/\text{C}_7\text{H}_5\text{O}_2^-) = 4{,}2$

Pour un couple acide/base, la forme acide prédomine si $\text{pH} < \text{p}K_A$, la forme basique si $\text{pH} > \text{p}K_A$.

Ici $\text{pH} = 2{,}5 < \text{p}K_A = 4{,}2$.

Oui : dans le soda, c'est bien la forme acide $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2$ qui prédomine sur l'ion benzoate.



2.8 · Diagramme de prédominance du couple acide benzoïque / ion benzoate

3 Combien de bouteilles de soda de 1,5 L une personne adulte peut-elle consommer par jour, sans que l'acide phosphorique ne présente un risque pour la santé ?

Données utiles prise d'essai $V = 10{,}0$ mL ; $C = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; tableau de mesures pH = f(V) ; DJA de l'acide phosphorique : $70\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$; $M(\text{H}) = 1{,}0$, $M(\text{O}) = 16{,}0$, $M(\text{P}) = 31{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Démarche. Trouver par le titrage la masse d'acide phosphorique dans une bouteille, puis la comparer à la masse journalière admissible pour un adulte.

Titrage. Réaction support :

$$\text{H}_3\text{PO}_4\,(\text{aq}) + \text{HO}^-\,(\text{aq}) \longrightarrow \text{H}_2\text{PO}_4^-\,(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}\,(\text{l})$$

On trace pH = f(V) à partir du tableau. Le saut de pH se situe entre 4 mL et 6 mL ; la méthode des tangentes parallèles donne $V_E \approx 5{,}3$ mL.

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques :

$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = C\,V_E = 1{,}0 \times 10^{-2} \times 5{,}3 \times 10^{-3} = 5{,}3 \times 10^{-5}$ mol dans 10,0 mL de soda.

Masse dans une bouteille. $M(\text{H}_3\text{PO}_4) = 3 \times 1{,}0 + 31{,}0 + 4 \times 16{,}0 = 98{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

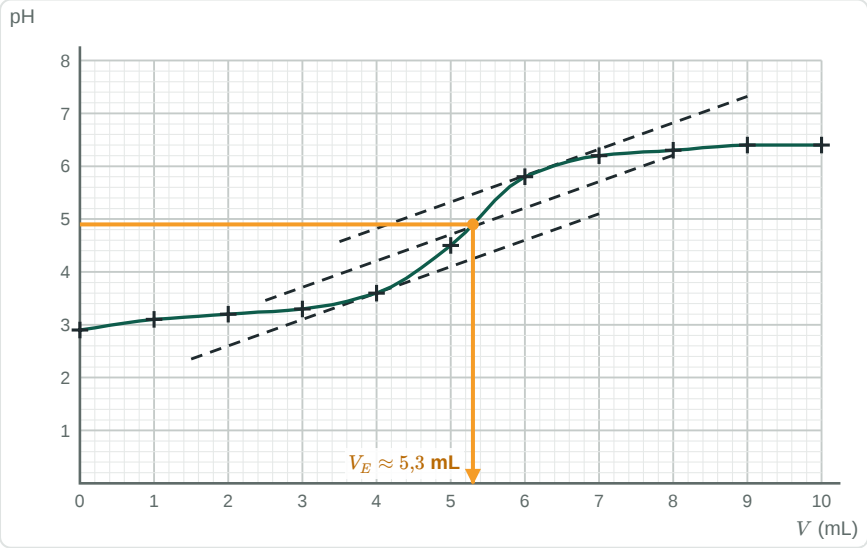
Dans 10,0 mL : $m = n\,M = 5{,}3 \times 10^{-5} \times 98{,}0 = 5{,}2 \times 10^{-3}$ g.

Une bouteille de 1,5 L contient 150 fois ce volume : $m_b = 150 \times 5{,}2 \times 10^{-3} \approx 0{,}78$ g.

Dose admissible. Pour un adulte de 70 kg (hypothèse) : $m_{\text{DJA}} = 70 \times 70 = 4{,}9 \times 10^3$ mg, soit 4,9 g par jour.

Conclusion. $N = \dfrac{m_{\text{DJA}}}{m_b} = \dfrac{4{,}9}{0{,}78} \approx 6{,}3$

> Un adulte de 70 kg peut boire environ 6 bouteilles de 1,5 L par jour, soit 9 L : l'acide phosphorique du soda ne présente pas de risque pour une consommation courante.



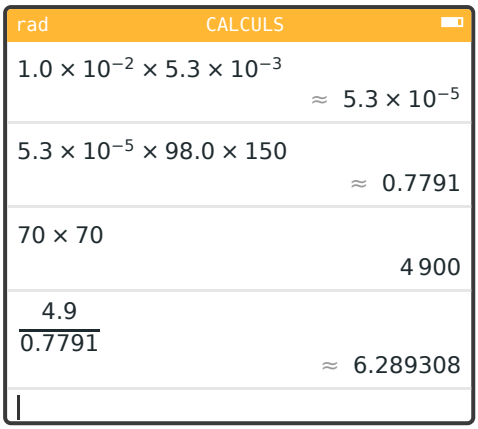
3 · Courbe de titrage tracée à partir du tableau, tangentes parallèles et lecture de V_E

PIÈGE
Arrondir à 7 bouteilles : on dépasserait la dose admissible. Ne pas confondre non plus la prise d'essai (10,0 mL) et le volume équivalent (5,3 mL).

COMPRENDRE
Le tableau n'a qu'un point par millilitre : V_E est connu à 0,2 mL près environ. Avec 5,1 mL ou 5,5 mL, on trouve encore 6 bouteilles.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer la démarche, poser clairement toute hypothèse (ici la masse de l'adulte), enchaîner des calculs courts, conclure par une phrase qui répond à la question et commente le résultat.

À LA CALCULATRICE



Micro-texturation de surface par un laser femtoseconde

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

1.1 Le laser femtoseconde présenté est dit « infrarouge ». Justifier.

Données utiles $\nu_0 = 375\ \text{THz} = 375 \times 10^{12}\ \text{Hz}$; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; rouge : de 620 nm à 780 nm

Longueur d'onde dans le vide associée à la fréquence centrale : $\lambda_0 = \dfrac{c}{\nu_0}$

$$\lambda_0 = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{375 \times 10^{12}} = 8{,}00 \times 10^{-7}\ \text{m} = 800\ \text{nm}$$

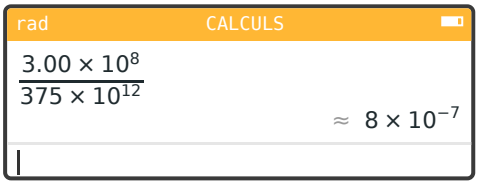
Cette longueur d'onde dépasse 780 nm, limite supérieure du rouge, donc du visible.

$\lambda_0 = 800\ \text{nm} > 780\ \text{nm}$: le rayonnement central appartient au domaine **infrarouge**.

PIÈGE
Oublier de convertir les térahertz en hertz ($1\ \text{THz} = 10^{12}\ \text{Hz}$), ou conclure sans comparer la valeur trouvée à la borne de 780 nm.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme ν_0 et c. Le fonctionnement du laser (émission stimulée) n'est plus au programme actuel de spécialité ; les relations utilisées ici le sont toujours.

À LA CALCULATRICE



1.2 Ce laser apparaît rouge à l'observateur. Justifier.

Données utiles $\nu_0 = 375\ \text{THz}$; $\Delta\nu = 100\ \text{THz}$; rouge : de 620 nm à 780 nm

Le laser pulsé est polychromatique : il émet dans une bande de largeur $\Delta\nu$ centrée sur ν_0, donc de $\nu_0 - \dfrac{\Delta\nu}{2} = 325\ \text{THz}$ à $\nu_0 + \dfrac{\Delta\nu}{2} = 425\ \text{THz}$.

À la fréquence la plus élevée correspond la longueur d'onde la plus courte :

$$\lambda_{\text{min}} = \frac{c}{\nu_{\text{max}}} = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{425 \times 10^{12}} = 7{,}06 \times 10^{-7}\ \text{m} = 706\ \text{nm}$$

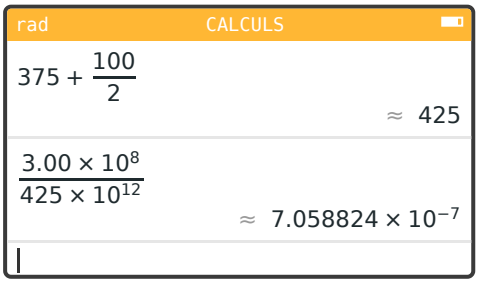
Le laser émet donc aussi des radiations de longueur d'onde comprise entre 706 nm et 780 nm, qui sont visibles et rouges.

$620\ \text{nm} < \lambda_{\text{min}} = 706\ \text{nm} < 780\ \text{nm}$: une partie du rayonnement est dans le rouge, le faisceau apparaît **rouge**.

PIÈGE
Ajouter $\Delta\nu$ entier à ν_0 : la bande est centrée, elle s'étend de $\Delta\nu/2$ de part et d'autre.

COMPRENDRE
Fréquence et longueur d'onde varient en sens inverse. L'autre extrémité de la bande (325 THz, soit 923 nm) est encore plus loin dans l'infrarouge : l'œil ne la perçoit pas.

À LA CALCULATRICE



2.1 Montrer que l'énergie transportée par une seule impulsion du laser est égale à 0,15 mJ.

Données utiles $P_{\text{crête}} = 1{,}0\ \text{GW} = 1{,}0 \times 10^{9}\ \text{W}$; $\tau = 150\ \text{fs} = 150 \times 10^{-15}\ \text{s}$

D'après le schéma, la puissance vaut $P_{\text{crête}}$ pendant toute la durée τ de l'impulsion. L'énergie transportée est donc :

$$E = P_{\text{crête}} \times \tau$$

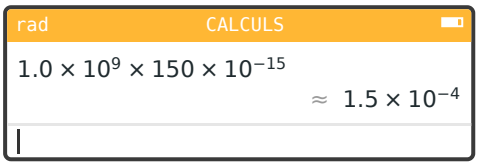
$$E = 1{,}0 \times 10^{9} \times 150 \times 10^{-15} = 1{,}5 \times 10^{-4}\ \text{J}$$

$E = 1{,}5 \times 10^{-4}\ \text{J} = 0{,}15\ \text{mJ}$: c'est bien la valeur annoncée.

PIÈGE
Utiliser la période de répétition $T = 1/f$ à la place de τ : entre deux impulsions, le laser n'émet rien.

COMPRENDRE
Une énergie modeste délivrée en un temps extrêmement court donne une puissance énorme : c'est tout l'intérêt de l'impulsion femtoseconde.

À LA CALCULATRICE



2.2 Évaluer le nombre de photons produits par le laser durant une seule impulsion.

Données utiles $E = 1{,}5 \times 10^{-4}\ \text{J}$ (2.1) ; $h = 6{,}63 \times 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s}$; $\nu_0 = 375 \times 10^{12}\ \text{Hz}$

Hypothèse : on attribue à tous les photons la fréquence centrale ν_0. Chaque photon transporte alors l'énergie $E_{\text{photon}} = h\,\nu_0$.

Nombre de photons dans une impulsion : $N = \dfrac{E}{h\,\nu_0}$

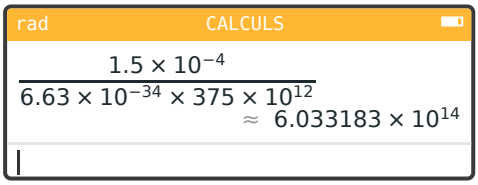
$$N = \frac{1{,}5 \times 10^{-4}}{6{,}63 \times 10^{-34} \times 375 \times 10^{12}} = 6{,}0 \times 10^{14}$$

$N \approx 6{,}0 \times 10^{14}$ photons par impulsion.

PIÈGE
À la calculatrice, mettre le dénominateur $h\,\nu_0$ entre parenthèses, sinon le résultat est multiplié par ν_0 au lieu d'être divisé.

COMPRENDRE
Le rayonnement est polychromatique : les photons n'ont pas tous la même énergie. Le spectre étant symétrique autour de ν_0, cette fréquence sert de valeur moyenne ; d'où le verbe « évaluer ».

À LA CALCULATRICE



3 Déterminer la fluence du laser étudié, puis la durée Δt nécessaire à la gravure d'une cavité cylindrique de 98 µm de diamètre et de 6 µm de profondeur.

Données utiles $E = 1{,}5 \times 10^{-4}$ J (2.1) ; $D = 98$ µm ; $p = 6$ µm ; $f = 1{,}0$ kHz ; courbe du taux d'ablation en fonction de la fluence

Fluence. C'est l'énergie d'une impulsion divisée par l'aire du disque gravé, exprimée en cm² : $F = \dfrac{E}{S}$ avec $S = \pi \left(\dfrac{D}{2}\right)^2$.

Rayon : $\dfrac{D}{2} = 49\ \mu\text{m} = 49 \times 10^{-6}\ \text{m} = 4{,}9 \times 10^{-3}\ \text{cm}$

$$F = \frac{1{,}5 \times 10^{-4}}{\pi \times (4{,}9 \times 10^{-3})^2} = 2{,}0\ \text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$$

Profondeur gravée par impulsion. Sur la courbe, pour $F = 2{,}0\ \text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$, on lit un taux d'ablation de 100 nm par impulsion.

Nombre d'impulsions. La profondeur est proportionnelle au nombre d'impulsions reçues, et $p = 6\ \mu\text{m} = 6\,000$ nm :

$$n = \frac{6\,000}{100} = 60 \text{ impulsions}$$

Durée. Le laser émet $f = 1{,}0 \times 10^3$ impulsions par seconde, soit une impulsion toutes les $T = \dfrac{1}{f} = 1{,}0 \times 10^{-3}$ s :

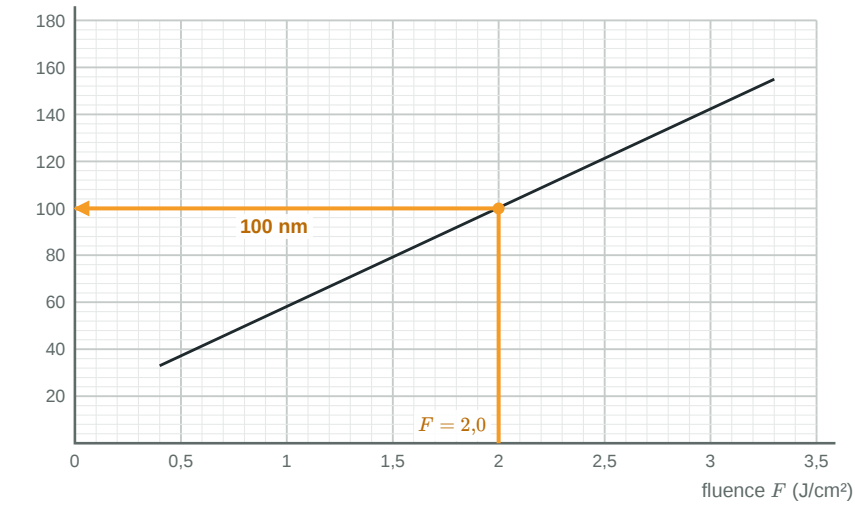
$$\Delta t = n \times T = \frac{n}{f} = \frac{60}{1{,}0 \times 10^3} = 6{,}0 \times 10^{-2}\ \text{s}$$

$F = 2{,}0\ \text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$ et $\Delta t \approx 6{,}0 \times 10^{-2}\ \text{s} = 60\ \text{ms}$

PIÈGE
La fluence est en J/cm² : convertir le rayon en centimètres ($1\ \mu\text{m} = 10^{-4}\ \text{cm}$) et ne pas confondre diamètre et rayon, sinon F est divisée par 4.

COMPRENDRE
La durée des impulsions (150 fs) est négligeable devant T : seul le temps d'attente entre impulsions compte. En toute rigueur, 60 impulsions occupent 59 périodes, soit 59 ms.

MÉTHODE
Résolution de problème : annoncer chaque étape (fluence, lecture graphique, nombre d'impulsions, durée), puis conclure par une phrase. La démarche est notée même si elle n'aboutit pas.



3 · Taux d'ablation du DLC en fonction de la fluence, avec la lecture pour le laser étudié

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{1.5 \times 10^{-4}}{\pi \times (4.9 \times 10^{-3})^2} \approx 1.988608$

$\dfrac{6000}{100} \approx 60$

$\dfrac{60}{1.0 \times 10^3} \approx 0.06$

Spécialité : Un aspect du réchauffement climatique

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

P En supposant que l'océan s'échauffe uniformément de 5,5 °C, calculer la hausse du niveau des océans due à la dilatation thermique, puis celle due à la fonte partielle des calottes polaires. Lister les causes possibles de l'écart avec la valeur annoncée par le GIEC en 2013.

Données utiles $\rho_{\text{eau}} = 1000\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $\rho_{\text{glace}} = 900\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; océans : parallélépipède de surface $S = 5{,}0\times10^{14}\ \text{m}^2$ et de hauteur $h = 3{,}0$ km ; volume de glace touché par la fonte $V_g = 2{,}5\times10^{14}\ \text{m}^3$; graphe $\dfrac{\Delta V}{V}$ en fonction de $\Delta\theta$; hausse annoncée par le GIEC : près de 1 m

Démarche. Chaque phénomène ajoute un volume d'eau ΔV à l'océan. La surface S étant supposée inchangée, ce volume se répartit en une couche de hauteur $\Delta h = \dfrac{\Delta V}{S}$.

1. Dilatation thermique.

Volume actuel des océans, avec $h = 3{,}0\times10^3$ m :

$$V = S\times h = 5{,}0\times10^{14}\times3{,}0\times10^3 = 1{,}5\times10^{18}\ \text{m}^3$$

Lecture graphique : pour $\Delta\theta = 5{,}5\ ^\circ\text{C}$, entre les points d'abscisses 4 et 6, on lit $\dfrac{\Delta V}{V}\approx 7\times10^{-4}$.

Volume gagné : $\Delta V_1 = 7\times10^{-4}\times1{,}5\times10^{18} = 1{,}05\times10^{15}\ \text{m}^3$

$$\Delta h_1 = \frac{\Delta V_1}{S} = \frac{1{,}05\times10^{15}}{5{,}0\times10^{14}} = 2{,}1\ \text{m}$$

2. Fonte partielle des calottes polaires.

La masse se conserve pendant la fusion : $\rho_{\text{glace}}\times V_g = \rho_{\text{eau}}\times V_{\text{liq}}$, donc

$$V_{\text{liq}} = \frac{\rho_{\text{glace}}\times V_g}{\rho_{\text{eau}}} = \frac{900\times2{,}5\times10^{14}}{1000} = 2{,}25\times10^{14}\ \text{m}^3$$

Les calottes reposent sur un continent : toute cette eau s'ajoute à l'océan.

$$\Delta h_2 = \frac{V_{\text{liq}}}{S} = \frac{2{,}25\times10^{14}}{5{,}0\times10^{14}} = 0{,}45\ \text{m}$$

3. Hausse totale. $\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 = 2{,}1 + 0{,}45 = 2{,}55$ m, soit environ 2,6 m.

4. Écart avec le GIEC. Le résultat est environ 2,5 fois plus grand que la hausse annoncée (près de 1 m). Causes possibles :

- la hausse de 5,5 °C est celle de l'atmosphère ; l'océan ne s'échauffe pas uniformément d'autant : seules les couches de surface se réchauffent nettement d'ici 2100, les eaux profondes très peu. C'est la cause principale, car la dilatation représente l'essentiel de la hausse calculée ;
- le graphe donne la dilatation dans un domaine de température précis, alors que la température de l'eau varie beaucoup avec la profondeur et la latitude ;
- l'océan est modélisé par un parallélépipède de profondeur moyenne estimée à 3,0 km, valeur approximative ;
- la surface S est supposée constante, alors que l'eau qui monte recouvre des terres : S augmente et la hausse réelle diminue ;

PIÈGE

Diviser directement le volume de glace par S : la glace est moins dense que l'eau, elle donne un volume liquide plus petit ($\times\,0{,}9$). Autre oubli fréquent : convertir $h = 3{,}0$ km en mètres.

COMPRENDRE

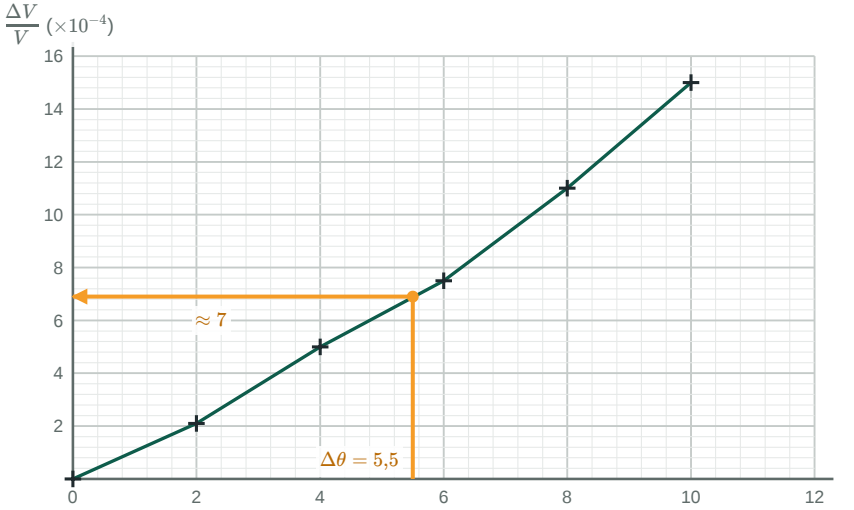
Les données ont deux chiffres significatifs : les hausses aussi. Comme $\Delta h_1 = \dfrac{\Delta V}{V}\times h$, la dilatation ne dépend pas de S : si seul le premier kilomètre se réchauffait de 5,5 °C, elle ne vaudrait que 0,7 m.

MÉTHODE

Résolution de problème : annoncer la grandeur cherchée, traiter chaque cause séparément, poser les hypothèses avant le calcul qui les utilise, conclure par une comparaison chiffrée, puis dire dans quel sens chaque hypothèse déplace le résultat.

- l'eau de mer est salée : sa masse volumique dépasse $1000\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, ce qui réduit un peu V_{liq} ;
- la lecture graphique est peu précise (un seul chiffre significatif).

$\Delta h_1 = 2{,}1\ \text{m}$ (dilatation) ; $\Delta h_2 = 0{,}45\ \text{m}$ (fonte) ; $\Delta h \approx 2{,}6\ \text{m}$, bien plus que la valeur proche de 1 m du GIEC.



P · Graphe du sujet, avec la lecture pour une hausse de 5,5 °C

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$5.0 \times 10^{14} \times 3.0 \times 10^{3} \approx 1.5 \times 10^{18}$

$\dfrac{7 \times 10^{-4} \times 1.5 \times 10^{18}}{5.0 \times 10^{14}} \approx 2.1$

$\dfrac{900 \times 2.5 \times 10^{14}}{1000} \approx 2.25 \times 10^{14}$

$\dfrac{2.25 \times 10^{14}}{5.0 \times 10^{14}} \approx 0.45$

$2.1 + 0.45 \approx 2.55$