Corrigé complet — Bac S 2019 Amérique du Sud (ancien programme)

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

Ex 1	**Une céramique comme réservoir d'énergie** Diagramme d'énergie · Énergie d'un photon · Propriétés du laser · Énergie interne · Transfert thermique · Capacité thermique massique	6 pts	1 h	8 questions	p. 2
Ex 2	**L'acide pantothénique** Groupes caractéristiques · Carbone asymétrique et énantiomérie · Spectroscopies RMN et IR · Mécanisme réactionnel · Diagramme de prédominance · Quantité de matière	9 pts	1 h 30	16 questions	p. 6
Ex 3	**Le canon de Paris** Conservation de la quantité de mouvement · Deuxième loi de Newton · Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme · Équations horaires · Équation de la trajectoire · Portée et flèche	5 pts	50 min	9 questions	p. 12
Ex 4	**Spécialité : Peindre le titane au laser** Spectre d'absorption · Couleur complémentaire · Énergie et puissance · Analyse dimensionnelle · Masse volumique · Résolution de problème	5 pts	50 min	3 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.

Une céramique comme réservoir d'énergie

Bac S 2019 Amérique du Sud (ancien programme) · Exercice 1 **6 points** **Durée conseillée 1 h**

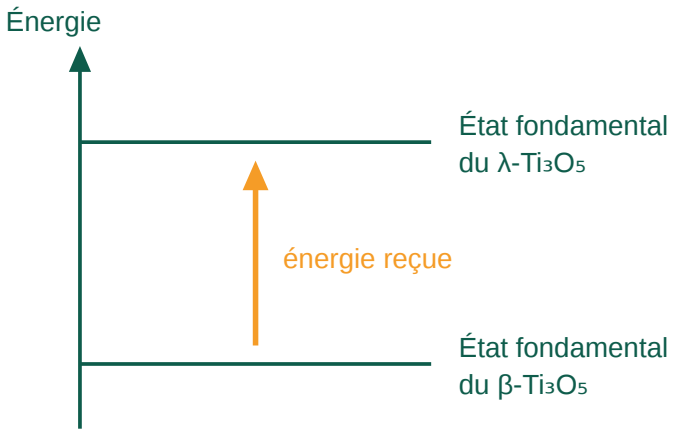
1.1 Parmi les schémas A, B et C, identifier celui qui illustre le stockage de l'énergie par le pentoxyde de trititane. Justifier.

Lors du stockage, le matériau **reçoit** de l'énergie et passe de la forme β à la forme λ : son énergie augmente.

L'état de départ est donc β-Ti_3O_5, placé en bas, l'état d'arrivée λ-Ti_3O_5, placé plus haut, et la flèche est dirigée vers le haut.

Le stockage est illustré par le **schéma C**.

PIÈGE
Le schéma A montre aussi une flèche vers le haut, mais avec les deux formes inversées : il faut vérifier le sens de la flèche et la position de chaque état.



1.1 · Schéma C : le stockage fait monter l'énergie du matériau

1.2 La totalité de la surface de la pastille étant éclairée, vérifier que l'énergie à fournir à la pastille vaut $E_p = 15{,}3$ J.

Données utiles $E = 230\ \text{J} \cdot \text{cm}^{-3}$; diamètre $D = 13{,}0$ mm $= 1{,}30$ cm ; épaisseur $H = 0{,}500$ mm $= 5{,}00 \times 10^{-2}$ cm

Toute la pastille doit changer de structure : $E_p = E \times V$, où V est le volume du cylindre.

$V = \pi r^2 H$ avec $r = \dfrac{D}{2} = 0{,}650$ cm :

$$V = \pi \times 0{,}650^2 \times 5{,}00 \times 10^{-2} = 6{,}64 \times 10^{-2}\ \text{cm}^3$$

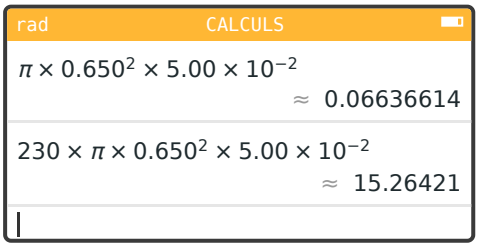
$$E_p = 230 \times \pi \times 0{,}650^2 \times 5{,}00 \times 10^{-2} = 15{,}3\ \text{J}$$

$E_p = 15{,}3$ J : on retrouve bien la valeur annoncée.

PIÈGE
E est en joules par centimètre cube : les longueurs se convertissent en centimètres, pas en mètres. Ne pas utiliser le diamètre à la place du rayon, sinon le résultat est quatre fois trop grand.

COMPRENDRE
Les données ont trois chiffres significatifs : le résultat en garde trois, $15{,}26$ s'arrondit à $15{,}3$.

À LA CALCULATRICE



1.3 Citer une propriété du laser qui justifie son utilisation dans cette expérience.

Le faisceau laser est très **directif** : il diverge très peu, si bien que toute son énergie peut être concentrée sur la petite surface de la pastille.

Propriété utile : la directivité du laser, qui permet de concentrer l'énergie sur la pastille.

COMPRENDRE
Les propriétés du laser (directivité, monochromaticité, concentration de l'énergie dans l'espace et dans le temps) relevaient de l'ancien programme ; elles ne sont plus exigibles en spécialité aujourd'hui.

1.4 Calculer le nombre de photons nécessaires pour fournir l'énergie E_p à la pastille.

Données utiles $E_p = 15{,}3$ J (1.2) ; $\lambda = 410$ nm ; $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1}

Énergie d'un photon : $E_{\text{photon}} = h\nu = \dfrac{h\,c}{\lambda}$.

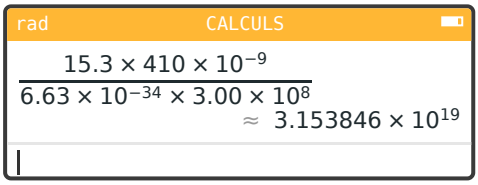
Pour N photons : $E_p = N \times \dfrac{h\,c}{\lambda}$, donc $N = \dfrac{E_p\,\lambda}{h\,c}$.

$$N = \frac{15{,}3 \times 410 \times 10^{-9}}{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}} = 3{,}15 \times 10^{19}$$

$N = 3{,}15 \times 10^{19}$ photons

PIÈGE
La longueur d'onde se convertit en mètres : $410\ \text{nm} = 410 \times 10^{-9}$ m. La valeur de c n'est pas fournie, elle doit être connue.

À LA CALCULATRICE



1.5 Donner l'ordre de grandeur de la durée minimale d'irradiation de la pastille par le laser, puis commenter la phrase « une courte exposition au Soleil permet de la charger ».

Données utiles $N = 3{,}15 \times 10^{19}$ photons (1.4) ; $D_{\text{Laser}} = 10^{21}$ photons par seconde ; $D_{\text{Soleil}} = 10^{17}$ photons par seconde

Le débit est le nombre de photons reçus par unité de temps : $D = \dfrac{N}{\Delta t}$, donc $\Delta t = \dfrac{N}{D}$.

Avec le laser : $\Delta t_{\text{Laser}} = \dfrac{3{,}15 \times 10^{19}}{10^{21}} \approx 3 \times 10^{-2}$ s, soit un ordre de grandeur de 10^{-2} s.

Avec le Soleil, le débit est 10^4 fois plus faible, la durée 10^4 fois plus grande : $\Delta t_{\text{Soleil}} = \dfrac{3{,}15 \times 10^{19}}{10^{17}} \approx 3 \times 10^{2}$ s, soit environ cinq minutes.

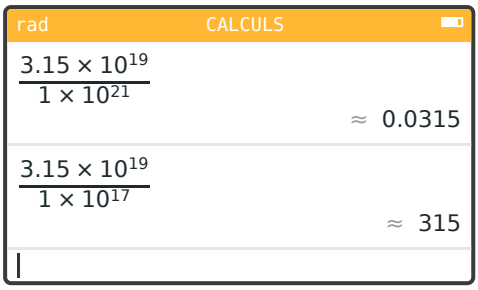
Quelques minutes au Soleil suffisent : l'exposition est bien « courte », même si elle est beaucoup plus longue qu'avec le laser.

$\Delta t_{\text{Laser}} \sim 10^{-2}$ s ; au Soleil, environ 3×10^{2} s (5 min) : la phrase est justifiée.

COMPRENDRE
Durée minimale, car on suppose chaque photon absorbé et utile. Pour le Soleil, c'est une estimation basse : ses photons, en moyenne de plus grande longueur d'onde que 410 nm, transportent moins d'énergie chacun.

MÉTHODE
Un ordre de grandeur est la puissance de dix la plus proche : 3×10^{-2} s donne 10^{-2} s. Les débits n'étant connus qu'en ordre de grandeur, un seul chiffre significatif suffit.

À LA CALCULATRICE



2.1 Que représente l'énergie interne d'un système ?

L'énergie interne U d'un système est la somme des énergies **microscopiques** des entités qui le constituent : énergies cinétiques (agitation thermique) et énergies potentielles d'interaction entre ces entités.

PIÈGE
Ne pas y inclure l'énergie cinétique d'ensemble ni l'énergie potentielle de pesanteur du système : ce sont des énergies macroscopiques.

2.2 Calculer l'énergie Q restituée par la pastille au cours de l'expérience.

Données utiles $n_{\text{gaz}} = 40{,}0$ mmol ; $R = 8{,}31$ J · K^{-1} · mol^{-1} ; $\Delta T = 18{,}2$ K

Système : le diazote de l'enceinte. L'enceinte est parfaitement isolée : le gaz n'échange de l'énergie qu'avec la pastille, et il reçoit par transfert thermique toute l'énergie Q qu'elle restitue.

Premier principe appliqué au gaz : $\Delta U = Q$, donc $Q = \frac{5}{2} n_{\text{gaz}} R \Delta T$.

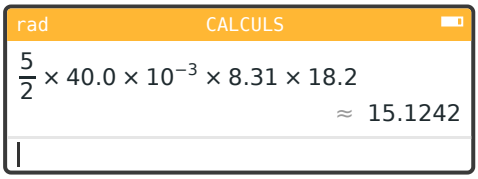
$$Q = \frac{5}{2} \times 40{,}0 \times 10^{-3} \times 8{,}31 \times 18{,}2 = 15{,}1 \text{ J}$$

$Q = 15{,}1$ J

PIÈGE
La quantité de matière est donnée en millimoles : $40{,}0$ mmol $= 40{,}0 \times 10^{-3}$ mol. L'oublier donne une énergie mille fois trop grande.

COMPRENDRE
On retrouve presque les $15{,}3$ J fournis lors de la charge (1.2) : la pastille rend pratiquement toute l'énergie qu'elle a stockée.

À LA CALCULATRICE



2.3 Les échanges thermiques se faisant sans perte, calculer la masse de pentoxyde de trititane nécessaire pour chauffer 250 mL d'eau pure de la température ambiante à 80 °C. Commenter en dégageant l'intérêt du matériau.

Données utiles $c_{\text{eau}} = 4{,}18\ \text{J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot{}^{\circ}\text{C}^{-1}$; $\rho_{\text{eau}} = 1{,}00\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$; pastille de masse $m_p = 0{,}265$ g ; $Q = 15{,}1$ J par pastille (2.2)

Hypothèse : température ambiante $\theta_i = 20$ °C, soit $\Delta\theta = 80 - 20 = 60$ °C.

Masse d'eau : $m_{\text{eau}} = \rho_{\text{eau}}\, V_{\text{eau}} = 1{,}00 \times 250 = 250$ g.

Énergie à fournir à l'eau :

$$Q_{\text{eau}} = m_{\text{eau}}\, c_{\text{eau}}\, \Delta\theta = 250 \times 4{,}18 \times 60 = 6{,}27 \times 10^4\ \text{J}$$

Une pastille de masse m_p restitue $Q = 15{,}1$ J. Sans perte, la masse de céramique nécessaire est proportionnelle à l'énergie voulue :

$$m = \frac{Q_{\text{eau}}}{Q} \times m_p = \frac{6{,}27 \times 10^4}{15{,}1} \times 0{,}265 = 1{,}1 \times 10^3\ \text{g}$$

Cela correspond à environ 4×10^3 pastilles.

Commentaire : il faut plus d'un kilogramme de céramique pour chauffer un quart de litre d'eau, ce qui est une masse importante. L'intérêt du matériau n'est donc pas la quantité d'énergie stockée, mais le fait de la conserver longtemps sans perte, de la restituer à la demande par simple pression, et de pouvoir se recharger au Soleil.

$m \approx 1{,}1$ kg de pentoxyde de trititane

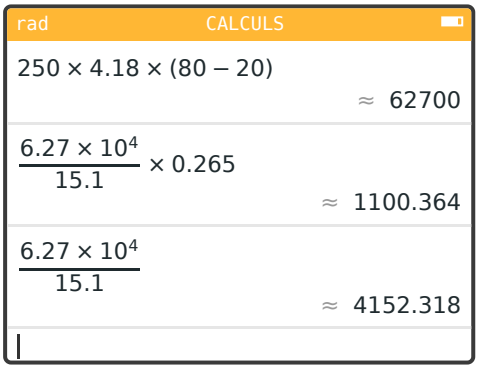
COMPRENDRE

La température ambiante est estimée, donc deux chiffres significatifs suffisent. Avec 25 °C au lieu de 20 °C, on trouverait environ $1{,}0$ kg : la conclusion ne change pas.

MÉTHODE

Question ouverte : annoncer l'hypothèse choisie, calculer l'énergie voulue, puis raisonner par proportionnalité à partir de l'énergie restituée par une pastille de masse connue.

À LA CALCULATRICE



L'acide pantothénique

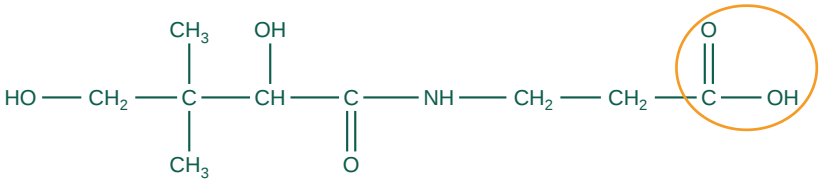
Bac S 2019 Amérique du Sud (ancien programme) · Exercice 2 **9 points** **Durée conseillée 1 h 30**

1.1 Sur la formule semi-développée de l'annexe, entourer le groupe caractéristique justifiant le qualificatif d'acide.

Le groupe **carboxyle** $-COOH$, à l'extrémité droite de la chaîne, est celui de la fonction acide carboxylique : il peut céder un ion H^+.

Groupe entouré : le groupe carboxyle $-COOH$ (voir l'annexe).

PIÈGE
Entourer seulement $-OH$, ou le groupe $C{=}O$ lié à l'azote. Le groupe carboxyle réunit, sur le même atome de carbone, $C{=}O$ et $O{-}H$.



1.1 · Annexe : le groupe carboxyle est entouré

1.2 Expliquer pourquoi cette espèce chimique est qualifiée de « polyfonctionnelle ».

La molécule possède plusieurs groupes caractéristiques, de natures différentes :

- deux groupes hydroxyle $-OH$ (fonction alcool) ;
- un groupe amide $-CO-NH^-$ (fonction amide) ;
- un groupe carboxyle $-COOH$ (fonction acide carboxylique).

Plusieurs fonctions dans la même molécule (alcool, amide, acide carboxylique) : l'espèce est polyfonctionnelle.

PIÈGE
Annoncer une fonction amine ou une cétone : l'azote est lié à un groupe $C{=}O$, l'ensemble $-CO-NH^-$ forme un seul groupe, le groupe amide.

1.3 La molécule possède-t-elle un ou plusieurs atomes de carbone asymétriques ? Les repérer par un astérisque sur l'annexe et justifier.

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

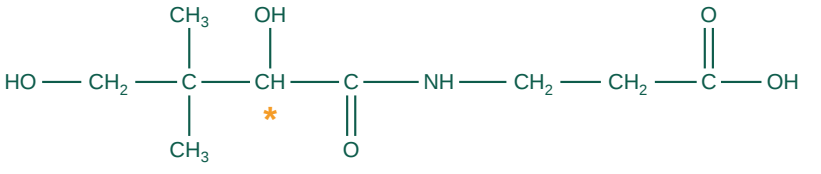
L'atome de carbone du groupe $CH(OH)$ est lié à : $-H$; $-OH$; $-C(CH_3)_2-CH_2OH$; $-CO-NH-CH_2-CH_2-COOH$. Ces quatre substituants sont différents : il est asymétrique.

Aucun autre atome de carbone ne convient : les CH_2 et les CH_3 portent plusieurs H, l'atome C voisin porte deux groupes CH_3 identiques, et les atomes de carbone des groupes $C{=}O$ n'ont que trois voisins.

Un seul atome de carbone asymétrique : celui du groupe $CH(OH)$, noté C^* sur l'annexe.

PIÈGE
Marquer l'atome de carbone qui porte les deux CH_3 : il a bien quatre voisins, mais deux sont identiques.

COMPRENDRE
Carbone asymétrique et énantiomérie relevaient du programme de Terminale S ; ces notions ne figurent plus au programme actuel de spécialité.



1.3 · Annexe : l'atome de carbone asymétrique est repéré par un astérisque

1.4 Déterminer parmi A et B lequel est un énantiomère de l'acide pantothénique. Justifier.

Deux énantiomères ont le même enchaînement d'atomes et sont images l'un de l'autre dans un miroir, sans être superposables.

Molécule B : l'enchaînement des atomes est différent (les deux groupes CH_3 sont portés par l'atome de carbone voisin du groupe carboxyle). B est un isomère de constitution, pas un stéréoisomère.

Molécule A : même enchaînement que l'acide pantothénique. Son dessin est l'image de la formule de l'énoncé dans un miroir vertical perpendiculaire à la feuille : la chaîne est retournée de gauche à droite et la liaison $C-OH$ pointe toujours vers l'avant. La molécule ne possède qu'un seul atome de carbone asymétrique : elle est chirale, donc non superposable à son image.

L'énantiomère de l'acide pantothénique est la molécule A.

MÉTHODE
Pour vérifier, faire pivoter A d'un demi-tour autour d'un axe vertical : la chaîne reprend le sens de l'énoncé, mais le groupe OH passe vers l'arrière. Seule la configuration du carbone asymétrique a changé.

1.5 Identifier le ou les groupes de protons responsables des deux triplets du spectre RMN. Les encadrer sur l'annexe et justifier.

Règle des $(n+1)$-uplets : un groupe de protons équivalents ayant n protons voisins (portés par les atomes de carbone voisins) donne un signal à $n+1$ pics. Un triplet correspond à $n=2$ voisins.

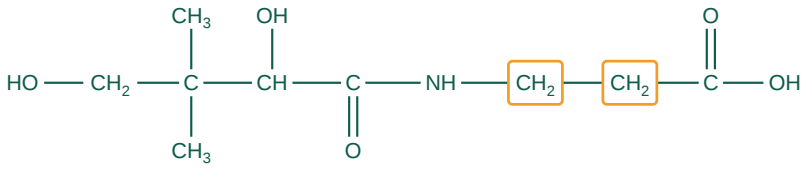
- $-NH-CH_2-CH_2^-$: les voisins sont les 2 protons de l'autre CH_2 ; le proton de NH ne couple pas : triplet.
- $-CH_2-CH_2-COOH$: les voisins sont les 2 protons de l'autre CH_2 ; l'atome de carbone du carboxyle ne porte pas de H : triplet.

Les autres groupes ($HO-CH_2^-$, CH_3, CH) n'ont aucun proton voisin couplé : ils donnent des singulets.

Les deux triplets sont dus aux deux groupes CH_2 de l'enchaînement $-NH-CH_2-CH_2-COOH$.

PIÈGE
Compter comme voisins les protons de OH ou de NH : l'énoncé rappelle qu'ils ne couplent pas. Sinon $N-CH_2$ serait annoncé quadruplet, à tort.

COMPRENDRE
La spectroscopie RMN faisait partie du programme de Terminale S ; elle n'est plus au programme actuel de spécialité.



1.5 · Annexe : les deux groupes de protons donnant un triplet sont encadrés

1.6 Expliquer pourquoi un seul signal correspond aux deux groupes de protons encadrés (les deux groupes méthyle).

Les deux groupes CH_3 sont portés par le même atome de carbone : leurs six protons ont le même environnement chimique. Ils sont équivalents et ont donc le même déplacement chimique.

L'atome de carbone qui les porte n'est lié à aucun atome d'hydrogène : ces protons n'ont pas de voisin, le signal est un singulet.

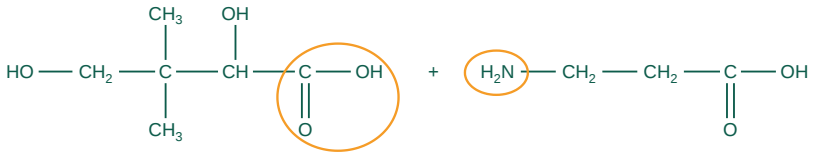
Six protons équivalents sans proton voisin : un seul signal (singulet, intégrant pour 6 H).

2.1 Sur l'équation de la réaction de l'annexe, entourer, pour chaque réactif, le groupe caractéristique qui réagit.

Le produit contient un groupe amide $-CO-NH^-$ et il se forme de l'eau. L'atome de carbone de ce groupe vient de l'acide pantoïque, l'atome d'azote vient de la β-alanine.

Acide pantoïque : groupe carboxyle $-COOH$; β-alanine : groupe amine $-NH_2$.

MÉTHODE
Repérer dans le produit la liaison créée (ici $C-N$), puis remonter aux deux atomes qui la forment dans les réactifs : ils désignent les groupes qui ont réagi.



Acide pantoïque — β-alanine

2.1 · Annexe : groupe qui réagit dans chaque réactif (carboxyle à gauche, amine à droite)

2.2 À quel problème peut-on être confronté si l'on souhaite obtenir uniquement l'acide pantothénique ?

Les deux réactifs sont polyfonctionnels. La β-alanine possède aussi un groupe carboxyle : il peut réagir avec le groupe amine d'une autre molécule de β-alanine. Les groupes hydroxyle de l'acide pantoïque peuvent également réagir avec un groupe carboxyle.

Plusieurs réactions sont en concurrence : on obtient un mélange de produits, et non l'acide pantothénique seul (la synthèse n'est pas sélective).

COMPRENDRE
C'est la raison de la suite : on fait réagir la β-alanine sous forme d'ion carboxylate, dont le groupe $-COO-$ ne réagit plus avec une amine. Seul le groupe carboxyle de l'acide pantoïque reste disponible.

2.3 Donner, en justifiant, le nom de la catégorie de réaction correspondant à la première étape.

Deux réactifs conduisent à un seul produit : tous les atomes des réactifs se retrouvent dans le produit. La double liaison $C=O$ de l'acide pantoïque est devenue une liaison simple $C-O$, et l'atome de carbone s'est lié à l'atome d'azote.

Il s'agit d'une réaction d'addition.

MÉTHODE
Addition : des atomes se fixent sur une liaison multiple, un seul produit. Élimination : une liaison multiple se forme, une petite molécule part. Substitution : un atome ou groupe en remplace un autre.

2.4 Sur l'annexe, compléter le mécanisme de la première étape en indiquant les flèches courbes.

Données utiles $\chi_C = 2{,}55$; $\chi_O = 3{,}44$; $\chi_N = 3{,}04$

Site donneur de doublet : l'atome d'azote de l'ion carboxylate de la β-alanine, qui porte un doublet non liant.

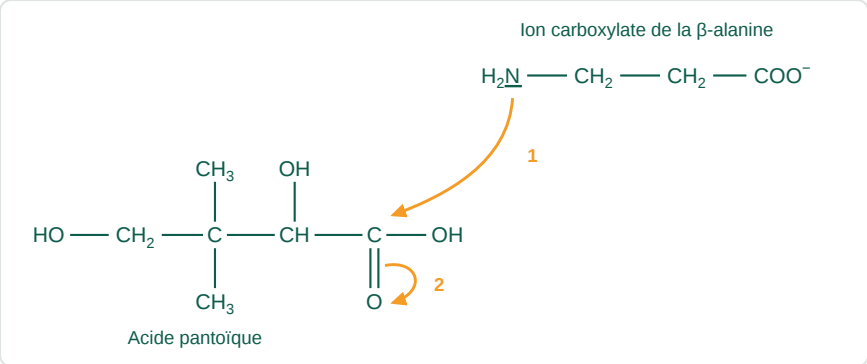
Site accepteur : l'atome de carbone du groupe carboxyle de l'acide pantoïque. Comme $\chi_O > \chi_C$, les liaisons $C=O$ et $C-O$ sont polarisées et cet atome porte une charge partielle $\delta+$.

- Flèche 1 : du doublet non liant de N vers l'atome C du carboxyle (formation de la liaison $C-N$).
- Flèche 2 : d'un doublet de la double liaison $C=O$ vers l'atome O, qui porte alors une charge négative.

Deux flèches courbes : doublet de N vers C, puis doublet de la liaison $C=O$ vers O (voir l'annexe).

PIÈGE
Une flèche courbe part toujours d'un doublet (non liant ou liant), jamais d'un atome ou d'une charge, et pointe vers le site accepteur. La tracer de C vers N inverse le sens du mouvement des électrons.

COMPRENDRE
Sans la flèche 2, l'atome de carbone aurait cinq liaisons. Dans le produit, N a mis en commun son doublet (charge $+$) et O a reçu un doublet (charge $-$) : la charge totale est conservée.



2.4 · Annexe : flèche 1 du doublet de N vers l'atome C du groupe carboxyle ; flèche 2 de la double liaison C=O vers l'atome O

2.5 Sur l'annexe, compléter le diagramme de prédominance des différentes formes de la β-alanine (formules et valeurs numériques).

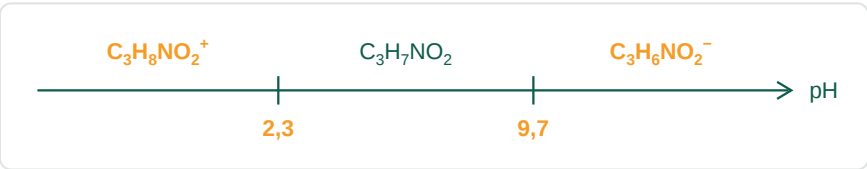
Données utiles $C_3H_8NO_2^+$ / $C_3H_7NO_2$: $pK_{A1} = 2{,}3$; $C_3H_7NO_2$ / $C_3H_6NO_2^-$: $pK_{A2} = 9{,}7$

Pour un couple, l'acide prédomine si $pH < pK_A$ et la base si $pH > pK_A$.

- $pH < 2{,}3$: $C_3H_8NO_2^+$ prédomine ;
- $2{,}3 < pH < 9{,}7$: $C_3H_7NO_2$ prédomine ;
- $pH > 9{,}7$: $C_3H_6NO_2^-$ prédomine.

De gauche à droite : $C_3H_8NO_2^+$, frontière 2,3, $C_3H_7NO_2$, frontière 9,7, $C_3H_6NO_2^-$.

MÉTHODE
Sur un axe de pH croissant, les espèces se rangent de la plus acide (la plus riche en H) à la plus basique ; les frontières sont les pK_A, dans l'ordre croissant.



2.5 · Annexe : diagramme de prédominance de la β-alanine complété

2.6 Dans quel domaine de pH doit-on se situer pour obtenir l'ion carboxylate de la β-alanine ?

Données utiles diagramme de prédominance (2.5)

L'ion carboxylate de la β-alanine, $H_2N-CH_2-CH_2-COO^-$, a pour formule brute $C_3H_6NO_2^-$: c'est la forme la plus basique, base du couple de $pK_{A2} = 9{,}7$.

Il faut se placer à $pH > 9{,}7$ (milieu basique).

COMPRENDRE
À pH plus faible, l'azote est protoné ($-NH_3^+$) : il n'a plus de doublet non liant et ne peut plus jouer le rôle de site donneur dans la première étape.

2.7 Donner l'équation de la réaction observée lors de l'ajout d'acide chlorhydrique et indiquer la nature de cette réaction.

L'ion pantothénate $RCOO^-$ est une base ; l'ion oxonium H_3O^+ est un acide. Il y a transfert d'un ion H^+ de H_3O^+ vers $RCOO^-$:

$$RCOO^-(aq) + H_3O^+(aq) \longrightarrow RCOOH(aq) + H_2O(l)$$

$RCOO^-(aq) + H_3O^+(aq) \longrightarrow RCOOH(aq) + H_2O(l)$: réaction acide-base.

PIÈGE
Faire figurer Cl^- dans l'équation : c'est un ion spectateur. Vérifier la conservation des charges : $(-1) + (+1) = 0$ de chaque côté.

3.1 Le spectre IR obtenu à l'aide d'un comprimé de Bépanthène peut-il être celui de l'acide pantothénique ?

Données utiles table IR : $\mathrm{O-H}$ alcool 3200 – 3400 $\mathrm{cm^{-1}}$; $\mathrm{O-H}$ acide carboxylique 2500 – 3200 $\mathrm{cm^{-1}}$ (forte, large) ; $\mathrm{C-H}$ 2800 – 3000 $\mathrm{cm^{-1}}$; $\mathrm{C=O}$ 1600 – 1740 $\mathrm{cm^{-1}}$

Bandes observées sur le spectre :

- une bande forte et large centrée vers 3350 $\mathrm{cm^{-1}}$: liaisons $\mathrm{O-H}$ d'alcool (et $\mathrm{N-H}$) ;
- des bandes fines vers 2900 $\mathrm{cm^{-1}}$: liaisons $\mathrm{C-H}$;
- une bande forte et fine vers 1650 $\mathrm{cm^{-1}}$: liaison $\mathrm{C=O}$.

L'acide pantothénique possède un groupe carboxyle : son spectre devrait présenter en plus une bande forte et large couvrant tout l'intervalle 2500 – 3200 $\mathrm{cm^{-1}}$. Or, entre 2500 et 2800 $\mathrm{cm^{-1}}$, la transmittance reste proche de 1 : cette bande est absente.

Non : sans bande $\mathrm{O-H}$ d'acide carboxylique, ce spectre n'est pas celui de l'acide pantothénique. Il est compatible avec le dexpanthénol (alcool, amide).

PIÈGE
Conclure « oui » à cause de la bande $\mathrm{C=O}$: les deux molécules ont un groupe amide. La seule différence est le groupe carboxyle, donc la bande $\mathrm{O-H}$ d'acide.

MÉTHODE
Pour départager deux molécules, chercher la liaison présente dans une seule, puis vérifier sur le spectre la présence ou l'absence de sa bande.

3.2 Écrire la formule brute de la molécule d'acide pantothénique.

Décompte sur la formule semi-développée :

- C : $2\,(\mathrm{CH_3}) + 3\,(\mathrm{CH_2}) + 1\,(\mathrm{C}) + 1\,(\mathrm{CH}) + 2\,(\mathrm{C=O}) = 9$;
- H : $6\,(\mathrm{CH_3}) + 6\,(\mathrm{CH_2}) + 1\,(\mathrm{CH}) + 3\,(\mathrm{OH}) + 1\,(\mathrm{NH}) = 17$;
- N : 1 ; O : $3\,(\mathrm{OH}) + 2\,(\mathrm{C=O}) = 5$.

Formule brute de l'acide pantothénique : $\mathrm{C_9H_{17}NO_5}$

MÉTHODE
Contrôle : le dexpanthénol ($\mathrm{C_9H_{19}NO_4}$, $M = 205{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$ d'après l'énoncé) ne diffère que par $-\mathrm{CH_2-OH}$ à la place de $-\mathrm{COOH}$: deux H en plus, un O en moins.

3.3 Un comprimé de Bépanthène est-il suffisant pour couvrir les apports en vitamine B5 d'une femme enceinte ? Si cette ingestion correspondait à un surdosage, présenterait-elle un danger ?

Données utiles comprimé : $m_d = 100$ mg de dexpanthénol ; $M_d = 205{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $C_9H_{17}NO_5$ (3.2) ; apport suffisant d'une femme enceinte : $6{,}0$ mg

Masse molaire de l'acide pantothénique $C_9H_{17}NO_5$: $M_a = 9 \times 12{,}0 + 17 \times 1{,}0 + 14{,}0 + 5 \times 16{,}0 = 219{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Quantité de dexpanthénol dans un comprimé : $n_d = \dfrac{m_d}{M_d} = \dfrac{100 \times 10^{-3}}{205{,}0} = 4{,}88 \times 10^{-4}\ \text{mol}$

Chaque molécule de dexpanthénol donne une molécule d'acide pantothénique : $n_a = n_d$. Masse d'acide formée :

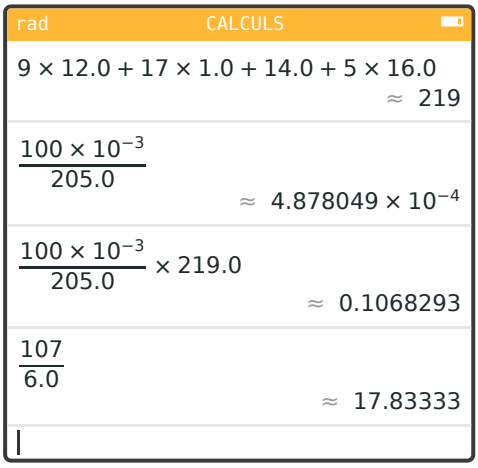
$$m_a = n_a \times M_a = \frac{m_d}{M_d} \times M_a = \frac{100 \times 10^{-3}}{205{,}0} \times 219{,}0 = 0{,}107\ \text{g} = 107\ \text{mg}$$

Comparaison : $\dfrac{m_a}{6{,}0\ \text{mg}} = \dfrac{107}{6{,}0} \approx 18$. Un comprimé apporte environ 18 fois l'apport suffisant d'une femme enceinte : il suffit largement, et c'est un surdosage.

D'après l'énoncé, l'acide pantothénique est hydrosoluble : l'excès est facilement évacué par l'organisme, et aucun effet secondaire n'a été décrit.

$m_a = 107\ \text{mg} \gg 6{,}0\ \text{mg}$: un comprimé suffit largement ; ce surdosage ne présente pas de danger.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE

Comparer directement 100 mg à 6,0 mg : les 100 mg sont du dexpanthénol, l'apport suffisant concerne l'acide. Il faut passer par la quantité de matière, les masses molaires étant différentes.

COMPRENDRE

Trois chiffres significatifs, comme la masse de 100 mg. La question comporte deux parties : il faut une réponse chiffrée pour l'apport, puis un argument tiré de l'énoncé pour le danger.

Le canon de Paris

Bac S 2019 Amérique du Sud (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Comment varie la quantité de mouvement du système {tube du canon + obus} pendant la phase de tir ?

Dans le référentiel terrestre galiléen, la deuxième loi de Newton s'écrit $\sum \overrightarrow{F}_{\text{ext}} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{p}}{\mathrm{d}t}$.

Le système est pseudo-isolé : $\sum \overrightarrow{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$, donc $\dfrac{\mathrm{d}\vec{p}}{\mathrm{d}t} = \vec{0}$.

La quantité de mouvement $\vec{p}$ du système ne varie pas : elle se conserve pendant le tir.

COMPRENDRE
La quantité de mouvement $\vec{p} = m\,\vec{v}$ et sa conservation ne figurent plus au programme actuel de spécialité. La partie 1 relève de l'ancien programme ; les parties 2 et 3 restent d'actualité.

1.2 En déduire la vitesse de recul du tube lors de l'expulsion de l'obus.

Données utiles masse du tube $m_T = 100\ \text{t} = 100 \times 10^3$ kg ; masse de l'obus $m_o = 105$ kg ; vitesse d'éjection $v_0 = 1600\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Avant le tir, le tube et l'obus sont immobiles : $\vec{p}_{\text{avant}} = \vec{0}$.

Après le tir : $\vec{p}_{\text{après}} = m_T\,\vec{v}_T + m_o\,\vec{v}_0$.

Conservation (1.1) : $m_T\,\vec{v}_T + m_o\,\vec{v}_0 = \vec{0}$, soit $\vec{v}_T = -\dfrac{m_o}{m_T}\,\vec{v}_0$.

Le tube part en sens opposé à l'obus, avec la vitesse de valeur :

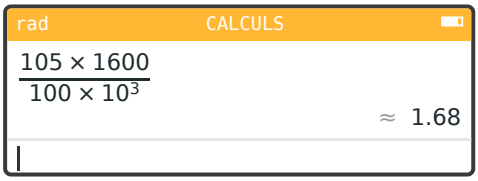
$$v_T = \frac{m_o\,v_0}{m_T} = \frac{105 \times 1600}{100 \times 10^3} = 1{,}68\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$v_T \approx 1{,}7\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, en sens opposé à celui de l'obus.

PIÈGE
Laisser la masse du tube en tonnes, ou prendre les 750 tonnes du canon monté : la question porte sur le tube seul, soit 100×10^3 kg.

COMPRENDRE
Le texte dit « plus de 100 tonnes » : la masse est connue grossièrement, deux chiffres significatifs suffisent au résultat.

À LA CALCULATRICE



1.3 Quelle serait cette vitesse si le tube était 10 fois plus léger (10 tonnes) ? Justifier la masse importante du tube du canon de Paris.

Données utiles $m'_T = 10 \times 10^3$ kg ; $m_o = 105$ kg ; $v_0 = 1600\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

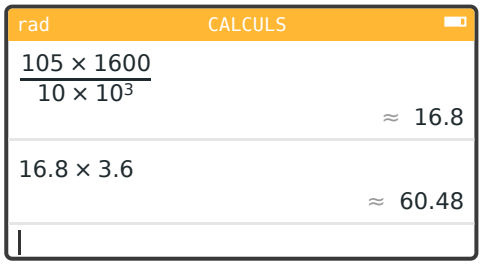
$$v'_T = \frac{m_o\,v_0}{m'_T} = \frac{105 \times 1600}{10 \times 10^3} = 16{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

La vitesse de recul est inversement proportionnelle à la masse du tube : un tube 10 fois plus léger recule 10 fois plus vite, soit environ $60\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Une masse importante limite donc le recul, qui risquerait sinon d'endommager le canon et son support.

$v'_T \approx 17\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$: un tube lourd rend le recul faible.

À LA CALCULATRICE



2.1 En utilisant une loi de Newton, déterminer les coordonnées $a_x(t)$ et $a_y(t)$ du vecteur accélération de l'obus.

Système {obus}, de masse m constante ; référentiel terrestre supposé galiléen.

Bilan des forces : le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$ seul (frottements et poussée d'Archimède négligés).

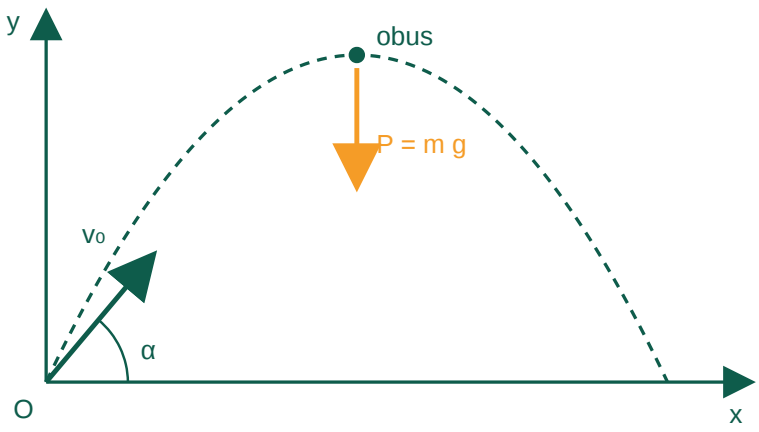
Deuxième loi de Newton : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}$, soit $m\,\vec{g} = m\,\vec{a}$, donc $\vec{a} = \vec{g}$.

Le vecteur $\vec{g}$ est vertical, vers le bas, donc opposé à $\vec{j}$:

$a_x(t) = 0$ et $a_y(t) = -g$

PIÈGE
Écrire $a_y = +g$. L'axe (Oy) est orienté vers le haut et $\vec{g}$ vers le bas : la coordonnée est négative.

MÉTHODE
Toujours les quatre mêmes étapes : système, référentiel galiléen, bilan des forces, deuxième loi de Newton. Projeter ensuite sur les axes du repère imposé par le sujet.



2.1 · Repère du sujet : vitesse initiale et poids de l'obus

2.2 En déduire les coordonnées $v_x(t)$ et $v_y(t)$ du vecteur vitesse, puis montrer que $x(t) = v_0\cos(\alpha)\,t$ et $y(t) = -\frac{1}{2}\,g\,t^2 + v_0\sin(\alpha)\,t$.

$\vec{a} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$: on cherche les primitives de $a_x = 0$ et $a_y = -g$.

$v_x(t) = C_1$ et $v_y(t) = -g\,t + C_2$.

À $t = 0$, $\vec{v}(0) = \vec{v}_0$ de coordonnées $v_0\cos(\alpha)$ et $v_0\sin(\alpha)$, donc $C_1 = v_0\cos(\alpha)$ et $C_2 = v_0\sin(\alpha)$:

$$v_x(t) = v_0\cos(\alpha) \qquad v_y(t) = -g\,t + v_0\sin(\alpha)$$

$\vec{v} = \dfrac{\mathrm{d}\overrightarrow{OM}}{\mathrm{d}t}$: on cherche les primitives de v_x et v_y.

$x(t) = v_0\cos(\alpha)\,t + C_3$ et $y(t) = -\frac{1}{2}\,g\,t^2 + v_0\sin(\alpha)\,t + C_4$.

À $t = 0$, l'obus est en O : $x(0) = 0$ et $y(0) = 0$, donc $C_3 = 0$ et $C_4 = 0$.

$x(t) = v_0\cos(\alpha)\,t$ et $y(t) = -\frac{1}{2}\,g\,t^2 + v_0\sin(\alpha)\,t$: ce sont les équations horaires annoncées.

PIÈGE
Oublier les constantes d'intégration, ou ne pas les justifier. Chaque constante se détermine par une condition initiale écrite explicitement : vitesse $\vec{v}_0$ puis position O à $t = 0$.

2.3 En déduire l'équation de la trajectoire $y = f(x)$.

On élimine le temps : $x = v_0 \cos(\alpha)\, t$ donne $t = \dfrac{x}{v_0 \cos(\alpha)}$.

On remplace dans $y(t)$:

$$y = -\frac{1}{2} g \left(\frac{x}{v_0 \cos(\alpha)} \right)^2 + v_0 \sin(\alpha) \times \frac{x}{v_0 \cos(\alpha)}$$

Avec $\dfrac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} = \tan(\alpha)$:

$$\boxed{y = -\frac{g}{2\, v_0^2 \cos^2(\alpha)} x^2 + \tan(\alpha)\, x}$$

COMPRENDRE
L'équation est de la forme $y = a\,x^2 + b\,x$ avec $a < 0$: la trajectoire est une portion de parabole tournée vers le bas, passant par l'origine.

3.1 À l'aide des équations horaires, déterminer la durée du vol et la portée théorique, l'obus retombant à l'altitude de son point de départ.

Données utiles $v_0 = 1600\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $\alpha = 50^\circ$; $g = 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

L'obus touche le sol quand $y(t) = 0$:

$-\dfrac{1}{2} g\, t^2 + v_0 \sin(\alpha)\, t = 0$, soit $t \left(-\dfrac{1}{2} g\, t + v_0 \sin(\alpha) \right) = 0$.

La solution $t = 0$ correspond au départ. La durée du vol est l'autre solution :

$$t_{\text{vol}} = \frac{2\, v_0 \sin(\alpha)}{g} = \frac{2 \times 1600 \times \sin(50^\circ)}{9{,}8} = 2{,}5 \times 10^2\ \text{s}$$

La portée est l'abscisse de l'obus à cette date :

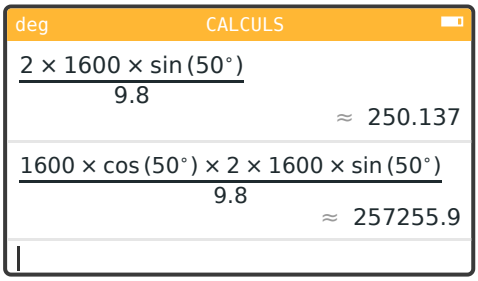
$$x(t_{\text{vol}}) = v_0 \cos(\alpha)\, t_{\text{vol}} = 1600 \times \cos(50^\circ) \times 250{,}1 = 2{,}6 \times 10^5\ \text{m}$$

$\boxed{t_{\text{vol}} \approx 2{,}5 \times 10^2\ \text{s et portée} \approx 2{,}6 \times 10^2\ \text{km}}$

PIÈGE
Calculatrice réglée en radians : $\sin(50)$ est alors négatif et la durée aussi. Vérifier le mode degrés avant tout calcul.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme g et α. On garde la valeur non arrondie de t_{vol} pour calculer la portée.

À LA CALCULATRICE



3.2 Déterminer l'altitude théorique maximale atteinte par l'obus, sachant que $v_y = -9{,}8 \times t + 1226$.

Données utiles $g = 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$; $v_0 \sin(\alpha) = 1226\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (expression de v_y)

Au sommet de la trajectoire, la vitesse est horizontale : $v_y(t_S) = 0$.

$-9{,}8 \times t_S + 1226 = 0$, soit $t_S = \dfrac{1226}{9{,}8} = 125{,}1$ s.

L'altitude maximale est $y(t_S)$, avec $v_0 \sin(\alpha) = 1226\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$:

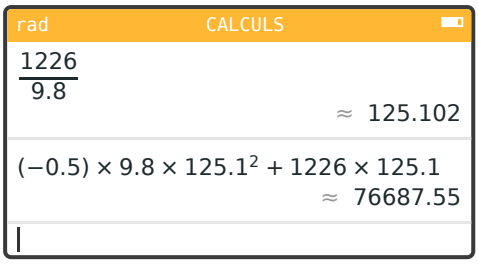
$$y_{\max} = -\frac{1}{2} \times 9{,}8 \times 125{,}1^2 + 1226 \times 125{,}1 = 7{,}7 \times 10^4\ \text{m}$$

$\boxed{y_{\max} \approx 7{,}7 \times 10^4\ \text{m, soit environ 77 km}}$

PIÈGE
Dire que la vitesse est nulle au sommet. Seule v_y s'annule : l'obus garde sa vitesse horizontale $v_x = v_0 \cos(\alpha)$.

MÉTHODE
Sommet d'une trajectoire parabolique : $v_y = 0$ donne la date, puis y à cette date donne l'altitude. Contrôle : t_S vaut la moitié de la durée du vol (125 s pour 250 s).

À LA CALCULATRICE



3.3 Expliquer l'écart entre les résultats théoriques des deux questions précédentes et les données du document.

Données utiles document : 176 s, 126 km, 42 km ; modèle : 250 s et 260 km (3.1), 77 km (3.2)

Les valeurs théoriques sont nettement supérieures aux valeurs mesurées : durée de vol 250 s contre 176 s, portée 260 km contre 126 km, altitude maximale 77 km contre 42 km.

Le modèle néglige les frottements de l'air. Or, à $1600\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$, ils sont très importants, surtout dans les couches basses et denses de l'atmosphère. Ils freinent l'obus tout au long du vol.

L'écart vient des frottements de l'air, négligés dans le modèle : l'obus réel monte moins haut, vole moins longtemps et retombe plus près.

COMPRENDRE

Le modèle de la chute libre donne ici environ le double des valeurs réelles : l'hypothèse « frottements négligeables » n'est pas valable pour un projectile aussi rapide, même si l'air raréfié en altitude réduit leur effet.

Spécialité : Peindre le titane au laser

Bac S 2019 Amérique du Sud (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Montrer que la couche de dioxyde de titane de 46 nm d'épaisseur créée avec le laser du document 2 est de couleur verte.

Données utiles document 2 : courbe (c) pour $e_{ox} = 46$ nm ; cercle chromatique

L'épaisseur $e_{ox} = 46$ nm correspond à la courbe (c) du document 2. Son absorbance est maximale pour $\lambda_{max} \approx 700$ nm : la couche absorbe surtout le rouge.

La couleur perçue est la couleur complémentaire de la couleur absorbée, c'est-à-dire celle qui lui est diamétralement opposée sur le cercle chromatique. Face au rouge (700 nm) se trouve le vert.

La couche de 46 nm absorbe principalement le rouge : elle apparaît **verte**.

PIÈGE
Répondre « rouge » parce que le maximum est à 700 nm. Un spectre d'absorption indique les radiations retirées à la lumière blanche, pas celles que l'œil reçoit.

COMPRENDRE
Ce sujet relève de l'ancien enseignement de spécialité (thème « matériaux »). Dans le programme actuel, la couleur complémentaire est étudiée en première ; l'absorbance reste utilisée en terminale.

2 Comment évolue l'énergie surfacique E_S reçue par l'échantillon lorsque la puissance P du laser augmente, puis lorsque la vitesse de déplacement v augmente, les autres paramètres étant fixés ?

L'énergie reçue par une zone de l'échantillon pendant la durée d'éclairement Δt est $E = P \times \Delta t$, et l'énergie surfacique est $E_S = \dfrac{E}{S}$.

- Si P augmente, à durée et surface fixées, E augmente donc E_S augmente.
- Si v augmente, le faisceau reste moins longtemps sur chaque zone : Δt diminue, E diminue donc E_S diminue.

E_S **augmente** quand P augmente ; E_S **diminue** quand v augmente.

MÉTHODE
Pour prévoir un sens de variation, écrire une relation simple entre les grandeurs (ici $E = P \times \Delta t$) puis faire varier une seule grandeur à la fois.

3 En déduire, parmi les trois relations proposées, celle qui permet de calculer E_S. Problème : déterminer la vitesse v de déplacement du laser du document 2 pour réaliser le marquage jaune sur l'échantillon du document 1, puis vérifier la cohérence du résultat.

Données utiles $P = 53$ W ; $d = 350\ \mu$m ; $80\ \text{mm}\cdot\text{s}^{-1} \leqslant v \leqslant 350\ \text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$; échantillon de 2,0 cm sur 2,0 cm ; $\rho = 3{,}9 \times 10^{6}\ \text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; documents 2 et 3

Choix de la relation. D'après la question 2, E_S croît avec P et décroît avec v : P est au numérateur et v au dénominateur. Seule la relation ❶ convient :

$$E_S = \frac{4\sqrt{2}\,P}{\pi\, d\, v}$$

Vérification des unités : $\dfrac{\text{W}}{\text{m}\times\text{m}\cdot\text{s}^{-1}} = \dfrac{\text{J}\cdot\text{s}^{-1}}{\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}} = \text{J}\cdot\text{m}^{-2}$. C'est bien une énergie par unité de surface (le sujet écrit « en Joule » : l'unité correcte est le joule par mètre carré).

Problème.

Épaisseur à former. Une couche jaune absorbe la couleur complémentaire du jaune, le violet (vers 400 nm sur le cercle chromatique). La courbe dont le maximum d'absorbance est à 400 nm est la courbe (a) : $e_{ox} = 17$ nm.

Masse de TiO_2. Surface irradiée : $S = 2{,}0 \times 2{,}0 = 4{,}0\ \text{cm}^2 = 4{,}0 \times 10^{-4}\ \text{m}^2$.

Volume de la couche : $V = S \times e_{ox}$, donc $m = \rho \times S \times e_{ox}$.

$$m = 3{,}9 \times 10^{6} \times 4{,}0 \times 10^{-4} \times 17 \times 10^{-9} = 2{,}7 \times 10^{-5}\ \text{g}$$

soit $m = 27\ \mu$g.

Énergie surfacique. Sur le document 3, tracé pour cette même surface, la droite moyenne passant au plus près des points donne, pour $m = 27\ \mu$g : $E_S \approx 1{,}65\ \text{MJ}\cdot\text{m}^{-2} = 1{,}65 \times 10^{6}\ \text{J}\cdot\text{m}^{-2}$.

Vitesse. La relation ❶ donne $v = \dfrac{4\sqrt{2}\,P}{\pi\, d\, E_S}$:

$$v = \frac{4\sqrt{2}\times 53}{\pi \times 350 \times 10^{-6} \times 1{,}65 \times 10^{6}} = 0{,}17\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

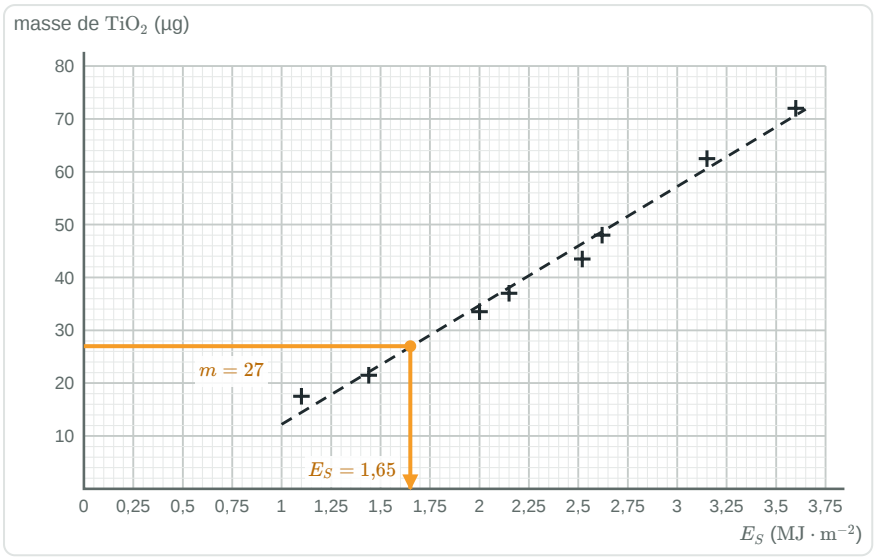
Cohérence. $v = 1{,}7 \times 10^{2}\ \text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ est bien comprise entre 80 et 350 $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$, plage de vitesses du laser du document 2.

Relation ❶ ; $v \approx 1{,}7 \times 10^{2}\ \text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$, valeur cohérente.

PIÈGE
Conversions : $4{,}0\ \text{cm}^2 = 4{,}0 \times 10^{-4}\ \text{m}^2$ (et non 10^{-2}), d en mètre, E_S en $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$ et non en MJ. Une seule oubliée fausse v de plusieurs puissances de dix.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme P, ρ et e_{ox}. La lecture graphique est peu précise : toute valeur de E_S entre 1,6 et 1,7 $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ conduit à $v \approx 0{,}16$ ou $0{,}17\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

MÉTHODE
Remonter la chaîne à l'envers : couleur voulue → couleur absorbée → courbe → épaisseur → masse → énergie surfacique → vitesse. Annoncer ce plan avant de calculer rapporte des points même si le calcul n'aboutit pas.



3 · Document 3 du sujet, avec la lecture pour 27 µg de dioxyde de titane

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$3.9 \times 10^6 \times 4.0 \times 10^{-4} \times 17 \times 10^{-9}$
$\approx 2.652 \times 10^{-5}$

$$\frac{4 \times \sqrt{2} \times 53}{\pi \times 350 \times 10^{-6} \times 1.65 \times 10^6} \approx 0.1652529$$