Corrigé complet — Bac 2025 Nouvelle-Calédonie Jour 2

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

Ex 1	**Synthèse d'un édulcorant : l'aspartame** Diagrammes de prédominance et de distribution · Espèce amphotère · Titrage pH-métrique · Taux d'avancement et force d'une base · Mécanisme réactionnel · Protection de groupes	9 pts	1 h 35	20 questions	p. 2
Ex 2	**La physique s'invite sur un terrain de rugby** Deuxième loi de Newton · Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme · Équations horaires · Énergies cinétique et potentielle de pesanteur · Conservation de l'énergie mécanique · Langage Python	6 pts	1 h 03	11 questions	p. 9
Ex 3	**Installation d'un panneau routier** Effet photoélectrique · Énergie d'un photon · Rendement d'une cellule photovoltaïque · Effet Doppler · Capacité d'une batterie	5 pts	53 min	10 questions	p. 13

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

Synthèse d'un édulcorant : l'aspartame

Bac 2025 Nouvelle-Calédonie Jour 2 · Exercice 1 **9 points** **Durée conseillée 1 h 35**

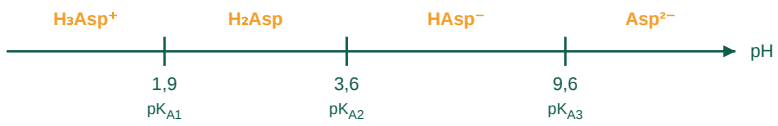
1 Tracer le diagramme de prédominance de l'acide aspartique en faisant apparaître ses quatre formes.

Données utiles $\text{p}K_{A1} = 1{,}9$; $\text{p}K_{A3} = 9{,}6$

Plus le pH augmente, plus la forme qui prédomine a perdu de protons. Les frontières entre deux formes successives sont les $\text{p}K_A$ des trois couples : $\text{H}_3\text{Asp}^+/\text{H}_2\text{Asp}$ ($\text{p}K_{A1}$), $\text{H}_2\text{Asp}/\text{HAsp}^-$ ($\text{p}K_{A2}$) et $\text{HAsp}^-/\text{Asp}^{2-}$ ($\text{p}K_{A3}$).

De gauche à droite sur l'axe des pH : H_3Asp^+, H_2Asp, HAsp^-, Asp^{2-}, séparées par $\text{p}K_{A1} = 1{,}9$, $\text{p}K_{A2}$ et $\text{p}K_{A3} = 9{,}6$.

MÉTHODE
L'acide d'un couple prédomine pour $\text{pH} < \text{p}K_A$, sa base pour $\text{pH} > \text{p}K_A$. On range donc les formes de la plus protonée à la moins protonée. La valeur $3{,}6$ de $\text{p}K_{A2}$ est établie à la question 2.



1 · Diagramme de prédominance de l'acide aspartique

2 Déterminer, en justifiant, la valeur de $\text{p}K_{A2}$.

Données utiles diagramme de distribution (figure 2)

$\text{p}K_{A2}$ est celui du couple $\text{H}_2\text{Asp}/\text{HAsp}^-$. Comme $\text{pH} = \text{p}K_{A2} + \log\dfrac{[\text{HAsp}^-]}{[\text{H}_2\text{Asp}]}$, on a $\text{pH} = \text{p}K_{A2}$ lorsque les deux formes sont en quantités égales.

Sur la figure 2, la courbe de H_2Asp (trait plein) et celle de HAsp^- (pointillés) se coupent à l'abscisse $\text{pH} = 3{,}6$.

$\text{p}K_{A2} = 3{,}6$

PIÈGE
Lire l'abscisse du maximum de la courbe de H_2Asp (2,8) ou le premier croisement (1,9, qui redonne $\text{p}K_{A1}$). Il faut le croisement des courbes des deux formes du couple étudié.

COMPRENDRE
Au croisement, chaque forme représente un peu moins de 50 % : il reste quelques pour cent de H_3Asp^+. L'égalité des deux concentrations suffit pour conclure.

3 Justifier que H_2Asp est une espèce amphotère.

H_2Asp appartient à deux couples acide-base :

- il est la base du couple $\text{H}_3\text{Asp}^+/\text{H}_2\text{Asp}$: il peut capter un proton ;
- il est l'acide du couple $\text{H}_2\text{Asp}/\text{HAsp}^-$: il peut céder un proton.

H_2Asp est à la fois un acide et une base : c'est une espèce amphotère.

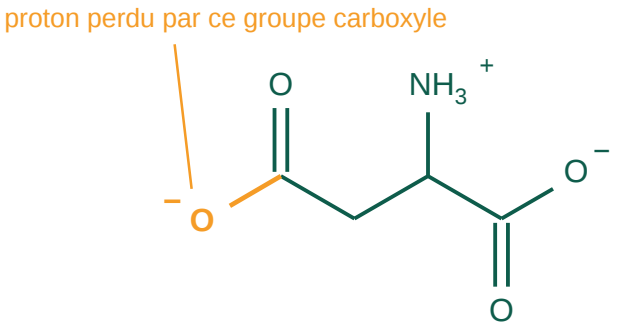
4 Sachant que le pK_A d'un acide carboxylique est inférieur à celui d'une amine, représenter la formule topologique de $HAsp^-$, obtenue quand H_2Asp perd un proton.

H_2Asp porte deux groupes capables de céder un proton : le groupe carboxyle $-COOH$ et le groupe $-NH_3^+$.

Le couple de plus petit pK_A est celui de l'acide carboxylique : c'est donc le groupe $-COOH$ qui perd son proton en premier et devient $-COO-$. Le groupe $-NH_3^+$ reste intact.

$HAsp^-$: les deux groupes carboxyle sont sous forme $-COO-$ et l'azote reste sous forme $-NH_3^+$ (charge globale -1).

PIÈGE
Retirer le proton de $-NH_3^+$ pour écrire $-NH_2$: ce départ correspond au couple suivant ($pK_{A3} = 9{,}6$) et donne Asp^{2-}.



4 · Formule topologique de $HAsp^-$

5 Justifier la forme prédominante de l'acide aspartique dans la solution au début du titrage.

Données utiles pH initial : 2,8 ; $pK_{A1} = 1{,}9$; $pK_{A2} = 3{,}6$ (Q2)

Au début du titrage, $pH = 2{,}8$, donc $pK_{A1} < pH < pK_{A2}$.

D'après le diagramme de prédominance (Q1), ce pH se situe dans le domaine de H_2Asp.

La forme prédominante au début du titrage est H_2Asp.

COMPRENDRE
La figure 2 le confirme : à $pH = 2{,}8$, H_2Asp atteint son maximum, environ 75 %. C'est bien l'espèce que titre la réaction support.

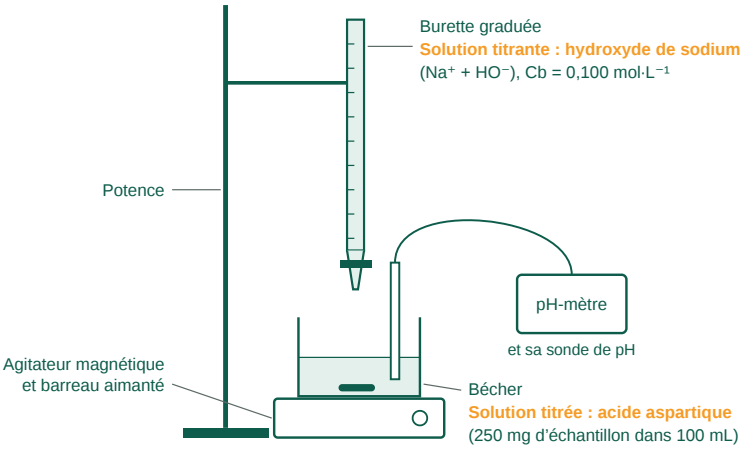
6 Réaliser le schéma légendé du montage du titrage.

Le titrage est suivi par pH-métrie :

- burette graduée contenant la solution titrante d'hydroxyde de sodium, $C_b = 0{,}100\ mol \cdot L^{-1}$;
- bécher contenant la solution titrée (l'échantillon de 250 mg dissous dans 100 mL d'eau) ;
- agitateur magnétique et barreau aimanté ;
- sonde de pH plongeant dans la solution, reliée à un pH-mètre.

Schéma ci-dessous : burette (solution titrante), bécher (solution titrée), agitation magnétique, pH-mètre.

PIÈGE
Une légende incomplète coûte des points : il faut nommer la verrerie et aussi les solutions (titrante dans la burette, titrée dans le bécher). Ne pas oublier le pH-mètre, puisque le suivi est pH-métrique.



6 · Montage du titrage suivi par pH-métrie

7 Définir l'équivalence.

L'équivalence est l'état du système pour lequel le réactif titrant et le réactif titré ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de la réaction support du titrage. Les deux réactifs sont alors entièrement consommés.

Ici, à l'équivalence : $n(\mathrm{HO^-})_{\text{versé}} = n(\mathrm{H_2Asp})_{\text{initial}}$

COMPRENDRE
Avant l'équivalence, le réactif limitant est $\mathrm{HO^-}$; après, c'est $\mathrm{H_2Asp}$. L'équivalence correspond au changement de réactif limitant.

8 Déterminer graphiquement, à l'aide de la figure 3 de l'annexe, le volume équivalent V_E de solution d'hydroxyde de sodium.

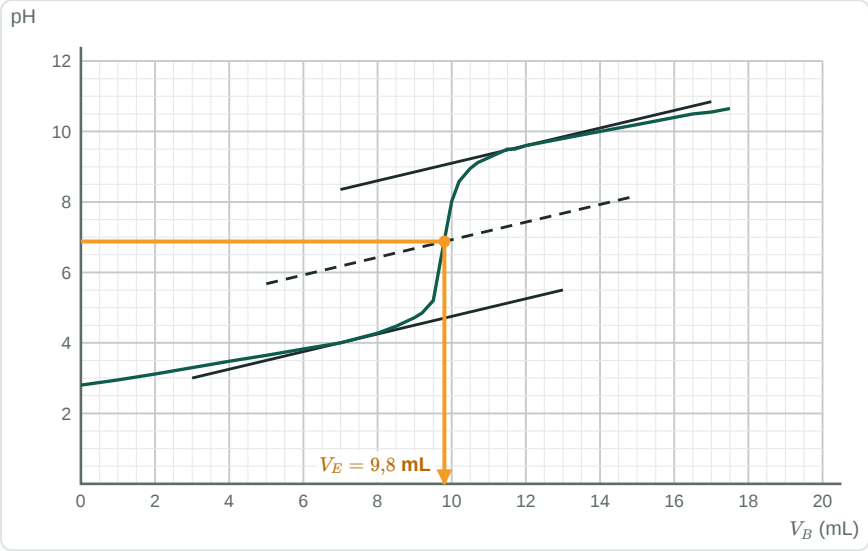
On applique la méthode des tangentes parallèles sur la courbe $\mathrm{pH} = f(V_B)$:

- on trace deux tangentes parallèles entre elles, de part et d'autre du saut de pH ;
- on trace la droite parallèle à ces tangentes et équidistante des deux ;
- cette droite coupe la courbe au point d'équivalence, dont on lit l'abscisse.

$V_E = 9{,}8\ \mathrm{mL}$

COMPRENDRE
Avec des graduations de 0,5 mL, la lecture se fait à 0,1 mL près : une valeur comprise entre 9,7 et 9,9 mL est acceptable. Le saut est presque vertical, donc V_E dépend peu du tracé des tangentes.

MÉTHODE
Laisser les traits de construction visibles sur l'annexe et la rendre avec la copie : c'est le tracé qui justifie la valeur lue.



8 · Figure 3 complétée : deux tangentes parallèles, la parallèle équidistante (tirets) et le point d'équivalence ($V_E = 9{,}8$ mL, $\mathrm{pH}_E \approx 6{,}9$)

9 Calculer la masse d'acide aspartique contenue dans l'échantillon.

Données utiles $C_b = 0{,}100\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $V_E = 9{,}8\ \mathrm{mL}$ (Q8) ; $M(\mathrm{H_2Asp}) = 133\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$

À l'équivalence (Q7) : $n(\mathrm{H_2Asp})_{\text{initial}} = n(\mathrm{HO^-})_{\text{versé}} = C_b \times V_E$.

Tout l'échantillon a été dissous et titré, donc $m = n(\mathrm{H_2Asp})_{\text{initial}} \times M(\mathrm{H_2Asp})$:

$$m = C_b \times V_E \times M(\mathrm{H_2Asp})$$

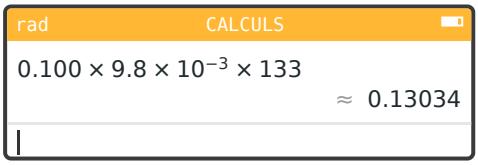
$$m = 0{,}100 \times 9{,}8 \times 10^{-3} \times 133 = 0{,}13\ \mathrm{g}$$

$m = 0{,}13$ g, soit environ $1{,}3 \times 10^2$ mg

PIÈGE
Laisser V_E en mL donne une masse mille fois trop grande. Autre erreur : multiplier par 100 mL, alors que tout l'échantillon dissous est titré et que le volume d'eau n'intervient pas.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme V_E, la donnée la moins précise. L'échantillon de 250 mg ne contient donc qu'environ la moitié de sa masse en acide aspartique.

À LA CALCULATRICE



10 Nommer les groupes caractéristiques A et B entourés sur la figure 4.

Le groupe A est un enchaînement $-\mathrm{CO}-\mathrm{O}-\mathrm{C}$: un carbone doublement lié à un oxygène et lié à un second oxygène, lui-même lié à un carbone. Le groupe B est un azote lié à un carbone et à deux hydrogènes.

A : groupe ester ; B : groupe amine.

PIÈGE
Confondre A avec un groupe carboxyle : ici l'oxygène est lié à $\mathrm{CH_3}$ et non à H. Confondre B avec un amide : l'azote n'est pas lié à un carbone portant $\mathrm{C{=}O}$.

11 Justifier, à partir de la structure de $\mathrm{R-NH_2}$, son caractère basique au sens de Brønsted.

Une base de Brønsted est une espèce capable de capter un proton $\mathrm{H^+}$.

L'atome d'azote de $\mathrm{R-NH_2}$ porte un doublet non liant (le trait placé au-dessus de N dans la notation du sujet). Ce doublet peut former une liaison covalente avec un proton $\mathrm{H^+}$, qui n'a pas d'électron.

Grâce au doublet non liant de l'azote, $\mathrm{R-NH_2}$ peut capter un proton : c'est une base de Brønsted.

12 En déduire la formule de l'acide conjugué de $\mathrm{R{-}NH_2}$.

L'acide conjugué s'obtient en ajoutant un proton à la base : $\mathrm{R{-}NH_2 + H^+ = R{-}NH_3^+}$.

Acide conjugué : $\mathrm{R{-}NH_3^+}$ (couple $\mathrm{R{-}NH_3^+/R{-}NH_2}$)

PIÈGE
Oublier la charge positive : le proton apporte une charge $+$ que l'azote porte dans $\mathrm{R{-}NH_3^+}$.

13 Établir l'équation de la réaction de la phénylalanine méthylée avec l'eau.

Données utiles couples $\mathrm{R{-}NH_3^+/R{-}NH_2}$ (Q12) et $\mathrm{H_2O/HO^-}$

La base $\mathrm{R{-}NH_2}$ réagit avec l'eau, qui joue le rôle d'acide (couple $\mathrm{H_2O/HO^-}$) :

- $\mathrm{R{-}NH_2 + H^+ = R{-}NH_3^+}$
- $\mathrm{H_2O = HO^- + H^+}$

$$\mathrm{R{-}NH_2\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons R{-}NH_3^+\,(aq) + HO^-\,(aq)}$$

MÉTHODE
Écrire les deux demi-équations, puis les additionner pour que le proton échangé disparaisse. Vérifier la conservation des charges : 0 à gauche, $+1 - 1 = 0$ à droite.

14 Calculer le taux d'avancement final τ et conclure sur la force de la base, la phénylalanine méthylée.

Données utiles $V = 1{,}00\ \mathrm{L}$; $c = 1{,}00 \times 10^{-1}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $\mathrm{pH} = 12{,}9$; $K_e = 1{,}0 \times 10^{-14}$; $c^\circ = 1{,}0\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$

D'après l'équation de la question 13, l'avancement final est $x_f = n(\mathrm{HO^-})_f = [\mathrm{HO^-}]_f \times V$.

L'eau est en excès : si la réaction était totale, $x_{max} = c \times V$. Donc

$$\tau = \frac{x_f}{x_{max}} = \frac{[\mathrm{HO^-}]_f}{c}$$

Le pH donne $[\mathrm{H_3O^+}]_f = c^\circ \times 10^{-\mathrm{pH}}$, et le produit ionique de l'eau $K_e = \dfrac{[\mathrm{H_3O^+}]_f \times [\mathrm{HO^-}]_f}{(c^\circ)^2}$ donne :

$$[\mathrm{HO^-}]_f = \frac{K_e \times c^\circ}{10^{-\mathrm{pH}}} = \frac{1{,}0 \times 10^{-14}}{10^{-12{,}9}} = 7{,}9 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$$

$$\tau = \frac{7{,}9 \times 10^{-2}}{1{,}00 \times 10^{-1}} = 0{,}79$$

$\tau < 1$: la réaction avec l'eau n'est pas totale.

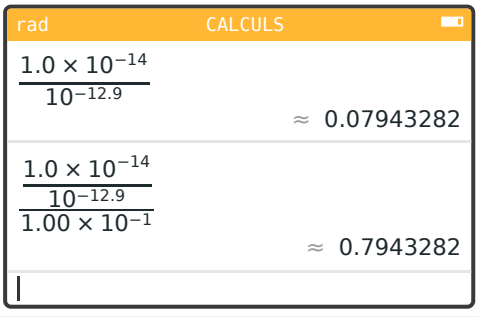
$\tau = 0{,}79$, soit 79 % : la phénylalanine méthylée est une base faible.

PIÈGE
Calculer τ avec $[\mathrm{H_3O^+}] = 10^{-12{,}9}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$: la réaction produit des ions $\mathrm{HO^-}$, pas $\mathrm{H_3O^+}$. Il faut passer par K_e.

COMPRENDRE
Une base forte à cette concentration donnerait $[\mathrm{HO^-}] = c$, soit $\mathrm{pH} = 14 + \log(0{,}100) = 13{,}0$. Le pH mesuré est inférieur : la base n'est que partiellement protonée.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer la démarche (définition de τ, lien entre pH et $[\mathrm{HO^-}]$), établir l'expression littérale, puis calculer. Même inachevée, une démarche écrite rapporte des points.

À LA CALCULATRICE



15 Identifier, en expliquant, la catégorie de cette transformation : oxydoréduction, acide-base, addition, élimination ou substitution.

On compare les réactifs et les produits de la figure 1 : sur l'atome de carbone du groupe carboxyle de l'acide aspartique, le groupe $-\mathrm{OH}$ a été remplacé par le groupe $-\mathrm{NH}-$ apporté par la phénylalanine méthylée. Le groupe $-\mathrm{OH}$ parti se retrouve dans la molécule d'eau formée.

Un groupe d'atomes a pris la place d'un autre sur le même carbone.

La transformation est une substitution.

MÉTHODE
Addition : des atomes s'ajoutent sur une liaison multiple, un seul produit. Élimination : des atomes partent et une liaison multiple se crée. Substitution : un atome ou un groupe en remplace un autre, deux réactifs et deux produits.

16 Sur l'étape 1 de la figure 5 de l'annexe, faire apparaître les sites donneurs et accepteurs de doublet d'électrons des réactifs.

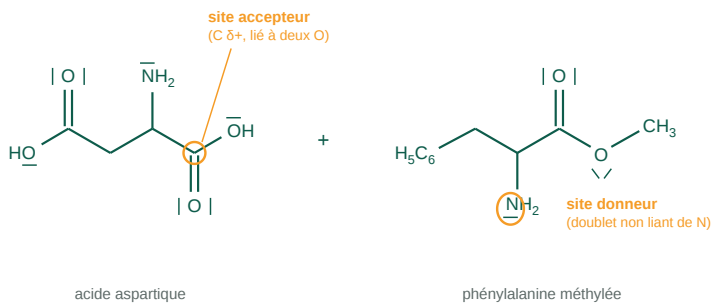
Données utiles $\chi(\mathrm{C}) = 2{,}55$; $\chi(\mathrm{O}) = 3{,}44$

Site donneur : l'atome d'azote du groupe amine de la phénylalanine méthylée, qui porte un doublet non liant.

Site accepteur : l'atome de carbone du groupe carboxyle de l'acide aspartique voisin du carbone portant $-\mathrm{NH_2}$. Il est lié à deux atomes d'oxygène, plus électronégatifs que lui ($3{,}44 > 2{,}55$) : les liaisons $\mathrm{C-O}$ et $\mathrm{C=O}$ sont polarisées et ce carbone porte une charge partielle $\delta+$.

Donneur : N de la phénylalanine méthylée ; accepteur : C ($\delta+$) du groupe carboxyle de l'acide aspartique.

COMPRENDRE
Le carbone visé est celui qui, dans l'intermédiaire puis dans l'aspartame, se retrouve lié à l'azote. C'est en comparant réactifs et produit de l'étape 1 qu'on repère les deux atomes qui se lient.



16 · Étape 1 de la figure 5 : sites donneur et accepteur

17 Représenter, sur l'étape 1 de la figure 5, les flèches courbes de l'acte élémentaire conduisant à l'intermédiaire réactionnel.

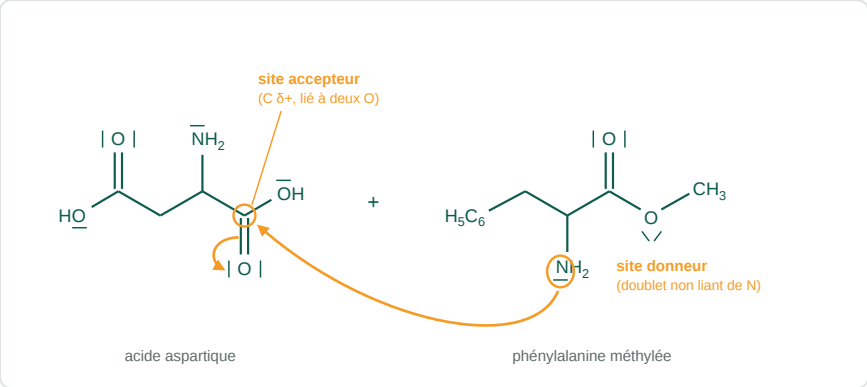
Deux flèches courbes, chacune partant d'un doublet d'électrons :

- la première part du doublet non liant de l'azote (site donneur) et pointe vers le carbone $\delta+$ (site accepteur) : elle traduit la formation de la liaison $\mathrm{C-N}$;
- la seconde part de la double liaison $\mathrm{C=O}$ et pointe vers l'atome d'oxygène : un doublet de la double liaison devient un doublet non liant de l'oxygène.

On retrouve bien les charges de l'intermédiaire : $\oplus$ sur l'azote, qui a engagé son doublet, et $\ominus$ sur l'oxygène, qui en a reçu un.

Flèche 1 : du doublet de N vers C ; flèche 2 : de la liaison $\mathrm{C=O}$ vers O.

PIÈGE
Une flèche courbe part toujours d'un doublet (liant ou non liant), jamais d'un atome ni d'une charge, et va vers le site accepteur. Tracée du carbone vers l'azote, elle ne rapporte aucun point.



17 · Étape 1 de la figure 5 complétée : flèches courbes

18 Identifier, en justifiant, l'intermédiaire réactionnel de cette synthèse.

Un intermédiaire réactionnel est une espèce formée au cours d'une étape du mécanisme puis consommée dans une étape suivante : il ne figure pas dans l'équation de la réaction.

L'espèce produite par l'étape 1, qui porte une charge $\oplus$ sur l'azote et une charge $\ominus$ sur un oxygène, est le réactif de l'étape 2. Elle n'apparaît pas dans l'équation de la figure 1.

L'intermédiaire réactionnel est l'espèce chargée ($-\mathrm{NH_2}^+-$ et $-\mathrm{O}-$) formée à l'étape 1 et consommée à l'étape 2.

PIÈGE
Ne pas confondre avec un catalyseur, qui est consommé puis régénéré, ni avec l'eau, qui est un produit et figure dans l'équation.

19 Justifier que d'autres intermédiaires réactionnels sont susceptibles de se former.

Les deux réactifs possèdent chacun plusieurs sites réactifs :

- l'acide aspartique a deux groupes carboxyle, donc deux carbones accepteurs : l'azote de la phénylalanine méthylée peut aussi se lier au carbone de l'autre groupe carboxyle ;
- l'acide aspartique possède lui aussi un groupe amine, dont l'azote est un site donneur : il peut attaquer le carbone du groupe ester de la phénylalanine méthylée, ou un carbone de groupe carboxyle d'une autre molécule d'acide aspartique.

Plusieurs couples donneur-accepteur sont possibles : d'autres intermédiaires, donc d'autres produits que l'aspartame, peuvent se former.

20 Proposer une stratégie pour s'assurer de la formation de l'aspartame uniquement.

Il faut empêcher de réagir les groupes qui ne doivent pas participer à la synthèse :

- protéger, sur l'acide aspartique, le groupe amine et le groupe carboxyle qui doit rester intact, en les transformant en groupes non réactifs dans les conditions de la synthèse ;
- réaliser la réaction avec la phénylalanine méthylée : seul le groupe carboxyle laissé libre réagit ;
- déprotéger ensuite les deux groupes pour retrouver $-\mathrm{NH_2}$ et $-\mathrm{COOH}$.

Stratégie de protection, puis réaction, puis déprotection des groupes caractéristiques.

COMPRENDRE
La protection ajoute deux étapes, donc abaisse le rendement global et allonge la synthèse, mais elle rend la réaction sélective : c'est le prix à payer pour n'obtenir que l'aspartame.

La physique s'invite sur un terrain de rugby

Bac 2025 Nouvelle-Calédonie Jour 2 · Exercice 2 **6 points** **Durée conseillée 1 h 03**

1 En précisant la loi utilisée, exprimer les coordonnées $a_x(t)$ et $a_z(t)$ du vecteur accélération $\vec{a}_G$ du ballon.

Système {ballon}, de masse m constante ; référentiel terrestre supposé galiléen. Les frottements de l'air étant négligés, la seule force est le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$.

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

Le vecteur $\vec{g}$ est vertical, dirigé vers le bas, alors que l'axe (Oz) est orienté vers le haut :

$$a_x(t) = 0 \qquad a_z(t) = -g$$

PIÈGE
Oublier le signe « $-$ » de a_z : il vient de l'orientation de l'axe (Oz) vers le haut. Citer la loi par son nom, le sujet le demande explicitement.

2 Montrer que les équations horaires du mouvement sont $x(t) = v_0\cos(\alpha)\,t$ et $z(t) = -\dfrac{1}{2}\,g\,t^2 + v_0\sin(\alpha)\,t + h$.

Comme $\vec{a}_G = \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$, on cherche les primitives de $a_x = 0$ et $a_z = -g$:

$$v_x(t) = C_1 \qquad v_z(t) = -g\,t + C_2$$

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 $C_2 = v_0\sin(\alpha)$:

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

Comme $\vec{v} = \dfrac{\mathrm{d}\overrightarrow{OG}}{\mathrm{d}t}$, on prend de nouveau les primitives :

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

À $t = 0$, le ballon est en $x(0) = 0$ et $z(0) = h$, donc $C_3 = 0$ et $C_4 = h$.

$$x(t) = v_0\cos(\alpha)\,t \qquad z(t) = -\frac{1}{2}\,g\,t^2 + v_0\sin(\alpha)\,t + h$$

PIÈGE
Oublier la constante $C_4 = h$: le ballon ne part pas de l'origine, mais de la hauteur h sur l'axe (Oz).

MÉTHODE
Deux intégrations successives, accélération puis vitesse puis position. Après chaque intégration, déterminer aussitôt les constantes avec les conditions initiales, en les justifiant par la figure 1.

3 Vérifier que le vol du ballon, jusqu'à ce qu'il touche le sol, dure 3,97 s.

Données utiles $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $v_0 = 20{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\alpha = 70^\circ$; $h = 90\ \text{cm} = 0{,}90\ \text{m}$

L'unité de v_0 est mal imprimée dans le sujet : on prend $v_0 = 20{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Le ballon touche le sol à la date $t_{\text{sol}} > 0$ telle que $z(t_{\text{sol}}) = 0$:

$$-\frac{1}{2}\,g\,t^2 + v_0\sin(\alpha)\,t + h = 0$$

C'est une équation du second degré, de discriminant $\Delta = (v_0\sin\alpha)^2 + 2\,g\,h > 0$. Seule sa solution positive convient :

$$t_{\text{sol}} = \frac{v_0\sin\alpha + \sqrt{(v_0\sin\alpha)^2 + 2\,g\,h}}{g}$$

Avec $v_0\sin\alpha = 20{,}5 \times \sin(70^\circ) = 19{,}26\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$:

$$t_{\text{sol}} = \frac{19{,}26 + \sqrt{19{,}26^2 + 2\times 9{,}81\times 0{,}90}}{9{,}81}$$

$t_{\text{sol}} = 3{,}97$ s : on retrouve bien la durée annoncée.

PIÈGE
Calculatrice en degrés, et h converti en mètres. L'autre solution de l'équation est négative : elle n'a pas de sens ici.

COMPRENDRE
Sur la figure 3, l'énergie mécanique vaut environ 96 J : avec $m = 0{,}440$ kg, cela correspond à $20{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, et non à $20{,}5\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.

MÉTHODE
Variante acceptée : calculer $z(3{,}97)$ et constater qu'il est presque nul (0,07 m, écart dû à l'arrondi de la durée).

À LA CALCULATRICE

deg CALCULS

$20.5 \times \sin(70°) \approx 19.2637$

$\frac{20.5 \times \sin(70°) + \sqrt{(20.5 \times \sin(70°))^2 + 2 \times 9.81 \times 0.90}}{9.81} \approx 3.973537$

4 Calculer l'altitude du ballon lorsque le joueur le récupère, au bout de 3,82 s.

Données utiles $t_1 = 3{,}82\ \text{s}$; $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $v_0 = 20{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\alpha = 70^\circ$; $h = 0{,}90\ \text{m}$

On calcule $z(t_1)$ avec l'équation horaire :

$$z(t_1) = -\frac{1}{2} \times 9{,}81 \times 3{,}82^2 + 20{,}5 \times \sin(70^\circ) \times 3{,}82 + 0{,}90$$

$\boxed{z(t_1) = 2{,}9\ \text{m}}$

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme h et α, les données les moins précises. Le résultat est cohérent avec un joueur qui saute bras tendus, et avec les 2,90 m annoncés en partie B.

À LA CALCULATRICE

deg CALCULS

$(-0.5) \times 9.81 \times 3.82^2 + 20.5 \times \sin(70°) \times 3.82 + 0.90 \approx 2.911607$

5 Déterminer si Julien Marchand, qui sprinte à la vitesse moyenne de 25,7 km·h⁻¹, aurait été capable de réussir la chandelle étudiée.

Données utiles $v_J = 25{,}7\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$; $v_0 = 20{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\alpha = 70^\circ$

Pour récupérer le ballon, le joueur doit parcourir la même distance horizontale que lui pendant la même durée. Or le ballon avance horizontalement à vitesse constante :

$$v_x = v_0 \cos(\alpha) = 20{,}5 \times \cos(70^\circ) = 7{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

soit $v_x = 7{,}0 \times 3{,}6 \approx 25\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.

La vitesse moyenne de Julien Marchand, $25{,}7\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, est légèrement supérieure à la vitesse horizontale du ballon : il arrive au point de chute un peu avant le ballon.

$\boxed{v_J = 25{,}7\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1} > v_x \approx 25\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}}$: Julien Marchand aurait pu réussir cette chandelle.

PIÈGE
Comparer v_J à v_0 : seule la composante horizontale v_x du ballon compte. Convertir aussi dans la même unité (multiplier par 3,6 pour passer en km·h⁻¹).

MÉTHODE
Autre démarche : comparer les distances à $t_1 = 3{,}82$ s. Le ballon est à $x(t_1) \approx 27$ m ; en 3,82 s, le joueur peut parcourir $\frac{25{,}7}{3{,}6} \times 3{,}82 \approx 27{,}3$ m. C'est suffisant.

À LA CALCULATRICE

deg CALCULS

$20.5 \times \cos(70°) \approx 7.011413$

$20.5 \times \cos(70°) \times 3.6 \approx 25.24109$

6 Relever dans le code de la figure 2 la valeur de la masse du ballon.

La ligne 8 du programme donne la masse, en kilogramme.

$m = 0{,}440\ \text{kg}$

PIÈGE
Le point du langage Python est une virgule décimale : écrire 0,440 kg sur la copie, avec l'unité lue dans le commentaire.

7 Identifier les grandeurs calculées aux lignes 26 et 27.

Ligne 26 : la valeur de la vitesse du ballon, norme du vecteur vitesse, $v = \sqrt{v_x^2 + v_z^2}$ (la puissance $1/2$ est une racine carrée).

Ligne 27 : l'énergie cinétique du ballon, $E_c = \dfrac{1}{2}\,m\,v^2$.

Ligne 26 : vitesse v (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) ; ligne 27 : énergie cinétique E_c (en J).

8 Recopier et compléter le code des lignes 27, 28 et 29 du programme.

On utilise $E_c = \dfrac{1}{2}\,m\,v^2$, $E_p = m\,g\,z$ (origine au sol, où $z = 0$) et $E_m = E_c + E_p$:

- Ligne 27 : Ec = 0.5 * m * v**2
- Ligne 28 : Ep = m * g * z
- Ligne 29 : Em = Ec + Ep

Ligne 27 : Ec = 0.5 * m * v**2 ; ligne 28 : Ep = m * g * z ; ligne 29 : Em = Ec + Ep

PIÈGE
Respecter les noms de variables déjà utilisés (m, g, z, Ec, Ep) et écrire les produits avec le symbole *. Le nom Ec est imposé par la ligne 29, qui doit le réutiliser.

9 En justifiant, attribuer la nature de l'énergie correspondant à chaque courbe de la figure 3.

Courbe 2 : énergie potentielle de pesanteur $E_p = m\,g\,z$. Elle varie comme l'altitude : faible au départ ($z = h$), maximale au sommet de la trajectoire, nulle quand le ballon touche le sol.

Courbe 3 : énergie cinétique E_c. Elle est maximale au départ, diminue pendant la montée car le ballon ralentit, passe par un minimum au sommet puis augmente pendant la descente.

Courbe 1 : énergie mécanique $E_m = E_c + E_p$. Elle est à chaque instant la somme des deux autres et reste constante, puisque les frottements sont négligés.

Courbe 1 : E_m ; courbe 2 : E_p ; courbe 3 : E_c.

COMPRENDRE
Au sommet, E_c n'est pas nulle (environ 11 J) : le ballon garde sa vitesse horizontale v_x. Seule la composante verticale de la vitesse s'annule.

10 Indiquer, en expliquant, si l'hypothèse sur les frottements de l'air a été prise en compte dans la modélisation numérique.

Sur la figure 3, l'énergie mécanique (courbe 1) garde la même valeur, environ 96 J, pendant tout le vol. Avec des frottements, force non conservative dont le travail est résistant, elle diminuerait au cours du temps.

L'énergie mécanique se conserve : la modélisation néglige bien les frottements de l'air, l'hypothèse a été prise en compte.

11 À l'aide d'une étude énergétique, calculer la vitesse du ballon, en km·h⁻¹, lorsqu'il est récupéré par le joueur à l'altitude de 2,90 m.

Données utiles $v_0 = 20{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $h = 0{,}90\ \text{m}$; $z_1 = 2{,}90\ \text{m}$; $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

Le ballon n'est soumis qu'à son poids, force conservative : son énergie mécanique se conserve entre le départ (vitesse v_0, altitude h) et la récupération (vitesse v_1, altitude z_1).

$$\frac{1}{2}\,m\,v_0^2 + m\,g\,h = \frac{1}{2}\,m\,v_1^2 + m\,g\,z_1$$

On simplifie par m et on isole v_1 :

$$v_1^2 = v_0^2 + 2\,g\,(h - z_1) \qquad \text{donc} \qquad v_1 = \sqrt{v_0^2 + 2\,g\,(h - z_1)}$$

$$v_1 = \sqrt{20{,}5^2 + 2 \times 9{,}81 \times (0{,}90 - 2{,}90)} = 19{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

Conversion : $v_1 = 19{,}5 \times 3{,}6 = 70{,}3\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (calcul mené avec la valeur non arrondie).

$$\boxed{v_1 = 19{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1} \approx 70{,}3\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}}$$

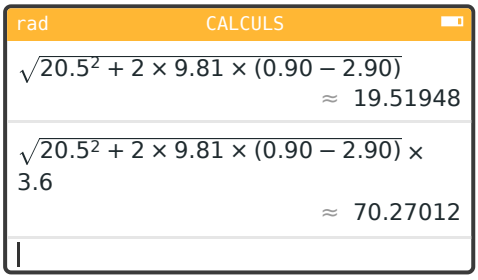
PIÈGE

Oublier l'altitude de départ $h = 0{,}90$ m, ou se tromper de signe dans $h - z_1$. Le résultat est demandé en km·h⁻¹ : multiplier par 3,6.

COMPRENDRE

La masse se simplifie : le résultat ne dépend pas du ballon. Comme $z_1 > h$, on trouve logiquement $v_1 < v_0$: une partie de l'énergie cinétique initiale est devenue énergie potentielle.

À LA CALCULATRICE



Installation d'un panneau routier

Bac 2025 Nouvelle-Calédonie Jour 2 · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

1 Décrire l'effet photoélectrique mis en jeu lors du fonctionnement de la cellule photovoltaïque.

La lumière est constituée de photons, chacun d'énergie $E = h\,\nu$. Lorsqu'un photon d'énergie au moins égale à E_{gap} est absorbé par un électron du silicium, celui-ci quitte la bande de valence et atteint la bande de conduction.

Les électrons ainsi libérés deviennent mobiles : ils circulent dans le circuit, la cellule délivre un courant électrique.

PIÈGE
Décrire sans citer le photon, le seuil d'énergie et le changement de bande. Ces trois éléments sont attendus.

COMPRENDRE
Un photon agit sur un seul électron. Si son énergie est inférieure à E_{gap}, rien ne se passe, quelle que soit l'intensité de la lumière : c'est l'existence d'un seuil.

2 Citer une autre application de ce phénomène.

Les capteurs de lumière, par exemple le capteur d'un appareil photo numérique ou la cellule qui détecte un passage devant une porte automatique.

COMPRENDRE
Une seule application suffit. Dans tous ces dispositifs, la lumière reçue est convertie en signal électrique.

3 Calculer la longueur d'onde λ_{seuil} correspondant à l'énergie nécessaire à l'électron pour franchir le gap.

Données utiles $E_{\text{gap}} = 1{,}12$ eV (figure 1) ; $1\text{ eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J ; $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1}

Au seuil, l'énergie du photon est exactement celle du gap : $E_{\text{gap}} = \dfrac{h\,c}{\lambda_{\text{seuil}}}$, donc $\lambda_{\text{seuil}} = \dfrac{h\,c}{E_{\text{gap}}}$.

Conversion : $E_{\text{gap}} = 1{,}12 \times 1{,}60 \times 10^{-19} = 1{,}79 \times 10^{-19}$ J.

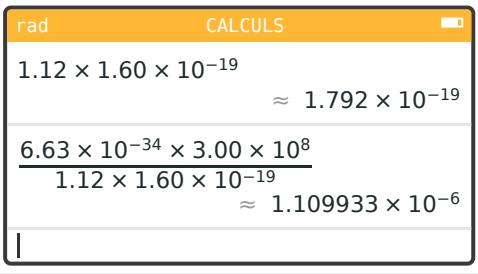
$$\lambda_{\text{seuil}} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{1{,}12 \times 1{,}60 \times 10^{-19}}$$

$\lambda_{\text{seuil}} = 1{,}11 \times 10^{-6}$ m, soit $1{,}11 \times 10^{3}$ nm (proche infrarouge).

PIÈGE
Laisser E_{gap} en électronvolts. La relation $E = h\,c/\lambda$ exige une énergie en joules, sinon le résultat est faux d'un facteur 10^{19}.

COMPRENDRE
Toutes les données ont trois chiffres significatifs : le résultat en garde trois. Le nombre affiché par la calculatrice n'est jamais recopié en entier.

À LA CALCULATRICE



4 Indiquer, à l'aide de la figure 2, si l'utilisation de silicium est adaptée pour une cellule photovoltaïque.

Données utiles $\lambda_{\text{seuil}} = 1{,}11 \times 10^3$ nm (Q3)

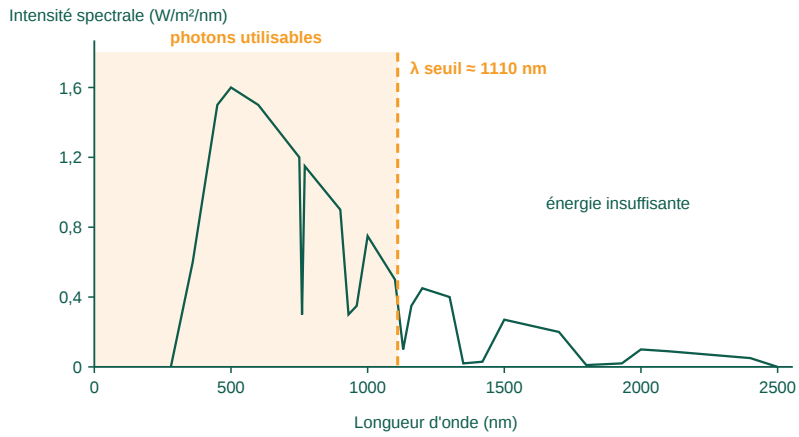
Comme $E = \dfrac{h\,c}{\lambda}$, un photon est assez énergétique si $\lambda \leqslant \lambda_{\text{seuil}}$, soit $\lambda \leqslant 1{,}11 \times 10^3$ nm.

Sur la figure 2, le rayonnement solaire reçu au sol est maximal vers 500 nm et la plus grande partie du spectre se situe en dessous de $1{,}11 \times 10^3$ nm.

Le silicium est adapté : la majorité des photons solaires ont une énergie suffisante pour faire passer un électron dans la bande de conduction.

PIÈGE
Inverser le sens de l'inégalité. L'énergie d'un photon diminue quand la longueur d'onde augmente : ce sont les longueurs d'onde inférieures au seuil qui conviennent.

MÉTHODE
Reporter la valeur seuil sur l'axe des abscisses du spectre, puis comparer les aires sous la courbe de part et d'autre de ce trait.



4 · Figure 2 du sujet (allure simplifiée), avec le seuil du silicium

5 Donner l'expression littérale du rendement du panneau photovoltaïque.

Le rendement est le rapport de la puissance utile sur la puissance reçue :

$$\eta = \frac{P_{\text{électrique}}}{P_{\text{lumineuse}}} = \frac{U_{\max} \times I_{\max}}{P_s \times S}$$, où S est la surface du panneau.

COMPRENDRE
P_s est une puissance par unité de surface, en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$. Il faut la multiplier par S pour obtenir une puissance en watts.

6 Vérifier que la valeur du rendement du panneau photovoltaïque est bien celle indiquée par le fabricant.

Données utiles $U_{\max} = 23{,}76$ V ; $I_{\max} = 0{,}89$ A ; $P_s = 1000\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$; longueur 795 mm ; largeur 220 mm ; rendement annoncé : 12 %

Surface éclairée : $S = 0{,}795 \times 0{,}220 = 0{,}175\ \text{m}^2$.

Puissance électrique maximale : $P_{\text{électrique}} = 23{,}76 \times 0{,}89 = 21$ W.

Puissance lumineuse reçue : $P_{\text{lumineuse}} = 1000 \times 0{,}175 = 175$ W.

$$\eta = \frac{23{,}76 \times 0{,}89}{1000 \times 0{,}795 \times 0{,}220} = 0{,}12$$

$\eta = 0{,}12 = 12\ \%$: la valeur du fabricant est confirmée.

PIÈGE
Garder les dimensions en millimètres, ou faire intervenir l'épaisseur de 25 mm. Seules la longueur et la largeur, converties en mètres, donnent la surface éclairée.

COMPRENDRE
$I_{\max}$ n'a que deux chiffres significatifs : le rendement s'écrit 12 %, comme sur la fiche technique.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

0.795×0.220 ≈ 0.1749

23.76×0.89 ≈ 21.1464

$\dfrac{23.76 \times 0.89}{1000 \times 0.795 \times 0.220}$ ≈ 0.1209057

7 Nommer et décrire le principe physique sur lequel repose le fonctionnement du radar.

Le radar exploite l'**effet Doppler** : lorsqu'un émetteur d'ondes et un récepteur sont en mouvement l'un par rapport à l'autre, la fréquence de l'onde reçue diffère de la fréquence de l'onde émise.

Ici, l'onde émise par le radar se réfléchit sur le véhicule en mouvement et revient avec une fréquence modifiée.

Le décalage $|\Delta f|$ est proportionnel à la vitesse v du véhicule : le mesurer donne accès à v.

COMPRENDRE
Le facteur 2 de la relation du sujet vient de la réflexion : le décalage se produit une fois à l'aller, une fois au retour.

8 Indiquer, en justifiant, si la fréquence du signal reçu est inférieure, égale ou supérieure à celle du signal émis.

Le véhicule s'approche du radar : la distance entre eux diminue. Les fronts d'onde renvoyés sont plus resserrés, la longueur d'onde reçue est plus petite que celle émise.

Comme $f = \dfrac{c}{\lambda}$ avec c constante, la fréquence augmente.

La fréquence du signal reçu est **supérieure** à celle du signal émis.

PIÈGE
Répondre sans justification. Le sens du décalage se déduit du sens du mouvement : rapprochement, fréquence plus élevée ; éloignement, fréquence plus faible.

9 Déterminer si le panneau routier s'éclaire ou non lors du passage du véhicule.

Données utiles $|\Delta f| = 2010$ Hz ; $f_E = 24{,}125$ GHz ; $c = 3{,}00 \times 10^8$ m · s^{-1} ; vitesse seuil : 25 km · h^{-1}

De $|\Delta f| = 2 \times f_E \times \dfrac{v}{c}$, on tire $v = \dfrac{c \times |\Delta f|}{2 \times f_E}$.

$$v = \frac{3{,}00 \times 10^8 \times 2010}{2 \times 24{,}125 \times 10^9} = 12{,}5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Conversion : $v = 12{,}5 \times 3{,}6 = 45{,}0$ km · h^{-1}.

$v = 45{,}0$ km · h^{-1} > 25 km · h^{-1} : le panneau s'éclaire et clignote.

PIÈGE
Oublier de convertir les gigahertz en hertz (1 GHz $= 10^9$ Hz), ou comparer des m · s^{-1} à des km · h^{-1}.

COMPRENDRE
La comparaison se fait avec la vitesse seuil de déclenchement (25 km · h^{-1}), pas avec la limite de 30 km · h^{-1}. Ici, les deux sont dépassées.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{3.00 \times 10^8 \times 2010}{2 \times 24.125 \times 10^9}$ ≈ 12.49741

$\dfrac{3.00 \times 10^8 \times 2010}{2 \times 24.125 \times 10^9} \times 3.6$ ≈ 44.99067

10 Déterminer la durée maximale de clignotement du panneau routier possible pendant la nuit. Commenter.

Données utiles capacité de la batterie : $Q = 4000\ \text{mA} \cdot \text{h}$; $I_{\text{moyenne}} = 0{,}79\ \text{A}$

La capacité est la charge que la batterie peut débiter : $Q = I_{\text{moyenne}} \times \Delta t$, donc $\Delta t = \dfrac{Q}{I_{\text{moyenne}}}$.

Avec $Q = 4000\ \text{mA} \cdot \text{h} = 4{,}000\ \text{A} \cdot \text{h}$:

$$\Delta t = \frac{4{,}000}{0{,}79} = 5{,}1\ \text{h}$$

Commentaire : cette durée est plus courte qu'une nuit entière, mais le panneau ne clignote que quelques instants, au passage d'un véhicule trop rapide. Cinq heures de clignotement cumulé suffisent donc largement.

$\Delta t = 5{,}1$ h : autonomie suffisante pour la nuit.

PIÈGE
Diviser 4000 par 0,79 sans convertir les milliampères-heures : on obtiendrait plus de 5000 h. En gardant Q en $\text{A} \cdot \text{h}$ et I en ampères, la durée sort directement en heures.

COMPRENDRE
C'est une durée maximale : elle suppose une batterie complètement chargée par le panneau solaire pendant la journée.

À LA CALCULATRICE

