Corrigé complet — Bac S 2015 Antilles-Guyane (ancien programme)

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

Ex 1	**Les tirs au but** Deuxième loi de Newton · Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme · Équations horaires · Équation de la trajectoire · Énergies cinétique et potentielle de pesanteur · Conservation de l'énergie mécanique	6 pts	1 h	8 questions	p. 2
Ex 2	**Synthèse d'un anesthésique : la benzocaïne** Groupes caractéristiques · Stéréoisomérie · Mécanisme réactionnel · Titrage pH-métrique · Rendement d'une synthèse · Spectroscopies IR et RMN	9 pts	1 h 30	15 questions	p. 6
Ex 3	**Des cinémomètres** Effet Doppler · Mesure d'une vitesse par effet Doppler · Laser et émission stimulée · Domaines des ondes électromagnétiques · Incertitude de type A · Ordres de grandeur	5 pts	50 min	10 questions	p. 13
Ex 4	**Spécialité : Le capodastre** Corde vibrante · Fréquence fondamentale · Gamme tempérée · Mesure à l'échelle sur un document · Résolution de problème	5 pts	50 min	2 questions	p. 18

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 tirs au but

Bac S 2015 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 1 **6 points** **Durée conseillée 1 h**

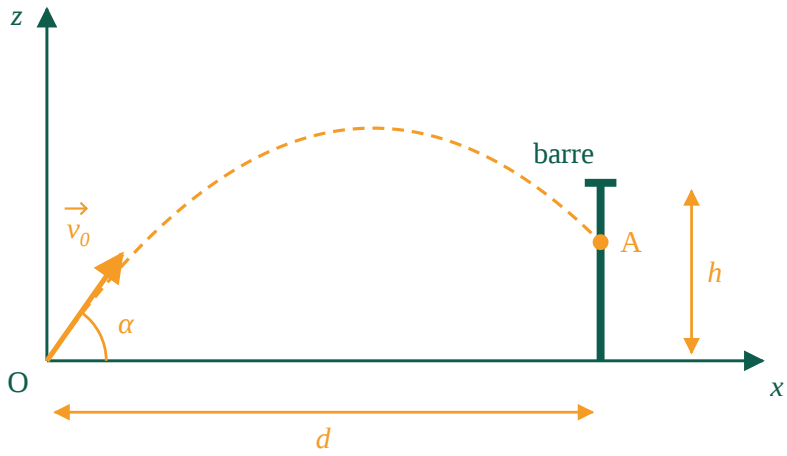
1.1 Tracer un repère orthonormé (Ox, Oz) et y représenter la situation du pénalty, en faisant apparaître $\vec{v}_0$, l'angle α, la hauteur h des buts et la distance d du point de pénalty à la ligne de but.

L'axe (Ox) est horizontal, au niveau du sol, dirigé vers le but ; l'axe (Oz) est vertical, dirigé vers le haut. Le ballon part de O.

Le vecteur $\vec{v}_0$ part de O et fait l'angle α avec (Ox). La ligne de but est à l'abscisse $x = d$; la barre transversale est à la hauteur $z = h$.

Schéma ci-dessous : $\vec{v}_0$ et α en O, d mesurée sur (Ox), h mesurée sur la verticale du but.

PIÈGE
Placer α entre $\vec{v}_0$ et la verticale. L'énoncé le définit par rapport à l'horizontale, donc entre (Ox) et $\vec{v}_0$.



1.1 · Situation du pénalty dans le repère (Ox, Oz), sans souci d'échelle

1.2 A est le point où le ballon franchit la ligne de but. Quelles conditions doivent vérifier ses coordonnées $(x_A\,;\,z_A)$ pour que le pénalty soit réussi ?

Données utiles $d = 11{,}0$ m ; $h = 2{,}44$ m

Le point A est sur la ligne de but : $x_A = d = 11{,}0$ m.

Le ballon doit alors se trouver au-dessus du sol et sous la barre transversale : $0 < z_A < h$.

$x_A = d = 11{,}0$ m et $0 < z_A < h = 2{,}44$ m

COMPRENDRE
Le tir est dirigé vers le centre du but : le ballon passe forcément entre les montants. Seule la hauteur reste à contrôler.

2.1 Établir l'expression du vecteur accélération $\vec{a}_G$ du centre d'inertie du ballon.

Système : {ballon}, de masse m constante. Référentiel : terrestre, supposé galiléen.

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

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

$\vec{a}_G = \vec{g}$: accélération verticale, vers le bas, de valeur g.

COMPRENDRE
La masse se simplifie : sans frottement, le mouvement ne dépend pas de la masse du ballon.

MÉTHODE
Toujours quatre étapes : système, référentiel galiléen, bilan des forces, deuxième loi de Newton. Chacune rapporte des points, même si le résultat est connu d'avance.

2.2 Établir les équations horaires $x(t)$ et $z(t)$ du mouvement de G, puis montrer que la trajectoire a pour équation $z(x) = -\dfrac{g\,x^2}{2\,v_0^2\,(\cos\alpha)^2} + \tan\alpha \cdot x$.

Données utiles $\vec{a}_G = \vec{g}$ (2.1) ; à $t = 0$: G en O, vitesse $\vec{v}_0$

Dans le repère (Ox, Oz) : $a_x = 0$ et $a_z = -g$.

Comme $\vec{a}_G = \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}_G}{\mathrm{d}t}$, on cherche les primitives : $v_x = C_1$ et $v_z = -g\,t + C_2$.

À $t = 0$, $\vec{v}_G = \vec{v}_0$ de coordonnées $(v_0\cos\alpha\,;\,v_0\sin\alpha)$, 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 $\vec{v}_G = \dfrac{\mathrm{d}\overrightarrow{OG}}{\mathrm{d}t}$, on cherche de nouveau les primitives : $x = v_0\cos\alpha \cdot t + C_3$ et $z = -\dfrac{1}{2}\,g\,t^2 + v_0\sin\alpha \cdot t + C_4$.

À $t = 0$, G est en O : $C_3 = 0$ et $C_4 = 0$. Les équations horaires sont :

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

Trajectoire : de $x(t)$ on tire $t = \dfrac{x}{v_0\cos\alpha}$, que l'on reporte dans $z(t)$:

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

Or $\dfrac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \tan\alpha$, d'où :

$z(x) = -\dfrac{g\,x^2}{2\,v_0^2\,(\cos\alpha)^2} + \tan\alpha \cdot x$: c'est l'expression attendue.

PIÈGE
Oublier le signe « $-$ » de a_z (l'axe Oz est dirigé vers le haut, $\vec{g}$ vers le bas), ou échanger $\cos\alpha$ et $\sin\alpha$ dans les coordonnées de $\vec{v}_0$.

MÉTHODE
Deux primitives successives, et après chacune une constante fixée par la condition initiale correspondante : la vitesse initiale d'abord, la position initiale ensuite.

2.3 En exploitant les données et les documents, déterminer si le pénalty décrit en début d'exercice est réussi.

Données utiles $v_0 = 11{,}5\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$; $\alpha = 55^\circ$; $g = 9{,}81\ \mathrm{N\cdot kg^{-1}}$; $x_A = d = 11{,}0$ m ; $h = 2{,}44$ m

On calcule l'altitude du ballon sur la ligne de but, en $x_A = 11{,}0$ m, avec l'équation de la trajectoire :

$$z_A = -\frac{g\,x_A^2}{2\,v_0^2\,(\cos\alpha)^2} + \tan\alpha \cdot x_A$$

$$z_A = -\frac{9{,}81 \times 11{,}0^2}{2 \times 11{,}5^2 \times (\cos 55^\circ)^2} + \tan 55^\circ \times 11{,}0 = 2{,}1\ \mathrm{m}$$

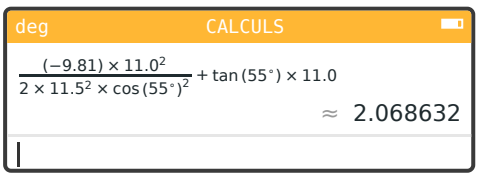
On a bien $0 < 2{,}1\ \mathrm{m} < 2{,}44\ \mathrm{m}$: le ballon passe sous la barre transversale.

$z_A = 2{,}1$ m, donc $0 < z_A < h$: le pénalty est réussi.

PIÈGE
Calculatrice en radians : $\cos 55$ et $\tan 55$ donnent alors un résultat absurde. Vérifier le mode degré avant le calcul, et mettre $\cos 55^\circ$ au carré, pas l'angle.

COMPRENDRE
L'angle $\alpha = 55^\circ$ n'a que deux chiffres significatifs : le résultat s'écrit avec deux chiffres, $2{,}1$ m. La marge sous la barre est d'environ 0,3 m.

À LA CALCULATRICE



3.1 Rappeler les expressions de E_c, E_{pp} et E_m (axe vertical ascendant, E_{pp} nulle à l'origine), puis associer à chaque courbe du document 1 la forme d'énergie correspondante.

Données utiles $m = 0{,}620$ kg ; $v_0 = 11{,}5$ m · s^{-1}

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 \qquad E_{pp} = m g z \qquad E_m = E_c + E_{pp}$$

- **Courbe 3 : E_{pp}.** En O, $z = 0$ donc $E_{pp} = 0$: c'est la seule courbe qui part de zéro. Elle augmente quand le ballon monte, puis diminue quand il redescend.
- **Courbe 1 : E_m.** Les frottements sont négligés : l'énergie mécanique se conserve, sa courbe est une droite horizontale.
- **Courbe 2 : E_c.** La vitesse diminue pendant la montée et augmente pendant la descente. Au départ, $E_c = \frac{1}{2} \times 0{,}620 \times 11{,}5^2 = 41{,}0$ J, valeur lue en $x = 0$.

Courbe 1 : E_m ; courbe 2 : E_c ; courbe 3 : E_{pp}.

PIÈGE
Laisser la masse en grammes : $m = 620$ g $= 0{,}620$ kg, sinon les énergies ne sont pas en joules.

COMPRENDRE
Au sommet de la trajectoire, E_c n'est pas nulle (environ 13 J) : il reste la vitesse horizontale $v_0 \cos\alpha$, qui ne change jamais.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
$0.5 \times 0.620 \times 11.5^2$
$\approx$ 40.9975

3.2 À l'aide du document 1, déterminer les valeurs de la hauteur h_A et de la vitesse v_A lorsque le ballon franchit la ligne de but.

Données utiles $m = 0{,}620$ kg ; $g = 9{,}81$ N · kg^{-1} ; $x_A = 11{,}0$ m

Sur le document 1, à l'abscisse $x_A = 11{,}0$ m, on lit : $E_{pp} \approx 13$ J (courbe 3) et $E_c \approx 28$ J (courbe 2).

Hauteur : $E_{pp} = m g h_A$ donc $h_A = \dfrac{E_{pp}}{m g} = \dfrac{13}{0{,}620 \times 9{,}81} = 2{,}1$ m.

Vitesse : $E_c = \frac{1}{2} m v_A^2$ donc $v_A = \sqrt{\dfrac{2 E_c}{m}} = \sqrt{\dfrac{2 \times 28}{0{,}620}} = 9{,}5$ m · s^{-1}.

$h_A = 2{,}1$ m et $v_A = 9{,}5$ m · s^{-1}

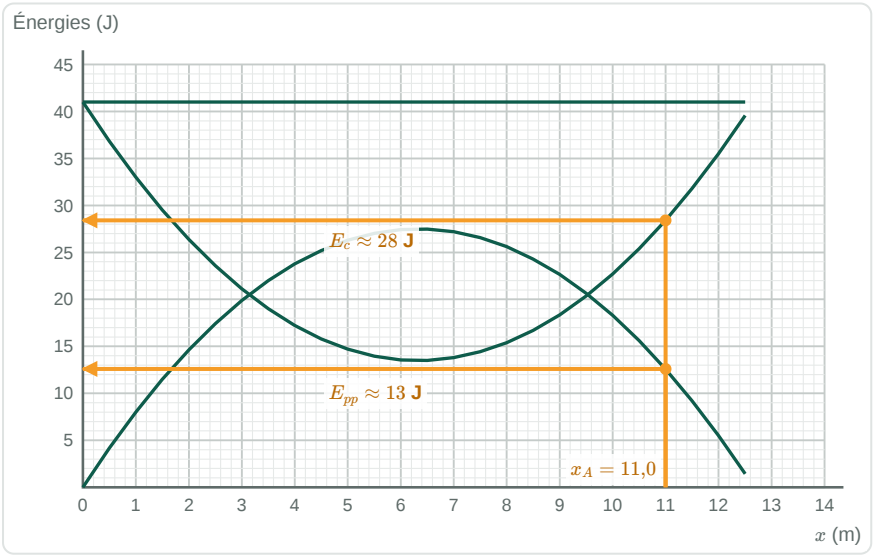
PIÈGE
L'axe horizontal du document porte x et non le temps : la lecture se fait directement en $x = 11{,}0$ m, sans chercher de date.

COMPRENDRE
Une lecture graphique au joule près ne donne que deux chiffres significatifs. On retrouve la hauteur $z_A = 2{,}1$ m calculée à la question 2.3.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
$\dfrac{13}{0.620 \times 9.81}$
$\approx$ 2.137384

$\sqrt{\dfrac{2 \times 28}{0.620}}$
$\approx$ 9.503819



3.2 · Document 1 avec les lectures en $x_A = 11{,}0$ m : courbe 1 horizontale (E_m), courbe 2 en cuvette (E_c), courbe 3 en cloche (E_{pp})

3.3 Que peut-on dire de l'énergie mécanique du ballon lors de son mouvement ? Utiliser cette caractéristique pour retrouver la valeur de v_A, comparer avec la question 3.2 et conclure.

Données utiles $v_0 = 11{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $g = 9{,}81\ \text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$; $h_A = 2{,}1\ \text{m}$ (3.2)

Le ballon n'est soumis qu'à son poids : son énergie mécanique se conserve (courbe 1 horizontale).

Entre O et A : $E_m(O) = E_m(A)$, soit $\frac{1}{2}\,m\,v_0^2 + 0 = \frac{1}{2}\,m\,v_A^2 + m\,g\,h_A$.

En multipliant par $\frac{2}{m}$: $v_A^2 = v_0^2 - 2\,g\,h_A$, d'où

$$v_A = \sqrt{v_0^2 - 2\,g\,h_A} = \sqrt{11{,}5^2 - 2 \times 9{,}81 \times 2{,}1} = 9{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

Cette valeur est identique à celle obtenue par lecture graphique à la question 3.2.

E_m est constante ; $v_A = 9{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, comme en 3.2 : les deux méthodes concordent, le modèle sans frottement est cohérent.

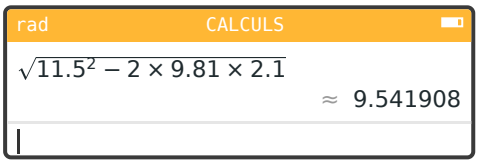
PIÈGE

Écrire $E_{pp}(O) \neq 0$ ou oublier $E_{pp}(A)$: l'origine des énergies potentielles est en O, où $z = 0$, mais pas en A.

COMPRENDRE

Le ballon arrive en A moins vite qu'il n'est parti ($9{,}5 < 11{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) : une partie de son énergie cinétique est devenue de l'énergie potentielle de pesanteur.

À LA CALCULATRICE



Synthèse d'un anesthésique : la benzocaïne

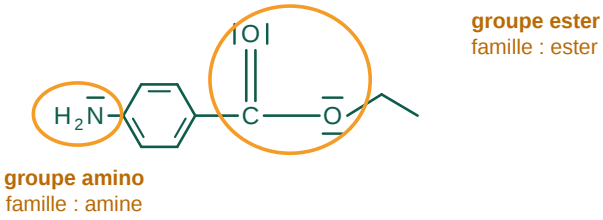
Bac S 2015 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 2 **9 points** **Durée conseillée 1 h 30**

1.1 Représenter la molécule de benzocaïne, entourer ses groupes caractéristiques et nommer les familles chimiques correspondantes.

La benzocaïne (document 1, étape (d)) a pour formule $H_2N-C_6H_4-CO-O-CH_2-CH_3$. Elle porte deux groupes caractéristiques :

- le groupe amino $-NH_2$: famille des **amines** ;
- le groupe ester $-CO-O-C$: famille des **esters**.

Groupe amino (amine) et groupe ester (ester), entourés sur la figure.



1.1 · Benzocaïne : groupes caractéristiques entourés

PIÈGE
Entourer seulement $C=O$, ou séparer $C=O$ et $-O-$: le groupe ester est l'ensemble $-CO-O^-$. L'azote est lié au cycle, pas au carbone de $C=O$: c'est une amine, pas un amide.

1.2 La molécule de benzocaïne présente-t-elle des énantiomères ou des diastéréoisomères ? Justifier.

- Aucun atome de carbone n'est asymétrique : les seuls carbones tétraédriques sont ceux de CH_2 et de CH_3, qui portent plusieurs atomes d'hydrogène identiques. La molécule n'est pas chirale : pas d'énantiomère.
- Sans carbone asymétrique, et sans double liaison $C=C$ en dehors du cycle (donc sans isomérie Z/E), il n'existe pas non plus de diastéréoisomère.

La benzocaïne ne présente ni énantiomères ni diastéréoisomères.

COMPRENDRE
Chiralité, carbone asymétrique et énantiomères ne figurent plus au programme actuel de la spécialité en terminale. Cette question relève du programme de l'ancien bac S.

MÉTHODE
Chercher d'abord les carbones asymétriques (tétraédriques, liés à quatre groupes tous différents), puis les doubles liaisons $C=C$ non cycliques dont chaque carbone porte deux groupes différents.

1.3.1 Pourquoi l'étape (a) de la synthèse peut-elle être classée dans la catégorie des réactions de substitution ?

Au cours de l'étape (a), un atome d'hydrogène porté par le cycle du toluène est remplacé par un groupe nitro $-NO_2$, le reste de la molécule étant inchangé.

Un atome est remplacé par un groupe d'atomes : c'est une substitution.

COMPRENDRE
En écriture topologique, les atomes H liés aux carbones ne sont pas dessinés : celui qui part n'apparaît pas sur le document. Une addition ajoute des atomes sur une liaison multiple ; une élimination en crée une.

1.3.2 L'étape (b) fait intervenir le palladium (Pd) comme catalyseur. Indiquer les propriétés d'un catalyseur.

Un catalyseur est une espèce chimique qui :

- augmente la vitesse de la réaction (il en diminue la durée) ;
- n'apparaît pas dans l'équation de la réaction : consommé dans une étape, il est régénéré dans une autre et se retrouve intact à la fin ;
- ne modifie pas l'état final du système ;
- est sélectif : il agit sur une réaction donnée.

Le catalyseur accélère la réaction sans être consommé ni changer l'état final.

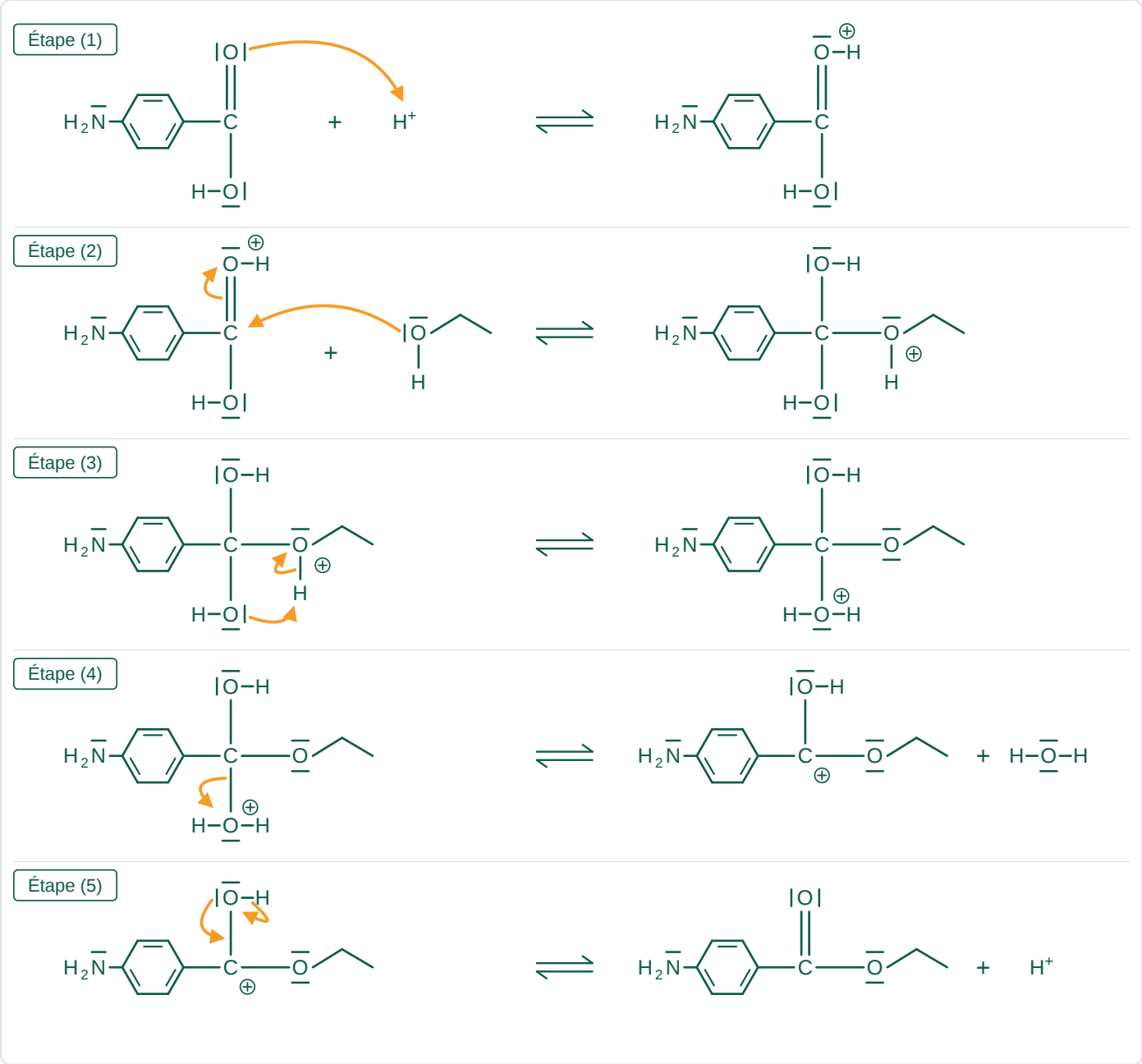
COMPRENDRE
Le palladium est un solide alors que les réactifs sont en solution ou gazeux (H_2) : la catalyse est hétérogène. Dans l'étape (d), l'ion H^+ est un catalyseur dissous : catalyse homogène.

1.4 Sur le document 2 (annexe à rendre), compléter le mécanisme réactionnel de l'étape (d) (estérification) à l'aide de flèches courbes.

Une flèche courbe représente le déplacement d'un doublet d'électrons : elle part d'un doublet (non liant ou liant) et pointe vers l'atome accepteur ou vers la liaison formée.

- Étape (1) : un doublet non liant de l'oxygène du groupe $C{=}O$ va vers l'ion H^+.
- Étape (2) : un doublet non liant de l'oxygène de l'éthanol va vers le carbone du groupe $C{=}O$, site accepteur ; un doublet de la double liaison $C{=}O$ bascule sur l'oxygène chargé.
- Étape (3) : un doublet non liant de l'oxygène d'un groupe OH va vers l'atome H porté par l'oxygène chargé ; le doublet de la liaison $O{-}H$ rompue revient sur cet oxygène.
- Étape (4) : le doublet de la liaison $C{-}O$ bascule sur l'oxygène chargé : une molécule d'eau se détache.
- Étape (5) : un doublet non liant de l'oxygène du groupe OH forme la double liaison $C{=}O$; le doublet de la liaison $O{-}H$ bascule sur l'oxygène et l'ion H^+ est libéré.

Huit flèches courbes au total (1 + 2 + 2 + 1 + 2), tracées en orange sur l'annexe.



1.4 · Annexe (document 2) complétée : les flèches courbes sont en orange

2.1.1 Justifier que l'espèce chimique dosée dans la solution S est l'ion $NH_3^+-C_6H_4-COO^-$(aq).

Données utiles $pK_{a1} = 2{,}5$; $pK_{a2} = 4{,}9$; pH de la solution S : 3,8

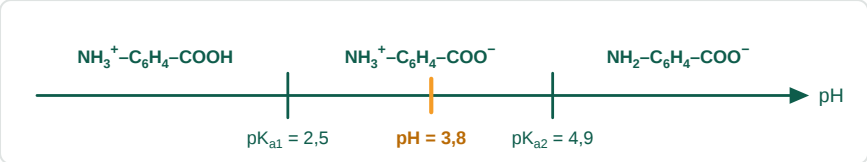
Diagramme de prédominance : $NH_3^+-C_6H_4-COOH$ prédomine pour $pH < 2{,}5$, $NH_3^+-C_6H_4-COO^-$ pour $2{,}5 < pH < 4{,}9$ et $NH_2-C_6H_4-COO^-$ pour $pH > 4{,}9$.

Le pH de la solution S vaut 3,8 : $pK_{a1} < pH < pK_{a2}$.

Dans S, l'espèce prédominante, donc l'espèce dosée, est $NH_3^+-C_6H_4-COO^-$.

COMPRENDRE

Cette espèce porte une charge positive et une charge négative : globalement neutre, c'est un amphion. Le groupe $COOH$ de l'acide 4-aminobenzoïque a cédé son proton au groupe NH_2.



2.1.1 · Diagramme de prédominance et pH de la solution S

2.1.2 Sous quelle forme se retrouve l'espèce chimique dosée à la fin du titrage ?

À la fin du titrage, le pH lu sur la courbe est voisin de 12, donc supérieur à $\mathrm{p}K_{a2} = 4{,}9$: la forme basique du second couple prédomine.

L'espèce dosée se retrouve sous la forme $\mathrm{NH_2{-}C_6H_4{-}COO^-}$.

2.1.3 Écrire l'équation chimique de la réaction support du titrage.

L'amphion, acide du couple de $\mathrm{p}K_{a2}$, cède un proton à l'ion hydroxyde, base forte :

$$\mathrm{NH_3^+{-}C_6H_4{-}COO^-(aq) + HO^-(aq) \rightarrow NH_2{-}C_6H_4{-}COO^-(aq) + H_2O(l)}$$

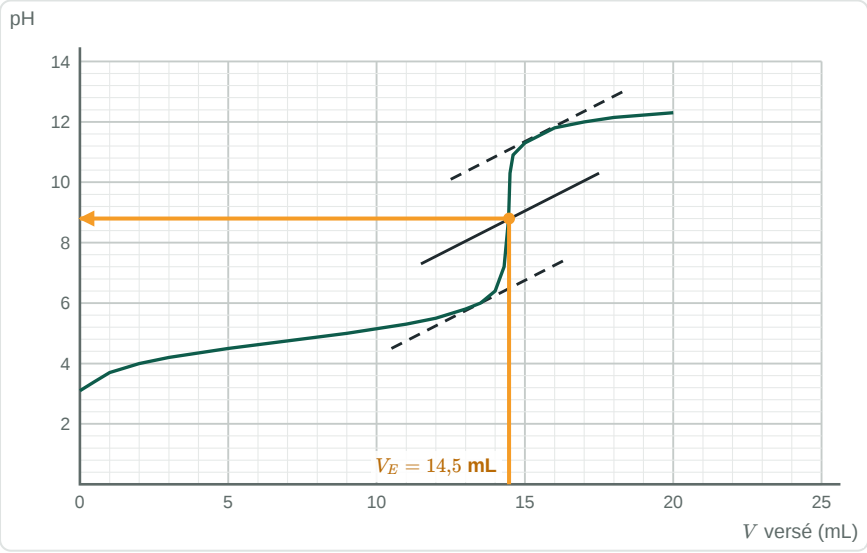
COMPRENDRE
Une réaction support de titrage doit être totale, rapide et unique : on l'écrit avec une flèche simple. Les ions $\mathrm{Na^+}$, spectateurs, n'y figurent pas.

2.2 À l'aide du graphique, déterminer le volume à l'équivalence en précisant la méthode utilisée.

Méthode des tangentes parallèles : on trace deux tangentes à la courbe, parallèles entre elles, de part et d'autre du saut de pH, puis la droite parallèle située à égale distance des deux. Cette droite coupe la courbe au point d'équivalence E, dont on lit l'abscisse.

$V_E = 14{,}5\ \mathrm{mL}$

MÉTHODE
Autre méthode possible : l'équivalence correspond au maximum de la courbe dérivée $\frac{\mathrm{d\,pH}}{\mathrm{d}V}$. Ici le saut est presque vertical : son abscisse donne directement V_E.



2.2 · Courbe de titrage : tangentes parallèles et lecture de V_E

2.3 En déduire la concentration molaire de la solution aqueuse d'acide 4-aminobenzoïque, avec deux chiffres significatifs.

Données utiles $C_a = 5{,}00 \times 10^{-1}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; volume titré $V_S = 50{,}0$ mL ; $V_E = 14{,}5$ mL (2.2)

À l'équivalence, l'acide titré et les ions hydroxyde versés sont en proportions stœchiométriques, ici une mole pour une mole :

$$n(\text{acide})_{\text{titré}} = n(\text{HO}^-)_{\text{versé}} \quad \text{soit} \quad C \times V_S = C_a \times V_E$$

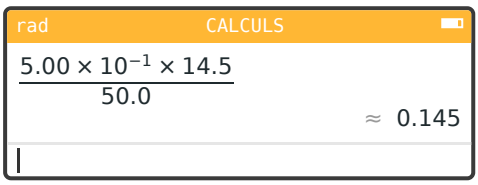
$$C = \frac{C_a \times V_E}{V_S} = \frac{5{,}00 \times 10^{-1} \times 14{,}5}{50{,}0} = 0{,}145\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$C = 0{,}15\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

PIÈGE
Le volume titré est celui de toute la fiole, 50,0 mL, puisque l'on titre la solution S entière. Ne pas le confondre avec V_E ni avec le volume total de la burette.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme demandé : la lecture graphique de V_E limite la précision. Les deux volumes restent en mL, leurs unités se simplifient dans le rapport.

À LA CALCULATRICE



2.4 Une méthode plus précise donne $C = 1{,}44 \times 10^{-1}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Le produit contenu dans le flacon peut-il être utilisé dans la synthèse envisagée ?

Données utiles $V_S = 50{,}0$ mL ; $M(\text{acide}) = 137{,}1\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; masse de l'échantillon $m = 1{,}00$ g ; pureté exigée : supérieure à 98 %

Masse d'acide 4-aminobenzoïque contenue dans l'échantillon dissous :

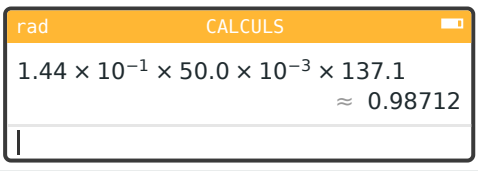
$$m_{\text{acide}} = C \times V_S \times M = 1{,}44 \times 10^{-1} \times 50{,}0 \times 10^{-3} \times 137{,}1 = 0{,}987\ \text{g}$$

Degré de pureté : $p = \dfrac{m_{\text{acide}}}{m} = \dfrac{0{,}987}{1{,}00} = 0{,}987$, soit 98,7 %.

$p = 98{,}7\ \% > 98\ \%$: le produit du flacon peut être utilisé.

PIÈGE
Laisser V_S en mL : il faut $50{,}0 \times 10^{-3}$ L. Avec la valeur arrondie $0{,}15\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, on trouverait une pureté supérieure à 100 % : d'où la valeur plus précise fournie.

À LA CALCULATRICE



3.1 Montrer que la masse de benzocaïne que l'on peut espérer former à l'issue de la synthèse vaut $m_{\text{théorique}} = 1{,}80$ g.

Données utiles $m = 1{,}50$ g d'acide ($M_A = 137{,}1\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$) ; $V = 20{,}0$ mL d'éthanol ($\rho = 0{,}79\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, $M_E = 46{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$) ; $M_B = 165{,}2\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ (benzocaïne)

D'après l'étape (d), une mole d'acide réagit avec une mole d'éthanol pour donner une mole de benzocaïne.

$$n_A = \frac{m}{M_A} = \frac{1{,}50}{137{,}1} = 1{,}09 \times 10^{-2}\ \text{mol} \qquad n_E = \frac{\rho \times V}{M_E} = \frac{0{,}79 \times 20{,}0}{46{,}0} = 0{,}34\ \text{mol}$$

$n_A < n_E$: l'acide 4-aminobenzoïque est le réactif limitant, l'éthanol est en large excès.

Si la transformation était totale : $n_{\text{max}}(\text{benzocaïne}) = n_A$, d'où

$$m_{\text{théorique}} = n_A \times M_B = 1{,}09 \times 10^{-2} \times 165{,}2 = 1{,}80\ \text{g}$$

$m_{\text{théorique}} = 1{,}80$ g, valeur attendue (1,81 g sans arrondir n_A : écart non significatif).

PIÈGE
Calculer la masse à partir de l'éthanol, ou oublier de justifier le réactif limitant. L'acide sulfurique n'entre pas dans le bilan : il apporte les ions H^+, catalyseur de l'estérification.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{1.50}{137.1}$ ≈ 0.01094092

$\frac{0.79 \times 20.0}{46.0}$ ≈ 0.3434783

$1.09 \times 10^{-2} \times 165.2$ ≈ 1.80068

$\frac{1.50}{137.1} \times 165.2$ ≈ 1.80744

3.2 La masse de produit récupéré est $m_{\text{expérimental}} = 0{,}81$ g. Définir et calculer le rendement de cette réaction.

Données utiles $m_{\text{théorique}} = 1{,}80$ g (3.1)

Le rendement est le quotient de la quantité de produit réellement obtenue par la quantité maximale que l'on obtiendrait si la transformation était totale. Le produit étant le même, ce quotient est aussi celui des masses :

$$\eta = \frac{n_{\text{expérimental}}}{n_{\text{max}}} = \frac{m_{\text{expérimental}}}{m_{\text{théorique}}} = \frac{0{,}81}{1{,}80} = 0{,}45$$

$\eta = 45\ \%$

COMPRENDRE
Un rendement inférieur à 100 % est normal ici : l'estérification est une transformation limitée, et les étapes de séparation et de séchage font perdre du produit.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{0.81}{1.80}$ ≈ 0.45

4.1 Associer à chaque molécule (acide 4-aminobenzoïque, produit obtenu) son spectre infrarouge du document 3, en justifiant.

Les deux molécules possèdent un groupe $-NH_2$ et une liaison $C{=}O$. Seul l'acide 4-aminobenzoïque possède la liaison $O{-}H$ d'un acide carboxylique, remplacée dans la benzocaïne par le groupe ester.

- Spectre 1 : large bande entre 2500 et 3200 cm^{-1}, caractéristique de la liaison $O{-}H$ d'un acide carboxylique.
- Spectre 2 : cette large bande est absente ; il ne reste dans cette zone que les bandes fines des liaisons $N{-}H$ (3100 à 3500 cm^{-1}) et $C{-}H$.

Spectre 1 : acide 4-aminobenzoïque ; spectre 2 : produit obtenu (benzocaïne).

PIÈGE
S'appuyer sur la bande $C{=}O$: les intervalles de l'ester (1700 à 1740 cm^{-1}) et de l'acide (1680 à 1710 cm^{-1}) se chevauchent. Les bandes $N{-}H$, présentes sur les deux spectres, ne distinguent rien non plus.

4.2 Vérifier, à l'aide du spectre RMN du produit obtenu, que l'étape d'estérification s'est bien déroulée.

L'estérification greffe un groupe éthyle $-O-CH_2-CH_3$, absent de l'acide de départ. On le retrouve sur le spectre :

- signal à 1,3 ppm, intégrant pour 3 H, triplet : les protons de CH_3 ont 2 voisins (ceux de CH_2), d'où $2+1=3$ pics ;
- signal à 4,3 ppm, intégrant pour 2 H, quadruplet : les protons de CH_2 ont 3 voisins (ceux de CH_3), d'où $3+1=4$ pics ; ce déplacement appartient à l'intervalle 3,7 à 4,8 ppm des protons $R-CO-O-CH$ d'un ester.

Les autres signaux correspondent au reste de la molécule : 7,8 et 6,6 ppm (2 H chacun) pour les quatre protons du cycle, 4,1 ppm (2 H) pour NH_2.

Le spectre contient les signaux du groupe éthyle lié à l'oxygène d'un ester : l'estérification a bien eu lieu.

COMPRENDRE
La spectroscopie RMN ne figure plus au programme actuel de la spécialité en terminale ; la spectroscopie infrarouge de la question 4.1 y figure toujours.

MÉTHODE
Règle des $(n+1)$-uplets : un groupe de protons équivalents ayant n protons voisins donne un signal à $n+1$ pics. L'intégration donne le nombre de protons du groupe.

Des cinémomètres

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

1.1 Expliquer en quelques lignes en quoi consiste l'effet Doppler.

Lorsqu'un émetteur d'ondes et un récepteur sont en mouvement l'un par rapport à l'autre, la fréquence f_R de l'onde reçue diffère de la fréquence f_E de l'onde émise : c'est l'effet Doppler.

- S'ils se rapprochent : $f_R > f_E$.
- S'ils s'éloignent : $f_R < f_E$.

L'écart entre les deux fréquences augmente avec la vitesse relative de l'émetteur par rapport au récepteur. Le phénomène concerne les ondes sonores comme les ondes électromagnétiques.

Effet Doppler : décalage entre la fréquence émise et la fréquence reçue, dû au mouvement relatif de l'émetteur et du récepteur.

PIÈGE
Parler seulement d'un « son plus aigu ou plus grave » ne suffit pas : il faut nommer la grandeur qui change (la fréquence reçue) et la cause (le mouvement relatif).

1.2 À partir de la figure des ondes réfléchies par la cible C, déterminer si le cinémomètre est situé au point A ou au point B.

La cible C renvoie les ondes : elle se comporte comme un émetteur en mouvement, et le cinémomètre comme un récepteur immobile.

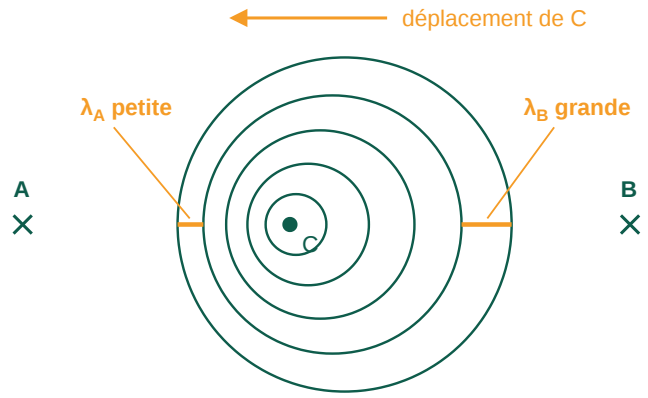
Sur la figure, les fronts d'onde sont plus resserrés du côté de A que du côté de B : $\lambda_A < \lambda_B$.

Les ondes ont la même célérité c dans toutes les directions et $f = \dfrac{c}{\lambda}$, donc $f_A > f_B$: la fréquence reçue est la plus grande en A. D'après l'effet Doppler, C se rapproche de A et s'éloigne de B.

Or la cible s'approche du cinémomètre.

Le cinémomètre Doppler est situé au point A.

MÉTHODE
Sur un schéma de fronts d'onde, la distance entre deux cercles consécutifs est la longueur d'onde perçue. Fronts resserrés : source qui approche. Fronts écartés : source qui s'éloigne.



1.2 · Fronts d'onde réfléchis par la cible C : longueurs d'onde perçues en A et en B

1.3.1 Lors d'un service au tennis, l'appareil mesure la fréquence Doppler f_D. Calculer la valeur de la vitesse de la balle.

Données utiles $f_D = 7416$ Hz ; $f_0 = 24{,}125$ GHz ; $c = 3{,}00 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $f_D = \dfrac{2 f_0 v_r}{c}$

$$f_D = \frac{2 f_0\, v_r}{c} \text{ donc } v_r = \frac{f_D\, c}{2 f_0}$$

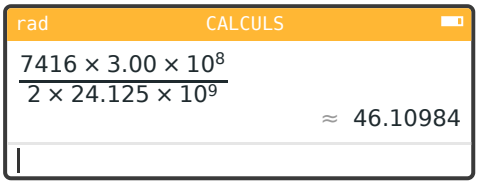
$$v_r = \frac{7416 \times 3{,}00 \times 10^8}{2 \times 24{,}125 \times 10^9}$$

$$\boxed{v_r = 46{,}1\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

PIÈGE
Laisser f_0 en gigahertz : $1\ \text{GHz} = 10^9$ Hz. Oublier le facteur 2 de l'aller-retour de l'onde double la vitesse trouvée.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs : c'est la précision de la donnée la moins précise, $c = 3{,}00 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



1.3.2 Ce résultat est-il cohérent avec la vitesse affichée sur la photographie prise lors de ce service ?

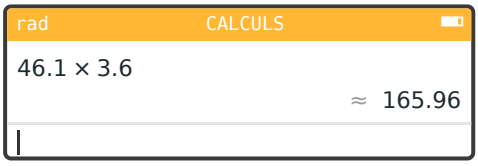
Données utiles affichage : 166 km/h ; $v_r = 46{,}1\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (1.3.1)

$1\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1} = 3{,}6\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, donc $v_r = 46{,}1 \times 3{,}6 = 166\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.

$\boxed{v_r = 166\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}}$: le résultat est cohérent avec la valeur affichée (166 km/h).

MÉTHODE
Pour passer des $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ aux $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, on multiplie par 3,6 (3600 s dans une heure, 1000 m dans un kilomètre).

À LA CALCULATRICE



2.1 Expliquer le principe de l'émission stimulée et donner les principales propriétés du laser.

Émission stimulée : un atome se trouve dans un état excité d'énergie E_2. Un photon incident dont l'énergie vaut exactement $h\nu = E_2 - E_1$ provoque la désexcitation de l'atome vers le niveau E_1, avec émission d'un second photon.

Le photon émis est identique au photon incident : même fréquence, même direction, même sens de propagation et même phase. Un photon en donne deux : la lumière est amplifiée.

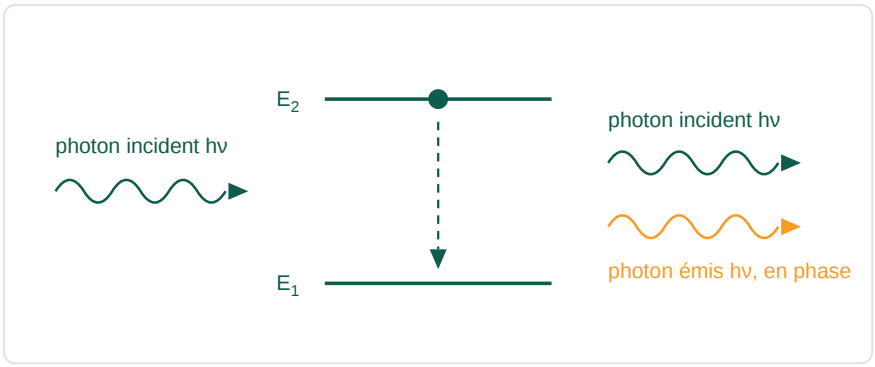
Propriétés du faisceau laser :

- monochromatique (une seule fréquence) ;
- très directif (faisceau peu divergent) ;
- cohérent (ondes en phase) ;
- énergie concentrée dans l'espace, et dans le temps pour un laser à impulsions.

Un photon d'énergie $h\nu = E_2 - E_1$ déclenche l'émission d'un photon identique ; le laser est monochromatique, directif, cohérent et concentre l'énergie.

PIÈGE
Confondre avec l'émission spontanée, qui se produit sans photon incident et dans une direction quelconque. Ici, l'atome doit déjà être excité avant l'arrivée du photon.

COMPRENDRE
Le laser et l'émission stimulée figuraient au programme de Terminale S. Ils ne sont plus au programme actuel de spécialité ; le photon et les niveaux d'énergie, eux, y sont toujours.



2.1 · Émission stimulée : le photon incident déclenche l'émission d'un photon identique

2.2 À quel domaine spectral appartient l'onde électromagnétique utilisée dans le radar laser étudié ?

Données utiles $\lambda = 904$ nm

Le domaine visible s'étend de 400 nm à 800 nm environ. Ici $\lambda = 904\ \text{nm} > 800\ \text{nm}$.

L'onde appartient au domaine de l'infrarouge.

COMPRENDRE
Le faisceau de ce cinémomètre est donc invisible à l'œil nu.

2.3.1 Évaluer le résultat de la série de 10 mesures de vitesse, avec son incertitude pour un niveau de confiance de 95 %, sous la forme $v = \bar{v} \pm u_V$.

Données utiles v (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) : 3,4 ; 3,8 ; 3,9 ; 3,7 ; 3,6 ; 3,7 ; 3,5 ; 3,8 ; 3,7 ; 3,6 ; $U_x = 2 \times \frac{s_{n-1}}{\sqrt{N}}$

Avec le mode statistique de la calculatrice, pour $N = 10$ valeurs :

- moyenne : $\bar{v} = 3{,}67\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- écart-type expérimental : $s_{n-1} = 0{,}149\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Incertitude : $u_V = 2 \times \frac{s_{n-1}}{\sqrt{N}} = 2 \times \frac{0{,}149}{\sqrt{10}} = 0{,}094\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

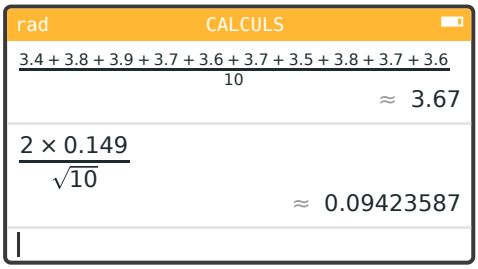
On garde un seul chiffre significatif, arrondi par excès : $u_V = 0{,}1\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. La moyenne s'arrondit alors au dixième, comme l'incertitude.

$v = (3{,}7 \pm 0{,}1)\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

PIÈGE
Lire sur la calculatrice l'écart-type σ_n (0,142) au lieu de s_{n-1} (0,149), noté s_x ou σ_{n-1} selon le modèle. Écrire $3{,}67 \pm 0{,}1$ est aussi une faute : même dernier rang pour les deux nombres.

COMPRENDRE
Dans le programme actuel, l'incertitude-type d'une série de mesures est $u = \frac{s_{n-1}}{\sqrt{N}}$; le facteur 2 de ce sujet l'élargit à un niveau de confiance de 95 %.

À LA CALCULATRICE



2.3.2 On souhaite une incertitude relative inférieure ou égale à 3 %. Cette condition est-elle vérifiée pour le résultat précédent ?

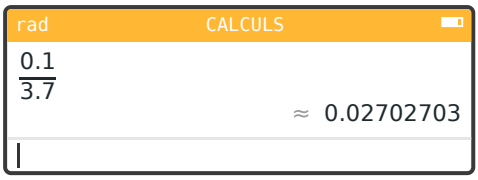
Données utiles $\bar{v} = 3{,}7\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ et $u_V = 0{,}1\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (2.3.1)

Incertitude relative : $\frac{u_V}{\bar{v}} = \frac{0{,}1}{3{,}7} = 0{,}027$, soit 2,7 %.

$\frac{u_V}{\bar{v}} = 2{,}7\ \% \leqslant 3\ \%$: la condition est vérifiée.

COMPRENDRE
L'incertitude relative compare l'incertitude à la valeur mesurée ; elle n'a pas d'unité et s'exprime en pourcentage.

À LA CALCULATRICE



2.4.1 Pour deux impulsions successives émises par le cinémomètre laser, montrer que la vitesse de la cible s'écrit $v = c\,\dfrac{\tau - \tau'}{2T}$.

On note d la distance laser-cible lors de la première impulsion et d' lors de la deuxième. La cible est très lente devant la lumière : on néglige son déplacement pendant un aller-retour.

Chaque impulsion parcourt un aller-retour à la célérité c :

$$2d = c\,\tau \quad \text{et} \quad 2d' = c\,\tau' \qquad \text{soit} \qquad d = \frac{c\,\tau}{2} \quad \text{et} \quad d' = \frac{c\,\tau'}{2}$$

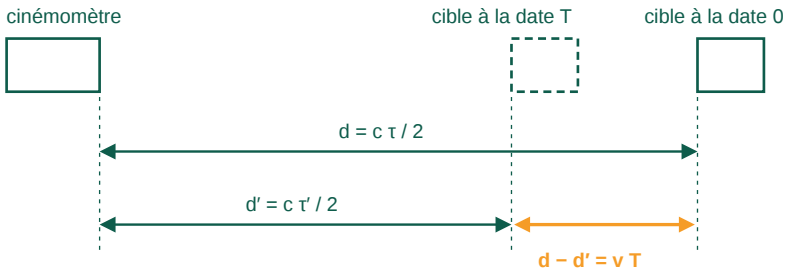
Entre les deux impulsions, pendant la durée T, la cible qui s'approche parcourt la distance $d - d'$:

$$v = \frac{d - d'}{T} = \frac{\dfrac{c\,\tau}{2} - \dfrac{c\,\tau'}{2}}{T}$$

$v = c\,\dfrac{\tau - \tau'}{2T}$: on retrouve l'expression attendue.

PIÈGE
Écrire $d = c\,\tau$: la durée τ est celle d'un aller-retour, la lumière parcourt $2d$. C'est l'origine du 2 au dénominateur.

COMPRENDRE
Pour une cible qui s'éloigne, $\tau' > \tau$ et l'expression donne une vitesse négative : d'où la valeur absolue $|\tau - \tau'|$ à la question suivante.



2.4.1 · Positions de la cible lors des deux impulsions

2.4.2 Dans le cas de la question 2.3, montrer, en raisonnant sur les ordres de grandeur, qu'il est techniquement très difficile de mesurer la différence de durées $|\tau - \tau'|$.

Données utiles $v \approx 3{,}7\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (2.3.1) ; $T = 100\ \mu\text{s}$; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

D'après 2.4.1 : $|\tau - \tau'| = \dfrac{2vT}{c}$

Ordres de grandeur : $v \sim 1\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $T = 10^{-4}\ \text{s}$; $c \sim 10^{8}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, d'où $|\tau - \tau'| \sim \dfrac{1 \times 10^{-4}}{10^{8}} = 10^{-12}\ \text{s}$.

Calcul : $|\tau - \tau'| = \dfrac{2 \times 3{,}7 \times 100 \times 10^{-6}}{3{,}00 \times 10^{8}} = 2{,}5 \times 10^{-12}\ \text{s}$

L'écart à mesurer est de l'ordre de la picoseconde. Il faudrait un compteur de temps capable de distinguer deux durées à 10^{-12} s près, ce qui est extrêmement difficile à réaliser.

$|\tau - \tau'| \approx 2{,}5 \times 10^{-12}$ s, de l'ordre de 10^{-12} s : durée trop brève pour être mesurée facilement.

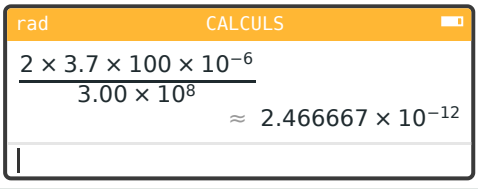
PIÈGE

Oublier de convertir T : $100\ \mu\text{s} = 1{,}00 \times 10^{-4}$ s. S'arrêter au calcul ne suffit pas : il faut conclure sur la difficulté de la mesure.

COMPRENDRE

En 10^{-12} s, la lumière ne parcourt que 0,3 mm. La cible, trop lente, ne se déplace que de 0,37 mm entre deux impulsions séparées de $100\ \mu\text{s}$.

À LA CALCULATRICE



Spécialité : Le capodastre

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

Q Question préalable. Déterminer les paramètres physiques de la corde dont dépend sa fréquence de vibration et préciser lesquels restent fixes lors de l'utilisation d'un capodastre.

Données utiles document 4 : $f = \dfrac{1}{2L}\sqrt{\dfrac{T}{\mu}}$

D'après le document 4, la fréquence fondamentale f d'une corde dépend de trois paramètres : sa longueur L, sa tension T et sa masse linéique μ.

Le capodastre plaque la corde sur le manche : il raccourcit la partie qui vibre, sans changer la corde ni la tension réglée par le guitariste.

f dépend de L, T et μ. Avec un capodastre, T et μ restent fixes ; seule la longueur L change (elle diminue).

COMPRENDRE
Comme f est inversement proportionnelle à L, raccourcir la corde augmente la fréquence : le son est plus aigu, ce qu'annonce le texte d'introduction.

COMPRENDRE
Hauteur d'un son, gamme et corde vibrante relevaient de l'enseignement de spécialité d'avant 2021 ; elles ne figurent plus au programme actuel. La démarche (exploiter des documents, mesurer à l'échelle) reste un bon entraînement.

P Problème. Montrer que lorsqu'on place le capodastre à la troisième case, la corde n°1 joue à vide trois demi-tons au-dessus du son joué sans capodastre.

Données utiles corde n°1 : note Mi_3, $T = 74{,}85$ N, $\mu = 0{,}419\ \text{g}\cdot\text{m}^{-1}$; $f(\text{Mi}_3) = 329{,}63$ Hz ; un demi-ton : fréquence multipliée par $1{,}059$; échelle du document 1 : double flèche de 20 cm

1. Fréquence attendue. Sans capodastre, la corde n°1 joue à vide le Mi_3 (document 2), de fréquence $f_0 = 329{,}63$ Hz (document 3). Monter d'un demi-ton multiplie la fréquence par $1{,}059$; pour trois demi-tons :

$f_{\text{att}} = 1{,}059^3 \times f_0 = 1{,}059^3 \times 329{,}63 = 391{,}5$ Hz.

2. Longueur de la corde avec le capodastre. Placé dans la troisième case, le capodastre appuie la corde sur la troisième frette : la corde vibre entre cette frette et le chevalet. Sur le document 1 (imprimé au format du sujet), cette distance mesure $18{,}4$ cm et la double flèche de 20 cm mesure $6{,}8$ cm :

$L = \dfrac{18{,}4 \times 20}{6{,}8} = 54{,}1$ cm, soit $0{,}541$ m (54 cm avec deux chiffres significatifs).

3. Fréquence jouée avec le capodastre. La tension et la masse linéique sont inchangées, avec $\mu = 0{,}419 \times 10^{-3}\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$:

$$f = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}} = \frac{1}{2 \times 0{,}541}\sqrt{\frac{74{,}85}{0{,}419 \times 10^{-3}}} = 3{,}9 \times 10^2\ \text{Hz}$$

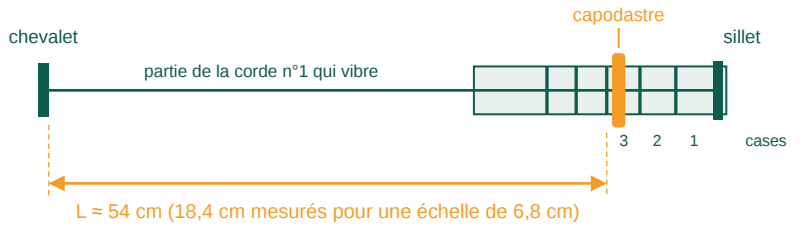
4. Comparaison. Le calcul donne environ 391 Hz pour $391{,}5$ Hz attendus : l'écart est de $0{,}2\ \%$, bien inférieur à l'incertitude de la mesure sur la photographie (1 mm sur $6{,}8$ cm, soit environ $1{,}5\ \%$). Deux demi-tons donneraient 370 Hz et quatre demi-tons 415 Hz : seule la valeur de trois demi-tons convient.

Avec le capodastre à la troisième case, $f \approx 3{,}9 \times 10^2$ Hz, valeur attendue $1{,}059^3 \times 329{,}63 = 391{,}5$ Hz : la corde n°1 joue bien trois demi-tons au-dessus du Mi_3 (c'est un Sol_3).

PIÈGE
Laisser μ en $\text{g}\cdot\text{m}^{-1}$: la fréquence serait divisée par $\sqrt{1000}$, soit environ 12 Hz. Dans la relation, μ est en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$, T en newtons et L en mètres.

COMPRENDRE
L'échelle n'a que deux chiffres significatifs ($6{,}8$ cm) : L et f aussi. Les longueurs mesurées dépendent de l'impression ; seul leur rapport compte. Le tableau confirme : Sol_3 à $392{,}00$ Hz, trois demi-tons après Mi (fa, fa dièse, sol).

MÉTHODE
Résolution de problème : écrire ce qu'on cherche (ici une fréquence à comparer à une valeur attendue), relever dans chaque document la donnée utile, calculer, puis conclure par une comparaison chiffrée tenant compte de la précision des mesures.



P · Longueur de corde qui vibre avec le capodastre à la troisième case (schéma, d'après le document 1)

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$1.059^3 \times 329.63 \approx 391.4845$

$\frac{18.4 \times 20}{6.8} \approx 54.11765$

$\frac{1}{2 \times 0.541} \times \sqrt{\frac{74.85}{0.419 \times 10^{-3}}} \approx 390.6264$

$1.059^2 \times 329.63 \approx 369.6738$

$1.059^4 \times 329.63 \approx 414.5821$