Corrigé complet — Bac S 2004 Inde (Pondichéry) (ancien programme)

Physique-chimie, Bac S (épreuve écrite) **16 points** **3 h 30**

Ex 1	**Fabrication puis titrage de l'aspirine** Estérification · Tableau d'avancement · Rendement d'une synthèse · Chauffage à reflux · Réactif limitant · Titrage indirect	6 pts	1 h 18	13 questions	p. 2
Ex 2	**Spécialité : Guitare et physique** Ondes stationnaires sur une corde · Mode fondamental et harmoniques · Période et fréquence · Octave · Spectre en fréquence · Hauteur et timbre	4 pts	52 min	9 questions	p. 8
Ex 3	**Lampe à vapeur de sodium** Spectre de raies d'émission · Domaines des ondes électromagnétiques · Fréquence et longueur d'onde · Niveaux d'énergie d'un atome · Énergie d'un photon · Émission et absorption	4 pts	52 min	10 questions	p. 12
Ex 4	**Chute libre et parachutisme** Force de gravitation et pesanteur · Chute libre · Deuxième loi de Newton · Frottement fluide et vitesse limite · Méthode d'Euler · Célérité du son	6 pts	1 h 18	18 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.

Fabrication puis titrage de l'aspirine

Bac S 2004 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 1 **6 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1.1 Écrire l'équation chimique correspondant à l'estérification entre l'acide R–COOH et l'alcool R'–CH_2OH.

Un acide carboxylique réagit avec un alcool pour donner un ester et de l'eau :

$$R{-}COOH + R'{-}CH_2OH = R{-}COO{-}CH_2{-}R' + H_2O$$

COMPRENDRE
Le groupe $-OH$ de l'acide et l'atome H du groupe hydroxyle de l'alcool forment la molécule d'eau. Le signe « = » rappelle que la transformation est limitée : l'hydrolyse de l'ester a lieu en même temps.

1.2 L'avancement x est la quantité de matière d'ester formé. Remplir la ligne de l'état intermédiaire du tableau d'avancement de l'annexe.

Données utiles $n_i(\text{acide}) = n_i(\text{alcool}) = 0{,}20$ mol

Tous les nombres stœchiométriques valent 1 : quand il se forme x mol d'ester, il se forme x mol d'eau et il disparaît x mol d'acide et x mol d'alcool.

État intermédiaire : $n(\text{acide}) = n(\text{alcool}) = 0{,}20 - x$; $n(\text{ester}) = n(H_2O) = x$ (en mol).

Équation		R–COOH + R'–CH_2OH = ester + H_2O			
État	Avancement (mol)	n(R–COOH) (mol)	n(R'–CH_2OH) (mol)	n(ester) (mol)	n(H_2O) (mol)
initial	x = 0	0,20	0,20	0	0
intermédiaire	x	**0,20 − x**	**0,20 − x**	**x**	**x**

1.2 · Annexe : ligne de l'état intermédiaire complétée (en orange)

1.3 Quel serait l'avancement x_{max} en fin de réaction si celle-ci était totale ?

Les réactifs sont introduits en quantités égales et réagissent mole à mole : le mélange est stœchiométrique. Si la réaction était totale, les deux réactifs seraient entièrement consommés : $0{,}20 - x_{max} = 0$.

$x_{max} = 0{,}20$ mol

PIÈGE
Confondre x_{max} (valeur théorique, réaction supposée totale) et $x_{éq}$ (valeur réellement atteinte). Ici la transformation est limitée : $x_{éq} < x_{max}$.

1.4 L'expérience donne $x_{éq} = 0{,}13$ mol d'ester à l'équilibre. Compléter le tableau et calculer le rendement ρ de cette réaction.

Données utiles $x_{éq} = 0{,}13$ mol ; $x_{max} = 0{,}20$ mol (1.3)

À l'équilibre : $n(\text{ester}) = n(H_2O) = x_{éq} = 0{,}13$ mol et $n(\text{acide}) = n(\text{alcool}) = 0{,}20 - 0{,}13 = 0{,}07$ mol (tableau ci-dessous).

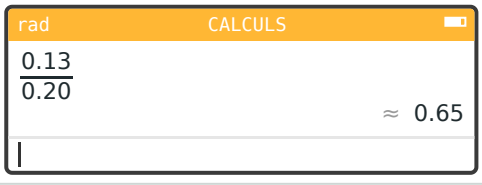
Le rendement est le rapport de la quantité d'ester obtenue à la quantité maximale que l'on pourrait obtenir :

$$\rho = \frac{x_{éq}}{x_{max}} = \frac{0{,}13}{0{,}20} = 0{,}65$$

$\rho = 65\ \%$

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme les données. Environ deux tiers : c'est le rendement habituel d'une estérification avec un alcool primaire, pour un mélange équimolaire.

À LA CALCULATRICE



Équation		R–COOH + R'–CH_2OH = ester + H_2O			
État	Avancement (mol)	n(R–COOH) (mol)	n(R'–CH_2OH) (mol)	n(ester) (mol)	n(H_2O) (mol)
initial	x = 0	0,20	0,20	0	0
intermédiaire	x	0,20 − x	0,20 − x	x	x
d'équilibre	$x_{éq}$ = 0,13	0,20 − $x_{éq}$ = 0,07	0,20 − $x_{éq}$ = 0,07	$x_{éq}$ = 0,13	$x_{éq}$ = 0,13

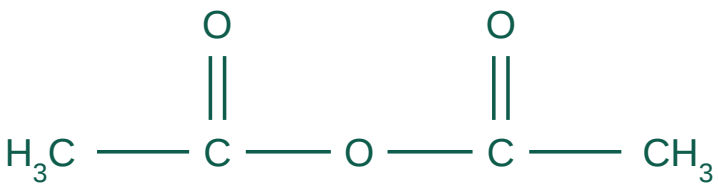
1.4 · Annexe complétée, à rendre avec la copie

2.1 Préciser la formule semi-développée de l'anhydride A utilisé dans l'équation de synthèse de l'aspirine et donner son nom.

Le second produit de la réaction est l'acide éthanoïque CH_3COOH et le groupe fixé sur le cycle est $-O-CO-CH_3$: l'anhydride apporte deux groupes CH_3-CO^- reliés par un atome d'oxygène.

Vérification : $C_4H_6O_3$, soit $M = 4 \times 12 + 6 \times 1 + 3 \times 16 = 102\ g \cdot mol^{-1}$, valeur des données.

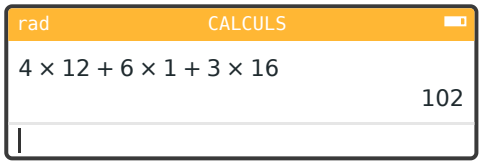
A est l'**anhydride éthanoïque** (ou anhydride acétique) : $CH_3-CO-O-CO-CH_3$



2.1 · Formule semi-développée de l'anhydride éthanoïque

MÉTHODE
Un anhydride d'acide s'obtient en retirant une molécule d'eau à deux molécules d'acide carboxylique. On repère donc l'acide formé dans l'équation : ici l'acide éthanoïque.

À LA CALCULATRICE



2.2 Dessiner et légender le montage de chauffage à reflux.

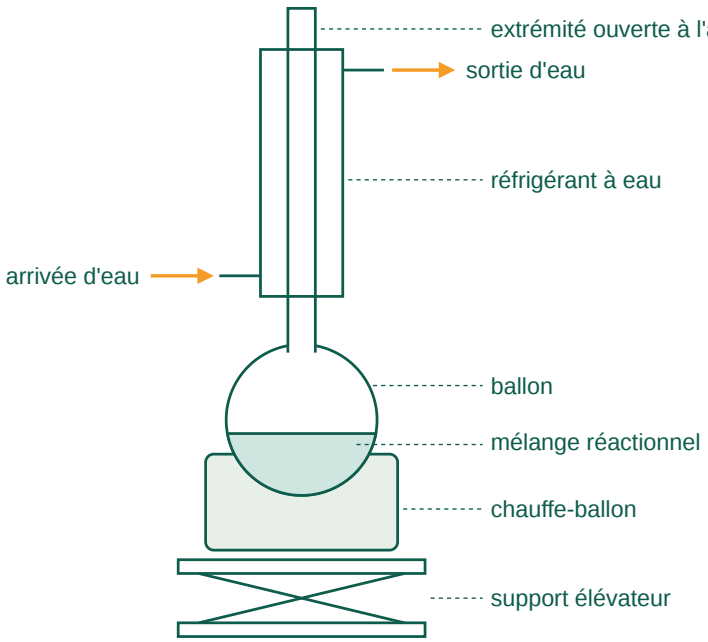
Le schéma doit montrer, de bas en haut : le support élévateur, le dispositif de chauffage, le récipient contenant le mélange réactionnel, puis le réfrigérant à eau vertical, ouvert en haut.

L'eau entre par le bas du réfrigérant et sort par le haut.

Schéma légendé ci-dessous (dans le protocole, le ballon et le chauffe-ballon sont remplacés par un erlenmeyer dans un bain-marie à 60 °C).

PIÈGE
Boucher le haut du réfrigérant : la pression augmenterait dangereusement. Inverser l'entrée et la sortie d'eau est aussi pénalisé : le manchon doit se remplir entièrement, donc l'eau arrive par le bas.

COMPRENDRE
Chauffer accélère la réaction. Les vapeurs se condensent dans le réfrigérant et retombent dans le mélange : on chauffe sans perdre de matière.



2.2 · Montage de chauffage à reflux

2.3 Déterminer le réactif limitant de la synthèse de l'aspirine.

Données utiles $m(\text{acide salicylique}) = 5{,}00$ g ; $M = 138\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; anhydride A : $V = 7{,}0$ mL, $d = 1{,}08$, $M_A = 102\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Acide salicylique : $n_{sal} = \dfrac{m}{M} = \dfrac{5{,}00}{138} = 3{,}62 \times 10^{-2}$ mol.

Anhydride A : sa masse volumique est $\rho_A = d \times \rho_{eau} = 1{,}08\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, donc

$$n_A = \frac{\rho_A \times V}{M_A} = \frac{1{,}08 \times 7{,}0}{102} = 7{,}4 \times 10^{-2}\ \text{mol}$$

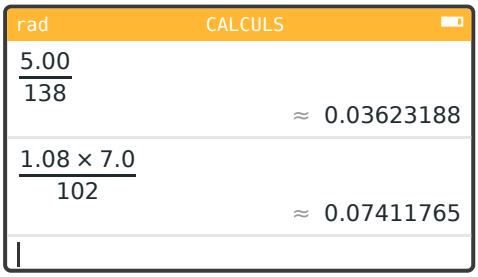
D'après l'équation, une mole d'acide salicylique réagit avec une mole d'anhydride. Or $n_{sal} < n_A$.

L'**acide salicylique** est le réactif limitant ($x_{max} = 3{,}62 \times 10^{-2}$ mol) ; l'anhydride est en excès.

PIÈGE
Comparer les masses ou les volumes au lieu des quantités de matière. Pour un liquide, il faut passer par la masse volumique : $m = \rho \times V$.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs pour n_{sal} (5,00 g et 138), deux seulement pour n_A car le volume 7,0 mL n'en a que deux.

À LA CALCULATRICE



2.4 Calculer la masse d'aspirine obtenue si le rendement était de 100 %, puis le rendement effectif de cette réaction.

Données utiles $n_{sal} = 3{,}62 \times 10^{-2}$ mol (2.3) ; $M_{asp} = 180\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; masse obtenue : $m_{exp} = 4{,}20$ g

Avec un rendement de 100 %, tout l'acide salicylique est transformé et, d'après l'équation, $n_{asp,max} = n_{sal}$:

$$m_{max} = n_{sal} \times M_{asp} = \frac{5{,}00}{138} \times 180 = 6{,}52\ \text{g}$$

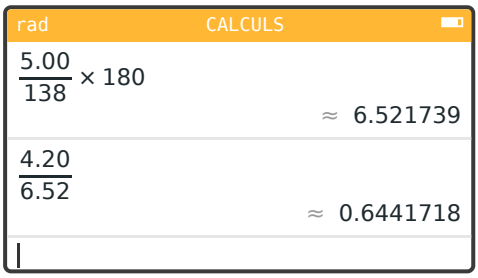
Rendement effectif :

$$\eta = \frac{m_{exp}}{m_{max}} = \frac{4{,}20}{6{,}52} = 0{,}644$$

$m_{max} = 6{,}52$ g et $\eta = 64{,}4\ \%$

COMPRENDRE
Avec un anhydride, la réaction est totale : le rendement inférieur à 100 % vient des pertes de matière lors des filtrations et de la recristallisation, une partie de l'aspirine restant dissoute.

À LA CALCULATRICE



3.1 Calculer la quantité de matière n_0 d'ions HO^- ajoutés à l'aspirine pour fabriquer S_1.

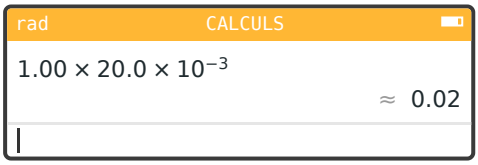
Données utiles $V_0 = 20{,}0$ mL ; $C_0 = 1{,}00\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

$$n_0 = C_0 \times V_0 = 1{,}00 \times 20{,}0 \times 10^{-3}$$

$n_0 = 2{,}00 \times 10^{-2}$ mol

PIÈGE
Laisser V_0 en millilitres. Les 20 mL d'eau ajoutés ne changent pas la quantité d'ions HO^- apportée.

À LA CALCULATRICE



3.2 Écrire l'équation de la réaction de titrage.

Les ions oxonium de l'acide chlorhydrique réagissent avec les ions hydroxyde restants :

$\text{H}_3\text{O}^+\,(\text{aq}) + \text{HO}^-\,(\text{aq}) \longrightarrow 2\,\text{H}_2\text{O}\,(\text{l})$

COMPRENDRE
Les ions Cl^- et Na^+ sont spectateurs. La phénolphtaléine se décolore vers $\text{pH} \approx 8$: à ce pH, les ions éthanoate et salicylate ne sont pas encore dosés par l'acide.

3.3 Calculer la quantité de matière n_1 d'ions HO^- titrés par l'acide chlorhydrique. En déduire la quantité de matière n_2 d'ions HO^- en excès dans la solution S_1.

Données utiles $C_1 = 5{,}00 \times 10^{-2}$ mol · L^{-1} ; $V_1 = 7{,}4$ mL ; prélèvement de 10,0 mL de S_2 ; fiole jaugée de 250 mL

À l'équivalence, les réactifs sont dans les proportions stœchiométriques : $n_1 = n(H_3O^+)_{versé} = C_1 \times V_1$.

$$n_1 = 5{,}00 \times 10^{-2} \times 7{,}4 \times 10^{-3} = 3{,}7 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

La dilution conserve la quantité de matière : S_2 (250 mL) contient tous les ions HO^- en excès de S_1. Le prélèvement de 10,0 mL en contient la fraction $\frac{10{,}0}{250}$, donc

$$n_2 = \frac{250}{10{,}0} \times n_1 = 25 \times 3{,}7 \times 10^{-4} = 9{,}25 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$n_1 = 3{,}7 \times 10^{-4}$ mol et $n_2 \approx 9{,}3 \times 10^{-3}$ mol

PIÈGE
Oublier le facteur 25 : n_1 ne concerne que les 10,0 mL prélevés, pas la totalité de la solution.

COMPRENDRE
$V_1 = 7{,}4$ mL limite le résultat à deux chiffres significatifs. On garde $9{,}25 \times 10^{-3}$ mol pour le calcul suivant et on n'arrondit qu'à la fin.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$5.00 \times 10^{-2} \times 7.4 \times 10^{-3} \approx 3.7 \times 10^{-4}$

$\frac{250}{10.0} \times 3.7 \times 10^{-4} \approx 0.00925$

3.4 Calculer la quantité de matière n_{asp} puis la masse d'aspirine initialement présentes dans la solution S_1.

Données utiles $n_0 = 2{,}00 \times 10^{-2}$ mol (3.1) ; $n_2 = 9{,}25 \times 10^{-3}$ mol (3.3) ; $M_{asp} = 180$ g · mol^{-1}

Quantité d'ions HO^- consommés par l'aspirine : $n_0 - n_2$.

D'après l'équation de l'hydrolyse, une mole d'aspirine consomme deux moles d'ions HO^- :

$$n_{asp} = \frac{n_0 - n_2}{2} = \frac{2{,}00 \times 10^{-2} - 9{,}25 \times 10^{-3}}{2} = 5{,}4 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$m_{asp} = n_{asp} \times M_{asp} = 5{,}375 \times 10^{-3} \times 180 = 0{,}97 \text{ g}$$

$n_{asp} = 5{,}4 \times 10^{-3}$ mol et $m_{asp} = 0{,}97$ g

PIÈGE
Oublier la division par 2. L'aspirine consomme deux ions HO^- : un pour l'hydrolyse de la fonction ester, un pour la réaction avec le groupe carboxyle.

MÉTHODE
Titrage indirect (en retour) : quantité ayant réagi = quantité introduite en excès − quantité restante, mesurée par le titrage. On revient ensuite à l'espèce cherchée par la stœchiométrie.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{2.00 \times 10^{-2} - 9.25 \times 10^{-3}}{2} \approx 0.005375$

$5.375 \times 10^{-3} \times 180 \approx 0.9675$

3.5 Comparer la valeur trouvée à la valeur attendue. Justifier l'écart observé.

Données utiles masse d'aspirine placée dans l'erlenmeyer : 1,00 g ; $m_{asp} = 0{,}97$ g (3.4)

La valeur attendue est la masse pesée, 1,00 g. Le titrage donne 0,97 g, soit un écart relatif

$$\frac{1{,}00 - 0{,}97}{1{,}00} = 3\ \%$$

Les deux valeurs sont proches. L'écart peut venir :

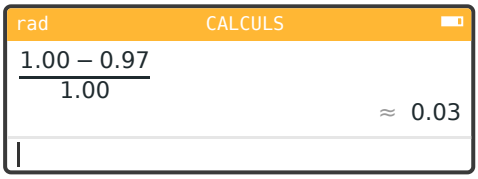
- de l'aspirine fabriquée, qui n'est pas parfaitement pure (traces d'acide salicylique, d'eau ou d'éthanol après la recristallisation) ;
- des incertitudes expérimentales : pesée, ajustage au trait de jauge, prélèvement à la pipette, repérage de l'équivalence (V_1 connu à deux chiffres seulement).

$m_{asp} = 0{,}97$ g pour 1,00 g attendu : écart de 3 %, dû à une pureté imparfaite et aux incertitudes de mesure.

COMPRENDRE

Une erreur de 0,1 mL sur V_1 change m_{asp} d'environ 0,01 g : le facteur 25 de la dilution amplifie l'incertitude du titrage.

À LA CALCULATRICE



Spécialité : Guitare et physique

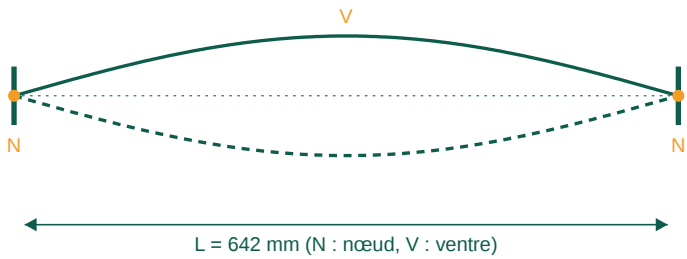
Bac S 2004 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 2 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Nommer le mode de vibration correspondant à f_1. Décrire l'aspect de la corde à cette fréquence et faire un schéma.

La fréquence f_1 est la plus petite des fréquences donnant des ondes stationnaires : c'est le **mode fondamental**.

La corde vibre alors en un seul fuseau : un nœud de vibration à chaque extrémité fixe et un ventre au milieu.

Mode fondamental : la corde présente un seul fuseau (deux nœuds, un ventre).



1.1 · Mode fondamental : un seul fuseau

COMPRENDRE
Un nœud est un point qui reste immobile ; un ventre est un point où l'amplitude de vibration est maximale. Les extrémités d'une corde fixée sont toujours des nœuds.

1.2 Donner la relation entre la longueur L de la corde, la fréquence f_1 et la célérité v des ondes le long de la corde. Déterminer v.

Données utiles $L = 642\ \text{mm} = 0{,}642\ \text{m}$; $f_1 = 82{,}4\ \text{Hz}$

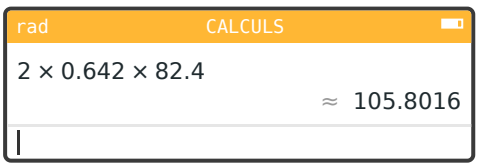
Un fuseau a pour longueur une demi-longueur d'onde. Dans le mode fondamental, la corde porte un seul fuseau : $L = \dfrac{\lambda_1}{2}$.

Or $\lambda_1 = \dfrac{v}{f_1}$, donc $L = \dfrac{v}{2f_1}$, soit $v = 2Lf_1$.

$$v = 2 \times 0{,}642 \times 82{,}4 = 106\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$L = \dfrac{v}{2f_1}$ et $v = 106\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Laisser L en millimètres donne une célérité mille fois trop grande. Autre erreur fréquente : écrire $L = \lambda_1$ au lieu de $L = \lambda_1/2$.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme L et f_1. Cette célérité est celle de l'onde le long de la corde, pas celle du son dans l'air.

MÉTHODE
Pour le mode à n fuseaux : $L = n\dfrac{\lambda_n}{2}$, donc $f_n = n\dfrac{v}{2L} = nf_1$. On retrouve les fréquences $2f_1$, $3f_1$, $4f_1$ de l'énoncé.

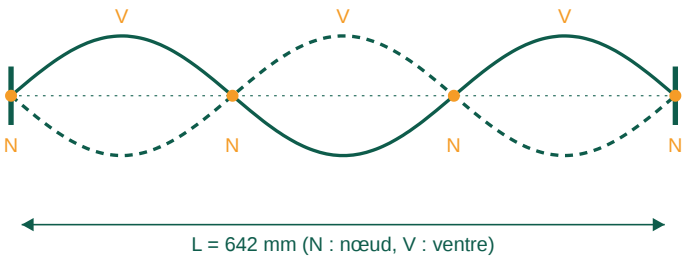
1.3 Nommer les autres modes de vibration. Décrire l'aspect de la corde à la fréquence f_3 et faire un schéma.

Les modes de fréquences f_2, f_3, f_4… multiples de f_1 sont les **modes harmoniques**.

À la fréquence $f_3 = 3f_1$ (harmonique de rang 3), la corde vibre en trois fuseaux de même longueur $\dfrac{L}{3}$: quatre nœuds (dont les deux extrémités) et trois ventres.

Modes harmoniques ; à f_3 la corde présente trois fuseaux (quatre nœuds, trois ventres).

COMPRENDRE
Harmoniques, hauteur et timbre ne figurent plus au programme actuel de la spécialité de Terminale. Ce sujet d'ancien programme reste un bon entraînement sur les ondes et la lecture de spectres.



1.3 · Harmonique de rang 3 : trois fuseaux

2.1 Expliquer pourquoi il faut utiliser un oscilloscope à mémoire.

Une corde pincée n'est pas entretenue : ses vibrations s'amortissent vite et le son ne dure qu'un court instant. Le signal est donc transitoire.

L'oscilloscope à mémoire enregistre ce signal bref et en conserve la trace à l'écran, ce qui laisse le temps de faire les mesures.

Le signal de la corde pincée est bref et amorti : il faut l'enregistrer pour pouvoir l'étudier.

COMPRENDRE
Dans l'expérience 1, la corde est entretenue par le courant alternatif : le signal serait permanent et un oscilloscope ordinaire conviendrait.

2.2 Déterminer la période de vibration à partir de l'oscillogramme.

Données utiles base de temps : $2\ \text{ms/div}$

Le motif se répète à l'identique. Entre le premier et le troisième grand sommet, on mesure deux périodes sur environ $6{,}8$ divisions.

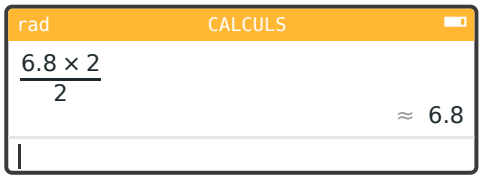
$$2T = 6{,}8 \times 2 = 13{,}6\ \text{ms} \quad \text{donc} \quad T = \frac{13{,}6}{2} = 6{,}8\ \text{ms}$$

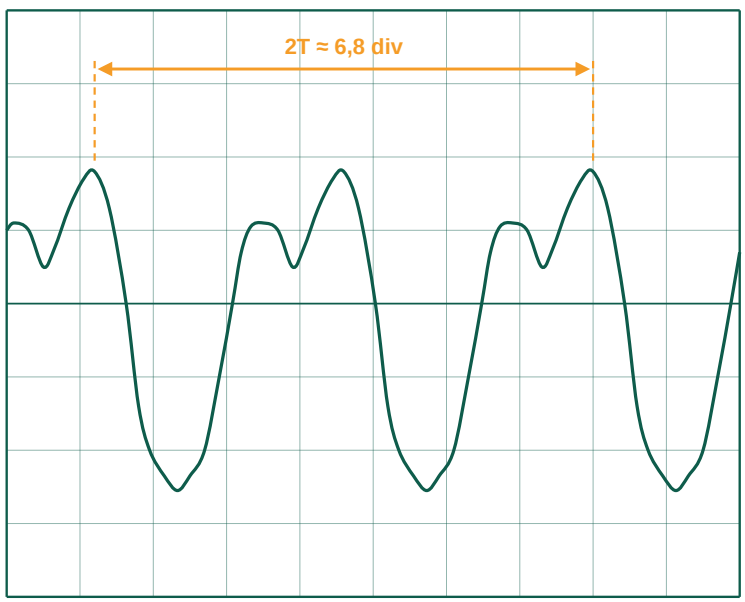
$T \approx 6{,}8\ \text{ms} = 6{,}8 \times 10^{-3}\ \text{s}$

PIÈGE
Chaque motif contient deux bosses. La période est la durée du motif complet, d'un grand sommet au grand sommet suivant, et non l'écart entre deux bosses voisines.

MÉTHODE
Mesurer plusieurs périodes puis diviser : l'erreur de lecture (environ $0{,}1$ division) est répartie sur deux périodes au lieu d'une.

À LA CALCULATRICE





2.2 · Oscillogramme « corde n°3 » : mesure de deux périodes entre sommets

2.3 Vérifier que cette période correspond à un bon accord de la corde.

Données utiles corde 3 à vide (Ré) : $f = 146{,}8\ \text{Hz}$; $T \approx 6{,}8 \times 10^{-3}\ \text{s}$ (2.2)

Fréquence mesurée : $f_{\text{mes}} = \dfrac{1}{T} = \dfrac{1}{6{,}8 \times 10^{-3}} = 1{,}5 \times 10^{2}\ \text{Hz}$ (soit environ $147\ \text{Hz}$).

Le tableau donne $146{,}8\ \text{Hz}$ pour la corde 3, soit une période attendue $\dfrac{1}{146{,}8} = 6{,}812 \times 10^{-3}\ \text{s}$.

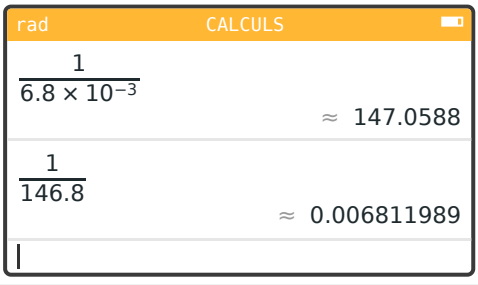
Les deux valeurs concordent, compte tenu de la précision de la lecture graphique.

$f_{\text{mes}} \approx 147\ \text{Hz}$ pour $146{,}8\ \text{Hz}$ attendus : la corde 3 est bien accordée.

COMPRENDRE

La lecture à $0{,}1$ division près donne T entre $6{,}7$ et $6{,}9\ \text{ms}$, donc une fréquence entre 145 et $149\ \text{Hz}$: la valeur du tableau est dans cet intervalle.

À LA CALCULATRICE



3.1 Les deux La sont séparés de deux octaves. Définir l'octave.

Données utiles corde 2 : $110{,}0$ Hz ; corde 6 en case 5 : 440 Hz

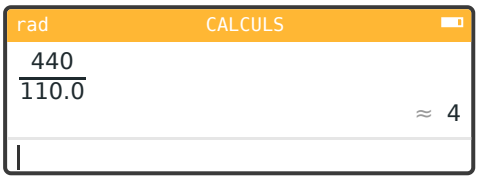
Le rapport des deux fréquences vaut $\frac{440}{110{,}0} = 4 = 2 \times 2$ pour deux octaves.

Monter d'une octave revient donc à multiplier la fréquence par 2.

L'octave est l'intervalle entre deux notes dont les fréquences sont dans le rapport 2.

PIÈGE
Les octaves se multiplient, elles ne s'ajoutent pas : deux octaves correspondent à un rapport $2^2 = 4$, et non à un écart fixe en hertz.

À LA CALCULATRICE



3.2.1 Attribuer à chaque émetteur (corde 2, corde 6 en case 5, diapason) son spectre en fréquence A, B ou C, en justifiant.

- Spectre A : un seul pic, à 440 Hz. C'est un son pur, donc le **son 3** (diapason).
- Spectre B : le fondamental (premier pic) est à 110 Hz, suivi d'harmoniques à 220, 330 Hz… C'est le La de la corde 2, donc le **son 1**.
- Spectre C : le fondamental est à 440 Hz, suivi d'harmoniques à 880, 1320 Hz… C'est la corde 6 appuyée en case 5, donc le **son 2**.

Spectre A : son 3 (diapason) ; spectre B : son 1 (corde 2) ; spectre C : son 2 (corde 6, case 5).

PIÈGE
Les trois graphiques n'ont pas la même échelle de fréquence : il faut lire les graduations, pas comparer la position des pics à l'œil.

MÉTHODE
Dans un spectre, la fréquence du fondamental est celle du pic de plus basse fréquence, et l'écart entre deux pics voisins lui est égal. Un seul pic signifie un son pur.

3.2.2 Donner les trois principales caractéristiques d'un son. Indiquer celle qui distingue les sons 1 et 2, puis celle qui distingue les sons 2 et 3.

Un son est caractérisé par :

- sa **hauteur** (grave ou aigu), fixée par la fréquence du fondamental ;
- son **timbre**, lié au nombre et aux amplitudes relatives des harmoniques ;
- son **intensité** (niveau sonore, en décibels), liée à l'amplitude de la vibration.

Sons 1 et 2 : fondamentaux à 110 Hz et 440 Hz, ils n'ont pas la même hauteur.

Sons 2 et 3 : même fondamental à 440 Hz, donc même hauteur, mais le son 2 contient de nombreux harmoniques et le son 3 aucun : ils n'ont pas le même timbre.

Hauteur, timbre, intensité ; les sons 1 et 2 diffèrent par la hauteur, les sons 2 et 3 par le timbre.

COMPRENDRE
Les spectres donnent des amplitudes relatives (le pic le plus haut vaut 100 %) : ils ne permettent pas de comparer les intensités sonores des trois sons.

Lampe à vapeur de sodium

Bac S 2004 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Quelles sont les longueurs d'onde des raies appartenant au domaine du visible, à celui des ultraviolets, à celui de l'infrarouge ?

Données utiles raies du spectre : 330,3 nm ; 568,8 nm ; 589,0 nm et 589,6 nm (doublet) ; 615,4 nm ; 819,5 nm ; 1138,2 nm

Dans le vide, le domaine visible s'étend environ de 400 nm à 800 nm.

En dessous de 400 nm, c'est l'ultraviolet ; au-dessus de 800 nm, l'infrarouge.

UV : 330,3 nm. Visible : 568,8 ; 589,0 ; 589,6 et 615,4 nm. IR : 819,5 et 1138,2 nm.

PIÈGE
Inverser les deux domaines invisibles. L'ultraviolet est du côté des petites longueurs d'onde (au-delà du violet, 400 nm), l'infrarouge du côté des grandes (au-delà du rouge, 800 nm).

1.2 S'agit-il d'une lumière polychromatique ou monochromatique ? Justifier.

Le spectre comporte plusieurs raies : la lampe émet plusieurs radiations de longueurs d'onde différentes.

La lumière de la lampe est **polychromatique**.

COMPRENDRE
La lampe paraît jaune parce que le doublet à 589 nm est de loin le plus intense, mais une seule couleur perçue ne signifie pas une seule radiation.

1.3 Quelle est la valeur de la fréquence ν de la raie de longueur d'onde $\lambda = 589{,}0$ nm ?

Données utiles $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $\lambda = 589{,}0\ \text{nm} = 589{,}0 \times 10^{-9}\ \text{m}$

Pour une radiation lumineuse dans le vide : $\lambda = \dfrac{c}{\nu}$, donc $\nu = \dfrac{c}{\lambda}$.

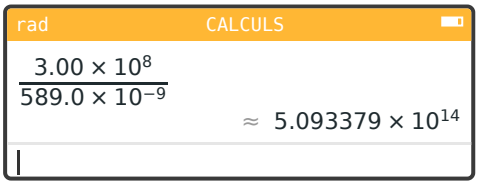
$$\nu = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{589{,}0 \times 10^{-9}}$$

$\nu = 5{,}09 \times 10^{14}\ \text{Hz}$

PIÈGE
Laisser λ en nanomètres : le résultat est alors faux d'un facteur 10^{9}. Convertir en mètres avant de diviser.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs : c n'en a que trois, même si λ en a quatre. Le résultat ne peut pas être plus précis que la donnée la moins précise.

À LA CALCULATRICE



1.4 Parmi les données du début de l'exercice, que représentent les grandeurs h et e ?

h est la constante de Planck : elle relie l'énergie d'un photon à la fréquence de la radiation, $E = h\,\nu$.

e est la charge élémentaire, valeur absolue de la charge de l'électron (et charge du proton).

h : constante de Planck ; e : charge élémentaire.

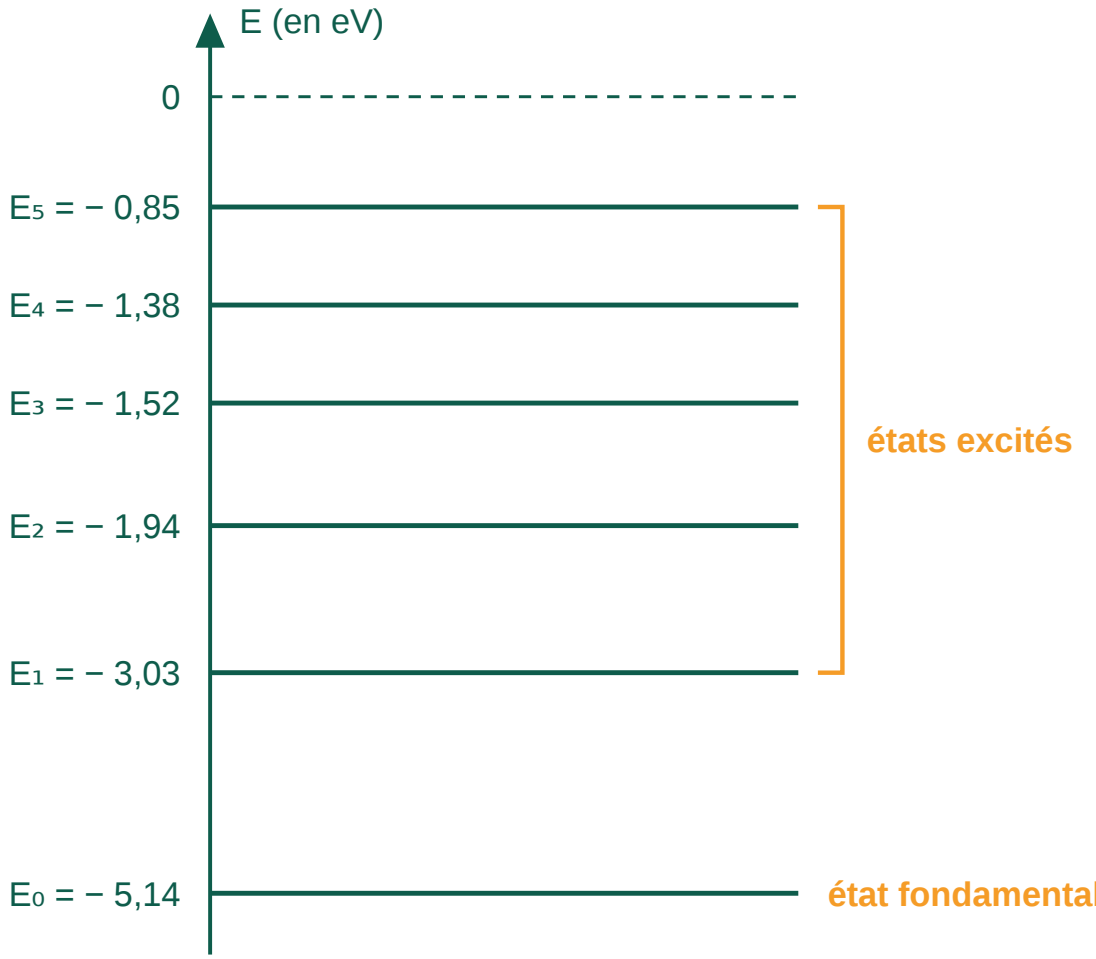
COMPRENDRE
La valeur de e sert ici à convertir les énergies : $1\ \text{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}\ \text{J}$.

2.1 Indiquer sur le diagramme de l'annexe 4 l'état fondamental et les états excités.

L'état fondamental est l'état de plus basse énergie, le plus stable : $E_0 = -5{,}14$ eV.

Tous les niveaux d'énergie supérieure, de E_1 à E_5, sont des états excités.

État fondamental : E_0 ; états excités : E_1, E_2, E_3, E_4 et E_5 (voir l'annexe complétée).



2.1 · Annexe 4 complétée : état fondamental et états excités

2.2 En quoi le diagramme de l'annexe 4 permet-il de justifier la discontinuité du spectre d'émission d'une lampe à vapeur de sodium ?

Le diagramme montre que l'énergie de l'atome est quantifiée : elle ne peut prendre que quelques valeurs bien déterminées.

Quand l'atome passe d'un niveau E_p à un niveau inférieur E_n, il émet un photon d'énergie $E_p - E_n = \dfrac{h\,c}{\lambda}$. Ces écarts sont en nombre limité.

Niveaux d'énergie quantifiés, donc longueurs d'onde émises bien définies : le spectre est formé de raies, il est discontinu.

MÉTHODE

Pour expliquer un spectre de raies, enchaîner trois idées : niveaux quantifiés ; un photon par transition ; énergie du photon égale à l'écart entre les deux niveaux.

2.3.1 Calculer l'énergie ΔE (en eV) qui correspond à l'émission de la radiation de longueur d'onde $\lambda = 589{,}0$ nm, avec le nombre de chiffres significatifs adapté aux données.

Données utiles $h = 6{,}62 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1} ; $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C ; $\lambda = 589{,}0 \times 10^{-9}$ m

Énergie du photon émis : $\Delta E = h\nu = \dfrac{hc}{\lambda}$.

$$\Delta E = \frac{6{,}62 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{589{,}0 \times 10^{-9}} = 3{,}37 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Conversion, avec $1 \text{ eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J :

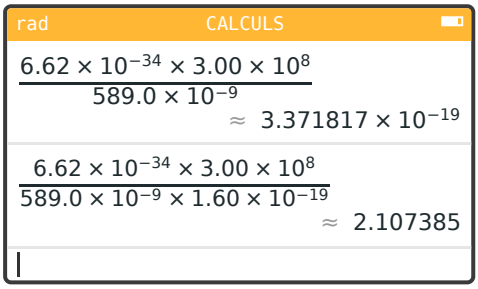
$$\Delta E = \frac{3{,}37 \times 10^{-19}}{1{,}60 \times 10^{-19}}$$

$\Delta E = 2{,}11$ eV (trois chiffres significatifs, comme h, c et e)

PIÈGE
Multiplier par e au lieu de diviser. Un électronvolt est une très petite énergie : la valeur en eV est un nombre bien plus grand que la valeur en joules.

MÉTHODE
Garder la valeur non arrondie en mémoire pour la conversion, ou faire le calcul en une seule saisie, et n'arrondir qu'à la fin.

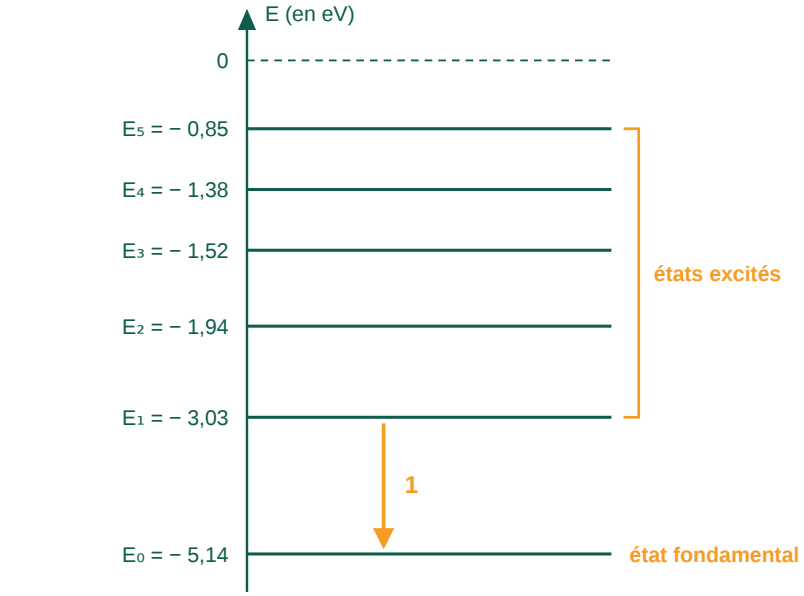
À LA CALCULATRICE



2.3.2 Sans justifier, indiquer par une flèche notée 1 sur le diagramme de l'annexe 4 la transition correspondante.

Données utiles $\Delta E = 2{,}11$ eV (2.3.1)

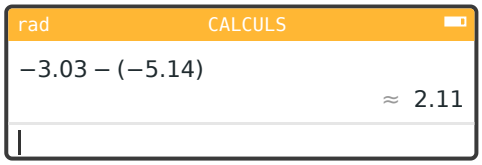
Flèche 1 : de E_1 vers E_0, pointe vers le bas (voir l'annexe complétée).



2.3.2 · Annexe 4 complétée : flèche 1, émission de la raie à 589,0 nm

COMPRENDRE
Vérification : $E_1 - E_0 = -3{,}03 - (-5{,}14) = 2{,}11$ eV. C'est le seul écart du diagramme égal à ΔE. La flèche descend car l'atome perd de l'énergie en émettant le photon.

À LA CALCULATRICE



3.1 L'atome, dans l'état E_1, reçoit une radiation dont le quantum d'énergie vaut $\Delta E' = 1{,}09$ eV. Cette radiation peut-elle interagir avec l'atome ? Justifier.

Données utiles $E_1 = -3{,}03$ eV ; $E_2 = -1{,}94$ eV ; $\Delta E' = 1{,}09$ eV

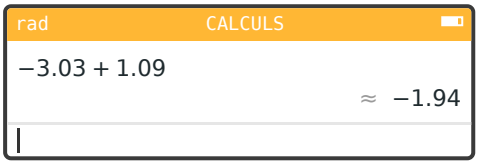
Un photon n'est absorbé que si son énergie est exactement égale à l'écart entre le niveau occupé et un niveau supérieur.

Énergie que l'atome aurait après absorption : $E_1 + \Delta E' = -3{,}03 + 1{,}09 = -1{,}94$ eV. C'est la valeur du niveau E_2.

$\Delta E' = E_2 - E_1 = 1{,}09$ eV : oui, la radiation peut interagir avec l'atome, qui passe de E_1 à E_2.

PIÈGE
Croire qu'un photon d'énergie supérieure à un écart suffit. Avec 1,20 eV par exemple, aucun niveau ne correspond : le photon n'est pas absorbé.

À LA CALCULATRICE



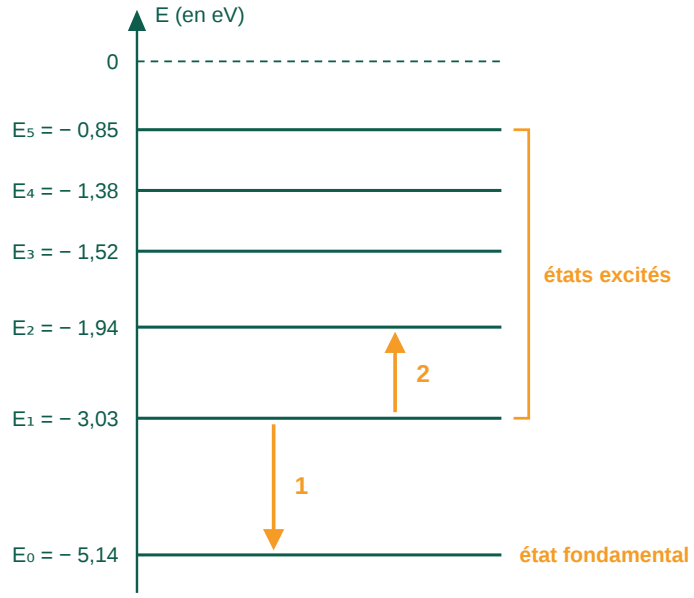
3.2 Représenter sur le diagramme de l'annexe 4 la transition correspondante par une flèche notée 2. La raie associée est-elle une raie d'émission ou d'absorption ? Justifier.

Flèche 2 : de E_1 vers E_2, pointe vers le haut (voir l'annexe complétée).

L'atome passe à un niveau d'énergie plus élevé : il gagne de l'énergie en absorbant le photon reçu.

La raie associée à la transition 2 est une raie d'**absorption**.

COMPRENDRE
Sens de la flèche : vers le haut pour une absorption, vers le bas pour une émission. Ce photon de 1,09 eV a une longueur d'onde d'environ 1140 nm : elle correspond à la raie infrarouge à 1138,2 nm du spectre.



3.2 · Annexe 4 complétée : flèche 2, absorption du quantum de 1,09 eV

Chute libre et parachutisme

Bac S 2004 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 4 **6 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1.1 Partie A. Exprimer la valeur F de la force de gravitation exercée par la Terre sur le système, en fonction de M_T, R_T, G, m et h.

Le système est à la distance $R_T + h$ du centre de la Terre.

$$F = \frac{G\,m\,M_T}{(R_T+h)^2}$$

PIÈGE
Écrire h^2 au dénominateur : la distance à prendre est celle qui sépare le système du centre de la Terre, soit $R_T + h$.

1.2 Partie A. Le poids étant assimilé à la force de gravitation, en déduire l'expression de l'intensité g de la pesanteur à l'altitude h.

Le poids a pour valeur $P = m\,g$. Avec $P = F$: $m\,g = \dfrac{G\,m\,M_T}{(R_T+h)^2}$. On simplifie par m.

$$g = \frac{G\,M_T}{(R_T+h)^2}$$

COMPRENDRE
La masse m disparaît : g ne dépend que de l'astre et de l'altitude, pas de l'objet qui tombe.

1.3 Partie A. Calculer l'intensité de la pesanteur à l'altitude de 40 km.

Données utiles $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg ; $R_T = 6{,}37 \times 10^{3}$ km ; $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ S.I. ; $h = 40$ km

Les longueurs sont converties en mètres : $R_T = 6{,}37 \times 10^{6}$ m et $h = 4{,}0 \times 10^{4}$ m.

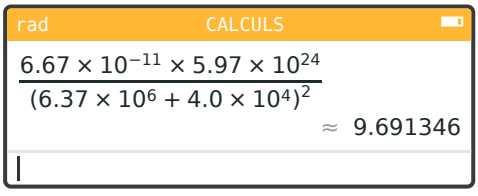
$$g = \frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 5{,}97 \times 10^{24}}{(6{,}37 \times 10^{6} + 4{,}0 \times 10^{4})^2} = 9{,}69\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$g \approx 9{,}7\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$ à 40 km d'altitude

PIÈGE
Laisser R_T et h en kilomètres : le résultat serait un million de fois trop grand. La constante G impose des mètres.

COMPRENDRE
L'altitude n'a que deux chiffres significatifs : on annonce $9{,}7$. À 40 km, g n'a baissé que d'environ 1 % par rapport au sol, ce qui justifie de le prendre constant ensuite.

À LA CALCULATRICE



2.1 Partie A. Qu'appelle-t-on une chute libre ?

Un système est en chute libre lorsqu'il n'est soumis qu'à son poids.

COMPRENDRE
« Libre » ne veut pas dire verticale ni sans vitesse initiale : un projectile lancé en oblique dans le vide est aussi en chute libre. Ici, l'air raréfié rend le modèle acceptable au début du saut.

2.2 Partie A. Établir l'expression de l'accélération du parachutiste lors de cette phase du saut.

Système {parachutiste et équipement}, de masse m ; référentiel terrestre supposé galiléen ; seule force : le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$.

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

Sur un axe Ox vertical dirigé vers le bas, d'origine la position de départ : $a_x = g$.

$\vec{a} = \vec{g}$: accélération verticale, vers le bas, de valeur $a = g = 9{,}7\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$

MÉTHODE
Toujours dans cet ordre : système, référentiel, bilan des forces, deuxième loi de Newton, puis projection sur un axe dont on précise le sens et l'origine.

2.3 Partie A. Établir la relation entre la vitesse v et la durée de chute t. Vérifier que la durée t_1 nécessaire pour atteindre la « vitesse » du son est bien celle annoncée dans le texte.

Données utiles $g = 9{,}7\ \mathrm{N \cdot kg^{-1}}$; $v_1 = 1067\ \mathrm{km \cdot h^{-1}}$; vitesse initiale nulle

$a_x = \dfrac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t} = g$, donc par intégration $v_x = g\,t + C$. À $t = 0$, $v_x = 0$: $C = 0$. D'où $v = g\,t$.

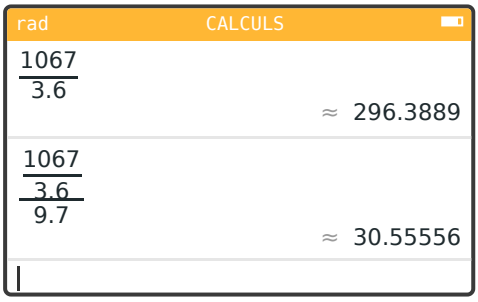
Conversion : $v_1 = \dfrac{1067}{3{,}6} = 296\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

$$t_1 = \frac{v_1}{g} = \frac{296}{9{,}7} = 31\ \mathrm{s}$$

$v = g\,t$ et $t_1 \approx 31$ s, en accord avec les « trente secondes environ » du texte.

PIÈGE
Diviser des $\mathrm{km \cdot h^{-1}}$ par g : on trouverait 110, sans signification. La vitesse doit être en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ (division par 3,6).

À LA CALCULATRICE



2.4 Partie A. Établir la relation entre la distance x parcourue et la durée de chute. Calculer la distance x_1 parcourue quand la « vitesse » du son est atteinte, puis l'altitude h_1 du parachutiste.

Données utiles $v_1 = 296\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$ et $t_1 = v_1/g$ (2.3) ; altitude de départ $h_0 = 40$ km

$v_x = \dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = g\,t$, donc $x = \dfrac{1}{2}\,g\,t^2 + C'$. À $t = 0$, $x = 0$: $C' = 0$. D'où $x = \dfrac{1}{2}\,g\,t^2$.

Avec $t_1 = \dfrac{v_1}{g}$: $\quad x_1 = \dfrac{1}{2}\,g\,\dfrac{v_1^2}{g^2} = \dfrac{v_1^2}{2\,g}$

$$x_1 = \frac{296^2}{2 \times 9{,}7} = 4{,}5 \times 10^3\ \mathrm{m}$$

Altitude : $h_1 = h_0 - x_1 = 40 - 4{,}5 \approx 35$ km.

$x = \dfrac{1}{2}\,g\,t^2$; $x_1 = 4{,}5 \times 10^3$ m ; $h_1 \approx 35$ km

MÉTHODE
Remplacer t_1 par v_1/g avant de calculer : on part des données de l'énoncé et non d'un résultat déjà arrondi.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{\left(\dfrac{1067}{3.6}\right)^2}{2 \times 9.7}$ $\approx$ 4528.164

$40 - 4.528$ $\approx$ 35.472

3.1 Partie A. Pour le son, le terme de célérité est préférable à celui de vitesse. Expliquer.

Le son est une onde mécanique : c'est une perturbation qui se propage dans l'air sans transport de matière, alors que le mot « vitesse » décrit le déplacement d'un objet matériel.

On parle de célérité parce que c'est la perturbation qui avance, pas la matière.

COMPRENDRE
Les tranches d'air vibrent autour de leur position et y reviennent ; seule l'énergie est transportée de proche en proche.

3.2 Partie A. La célérité du son étant proportionnelle à la racine carrée de la température absolue, déterminer la température θ_1 de l'atmosphère pour laquelle la célérité vaut v_1.

Données utiles $v_1 = 1067\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$; $v_0 = 1193\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ à $\theta_0 = 0\ ^\circ\text{C}$; $T = \theta + 273$

$v = K\sqrt{T}$, donc $\dfrac{v_1}{v_0} = \sqrt{\dfrac{T_1}{T_0}}$, soit $T_1 = T_0 \left(\dfrac{v_1}{v_0}\right)^2$ avec $T_0 = 273$ K.

$$T_1 = 273 \times \left(\frac{1067}{1193}\right)^2 = 218\ \text{K}$$

$\theta_1 = T_1 - 273 = 218 - 273 = -55\ ^\circ\text{C}$

$\theta_1 \approx -55\ ^\circ\text{C}$ (soit $T_1 = 218$ K)

PIÈGE
Appliquer la proportionnalité à la température en degrés Celsius : avec $\theta_0 = 0\ ^\circ\text{C}$, le calcul n'aurait aucun sens. La loi porte sur les kelvins.

COMPRENDRE
Dans un rapport, les unités se simplifient : les deux célérités peuvent rester en $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$273 \times \left(\dfrac{1067}{1193}\right)^2$ $\approx$ 218.3789

$218 - 273$ -55

1.1 Partie B. Déterminer l'unité du coefficient k à l'aide des unités fondamentales du système international.

Données utiles $F = k\,v^2$

$k = \dfrac{F}{v^2}$. Une force est le produit d'une masse par une accélération : $1\ \text{N} = 1\ \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$. Et v^2 s'exprime en $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$.

$$\frac{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}} = \text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$$

k s'exprime en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$: $k = 0{,}28\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$

PIÈGE
Répondre $\text{N} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-2}$: c'est homogène, mais le newton n'est pas une unité fondamentale. Il faut le décomposer.

1.2 Partie B. Faire le bilan des actions exercées sur le système, établir l'équation différentielle vérifiée par la vitesse et montrer qu'elle s'écrit numériquement $\frac{dv}{dt} = 9{,}8 - 0{,}0035\,v^2$.

Données utiles $m = 80$ kg ; $k = 0{,}28$ kg · m^{-1} ; $g_0 = 9{,}8$ N · kg^{-1}

Système {parachutiste et équipement} ; référentiel terrestre supposé galiléen.

Forces : le poids $\vec{P}$, vertical vers le bas, de valeur $m\,g_0$; la force de frottement de l'air $\vec{F}$, verticale vers le haut (opposée au mouvement), de valeur $k\,v^2$. La poussée d'Archimède est négligée.

Deuxième loi de Newton : $\vec{P} + \vec{F} = m\,\vec{a}$. En projection sur un axe vertical dirigé vers le bas :

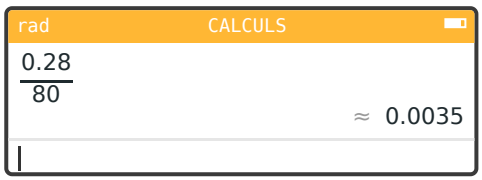
$$m\,g_0 - k\,v^2 = m\,\frac{dv}{dt} \quad \text{soit} \quad \frac{dv}{dt} = g_0 - \frac{k}{m}\,v^2$$

Avec $\frac{k}{m} = \frac{0{,}28}{80} = 0{,}0035$ m^{-1} :

$\frac{dv}{dt} = 9{,}8 - 0{,}0035\,v^2$, avec v en m · s^{-1} : c'est l'équation attendue.

PIÈGE
Oublier de diviser par m et écrire $9{,}8 - 0{,}28\,v^2$, ou se tromper de signe : le frottement s'oppose toujours au mouvement.

À LA CALCULATRICE



1.3.1 Partie B. À partir de la courbe $v = f(t)$ de l'annexe 1, déterminer la vitesse limite et le temps caractéristique du mouvement.

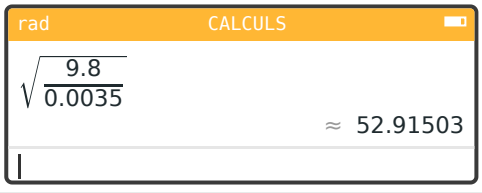
La courbe tend vers une asymptote horizontale : $v_{lim} \approx 53$ m · s^{-1}.

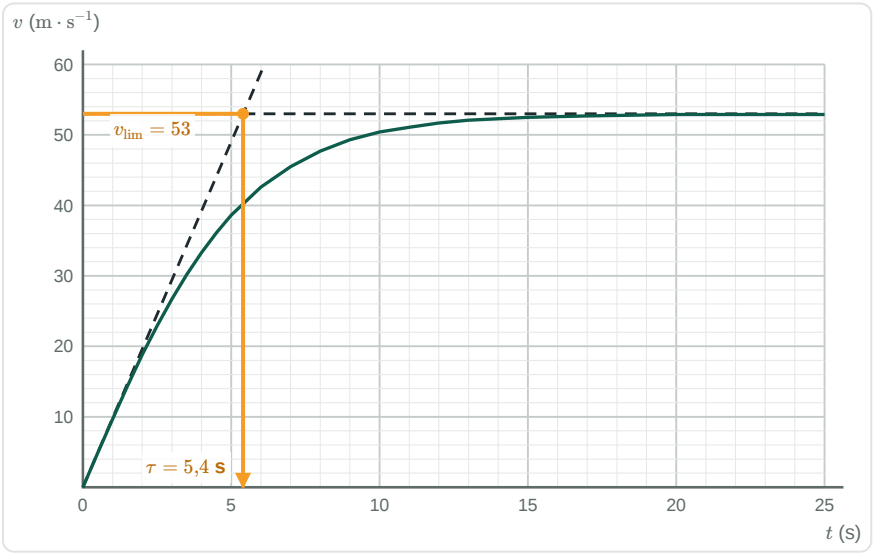
On trace la tangente à la courbe à l'origine : elle coupe l'asymptote à la date $t = \tau$. On lit $\tau \approx 5{,}4$ s.

$v_{lim} \approx 53$ m · s^{-1} et $\tau \approx 5{,}4$ s

COMPRENDRE
La lecture dépend du tracé de la tangente : toute valeur de τ entre 5 s et 6 s est recevable. Le calcul confirme la vitesse limite : $\sqrt{9{,}8/0{,}0035} = 52{,}9$ m · s^{-1}.

À LA CALCULATRICE





1.3.1 · Annexe 1 : tangente à l'origine et asymptote

1.3.2 Partie B. Comment retrouver, à partir de ce document, une valeur approchée de l'intensité de la pesanteur ?

Données utiles $v_{\text{lim}} = 53\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et $\tau = 5{,}4\ \text{s}$ (1.3.1)

À $t = 0$, $v = 0$: l'équation différentielle donne $\dfrac{\text{d}v}{\text{d}t} = g_0$. Le coefficient directeur de la tangente à l'origine est donc égal à g_0.

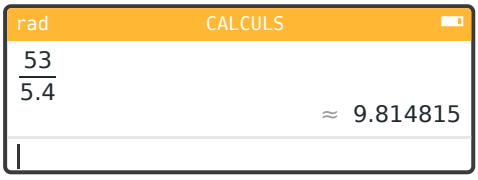
Cette tangente passe par l'origine et par le point $(\tau\ ;\ v_{\text{lim}})$:

$$g_0 \approx \frac{v_{\text{lim}}}{\tau} = \frac{53}{5{,}4} = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

La pente de la tangente à l'origine donne $g_0 \approx 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

COMPRENDRE
Au départ, la vitesse est nulle, donc le frottement aussi : le parachutiste est en chute libre pendant un court instant. Autre voie : en régime permanent, $g_0 = \dfrac{k}{m}\,v_{\text{lim}}^2$.

À LA CALCULATRICE



1.4.1 Partie B. Quel est le pas Δt utilisé pour les calculs de la méthode d'Euler ?

Deux dates consécutives du tableau sont séparées de $0{,}10$ s.

$\Delta t = 0{,}10\ \text{s}$

1.4.2 Partie B. Expliquer la méthode d'Euler en calculant l'accélération à la date $t_4 = 0{,}40$ s et la vitesse à la date $t_5 = 0{,}50$ s.

Données utiles $v_4 = 3{,}92\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (tableau) ; $\Delta t = 0{,}10\ \text{s}$ (1.4.1)

La méthode avance pas à pas, en deux temps à chaque date.

Connaissant v_4, l'équation différentielle donne l'accélération à cette date :

$$a_4 = 9{,}8 - 0{,}0035 \times v_4^2 = 9{,}8 - 0{,}0035 \times 3{,}92^2 = 9{,}75\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

On suppose ensuite l'accélération constante pendant la durée Δt :

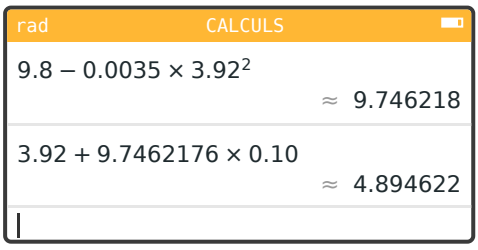
$$v_5 = v_4 + a_4\,\Delta t = 3{,}92 + 9{,}75 \times 0{,}10 = 4{,}89\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$a_4 = 9{,}75\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ et $v_5 = 4{,}89\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, comme dans le tableau.

PIÈGE
Calculer v_5 avec a_5, encore inconnue à ce stade. Garder aussi a_4 non arrondie dans la calculatrice : avec $9{,}75$ on obtient $4{,}895$.

MÉTHODE
Euler : 1) a_n par l'équation différentielle ; 2) $v_{n+1} = v_n + a_n\,\Delta t$; 3) on recommence. Plus le pas est petit, plus le résultat est précis.

À LA CALCULATRICE



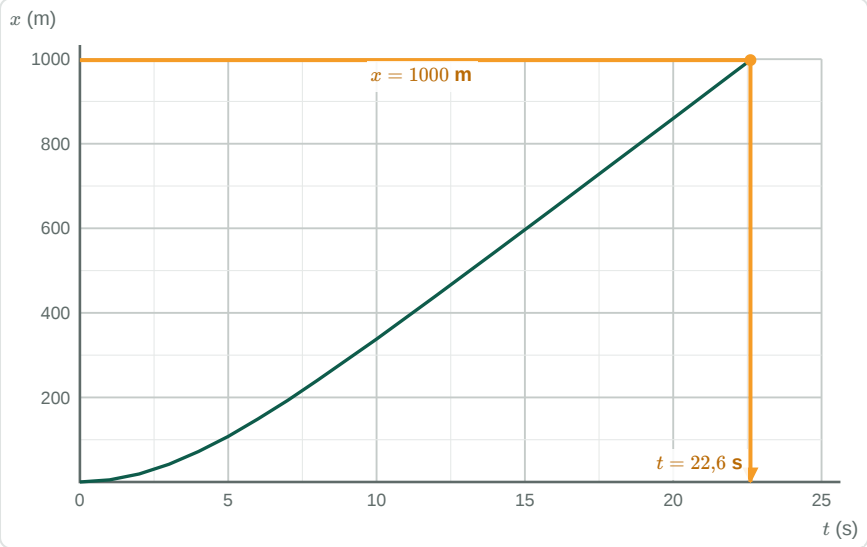
1.5 Partie B. À l'aide de la courbe $x = f(t)$ de l'annexe 1, déterminer la date à laquelle le parachutiste atteindrait le sol s'il n'ouvrait pas son parachute.

Données utiles altitude de départ : 1000 m

Le parachutiste part de 1000 m d'altitude : il touche le sol lorsque la distance parcourue vaut $x = 1000$ m. On lit sur la courbe l'abscisse du point d'ordonnée 1000 m.

Il atteindrait le sol à $t \approx 22{,}6$ s (environ 23 s).

COMPRENDRE
Après une dizaine de secondes, la courbe $x = f(t)$ est une droite : la vitesse est constante et sa pente vaut v_{lim}.



1.5 · Annexe 1 : lecture de la date pour $x = 1000$ m

2.1 Partie B. Le parachute ouvert, la force de frottement devient $F' = k' v^2$. À l'aide de l'expression littérale de la vitesse limite, déterminer la valeur de k'.

Données utiles $v'_{\text{lim}} = 4{,}5\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $m = 80$ kg ; $g_0 = 9{,}8\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$

Quand la vitesse limite est atteinte, v est constante : $\dfrac{\text{d}v}{\text{d}t} = 0$.

L'équation différentielle devient $g_0 - \dfrac{k'}{m} v'^2_{\text{lim}} = 0$, d'où

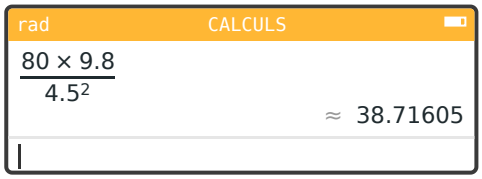
$$v'_{\text{lim}} = \sqrt{\frac{m\,g_0}{k'}} \quad \text{et} \quad k' = \frac{m\,g_0}{v'^2_{\text{lim}}}$$

$$k' = \frac{80 \times 9{,}8}{4{,}5^2} = 39\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$$

$k' = 39\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$

COMPRENDRE
À vitesse limite, le frottement compense exactement le poids. Le parachute multiplie le coefficient par environ 140 : la vitesse limite, elle, est divisée par $\sqrt{140} \approx 12$.

À LA CALCULATRICE



2.2 Partie B. Représenter sur l'annexe 2 l'évolution de la vitesse au cours du temps pour l'ensemble du saut.

Données utiles ouverture du parachute à $t = 12$ s ; stabilisation en 4 s à $4{,}5\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

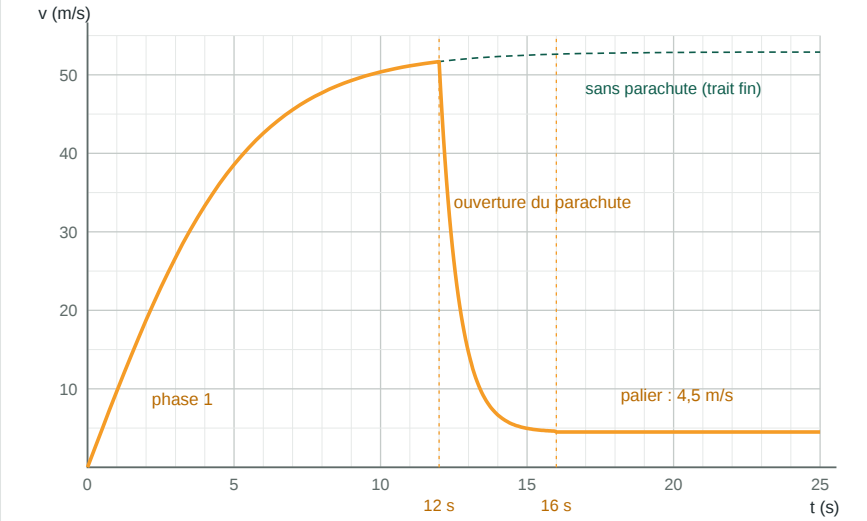
De 0 à 12 s : la courbe se confond avec le trait fin (parachute fermé) ; à 12 s, $v \approx 52\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

De 12 s à 16 s : la vitesse chute rapidement, de plus en plus lentement à l'approche de la valeur limite.

Après 16 s : palier horizontal à $4{,}5\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Courbe en trois parties : montée jusqu'à 12 s, chute de 12 s à 16 s, palier à $4{,}5\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

PIÈGE
Tracer une chute verticale à 12 s : la vitesse ne peut pas changer instantanément. Elle reste continue et rejoint le palier progressivement.



2.2 · Annexe 2 complétée : vitesse au cours de l'ensemble du saut (tracé de l'élève en orange)