Corrigé complet — Bac S 2011 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme)

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

Ex 1	**Diffraction de la lumière à travers un tamis** Ondes transversales et longitudinales · Diffraction · Longueur d'onde, période et fréquence · Énergie d'un photon · Écart angulaire · Milieu dispersif	4 pts	52 min	11 questions	p. 2
Ex 2	**Spécialité : Le poste à galène** Modulation d'amplitude · Taux de modulation · Circuit d'accord LC · Longueur d'onde et fréquence · Détection d'enveloppe · Démodulation	4 pts	52 min	14 questions	p. 5
Ex 3	**Sur la Lune** Champ de pesanteur · Deuxième loi de Newton · Chute libre verticale · Équations horaires · Mouvement parabolique · Exploitation de graphiques	5,5 pts	1 h 05	15 questions	p. 9
Ex 4	**Synthèse du salicylate de méthyle** Hydrodistillation et extraction liquide-liquide · Groupes caractéristiques · Estérification · Chauffage à reflux et catalyse · Réaction acide-base · Rendement d'une synthèse	6,5 pts	1 h 18	13 questions	p. 14

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.

Diffraction de la lumière à travers un tamis

Bac S 2011 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Définir la notion d'onde.

Une onde est le phénomène de propagation d'une perturbation, de proche en proche, dans un milieu.

Elle transporte de l'énergie **sans transport de matière**.

COMPRENDRE
Cette définition vaut pour les ondes mécaniques (son, houle), qui ont besoin d'un milieu matériel. La lumière est une onde électromagnétique : elle se propage aussi dans le vide.

1.2 Nommer les deux types d'onde que l'on distingue selon la direction de la propagation et celle de la perturbation, et donner un exemple pour chacun.

- Onde **transversale** : la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation. Exemple : l'onde le long d'une corde, ou une ride à la surface de l'eau.
- Onde **longitudinale** : la perturbation est parallèle à la direction de propagation. Exemple : le son dans l'air, ou la compression le long d'un ressort.

Transversale (corde, surface de l'eau) ; longitudinale (son, ressort).

PIÈGE
Donner le nom sans la définition, ou oublier l'exemple : la question demande les deux pour chaque type.

2.1 Quel caractère de la lumière l'apparition d'une figure de diffraction met-elle en évidence ?

La diffraction est un phénomène propre aux ondes : on l'observe aussi avec la houle ou le son.

La figure de diffraction met en évidence le **caractère ondulatoire** de la lumière.

2.2 Dans quelle condition le phénomène de diffraction est-il observable ?

Il faut que l'onde rencontre une ouverture (ou un obstacle) de petite dimension : la diffraction est d'autant plus marquée que la taille a de l'ouverture est petite.

Diffraction nette si a est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde λ, ou inférieure.

COMPRENDRE
Pour la lumière, la diffraction reste visible avec une ouverture bien plus grande que λ, jusqu'à une centaine de fois environ : c'est le cas ici, la maille mesure quelques dizaines de micromètres.

2.3 Nommer la périodicité spatiale et la périodicité temporelle d'une onde lumineuse et préciser leur unité.

- Périodicité spatiale : la **longueur d'onde** λ, en mètre (m).
- Périodicité temporelle : la **période** T, en seconde (s).

λ en m (spatiale) ; T en s (temporelle).

PIÈGE
Citer la fréquence pour la périodicité temporelle : elle s'en déduit ($\nu = 1/T$, en hertz), mais la durée au bout de laquelle l'onde se répète est la période.

2.4 Rappeler la relation entre la longueur d'onde dans le vide λ_0, la célérité c et la période T_0. Exprimer puis calculer la fréquence ν_0 correspondante.

Données utiles $\lambda_0 = 532\ \text{nm} = 532 \times 10^{-9}\ \text{m}$; $c = 3 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

La longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde pendant une période : $\lambda_0 = c\,T_0$.

Comme $\nu_0 = \dfrac{1}{T_0}$: $\quad \nu_0 = \dfrac{c}{\lambda_0}$

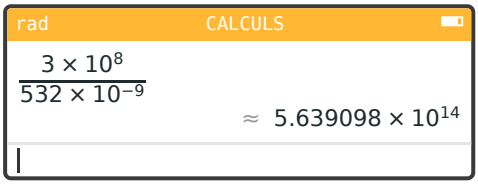
$$\nu_0 = \frac{3 \times 10^{8}}{532 \times 10^{-9}} = 5{,}6 \times 10^{14}\ \text{Hz}$$

$\lambda_0 = c\,T_0$ et $\nu_0 = \dfrac{c}{\lambda_0} \approx 6 \times 10^{14}\ \text{Hz}$

PIÈGE
Laisser λ_0 en nanomètres. Il faut 532×10^{-9} m pour obtenir des hertz.

COMPRENDRE
Le sujet donne c avec un seul chiffre significatif : le résultat n'en garde qu'un. On conserve $5{,}64 \times 10^{14}$ Hz pour le calcul suivant, afin de ne pas cumuler les arrondis.

À LA CALCULATRICE



2.5 Calculer l'énergie associée à un photon LASER de fréquence ν_0.

Données utiles $h = 6{,}63 \times 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s}$; $\nu_0 = 5{,}64 \times 10^{14}\ \text{Hz}$ (2.4)

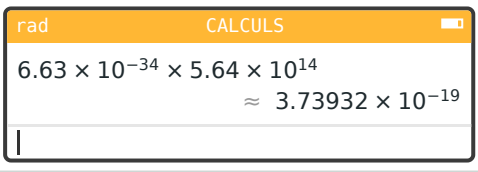
$E = h\,\nu_0$

$$E = 6{,}63 \times 10^{-34} \times 5{,}64 \times 10^{14} = 3{,}7 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

$E = h\,\nu_0 \approx 4 \times 10^{-19}\ \text{J}$

COMPRENDRE
Cela correspond à environ 2,3 eV ($1\ \text{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J), ordre de grandeur habituel pour un photon du visible ; 532 nm est une lumière verte.

À LA CALCULATRICE



2.6 Quelle propriété de l'air, vis-à-vis de la lumière, permet de considérer que les longueurs d'onde dans l'air et dans le vide sont identiques ? Citer un milieu qui n'a pas cette propriété.

Dans l'air, la lumière se propage pratiquement à la célérité c, quelle que soit sa fréquence : l'indice de l'air vaut $n \approx 1{,}00$ et l'air est un milieu **non dispersif** pour la lumière. Comme $\lambda = \dfrac{v}{\nu}$ et que la fréquence ne change pas, $\lambda_{\text{air}} \approx \lambda_0$.

L'air est non dispersif (célérité $\approx c$ pour toutes les fréquences) ; le **verre** n'a pas cette propriété.

COMPRENDRE
Dans un milieu dispersif, la célérité dépend de la fréquence. C'est pour cela qu'un prisme de verre sépare les couleurs de la lumière blanche. L'eau convient aussi comme exemple.

3.1 Montrer, à l'aide du schéma, que l'écart angulaire θ peut s'écrire $\theta = \dfrac{L}{2D}$ dans l'approximation des petits angles.

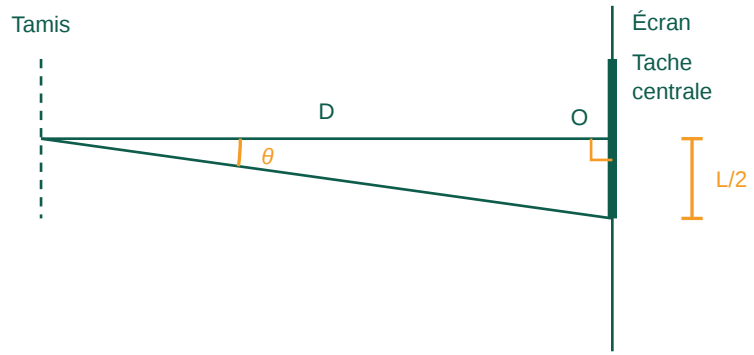
Sur la vue de dessus, θ est l'angle entre l'axe du faisceau (du tamis au centre O de la tache) et la direction du bord de la tache centrale. Ce bord est à la distance $\dfrac{L}{2}$ de O.

Dans le triangle rectangle en O : $\tan\theta = \dfrac{L/2}{D} = \dfrac{L}{2D}$

L'angle étant petit, $\tan\theta \approx \theta$ (en radian).

$$\theta = \frac{L}{2D}$$

PIÈGE
Écrire $\tan\theta = \dfrac{L}{D}$: θ est le demi-angle sous lequel on voit la tache centrale, le côté opposé est donc la demi-largeur $\dfrac{L}{2}$.



3.1 · Vue de dessus : le triangle rectangle utilisé

3.2 Rappeler la relation qui lie l'écart angulaire θ à la longueur d'onde λ et au côté a de la maille.

Le tamis se comporte comme deux fentes perpendiculaires de largeur a ; pour une fente de largeur a :

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$, avec θ en radian, λ et a en mètre.

COMPRENDRE
Plus la maille est petite, plus θ est grand et plus la tache centrale est large. Mesurer la tache revient donc à mesurer la maille.

3.3 Exprimer puis calculer la dimension a d'une maille du tamis à partir des données expérimentales.

Données utiles $\lambda = \lambda_0 = 532 \times 10^{-9}$ m ; $D = 2{,}0$ m ; $L = 2{,}66$ cm $= 2{,}66 \times 10^{-2}$ m

En égalant les deux expressions de θ (3.1 et 3.2) : $\dfrac{\lambda}{a} = \dfrac{L}{2D}$, donc $a = \dfrac{2\,D\,\lambda}{L}$

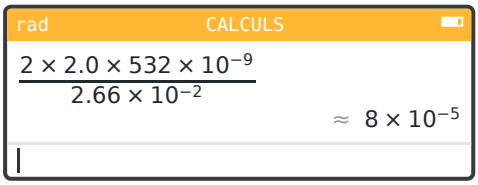
$$a = \frac{2 \times 2{,}0 \times 532 \times 10^{-9}}{2{,}66 \times 10^{-2}} = 8{,}0 \times 10^{-5}\ \text{m}$$

$$a = \frac{2\,D\,\lambda}{L} = 8{,}0 \times 10^{-5}\ \text{m} = 80\ \mu\text{m}$$

PIÈGE
Laisser L en centimètres, ou oublier le facteur 2. Vérifier l'ordre de grandeur : une maille de tamis fin mesure quelques dizaines de micromètres.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme D. La distance $d = 40$ cm entre le LASER et le tamis ne sert pas : seule la distance tamis-écran intervient.

À LA CALCULATRICE



Spécialité : Le poste à galène

Bac S 2011 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 2 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Identifier, parmi les trois signaux de l'annexe, le signal porteur, le signal modulant et le signal modulé en amplitude. Justifier.

- Schéma 1 : tension sinusoïdale de haute fréquence et d'amplitude constante. C'est le **signal porteur** $p(t)$.
- Schéma 2 : tension de haute fréquence dont l'amplitude varie lentement au cours du temps. C'est le **signal modulé en amplitude** $u(t)$.
- Schéma 3 : tension sinusoïdale de basse fréquence, toujours positive car décalée par la tension continue U_0. C'est le **signal modulant** $s(t) + U_0$.

Schéma 1 : porteuse ; schéma 2 : signal modulé ; schéma 3 : signal modulant décalé.

COMPRENDRE
La modulation d'amplitude et le circuit LC relevaient de l'enseignement de spécialité de l'ancien programme ; ils ne figurent plus dans le programme actuel de spécialité de Terminale.

MÉTHODE
Deux critères suffisent : la fréquence (haute ou basse) et l'amplitude (constante ou variable). L'enveloppe du schéma 2 a la même période que le schéma 3.

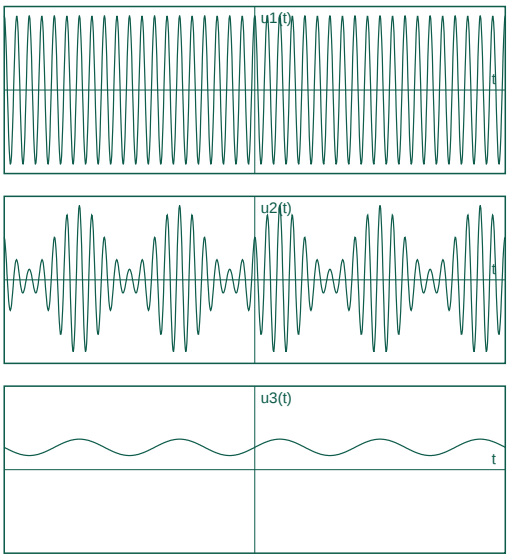


Schéma 1
signal porteur
amplitude constante, haute fréquence

Schéma 2
signal modulé
haute fréquence, amplitude variable

Schéma 3
signal modulant + U0
basse fréquence, toujours positif

1.1 · Annexe complétée : identification des trois signaux

1.2 Donner l'expression littérale de la tension modulée $u(t)$ à partir de celles de $p(t)$ et $s(t)$.

Le multiplieur fournit le produit des tensions appliquées sur ses deux entrées, multiplié par k :

$$u(t) = k \times \big(s(t) + U_0\big) \times p(t)$$

$$u(t) = k\left[S_M \cos(2\pi f t) + U_0\right] P_M \cos(2\pi F t)$$

PIÈGE
Oublier la tension de décalage : l'entrée E_1 reçoit $s(t) + U_0$, et non $s(t)$ seule.

1.3 Montrer que $u(t) = A\,[m\cos(2\pi ft)+1]\cos(2\pi Ft)$ avec $m = \dfrac{S_M}{U_0}$ et $A = k\,P_M\,U_0$. Quel nom donne-t-on à m ?

On met U_0 en facteur dans le crochet de l'expression de la question 1.2 :

$$u(t) = k\,P_M\,U_0\left[\frac{S_M}{U_0}\cos(2\pi ft)+1\right]\cos(2\pi Ft)$$

On reconnaît $A = k\,P_M\,U_0$ et $m = \dfrac{S_M}{U_0}$.

$u(t) = A\,[m\cos(2\pi ft)+1]\cos(2\pi Ft)$; m est le **taux de modulation**.

COMPRENDRE
m est un rapport de deux tensions : il n'a pas d'unité. Il compare l'amplitude du signal modulant à la tension de décalage.

1.4 Montrer que $U_{M\min} = A(1-m)$ et $U_{M\max} = A(1+m)$.

L'amplitude du signal modulé est $U_M(t) = A\,[m\cos(2\pi ft)+1]$, avec $A > 0$ et $m > 0$.

Le cosinus prend toutes les valeurs comprises entre -1 et $+1$:

- pour $\cos(2\pi ft) = -1$, l'amplitude est minimale : $U_{M\min} = A(-m+1)$;
- pour $\cos(2\pi ft) = +1$, l'amplitude est maximale : $U_{M\max} = A(m+1)$.

$U_{M\min} = A(1-m)$ et $U_{M\max} = A(1+m)$

1.5 Montrer que $m = \dfrac{U_{M\max} - U_{M\min}}{U_{M\max} + U_{M\min}}$.

D'après la question 1.4 :

- différence : $U_{M\max} - U_{M\min} = A(1+m) - A(1-m) = 2Am$;
- somme : $U_{M\max} + U_{M\min} = A(1+m) + A(1-m) = 2A$.

$$\frac{U_{M\max} - U_{M\min}}{U_{M\max} + U_{M\min}} = \frac{2Am}{2A} = m$$

MÉTHODE
Cette relation sert à mesurer m sur un oscillogramme : on lit l'amplitude la plus grande et la plus petite de l'enveloppe du signal modulé.

1.6 Quelle condition sur la valeur de m faut-il respecter pour qu'il n'y ait pas de surmodulation ?

L'amplitude $U_M(t)$ doit rester positive à chaque instant, donc $U_{M\min} = A(1-m) > 0$.

Il faut $m < 1$, c'est-à-dire $S_M < U_0$.

COMPRENDRE
Si $m > 1$, l'enveloppe du signal modulé ne reproduit plus le signal modulant : le détecteur d'enveloppe du récepteur restitue alors un son déformé.

2.1.1 Quel est le rôle du circuit d'accord (dipôle « LC parallèle ») ?

L'antenne reçoit en même temps les ondes électromagnétiques de tous les émetteurs. Le dipôle LC parallèle est un filtre sélectif : il ne conserve que le signal dont la fréquence est voisine de sa fréquence propre f_0.

Il sélectionne la station à écouter, en accordant f_0 sur la fréquence de sa porteuse.

COMPRENDRE
La capacité C est réglable : la modifier change f_0, donc la station reçue. C'est le bouton de recherche des stations.

2.1.2 Que représente la valeur 1500 m qui caractérisait Radio Londres ?

C'est la longueur d'onde λ, dans l'air, de l'onde porteuse émise par Radio Londres.

2.1.3 Déterminer la fréquence d'émission de Radio Londres.

Données utiles $\lambda = 1500\ \text{m}$; $c = 3 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

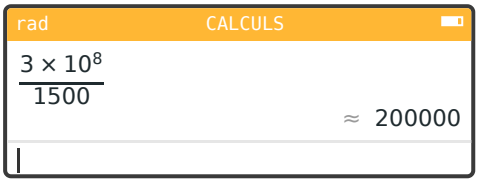
La longueur d'onde et la fréquence sont liées par $\lambda = \dfrac{c}{f_0}$, donc $f_0 = \dfrac{c}{\lambda}$.

$$f_0 = \frac{3 \times 10^8}{1500} = 2 \times 10^5\ \text{Hz}$$

$f_0 = 2 \times 10^5$ Hz, soit 200 kHz

COMPRENDRE
La célérité est donnée avec un seul chiffre significatif : le résultat n'en garde qu'un. Une fréquence de 200 kHz appartient bien au domaine des grandes ondes.

À LA CALCULATRICE



2.1.4 À partir de $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$, en déduire la capacité du condensateur à utiliser pour recevoir cette fréquence d'émission.

Données utiles $L = 8\ \text{mH} = 8 \times 10^{-3}\ \text{H}$; $f_0 = 2 \times 10^5$ Hz (2.1.3)

On élève la relation au carré : $f_0^2 = \dfrac{1}{4\pi^2 LC}$, d'où

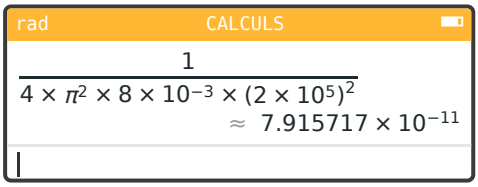
$$C = \frac{1}{4\pi^2 L f_0^2}$$

$$C = \frac{1}{4\pi^2 \times 8 \times 10^{-3} \times (2 \times 10^5)^2} = 7{,}9 \times 10^{-11}\ \text{F}$$

$C \approx 8 \times 10^{-11}$ F, soit environ 80 pF

PIÈGE
Laisser L en millihenrys, ou oublier d'élever f_0 au carré : la capacité obtenue est alors fausse de plusieurs puissances de dix.

À LA CALCULATRICE



2.1.5 Parmi les trois tensions de l'annexe, laquelle représente s_1 ? Justifier.

Le circuit d'accord ne fait que sélectionner l'onde émise par la station : la tension s_1 à ses bornes est encore le signal modulé en amplitude, qui n'a subi aucune démodulation.

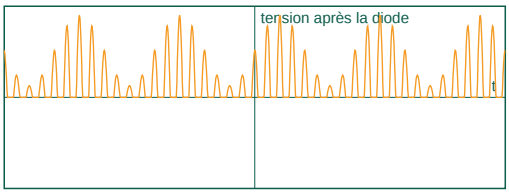
s_1 correspond au schéma 2.

2.2.1 Quel est le rôle de la diode D ?

La diode ne laisse passer le courant que dans un seul sens. Elle supprime donc les alternances négatives du signal modulé s_1 et ne conserve que ses alternances positives.

La diode redresse le signal modulé : elle élimine sa partie négative.

COMPRENDRE
Sans la diode, la moyenne du signal modulé sur quelques périodes de la porteuse serait nulle : les deux enveloppes, symétriques, se compenseraient.



Alternances négatives supprimées :

signal modulé redressé

2.2.1 · Allure de la tension après la diode (dessin facultatif)

2.2.2 Quel est le rôle du circuit « RC parallèle » ? Identifier, parmi les trois tensions de l'annexe, celle qui représente s_2.

Associé à la diode, le circuit RC parallèle élimine la porteuse. Le condensateur se charge lors des crêtes du signal redressé, puis se décharge lentement dans le conducteur ohmique entre deux crêtes : la tension à ses bornes suit l'enveloppe du signal modulé.

On récupère ainsi le signal modulant, encore décalé de la tension continue.

Le circuit RC parallèle détecte l'enveloppe ; s_2 correspond au schéma 3.

COMPRENDRE

La constante de temps RC' doit être grande devant la période de la porteuse, pour ne pas suivre ses oscillations, et petite devant celle du signal modulant, pour suivre l'enveloppe.

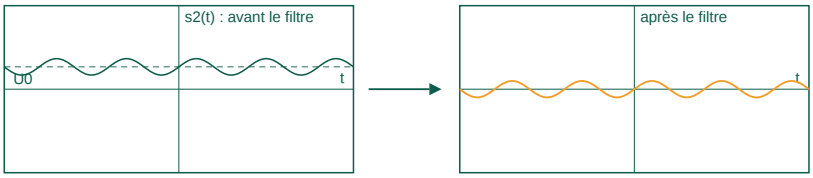
2.3 Quel est le rôle du circuit « RC série » ?

Le condensateur C'' ne laisse pas passer une tension continue. Le filtre RC série supprime donc la composante continue de s_2, due à la tension de décalage U_0.

Il élimine la composante continue : la tension de sortie, centrée sur zéro, reproduit le signal modulant $s(t)$.

COMPRENDRE

C'est un filtre passe-haut. Après ces trois étages, la tension obtenue est l'image du son capté par le microphone de l'émetteur.



La composante continue U0 est supprimée : le signal est centré sur zéro.

2.3 · Effet du filtre RC série (dessin facultatif)

Sur la Lune

Bac S 2011 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 3 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1.1 Faire le bilan des forces qui s'exercent sur la plume et sur le marteau à l'instant où ils sont lâchés.

Il n'y a pas d'atmosphère sur la Lune : aucune force de frottement ni poussée d'Archimède. Une fois lâché, chaque objet n'est plus en contact avec rien.

Chaque objet est soumis à une seule force, son poids lunaire : $\vec{P}_P$ pour la plume, $\vec{P}_M$ pour le marteau.

COMPRENDRE
Un objet soumis à son seul poids est en chute libre. Sur Terre, la plume ne l'est pas : les frottements de l'air sont comparables à son poids.

1.1.2 Donner l'expression de ces forces en fonction du vecteur champ de pesanteur lunaire $\vec{g}_L$.

$\vec{P}_P = m_P\,\vec{g}_L$ et $\vec{P}_M = m_M\,\vec{g}_L$

PIÈGE
La question porte sur des vecteurs. Écrire $P = m\,g_L$ sans flèches ne donne que la norme et ne permet pas de conclure sur le vecteur accélération à la question suivante.

1.1.3 En appliquant la deuxième loi de Newton, montrer que les deux objets ont le même vecteur accélération, que l'on précisera.

Système {marteau}, de masse m_M constante ; référentiel lunaire supposé galiléen ; seule force : $\vec{P}_M$.

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

Même raisonnement pour le système {plume} : $m_P\,\vec{g}_L = m_P\,\vec{a}_P$, donc $\vec{a}_P = \vec{g}_L$.

$\vec{a}_M = \vec{a}_P = \vec{g}_L$: vecteur vertical, dirigé vers le sol lunaire, de norme g_L, indépendant de la masse.

MÉTHODE
Toujours dans cet ordre : système, référentiel galiléen, bilan des forces, deuxième loi de Newton. La masse se simplifie dès que le poids est la seule force.

1.2.1 Lequel des deux graphiques correspond à la trajectoire de G ?

La trajectoire est l'ensemble des positions occupées par G : elle se trace dans le plan $(x\,;\,y)$. Le marteau, lâché sans vitesse initiale, tombe verticalement : x reste nul pendant que y diminue.

La trajectoire est donnée par le **graphique 1** (segment de droite vertical). Le graphique 2 représente y en fonction du temps.

PIÈGE
La courbe du graphique 2 ressemble à une trajectoire parabolique, mais son axe horizontal est le temps : ce n'est pas une trajectoire.

1.2.2 Quelles sont les coordonnées du vecteur accélération $\vec{a}_M$ de G dans le repère $(O\,;\,\vec{i},\,\vec{j})$?

Données utiles $\vec{a}_M = \vec{g}_L$ (1.1.3)

$\vec{g}_L$ est vertical et dirigé vers le bas, alors que $\vec{j}$ est dirigé vers le haut : $\vec{g}_L = -g_L\,\vec{j}$.

$$\vec{a}_M \begin{cases} a_{Mx} = 0 \\ a_{My} = -g_L \end{cases}$$

PIÈGE
Oublier le signe « $-$ » : l'axe Oy est orienté vers le haut et g_L désigne une norme, donc un nombre positif.

1.2.3 Quelles sont les coordonnées du vecteur vitesse $\vec{v}_M$ de G ?

$\vec{a}_M = \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}_M}{\mathrm{d}t}$: on cherche les primitives de chaque coordonnée de l'accélération.

$v_{Mx} = C_1$ et $v_{My} = -g_L\,t + C_2$, où C_1 et C_2 sont des constantes.

Condition initiale : le marteau est lâché sans vitesse, $\vec{v}_M(0) = \vec{0}$, donc $C_1 = 0$ et $C_2 = 0$.

$$\vec{v}_M \begin{cases} v_{Mx} = 0 \\ v_{My} = -g_L\,t \end{cases}$$

MÉTHODE
Chaque primitive apporte une constante, fixée par la valeur de la grandeur à $t = 0$. Justifier cette valeur par une phrase du sujet (ici « il les lâcha »).

1.2.4 En déduire, en fonction du temps, la norme v_M du vecteur vitesse. En quoi le graphique 3 est-il compatible avec cette expression ?

$v_M = \sqrt{v_{Mx}^2 + v_{My}^2} = \sqrt{0^2 + (-g_L\,t)^2} = g_L\,t$ car $g_L > 0$ et $t \geqslant 0$.

v_M est donc proportionnelle au temps, avec un coefficient positif. Le graphique 3 est une droite croissante qui passe par l'origine : il traduit bien une relation $v_M = k\,t$ avec $k > 0$.

$v_M = g_L\,t$, fonction linéaire du temps, en accord avec la droite passant par l'origine du graphique 3.

PIÈGE
Écrire $v_M = -g_L\,t$: une norme n'est jamais négative. Le signe « $-$ » appartient à la coordonnée v_{My}.

1.2.5 À partir du graphique 3, déterminer la valeur du champ de pesanteur lunaire g_L.

D'après $v_M = g_L\,t$, g_L est le coefficient directeur de la droite du graphique 3.

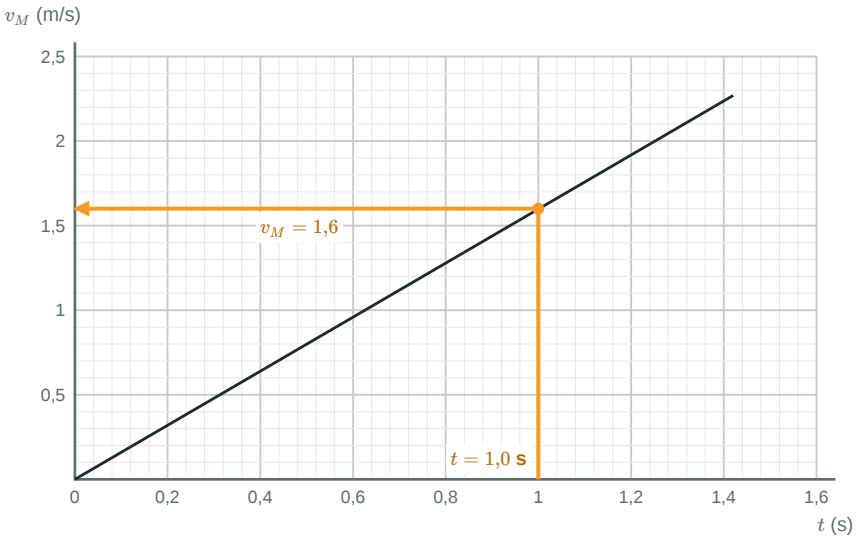
La droite passe par l'origine et par le point A $(1{,}0\ \mathrm{s}\ ;\ 1{,}6\ \mathrm{m\cdot s^{-1}})$:

$$g_L = \frac{v_M(A) - 0}{t_A - 0} = \frac{1{,}6}{1{,}0}$$

$g_L = 1{,}6\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$

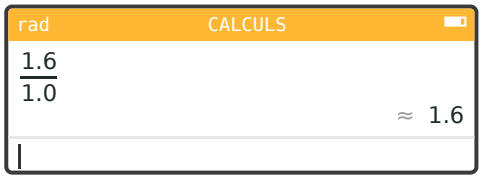
COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement : la lecture graphique ne permet pas mieux. La valeur est environ six fois plus faible que sur Terre ($9{,}81\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$).

MÉTHODE
Pour un coefficient directeur, choisir un point de la droite éloigné de l'origine et facile à lire sur le quadrillage, pas un point de mesure isolé.



1.2.5 · Graphique 3 du sujet, avec le point utilisé pour le coefficient directeur

À LA CALCULATRICE



2.1 Établir l'équation horaire du mouvement $y(t)$.

Données utiles $v_{My} = -g_L\,t$ (1.2.3) ; $h = 1{,}50$ m

$v_{My} = \dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t} = -g_L\,t$, donc par primitive : $y(t) = -\dfrac{1}{2}\,g_L\,t^2 + C_3$.

Condition initiale : à $t = 0$, G est à la hauteur h au-dessus du sol, $y(0) = h$, donc $C_3 = h$.

$$y(t) = -\frac{1}{2}\,g_L\,t^2 + h$$

PIÈGE
Prendre $C_3 = 0$ par habitude. L'origine du repère est au sol, pas au point de lâcher : $y(0) = h = 1{,}50$ m.

2.2 En déduire la durée de la chute du centre d'inertie G du marteau et vérifier la réponse à partir d'un des graphiques.

Données utiles $h = 1{,}50$ m ; $g_L = 1{,}6\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$ (1.2.5)

Le marteau touche le sol à la date t_C telle que $y(t_C) = 0$:

$-\dfrac{1}{2}\,g_L\,t_C^2 + h = 0$, soit $t_C^2 = \dfrac{2h}{g_L}$. On garde la solution positive :

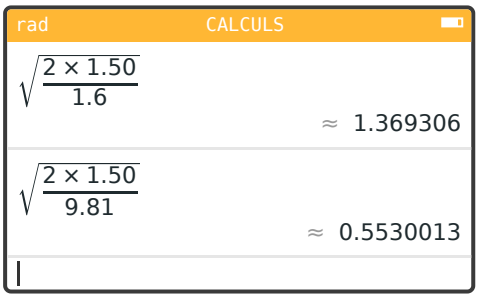
$$t_C = \sqrt{\frac{2h}{g_L}} = \sqrt{\frac{2\times 1{,}50}{1{,}6}} = 1{,}4\ \mathrm{s}$$

Vérification : sur le graphique 2, la courbe $y(t)$ atteint $y = 0$ pour $t \approx 1{,}4$ s.

$t_C = 1{,}4$ s, valeur confirmée par le graphique 2.

COMPRENDRE
Sur Terre, la même chute de $1{,}50$ m durerait $\sqrt{2h/g} \approx 0{,}55$ s : la chute lunaire est environ 2,5 fois plus longue, ce qui la rend bien visible sur la vidéo.

À LA CALCULATRICE



2.3 Serait-on arrivé à la même réponse en raisonnant sur la plume ? Pourquoi ? Relever la phrase du texte qui confirme la réponse.

Oui. La plume a la même accélération $\vec{g}_L$ que le marteau (1.1.3) et les mêmes conditions initiales : lâchée au même instant, de la même hauteur, sans vitesse. Elle a donc la même équation horaire $y(t)$, où la masse n'intervient pas, et la même durée de chute.

Phrase du texte : « les deux objets s'enfoncèrent dans la poussière lunaire exactement au même instant ».

Même durée de chute, $t_C = 1{,}4$ s, pour la plume : en chute libre, le mouvement ne dépend pas de la masse.

3.1 À partir des équations horaires, établir la fonction $y(x)$ et démontrer que la trajectoire de G est une portion de parabole.

Données utiles $x(t) = (v\cos\alpha)\,t$; $y(t) = -\frac{1}{2}\,g_L\,t^2 + (v\sin\alpha)\,t$

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

On reporte dans $y(t)$:

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

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

Cette équation est de la forme $y = a\,x^2 + b\,x$ avec $a < 0$: la trajectoire est une portion de parabole, tournée vers le bas.

MÉTHODE
Équation de trajectoire : isoler t dans l'équation la plus simple, celle de $x(t)$, puis le remplacer dans $y(t)$. Le temps ne doit plus apparaître dans le résultat.

3.2 Quelles sont les valeurs de y au début et à la fin du pas dans le repère choisi ?

Au début du pas, $t = 0$: $y(0) = 0$. L'origine O' du repère est donc la position de G au départ, ce que montre le graphique 4.

À la fin du pas, G « retombe à son niveau de départ » d'après le texte : y reprend la valeur 0.

$\boxed{y = 0 \text{ au début du pas et } y = 0 \text{ à la fin du pas.}}$

3.3 En déduire l'expression littérale de la distance horizontale parcourue par G, correspondant à la longueur d'un pas.

On note d la longueur du pas : c'est l'abscisse non nulle pour laquelle $y = 0$.

$$-\frac{g_L}{2\,v^2\cos^2\alpha}\,x^2 + (\tan\alpha)\,x = 0 \iff x\left(-\frac{g_L\,x}{2\,v^2\cos^2\alpha} + \tan\alpha\right) = 0$$

Deux solutions : $x = 0$ (début du pas) ou $\dfrac{g_L\,x}{2\,v^2\cos^2\alpha} = \tan\alpha$ (fin du pas).

$$\boxed{d = \frac{2\,v^2\cos^2\alpha\,\tan\alpha}{g_L}}$$

PIÈGE
Diviser par x sans rien dire fait perdre la solution $x = 0$. Il faut factoriser, puis écarter cette solution en précisant qu'elle correspond au départ.

COMPRENDRE
Comme $\cos^2\alpha\,\tan\alpha = \sin\alpha\cos\alpha$, on peut aussi écrire $d = \dfrac{2\,v^2\sin\alpha\cos\alpha}{g_L}$: à vitesse égale, un pas est environ six fois plus long sur la Lune que sur Terre.

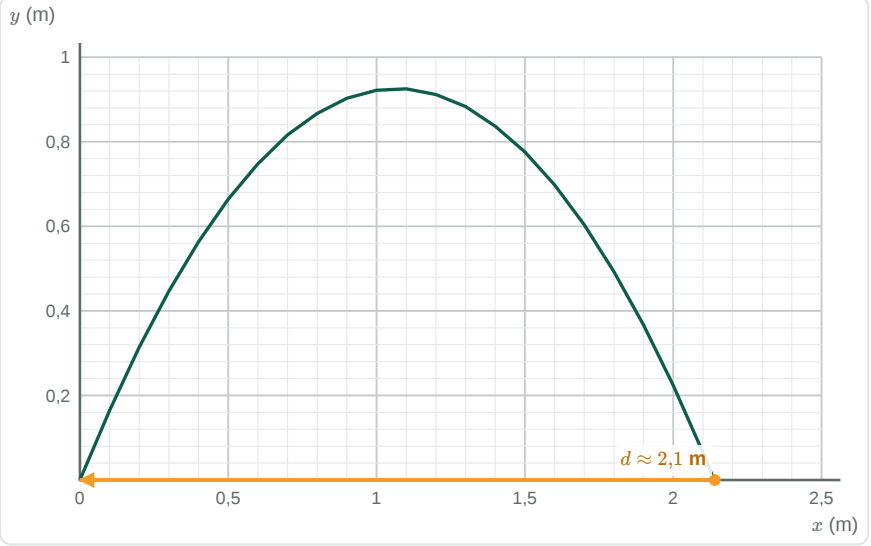
3.4 Faire le calcul numérique de la longueur du pas. Le résultat est-il compatible avec ce qui peut être déduit du graphique 4 ?

Données utiles $v = 2{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\alpha = 60^\circ$; $g_L = 1{,}62\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

$$d = \frac{2\,v^2\cos^2\alpha\,\tan\alpha}{g_L} = \frac{2\times 2{,}0^2\times\cos^2(60^\circ)\times\tan(60^\circ)}{1{,}62} = 2{,}1\ \text{m}$$

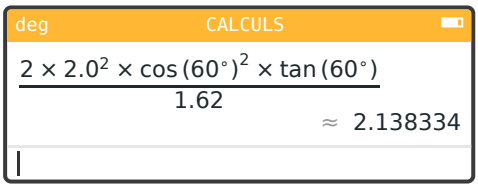
Sur le graphique 4, la courbe retrouve $y = 0$ pour x compris entre 2,1 m et 2,2 m.

$d = 2{,}1$ m, résultat compatible avec le graphique 4.



3.4 · Graphique 4 du sujet : G retrouve y = 0 un peu après x = 2,1 m

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Calculatrice restée en radians : on obtient alors une valeur sans rapport avec le graphique. Vérifier le mode degrés avant tout calcul avec 60°.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme v et α. Le calcul exact donne 2,14 m, ce qui correspond bien au point où la courbe coupe l'axe.

Synthèse du salicylate de méthyle

Bac S 2011 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 4 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1.1 Identifier, sur la figure 1, le montage d'hydrodistillation. Justifier.

Dans une hydrodistillation, on fait bouillir le mélange eau + écorce ; les vapeurs quittent le ballon, sont condensées dans un réfrigérant droit incliné vers le bas, et le distillat est recueilli dans un autre récipient.

Le montage A est un chauffage à reflux : le réfrigérant est vertical, les vapeurs condensées retombent dans le ballon, on ne recueille rien.

Le montage B est une distillation fractionnée : il comporte une colonne de fractionnement et un thermomètre, inutiles ici.

Le montage d'hydrodistillation est le **montage C**.

MÉTHODE
Pour reconnaître un montage, suivre le trajet des vapeurs : si elles retombent dans le ballon, c'est un reflux ; si elles sont condensées puis recueillies ailleurs, c'est une distillation.

1.2 Compléter le schéma de l'ampoule à décanter (figure 2 de l'annexe) en distinguant les phases aqueuse et organique. Justifier la composition de chaque phase.

Données utiles cyclohexane : $\mu = 0{,}79\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, solubilité nulle dans l'eau ; eau : $\mu = 1{,}00\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$; solubilités de l'acide salicylique et du glucose (tableau)

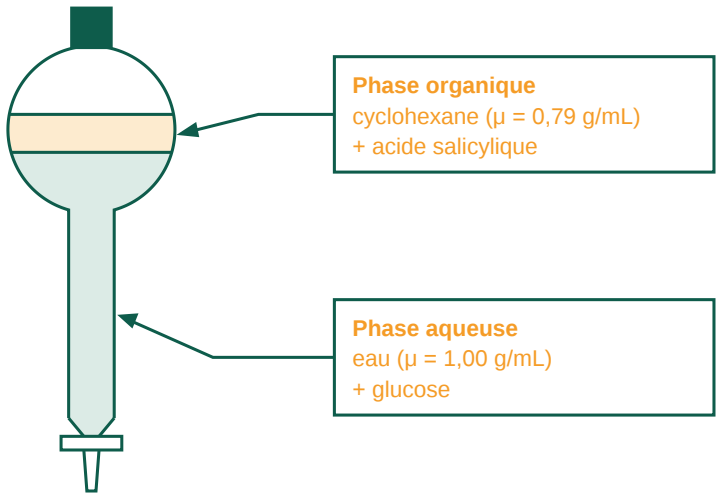
Le cyclohexane et l'eau ne sont pas miscibles (solubilité nulle) : il y a deux phases. Le cyclohexane est moins dense que l'eau ($0{,}79 < 1{,}00$) : la phase organique est **au-dessus**, la phase aqueuse **en dessous**.

L'acide salicylique est très soluble dans le cyclohexane et peu soluble dans l'eau : il se trouve dans la phase organique.

Le glucose est très soluble dans l'eau et très peu soluble dans le cyclohexane : il reste dans la phase aqueuse.

Phase supérieure : cyclohexane et acide salicylique. Phase inférieure : eau et glucose.

PIÈGE
Placer la phase organique en bas par habitude. La position ne dépend que des masses volumiques : il faut comparer celle du solvant organique à celle de l'eau.



1.2 · Figure 2 de l'annexe complétée

2.1 Donner la formule semi-développée du méthanol. Nommer le groupe caractéristique qu'il contient ainsi que la famille à laquelle il appartient.

Formule semi-développée du méthanol : CH_3-OH

Il contient le groupe **hydroxyle** $-OH$, porté par un atome de carbone tétraédrique.

CH_3-OH ; groupe hydroxyle ; famille des **alcools**.

COMPRENDRE
Le préfixe « méthan- » indique un seul atome de carbone, la terminaison « -ol » la famille des alcools. La formule brute, absente du tableau, est donc CH_4O, en accord avec $M_2 = 32\ g\cdot mol^{-1}$.

2.2 Recopier la formule de l'acide salicylique ; identifier puis nommer les groupes caractéristiques présents dans cette molécule.

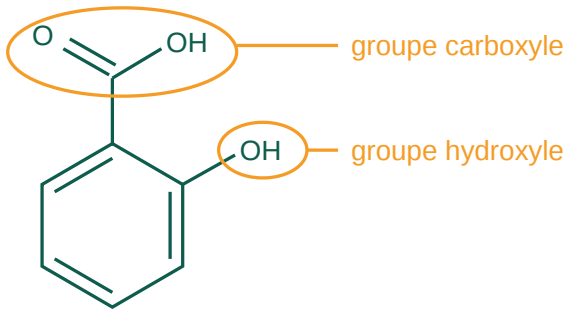
La molécule comporte deux groupes caractéristiques, entourés sur la formule :

- le groupe **carboxyle** $-COOH$ (famille des acides carboxyliques) ;
- le groupe **hydroxyle** $-OH$, lié directement au cycle benzénique.

Groupe carboxyle $-COOH$ et groupe hydroxyle $-OH$.

PIÈGE
Entourer séparément $C=O$ et $O-H$ dans $-COOH$ et annoncer trois groupes. Le carbone lié aux deux atomes d'oxygène forme un seul groupe, le carboxyle.

COMPRENDRE
C'est le groupe carboxyle qui réagit avec le méthanol pour donner l'ester. Le groupe hydroxyle fixé sur le cycle n'est pas modifié par la synthèse.



2.2 · Acide salicylique : les deux groupes caractéristiques

2.3 Écrire l'équation de la réaction de synthèse du salicylate de méthyle. Justifier l'état physique des réactifs et des produits.

Données utiles températures de fusion et d'ébullition du tableau ; température ambiante voisine de $20\ ^\circ C$

L'acide salicylique réagit avec le méthanol pour donner un ester, le salicylate de méthyle, et de l'eau :

$$C_7H_6O_3 + CH_4O \rightleftharpoons C_8H_8O_3 + H_2O$$

soit, en formules semi-développées :

$$HO-C_6H_4-COOH + CH_3-OH \rightleftharpoons HO-C_6H_4-COO-CH_3 + H_2O$$

État physique à température ambiante (environ $20\ ^\circ C$) :

- acide salicylique : $20\ ^\circ C < T_{fus} = 159\ ^\circ C$, il est **solide** ;
- méthanol : $-98\ ^\circ C < 20\ ^\circ C < 65\ ^\circ C$, il est **liquide** ;
- salicylate de méthyle : $-8{,}6\ ^\circ C < 20\ ^\circ C < 223\ ^\circ C$, il est **liquide** ;
- eau : $0\ ^\circ C < 20\ ^\circ C < 100\ ^\circ C$, elle est **liquide**.

$C_7H_6O_3\,(s) + CH_4O\,(l) \rightleftharpoons C_8H_8O_3\,(l) + H_2O\,(l)$

COMPRENDRE
La formule brute de l'ester se retrouve par sa masse molaire : $8\times12 + 8\times1 + 3\times16 = 152\ g\cdot mol^{-1}$, c'est bien M_3.

MÉTHODE
Une espèce est solide si $T < T_{fus}$, liquide si $T_{fus} < T < T_{eb}$, gazeuse si $T > T_{eb}$. Vérifier l'équation en comptant les atomes : 8 C, 10 H et 4 O de chaque côté.

2.4 Donner deux propriétés des transformations associées à ce type de réaction chimique.

Cette réaction est une estérification.

Une estérification est une transformation **lente** et **limitée** (non totale : elle conduit à un état d'équilibre, car elle est limitée par la réaction inverse, l'hydrolyse de l'ester).

COMPRENDRE
Ces deux propriétés expliquent le protocole : chauffage et catalyseur contre la lenteur, un réactif en large excès (ici le méthanol) pour déplacer l'équilibre et améliorer le rendement.

2.5 Expliquer le principe et les avantages du chauffage à reflux.

Principe : on chauffe le mélange réactionnel jusqu'à l'ébullition dans un ballon surmonté d'un réfrigérant vertical. Les vapeurs qui s'élèvent se condensent au contact de la paroi froide du réfrigérant et retombent dans le ballon.

Avantages :

- la température est un facteur cinétique : en chauffant, on accélère la transformation ;
- grâce au reflux, il n'y a pas de perte de matière (réactifs ou produits) par évaporation.

Le chauffage à reflux permet d'accélérer la transformation sans perdre de matière.

PIÈGE
Écrire que le chauffage « augmente le rendement ». Pour une estérification, la température agit sur la durée de la transformation, pas sur l'état final.

2.6 Expliquer le rôle de l'acide sulfurique et de la pierre ponce.

L'acide sulfurique est un **catalyseur** : il augmente la vitesse de la transformation sans modifier l'état final et n'apparaît pas dans l'équation de la réaction.

La pierre ponce **régule l'ébullition** : elle favorise la formation de petites bulles et évite les projections dues à une ébullition brutale ; elle homogénéise aussi le mélange.

Acide sulfurique : catalyseur. Pierre ponce : régulation de l'ébullition.

COMPRENDRE
Quelques gouttes suffisent : un catalyseur est consommé puis régénéré au cours de la transformation. C'est pour cela qu'il reste de l'acide sulfurique à éliminer lors des lavages.

2.7 Écrire l'équation de la réaction entre les ions hydrogénocarbonate et les acides restants, notés AH. Expliquer le rôle des ions hydrogénocarbonate et le dégagement gazeux observé.

Données utiles couples $(H_2O, CO_{2\,(aq)})$ / ${HCO_3}^-{}_{(aq)}$ et $AH_{(aq)}$ / ${A}^-{}_{(aq)}$

L'acide AH cède un ion H^+ à la base ${HCO_3}^-$:

$$AH_{(aq)} + {HCO_3}^-{}_{(aq)} \longrightarrow {A}^-{}_{(aq)} + CO_{2\,(aq)} + H_2O_{(l)}$$

Rôle : l'ion hydrogénocarbonate est une base. Il transforme les acides restants (acide salicylique n'ayant pas réagi, acide sulfurique) en leurs bases conjuguées A^-. Ces ions sont très solubles dans l'eau et insolubles dans le cyclohexane : ils passent dans la phase aqueuse, que l'on élimine. L'ester, lui, reste dans la phase organique.

Dégagement gazeux : le dioxyde de carbone formé est peu soluble dans l'eau ; il s'échappe sous forme de gaz, $CO_{2\,(g)}$.

$AH + {HCO_3}^- \longrightarrow A^- + CO_2 + H_2O$; les acides passent en phase aqueuse sous forme A^- ; le gaz est du dioxyde de carbone.

PIÈGE
Lors de ce lavage, il faut dégazer souvent l'ampoule à décanter, robinet vers le haut : le gaz formé fait monter la pression et peut faire sauter le bouchon.

MÉTHODE
Réaction acide-base entre deux couples : l'acide d'un couple donne un ion H^+ à la base de l'autre. On écrit les deux demi-équations, puis on les additionne.

3.1 Déterminer la quantité de matière n_1 d'acide salicylique introduite dans le ballon.

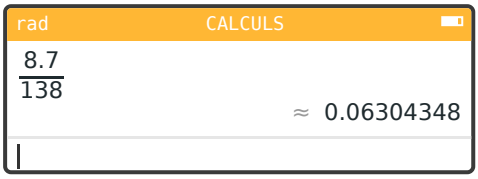
Données utiles $m_1 = 8{,}7\ \text{g}$; $M_1 = 138\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$n_1 = \frac{m_1}{M_1} = \frac{8{,}7}{138}$$

$$\boxed{n_1 = 6{,}3 \times 10^{-2}\ \text{mol}}$$

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la donnée la moins précise ($m_1 = 8{,}7$ g). Pour les calculs suivants, on garde la valeur non arrondie en mémoire.

À LA CALCULATRICE



3.2 Déterminer la quantité de matière n_2 de méthanol introduite dans le milieu réactionnel.

Données utiles $V = 10{,}0\ \text{mL}$; $\mu = 0{,}80\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$; $M_2 = 32\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

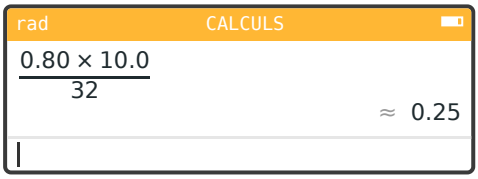
Le méthanol est un liquide : sa masse est $m_2 = \mu \times V$.

$$n_2 = \frac{m_2}{M_2} = \frac{\mu \times V}{M_2} = \frac{0{,}80 \times 10{,}0}{32}$$

$$\boxed{n_2 = 0{,}25\ \text{mol}}$$

PIÈGE
Diviser directement le volume par la masse molaire. Pour un liquide, il faut d'abord passer par la masse : $m = \mu \times V$, avec μ en $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ et V en mL.

À LA CALCULATRICE



3.3 En s'aidant éventuellement d'un tableau d'avancement, déterminer les quantités de matière des réactifs et des produits à l'issue de la synthèse si la transformation est totale.

Données utiles $n_1 = 6{,}3 \times 10^{-2}\ \text{mol}$ (3.1) ; $n_2 = 0{,}25\ \text{mol}$ (3.2)

(en mol)	acide	méthanol	ester	eau
état initial	n_1	n_2	0	0
en cours	$n_1 - x$	$n_2 - x$	x	x
état final	$n_1 - x_{max}$	$n_2 - x_{max}$	x_{max}	x_{max}

Les nombres stœchiométriques valent tous 1 et $n_1 < n_2$: l'acide salicylique est le **réactif limitant**, donc $x_{max} = n_1 = 6{,}3 \times 10^{-2}$ mol.

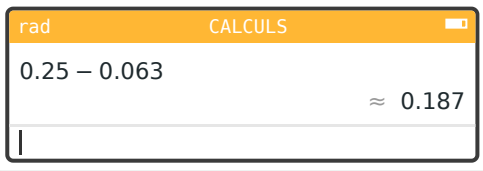
À l'état final :

- acide salicylique : $n_1 - x_{max} = 0$;
- méthanol : $n_2 - x_{max} = 0{,}25 - 0{,}063 = 0{,}19$ mol ;
- ester et eau : $x_{max} = 6{,}3 \times 10^{-2}$ mol chacun.

$$\boxed{n(\text{acide}) = 0\ ;\ n(\text{méthanol}) = 0{,}19\ \text{mol}\ ;\ n(\text{ester}) = n(\text{eau}) = 6{,}3 \times 10^{-2}\ \text{mol}}$$

COMPRENDRE
Le méthanol est introduit en large excès (environ quatre fois la quantité d'acide). L'eau ajoutée ensuite pour l'extraction n'est pas comptée : seule l'eau formée par la réaction figure dans le tableau.

À LA CALCULATRICE



3.4 Déterminer la quantité de matière n_3 d'ester formée expérimentalement, puis le rendement expérimental de la réaction dans ces conditions.

Données utiles $m_3 = 6{,}1\ \text{g}$; $M_3 = 152\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $x_{max} = n_1$ (3.3)

$$n_3 = \frac{m_3}{M_3} = \frac{6{,}1}{152} = 4{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol}$$

Le rendement est le rapport entre la quantité d'ester obtenue et la quantité maximale que l'on obtiendrait si la transformation était totale :

$$\eta = \frac{n_3}{x_{max}} = \frac{n_3}{n_1} = \frac{6{,}1 \div 152}{8{,}7 \div 138} = 0{,}64$$

$n_3 = 4{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol}$; rendement $\eta = 64\ \%$

PIÈGE

Calculer le rendement avec les masses, $6{,}1 \div 8{,}7 = 70\ \%$. L'ester et l'acide n'ont pas la même masse molaire : le rendement se calcule avec des quantités de matière.

COMPRENDRE

Le rendement est inférieur à 100 % parce que l'estérification est limitée, et parce que les lavages et la distillation font perdre un peu de produit.

À LA CALCULATRICE

