Corrigé complet — Bac 2022 Asie Jour 2

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

Ex 1	**Télémètre à ultrasons** Propagation d'une onde ultrasonore · Incertitudes de mesure · Programme Python · Deuxième loi de Newton · Équation horaire · Théorème de l'énergie cinétique	10 pts	1 h 45	15 questions	p. 2
Ex 2	**L'acide formique pour stocker le dihydrogène ?** Nomenclature des acides carboxyliques · Équation d'état des gaz parfaits · Quantité de matière et masse volumique · Conductivité et loi de Kohlrausch · Constante d'acidité et avancement final · Dilution	5 pts	53 min	9 questions	p. 7
Ex 3	**Savon de Marseille** Groupe caractéristique ester · Diagramme de prédominance · Facteurs cinétiques · Réactif limitant · Rendement d'une synthèse · Solubilité et relargage	5 pts	53 min	10 questions	p. 11
Ex 4	**Dissolution d'une coquille d'oeuf** Diagramme de prédominance · Titrage pH-métrique · Titre massique · Schéma de Lewis · Spectroscopie infrarouge · Réactions acide-base	5 pts	53 min	11 questions	p. 15

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.

Télémètre à ultrasons

Bac 2022 Asie Jour 2 · Exercice 1 **10 points** **Durée conseillée 1 h 45**

1 Montrer que la distance x et la durée Δt de l'aller-retour de la salve vérifient $x = v_s \cdot \dfrac{\Delta t}{2}$.

Données utiles $EP = PR = x$

Pendant la durée Δt, la salve va de E à P puis revient de P à R : elle parcourt la distance $EP + PR = 2x$ à la vitesse v_s.

$$v_s = \frac{2x}{\Delta t}$$

$$\boxed{x = v_s \cdot \frac{\Delta t}{2}}$$

PIÈGE
Oublier le retour et écrire $x = v_s \cdot \Delta t$: la distance trouvée serait deux fois trop grande.

2 Identifier la ligne du programme qui calcule la distance x à partir de la durée mesurée et préciser l'unité de x.

C'est la ligne 12 : `x.append(v*t_telemetre[i]*1e-6 / 2)`. Elle applique la relation (1).

La vitesse `v` est en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ et la durée `t_telemetre[i]`, en microseconde, est convertie en seconde par le facteur `1e-6`.

Ligne 12 ; x est calculée en mètre.

COMPRENDRE
Dans le document, la ligne 12 n'est pas décalée comme la ligne 10. Pour être répétée à chaque mesure, elle doit être indentée dans la boucle `for` : c'est une coquille de mise en page du sujet.

3 Proposer un protocole permettant de déterminer la vitesse des ultrasons dans l'air à l'aide du télémètre.

- Placer un obstacle plan face au télémètre, perpendiculairement à l'axe (Ox).
- Mesurer à la règle la distance x entre le télémètre et l'obstacle, choisie grande devant la distance ER.
- Déclencher une salve et relever la durée Δt de l'aller-retour donnée par le microcontrôleur.
- Calculer la vitesse à partir de la relation (1).

$$\boxed{v_s = \frac{2x}{\Delta t}}$$

MÉTHODE
Un protocole se rédige en étapes : ce que l'on installe, ce que l'on mesure et avec quel instrument, puis la relation qui donne la grandeur cherchée.

4 Calculer la valeur moyenne de la série de mesures et montrer que le résultat s'écrit $v_s = 349{,}4 \pm 0{,}9\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

Données utiles mesures : 349 ; 352 ; 348 ; 347 ; 351 $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$; $\sigma = 2{,}07\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$; $n = 5$

Valeur moyenne :

$$\overline{v_s} = \frac{349 + 352 + 348 + 347 + 351}{5} = 349{,}4\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

Incertitude-type sur la moyenne (type A, document 2) :

$$u(\overline{v_s}) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{2{,}07}{\sqrt{5}} = 0{,}93\ \mathrm{m \cdot s^{-1}} \approx 0{,}9\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

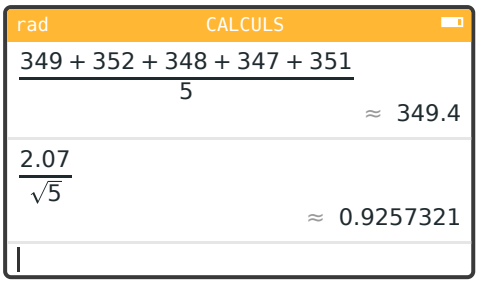
L'incertitude, écrite avec un chiffre significatif, porte sur les dixièmes : la moyenne est donnée au dixième.

$v_s = 349{,}4 \pm 0{,}9\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$, ce qui est bien le résultat (2).

PIÈGE
Prendre l'écart-type σ pour l'incertitude. σ mesure la dispersion des mesures ; l'incertitude sur la moyenne est $\sqrt{n}$ fois plus petite.

COMPRENDRE
L'incertitude s'écrit avec un chiffre significatif (deux au plus) et la valeur mesurée s'arrête au même rang décimal qu'elle. Ici le sujet arrondit $0{,}93$ à $0{,}9$; un arrondi par excès donnerait $349 \pm 1\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

À LA CALCULATRICE



5 Indiquer la ligne du programme à modifier, et la modification, pour tenir compte de la valeur moyenne de v_s.

Données utiles $v_s = 349{,}4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Q4)

La vitesse des ultrasons est définie à la ligne 6 : `v=340`. On y remplace 340 par la valeur issue du calibrage.

Ligne 6 : `v=349.4`

PIÈGE
En Python, le séparateur décimal est le point : `349,4` serait lu comme un couple de deux nombres.

6 Calculer la valeur de x donnée par le télémètre après calibrage, estimer l'incertitude $u(x)$ et écrire le résultat de la mesure.

Données utiles $v_s = 349{,}4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et $u(v_s) = 0{,}9\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Q4) ; $\Delta t = 3438\ \mu\text{s}$; $u(\Delta t) = 10\ \mu\text{s}$

Relation (1), avec $\Delta t = 3438 \times 10^{-6}$ s :

$$x = v_s \cdot \frac{\Delta t}{2} = 349{,}4 \times \frac{3438 \times 10^{-6}}{2} = 0{,}6006\ \text{m}$$

x est un produit de v_s et de Δt (le facteur $\frac{1}{2}$ est exact) ; d'après le document 2 :

$$u(x) = x\sqrt{\left(\frac{u(v_s)}{v_s}\right)^2 + \left(\frac{u(\Delta t)}{\Delta t}\right)^2}$$

$$u(x) = 0{,}6006 \times \sqrt{\left(\frac{0{,}9}{349{,}4}\right)^2 + \left(\frac{10}{3438}\right)^2} = 2{,}3 \times 10^{-3}\ \text{m}$$

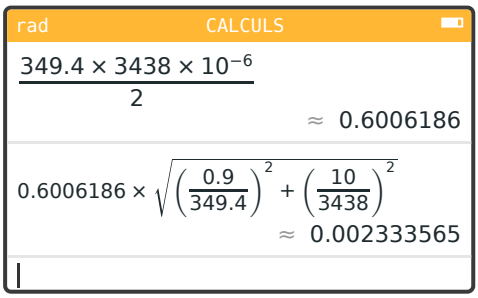
Avec un chiffre significatif, $u(x) = 0{,}002$ m : x est donnée au millimètre.

$x = 0{,}601 \pm 0{,}002$ m

PIÈGE
Laisser Δt en microseconde dans le calcul de x, ou reprendre $v = 340\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ au lieu de la valeur du calibrage.

COMPRENDRE
Dans le rapport $\frac{u(\Delta t)}{\Delta t}$, les deux durées sont dans la même unité : inutile de convertir les microsecondes. Avec un arrondi par excès de l'incertitude, on écrit $x = 0{,}601 \pm 0{,}003$ m, également recevable.

À LA CALCULATRICE

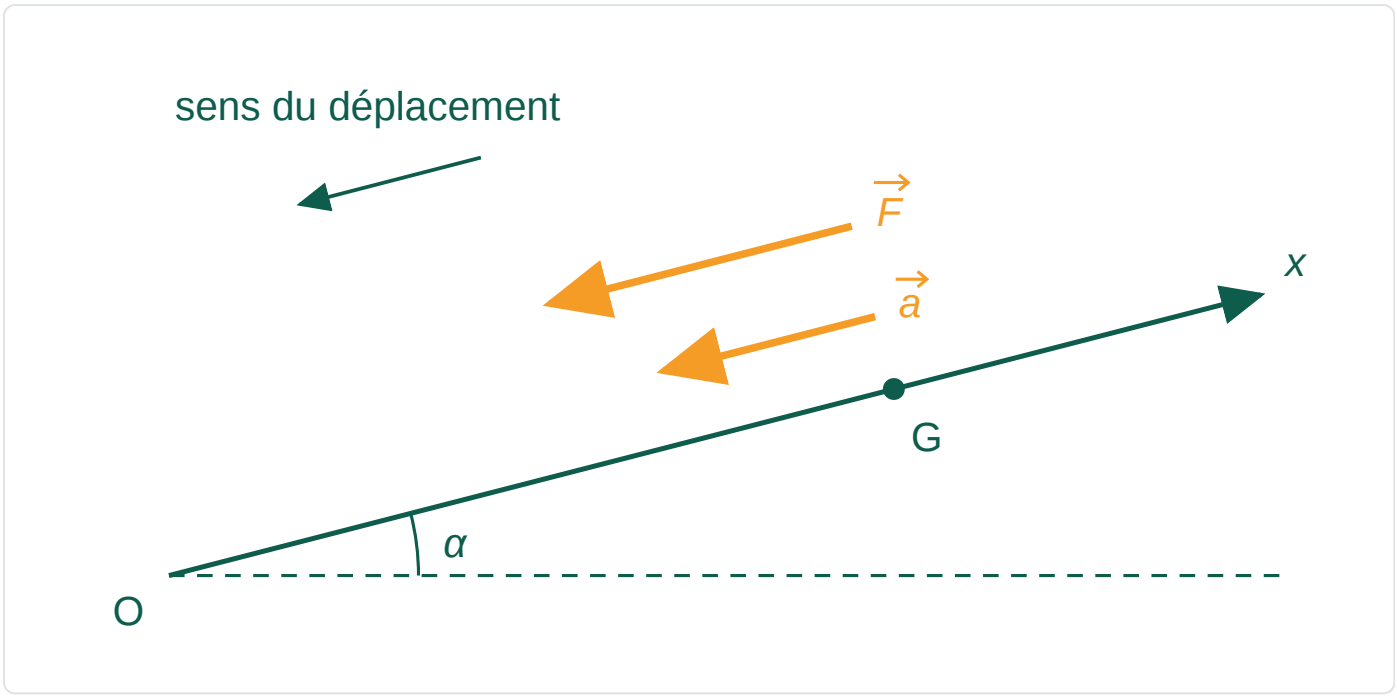


7 À l'aide de la description du mouvement, déterminer la direction et le sens du vecteur accélération $\vec{a}(t)$ du centre de masse.

Le mouvement est rectiligne le long de (Ox) : le vecteur vitesse garde la direction de (Ox), donc $\vec{a}$ aussi.

Le mouvement est accéléré : $\vec{a}$ a le même sens que le vecteur vitesse, c'est-à-dire le sens du déplacement.

$\vec{a}$: direction de l'axe (Ox), sens du déplacement (vers O, sens des x décroissants).



7 · Accélération et résultante des forces : même direction, même sens

8 Énoncer la deuxième loi de Newton.

Dans un référentiel galiléen, la somme vectorielle des forces extérieures appliquées à un système de masse m constante est égale au produit de sa masse par le vecteur accélération de son centre de masse.

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}$$

PIÈGE
Oublier de préciser « référentiel galiléen » ou écrire la relation sans les flèches des vecteurs.

9 En déduire la direction et le sens de la résultante des forces $\vec{F}$.

Ici $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{F}$, donc $\vec{F} = m\,\vec{a}$. Comme $m > 0$, les vecteurs $\vec{F}$ et $\vec{a}$ sont colinéaires et de même sens.

$\vec{F}$: direction de l'axe (Ox), sens du déplacement (vers les x décroissants).

COMPRENDRE
$F = mg\sin(\alpha) - f$ est donc positive : la composante du poids le long de la pente l'emporte sur les frottements.

10 Montrer que l'équation horaire du mouvement du centre de masse s'écrit $x(t) = -\frac{1}{2}\frac{F}{m}t^2 + x_0$.

Données utiles vitesse initiale nulle ; $x(0) = x_0$; F constante ; sens de $\vec{F}$ (Q9)

Deuxième loi de Newton : $\vec{F} = m\,\vec{a}$. Le vecteur $\vec{F}$, de valeur F, est dirigé vers les x décroissants : sa coordonnée sur (Ox) est $-F$.

Projection sur (Ox) : $-F = m\,a_x$, soit $a_x = -\frac{F}{m}$, constante.

Comme $a_x = \frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}$, on obtient par primitive : $v_x(t) = -\frac{F}{m}t + C_1$. La voiture est lâchée sans vitesse initiale : $v_x(0) = 0$ donc $C_1 = 0$.

Comme $v_x = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$, une nouvelle primitive donne : $x(t) = -\frac{1}{2}\frac{F}{m}t^2 + C_2$.
À $t = 0$, $x(0) = x_0$ donc $C_2 = x_0$.

$$x(t) = -\frac{1}{2}\frac{F}{m}t^2 + x_0$$

PIÈGE
Écrire $a_x = +\frac{F}{m}$. F est une valeur positive, mais le vecteur $\vec{F}$ est orienté à l'opposé de l'axe : le signe « $-$ » vient de la projection.

MÉTHODE
Deuxième loi de Newton, projection sur l'axe, puis deux primitives successives. Chaque constante se détermine avec une condition initiale : vitesse à $t = 0$, puis position à $t = 0$.

11 Indiquer si la valeur du coefficient c de la modélisation est cohérente avec les données du problème.

Données utiles $c = 0{,}558$ m ; $x_0 = 56{,}0$ cm

En comparant $x(t) = k\,t^2 + c$ à l'équation (4), on identifie $c = x_0$: c est l'abscisse à $t = 0$.

Or $c = 0{,}558$ m $= 55{,}8$ cm et $x_0 = 56{,}0$ cm : l'écart est de 0,2 cm, soit 2 mm.

La valeur de c est cohérente avec la position initiale x_0.

COMPRENDRE
Un écart de 2 mm est du même ordre que l'incertitude $u(x)$ d'une mesure du télémètre (Q6) : il n'est pas significatif.

12 À partir de la modélisation des points expérimentaux, montrer que la valeur f de la force de frottement est voisine de 0,27 N.

Données utiles $k = -1{,}84$ m · s^{-2} ; $m = 103$ g $= 0{,}103$ kg ; $g = 9{,}81$ m · s^{-2} ; $\alpha = 40^\circ$

Par identification avec l'équation (4) : $k = -\dfrac{1}{2}\dfrac{F}{m}$, donc $F = -2\,k\,m$.

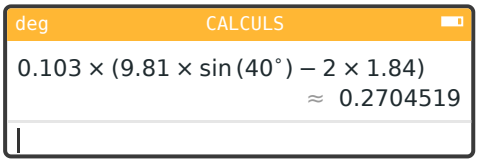
D'après la relation (3) : $f = m\,g\sin(\alpha) - F = m\,g\sin(\alpha) + 2\,k\,m$

$f = m\,(g\sin(\alpha) + 2k) = 0{,}103 \times (9{,}81 \times \sin(40^\circ) - 2 \times 1{,}84) = 0{,}27$ N

$f = 0{,}27$ N : on retrouve bien la valeur annoncée.

PIÈGE
Laisser la masse en gramme, ou la calculatrice en radian. Attention aussi au signe : k est négatif, donc $F = -2km$ est bien positive (0,379 N).

À LA CALCULATRICE



13 Énoncer le théorème de l'énergie cinétique entre les positions A et B.

Dans un référentiel galiléen, la variation de l'énergie cinétique du système entre A et B est égale à la somme des travaux, entre A et B, des forces qui lui sont appliquées.

Cette somme est ici le travail de la résultante $\vec{F}$.

$$\frac{1}{2}\,m\,v_B^2 - \frac{1}{2}\,m\,v_A^2 = W_{AB}(\vec{F})$$

14 Exprimer le travail $W_{AB}(\vec{F})$ de la résultante des forces entre A et B en fonction de m, g, f, α et $d = x_A - x_B$.

$\vec{F}$ est constante, de même direction et de même sens que le déplacement $\overrightarrow{AB}$, de longueur $AB = d$:

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB} = F \times d \times \cos(0^\circ) = F\,d$$

Avec la relation (3) :

$$W_{AB}(\vec{F}) = (m\,g\sin(\alpha) - f)\,d$$

COMPRENDRE
Ce travail est positif (moteur) : la résultante est dans le sens du mouvement et l'énergie cinétique augmente. On retrouve la somme du travail du poids $m\,g\,d\sin(\alpha)$ et de celui des frottements $-f\,d$.

15 Proposer une nouvelle estimation de la valeur de f à partir de la vitesse au point B.

Données utiles $v_A = 0$; $V_B = 1{,}21\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $d = 56{,}0 - 35{,}0 = 21{,}0\ \text{cm} = 0{,}210\ \text{m}$; $m = 0{,}103\ \text{kg}$; $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $\alpha = 40^\circ$

Théorème de l'énergie cinétique entre A et B, avec $v_A = 0$:

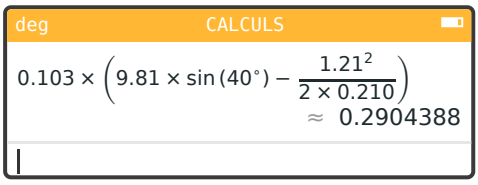
$$\frac{1}{2} m V_B^2 = (m\,g\sin(\alpha) - f)\,d$$

On isole f : $f = m\left(g\sin(\alpha) - \dfrac{V_B^2}{2d}\right)$

$$f = 0{,}103 \times \left(9{,}81 \times \sin(40^\circ) - \frac{1{,}21^2}{2 \times 0{,}210}\right) = 0{,}29\ \text{N}$$

$f \approx 0{,}29$ N, valeur proche de celle de l'étude mécanique (0,27 N).

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Laisser d en centimètre, ou calculer $d = x_B - x_A$: la distance parcourue est positive, $d = 0{,}210$ m.

COMPRENDRE
Les deux méthodes donnent le même ordre de grandeur (écart de 0,02 N, environ 7 %). f est la différence de deux termes voisins : une petite erreur sur V_B ou sur α la modifie sensiblement.

L'acide formique pour stocker le dihydrogène ?

Bac 2022 Asie Jour 2 · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

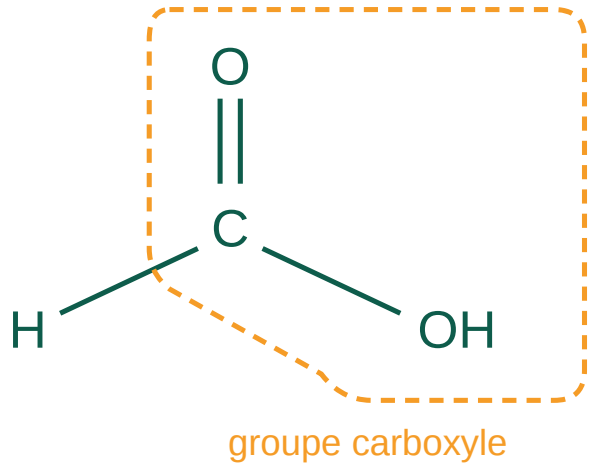
1 Justifier que l'acide formique, dont la formule semi-développée est donnée, se nomme acide méthanoïque dans la nomenclature officielle.

La molécule porte le groupe carboxyle $-\mathrm{COOH}$: c'est un acide carboxylique, dont le nom s'écrit « acide …oïque ».

Sa chaîne carbonée ne comporte qu'un seul atome de carbone : le préfixe est « méth- », et la terminaison « -an- » indique l'absence de liaison double entre atomes de carbone.

Un atome de carbone et un groupe carboxyle : acide méthanoïque.

MÉTHODE
Pour nommer une molécule : 1) repérer le groupe caractéristique, qui donne la famille et la terminaison ; 2) compter les atomes de carbone de la chaîne, qui donnent le préfixe.



1 · Formule semi-développée de l'acide formique : groupe carboxyle entouré

2 Vérifier qu'un litre de dihydrogène à la pression $P = 350$ bar et à la température $\theta = 25$ °C contient une masse $m = 28$ g de dihydrogène, le gaz étant supposé parfait.

Données utiles $R = 8{,}314\ \mathrm{J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}}$; $1\ \mathrm{bar} = 10^5\ \mathrm{Pa}$; $1\ \mathrm{m^3} = 10^3\ \mathrm{L}$; $T(\mathrm{K}) = \theta(^\circ\mathrm{C}) + 273{,}15$; $M_2 = 2{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$

Conversions : $P = 350 \times 10^5$ Pa ; $V = 1{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{m^3}$; $T = 25 + 273{,}15 = 298{,}15$ K.

Loi des gaz parfaits : $n = \dfrac{PV}{RT}$, et $m = n\,M_2$, donc $m = \dfrac{PV}{RT}\,M_2$.

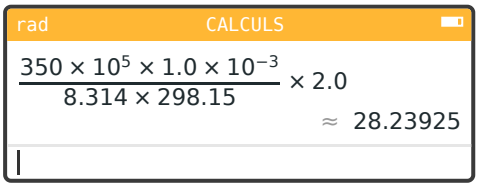
$$m = \frac{350 \times 10^5 \times 1{,}0 \times 10^{-3}}{8{,}314 \times 298{,}15} \times 2{,}0 = 28\ \mathrm{g}$$

$m = 28$ g (soit $n = 14$ mol de $\mathrm{H_2}$) : la valeur du document 1 est retrouvée.

PIÈGE
Laisser la pression en bar, le volume en litre ou la température en degrés Celsius. La loi des gaz parfaits exige des pascals, des mètres cubes et des kelvins.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme $M_2 = 2{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$, la donnée la moins précise du calcul.

À LA CALCULATRICE



3 Vérifier qu'un litre d'acide formique permet de produire 53 g de dihydrogène, comme indiqué dans le document 1.

Données utiles $\rho = 1{,}22\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$; $M_1 = 46{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M_2 = 2{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $\text{HCOOH (l)} \longrightarrow \text{H}_2\text{ (g)} + \text{CO}_2\text{ (g)}$

L'acide est noté (ℓ) dans l'équation : il s'agit d'acide formique pur, de volume $V = 1{,}00\ \text{L} = 1{,}00 \times 10^3$ mL.

Quantité d'acide : $n_1 = \dfrac{\rho\, V}{M_1} = \dfrac{1{,}22 \times 1{,}00 \times 10^3}{46{,}0} = 26{,}5$ mol.

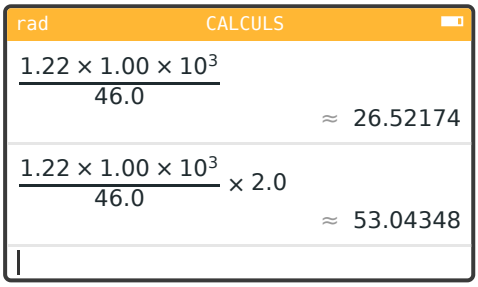
La transformation est totale et une mole d'acide libère une mole de dihydrogène : $n(\text{H}_2) = n_1$.

$$m(\text{H}_2) = n_1\, M_2 = \frac{1{,}22 \times 1{,}00 \times 10^3}{46{,}0} \times 2{,}0 = 53\ \text{g}$$

$m(\text{H}_2) = 53$ g : la valeur du document 1 est retrouvée.

PIÈGE
Utiliser les $7{,}0\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ du document 2 : cette valeur concerne la solution aqueuse des chercheurs et ne donnerait que 14 g. Le document 1 parle d'acide pur.

À LA CALCULATRICE



4 Citer deux avantages de l'acide formique pour le stockage du dihydrogène par rapport au stockage du gaz sous pression.

- L'acide formique est liquide à température et pression ambiantes : il se stocke sans réservoir à 350 bar.
- Il est peu inflammable, alors que le dihydrogène l'est fortement : le stockage est plus sûr.

Liquide dans les conditions ambiantes, et peu inflammable.

COMPRENDRE
Autre avantage recevable : à volume égal, l'acide fournit davantage de dihydrogène, 53 g par litre contre 28 g à 350 bar (Q2 et Q3).

5 Exprimer la conductivité σ de la solution en fonction des concentrations et des conductivités molaires ioniques des ions oxonium et des ions formiate.

Loi de Kohlrausch, avec les deux seuls ions pris en compte :

$$\sigma = \lambda(\text{H}_3\text{O}^+)\,[\text{H}_3\text{O}^+] + \lambda(\text{HCOO}^-)\,[\text{HCOO}^-]$$

COMPRENDRE
Seuls les ions conduisent le courant : la molécule HCOOH, non chargée, n'apparaît pas dans la somme.

6 En déduire une relation entre σ, $\lambda(\text{H}_3\text{O}^+)$, $\lambda(\text{HCOO}^-)$, V_1 et l'avancement x_f en fin de réaction pour la réaction 1.

D'après l'équation de la réaction 1, il se forme autant d'ions oxonium que d'ions formiate : $n(\text{H}_3\text{O}^+) = n(\text{HCOO}^-) = x_f$.

Dans le volume V_1 : $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{HCOO}^-] = \dfrac{x_f}{V_1}$.

En remplaçant dans l'expression de la question 5 :

$$\sigma = \frac{x_f}{V_1}\left(\lambda(\text{H}_3\text{O}^+) + \lambda(\text{HCOO}^-)\right)$$

COMPRENDRE
L'égalité des deux concentrations suppose que les ions oxonium ne viennent que de la réaction 1 : c'est l'hypothèse « autoprotolyse de l'eau négligée ».

7 Montrer que l'avancement en fin de réaction a pour valeur $x_f = 3{,}56 \times 10^{-3}$ mol.

Données utiles $\sigma = 144\ \text{mS} \cdot \text{m}^{-1}$; $\lambda(H_3O^+) = 35{,}0\ \text{mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$; $\lambda(HCOO^-) = 5{,}46\ \text{mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$; $V_1 = 1{,}00$ L

D'après la question 6 : $x_f = \dfrac{\sigma\, V_1}{\lambda(H_3O^+) + \lambda(HCOO^-)}$, avec $V_1 = 1{,}00 \times 10^{-3}\ \text{m}^3$.

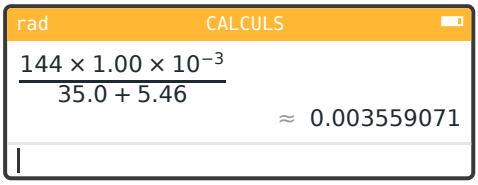
$$x_f = \frac{144 \times 1{,}00 \times 10^{-3}}{35{,}0 + 5{,}46} = 3{,}56 \times 10^{-3}\ \text{mol}$$

$x_f = 3{,}56 \times 10^{-3}$ mol : c'est la valeur attendue.

PIÈGE
Laisser V_1 en litre : le résultat serait mille fois trop grand. Avec σ en $\text{mS} \cdot \text{m}^{-1}$ et λ en $\text{mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$, le rapport est en $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$.

MÉTHODE
Les millisiemens figurent au numérateur et au dénominateur : ils se simplifient, inutile de les convertir en siemens.

À LA CALCULATRICE



8 Déterminer la valeur de la concentration molaire C_1 de la solution S_1, à partir de l'expression approchée de K_A admise par le sujet.

Données utiles $K_A = \left(\dfrac{x_f}{V_1}\right)^2 \times \dfrac{1}{c^0 \times C_1}$; $K_A = 1{,}77 \times 10^{-4}$; $c^0 = 1{,}00\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_1 = 1{,}00$ L ; $x_f = 3{,}56 \times 10^{-3}$ mol (Q7)

On isole C_1 dans la relation admise : $C_1 = \left(\dfrac{x_f}{V_1}\right)^2 \times \dfrac{1}{c^0\, K_A}$, avec ici V_1 en litre.

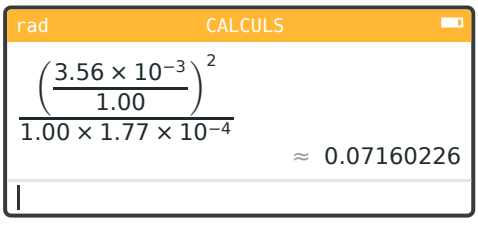
$$C_1 = \left(\frac{3{,}56 \times 10^{-3}}{1{,}00}\right)^2 \times \frac{1}{1{,}00 \times 1{,}77 \times 10^{-4}} = 7{,}16 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$C_1 = 7{,}16 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

PIÈGE
Reprendre $V_1 = 1{,}00 \times 10^{-3}\ \text{m}^3$ comme à la question 7. Ici c^0 est en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$: le volume doit être en litre.

COMPRENDRE
La forme est « approchée » car elle confond la concentration d'acide restant, $C_1 - \dfrac{x_f}{V_1}$, avec C_1 : l'acide est faible, peu de molécules ont réagi.

À LA CALCULATRICE



9 En déduire la concentration molaire C_0 de la solution S_0, puis la comparer qualitativement à la teneur annoncée dans le document 2.

Données utiles S_0 diluée 100 fois ; $C_1 = 7{,}16 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (Q8) ; document 2 : environ $7{,}0\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

La solution S_1 est obtenue en diluant 100 fois S_0 : $C_0 = 100\,C_1$.

$C_0 = 100 \times 7{,}16 \times 10^{-2} = 7{,}16\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

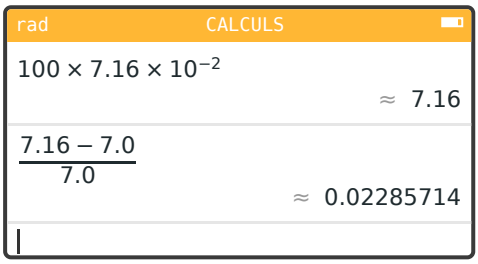
Le document 2 annonce « environ $7{,}0\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ » : la valeur mesurée est très légèrement supérieure, l'écart n'étant que d'environ 2 %.

$C_0 = 7{,}16\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, en accord avec la teneur annoncée d'environ $7{,}0\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

PIÈGE

Diviser par 100 au lieu de multiplier : la solution mère S_0 est la plus concentrée.

À LA CALCULATRICE



Savon de Marseille

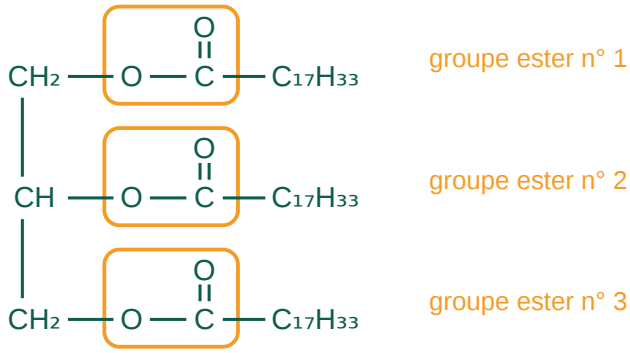
Bac 2022 Asie Jour 2 · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

1 En analysant la formule chimique de l'oléine, justifier que l'oléine est un triester.

Dans la formule de l'oléine, on repère trois fois l'enchaînement $-O-CO^-$ (un carbone doublement lié à un oxygène et simplement lié à un autre oxygène, lui-même lié à un carbone) : c'est le groupe caractéristique ester.

L'oléine possède trois groupes ester : c'est un triester.

PIÈGE
Ne pas confondre avec le groupe carboxyle $-COOH$ d'un acide : dans un ester, l'oxygène simplement lié porte une chaîne carbonée, pas un hydrogène.



1 · Oléine : les trois groupes ester entourés

2 Citer deux règles de sécurité relatives à l'utilisation de la soude concentrée.

La soude concentrée est corrosive (brûlures de la peau, irritation des yeux et des voies respiratoires). Il faut donc :

- porter des gants et une blouse fermée pour éviter tout contact avec la peau ;
- porter des lunettes de protection.

Gants (et blouse) ; lunettes de protection.

MÉTHODE
Une règle de sécurité se justifie par le danger indiqué dans les données : ici « corrosive », donc on protège la peau et les yeux.

3 Proposer une hypothèse sur le rôle de l'éthanol.

Données utiles solubilité de l'oléine : nulle dans l'eau, forte dans l'éthanol ; solubilité de la soude : forte dans l'eau et dans l'éthanol

L'oléine n'est pas soluble dans l'eau, alors que la soude est en solution aqueuse : sans éthanol, les deux réactifs formeraient deux phases et ne se rencontreraient qu'à leur interface.

Les deux réactifs sont très solubles dans l'éthanol.

L'éthanol sert de solvant commun : il met les réactifs en contact dans une même phase, ce qui permet à la réaction de se faire.

COMPRENDRE
L'éthanol n'apparaît pas dans l'équation de la réaction 1 : il n'est ni réactif ni produit, il joue seulement le rôle de solvant.

4 Donner un argument permettant d'expliquer que l'ion oléate prédomine par rapport à l'acide oléique.

Données utiles $\mathrm{p}K_a$ (acide oléique / ion oléate) $= 4{,}8$; mélange très basique

La soude est en excès : le milieu est très basique, son pH est très supérieur à 7, donc très supérieur à $\mathrm{p}K_a = 4{,}8$.

Or, lorsque $\mathrm{pH} > \mathrm{p}K_a$, la base du couple prédomine sur l'acide.

$\mathrm{pH} > \mathrm{p}K_a$: l'ion oléate $\mathrm{C_{17}H_{33}COO^-}$ prédomine sur l'acide oléique.

MÉTHODE
Tracer un axe de pH, placer le $\mathrm{p}K_a$: l'acide prédomine à gauche, la base à droite. Il suffit ensuite de situer le pH du milieu.

5 Préciser le rôle du chauffage.

La température est un facteur cinétique : plus elle est élevée, plus la transformation est rapide.

Le chauffage accélère la saponification (durée de réaction plus courte).

PIÈGE
Ne pas confondre avec le rôle du réfrigérant à eau : le reflux, lui, évite les pertes de matière en condensant les vapeurs qui retombent dans le ballon.

6 Expliquer pourquoi on utilise de l'eau salée et non de l'eau douce dans la phase de relargage.

Données utiles solubilité de l'oléate de sodium : moyenne dans l'eau, faible dans l'eau salée

Le savon est moyennement soluble dans l'eau douce mais faiblement soluble dans l'eau salée. Dans l'eau salée, il précipite donc presque entièrement et peut être récupéré par filtration.

Dans l'eau douce, une part plus importante du savon resterait dissoute et serait perdue dans le filtrat.

L'eau salée fait précipiter le savon, peu soluble dans ce milieu : on en récupère davantage.

COMPRENDRE
La soude et le glycérol restent très solubles dans l'eau salée : ils restent en solution, ce qui les sépare du savon solide.

7 Montrer que l'oléine est le réactif limitant.

Données utiles $V_{\text{huile}} = 10$ mL ; $\rho = 0{,}90\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$; $M_{\text{oléine}} = 884\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $V_{\text{soude}} = 10$ mL ; $c = 10\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

Quantité initiale d'oléine :

$$n_{\text{ol}} = \frac{\rho \times V_{\text{huile}}}{M_{\text{oléine}}} = \frac{0{,}90 \times 10}{884} = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol}$$

Quantité initiale d'ions hydroxyde :

$$n_{\text{HO}^-} = c \times V_{\text{soude}} = 10 \times 10 \times 10^{-3} = 0{,}10\ \text{mol}$$

D'après l'équation, 1 mol d'oléine réagit avec 3 mol d'ions $\mathrm{HO^-}$. On compare donc $\frac{n_{\text{ol}}}{1}$ et $\frac{n_{\text{HO}^-}}{3}$:

$$\frac{n_{\text{HO}^-}}{3} = \frac{0{,}10}{3} = 3{,}3 \times 10^{-2}\ \text{mol}$$

$\frac{n_{\text{ol}}}{1} = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} < \frac{n_{\text{HO}^-}}{3} = 3{,}3 \times 10^{-2}\ \text{mol}$: l'oléine est le réactif limitant.

PIÈGE
Comparer directement $0{,}010$ mol et $0{,}10$ mol sans diviser par les nombres stœchiométriques : la conclusion serait ici la même, mais le raisonnement ne rapporte pas les points.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme ρ et c. Le volume de soude se convertit en litres ; celui d'huile reste en mL, car ρ est donnée en grammes par millilitre.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{0.90 \times 10}{884} \approx 0.010181$

$10 \times 10 \times 10^{-3} \approx 0.1$

$\frac{0.10}{3} \approx 0.03333333$

8 Justifier l'importance d'éliminer le réactif en excès par le lavage. Préciser quelle autre espèce chimique est également éliminée.

Données utiles soude : corrosive, forte solubilité dans l'eau ; glycérol : forte solubilité dans l'eau

Le réactif en excès est la soude (Q7). Elle est corrosive : s'il en restait dans le savon, celui-ci provoquerait des rougeurs ou des brûlures de la peau. Très soluble dans l'eau, elle est entraînée par l'eau de lavage.

Le glycérol, autre produit de la réaction, est lui aussi très soluble dans l'eau : il part avec l'eau de lavage.

Le lavage élimine la soude en excès, corrosive pour la peau, ainsi que le glycérol.

COMPRENDRE
On lave à l'eau froide et en petite quantité : le savon est moyennement soluble dans l'eau douce, un lavage abondant en dissoudrait une partie.

9 Calculer le rendement de la synthèse sachant que l'on a obtenu une masse de savon $m_{\text{exp}} = 7{,}3$ g.

Données utiles $n_{\text{ol}} = 0{,}90 \times 10 \div 884$ mol (Q7) ; $M_{\text{savon}} = 304 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

L'oléine est le réactif limitant et 1 mol d'oléine donne 3 mol d'oléate de sodium. Si la transformation est totale :

$n_{\text{max}} = 3 \times n_{\text{ol}}$

Masse maximale de savon :

$$m_{\text{max}} = 3 \times n_{\text{ol}} \times M_{\text{savon}} = 3 \times \frac{0{,}90 \times 10}{884} \times 304 = 9{,}3 \text{ g}$$

Rendement :

$$\eta = \frac{m_{\text{exp}}}{m_{\text{max}}} = \frac{7{,}3}{9{,}3} = 0{,}79$$

$\eta = 0{,}79$, soit un rendement de $79\ \%$.

PIÈGE
Oublier le facteur 3 donnerait $m_{\text{max}} = 3{,}1$ g et un rendement supérieur à $100\ \%$, ce qui est impossible : ce résultat doit alerter.

MÉTHODE
Garder en mémoire de la calculatrice la valeur non arrondie de n_{ol} : avec $1{,}0 \times 10^{-2}$ mol, on trouverait $m_{\text{max}} = 9{,}1$ g et $80\ \%$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{3 \times 0.90 \times 10}{884} \times 304 \approx 9.285068$

$\frac{7.3}{\frac{3 \times 0.90 \times 10}{884} \times 304} \approx 0.7862086$

10 Proposer une hypothèse susceptible d'expliquer que le rendement ne soit pas de 100 %.

Une partie du savon formé n'est pas récupérée : sa solubilité est faible mais non nulle dans l'eau salée, et moyenne dans l'eau de lavage. Du savon reste donc dissous dans le filtrat et dans l'eau de lavage ; il en reste aussi sur la verrerie et sur le filtre.

Des pertes de savon lors du relargage, de la filtration et du lavage expliquent un rendement inférieur à $100\ \%$.

COMPRENDRE

Autre hypothèse recevable : 30 min de chauffage ne suffisent peut-être pas pour que toute l'oléine ait réagi, la transformation n'étant alors pas terminée.

Dissolution d'une coquille d'oeuf

Bac 2022 Asie Jour 2 · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

1 Tracer le diagramme de prédominance du couple acide éthanoïque / ion éthanoate. Indiquer quelle espèce prédomine dans le vinaigre.

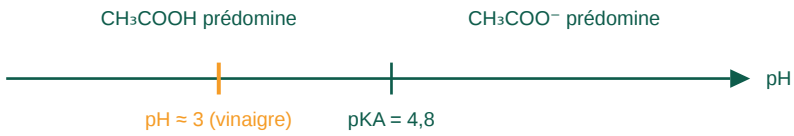
Données utiles $pK_A = 4{,}8$; pH du vinaigre ≈ 3

Pour $\text{pH} < pK_A$, la forme acide CH_3COOH prédomine ; pour $\text{pH} > pK_A$, c'est la forme basique CH_3COO^-.

Dans le vinaigre, $\text{pH} \approx 3 < 4{,}8$.

L'acide éthanoïque CH_3COOH prédomine dans le vinaigre.

MÉTHODE
Sur l'axe des pH, l'acide du couple se place toujours à gauche du pK_A, la base à droite. On situe ensuite le pH de la solution pour conclure.



1 · Diagramme de prédominance du couple acide éthanoïque / ion éthanoate

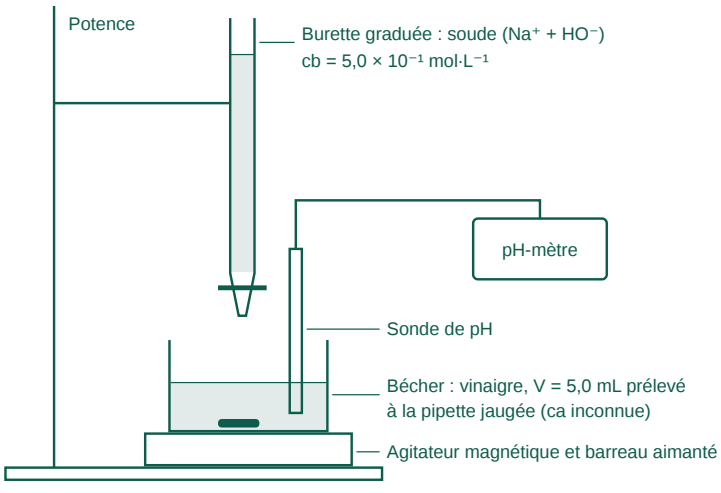
2 Faire un schéma annoté du montage expérimental nécessaire à la mise en œuvre du titrage.

Données utiles $V_{\text{vinaigre}} = 5{,}0$ mL ; soude de concentration $c_b = 5{,}0 \times 10^{-1}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

La solution titrante (soude) est dans la burette graduée ; la solution titrée (vinaigre) est dans le bécher, sous agitation, avec la sonde du pH-mètre immergée.

Voir le schéma : burette (soude), bécher (vinaigre), agitateur magnétique, sonde et pH-mètre.

PIÈGE
Inverser les deux solutions, ou oublier le pH-mètre : le suivi est pH-métrique, la sonde doit apparaître et tremper dans la solution, sans toucher le barreau aimanté.



2 · Montage du titrage avec suivi pH-métrique

3 Écrire la réaction support du titrage qui a lieu entre la solution de soude et le vinaigre.

L'acide CH_3COOH cède un ion H^+ à la base HO^- ; les ions Na^+ sont spectateurs.

$$CH_3COOH\,(aq) + HO^-\,(aq) \longrightarrow CH_3COO^-\,(aq) + H_2O\,(l)$$

COMPRENDRE
Une réaction support de titrage est totale, d'où la flèche simple. Les couples mis en jeu sont CH_3COOH/CH_3COO^- et H_2O/HO^-.

4 Déterminer la concentration c_a, en $mol \cdot L^{-1}$, de l'acide éthanoïque présent dans ce vinaigre.

Données utiles $V_{vinaigre} = 5{,}0$ mL ; $c_b = 5{,}0 \times 10^{-1}\ mol \cdot L^{-1}$; $V_{éq} = 13{,}4$ mL

À l'équivalence, les réactifs sont dans les proportions stœchiométriques (un pour un ici) : $n(CH_3COOH)_{initial} = n(HO^-)_{versé}$.

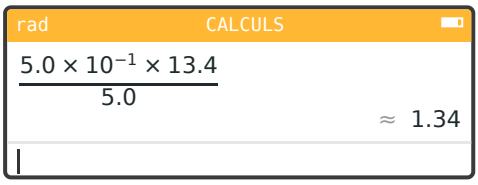
$$c_a\,V_{vinaigre} = c_b\,V_{éq} \quad \text{donc} \quad c_a = \frac{c_b\,V_{éq}}{V_{vinaigre}}$$

$$c_a = \frac{5{,}0 \times 10^{-1} \times 13{,}4}{5{,}0} = 1{,}34\ mol \cdot L^{-1}$$

$c_a \approx 1{,}3\ mol \cdot L^{-1}$ (on garde 1,34 pour la suite des calculs)

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme c_b et $V_{vinaigre}$, les données les moins précises. Les deux volumes étant en mL, leur rapport ne demande aucune conversion.

À LA CALCULATRICE



5 En détaillant le raisonnement, vérifier que le titre de ce vinaigre est bien de 8°.

Données utiles $c_a = 1{,}34\ mol \cdot L^{-1}$ (Q4) ; $\rho = 1010\ g \cdot L^{-1}$; 1,00° : 1,00 g d'acide pour 100 g de vinaigre ; $M(H) = 1{,}0$, $M(C) = 12{,}0$, $M(O) = 16{,}0\ g \cdot mol^{-1}$

Le titre en degré est le pourcentage en masse d'acide éthanoïque. On raisonne sur $V = 1{,}00$ L de vinaigre.

Masse molaire de l'acide $C_2H_4O_2$: $M = 2 \times 12{,}0 + 4 \times 1{,}0 + 2 \times 16{,}0 = 60{,}0\ g \cdot mol^{-1}$.

Masse d'acide dans 1,00 L : $m_a = c_a\,V\,M = 1{,}34 \times 1{,}00 \times 60{,}0 = 80{,}4$ g.

Masse de 1,00 L de vinaigre : $m = \rho V = 1010$ g.

$$\text{titre} = \frac{m_a}{m} \times 100 = \frac{80{,}4}{1010} \times 100 = 7{,}96$$

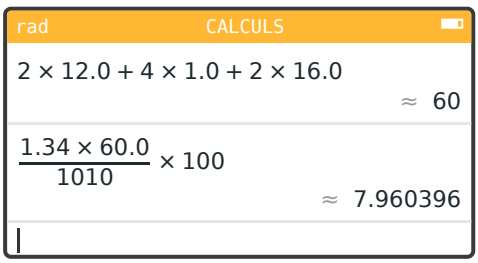
Il y a donc 7,96 g d'acide pour 100 g de vinaigre.

Titre $\approx 8{,}0^\circ$: l'indication 8° de l'étiquette est vérifiée.

PIÈGE
Confondre 100 g de vinaigre et 100 mL : la masse volumique n'est pas celle de l'eau. Reprendre la valeur arrondie $1{,}3\ mol \cdot L^{-1}$ donnerait 7,7°.

MÉTHODE
Pour passer d'une concentration en quantité de matière à un pourcentage massique, fixer un volume simple (1 L), puis calculer séparément la masse de soluté ($c\,V\,M$) et la masse de solution ($\rho\,V$).

À LA CALCULATRICE



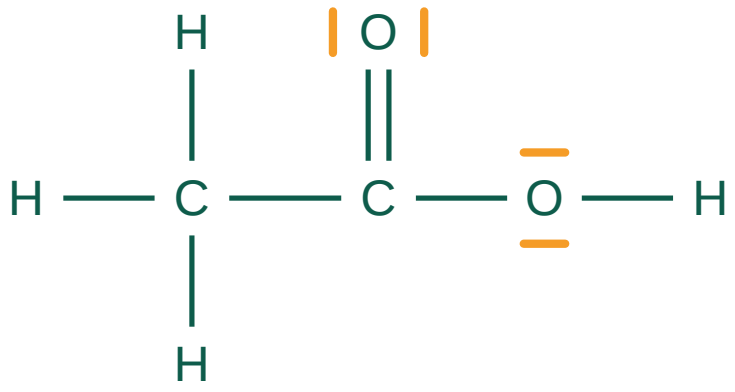
6 Représenter le schéma de Lewis de l'acide éthanoïque CH_3COOH.

Chaque carbone forme quatre liaisons, chaque hydrogène une seule. Chaque oxygène forme deux liaisons et porte deux doublets non liants.

Le carbone du groupe carboxyle est lié au groupe CH_3, doublement lié à un oxygène et simplement lié à l'oxygène du groupe $O-H$.

Voir le schéma : 8 doublets liants et 4 doublets non liants.

MÉTHODE
Vérification par les électrons de valence : $2 \times 4 + 4 \times 1 + 2 \times 6 = 24$ électrons, soit 12 doublets à placer. Le schéma en compte bien $8 + 4 = 12$.



6 · Schéma de Lewis de l'acide éthanoïque (doublets non liants en orange)

7 À l'aide des bandes d'absorption données, identifier le spectre infrarouge correspondant à l'acide éthanoïque parmi ceux de la figure 1.

Données utiles O–H acide carboxylique : 2600 à 3100 cm^{-1} (forte, très large) ; C=O : 1700 à 1760 cm^{-1} (forte, fine)

L'acide éthanoïque possède un groupe carboxyle : son spectre doit présenter la bande C=O et la bande O–H d'un acide carboxylique.

Les deux spectres montrent une bande forte et fine vers 1700 à 1750 cm^{-1} (C=O). Seul le spectre 1 présente en plus une bande forte et très large entre 2600 et 3100 cm^{-1} environ ; le spectre 2 n'a dans cette zone que des pics fins.

Le spectre IR 1 est celui de l'acide éthanoïque.

PIÈGE
Conclure à partir de la seule bande C=O : elle figure sur les deux spectres et ne permet pas de trancher. C'est la bande O–H très large qui distingue l'acide carboxylique.

8 L'ion carbonate réagit avec l'acide éthanoïque introduit en large excès. Écrire l'équation de la réaction acido-basique entre ces deux espèces.

Données utiles couples HCO_3^-/CO_3^{2-} et CH_3COOH/CH_3COO^-

L'ion carbonate est la base du couple HCO_3^-/CO_3^{2-} : il capte l'ion H^+ cédé par l'acide éthanoïque.

$$CO_3^{2-}(aq) + CH_3COOH(aq) \longrightarrow HCO_3^-(aq) + CH_3COO^-(aq)$$

9 L'ion hydrogénocarbonate ainsi formé réagit avec l'acide éthanoïque. Écrire l'équation de la réaction acido-basique entre ces deux espèces.

Données utiles couples CO_2, H_2O/HCO_3^- et CH_3COOH/CH_3COO^-

L'ion hydrogénocarbonate joue ici le rôle de base du couple CO_2, H_2O /HCO_3^- : il capte un ion H^+.

$$HCO_3^-\,(aq) + CH_3COOH\,(aq) \longrightarrow CO_2\,(g) + H_2O\,(l) + CH_3COO^-\,(aq)$$

COMPRENDRE
Le dioxyde de carbone produit est peu soluble : il se dégage. Ce sont les petites bulles de gaz observées à la surface de la coquille.

10 Montrer que l'action du vinaigre sur le carbonate de calcium est modélisée par l'équation $CaCO_3\,(s) + 2\,CH_3COOH\,(aq) \longrightarrow Ca^{2+}\,(aq) + CO_2\,(g) + H_2O\,(l) + 2\,CH_3COO^-\,(aq)$.

Les trois transformations se succèdent ; on additionne leurs équations membre à membre :

$$CaCO_3\,(s) \longrightarrow Ca^{2+}\,(aq) + {CO_3}^{2-}\,(aq)$$

$${CO_3}^{2-}\,(aq) + CH_3COOH\,(aq) \longrightarrow HCO_3^-\,(aq) + CH_3COO^-\,(aq)$$

$$HCO_3^-\,(aq) + CH_3COOH\,(aq) \longrightarrow CO_2\,(g) + H_2O\,(l) + CH_3COO^-\,(aq)$$

Les ions ${CO_3}^{2-}$ et HCO_3^-, formés puis consommés, figurent des deux côtés et se simplifient.

$CaCO_3\,(s) + 2\,CH_3COOH\,(aq) \longrightarrow Ca^{2+}\,(aq) + CO_2\,(g) + H_2O\,(l) + 2\,CH_3COO^-\,(aq)$: c'est l'équation attendue.

MÉTHODE
Après une somme d'équations, contrôler le bilan : éléments conservés (1 Ca, 5 C, 7 O, 8 H de chaque côté) et charge totale nulle à gauche comme à droite.

11 Indiquer, en le justifiant, le caractère acide-base de l'ion hydrogénocarbonate HCO_3^-.

Données utiles couples CO_2, H_2O/HCO_3^- et $HCO_3^-/{CO_3}^{2-}$

L'ion HCO_3^- est la base du couple CO_2, H_2O/HCO_3^- : il peut capter un ion H^+. Il est aussi l'acide du couple $HCO_3^-/{CO_3}^{2-}$: il peut céder un ion H^+.

L'ion hydrogénocarbonate est à la fois un acide et une base : c'est une espèce amphotère.