# Corrigé complet — Bac S 2013 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme)

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


| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Ex 1 | **De la liaison covalente à la spectroscopie infrarouge**<br>Proportionnalité et exploitation de graphiques · Période propre d'un oscillateur · Masse molaire et constante d'Avogadro · Fréquence et longueur d'onde · Spectroscopie infrarouge | 4 pts | 40 min | 6 questions | p. 2 |
| Ex 2 | **Un exemple de chimie verte : la synthèse de l'ibuprofène**<br>Groupes caractéristiques · Stéréoisomérie · Catalyse et catégories de réactions · Titrage pH-métrique · Couples acide-base · Incertitudes | 11 pts | 1 h 50 | 20 questions | p. 5 |
| Ex 3 | **De Hubble à James Webb**<br>Deuxième loi de Newton · Repère de Frenet · Mouvement circulaire uniforme · Troisième loi de Kepler · Poids et poussée au décollage · Énergie mécanique | 5 pts | 50 min | 11 questions | p. 11 |


**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.

# De la liaison covalente à la spectroscopie infrarouge

Bac S 2013 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 40 min**

**1.1** La période propre $T_0$ d'un oscillateur harmonique est-elle proportionnelle à la masse $m$ du solide ? À la constante de raideur $k$ du ressort ? Justifier.

**Données utiles** documents 2 et 3 (tableaux, figures 1 et 2)

Deux grandeurs sont proportionnelles si la courbe représentant l'une en fonction de l'autre est une droite passant par l'origine.

Figure 1 : la courbe $T_0 = f(m)$ passe par l'origine, mais elle est incurvée. Ce n'est pas une droite. Le tableau le confirme : quand $m$ double (de 50 g à 100 g), $T_0$ passe de 0,20 s à 0,28 s et ne double pas.

Figure 2 : la courbe $T_0 = f(k)$ est décroissante et incurvée. Ce n'est pas une droite passant par l'origine.

$T_0$ n'est proportionnelle ni à la masse $m$, ni à la constante de raideur $k$.

**PIÈGE**
Conclure à la proportionnalité parce que $T_0$ augmente avec $m$. « Croissante » ne veut pas dire « proportionnelle » : il faut une droite et le passage par l'origine, ou un quotient $T_0/m$ constant.

**MÉTHODE**
Sans graphique, tester le tableau : si une grandeur double, l'autre doit doubler. Un seul couple de valeurs qui ne respecte pas cette règle suffit à écarter la proportionnalité.

**1.2** Parmi les quatre expressions proposées pour $T_0$, déterminer la seule qui est cohérente avec les observations des documents 2 et 3, en expliquant le raisonnement.

**Données utiles** expressions proposées : $T_0 = m \times k$ ; $T_0 = 2\pi \times \dfrac{m}{k}$ ; $T_0 = 2\pi \times \sqrt{\dfrac{m}{k}}$ ; $T_0 = 2\pi \times \sqrt{\dfrac{1}{m \times k}}$

Figure 3 : la courbe $T_0 = f\left(\dfrac{1}{\sqrt{k}}\right)$ est une droite passant par l'origine.

À masse fixée, $T_0$ est donc proportionnelle à $\dfrac{1}{\sqrt{k}}$.

Cela écarte $T_0 = m \times k$ (proportionnelle à $k$) et $T_0 = 2\pi \times \dfrac{m}{k}$ (proportionnelle à $\dfrac{1}{k}$). Il reste les deux expressions avec une racine carrée.

Figure 1 : $T_0$ augmente quand $m$ augmente. Or, dans $T_0 = 2\pi \times \sqrt{\dfrac{1}{m \times k}}$, la période diminuerait quand $m$ augmente : cette expression est écartée.

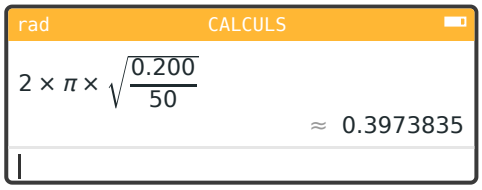
Vérification avec le document 2 ($m = 0{,}200$ kg, $k = 50\ \mathrm{N \cdot m^{-1}}$) : $2\pi \times \sqrt{\dfrac{0{,}200}{50}} = 0{,}40$ s, valeur du tableau.

$$T_0 = 2\pi \times \sqrt{\frac{m}{k}}$$

**PIÈGE**
Dans la formule, la masse est en kilogrammes : 200 g s'écrit 0,200 kg. Avec des grammes, la vérification numérique donne une période fausse.

**MÉTHODE**
Procéder par élimination : un document par variable. La figure 3 fixe la dépendance en $k$, la figure 1 fixe le sens de variation avec $m$. Une vérification numérique sur une ligne de tableau sécurise la réponse.

**À LA CALCULATRICE**




**2.1** À l'aide du document 4, exprimer la masse réduite $m_r$ en fonction de $m(\mathrm{O})$ et $m(\mathrm{H})$, masses d'un atome d'oxygène et d'un atome d'hydrogène.

**Données utiles** document 4 : $m_r = \dfrac{m_A \times m_B}{m_A + m_B}$

La liaison O–H relie un atome d'oxygène et un atome d'hydrogène : on prend $m_A = m(\mathrm{O})$ et $m_B = m(\mathrm{H})$ dans la relation du document 4.

$$m_r = \frac{m(\mathrm{O}) \times m(\mathrm{H})}{m(\mathrm{O}) + m(\mathrm{H})}$$

**COMPRENDRE**
Les deux atomes vibrent en même temps. La masse réduite permet de revenir au cas étudié en partie 1 : un seul solide de masse $m_r$ accroché à un ressort dont l'autre extrémité est fixe.

**2.2** En déduire que $m_r = \dfrac{M(\mathrm{O}) \times M(\mathrm{H})}{(M(\mathrm{O}) + M(\mathrm{H})) \times N_A}$, puis calculer la valeur de $m_r$.

**Données utiles** $M(\mathrm{H}) = 1{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$ ; $M(\mathrm{O}) = 16{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$ ; $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ \mathrm{mol^{-1}}$

Une mole contient $N_A$ atomes, donc la masse d'un atome est $m(\mathrm{O}) = \dfrac{M(\mathrm{O})}{N_A}$ et $m(\mathrm{H}) = \dfrac{M(\mathrm{H})}{N_A}$.

On remplace dans l'expression de la question 2.1 :

$$m_r = \frac{\frac{M(\mathrm{O})}{N_A} \times \frac{M(\mathrm{H})}{N_A}}{\frac{M(\mathrm{O})}{N_A} + \frac{M(\mathrm{H})}{N_A}} = \frac{\frac{M(\mathrm{O}) \times M(\mathrm{H})}{N_A^2}}{\frac{M(\mathrm{O}) + M(\mathrm{H})}{N_A}} = \frac{M(\mathrm{O}) \times M(\mathrm{H})}{(M(\mathrm{O}) + M(\mathrm{H})) \times N_A}$$

Application numérique :

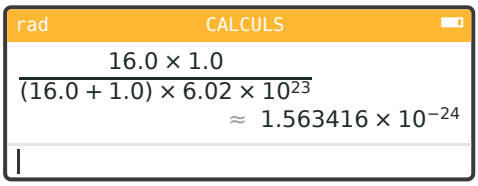
$$m_r = \frac{16{,}0 \times 1{,}0}{(16{,}0 + 1{,}0) \times 6{,}02 \times 10^{23}} = 1{,}6 \times 10^{-24}\ \mathrm{g}$$

$$\boxed{m_r = 1{,}6 \times 10^{-24}\ \mathrm{g} = 1{,}6 \times 10^{-27}\ \mathrm{kg}}$$

**PIÈGE**
Les masses molaires sont en $\mathrm{g \cdot mol^{-1}}$ : le calcul donne des grammes. Il faut convertir en kilogrammes avant d'utiliser $m_r$ avec $k$ en $\mathrm{N \cdot m^{-1}}$.

**COMPRENDRE**
Deux chiffres significatifs, comme $M(\mathrm{H}) = 1{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$, la donnée la moins précise. On garde la valeur non arrondie en mémoire pour la suite. $m_r$ est proche de la masse d'un atome d'hydrogène : c'est surtout lui qui bouge.

**À LA CALCULATRICE**




**2.3** À l'aide des questions 1.2 et 2.2, montrer que la fréquence propre associée à cet oscillateur harmonique vaut $f_0 = 1{,}1 \times 10^{14}$ Hz.

**Données utiles** $k = 7{,}2 \times 10^2\ \mathrm{N \cdot m^{-1}}$ ; $m_r = 1{,}56 \times 10^{-27}$ kg (Q2.2, valeur non arrondie) ; $T_0 = 2\pi \times \sqrt{\dfrac{m}{k}}$ (Q1.2)

La fréquence propre est l'inverse de la période propre : $f_0 = \dfrac{1}{T_0}$.

Pour la liaison O–H, la masse du solide est la masse réduite : $T_0 = 2\pi \times \sqrt{\dfrac{m_r}{k}}$, donc

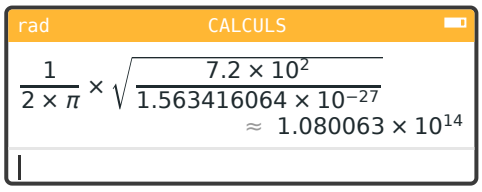
$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \times \sqrt{\frac{k}{m_r}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \times \sqrt{\frac{7{,}2 \times 10^2}{1{,}56 \times 10^{-27}}} = 1{,}08 \times 10^{14}\ \mathrm{Hz}$$

$$\boxed{f_0 = 1{,}08 \times 10^{14}\ \mathrm{Hz} \approx 1{,}1 \times 10^{14}\ \mathrm{Hz}\ \text{: c'est la valeur attendue.}}$$

**PIÈGE**
Laisser $m_r$ en grammes donne $3{,}4 \times 10^{12}$ Hz, résultat faux d'un facteur $\sqrt{1000}$. Autre oubli fréquent : calculer $T_0$ et s'arrêter là, sans passer à la fréquence.

**À LA CALCULATRICE**



**2.4** Calculer la longueur d'onde dans le vide associée à $f_0$ puis, en supposant que le modèle s'applique à la molécule d'eau, préciser à l'aide du document 5 s'il s'agit d'une vibration d'élongation ou de déformation.

**Données utiles** $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ; $f_0 = 1{,}08 \times 10^{14}$ Hz (Q2.3) ; document 5 : élongation à 2,74 µm et 2,66 µm, déformation à 6,27 µm

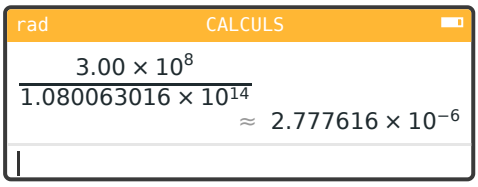
Dans le vide : $\lambda = \dfrac{c}{f_0}$

$$\lambda = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{1{,}08 \times 10^{14}} = 2{,}8 \times 10^{-6}\ \text{m} = 2{,}8\ \mu\text{m}$$

D'après le document 5, les deux modes d'élongation absorbent à 2,74 µm et 2,66 µm, le mode de déformation à 6,27 µm. La valeur calculée est très proche des deux premières et loin de la troisième.

$\lambda = 2{,}8\ \mu\text{m}$ : il s'agit d'une vibration d'**élongation**.

**À LA CALCULATRICE**




**COMPRENDRE**

Le modèle du ressort décrit une liaison qui s'allonge et se raccourcit : c'est bien une élongation. La déformation fait varier l'angle entre les deux liaisons, ce que ce modèle ne décrit pas.

**MÉTHODE**

Pour comparer à un spectre infrarouge gradué en nombre d'onde : $\sigma = \dfrac{1}{\lambda}$ avec $\lambda$ en cm. Ici $\lambda = 2{,}8 \times 10^{-4}$ cm donne $\sigma \approx 3{,}6 \times 10^{3}\ \text{cm}^{-1}$, dans la zone des liaisons O–H.

# Un exemple de chimie verte : la synthèse de l'ibuprofène

Bac S 2013 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 2 **11 points** **Durée conseillée 1 h 50**

**1.1** Quel est le nom du groupe caractéristique oxygéné de l'ibuprofène ? Quelle est la fonction chimique correspondante ?

La molécule porte le groupe $-\mathrm{COOH}$ (un atome de carbone lié à $=\mathrm{O}$ et à $-\mathrm{OH}$).

Groupe **carboxyle** ; fonction **acide carboxylique**.

**PIÈGE**
Répondre « hydroxyle » ou « carbonyle » en ne regardant qu'une moitié du groupe : $\mathrm{C}=\mathrm{O}$ et $\mathrm{O}-\mathrm{H}$ portés par le même carbone forment un seul groupe, le carboxyle.

**1.2** Quel qualificatif utilise-t-on pour désigner l'atome de carbone noté 2 ?

Le carbone 2 est tétraédrique et lié à quatre atomes ou groupes d'atomes tous différents : $\mathrm{H}$, $\mathrm{CH_3}$, $\mathrm{COOH}$ et le cycle aromatique substitué.

C'est un atome de carbone **asymétrique**.

**COMPRENDRE**
Carbone asymétrique, chiralité et énantiomérie figuraient au programme de Terminale S ; ces notions ne sont plus au programme actuel de la spécialité.

**1.3** Les molécules R et S sont-elles identiques, énantiomères ou diastéréoisomères ? Justifier.

Les deux molécules ont le même enchaînement d'atomes et un seul carbone asymétrique. Elles sont images l'une de l'autre dans un miroir plan et ne sont pas superposables.

R et S sont des **énantiomères**.

**MÉTHODE**
Deux stéréoisomères de configuration images dans un miroir et non superposables : énantiomères. Non images l'un de l'autre : diastéréoisomères, ce qui exige au moins deux carbones asymétriques ou une double liaison Z/E.

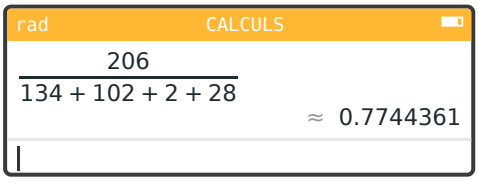
**2.1** L'utilisation atomique vaut $UA_1 = 40\ \%$ pour le procédé Boots et $UA_2 \approx 77\ \%$ pour le procédé BHC. Conclure.

$UA_2 > UA_1$ : dans le procédé BHC, une part bien plus grande de la masse des réactifs se retrouve dans l'ibuprofène (77 % contre 40 %), donc beaucoup moins dans les sous-produits.

Le procédé BHC est plus efficace : il produit moins de déchets et respecte mieux l'environnement, conformément aux principes de la chimie verte.

**COMPRENDRE**
Vérification pour BHC : réactifs $\mathrm{C_{10}H_{14}}$, $\mathrm{C_4H_6O_3}$, $\mathrm{H_2}$ et $\mathrm{CO}$, soit $134 + 102 + 2 + 28 = 266\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$, et $206/266 = 0{,}77$. La chimie verte n'est plus au programme actuel.

**À LA CALCULATRICE**




**2.2** Dans le procédé BHC, Ni et Pd ne sont pas des réactifs. De quel type d'espèces s'agit-il ? Quel est leur rôle ?

Ni et Pd sont des **catalyseurs** : ils augmentent la vitesse de la réaction (ils en réduisent la durée) sans être consommés ; ils n'apparaissent pas dans l'équation de la réaction.

**PIÈGE**
Écrire que le catalyseur augmente le rendement : il agit sur la durée de la transformation, pas sur son état final.

**2.3** L'étape 1 forme le composé du document 1 et de l'acide éthanoïque. S'agit-il d'une addition, d'une élimination ou d'une substitution ?

Sur le cycle de l'isobutylbenzène, un atome $H$ est remplacé par le groupe $-CO-CH_3$ ; l'atome $H$ se retrouve dans l'acide éthanoïque. Il y a deux réactifs et deux produits.

L'étape 1 est une **substitution**.

**MÉTHODE**
Addition : deux réactifs, un seul produit, une liaison multiple disparaît. Élimination : un réactif, deux produits, une liaison multiple apparaît. Substitution : un atome ou un groupe en remplace un autre.

**2.4** À quelle grande catégorie de réactions l'étape 5 du procédé Boots appartient-elle ?

Lors de l'étape 5, le groupe $-CH=N-OH$ devient $-C\equiv N$ : la molécule perd $H$ et $OH$, soit une molécule d'eau, et la double liaison $C=N$ devient triple.

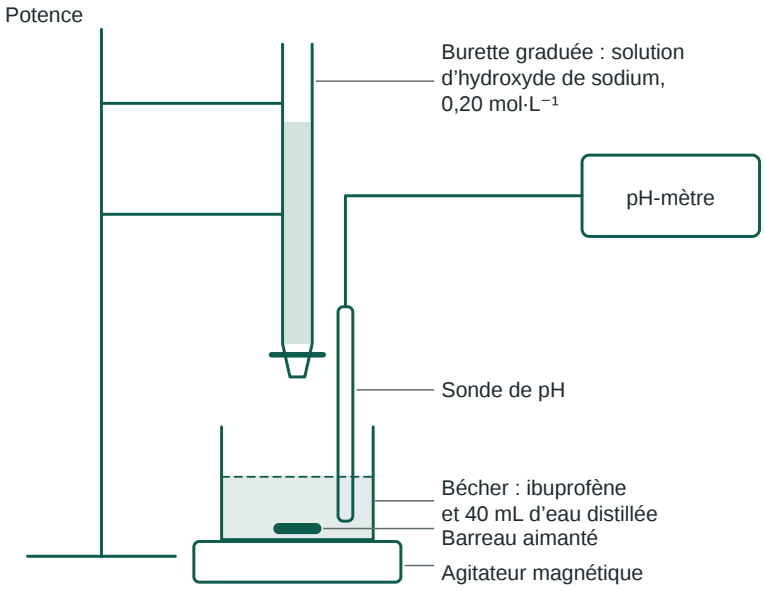
L'étape 5 est une **élimination**.

**3.1** Réaliser un schéma du montage permettant d'effectuer le titrage.

Schéma légendé ci-contre : burette graduée contenant la solution titrante, bécher contenant la solution titrée, agitation magnétique, sonde de pH reliée au pH-mètre.

Solution titrante (hydroxyde de sodium) dans la burette ; ibuprofène et eau distillée dans le bécher.

**PIÈGE**
Un schéma sans légende ou sans pH-mètre perd des points : il faut nommer la verrerie et préciser le contenu de la burette et du bécher.




**3.1** · Montage du titrage suivi par pH-métrie

**3.2** Définir l'équivalence d'un titrage.

À l'équivalence, le réactif titrant et le réactif titré ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de la réaction support : tous deux sont entièrement consommés. C'est l'instant où le réactif limitant change.

**3.3.1** Parmi les courbes 1 et 2, laquelle représente $\mathrm{pH} = f(V_b)$ et laquelle représente $\dfrac{\mathrm{dpH}}{\mathrm{d}V_b} = g(V_b)$ ? Justifier.

On verse une solution basique dans une solution acide : le pH ne peut qu'augmenter. La courbe 1, constamment croissante, est donc $\mathrm{pH} = f(V_b)$.

La courbe 2 est presque nulle là où la courbe 1 varie peu, et présente un pic là où la courbe 1 est la plus pentue : c'est bien sa dérivée.

Courbe 1 : $\mathrm{pH} = f(V_b)$ ; courbe 2 : $\dfrac{\mathrm{dpH}}{\mathrm{d}V_b} = g(V_b)$.

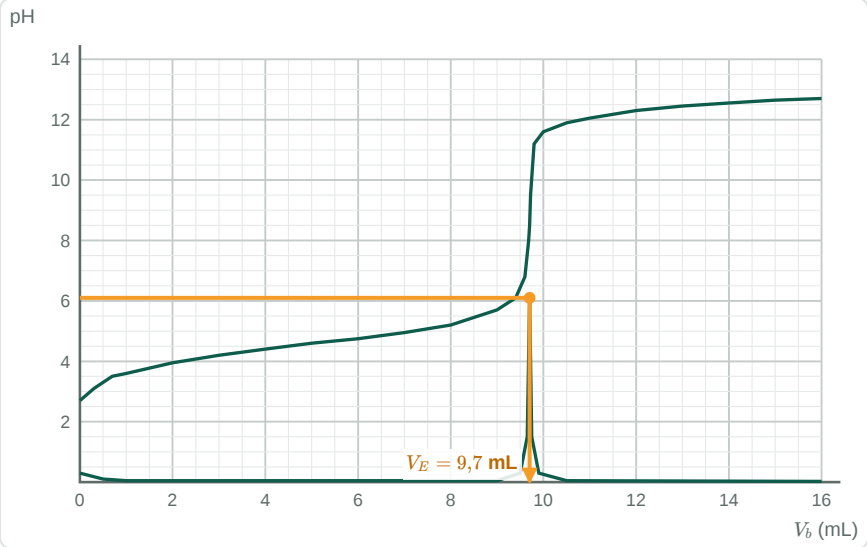
**3.3.2** Déterminer la valeur du volume équivalent $V_E$ par une méthode de votre choix.

À l'équivalence, le pH varie le plus vite : la dérivée $\dfrac{\mathrm{dpH}}{\mathrm{d}V_b}$ est maximale.

On lit l'abscisse du sommet du pic de la courbe 2.

$V_E = 9{,}7\ \mathrm{mL}$

**COMPRENDRE**
La méthode des tangentes parallèles appliquée à la courbe 1 donne le même volume, avec $\mathrm{pH}_E \approx 8{,}5$. Le pic de la dérivée se lit plus vite et plus précisément.




**3.3.2** · Document 3 : le sommet du pic de la courbe 2 donne $V_E$

**3.4** À quel couple acide/base appartient l'ion hydroxyde $\mathrm{HO^-}$ ?

L'ion hydroxyde est une base : il capte un ion $\mathrm{H^+}$ pour donner $\mathrm{H_2O}$.

Couple $\mathrm{H_2O}$ / $\mathrm{HO^-}$

**3.5** Écrire l'équation de la réaction support de titrage.

L'acide $\mathrm{R{-}COOH}$ cède un ion $\mathrm{H^+}$ à la base $\mathrm{HO^-}$ :

$$\mathrm{R{-}COOH\,(aq) + HO^-\,(aq) \longrightarrow R{-}COO^-\,(aq) + H_2O\,(l)}$$

**PIÈGE**
Faire figurer $\mathrm{Na^+}$ dans l'équation : c'est un ion spectateur. La flèche est simple, car la réaction d'un titrage est totale.

**3.6** Quelles caractéristiques doit posséder une réaction chimique pour être utilisée lors d'un titrage ?

La réaction doit être **rapide**, **totale** et **unique** (seule l'espèce titrée réagit avec le réactif titrant).

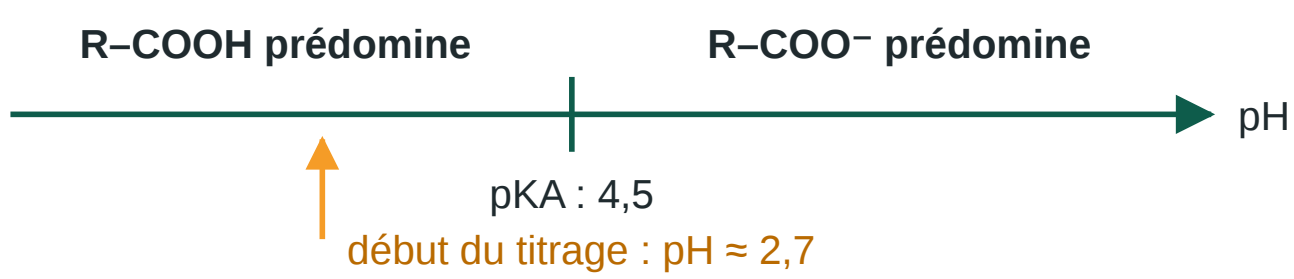
**3.7** Placer sur un diagramme les domaines de prédominance des espèces du couple $\mathrm{R{-}COOH}$ / $\mathrm{R{-}COO^-}$, puis déterminer l'espèce qui prédomine en début de titrage.

**Données utiles** $\mathrm{p}K_A = 4{,}5$ ; document 3

Pour $\mathrm{pH} < \mathrm{p}K_A$, la forme acide $\mathrm{R{-}COOH}$ prédomine ; pour $\mathrm{pH} > \mathrm{p}K_A$, c'est la forme basique $\mathrm{R{-}COO^-}$ (diagramme ci-contre).

Sur la courbe 1, à $V_b = 0$ : $\mathrm{pH} \approx 2{,}7 < 4{,}5$.

En début de titrage, l'acide $\mathrm{R{-}COOH}$ prédomine.




**3.7** · Diagramme de prédominance du couple de l'ibuprofène

**3.8** Calculer le pH de la solution d'hydroxyde de sodium placée dans la burette, dans l'hypothèse d'une solution diluée. Quelles précautions d'utilisation convient-il de prendre ? Justifier.

**Données utiles** $c_b = 0{,}20\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ ; $K_e = 1{,}0 \times 10^{-14}$ à 25 °C

L'hydroxyde de sodium est entièrement dissocié : $[\mathrm{HO^-}] = c_b$. Avec $K_e = [\mathrm{H_3O^+}]\,[\mathrm{HO^-}]$ :

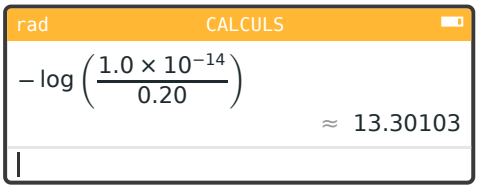
$$[\mathrm{H_3O^+}] = \frac{K_e}{c_b} \qquad \mathrm{pH} = -\log\left(\frac{K_e}{c_b}\right) = -\log\left(\frac{1{,}0 \times 10^{-14}}{0{,}20}\right) = 13{,}3$$

La solution est très basique, donc corrosive : on porte une blouse, des gants et des lunettes de protection.

$\mathrm{pH} = 13{,}3$ ; solution corrosive : blouse, gants et lunettes.

**COMPRENDRE**
Dans $\mathrm{pH} = -\log\left([\mathrm{H_3O^+}]/c^\circ\right)$, la concentration est en $\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ et $c^\circ = 1\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$. Un pH se donne ici avec une décimale : $c_b$ n'a que deux chiffres significatifs.

**À LA CALCULATRICE**




**3.9** Déterminer la quantité de matière d'ions hydroxyde $n_E(\mathrm{HO^-})$ versée à l'équivalence et en déduire la quantité de matière $n_i(\mathrm{ibu})$ d'ibuprofène titré.

**Données utiles** $c_b = 0{,}20\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ ; $V_E = 9{,}7\ \mathrm{mL}$ (3.3.2) ; équation (3.5)

$n_E(\mathrm{HO^-}) = c_b\,V_E = 0{,}20 \times 9{,}7 \times 10^{-3} = 1{,}9 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}$

D'après l'équation du titrage, une mole d'ibuprofène réagit avec une mole d'ions hydroxyde ; à l'équivalence :

$n_i(\mathrm{ibu}) = n_E(\mathrm{HO^-}) = 1{,}9 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}$

**PIÈGE**
Laisser $V_E$ en millilitres : il faut des litres pour obtenir des moles.

**COMPRENDRE**
Deux chiffres significatifs, comme $c_b$ et $V_E$. On garde la valeur non arrondie $1{,}94 \times 10^{-3}$ mol pour le calcul suivant.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$0.20 \times 9.7 \times 10^{-3}$

$\approx$ 0.00194

**3.10** Déduire des résultats précédents la masse $m$ d'ibuprofène titré et la comparer à la valeur attendue.

**Données utiles** $n_i(\text{ibu}) = 1{,}94 \times 10^{-3}$ mol (3.9) ; $M = 206$ g · mol$^{-1}$

$m = n_i(\text{ibu}) \times M = 1{,}94 \times 10^{-3} \times 206 = 0{,}40$ g

Le comprimé annonce 400 mg, soit 0,400 g.

$m = 0{,}40$ g $= 4{,}0 \times 10^2$ mg : la masse titrée est en accord avec l'indication « ibuprofène 400 mg ».

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$1.94 \times 10^{-3} \times 206$

$\approx$ 0.39964

**3.11** Calculer l'incertitude $U(m)$ et présenter le résultat sous la forme $m = m \pm U(m)$.

**Données utiles** $U_{vol} = 0{,}16$ mL ; $U_{C_b} = 0{,}010$ mol · L$^{-1}$ ; $V_E = 9{,}7$ mL (3.3.2) ; $m = 0{,}40$ g (3.10)

$$U(m) = m\sqrt{\left(\frac{U_{vol}}{V_E}\right)^2 + \left(\frac{U_{C_b}}{c_b}\right)^2}$$

$$U(m) = 0{,}40 \times \sqrt{\left(\frac{0{,}16}{9{,}7}\right)^2 + \left(\frac{0{,}010}{0{,}20}\right)^2} = 0{,}021 \text{ g}$$

L'incertitude est arrondie par excès à un chiffre significatif : $U(m) = 0{,}03$ g.

$m = (0{,}40 \pm 0{,}03)$ g

**PIÈGE**

Mélanger les unités dans un rapport : $U_{vol}$ et $V_E$ tous deux en mL. Le dernier chiffre de $m$ doit avoir le même rang que celui de $U(m)$.

**COMPRENDRE**

La masse est comprise entre 0,37 g et 0,43 g avec un niveau de confiance de 95 % : les 400 mg annoncés sont dans cet intervalle. La concentration $c_b$ est la principale source d'incertitude (5 % contre 1,6 %).

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$0.40 \times \sqrt{\left(\frac{0.16}{9.7}\right)^2 + \left(\frac{0.010}{0.20}\right)^2}$

$\approx$ 0.02106022

**3.12** Parmi les indicateurs colorés proposés, quel est celui qui est le mieux adapté au titrage précédent ? Justifier.

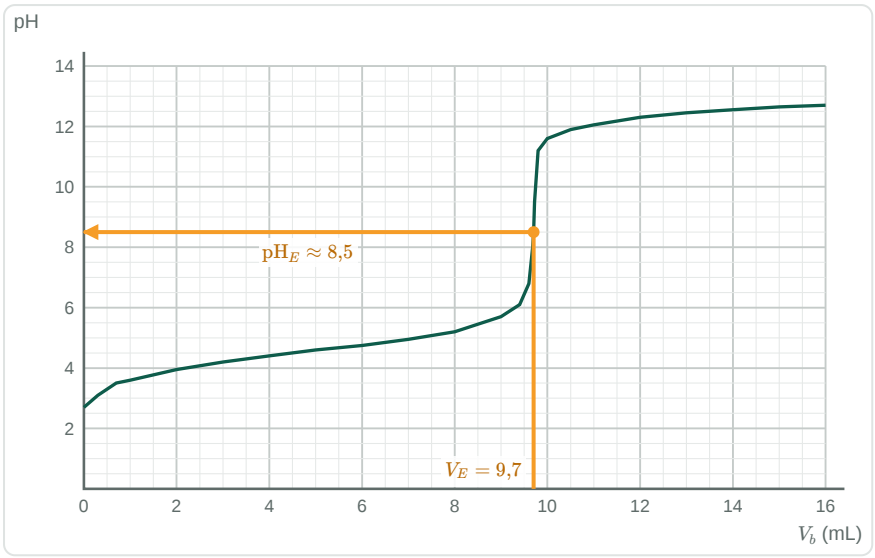
**Données utiles** vert de bromocrésol : 3,8 – 5,4 ; phénolphtaléine : 8,2 – 10 ; jaune d'alizarine : 10,1 – 12,0

La zone de virage de l'indicateur doit contenir le pH à l'équivalence. Sur la courbe 1, pour $V_E = 9{,}7$ mL, on lit $\text{pH}_E \approx 8{,}5$, valeur comprise entre 8,2 et 10.

La **phénolphtaléine** convient : la solution passe de l'incolore au rose à l'équivalence.

**COMPRENDRE**

Le pH à l'équivalence est supérieur à 7 : la solution contient alors la base $\text{R}-\text{COO}^-$. Le saut de pH, de 6 à 11 environ, ne recouvre pas la zone du vert de bromocrésol.




**3.12** · Lecture du pH à l'équivalence sur la courbe 1

# De Hubble à James Webb

Bac S 2013 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

**1.1** Quelle est la trajectoire du télescope Hubble dans le référentiel géocentrique ?

**Données utiles** altitude quasi constante $h = 600$ km

L'altitude $h$ de Hubble est quasi constante : il reste à la même distance $R_T + h$ du centre de la Terre.

Dans le référentiel géocentrique, la trajectoire de Hubble est un **cercle** centré sur le centre de la Terre, de rayon $R_T + h$.

**PIÈGE**
Répondre « une ellipse » sans exploiter le texte. C'est l'altitude constante qui justifie le cercle ; une trajectoire se décrit toujours avec son centre et son rayon.

**1.2** À partir de la deuxième loi de Newton, montrer que, pour une trajectoire circulaire, le mouvement du télescope Hubble est uniforme.

Système {télescope Hubble}, de masse $m$ constante ; référentiel géocentrique supposé galiléen ; seule force : l'attraction gravitationnelle de la Terre.

Dans le repère de Frenet $(H, \vec{n}, \vec{\tau})$, avec $\vec{n}$ dirigé vers le centre T de la Terre :

$$\overrightarrow{F}_{T/H} = \frac{G\,m\,M_T}{(R_T+h)^2}\,\vec{n}$$

Deuxième loi de Newton : $\overrightarrow{F}_{T/H} = m\,\vec{a}$, donc $\vec{a} = \dfrac{G\,M_T}{(R_T+h)^2}\,\vec{n}$.

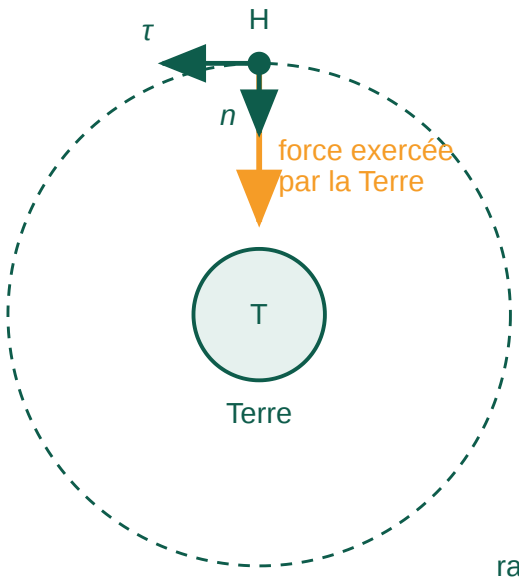
Or, pour un mouvement circulaire de rayon $R_T + h$ : $\vec{a} = \dfrac{v^2}{R_T+h}\,\vec{n} + \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\,\vec{\tau}$.

Par identification selon $\vec{\tau}$ :

$\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$ : la valeur $v$ de la vitesse est constante, le mouvement circulaire est **uniforme**.

**PIÈGE**
Dire que l'accélération est nulle parce que $v$ est constante. Le vecteur vitesse change de direction : l'accélération est centripète, de valeur $v^2/(R_T+h)$.

**MÉTHODE**
Toujours la même démarche pour un satellite : système, référentiel, bilan des forces ; deuxième loi de Newton ; accélération dans le repère de Frenet ; identification. La composante tangentielle donne l'uniformité, la composante normale donne la vitesse.




**1.2** · Hubble sur son orbite : repère de Frenet et force gravitationnelle

**1.3** Montrer que la valeur de la vitesse du satellite dans le référentiel géocentrique est $v = \sqrt{\dfrac{G\,M_T}{R_T + h}}$.

Par identification selon $\vec{n}$ des deux expressions de l'accélération (question 1.2) :

$$\frac{v^2}{R_T + h} = \frac{G\,M_T}{(R_T + h)^2} \quad \text{soit} \quad v^2 = \frac{G\,M_T}{R_T + h}$$

$\boxed{v = \sqrt{\dfrac{G\,M_T}{R_T + h}}}$, ce qui est l'expression attendue.

**COMPRENDRE**
La masse $m$ du télescope a disparu : tous les satellites placés sur la même orbite ont la même vitesse. Plus l'orbite est haute, plus la vitesse est faible.

**1.4** Établir l'expression de la période de révolution $T$ en fonction de $R_T$, $h$ et $v$.

La période $T$ est la durée d'un tour. À la vitesse constante $v$, le télescope parcourt le périmètre $2\pi\,(R_T + h)$ de son orbite : $v = \dfrac{2\pi\,(R_T + h)}{T}$.

$\boxed{T = \dfrac{2\pi\,(R_T + h)}{v}}$

**PIÈGE**
Prendre $2\pi h$ ou $2\pi R_T$ pour la longueur de l'orbite. Le rayon du cercle se compte depuis le centre de la Terre : $R_T + h$.

**1.5** Rappeler la troisième loi de Kepler, puis montrer que pour Hubble $\dfrac{T^2}{r^3} = \dfrac{4\pi^2}{G\,M_T}$, avec $r = R_T + h$.

Troisième loi de Kepler : pour tous les satellites d'un même astre attracteur, le carré de la période de révolution est proportionnel au cube du demi-grand axe $a$ de l'orbite, $\dfrac{T^2}{a^3} = \text{constante}$. Pour une orbite circulaire, $a$ est le rayon $r$.

Avec $r = R_T + h$, la question 1.4 donne $T^2 = \dfrac{4\pi^2\,r^2}{v^2}$ et la question 1.3 donne $v^2 = \dfrac{G\,M_T}{r}$. Donc :

$$T^2 = 4\pi^2\,r^2 \times \frac{r}{G\,M_T} = \frac{4\pi^2\,r^3}{G\,M_T}$$

$\dfrac{T^2}{r^3} = \dfrac{4\pi^2}{G\,M_T}$ : le rapport ne dépend que de la masse de la Terre, c'est bien la troisième loi de Kepler.

**PIÈGE**
Énoncer la loi sans préciser « pour un même astre attracteur ». La constante n'est pas universelle : elle change si l'on passe de la Terre au Soleil.

**1.6** Calculer la période de révolution $T$ du télescope spatial Hubble, exprimée en minutes.

**Données utiles** $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ ; $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg ; $R_T = 6370$ km ; $h = 600$ km

$r = R_T + h = 6370 + 600 = 6970\ \text{km} = 6{,}97 \times 10^6\ \text{m}$

D'après la question 1.5 : $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{r^3}{G\,M_T}}$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{(6{,}97 \times 10^6)^3}{6{,}67 \times 10^{-11} \times 5{,}97 \times 10^{24}}} = 5{,}79 \times 10^3\ \text{s}$$

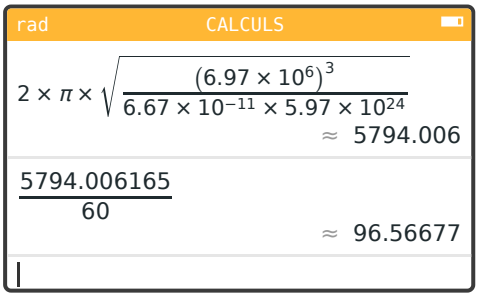
$$T = \frac{5{,}79 \times 10^3}{60} = 96{,}6\ \text{min}$$

$T = 96{,}6$ min, soit environ 1 h 37 min.

**PIÈGE**
Laisser $r$ en kilomètres. $G$ est donnée en unités SI : les distances se convertissent en mètres, sinon la période trouvée est environ 30 000 fois trop petite.

**COMPRENDRE**
Trois chiffres significatifs, comme $G$, $M_T$ et $h$. Hubble fait donc près de quinze tours de la Terre par jour.

**À LA CALCULATRICE**




**2.1.1** Déterminer la valeur $P$ du poids de la fusée Ariane 5 au moment de son décollage.

**Données utiles** $M = 780$ t ; $g = 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

$P = M\,g$ avec $M = 780\ \text{t} = 780 \times 10^3$ kg.

$P = 780 \times 10^3 \times 9{,}8 = 7{,}6 \times 10^6$ N

$P = 7{,}6 \times 10^6$ N

**PIÈGE**
Oublier de convertir les tonnes en kilogrammes : 1 t = $10^3$ kg.

**COMPRENDRE**
Deux chiffres significatifs seulement, car $g$ n'en a que deux. La poussée $F = 14{,}0 \times 10^6$ N vaut presque le double du poids : la fusée peut décoller.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$780 \times 10^3 \times 9.8$

$\approx$ 7644000

**2.1.2** Déduire de la deuxième loi de Newton l'expression de la coordonnée $a_z$ du vecteur accélération du lanceur au décollage, en fonction de $M$, $F$ et $g$.

Système {Ariane 5}, de masse $M$ supposée constante au décollage ; référentiel terrestre supposé galiléen.

Forces : le poids $\vec{P}$, vertical vers le bas, et la poussée $\vec{F}$, verticale vers le haut.

Deuxième loi de Newton : $\vec{P} + \vec{F} = M\,\vec{a}$

En projection sur l'axe $Oz$ orienté vers le haut : $-M\,g + F = M\,a_z$

$$a_z = \frac{F}{M} - g$$

**PIÈGE**
Se tromper de signe en projetant. L'axe $Oz$ est orienté vers le haut : le poids a pour coordonnée $-M\,g$, la poussée $+F$.

**COMPRENDRE**
La masse de la fusée diminue en réalité, car elle éjecte des gaz. Écrire $\sum \vec{F} = M\,\vec{a}$ avec $M$ constante n'est valable que sur une durée très courte après le décollage.

**2.1.3** Calculer l'altitude $z$ du lanceur Ariane 5 au bout de 10 s, l'accélération étant supposée constante.

**Données utiles** $z(t) = \frac{1}{2}\left(\frac{F}{M} - g\right)t^2$ ; $F = 14{,}0 \times 10^6$ N ; $M = 780 \times 10^3$ kg ; $g = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ; $t = 10$ s

$$z = \frac{1}{2}\left(\frac{14{,}0 \times 10^6}{780 \times 10^3} - 9{,}8\right) \times 10^2 = 4{,}1 \times 10^2\ \text{m}$$

$z(10\ \text{s}) = 4{,}1 \times 10^2$ m, soit environ 410 m.

**COMPRENDRE**
L'accélération vaut $a_z = 8{,}1\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$. La relation donnée s'obtient en intégrant deux fois $a_z$ constante, avec une vitesse initiale nulle et $z_0 = 0$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$0.5 \times \left(\frac{14.0 \times 10^6}{780 \times 10^3} - 9.8\right) \times 10^2$

$\approx$ 407.4359

**2.1.4** En réalité, l'altitude d'Ariane 5 est nettement plus faible au bout de 10 s. Proposer une explication énergétique.

Le calcul précédent néglige les frottements de l'air. Or ces forces s'opposent au mouvement : leur travail est résistant (négatif).

Une partie de l'énergie apportée par la poussée est donc dissipée, sous forme thermique, au lieu d'augmenter l'énergie mécanique de la fusée.

L'énergie mécanique (cinétique et potentielle de pesanteur) acquise en 10 s est plus faible que prévu : la fusée va moins vite et monte moins haut.

**MÉTHODE**
« Explication énergétique » : nommer la force non prise en compte, donner le signe de son travail, puis conclure sur l'énergie mécanique. Une force non conservative de travail négatif fait toujours perdre de l'énergie mécanique.

**2.2** Pourquoi le point L2 a-t-il été choisi pour le télescope James Webb plutôt que le point L1 ?

**Données utiles** documents 2 et 3 : L1 est entre le Soleil et la Terre ; L2 est derrière la Terre, à l'opposé du Soleil

Au point L1, situé entre le Soleil et la Terre, le télescope aurait le Soleil d'un côté et la Terre de l'autre : il serait gêné en permanence par le rayonnement de ces deux astres. Ce point convient à l'observation du Soleil (sonde SoHO).

Au point L2, le Soleil et la Terre sont toujours dans la même direction : la Terre fait écran au Soleil et le télescope leur tourne le dos.

En L2, le télescope est protégé du rayonnement du Soleil, notamment infrarouge, et peut observer l'Univers lointain du côté opposé, sans être ébloui.

**COMPRENDRE**

Aux points de Lagrange, un objet accompagne la Terre autour du Soleil en restant immobile par rapport à elle (document 1). En L1 comme en L2, il reste aligné avec le Soleil et la Terre toute l'année.