Corrigé complet — Bac S 2007 Nouvelle-Calédonie (ancien programme)

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

Ex 1	**Radioactivité tellurique** Circuit RC · Charge d'un condensateur · Radioactivité α et β^- · Demi-vie · Loi de décroissance radioactive · Activité	6,5 pts	1 h 18	21 questions	p. 2
Ex 2	**Aspirine de synthèse** Groupes caractéristiques · Synthèse organique et chauffage à reflux · Catalyseur · Tableau d'avancement et rendement · Couple acide-base et diagramme de prédominance	4 pts	52 min	12 questions	p. 8
Ex 3	**Spécialité : étude de médicaments à base d'aspirine** Groupes caractéristiques · Diagramme de prédominance · Saponification d'un ester · Titrage indirect (en retour) · Tableau d'avancement · Formulation d'un médicament	4 pts	52 min	12 questions	p. 12
Ex 4	**Chimie et mouvement pour un projet scientifique** Couples oxydant/réducteur · Avancement et réactif limitant · Temps de demi-réaction · Poussée d'Archimède · Deuxième loi de Newton · Chute libre verticale	5,5 pts	1 h 05	16 questions	p. 16

Comment s'en servir. Fais d'abord le sujet en temps limité, puis corrige-toi exercice par exercice. À gauche de chaque question, sur les carreaux : ce qu'il faut écrire sur ta copie. À droite : les pièges, ce qu'il faut comprendre et les méthodes.

Radioactivité tellurique

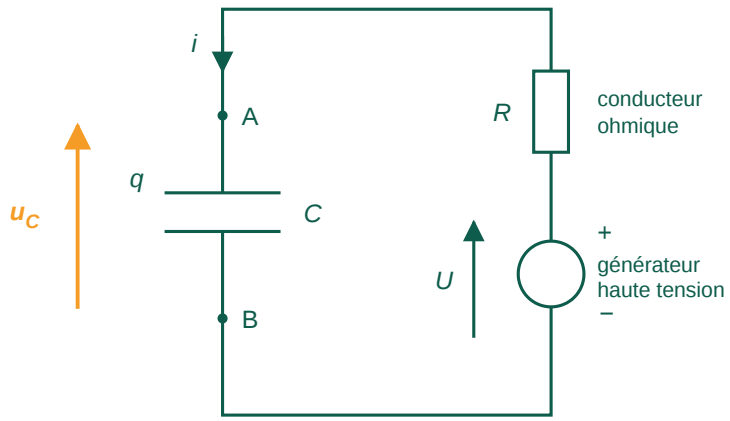
Bac S 2007 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 1 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1.1.1 Sur le schéma de l'annexe, représenter la flèche tension u_C aux bornes du condensateur en convention récepteur, q désignant la charge du condensateur.

En convention récepteur, la flèche tension est de sens opposé à la flèche du courant i. Le courant arrive par A : la pointe de la flèche u_C est du côté de A.

$u_C = u_{AB}$: flèche tracée de B vers A (voir l'annexe).

COMPRENDRE
Avec cette orientation, q est la charge de l'armature par laquelle le courant arrive (A), et $q = C\,u_C$ sans signe moins.



1.1.1 · Annexe complétée : flèche u_C en convention récepteur

1.1.2 Rappeler l'expression de l'intensité i en fonction de la charge q. En déduire, en justifiant, l'intensité I du courant quand le condensateur a atteint sa charge maximale Q.

$i = \dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$

Une fois le condensateur chargé, $q = Q$ ne varie plus : la dérivée d'une constante est nulle.

$$I = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t} = 0 \text{ A}$$

PIÈGE
Répondre $I = 0$ sans justification : la question demande de partir de $i = \mathrm{d}q/\mathrm{d}t$ et de dire que Q est constante.

1.1.3 Calculer la valeur de la charge Q du condensateur dans ces conditions.

Données utiles $C = 1{,}0 \times 10^{-11}$ F ; $U = 500$ V

Le courant est nul (1.1.2), donc la tension aux bornes du conducteur ohmique $R\,I$ est nulle et $u_C = U$.

$Q = C\,U = 1{,}0 \times 10^{-11} \times 500$

$$Q = 5{,}0 \times 10^{-9} \text{ C}$$

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme C, la donnée la moins précise. Sans calculatrice : $500 = 5 \times 10^2$, puis on ajoute les exposants, $-11 + 2 = -9$.

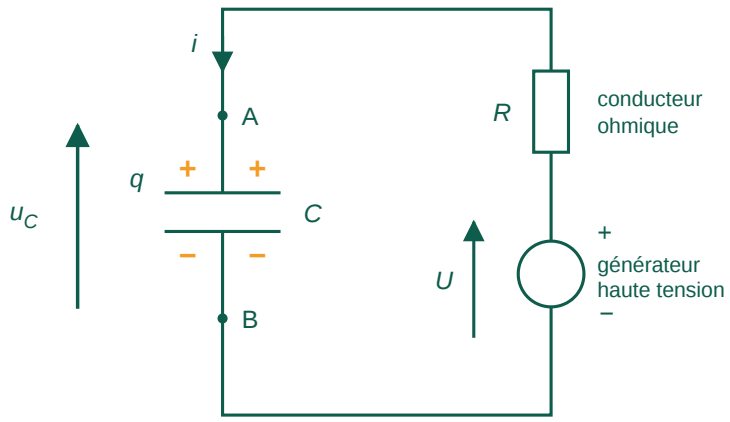
1.1.4 Sur le schéma de l'annexe, indiquer par des signes (+) et (−) la répartition des charges sur les armatures du condensateur chargé.

L'armature A est reliée, à travers le conducteur ohmique, à la borne + du générateur : des électrons lui ont été arrachés, elle porte la charge $+Q$.

L'armature B, reliée à la borne −, a reçu ces électrons : elle porte la charge $-Q$.

Signes (+) sur l'armature A (le fil), signes (−) sur l'armature B (la paroi).

MÉTHODE
Les électrons circulent en sens inverse du courant. Pendant la charge, i arrive sur A : les électrons quittent A et s'accumulent sur B.



1.1.4 · Annexe complétée : signes des charges portées par les armatures

1.2.1 La constante de temps du circuit vérifie $\tau = 2\,\Delta t$. Calculer la valeur de la résistance R.

Données utiles $\Delta t = 0{,}10\ \text{ms}$; $C = 1{,}0 \times 10^{-11}\ \text{F}$

Pour un circuit RC série, $\tau = RC$. Donc $RC = 2\,\Delta t$, soit $R = \dfrac{2\,\Delta t}{C}$.

$$R = \frac{2 \times 0{,}10 \times 10^{-3}}{1{,}0 \times 10^{-11}} = \frac{2{,}0 \times 10^{-4}}{1{,}0 \times 10^{-11}}$$

$R = 2{,}0 \times 10^{7}\ \Omega$, soit $20\ \text{M}\Omega$

PIÈGE
Laisser Δt en millisecondes : il faut $\Delta t = 0{,}10 \times 10^{-3}$ s pour obtenir R en ohms.

1.2.2 Montrer que la charge de l'anode diminue pendant la traversée de la particule.

L'anode (le fil) porte la charge positive $+Q$. Les électrons créés par l'ionisation de l'argon sont attirés par le fil et s'y déposent.

Chaque électron apporte la charge négative $-e$: la charge du fil devient inférieure à Q.

L'anode reçoit des charges négatives : sa charge positive diminue.

1.2.3 Expliquer l'affirmation du texte : « Il en résulte alors une brève diminution de tension entre les électrodes du tube ».

La tension entre les électrodes est $u_C = \dfrac{q}{C}$, avec C constante.

Avant le passage de la particule, $q = Q$ et $u_C = U$. Pendant le passage, q diminue (1.2.2), donc u_C devient inférieure à U.

La diminution est brève : le générateur recharge aussitôt le condensateur à travers R.

q diminue, donc $u_C = \dfrac{q}{C}$ diminue, le temps que le générateur recharge le tube.

COMPRENDRE
La recharge se fait avec la constante de temps $\tau = RC = 0{,}20\ \text{ms}$: le tube est vite prêt à détecter la particule suivante.

1.2.4 Le passage de la particule engendre N électrons et N ions argon. Montrer que la diminution de tension aux bornes du condensateur est $\Delta u_C = -\dfrac{N\,e}{C}$.

Les N électrons apportent à l'anode la charge $-N\,e$. Sa charge passe de Q à $q = Q - N\,e$.

$$\Delta u_C = u_{C,\text{après}} - u_{C,\text{avant}} = \frac{Q - N\,e}{C} - \frac{Q}{C}$$

$\Delta u_C = -\dfrac{N\,e}{C}$, comme attendu.

COMPRENDRE
Les N ions positifs captent N électrons sur la paroi, dont la charge passe de $-Q$ à $-Q + N\,e$: les deux armatures gardent des charges opposées.

2.1.1 Indiquer la composition du noyau de radon 222.

Données utiles figure 7 : $^{222}_{86}\text{Rn}$

$Z = 86$: le noyau contient 86 protons.

$A = 222$ nucléons, donc $A - Z = 222 - 86 = 136$ neutrons.

Noyau de radon 222 : 86 protons et 136 neutrons.

PIÈGE
Ajouter des électrons : la question porte sur le noyau, pas sur l'atome.

2.1.2 Que peut-on dire des noyaux représentés sur une même verticale de la figure 7 ? Justifier.

Sur une même verticale, les noyaux ont le même numéro atomique Z (par exemple $Z = 82$ pour les plombs 214, 210 et 206) mais des nombres de nucléons A différents.

Ce sont des noyaux isotopes : même nombre de protons, nombres de neutrons différents.

2.1.3 Écrire l'équation de désintégration du radon 222 et celle du plomb 214.

D'après la figure 7, le radon 222 est émetteur α (noyau d'hélium 4) et le plomb 214 est émetteur β⁻ (électron).

Radon 222 : $^{222}_{86}\text{Rn} \longrightarrow {}^{218}_{84}\text{Po} + {}^{4}_{2}\text{He}$

Plomb 214 : $^{214}_{82}\text{Pb} \longrightarrow {}^{214}_{83}\text{Bi} + {}^{0}_{-1}\text{e}$

$^{222}_{86}\text{Rn} \longrightarrow {}^{218}_{84}\text{Po} + {}^{4}_{2}\text{He}$ et $^{214}_{82}\text{Pb} \longrightarrow {}^{214}_{83}\text{Bi} + {}^{0}_{-1}\text{e}$

MÉTHODE
Vérifier les deux lois de conservation. Nombre de nucléons : $222 = 218 + 4$ et $214 = 214 + 0$. Nombre de charges : $86 = 84 + 2$ et $82 = 83 - 1$.

2.1.4 Donner le nom et la signification de la grandeur $t_{1/2}$ reportée sur chaque flèche de désintégration de la figure 7, puis sa valeur pour le polonium 218.

$t_{1/2}$ est la demi-vie du noyau radioactif : c'est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux présents dans un échantillon s'est désintégrée.

La flèche qui part du polonium 218 porte l'indication 3,1 min.

Demi-vie du polonium 218 : $t_{1/2} = 3{,}1 \text{ min}$

PIÈGE
Lire 3,8 j : cette valeur est sur la flèche qui part du radon 222. La demi-vie se lit sur la flèche qui quitte le noyau, pas sur celle qui y arrive.

2.2.1 Le filtre est placé dans le détecteur une dizaine de minutes après l'aspiration. Par combien le nombre de noyaux de polonium 218 est-il approximativement divisé : 2, 4, 6 ou 8 ? Justifier.

Données utiles polonium 218 : $t_{1/2} = 3{,}1 \text{ min}$ (2.1.4)

$\frac{10}{3{,}1} \approx 3$: une dizaine de minutes représente environ trois demi-vies du polonium 218.

À chaque demi-vie, le nombre de noyaux est divisé par 2. Après trois demi-vies, il est divisé par $2 \times 2 \times 2 = 2^3$.

Le nombre de noyaux de polonium 218 est divisé par environ 8.

PIÈGE
Répondre 6 en calculant 3×2 : les divisions par 2 se multiplient, elles ne s'ajoutent pas.

2.2.2 L'activité du polonium 218 dans le local est comparable à celle des autres noyaux. En déduire que sa contribution à la radioactivité de l'échantillon introduit plus tard dans le détecteur peut être négligée.

Données utiles demi-vies : plomb 214, 27 min ; bismuth 214, 20 min

L'activité est proportionnelle au nombre de noyaux : en dix minutes, celle du polonium 218 est divisée par 8 environ (2.2.1).

Dans le même temps, les activités du plomb 214 et du bismuth 214 ont peu varié, car dix minutes est une durée nettement inférieure à leurs demi-vies (27 min et 20 min).

Au début des mesures, l'activité du polonium 218 est donc environ 8 fois plus faible que celle des autres noyaux, et elle continue de décroître bien plus vite.

La contribution du polonium 218 est négligeable devant celle du plomb 214 et du bismuth 214.

2.2.3 Le plomb 210 et ses descendants ne participent pas à la radioactivité de l'échantillon. Quels sont les seuls noyaux émetteurs β^- qui contribuent à l'activité mesurée par le détecteur ?

Sur la figure 7, les flèches β^- partent du plomb 214, du bismuth 214 et du plomb 210. Ce dernier est écarté par l'énoncé, ainsi que ses descendants.

Les seuls émetteurs β^- détectés sont le plomb 214 et le bismuth 214.

COMPRENDRE
Le polonium 214, intermédiaire entre bismuth 214 et plomb 210, est un émetteur α : il n'entre pas dans la réponse.

3.1.1 Rappeler l'expression de l'évolution temporelle du nombre N de noyaux d'une population de noyaux de constante radioactive λ.

$N(t) = N_0\,\mathrm{e}^{-\lambda t}$, où N_0 est le nombre de noyaux à la date $t = 0$.

COMPRENDRE
λ s'exprime en s^{-1} si t est en secondes : l'exposant λt n'a pas d'unité.

3.1.2 L'activité est définie par $A(t) = -\dfrac{\mathrm{d}N(t)}{\mathrm{d}t}$. En déduire la relation $A(t) = +\lambda\, N(t)$.

On dérive $N(t) = N_0\, \mathrm{e}^{-\lambda t}$ par rapport au temps :

$$\frac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t} = -\lambda\, N_0\, \mathrm{e}^{-\lambda t} = -\lambda\, N(t)$$

$$A(t) = -\frac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t} = +\lambda\, N(t)$$

PIÈGE
Perdre un signe : la dérivée de $\mathrm{e}^{-\lambda t}$ est $-\lambda\, \mathrm{e}^{-\lambda t}$, et le signe moins de la définition donne une activité positive.

3.1.3 À l'aide de la figure 8, comparer graphiquement et sans calcul l'activité de la population de plomb 214 aux dates $t_1 = 25$ min et $t_2 = 50$ min. Justifier.

$A = -\dfrac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t}$: l'activité est l'opposé du coefficient directeur de la tangente à la courbe $N(t)$.

Sur la courbe du plomb 214, la tangente est moins inclinée à t_2 qu'à t_1 . On le retrouve avec $A = \lambda\, N$: la courbe donne $N(t_2) < N(t_1)$.

$A(t_2) < A(t_1)$: l'activité du plomb 214 est plus faible à 50 min qu'à 25 min.

COMPRENDRE
L'écart $t_2 - t_1 = 25$ min est proche de la demi-vie du plomb 214 (27 min) : l'activité est à peu près divisée par deux entre les deux dates.

3.1.4 À l'aide de la figure 8, comparer graphiquement et sans calcul l'activité de $\dfrac{N_0}{2}$ noyaux de plomb 214 à celle du même nombre de noyaux de bismuth 214. En déduire le radioélément de plus grande constante radioactive.

On repère sur chaque courbe le point d'ordonnée $\dfrac{N_0}{2}$ et on y compare les tangentes : celle de la courbe du bismuth 214 est plus inclinée que celle du plomb 214.

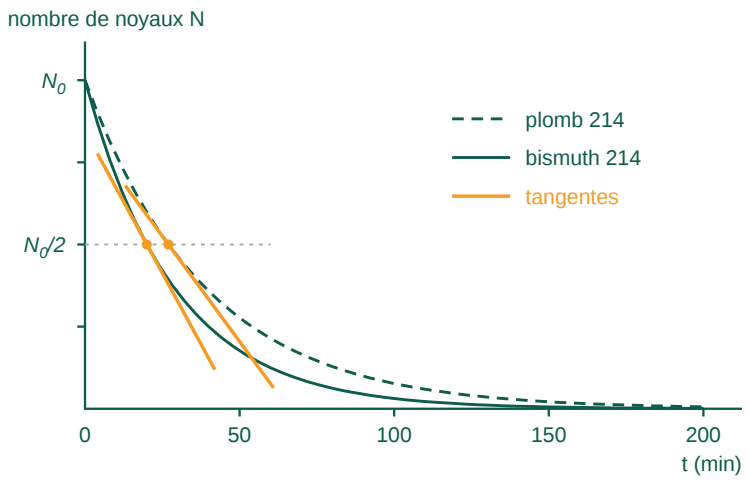
L'activité étant l'opposé du coefficient directeur de la tangente : $A_{\mathrm{Bi}} > A_{\mathrm{Pb}}$.

Or $A = \lambda\, N$ avec le même $N = \dfrac{N_0}{2}$, donc $\lambda_{\mathrm{Bi}}\, \dfrac{N_0}{2} > \lambda_{\mathrm{Pb}}\, \dfrac{N_0}{2}$.

$A_{\mathrm{Bi}} > A_{\mathrm{Pb}}$, donc $\lambda_{\mathrm{Bi}} > \lambda_{\mathrm{Pb}}$: le bismuth 214 a la plus grande constante radioactive.

PIÈGE
Comparer les deux courbes à une même date : les nombres de noyaux y sont différents. Il faut se placer à la même ordonnée $N_0/2$, atteinte à des dates différentes.

COMPRENDRE
Résultat cohérent avec les demi-vies de la figure 7 : 20 min pour le bismuth 214 contre 27 min pour le plomb 214. Plus la demi-vie est courte, plus λ est grande.



3.1.4 · Allure de la figure 8 : tangentes aux deux courbes pour $N = N_0/2$

3.2.1 Identifier les noyaux (plomb 214 et bismuth 214) correspondant aux courbes (a) et (b) de la figure 9. Justifier en décrivant qualitativement l'évolution de la courbe (b).

La courbe (b) part de zéro : à $t = 0$, aucun noyau fils n'est encore formé. Elle croît tant qu'il se forme plus de noyaux de bismuth qu'il ne s'en désintègre, passe par un maximum, puis décroît quand les désintégrations du bismuth l'emportent sur sa formation.

La courbe (a) décroît dès le début, comme une exponentielle : c'est le noyau père, qui ne fait que se désintégrer.

Courbe (a) : plomb 214. Courbe (b) : bismuth 214.

3.2.2 Indiquer, en justifiant, laquelle des équations différentielles (1), (2) ou (3) régit l'évolution temporelle du nombre de noyaux de bismuth 214.

Dans les équations (1) et (3), $\frac{\mathrm{d}N_{\mathrm{Bi}}}{\mathrm{d}t}$ est toujours négative, puisque $\lambda > 0$ et $N > 0$: N_{Bi} ne ferait que décroître. Or la courbe (b) est d'abord croissante.

L'équation (2) contient deux termes : $+\lambda_{\mathrm{Pb}}\, N_{\mathrm{Pb}}$, l'activité du plomb 214, compte les noyaux de bismuth formés par seconde ; $-\lambda_{\mathrm{Bi}}\, N_{\mathrm{Bi}}$ compte ceux qui se désintègrent par seconde.

Équation (2) : $\frac{\mathrm{d}N_{\mathrm{Bi}}}{\mathrm{d}t} = +\lambda_{\mathrm{Pb}}\, N_{\mathrm{Pb}} - \lambda_{\mathrm{Bi}}\, N_{\mathrm{Bi}}$

COMPRENDRE
Le maximum de la courbe (b) correspond à une dérivée nulle : à cet instant $\lambda_{\mathrm{Pb}}\, N_{\mathrm{Pb}} = \lambda_{\mathrm{Bi}}\, N_{\mathrm{Bi}}$, les activités du plomb et du bismuth sont égales.

Aspirine de synthèse

Bac S 2007 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 2 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1 Sur quelle surface, en hectares, faudrait-il abattre des saules chaque année pour produire toute l'aspirine consommée ? Le résultat confirme-t-il la nécessité de la synthèse ?

Données utiles consommation annuelle : 40 000 t ; un saule : 20 m², 2,6 kg d'aspirine ; 1 ha = 10 000 m² ; Paris : 10 500 ha ; aide : $\frac{40}{2,6} = 15$

Masse d'aspirine consommée par an : $m = 40\,000\ \text{t} = 4,0 \times 10^7\ \text{kg}$.

Nombre de saules à abattre : $N = \dfrac{4,0 \times 10^7}{2,6} = \dfrac{40}{2,6} \times 10^6 = 15 \times 10^6$ saules.

Surface occupée : $S = N \times 20 = 15 \times 10^6 \times 20 = 3,0 \times 10^8\ \text{m}^2$, soit $\dfrac{3,0 \times 10^8}{1,0 \times 10^4} = 3,0 \times 10^4$ ha.

C'est environ trois fois la superficie de Paris ($1,05 \times 10^4$ ha), à déboiser chaque année : produire l'aspirine par synthèse est indispensable.

$S = 3,0 \times 10^4$ ha, soit près de trois fois Paris chaque année : la synthèse est nécessaire.

PIÈGE
Convertir les tonnes en kilogrammes avant de diviser par 2,6 kg. L'autre aide ($40 \times 2,6$) ne sert pas : on divise la masse totale par la masse fournie par un arbre.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme 2,6 kg et 20 m². Sans calculatrice, on isole les puissances de dix pour faire apparaître le quotient donné dans l'aide : $40 \div 2,6$.

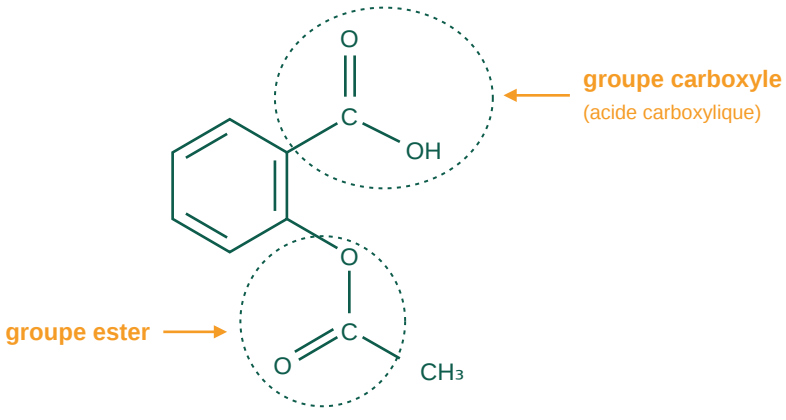
2.1 Sur le schéma de l'acide acétylsalicylique donné en annexe, nommer les groupes caractéristiques entourés.

Groupe du haut ($-COOH$) : groupe carboxyle, celui des acides carboxyliques.

Groupe du bas ($-O-CO-CH_3$) : groupe ester.

En haut : groupe **carboxyle** ; en bas : groupe **ester**.

PIÈGE
Le groupe du bas contient aussi $C{=}O$, mais le carbone est lié à un oxygène qui porte une chaîne carbonée, et non à un OH : c'est un ester, pas un second acide.



2.1 · Annexe, question 2.1 : groupes caractéristiques nommés (en orange)

2.2 Indiquer l'ordre des étapes A à E à suivre pour réaliser la synthèse de l'aspirine.

D : on introduit les réactifs et l'acide sulfurique dans le ballon.

B : on chauffe à reflux, la transformation a lieu.

A : l'eau froide fait apparaître les cristaux d'aspirine, très peu soluble dans l'eau.

E : on isole le solide par filtration sur büchner.

C : on purifie par recristallisation, on filtre puis on pèse.

Ordre : D, B, A, E, C.

MÉTHODE
Une synthèse suit toujours le même plan : transformation (réactifs, chauffage), isolement du produit brut (cristallisation, filtration), purification, puis pesée pour calculer le rendement.

2.3 Par quel autre composé aurait-on pu remplacer l'anhydride éthanoïque ? Quel(s) avantage(s) apporte l'anhydride éthanoïque ?

On aurait pu utiliser l'acide éthanoïque CH_3COOH : il réagit avec le groupe hydroxyle de l'acide salicylique pour former le même ester (estérification).

Mais l'estérification par un acide carboxylique est lente et limitée : elle conduit à un équilibre. Avec l'anhydride, la transformation est rapide et totale, car il ne se forme pas d'eau et l'ester ne peut pas être hydrolysé.

Autre réactif : l'acide éthanoïque. Avec l'anhydride éthanoïque, la transformation est rapide et **totale** (meilleur rendement).

COMPRENDRE
Avec l'acide éthanoïque, le second produit serait l'eau, qui hydrolyse l'ester : la transformation s'arrête à un état d'équilibre. Avec l'anhydride, le second produit est l'acide éthanoïque.

2.4 Quel est le rôle de l'acide sulfurique ?

L'acide sulfurique, ajouté en très petite quantité (quelques gouttes), est un catalyseur : il accélère la transformation et n'apparaît pas dans l'équation de la réaction.

L'acide sulfurique est un **catalyseur** : il augmente la vitesse de la transformation.

PIÈGE
Un catalyseur ne change pas l'état final : écrire qu'il « augmente le rendement » fait perdre le point.

2.5 Nommer les éléments du montage à reflux numérotés de 1 à 6. Quel est l'intérêt de ce montage ?

① sortie de l'eau de refroidissement ; ② réfrigérant à boules ; ③ arrivée de l'eau froide ; ④ ballon contenant le mélange réactionnel ; ⑤ chauffe-ballon ; ⑥ support élévateur.

Le chauffage accélère la transformation (la température est un facteur cinétique). Les vapeurs qui se forment se liquéfient dans le réfrigérant et retombent dans le ballon : on chauffe sans perdre de matière.

Le reflux permet de chauffer, donc d'accélérer la transformation, **sans perte de matière**.

COMPRENDRE
L'eau entre par le bas du réfrigérant et sort par le haut : il reste ainsi toujours rempli. Le support élévateur permet de retirer rapidement le chauffe-ballon pour arrêter le chauffage.

2.6.1 Vérifier que l'anhydride éthanoïque est en excès au début de la transformation.

Données utiles $m_1 = 5{,}0$ g d'acide salicylique, $M_1 = 138\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $V_2 = 10$ mL d'anhydride, $M_2 = 102\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $\mu = 1{,}08 \times 10^3\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; aide : $\frac{5}{138} = 0{,}036$; $\frac{10{,}8}{102} = 0{,}11$

Acide salicylique : $n_1 = \dfrac{m_1}{M_1} = \dfrac{5{,}0}{138} = 0{,}036\ \text{mol}$.

Anhydride éthanoïque : $\mu = 1{,}08 \times 10^3\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3} = 1{,}08\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, donc $m_2 = \mu V_2 = 1{,}08 \times 10 = 10{,}8$ g et

$$n_2 = \frac{\mu V_2}{M_2} = \frac{10{,}8}{102} = 0{,}11\ \text{mol}$$

D'après l'équation, les deux réactifs réagissent mole à mole. Comme $n_2 > n_1$, l'acide salicylique est le réactif limitant.

$n_2 = 0{,}11\ \text{mol} > n_1 = 0{,}036\ \text{mol}$: l'anhydride éthanoïque est bien en excès.

PIÈGE
La masse volumique est donnée en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ et le volume en mL : $1{,}08 \times 10^3\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ vaut $1{,}08\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$. Sans cette conversion, n_2 est faux d'un facteur mille.

MÉTHODE
Comparer directement les quantités initiales n'est permis que si les nombres stœchiométriques sont égaux. Sinon, on compare les quotients n_i divisé par le nombre stœchiométrique.

2.6.2 La masse de cristaux d'aspirine obtenue est de 6,0 g. Compléter le tableau d'avancement de l'annexe et l'utiliser pour déterminer le rendement de la transformation.

Données utiles $m_{\text{exp}} = 6{,}0$ g ; $M(\text{aspirine}) = 180\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $n_1 = 0{,}036$ mol (2.6.1) ; aide : $\frac{6}{180} = 0{,}033$; $\frac{33}{36} = 0{,}92$

Tableau complété : voir l'annexe ci-dessous.

Avancement maximal : l'acide salicylique est limitant, donc $0{,}036 - x_{\max} = 0$, soit $x_{\max} = 0{,}036$ mol.

Avancement final : la quantité d'aspirine obtenue est $x_f = \dfrac{m_{\text{exp}}}{M} = \dfrac{6{,}0}{180} = 0{,}033$ mol.

Rendement :

$$\eta = \frac{x_f}{x_{\max}} = \frac{0{,}033}{0{,}036} = \frac{33}{36} = 0{,}92$$

$\eta = 0{,}92$, soit un rendement de 92 %.

PIÈGE
Parmi les aides figure aussi $36 \div 33 = 1{,}1$: un rendement ne dépasse jamais 1. C'est bien la quantité obtenue qui se place au numérateur.

COMPRENDRE
Le rendement compare ce que l'on a obtenu à ce que l'on obtiendrait au maximum. Il est inférieur à 100 % : une partie de l'aspirine est perdue lors des filtrations et de la recristallisation.

Équation chimique		acide salicylique +	anhydride éthanoïque =	acide acétylsalicylique +	acide éthanoïque
	Avancement	Quantités de matière (en mol)			
État initial	0	0,036	0,11	0	0
État intermédiaire	x	0,036 – x	0,11 – x	x	x
État final	x_f	0,036 – x_f	0,11 – x_f	x_f	x_f

2.6.2 · Annexe, question 2.6.2 : tableau d'avancement complété (en orange)

3.1 L'acide acétylsalicylique AH réagit avec l'eau. Écrire l'équation de la réaction modélisant cette transformation.

AH est un acide : il cède un ion H^+ à l'eau, qui joue le rôle de base.

$$\text{AH}\,(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}\,(\text{l}) = \text{A}^-\,(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+\,(\text{aq})$$

COMPRENDRE
Deux couples acide-base interviennent : AH/A^- et $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2\text{O}$. On vérifie la conservation des éléments et celle de la charge (zéro de chaque côté).

3.2 Calculer la concentration molaire c_S en soluté apporté de la solution S.

Données utiles $m = 500$ mg ; $V_S = 200$ mL ; $M = 180\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; aide : $\dfrac{2,5}{180} = 1,4 \times 10^{-2}$

$c_S = \dfrac{n}{V_S} = \dfrac{m}{M\,V_S}$ avec $m = 0,500$ g et $V_S = 0,200$ L.

$$c_S = \frac{0,500}{180 \times 0,200} = \frac{2,5}{180} = 1,4 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$c_S = 1,4 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

PIÈGE
Convertir 500 mg en grammes et 200 mL en litres. La seconde aide du sujet est fausse ($2,5 \times 180$ vaut 450) et ne sert de toute façon pas : on divise par la masse molaire.

MÉTHODE
Faire apparaître d'abord la concentration en masse, $0,500 \div 0,200 = 2,5\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, puis diviser par M : on retrouve exactement le quotient de l'aide.

3.3.1 Tracer le diagramme de prédominance des espèces chimiques du couple AH/A^-.

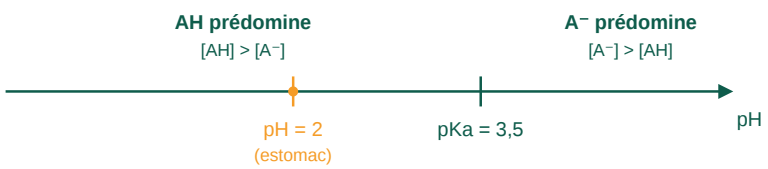
Données utiles $\text{p}K_a(\text{AH}/\text{A}^-) = 3,5$

Sur un axe gradué en pH, la frontière est placée à $\text{pH} = \text{p}K_a = 3,5$.

Pour $\text{pH} < 3,5$, l'acide AH prédomine ; pour $\text{pH} > 3,5$, la base A^- prédomine.

AH prédomine pour $\text{pH} < 3,5$; A^- prédomine pour $\text{pH} > 3,5$ (diagramme ci-dessous).

COMPRENDRE
Cela vient de $\text{pH} = \text{p}K_a + \log\dfrac{[\text{A}^-]}{[\text{AH}]}$: si $\text{pH} < \text{p}K_a$, le logarithme est négatif, donc $[\text{A}^-] < [\text{AH}]$. À $\text{pH} = \text{p}K_a$, les deux concentrations sont égales.



3.3.1 · Diagramme de prédominance du couple AH / A⁻

3.3.2 Le pH de l'estomac est d'environ 2. Sous quelle forme, AH ou A^-, l'organisme assimile-t-il l'aspirine dans l'estomac ?

Données utiles $\text{pH} \approx 2$; $\text{p}K_a = 3,5$

Dans l'estomac, $\text{pH} = 2 < \text{p}K_a = 3,5$: on se trouve dans le domaine de prédominance de l'acide.

L'aspirine est assimilée dans l'estomac sous la forme acide **AH**.

PIÈGE
Citer la forme sans justifier ne rapporte pas tous les points : il faut comparer explicitement le pH de l'estomac au $\text{p}K_a$ du couple.

Spécialité : étude de médicaments à base d'aspirine

Bac S 2007 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

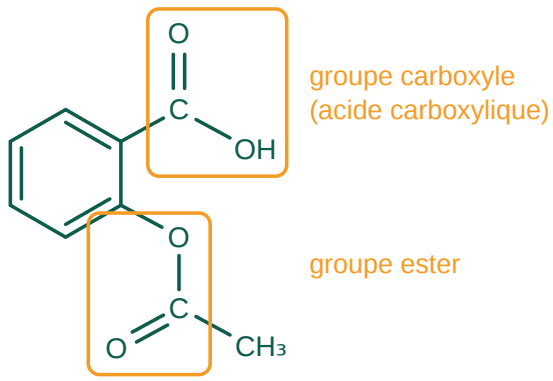
1.1 Recopier la formule de l'aspirine, encadrer les groupes caractéristiques qu'elle contient et les nommer.

La molécule porte deux groupes caractéristiques, encadrés sur la formule ci-dessous :

- le groupe **carboxyle** $-\mathrm{COOH}$ (fonction acide carboxylique) ;
- le groupe **ester** $-\mathrm{O}-\mathrm{CO}^-$, lié au cycle par son atome d'oxygène.

Aspirine : un groupe carboxyle et un groupe ester.

PIÈGE
Le groupe ester s'arrête au carbone : on encadre $\mathrm{O}-\mathrm{C}=\mathrm{O}$, sans le $\mathrm{CH_3}$. Ne pas y voir une cétone ou un second acide : ici l'oxygène relie le carbone au cycle.



1.1 · Formule de l'aspirine, groupes caractéristiques encadrés

1.2 Tracer le diagramme de prédominance du couple AH/A^-. Sous quelle forme l'organisme assimile-t-il l'aspirine dans l'estomac et dans l'intestin ?

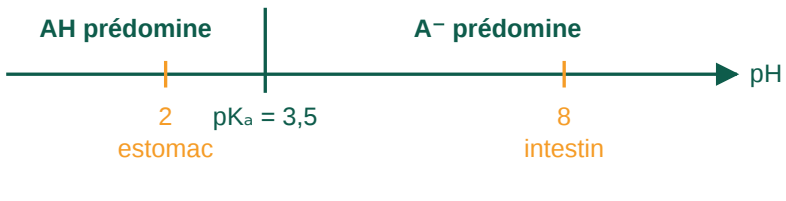
Données utiles $\mathrm{p}K_a(\mathrm{AH}/\mathrm{A}^-) = 3{,}5$; $\mathrm{pH}_{\text{estomac}} = 2$; $\mathrm{pH}_{\text{intestin}} = 8$

Pour $\mathrm{pH} < \mathrm{p}K_a$, l'acide AH prédomine ; pour $\mathrm{pH} > \mathrm{p}K_a$, c'est la base A^- (diagramme ci-dessous).

- Estomac : $\mathrm{pH} = 2 < 3{,}5$, donc AH prédomine.
- Intestin : $\mathrm{pH} = 8 > 3{,}5$, donc A^- prédomine.

L'aspirine est assimilée sous la forme AH dans l'estomac et sous la forme A^- dans l'intestin.

COMPRENDRE
À $\mathrm{pH} = \mathrm{p}K_a$, les deux formes ont la même concentration. Dans l'intestin, $\mathrm{pH} - \mathrm{p}K_a = 4{,}5$: la forme AH y est environ $30\,000$ fois moins concentrée que A^-.



1.2 · Diagramme de prédominance du couple AH / A⁻

2.1 Pourquoi l'aspirine simple est-elle absorbée par la muqueuse gastrique ?

Dans l'estomac ($\mathrm{pH} = 2$), l'aspirine est sous la forme AH (question 1.2). Cette forme est liposoluble, et les tissus de la muqueuse gastrique contiennent des lipides : AH s'y dissout et traverse la paroi.

L'aspirine simple est absorbée dans l'estomac car la forme AH, qui y prédomine, est soluble dans les lipides de la muqueuse.

MÉTHODE
Une justification complète enchaîne trois maillons : le pH du milieu, la forme qui prédomine à ce pH, la propriété de cette forme donnée dans l'énoncé.

2.2 Justifier le mode d'administration de l'aspirine simple indiqué dans la notice.

La notice demande de disperser complètement le comprimé dans un grand verre d'eau : l'aspirine arrive alors dans l'estomac en fines particules diluées, et non en un bloc qui resterait au contact d'une même zone de la muqueuse.

La prise pendant le repas va dans le même sens : mêlée aux aliments, l'aspirine touche moins directement la paroi.

Dispersion dans l'eau et prise au repas réduisent la concentration locale de AH sur la muqueuse, donc le risque de lésion (ulcère, saignement).

COMPRENDRE
Le comprimé se disperse sans vraiment se dissoudre : la forme AH, liposoluble, est peu soluble dans l'eau. D'où le mot « dispersion » de la notice.

2.3.1 Calculer la quantité de matière $n_i(\mathrm{HO^-})$ d'ions hydroxyde introduits dans le ballon.

Données utiles $V_B = 10{,}0$ mL de soude ; $c_B = 1{,}0\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$

$$n_i(\mathrm{HO^-}) = c_B \times V_B$$
$$n_i(\mathrm{HO^-}) = 1{,}0 \times 10{,}0 \times 10^{-3}$$
$$\boxed{n_i(\mathrm{HO^-}) = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol}}$$

PIÈGE
Laisser le volume en millilitres : $10{,}0\ \mathrm{mL} = 10{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{L}$.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme c_B, la donnée la moins précise. Les 10 mL d'eau distillée ajoutés dans le ballon ne changent pas la quantité d'ions hydroxyde introduite.

2.3.2 Déduire du volume équivalent la quantité n d'ions hydroxyde en excès dans le prélèvement de 10,0 mL, puis la quantité n' en excès dans les 100,0 mL de solution.

Données utiles $c_A = 5{,}0 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $V_{AE} = 8{,}4$ mL ; équation (2) : $\mathrm{H_3O^+ + HO^- \longrightarrow 2\,H_2O}$

À l'équivalence, les réactifs de l'équation (2) ont été introduits dans les proportions stœchiométriques (1 pour 1) :

$$n = n(\mathrm{H_3O^+})_{\text{versé}} = c_A \times V_{AE}$$
$$n = 5{,}0 \times 10^{-2} \times 8{,}4 \times 10^{-3} = 4{,}2 \times 10^{-4}\ \mathrm{mol}$$

Le prélèvement (10,0 mL) représente un dixième de la fiole (100,0 mL) :

$$n' = \frac{100{,}0}{10{,}0} \times n = 10 \times n$$
$$\boxed{n = 4{,}2 \times 10^{-4}\ \mathrm{mol} \text{ et } n' = 4{,}2 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}}$$

PIÈGE
Oublier le facteur 10 entre le prélèvement et la fiole : la masse finale serait alors très éloignée de 500 mg.

MÉTHODE
Sans calculatrice, séparer nombres et puissances : $5{,}0 \times 8{,}4 = 42$ et $10^{-2} \times 10^{-3} = 10^{-5}$, soit $42 \times 10^{-5} = 4{,}2 \times 10^{-4}$.

2.3.3 À l'aide de l'équation (1), déterminer la quantité d'ions hydroxyde consommée lors de la transformation et en déduire la quantité d'aspirine présente dans le ballon.

Données utiles $n_i(\mathrm{HO^-}) = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol (2.3.1) ; $n' = 4{,}2 \times 10^{-3}$ mol (2.3.2)

Les ions hydroxyde consommés sont ceux qui ont été introduits et qui ne sont plus présents à la fin :

$$n(\mathrm{HO^-}) = n_i(\mathrm{HO^-}) - n' = 10 \times 10^{-3} - 4{,}2 \times 10^{-3} = 5{,}8 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}$$

Tableau d'avancement de la réaction (1), la soude étant en excès :

Équation (1)	AH	$2\,\mathrm{HO^-}$
État initial	$n(\mathrm{AH})$	$n_i(\mathrm{HO^-})$
État final	$n(\mathrm{AH}) - x_{max} = 0$	$n_i(\mathrm{HO^-}) - 2\,x_{max} = n'$

Donc $n(\mathrm{AH}) = x_{max} = \dfrac{n(\mathrm{HO^-})}{2} = \dfrac{5{,}8 \times 10^{-3}}{2}$

$n(\mathrm{HO^-}) = 5{,}8 \times 10^{-3}$ mol consommée ; $n(\mathrm{AH}) = 2{,}9 \times 10^{-3}$ mol

COMPRENDRE
Une molécule d'aspirine consomme deux ions hydroxyde : l'un réagit avec le groupe carboxyle (réaction acide-base), l'autre avec le groupe ester (saponification). C'est le coefficient 2 de l'équation (1).

MÉTHODE
Titrage indirect (en retour) : on introduit un excès connu de réactif, on titre ce qui reste, et la différence donne la quantité qui a réagi avec l'espèce étudiée.

2.3.4 En déduire la masse m d'aspirine contenue dans le comprimé, calculer l'écart relatif avec la notice et conclure sur l'indication « 500 mg ».

Données utiles $n(\mathrm{AH}) = 2{,}9 \times 10^{-3}$ mol (2.3.3) ; $M = 180\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $m_{\text{notice}} = 500$ mg ; aides : $2{,}9 \times 180 = 522$ et $\dfrac{22}{500} = 0{,}044$

$m = n(\mathrm{AH}) \times M = 2{,}9 \times 10^{-3} \times 180 = 522 \times 10^{-3}$ g, soit $m \approx 0{,}52$ g (522 mg avant arrondi).

Écart relatif :

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{m - m_{\text{notice}}}{m_{\text{notice}}} = \frac{522 - 500}{500} = \frac{22}{500} = 0{,}044$$

L'écart est faible (moins de 5 %) : il est compatible avec la précision du dosage.

$m \approx 5{,}2 \times 10^2$ mg ; écart relatif de $4{,}4\ \%$: le dosage confirme l'indication « 500 mg ».

PIÈGE
Diviser par la masse mesurée au lieu de la masse de la notice : la valeur de référence est celle du fabricant, placée au dénominateur.

COMPRENDRE
Les données ont deux chiffres significatifs : $m = 0{,}52$ g. Le calcul de l'écart garde 522 mg, comme le suggère l'aide au calcul ; avec 520 mg on trouverait 4 %, ce qui ne change pas la conclusion.

3.1 Interpréter l'expérience A et justifier l'indication « comprimé gastro-résistant ».

Dans l'expérience A, le comprimé d'aspirine pH8 reste intact dans la solution d'acide chlorhydrique et se dissout dans la solution de soude : son enrobage résiste à un milieu acide et se dissout en milieu basique.

Or le contenu de l'estomac est acide ($\mathrm{pH} = 2$) : le comprimé le traverse sans se désagréger.

Le comprimé ne se dissout pas en milieu acide, donc pas dans l'estomac : il est « gastro-résistant ».

COMPRENDRE
Les excipients diffèrent de ceux de l'aspirine simple : l'acétophtalate de cellulose et le phtalate d'éthyle forment la pellicule protectrice, insoluble en milieu acide.

3.2 Pourquoi qualifie-t-on l'aspirine pH8 d'aspirine « retard » ?

Le comprimé franchit l'estomac sans libérer l'aspirine. Il ne se dissout qu'une fois arrivé dans l'intestin, milieu basique ($\mathrm{pH} = 8$), où l'aspirine passe alors dans l'organisme sous la forme $\mathrm{A^-}$.

Le principe actif n'est libéré qu'après le passage de l'estomac : son action est retardée par rapport à celle de l'aspirine simple.

3.3 Interpréter l'expérience B pour expliquer pourquoi les comprimés doivent être avalés « tels quels », sans les croquer.

Comprimé entier : le bleu de bromothymol reste bleu, la solution n'est pas acide. L'enrobage isole donc l'acide acétylsalicylique de l'eau.

Comprimé écrasé : l'indicateur vire au jaune, la solution est devenue acide. L'enrobage détruit, l'acide AH est passé en solution.

Croquer le comprimé revient à l'écraser : AH serait libéré dès l'estomac, au contact de la muqueuse.

Sans son enrobage intact, le comprimé n'est plus gastro-résistant : il faut l'avaler entier.

PIÈGE
Ne pas conclure que le comprimé « est basique » parce que l'indicateur est bleu : la couleur indique seulement que l'acide enfermé dans l'enrobage n'a pas atteint la solution.

3.4 Dans quel(s) but(s) cette formulation a-t-elle été créée ?

L'aspirine pH8 évite le contact de l'acide AH avec la muqueuse gastrique : elle limite les risques d'ulcère et de saignement de l'estomac signalés dans l'introduction.

Elle convient donc aux usages mentionnés sur sa notice, absents de celle de l'aspirine simple : prises à dose élevée (anti-inflammatoire) et traitement régulier (antiagrégant plaquettaire), pour lesquels une action immédiate n'est pas nécessaire.

Protéger l'estomac, en particulier lors de prises à forte dose ou répétées, au prix d'une action plus tardive.

Chimie et mouvement pour un projet scientifique

Bac S 2007 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 4 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1 Identifier les couples oxydant/réducteur mis en jeu dans l'équation de la réaction.

Données utiles $\mathrm{Mg\,(s) + 2\,H^+\,(aq) = Mg^{2+}\,(aq) + H_2\,(g)}$

Le magnésium cède deux électrons, il est oxydé :
$\mathrm{Mg\,(s) = Mg^{2+}\,(aq) + 2\,e^-}$

Les ions hydrogène captent ces électrons, ils sont réduits :
$\mathrm{2\,H^+\,(aq) + 2\,e^- = H_2\,(g)}$

Couples : $\mathrm{Mg^{2+}\,(aq)\ /\ Mg\,(s)}$ et $\mathrm{H^+\,(aq)\ /\ H_2\,(g)}$

PIÈGE
Un couple s'écrit toujours dans l'ordre oxydant / réducteur. Écrire $\mathrm{Mg\ /\ Mg^{2+}}$ ou associer Mg et $\mathrm{H^+}$ (les deux réactifs) dans un même couple fait perdre les points.

1.2 À partir des quantités de matière initiales des réactifs, montrer que l'avancement maximal vaut $x_{max} = 5{,}0 \times 10^{-3}$ mol.

Données utiles acide : $c = 0{,}50\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$, $V = 40$ mL ; magnésium : $m = 0{,}12$ g, $M = 24\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$

Quantités initiales :

$$n_0(\mathrm{Mg}) = \frac{m}{M} = \frac{0{,}12}{24} = 5{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}$$

$$n_0(\mathrm{H^+}) = c\,V = 0{,}50 \times 40 \times 10^{-3} = 2{,}0 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol}$$

Tableau d'avancement (quantités en mmol) :

État	Mg	$\mathrm{2\,H^+}$	$\mathrm{Mg^{2+}}$	$\mathrm{H_2}$
$x = 0$	$5{,}0$	20	0	0
x	$5{,}0 - x$	$20 - 2x$	x	x
x_{max}	$5{,}0 - x_{max}$	$20 - 2x_{max}$	x_{max}	x_{max}

Si Mg est limitant : $5{,}0 - x_{max} = 0$, soit $x_{max} = 5{,}0$ mmol $= 5{,}0 \times 10^{-3}$ mol. Si $\mathrm{H^+}$ est limitant : $x_{max} = \dfrac{2{,}0 \times 10^{-2}}{2} = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol.

La plus petite valeur est la bonne : le magnésium est le réactif limitant.

$x_{max} = 5{,}0 \times 10^{-3}$ mol, valeur attendue.

PIÈGE
Oublier le nombre stœchiométrique 2 devant $\mathrm{H^+}$: il faut comparer $n_0(\mathrm{Mg})$ à $n_0(\mathrm{H^+})/2$, pas à $n_0(\mathrm{H^+})$. Penser aussi à convertir 40 mL en litres.

COMPRENDRE
Les données ont deux chiffres significatifs (0,12 g ; 24 ; 0,50) : les résultats en gardent deux. Sans calculatrice : $0{,}12/24 = 12 \times 10^{-2}/24 = 0{,}50 \times 10^{-2}$.

1.3 Déterminer graphiquement le volume de dihydrogène à l'état final et en déduire l'avancement final x_f.

Données utiles figure 2 de l'annexe ; $V_m = 24\ \mathrm{L \cdot mol^{-1}}$

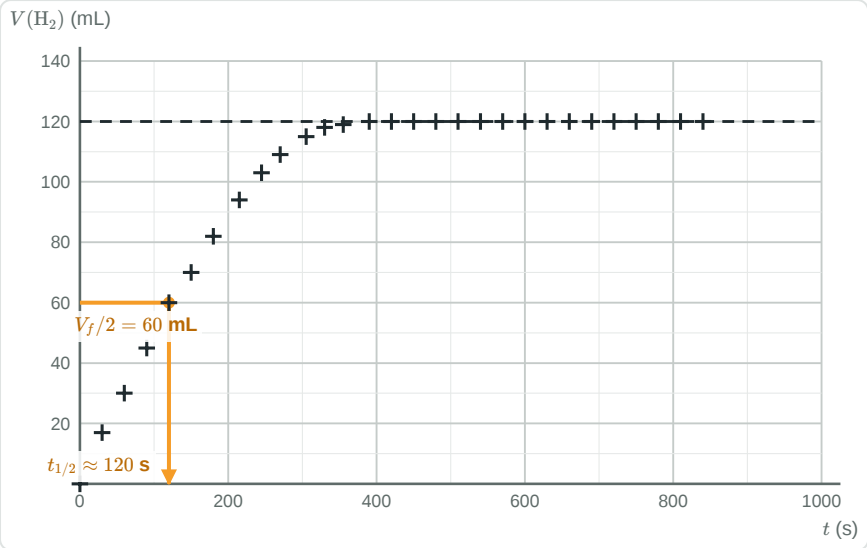
La courbe atteint un palier horizontal : $V_f(\mathrm{H_2}) = 120\ \mathrm{mL} = 0{,}12$ L.

D'après le tableau d'avancement, $n_f(\mathrm{H_2}) = x_f$, et $n_f(\mathrm{H_2}) = \dfrac{V_f(\mathrm{H_2})}{V_m}$, donc

$$x_f = \frac{V_f(\mathrm{H_2})}{V_m} = \frac{0{,}12}{24} = 5{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}$$

$V_f(\mathrm{H_2}) = 1{,}2 \times 10^2$ mL et $x_f = 5{,}0 \times 10^{-3}$ mol

PIÈGE
Le volume lu est en mL alors que V_m est en $\mathrm{L \cdot mol^{-1}}$: sans conversion, on trouve une valeur mille fois trop grande.



1.3 · Annexe complétée (figure 2) : palier final et lecture de $t_{1/2}$

1.4 La transformation est-elle totale ? Justifier.

Données utiles x_{max} (1.2) ; x_f (1.3)

On compare l'avancement final à l'avancement maximal : $x_f = 5{,}0 \times 10^{-3}$ mol et $x_{max} = 5{,}0 \times 10^{-3}$ mol.

Le taux d'avancement final vaut $\tau = \dfrac{x_f}{x_{max}} = 1{,}0$: le réactif limitant (le magnésium) est entièrement consommé.

$x_f = x_{max}$: la transformation est totale.

COMPRENDRE
Le palier de la courbe indique seulement que le système n'évolue plus. Pour savoir si la transformation est totale, il faut comparer la valeur de ce palier à ce que prévoit x_{max}.

1.5 Définir le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ puis le déterminer graphiquement, la méthode apparaissant sur la figure 2.

Données utiles $V_f(H_2) = 120$ mL (1.3)

Le temps de demi-réaction est la durée au bout de laquelle l'avancement a atteint la moitié de sa valeur finale : $x(t_{1/2}) = \dfrac{x_f}{2}$.

Comme $x = \dfrac{V(H_2)}{V_m}$, l'avancement est proportionnel au volume dégagé : à $t_{1/2}$, $V(H_2) = \dfrac{V_f(H_2)}{2} = 60$ mL.

On trace l'horizontale d'ordonnée 60 mL ; elle coupe la courbe en un point dont on lit l'abscisse (tracé orange sur la figure de la question 1.3).

$t_{1/2} \approx 1{,}2 \times 10^2$ s

PIÈGE
$t_{1/2}$ n'est pas la moitié de la durée de la transformation. Lire l'abscisse du début du palier (environ 400 s) et la diviser par deux donnerait 200 s, ce qui est faux.

MÉTHODE
Temps de demi-réaction sur une courbe : 1) lire la valeur finale ; 2) la diviser par deux ; 3) reporter cette ordonnée sur la courbe ; 4) lire l'abscisse. Laisser les traits de construction apparents.

1.6 Proposer une méthode pour augmenter le temps de demi-réaction.

Augmenter $t_{1/2}$ revient à ralentir la transformation : il faut agir sur un facteur cinétique.

- Température : refroidir le mélange réactionnel, par exemple en plongeant le ballon dans un bain d'eau glacée.
- Concentration : utiliser un acide chlorhydrique moins concentré, en gardant les ions H^+ en excès pour ne pas modifier l'état final.

On abaisse la température (ou la concentration de l'acide) : la transformation est plus lente et $t_{1/2}$ augmente.

COMPRENDRE
Une seule proposition justifiée suffit. On peut aussi employer un ruban d'un seul tenant plutôt que de la poudre ou des copeaux : une surface de contact plus faible ralentit la réaction.

2.1.1 Quel nom donne-t-on au régime R2 ?

Pendant R2, la vitesse de la bulle ne varie plus.

R2 est le régime permanent (R1 est le régime transitoire).

2.1.2 Déterminer graphiquement la valeur v_{lim} de la vitesse limite.

Données utiles figure 3

La vitesse limite est l'ordonnée du palier horizontal de la courbe modélisée : ce palier se situe juste sous la graduation $0{,}30\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

$v_{lim} \approx 0{,}29\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

COMPRENDRE
Les points expérimentaux sont dispersés autour du palier : on lit la valeur sur la courbe tracée, pas sur un point isolé. Une lecture de $0{,}29$ ou $0{,}30\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ est acceptable.

2.2.1 Donner l'expression de la valeur Π de la poussée d'Archimède exercée par l'eau sur la bulle, avec les notations des données.

Données utiles volume de la bulle V_b ; masse volumique de l'eau ρ_0 ; intensité de la pesanteur g

La poussée d'Archimède a pour valeur le poids du volume d'eau déplacé par la bulle, soit un volume V_b d'eau de masse $\rho_0 V_b$.

$\Pi = \rho_0 V_b g$

PIÈGE
La masse volumique est celle du fluide déplacé (l'eau, ρ_0), pas celle du dihydrogène contenu dans la bulle.

2.2.2 À partir du rapport P/Π exprimé en fonction de ρ et ρ_0, justifier que le poids de la bulle est négligeable devant la poussée d'Archimède.

Données utiles $\rho = 0{,}083\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $\rho_0 = 1{,}0\times10^{3}\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; Π (2.2.1)

Poids de la bulle : $P = m\,g = \rho\,V_b\,g$.

$$\frac{P}{\Pi} = \frac{\rho\,V_b\,g}{\rho_0\,V_b\,g} = \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{0{,}083}{1{,}0\times10^{3}} = 8{,}3\times10^{-5}$$

Ce rapport est très inférieur à 1 : $P \ll \Pi$.

$\dfrac{P}{\Pi} = \dfrac{\rho}{\rho_0} = 8{,}3\times10^{-5}$: le poids est négligeable devant la poussée d'Archimède.

COMPRENDRE
Le poids est environ 12 000 fois plus faible que la poussée d'Archimède. Le rapport ne dépend ni de V_b ni de g : la conclusion vaut pour toutes les bulles, quelle que soit leur taille.

2.2.3 Parmi les trois représentations de la figure 4, choisir celle qui correspond aux forces exercées sur la bulle pendant le régime R1. Justifier.

Système {bulle}, référentiel terrestre supposé galiléen.

- La poussée d'Archimède $\vec{\Pi}$ est verticale vers le haut ; la bulle monte, donc $\vec{f}$, opposée à $\vec{v}$, est verticale vers le bas. Le schéma b ($\vec{\Pi}$ vers le bas) est éliminé.
- Pendant R1, le mouvement est rectiligne et la vitesse augmente : l'accélération $\vec{a}$ a le sens du mouvement, vers le haut. D'après la deuxième loi de Newton, $\vec{\Pi} + \vec{f} = m\,\vec{a}$: la somme des forces est vers le haut, donc $\Pi > f$.

Sur le schéma a, $f > \Pi$; sur le schéma c, $\Pi > f$.

La représentation correcte est la représentation c.

MÉTHODE
Pour choisir un schéma de forces : vérifier d'abord le sens de chaque force, puis comparer leurs longueurs grâce au sens de l'accélération (vitesse qui augmente, diminue ou reste constante).

2.2.4 Que peut-on dire de ces forces lorsque le régime R2 est atteint ? Justifier.

Pendant R2, le mouvement de la bulle est rectiligne et sa vitesse garde la valeur v_{lim} : le vecteur vitesse est constant, donc $\vec{a} = \vec{0}$.

La deuxième loi de Newton (ou le principe d'inertie) donne alors $\vec{\Pi} + \vec{f} = \vec{0}$.

Les deux forces se compensent : $\vec{f} = -\vec{\Pi}$, soit $f = \Pi$.

COMPRENDRE
La valeur de f augmente avec la vitesse alors que Π reste constante : f croît pendant R1 jusqu'à égaler Π. À cet instant, la vitesse cesse d'augmenter.

3.1 Quel nom donne-t-on au mouvement de la bille lorsque frottements et poussée d'Archimède sont négligés ?

La bille n'est soumise qu'à son poids.

Il s'agit d'une chute libre (ici verticale).

PIÈGE
« Chute libre » ne signifie pas « lâché sans vitesse initiale » : une bille lancée vers le haut est aussi en chute libre, dès lors que le poids est la seule force.

3.2 En appliquant la deuxième loi de Newton à la bille, établir l'expression de la coordonnée $v_y(t)$ du vecteur vitesse.

Données utiles axe Oy vertical descendant ; à $t = 0$, $\vec{v}_0 = v_{0y}\,\vec{j}$

Système {bille} de masse m, référentiel terrestre supposé galiléen.
Seule force : le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$.

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

L'axe Oy est orienté vers le bas, comme $\vec{g}$: $a_y = \dfrac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t} = g$.

Par intégration : $v_y(t) = g\,t + C$. À $t = 0$, $v_y(0) = v_{0y}$, donc $C = v_{0y}$.

$v_y(t) = g\,t + v_{0y}$

PIÈGE
L'axe est descendant : $a_y = +g$ et non $-g$. Ne pas oublier non plus la constante d'intégration, fixée par la condition initiale.

3.3 Associer à chacune des conditions initiales a), b) et c) la courbe de la figure 5 qui représente $v_y(t)$. Justifier.

Données utiles $v_y(t) = g\,t + v_{0y}$ (3.2) ; ordonnées à l'origine lues : courbe (1) : $2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; courbe (2) : 0 ; courbe (3) : $-2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

Les trois droites ont la même pente g ; elles diffèrent par leur ordonnée à l'origine, qui est v_{0y}. L'axe Oy étant orienté vers le bas :

- a) bille lâchée sans vitesse initiale : $v_{0y} = 0$, courbe (2) ;
- b) bille lancée vers le haut : $\vec{v}_0$ de sens opposé à $\vec{j}$, $v_{0y} < 0$, courbe (3) ;
- c) bille lancée vers le bas : $\vec{v}_0$ de même sens que $\vec{j}$, $v_{0y} > 0$, courbe (1).

a) courbe (2) ; b) courbe (3) ; c) courbe (1)

COMPRENDRE
Sur la courbe (3), v_y s'annule vers 200 ms : la bille atteint alors le sommet de sa trajectoire, puis redescend ($v_y > 0$).

4 Arthur affirme que, dans un tube où l'on a fait le vide, l'objet lourd tombe plus vite que l'objet léger. Que penser de cette réponse ?

Données utiles $v_y(t) = g\,t + v_{0y}$ (3.2)

Dans le vide, il n'y a ni frottement ni poussée d'Archimède : chaque objet n'est soumis qu'à son poids, c'est une chute libre.

La deuxième loi de Newton donne $m\,\vec{a} = m\,\vec{g}$, soit $\vec{a} = \vec{g}$: la masse se simplifie. L'expression $v_y(t) = g\,t + v_{0y}$ ne contient pas m.

Lâchés dans les mêmes conditions initiales, les deux objets ont à chaque instant la même vitesse et touchent le fond du tube en même temps.

La réponse d'Arthur est fausse : dans le vide, la chute ne dépend pas de la masse.

COMPRENDRE
Dans l'air, une plume tombe moins vite qu'une bille parce que les frottements ne sont pas négligeables devant son poids. C'est cette expérience quotidienne qui trompe Arthur.