Le paracétamol

Bac 2026 Antilles Jour 2 · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

Q1 Écrire la formule semi-développée du paracétamol, puis entourer et nommer les groupes caractéristiques présents dans cette molécule.

Dans la formule topologique, chaque sommet ou extrémité de trait sans symbole est un atome de carbone, complété par des atomes d'hydrogène pour former quatre liaisons. On retrouve bien la formule brute $C_8H_9NO_2$.

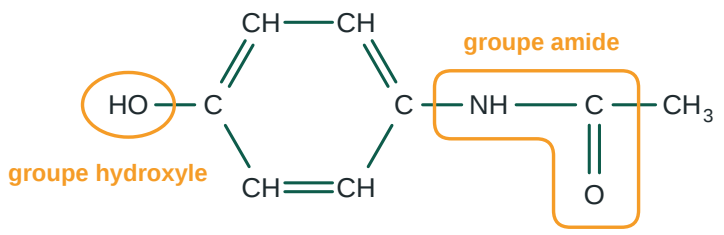
La formule semi-développée est tracée ci-dessous. La molécule porte deux groupes caractéristiques :

- le groupe $-OH$, lié au cycle ;
- le groupe $-NH-C=O$, entre le cycle et le groupe CH_3.

Deux groupes caractéristiques : le groupe **hydroxyle** $-OH$ et le groupe **amide** $-NH-CO^-$.

PIÈGE
Entourer séparément $C=O$ (« carbonyle ») et $N-H$ (« amine ») : un atome d'azote lié à un carbone portant $C=O$ forme un seul groupe, le groupe amide.

MÉTHODE
Vérifier la formule semi-développée en recomptant les atomes : 8 C, 9 H (4 sur le cycle, 3 dans CH_3, 1 sur N, 1 sur O), 1 N et 2 O.



Q1 · Formule semi-développée du paracétamol, groupes caractéristiques entourés

Q2 À l'aide des conductivités ioniques molaires et en négligeant la dilution, justifier qualitativement l'évolution de la pente de la courbe avant et après l'équivalence.

Données utiles en $S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$: $\lambda(Na^+) = 5{,}01 \times 10^{-3}$; $\lambda(OH^-) = 19{,}8 \times 10^{-3}$; $\lambda(C_8H_8NO_2^-) = 1{,}7 \times 10^{-3}$

La conductivité est due aux ions : $\sigma = \sum \lambda_i [X_i]$ (loi de Kohlrausch). Le paracétamol $C_8H_9NO_2$ est une molécule : il ne conduit pas.

Avant l'équivalence, les ions OH^- versés sont le réactif limitant : ils sont consommés. Chaque ajout apporte des ions Na^+ (spectateurs) et forme autant d'ions $C_8H_8NO_2^-$. Les concentrations de ces deux ions augmentent, donc σ augmente, avec une pente proportionnelle à $\lambda(Na^+) + \lambda(C_8H_8NO_2^-) = 6{,}7 \times 10^{-3}\ S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$.

Après l'équivalence, il n'y a plus de paracétamol : les ions Na^+ et OH^- versés s'accumulent, tandis que $[C_8H_8NO_2^-]$ ne varie plus. σ augmente avec une pente proportionnelle à $\lambda(Na^+) + \lambda(OH^-) = 24{,}8 \times 10^{-3}\ S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$.

La pente est positive dans les deux cas, et nettement plus forte après l'équivalence, car $\lambda(OH^-)$ est bien plus grande que $\lambda(C_8H_8NO_2^-)$.

PIÈGE
Dire que la conductivité diminue avant l'équivalence « parce que des ions sont consommés » : ici l'espèce titrée est une molécule, aucun ion ne disparaît de la solution.

MÉTHODE
Pour chaque domaine, dresser la liste des ions dont la concentration varie (apportés, formés, consommés), sans oublier l'ion spectateur du réactif titrant, puis comparer les sommes des λ.

Q3 En faisant figurer la construction graphique sur l'annexe 1, vérifier que la quantité de matière de paracétamol contenu dans le sachet vaut $n_p = 3{,}43 \times 10^{-3}$ mol.

Données utiles $C = 0{,}250\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; courbe de l'annexe 1

On trace la droite qui passe au plus près des premiers points (jusqu'à 10 mL environ) et celle qui passe au plus près des derniers points (à partir de 16 mL environ). L'équivalence est repérée par leur intersection :

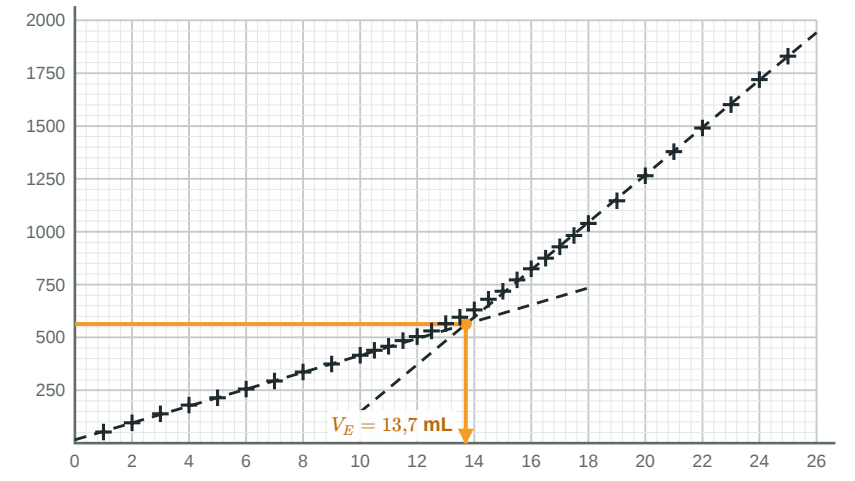
$V_E \approx 13{,}7\ \text{mL}$

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de l'équation du titrage (une mole de OH^- pour une mole de paracétamol) :

$$n_p = n(\text{OH}^-)_{\text{versé}} = C \times V_E$$

$$n_p = 0{,}250 \times 13{,}7 \times 10^{-3} = 3{,}4 \times 10^{-3}\ \text{mol}$$

$n_p = C\,V_E \approx 3{,}4 \times 10^{-3}$ mol, en accord avec la valeur attendue $3{,}43 \times 10^{-3}$ mol.



Q3 · Annexe 1 complétée : les deux droites se coupent à l'équivalence

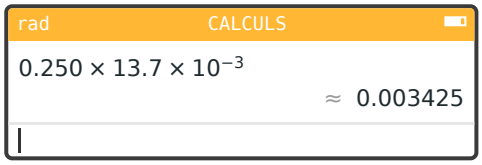
PIÈGE

Laisser V_E en mL dans le calcul, ou lire l'équivalence sur la partie arrondie de la courbe : elle se lit à l'intersection des deux droites prolongées.

COMPRENDRE

La lecture de V_E se fait à quelques dixièmes de millilitre près, d'où un résultat à deux chiffres sûrs. La valeur $3{,}43 \times 10^{-3}$ mol de l'énoncé correspond à $V_E = 13{,}72$ mL ; on la garde pour la suite.

À LA CALCULATRICE



Q4 Déterminer la masse m_{mes} de paracétamol contenue dans le sachet et son incertitude-type $u(m_{\text{mes}})$. Écrire le résultat en milligramme avec un nombre adapté de chiffres significatifs.

Données utiles $n_p = 3{,}43 \times 10^{-3}$ mol (Q3) ; $M = 151\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $C = 0{,}250\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $u(C) = 0{,}010\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_E = 13{,}7$ mL (Q3) ; $u(V_E) = 0{,}29$ mL

Masse de paracétamol : $m_{\text{mes}} = n_p \times M$

$$m_{\text{mes}} = 3{,}43 \times 10^{-3} \times 151 = 0{,}518\ \text{g} = 518\ \text{mg}$$

Incertitude-type :

$$u(m_{\text{mes}}) = m_{\text{mes}} \sqrt{\left(\frac{u(C)}{C}\right)^2 + \left(\frac{u(V_E)}{V_E}\right)^2}$$

$$u(m_{\text{mes}}) = 518 \times \sqrt{\left(\frac{0{,}010}{0{,}250}\right)^2 + \left(\frac{0{,}29}{13{,}7}\right)^2} = 23{,}4\ \text{mg}$$

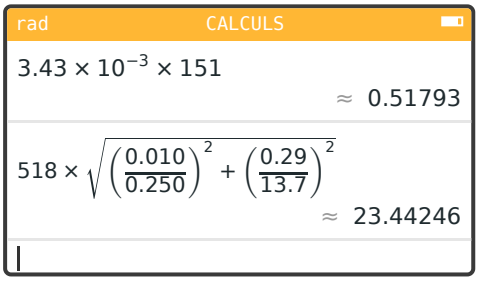
On garde deux chiffres significatifs pour l'incertitude, arrondie par excès : $u(m_{\text{mes}}) = 24$ mg. La masse est alors écrite à l'unité de milligramme, comme l'incertitude.

$m_{\text{mes}} = 518$ mg avec $u(m_{\text{mes}}) = 24$ mg

PIÈGE
Dans la racine, les deux rapports sont sans unité : $u(V_E)$ et V_E doivent être dans la même unité (ici le mL). Le résultat est demandé en milligramme.

COMPRENDRE
Une incertitude-type s'écrit avec deux chiffres significatifs au plus, et la valeur mesurée s'arrête au même rang décimal. Les autres résultats ont autant de chiffres significatifs que la donnée la moins précise.

À LA CALCULATRICE



Q5 Discuter de la compatibilité entre la masse de paracétamol mesurée m_{mes} et la valeur de référence m_{ref} indiquée sur la notice.

Données utiles $m_{\text{mes}} = 518$ mg et $u(m_{\text{mes}}) = 24$ mg (Q4) ; $m_{\text{ref}} = 500$ mg

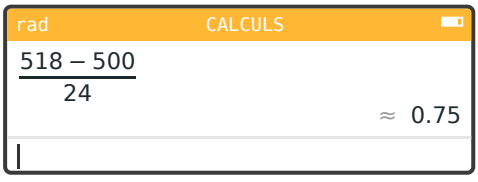
$$z = \frac{|m_{\text{mes}} - m_{\text{ref}}|}{u(m_{\text{mes}})} = \frac{|518 - 500|}{24} = 0{,}75$$

$z < 2$: l'écart entre la valeur mesurée et la valeur de la notice est inférieur à une incertitude-type.

$z = 0{,}75 < 2$: la masse mesurée est compatible avec la masse de 500 mg indiquée sur la notice.

COMPRENDRE
Un écart de 18 mg n'a pas de sens seul : c'est sa comparaison à l'incertitude-type qui permet de conclure. Avec $u = 23$ mg, on trouverait $z = 0{,}78$ et la même conclusion.

À LA CALCULATRICE



Q6 Écrire l'expression de la vitesse volumique de disparition v_P du paracétamol en fonction de sa concentration $[C_8H_9NO_2]$.

La vitesse volumique de disparition d'un réactif est l'opposé de la dérivée de sa concentration par rapport au temps :

$$v_P = -\frac{\mathrm{d}[C_8H_9NO_2]}{\mathrm{d}t}$$

PIÈGE
Oublier le signe « $-$ » : la concentration du paracétamol diminue, sa dérivée est négative, et une vitesse est toujours positive.

Q7 Sachant que l'évolution de la concentration en paracétamol suit une loi de vitesse d'ordre 1, montrer que $\frac{\mathrm{d}[C_8H_9NO_2]}{\mathrm{d}t} = -k\,[C_8H_9NO_2]$.

Loi de vitesse d'ordre 1 : la vitesse volumique de disparition est proportionnelle à la concentration du réactif, $v_P = k\,[C_8H_9NO_2]$, où k est la constante de vitesse.

D'après Q6, $v_P = -\frac{\mathrm{d}[C_8H_9NO_2]}{\mathrm{d}t}$. En égalant les deux expressions :

$$-\frac{\mathrm{d}[C_8H_9NO_2]}{\mathrm{d}t} = k\,[C_8H_9NO_2]$$

$$\frac{\mathrm{d}[C_8H_9NO_2]}{\mathrm{d}t} = -k\,[C_8H_9NO_2]$$

MÉTHODE
Toute démonstration d'ordre 1 tient en deux lignes : la définition de la vitesse (dérivée) et la loi de vitesse ($v = k\,C$), que l'on égale.

Q8 En utilisant la courbe de la figure 1, montrer sans calcul que la vitesse de disparition du paracétamol diminue au cours du temps.

À une date t, la vitesse de disparition $v_P = -\frac{\mathrm{d}[C_8H_9NO_2]}{\mathrm{d}t}$ est l'opposé du coefficient directeur de la tangente à la courbe de la figure 1 à cette date.

La courbe descend de moins en moins vite : la tangente est très inclinée à $t = 0$ h, puis elle se rapproche de l'horizontale. Son coefficient directeur, négatif, a une valeur absolue de plus en plus petite.

La tangente à la courbe est de moins en moins inclinée : la vitesse de disparition du paracétamol diminue au cours du temps.

COMPRENDRE
C'est cohérent avec l'ordre 1 : la vitesse est proportionnelle à la concentration, qui est un facteur cinétique. Quand la concentration baisse, la vitesse baisse.

Q9 Déterminer la durée nécessaire pour que la valeur limite c_{lim} soit atteinte depuis la prise du médicament. Expliquer l'écart avec les recommandations indiquées sur la notice.

Données utiles $c_{\text{lim}} = 8\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $M = 151\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $[\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}_2]_0 = 132\ \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $k = 0{,}28\ \text{h}^{-1}$; pic atteint 30 min après la prise ; notice : au moins 6 h entre deux prises

Concentration limite en quantité de matière :

$$C_{\text{lim}} = \frac{c_{\text{lim}}}{M} = \frac{8 \times 10^{-3}}{151} = 5{,}30 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} = 53{,}0\ \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Date t_{lim} à laquelle cette concentration est atteinte :

$[\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}_2]_0\, \text{e}^{-k\, t_{\text{lim}}} = C_{\text{lim}}$, donc

$$t_{\text{lim}} = \frac{1}{k} \ln\left(\frac{[\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}_2]_0}{C_{\text{lim}}}\right) = \frac{1}{0{,}28} \times \ln\left(\frac{132}{53{,}0}\right) = 3{,}3\ \text{h}$$

Vérification sur la figure 1 : la courbe passe par $53\ \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ un peu après $t = 3$ h.

Durée depuis la prise : le pic ($t = 0$ h) est atteint 30 min, soit 0,5 h, après la prise.

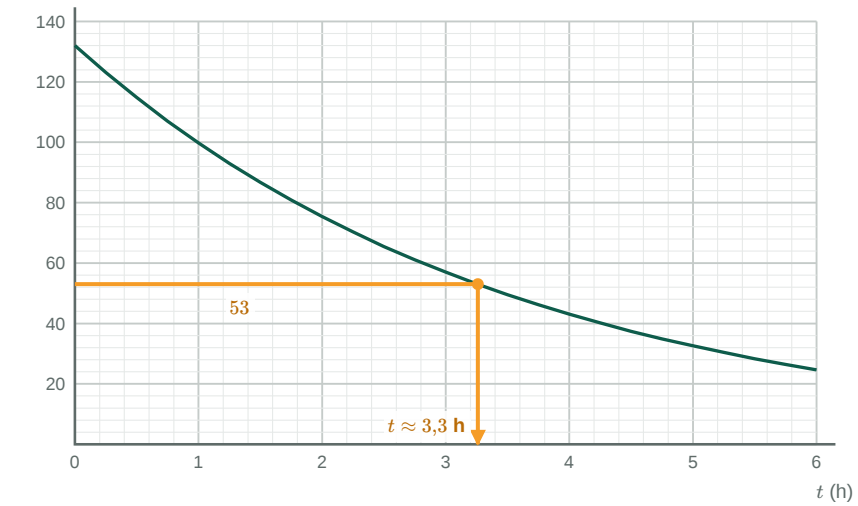
$\Delta t = 0{,}5 + 3{,}3 = 3{,}8\ \text{h}$

Écart avec la notice : l'effet antalgique s'atténue au bout de 3,8 h environ, alors que la notice impose au moins 6 h entre deux prises. Cet intervalle n'est pas fixé par la durée de l'effet mais par la sécurité : à $t = 6$ h, il reste encore environ $25\ \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ de paracétamol dans le sang (figure 1), près de 20 % du maximum. Une prise trop rapprochée s'ajouterait à ce reste, et le produit toxique issu de la transformation du paracétamol s'accumulerait dans l'organisme.

$\Delta t \approx 3{,}8$ h, soit environ 3 h 45 min, inférieure aux 6 h de la notice : l'intervalle recommandé laisse le temps d'éliminer le paracétamol et son produit toxique.

PIÈGE
Comparer directement $8\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ à la courbe graduée en $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, ou oublier les 30 min entre la prise et le pic.

MÉTHODE
Pour isoler t dans $C_0\, \text{e}^{-kt} = C$: diviser par C_0, prendre le logarithme népérien, puis diviser par $-k$. Comme k est en h^{-1}, t sort en heures.



Q9 · Figure 1 du sujet, avec la lecture de la date où la concentration atteint 53 µmol/L

À LA CALCULATRICE

