Un catalyseur enzymatique, l'uréase

Bac S 2013 Métropole (ancien programme) · Exercice 1 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1.1 Écrire l'équation de la réaction chimique entre l'urée et l'eau.

Les produits sont l'ammoniac et le dioxyde de carbone :

$$\mathrm{NH_2{-}CO{-}NH_2\,(aq) + H_2O\,(l) \longrightarrow 2\,NH_3\,(aq) + CO_2\,(aq)}$$

MÉTHODE
Vérifier la conservation de chaque élément : 2 N, 1 C, 2 O et 6 H de chaque côté. Les deux atomes d'azote de l'urée imposent le coefficient 2 devant $\mathrm{NH_3}$.

1.1.2 Rappeler la définition du temps de demi-réaction.

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

PIÈGE
Écrire « la moitié de la durée de la réaction ». La réaction ralentit en cours de route : elle dure en général bien plus que $2\,t_{1/2}$.

1.1.3 En quoi les résultats des expériences permettent-ils de considérer l'uréase comme un catalyseur ?

Données utiles sans uréase : $t_{1/2} = 60$ ans ; avec uréase : $t_{1/2} = 2 \times 10^{-5}$ s

Sans uréase : $t_{1/2} = 60 \times 365{,}25 \times 24 \times 3600 \approx 1{,}9 \times 10^9$ s. Avec uréase : $t_{1/2} = 2 \times 10^{-5}$ s.

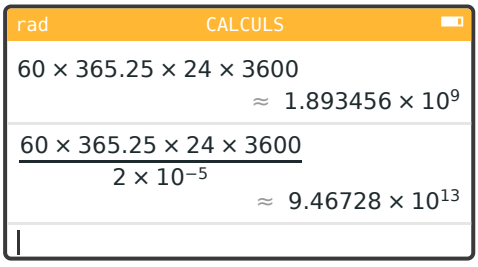
Le temps de demi-réaction est divisé par environ 10^{14} : la transformation est considérablement accélérée. De plus, l'uréase ne figure pas dans l'équation de la réaction (1.1.1) : elle n'est pas consommée.

L'uréase accélère la réaction sans apparaître dans son équation : c'est un catalyseur.

PIÈGE
Comparer 60 et 2×10^{-5} sans regarder les unités. Avec une donnée à un seul chiffre significatif, seul l'ordre de grandeur du rapport a un sens.

COMPRENDRE
Un catalyseur se reconnaît à deux critères : il augmente la vitesse de la réaction et il est régénéré, donc absent de l'équation. Il ne modifie pas l'état final.

À LA CALCULATRICE



1.2.1 Quelle est en général l'influence de la température sur la cinétique d'une réaction chimique ?

La température est un facteur cinétique.

En général, plus la température est élevée, plus la réaction est rapide (la durée de la transformation diminue).

1.2.2 En utilisant le document 1, décrire l'influence de la température sur la cinétique de la réaction catalysée.

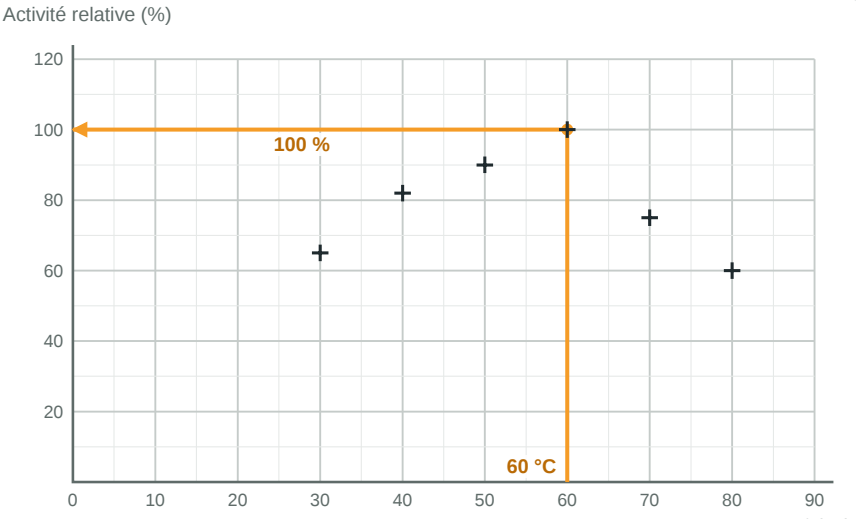
Données utiles document 1 : la réaction est d'autant plus rapide que l'activité de l'uréase est grande

D'après le document 1, l'activité relative de l'uréase augmente de 65 % à 100 % entre 30 °C et 60 °C, puis diminue : 75 % à 70 °C et 60 % à 80 °C.

Or la vitesse de la réaction suit l'activité de l'enzyme.

La réaction catalysée est de plus en plus rapide jusqu'à 60 °C environ, où sa vitesse est maximale ; au-delà, elle ralentit quand la température augmente.

MÉTHODE
Décrire un graphe : donner le sens de variation, citer des valeurs lues (abscisse et ordonnée du maximum), puis relier la grandeur tracée à la grandeur demandée, ici la vitesse.



1.2.2 · Document 1 : l'activité relative de l'uréase est maximale à 60 °C

1.2.3 À l'aide du texte introductif, comment peut-on expliquer la différence entre le cas général (question 1.2.1) et celui décrit à la question 1.2.2 ?

Dans le cas général, chauffer accélère toujours la réaction. Ici, ce n'est vrai que jusqu'à 60 °C.

La réaction se produit dans le site actif, un repli de la structure tridimensionnelle de l'enzyme. Cette structure est maintenue par des liaisons hydrogène, dont la formation dépend de la température.

Au-delà de 60 °C, les liaisons hydrogène se forment moins facilement : la structure de l'uréase se modifie, le site actif est déformé et l'enzyme catalyse moins bien la réaction, qui ralentit.

COMPRENDRE
Deux effets s'opposent : l'agitation thermique accélère la réaction, mais elle abîme le catalyseur. En dessous de 60 °C le premier l'emporte, au-dessus le second.

2.1 Le contenu de l'estomac est assimilé à une solution d'acide chlorhydrique. Sachant que c'est un acide fort, calculer le pH de ce milieu.

Données utiles $c = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

Un acide fort réagit totalement avec l'eau, donc $[H_3O^+] = c$.

$$\text{pH} = -\log\left(\frac{[H_3O^+]}{c^\circ}\right) = -\log\left(1{,}0 \times 10^{-2}\right)$$

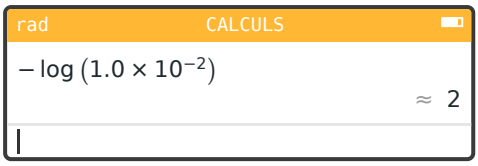
avec $c^\circ = 1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

$\text{pH} = 2{,}0$

PIÈGE
La relation $\text{pH} = -\log c$ ne vaut que pour un acide fort. Pour un acide faible, $[H_3O^+] < c$.

COMPRENDRE
La concentration a deux chiffres significatifs : on écrit 2,0 et non 2. Pour un pH, on ne garde pas plus de chiffres après la virgule que la concentration n'a de chiffres significatifs.

À LA CALCULATRICE



2.2 À ce pH, quelle espèce chimique du couple $NH_4^+(aq)$ / $NH_3(aq)$ prédomine ? Justifier la réponse.

Données utiles $pK_a(NH_4^+ / NH_3) = 9{,}2$; $pH = 2{,}0$ (2.1)

Lorsque $pH < pK_a$, la forme acide du couple prédomine.

Ici $pH = 2{,}0 < pK_a = 9{,}2$.

L'ion ammonium NH_4^+ prédomine dans l'estomac.

MÉTHODE
Tracer l'axe des pH, placer le pK_a : l'acide du couple prédomine à gauche, la base à droite. Il reste à situer le pH du milieu.



2.2 · Diagramme de prédominance du couple ion ammonium / ammoniac

2.3 L'ammoniac sécrété réagit avec les ions H_3O^+ de l'estomac. Quelle est la conséquence de cette sécrétion sur le pH de la solution autour de la bactérie ?

Données utiles $NH_3(aq) + H_3O^+(aq) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + H_2O(l)$

L'ammoniac sécrété consomme des ions H_3O^+ : leur concentration diminue au voisinage de la bactérie.

Comme $pH = -\log\left(\dfrac{[H_3O^+]}{c^\circ}\right)$, le pH augmente quand $[H_3O^+]$ diminue.

Le pH augmente localement : le milieu qui entoure la bactérie devient moins acide.

COMPRENDRE
C'est ainsi que la bactérie survit : elle neutralise l'acide dans son voisinage immédiat, sans changer le pH de tout l'estomac.

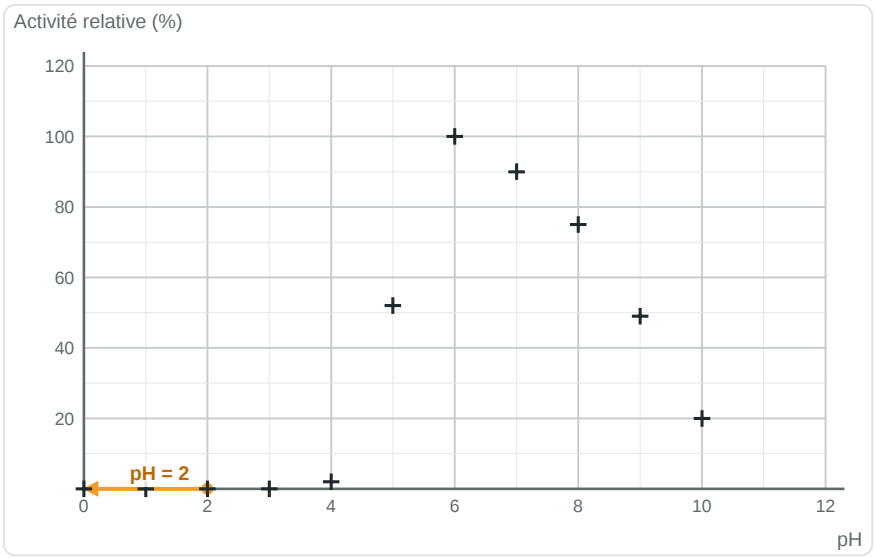
2.4 En quoi le document 2 illustre-t-il le fait que l'uréase seule ne peut pas agir dans l'estomac ?

Données utiles $pH = 2{,}0$ dans l'estomac (2.1)

Sur le document 2, l'activité relative de l'uréase est nulle pour tout pH compris entre 0 et 3 ; elle n'est notable qu'à partir de pH 5 et maximale à pH 6.

Au pH de l'estomac (2,0), l'activité de l'uréase seule est nulle : elle ne catalyse pas la réaction de l'urée avec l'eau dans ce milieu.

PIÈGE
Répondre sans valeur lue. Il faut citer le pH de l'estomac et l'activité correspondante sur le graphe.



2.4 · Document 2 : au pH de l'estomac, l'activité relative de l'uréase est nulle