BURHAN

Contrôle de l'évolution des systèmes chimiques : exercices, application

2ème Année Baccalauréat · Sciences Physiques · Physique-Chimie

Version en ligne : burhan.ma/2bac/pc/physique-chimie/controle-de-l-evolution-des-systemes-chimiques/exercices/application

Chapitre	Palier	Exercices
Contrôle de l'évolution des systèmes chimiques	Application	8

Exercice 1

Éthanoate de butyle par l'anhydride éthanoïque

1.

On chauffe à reflux pendant trente minutes un mélange d'anhydride éthanoïque $\mathrm{CH_3-CO-O-CO-CH_3}$ et de butan-1-ol $\mathrm{CH_3-(CH_2)_3-OH}$, sans solvant. Écrire l'équation de la réaction qui se produit, avec les formules semi-développées.

INDICE

Repère dans l'anhydride les deux parties identiques reliées par l'oxygène central, et dans l'alcool l'atome qui peut se lier à l'une d'elles.

CORRIGÉ

Partie qui donne l'ester. Le groupe $\mathrm{CH_3-CO-}$ se fixe sur l'oxygène du butan-1-ol et forme l'éthanoate de butyle.

Partie qui donne l'acide. L'autre groupe $\mathrm{CH_3-CO-}$ devient l'acide éthanoïque.

$$\begin{aligned}&\mathrm{CH_3-CO-O-CO-CH_{3(\ell)}}\\&+\mathrm{CH_3-(CH_2)_3-OH_{(\ell)}}\\&\longrightarrow \mathrm{CH_3-COO-C_4H_{9(\ell)}}\\&+\mathrm{CH_3-COOH_{(\ell)}}\end{aligned}$$

Vérification. Chaque membre compte 8 atomes de carbone, 16 atomes d'hydrogène et 4 atomes d'oxygène.

Conclusion. L'anhydride éthanoïque et le butan-1-ol donnent l'éthanoate de butyle et l'acide éthanoïque, sans eau.

2.

Donner les deux caractéristiques de cette réaction et justifier l'emploi d'une simple flèche dans l'équation.

INDICE

Compare la durée et l'état final de cette réaction à ceux de l'estérification par l'acide éthanoïque.

CORRIGÉ

Durée. Après trente minutes de chauffage, le mélange a fini de réagir : la réaction est rapide, alors que l'estérification par l'acide éthanoïque demande plusieurs heures.

État final. L'ester et l'acide éthanoïque formés ne réagissent pas entre eux : la réaction inverse n'a pas lieu et le réactif limitant disparaît entièrement. La réaction est totale, d'où la simple flèche $\longrightarrow$.

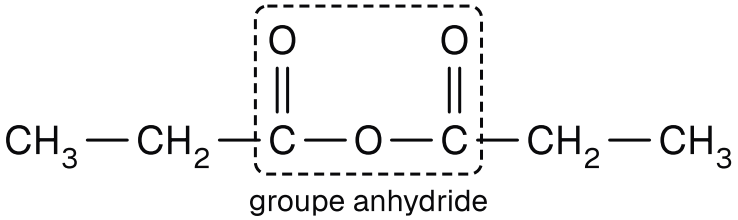
Conclusion. La réaction de l'anhydride éthanoïque avec le butan-1-ol est rapide et totale ; la simple flèche traduit l'absence de réaction inverse.

Exercice 2

Anhydride propanoïque et propan-2-ol

1.

Le document représente la formule semi-développée de l'anhydride propanoïque. Nommer le groupe caractéristique entouré et donner la formule brute de la molécule.



Formule semi-développée de l'anhydride propanoïque ; le groupe caractéristique est entouré et la formule brute est calculée.

Formule brute : $\mathrm{C_6H_{10}O_3}$.

INDICE

Regarde les atomes entourés : deux groupes carbonyle reliés par un même atome d'oxygène. Compte ensuite chaque type d'atome.

CORRIGÉ

Groupe entouré. Deux groupes $\mathrm{C{=}O}$ sont liés au même atome d'oxygène : c'est le groupe anhydride d'acide $-\mathrm{CO}-\mathrm{O}-\mathrm{CO}-$.

Formule brute. La molécule compte 6 atomes de carbone, 10 atomes d'hydrogène et 3 atomes d'oxygène : $\mathrm{C_6H_{10}O_3}$, formule affichée sous la figure.

Conclusion. La molécule porte le groupe anhydride d'acide ; sa formule brute est $\mathrm{C_6H_{10}O_3}$.

2.

L'anhydride propanoïque $\mathrm{C_2H_5-CO-O-CO-C_2H_5}$ réagit avec le propan-2-ol $\mathrm{CH_3-CH(OH)-CH_3}$; l'ester formé se nomme propanoate de 1-méthyléthyle. Écrire l'équation de la réaction.

INDICE

L'oxygène du propan-2-ol est porté par le carbone central : c'est lui qui se lie à une partie acyle de l'anhydride.

CORRIGÉ

Ester formé. La partie $\mathrm{C_2H_5-CO-}$ se lie à l'oxygène de l'alcool : on obtient $\mathrm{C_2H_5-COO-CH(CH_3)_2}$.

Acide formé. L'autre partie donne l'acide propanoïque $\mathrm{C_2H_5-COOH}$.

$$\begin{aligned}&\mathrm{C_2H_5-CO-O-CO-C_2H_5}_{(\ell)}\\&+\ \mathrm{CH_3-CH(OH)-CH_3}_{(\ell)}\\&\longrightarrow\\&\mathrm{C_2H_5-COO-CH(CH_3)_2}_{(\ell)}\\&+\ \mathrm{C_2H_5-COOH}_{(\ell)}\end{aligned}$$

Conclusion. L'anhydride propanoïque et le propan-2-ol donnent le propanoate de 1-méthyléthyle et l'acide propanoïque, en une réaction totale écrite avec une simple flèche.

3.

Dans la formule semi-développée du propanoate de 1-méthyléthyle, repérer le groupe caractéristique ester. Indiquer de quel réactif provient chacune des deux parties qu'il relie.

INDICE

Cherche l'atome de carbone lié à deux atomes d'oxygène, dont l'un n'est lié à aucun hydrogène.

CORRIGÉ

Groupe ester. C'est l'enchaînement $\mathrm{-COO-}$: un atome de carbone, doublement lié à un oxygène, porte un second oxygène qui le relie à la chaîne de l'alcool.

Origine des parties. La partie $\mathrm{C_2H_5-CO-}$ vient de l'anhydride propanoïque ; la partie $\mathrm{-O-CH(CH_3)_2}$, avec son oxygène, vient du propan-2-ol.

Conclusion. Le groupe ester $\mathrm{-COO-}$ relie la partie acyle apportée par l'anhydride à la partie apportée par l'alcool.

Exercice 3

Saponification du benzoate de méthyle

1.

On chauffe à reflux du benzoate de méthyle $\mathrm{C_6H_5-COO-CH_3}$ avec une solution d'hydroxyde de sodium. Écrire l'équation de la réaction.

INDICE

Le réactif s'écrit sous forme d'ions hydroxyde en solution ; les ions sodium sont spectateurs.

CORRIGÉ

Partie acide et partie alcool. La partie acide $\mathrm{C_6H_5-CO-}$ donne l'ion benzoate ; la partie $\mathrm{-O-CH_3}$ donne le méthanol.

$$\begin{aligned}&\mathrm{C_6H_5-COO-CH_3}_{(\ell)}\\&+\ \mathrm{HO^-}_{(aq)}\\&\longrightarrow\ \mathrm{C_6H_5-COO^-}_{(aq)}\\&+\ \mathrm{CH_3-OH}_{(aq)}\end{aligned}$$

Conservation. Atomes : 8 carbones, 9 hydrogènes et 3 oxygènes de chaque côté ; charge -1 de chaque côté.

Conclusion. L'hydrolyse basique du benzoate de méthyle donne l'ion benzoate et le méthanol.

2.

Cette réaction est-elle limitée ou totale ? Justifier.

INDICE

Demande-toi si l'ion benzoate peut réagir avec le méthanol pour reformer l'ester.

CORRIGÉ

L'ion benzoate formé ne réagit pas avec le méthanol : la réaction inverse n'a pas lieu. Avec des ions hydroxyde en quantité suffisante, tout l'ester disparaît.

Conclusion. L'hydrolyse basique du benzoate de méthyle est totale, contrairement à son hydrolyse par l'eau seule.

3.

Après refroidissement, on ajoute de l'acide chlorhydrique au mélange : un solide blanc, l'acide benzoïque, précipite. Écrire l'équation de sa formation à partir de l'ion benzoate.

INDICE

L'ion benzoate est la base conjuguée de l'acide benzoïque ; l'acide chlorhydrique apporte des ions oxonium.

CORRIGÉ

Réaction acido-basique. Les ions oxonium cèdent un proton à l'ion benzoate :

$$\begin{aligned}&\mathrm{C_6H_5-COO^-}_{(aq)}\\&+\mathrm{H_3O^+}_{(aq)}\\&\longrightarrow \mathrm{C_6H_5-COOH}_{(s)}\\&+\mathrm{H_2O}_{(\ell)}\end{aligned}$$

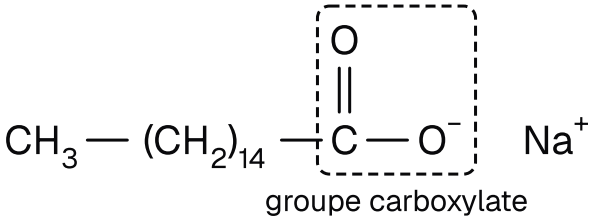
Conclusion. L'acidification transforme l'ion benzoate en acide benzoïque, peu soluble à froid, qui précipite.

Exercice 4

Ion palmitate : tête et chaîne carbonée

1.

Le document représente le palmitate de sodium, constituant d'un savon. Donner la formule brute de l'ion palmitate et nommer le groupe entouré.



Palmitate de sodium : chaîne carbonée de quinze carbones écrite en abrégé, groupe carboxylate entouré, ion sodium à côté ; formule brute calculée.

Formule brute : $\mathrm{C_{16}H_{31}NaO_2}$.

INDICE

La chaîne répétée compte quatorze groupes identiques ; l'ion sodium, sans liaison, n'appartient pas à l'ion palmitate.

CORRIGÉ

Groupe entouré. Un atome de carbone porte deux oxygènes, l'un doublement lié, l'autre porteur d'une charge négative : c'est le groupe carboxylate $-\mathrm{COO^-}$.

Formule brute. Un groupe $\mathrm{CH_3}$, quatorze groupes $\mathrm{CH_2}$ et le groupe carboxylate donnent 16 carbones, 31 hydrogènes et 2 oxygènes : $\mathrm{C_{16}H_{31}O_2^-}$.

Conclusion. L'ion palmitate a pour formule brute $\mathrm{C_{16}H_{31}O_2^-}$ et porte le groupe carboxylate.

2.

Indiquer la partie hydrophile et la partie hydrophobe de l'ion palmitate, en justifiant.

INDICE

Regarde quelle partie de l'ion porte une charge électrique, et demande-toi comment l'eau, formée de molécules polaires, se comporte avec chacune.

CORRIGÉ

Partie hydrophile. Le groupe carboxylate $-\mathrm{COO^-}$ est chargé : il attire les molécules d'eau.

Partie hydrophobe. La chaîne $\mathrm{CH_3-(CH_2)_{14}-}$, longue et sans charge, est repoussée par l'eau et attirée par les corps gras.

Conclusion. La tête carboxylate est hydrophile et la chaîne carbonée est hydrophobe, ou lipophile.

3.

Expliquer en deux phrases comment ces ions décollent une tache d'huile sur un tissu lavé à l'eau.

INDICE

Place chaque partie de l'ion : l'une dans la goutte d'huile, l'autre dans l'eau de lavage.

CORRIGÉ

Les chaînes hydrophobes pénètrent dans la goutte d'huile, tandis que les têtes carboxylate restent tournées vers l'eau. La goutte entourée d'ions se détache du tissu et part avec l'eau de rinçage.

Conclusion. Les ions palmitate retiennent la graisse par leurs chaînes et l'eau par leurs têtes, ce qui entraîne la tache au rinçage.

Exercice 5

Rendement de la synthèse de l'éthanoate de cyclohexyle

1.

On fait réagir $m_1 = 12{,}0\,\text{g}$ de cyclohexanol $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{–OH}$ ($M_1 = 100{,}0\,\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$) avec $0{,}200\,\text{mol}$ d'anhydride éthanoïque. L'équation est :

$$\begin{aligned}&\text{CH}_3\text{–CO–O–CO–CH}_{3(\ell)}\\&+\ \text{C}_6\text{H}_{11}\text{–OH}_{(\ell)}\\&\longrightarrow\ \text{CH}_3\text{–COO–C}_6\text{H}_{11(\ell)}\\&+\ \text{CH}_3\text{–COOH}_{(\ell)}\end{aligned}$$

Calculer la quantité initiale de cyclohexanol, dresser le tableau d'avancement et identifier le réactif limitant.

INDICE

La quantité d'une espèce pure dont on connaît la masse se déduit de sa masse molaire ; la réaction est totale.

CORRIGÉ

Quantité de cyclohexanol.

$$\begin{aligned}n_1 &= \frac{m_1}{M_1}\\&= \frac{12{,}0\,\text{g}}{100{,}0\,\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}}\\&= 0{,}120\,\text{mol}\end{aligned}$$

Tableau d'avancement (quantités en mol).

État	anhydride	cyclohexanol	ester	acide
initial	$0{,}200$	$0{,}120$	0	0
en cours	$0{,}200 - x$	$0{,}120 - x$	x	x
final	$0{,}0800$	0	$0{,}120$	$0{,}120$

Réactif limitant. $0{,}120 < 0{,}200$: le cyclohexanol disparaît le premier, et $x_{\max} = 0{,}120\,\text{mol}$.

Conclusion. Le cyclohexanol, de quantité initiale $0{,}120\,\text{mol}$, est le réactif limitant.

2.

Après lavage et séchage, on récupère $m_{\text{exp}} = 13{,}9\,\text{g}$ d'éthanoate de cyclohexyle ($M = 142{,}0\,\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$). Calculer le rendement de la synthèse.

INDICE

Cherche d'abord la masse d'ester qu'on obtiendrait sans aucune perte, à partir de l'avancement maximal.

CORRIGÉ

Masse maximale. L'ester a pour quantité maximale $n_{\max} = x_{\max} = 0{,}120\,\text{mol}$:

$$\begin{aligned} m_{\max} &= n_{\max}\,M \\ &= 0{,}120\,\text{mol} \\ &\quad \times 142{,}0\,\text{g}\cdot\text{mol}^{-1} \\ &= 17{,}04\,\text{g} \end{aligned}$$

Rendement.

$$\begin{aligned} r &= \frac{m_{\text{exp}}}{m_{\max}} \\ &= \frac{13{,}9\,\text{g}}{17{,}04\,\text{g}} \\ &= 0{,}816 \end{aligned}$$

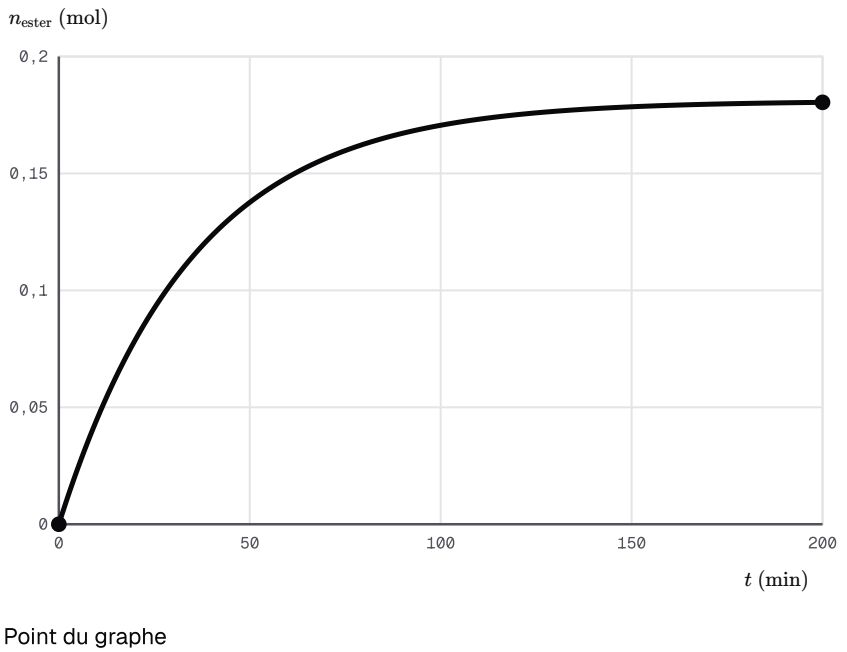
Conclusion. Le rendement de la synthèse vaut $r = 0{,}816$, soit environ $82\,\%$; la réaction étant totale, l'écart à 1 vient des pertes lors du lavage et du séchage.

Exercice 6

Suivi de la formation du butanoate d'éthyle

1.

Pour obtenir l'arôme d'ananas, on chauffe à reflux $0{,}200\,\text{mol}$ d'acide butanoïque $\text{C}_3\text{H}_7-\text{COOH}$ et $0{,}600\,\text{mol}$ d'éthanol, avec quelques gouttes d'acide sulfurique. La courbe donne la quantité de butanoate d'éthyle formée. Lire la quantité d'ester à l'état final et la durée approximative pour l'atteindre.



Quantité de butanoate d'éthyle en fonction du temps, chauffage à reflux : courbe modèle, la loi de vitesse est hors programme.

INDICE

Repère la valeur vers laquelle la courbe tend aux grandes durées, puis le moment où elle cesse de monter à l'échelle du graphique.

CORRIGÉ

Valeur finale. La courbe tend vers un palier : $n_f \approx 0{,}18\,\text{mol}$.

Durée. Le palier est pratiquement atteint au bout de $t \approx 150\,\text{min}$.

Conclusion. À l'état final, il s'est formé environ $0{,}18\,\text{mol}$ d'ester, en un peu plus de deux heures.

2.

On admet qu'aucune partie de l'ester formé n'est perdue. Calculer le rendement à l'équilibre, puis dire si l'excès d'éthanol a été utile, en le comparant au rendement d'un mélange équimolaire.

INDICE

L'avancement maximal est fixé par le réactif en plus petite quantité, l'éthanol étant en excès.

CORRIGÉ

Tableau d'avancement (quantités en mol).

État	acide	éthanol	ester	eau
initial	$0{,}200$	$0{,}600$	0	0
en cours	$0{,}200 - x$	$0{,}600 - x$	x	x
équilibre	$0{,}200 - x_f$	$0{,}600 - x_f$	x_f	x_f

Avancement maximal. L'acide butanoïque est limitant ($0{,}200 < 0{,}600$) : $x_{\max} = 0{,}200\,\text{mol}$. L'ester ayant un coefficient 1, la lecture donne $x_f \approx 0{,}18\,\text{mol}$.

Rendement. Transformation limitée, à l'équilibre, sans perte : le rendement est le taux d'avancement final.

$$\begin{aligned} r = \tau &= \frac{x_f}{x_{\max}} \\ &\approx \frac{0{,}18\,\text{mol}}{0{,}200\,\text{mol}} \\ &\approx 0{,}90 \end{aligned}$$

Comparaison. Pour un acide et un alcool primaire en mélange équimolaire, $K = 4$ conduit à un taux d'avancement final de deux tiers.

Conclusion. Le rendement à l'équilibre vaut environ $0{,}90$, plus grand que les deux tiers d'un mélange équimolaire : l'excès d'éthanol a augmenté le rendement.

Exercice 7

Catalyse homogène, hétérogène ou enzymatique

1.

Classer chaque catalyse en homogène, hétérogène ou enzymatique :

- estérification de l'acide butanoïque par le méthanol, accélérée par quelques gouttes d'acide sulfurique ;
- fixation de dihydrogène gazeux sur une huile, en présence de nickel en poudre ;
- transformation de l'amidon en sucres dans la bouche, par l'amylase de la salive.

INDICE

Compare la phase du catalyseur à celle des réactifs, et repère le catalyseur produit par un être vivant.

CORRIGÉ

Acide sulfurique. Il est dissous dans le mélange liquide des réactifs : une seule phase, catalyse homogène.

Nickel. Solide en contact avec un gaz et un liquide : phases différentes, catalyse hétérogène.

Amylase. Protéine produite par l'organisme : catalyse enzymatique.

Conclusion. Les trois catalyses sont, dans l'ordre, homogène, hétérogène et enzymatique.

2.

Pourquoi l'acide sulfurique n'apparaît-il pas dans l'équation de l'estérification ?

INDICE

Pense à la quantité de catalyseur présente au début et à la fin de la transformation.

CORRIGÉ

Le catalyseur intervient dans une étape de la transformation, puis il est reformé dans une autre étape : à l'état final, il se retrouve en même quantité qu'au départ. Le bilan de matière, que traduit l'équation, ne le contient donc pas.

Conclusion. L'acide sulfurique, régénéré, ne fait pas partie du bilan de la réaction : il n'est pas écrit dans l'équation.

Exercice 8

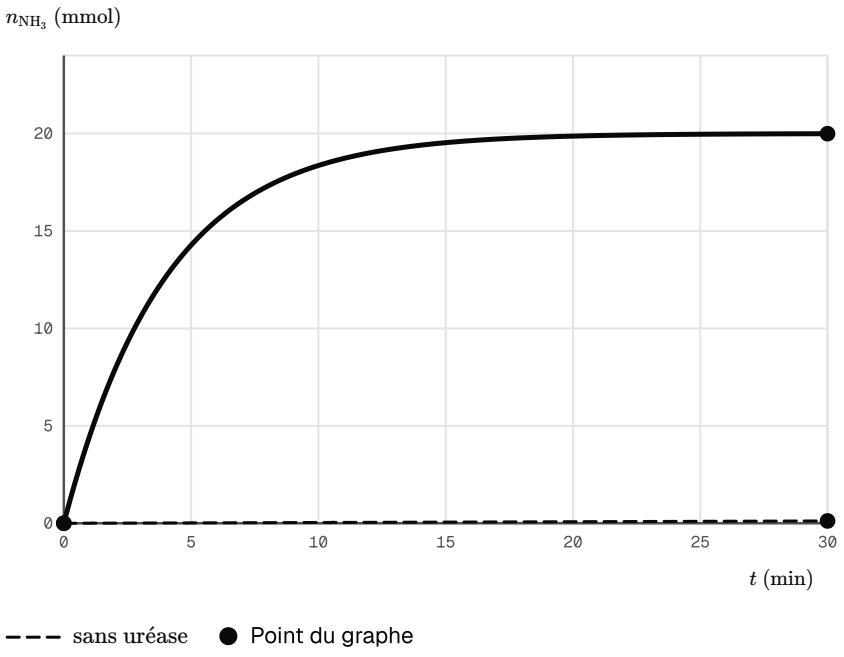
Hydrolyse de l'urée avec ou sans uréase

1.

À $37\,^{\circ}\mathrm{C}$, une solution contient $10{,}0\,\mathrm{mmol}$ d'urée $\mathrm{CO(NH_2)_2}$, qui s'hydrolyse selon :

$$\mathrm{CO(NH_2)_{2(aq)} + H_2O_{(\ell)} \longrightarrow CO_{2(aq)} + 2\,NH_{3(aq)}}$$

Les courbes donnent la quantité d'ammoniac formée, avec une goutte d'uréase et sans uréase. Décrire ce que l'on observe dans les deux cas pendant les trente premières minutes.



Quantité d'ammoniac formée en fonction du temps, avec uréase (trait plein) et sans uréase (tirets) : courbes modèles, la loi de vitesse est hors programme.

INDICE

Compare la pente des deux courbes et la valeur atteinte au bout de trente minutes.

CORRIGÉ

Avec uréase. La quantité d'ammoniac monte vite puis atteint un palier vers $20\,\mathrm{mmol}$ en une vingtaine de minutes.

Sans uréase. La courbe reste presque confondue avec l'axe : la formation d'ammoniac est imperceptible à cette échelle.

Conclusion. L'uréase rend rapide une hydrolyse qui, sans elle, est extrêmement lente.

2.

Quelle quantité d'ammoniac obtiendrait-on, sans uréase, au bout d'une durée très longue ? Justifier, puis dire quel rôle joue l'uréase.

INDICE

L'état final dépend de la quantité initiale d'urée et de l'équation, pas de la présence d'un catalyseur.

CORRIGÉ

Tableau d'avancement (quantités en mmol ; l'eau est le solvant).

État	urée	eau	CO_2	NH_3
initial	$10{,}0$	solvant	0	0
en cours	$10{,}0 - x$	solvant	x	$2x$
final	0	solvant	$10{,}0$	$20{,}0$

État final. L'hydrolyse étant totale, l'avancement final vaut $x_{\max} = 10{,}0\,\text{mmol}$ et il se forme $2\,x_{\max} = 20{,}0\,\text{mmol}$ d'ammoniac, avec ou sans enzyme. Un catalyseur ne change pas l'état final.

Rôle de l'uréase. C'est une enzyme : elle accélère la réaction, catalyse enzymatique, et elle est régénérée.

Conclusion. Sans uréase, on obtiendrait aussi $20{,}0\,\text{mmol}$ d'ammoniac, mais après une durée bien plus longue : l'uréase n'agit que sur la vitesse.