étude d'une transformation chimique

Bac S 2010 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 2 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Donner la définition d'une espèce acide au sens de Brönsted.

Un acide au sens de Brönsted est une espèce chimique capable de **céder un ion hydrogène** $\mathrm{H^+}$ (un proton).

COMPRENDRE
L'acide AH qui a cédé son proton devient sa base conjuguée $\mathrm{A^-}$: les deux forment le couple $\mathrm{AH/A^-}$.

1.2 Quelles précautions doit-on prendre pour manipuler ce produit ?

Données utiles étiquette : irritant pour la peau et les yeux (R36/R38), irritant pour les voies respiratoires (R37)

Chaque risque indiqué sur l'étiquette appelle une protection :

- peau : gants et blouse fermée ;
- yeux : lunettes de protection ;
- voies respiratoires : manipulation sous la hotte aspirante.

Gants, blouse, lunettes, et travail sous la hotte.

COMPRENDRE
Les phrases R et le pictogramme orange datent de 2010. Les étiquettes actuelles portent des pictogrammes en losange à bord rouge et des mentions de danger notées H.

2.1 Déterminer la valeur de c_1, concentration molaire en soluté apporté de la solution S_1.

Données utiles $c_0 = 17{,}5\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$; volume prélevé $V_0 = 1{,}00$ mL ; volume de la fiole $V = 500{,}0$ mL

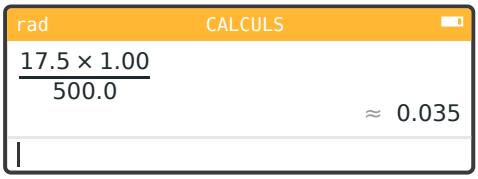
Il s'agit d'une dilution : la quantité de matière d'acide prélevée se retrouve entièrement dans la fiole, donc $c_0\,V_0 = c_1\,V$.

$$c_1 = \frac{c_0\,V_0}{V} = \frac{17{,}5 \times 1{,}00}{500{,}0}$$

$c_1 = 3{,}50 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme c_0 et V_0, les données les moins précises. Les deux volumes sont en mL : leur rapport ne dépend pas de l'unité, inutile de convertir.

À LA CALCULATRICE



2.2 Compléter la ligne 1 du tableau d'avancement en écrivant l'équation de la réaction acido-basique entre l'acide AH et l'eau.

L'acide AH cède un ion $\mathrm{H^+}$ à l'eau, qui joue le rôle de base (couple $\mathrm{H_3O^+/H_2O}$) :

$\mathrm{AH\,(aq) + H_2O\,(l) = A^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)}$

PIÈGE
Oublier les états physiques ou écrire $\mathrm{H^+}$ à la place de $\mathrm{H_3O^+}$: en solution aqueuse, le proton cédé est capté par une molécule d'eau.

2.3 On note x l'avancement de la réaction. Compléter les lignes 2, 3, 4 et 5 du tableau d'avancement en fonction de c_1, V, x, x_{max} ou x_f.

Quantité initiale d'acide : $n_0(\mathrm{AH}) = c_1\,V$. Aucun produit n'est présent au départ.

Les nombres stœchiométriques valent tous 1 : quand l'avancement vaut x, il disparaît x mol de AH et il se forme x mol de $\mathrm{A^-}$ et x mol de $\mathrm{H_3O^+}$.

L'eau est le solvant, en large excès : sa colonne n'est pas remplie.

Tableau complété ci-dessous : $c_1V - x$ pour l'acide ; x pour chaque produit ; même écriture avec x_f puis x_{max}.

Ligne 1	équation de la réaction		AH(aq) + H_2O(l) = A^-(aq) + H_3O^+(aq)			
	État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (en mol)			
Ligne 2	État initial	0	c_1 V	solvant	0	0
Ligne 3	En cours	x	c_1 V − x	solvant	x	x
Ligne 4	État final	x_f	c_1 V − x_f	solvant	x_f	x_f
Ligne 5	État maximal	x_{max}	c_1 V − x_{max}	solvant	x_{max}	x_{max}

2.3 · Annexe complétée (en orange, ce que l'élève écrit)

2.4 Déterminer la valeur de l'avancement maximal x_{max} en considérant la transformation comme totale.

Données utiles $c_1 = 3{,}50 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ (2.1) ; $V = 500{,}0\ \mathrm{mL} = 0{,}5000\ \mathrm{L}$

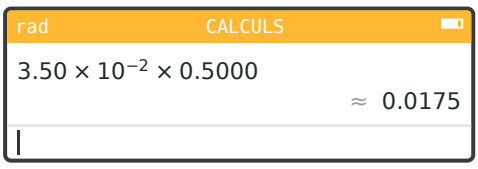
Si la transformation est totale, le réactif limitant AH est entièrement consommé (l'eau est en excès) : $c_1\,V - x_{max} = 0$.

$$x_{max} = c_1\,V = 3{,}50 \times 10^{-2} \times 0{,}5000$$

$x_{max} = 1{,}75 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol}$

PIÈGE
Laisser V en mL : la concentration est en $\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$, le volume doit être en litres.

À LA CALCULATRICE



2.5 Quelle est la valeur de la concentration finale en ions oxonium $[\mathrm{H_3O^+}]_{1,f}$? En déduire la valeur de l'avancement final x_{1f}.

Données utiles $\mathrm{pH} = 3{,}1$; $V = 0{,}5000\ \mathrm{L}$

Par définition du pH : $[\mathrm{H_3O^+}]_{1,f} = 10^{-\mathrm{pH}} = 10^{-3{,}1} = 7{,}9 \times 10^{-4}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$.

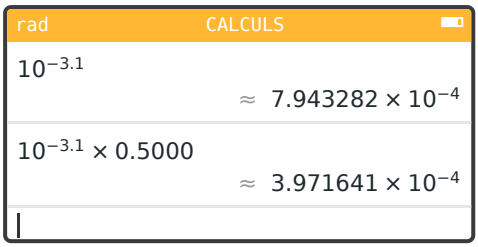
D'après la ligne 4 du tableau, $n_f(\mathrm{H_3O^+}) = x_{1f}$, donc :

$$x_{1f} = [\mathrm{H_3O^+}]_{1,f} \times V = 7{,}9 \times 10^{-4} \times 0{,}5000$$

$[\mathrm{H_3O^+}]_{1,f} = 7{,}9 \times 10^{-4}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ et $x_{1f} = 4{,}0 \times 10^{-4}\ \mathrm{mol}$

COMPRENDRE
Un pH donné au dixième ne permet pas plus de deux chiffres significatifs sur la concentration. Dans le programme actuel, on écrit $[\mathrm{H_3O^+}] = c^\circ \times 10^{-\mathrm{pH}}$ avec $c^\circ = 1\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$.

À LA CALCULATRICE



2.6 La transformation associée à la réaction de l'acide AH sur l'eau est-elle totale ou limitée ? Justifier.

Données utiles $x_{1f} = 4{,}0 \times 10^{-4}$ mol (2.5) ; $x_{max} = 1{,}75 \times 10^{-2}$ mol (2.4)

On compare l'avancement final à l'avancement maximal : $4{,}0 \times 10^{-4}\ \text{mol} < 1{,}75 \times 10^{-2}\ \text{mol}$.

$x_{1f} < x_{max}$: la transformation est **limitée** (non totale).

COMPRENDRE
À l'état final, il reste de l'acide AH alors qu'il est le réactif limitant : les quatre espèces coexistent, c'est un état d'équilibre. AH est un acide faible.

2.7 Donner la définition du taux d'avancement final d'une transformation chimique.

Le taux d'avancement final est le quotient de l'avancement final par l'avancement maximal :

$$\tau = \frac{x_f}{x_{max}}$$

COMPRENDRE
τ est sans unité et compris entre 0 et 1 : $\tau = 1$ pour une transformation totale, $\tau < 1$ pour une transformation limitée.

2.8 Calculer la valeur du taux d'avancement final τ_1 de la transformation associée à la réaction de l'acide AH sur l'eau.

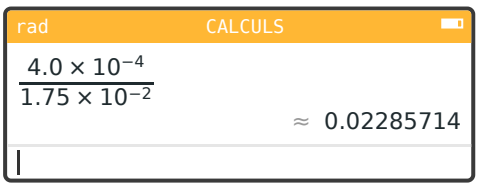
Données utiles $x_{1f} = 4{,}0 \times 10^{-4}$ mol (2.5) ; $x_{max} = 1{,}75 \times 10^{-2}$ mol (2.4)

$$\tau_1 = \frac{x_{1f}}{x_{max}} = \frac{4{,}0 \times 10^{-4}}{1{,}75 \times 10^{-2}}$$

$\tau_1 = 0{,}023$, soit $2{,}3\ \%$

COMPRENDRE
Seulement 2,3 % des molécules d'acide apportées ont réagi avec l'eau.

À LA CALCULATRICE



2.9 Identifier l'acide contenu dans la solution S_0.

Données utiles taux d'avancement final à la concentration c_1 : acide méthanoïque 0,072 ; acide éthanoïque 0,023 ; acide propanoïque 0,018

La valeur $\tau_1 = 0{,}023$ (2.8) est celle que le tableau attribue à l'acide éthanoïque.

L'acide de la solution S_0 est l'**acide éthanoïque** $\mathrm{CH_3COOH}$.

3.1 Donner l'expression de la conductivité σ_2 en fonction des concentrations molaires ioniques $[\mathrm{H_3O^+}]_{2,f}$ et $[\mathrm{A^-}]_{2,f}$, en négligeant la contribution des ions hydroxyde.

Les seuls ions pris en compte sont $\mathrm{H_3O^+}$ et $\mathrm{A^-}$. D'après la loi rappelée :

$$\sigma_2 = \lambda_{\mathrm{H_3O^+}}\,[\mathrm{H_3O^+}]_{2,f} + \lambda_{\mathrm{A^-}}\,[\mathrm{A^-}]_{2,f}$$

3.2 En déduire l'expression de σ_2 en fonction de la concentration finale en ions oxonium $[H_3O^+]_{2,f}$ et des conductivités molaires ioniques.

D'après l'équation de la réaction (ou la ligne 4 du tableau), les ions A^- et H_3O^+ se forment en même quantité, dans le même volume : $[A^-]_{2,f} = [H_3O^+]_{2,f}$.

$$\sigma_2 = (\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{A^-})\,[H_3O^+]_{2,f}$$

3.3 Calculer la valeur de la concentration finale en ions oxonium $[H_3O^+]_{2,f}$ dans la solution S_2, exprimée en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Données utiles $\sigma_2 = 1{,}07 \times 10^{-2}\ \text{S} \cdot \text{m}^{-1}$; $\lambda_{A^-} = 4{,}1 \times 10^{-3}\ \text{S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$; $\lambda_{H_3O^+} = 35 \times 10^{-3}\ \text{S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$

On isole la concentration dans la relation de la question 3.2 :

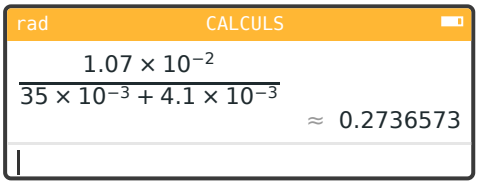
$$[H_3O^+]_{2,f} = \frac{\sigma_2}{\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{A^-}} = \frac{1{,}07 \times 10^{-2}}{35 \times 10^{-3} + 4{,}1 \times 10^{-3}} = 0{,}27\ \text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$$

Conversion : $1\ \text{m}^3 = 10^3\ \text{L}$, donc $0{,}27\ \text{mol} \cdot \text{m}^{-3} = 0{,}27 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

$$[H_3O^+]_{2,f} = 2{,}7 \times 10^{-4}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

PIÈGE
Avec σ en $\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$ et λ en $\text{S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$, la concentration obtenue est en $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$. Pour passer en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, on divise par 1000.

À LA CALCULATRICE



3.4 Calculer la valeur du taux d'avancement final τ_2 pour la transformation chimique entre l'acide AH et l'eau à la concentration c_2.

Données utiles $\tau_2 = \dfrac{[H_3O^+]_{2,f}}{c_2}$; $c_2 = 5{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $[H_3O^+]_{2,f} = 2{,}74 \times 10^{-4}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (3.3, valeur non arrondie)

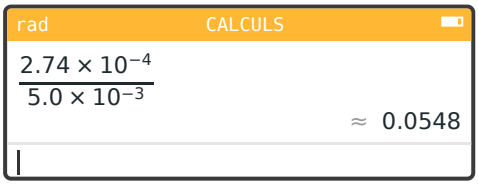
$$\tau_2 = \frac{[H_3O^+]_{2,f}}{c_2} = \frac{2{,}74 \times 10^{-4}}{5{,}0 \times 10^{-3}}$$

$$\tau_2 = 0{,}055, \text{ soit } 5{,}5\ \%$$

COMPRENDRE
On reprend la valeur non arrondie de la question 3.3. Avec $2{,}7 \times 10^{-4}$, on trouverait 0,054 : ce résultat est aussi accepté.

MÉTHODE
L'expression admise se retrouve : $x_f = [H_3O^+]_f\, V_2$ et $x_{max} = c_2\, V_2$; le volume se simplifie dans le quotient.

À LA CALCULATRICE



3.5 La valeur de τ_2 est-elle égale ou différente de celle de τ_1 calculée à la question 2.8 ? Ce résultat était-il prévisible ? Expliquer.

Données utiles $\tau_1 = 0{,}023$ pour $c_1 = 3{,}50 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $\tau_2 = 0{,}055$ pour $c_2 = 5{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

Les deux valeurs sont différentes : $\tau_2 = 0{,}055$ est plus de deux fois plus grand que $\tau_1 = 0{,}023$.

Ce résultat était prévisible. Il s'agit du même acide, mais la solution S_2 est sept fois moins concentrée que S_1. Or le taux d'avancement final d'une transformation limitée dépend de l'état initial du système : plus la solution d'acide est diluée, plus l'acide réagit avec l'eau.

$\tau_2 > \tau_1$: le taux d'avancement final augmente quand la concentration apportée en acide diminue.

PIÈGE
Conclure que l'acide n'est plus le même parce que τ a changé. Le tableau de la question 2.9 ne vaut qu'à la concentration c_1.

COMPRENDRE
La constante d'équilibre de la réaction ne dépend pas de la concentration, le taux d'avancement final si. C'est pourquoi le tableau de l'énoncé précise « pour des solutions de même concentration c_1 ».