L'élément chlore

Bac S 2009 La Réunion (ancien programme) · Exercice 2 **7 points** **Durée conseillée 1 h 31**

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

Un acide au sens de Brönsted est une espèce chimique capable de céder au moins un ion hydrogène H^+ (un proton).

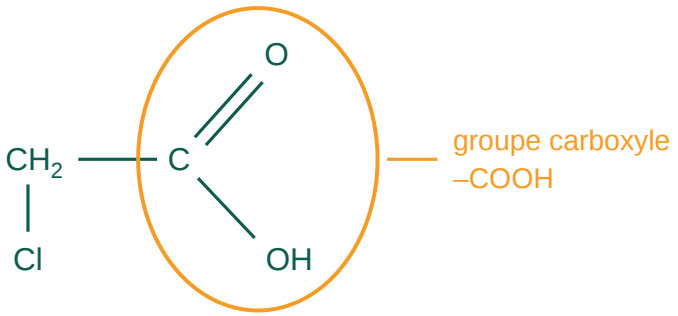
COMPRENDRE
L'ion H^+ cédé est capté par une base. Ici la base est l'eau, qui devient l'ion oxonium H_3O^+.

1.2 Recopier la formule semi-développée de l'acide monochloroéthanoïque et entourer le groupe acide carboxylique.

On recopie la formule du tableau et on entoure l'ensemble formé par le carbone, l'oxygène doublement lié et le groupe OH.

Le groupe entouré est le groupe carboxyle $-COOH$ (voir figure).

PIÈGE
N'entourer que OH (ce serait un groupe hydroxyle) ou que $C{=}O$ (un groupe carbonyle). Le groupe carboxyle réunit les deux sur le même carbone.



1.2 · Formule semi-développée de l'acide monochloroéthanoïque, groupe carboxyle entouré

1.3 Montrer que les concentrations c_1 et c_2 sont égales.

Données utiles $m_1 = 0{,}945$ g ; $M = 94{,}5$ g · mol^{-1} ; $V_1 = 1{,}00$ L ; $n_2 = 1{,}00 \times 10^{-3}$ mol ; $V_2 = 100$ mL

Solution S_1 : $n_1 = \dfrac{m_1}{M}$, donc $c_1 = \dfrac{n_1}{V_1} = \dfrac{m_1}{M\,V_1}$

$$c_1 = \frac{0{,}945}{94{,}5 \times 1{,}00} = 1{,}00 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Solution S_2 : $c_2 = \dfrac{n_2}{V_2}$ avec $V_2 = 0{,}100$ L

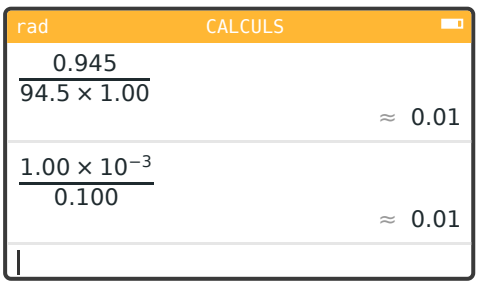
$$c_2 = \frac{1{,}00 \times 10^{-3}}{0{,}100} = 1{,}00 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$c_1 = c_2 = 1{,}00 \times 10^{-2}$ mol · L^{-1} : les deux concentrations en soluté apporté sont égales.

PIÈGE
Laisser V_2 en millilitres : on trouverait c_2 mille fois trop petite.

COMPRENDRE
Toutes les données ont trois chiffres significatifs : le résultat s'écrit $1{,}00 \times 10^{-2}$, et non $0{,}01$.

À LA CALCULATRICE



1.4.1 Compléter le tableau d'avancement de la réaction de l'acide AH avec l'eau, avec les grandeurs c, V, x, x_{max} et x_f.

La quantité initiale d'acide est $n_0 = cV$. D'après l'équation, quand l'avancement vaut x, il a disparu x mol de AH et il s'est formé x mol de $\mathrm{H_3O^+}$ et x mol de $\mathrm{A^-}$. L'eau est le solvant, en large excès : sa colonne reste barrée.

Tableau complété sur l'annexe (voir figure) : il reste $cV - x_f$ mol d'acide à l'état final.

MÉTHODE
Les quatre lignes ont la même structure : on remplace seulement x par $x(t)$, x_f puis x_{max}. Dans la dernière ligne, le réactif limitant est entièrement consommé.

Équation chimique		AH(aq) + H₂O(l) = H₃O⁺(aq) + A⁻(aq)			
État du système	Avancement (mol)	Quantité de matière (en mol)			
État initial	x = 0	cV		0	0
En cours	x(t)	cV − x(t)		x(t)	x(t)
État final	x_f	cV − x_f		x_f	x_f
Avancement maximal	x_{max}	cV − x_{max} = 0		x_{max}	x_{max}

1.4.1 · Annexe complétée (en orange : ce que l'élève écrit)

1.4.2 Exprimer la quantité de matière finale en ion oxonium en fonction du pH et du volume V.

Par définition du pH : $[\mathrm{H_3O^+}]_f = 10^{-\mathrm{pH}}$ (en $\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$).

Or $n(\mathrm{H_3O^+})_f = [\mathrm{H_3O^+}]_f \times V$, donc

$$n(\mathrm{H_3O^+})_f = 10^{-\mathrm{pH}} \times V$$

COMPRENDRE
D'après le tableau, cette quantité est aussi l'avancement final : $x_f = 10^{-\mathrm{pH}} \times V$. C'est la mesure du pH qui donne accès à x_f.

1.4.3 Définir le taux d'avancement final τ.

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, compris entre 0 et 1. Si $\tau = 1$ la transformation est totale ; si $\tau < 1$ elle est limitée (non totale).

1.4.4 Montrer que le taux d'avancement s'écrit $\tau = \dfrac{10^{-\mathrm{pH}}}{c}$.

Avancement final (1.4.2) : $x_f = n(\mathrm{H_3O^+})_f = 10^{-\mathrm{pH}} \times V$.

Avancement maximal : si la transformation était totale, l'acide serait entièrement consommé, $cV - x_{max} = 0$, soit $x_{max} = cV$.

$$\tau = \frac{x_f}{x_{max}} = \frac{10^{-\mathrm{pH}} \times V}{c \times V}$$

$\tau = \dfrac{10^{-\mathrm{pH}}}{c}$: c'est bien l'expression attendue.

PIÈGE
Oublier de justifier $x_{max} = cV$: l'eau étant en excès, c'est l'acide qui est le réactif limitant.

1.4.5 En déduire les valeurs τ_1 et τ_2 du taux d'avancement final pour les solutions S_1 et S_2.

Données utiles $\mathrm{pH}_1 = 2{,}5$; $\mathrm{pH}_2 = 2{,}0$; $c_1 = c_2 = 1{,}00 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ (1.3)

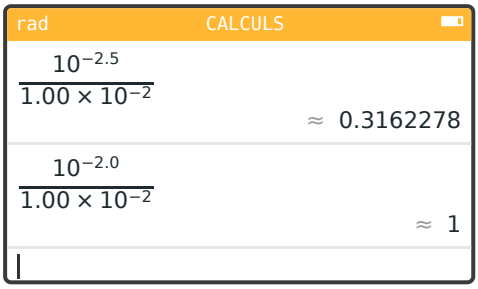
Solution S_1 : $\tau_1 = \dfrac{10^{-\mathrm{pH}_1}}{c_1} = \dfrac{10^{-2{,}5}}{1{,}00 \times 10^{-2}} = 0{,}32$

Solution S_2 : $\tau_2 = \dfrac{10^{-\mathrm{pH}_2}}{c_2} = \dfrac{10^{-2{,}0}}{1{,}00 \times 10^{-2}} = 1{,}0$

$\tau_1 = 0{,}32$ (soit 32 %) et $\tau_2 = 1{,}0$ (soit 100 %)

COMPRENDRE
Le pH n'est donné qu'au dixième : on se limite à deux chiffres significatifs, écrire $\tau_1 = 0{,}316$ serait illusoire.

À LA CALCULATRICE



1.4.6 Conclure sur la réactivité avec l'eau des deux acides étudiés.

$\tau_2 = 1{,}0$: la transformation entre le chlorure d'hydrogène et l'eau est totale.

$\tau_1 = 0{,}32 < 1$: la transformation entre l'acide monochloroéthanoïque et l'eau est limitée, elle conduit à un équilibre chimique où seul un tiers environ des molécules d'acide a réagi.

À concentration égale, l'acide chlorhydrique réagit davantage avec l'eau que l'acide monochloroéthanoïque ($\tau_2 > \tau_1$).

COMPRENDRE
Dans le vocabulaire actuel, l'acide chlorhydrique est un acide fort (réaction totale avec l'eau) et l'acide monochloroéthanoïque un acide faible.

MÉTHODE
La comparaison n'a de sens que parce que $c_1 = c_2$: le taux d'avancement d'un acide faible dépend de sa concentration.

2.1 Donner la composition du noyau de chlore 36.

Le noyau $^{36}_{17}\mathrm{Cl}$ a pour numéro atomique $Z = 17$ et pour nombre de nucléons $A = 36$. Nombre de neutrons : $N = A - Z = 36 - 17 = 19$.

Le noyau de chlore 36 contient 17 protons et 19 neutrons.

PIÈGE
Citer des électrons : il n'y en a pas dans le noyau. Et 36 est le nombre de nucléons, pas le nombre de neutrons.

2.2 Donner la définition du terme « isotope ».

Des noyaux isotopes ont le même nombre de protons (même Z, donc même élément chimique) mais des nombres de neutrons différents (donc des A différents).

COMPRENDRE
Les chlores 35, 36 et 37 ont tous 17 protons, avec respectivement 18, 19 et 20 neutrons.

2.3 Donner la définition d'un noyau radioactif.

Un noyau radioactif est un noyau instable qui se désintègre spontanément, de façon aléatoire, en un autre noyau avec émission d'une particule (et souvent d'un rayonnement).

2.4.1 Donner l'équation de la désintégration d'un noyau de chlore 36 en indiquant les lois de conservation utilisées.

On écrit ${}^{36}_{17}\mathrm{Cl} \longrightarrow {}^{36}_{18}\mathrm{Ar} + {}^{A}_{Z}\mathrm{X}$ et on applique les lois de conservation (lois de Soddy) :

- conservation du nombre de nucléons : $36 = 36 + A$, donc $A = 0$;
- conservation du nombre de charge : $17 = 18 + Z$, donc $Z = -1$.

La particule ${}^{0}_{-1}\mathrm{X}$ est un électron.

$$\boxed{{}^{36}_{17}\mathrm{Cl} \longrightarrow {}^{36}_{18}\mathrm{Ar} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}}$$

PIÈGE
Écrire « conservation de la masse » ou « des éléments » : dans une réaction nucléaire, l'élément chimique change. Ce sont A et Z qui se conservent.

2.4.2 Donner le nom de la particule émise et le nom du type de radioactivité mis en jeu.

La particule émise est un électron : il s'agit d'une radioactivité β^-.

COMPRENDRE
Dans le noyau, un neutron s'est transformé en proton : Z augmente d'une unité et A ne change pas.

2.5 Donner l'expression de la loi de décroissance, c'est-à-dire $N(t)$ en fonction de N_0 et de t.

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

COMPRENDRE
$\lambda\,t$ doit être sans unité : si t est en années, λ s'exprime en an^{-1}.

2.6 Donner la définition du temps de demi-vie.

Le temps de demi-vie $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs initialement présents s'est désintégrée : $N(t_{1/2}) = \dfrac{N_0}{2}$.

PIÈGE
Dire que tous les noyaux ont disparu au bout de deux demi-vies : il en reste alors le quart.

2.7 Calculer la valeur de la constante radioactive.

Données utiles $t_{1/2} = 3{,}08 \times 10^5$ ans

D'après la relation rappelée : $\lambda = \dfrac{\ln 2}{t_{1/2}}$

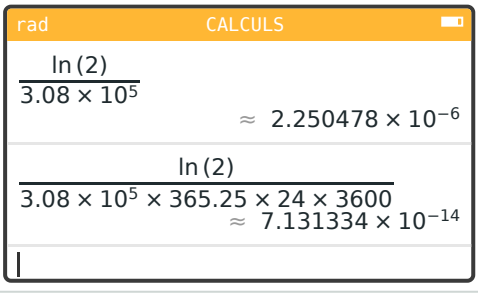
$$\lambda = \frac{\ln 2}{3{,}08 \times 10^5} = 2{,}25 \times 10^{-6}\ \mathrm{an}^{-1}$$

En secondes, avec 1 an $= 365{,}25 \times 24 \times 3600$ s : $\lambda = 7{,}13 \times 10^{-14}\ \mathrm{s}^{-1}$.

$$\boxed{\lambda = 2{,}25 \times 10^{-6}\ \mathrm{an}^{-1}\ (\text{soit } 7{,}13 \times 10^{-14}\ \mathrm{s}^{-1})}$$

MÉTHODE
Garder λ en an^{-1} est le plus commode ici : l'âge demandé ensuite sortira directement en années.

À LA CALCULATRICE



2.8.1 Donner la valeur du rapport $\frac{N(t_1)}{N_0}$ pour le morceau de glace étudié.

Il reste 75 % des noyaux de chlore 36 d'un échantillon récent : $N(t_1) = 0{,}75\,N_0$.

$$\frac{N(t_1)}{N_0} = 0{,}75$$

COMPRENDRE
L'échantillon récent, de même masse, joue le rôle de l'état initial : la teneur en chlore 36 des eaux de surface est constante au cours du temps.

2.8.2 À l'aide de la loi de décroissance, montrer que $t_1 = -\frac{1}{\lambda}\ln\left(\frac{N(t_1)}{N_0}\right)$.

À la date t_1 : $N(t_1) = N_0\,\mathrm{e}^{-\lambda t_1}$, soit $\frac{N(t_1)}{N_0} = \mathrm{e}^{-\lambda t_1}$.

On prend le logarithme népérien des deux membres : $\ln\left(\frac{N(t_1)}{N_0}\right) = -\lambda\,t_1$.

$t_1 = -\frac{1}{\lambda}\ln\left(\frac{N(t_1)}{N_0}\right)$: c'est l'expression attendue.

MÉTHODE
Pour extraire une inconnue placée en exposant : isoler l'exponentielle, puis appliquer $\ln$, car $\ln(\mathrm{e}^a) = a$.

2.8.3 Déterminer l'âge t_1 de l'échantillon de glace de l'Arctique.

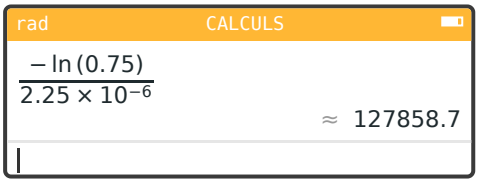
Données utiles $\frac{N(t_1)}{N_0} = 0{,}75$ (2.8.1) ; $\lambda = 2{,}25 \times 10^{-6}\ \mathrm{an}^{-1}$ (2.7)

$$t_1 = -\frac{1}{\lambda}\ln\left(\frac{N(t_1)}{N_0}\right) = -\frac{\ln(0{,}75)}{2{,}25 \times 10^{-6}} = 1{,}28 \times 10^5 \text{ ans}$$

$t_1 = 1{,}28 \times 10^5$ ans : la glace a environ 128 000 ans.

COMPRENDRE
Contrôle : il reste plus de la moitié des noyaux, donc $t_1 < t_{1/2} = 3{,}08 \times 10^5$ ans. Le signe « $-$ » compense $\ln(0{,}75) < 0$.

À LA CALCULATRICE



2.8.4 Pourquoi ne pas avoir utilisé la datation au carbone 14, de demi-vie 5 700 ans, pour dater cet échantillon ?

Données utiles $t_1 = 1{,}28 \times 10^5$ ans (2.8.3)

L'âge de la glace représente $\dfrac{t_1}{t_{1/2}(^{14}\text{C})} = \dfrac{1{,}28 \times 10^5}{5\,700} \approx 22$ demi-vies du carbone 14.

La proportion de carbone 14 restant est alors de l'ordre de $\dfrac{1}{2^{22}} \approx 2 \times 10^{-7}$: il n'en reste pratiquement plus, la quantité est trop faible pour être mesurée avec précision.

La demi-vie du carbone 14 est beaucoup trop courte devant l'âge de l'échantillon : le carbone 14 a presque entièrement disparu, la datation serait impossible ou très imprécise.

MÉTHODE

Un radioélément date correctement des âges du même ordre de grandeur que sa demi-vie (jusqu'à une dizaine de demi-vies environ).

À LA CALCULATRICE

