Déchets radioactifs et synthèse organique

Bac S 2008 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 3 **8 points** **Durée conseillée 1 h 44**

1.1.1 Qu'est-ce qu'une particule α ? Donner sa représentation symbolique sous la forme ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$.

Une particule α est un noyau d'hélium 4, formé de 2 protons et 2 neutrons.

$\alpha = {}^{4}_{2}\mathrm{He}$

1.1.2 Qu'est-ce qu'une particule β^- ? Qu'est-ce qu'une particule β^+ ?

Une particule β^- est un électron, noté ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$.

Une particule β^+ est un positon, noté ${}^{0}_{1}\mathrm{e}$: même masse que l'électron, charge opposée.

β^- : électron ; β^+ : positon

PIÈGE
Répondre « un proton » pour β^+. Le positon porte bien la charge $+e$, mais sa masse est celle de l'électron et son nombre de nucléons est nul.

1.1.3 Combien de désintégrations par seconde se produit-il dans un litre de lait ?

Données utiles $A = 0{,}22$ Bq pour un litre

Un becquerel correspond à une désintégration par seconde.

Il se produit en moyenne 0,22 désintégration par seconde dans un litre de lait.

COMPRENDRE
La valeur est inférieure à 1 parce que c'est une moyenne : on compte environ une désintégration toutes les 4,5 secondes.

1.1.4 Donner la définition de la demi-vie d'un élément radioactif.

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

PIÈGE
Dire qu'après deux demi-vies tout a disparu. À chaque demi-vie la population restante est divisée par deux : il reste un quart, puis un huitième, etc.

1.1.5 Donner la loi de décroissance radioactive.

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

$N(t)$: nombre de noyaux radioactifs à la date t ; N_0 : nombre de noyaux à $t = 0$; λ : constante radioactive, inverse d'un temps.

1.1.6 À l'aide des deux réponses précédentes, démontrer la relation $\lambda = \dfrac{\ln 2}{t_{1/2}}$.

À la date $t_{1/2}$, la définition donne $N(t_{1/2}) = \dfrac{N_0}{2}$ et la loi de décroissance $N(t_{1/2}) = N_0\,\mathrm{e}^{-\lambda t_{1/2}}$.

Donc $\mathrm{e}^{-\lambda t_{1/2}} = \dfrac{1}{2}$, soit $-\lambda\, t_{1/2} = \ln\dfrac{1}{2} = -\ln 2$.

$\lambda = \dfrac{\ln 2}{t_{1/2}}$

MÉTHODE
Pour faire descendre un exposant, isoler d'abord l'exponentielle seule d'un côté, puis prendre le logarithme népérien des deux membres : $\ln(\mathrm{e}^{x}) = x$.

1.1.7 En déduire la valeur de la constante radioactive du césium 137 en an^{-1} puis en s^{-1}.

Données utiles $t_{1/2} = 30$ ans

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{\ln 2}{30} = 2{,}3 \times 10^{-2} \text{ an}^{-1}$$

En secondes : $t_{1/2} = 30 \times 365{,}25 \times 24 \times 3600 = 9{,}5 \times 10^{8}$ s, d'où $\lambda = \dfrac{\ln 2}{9{,}5 \times 10^{8}}$

$$\boxed{\lambda = 2{,}3 \times 10^{-2} \text{ an}^{-1} = 7{,}3 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}}$$

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{\ln(2)}{30} \approx 0.02310491$

$30 \times 365.25 \times 24 \times 3600 \approx 9.46728 \times 10^{8}$

$\dfrac{\ln(2)}{30 \times 365.25 \times 24 \times 3600} \approx 7.321503 \times 10^{-10}$

PIÈGE
Multiplier λ par le nombre de secondes d'une année au lieu de diviser. λ est l'inverse d'un temps : exprimée en s^{-1}, sa valeur est beaucoup plus petite.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la demi-vie (30 ans) et l'activité (0,22 Bq). On garde la valeur non arrondie en mémoire pour les calculs suivants.

1.1.8 Déterminer le nombre de noyaux radioactifs de césium 137 présents dans un litre de lait.

Données utiles $A = 0{,}22$ Bq ; $\lambda = 7{,}3 \times 10^{-10}$ s^{-1} (1.1.7)

L'activité est proportionnelle au nombre de noyaux radioactifs : $A = \lambda N$, donc $N = \dfrac{A}{\lambda}$.

$$N = \frac{0{,}22}{7{,}3 \times 10^{-10}}$$

$$\boxed{N = 3{,}0 \times 10^{8} \text{ noyaux de césium 137 dans un litre de lait}}$$

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{0.22}{7.3 \times 10^{-10}} \approx 3.013699 \times 10^{8}$

PIÈGE
Utiliser λ en an^{-1}. L'activité en becquerels compte des désintégrations par seconde : λ doit être en s^{-1}.

1.1.9 En déduire la concentration molaire volumique en césium 137 du lait de vache.

Données utiles $N = 3{,}0 \times 10^{8}$ (1.1.8) ; $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1} ; $V = 1{,}0$ L

Quantité de matière : $n = \dfrac{N}{N_A}$; concentration : $c = \dfrac{n}{V} = \dfrac{N}{N_A V}$.

$$c = \frac{3{,}0 \times 10^{8}}{6{,}02 \times 10^{23} \times 1{,}0}$$

$$\boxed{c = 5{,}0 \times 10^{-16} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

COMPRENDRE
Cette concentration est infime, impossible à mesurer par un dosage chimique. Le comptage des désintégrations permet pourtant de détecter ces quelques centaines de millions de noyaux.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{3.0 \times 10^{8}}{6.02 \times 10^{23} \times 1.0} \approx 4.983389 \times 10^{-16}$$

1.1.10 L'origine des dates est l'instant où l'activité d'un litre de lait vaut 0,22 Bq. Au bout de combien de temps ne restera-t-il plus que 1 % de cette activité ?

Données utiles $\lambda = \dfrac{\ln 2}{30}$ an^{-1} (1.1.7)

L'activité suit la même loi que N : $A(t) = A_0\,\mathrm{e}^{-\lambda t}$.

On cherche t tel que $A(t) = \dfrac{A_0}{100}$: $\mathrm{e}^{-\lambda t} = \dfrac{1}{100}$, donc $-\lambda t = -\ln 100$ et

$$t = \frac{\ln 100}{\lambda} = \frac{\ln 100}{\ln 2} \times 30$$

$t = 2{,}0 \times 10^{2}$ ans, soit $6{,}3 \times 10^{9}$ s

PIÈGE
La valeur $A_0 = 0{,}22$ Bq ne sert pas : seul le rapport A/A_0 intervient. Ne pas écrire non plus $\ln(0{,}01)$ sans le signe moins, ce qui donnerait une durée négative.

COMPRENDRE
Contrôle rapide : diviser par 100 demande entre 6 demi-vies ($2^6 = 64$) et 7 demi-vies ($2^7 = 128$), donc entre 180 et 210 ans.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{\ln(100)}{\ln(2)} \times 30 \approx 199.3157$$

$$\frac{\ln(100)}{\ln(2)} \times 30 \times 365.25 \times 24 \times 3600 \approx 6.289925 \times 10^{9}$$

1.2.1 Écrire l'équation de la réaction nucléaire correspondant à la capture d'un neutron par l'uranium 238, en énonçant les lois de conservation utilisées.

Lois de conservation (lois de Soddy) : au cours d'une réaction nucléaire, le nombre de charge Z et le nombre de nucléons A se conservent.

Nucléons : $238 + 1 = 239$; charge : $92 + 0 = 92$.

$$^{238}_{92}\mathrm{U} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \longrightarrow {}^{239}_{92}\mathrm{U}$$

1.2.2 L'uranium 239 et le plutonium 239 sont-ils des isotopes ? Justifier.

Des isotopes ont le même numéro atomique Z et des nombres de nucléons A différents. Ici c'est l'inverse : même $A = 239$, mais $Z = 92$ pour l'uranium et $Z = 94$ pour le plutonium.

Ce ne sont pas des isotopes : ce sont deux éléments chimiques différents.

1.2.3 Écrire l'équation de la désintégration de l'uranium 239 en neptunium 239, puis celle du neptunium 239 en plutonium 239.

Chaque noyau libère un électron : ce sont deux désintégrations β^-.

$$^{239}_{92}\mathrm{U} \longrightarrow {}^{239}_{93}\mathrm{Np} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$$

$$^{239}_{93}\mathrm{Np} \longrightarrow {}^{239}_{94}\mathrm{Pu} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$$

MÉTHODE
Vérifier chaque équation ligne par ligne : en haut $239 = 239 + 0$; en bas $92 = 93 - 1$ puis $93 = 94 - 1$.

1.2.4 Calculer l'énergie libérée par la désintégration d'un noyau d'uranium 239 en neptunium 239. Convertir le résultat en eV.

Données utiles $m(^{239}\text{U}) = 239{,}054\,29$ u ; $m(^{239}\text{Np}) = 239{,}052\,94$ u ; $m(\text{e}) = 0{,}000\,55$ u ; $1\text{ u} = 1{,}660\,54 \times 10^{-27}$ kg ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1} ; $1\text{ eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J

Perte de masse : $\Delta m = m(^{239}\text{U}) - m(^{239}\text{Np}) - m(\text{e}) = 239{,}054\,29 - 239{,}052\,94 - 0{,}000\,55 = 0{,}000\,80$ u.

Énergie libérée : $E = \Delta m\, c^2$

$$E = 0{,}000\,80 \times 1{,}660\,54 \times 10^{-27} \times (3{,}00 \times 10^{8})^2 = 1{,}2 \times 10^{-13}\text{ J}$$

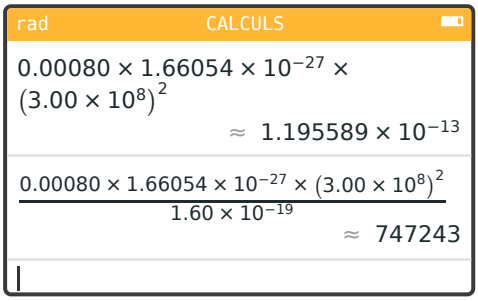
En électronvolts : $E = \dfrac{1{,}2 \times 10^{-13}}{1{,}60 \times 10^{-19}}$

$E = 1{,}2 \times 10^{-13}\text{ J} = 7{,}5 \times 10^{5}\text{ eV}$ (soit 0,75 MeV)

PIÈGE
Laisser la masse en u dans $E = \Delta m\, c^2$: il faut des kilogrammes pour obtenir des joules. Arrondir les masses avant la soustraction fait aussi disparaître toute la perte de masse.

COMPRENDRE
La différence de masses ne garde que deux chiffres significatifs (0,000 80 u) alors que chaque masse en a huit : c'est elle qui fixe la précision du résultat.

À LA CALCULATRICE



1.2.5 En déduire l'énergie libérée par 1,0 g d'uranium 239.

Données utiles $E = 1{,}2 \times 10^{-13}$ J par noyau (1.2.4) ; $m(^{239}\text{U}) = 239{,}054\,29$ u ; $1\text{ u} = 1{,}660\,54 \times 10^{-27}$ kg

Nombre de noyaux dans $m = 1{,}0\text{ g} = 1{,}0 \times 10^{-3}$ kg : $N_U = \dfrac{m}{m(^{239}\text{U})}$

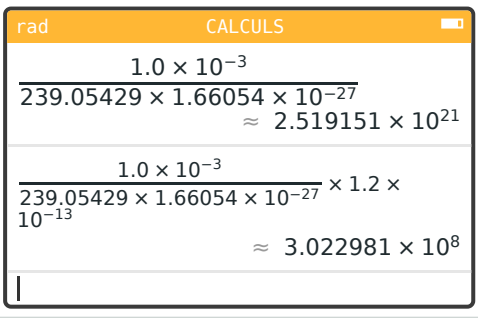
$$N_U = \frac{1{,}0 \times 10^{-3}}{239{,}054\,29 \times 1{,}660\,54 \times 10^{-27}} = 2{,}5 \times 10^{21}\text{ noyaux}$$

Énergie libérée : $E_{1\,\text{g}} = N_U \times E = 2{,}5 \times 10^{21} \times 1{,}2 \times 10^{-13}$

$E_{1\,\text{g}} = 3{,}0 \times 10^{8}$ J

PIÈGE
Garder 1,0 g en grammes alors que la masse du noyau est en kilogrammes : le nombre de noyaux serait mille fois trop grand.

À LA CALCULATRICE



2.1.1 Écrire la formule semi-développée de l'éthanol.

CH_3-CH_2-OH

2.1.2 Écrire la formule semi-développée de l'acide méthanoïque.

Un seul atome de carbone, porteur du groupe carboxyle : le carbone est lié à H, doublement lié à O et lié au groupe OH (schéma en 2.1.3).

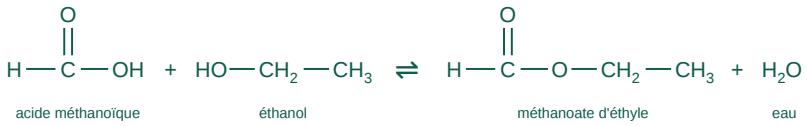
$H-COOH$, soit $H-C(=O)-OH$

2.1.3 En utilisant ces deux formules semi-développées, écrire l'équation de la réaction qui a eu lieu entre l'éthanol et l'acide méthanoïque.

C'est une estérification : l'acide carboxylique et l'alcool donnent un ester et de l'eau. La transformation est limitée, d'où la double flèche.

$H-COOH + CH_3-CH_2-OH \rightleftharpoons H-COO-CH_2-CH_3 + H_2O$

PIÈGE
Oublier la molécule d'eau, ou écrire une flèche simple : l'estérification est limitée par la réaction inverse, l'hydrolyse de l'ester.



2.1.3 · Équation de l'estérification en formules semi-développées

2.1.4 Quel est le nom de l'ester synthétisé dans la nomenclature officielle ?

Le nom d'un ester se construit en deux parties : la chaîne venant de l'acide (méthanoïque → méthanoate), puis le groupe venant de l'alcool (éthanol → éthyle).

méthanoate d'éthyle

2.2 Quel est l'intérêt d'utiliser un dispositif de chauffage à reflux ?

Chauffer accélère la réaction : la température est un facteur cinétique. Le réfrigérant condense les vapeurs, qui retombent dans le ballon.

Le chauffage à reflux accélère la transformation sans perte de matière (réactifs ou produits).

PIÈGE
Écrire que le chauffage augmente le rendement. Pour une estérification, la température change la durée nécessaire pour atteindre l'état final, pas la composition de cet état.

2.3 À la place de l'acide paratoluène sulfonique, on aurait pu utiliser de l'acide sulfurique. Quel est le rôle de ces deux acides ?

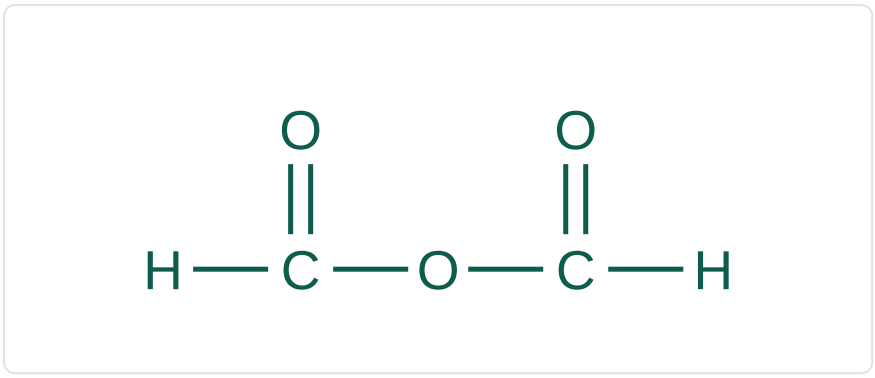
Ces acides jouent le rôle de catalyseur : ils augmentent la vitesse de la réaction sans figurer dans son équation et sans modifier l'état final.

2.4 Pour augmenter le rendement, on aurait pu remplacer l'acide méthanoïque par un autre réactif. Donner sa formule semi-développée et son nom.

On remplace l'acide carboxylique par l'anhydride d'acide correspondant : sa réaction avec l'alcool est totale (et rapide).

anhydride méthanoïque : $H-CO-O-CO-H$

COMPRENDRE
Avec un anhydride, il ne se forme pas d'eau mais une molécule d'acide carboxylique : l'hydrolyse de l'ester n'a plus lieu, la transformation va jusqu'au bout.



2.4 · Anhydride méthanoïque

2.5.1 Quel est le nom du dispositif représenté ?

On reconnaît le ballon chauffé, la colonne de Vigreux surmontée d'un thermomètre, le réfrigérant droit incliné et l'erlenmeyer de récupération.

C'est un montage de distillation fractionnée.

2.5.2 Identifier, à l'aide du tableau, la première espèce chimique récupérée dans l'erlenmeyer, puis expliquer pourquoi ce dispositif permet d'améliorer le rendement.

Données utiles températures d'ébullition : acide méthanoïque 101 °C ; éthanol 78 °C ; ester 54 °C

L'ester a la température d'ébullition la plus basse (54 °C) : c'est l'espèce la plus volatile, elle est recueillie en premier dans l'erlenmeyer.

L'ester est ainsi retiré du ballon au fur et à mesure de sa formation. Privée d'un de ses réactifs, la réaction inverse (hydrolyse de l'ester) ne peut plus se faire : l'équilibre est déplacé dans le sens de l'estérification.

L'élimination de l'ester par distillation rend la transformation quasi totale : le rendement augmente.

MÉTHODE

Deux façons d'améliorer le rendement d'une transformation limitée : mettre un réactif en excès, ou éliminer un produit au fur et à mesure. En tête de colonne, le thermomètre doit rester proche de 54 °C.