Corrigé complet — Bac S 2006 Polynésie rattrapage (ancien programme)

Physique-chimie, Bac S (épreuve écrite) **16 points** **3 h 30**

Ex 1	**Etude de quelques énergies renouvelables** Mouvement circulaire uniforme · Vecteur vitesse · Période et fréquence · Onde progressive périodique · Célérité et longueur d'onde · Analyse dimensionnelle	4 pts	52 min	14 questions	p. 2
Ex 2	**Un biocarburant : le Diester** Fonction ester · Tableau d'avancement · Chromatographie sur couche mince · Saponification d'un ester · Titrage acido-basique · Pourcentage massique	6,5 pts	1 h 18	15 questions	p. 8
Ex 3	**Au soleil d'ITER (International thermonuclear experimental reactor)** Réaction de fusion · Variation de masse et énergie libérée · Équations de réactions nucléaires · Radioactivité β^- · Méthode d'Euler · Demi-vie	5,5 pts	1 h 05	14 questions	p. 13

Comment s'en servir. Fais d'abord le sujet en temps limité, puis corrige-toi exercice par exercice. À gauche de chaque question, sur les carreaux : ce qu'il faut écrire sur ta copie. À droite : les pièges, ce qu'il faut comprendre et les méthodes.

Etude de quelques énergies renouvelables

Bac S 2006 Polynésie rattrapage (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Partie I (éolienne). Quelle est la nature du mouvement du point M ? Justifier.

Les positions M_0 à M_7 sont toutes sur un même cercle : la trajectoire de M est **circulaire**.

Entre deux positions successives, séparées par la même durée Δt, la distance parcourue est toujours la même : la valeur de la vitesse est constante.

Le mouvement de M est **circulaire uniforme**.

PIÈGE
Répondre seulement « circulaire » ou seulement « uniforme ». Il faut les deux mots, chacun avec son argument : la forme de la trajectoire, puis l'écart constant entre les points.

1.2 Déterminer la valeur v_2 de la vitesse instantanée réelle au point M_2.

Données utiles $\Delta t = 0{,}1$ s ; échelle de l'annexe : 3,0 cm pour 15 m ; $M_1M_3 = 2{,}8$ cm mesuré sur l'annexe

La vitesse en M_2 est assimilée à la vitesse moyenne entre M_1 et M_3 : $v_2 = \dfrac{M_1M_3}{2\,\Delta t}$.

Distance réelle : $M_1M_3 = \dfrac{2{,}8 \times 15}{3{,}0} = 14$ m.

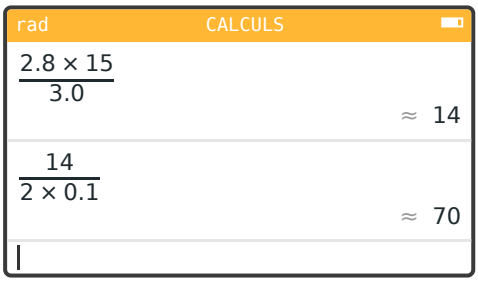
$$v_2 = \frac{14}{2 \times 0{,}1}$$

$v_2 = 70 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

PIÈGE
Diviser par Δt au lieu de $2\,\Delta t$: entre M_1 et M_3 il s'écoule deux intervalles. Autre oubli fréquent : convertir la longueur mesurée en distance réelle avec l'échelle.

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : la mesure à la règle en donne deux, Δt un seul. Le résultat vaut donc « environ 7×10^1 m · s^{-1} » ; on garde 70 pour la suite.

À LA CALCULATRICE



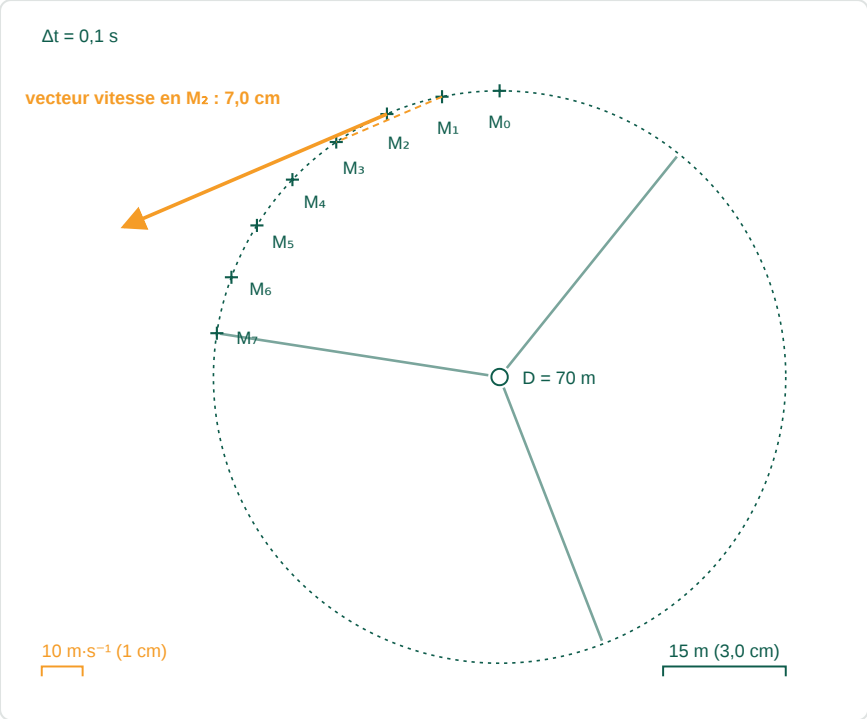
1.3 Construire le vecteur vitesse $\vec{v}_2$ sur la figure 1 de l'annexe, à l'échelle 1 cm pour $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Données utiles $v_2 = 70 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (1.2)

Le vecteur $\vec{v}_2$ a pour origine M_2, il est tangent au cercle (donc parallèle à la corde M_1M_3) et orienté dans le sens du mouvement, de M_2 vers M_3.

Longueur du vecteur : $\dfrac{70}{10} = 7{,}0$ cm

MÉTHODE
Un vecteur vitesse se trace en quatre points : origine au point considéré, direction tangente à la trajectoire, sens du mouvement, longueur donnée par l'échelle des vitesses.



1.3 · Figure 1 complétée : corde M_1M_3 en tirets et vecteur vitesse en M_2, tangent au cercle, dans le sens du mouvement

1.4 Quelle est la durée d'un tour ?

Données utiles $D = 70$ m ; $v = 70\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (1.2)

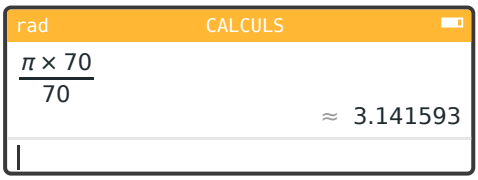
En un tour, M parcourt le périmètre du cercle, πD, à vitesse constante : $v = \dfrac{\pi D}{T}$, donc $T = \dfrac{\pi D}{v}$.

$$T = \frac{\pi \times 70}{70}$$

$\boxed{T = 3{,}1\ \text{s}}$

PIÈGE
Confondre diamètre et rayon : le périmètre vaut $\pi D = 2\pi R$, avec $R = 35$ m. Écrire $2\pi D$ double la durée du tour.

À LA CALCULATRICE



2 En déduire la fréquence de rotation de la pale, c'est-à-dire le nombre de tours effectués en une minute.

Données utiles $T = 3{,}1$ s (1.4)

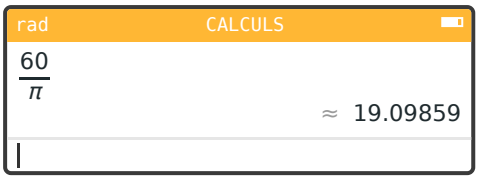
La pale fait un tour en T secondes, donc en 60 s elle effectue $f = \dfrac{60}{T}$ tours.

$$f = \frac{60}{3{,}1}$$

$\boxed{f = 19\ \text{tr} \cdot \text{min}^{-1}}$, soit environ 20 tours par minute.

COMPRENDRE
$1/T$ donne la fréquence en hertz, c'est-à-dire en tours par seconde : $0{,}32$ Hz. On multiplie par 60 pour passer aux tours par minute, unité de la courbe du constructeur.

À LA CALCULATRICE



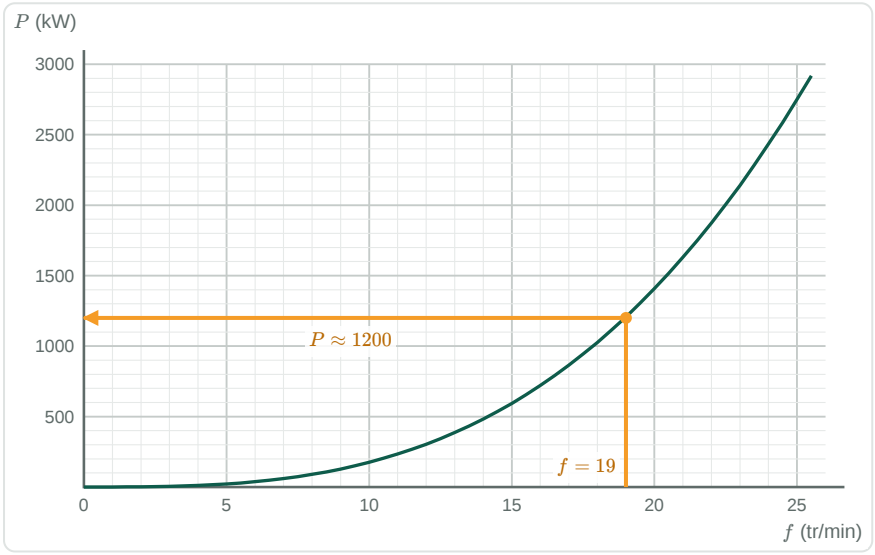
3 Déterminer, à l'aide de la courbe du constructeur, la puissance délivrée par l'éolienne dans ces conditions de rotation.

Données utiles $f = 19\ \text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$ (2)

On repère $f = 19\ \text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$ sur l'axe des abscisses, on monte jusqu'à la courbe, puis on lit l'ordonnée du point obtenu.

$P \approx 1{,}2 \times 10^3$ kW, soit environ 1,2 MW.

COMPRENDRE
La courbe est très pentue dans cette zone : avec la valeur arrondie de 20 tours par minute, on lit $1{,}4 \times 10^3$ kW. Les deux lectures sont cohérentes avec la précision des mesures.



3 · Courbe du constructeur, avec la lecture pour 19 tours par minute

1.1 Partie II (houle). Décrire qualitativement le mouvement du bout de bois représenté sur la figure 2.

L'onde est transversale : la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation. La houle se propage horizontalement, donc le bout de bois se déplace verticalement.

Le bout de bois monte et descend sur place, sans être emporté vers la droite.

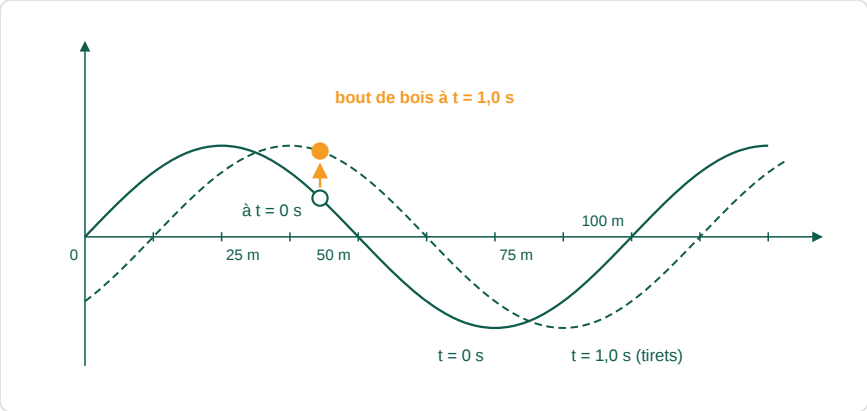
COMPRENDRE
Une onde transporte de l'énergie, pas de matière : l'eau et ce qui flotte dessus restent, en moyenne, à la même abscisse.

1.2 Sur la figure 2, dessiner la position du bout de bois à $t = 1{,}0$ s.

Le bout de bois garde la même abscisse (environ 43 m). À $t = 1{,}0$ s, il se trouve donc sur la courbe en tirets, à la verticale de sa position initiale.

Le bout de bois est placé sur la courbe en tirets, juste au-dessus de sa position à $t = 0$ s : il est monté.

PIÈGE
Décaler le bout de bois vers la droite, comme la crête. C'est la forme de la vague qui avance, pas l'objet flottant.



1.2 · Figure 2 complétée : le bout de bois reste à la même abscisse et monte sur la courbe en tirets

1.3 Décrire en quelques lignes le principe de fonctionnement de cette usine houlomotrice, en analysant les types d'énergie mis en jeu.

- Les vagues déferlantes passent par-dessus le bord et remplissent le réservoir : l'eau y est stockée au-dessus du niveau de la mer calme, elle possède de l'énergie potentielle de pesanteur.
- L'eau descend dans la conduite : son énergie potentielle de pesanteur est convertie en énergie cinétique.
- L'eau en mouvement fait tourner la turbine, qui reçoit de l'énergie mécanique.
- L'alternateur entraîné par la turbine convertit cette énergie mécanique en énergie électrique.

Chaîne : énergie de la houle → énergie potentielle de pesanteur → énergie cinétique → énergie électrique.

MÉTHODE
Pour décrire une chaîne énergétique, suivre le trajet de la matière (ici l'eau) et nommer, à chaque étape, la forme d'énergie et le convertisseur.

2.1 À l'aide de la figure 2 de l'annexe, calculer la célérité v de l'onde.

Données utiles courbes à $t = 0$ s et $t = 1{,}0$ s ; une graduation de l'axe vaut 12,5 m

Entre les deux dates, une crête passe de l'abscisse 25 m à l'abscisse 37,5 m : l'onde a parcouru $d = 12{,}5$ m pendant $\Delta t = 1{,}0$ s.

$$v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{12{,}5}{1{,}0}$$

$v = 12{,}5\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, soit $13\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ avec deux chiffres significatifs.

PIÈGE
Mesurer un écart vertical entre les deux courbes. La distance parcourue par l'onde se lit horizontalement, entre deux points homologues : deux crêtes ou deux passages par zéro.

COMPRENDRE
On conserve la valeur non arrondie 12,5 dans les calculs suivants, pour ne pas cumuler les arrondis.

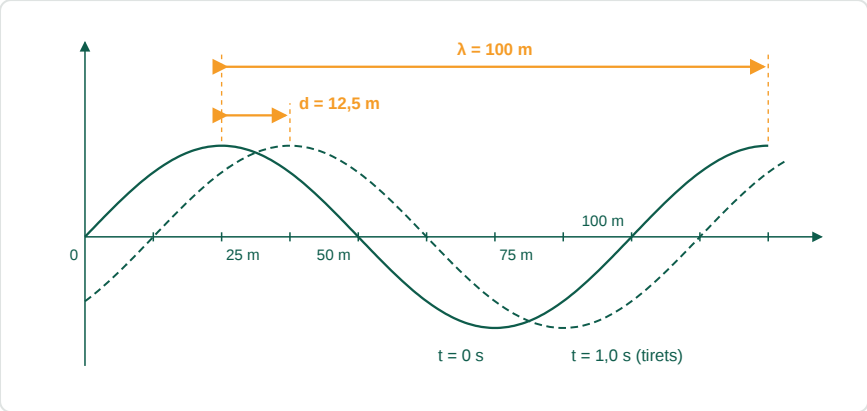
2.2 Définir la longueur d'onde λ de la houle puis la déterminer à l'aide de la figure 2 de l'annexe.

La longueur d'onde est la plus petite distance séparant deux points du milieu qui vibrent en phase. C'est aussi la distance parcourue par l'onde pendant une période.

Sur la courbe à $t = 0$ s, deux crêtes consécutives sont aux abscisses 25 m et 125 m (ou deux passages par zéro en montant à 0 m et 100 m).

$\lambda = 100\ \text{m}$

PIÈGE
Mesurer la distance entre une crête et le creux suivant : on obtient une demi-longueur d'onde, 50 m.



2.2 · Lectures sur la figure 2 : avancée de la crête en 1,0 s et distance entre deux crêtes à la même date

2.3 Définir la période T de l'onde puis calculer sa valeur.

Données utiles $\lambda = 100$ m (2.2) ; $v = 12{,}5\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (2.1)

La période est la plus petite durée au bout de laquelle un point du milieu se retrouve dans le même état vibratoire. Pendant cette durée, l'onde avance d'une longueur d'onde : $\lambda = v\,T$, donc $T = \dfrac{\lambda}{v}$.

$$T = \frac{100}{12{,}5}$$

$T = 8{,}0$ s

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{100}{12.5}$ ≈ 8

3.1 Des mesures montrent que $v^2 = a \times \lambda$. Déterminer la dimension de a.

$a = \dfrac{v^2}{\lambda}$, donc $[a] = \dfrac{[v]^2}{[\lambda]}$.

Une vitesse est une longueur divisée par une durée : $[v] = \text{L} \cdot \text{T}^{-1}$, et $[\lambda] = \text{L}$.

$$[a] = \frac{\text{L}^2 \cdot \text{T}^{-2}}{\text{L}}$$

$[a] = \text{L} \cdot \text{T}^{-2}$: a a la dimension d'une accélération et s'exprime en $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

MÉTHODE

Analyse dimensionnelle : isoler la grandeur cherchée, remplacer chaque grandeur par sa dimension (L, T, M), simplifier, puis traduire en unité SI.

3.2 Entre les relations (1) $v^2 = \dfrac{g}{2\pi} \times \lambda$ et (2) $v^2 = g \times \lambda$, déterminer la bonne à l'aide des résultats de la question 2.

Données utiles $g = 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$; $v = 12{,}5\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (2.1) ; $\lambda = 100$ m (2.2)

Les deux relations sont homogènes, car g et $\dfrac{g}{2\pi}$ sont des accélérations : il faut les départager par le calcul.

Valeur mesurée : $v^2 = 12{,}5^2 = 1{,}6 \times 10^2\ \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$.

Relation (1) : $\dfrac{g}{2\pi} \times \lambda = \dfrac{9{,}8}{2\pi} \times 100 = 1{,}6 \times 10^2\ \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$.

Relation (2) : $g \times \lambda = 9{,}8 \times 100 = 9{,}8 \times 10^2\ \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$.

Seule la relation (1), $v^2 = \dfrac{g}{2\pi}\lambda$, est en accord avec les mesures.

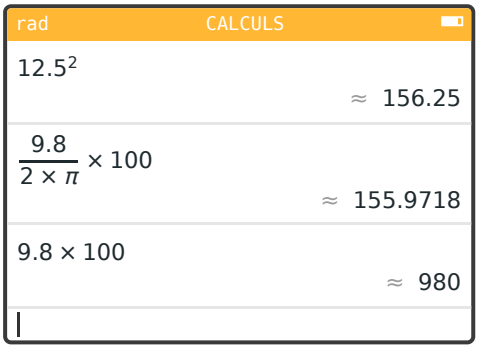
PIÈGE

Saisir « 9.8÷2×π×100 » sans parenthèses : la calculatrice multiplie alors par π au lieu de diviser, et aucune des deux relations ne semble convenir.

COMPRENDRE

L'analyse dimensionnelle élimine une relation fausse, mais elle ne voit pas les facteurs sans dimension comme 2π. Seule la confrontation aux mesures permet de trancher ici.

À LA CALCULATRICE



Un biocarburant : le Diester

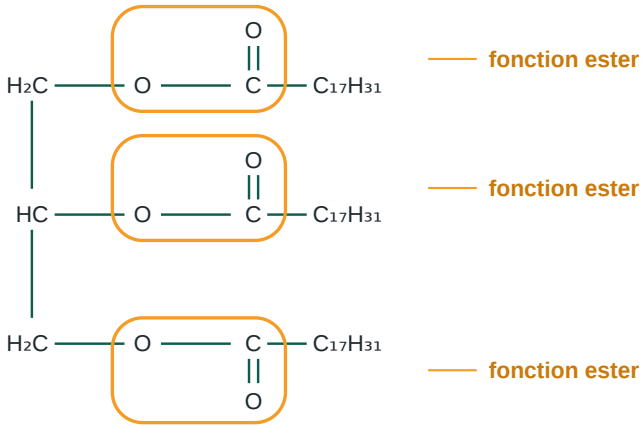
Bac S 2006 Polynésie rattrapage (ancien programme) · Exercice 2 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1.1 Entourer et nommer, sur l'annexe, les fonctions caractéristiques de la molécule de trilinoléate de glycéryle.

On repère trois fois l'enchaînement $-O-CO^-$ (un carbone doublement lié à un oxygène et simplement lié à un autre oxygène, lui-même lié à un carbone).

La molécule porte trois fonctions **ester** : c'est un triester.

PIÈGE
Entourer seulement $C{=}O$ ou seulement l'oxygène du pont : la fonction ester comprend le carbone et ses deux oxygènes. Les chaînes $C_{17}H_{31}$ n'en font pas partie.



1.1 · Annexe complétée : les trois fonctions ester du trilinoléate de glycéryle

1.2.1 Déterminer la quantité de matière de trilinoléate de glycéryle contenue dans un litre d'huile de colza.

Données utiles $\rho_{\text{huile}} = 0{,}82\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$; $M_{\text{huile}} = 878\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $V = 1\ \text{L} = 1000\ \text{cm}^3$

L'huile est assimilée à du trilinoléate de glycéryle pur : $m = \rho_{\text{huile}}\, V$ et $n_0 = \dfrac{m}{M_{\text{huile}}}$, soit

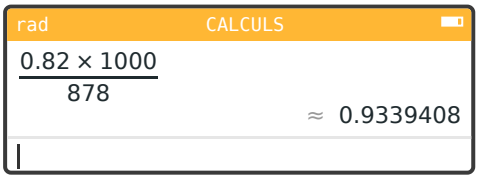
$$n_0 = \frac{\rho_{\text{huile}}\, V}{M_{\text{huile}}} = \frac{0{,}82 \times 1000}{878}$$

$$\boxed{n_0 = 0{,}93\ \text{mol}}$$

PIÈGE
La masse volumique est en $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$: le litre doit être converti en cm^3 ($1\ \text{L} = 1000\ \text{cm}^3$), sinon le résultat est mille fois trop petit.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la donnée la moins précise ($\rho = 0{,}82$). Pour les calculs suivants, on garde la valeur non arrondie en mémoire de la calculatrice.

À LA CALCULATRICE



1.2.2 Compléter, sur l'annexe, le tableau descriptif de l'avancement de la transformation.

Données utiles $n_0 = 0{,}93$ mol (1.2.1) ; n_1 : quantité initiale de méthanol

Le tableau de l'annexe est complété ci-dessous (quantités en mol).

La transformation est totale et le mélange est stœchiométrique : les deux réactifs sont entièrement consommés.

$$\boxed{x_{\max} = n_0 = 0{,}93\ \text{mol}}$$

MÉTHODE
Dans chaque case, quantité initiale moins (réactif) ou plus (produit) le nombre stœchiométrique multiplié par x. Le coefficient 3 apparaît donc pour le méthanol et pour le Diester.

Équation		$C_{57}H_{98}O_6$ + 3 CH_3OH = $C_3H_8O_3$ + 3 $C_{19}H_{34}O_2$			
	Avancement	Quantités de matière (mol)			
État initial	x = 0	n_0	n_1	0	0
État intermédiaire	x	$n_0 - x$	$n_1 - 3x$	x	3x
État final	x_{max}	$n_0 - x_{max} = 0$	$n_1 - 3x_{max} = 0$	x_{max}	$3x_{max}$

1.2.2 · Annexe complétée : tableau d'avancement de la transestérification

1.2.3 En déduire la quantité de matière puis le volume de méthanol à utiliser, et la masse de Diester obtenue.

Données utiles $x_{max} = n_0 = 0{,}934$ mol (1.2.2) ; méthanol : $M_1 = 32\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$, $\rho_1 = 0{,}79\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$; Diester : $M_D = 294\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Méthanol : $n_1 - 3x_{max} = 0$, donc $n_1 = 3\,n_0 = 3 \times 0{,}934 = 2{,}8$ mol.

Son volume : $V_1 = \dfrac{m_1}{\rho_1} = \dfrac{n_1\,M_1}{\rho_1} = \dfrac{2{,}80 \times 32}{0{,}79} = 1{,}1 \times 10^2\ \text{cm}^3$, soit 0,11 L.

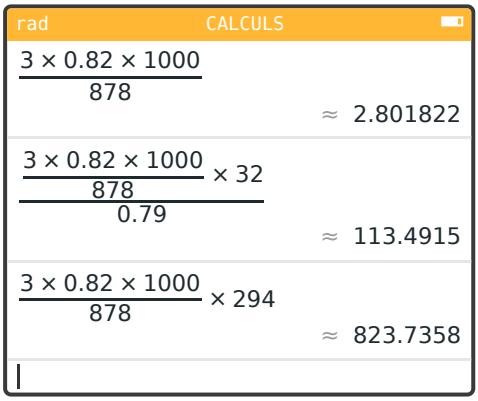
Diester : $n_D = 3x_{max} = 2{,}80$ mol, donc $m_D = n_D\,M_D = 2{,}80 \times 294 = 8{,}2 \times 10^2$ g.

$n_1 = 2{,}8$ mol ; $V_1 = 1{,}1 \times 10^2\ \text{cm}^3$; $m_D = 8{,}2 \times 10^2$ g

PIÈGE
Oublier le coefficient 3 : il faut trois moles de méthanol par mole d'huile, et il se forme trois moles de Diester.

COMPRENDRE
Un litre d'huile (820 g) et 0,11 L de méthanol donnent environ 824 g de Diester, soit un peu plus de 0,9 L : presque autant de carburant que d'huile engagée.

À LA CALCULATRICE

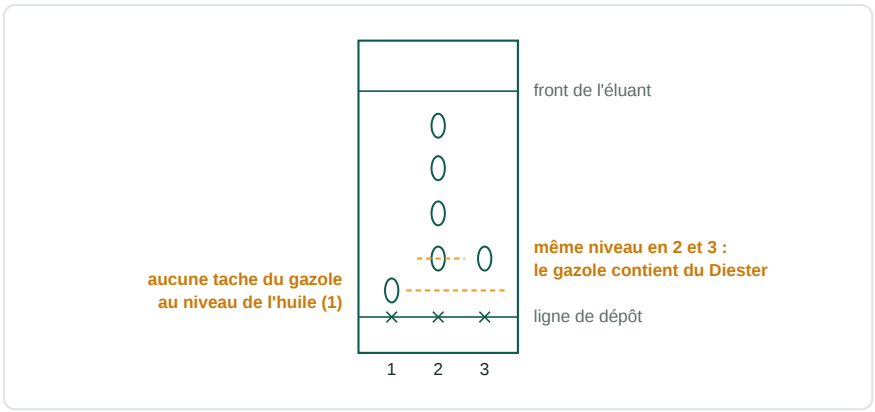


2.1 Quelles conclusions peut-on tirer du chromatogramme ?

- Le dépôt 2 (gazole) donne quatre taches : ce gazole est un mélange d'au moins quatre espèces.
- L'une d'elles a migré à la même hauteur que la tache unique du dépôt 3 : le gazole contient du Diester.
- Aucune tache du gazole n'est au niveau de celle du dépôt 1 : il ne contient pas de trilinoléate de glycéryle (pas d'huile de colza non transformée).

Le gazole du réservoir contient du Diester, mais pas d'huile de colza.

MÉTHODE
Lecture d'un chromatogramme : verticalement, le nombre de taches d'un dépôt donne le nombre minimal d'espèces ; horizontalement, deux taches au même niveau signalent la même espèce.



2.1 · Chromatogramme du sujet : 1 huile de colza, 2 gazole, 3 Diester

2.2.1 Donner l'équation de la réaction de saponification entre le Diester et les ions hydroxyde.

L'ion hydroxyde réagit avec l'ester pour donner un ion carboxylate (ici l'ion linoléate) et un alcool (ici le méthanol) :

$$C_{17}H_{31}-COO-CH_3 + HO^- \longrightarrow C_{17}H_{31}-COO^- + CH_3-OH$$

PIÈGE
Écrire l'acide $C_{17}H_{31}-COOH$ parmi les produits : en milieu basique, on obtient sa base conjuguée, l'ion carboxylate. Vérifier aussi la conservation de la charge.

2.2.2 Quelles sont les caractéristiques de cette transformation ?

La saponification est une transformation **totale**. Elle est lente à température ordinaire ; le chauffage (ébullition douce pendant une heure) l'accélère.

COMPRENDRE
C'est ce qui l'oppose à l'hydrolyse d'un ester par l'eau, lente elle aussi mais limitée. Le caractère total est indispensable ici : tout le Diester doit avoir réagi pour être dosé.

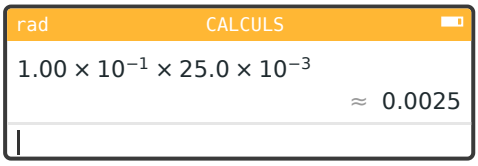
2.2.3 Calculer la quantité initiale $n(HO^-)_i$ d'ions hydroxyde introduite.

Données utiles $c_b = 1{,}00 \times 10^{-1}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $v_b = 25{,}0\ \text{mL}$

$$n(HO^-)_i = c_b\, v_b = 1{,}00 \times 10^{-1} \times 25{,}0 \times 10^{-3}$$

$$n(HO^-)_i = 2{,}50 \times 10^{-3}\ \text{mol}$$

À LA CALCULATRICE



2.2.4 Donner l'équation de la réaction support du titrage.

Les ions oxonium de l'acide chlorhydrique réagissent avec les ions hydroxyde restants :

$$H_3O^+\,(aq) + HO^-\,(aq) \longrightarrow 2\,H_2O\,(l)$$

COMPRENDRE
Les ions K^+ et Cl^- sont spectateurs : ils ne figurent pas dans l'équation.

2.2.5 Définir l'équivalence d'un titrage.

À l'équivalence, le réactif titrant a été versé dans les proportions stœchiométriques par rapport au réactif titré : les deux sont entièrement consommés. C'est l'instant où le réactif limitant change.

2.2.6 Déterminer la quantité de matière $n(\mathrm{HO^-})_r$ d'ions hydroxyde restant dans le ballon à la fin du chauffage, dosée par l'acide chlorhydrique.

Données utiles $c_a = 1{,}00 \times 10^{-1}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $v_{aE} = 14{,}8\ \mathrm{mL}$

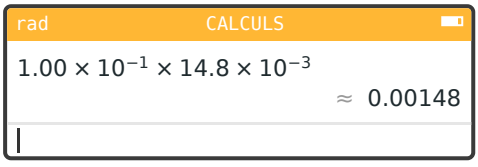
À l'équivalence, d'après l'équation du titrage (une mole pour une mole) : $n(\mathrm{HO^-})_r = n(\mathrm{H_3O^+})_{\text{versé}} = c_a\, v_{aE}$

$n(\mathrm{HO^-})_r = 1{,}00 \times 10^{-1} \times 14{,}8 \times 10^{-3}$

$\boxed{n(\mathrm{HO^-})_r = 1{,}48 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}}$

COMPRENDRE
Tout le contenu du ballon est dosé : inutile de tenir compte du volume total du mélange ni de l'éthanol ajouté, seule compte la quantité d'ions hydroxyde.

À LA CALCULATRICE



2.2.7 Calculer la quantité $n(\mathrm{HO^-})_c$ d'ions hydroxyde consommés par la saponification.

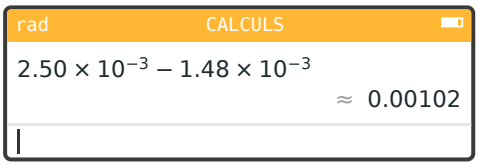
Données utiles $n(\mathrm{HO^-})_i = 2{,}50 \times 10^{-3}$ mol (2.2.3) ; $n(\mathrm{HO^-})_r = 1{,}48 \times 10^{-3}$ mol (2.2.6)

$n(\mathrm{HO^-})_c = n(\mathrm{HO^-})_i - n(\mathrm{HO^-})_r = 2{,}50 \times 10^{-3} - 1{,}48 \times 10^{-3}$

$\boxed{n(\mathrm{HO^-})_c = 1{,}02 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}}$

MÉTHODE
Titrage indirect : on fait réagir l'espèce à doser avec un excès connu de réactif, puis on titre ce qui reste. La différence donne la quantité qui a réagi.

À LA CALCULATRICE



2.2.8 En raisonnant à partir de l'équation de la question 2.2.1, déterminer la quantité de matière de Diester présente dans le prélèvement de gazole.

Données utiles $n(\mathrm{HO^-})_c = 1{,}02 \times 10^{-3}$ mol (2.2.7)

La saponification est totale et les ions hydroxyde sont en excès : tout le Diester a réagi. D'après l'équation, une mole de Diester consomme une mole d'ions hydroxyde, donc $n_D = n(\mathrm{HO^-})_c$.

$\boxed{n_D = 1{,}02 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}}$

2.2.9 En déduire la masse de Diester contenue dans le prélèvement, puis la teneur (pourcentage massique) en Diester de ce gazole.

Données utiles $n_D = 1{,}02 \times 10^{-3}$ mol (2.2.8) ; $M_D = 294\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $m = 1{,}00\ \mathrm{g}$

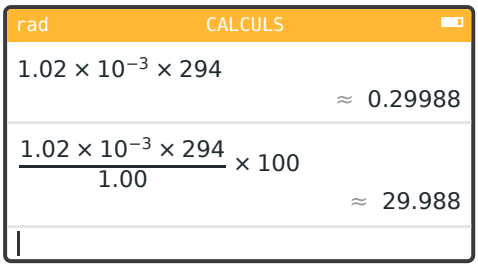
Masse : $m_D = n_D\, M_D = 1{,}02 \times 10^{-3} \times 294 = 0{,}300\ \mathrm{g}$

Teneur : $P = \dfrac{m_D}{m} \times 100 = \dfrac{0{,}300}{1{,}00} \times 100$

$\boxed{m_D = 0{,}300\ \mathrm{g}\ ;\ P = 30{,}0\ \%}$

COMPRENDRE
Une teneur de 30 % est cohérente avec le texte : le Diester peut être mélangé au gazole jusqu'à 50 % dans les moteurs les plus puissants.

À LA CALCULATRICE



3 Citer les avantages et les inconvénients de ce biocarburant.

Avantages, d'après le texte :

- il émet moins de fumées et ne contient pratiquement pas de soufre ;
- le dioxyde de carbone rejeté à la combustion a été absorbé par la plante pendant sa croissance : pas d'augmentation de l'effet de serre ;
- l'oxygène présent dans la molécule améliore la combustion : moins de particules imbrûlées et de monoxyde de carbone.

Inconvénients :

- la culture du colza peut polluer les sols et les eaux si les engrais sont mal maîtrisés ;
- son coût : il n'est pas compétitif sans subvention.

Combustion plus propre et bilan carbone neutre, mais culture potentiellement polluante et coût élevé.

MÉTHODE

Question de synthèse documentaire : toutes les réponses sont dans le texte d'introduction. Il faut les trier en deux listes et les reformuler, sans recopier de longs passages.

Au soleil d'ITER (International thermonuclear experimental reactor)

Bac S 2006 Polynésie rattrapage (ancien programme) · Exercice 3 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1 Calculer la variation de masse au cours de la fusion d'un noyau de deutérium et d'un noyau de tritium. Donner sa valeur en kilogramme et commenter son signe.

Données utiles $m(^2_1\mathrm{H}) = 2{,}01355$ u ; $m(^3_1\mathrm{H}) = 3{,}01550$ u ; $m(^4_2\mathrm{He}) = 4{,}00150$ u ; $m(^1_0\mathrm{n}) = 1{,}00866$ u ; $1\ \mathrm{u} = 1{,}66054 \times 10^{-27}$ kg

Variation de masse = masse des produits − masse des réactifs :

$$\Delta m = m(^4_2\mathrm{He}) + m(^1_0\mathrm{n}) - m(^2_1\mathrm{H}) - m(^3_1\mathrm{H})$$

$$\Delta m = 4{,}00150 + 1{,}00866 - 2{,}01355 - 3{,}01550 = -0{,}01889\ \mathrm{u}$$

$$\Delta m = -0{,}01889 \times 1{,}66054 \times 10^{-27} = -3{,}137 \times 10^{-29}\ \mathrm{kg}$$

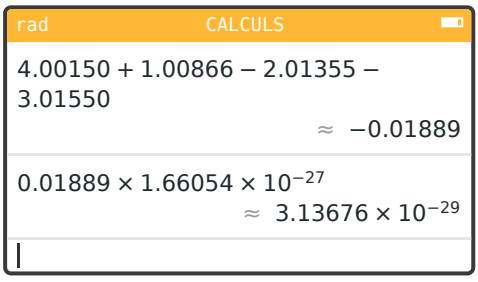
$\Delta m < 0$: la masse diminue au cours de la réaction. Cette perte de masse correspond à une libération d'énergie (équivalence masse-énergie).

$\Delta m = -3{,}137 \times 10^{-29}$ kg : négative, la réaction libère de l'énergie.

PIÈGE
Calculer « réactifs moins produits » : on obtient une valeur positive, qui est la perte de masse et non la variation demandée. Garder la valeur non arrondie pour la question suivante.

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : la soustraction de masses connues à 10^{-5} u près donne $0{,}01889$ u, soit quatre chiffres seulement. Le résultat en kilogramme en garde donc quatre.

À LA CALCULATRICE



1.2 Déterminer l'énergie produite par cette réaction de fusion ; donner le résultat en MeV.

Données utiles $|\Delta m| = 3{,}13676 \times 10^{-29}$ kg (1.1, non arrondie) ; $c = 2{,}998 \times 10^8\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$; $1\ \mathrm{MeV} = 1{,}602 \times 10^{-13}$ J

L'énergie produite (libérée vers l'extérieur) est $E = |\Delta m|\, c^2$.

$$E = 3{,}13676 \times 10^{-29} \times (2{,}998 \times 10^8)^2 = 2{,}819 \times 10^{-12}\ \mathrm{J}$$

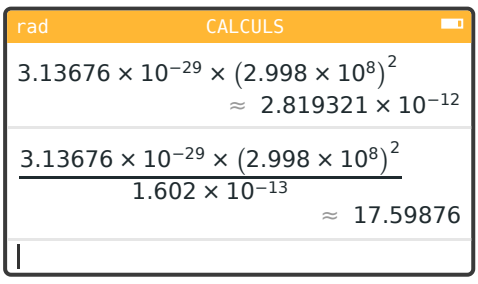
$$E = \frac{2{,}819 \times 10^{-12}}{1{,}602 \times 10^{-13}} = 17{,}60\ \mathrm{MeV}$$

$E = 17{,}60$ MeV

PIÈGE
Laisser la masse en unité u dans $E = |\Delta m|\, c^2$: la relation exige des kilogrammes pour obtenir des joules. Ne pas oublier le carré sur c.

COMPRENDRE
L'énergie du système $\Delta m\, c^2$ est négative ; l'énergie « produite », reçue par le milieu extérieur, est son opposé, donc positive.

À LA CALCULATRICE



1.3 Vérifier que le nombre de noyaux présents dans 1,0 g de noyaux de deutérium est $3{,}0 \times 10^{23}$.

Données utiles $m = 1{,}0$ g ; $m(^2_1\text{H}) = 2{,}01355$ u ; 1 u $= 1{,}66054 \times 10^{-27}$ kg

Masse d'un noyau de deutérium : $m_D = 2{,}01355 \times 1{,}66054 \times 10^{-27} = 3{,}34358 \times 10^{-27}$ kg.

Nombre de noyaux dans $m = 1{,}0$ g $= 1{,}0 \times 10^{-3}$ kg :

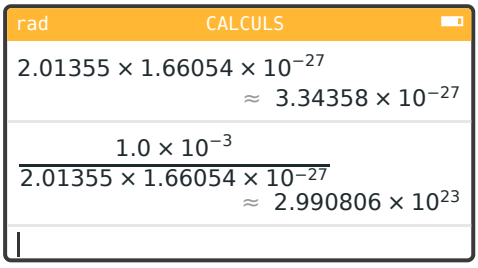
$$N_D = \frac{m}{m_D} = \frac{1{,}0 \times 10^{-3}}{3{,}34358 \times 10^{-27}} = 2{,}99 \times 10^{23}$$

$N_D = 3{,}0 \times 10^{23}$ noyaux (deux chiffres significatifs) : valeur attendue retrouvée.

PIÈGE
Diviser des grammes par des kilogrammes : le résultat est faux d'un facteur 1000. Convertir m en kilogramme, ou m_D en gramme.

MÉTHODE
Nombre de noyaux = masse de l'échantillon ÷ masse d'un noyau, dans la même unité. On peut aussi écrire $N = \frac{m}{M} N_A$ avec $M \approx 2{,}0$ g · mol^{-1}.

À LA CALCULATRICE



1.4 Vérifier qu'il en est de même dans 1,5 g de noyaux de tritium.

Données utiles $m' = 1{,}5$ g ; $m(^3_1\text{H}) = 3{,}01550$ u ; 1 u $= 1{,}66054 \times 10^{-27}$ kg

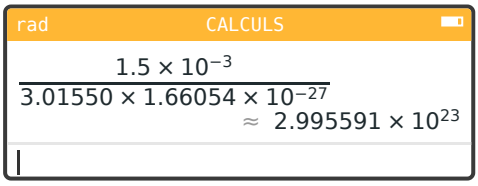
Masse d'un noyau de tritium : $m_T = 3{,}01550 \times 1{,}66054 \times 10^{-27}$ kg.

$$N_T = \frac{m'}{m_T} = \frac{1{,}5 \times 10^{-3}}{3{,}01550 \times 1{,}66054 \times 10^{-27}} = 3{,}00 \times 10^{23}$$

$N_T = 3{,}0 \times 10^{23}$ noyaux : autant que de noyaux de deutérium.

COMPRENDRE
Un noyau de tritium est environ 1,5 fois plus lourd qu'un noyau de deutérium : il faut donc 1,5 fois plus de masse pour avoir le même nombre de noyaux.

À LA CALCULATRICE



1.5 En déduire l'énergie, en MeV puis en joule, que l'on pourrait obtenir par la fusion de 1,0 g de noyaux de deutérium avec 1,5 g de noyaux de tritium.

Données utiles $E = 17{,}60$ MeV (1.2) ; $N = 3{,}0 \times 10^{23}$ (1.3 et 1.4) ; 1 MeV $= 1{,}602 \times 10^{-13}$ J

Chaque fusion consomme un noyau de deutérium et un noyau de tritium. Les deux échantillons contiennent le même nombre N de noyaux : la réaction peut se produire $N = 3{,}0 \times 10^{23}$ fois, sans réactif en excès.

$$E_{\text{tot}} = N \times E = 3{,}0 \times 10^{23} \times 17{,}60 = 5{,}3 \times 10^{24} \text{ MeV}$$

$$E_{\text{tot}} = 3{,}0 \times 10^{23} \times 17{,}60 \times 1{,}602 \times 10^{-13} = 8{,}5 \times 10^{11} \text{ J}$$

$E_{\text{tot}} = 5{,}3 \times 10^{24}$ MeV $= 8{,}5 \times 10^{11}$ J

PIÈGE
Multiplier par $2N$ en comptant les noyaux des deux échantillons : une réaction utilise un noyau de chaque sorte, il y a donc N réactions et non $2N$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$3.0 \times 10^{23} \times 17.60 \approx 5.28 \times 10^{24}$

$3.0 \times 10^{23} \times 17.60 \times 1.602 \times 10^{-13} \approx 8.45856 \times 10^{11}$

1.6.1 Calculer, en tep, l'énergie libérée par la fusion de 1,0 g de deutérium et de 1,5 g de tritium.

Données utiles $E_{\text{tot}} = 8{,}46 \times 10^{11}$ J (1.5) ; $1 \text{ tep} = 4{,}2 \times 10^{10}$ J

$$E_{\text{tot}} = \frac{8{,}46 \times 10^{11}}{4{,}2 \times 10^{10}} = 20 \text{ tep}$$

$E_{\text{tot}} = 20$ tep

COMPRENDRE
2,5 g de combustible de fusion fournissent autant d'énergie que la combustion de 20 tonnes de pétrole.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{8.46 \times 10^{11}}{4.2 \times 10^{10}} \approx 20.14286$

1.6.2 La fission de 1,0 g d'uranium libère 1,8 tep. Expliquer en quoi ITER est un progrès et un espoir pour la production d'énergie.

Données utiles fusion : 20 tep pour 2,5 g de réactifs (1.6.1) ; fission : 1,8 tep par gramme d'uranium

On compare à masse de combustible égale. Fission de 2,5 g d'uranium : $2{,}5 \times 1{,}8 = 4{,}5$ tep.

Fusion de 2,5 g de mélange deutérium-tritium : 20 tep, soit $\frac{20}{4{,}5} \approx 4{,}4$ fois plus.

À masse égale, la fusion libère plus de quatre fois l'énergie de la fission. De plus, le deutérium est présent naturellement sur Terre et le tritium s'obtient à partir du lithium, très abondant.

À masse égale, la fusion libère environ 4 fois plus d'énergie que la fission (20 tep contre 4,5 tep pour 2,5 g).

PIÈGE
Comparer directement 20 tep et 1,8 tep : les masses de combustible ne sont pas les mêmes (2,5 g contre 1,0 g). Il faut ramener les deux énergies à la même masse.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$2.5 \times 1.8 \approx 4.5$

$\frac{20}{4.5} \approx 4.444444$

2.1 Écrire l'équation de la réaction nucléaire qui produit le tritium à partir du lithium 6 bombardé par des neutrons.

Le noyau de lithium 6 capte un neutron ; il se forme un noyau d'hélium 4 et un noyau de tritium.

Conservation du nombre de masse : $6 + 1 = 4 + 3$. Conservation du nombre de charge : $3 + 0 = 2 + 1$.

$${}^{6}_{3}\text{Li} + {}^{1}_{0}\text{n} \longrightarrow {}^{4}_{2}\text{He} + {}^{3}_{1}\text{H}$$

MÉTHODE
Dans toute équation nucléaire, vérifier séparément la somme des nombres du haut (nucléons) et celle des nombres du bas (charges) de part et d'autre de la flèche.

2.2 Le tritium est radioactif β⁻. Écrire l'équation de sa désintégration, sachant qu'il se forme un isotope de l'hélium.

Une désintégration β⁻ émet un électron ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$. Le noyau fils est un isotope de l'hélium, donc $Z = 2$: ${}^{A}_{2}\mathrm{He}$.

Conservation du nombre de masse : $3 = A + 0$, donc $A = 3$.
Conservation du nombre de charge : $1 = 2 + (-1)$, vérifiée.

$$ {}^{3}_{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}^{3}_{2}\mathrm{He} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} $$

PIÈGE
Écrire l'hélium 4 par habitude : le nombre de nucléons ne change pas lors d'une désintégration β⁻, le noyau fils est l'hélium 3.

2.3.1 En utilisant les relations (1) et (2), exprimer $N(t + \Delta t)$ en fonction de $N(t)$, λ et Δt.

Relation (1) : $\dfrac{\Delta N(t)}{\Delta t} = -\lambda N(t)$, donc $\Delta N(t) = -\lambda N(t)\,\Delta t$.

On reporte dans la relation (2) : $N(t + \Delta t) = N(t) + \Delta N(t) = N(t) - \lambda N(t)\,\Delta t$.

$$ N(t + \Delta t) = N(t)\,(1 - \lambda\,\Delta t) $$

COMPRENDRE
À chaque pas, le nombre de noyaux est multiplié par le même facteur $(1 - \lambda\,\Delta t)$, inférieur à 1 : les valeurs calculées forment une suite géométrique décroissante.

2.3.2 L'échantillon contient initialement $3{,}0 \times 10^{23}$ noyaux de tritium. Compléter le tableau de l'annexe avec $\Delta t = 1$ an, en détaillant les calculs.

Données utiles $N(0) = 3{,}0 \times 10^{23}$; $\lambda = 5{,}65 \times 10^{-2}$ an^{-1} ; $\Delta t = 1$ an ; relation de la question 2.3.1

Le pas est en année : on utilise λ en an^{-1}. Alors $1 - \lambda\,\Delta t = 1 - 5{,}65 \times 10^{-2} \times 1 = 0{,}9435$.

$N(1) = N(0) \times 0{,}9435 = 3{,}0 \times 10^{23} \times 0{,}9435 = 2{,}83 \times 10^{23}$

$N(2) = N(1) \times 0{,}9435 = 2{,}83 \times 10^{23} \times 0{,}9435 = 2{,}67 \times 10^{23}$

$N(1) = 2{,}8 \times 10^{23}$ et $N(2) = 2{,}7 \times 10^{23}$ noyaux

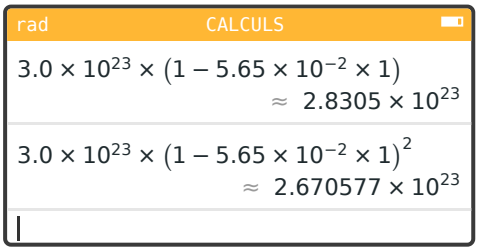
PIÈGE
Calculer $N(2)$ à partir de $N(1)$ arrondi à $2{,}8 \times 10^{23}$: on trouve $2{,}6 \times 10^{23}$ au lieu de $2{,}7 \times 10^{23}$. Arrondir seulement dans le tableau.

PIÈGE
Utiliser λ en s^{-1} avec $\Delta t = 1$ an : le produit $\lambda\,\Delta t$ doit être sans unité.

Date t (an)	0	1	2
N	$3{,}0 \times 10^{23}$	$2{,}8 \times 10^{23}$	$2{,}7 \times 10^{23}$

2.3.2 · Annexe, question 2.3.2 : tableau complété

À LA CALCULATRICE



2.3.3.1 À partir de la valeur de la constante radioactive λ, calculer le temps de demi-vie $t_{1/2}$.

Données utiles $\lambda = 5{,}65 \times 10^{-2}$ an^{-1}

$$ t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{\ln 2}{5{,}65 \times 10^{-2}} = 12{,}3 \text{ ans} $$

$$ t_{1/2} = 12{,}3 \text{ ans} $$

COMPRENDRE
Avec λ en an^{-1}, la demi-vie sort directement en années. La demi-vie est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux initialement présents s'est désintégrée.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{\ln(2)}{5.65 \times 10^{-2}} \approx 12.26809$$

2.3.3.2 Retrouver la valeur du temps de demi-vie à partir du graphe de l'annexe.

Données utiles $N_0 = 3{,}0 \times 10^{23}$; courbe $N(t)$ de l'annexe

À $t = t_{1/2}$, il reste la moitié des noyaux : $N(t_{1/2}) = \dfrac{N_0}{2} = 1{,}5 \times 10^{23}$.

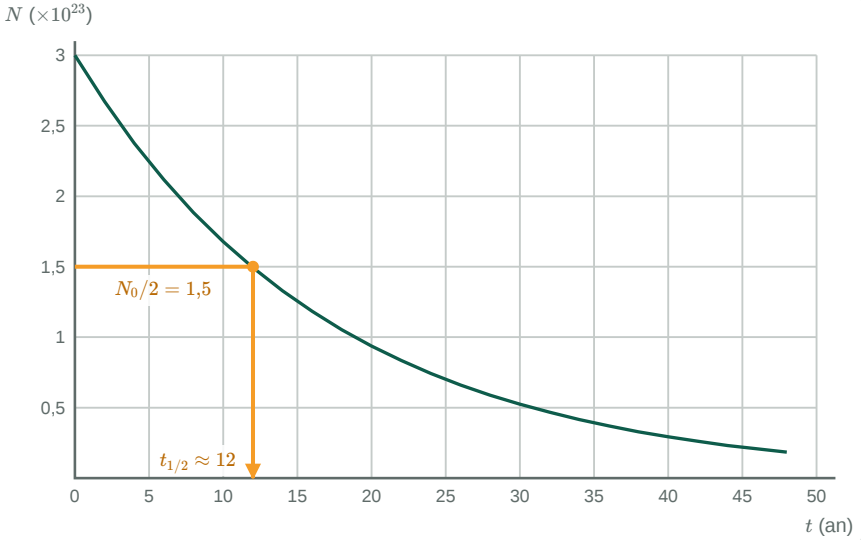
Sur le graphe, on trace l'horizontale d'ordonnée $1{,}5 \times 10^{23}$ jusqu'à la courbe, puis on lit l'abscisse du point d'intersection : $t \approx 12$ ans.

Cette lecture, peu précise, est en accord avec la valeur calculée (12,3 ans).

$t_{1/2} \approx 12$ ans, en accord avec 12,3 ans.

MÉTHODE

Lecture d'une demi-vie : 1) calculer $N_0/2$; 2) tracer l'horizontale jusqu'à la courbe ; 3) descendre à la verticale sur l'axe des temps. Laisser les traits de construction sur l'annexe.



2.3.3.2 · Annexe, question 2.3.3 : lecture de la demi-vie

2.3.4 Avec $N_0 = 3{,}0 \times 10^{23}$ noyaux de tritium, calculer le nombre de noyaux qui se désintègrent naturellement en 1000 s, puis la masse de tritium correspondante. Doit-on tenir compte de cette désintégration ?

Données utiles $\lambda = 1{,}79 \times 10^{-9}\ \text{s}^{-1}$; $\Delta t = 1000\ \text{s}$; $N_0 = 3{,}0 \times 10^{23}$; $m(^3_1\text{H}) = 3{,}01550\ \text{u}$; $1\ \text{u} = 1{,}66054 \times 10^{-27}\ \text{kg}$

La durée est en seconde : on utilise λ en s^{-1}. D'après la relation (1), le nombre de noyaux désintégrés pendant Δt est :

$|\Delta N| = \lambda\, N_0\, \Delta t = 1{,}79 \times 10^{-9} \times 3{,}0 \times 10^{23} \times 1000 = 5{,}4 \times 10^{17}$ noyaux

Masse correspondante : $m = |\Delta N| \times m_T$

$m = 5{,}37 \times 10^{17} \times 3{,}01550 \times 1{,}66054 \times 10^{-27} = 2{,}7 \times 10^{-9}\ \text{kg}$, soit $2{,}7\ \mu\text{g}$.

Cette masse est négligeable devant les 1,5 g de tritium de l'échantillon (moins de deux millionièmes) : on n'a pas à tenir compte de la désintégration naturelle du tritium pendant 1000 s.

> $|\Delta N| = 5{,}4 \times 10^{17}$ noyaux ; $m = 2{,}7 \times 10^{-9}\ \text{kg}$: désintégration négligeable.

COMPRENDRE

Un seul pas d'Euler suffit car 1000 s est infime devant la demi-vie (12,3 ans). La loi $N(t) = N_0\, e^{-\lambda t}$ donne le même résultat : $N_0\,(1 - e^{-\lambda\,\Delta t}) = 5{,}4 \times 10^{17}$.

À LA CALCULATRICE

