Corrigé complet — Bac S 2018 Afrique (ancien programme)

Physique-chimie, enseignement de spécialité **20 points** **3 h 30**

Ex 1	**Valorisation des déchets d'un méthaniseur** Transferts thermiques · Résistance et flux thermiques · Énergie et puissance · Diagramme de prédominance · Titrage pH-métrique · Teneur massique	7 pts	1 h 10	9 questions	p. 2
Ex 2	**Le badminton, un sport dans le vent** Chute libre et force de traînée · Deuxième loi de Newton · Énergies cinétique, potentielle et mécanique · Travail du poids · Mouvement circulaire uniforme d'un satellite · Impesanteur	8 pts	1 h 20	10 questions	p. 6
Ex 3	**L'Univers aurait un goût de framboise et une odeur de rhum** Famille des esters · Catalyseur · Mécanisme réactionnel et flèches courbes · Rendement d'une synthèse · Spectroscopie infrarouge · RMN du proton	5 pts	50 min	6 questions	p. 10
Ex 4	**Spécialité : Un bateau innovant** Électrolyse de l'eau · Demi-équations électroniques · Charge électrique et faraday · Énergie et puissance électriques · Résolution de problème	5 pts	50 min	2 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.

Valorisation des déchets d'un méthaniseur

Bac S 2018 Afrique (ancien programme) · Exercice 1 **7 points** **Durée conseillée 1 h 10**

1.1 Déterminer le mode de transfert thermique à travers les parois latérales du méthaniseur.

Les parois latérales (béton, polystyrène, bois) sont des solides opaques : l'énergie s'y propage de proche en proche, sans déplacement de matière.

Le transfert thermique à travers les parois se fait par **conduction**.

COMPRENDRE
Trois modes existent : conduction (dans la matière, sans transport de matière), convection (fluide en mouvement), rayonnement (ondes électromagnétiques, possible dans le vide). Dans un solide, seule la conduction intervient.

1.2 Vérifier que la résistance thermique totale de la paroi verticale vaut $R_{\text{totale}} = 2{,}7 \times 10^{-2}$ S.I. et préciser son unité.

Données utiles $e_1 = 0{,}30$ m, $\lambda_1 = 1{,}65\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (béton) ; $e_2 = 0{,}15$ m, $\lambda_2 = 0{,}038\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (polystyrène) ; $e_3 = 0{,}020$ m, $\lambda_3 = 0{,}20\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (bois) ; $D = 10{,}0$ m ; $h = 5{,}0$ m

Les trois couches sont accolées, leurs résistances s'ajoutent, avec la même surface $S = \pi D h$:

$$R_{\text{totale}} = \frac{1}{\pi D h}\left(\frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3}\right)$$

$$R_{\text{totale}} = \frac{1}{\pi \times 10{,}0 \times 5{,}0}\left(\frac{0{,}30}{1{,}65} + \frac{0{,}15}{0{,}038} + \frac{0{,}020}{0{,}20}\right) = \frac{4{,}23}{157}$$

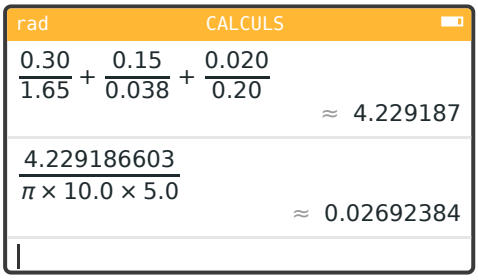
Unité : d'après $\varphi = \dfrac{T_2 - T_1}{R_{th}}$, on a $R_{th} = \dfrac{T_2 - T_1}{\varphi}$, en kelvins par watt.

$R_{\text{totale}} = 2{,}7 \times 10^{-2}\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$, valeur conforme à celle de l'énoncé.

PIÈGE
Laisser les épaisseurs en centimètres : 30 cm, 15 cm et 2,0 cm valent 0,30 m, 0,15 m et 0,020 m. Sans conversion, le résultat est cent fois trop grand.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme les épaisseurs et h. Le polystyrène apporte à lui seul 93 % de la résistance : c'est lui l'isolant, malgré une épaisseur deux fois plus faible que celle du béton.

À LA CALCULATRICE



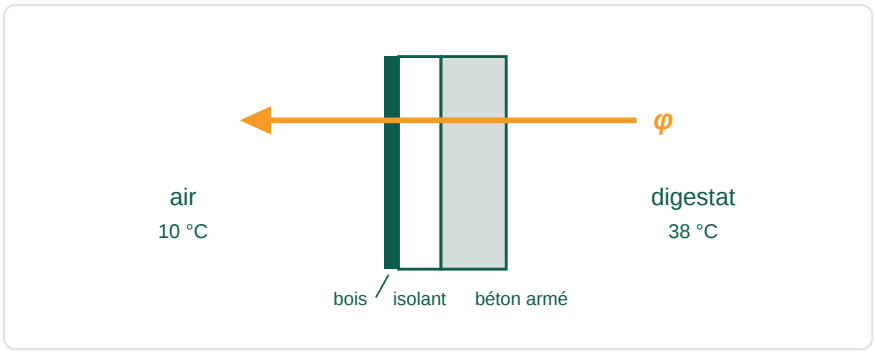
1.3.1 Représenter par une flèche le flux thermique φ à travers la paroi verticale sur le schéma reproduit. Justifier.

Données utiles digestat à 38 °C ; air à 10 °C

Un transfert thermique se fait spontanément du corps le plus chaud vers le corps le plus froid. Le digestat (38 °C) est plus chaud que l'air (10 °C).

La flèche du flux φ traverse la paroi **du digestat vers l'air**.

PIÈGE
Une flèche sans justification ne rapporte qu'une partie des points : il faut citer le sens spontané du transfert, du chaud vers le froid, et comparer les deux températures.



1.3.1 · Schéma reproduit : le flux thermique va du digestat (chaud) vers l'air (froid)

1.3.2 Calculer la valeur du flux thermique qui traverse cette paroi verticale.

Données utiles $T_2 = 38$ °C (digestat) ; $T_1 = 10$ °C (air) ; $R_{\text{totale}} = 2{,}7 \times 10^{-2}$ K · W^{-1} (1.2)

$$\varphi = \frac{T_2 - T_1}{R_{\text{totale}}} = \frac{38 - 10}{2{,}7 \times 10^{-2}}$$

$\varphi = 1{,}0 \times 10^3$ W $= 1{,}0$ kW

COMPRENDRE
Un écart de température a la même valeur en kelvins et en degrés Celsius : $(38 + 273) - (10 + 273) = 28$ K. La conversion est donc inutile ici.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{38 - 10}{2.7 \times 10^{-2}}$ ≈ 1037.037

1.4 Comparer l'énergie stockée sous forme de biogaz en un an aux pertes thermiques de l'installation. Commenter.

Données utiles $V = 750\,000$ m^3 de biogaz par an ; 21 MJ par m^3 ; pertes : $P = 1{,}6$ kW

Énergie stockée en un an : $E_{\text{biogaz}} = 750\,000 \times 21 \times 10^6 = 1{,}6 \times 10^{13}$ J.

Énergie perdue en un an, avec $\Delta t = 365 \times 24 \times 3600$ s : $E_{\text{pertes}} = P \times \Delta t = 1{,}6 \times 10^3 \times 365 \times 24 \times 3600 = 5{,}0 \times 10^{10}$ J.

$$\frac{E_{\text{pertes}}}{E_{\text{biogaz}}} = \frac{5{,}0 \times 10^{10}}{1{,}6 \times 10^{13}} = 3{,}2 \times 10^{-3}$$

Les pertes thermiques ne représentent que 0,32 % de l'énergie du biogaz produit (environ 300 fois moins) : compenser ces pertes ne consomme qu'une part infime de la production.

PIÈGE
Comparer directement 1,6 kW à des mégajoules : une puissance n'est pas une énergie. Il faut d'abord calculer $E = P \times \Delta t$ sur la même durée d'un an, en secondes.

MÉTHODE
« Comparer » deux grandeurs : les exprimer dans la même unité, calculer leur rapport, puis conclure par une phrase chiffrée.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$750\,000 \times 21 \times 10^6$ ≈ 1.575×10^{13}

$1.6 \times 10^3 \times 365 \times 24 \times 3600$ ≈ 5.04576×10^{10}

$\frac{5.04576 \times 10^{10}}{1.575 \times 10^{13}}$ ≈ 0.003203657

2.1 À l'aide du diagramme de prédominance du couple ion ammonium / ammoniac, identifier l'espèce azotée majoritaire dans la solution S.

Données utiles $\mathrm{p}K_A(\mathrm{NH_4^+/NH_3}) = 9{,}2$; pH de S voisin de 5

L'acide $\mathrm{NH_4^+}$ prédomine pour $\mathrm{pH} < \mathrm{p}K_A$, la base $\mathrm{NH_3}$ pour $\mathrm{pH} > \mathrm{p}K_A$.

Ici $\mathrm{pH} \approx 5 < 9{,}2$.

L'espèce azotée majoritaire dans la solution S est l'**ion ammonium** $\mathrm{NH_4^+}$.

COMPRENDRE
Avec $\frac{[\mathrm{NH_3}]}{[\mathrm{NH_4^+}]} = 10^{\mathrm{pH}-\mathrm{p}K_A} \approx 10^{-4}$, l'ammoniac est ici ultra-minoritaire : l'eau acidifiée a piégé le gaz sous forme d'ions ammonium.



2.1 · Diagramme de prédominance du couple ion ammonium / ammoniac

2.2.1 Écrire l'équation de la réaction support du dosage de l'ion ammonium par la solution d'hydroxyde de sodium.

L'acide $\mathrm{NH_4^+}$ cède un ion $\mathrm{H^+}$ à la base $\mathrm{HO^-}$:

$$\mathrm{NH_4^+\,(aq) + HO^-\,(aq) \longrightarrow NH_3\,(aq) + H_2O\,(l)}$$

PIÈGE
Faire figurer $\mathrm{Na^+}$ dans l'équation : c'est un ion spectateur. La flèche est simple, car une réaction support de titrage doit être totale.

2.2.2 Le laboratoire annonce une teneur en azote N de 2,6 g par kilogramme de digestat. Cette teneur est-elle cohérente avec le suivi pH-métrique de l'annexe ? Détailler la démarche.

Données utiles $V = 10{,}0$ mL ; $C_b = 0{,}10\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$; $V_S = 2{,}0$ L pour 1 kg de digestat ; $M(\mathrm{N}) = 14{,}0\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$

Volume à l'équivalence. Par la méthode des tangentes parallèles tracée sur l'annexe : $V_E = 9{,}3$ mL.

Concentration de S. À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques : $n(\mathrm{NH_4^+})_{\text{dosé}} = n(\mathrm{HO^-})_{\text{versé}}$, soit $C \times V = C_b \times V_E$.

$$C = \frac{C_b \times V_E}{V} = \frac{0{,}10 \times 9{,}3}{10{,}0} = 9{,}3 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$$

Masse d'azote. La solution S contient tout l'azote de 1 kg de digestat, et un ion $\mathrm{NH_4^+}$ contient un atome N : $n(\mathrm{N}) = C \times V_S$.

$$m(\mathrm{N}) = C \times V_S \times M(\mathrm{N}) = 9{,}3 \times 10^{-2} \times 2{,}0 \times 14{,}0 = 2{,}6\ \mathrm{g}$$

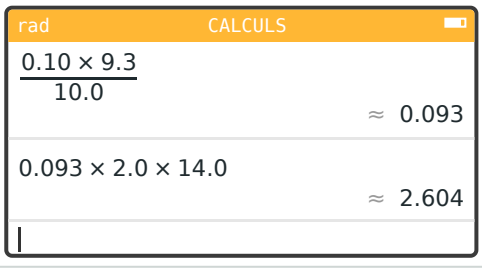
On trouve 2,6 g d'azote par kilogramme de digestat : la teneur annoncée par le laboratoire est cohérente avec le titrage.

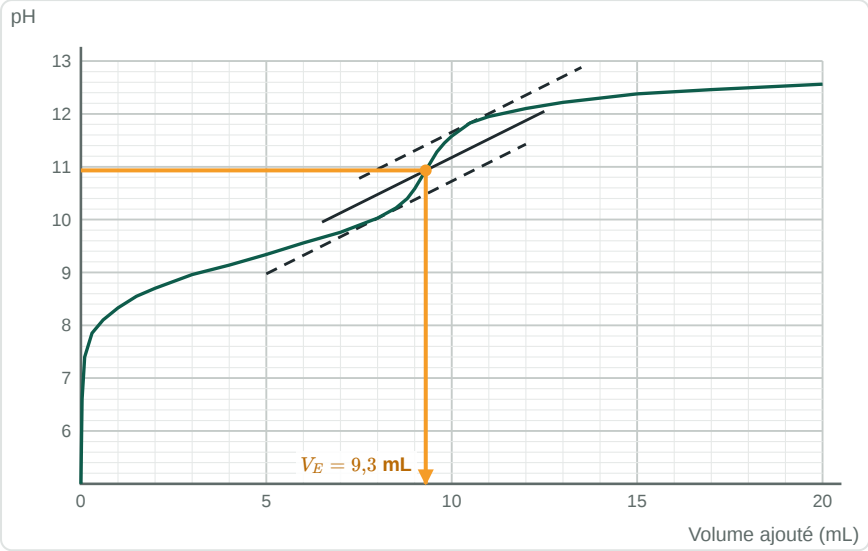
PIÈGE
Oublier le changement d'échelle : on dose 10,0 mL, mais l'azote de 1 kg de digestat est dans les 2,0 L de S. Il faut multiplier C par V_S, pas par V.

COMPRENDRE
La lecture de V_E se fait à 0,2 mL près environ, soit une masse entre 2,5 et 2,7 g. À la demi-équivalence (4,65 mL), on lit $\mathrm{pH} \approx 9{,}3$, proche du $\mathrm{p}K_A$: l'espèce dosée est bien $\mathrm{NH_4^+}$.

MÉTHODE
Tangentes parallèles : tracer deux tangentes parallèles de part et d'autre du saut de pH, puis la parallèle équidistante des deux. Elle coupe la courbe au point d'équivalence, dont on lit l'abscisse V_E.

À LA CALCULATRICE





2.2.2 · Annexe complétée : méthode des tangentes parallèles et lecture de V_E

2.3 Calculer la masse d'azote N dans une mole de nitrate d'ammonium NH_4NO_3, comparer les apports en azote du digestat et de cet engrais, puis donner un avantage et un inconvénient de la valorisation du digestat comme engrais.

Données utiles $M(\text{H}) = 1{,}0$; $M(\text{N}) = 14{,}0$; $M(\text{O}) = 16{,}0$ g · mol^{-1} ; digestat : 2,6 g d'azote par kg (2.2.2)

Une mole de NH_4NO_3 contient deux moles d'atomes N : $m(\text{N}) = 2 \times 14{,}0 = 28{,}0$ g.

Masse molaire : $M(NH_4NO_3) = 2 \times 14{,}0 + 4 \times 1{,}0 + 3 \times 16{,}0 = 80{,}0$ g · mol^{-1}.

Fraction massique d'azote : $\dfrac{28{,}0}{80{,}0} = 0{,}350$, soit 350 g d'azote par kilogramme d'engrais de synthèse, contre 2,6 g par kilogramme de digestat.

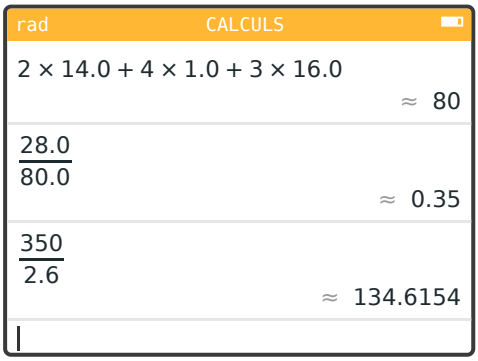
$m(\text{N}) = 28{,}0$ g par mole ; à masse égale, l'engrais de synthèse apporte environ 135 fois plus d'azote que le digestat.

Avantage : le digestat est un déchet produit sur place, gratuit, que l'on valorise au lieu de fabriquer et d'acheter un engrais industriel.

Inconvénient : sa faible teneur en azote impose d'en épandre des masses très importantes (transport, temps de travail).

PIÈGE
Ne compter qu'un atome d'azote : la formule NH_4NO_3 en contient deux, l'un dans l'ion ammonium NH_4^+, l'autre dans l'ion nitrate NO_3^-.

À LA CALCULATRICE



Le badminton, un sport dans le vent

Bac S 2018 Afrique (ancien programme) · Exercice 2 **8 points** **Durée conseillée 1 h 20**

1.1 Justifier le fait que le volant n'est pas en chute libre.

Un système est en chute libre lorsque le poids est la seule force qu'il subit.

Ici, en plus de son poids $\vec{P}$, le volant subit la traînée $\vec{F}$ due à l'air, créée par les plumes.

Le volant est soumis à deux forces, $\vec{P}$ et $\vec{F}$: il n'est pas en chute libre.

PIÈGE
« Chute libre » ne veut pas dire « qui tombe ». Un objet lancé vers le haut est en chute libre si le poids agit seul ; il faut donc raisonner sur les forces, pas sur le sens du mouvement.

1.2 Décrire, en première approximation, le mouvement du volant sur la portion AB. Représenter sur l'annexe le vecteur accélération $\vec{a}$ (direction et sens) à la date $t = 100$ ms.

Données utiles $\Delta t = 50$ ms entre deux positions successives

Entre A et B, les cinq positions sont pratiquement alignées : la trajectoire est une droite.

Les positions sont de plus en plus rapprochées alors que la durée Δt entre elles est toujours la même : la vitesse diminue.

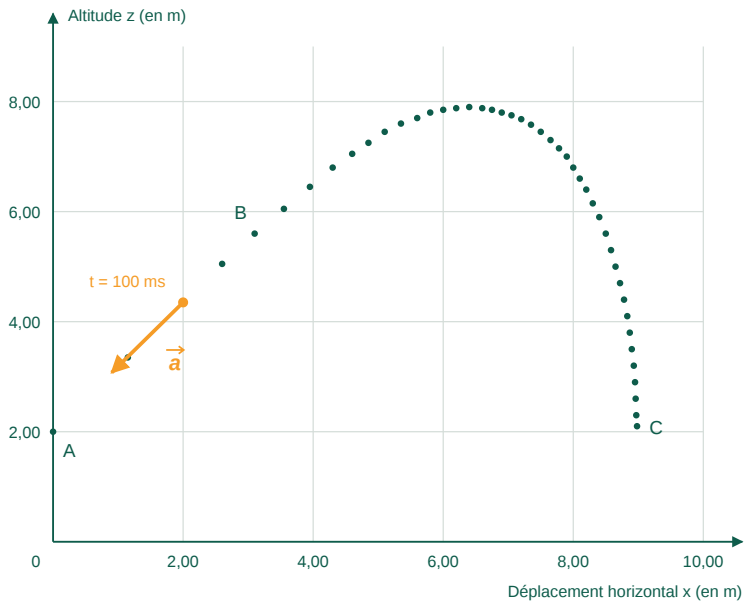
Le point A correspond à $t = 0$; la date $t = 100\ \text{ms} = 2\,\Delta t$ est donc celle de la troisième position.

Pour un mouvement rectiligne ralenti, $\vec{a}$ a la direction de la trajectoire et le sens opposé à celui du mouvement.

Sur AB, le mouvement est rectiligne et ralenti ; $\vec{a}$ est porté par la droite (AB) et orienté de B vers A.

PIÈGE
Tracer $\vec{a}$ vertical vers le bas par réflexe, comme en chute libre. Ici la traînée intervient et $\vec{a} \neq \vec{g}$.

MÉTHODE
Sur une chronophotographie : points alignés, mouvement rectiligne ; écarts qui diminuent, mouvement ralenti. Le vecteur $\vec{a}$ a le sens de $\Delta\vec{v}$: opposé à $\vec{v}$ si le mouvement rectiligne ralentit, identique s'il accélère.



1.2 · Annexe complétée : vecteur accélération à la date t = 100 ms (direction et sens)

1.3 Représenter sur l'annexe, sans souci d'échelle, les forces qui s'exercent sur le volant en un point de la portion AB. Leurs intensités sont-elles du même ordre de grandeur ? Justifier avec la deuxième loi de Newton.

Forces exercées sur le volant :

- le poids $\vec{P}$, vertical, vers le bas ;
- la traînée $\vec{F}$, opposée au mouvement, donc portée par (AB) et orientée de B vers A.

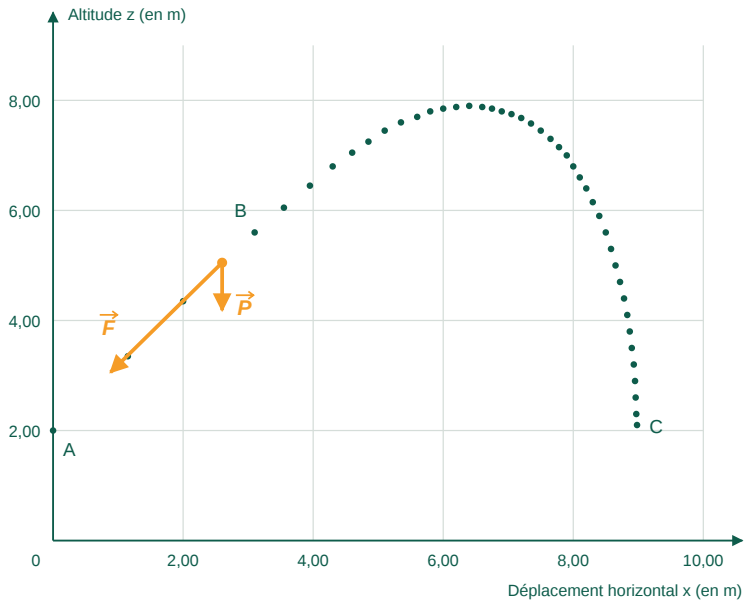
Deuxième loi de Newton appliquée au volant, de masse m constante, dans le référentiel terrestre supposé galiléen :

$$\vec{P} + \vec{F} = m\,\vec{a}$$

D'après 1.2, $\vec{a}$ est porté par (AB), comme $\vec{F}$. La somme $\vec{P} + \vec{F}$ a donc pratiquement la direction de $\vec{F}$: le poids, vertical, ne la dévie presque pas. Ainsi $m\,\vec{a} \approx \vec{F}$.

Les deux forces ne sont pas du même ordre de grandeur : sur AB, F est très supérieure à P.

COMPRENDRE
Si P était comparable à F, la somme des forces pencherait nettement vers le bas et la trajectoire se courberait dès le départ. C'est ce qui se produit plus loin, quand le volant a ralenti et que la traînée a faibli.



1.3 · Annexe complétée : poids et traînée en un point de la portion AB (sans souci d'échelle)

2.1 Identifier, en justifiant, la nature de l'énergie correspondant à chaque courbe.

Courbe 1 : au début du mouvement le volant monte, donc $E_{pp} = m\,g\,z$ augmente. Seule la courbe 1 est croissante au départ : c'est l'énergie potentielle de pesanteur.

Courbe 3 : le volant ralentit fortement sur AB, donc $E_c = \frac{1}{2}\,m\,v^2$ décroît rapidement. Les courbes 2 et 3 décroissent, mais $E_m = E_c + E_{pp}$ avec $E_{pp} > 0$: E_m est toujours au-dessus de E_c. La courbe 3, située sous la courbe 2, est l'énergie cinétique.

Courbe 1 : E_{pp} ; courbe 2 : E_m ; courbe 3 : E_c.

MÉTHODE
Pour départager trois courbes d'énergie : E_{pp} varie comme l'altitude, E_c comme la vitesse, et E_m est la somme des deux, donc la courbe la plus haute lorsque E_{pp} est positive.

2.2 À partir d'une des trois courbes, calculer en $\mathrm{km \cdot h^{-1}}$ l'ordre de grandeur de la vitesse du volant en B.

Données utiles $m = 5{,}0$ g ; $\Delta t = 50$ ms ; courbe 3 (E_c, 2.1)

B est la cinquième position, A étant à $t = 0$: $t_B = 4\,\Delta t = 4 \times 50 = 200\ \mathrm{ms} = 0{,}20\ \mathrm{s}$.

Lecture sur le zoom, courbe 3, à $t = 0{,}20$ s : $E_c(B) \approx 2{,}0$ J.

$E_c = \frac{1}{2} m v^2$ donc $v_B = \sqrt{\frac{2\,E_c(B)}{m}}$

$$v_B = \sqrt{\frac{2 \times 2{,}0}{5{,}0 \times 10^{-3}}} = 28\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

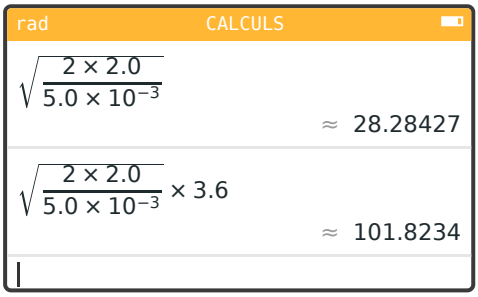
$v_B = 28 \times 3{,}6 = 1{,}0 \times 10^2\ \mathrm{km \cdot h^{-1}}$

$v_B \approx 1{,}0 \times 10^2\ \mathrm{km \cdot h^{-1}}$: ordre de grandeur $10^2\ \mathrm{km \cdot h^{-1}}$.

PIÈGE
Laisser la masse en grammes : avec $m = 5{,}0$ au lieu de $5{,}0 \times 10^{-3}$ kg, la vitesse est divisée par 30 environ. Pour passer des $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ aux $\mathrm{km \cdot h^{-1}}$, on multiplie par 3,6.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme m et la lecture graphique. La courbe 3 est la bonne : E_c donne directement la vitesse, alors que E_m demanderait de retrancher E_{pp}.

À LA CALCULATRICE



2.3 Calculer le travail du poids du volant lors du déplacement de A à B. Commenter le signe du résultat.

Données utiles $m = 5{,}0$ g ; $g = 9{,}8\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$; lecture sur l'annexe : $z_A = 2{,}0$ m et $z_B = 5{,}6$ m

Le poids est une force constante : $W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AB}$.

Avec l'axe (Oz) vertical vers le haut, $\vec{P}$ n'a qu'une coordonnée, $-m\,g$ selon (Oz), donc

$$W_{AB}(\vec{P}) = -m\,g\,(z_B - z_A) = m\,g\,(z_A - z_B)$$

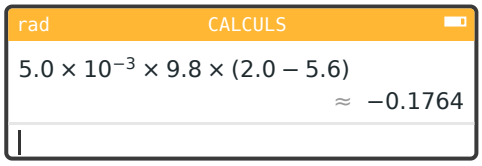
$$W_{AB}(\vec{P}) = 5{,}0 \times 10^{-3} \times 9{,}8 \times (2{,}0 - 5{,}6) = -0{,}18\ \mathrm{J}$$

Le travail est négatif : il est résistant. Le volant monte de A à B, le poids s'oppose à ce déplacement.

$W_{AB}(\vec{P}) = -0{,}18$ J : travail résistant, car le volant s'élève.

PIÈGE
Utiliser la longueur AB à la place de la différence d'altitude. Le travail du poids ne dépend que de $z_A - z_B$, pas du chemin suivi ni du déplacement horizontal.

À LA CALCULATRICE



2.4 L'énergie mécanique varie au cours du mouvement. Quelle est la cause de cette variation ?

Le poids est une force conservative : à lui seul, il laisserait l'énergie mécanique constante.

La traînée $\vec{F}$ est une force non conservative (frottement de l'air). Opposée au déplacement, elle effectue un travail négatif et la variation d'énergie mécanique lui est égale :

$$\Delta E_m = W(\vec{F}) < 0$$

L'énergie mécanique diminue à cause du travail résistant de la traînée ; l'énergie perdue est dissipée sous forme de chaleur.

COMPRENDRE
La courbe 2 chute surtout au début : la traînée est d'autant plus intense que le volant est rapide, et il parcourt alors une grande distance à chaque intervalle de temps.

3.1 Décrire le mouvement du volant lâché par Thomas Pesquet, dans le référentiel lié à l'ISS puis dans le référentiel géocentrique.

Référentiel lié à l'ISS : le volant est lâché sans vitesse initiale et occupe la même place devant l'astronaute sur les deux images. Il est immobile.

Référentiel géocentrique : immobile dans la station, le volant l'accompagne. Il décrit comme elle un cercle centré sur le centre de la Terre, à vitesse de valeur constante.

> Immobile dans le référentiel de l'ISS ; mouvement circulaire uniforme dans le référentiel géocentrique.

PIÈGE
Décrire un mouvement sans préciser le référentiel n'a pas de sens : le même volant est immobile pour l'astronaute et parcourt plusieurs kilomètres par seconde autour de la Terre.

3.2 Établir l'expression de la valeur de l'accélération de l'ISS dans le référentiel géocentrique, puis la calculer.

Données utiles $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ SI ; $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg ; $R_T = 6380$ km ; $h = 400$ km

Système {ISS}, de masse m constante, assimilé à un point ; référentiel géocentrique supposé galiléen.

Seule force : l'attraction gravitationnelle de la Terre, dirigée vers le centre de la Terre. Le rayon de l'orbite est $R_T + h$:

$$F_{T/ISS} = \frac{G\,m\,M_T}{(R_T+h)^2}$$

Deuxième loi de Newton : $\vec{F}_{T/ISS} = m\,\vec{a}$, soit en valeur $\dfrac{G\,m\,M_T}{(R_T+h)^2} = m\,a$, donc

$$a = \frac{G\,M_T}{(R_T+h)^2}$$

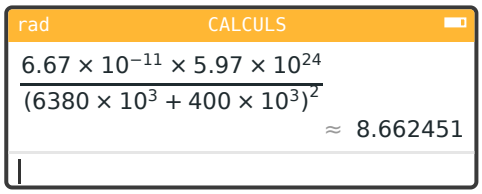
$$a = \frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 5{,}97 \times 10^{24}}{(6380 \times 10^3 + 400 \times 10^3)^2} = 8{,}66 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

> $a = \dfrac{G\,M_T}{(R_T+h)^2} = 8{,}66 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

PIÈGE
Oublier d'ajouter le rayon terrestre à l'altitude, ou laisser les distances en kilomètres : $R_T + h = 6{,}78 \times 10^6$ m.

COMPRENDRE
À 400 km d'altitude, cette accélération vaut encore près de 90 % de g au sol. L'« apesanteur » ne signifie donc pas que la gravité a disparu.

À LA CALCULATRICE



3.3 Expliquer pourquoi le volant reste près de l'astronaute.

L'expression $a = \dfrac{G\,M_T}{(R_T+h)^2}$ établie en 3.2 ne contient pas la masse du système. Le même raisonnement s'applique au volant et à l'astronaute, soumis eux aussi à la seule attraction de la Terre et situés à la même altitude.

L'ISS, l'astronaute et le volant ont donc la même accélération dans le référentiel géocentrique. Au moment du lâcher, ils ont aussi la même vitesse. Ils suivent alors le même mouvement autour de la Terre.

> Même accélération et même vitesse initiale : le volant, l'astronaute et la station « tombent » ensemble autour de la Terre, donc le volant reste immobile près de l'astronaute.

COMPRENDRE
Dans la station, l'air est à la pression atmosphérique, mais un volant immobile par rapport à cet air ne subit aucune traînée. Rien ne le met en mouvement par rapport à l'astronaute.

L'Univers aurait un goût de framboise et une odeur de rhum

Bac S 2018 Afrique (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Indiquer, en justifiant, à quelle famille chimique appartient le méthanoate d'éthyle.

Dans la formule du méthanoate d'éthyle, l'atome de carbone doublement lié à un atome d'oxygène ($C{=}O$) est aussi lié à un second atome d'oxygène, lui-même relié à une chaîne carbonée : c'est le groupe caractéristique $-COO-C$.

Le méthanoate d'éthyle appartient à la famille des **esters**.

PIÈGE
Confondre avec un acide carboxylique : dans l'acide, le second oxygène porte un H ($-COOH$) ; dans l'ester, il porte un carbone. Le nom en « -oate d'alkyle » confirme la famille mais ne remplace pas la justification par le groupe.

1.2 Préciser le rôle de l'acide sulfurique introduit dans le mélange initial ainsi que son influence sur la réaction.

L'acide sulfurique ne figure pas dans l'équation de la réaction et il est ajouté en très petite quantité (quelques gouttes) : il n'est pas un réactif, il est consommé puis régénéré.

L'acide sulfurique est un **catalyseur** : il accélère la réaction, c'est-à-dire qu'il réduit la durée nécessaire pour atteindre l'état final.

COMPRENDRE
Un catalyseur agit sur la vitesse, pas sur l'état final : la composition du mélange à l'équilibre, donc le rendement, reste la même avec ou sans acide sulfurique.

1.3 Identifier le site donneur et le site accepteur de doublet d'électrons mis en jeu dans l'étape donnée, puis représenter les flèches courbes sur l'annexe.

Dans cette étape, une liaison se forme entre l'atome d'oxygène de l'éthanol et l'atome de carbone de l'acide protoné.

- **Site donneur** : l'atome O de l'éthanol, qui porte deux doublets non liants.
- **Site accepteur** : l'atome C de l'acide protoné, lié à deux atomes d'oxygène plus électronégatifs que lui ; il est appauvri en électrons.

Flèche 1 : elle part d'un doublet non liant de l'atome O de l'éthanol et pointe vers l'atome C.

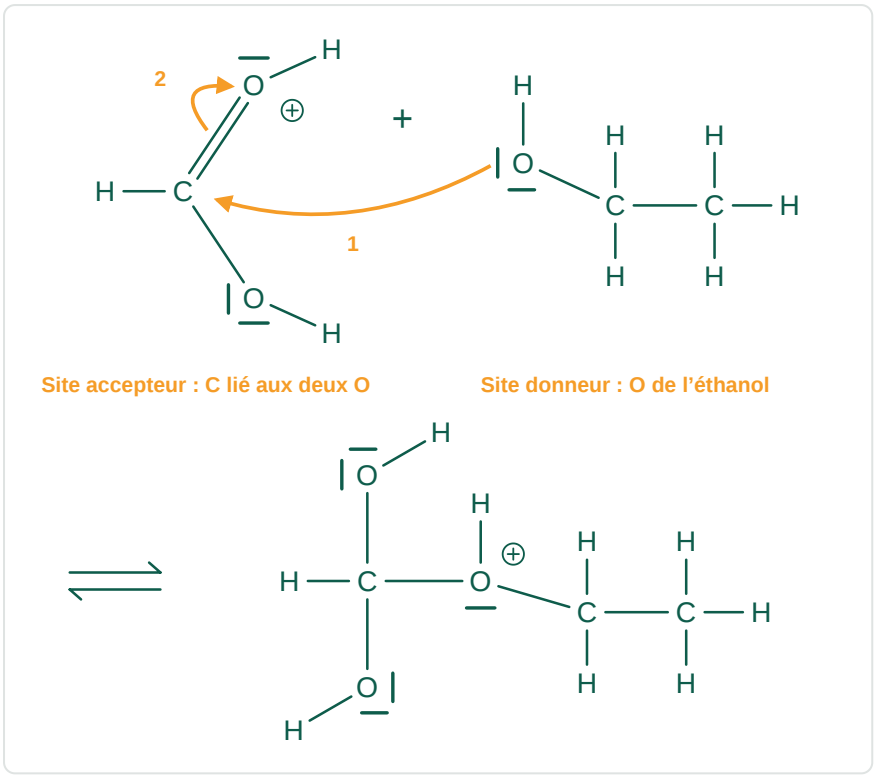
Flèche 2 : elle part de la double liaison $C{=}O$ et pointe vers l'atome O chargé positivement ; un des deux doublets de cette liaison devient un doublet non liant, ce qui évite au carbone de porter cinq liaisons.

Dans le produit, la charge positive est portée par l'atome O venu de l'éthanol, qui a cédé un doublet.

Donneur : O de l'éthanol ; accepteur : C du groupe $C{=}O$; deux flèches courbes tracées sur l'annexe.

PIÈGE
Une flèche courbe part toujours d'un doublet (non liant ou liaison), jamais d'un atome ni d'une charge, et arrive sur un atome. Tracée dans l'autre sens, elle ne rapporte aucun point.

COMPRENDRE
L'annexe 2 du sujet porte l'étiquette « Question 1.2 » : c'est une coquille, elle correspond bien à la question 1.3.



1.3 · Annexe 2 complétée : les deux flèches courbes de l'étape sont tracées en orange

2 Déterminer le rendement η de la synthèse à partir des masses de réactifs introduites et de la masse de méthanoate d'éthyle obtenue.

Données utiles $m_{\text{acide}} = 2{,}3$ g ; $m_{\text{éthanol}} = 2{,}8$ g ; $m_{\text{ester}} = 1{,}9$ g ; $M_{\text{acide}} = M_{\text{éthanol}} = 46\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M_{\text{ester}} = 74\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Quantités de matière initiales, avec $n = \dfrac{m}{M}$:

$$n_{\text{acide}} = \frac{2{,}3}{46} = 5{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \qquad n_{\text{éthanol}} = \frac{2{,}8}{46} = 6{,}1 \times 10^{-2}\ \text{mol}$$

Les nombres stœchiométriques des deux réactifs valent 1 et $n_{\text{acide}} < n_{\text{éthanol}}$: l'acide méthanoïque est le réactif limitant.

Si la transformation était totale, il se formerait une mole d'ester par mole d'acide consommée : $n_{\max} = n_{\text{acide}} = 5{,}0 \times 10^{-2}$ mol.

Quantité d'ester obtenue : $n_{\text{exp}} = \dfrac{1{,}9}{74} = 2{,}6 \times 10^{-2}$ mol.

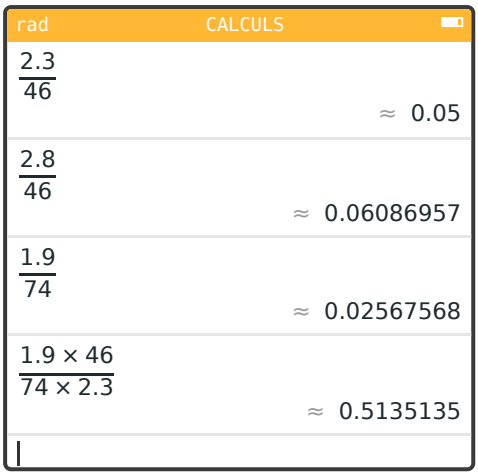
$$\eta = \frac{n_{\text{exp}}}{n_{\max}} = \frac{m_{\text{ester}}}{M_{\text{ester}}} \times \frac{M_{\text{acide}}}{m_{\text{acide}}} = \frac{1{,}9 \times 46}{74 \times 2{,}3} = 0{,}51$$

$\eta = 0{,}51$, soit un rendement de 51 %.

PIÈGE
Diviser la masse d'ester obtenue par une masse de réactif : le rendement compare des quantités de matière (ou la masse obtenue à la masse maximale d'ester, ici $3{,}7$ g). Il faut aussi justifier quel réactif est limitant.

COMPRENDRE
Les masses sont données avec deux chiffres significatifs : le rendement s'écrit avec deux chiffres. On calcule η avec les valeurs non arrondies ; avec $0{,}026$ et $0{,}050$ on trouverait 52 %.

À LA CALCULATRICE



3.1 Identifier les liaisons correspondant aux bandes d'absorption a, b et d du spectre infrarouge du méthanoate d'éthyle.

Données utiles table infrarouge : C–H 2900 à 3100 $\mathrm{cm^{-1}}$ (moyenne) ; C=O 1700 à 1750 $\mathrm{cm^{-1}}$ (forte) ; C–O 1000 à 1250 $\mathrm{cm^{-1}}$ (forte) ; C–C 1000 à 1200 $\mathrm{cm^{-1}}$ (moyenne)

La molécule $\mathrm{HCOOC_2H_5}$ ne contient que des liaisons C–H, C=O, C–O et C–C : on écarte O–H, N–H et C=N.

- Bande a, vers $3000\ \mathrm{cm^{-1}}$, d'intensité moyenne : liaisons **C–H**.
- Bande b, vers $1750\ \mathrm{cm^{-1}}$, intense : liaison **C=O**.
- Bande d, vers $1200\ \mathrm{cm^{-1}}$, intense : liaison **C–O**.

a : C–H ; b : C=O ; d : C–O.

COMPRENDRE
Entre 1000 et $1250\ \mathrm{cm^{-1}}$, C–O et C–C absorbent toutes les deux. C'est l'intensité qui tranche : la bande d, très intense, revient à C–O ; la bande e, plus faible, peut être attribuée à C–C.

MÉTHODE
Lister d'abord les liaisons présentes dans la molécule, puis associer chaque bande à une ligne de la table avec deux critères : le nombre d'onde lu sur l'axe (qui décroît vers la droite) et l'intensité.

3.2 Combien de signaux sont présents dans le spectre de RMN du proton du méthanoate d'éthyle ? Préciser, en justifiant, leur multiplicité.

La molécule $\mathrm{H-COO-CH_2-CH_3}$ comporte trois groupes de protons équivalents : le spectre présente **3 signaux**.

Un groupe de protons ayant n protons voisins (portés par les atomes de carbone voisins) donne un signal à $n+1$ pics.

- $\mathrm{H-COO}$: aucun proton voisin, **singulet**.
- $\mathrm{-CH_2-}$: 3 voisins (ceux de $\mathrm{CH_3}$), **quadruplet**.
- $\mathrm{-CH_3}$: 2 voisins (ceux de $\mathrm{CH_2}$), **triplet**.

3 signaux : un singulet (H), un quadruplet ($\mathrm{CH_2}$), un triplet ($\mathrm{CH_3}$).

PIÈGE
Compter les protons du groupe lui-même au lieu de ses voisins : $\mathrm{CH_3}$ donnerait alors un quadruplet et $\mathrm{CH_2}$ un triplet, soit exactement l'inverse.

COMPRENDRE
La RMN du proton figurait au programme de Terminale S ; elle n'est plus au programme actuel de la spécialité, qui conserve la spectroscopie infrarouge.

Spécialité : Un bateau innovant

Bac S 2018 Afrique (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Établir, à l'aide des informations fournies, l'équation de la réaction d'électrolyse de l'eau.

Données utiles $2\,H_2O\,(l) = O_2\,(g) + 4\,H^+\,(aq) + 4\,e^-$; $H_2\,(g) = 2\,H^+\,(aq) + 2\,e^-$

L'électrolyse sert à fabriquer du dihydrogène : l'eau est le réactif, H_2 et O_2 sont les produits.

Oxydation de l'eau : $2\,H_2O\,(l) = O_2\,(g) + 4\,H^+\,(aq) + 4\,e^-$

Réduction des ions hydrogène : $2\,H^+\,(aq) + 2\,e^- = H_2\,(g) \quad (\times 2)$

On additionne pour échanger 4 électrons de part et d'autre : $2\,H_2O\,(l) + 4\,H^+\,(aq) \longrightarrow O_2\,(g) + 4\,H^+\,(aq) + 2\,H_2\,(g)$, puis on simplifie les ions H^+.

$$\boxed{2\,H_2O\,(l) \longrightarrow 2\,H_2\,(g) + O_2\,(g)}$$

PIÈGE

Recopier la seconde demi-équation dans le sens donné par l'énoncé : H_2 serait alors consommé. Elle doit être écrite dans le sens de la réduction, puis multipliée par 2 pour équilibrer les électrons.

COMPRENDRE

Une électrolyse est une transformation forcée : le générateur impose le passage des électrons et la réaction se fait dans le sens inverse de celui d'une pile à combustible.

2 Calculer l'énergie fournie par les panneaux solaires en une journée. Problème : estimer le nombre de jours nécessaires pour remplir les réservoirs de dihydrogène lorsque le bateau est tracté par l'aile de kite, puis porter un regard critique sur le résultat.

Données utiles panneaux : $P_s = 21$ kW pendant 12 h ; deux éoliennes de 2,5 kW ; hydrogénérateurs : 2 kW ; $m(\mathrm{H_2}) = 60$ kg ; $M(\mathrm{H_2}) = 2{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $F = 96\,500\ \mathrm{C \cdot mol^{-1}}$; $U = 1{,}25$ V

Question 2. $E_s = P_s \times \Delta t$ avec $\Delta t = 12\ \mathrm{h} = 12 \times 3600$ s :

$E_s = 21 \times 10^3 \times 12 \times 3600 = 9{,}1 \times 10^8$ J

$E_s = 9{,}1 \times 10^8$ J par jour

Problème. On compare l'énergie nécessaire à l'électrolyse à l'énergie produite à bord en un jour.

Énergie nécessaire pour 60 kg de dihydrogène

- Quantité de dihydrogène : $n(\mathrm{H_2}) = \dfrac{m(\mathrm{H_2})}{M(\mathrm{H_2})} = \dfrac{60 \times 10^3}{2{,}0} = 3{,}0 \times 10^4\ \mathrm{mol}$
- D'après $2\,\mathrm{H^+\,(aq)} + 2\,\mathrm{e^-} = \mathrm{H_2\,(g)}$, il faut 2 mol d'électrons par mole de $\mathrm{H_2}$: $n(e^-) = 2\,n(\mathrm{H_2}) = 6{,}0 \times 10^4$ mol
- Charge transférée : $Q = n(e^-) \times F = 6{,}0 \times 10^4 \times 96\,500 = 5{,}79 \times 10^9$ C
- Énergie : $E_{\text{élec}} = Q \times U = 5{,}79 \times 10^9 \times 1{,}25 = 7{,}24 \times 10^9$ J

Énergie produite en un jour

Le bateau est tracté par le kite : il y a du vent et le bateau avance. Les éoliennes et les hydrogénérateurs fonctionnent donc 24 h sur 24, les panneaux 12 h.

$E_{\text{jour}} = (2 \times 2{,}5 + 2) \times 10^3 \times 24 \times 3600 + E_s = 6{,}05 \times 10^8 + 9{,}07 \times 10^8 = 1{,}51 \times 10^9$ J

Durée

$$N = \frac{E_{\text{élec}}}{E_{\text{jour}}} = \frac{7{,}24 \times 10^9}{1{,}51 \times 10^9} = 4{,}8$$

Il faut environ 5 jours pour remplir les réservoirs.

Regard critique. Cette durée est une valeur minimale, la durée réelle est plus longue :

- le rendement de l'électrolyseur est inférieur à 100 % ;
- une partie de l'énergie sert à dessaler l'eau, à comprimer le gaz et aux appareils du bord ;
- le vent et le soleil ne sont pas toujours au maximum.

PIÈGE
Oublier le facteur 2 entre $n(e^-)$ et $n(\mathrm{H_2})$, laisser 60 kg en kilogrammes, ou faire fonctionner les panneaux solaires 24 h comme les autres dispositifs.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs pour E_s, comme 21 kW et 12 h. Dans le problème, on garde les valeurs non arrondies dans la calculatrice et on n'arrondit qu'à la fin : il s'agit d'une estimation.

MÉTHODE
Résolution de problème : annoncer la démarche, calculer séparément l'énergie nécessaire et l'énergie disponible par jour, conclure par une phrase, puis discuter les hypothèses (rendement, autres consommations, météo).

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$21 \times 10^3 \times 12 \times 3600$

$\approx 9.072 \times 10^8$

$\frac{60 \times 10^3}{2.0} \times 2 \times 96\,500 \times 1.25$

$\approx 7.2375 \times 10^9$

$(2 \times 2.5 + 2) \times 1 \times 10^3 \times 24 \times 3600 + 907\,200\,000$

$\approx 1.512 \times 10^9$

$\frac{7\,237\,500\,000}{1\,512\,000\,000}$

≈ 4.786706