Corrigé complet — Bac 2026 Métropole J2 Secours

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

Ex 1	**La tomate, un fruit plein de ressources** Extraction liquide-liquide · Loi de Beer-Lambert · Groupes caractéristiques et spectroscopie IR · Oxydoréduction · Suivi cinétique et temps de demi-réaction · Loi de vitesse d'ordre 1	9 pts	1 h 35	20 questions	p. 2
Ex 2	**L'astroscope** Lunette astronomique afocale · Objectif et oculaire · Foyers et tracé de rayons · Grossissement · Approximation des petits angles · Incertitude-type et comparaison à une référence	5 pts	53 min	6 questions	p. 10
Ex 3	**Surveillance de la fonte des glaces** Repère de Frenet · Deuxième loi de Newton · Mouvement circulaire uniforme · Travail d'une force · Théorème de l'énergie cinétique · Ondes électromagnétiques	6 pts	1 h 03	15 questions	p. 14

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.

La tomate, un fruit plein de ressources

Bac 2026 Métropole J2 Secours · Exercice 1 **9 points** **Durée conseillée 1 h 35**

Q1 Donner deux arguments en faveur de l'utilisation de l'acétate d'éthyle comme solvant d'extraction du lycopène de la tomate.

Données utiles tableau des solvants : solubilité du lycopène, miscibilité avec l'eau, pictogrammes de sécurité

- Le lycopène est **très soluble** dans l'acétate d'éthyle, alors qu'il est très peu soluble dans l'eau : il passe donc dans ce solvant.
- L'acétate d'éthyle est **faiblement miscible avec l'eau** : on obtient deux phases, séparables dans l'ampoule à décanter.

Solvant d'extraction adapté : lycopène très soluble dans l'acétate d'éthyle, et solvant non miscible avec l'eau.

COMPRENDRE
Le dichlorométhane remplit aussi ces deux critères, mais son pictogramme « danger pour la santé » le rend plus dangereux que l'acétate d'éthyle (inflammable et irritant). C'est un troisième argument recevable.

Q2 Réaliser le schéma de l'ampoule à décanter après décantation, indiquer les positions relatives des phases organique et aqueuse et préciser dans quelle phase se situe le lycopène.

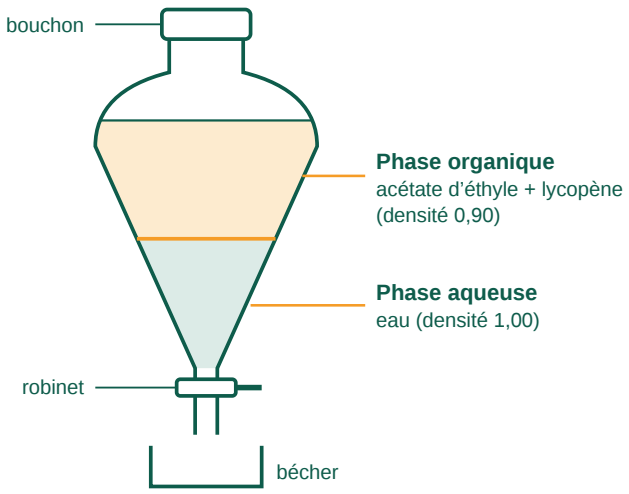
Données utiles densité de l'acétate d'éthyle : 0,90 ; densité de l'eau : 1,00

L'acétate d'éthyle est moins dense que l'eau ($0{,}90 < 1{,}00$) : la phase organique surnage, la phase aqueuse est en dessous.

Le lycopène, très soluble dans l'acétate d'éthyle et très peu dans l'eau, se trouve dans la phase organique.

Phase organique (acétate d'éthyle + lycopène) **au-dessus**, phase aqueuse **en dessous**.

PIÈGE
La phase organique n'est pas toujours en haut : c'est la densité qui décide. Avec le dichlorométhane (densité 1,33), elle serait en bas. Il faut citer la comparaison des densités.



Q2 · Ampoule à décanter après décantation

Q3 Justifier la couleur jaune de la solution S_0.

Données utiles figure 1 : spectre de S_0 ; cercle chromatique

Le spectre de S_0 présente un maximum d'absorption vers $\lambda_{max} \approx 440\ \text{nm}$: la solution absorbe surtout les radiations violettes (entre 400 et 450 nm).

La couleur perçue est la couleur complémentaire de la couleur absorbée, diamétralement opposée sur le cercle chromatique : à l'opposé du violet se trouve le jaune.

S_0 absorbe le violet ($\lambda_{max} \approx 440$ nm) : elle apparaît de la couleur complémentaire, **jaune**.

PIÈGE
Dire que la solution « absorbe le jaune » est le contresens classique : la solution a la couleur des radiations qu'elle n'absorbe pas.

Q4 En utilisant la loi de Beer-Lambert, montrer que la concentration en lycopène dans la solution S_1 est proche de $C_1 = 0{,}95 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Données utiles $C_0 = 1{,}8 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; figure 1, à $\lambda = 440$ nm : $A_0 \approx 1{,}13$ et $A_1 \approx 0{,}60$

Loi de Beer-Lambert : $A = k\,C$, où k est le même pour les deux solutions (même espèce, même longueur d'onde, même cuve).

À $\lambda = 440$ nm, on lit $A_0 \approx 1{,}13$ pour S_0 et $A_1 \approx 0{,}60$ pour S_1.

$$\frac{A_1}{A_0} = \frac{C_1}{C_0} \text{ donc } C_1 = C_0 \times \frac{A_1}{A_0}$$

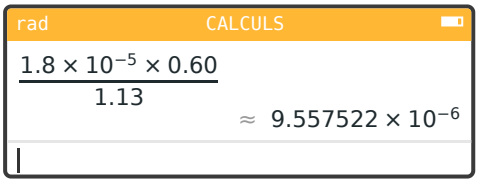
$$C_1 = 1{,}8 \times 10^{-5} \times \frac{0{,}60}{1{,}13} = 9{,}6 \times 10^{-6}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$C_1 \approx 0{,}96 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, proche de la valeur attendue $0{,}95 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme C_0 et les absorbances lues. Une lecture $A_1 = 0{,}61$ ou $A_0 = 1{,}14$ donne un résultat tout aussi acceptable : c'est pourquoi l'énoncé dit « proche de ».

MÉTHODE
Lire les deux absorbances à la même longueur d'onde, celle du maximum d'absorption : la lecture y est la plus précise. Le rapport des absorbances évite de calculer k.

À LA CALCULATRICE



Q5 En déduire la masse de lycopène extraite. Commenter, sachant que 100 g de tomate fraîche contiennent quelques milligrammes de lycopène.

Données utiles $C_1 = 0{,}95 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (Q4) ; $V_1 = 100\ \text{mL}$; $M_{\text{lycopène}} = 536\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; 25 g de tomate fraîche

Tout le lycopène extrait se trouve dans les $V_1 = 100\ \text{mL}$ de solution S_1 :

$$m = n \times M = C_1 \times V_1 \times M_{\text{lycopène}}$$

$$m = 0{,}95 \times 10^{-5} \times 0{,}100 \times 536 = 5{,}1 \times 10^{-4}\ \text{g}$$

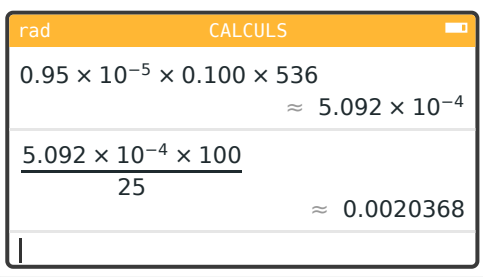
Cette masse provient de 25 g de tomate. Pour 100 g : $5{,}1 \times 10^{-4} \times \frac{100}{25} = 2{,}0 \times 10^{-3}$ g, soit environ 2 mg.

Ce résultat est cohérent avec « quelques milligrammes » pour 100 g : l'extraction a récupéré l'essentiel du lycopène.

$m = 5{,}1 \times 10^{-4}\ \text{g} \approx 0{,}51\ \text{mg}$ pour 25 g de tomate, soit environ 2 mg pour 100 g : cohérent.

PIÈGE
Le volume à utiliser est celui de la fiole jaugée (100 mL, à convertir en litres), pas les 75 mL d'acétate d'éthyle versés au départ.

À LA CALCULATRICE



Q6 Nommer les familles chimiques associées aux groupes caractéristiques A et B entourés sur la figure 2.

Le groupe A, $-COO-CH_3$, est un groupe ester ; le groupe B, $-COOH$, est un groupe carboxyle.

A : famille des **esters** ; B : famille des **acides carboxyliques**.

PIÈGE
Pour B, répondre « alcool » ou « cétone » est faux : $C=O$ et $O-H$ sont portés par le même carbone.

Q7 Choisir la catégorie de réaction correspondant à l'équation de la figure 2 parmi : substitution, élimination ou addition. Justifier.

Dans l'espèce (1), le groupe $-OCH_3$ lié au carbone du groupe $C=O$ est remplacé par le groupe $-OH$ dans l'espèce (2). Un groupe d'atomes en remplace un autre ; il y a deux réactifs et deux produits.

Il s'agit d'une réaction de **substitution**.

MÉTHODE
Addition : deux réactifs donnent un seul produit, une liaison multiple disparaît. Élimination : un réactif donne deux produits, une liaison multiple apparaît. Substitution : un groupe en remplace un autre, sans changement des liaisons multiples.

Q8 Expliquer en quoi la comparaison des spectres IR du réactif (1) et du produit obtenu, isolé après purification et séchage, permettrait de vérifier que la synthèse a bien eu lieu.

Données utiles table IR : $O-H$ entre 3200 et 3700 cm^{-1}, bande forte et large ; $C=O$ entre 1650 et 1730 cm^{-1}

Les espèces (1) et (2) possèdent toutes deux des liaisons $C-H$, $C=C$ et $C=O$: ces bandes figurent sur les deux spectres.

Seule l'espèce (2) possède une liaison $O-H$: son spectre présente une bande forte et large entre 3200 et 3700 cm^{-1}, absente du spectre de l'espèce (1).

L'apparition d'une bande forte et large entre 3200 et 3700 cm^{-1} (liaison $O-H$) dans le spectre du produit prouve la formation de l'espèce (2).

COMPRENDRE
Le produit doit être purifié et séché : l'eau et le méthanol possèdent aussi une liaison $O-H$ et fausseraient la conclusion s'il en restait.

Q9 Écrire les deux demi-équations électroniques et les deux couples oxydant-réducteur mis en jeu dans la « réaction modèle ».

Couple $I_2(aq) / I^-(aq)$: $2\,I^-(aq) = I_2(aq) + 2\,e^-$

Couple $S_2O_8^{2-}(aq) / SO_4^{2-}(aq)$: $S_2O_8^{2-}(aq) + 2\,e^- = 2\,SO_4^{2-}(aq)$

Couples I_2 / I^- et $S_2O_8^{2-} / SO_4^{2-}$; deux électrons échangés.

MÉTHODE
Un couple s'écrit toujours oxydant / réducteur. Vérifier chaque demi-équation : conservation des éléments, puis des charges (ici -2 de chaque côté pour la première, -4 pour la seconde).

Q10 Justifier que les ions peroxodisulfate jouent le même rôle que les radicaux libres lors de la transformation chimique.

D'après la demi-équation, l'ion $S_2O_8^{2-}$ capte des électrons, cédés par les ions iodure : c'est l'oxydant de la réaction modèle, il oxyde I^- en I_2.

Les radicaux libres sont eux aussi des oxydants, qui dégradent les molécules des cellules.

Les ions peroxodisulfate sont l'**oxydant** de la réaction, comme les radicaux libres dans l'organisme.

COMPRENDRE
Dans ce modèle, les ions iodure tiennent le rôle des molécules des cellules : ce sont eux qui sont oxydés.

Q11 Définir le temps de demi-réaction noté $t_{1/2}$.

Le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle l'avancement atteint la moitié de sa valeur finale : $x(t_{1/2}) = \dfrac{x_f}{2}$.

COMPRENDRE
La transformation est totale et $S_2O_8^{2-}$ est limitant : à $t_{1/2}$, la moitié des ions peroxodisulfate a été consommée, leur concentration est divisée par deux.

Q12 Déterminer graphiquement la valeur du temps de demi-réaction.

Données utiles figure 3 : $[S_2O_8^{2-}]_0 \approx 2{,}83\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$; concentration finale nulle

La concentration des ions peroxodisulfate tend vers zéro : à $t_{1/2}$, elle vaut la moitié de sa valeur initiale.

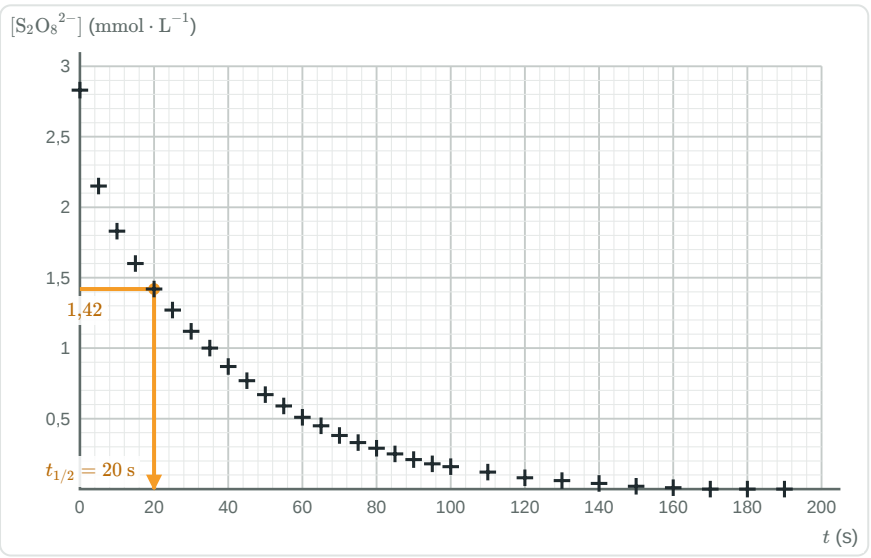
$$\frac{[S_2O_8^{2-}]_0}{2} = \frac{2{,}83}{2} \approx 1{,}42\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Sur la figure 3, cette concentration est atteinte à la date $t = 20$ s.

$t_{1/2} \approx 20$ s

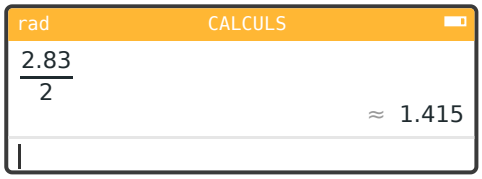
COMPRENDRE
La valeur initiale se retrouve par la dilution : $0{,}017 \times 5{,}0 \div 30 = 2{,}8 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, le volume du mélange étant de 30 mL.

MÉTHODE
Tracer l'horizontale à la moitié de la valeur initiale jusqu'à la courbe, puis descendre verticalement jusqu'à l'axe des temps. Les traits de construction doivent figurer sur la copie.



Q12 · Points relevés sur la figure 3 et lecture de $t_{1/2}$

À LA CALCULATRICE



Q13 Définir la vitesse volumique de disparition des ions peroxodisulfate.

La vitesse volumique de disparition des ions peroxodisulfate est l'opposé de la dérivée par rapport au temps de leur concentration :

$$v_{\text{disp}}(t) = -\frac{\text{d}[S_2O_8^{2-}]}{\text{d}t}, \text{ en } \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}.$$

PIÈGE
Oublier le signe « − » : la concentration d'un réactif diminue, sa dérivée est négative, et une vitesse est positive.

Q14 Discuter la compatibilité des résultats présentés en figure 4 avec le modèle d'une réaction dont la cinétique est d'ordre 1.

Données utiles figure 4 : par exemple $v \approx 2{,}55 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ pour une concentration de $1{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

Pour une réaction d'ordre 1 par rapport aux ions peroxodisulfate, la vitesse de disparition est proportionnelle à leur concentration : $v = k\,[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]$. Le graphique de v en fonction de la concentration doit être une droite passant par l'origine.

Sur la figure 4, les points sont à peu près alignés sur une droite passant par l'origine, de coefficient directeur $k = \dfrac{2{,}55 \times 10^{-5}}{1{,}0 \times 10^{-3}} \approx 2{,}6 \times 10^{-2}\ \text{s}^{-1}$.

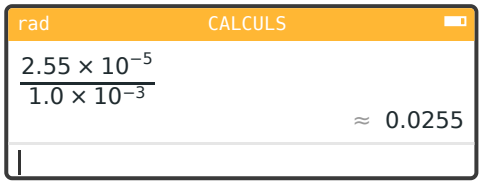
Seuls les points de plus forte concentration (tout début de la réaction) s'écartent au-dessus de cette droite.

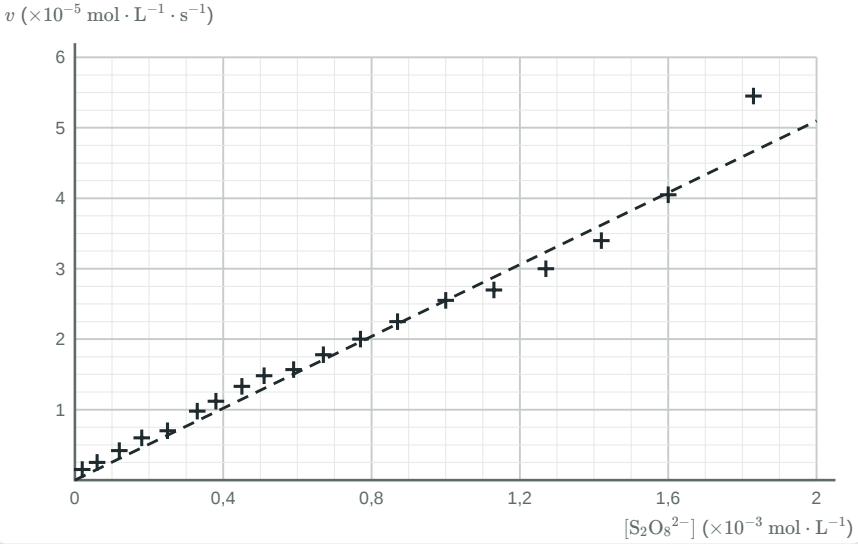
Résultats **compatibles** avec une cinétique d'ordre 1 (v proportionnelle à la concentration, $k \approx 2{,}6 \times 10^{-2}\ \text{s}^{-1}$), sauf aux tout premiers instants.

COMPRENDRE

« Discuter » appelle une réponse nuancée : énoncer le critère du modèle, dire ce qui s'accorde avec lui, puis ce qui s'en écarte.

À LA CALCULATRICE





Q14 · Points relevés sur la figure 4 et droite passant par l'origine

Q15 Expliquer qualitativement la présence d'un palier au début des courbes associées aux expériences B, C et D.

Données utiles figure 5 : paliers d'environ 5 s (B), 25 s (C) et 60 s (D)

Pendant le palier, la concentration en diiode reste nulle : les ions iodure ne sont pas oxydés.

Les solutions B, C et D contiennent de l'eau de tomate, donc des antioxydants (lycopène). Les ions peroxodisulfate réagissent d'abord avec ces antioxydants ; le diiode n'apparaît qu'une fois les antioxydants consommés.

Le palier est d'autant plus long que le volume d'eau de tomate est grand (B, puis C, puis D).

Palier : durée pendant laquelle les ions peroxodisulfate sont consommés par les antioxydants de la tomate, et non par les ions iodure.

Q16 Déterminer le réactif limitant de la « réaction modèle » dans l'étude menée avec la solution A.

Données utiles $\mathrm{I^-}$: $C = 1{,}0\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$, $5{,}0\ \mathrm{mL}$; $\mathrm{S_2O_8^{2-}}$: $0{,}017\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$, $V = 5{,}0\ \mathrm{mL}$

Quantités initiales :

$n_i(\mathrm{I^-}) = 1{,}0 \times 5{,}0 \times 10^{-3} = 5{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}$

$n_i(\mathrm{S_2O_8^{2-}}) = 0{,}017 \times 5{,}0 \times 10^{-3} = 8{,}5 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol}$

D'après l'équation, il faut 2 mol de $\mathrm{I^-}$ pour 1 mol de $\mathrm{S_2O_8^{2-}}$:

$$\frac{n_i(\mathrm{I^-})}{2} = 2{,}5 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol} > \frac{n_i(\mathrm{S_2O_8^{2-}})}{1} = 8{,}5 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol}$$

Le réactif limitant est l'ion **peroxodisulfate** $\mathrm{S_2O_8^{2-}}$; $x_{\max} = 8{,}5 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol}$.

PIÈGE
Comparer directement les quantités initiales sans diviser par les nombres stœchiométriques. Ici la conclusion serait la même, mais le raisonnement serait sanctionné.

COMPRENDRE
La figure 3 le confirme : la concentration en ions peroxodisulfate s'annule en fin de réaction.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$1.0 \times 5.0 \times 10^{-3}$ ≈ 0.005

$0.017 \times 5.0 \times 10^{-3}$ ≈ 8.5×10^{-5}

$\frac{5.0 \times 10^{-3}}{2}$ ≈ 0.0025

Q17 Retrouver, par le calcul, la valeur finale de la concentration en diiode de l'expérience avec la solution A.

Données utiles $x_{\max} = 8{,}5 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol}$ (Q16) ; volume du mélange : $5{,}0 + 20{,}0 + 5{,}0 = 30{,}0\ \mathrm{mL}$

La transformation est totale : $n_f(\mathrm{I_2}) = x_{\max} = n_i(\mathrm{S_2O_8^{2-}}) = 8{,}5 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol}$.

Volume du mélange : $V_{\mathrm{tot}} = 5{,}0 + 20{,}0 + 5{,}0 = 30{,}0\ \mathrm{mL}$.

$$[\mathrm{I_2}]_f = \frac{x_{\max}}{V_{\mathrm{tot}}} = \frac{8{,}5 \times 10^{-5}}{30{,}0 \times 10^{-3}} = 2{,}8 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$$

$[\mathrm{I_2}]_f = 2{,}8 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$, en accord avec le palier de la courbe A ($\approx 0{,}0028\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$).

PIÈGE
Diviser par 5,0 mL au lieu du volume total : après mélange, les espèces sont diluées dans 30,0 mL.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{8.5 \times 10^{-5}}{30.0 \times 10^{-3}}$ ≈ 0.002833333

Q18 Comparer graphiquement les concentrations finales de diiode des expériences B, C et D à celle de l'expérience A. Commenter au regard de la quantité d'eau de tomate utilisée.

Données utiles figure 5, paliers finaux en $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$: A $\approx 2{,}83$; B $\approx 2{,}56$; C $\approx 2{,}24$; D $\approx 1{,}62$

Lecture des concentrations finales : $[\text{I}_2]_A \approx 2{,}83$; $[\text{I}_2]_B \approx 2{,}56$; $[\text{I}_2]_C \approx 2{,}24$; $[\text{I}_2]_D \approx 1{,}62$ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$.

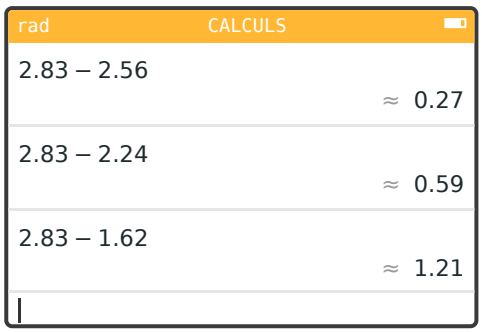
Les concentrations finales de B, C et D sont inférieures à celle de A, et d'autant plus faibles que le volume d'eau de tomate est grand (5,0 ; 10,0 ; 20,0 mL).

Écarts avec A : $0{,}27$; $0{,}59$; $1{,}21$ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$. Ils doublent à peu près quand le volume d'eau de tomate double.

Une partie des ions peroxodisulfate, réactif limitant, est consommée par les antioxydants de la tomate : il en reste moins pour oxyder les ions iodure.

$[\text{I}_2]_D < [\text{I}_2]_C < [\text{I}_2]_B < [\text{I}_2]_A$: plus il y a d'eau de tomate, moins il se forme de diiode.

À LA CALCULATRICE



Q19 À partir du graphique, déterminer la quantité de matière d'ions peroxodisulfate ayant réagi avec le lycopène pour la solution D.

Données utiles $[\text{I}_2]_A \approx 2{,}83 \times 10^{-3}$ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et $[\text{I}_2]_D \approx 1{,}62 \times 10^{-3}$ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (Q18) ; $V_{\text{tot}} = 30{,}0$ mL

Dans les expériences A et D, la quantité initiale d'ions peroxodisulfate et le volume total (30,0 mL) sont les mêmes.

D'après l'équation, 1 mol de $\text{S}_2\text{O}_8{}^{2-}$ qui réagit avec les ions iodure forme 1 mol de I_2. Le diiode manquant dans l'expérience D par rapport à A correspond donc aux ions peroxodisulfate qui ont réagi avec le lycopène :

$$n = ([\text{I}_2]_A - [\text{I}_2]_D) \times V_{\text{tot}}$$

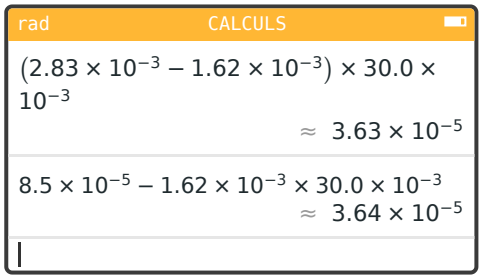
$$n = (2{,}83 \times 10^{-3} - 1{,}62 \times 10^{-3}) \times 30{,}0 \times 10^{-3} = 3{,}6 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

$n \approx 3{,}6 \times 10^{-5}$ mol d'ions peroxodisulfate ont réagi avec le lycopène dans la solution D.

MÉTHODE

Vérification par un bilan : quantité initiale moins quantité ayant formé du diiode, soit $8{,}5 \times 10^{-5} - 1{,}62 \times 10^{-3} \times 30{,}0 \times 10^{-3}$. On retrouve la même valeur (seconde ligne de calculatrice).

À LA CALCULATRICE



Q20 Le lycopène est vendu sous forme de compléments alimentaires pour son pouvoir antioxydant. En analysant les résultats obtenus, justifier cet argument de vente.

Données utiles $n = 3{,}6 \times 10^{-5}$ mol (Q19) ; $n_i(S_2O_8^{2-}) = 8{,}5 \times 10^{-5}$ mol (Q16) ; figure 5

Dans le modèle, les ions peroxodisulfate représentent les radicaux libres (oxydants) et les ions iodure représentent les molécules des cellules, qui sont oxydées.

Les résultats montrent deux effets de l'eau de tomate :

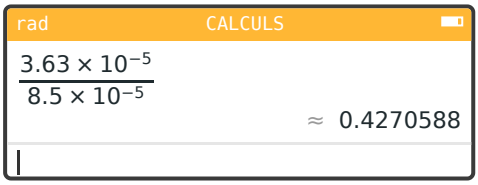
- un retard : pendant le palier initial (jusqu'à 60 s environ pour D), aucun ion iodure n'est oxydé, car l'oxydant réagit d'abord avec le lycopène ;
- une oxydation finale moins importante : dans l'expérience D, la fraction d'oxydant neutralisée par le lycopène vaut $\dfrac{3{,}6 \times 10^{-5}}{8{,}5 \times 10^{-5}} \approx 0{,}43$, soit environ 43 %.

Ces deux effets augmentent avec la quantité d'eau de tomate, donc de lycopène.

Par analogie, dans l'organisme, le lycopène réagit avec les radicaux libres à la place des molécules des cellules : il retarde et limite leur dégradation, donc le vieillissement cellulaire.

Le lycopène consomme l'oxydant à la place de l'espèce à protéger (environ 43 % dans l'expérience D) : son pouvoir antioxydant est mis en évidence, ce qui justifie l'argument de vente.

À LA CALCULATRICE



COMPRENDRE

La réaction modèle reste une simplification : elle montre que le lycopène neutralise un oxydant en solution, pas ce qui se passe réellement dans l'organisme.

MÉTHODE

Question ouverte : rappeler ce que représente chaque espèce du modèle, citer des résultats chiffrés tirés des graphiques, puis conclure en revenant à la question posée.

L'astroscope

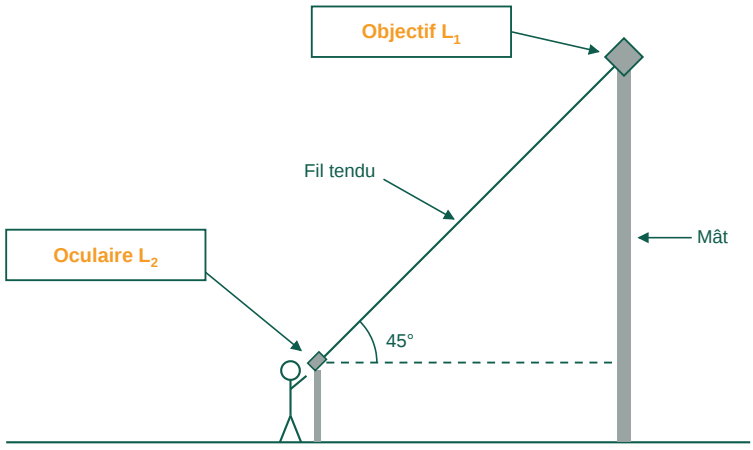
Bac 2026 Métropole J2 Secours · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

Q1 Compléter le schéma de la figure A1 de l'annexe en identifiant l'objectif et l'oculaire de la lunette modélisée.

L'objectif est la lentille tournée vers l'astre : c'est celle qui est fixée en haut du mât. L'oculaire est la lentille placée devant l'œil de l'observateur, au bas du fil.

Cadre du haut (sommet du mât) : **objectif** L_1 ; cadre du bas (près de l'observateur) : **oculaire** L_2.

COMPRENDRE
L'objectif reçoit la lumière de l'objet, l'oculaire est du côté de l'œil. L'objectif d'une lunette a toujours la plus grande distance focale : ici 34 m contre $7{,}0$ cm.



Q1 · Figure A1 complétée

Q2 La longueur du fil étant égale à f_1', montrer que la hauteur minimale du mât nécessaire à la réalisation de l'astroscope est voisine de 25 m.

Données utiles $f_1' = 34$ m ; le fil fait un angle de 45° avec l'horizontale (figure A1)

Le fil, l'horizontale passant par l'oculaire et le mât forment un triangle rectangle dont le fil est l'hypoténuse. La hauteur h de l'objectif au-dessus de l'oculaire vérifie :

$$\sin(45^\circ) = \frac{h}{f_1'} \quad \text{donc} \quad h = f_1' \times \sin(45^\circ) = 34 \times \sin(45^\circ) = 24 \text{ m}$$

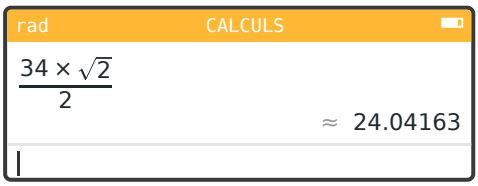
Le mât doit porter l'objectif à 24 m au moins au-dessus de l'oculaire ; en ajoutant la hauteur de l'oculaire au-dessus du sol (environ 1 m), on retrouve une hauteur voisine de 25 m.

$h = f_1' \sin(45^\circ) = 24$ m, voisine de 25 m.

PIÈGE
Calculatrice en mode degré : en mode radian, $\sin(45)$ donne $0{,}85$ et une hauteur fausse de 29 m.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme $f_1' = 34$ m. Le calcul donne la hauteur au-dessus de l'oculaire : le sujet dit « voisine de 25 m » car il faut encore ajouter la hauteur de l'oculaire au-dessus du sol.

À LA CALCULATRICE

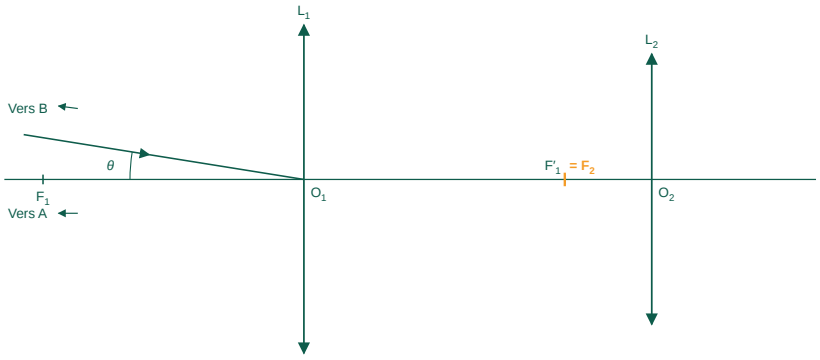


Q3 Placer, sur la figure A2 de l'annexe, le foyer objet F_2 de l'oculaire permettant de remplir la condition décrite par Jacques Cassini.

« Réunir le foyer oculaire à celui de l'objectif » : le foyer objet F_2 de l'oculaire doit être confondu avec le foyer image F_1' de l'objectif. La lunette est alors afocale.

F_2 est placé sur l'axe optique, au même point que F_1'.

COMPRENDRE
Lunette afocale : l'image d'un objet à l'infini est rejetée à l'infini. L'œil l'observe sans accommoder, donc sans fatigue.



Q3 · Figure A2 : le foyer objet F_2 de l'oculaire est confondu avec F_1'

Q4 Tracer, sur la figure A2, la marche de deux rayons issus d'un point B très éloigné et émergeant de la lunette vers un point B' très éloigné. Faire apparaître l'image B_1 de B donnée par la lentille L_1.

B est à l'infini : les deux rayons incidents sont parallèles entre eux (même inclinaison θ que le rayon déjà tracé).

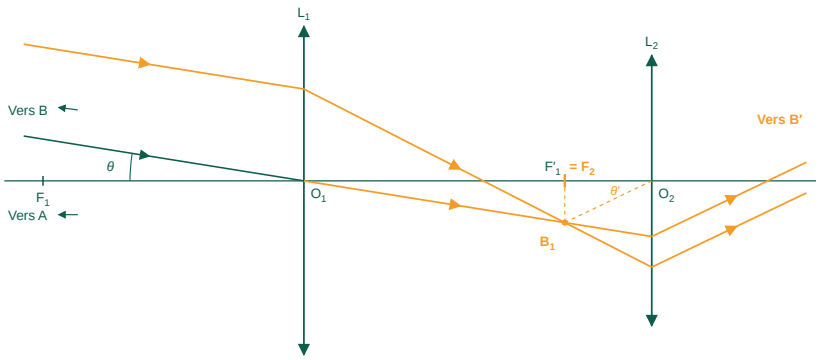
Le rayon passant par O_1 n'est pas dévié. Il coupe le plan focal image de L_1 (perpendiculaire à l'axe en F_1') au point B_1, image de B par L_1. Le second rayon, après L_1, passe aussi par B_1.

B_1 est dans le plan focal objet de L_2 : son image B' est à l'infini. Les deux rayons émergent de L_2 parallèles entre eux, dans la direction de la droite (B_1O_2), tracée en pointillés.

B_1 est dans le plan focal commun, sous l'axe ; les rayons émergents sont parallèles à (B_1O_2).

PIÈGE
Arrêter les rayons en B_1 ou les faire sortir de L_2 parallèles à l'axe optique. Chaque rayon se prolonge en ligne droite de L_1 à L_2 et ne change de direction que sur les lentilles.

MÉTHODE
1) Rayon par O_1, non dévié : il donne B_1 dans le plan focal. 2) Tout rayon parallèle au premier passe par B_1 après L_1. 3) Tracer (B_1O_2) en pointillés : les rayons sortent de L_2 parallèles à cette droite.



Q4 · Figure A2 complétée (tracés de l'élève en orange)

Q5 Montrer que le grossissement de l'astroscope s'écrit $G = \frac{f_1'}{f_2'}$.

On note A_1 l'image de A par L_1 : A est sur l'axe, à l'infini, donc A_1 est en F_1', confondu avec F_2.

Dans le triangle $O_1A_1B_1$, rectangle en A_1 : $\tan\theta = \frac{A_1B_1}{O_1F_1'} = \frac{A_1B_1}{f_1'}$.

Dans le triangle $O_2A_1B_1$, rectangle en A_1 : $\tan\theta' = \frac{A_1B_1}{O_2F_2} = \frac{A_1B_1}{f_2'}$.

Les angles sont petits : $\tan\theta \approx \theta$ et $\tan\theta' \approx \theta'$ (en radian). Donc :

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{A_1B_1}{f_2'} \times \frac{f_1'}{A_1B_1}$$

$$\boxed{G = \frac{f_1'}{f_2'}}$$

PIÈGE
Inverser le rapport. Le grossissement est supérieur à 1 : la grande distance focale, celle de l'objectif, est au numérateur.

COMPRENDRE
θ est l'angle entre l'axe et le rayon passant par O_1 ; θ' est l'angle entre l'axe et la droite (B_1O_2), direction des rayons émergents. Les deux triangles ont le côté A_1B_1 en commun : c'est lui qui se simplifie.

Q6 Préciser, en argumentant, si on peut estimer que la valeur déterminée par Huygens est en accord avec θ_{ref}.

Données utiles $\theta' = 9{,}4 \times 10^{-2}$ rad ; $f_1' = 34$ m ; $f_2' = 7{,}0$ cm ; $u(G) = 40$; $u(\theta') = 2 \times 10^{-3}$ rad ; $\theta_{\text{ref}} = 2{,}2 \times 10^{-4}$ rad

Grossissement, avec les distances focales dans la même unité : $G = \dfrac{f_1'}{f_2'} = \dfrac{34}{7{,}0 \times 10^{-2}} = 4{,}9 \times 10^2$.

Angle sous lequel Jupiter est vue à l'œil nu, d'après la mesure de Huygens :

$$\theta = \frac{\theta'}{G} = \frac{9{,}4 \times 10^{-2}}{4{,}9 \times 10^2} = 1{,}9 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

Incertitude-type :

$$u(\theta) = 1{,}9 \times 10^{-4} \times \sqrt{\left(\frac{2 \times 10^{-3}}{9{,}4 \times 10^{-2}}\right)^2 + \left(\frac{40}{4{,}9 \times 10^2}\right)^2}$$

$$u(\theta) = 1{,}6 \times 10^{-5} \text{ rad} \approx 2 \times 10^{-5} \text{ rad}$$

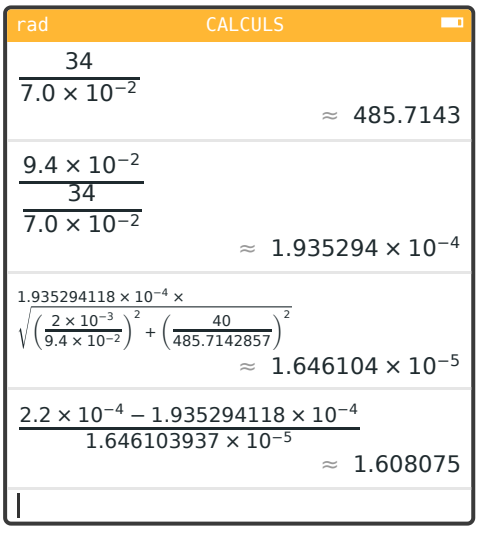
Mesure de Huygens : $\theta = (1{,}9 \pm 0{,}2) \times 10^{-4}$ rad.

Quotient, calculé avec les valeurs non arrondies :

$$\frac{|\theta - \theta_{\text{ref}}|}{u(\theta)} = \frac{|1{,}94 \times 10^{-4} - 2{,}2 \times 10^{-4}|}{1{,}65 \times 10^{-5}} \approx 1{,}6$$

Le quotient vaut environ $1{,}6$, inférieur à 2 : la valeur de Huygens, $\theta = 1{,}9 \times 10^{-4}$ rad, est en accord avec θ_{ref}.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Laisser f_2' en centimètres : on trouve $G = 4{,}9$ au lieu de $4{,}9 \times 10^2$. Autre erreur : comparer l'écart à θ_{ref} (écart relatif) au lieu de le diviser par $u(\theta)$.

COMPRENDRE
L'incertitude-type s'arrondit à un chiffre significatif, par excès. Avec les valeurs arrondies, le quotient vaut $0{,}3 \div 0{,}2 = 1{,}5$: la conclusion est la même. Le seuil usuel d'accord est 2.

MÉTHODE
Comparer à une référence : 1) calculer la valeur mesurée ; 2) calculer son incertitude-type ; 3) former le quotient $|x - x_{\text{ref}}| \div u(x)$; 4) conclure : accord si le quotient est inférieur à 2.

Surveillance de la fonte des glaces

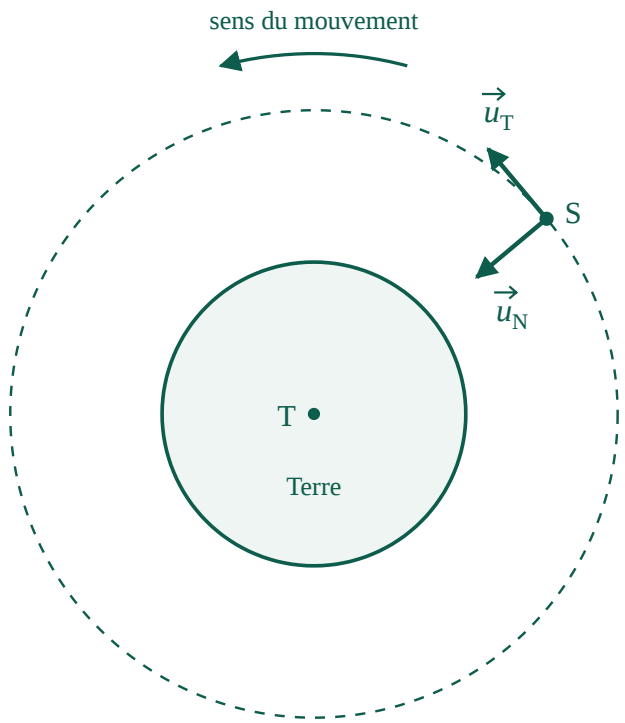
Bac 2026 Métropole J2 Secours · Exercice 3 **6 points** **Durée conseillée 1 h 03**

Q1 Représenter sur un schéma la Terre de centre T, le satellite S, le repère de Frenet $(S\,;\vec{u}_T,\vec{u}_N)$ et le sens du mouvement.

Voir le schéma : $\vec{u}_T$ est tangent à la trajectoire, dans le sens du mouvement ; $\vec{u}_N$ est perpendiculaire à $\vec{u}_T$ et dirigé vers le centre T de la trajectoire.

Schéma : $\vec{u}_T$ tangent à l'orbite dans le sens du mouvement, $\vec{u}_N$ dirigé de S vers T.

PIÈGE
Le repère de Frenet a pour origine le satellite S, pas le centre T. Un vecteur $\vec{u}_N$ dessiné vers l'extérieur de l'orbite fausse le signe de la force à la question suivante.



Q1 · Satellite S en orbite circulaire autour de la Terre et repère de Frenet

Q2 Exprimer, dans le repère de Frenet, la force $\vec{F}$ exercée par la Terre sur le satellite S de masse m, en fonction notamment de l'altitude h.

La distance entre le centre de la Terre et le satellite est $d_{TS} = R_T + h$. La force d'interaction gravitationnelle est attractive, dirigée de S vers T, donc selon $+\vec{u}_N$:

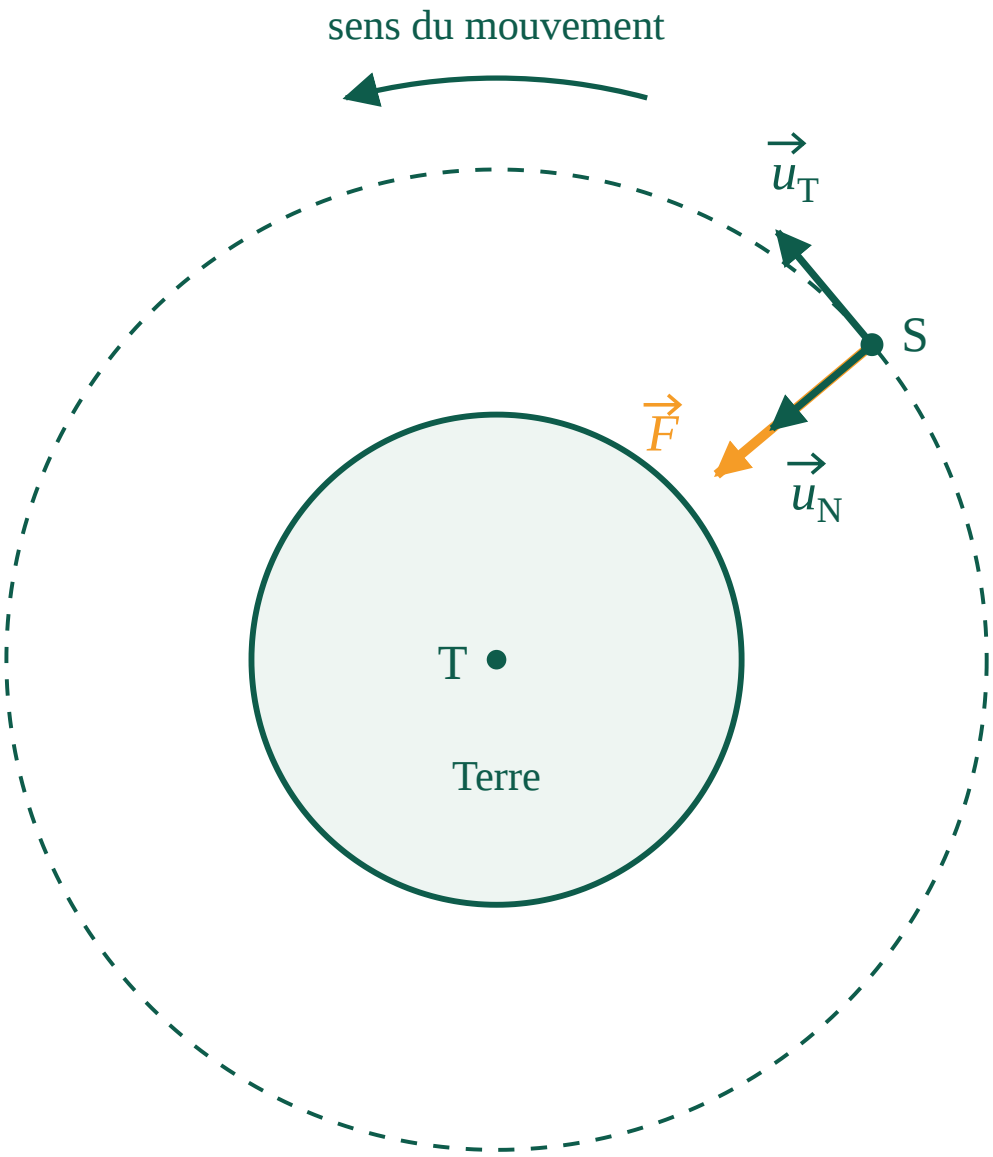
$$\vec{F} = G\,\frac{m\,M_T}{(R_T+h)^2}\,\vec{u}_N$$

PIÈGE
Écrire h^2 au dénominateur : la distance qui intervient est celle entre les centres, $R_T + h$, pas l'altitude.

Q3 Représenter, sans souci d'échelle, le vecteur force $\vec{F}$ sur le schéma de la question Q1.

$\vec{F}$ a pour point d'application S ; elle est portée par la droite (ST) et dirigée vers T, comme $\vec{u}_N$.

$\vec{F}$: flèche partant de S et pointant vers T.



Q3 · Force exercée par la Terre sur le satellite (en orange)

Q4 Montrer que le vecteur accélération du satellite dans le référentiel géocentrique est $\vec{a} = G\,\dfrac{M_T}{(R_T+h)^2}\,\vec{u}_N$.

Système : {satellite}, de masse m constante. Référentiel : géocentrique, supposé galiléen. Seule force : $\vec{F}$.

Deuxième loi de Newton : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}$, soit

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

En simplifiant par m :

$\vec{a} = G\,\dfrac{M_T}{(R_T+h)^2}\,\vec{u}_N$, ce qui est l'expression attendue.

MÉTHODE

Toujours annoncer le système, le référentiel galiléen et le bilan des forces avant d'écrire la deuxième loi de Newton : ces trois éléments sont notés.

Q5 En déduire l'expression de la valeur de la vitesse v du satellite. Justifier que cette vitesse est constante au cours du mouvement.

Pour un mouvement circulaire de rayon $R_T + h$, dans le repère de Frenet :

$$\vec{a} = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\,\vec{u}_T + \frac{v^2}{R_T + h}\,\vec{u}_N$$

Par identification avec l'expression de Q4 :

- selon $\vec{u}_T$: $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$, donc la valeur de la vitesse est constante : le mouvement est uniforme ;
- selon $\vec{u}_N$: $\dfrac{v^2}{R_T + h} = \dfrac{G\,M_T}{(R_T + h)^2}$, soit $v^2 = \dfrac{G\,M_T}{R_T + h}$.

$v = \sqrt{\dfrac{G\,M_T}{R_T + h}}$, constante car $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$.

PIÈGE
Dire « $\vec{a}$ est constant donc v est constante » est faux : le vecteur $\vec{a}$ change de direction. C'est la composante nulle selon $\vec{u}_T$ qui prouve que le mouvement est uniforme.

COMPRENDRE
La vitesse ne dépend pas de la masse m du satellite, seulement de l'altitude de l'orbite. Ce constat resservira à la question Q14.

Q6 Montrer que la période de révolution du satellite peut s'écrire $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{(R_T + h)^3}{G\,M_T}}$.

La période T est la durée d'un tour. À vitesse constante, le satellite parcourt le périmètre $2\pi(R_T + h)$ de l'orbite pendant T :

$$T = \frac{2\pi(R_T + h)}{v} = 2\pi(R_T + h)\sqrt{\frac{R_T + h}{G\,M_T}}$$

Comme $(R_T + h) = \sqrt{(R_T + h)^2}$:

$T = 2\pi\sqrt{\dfrac{(R_T + h)^3}{G\,M_T}}$, ce qui est l'expression attendue.

Q7 Calculer la période de révolution T du satellite.

Données utiles $G = 6{,}674 \times 10^{-11}\ \mathrm{m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2}}$; $M_T = 5{,}972 \times 10^{24}$ kg ; $R_T = 6371$ km ; $h = 490$ km

$$R_T + h = 6371 + 490 = 6861\ \mathrm{km} = 6{,}861 \times 10^6\ \mathrm{m}$$

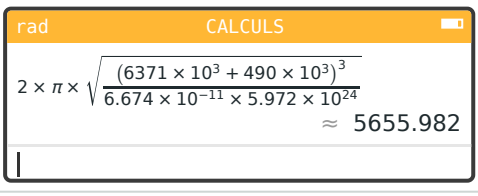
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{(6{,}861 \times 10^6)^3}{6{,}674 \times 10^{-11} \times 5{,}972 \times 10^{24}}}$$

$T = 5{,}66 \times 10^3$ s, soit environ 94 min.

PIÈGE
Laisser R_T et h en kilomètres : G est en unités SI, les longueurs doivent être en mètres. L'erreur donne une période de 0,18 s, absurde pour un satellite.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme l'altitude h, donnée la moins précise. Le satellite fait donc environ 15 tours de la Terre par jour.

À LA CALCULATRICE



Q8 Représenter sur l'annexe, pour chaque position A, B et C du satellite, la force $\vec{F}_1$ exercée par la Terre, la force $\vec{F}_2$ exercée par l'objet massif M et la vitesse $\vec{v}$.

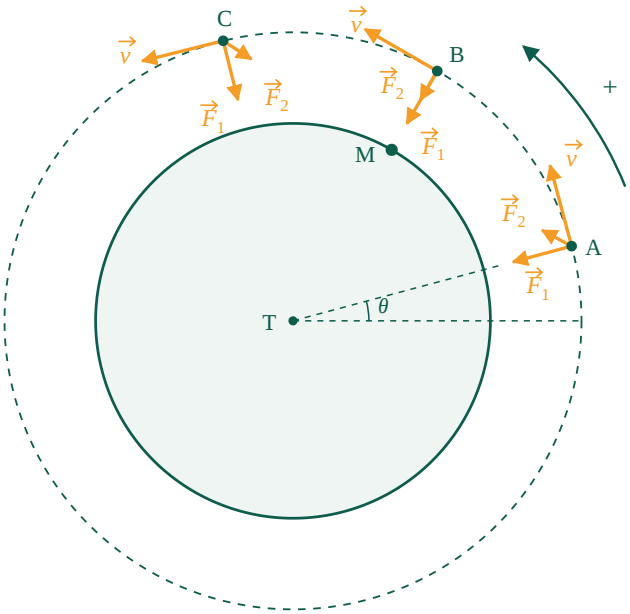
En chaque position :

- $\vec{F}_1$ part du satellite et pointe vers le centre T de la Terre ;
- $\vec{F}_2$ part du satellite et pointe vers l'objet M (force attractive) ;
- $\vec{v}$ est tangente à la trajectoire, dans le sens du mouvement (sens $+$).

En B, le point M est sur le segment [TB] : $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ ont la même direction et le même sens.

Annexe complétée : $\vec{F}_1$ vers T, $\vec{F}_2$ vers M, $\vec{v}$ tangente à l'orbite, en A, B et C.

PIÈGE
Tracer $\vec{F}_2$ parallèle à $\vec{F}_1$ en A et en C. Elle vise M, pas T : c'est son inclinaison par rapport à $\vec{v}$ qui sert aux questions Q10 et Q11.



Q8 · Annexe 2 complétée : forces et vitesse en A, B et C (en orange)

Q9 Justifier que le travail de la force $\vec{F}_1$ est nul entre les points A et C.

La trajectoire est un cercle de centre T. En tout point, $\vec{F}_1$ est dirigée selon le rayon, vers T, alors que le déplacement, de même direction que $\vec{v}$, est tangent au cercle. La force $\vec{F}_1$ est donc perpendiculaire au déplacement à chaque instant : son travail est nul sur chaque petite portion de la trajectoire.

$W_{AC}(\vec{F}_1) = 0$ car $\vec{F}_1$ reste perpendiculaire au déplacement.

PIÈGE
Écrire $W = \vec{F}_1 \cdot \overrightarrow{AC}$: cette formule ne vaut que pour une force constante. Ici $\vec{F}_1$ change de direction ; il faut raisonner à chaque instant.

Q10 Justifier que le travail de la force $\vec{F}_2$ est positif entre les points A et B puis négatif entre les points B et C.

Le signe du travail est celui de $\cos\alpha$, où α est l'angle entre $\vec{F}_2$ et le déplacement (de même sens que $\vec{v}$).

- Entre A et B, le satellite se rapproche de M : $\vec{F}_2$ pointe vers l'avant, l'angle α est aigu, $\cos\alpha > 0$. Le travail est positif (moteur).
- Entre B et C, le satellite s'éloigne de M : $\vec{F}_2$ pointe vers l'arrière, l'angle α est obtus, $\cos\alpha < 0$. Le travail est négatif (résistant).

En B, $\vec{F}_2$ est perpendiculaire à $\vec{v}$: le travail change de signe.

$W_{AB}(\vec{F}_2) > 0$ (angle aigu) et $W_{BC}(\vec{F}_2) < 0$ (angle obtus).

MÉTHODE
Pour le signe d'un travail, regarder l'angle entre la force et la vitesse sur le schéma : aigu, la force aide le mouvement ; obtus, elle s'y oppose ; droit, elle ne travaille pas.

Q11 En déduire que la valeur de la vitesse du satellite augmente jusqu'au point B et diminue ensuite.

Théorème de l'énergie cinétique appliqué au satellite, dans le référentiel géocentrique, entre deux positions 1 et 2 :

$$\frac{1}{2}m\,v_2^2 - \frac{1}{2}m\,v_1^2 = W(\vec{F}_1) + W(\vec{F}_2) = W(\vec{F}_2)$$

puisque le travail de $\vec{F}_1$ est nul (Q9).

- De A à B : $W(\vec{F}_2) > 0$, l'énergie cinétique augmente, donc v augmente.
- De B à C : $W(\vec{F}_2) < 0$, l'énergie cinétique diminue, donc v diminue.

La vitesse augmente de A à B, est maximale en B, puis diminue de B à C.

Q12 Déterminer à quel domaine appartient l'onde électromagnétique utilisée par les satellites de GRACE.

Données utiles $c = 3{,}00 \times 10^8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\lambda \approx 10^{-2}\ \text{m}$

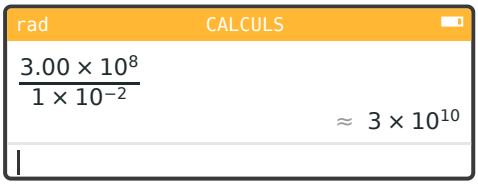
$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3{,}00 \times 10^8}{10^{-2}} = 3 \times 10^{10}\ \text{Hz}$$

Cette fréquence est comprise entre 3×10^9 Hz et 3×10^{11} Hz.

$\nu \approx 3 \times 10^{10}$ Hz : l'onde appartient au domaine des **micro-ondes**.

PIÈGE
L'axe du sujet est gradué en fréquence, pas en longueur d'onde : il faut convertir λ en ν avant de se placer sur l'axe.

À LA CALCULATRICE



Q13 Choisir, en justifiant, parmi les propositions (1), (2) et (3), celle qui décrit correctement l'évolution des vitesses des satellites et de leur distance relative.

Les deux satellites suivent la même trajectoire l'un derrière l'autre : chacun voit sa vitesse augmenter puis diminuer au passage de l'objet (Q11), mais le satellite de tête (sat 1) y passe avant l'autre. Les deux pics de vitesse sont donc décalés dans le temps : la proposition (3) est éliminée.

Quand le satellite de tête accélère, le second a encore sa vitesse habituelle : $v_1 > v_2$, la distance augmente. Ensuite $v_2 > v_1$: le second rattrape son retard et la distance diminue, jusqu'à retrouver sa valeur initiale. La distance passe donc par un maximum, ce qui élimine la proposition (1).

La proposition correcte est la **(2)**.

COMPRENDRE
La distance est maximale à l'instant où les deux courbes de vitesse se croisent : tant que $v_1 > v_2$ l'écart se creuse, dès que $v_2 > v_1$ il se réduit.

Q14 Préciser, en justifiant, si cette méthode de mesure nécessite que les deux satellites aient la même masse.

Les forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ sont toutes deux proportionnelles à la masse m du satellite. Dans la deuxième loi de Newton, $m\,\vec{a} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$, la masse m se simplifie : l'accélération, donc la vitesse et ses variations, ne dépendent pas de la masse du satellite (comme l'expression de v à la question Q5).

Non : le mouvement d'un satellite ne dépend pas de sa masse, les deux satellites n'ont pas besoin d'avoir la même masse.

Q15 Indiquer l'effet de la fonte progressive des glaces sur la masse de l'Antarctique. En déduire comment varie, sur plusieurs années, la distance maximale séparant les deux satellites lors de leurs passages au-dessus de ce continent.

L'eau de fonte s'écoule vers l'océan : la masse de l'Antarctique diminue au fil des années.

La force $\vec{F}_2$ exercée sur chaque satellite est proportionnelle à la masse de l'objet survolé : elle diminue, son travail aussi. Les variations de vitesse des satellites au passage sont plus faibles, et l'écart qui se creuse entre eux également.

La masse de l'Antarctique diminue, donc la distance maximale entre les deux satellites au-dessus de ce continent diminue d'année en année.

COMPRENDRE
C'est le principe de la mission : suivre année après année la distance entre les deux satellites revient à peser, depuis l'orbite, les masses de glace survolées.