Corrigé complet — Bac 2026 Métropole Septembre Jour 2

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

Ex 1	**De l'acide salicylique à l'aspirine** Schéma de Lewis et groupes caractéristiques · Acide faible et constante d'acidité · Diagramme de prédominance · Dosage par étalonnage et incertitude · Synthèse organique et rendement	9 pts	1 h 35	18 questions	p. 2
Ex 2	**Observer l'ISS** Repère de Frenet · Deuxième loi de Newton · Mouvement circulaire uniforme · Troisième loi de Kepler · Lunette astronomique afocale · Grossissement	5,5 pts	58 min	11 questions	p. 9
Ex 3	**Un champion du monde inattendu** Deuxième loi de Newton · Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme · Équation de la trajectoire et portée · Incertitude-type et simulation Python · Énergie cinétique et puissance	5,5 pts	58 min	12 questions	p. 16

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.

De l'acide salicylique à l'aspirine

Bac Métropole Septembre 2026 Jour 2 · Exercice 1 **9 points** **Durée conseillée 1 h 35**

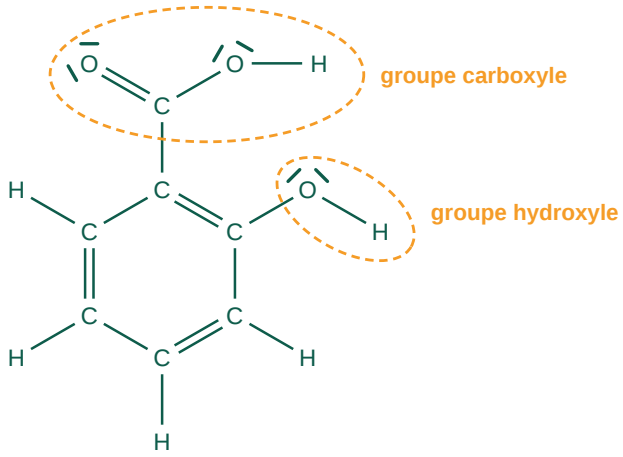
Q1 Représenter le schéma de Lewis de l'acide salicylique, puis entourer et nommer les deux groupes caractéristiques de la molécule.

On reprend la formule développée en ajoutant les doublets non liants : chaque atome d'oxygène porte deux doublets non liants ; les atomes de carbone et d'hydrogène n'en portent pas.

Chaque atome C et O est ainsi entouré de quatre doublets (règle de l'octet), chaque atome H d'un seul (règle du duet).

Schéma de Lewis ci-dessous ; groupes caractéristiques : **carboxyle** ($-\mathrm{COOH}$) et **hydroxyle** ($-\mathrm{OH}$).

PIÈGE
Oublier les doublets non liants des trois atomes d'oxygène : sans eux, c'est une formule développée, pas un schéma de Lewis. Le groupe carboxyle s'entoure en entier, atome de carbone compris.



Q1 · Schéma de Lewis de l'acide salicylique : les doublets non liants sont les tirets portés par les atomes d'oxygène

Q2 Parmi les espèces des couples acide-base associés à l'acide salicylique, identifier en justifiant l'espèce amphotère.

Données utiles couples $\mathrm{C_7H_6O_3/C_7H_5O_3^-}$ et $\mathrm{C_7H_5O_3^-/C_7H_4O_3^{2-}}$

Une espèce amphotère est à la fois l'acide d'un couple et la base d'un autre couple.

L'ion $\mathrm{C_7H_5O_3^-}$ est la base du couple $\mathrm{C_7H_6O_3/C_7H_5O_3^-}$ et l'acide du couple $\mathrm{C_7H_5O_3^-/C_7H_4O_3^{2-}}$.

L'espèce amphotère est l'ion $\mathrm{C_7H_5O_3^-}$.

Q3 Déterminer la masse minimale d'acide salicylique à peser pour préparer 200 mL de solution aqueuse saturée S à 25 °C.

Données utiles $s = 2{,}24\ \mathrm{g\cdot L^{-1}}$; $V = 200\ \mathrm{mL} = 0{,}200\ \mathrm{L}$

La solution est saturée lorsque la concentration en masse du soluté dissous atteint la solubilité s. La masse minimale à peser est donc celle qui se dissout dans le volume V :

$$m_{\min} = s \times V = 2{,}24 \times 0{,}200 = 0{,}448\ \mathrm{g}$$

$m_{\min} = 0{,}448\ \mathrm{g}$

PIÈGE
Laisser le volume en mL : on obtiendrait 448 g, valeur absurde pour 200 mL d'eau.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme s et V. « Minimale » : en pesant davantage, le surplus reste solide au fond et la solution est toujours saturée.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

2.24 × 0.200
≈ 0.448

Q4 Montrer que la concentration C en acide salicylique apporté de la solution S est voisine de $16{,}2\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Données utiles $s = 2{,}24\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; $M = 138\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Dans la solution saturée, la concentration en masse apportée est égale à s. La concentration en quantité de matière s'en déduit :

$$C = \frac{s}{M} = \frac{2{,}24}{138} = 1{,}62 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Vérification : $C = \dfrac{m_{\text{min}}}{M \times V} = \dfrac{0{,}448}{138 \times 0{,}200}$ donne la même valeur.

$C = 1{,}62 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} = 16{,}2\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, valeur attendue.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{2.24}{138}$
≈ 0.01623188

$\dfrac{0.448}{138 \times 0.200}$
≈ 0.01623188

Q5 Écrire l'équation de la réaction acide-base entre l'acide salicylique et l'eau, en ne tenant compte que de la première acidité.

L'acide salicylique cède un ion H^+ à l'eau, qui joue le rôle de base (couple $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2\text{O}$) :

$$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3\,(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}\,(\text{l}) \rightleftharpoons \text{C}_7\text{H}_5\text{O}_3^-\,(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+\,(\text{aq})$$

PIÈGE
Écrire une flèche simple : la question suivante montre que la transformation n'est pas totale, d'où la double flèche. Vérifier aussi la conservation des charges.

Q6 À partir de la valeur du pH de la solution S, montrer que l'acide salicylique est un acide faible dans l'eau.

Données utiles $\text{pH} = 2{,}4$; $C = 1{,}62 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (Q4) ; $c^\circ = 1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

Concentration en ions oxonium à l'équilibre :

$$[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}} = c^\circ \times 10^{-\text{pH}} = 10^{-2{,}4} = 4{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Si l'acide était fort, sa réaction avec l'eau serait totale et on aurait $[\text{H}_3\text{O}^+] = C = 1{,}62 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, soit $\text{pH} = -\log(C/c^\circ) = 1{,}8$.

Or $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}} < C$ (le pH mesuré est supérieur à 1,8). Le taux d'avancement final vaut

$$\tau = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}}{C} = \frac{4{,}0 \times 10^{-3}}{1{,}62 \times 10^{-2}} = 0{,}25 < 1$$

$\tau \approx 0{,}25 < 1$: la transformation n'est pas totale, l'acide salicylique est un acide **faible** dans l'eau.

MÉTHODE
Acide fort ou faible : comparer $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}$ à la concentration apportée C (ou le pH à $-\log C$). Égalité : acide fort. $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}} < C$: acide faible.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$10^{-2.4}$
≈ 0.003981072

$-\log(1.62 \times 10^{-2})$
≈ 1.790485

$\dfrac{3.98 \times 10^{-3}}{1.62 \times 10^{-2}}$
≈ 0.245679

Q7 Donner la relation entre la constante K_{A1} du couple acide salicylique / ion salicylate, les concentrations à l'équilibre et c°. En déduire la valeur de $\mathrm{p}K_{A1}$. Commenter.

Données utiles $[H_3O^+]_{éq} = 3{,}98 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ (Q6) ; $C = 1{,}62 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ (Q4) ; valeur tabulée $\mathrm{p}K_{A1} = 3{,}0$

$$K_{A1} = \frac{[C_7H_5O_3^-]_{éq} \times [H_3O^+]_{éq}}{[C_7H_6O_3]_{éq} \times c^\circ}$$

D'après l'équation de la réaction (Q5), il se forme autant d'ions salicylate que d'ions oxonium, et l'acide restant est celui qui n'a pas réagi :

- $[C_7H_5O_3^-]_{éq} = [H_3O^+]_{éq} = 3{,}98 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$;
- $[C_7H_6O_3]_{éq} = C - [H_3O^+]_{éq} = 1{,}62 \times 10^{-2} - 3{,}98 \times 10^{-3} = 1{,}22 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$.

$$K_{A1} = \frac{(3{,}98 \times 10^{-3})^2}{1{,}22 \times 10^{-2} \times 1} = 1{,}3 \times 10^{-3} \qquad \mathrm{p}K_{A1} = -\log K_{A1} = 2{,}9$$

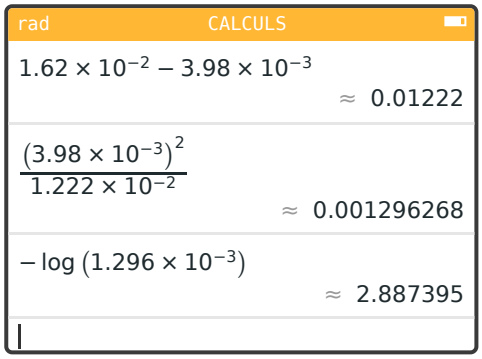
Commentaire : cette valeur est très proche de la valeur tabulée 3,0 (écart de 0,1). Le pH n'est donné qu'au dixième près : avec $\mathrm{pH} = 2{,}45$, le même calcul donne 3,0. Le résultat est donc cohérent avec la donnée.

$\mathrm{p}K_{A1} \approx 2{,}9$, en accord avec la valeur tabulée 3,0.

PIÈGE
Prendre $[C_7H_6O_3]_{éq} = C$: un quart de l'acide a réagi (Q6), on ne peut pas le négliger. On trouverait $\mathrm{p}K_{A1} = 3{,}0$ par un calcul faux.

COMPRENDRE
Un pH donné à 0,1 près fixe $[H_3O^+]$ à environ 25 % près : un $\mathrm{p}K_A$ calculé à partir d'un pH n'est fiable qu'à 0,1 ou 0,2 unité.

À LA CALCULATRICE



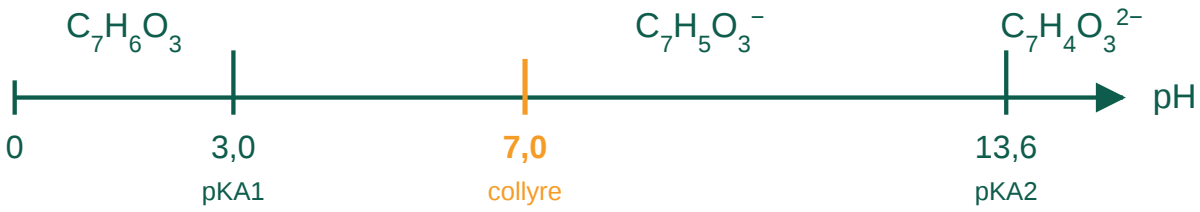
Q8 Représenter le diagramme de prédominance des différentes formes acide-base associées à l'acide salicylique. En déduire la forme prédominante dans le collyre.

Données utiles $\mathrm{p}K_{A1} = 3{,}0$; $\mathrm{p}K_{A2} = 13{,}6$; pH du collyre : 7,0

L'acide d'un couple prédomine pour $\mathrm{pH} < \mathrm{p}K_A$, sa base conjuguée pour $\mathrm{pH} > \mathrm{p}K_A$. D'où trois domaines, séparés par 3,0 et 13,6 (diagramme ci-dessous).

Pour le collyre : $\mathrm{p}K_{A1} = 3{,}0 < \mathrm{pH} = 7{,}0 < \mathrm{p}K_{A2} = 13{,}6$.

Dans le collyre, la forme prédominante est l'ion salicylate $C_7H_5O_3^-$.



Q8 · Diagramme de prédominance ; en orange, le pH du collyre

Q9 Justifier que la solution aqueuse d'acide salicylique en milieu basique est incolore.

Données utiles spectre d'absorption : deux pics, vers 225 nm et 295 nm ; absorbance nulle au-delà de 350 nm environ

Le domaine du visible correspond aux longueurs d'onde comprises entre 400 nm et 800 nm.

D'après le spectre, la solution n'absorbe que pour $\lambda < 350\ \text{nm}$ environ, c'est-à-dire dans l'ultraviolet ; son absorbance est nulle entre 400 nm et 800 nm.

La solution n'absorbe aucune radiation visible : elle est incolore.

COMPRENDRE
Une solution est colorée si elle absorbe dans le visible ; elle prend alors la couleur complémentaire de la couleur absorbée. Ici le dosage reste possible, mais avec un spectrophotomètre réglé dans l'UV (295 nm).

Q10 Justifier la nécessité de diluer le collyre afin de pouvoir exploiter la courbe d'étalonnage.

Données utiles notice : $1\ \text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$; courbe d'étalonnage tracée de 0 à $80\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

Concentration en masse annoncée du collyre : $C_{m,\text{notice}} = 1\ \text{mg} \cdot \text{mL}^{-1} = 1 \times 10^3\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

La gamme d'étalonnage ne dépasse pas $80\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$: le collyre est plus de dix fois trop concentré. Son absorbance serait très supérieure à 2, hors de la courbe et hors du domaine où le spectrophotomètre mesure correctement (et où la loi de Beer-Lambert est vérifiée).

Il faut diluer le collyre pour ramener sa concentration dans la gamme d'étalonnage (0 à $80\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) ; dilué 20 fois, il est à environ $50\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

PIÈGE
Comparer $1\ \text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ à $80\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ sans convertir. Les deux concentrations doivent être dans la même unité avant toute comparaison.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{1000}{20}$ ≈ 50

Q11 En assimilant l'incertitude-type sur la concentration du collyre dilué à l'incertitude de lecture graphique, déterminer si la concentration en acide salicylique du collyre est en accord avec la notice.

Données utiles $A = 1{,}27$; dilution : facteur 20 ; $C_{m,\text{notice}} = 1\ \text{mg} \cdot \text{mL}^{-1} = 1000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $u(\alpha\, x) = \alpha\, u(x)$

Lecture graphique. Sur la droite d'étalonnage, l'ordonnée $A = 1{,}27$ correspond à l'abscisse $C_{m,\text{dilué}} = 49\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Vérification : la droite passe par l'origine et par le point $(85\ ;\ 2{,}20)$, de coefficient directeur $k = \dfrac{2{,}20}{85} = 0{,}0259\ \text{L} \cdot \text{mg}^{-1}$; $\dfrac{A}{k} = \dfrac{1{,}27}{0{,}0259} = 49\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Incertitude de lecture. L'axe des abscisses est gradué tous les $1\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$: on prend $u(C_{m,\text{dilué}}) = 1\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Collyre. Il a été dilué 20 fois :

$C_m = 20 \times C_{m,\text{dilué}} = 20 \times 49 = 980\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ $\qquad u(C_m) = 20 \times u(C_{m,\text{dilué}}) = 20\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

Comparaison à la notice.

$$\left|\frac{C_m - C_{m,\text{notice}}}{u(C_m)}\right| = \frac{|980 - 1000|}{20} = 1{,}0$$

Le quotient est inférieur à 2 : l'écart à la valeur de référence est de l'ordre d'une incertitude-type.

$C_m = 0{,}98\ \text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ avec $u(C_m) = 0{,}02\ \text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$; quotient $1{,}0 < 2$: la concentration du collyre est en accord avec la notice.

PIÈGE
Oublier de multiplier aussi l'incertitude par 20, ou comparer directement $49\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ à la notice. Une autre incertitude de lecture raisonnable (0,5 ou $2\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) est acceptée si elle est justifiée.

MÉTHODE
Question ouverte, quatre étapes à faire apparaître : lecture sur la droite, incertitude de lecture, retour à la solution mère (valeur et incertitude multipliées par 20), quotient comparé à 2.

À LA CALCULATRICE

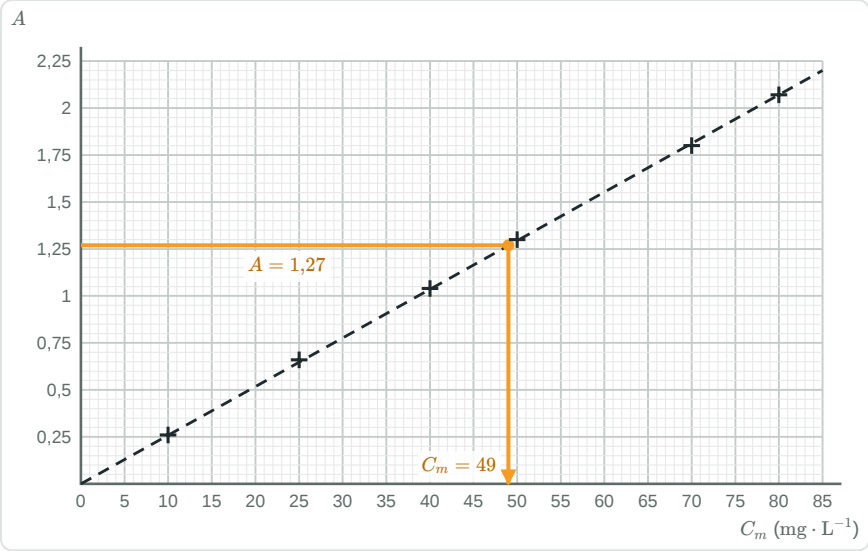
rad CALCULS

$\frac{2.20}{85}$ ≈ 0.02588235

$\frac{1.27}{0.0259}$ ≈ 49.03475

20×49 980

$\frac{1000 - 980}{20}$ ≈ 1



Q11 · Figure 1 du sujet, avec la lecture pour $A = 1{,}27$

Q12 Indiquer les consignes de sécurité à appliquer lors de cette synthèse.

Données utiles pictogrammes du tableau : acide salicylique (nocif ou irritant, corrosif, danger pour la santé) ; anhydride éthanoïque (inflammable, corrosif, toxique) ; aspirine (nocif ou irritant)

Les espèces manipulées sont corrosives, toxiques ou nocives, et l'anhydride éthanoïque est inflammable ; l'acide sulfurique ajouté est lui aussi corrosif.

- Porter une blouse fermée, des lunettes de protection et des gants.
- Travailler sous hotte aspirante, pour ne pas respirer les vapeurs d'anhydride éthanoïque.
- Tenir l'anhydride éthanoïque éloigné de toute flamme ou étincelle : chauffage électrique (chauffe-ballon ou plaque chauffante).

Blouse, lunettes, gants ; manipulation sous hotte ; aucune flamme à proximité.

MÉTHODE
Associer chaque consigne à un pictogramme : corrosif → gants et lunettes ; toxique ou nocif → hotte ; inflammable → pas de flamme. Une consigne justifiée par le tableau vaut mieux qu'une liste générale.

Q13 Présenter deux avantages du chauffage à reflux lors de la synthèse.

- Le chauffage élève la température du mélange réactionnel : la température est un facteur cinétique, la transformation est plus rapide.
- Le réfrigérant condense les vapeurs, qui retombent dans le mélange : on chauffe sans perte de matière (réactifs ou produits) et sans rejeter de vapeurs nocives dans la salle.

Le chauffage à reflux accélère la transformation et évite les pertes de matière.

PIÈGE
Écrire que le chauffage « augmente le rendement » : la transformation est déjà totale. Chauffer agit ici sur la durée de la transformation, pas sur son état final.

Q14 Nommer les étapes A et B du protocole expérimental.

Étape A : les réactifs sont mis en présence et chauffés à reflux avec un catalyseur ; c'est la transformation chimique, c'est-à-dire la synthèse proprement dite.

Étape B : on fait cristalliser l'aspirine, on la sépare du mélange par filtration sur Büchner, on la rince et on la sèche ; c'est l'isolement du produit brut.

Étape A : **transformation** (synthèse) ; étape B : **isolement** (séparation) du produit.

COMPRENDRE
Une synthèse comporte quatre étapes : transformation, isolement, purification (ici absente : ce serait une recristallisation) et analyse (la chromatographie de Q16).

Q15 Justifier l'utilisation d'eau froide et d'un bain de glace lors de l'étape B.

Données utiles l'aspirine est peu soluble dans l'eau à 25 °C ; la solubilité augmente avec la température

La solubilité de l'aspirine dans l'eau diminue lorsque la température diminue. Déjà peu soluble à 25 °C, l'aspirine l'est encore moins à froid.

- L'ajout d'eau froide et le bain de glace font donc cristalliser le maximum d'aspirine, qui est récupérée sous forme solide par filtration.
- Le rinçage à l'eau froide élimine les impuretés solubles dans l'eau en dissolvant le moins possible de cristaux.

À froid, l'aspirine est très peu soluble : elle cristallise presque entièrement et les pertes par dissolution sont limitées, ce qui améliore le rendement.

COMPRENDRE
L'eau détruit aussi l'excès d'anhydride éthanoïque, d'où l'ajout « avec précaution ». Les autres espèces du mélange (acide éthanoïque, acide sulfurique) sont solubles dans l'eau et partent dans le filtrat.

Q16 Interpréter le chromatogramme.

Données utiles dépôt A : acide salicylique ; dépôt B : aspirine commerciale ; dépôt C : produit synthétisé

- Le dépôt C donne une seule tache : le produit synthétisé ne contient qu'une seule espèce chimique détectable.
- Cette tache est à la même hauteur que celle du dépôt B (aspirine commerciale) : deux espèces qui migrent à la même hauteur dans les mêmes conditions sont identiques ; le produit est de l'aspirine.
- Le dépôt C ne présente pas de tache à la hauteur de celle du dépôt A : il ne contient pas d'acide salicylique.

Le produit synthétisé est de l'aspirine, pure à la précision de la chromatographie (pas de trace d'acide salicylique).

MÉTHODE
Lire une chromatographie en deux temps. Verticalement : nombre de taches d'un dépôt (pur ou mélange). Horizontalement : comparaison des hauteurs avec les références (identification).

Q17 Déterminer le réactif limitant dans ce protocole. En déduire la masse d'aspirine théorique $m_{théo}$ que l'on peut obtenir.

Données utiles acide salicylique : $m = 2{,}0$ g, $M = 138$ g · mol^{-1} ; anhydride éthanoïque : $V = 3{,}0$ mL, $\rho = 1{,}08$ g · mL^{-1}, $M' = 102$ g · mol^{-1} ; aspirine : $M_{asp} = 180$ g · mol^{-1}

Quantités de matière initiales :

- acide salicylique : $n_1 = \dfrac{m}{M} = \dfrac{2{,}0}{138} = 1{,}4 \times 10^{-2}$ mol ;
- anhydride éthanoïque : $n_2 = \dfrac{\rho \times V}{M'} = \dfrac{1{,}08 \times 3{,}0}{102} = 3{,}2 \times 10^{-2}$ mol.

Les nombres stœchiométriques des deux réactifs valent 1 : on compare directement n_1 et n_2. Comme $n_1 < n_2$, l'acide salicylique est le réactif limitant (l'anhydride éthanoïque est en excès).

La transformation est totale et une mole d'acide salicylique donne une mole d'aspirine : $n_{asp} = x_{max} = n_1$.

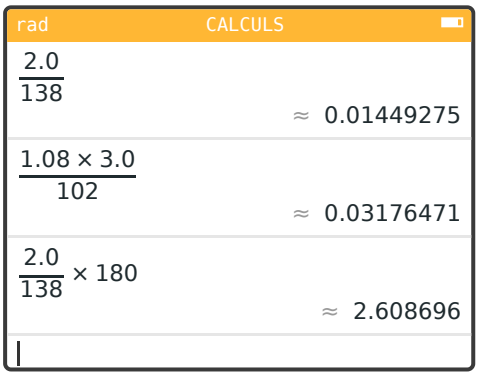
$$m_{théo} = n_1 \times M_{asp} = \frac{m}{M} \times M_{asp} = \frac{2{,}0}{138} \times 180 = 2{,}6 \text{ g}$$

Réactif limitant : l'acide salicylique ; $m_{théo} = 2{,}6$ g

PIÈGE
Comparer les masses (2,0 g et 3,2 g) au lieu des quantités de matière, ou oublier la masse volumique pour l'anhydride, qui est un liquide.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme m et V. On garde la valeur non arrondie (2,61 g) pour le calcul du rendement.

À LA CALCULATRICE



Q18 Calculer le rendement de cette synthèse. Commenter.

Données utiles $m_{exp} = 2{,}2$ g ; $m_{théo} = 2{,}61$ g (Q17)

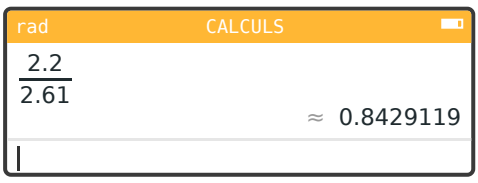
$$\eta = \frac{m_{exp}}{m_{théo}} = \frac{2{,}2}{2{,}61} = 0{,}84$$

Commentaire : le rendement est élevé, mais inférieur à 100 % alors que la transformation est totale. Les pertes ont lieu pendant l'isolement : une partie de l'aspirine reste dissoute dans le filtrat et dans l'eau de rinçage, une autre reste sur la verrerie et le papier filtre.

$\eta \approx 0{,}84$, soit 84 % : rendement satisfaisant, limité par les pertes lors de la cristallisation, de la filtration et du rinçage.

COMPRENDRE
Avec $m_{théo}$ arrondie à 2,6 g, on trouve 85 % : les deux valeurs sont acceptées. Un rendement supérieur à 100 % signalerait un produit encore humide ou impur.

À LA CALCULATRICE



Observer l'ISS

Bac Métropole Septembre 2026 Jour 2 · Exercice 2 **5,5 points** **Durée conseillée 58 min**

Q1 Schématiser la Terre et l'ISS, sans souci d'échelle, en précisant le sens de rotation de l'ISS. Placer le repère de Frenet $(S\,;\,\vec{u}_T\,,\,\vec{u}_N)$.

Voir le schéma : la Terre de centre O, l'orbite circulaire de rayon R_S et l'ISS au point S.

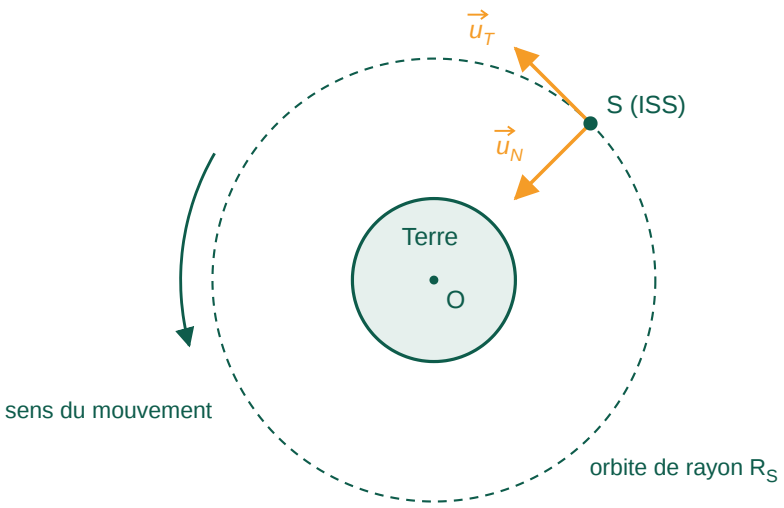
$\vec{u}_T$: vecteur unitaire tangent à la trajectoire en S, dans le sens du mouvement.

$\vec{u}_N$: vecteur unitaire perpendiculaire à $\vec{u}_T$, dirigé de S vers le centre O.

Repère de Frenet : origine S, $\vec{u}_T$ tangent dans le sens du mouvement, $\vec{u}_N$ dirigé vers O.

PIÈGE
Dessiner $\vec{u}_N$ vers l'extérieur de l'orbite, ou placer l'origine du repère en O au lieu de S.

COMPRENDRE
Le sens de rotation est libre ; il faut l'indiquer par une flèche et $\vec{u}_T$ doit le respecter.



Q1 · Schéma : la Terre, l'ISS et le repère de Frenet

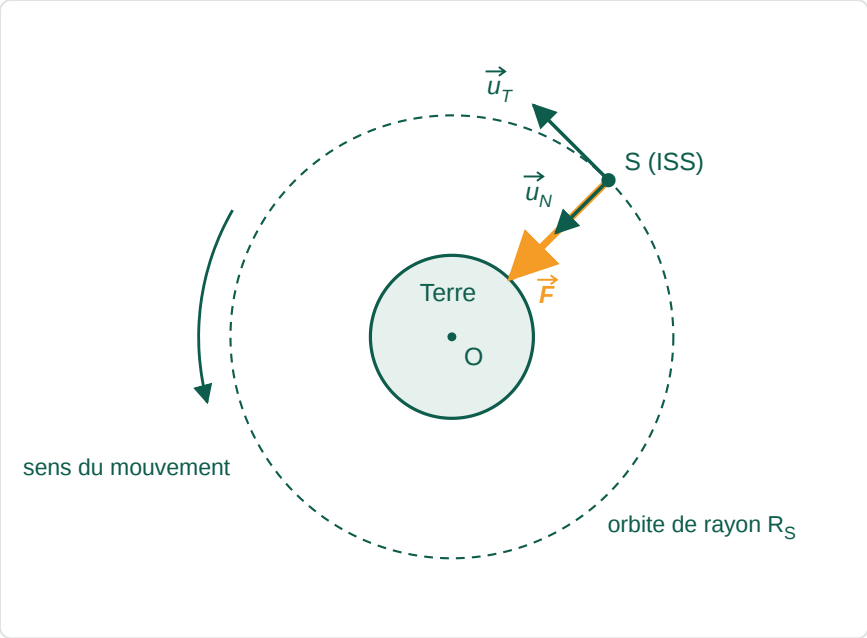
Q2 Écrire, dans ce repère, l'expression vectorielle de la force de gravitation $\vec{F}$ exercée par la Terre sur l'ISS. Représenter cette force sur le schéma de Q1.

La force est portée par la droite (SO), dirigée de S vers O, de valeur $\dfrac{G\,m\,M_T}{R_S^2}$: elle est selon $+\vec{u}_N$.

Sur le schéma, $\vec{F}$ a pour origine S et pointe vers O.

$$\vec{F} = \frac{G\,m\,M_T}{R_S^2}\,\vec{u}_N$$

PIÈGE
Écrire la distance R_T ou l'altitude (400 km) au dénominateur : la distance entre les centres O et S est R_S. Pas de signe « $-$ » : $\vec{u}_N$ pointe déjà vers O.



Q2 · Schéma de Q1 complété avec la force de gravitation

Q3 Montrer que le vecteur accélération du centre de masse de l'ISS s'écrit $\vec{a}_S = \dfrac{G\,M_T}{R_S^2}\,\vec{u}_N$. En déduire la nature du mouvement de l'ISS.

Système {ISS}, de masse m constante ; référentiel géocentrique supposé galiléen ; seule force : $\vec{F}$ (Q2).

Deuxième loi de Newton : $\vec{F} = m\,\vec{a}_S$, soit $\dfrac{G\,m\,M_T}{R_S^2}\,\vec{u}_N = m\,\vec{a}_S$, donc

$$\vec{a}_S = \frac{G\,M_T}{R_S^2}\,\vec{u}_N$$

Or, dans le repère de Frenet, pour un mouvement circulaire de rayon R_S : $\vec{a}_S = \dfrac{\mathrm{d}v_S}{\mathrm{d}t}\,\vec{u}_T + \dfrac{v_S^2}{R_S}\,\vec{u}_N$.

Par identification selon $\vec{u}_T$: $\dfrac{\mathrm{d}v_S}{\mathrm{d}t} = 0$, donc la valeur v_S de la vitesse est constante.

$\vec{a}_S = \dfrac{G\,M_T}{R_S^2}\,\vec{u}_N$; le mouvement de l'ISS est **circulaire uniforme**.

PIÈGE
Conclure « l'accélération est constante donc le mouvement est uniforme ». Le vecteur $\vec{a}_S$ change de direction : c'est sa composante tangentielle nulle qui prouve l'uniformité.

MÉTHODE
Orbite circulaire : 1) deuxième loi de Newton ; 2) accélération dans le repère de Frenet ; 3) identification. Selon $\vec{u}_T$: mouvement uniforme. Selon $\vec{u}_N$: la vitesse (Q4).

Q4 Établir l'expression de la vitesse v_S du centre de masse de l'ISS en fonction de G, M_T et R_S. Calculer sa valeur.

Données utiles $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$; $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg ; $R_S = 6\,771$ km

Par identification selon $\vec{u}_N$ des deux expressions de $\vec{a}_S$ (Q3) : $\dfrac{v_S^2}{R_S} = \dfrac{G\,M_T}{R_S^2}$, donc

$$v_S = \sqrt{\frac{G\,M_T}{R_S}}$$

Avec $R_S = 6{,}771 \times 10^6$ m :

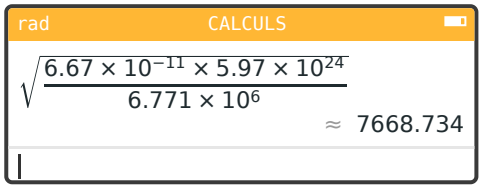
$$v_S = \sqrt{\frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 5{,}97 \times 10^{24}}{6{,}771 \times 10^6}} = 7{,}67 \times 10^3\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$\boxed{v_S = \sqrt{\dfrac{G\,M_T}{R_S}} = 7{,}67 \times 10^3\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}\text{, soit } 7{,}67\ \text{km} \cdot \text{s}^{-1}}$

PIÈGE
Laisser R_S en kilomètres : G est donnée en unités SI, la distance doit être en mètres. La masse m de l'ISS n'intervient pas.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme G et M_T, les données les moins précises.

À LA CALCULATRICE



Q5 Montrer que la période de révolution T de l'ISS et le rayon R_S de son orbite sont reliés par la troisième loi de Kepler : $\dfrac{T^2}{R_S^3} = \dfrac{4\pi^2}{G\,M_T}$.

Le mouvement est uniforme : pendant une période T, l'ISS parcourt la circonférence $2\pi R_S$ à la vitesse v_S.

$$T = \frac{2\pi R_S}{v_S} = 2\pi R_S \sqrt{\frac{R_S}{G\,M_T}}$$

En élevant au carré : $T^2 = 4\pi^2 R_S^2 \times \dfrac{R_S}{G\,M_T} = \dfrac{4\pi^2 R_S^3}{G\,M_T}$

$\boxed{\dfrac{T^2}{R_S^3} = \dfrac{4\pi^2}{G\,M_T}}$: c'est la relation attendue.

COMPRENDRE
Le rapport $\dfrac{T^2}{R_S^3}$ ne dépend que de la masse de l'astre attracteur : il a la même valeur pour tous les satellites de la Terre.

Q6 Calculer le nombre de rotations effectuées par l'ISS autour de la Terre durant les 200 jours de la mission.

Données utiles G, M_T, $R_S = 6{,}771 \times 10^6$ m ; relation de Q5 ; durée de la mission $\Delta t = 200$ jours

Période de révolution, d'après Q5 : $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{R_S^3}{G\,M_T}}$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{(6{,}771 \times 10^6)^3}{6{,}67 \times 10^{-11} \times 5{,}97 \times 10^{24}}} = 5{,}55 \times 10^3\ \text{s}$$

soit environ 92 min.

Durée de la mission : $\Delta t = 200 \times 24 \times 3600 = 1{,}728 \times 10^7$ s.

Nombre de rotations : $N = \dfrac{\Delta t}{T} = \dfrac{1{,}728 \times 10^7}{5{,}55 \times 10^3}$

$\boxed{N \approx 3{,}11 \times 10^3}$: l'ISS effectue environ 3 100 tours de la Terre pendant la mission.

PIÈGE
Diviser des jours par des secondes : les deux durées doivent être dans la même unité.

COMPRENDRE
Vérification : $T = \dfrac{2\pi R_S}{v_S}$ avec la vitesse de Q4 redonne $5{,}55 \times 10^3$ s, soit près de 16 tours par jour.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$2 \times \pi \times \sqrt{\frac{(6.771 \times 10^6)^3}{6.67 \times 10^{-11} \times 5.97 \times 10^{24}}} \approx 5547.649$$

$$200 \times 24 \times 3600 = 17\,280\,000$$

$$\frac{200 \times 24 \times 3600}{5547.649397} \approx 3114.833$$

Q7 La lunette est afocale. Sur l'annexe, placer les foyers de l'objectif et ceux de l'oculaire dans le cas de l'oculaire (OcA).

Données utiles $f'_1 = 400$ mm ; $f'_2 = 50$ mm (OcA) ; échelle horizontale de l'annexe : un carreau pour 5,0 cm

Lunette afocale : le foyer image F'_1 de l'objectif est confondu avec le foyer objet F_2 de l'oculaire.

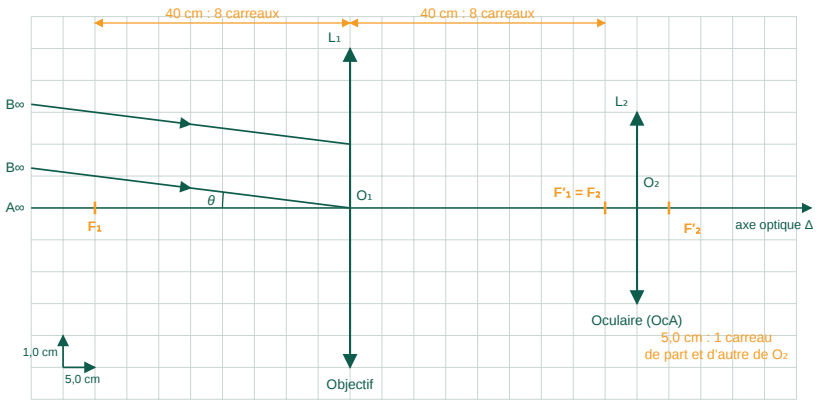
Objectif : $\overline{O_1F'_1} = f'_1 = 40$ cm, soit 8 carreaux. F'_1 est 8 carreaux à droite de O_1 et F_1 est 8 carreaux à gauche de O_1.

Oculaire : $f'_2 = 5{,}0$ cm, soit 1 carreau. F_2 est 1 carreau à gauche de O_2 et F'_2 est 1 carreau à droite de O_2.

Vérification : $O_1O_2 = f'_1 + f'_2 = 45$ cm, soit 9 carreaux, ce qui correspond à l'annexe.

F_1 : 8 carreaux à gauche de O_1 ; $F'_1 = F_2$: 8 carreaux à droite de O_1 ; F'_2 : 1 carreau à droite de O_2.

PIÈGE
Utiliser l'échelle verticale (un carreau pour 1,0 cm) sur l'axe optique. Les deux échelles de l'annexe sont différentes.



Q7 · Annexe : foyers de l'objectif et de l'oculaire (OcA)

Q8 Tracer sur l'annexe la marche des deux rayons incidents à travers la lunette. Construire l'image intermédiaire A_1B_1 de l'objet $A_\infty B_\infty$ situé à l'infini. Faire apparaître l'angle θ' sous lequel on observe l'image finale.

L'objet est à l'infini : son image A_1B_1 par l'objectif se forme dans le plan focal image de l'objectif, avec A_1 en F_1'.

Le rayon issu de B_∞ passant par O_1 n'est pas dévié : B_1 est à son intersection avec la perpendiculaire à l'axe passant par F_1'.

Le second rayon issu de B_∞ émerge de l'objectif en passant par B_1. Les deux rayons sont prolongés jusqu'à l'oculaire.

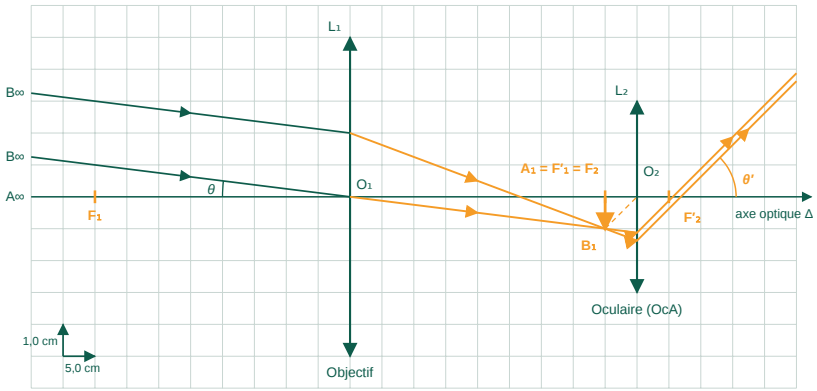
A_1B_1 est dans le plan focal objet de l'oculaire : l'image finale est à l'infini. Les rayons émergent parallèles entre eux, parallèles à la droite (B_1O_2) tracée en pointillés.

θ' est l'angle entre l'axe optique et les rayons émergents.

A_1B_1 dans le plan focal commun, B_1 sous l'axe (image renversée) ; rayons émergents parallèles à (B_1O_2), inclinés de θ' sur l'axe.

PIÈGE
Faire passer le second rayon par F_1' après l'objectif : il n'est pas parallèle à l'axe, il converge en B_1. Autre oubli fréquent : la droite (B_1O_2), qui donne la direction de sortie.

MÉTHODE
Lentille convergente : un rayon passant par le centre optique n'est pas dévié ; des rayons incidents parallèles entre eux convergent en un même point du plan focal image ; des rayons issus d'un point du plan focal objet émergent parallèles.



Q8 · Annexe complétée : marche des rayons, image intermédiaire et angle θ′

Q9 Exprimer le grossissement G de la lunette en fonction des angles θ et θ', θ étant l'angle sous lequel l'objet est vu à l'œil nu.

Le grossissement est le rapport de l'angle sous lequel on voit l'image à travers la lunette à l'angle sous lequel on voit l'objet à l'œil nu.

$$G = \frac{\theta'}{\theta}$$

COMPRENDRE
Rapport de deux angles : G n'a pas d'unité. Ne pas le confondre avec la constante de gravitation.

Q10 Calculer les deux valeurs de grossissement possibles pour cette lunette astronomique.

Données utiles $G = \frac{f_1'}{f_2'}$; objectif : $f_1' = 400$ mm ; oculaire (OcA) : $f_2' = 50$ mm ; oculaire (OcB) : $f_2' = 20$ mm

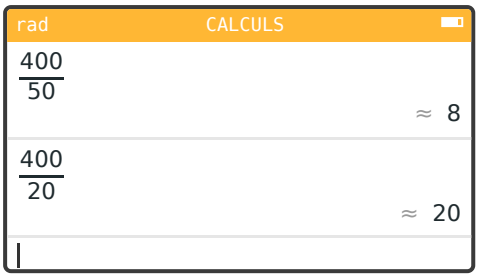
Avec l'oculaire (OcA) : $G_A = \frac{400}{50} = 8{,}0$

Avec l'oculaire (OcB) : $G_B = \frac{400}{20} = 20$

$G_A = 8{,}0$ et $G_B = 20$

COMPRENDRE
Oculaire de distance focale plus courte : grossissement plus grand.

À LA CALCULATRICE



Q11 À l'aide de la figure 1, vérifier que la lunette utilisée permet de distinguer deux extrémités de l'ISS. Commenter la faisabilité pratique de cette observation.

Données utiles $\varepsilon = 2{,}9 \times 10^{-4}$ rad ; longueur de l'ISS : $h = 108$ m ; altitude : $D = 400$ km ; $G_A = 8{,}0$ et $G_B = 20$ (Q10) ; v_S (Q4)

Cas le plus favorable : l'ISS passe à la verticale de l'observateur, à la distance $D = 400\ \text{km} = 4{,}00 \times 10^5$ m. Les deux extrémités sont distantes de $h = 108$ m.

D'après la figure 1, avec l'approximation des petits angles, l'angle sous lequel on voit l'ISS à l'œil nu est :

$$\theta \approx \tan\theta = \frac{h}{D} = \frac{108}{4{,}00 \times 10^5} = 2{,}7 \times 10^{-4}\ \text{rad}$$

$\theta < \varepsilon$: à l'œil nu, les deux extrémités ne sont pas distinguées, l'ISS apparaît comme un point.

À travers la lunette, l'angle devient $\theta' = G\,\theta$ (Q9) :

- oculaire (OcA) : $\theta'_A = 8{,}0 \times 2{,}7 \times 10^{-4} = 2{,}2 \times 10^{-3}$ rad ;
- oculaire (OcB) : $\theta'_B = 20 \times 2{,}7 \times 10^{-4} = 5{,}4 \times 10^{-3}$ rad.

Dans les deux cas $\theta' > \varepsilon$: environ 7 fois ε avec (OcA) et 19 fois avec (OcB).

Faisabilité : l'ISS se déplace à $7{,}67\ \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ à 400 km de l'observateur. Sa direction tourne donc d'environ $\frac{v_S}{D} = 1{,}9 \times 10^{-2}\ \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$, soit à peu près 1° par seconde, et elle traverse le ciel en quelques minutes. Il est difficile de la garder dans le champ étroit de la lunette, d'autant plus que le grossissement est fort. De plus la distance est le plus souvent supérieure à 400 km et la station doit être éclairée par le Soleil dans un ciel sombre.

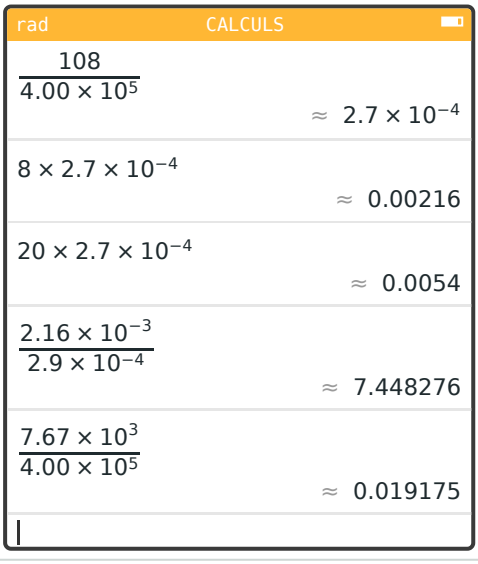
$\theta' = G\,\theta \geqslant 2{,}2 \times 10^{-3}\ \text{rad} > \varepsilon$: la lunette permet de distinguer les deux extrémités de l'ISS, mais le suivi d'un objet aussi rapide rend l'observation délicate.

PIÈGE
Comparer θ à ε et s'arrêter là, ou prendre $D = R_S$: l'observateur est à la surface de la Terre, à 400 km de la station, pas au centre O.

COMPRENDRE
Avec la largeur (74 m), $\theta = 1{,}9 \times 10^{-4}$ rad et $\theta'_A = 1{,}5 \times 10^{-3}$ rad : la conclusion est la même. Deux chiffres significatifs, comme ε.

MÉTHODE
Question ouverte : 1) angle à l'œil nu $\theta = \frac{h}{D}$; 2) angle à travers l'instrument $\theta' = G\,\theta$; 3) comparaison au pouvoir séparateur ε ; 4) conclusion et regard critique.

À LA CALCULATRICE



Un champion du monde inattendu

Bac Métropole Septembre 2026 Jour 2 · Exercice 3 **5,5 points** **Durée conseillée 58 min**

Q1 Montrer que la valeur de la poussée d'Archimède F_A exercée par l'air sur la puce est négligeable devant celle de son poids P.

Données utiles $\rho_{\text{air}} = 1{,}20\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $V_{\text{puce}} = 4{,}19\times10^{-9}\ \text{m}^3$; $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $m = 1{,}00\ \text{mg} = 1{,}00\times10^{-6}\ \text{kg}$

Poussée d'Archimède : $F_A = \rho_{\text{air}}\cdot V_{\text{puce}}\cdot g = 1{,}20\times4{,}19\times10^{-9}\times 9{,}81 = 4{,}93\times10^{-8}\ \text{N}$

Poids : $P = m\cdot g = 1{,}00\times10^{-6}\times9{,}81 = 9{,}81\times10^{-6}\ \text{N}$

Rapport : $\dfrac{P}{F_A} = \dfrac{9{,}81\times10^{-6}}{4{,}93\times10^{-8}} = 199$

$\dfrac{P}{F_A}\approx 2{,}0\times10^{2}$: la poussée d'Archimède est environ 200 fois plus faible que le poids, elle est négligeable.

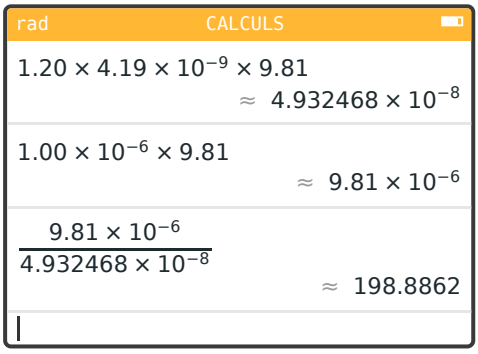
PIÈGE

Laisser la masse en milligrammes : $1{,}00\ \text{mg} = 1{,}00\times10^{-6}\ \text{kg}$, et non $10^{-3}\ \text{kg}$. Une comparaison se conclut par un rapport chiffré, pas par deux valeurs posées côte à côte.

COMPRENDRE

Toutes les données ont trois chiffres significatifs : les résultats en gardent trois. Le rapport vaut aussi $\dfrac{m}{\rho_{\text{air}}V_{\text{puce}}}$: la puce est environ 200 fois plus dense que l'air.

À LA CALCULATRICE



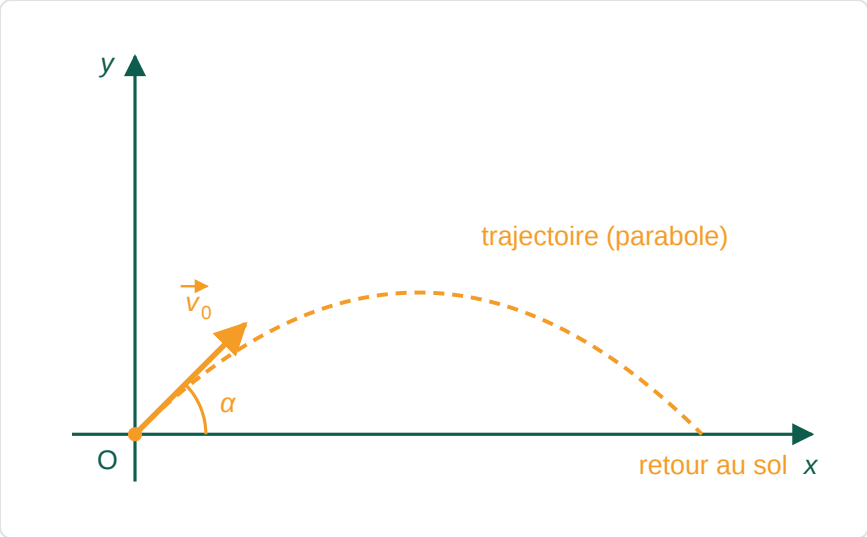
Q2 Reproduire les axes (Ox) et (Oy) et faire apparaître la position initiale de la puce en O, le vecteur vitesse initiale $\vec{v}_0$, l'angle α entre $\vec{v}_0$ et l'axe (Ox) et l'allure de la trajectoire attendue.

Schéma ci-dessous : la puce part de O ; $\vec{v}_0$ est dirigé vers le haut et vers la droite, tangent à la trajectoire en O ; α est l'angle entre l'axe (Ox) et $\vec{v}_0$.

La trajectoire attendue est un arc de parabole partant de O, tourné vers le bas, qui retombe sur le sol ($y = 0$).

PIÈGE

Placer α entre $\vec{v}_0$ et la verticale (Oy), ou tracer $\vec{v}_0$ ailleurs qu'en O. Le vecteur vitesse est tangent à la trajectoire : la parabole doit « partir » dans la direction de $\vec{v}_0$.



Q2 · Position initiale, vecteur vitesse initiale, angle et allure de la trajectoire

Q3 Établir, en utilisant une loi de Newton, les expressions des coordonnées a_x et a_y du vecteur accélération dans le repère (Ox ; Oy).

Système {puce}, de masse m constante, assimilé à son centre de masse ; référentiel terrestre supposé galiléen.

Bilan des forces : le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$ seulement (frottements de l'air négligés, poussée d'Archimède négligeable d'après Q1).

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

Le vecteur $\vec{g}$ est vertical, dirigé vers le bas, et l'axe (Oy) est orienté vers le haut :

$$a_x = 0 \qquad a_y = -g$$

PIÈGE
Oublier le système, le référentiel galiléen ou le bilan des forces : chacun est attendu. Le signe « $-$ » de a_y vient de l'orientation de (Oy) vers le haut.

Q4 En déduire les équations horaires $v_x(t)$ et $v_y(t)$ de la vitesse, puis de la position $x(t)$ et $y(t)$.

Comme $\vec{a} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$, on cherche les primitives de $a_x = 0$ et $a_y = -g$:

$$v_x(t) = C_1 \qquad v_y(t) = -g\,t + C_2$$

À $t = 0$, $\vec{v}(0) = \vec{v}_0$ de coordonnées $v_0\cos(\alpha)$ et $v_0\sin(\alpha)$, donc $C_1 = v_0\cos(\alpha)$ et $C_2 = v_0\sin(\alpha)$:

$$v_x(t) = v_0\cos(\alpha) \qquad v_y(t) = -g\,t + v_0\sin(\alpha)$$

Comme $\vec{v} = \dfrac{\mathrm{d}\overrightarrow{OM}}{\mathrm{d}t}$, on prend de nouveau les primitives : $x(t) = v_0\cos(\alpha)\,t + C_3$ $\qquad y(t) = -\dfrac{1}{2}\,g\,t^2 + v_0\sin(\alpha)\,t + C_4$

À $t = 0$, la puce est en O : $x(0) = 0$ et $y(0) = 0$, donc $C_3 = 0$ et $C_4 = 0$.

$$x(t) = v_0\cos(\alpha)\,t \qquad y(t) = -\frac{1}{2}\,g\,t^2 + v_0\sin(\alpha)\,t$$

MÉTHODE
Deux intégrations successives, et à chaque fois une constante fixée par la condition initiale : la vitesse $\vec{v}_0$ pour la première, la position de départ pour la seconde. Les justifier par écrit fait partie des points.

Q5 Montrer que l'équation de la trajectoire est $y(x) = -\frac{1}{2}\,g\,\frac{x^2}{v_0^2\cos^2(\alpha)} + \tan(\alpha)\,x$.

Données utiles $x(t)$ et $y(t)$ (Q4)

On élimine le temps. D'après $x(t) = v_0\cos(\alpha)\,t$: $\quad t = \dfrac{x}{v_0\cos(\alpha)}$

On remplace dans $y(t)$:

$$y = -\frac{1}{2}\,g\left(\frac{x}{v_0\cos(\alpha)}\right)^2 + v_0\sin(\alpha)\cdot\frac{x}{v_0\cos(\alpha)}$$

Or $\dfrac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} = \tan(\alpha)$, donc :

$y(x) = -\frac{1}{2}\,g\,\frac{x^2}{v_0^2\cos^2(\alpha)} + \tan(\alpha)\,x$: c'est bien l'expression attendue.

Q6 Déterminer l'expression de la portée p du saut de la puce.

Données utiles équation de la trajectoire (Q5)

La puce retombe sur le sol quand $y = 0$ avec $x = p \neq 0$:

$$-\frac{1}{2}\,g\,\frac{p^2}{v_0^2\cos^2(\alpha)} + \tan(\alpha)\,p = 0$$

On divise par p (non nul) : $\dfrac{1}{2}\,g\,\dfrac{p}{v_0^2\cos^2(\alpha)} = \tan(\alpha)$, soit $p = \dfrac{2\,v_0^2\cos^2(\alpha)\tan(\alpha)}{g}$.

Comme $\cos^2(\alpha)\tan(\alpha) = \sin(\alpha)\cos(\alpha)$:

$$p = \frac{2\,v_0^2\sin(\alpha)\cos(\alpha)}{g} = \frac{v_0^2\sin(2\alpha)}{g}$$

COMPRENDRE
L'équation $y = 0$ a deux solutions : $x = 0$ (le départ) et $x = p$ (le retour au sol). C'est l'expression de la ligne 15 du programme de la figure 2.

Q7 Calculer la valeur numérique de la portée du saut le plus long et commenter le résultat.

Données utiles $v_0 = 1{,}90\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\alpha = 45^\circ$; $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $V_{\text{puce}} = 4{,}19\times10^{-9}\ \text{m}^3$

Avec $\alpha = 45^\circ$: $\sin(2\alpha) = \sin(90^\circ) = 1$.

$$p = \frac{v_0^2\sin(2\alpha)}{g} = \frac{1{,}90^2\times1}{9{,}81} = 0{,}368\ \text{m}$$

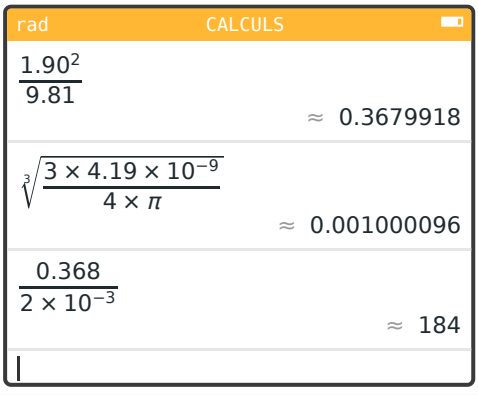
Commentaire : le volume de la puce est celui d'une boule de rayon 1,00 mm, donc de 2 mm de diamètre environ. La portée vaut près de 200 fois la taille de la puce : c'est un saut considérable à son échelle.

$p = 0{,}368\ \text{m} = 36{,}8\ \text{cm}$, soit environ 200 fois la taille de la puce.

PIÈGE
Calculatrice en radians : $\sin(90)$ ne vaut alors pas 1. Vérifier le mode degré avant tout calcul d'angle.

COMPRENDRE
Pour une vitesse v_0 donnée, $\sin(2\alpha)$ est maximal pour $\alpha = 45^\circ$: c'est l'angle qui donne la plus grande portée. Le modèle néglige les frottements de l'air : la portée réelle est un peu plus faible.

À LA CALCULATRICE



Q8 Recopier les lignes 6 et 9 du programme et les compléter avec les valeurs des paramètres expérimentaux du saut le plus long.

Données utiles $v_0 = 1{,}90\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\alpha = 45^\circ$

Ligne 6 : « v0 = 1.90 # valeur de la vitesse initiale en m/s »

Ligne 9 : « alpha = 45 * np.pi / 180 # en radian »

« v0 = 1.90 » et « alpha = 45 * np.pi / 180 »

PIÈGE
Écrire « alpha = 45 » : le commentaire de la ligne 9 impose le radian, comme les fonctions « np.sin » et « np.cos ». La ligne 10 montre la conversion à imiter. En Python, le séparateur décimal est le point.

Q9 Écrire un commentaire possible à la ligne 14 expliquant la ligne 15.

La ligne 15 calcule $x = \dfrac{2\,v_0^2\sin(\alpha)\cos(\alpha)}{g}$: c'est l'expression de la portée établie à la question Q6.

Ligne 14 : « # Calcul de la portée x du saut, en m »

Q10 Écrire la valeur de l'incertitude-type sur la portée avec deux chiffres significatifs, puis la valeur de la portée avec un nombre adapté de chiffres significatifs.

Données utiles affichage du programme : $x = 0{,}36836734693877554\ \text{m}$; $u(x) = 0{,}08356410024988821\ \text{m}$

Incertitude-type arrondie à deux chiffres significatifs : $u(p) = 0{,}084\ \text{m}$.

Le dernier chiffre de l'incertitude-type est celui des millièmes de mètre : on arrondit la portée au millième de mètre.

$u(p) = 0{,}084\ \text{m}$ et $p = 0{,}368\ \text{m}$

PIÈGE
Recopier tous les chiffres affichés par Python. La valeur s'arrête au même rang décimal que le dernier chiffre de son incertitude-type.

COMPRENDRE
Le programme utilise $g = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ et affiche $0{,}3684$ m ; le calcul de Q7 avec $g = 9{,}81$ donne $0{,}3680$ m. L'écart est très inférieur à l'incertitude-type : les deux s'écrivent $0{,}368$ m.

Q11 Discuter de l'accord du résultat de la portée du saut de puce le plus long avec la portée de référence.

Données utiles $p = 0{,}368\ \text{m}$ et $u(p) = 0{,}084\ \text{m}$ (Q10) ; $p_{\text{ref}} = 17{,}9\ \text{cm} = 0{,}179\ \text{m}$

On calcule le quotient donné par l'énoncé :

$$\frac{|p - p_{\text{ref}}|}{u(p)} = \frac{|0{,}368 - 0{,}179|}{0{,}084} = 2{,}25$$

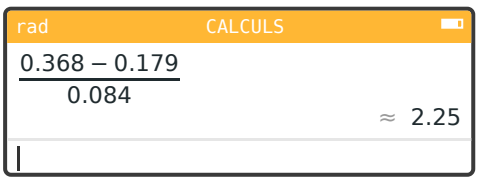
Ce quotient est supérieur à 2 : la portée du saut le plus long n'est pas compatible avec la portée de référence. C'est cohérent : la référence est la moyenne de tous les sauts, alors que ce saut est le meilleur de l'étude.

$\dfrac{|p - p_{\text{ref}}|}{u(p)} \approx 2{,}3 > 2$: le résultat n'est pas en accord avec la portée de référence.

PIÈGE
Garder $17{,}9$ en centimètres avec p et $u(p)$ en mètres. Les trois grandeurs du quotient doivent être dans la même unité.

MÉTHODE
Critère usuel : quotient inférieur ou égal à 2, résultat compatible avec la référence ; quotient supérieur à 2, résultat non compatible. Toujours conclure par une phrase, et chercher une explication physique à l'écart.

À LA CALCULATRICE



Q12 Calculer les énergies cinétiques en début de saut de la puce et d'Arne Tvervaag, puis déterminer la puissance par kilogramme de muscle développée durant l'impulsion par la puce et par le sauteur humain. Commenter.

Données utiles puce : $m_1 = 1{,}00 \times 10^{-6}$ kg, 11 % de muscles, $v_0 = 1{,}90$ m · s^{-1}, $\Delta t_1 = 1{,}2 \times 10^{-3}$ s ; sauteur : $m_2 = 70$ kg, 40 % de muscles, $v_2 = 6{,}0$ m · s^{-1}, $\Delta t_2 = 0{,}40$ s

Énergies cinétiques en début de saut

Puce : $E_{c1} = \dfrac{1}{2} m_1 v_0^2 = \dfrac{1}{2} \times 1{,}00 \times 10^{-6} \times 1{,}90^2 = 1{,}81 \times 10^{-6}$ J

Sauteur : $E_{c2} = \dfrac{1}{2} m_2 v_2^2 = \dfrac{1}{2} \times 70 \times 6{,}0^2 = 1{,}3 \times 10^{3}$ J

Puissance développée durant l'impulsion

Avant l'impulsion, la puce comme l'athlète sont immobiles : l'énergie cinétique passe de 0 à E_c pendant la durée Δt. La puissance moyenne développée est $\mathcal{P} = \dfrac{E_c}{\Delta t}$.

Puce : $\mathcal{P}_1 = \dfrac{1{,}81 \times 10^{-6}}{1{,}2 \times 10^{-3}} = 1{,}5 \times 10^{-3}$ W Sauteur : $\mathcal{P}_2 = \dfrac{1{,}3 \times 10^{3}}{0{,}40} = 3{,}2 \times 10^{3}$ W

Puissance par kilogramme de muscle

Masse de muscles : $0{,}11 \times m_1 = 1{,}1 \times 10^{-7}$ kg pour la puce ; $0{,}40 \times m_2 = 28$ kg pour le sauteur.

Puce : $\dfrac{\mathcal{P}_1}{0{,}11\, m_1} = \dfrac{1{,}5 \times 10^{-3}}{1{,}1 \times 10^{-7}} = 1{,}4 \times 10^{4}$ W · kg^{-1}

Sauteur : $\dfrac{\mathcal{P}_2}{0{,}40\, m_2} = \dfrac{3{,}2 \times 10^{3}}{28} = 1{,}1 \times 10^{2}$ W · kg^{-1}

Commentaire : le rapport des deux valeurs est d'environ 120. À masse de muscle égale, la puce développe une puissance plus de cent fois supérieure à celle du recordman du monde. Cela confirme le texte : la puce libère brusquement une énergie élastique stockée, ce que la seule contraction musculaire ne permet pas.

Puce : $1{,}4 \times 10^{4}$ W · kg^{-1} ; sauteur : $1{,}1 \times 10^{2}$ W · kg^{-1} ; la puce développe environ 120 fois plus de puissance par kilogramme de muscle.

PIÈGE
Diviser par la masse totale au lieu de la masse de muscles (11 % et 40 %). Garder les valeurs non arrondies dans la calculatrice : enchaîner les arrondis donnerait un rapport de 127 au lieu de 122.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs suffisent : les durées, les pourcentages et les données du sauteur n'en ont que deux. La puissance est une énergie divisée par une durée : la puce gagne par la brièveté de son impulsion, 0,0012 s.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer le plan (énergie, puis puissance, puis puissance par kilogramme de muscle), écrire chaque relation littérale avant le calcul, terminer par une comparaison chiffrée reliée au texte de l'énoncé.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$0.5 \times 1.00 \times 10^{-6} \times 1.90^2$
$\approx 1.805 \times 10^{-6}$

$0.5 \times 70 \times 6.0^2$
≈ 1260

$$\frac{\frac{1.805 \times 10^{-6}}{1.2 \times 10^{-3}}}{0.11 \times 1.00 \times 10^{-6}}$$
≈ 13674.24

$$\frac{\frac{1260}{0.40}}{0.40 \times 70}$$
≈ 112.5

$$\frac{13\,674.24242}{112.5}$$
≈ 121.5488