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.

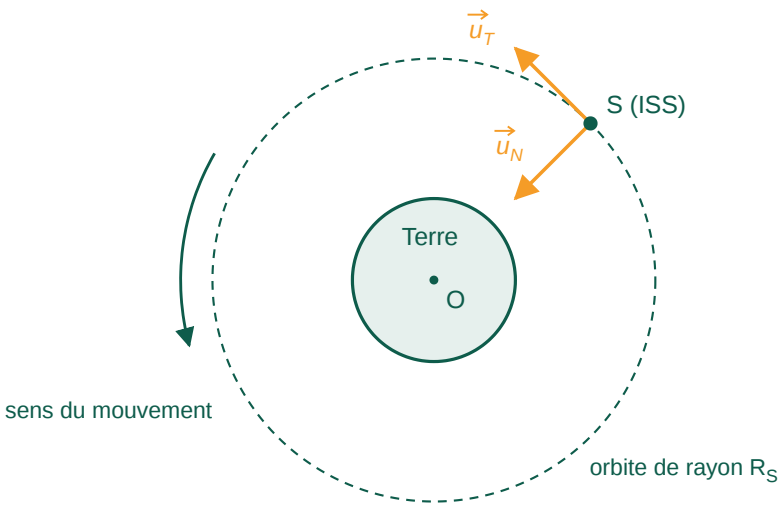
$\vec{u}_T$: vecteur unitaire tangent à la trajectoire en S, dans le sens du mouvement.

$\vec{u}_N$: 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

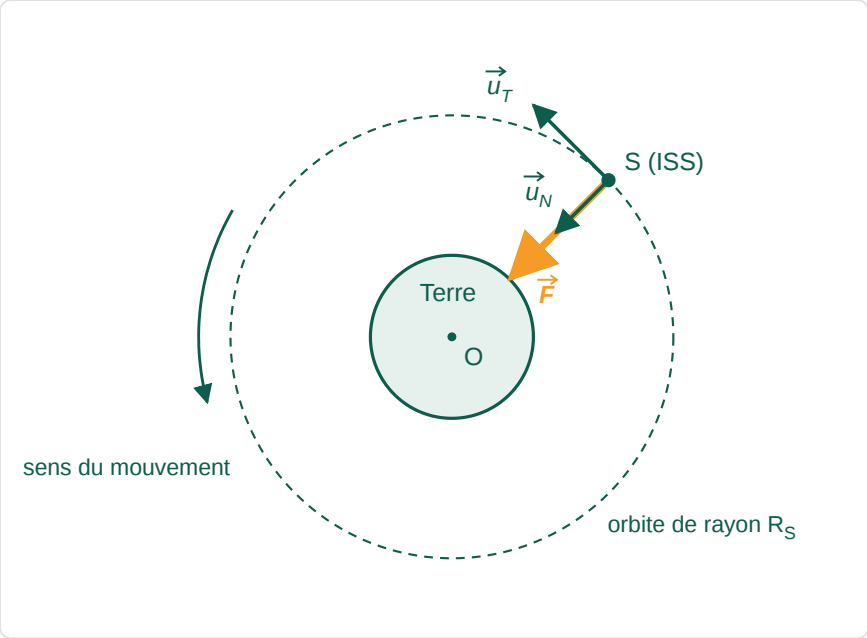
Q2 Écrire, dans ce repère, l'expression vectorielle de la force de gravitation $\vec{F}$ exercée par la Terre sur l'ISS. Représenter cette force sur le schéma de Q1.

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 :

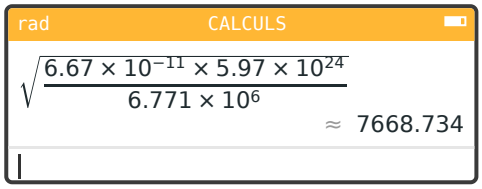
$$v_S = \sqrt{\frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 5{,}97 \times 10^{24}}{6{,}771 \times 10^6}} = 7{,}67 \times 10^3\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

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

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

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

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.

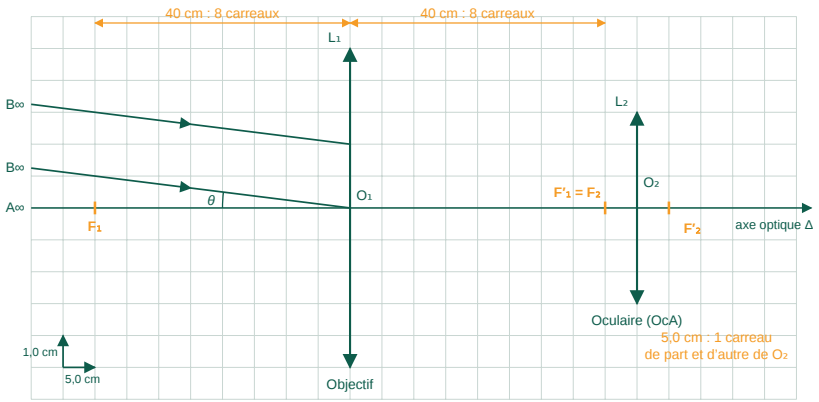
Objectif : $\overline{O_1F'_1} = f'_1 = 40$ cm, soit 8 carreaux. F'_1 est 8 carreaux à droite de O_1 et F_1 est 8 carreaux à gauche de O_1.

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.

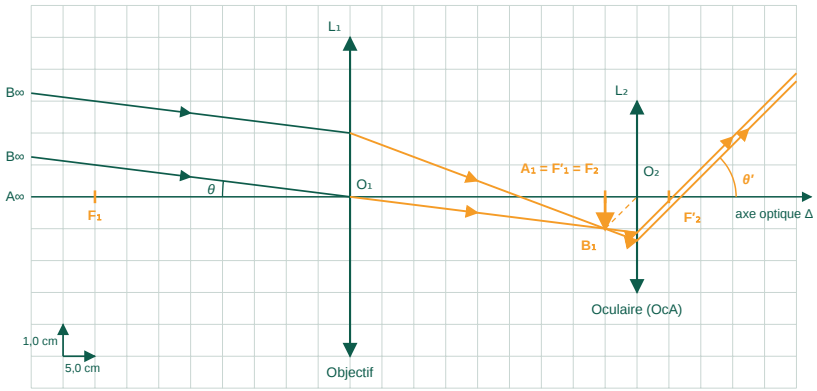
A_1B_1 est dans le plan focal objet de l'oculaire : l'image finale est à l'infini. Les rayons émergent parallèles entre eux, parallèles à la droite (B_1O_2) tracée en pointillés.

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

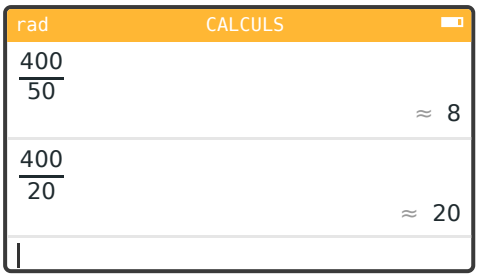
Avec l'oculaire (OcA) : $G_A = \frac{400}{50} = 8{,}0$

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

