

TERMINALE SPÉCIALITÉ · PHYSIQUE-CHIMIE · MOUVEMENT ET INTERACTIONS · CHAPITRE 15



R. RINGUET · 2026 – 2027

Sujet type bac

Mouvement dans un champ de gravitation

Deux exercices indépendants : le système TRAPPIST-1, la sonde Juno autour de Jupiter

Durée : 1 h 30 · calculatrice autorisée · 2 exercices indépendants · barème sur 20

Nom : Prénom : Classe : Note : / 20

★ CONSIGNES

Les deux exercices sont indépendants et peuvent être traités dans l'ordre choisi par le candidat. Il est rappelé que la qualité de la rédaction, la rigueur scientifique et le respect des unités et des chiffres significatifs entrent pour une part importante dans l'appréciation des copies. Toute expression littérale est établie avant l'application numérique ; toute démarche, même partielle, est valorisée.

Exercice 1 TRAPPIST-1 : sept planètes autour d'une naine rouge

12 pts ●●●

En 2017, l'annonce de la découverte de sept planètes de taille terrestre autour de l'étoile TRAPPIST-1 a fait le tour du monde. Cet exercice se propose de retrouver, à partir des seules données observationnelles, la masse de cette étoile, puis d'examiner de façon critique l'idée que certaines de ces planètes seraient « habitables ». Les orbites sont supposées circulaires et les référentiels utilisés supposés galiléens.

■ **DONNÉES** $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ • $M_S = 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$ • $R_T = 6\,371 \text{ km}$ • $1 \text{ ua} = 1,496 \times 10^{11} \text{ m}$ • $1 \text{ jour} = 86\,400 \text{ s}$

■ DOCUMENT 1 — L'étoile TRAPPIST-1 et la méthode des transits

TRAPPIST-1 est une naine rouge ultrafroide située à environ 40 années-lumière de la Terre. Son rayon vaut $R_\star = 0,117 R_{\text{Soleil}}$ et sa masse, déterminée par des méthodes indépendantes de cet exercice, est estimée à $M_\star = 0,0898 M_S$.

Lorsqu'une planète passe devant son étoile, elle en masque une petite partie : le flux lumineux reçu sur Terre chute légèrement pendant quelques dizaines de minutes, puis retrouve sa valeur initiale. La répétition régulière de ces creux donne la période de révolution de la planète (figure 1) ; leur profondeur, égale au rapport des aires des disques $(R_p/R_\star)^2$, donne le rayon de la planète.

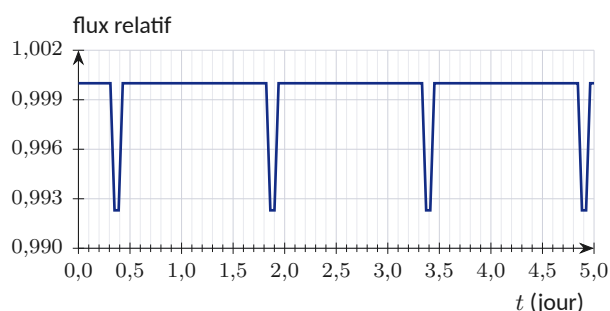
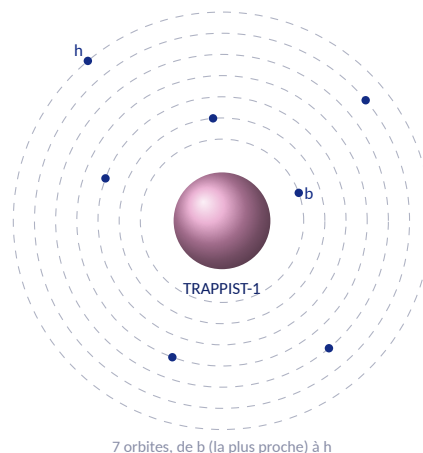


Figure 1 — Transits de la planète b (durée des creux exagérée)



7 orbites, de b (la plus proche) à h

Figure 2 — Le système vu de dessus (schéma, échelle non respectée)

■ DOCUMENT 2 — Caractéristiques des sept planètes

Planète	b	c	d	e	f	g	h
T (jour)	1,511	2,422	4,049	6,101	9,208	12,352	18,773
a (ua)	0,01154	0,01580	0,02227	0,02925	0,03849	0,04683	0,06189
R_p (R_T)	1,12	1,10	0,79	0,92	1,05	1,13	0,76

T : période de révolution ; a : rayon de l'orbite ; R_p : rayon de la planète, en rayons terrestres.

■ DOCUMENT 3 — La zone habitable

On appelle *zone habitable* d'une étoile le domaine de distances où l'eau pourrait exister à l'état liquide à la surface d'une planète rocheuse dotée d'une atmosphère. Pour TRAPPIST-1, les modèles la situent entre 0,024 ua et 0,049 ua. L'étoile est cependant très active : elle émet de fréquentes et violentes éruptions, et les planètes les plus proches, soumises à d'énormes forces de marée, lui présentent probablement toujours la même face.

Partie A — Le mouvement d'une planète du système

On étudie une planète de masse m , assimilée à son centre de masse, en orbite circulaire de rayon a autour de l'étoile de masse M_* . On se place dans le repère de Frenet $(\vec{u}_t, \vec{u}_n)$, $\vec{u}_n$ étant dirigé vers l'étoile.

- 1.1 Donner l'expression vectorielle de la force gravitationnelle exercée par l'étoile sur la planète dans ce repère, puis celle du vecteur accélération pour un mouvement circulaire.
- 1.2 En appliquant la deuxième loi de Newton, montrer que le mouvement de la planète est uniforme et que la valeur de sa vitesse s'écrit $v = \sqrt{\frac{GM_*}{a}}$.
- 1.3 En déduire l'expression de la période de révolution T , puis établir la troisième loi de Kepler sous la forme $\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM_*}$.

Partie B — Ce que disent les mesures

- 1.4 À l'aide de la figure 1, déterminer la période de révolution de la planète b et vérifier qu'elle est cohérente avec le document 2.
- 1.5 Calculer, en unités du système international, le quotient T^2/a^3 pour les planètes b, e et h. Que peut-on en conclure ?
- 1.6 En déduire la masse M_* de l'étoile, en kilogrammes puis en masses solaires. Comparer à la valeur du document 1 en calculant l'écart relatif, et conclure sur la validité de la méthode.
- 1.7 Calculer la valeur de la vitesse de la planète b sur son orbite et la comparer à celle de la Terre autour du Soleil ($29,8 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$). Commenter.
- 1.8 La profondeur des creux de la figure 1 vaut 0,77 %. En déduire le rayon de la planète b, en rayons terrestres, sachant que $R_* = 0,117 R_{\text{Soleil}}$ et $R_{\text{Soleil}} = 6,96 \times 10^5 \text{ km}$. Le résultat est-il compatible avec le document 2 ?

Partie C — Programme, graphique et analyse critique

- 1.9 Le programme ci-dessous exploite le document 2. Compléter la ligne 10 pour que la variable pente contienne la moyenne des sept quotients T^2/a^3 , puis indiquer ce qu'affiche la ligne 11 et l'allure du nuage de points tracé à la ligne 12.

```

1 import matplotlib.pyplot as plt
2 G, ua, jour = 6.67e-11, 1.496e11, 86400
3 T = [1.511, 2.422, 4.049, 6.101, 9.208, 12.352, 18.773] # jours
4 a = [0.01154, 0.01580, 0.02227, 0.02925, 0.03849, 0.04683, 0.06189]
5
6 x, y = [], []
7 for i in range(len(T)):
8     x.append((a[i] * ua)**3)
9     y.append((T[i] * jour)**2)
10 pente = ... # ligne à compléter
11 print("Masse de l'étoile :", 4 * 3.14159**2 / (G * pente), "kg")
12 plt.plot(x, y, "+")
13 plt.show()

```

- 1.10** Un élève propose de remplacer la ligne 10 par $\text{pente} = y[0] / x[0]$. Cette modification est-elle acceptable ? Quel est l'intérêt de disposer de sept planètes plutôt que d'une seule ?
- 1.11** À l'aide des documents 2 et 3, indiquer quelles planètes se situent dans la zone habitable.
- 1.12** Un article de presse titre : « Sept sœurs de la Terre : la vie est peut-être déjà là ». Rédiger un court paragraphe argumenté (cinq lignes environ) discutant ce titre, en vous appuyant sur les documents 1, 2 et 3 et sur vos résultats.

Exercice 2 La sonde Juno autour de Jupiter

8 pts ●●●

Lancée en 2011, la sonde américaine *Juno* s'est placée en 2016 sur une orbite très allongée autour de Jupiter, afin de survoler de près les pôles de la planète tout en passant le moins de temps possible dans ses redoutables ceintures de radiations. Son orbite est une ellipse dont Jupiter occupe un foyer ; le point le plus proche est le *périjove* P , le point le plus éloigné l'*apojove* A . Sa période de révolution vaut $T = 53,5 \text{ j}$ et son altitude au périjove est $h_P = 4\,200 \text{ km}$.

■ **DONNÉES** $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ • 1 jour = 86 400 s • masse de Jupiter : $M_J = 1,898 \times 10^{27} \text{ kg}$ • rayon de Jupiter : $R_J = 71\,492 \text{ km}$ • pour une ellipse de demi-grand axe a , $PA = 2a$ • le satellite Io décrit une orbite circulaire de rayon $4,218 \times 10^8 \text{ m}$ en 1,769 j

- 2.1** Énoncer les trois lois de Kepler. Préciser, pour chacune, ce qu'elle apporte à l'étude de l'orbite de *Juno*.
- 2.2** La troisième loi de Kepler s'applique à toutes les orbites autour de Jupiter, circulaires ou elliptiques. En utilisant les données relatives à Io, calculer la constante T^2/a^3 pour le système de Jupiter, puis vérifier qu'elle est cohérente avec la valeur $4\pi^2/(GM_J)$.
- 2.3** En déduire le demi-grand axe a de l'orbite de *Juno*, en mètres puis en kilomètres.
- 2.4** Calculer la distance r_P entre le centre de Jupiter et la sonde au périjove, puis, en utilisant $PA = 2a$, la distance r_A à l'apojove. Exprimer r_A en rayons de Jupiter.
- 2.5** L'excentricité de l'orbite est donnée par $e = \frac{r_A - r_P}{r_A + r_P}$. La calculer et commenter la forme de l'orbite.
- 2.6** En admettant que l'aire balayée pendant une courte durée Δt vaut $\mathcal{A} \approx \frac{1}{2} r v \Delta t$, montrer, à l'aide de la deuxième loi de Kepler, que $\frac{v_P}{v_A} = \frac{r_A}{r_P}$, puis calculer ce rapport.
- 2.7** La sonde ne reste que quelques heures à proximité de Jupiter à chaque révolution. Expliquer en quoi la réponse à la question 2.6 rend compte de cette observation, et en quoi cette orbite protège les instruments de la sonde.
- 2.8** Pour placer *Juno* sur une orbite circulaire de rayon r_P , il aurait fallu freiner davantage la sonde à son arrivée. Calculer la période de révolution qu'elle aurait alors eue, en heures, et citer un inconvénient d'une telle orbite pour cette mission.