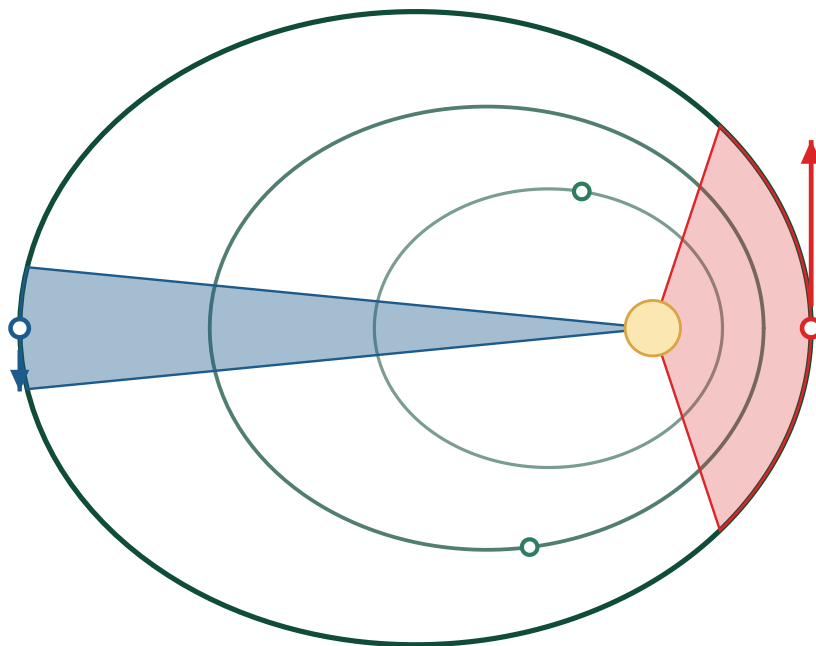




Mouvement dans un champ de gravitation

satellites, planètes & lois de Kepler

Dix exercices progressifs, entièrement corrigés, pour installer une méthode unique : deuxième loi de Newton, mouvement circulaire uniforme, troisième loi de Kepler, satellite géostationnaire. Toutes les données astronomiques sont réelles et sourcées.



10

EXERCICES
CORRIGÉS

16

CARTES
FORMULES

3

NIVEAUX
PROGRESSIFS

100 %

DU PROGRAMME
OFFICIEL

Programme d'enseignement de spécialité physique-chimie, classe terminale de la voie générale · Thème « Mouvement et interactions », partie 2.C · Toutes les capacités exigibles du chapitre sont couvertes, capacité numérique comprise.



POUR COMMENCER

Comment travailler ce cahier	3
Le programme, capacité par capacité	3
Mémo de cours · 16 cartes formules	5
Quiz de positionnement · 16 questions	14
Corrigé du quiz & par où commencer	15

NIVEAU ★ · DÉCOUVERTE

01 De la force au champ	VRAI/FAUX · QCM	16
02 La Lune tombe-t-elle ?	GUIDÉ	17
03 La démonstration de référence	À TROUS	18
04 Lire les orbites	GRAPHIQUE	19

NIVEAU ★★ · MAÎTRISE

05 La Station spatiale internationale	2 VOIES	22
06 Le satellite géostationnaire	LE CLASSIQUE	23
07 Kepler au banc d'essai	DONNÉES · NUM	24

NIVEAU ★★★ · TYPE BAC

08 Peser Jupiter avec Galilée	DONNÉES RÉELLES	28
09 Meteosat ou MetOp ?	ANALYSE CRITIQUE	29
10 Peser les astres	LE DÉFI	31

CORRIGÉS DÉTAILLÉS

Exercices 01 à 04	33
Exercices 05 à 07	38
Exercices 08 à 10	43

POUR FINIR

Fiche synthèse — tout le chapitre en 1 page	48
---	----

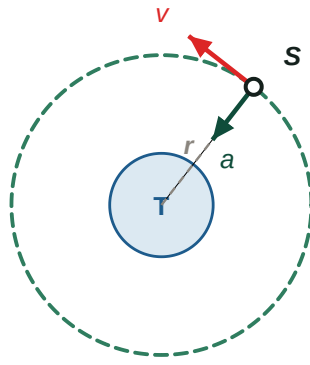
TROIS NIVEAUX, UNE PROGRESSION

★ **DÉCOUVERTE** Une notion à la fois, énoncés guidés, formats variés (vrai/faux, QCM, démonstration à trous, lecture graphique). Objectif : installer les automatismes.

★★ **MAÎTRISE** Plusieurs étapes enchaînées, données astronomiques réelles, script Python à lire et à compléter.

★★★ **TYPE BAC** Format et exigences de l'épreuve : calcul, exploitation de données, esprit critique sur le modèle. Le n° 10 est volontairement plus dur que tout le reste.

Satellite S en orbite
circulaire de rayon
 $r = R_T + h$



A • La démonstration à compléter

Système et référentiel	le satellite S , assimilé à _____, dans le référentiel _____ supposé _____
Bilan des forces	une seule : _____, de valeur $F =$ _____
2^e loi de Newton	$m \vec{a}_G =$ _____, donc $\vec{a}_G =$ _____
Projection sur $\vec{u}_T$ base de Frenet	$\frac{dv}{dt} =$ _____ donc le mouvement, circulaire par hypothèse , est de plus _____
Projection sur $\vec{u}_N$	$\frac{v^2}{r} =$ _____ d'où $v =$ _____
Période	$T = \frac{2\pi r}{v} =$ _____
Troisième loi de Kepler	en élevant au carré : $\frac{T^2}{r^3} =$ _____

B • Exploiter

- Justifier **par une phrase rédigée** pourquoi la composante tangentielle de l'accélération est nulle, et ce qu'on en déduit sur le mouvement. C'est cette phrase que le correcteur cherche.
- Établir l'expression de la vitesse v du satellite en fonction de G , M_T et r . **Cette expression dépend-elle de la masse du satellite ?**
- En déduire l'expression de la période T , puis établir la relation $\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G M_T}$.
- Calculer le rayon r de l'orbite de Hubble.
- Calculer la valeur de sa vitesse, en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ puis en $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$.
- Calculer sa période de révolution, l'exprimer en minutes, et en déduire le nombre de tours qu'il effectue en 24 heures.
- La masse de Hubble n'apparaît nulle part dans ces calculs. S'agit-il d'une approximation ou d'un résultat exact ? Que deviendrait l'orbite d'un satellite deux fois plus lourd lancé dans exactement les mêmes conditions ?

04 Lire les orbites

Exploiter graphiquement $v(h)$ et la troisième loi de Kepler • déterminer la masse de l'astre central

★ □
20 min

Aucun calcul long ici, mais des raisonnements graphiques que l'épreuve adore. Justifie chaque choix en une ligne.



6 $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi \times 6,918 \times 10^6}{7,587 \times 10^3}$, soit $T = 5,73 \times 10^3 \text{ s}$, c'est-à-dire $T = 95,5 \text{ min}$.

En 24 heures : $\frac{86\,400}{5\,729} = 15,1$, soit $15 \text{ tours par jour}$. La NASA annonce « une orbite toutes les 95 minutes environ, soit 15 par jour » : l'accord est excellent.

- 7 Ce n'est **pas une approximation, c'est un résultat exact** dans le cadre du modèle : la masse m du satellite apparaît des deux côtés de la deuxième loi de Newton ($m\vec{a} = m\vec{g}$) et se simplifie rigoureusement.

Un satellite deux fois plus lourd, lancé à la même altitude avec la même vitesse, décrirait **exactement la même orbite, à la même vitesse, avec la même période**. Seule change l'intensité de la force qui s'exerce sur lui — deux fois plus grande — mais son accélération, elle, est identique.

LE RÉFLEXE DU JOUR J

Cette démonstration est le cœur du chapitre. Entraîne-toi à l'écrire en moins de cinq minutes, du bilan des forces à T^2/r^3 : elle sert de point de départ à **presque tous** les autres exercices de ce cahier.

04 Lire les orbites



A · La vitesse en fonction de l'altitude

- 1 Le point A se lit à une altitude faible et une vitesse d'environ $7,4 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. La valeur exacte, calculée à l'exercice 09, est $7,44 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

- 2 **Non.** D'après F7, $v = \sqrt{\frac{GM_T}{R_T + h}}$: la vitesse varie comme $1/\sqrt{r}$, ce qui n'est pas une fonction affine de h . La courbe est **décroissante et convexe** : elle chute vite au début, puis de plus en plus lentement, en se rapprochant de l'axe des abscisses sans jamais l'atteindre.

- 3 La vitesse est une fonction **strictement décroissante** de l'altitude : il suffit donc de classer les quatre satellites par altitude croissante.

POINT	SATELLITE	h (km)	v ($\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$)
C	Station spatiale internationale	400	7,67
A	MetOp	817	7,44
D	satellite GPS	20 200	3,87
B	satellite géostationnaire	35 786	3,07

Les deux points quasi confondus sont C et A : le plus **haut** des deux est A, MetOp, à 817 km — c'est donc aussi le plus lent.

- 4 Il doit **descendre**. C'est contre-intuitif — on associe spontanément « haut » et « rapide » — mais $v = \sqrt{GM_T/r}$ décroît quand r augmente. Plus un satellite est haut, plus le champ y est faible, et moins il faut aller vite pour rester en orbite.
- 5 Parce que $v = \sqrt{GM_T/r}$ est **strictement positive pour toute distance finie**. La vitesse tend vers zéro quand r tend vers l'infini, mais ne l'atteint jamais : la courbe admet l'axe des abscisses pour **asymptote**.

6 $v(0) = \sqrt{\frac{GM_T}{R_T}} = \sqrt{\frac{3,98 \times 10^{14}}{6,371 \times 10^6}}$, soit $v = 7,91 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, c'est-à-dire $v = 7,91 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

Ce serait un satellite **rasant**, en orbite au ras du sol. C'est une limite théorique — l'atmosphère l'interdit en pratique — mais c'est la **vitesse minimale à communiquer depuis le sol** pour se satelliser, ce qu'on appelle la première vitesse cosmique.

B · La droite de Kepler

- 7 L'alignement des points sur une droite **passant par l'origine** traduit une **proportionnalité** entre T^2 et r^3 . C'est la **troisième loi de Kepler (F9)** : le rapport du carré de la période au cube du rayon de l'orbite est le même pour tous les satellites d'un même astre.

