

## Série d'exercices : Mouvement des planètes et satellites

### Exercice 1 : Répondre par vrai ou faux

- 1\* La Terre tourne, selon une trajectoire elliptique, autour du Soleil qui constitue l'un des deux foyers.
- 2\* L'intensité de la force d'attraction entre deux corps est inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare.
- 3\* La trajectoire d'un satellite se trouve, nécessairement, dans le plan équatorial.
- 4\* Un satellite géostationnaire par rapport à la Terre peut passer par une position appartenant à une verticale se trouvant à Marrakech.
- 5\* Les lois de Kepler ne sont applicables que pour les planètes ; pour les satellites artificiels non.
- 6\* Deux satellites peuvent tourner sur deux trajectoires différentes avec la même vitesse angulaire.

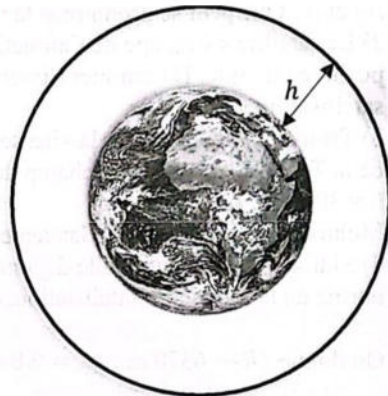
### Exercice 2 : le champ de gravitation terrestre

#### 1) Vecteur champ de gravitation terrestre

- À partir de la loi de gravitation universelle, chercher l'expression du vecteur champ de gravitation terrestre à une altitude  $h$  de la surface de la Terre.
- Calculer la valeur du champ de gravitation  $g_0$  au niveau du sol.
- Calculer la valeur de  $g$  à l'altitude  $h = 35\,786$  km où gravitent les satellites géostationnaires.

Données :

- Masse de la Terre :  $M_T = 5.98 \times 10^{24}$  kg
- Rayon terrestre :  $R_0 = 6378$  km
- Constante de gravitation :  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$



**2) Expression de  $g$  en fonction de  $g_0$** 

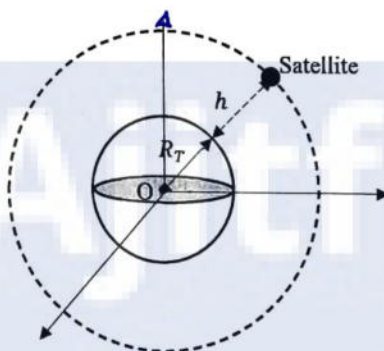
À la surface de la Terre de rayon  $R_0 = 6378$  km, le vecteur champ de gravitation terrestre a pour norme  $g_0 = 9.80 \text{ N kg}^{-1}$ .

- Chercher la relation entre l'intensité de pesanteur à une altitude  $h$  de la surface de la Terre  $g_h$  et sa valeur  $g_0$  à la surface de la Terre.
- Calculer la valeur de  $g$  à la distance  $r = 42\,164$  km du centre de la Terre.
- Calculer l'altitude  $h$  à laquelle le champ gravitationnel a diminué de 1% comparé à sa valeur  $g_0$ .

**Exercice 3 : Altitude d'un satellite géostationnaire**

Un satellite (S) de masse  $m$  gravite autour de la Terre, considérée sphérique, à une altitude  $h$ , sur une orbite quasiment circulaire. On admet que le vecteur champ gravitationnel et le vecteur champ de pesanteur sont égaux.

On considère que le satellite n'est soumis qu'à la seule force d'attraction  $\vec{P}$  et on étudie son mouvement dans le repère tracé dans la figure.

**1) Expression de la force d'attraction**

Écrire l'expression de  $F$ , intensité de la force d'attraction en fonction de  $m$ ,  $h$ ,  $R_T$  (le rayon de la Terre) et  $G$  (la constante de gravitation). En déduire l'intensité de pesanteur à l'altitude  $h$ .

**2) Repère d'étude**

Quel est le nom du repère dans lequel se fait l'étude du mouvement ?

**3) Nature du mouvement**

Quelle est la nature du mouvement du satellite ?

**4) Expression de la vitesse**

Trouver l'expression de la vitesse en fonction de  $g$ ,  $R_T$  et  $h$ .

**5) Loi des périodes**

Montrer que la relation entre la période orbitale et le rayon de la trajectoire s'écrit :

$$\frac{T^2}{(R_T + h)^3} = K$$

Calculer la valeur de  $K$ .

## 6) Altitude géostationnaire

Le satellite paraît immobile, à l'altitude  $h$ , pour un observateur se trouvant sur la Terre. Calculer cette altitude  $h$ .

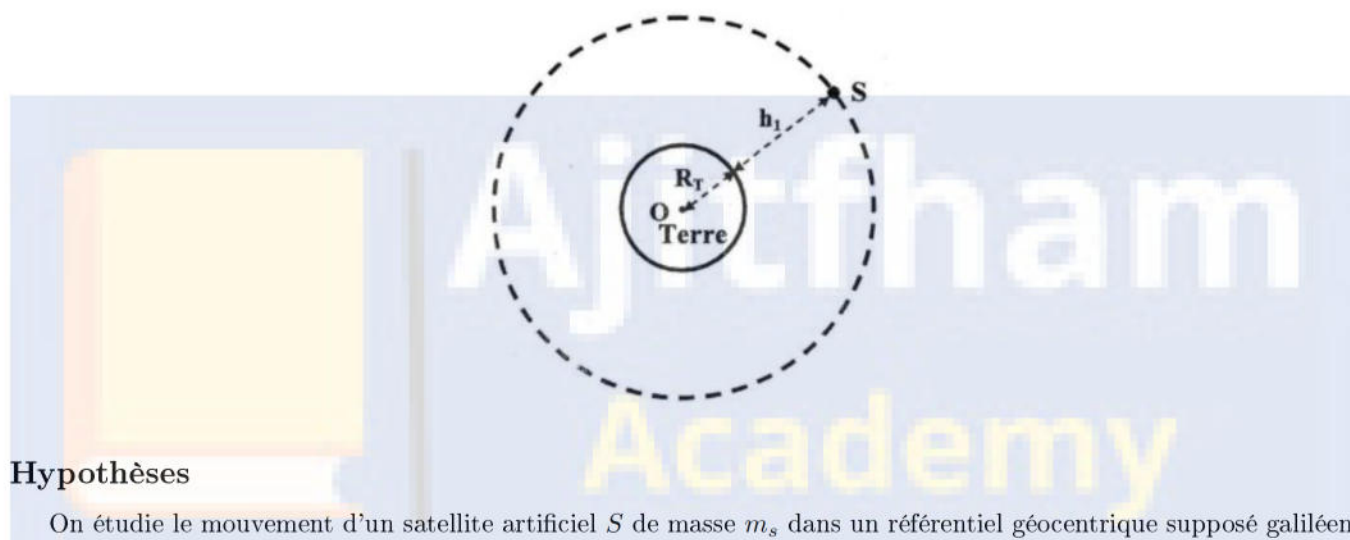
### Données :

- Période de rotation de la Terre :  $T_{\text{terre}} = 24 \text{ h}$
- Masse de la Terre :  $M = 6 \times 10^{24} \text{ kg}$
- Constante de gravitation :  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
- Rayon terrestre :  $R = 6400 \text{ km}$
- Pesanteur à l'équateur :  $g_0 = 9.83 \text{ m s}^{-2}$

## Exercice 4 : Étude du mouvement d'un satellite artificiel

Les satellites artificiels sont placés en orbite autour de la Terre, pour des utilisations variées telles la météorologie, les télécommunications, la recherche scientifique ainsi que le contrôle des frontières.

L'objectif de cette partie est d'étudier quelques grandeurs caractérisant le mouvement d'un satellite artificiel autour de la Terre.



### Hypothèses

On étudie le mouvement d'un satellite artificiel  $S$  de masse  $m_s$  dans un référentiel géocentrique supposé galiléen. On admet que :

- La Terre présente une distribution de masse à symétrie sphérique
- Toutes les forces exercées sur  $S$  sont négligeables devant la force d'attraction universelle exercée par la Terre
- Les dimensions de  $S$  sont négligeables devant la distance qui le sépare du centre  $O$  de la Terre

### Données

- Masse de la Terre :  $M_T = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$
- Rayon de la Terre :  $R_T = 6380 \text{ km}$
- Constante de gravitation universelle :  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$

### 1. Orbite circulaire basse ( $h_1 = 1000 \text{ km}$ )

Le satellite est placé sur une orbite circulaire de centre  $O$  et de rayon  $r = R_T + h_1$ .

#### 1.1. Expression de la force gravitationnelle

Choisir la bonne expression parmi :

A	$F_{T/S} = G \frac{M_T \cdot m_s}{h_1^2}$	B	$F_{T/S} = G \frac{M_T \cdot m_s}{(R_T + h_1)^2}$
C	$F_{T/S} = G \frac{M_T \cdot m_s}{R_T^2}$	D	$F_{T/S} = G \frac{(M_T \cdot m_s)^2}{(R_T + h_1)^2}$

**1.2. Vitesse orbitale**

En appliquant la deuxième loi de Newton, montrer que l'expression de la vitesse  $v$  de  $S$  est :

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M_T}{R_T + h_1}}$$

**1.3. Période de révolution**

Vérifier que la période de révolution du mouvement de  $S$  autour de la Terre est :

$$T_1 \approx 1.75 \text{ h}$$

**2. Orbite géostationnaire**

Le satellite  $S$  est placé sur une autre orbite circulaire située à une altitude  $h_2$  avec une période  $T_2 = 24 \text{ h}$ . Déterminer l'altitude  $h_2$  en utilisant la troisième loi de Kepler.

**Exercice 5 : Étude de deux satellites artificiels**

Les satellites d'observation sont des objets spatiaux en orbite circulaire autour de la Terre. Leur mission principale est d'effectuer des observations de l'atmosphère, des océans, des surfaces émergées et des glaces, et de transmettre à une station terrestre les données ainsi obtenues.

**1. ENVISAT : Satellite circumpolaire**

C'était le plus gros satellite européen d'observation. Ses capteurs permettent une observation biquotidienne de l'ensemble de la planète.

**Données :**

- Constante de gravitation :  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$
- Masse ENVISAT :  $m = 8200 \text{ kg}$
- Altitude moyenne :  $h = 800 \text{ km}$
- Orbite polaire
- Masse Terre :  $M = 5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$
- Rayon Terre :  $R = 6.38 \times 10^3 \text{ km}$
- Période rotation Terre : 1436 min

**1.1 : Accélération du satellite**

En considérant la seule action de la Terre, établir l'expression vectorielle de l'accélération du satellite dans le référentiel géocentrique, supposé galiléen, en fonction de  $M$ ,  $h$  et  $R$ .

*Indication :* S'appuyer sur un schéma simplifié et sur le vecteur unitaire  $\vec{u}_{TS}$ .

**1.2 : Vitesse orbitale**

Montrer que la vitesse du satellite a pour expression :

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$$

Calculer sa valeur en  $\text{km s}^{-1}$ .

**2. METEOSAT 8 : Satellite géostationnaire**

La position d'un satellite géostationnaire paraît fixe aux yeux d'un observateur terrestre. Situé à une altitude  $H$  voisine de 36 000 km, il fournit de façon continue des informations couvrant environ 37% de la surface terrestre.

**2.1 : Constante de Kepler**

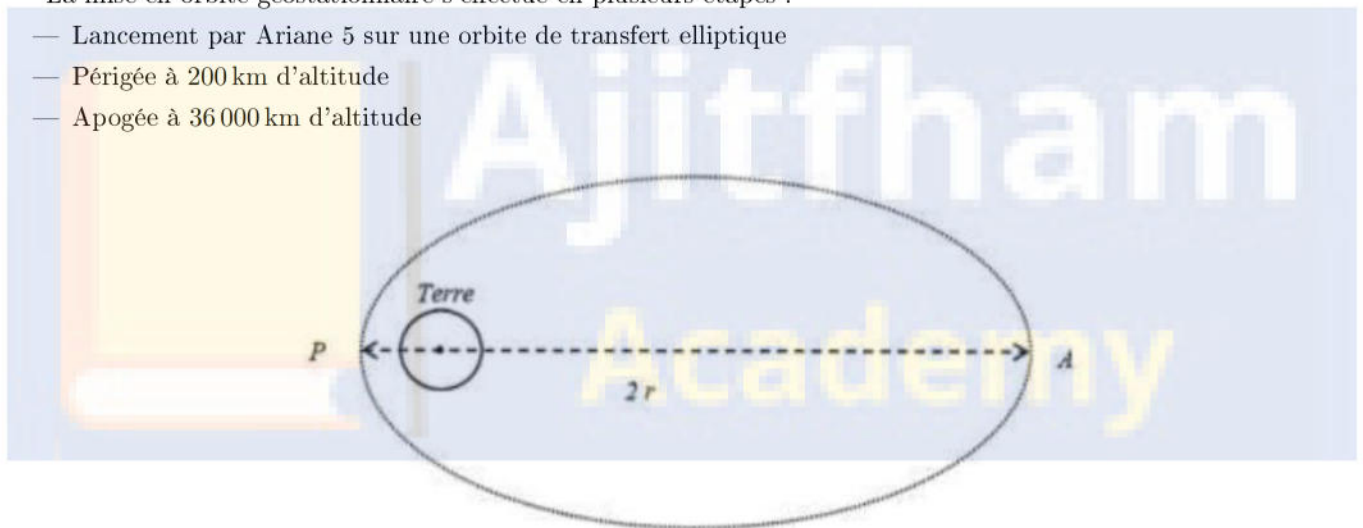
Pour une trajectoire circulaire où  $r$  est le rayon de la trajectoire :

- Établir l'expression de la constante  $K$  en fonction de  $G$  et  $M$
- Calculer  $K$  dans le système international d'unités
- En déduire pour METEOSAT 8 la valeur de  $R + H$  puis celle de  $H$  en km

**2.2 : Orbite de transfert**

La mise en orbite géostationnaire s'effectue en plusieurs étapes :

- Lancement par Ariane 5 sur une orbite de transfert elliptique
- Périgée à 200 km d'altitude
- Apogée à 36 000 km d'altitude



Calculer la longueur  $r$  du demi-grand axe de cette orbite de transfert en km.