

## Exercice 1. Satellites de communication

### Documents mis à disposition :

#### Doc 1 : Le système de radionavigation GALILEO

Connaître sa position exacte dans l'espace et dans le temps, autant d'informations qu'il sera nécessaire d'obtenir de plus en plus fréquemment avec une grande fiabilité. Dans quelques années, ce sera possible avec le système de radionavigation par satellite GALILEO, initiative lancée par l'Union européenne et l'Agence spatiale européenne (ESA). Ce système mondial assurera une complémentarité avec le système actuel GPS (Global Positioning System). GALILEO repose sur une constellation de trente satellites et des stations terrestres permettant de fournir des informations concernant leur positionnement à des usagers de nombreux secteurs (transport, services sociaux, justice, etc...). Le premier satellite du programme, Giove-A, a été lancé le 28 décembre 2005.

D'après le site <http://www.cnes.fr/>

#### Doc 2 : METEOSAT, un satellite géostationnaire

Ce satellite a été lancé par ARIANE 5 le 28 août 2002. Il est opérationnel depuis le 28 janvier 2004. D'une masse de 282 kg, METEOSAT a été satellisé sur une orbite circulaire et géostationnaire, c'est-à-dire de manière à ce que sa position paraisse fixe aux yeux d'un observateur terrestre. Il fournit ainsi de façon continue des informations couvrant une zone circulaire représentant environ 42% de la surface de la Terre.

Le satellite Giove-A est assimilé à un point matériel G de masse  $m_{\text{sat}} = 700 \text{ kg}$ . Il est supposé soumis à la seule interaction gravitationnelle due à la Terre, et sa trajectoire est considérée circulaire à l'altitude  $h = 23,6 \times 10^3 \text{ km}$ . Le mouvement du satellite est étudié dans le référentiel géocentrique considéré galiléen.

#### Données :

- Constante universelle de gravitation :  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
- La Terre est supposée sphérique et homogène de masse  $M_T = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$  et de rayon  $R_T = 6,38 \times 10^3 \text{ km}$

### Partie 1. Mouvement du satellite Giove-A autour de la Terre

1. Sans souci d'échelle, faire un schéma représentant la Terre, le satellite sur sa trajectoire et la force exercée par la Terre sur le satellite.
2. Donner l'expression vectorielle de la force exercée par la Terre sur le satellite en fonction des données de l'énoncé et d'un vecteur unitaire à définir.
3. Établir l'expression vectorielle du vecteur accélération du point G et en déduire que la vitesse du satellite est uniforme et calculer sa valeur en  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ .
4. Calculer la période de révolution T du satellite.

### Partie 2. Détermination de la masse de la Terre

Il existe actuellement deux systèmes de positionnement par satellites : le système américain GPS et le système russe GLONASS. Le tableau fourni dans la suite (**annexe 1**), rassemble les périodes T et les rayons R des trajectoires des satellites correspondants, ainsi que les données relatives aux satellites de type Météosat.

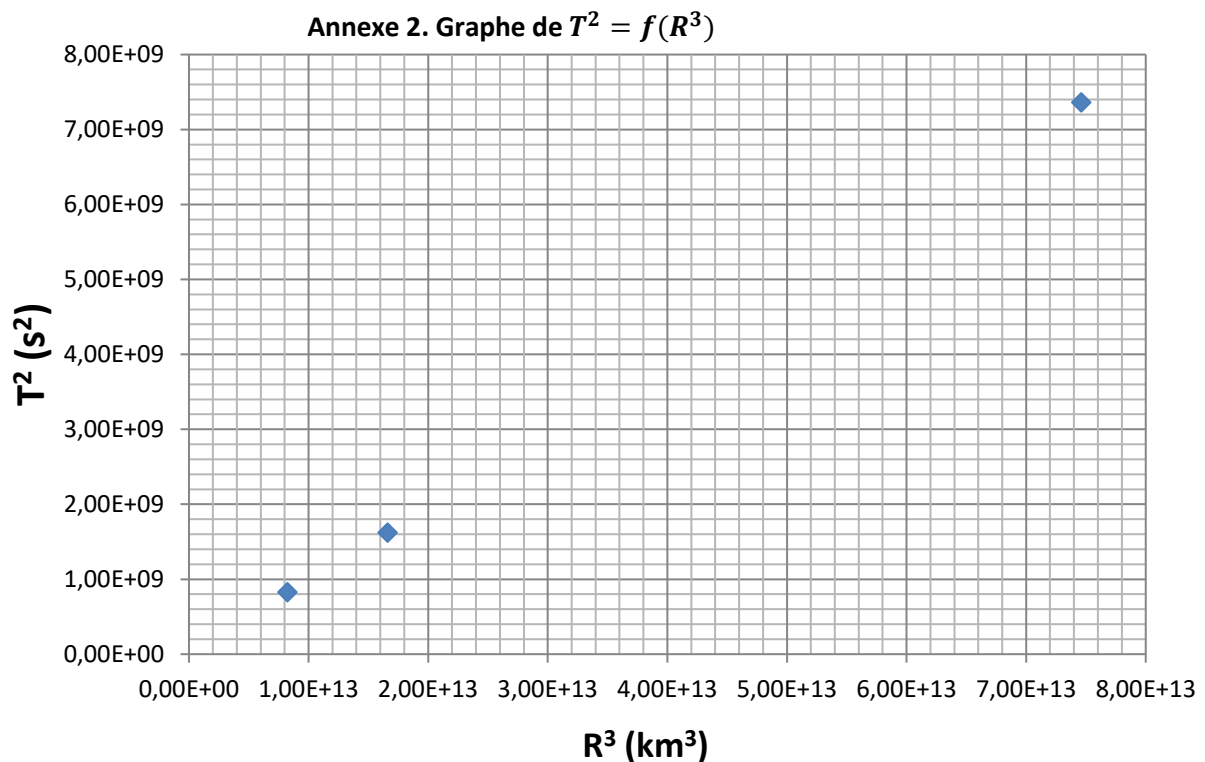
5. Placer le point correspondant à Giove-A sur le graphe en **annexe 2**, et montrer que  $T^2 = f(R^3)$  est une fonction linéaire.
6. Déterminer à l'aide de la courbe une valeur expérimentale de la masse de la Terre. Expliquer.

### Partie 3. Étude du satellite géostationnaire METEOSAT 8

7. Quelle doit être la période de révolution d'un satellite pour qu'il soit géostationnaire ?
8. Déterminer la valeur de l'altitude, en  $\text{km}$ , à laquelle doit orbiter un satellite géostationnaire.
9. Calculer, en  $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ , la vitesse d'un satellite géostationnaire.

### Annexe 1. Caractéristique de satellite

satellite	rayon de la trajectoire R (km)	période de révolution T (s)	$R^3$ (km <sup>3</sup> )	$T^2$ (s <sup>2</sup> )
GPS	$20,2 \times 10^3$	$2,88 \times 10^4$	$8,24 \times 10^{12}$	$8,29 \times 10^8$
GLONASS	$25,5 \times 10^3$	$4,02 \times 10^4$	$1,66 \times 10^{13}$	$1,62 \times 10^9$
GALILEO				
METEOSAT	$42,1 \times 10^3$	$8,58 \times 10^4$	$7,46 \times 10^{13}$	$7,36 \times 10^9$



### Exercice 2. La station spatiale internationale ISS

La station spatiale internationale ISS (International Space Station) est à ce jour le plus grand des objets artificiels placé en orbite terrestre à une altitude de 400 km. Elle est occupée en permanence par un équipage international qui se consacre à la recherche scientifique dans l'environnement spatial. La station spatiale internationale, supposée ponctuelle et notée S, évolue sur une orbite qu'on admettra circulaire, dont le plan est incliné de  $51,6^\circ$  par rapport au plan de l'équateur. Son altitude est environ égale à 400 km.



#### Données :

- rayon de la Terre :  $R_T = 6380$  km
- masse de la station :  $m = 435$  tonnes
- masse de la Terre, supposée ponctuelle :  $M = 5,98 \times 10^{24}$  kg
- constante de gravitation universelle :  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
- altitude de la station ISS :  $h = 400$  km

- Déterminer la valeur de la vitesse de la station en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ .
- Combien de révolutions autour de la Terre un astronaute présent à bord de la station spatiale internationale fait-il en 24h ?

Correction : <https://lc.cx/sat2>

### Exercice 3. La mission Mars Science Laboratory

Le lancement du robot Curiosity de la mission Mars Science Laboratory (MSL) a eu lieu le samedi 26 novembre 2011. Il s'est posé sur le sol martien le 6 août 2012. Ce robot transporte du matériel scientifique destiné à l'analyse de la composition du sol et de l'atmosphère martienne. Le but de cet exercice est d'évaluer les conditions à respecter sur les positions relatives de la Terre et de Mars lors du lancement du robot Curiosity.



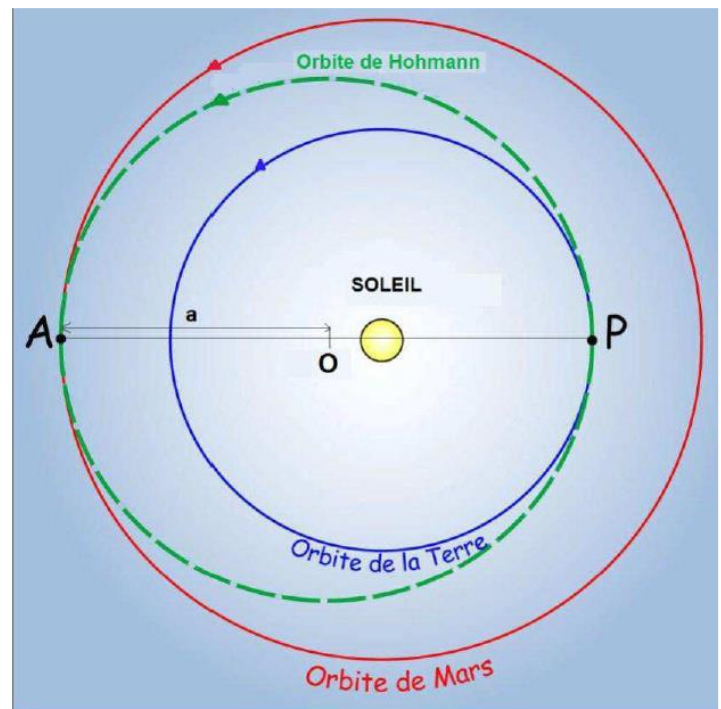
#### Données :

distance Soleil-Terre :  $R_1 = 1,50 \times 10^8$  km ; distance Soleil-Mars :  $R_2 = 2,28 \times 10^8$  km ;  
période de révolution de Mars autour du Soleil : 1,88 an ; masse du Soleil  $M_s = 1,99 \times 10^{30}$  kg.  
constante de gravitation universelle :  $G = 6,67 \times 10^{-11}$  m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup>.s<sup>-2</sup> ;

#### Documents mis à disposition :

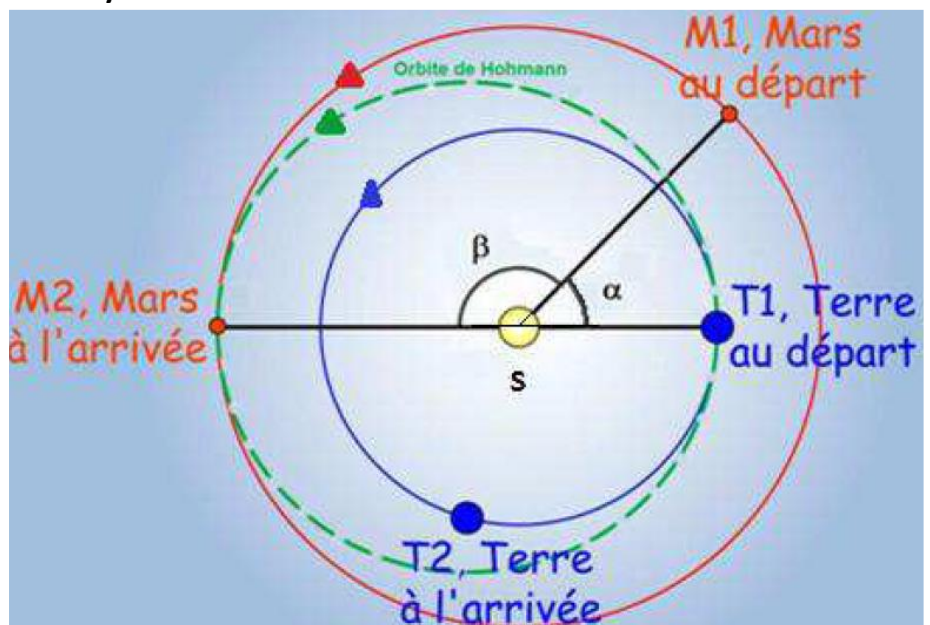
##### Doc 1. Orbite de Hohmann

Dès les années 1920, Walter Hohmann étudie la manière la plus économique en énergie pour se rendre d'une planète à une autre. Pour un voyage interplanétaire entre la Terre et Mars, la trajectoire du vaisseau est une ellipse de centre O. On appelle cette ellipse de demi grand axe  $a$  l'orbite de Hohmann (en pointillé sur la figure). Le périhélie P (point le plus proche du Soleil) est sur l'orbite de la Terre et l'aphélie A (point le plus éloigné du Soleil) sur celle de Mars. Pour simplifier, les orbites de Mars et de la Terre autour du Soleil sont considérées comme circulaires et contenues dans le même plan. Pour que ce voyage interplanétaire soit réussi, il faut d'abord que le vaisseau échappe à l'attraction de la Terre, puis qu'il utilise l'attraction du Soleil pour rejoindre le voisinage de Mars en empruntant une orbite de transfert, dite orbite de Hohmann. Dans l'étape finale c'est l'interaction gravitationnelle avec Mars qui doit être prépondérante pour que Curiosity puisse se poser sur son sol.



##### Doc 2. Conditions de rencontre entre Curiosity et Mars

La figure ci-contre donne les positions de la Terre et de Mars au moment du départ et de l'arrivée de Curiosity. Mars accomplit une orbite complète de 360° en 1,88 an. On suppose que les deux planètes décrivent un mouvement circulaire et uniforme pendant le temps du voyage. On lance le vaisseau de la Terre lorsque Mars se trouve au point M1 sur son orbite, position initiale repérée par l'angle  $\alpha$  représenté ci-contre. Le point M2 représente le lieu de rendez-vous entre le vaisseau et Mars. On note  $\beta$  l'angle ( $SM_1, SM_2$ ).



### Questions.

1. Sur le schéma du **Doc1.**, repasser en couleur le chemin suivi par MSL et indiquer les distances  $R_1$  et  $R_2$  introduites dans les données. Montrer que la valeur du demi-grand-axe de l'orbite de Hohmann est  $a = 1,89 \times 10^8$  km.
2. À l'aide de la 3<sup>ème</sup> loi de Kepler, exprimer la durée  $\Delta t$  du voyage de Curiosity en fonction de  $a$ ,  $G$  et  $M_S$  et vérifier l'homogénéité de cette relation par une analyse dimensionnelle.
3. Calculer la durée  $\Delta t$ . Commenter le résultat obtenu par rapport à la durée de la mission.
4. Déterminer la valeur de l'angle  $\alpha$  qui repère la position de Mars au départ, condition nécessaire à la réussite de la mission. **Détailler soigneusement la démarche.**

Correction : <https://lc.cx/sat3>

### Exercice 4. Trou noir galactique

Depuis plusieurs années les astronomes tournent un regard de plus en plus acéré vers le centre de notre galaxie, soupçonné d'abriter un trou noir extrêmement massif. Pour le traquer, certaines étoiles très proches du centre galactique sont suivies depuis plusieurs années par une équipe internationale. Les chercheurs ont suivi ainsi à la trace une étoile nommée S2 et ont pu établir qu'elle a une trajectoire elliptique purement keplerienne (qui suit les lois de Kepler) et qu'elle parcourt en 15,2 ans.

#### Données :

- masse du soleil :  $M_S = 2,0 \times 10^{30}$  kg
- constante de gravitation universelle :  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1}$



#### Question.

En considérant la trajectoire de S2 comme quasi-circulaire de rayon 132 heures-lumière, à combien de masse solaire peut-on estimer la masse du trou noir au centre de notre galaxie ?

**Détailler soigneusement votre démarche.**

Correction : <https://lc.cx/sat4>

### Exercice 5. Tchouri

En 2004, la sonde européenne Rosetta a quitté la Terre pour un voyage long de 10 ans. Sa destination ? La comète 67P/Churyumov-Gerasimenko, surnommé Tchouri dont elle s'est approchée au cours de l'année 2014. Une fois à proximité de cette dernière, Rosetta a entamé ses observations en juillet 2014. Puis, en novembre 2014, la sonde a largué Philae, un atterrisseur qui est venu se poser à la surface de la comète. On s'intéresse à l'atterrisseur Philae qui s'est posé sur la comète. On assimile la comète à une sphère de rayon 2,5 km de 10 milliards de tonnes.

#### Données :

masse de Philae :  $m = 100$  kg      constante de gravitation universelle :  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1}$

### Questions.

1. En supposant que la force gravitationnelle exercée par la comète sur Philae est égale au poids de Philae sur la comète, déterminer la valeur de l'intensité de pesanteur  $g_C$  sur la comète.
2. Combien de fois serait-on plus lourd ou léger sur la comète que sur Terre où l'intensité de pesanteur est environ  $g_T = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Correction : <https://lc.cx/sat5>