SATELLITES

Tous ces exercices ont une correction vidéo disponible en ligne. Ces corrections sont mises à disposition par Monsieur Ravi Ambroise sur sa page YouTube. Je remercie ce collègue pour son travail.

Exercice 1. Etude du mouvement de la station spatiale internationale ISS

La station spatiale internationale ISS, supposée ponctuelle et notée S, évolue sur une orbite qu'on admettra circulaire, dont le plan est incliné de 51,6° par rapport au plan de l'équateur. Son altitude est environ égale à 400 km.

Données.

- Rayon de la Terre $R_T = 6\ 380$ km;
- Masse de la Station m = 435 tonnes;
- Masse de la Terre, suppose ponctuelle: $M = 5{,}98 \times 10^{24}$ kg;
- Constante de gravitation universelle $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ m^3.kg^{-1}.s^{-2}$;
- Altitude de la station ISS h = 400 km;
- expression de la valeur de la force d'nteraction gravitationnelle F entre deux corps A et B ponctuels de masses respectives m_A et m_B, distants de d = AB: $F = G \times \dfrac{m_A \times m_B}{d^2}$

1°) Représenter sur un schéma:
- la Terre et la station S, supposée ponctuelle;
- un vecteur unitaire $\vec{u}$ orienté de la station S vers la Terre T;
- la force d'interaction gravitationnelle exercée par la Terre sur la station S.

Donner l'expression vectorielle de cette force en fonction du vecteur unitaire $\vec{u}$.

2°) En considérant la seule action de la terre, établir l'expression vectorielle de l'accélération $\vec{a}_S$ de la station dans le référentiel géocentrique, supposé Galiléen, en fonction de G, M, h, R et du vecteur unitaire $\vec{u}$.

3°) Vitesse du satellite.

3.1°) Montrer que, dans le cas d'un mouvement circulaire, la valeur de la vitesse du satellite de la station a pour expression: $v = \sqrt{\dfrac{GM}{R+h}}$.

3.2°) Calculer la valeur de la vitesse de la station en $m.s^{-1}$.

4°) Combien de révolutions autour de la Terre un astronaute présent à bord de la station spatiale internationale fait-il en 24 h ?Détailler soigneusement la démarche pour chaque question.

Exercice 2. Satellites de communication. (Reprise d'une partie du cours vu en classe).

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.

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. La position d'un satellite géostationnaire parait fixe aux yeux d'un observateur terrestre. Situé à une altitude H voisine de 36000 km, il fournit 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 msat = 700 kg. Il est supposé soumis à la seule interaction gravitationnelle due à la Terre, et il décrit de façon uniforme un cercle de centre O, à l'altitude $h = 23{,}6 \times 10^3$ km. Le mouvement du satellite est étudié dans le référentiel géocenbtrique considéré galiléen.

DONNEES :

- Constante de gravitation : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ m^3.kg^{-1}.s^{-2}$
- La Terre est supposée sphérique et homogène.
- On appelle O son centre, sa masse $M_T = 5{,}98 \times 10^{24}$ kg et son rayon $R_T = 6{,}38 \times 10^3$ 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. Etablir l'expression du vecteur-accélération du point G. En déduire que la vitesse du satellite est uniforme. Calculer sa vitesse en km/h.

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 sur l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE, 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 fonciton linéaire.

6. Déterminer à l'aide de la courbe une valeur expérimentale de la masse de la Terre. Expliquer.

Partie 3. Etude du satellite géostationnaire METEOSAT.

7. Quelle doit être la période de révolution d'un satellite pour qu'il soit géostationnaire ?

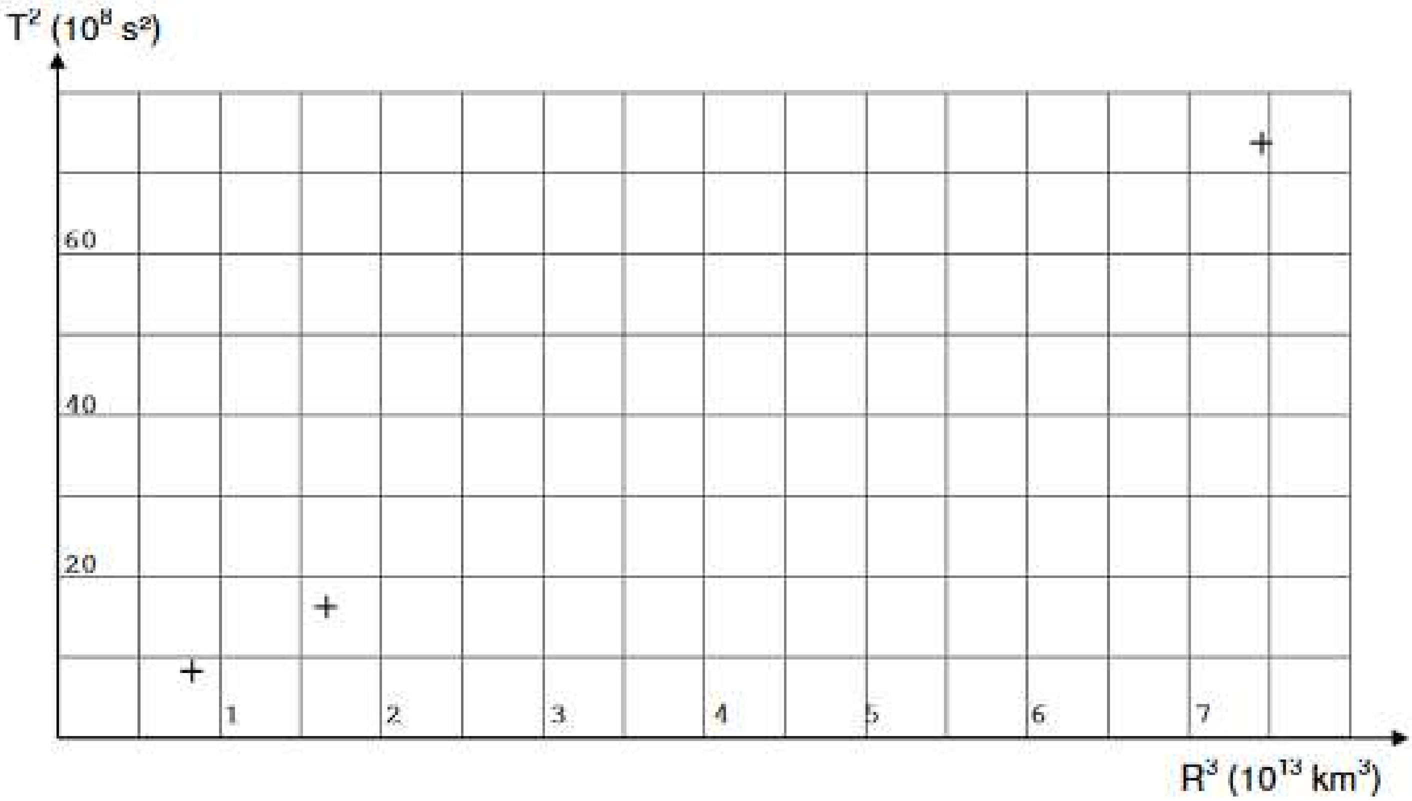
8. Déterminer la valeur de l'altitude, en km, à laquelle soit orbiter un satellite géostationnaire.

9. Calculer, en km/s, la vitesse d'un satellite géostationnaire.

Annexe 1. Caractéristiques de satellites.

Satellite	Rayon de la trajectoire R (km)	Période de révolution T (s)	R^3 (km^3)	T^2 (s^2)
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	$42{,}1 \times 10^3$	$8{,}58 \times 10^4$	$7{,}46 \times 10^{13}$	$7{,}36 \times 10^9$

Annexe 2. Graphe de $T^2 = f(R^3)$.



Tous ces exercices ont une correction vidéo disponible en ligne. Ces corrections sont mises à disposition par le site "On bosse la physique". Je remercie ce collègue pour son travail.

Exercice 3. La planète Mercure

Planète la plus proche du Soleil, Mercure est longtemps restée mal connue. En première approximation, sa trajectoire dans le référentiel héliocentrique peut être considrée comme circulaire. Toutefois, de toutes les planètes du Système solaire, c'est celle qui possède l'orbite la plus excentrique. Sa distance au Soleil varie en effet de 0,31 ua à 0,47 ua. La vitesse orbitale de mercure, qui vaut en moyenne 47 km/s, varie quant à elle entre les valeurs extrêmes 39 km/s et 59 km/s.

Données.

Distance moyenne Terre- Soleil = 1 ua = $1,5 \times 10^{11}$ m.

1. Enoncer la première loi de Kepler, dite "loi des orbites". Représenter, sans souci d'échelle, l'allure de la trajectoire de Mercure autour du Soleil. Le schéma fera apparaître la position du Soleil et le demi-grand axe de l'orbite.

2. En vous appuyant sur le schéma réalisé et sur les informations tirées du texte introductif, montrer par un simple calcul que le demi-grand axe vaut 0,39 ua.

3. Enoncer la deuxième loi de Kepler, dite "loi des aires". Appliquer cette loi pour déterminer dans quelle partie de sa trajectoire Mercure atteint la vitesse de 39 km/s. Une justification claire, pour laquelle un schéma est nécessaire, est attendue.

4. Pour tous les objets en orbite autour du Soleil, le rapport entre le carré de la période de révolution T et le cube du demi-grand axe de l'orbite est constant (la troisième loi de Kepler). Montrer que cette planète parcourt l'ensemble de son orbite autour du Soleil en un peu moins de trois mois.

Exercice 4. Titan

Titan est le plus gros satellite de Saturne. Il est situé à une distance R_T du centre de Saturne

L'excentricité orbitale de ce satellite étant très faible, on supposera sa trajectoire circulaire.

Dans tout l'exercice on se place dans le référentiel saturnocentrique centré sur Saturne et dont les 3 axes sont dirigés vers 3 étoiles lointaines supposées fixes.

On considère que la planète Saturne et son satellite Titan sont des corps dont la répartition des masses est à symétrie sphérique

Données.

Constante de gravitation G = $6,67 \times 10^{-11}$ SI.

Rayon de l'orbite de Titan $R_T = 1,22 \times 10^6$ km.

Masse de Satune $M_S = 5,69 \times 10^{26}$ kg.

On considère que la seule force gravitationnelle exercée sur Titan provient de Saturne.

1. Représenter qualitativement sur un schéma, Saturne, Titan et la force extérieure appliquée sur Titan.

2. On se place dans la base orthonormée (T, N), centrée sur le centre de Titan dans laquelle T est un vecteur unitaire porté par la tangente à la trajectoire et orienté dans le sens du mouvement et N un vecteur unitaire perpendiculaire à T et dirigé vers l'intérieur de la trajectoire. Donner l'expression vectorielle de la force gravitationnelle exercée sur Titan par Saturne.

3. Exprimer l'accélération vectorielle de Titan en précisant la loi utilisée.

4. Montrer que le mouvement de Titan est uniforme.

5. Retrouver l'expression de la vitesse de Titan sur son orbite autour de Saturne.

6. Déterminer la valeur de la vitesse de Titan v en m/s sur son orbite autour de Saturne.