


Terminale Spécialité Physique-Chimie	Thème : Mouvement et interactions	M.KUNST-MEDICA	
<u>Chapitre 8 : Mouvement dans un champ de gravitation</u>		Cours livre p 264 à 266	

Objectifs et trame du chapitre (6 séances)

I. Le mouvement des satellites et des planètes.

Activité documentaire n°8.1 : Les satellites de Mars (1 séance)

Capacités visées :

- Déterminer les caractéristiques des vecteurs vitesse et accélération du centre de masse d'un système en mouvement circulaire dans un champ de gravitation newtonien.
- Établir et exploiter la troisième loi de Kepler dans le cas d'un mouvement circulaire.

Exercices d'application à faire dès la fin de l'AE n°8.1 : 2-3-4-5-6-7 p 270 à 271

II. Les lois de Kepler.

Activité numérique n°8.2 : Neptune et ses satellites – Python-Belin p 56 à 59 (2 séances)

Capacités visées :

- Exploiter à l'aide d'un langage de programmation des données astronomiques ou satellitaires pour tester les deuxième et troisième lois de Kepler

III. Applications

Activité documentaire n°8.3 : Les satellites artificiels de la Terre (1 séance)

Capacités visées :

- Déterminer les caractéristiques d'un satellite géostationnaire.

Exercices d'application à faire dès la fin de AN 8.2 et de l'AD 8.3 : 8-9-10-11 p 270

Bilan et correction d'exercices (2 séances)

Synthèse des activités :

Vidéo cours mouvement dans un champ de gravitation (Stella)

<https://www.youtube.com/watch?v=EdIcPhGOMLg>

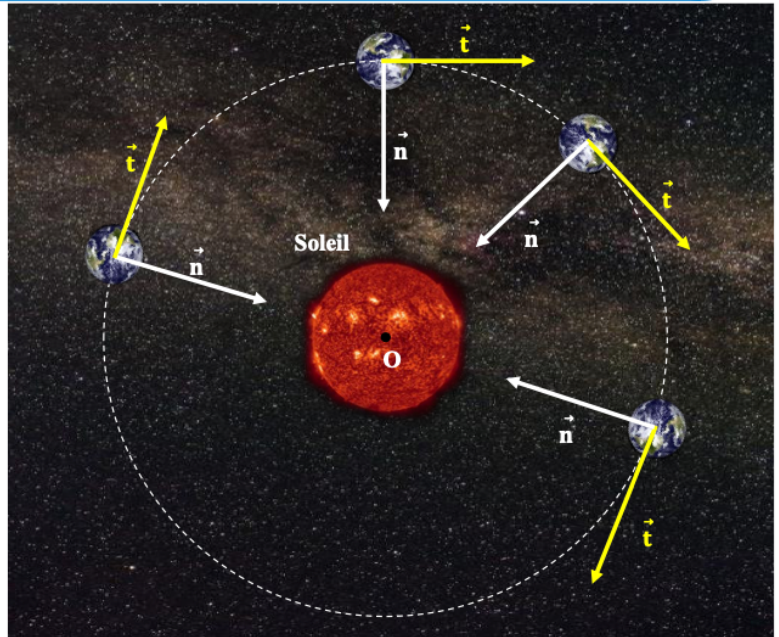


I. Le mouvement des satellites et des planètes.

RAPPEL : LE REPERE DE FRENET

Dans le cas d'un mouvement circulaire (ou elliptique), on utilise le « **repère de Frenet** » **mobile** et qui a comme origine le centre d'inertie de l'objet autour duquel tourne le système étudié et dont les vecteurs unitaires sont :

- \vec{n} : le **vecteur unitaire normal** (orthogonal) en tout point à la trajectoire du système étudié.
- \vec{t} : le **vecteur unitaire tangent** en tout point à la trajectoire du système étudié.



RAPPEL : LE REPERE DE FRENET

Dans le cas d'un mouvement circulaire, dans le repère de Frenet :

- Le **vecteur vitesse** s'écrit :

$$\vec{v} = \vec{v}_t + \vec{v}_n \text{ où } \begin{cases} \vec{v}_t = \frac{dOM}{dt} \vec{t} \\ \vec{v}_n = 0 \cdot \vec{n} \end{cases}$$

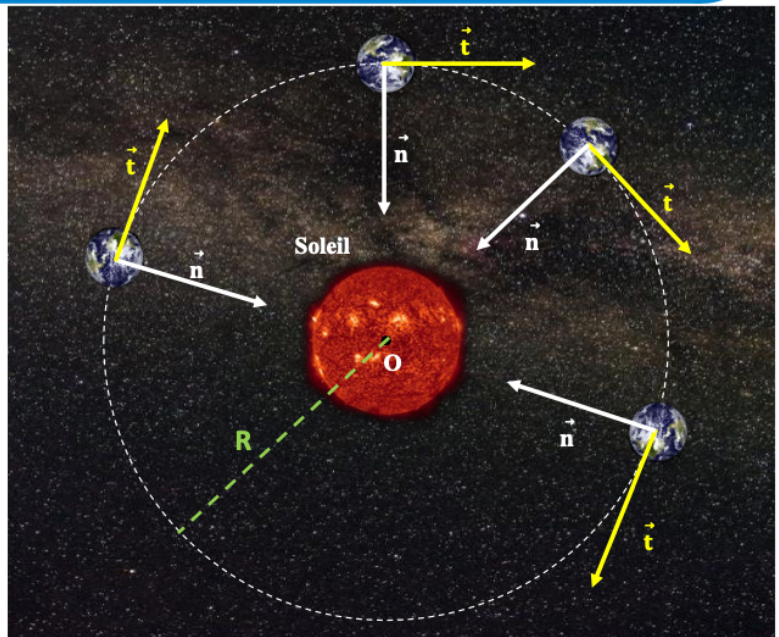
- Le **vecteur accélération** sera alors exprimée par ses deux composantes (normale et tangentielle) :

$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n \text{ où } \begin{cases} \vec{a}_t = \frac{dv}{dt} \vec{t} \\ \vec{a}_n = \frac{v^2}{R} \vec{n} \end{cases}$$

R : rayon de courbure correspondant à la distance entre le système étudié et le centre de sa trajectoire circulaire.

Si c'est un mouvement circulaire uniforme :

$$a_t = \frac{dv}{dt} = 0$$



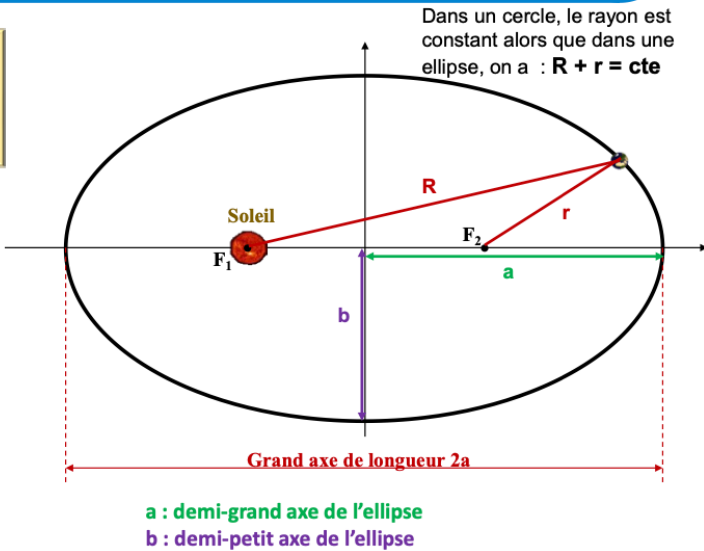
II. Les lois de Kepler.

1^{ère} LOI DE KEPLER : LOI DES ORBITES

1^{re} loi de Kepler:

Les orbites des planètes ne sont pas des cercles mais des **ellipses** dont le Soleil occupe un des deux **foyers**.

Cette loi peut être généralisée à tout astre gravitant autour d'un autre (ex : satellites autour des planètes, ...).

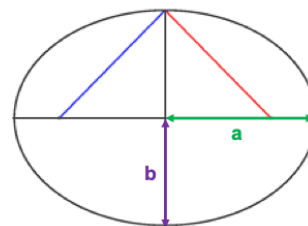
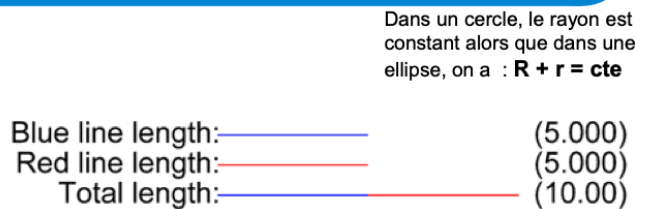


1^{ère} LOI DE KEPLER : LOI DES ORBITES

Définition

Les orbites des planètes ne sont pas des cercles mais des **ellipses** dont le Soleil occupe un des deux **foyers**.

Cette loi peut être généralisée à tout astre gravitant autour d'un autre (ex : satellites autour des planètes, ...).



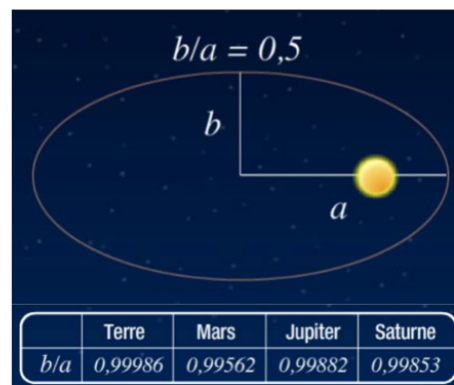
1^{ère} LOI DE KEPLER : LOI DES ORBITES

Définition

Les orbites des planètes ne sont pas des cercles mais des **ellipses** dont le Soleil occupe un des deux **foyers**.

Cette loi peut être généralisée à tout astre gravitant autour d'un autre (ex : satellites autour des planètes, ...).

Ces ellipses sont tellement légèrement aplaties qu'on pourra avoir une bonne approximation en considérant que ce sont des cercles.



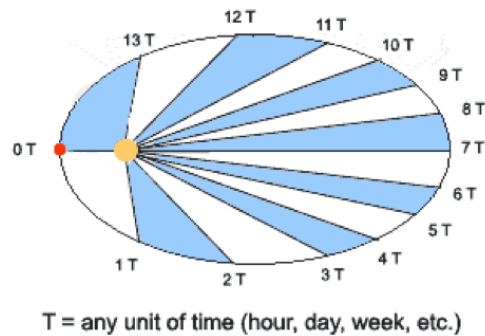
a : demi-grand axe de l'ellipse
b : demi-petit axe de l'ellipse

2^{ème} LOI DE KEPLER : LOI DES AIRES

Définition

Le segment de droite reliant le Soleil et la planète étudiée balaye des aires **S** égales pendant des durées Δt égales.

Cela a comme conséquence que, **plus la Terre s'approche du Soleil et plus sa vitesse augmente**, et inversement.

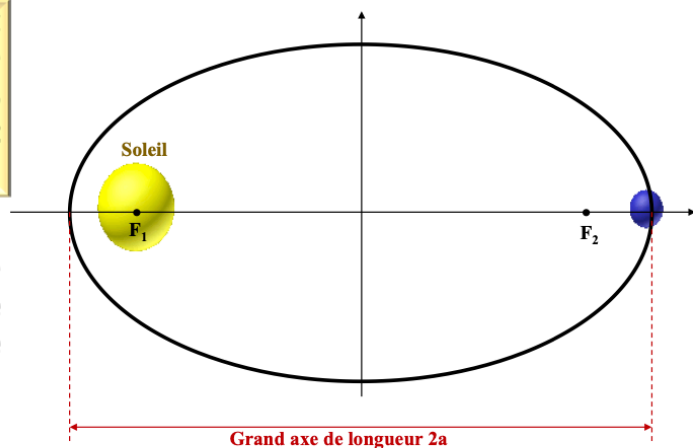


2^{ème} LOI DE KEPLER : LOI DES AIRES

Définition

Le segment de droite reliant le Soleil et la planète étudiée balaye des aires **S** égales pendant des durées Δt égales.

Cela a comme conséquence que, **plus la Terre s'approche du Soleil et plus sa vitesse augmente**, et inversement.



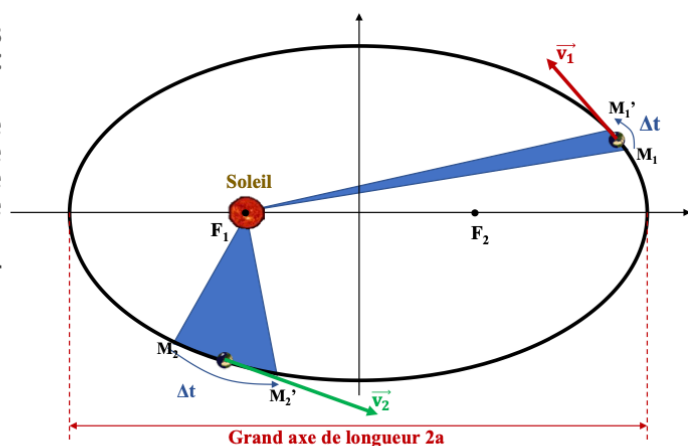
2^{ème} LOI DE KEPLER : LOI DES AIRES

Comment démontrer que la vitesse de la Terre est plus importante lorsqu'elle est proche du Soleil ?

La Terre parcourt la distance M_1M_1' pendant la durée Δt . Elle parcourt aussi la distance M_2M_2' pendant la même durée Δt .

On peut aisément remarquer que :

$$\begin{aligned} M_1M_1' &< M_2M_2' \\ \Rightarrow v_1 \cdot \Delta t &< v_2 \cdot \Delta t \\ \Rightarrow \boxed{v_1 < v_2} \end{aligned}$$



3^{ème} LOI DE KEPLER : LOI DES PERIODES

Définition

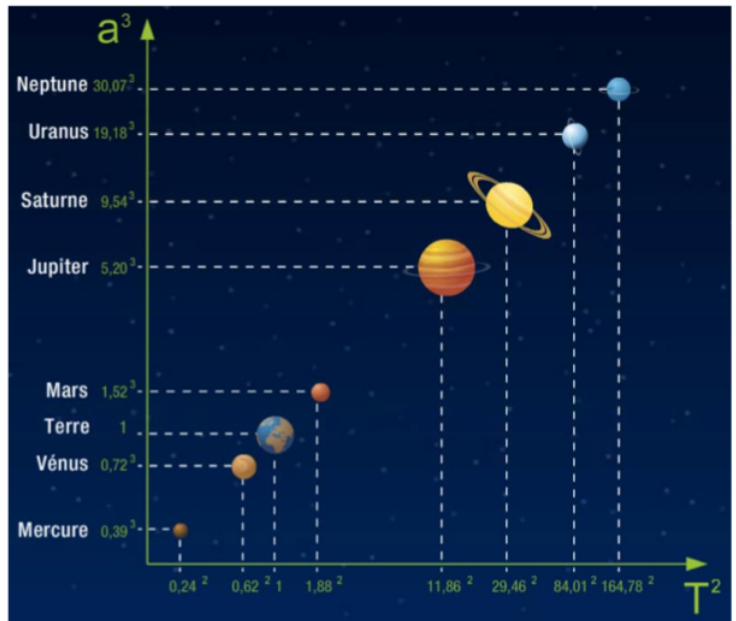
Le rapport du carré de la **période de révolution T** d'une planète autour du Soleil sur le cube du **demi grand axe a** de son ellipse est une constante, la même pour toutes les planètes du système solaire :

$$\frac{T^2}{a^3} = \text{constante}$$

Les planètes les plus lointaines sont donc les plus lentes, et inversement.

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{MG}$$

T'as qu'à pas manger



3^{ème} LOI DE KEPLER : DEMONSTRATION

On étudie ici le mouvement d'un satellite de masse m en orbite autour de la Terre de masse M, et dont le centre de masse est situé à une altitude h de la surface terrestre (donc à une distance R + h du centre de la Terre).

Dans le référentiel géocentrique, que l'on considèrera comme étant galiléen le temps de l'« expérience », la 2^{ème} loi de Newton (PFD) appliquée au satellite, dont la masse reste constante, s'écrit :

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m \cdot \vec{a}$$

La seule force à laquelle est soumis le satellite est la force gravitationnelle qu'exerce la Terre sur lui. On a donc dans le repère de Frenet :

$$G \cdot \frac{M \cdot m}{(R + h)^2} \cdot \vec{n} = m \cdot (\vec{a}_n + \vec{a}_t)$$

Si on considère (approximation) que le mouvement du satellite est uniforme, la composante tangentielle de l'accélération est nulle : $\vec{a}_t = \vec{0}$.

On a donc :

$$G \cdot \frac{M \cdot m}{(R + h)^2} \cdot \vec{n} = m \cdot \vec{a}_n \Leftrightarrow G \cdot \frac{M \cdot m}{(R + h)^2} \cdot \vec{n} = m \cdot \frac{v^2}{R + h} \vec{n}$$

$$\Rightarrow G \cdot \frac{M}{R + h} = v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R + h}}$$

Or, on sait que si on considère que la trajectoire du satellite est circulaire, il fera une révolution autour de la Terre pendant une durée $\Delta t = T$ (période).



La distance de cette révolution correspond au périmètre du cercle dont le centre est le centre d'inertie de la Terre et de rayon $r = R + h$.

Ce périmètre vaut donc : $P = 2\pi \cdot (R + h)$.

On a donc :

$$v = \frac{d}{\Delta t} \Leftrightarrow v = \frac{P}{T} \Leftrightarrow v = \frac{2\pi \cdot (R + h)}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi \cdot (R + h)}{v}$$

$$\Rightarrow T^2 = \frac{4\pi^2 \cdot (R + h)^2}{v^2} \Leftrightarrow T^2 = \frac{4\pi^2 \cdot (R + h)^2}{\frac{G \cdot M}{R + h}}$$

$$\Leftrightarrow T^2 = 4\pi^2 \cdot (R + h)^2 \cdot \frac{(R + h)}{G \cdot M}$$

$$\Leftrightarrow T^2 = \frac{4\pi^2 \cdot (R + h)^3}{G \cdot M} \Rightarrow \frac{T^2}{(R + h)^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot M} = \text{cte}$$

III. Applications

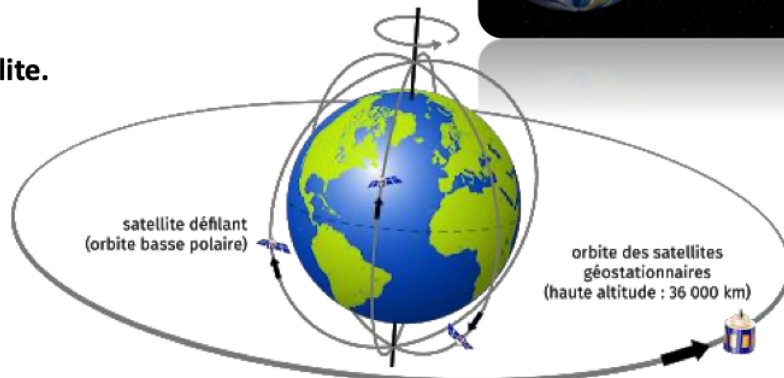
SATELLITE GEOSTATIONNAIRE

Un **satellite géostationnaire** est un satellite artificiel qui se trouve sur une orbite équatoriale située à environ **36 000 km** (35 786 km exactement) de la surface terrestre. Le satellite se déplace alors sur cette orbite de manière exactement **synchrone** avec la planète et reste constamment au-dessus de la même région de la surface terrestre.

Leur période de révolution T autour de la Terre est donc la même que la période de rotation de la Terre :

$T = 23\text{h } 56\text{min } 4\text{s}$.

Calculez la vitesse d'un tel satellite.

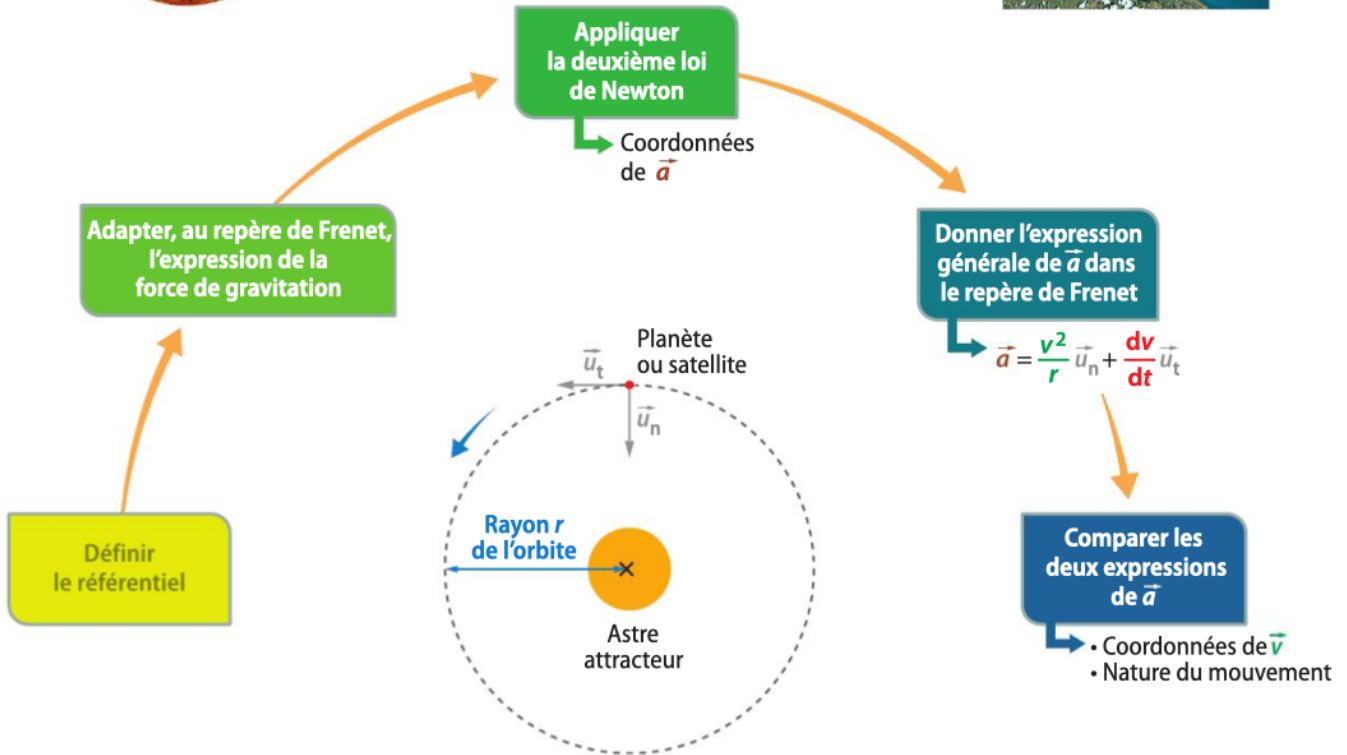


L'essentiel

Le mouvement des satellites et des planètes



Étude du mouvement circulaire du centre de masse d'une planète ou d'un satellite dans un référentiel astrocentrique supposé galiléen



Les lois de Kepler

Les trois lois de Kepler permettent d'étudier le mouvement d'un corps autour d'un astre attracteur.

L'application de la deuxième loi de Newton, dans le référentiel astrocentrique auquel est associé le repère de Frenet, permet de retrouver la troisième loi de Kepler dans le cas d'un mouvement circulaire et uniforme :

