

**Introduction** Des centaines de satellites tournent autour de la Terre. Quelles sont les forces sur ces mouvements et quelles sont les lois qui les régissent ?



## I- Les lois de Kepler

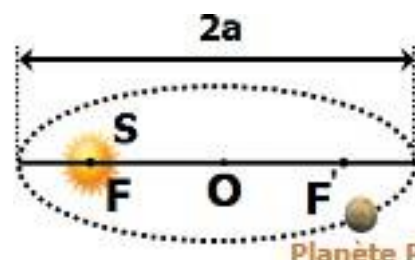
### 1-Le référentielle héliocentrique .

Le référentielle Galiléen convenable pour l'étude des mouvements des planètes autour du soleil est le **référentielle héliocentrique**. Son repère a pour origine le centre du soleil et ces axes sont dirigés vers trois étoiles lointaines considérées comme fixes pendant la durée des observations.

### 2-Les lois de Kepler :

#### 2-1 -Première loi de Kepler : loi des trajectoires.

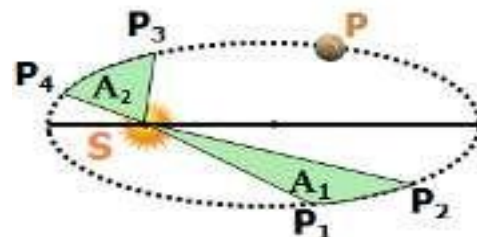
Dans un **référentiel héliocentrique**, la trajectoire du centre d'une planète est une **ellipse** dont le centre du soleil est l'un des foyers.



#### 2-2-Deuxième loi de Kepler : loi des aires .

Le segment de droites reliant les centres de gravité de soleil (S) et de la planète (P) balaie des aires égales pendant des durées égales.

Pendant la durée  $\Delta t$ , la planète se déplace de la position  $P_1$  à la position  $P_2$  et le vecteur SP a balayé une aire  $A_1$  ; et pendant la même durée  $\Delta t$ , la planète se déplace de la position  $P_3$  à la position  $P_4$  en balayant l'aire  $A_2$  . telle que  $A_1 = A_2$  . La vitesse devient donc plus grande lorsque la planète se rapproche du soleil.



#### 2-3-Troisième loi de Kepler : loi des périodes .

Le rapport du carré de la **période de révolution T** d'une planète autour du soleil au cube de **demi-grand axe a** de l'ellipse est constant.

$$\begin{matrix} (s) \rightarrow T^2 \\ (m) \rightarrow a^3 \end{matrix} = K$$

La constante K ne dépend pas de la planète

## II-Mouvement circulaire uniforme.

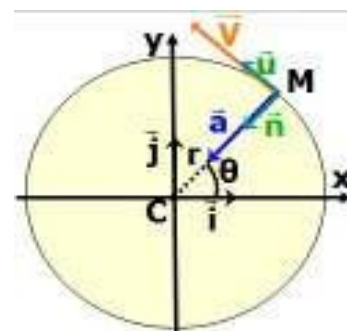
Les trajectoires des planètes peuvent être considérées comme circulaires, dans ce cas les lois de Kepler deviennent :

- ✓ La trajectoire de la planète est circulaire dont le centre est le Soleil.
- ✓ La vitesse de P est constante  $\Rightarrow$  mvt circulaire uniforme .
- ✓  $a = r$  : le rayon de la trajectoire est circulaire

### 1-Propriétés d'un mvt circulaire uniforme

Un mobile est en **mouvement circulaire uniforme** si sa trajectoire est un **cercle** et la valeur de la vitesse de son centre d'inertie **est constante**.

- ✦ La vitesse angulaire : .....
- ✦ La période du mouvement (s) : .....



❖ Le vecteur vitesse dans le repère de Frenet : .....

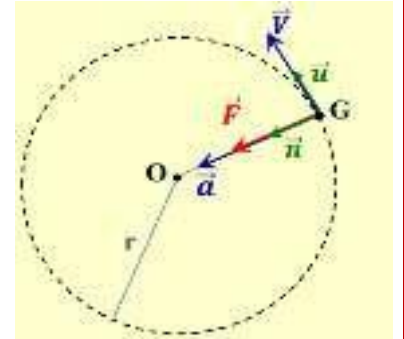
❖ Le vecteur d'accélération dans le repère de Frenet : .....

.....  
 .....

## 2- Conditions d'obtention d'un mouvement circulaire uniforme

En appliquant la deuxième loi de Newton : .....

.....  
 .....



$\vec{a}$  est une accélération ..... donc  $\vec{F}$  est .....

Pour que le mouvement d'un solide de masse  $m$  dans un référentiel galiléen soit circulaire uniforme si il faut que :

- La somme vectorielle  $\vec{F}$  des forces appliquées au solide soit centripète (dirigée vers le centre).
- La valeur de  $\vec{F}$  soit constante et vérifie la relation :  $F = \frac{mv^2}{r}$

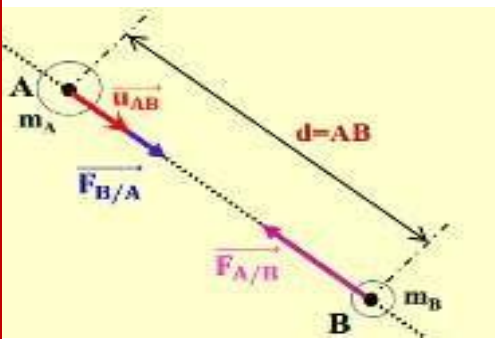
$m$  : masse du corps (kg)       $v$  : vitesse du corps (m/s)       $r$  : rayon de la trajectoire (m)

## III- Application des lois de Newton

### 1- La loi de gravitationnelle universelle.

La loi de la gravitation universelle est donnée par la relation:

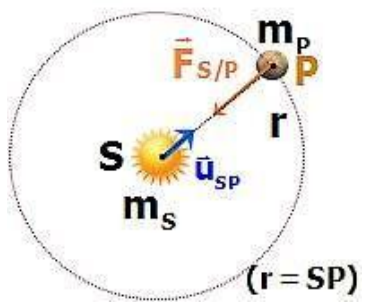
.....



- $\vec{F}_{A/B}$  : Force du corps A sur l'objet B en (N)
- $\vec{F}_{B/A}$  : Force du corps B sur l'objet A en (N)
- $G$  : constante de gravitation universelle :  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$
- $m_A$  : masse de l'objet A en (Kg)
- $m_B$  : masse de l'objet B en (Kg)
- $d$  : distance entre l'objet A et l'objet B en (m)
- $\vec{u}_{AB}$  : vecteur unitaire orienté de A vers B

### 2- Étude du mouvement d'une planète autour du soleil

On étudie le mouvement d'une planète de centre d'inertie  $P$ , de masse  $m_P$ , en mouvement autour du soleil de masse  $m_S$  et de centre  $S$ . On choisit le référentiel héliocentrique qui est galiléen. La seule force qui s'exerce sur la planète est la force d'attraction gravitationnelle exercée par le soleil.



En appliquant la **2<sup>ème</sup> loi de Newton**, montrer que le mouvement du planète P est un mouvement circulaire uniforme.

.....

.....

.....

.....

❖ **L'expression de la vitesse V du centre d'inertie de la planète :** .

.....

.....

.....

.....

.....

❖ **Période de révolution T :** La période de révolution d'une planète : c'est la durée d'un tour complet de son centre autour du soleil .

.....

.....

.....

.....

.....

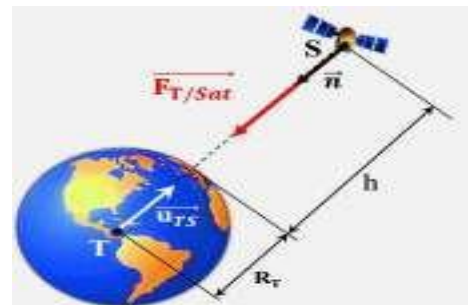
**Remarque** Cette relation permet de déterminer la masse M de la planète considérée à condition de connaître la période de révolution T du satellite autour de la planète et de connaître le rayon R de l'orbite du satellite.

**Vérification de 3<sup>ème</sup> loi de Kepler :** .....

.....

**3-Étude du mouvement d'un satellite autour de la Terre .**

On étudie un satellite en mouvement autour de la Terre. Le référentiel choisi est le **référentiel géocentrique** . La Terre de masse  $m_T$  exerce une force  $\vec{F} \rightarrow_{T/Sat}$  d'attraction gravitationnelle sur la satellite de masse  $m_{sat}$ . La deuxième loi de Newton donne :



En appliquant la **2<sup>ème</sup> loi de Newton**, montrer que le mouvement du Satellite S est un mouvement circulaire uniforme.

.....

.....

.....

.....

.....  
.....  
.....  
❖ **L'expression de la vitesse V du centre d'inertie du satellite :**

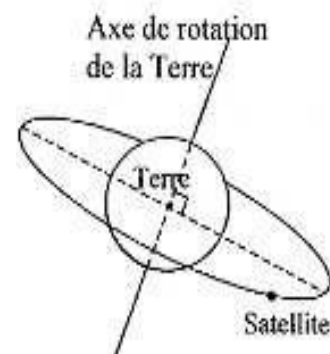
.....  
.....  
.....  
❖ **L'expression de période de révolution T :**

#### 4- La satellisation

La satellisation consiste à mettre **un satellite** sur son orbite autour de la terre en lui communiquant une vitesse lui permettant d'avoir un mouvement circulaire, La satellisation se fait en deux étapes :

- Porter le satellite loin de la terre (à une hauteur  $h > 200$  km)  
(pour éviter le frottement fluide) ;
- Lancer le satellite avec une vitesse perpendiculaire au vecteur  $\vec{TS}$  de valeur

$$V = \sqrt{G \frac{MT}{(R_T + h)}}$$



#### 5- Les satellites géostationnaires

On dit que un **satellite géostationnaire** si :

- Il semble immobile pour un observateur terrestre,
- Il tourne dans le **même sens** que celui de **la Terre** autour du même axe de rotation (axe des pôles) ;
- Il a une période de révolution T égale à la période de rotation de la Terre sur elle-même.  $T_{\text{sat}} = T_{\text{terre}}$

Pour satisfaire les conditions citées précédemment, l'orbite circulaire d'un satellite géostationnaire est donc contenue dans le plan équatorial de la Terre ;

**Application** Calculer l'altitude à laquelle doit se trouver un satellite pour être géostationnaire

.....  
.....  
.....  
**Données :**

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} (\text{SI}) ; T = 84164 \text{ s} ; M_T = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg} ; R_T = 6387 \text{ km}$$