

# Partie Comprendre : Lois et modèles

## CHAP 06-POLY Applications des lois de Newton et de Kepler

**Objectifs :** Comment déterminer les caractéristiques des mouvements à partir des lois de Newton et de Kepler ?

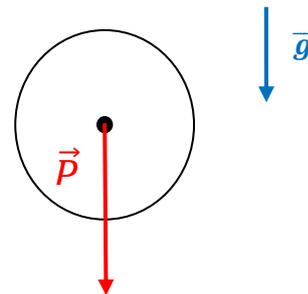
- Etudier des mouvements de points matériels dans des champs de pesanteur et électrostatique uniformes à l'aide des lois de Newton
- Etudier des mouvements de satellites ou de planètes à l'aide des lois de Newton et des lois de Kepler

### 1. VECTEUR CHAMP DE PESANTEUR

#### 1.1. Définition

Si  $\vec{g}$  = ..... le champ de pesanteur est dit .....

- Direction : .....
- Sens : .....
- Valeur : .....

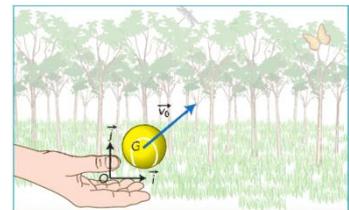


#### 1.2. Poids

$\vec{P}$  = .....

- Point d'application : .....
- Direction : .....
- Sens : .....
- Valeur : .....

avec  $g$  : champ de pesanteur  $9,8 \text{ m.s}^{-2}$  et  $m$  : masse de l'objet en kg



### 2. MOUVEMENT D'UN PROJECTILE DANS UN CHAMP DE PESANTEUR UNIFORME

**2.1. Schéma :** une balle de centre d'inertie G est lancée d'un point O, à une date  $t = 0$ , avec un vecteur vitesse initiale  $\vec{v}_0$  faisant un angle  $\alpha$  avec l'horizontale.

**2.2.** Soit le système .....

**2.3.** étudié dans le référentiel .....

**2.4.** On définit dans ce référentiel un repère .....

Le vecteur  $\vec{v}_0$  est dans le plan formé par  $\vec{i}, \vec{j}$

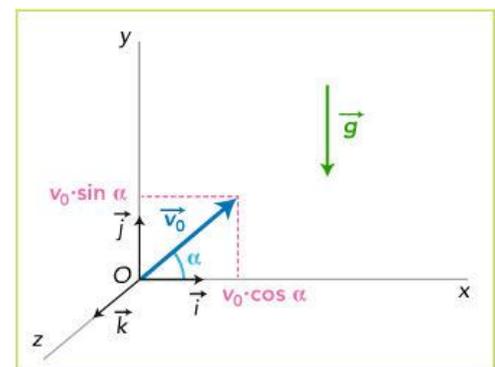
**2.5. conditions initiales** à  $t = \dots\dots$

- vecteur position  $\vec{OG}_0$  [yellow box]
- vecteur vitesse  $\vec{v}_0$  [yellow box]

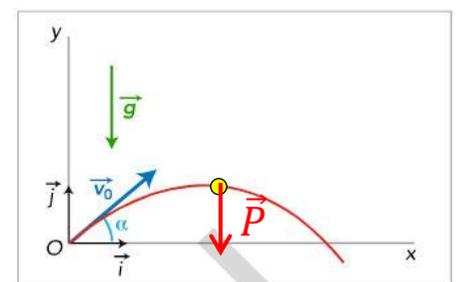
**2.6. inventaire des forces** extérieures appliquées au système

- .....
- .....
- .....

On néglige tout sauf le Poids (mvt de .....):  $\sum \vec{F}_{ext} = \dots\dots$



**Doc. 3** Champ de pesanteur uniforme et coordonnées du vecteur vitesse dans les conditions initiales. G coïncide avec O à la date  $t = 0$ .



### 2.7. De la 2<sup>ème</sup> loi de Newton à l'accélération

### 2.8. De l'accélération à la vitesse

### 2.9. De la vitesse à la position

### 2.10. Equation de la trajectoire

ANIMATION (mvt dans champ de pesanteur uniforme)

#### RESUME :

$$\vec{a} = \vec{g} = \dot{\vec{v}}$$

$$\vec{v} = \vec{a} t + \vec{v}_0 = \dot{\vec{OG}}$$

$$\vec{OG} = \frac{1}{2} \vec{a} \cdot t^2 + \vec{v}_0 \cdot t + \vec{OG}_0$$

## 3. CAS D'UNE PARTICULE CHARGÉE DANS UN CHAMP ELECTROSTATIQUE UNIFORME

**3.1. Schéma :** Une particule M, supposée ponctuelle, de charge électrique q et de masse m, est lancée à une date t = 0, dans un champ électrostatique uniforme  $\vec{E}$  depuis un point O avec un vecteur vitesse initiale  $\vec{v}_0$  faisant un angle  $\alpha$  avec l'horizontale.

**3.2.** Soit le **système** .....

**3.3.** étudié dans le **Référentiel** .....

**3.4.** On définit dans ce référentiel un **repère** .....

Le vecteur  $\vec{v}_0$  est dans le plan formé par  $\vec{i}, \vec{j}$

**3.5. conditions initiales** à t = .....

• vecteur position  $\vec{OG}_0$  .....

• vecteur vitesse  $\vec{v}_0$  .....

### 3.6. Forces exercées sur la particule

- .....
- .....
- .....

On néglige tout sauf la force électrostatique  $\vec{F}_e = \dots\dots\dots$

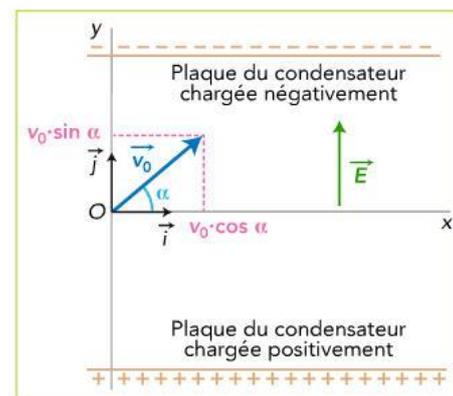
### 3.7. De la 2<sup>ème</sup> loi de Newton à l'accélération

### 3.8. De l'accélération à la vitesse

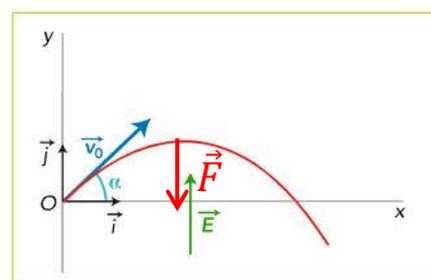
### 3.9. De la vitesse à la position

### 3.10. Equation de la trajectoire

ANIMATION (mvt ds champ électrostatique uniforme)



**Doc. 5** Champ électrostatique uniforme et coordonnées du vecteur vitesse dans les conditions initiales. La particule M coïncide avec O à la date t = 0.



**Doc. 6** Trajectoire d'une particule chargée négativement lancée depuis O dans un champ électrostatique  $\vec{E}$  uniforme.

#### RESUME :

$$\vec{a} = \frac{q}{m} \cdot \vec{E} = \dot{\vec{v}}$$

$$\vec{v} = \vec{a} t + \vec{v}_0 = \dot{\vec{OG}}$$

$$\vec{OG} = \frac{1}{2} \vec{a} \cdot t^2 + \vec{v}_0 \cdot t + \vec{OG}_0$$

**4. MOUVEMENT DES SATELLITES ET DES PLANETES**

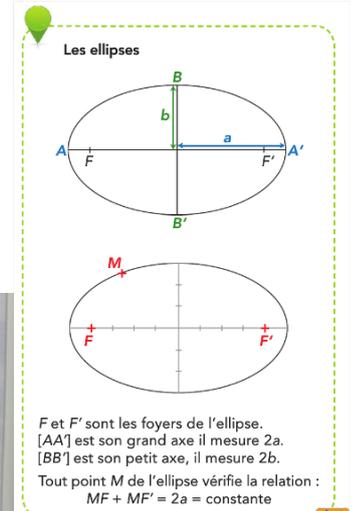
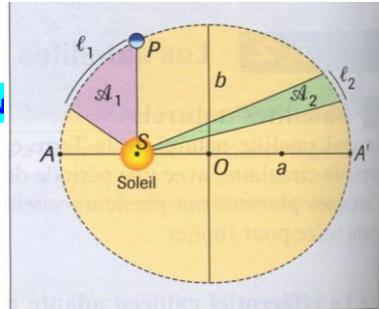
**4.1. 1ère loi de Kepler : Loi des orbites ANIMATION**

Dans le référentiel Héliocentrique, la trajectoire d'une planète est ..... dont le Soleil est l'un .....

**Complément : Qu'est-ce qu'une ellipse ANIMATION**

**4.2. 2ème loi de Kepler : Loi des aires ANIMATION**

Les .....  $\mathcal{A}_1$  et  $\mathcal{A}_2$  balayées par le ..... SP pendant des durées égales sont égales



**4.3. 3ème loi de Kepler : Loi des périodes**

$\frac{T^2}{a^3} = \dots\dots\dots$   
 (T ..... autour du Soleil en secondes ; a : ..... axe de l'ellipse)

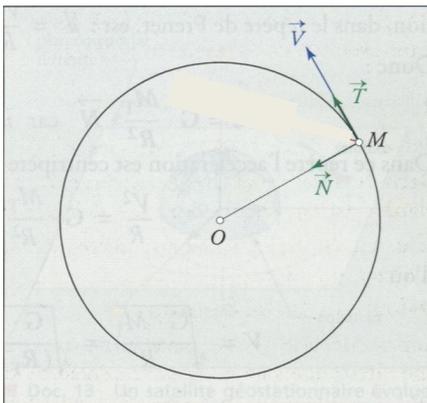
**Remarque** : Si la trajectoire est un cercle, a = ..... entre le centre du Soleil et le centre de la planète

**4.4. Base de Frénet**

**a) Définition**

La base de Frénet est .....

où M est un point qui a un mouvement circulaire au cours du temps (le repère lié au point M est donc .....)  
 $\vec{T}$  est un vecteur unitaire ..... à la trajectoire et orienté comme le vecteur .....  
 $\vec{N}$  et un vecteur unitaire ..... à la trajectoire donc perpendiculaire à  $\vec{T}$  et dirigé vers ..... du cercle



On utilise ce repère pour étudier les mouvements .....(uniformes)

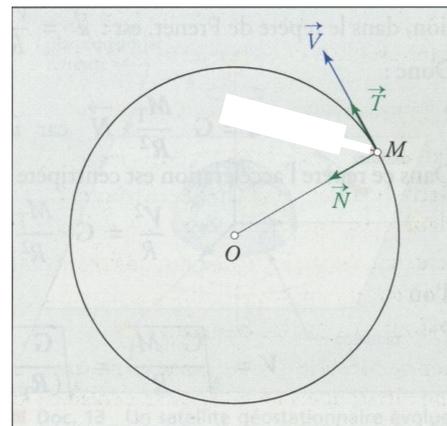


**b) Vecteur vitesse dans la base de Frénet**

Comme  $\vec{v}$  est tangent à la trajectoire :  
 $\vec{v} = \dots\dots\dots$

Donc dans la base de Frénet, les coordonnées du vecteur vitesse sont :

$\vec{v} ( \dots\dots\dots )$



**c) Vecteur accélération dans la base de Frénet**

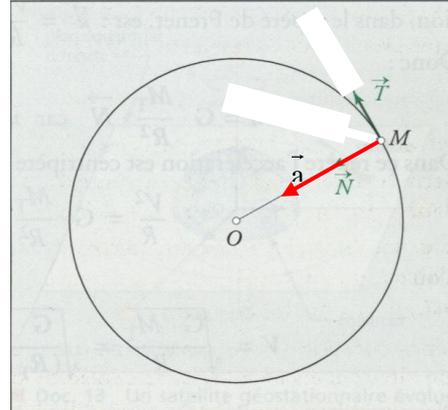
Par définition :  $\vec{a} =$  [ ]

Donc dans la base de Frénet, les coordonnées du vecteur accélération sont :

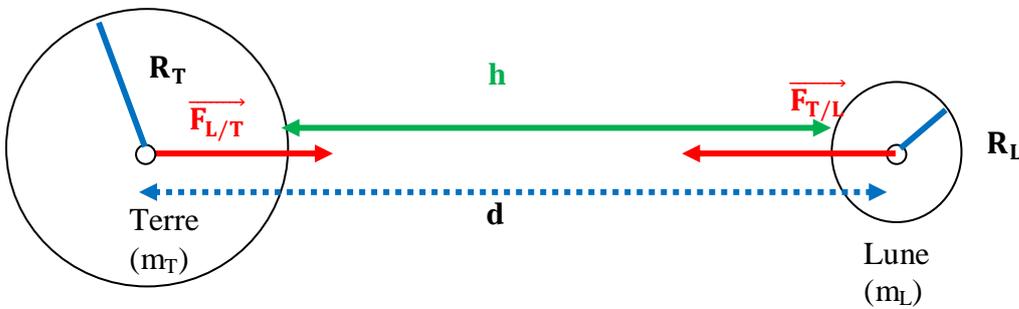
$$\vec{a} \left( \begin{matrix} \phantom{0} \\ \phantom{0} \end{matrix} \right)$$

Rq : Si la vitesse est constante  $\frac{dv}{dt} =$  [ ]

$$\vec{a} \left( \begin{matrix} \phantom{0} \\ \phantom{0} \end{matrix} \right)$$



**4.5. Loi de la gravitation universelle**



**Système :** [ ]

**Référentiel :** [ ]

**Forces :** [ ]

Valeur :  $F_{T/L} =$  [ ]

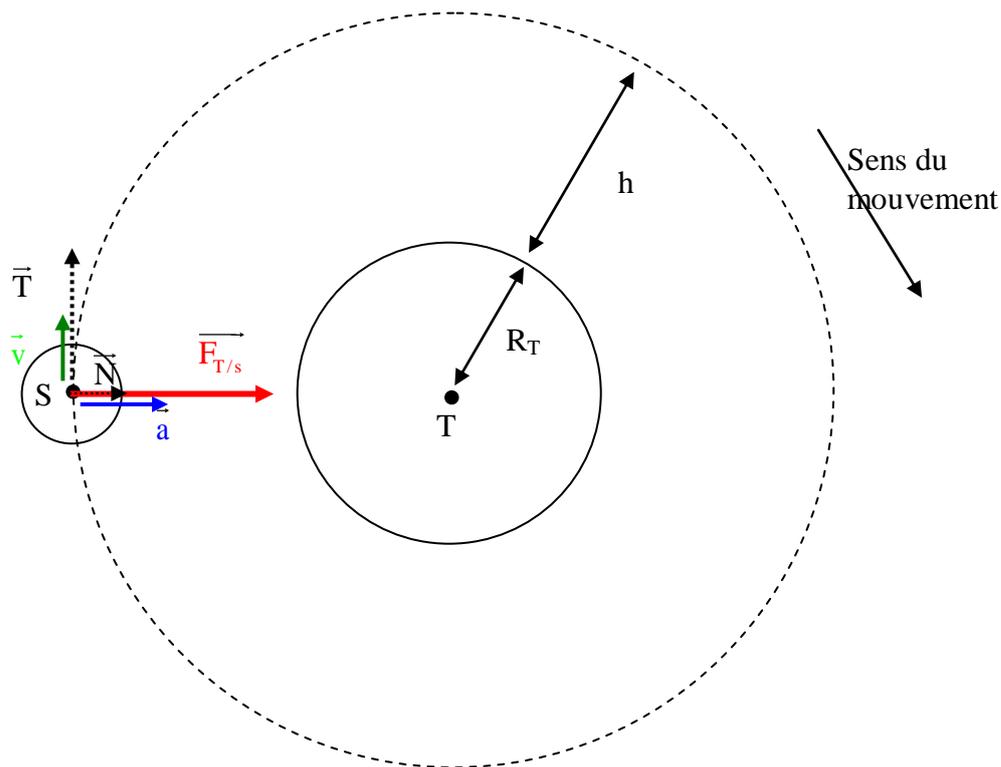
G est appelée constante de gravitation universelle :  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$   
 F est exprimée en Newton : N  
 $m_T$  et  $m_L$  en kg  
 d en mètres

**Rq 1 :**  
 D'après la [ ] loi de Newton ou principe des interactions réciproques, la force gravitationnelle exercée par la Lune sur la Terre notée  $\vec{F}_{L/T} =$  [ ] et :  $\vec{F}_{L/T} =$  [ ]

**Rq 2 :**  
 Si on considère la distance h entre la surface des 2 corps on a la relation  
 $d = R_T + h + R_L$

d'où :  $F_{T/L} =$  [ ]

#### 4.6. Etude du mouvement d'un satellite autour de la terre



**Système :** .....

**Réf :** .....

**Repère :** .....

**Force :** .....

(on néglige, les forces d'attraction gravitationnelles des autres astres ainsi que les forces de frottements de l'atmosphère)

**Remarques :**

- Le mouvement du satellite est supposé .....
- La masse du satellite est noté  $m_s$  et la masse de la Terre  $M_T$

##### a) Accélération du satellite

- Application de la 2<sup>ème</sup> loi de Newton
- Projection dans la base de Frénet

➤ Montrer que l'on obtient pour l'accélération:

$$\vec{a} \begin{pmatrix} a_T = 0 \\ a_N = G \cdot \frac{M_T}{(R_T+h)^2} \end{pmatrix}$$

Rq :

L'accélération ne dépend pas de ....., mais uniquement de .....

### b) Vitesse du satellite

- Sachant que par définition:

$$\vec{a} \begin{cases} a_T = \frac{dv}{dt} \\ a_N = \frac{v^2}{R} \end{cases} \text{ avec: } R = (R_T + h)$$

- Montrer que l'on obtient pour la vitesse:

$$\begin{cases} v = \text{constante} \\ v = \sqrt{G \cdot \frac{M_T}{(R_T + h)}} \end{cases}$$

- (1) nous dit que  $v$  est constante donc que le mouvement est circulaire uniforme
- (2) nous donne l'expression de  $v$

Rq :

La vitesse dépend de ..... du sat et est ..... pour une altitude donnée  
Elle ne dépend pas de ....., mais uniquement de .....

### c) Période de révolution

- Sachant que la trajectoire est .....  
et que le périmètre  $d =$  .....  
est parcouru en une durée  $\Delta t =$  ..... appelée .....

- Montrer que :

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot (R_T + h)}{T}$$

- et en déduire l'expression de la période de révolution :

$$T = \frac{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(R_T + h)^3}}{\sqrt{G \cdot M_T}}$$

Rq :  $T$  ne dépend que de ..... et de .....

### d) 3<sup>ème</sup> loi de Kepler

- Montrer que :

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

Rq: si on a une ellipse et pas un cercle on remplace  $(R_T + h)$  par .....

### e) Satellite géostationnaires

Les satellites géostationnaires sont surtout utilisés comme relais dans le domaine de la télécommunication ou comme satellites d'observation en météorologie.

Pour être géostationnaire,

un satellite doit satisfaire à plusieurs conditions.

Dans le référentiel géocentrique :

- Il doit décrire un cercle dans le plan .....
- Le sens du mouvement doit être ..... que celui de la rotation de la Terre autour de l'axe des pôles ;
- Sa période de révolution doit être ..... à la période de rotation propre de la Terre :  $T = 23 \text{ h } 56 \text{ min} = 86160 \text{ s}$

- Montrer que pour que cette dernière condition soit réalisée, il faut que le satellite évolue à une altitude bien déterminée :

$$h = \sqrt[1/3]{\frac{T^2 \cdot G \cdot M_T}{4 \cdot \pi^2}} - R_T = \dots\dots\dots$$

