La capsule du débutant

Mécanique céleste

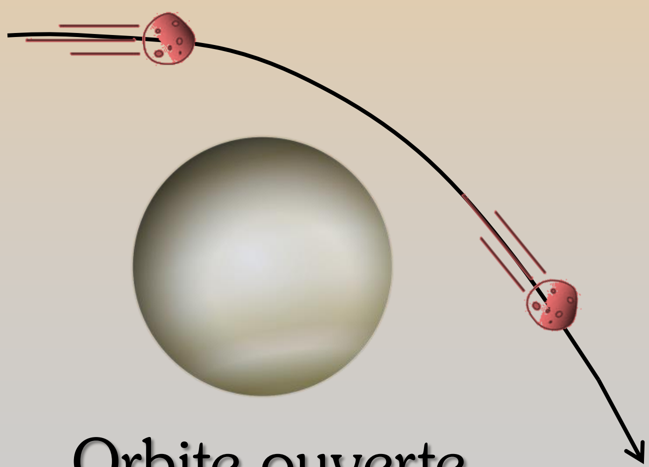
- ✓ Les orbites

LES OBJECTIFS

- Au terme de cette présentation, le participant pourra :
  - Expliquer les grands déterminants physiques et mathématiques des mouvements orbitaux.
  - Effectuer des mesures simples sur les paramètres des orbites courantes.
  - Énumérer et commenter les éléments couramment utilisées dans la description des orbites.

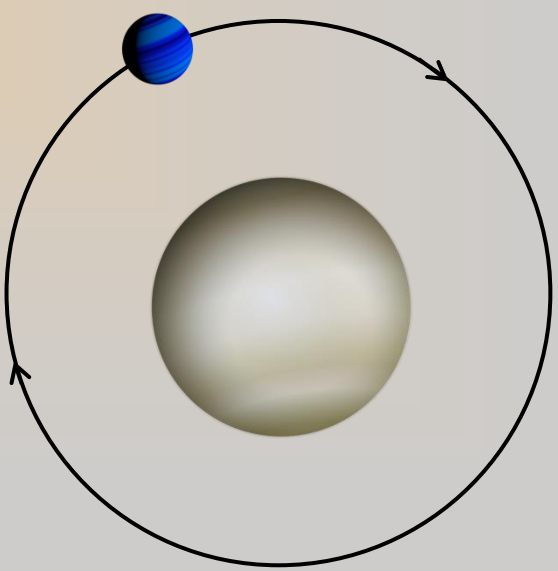
QU'EST-CE QU'UNE ORBITE ?

- Une **orbite** est une trajectoire courbe que d'écrit un astre autour d'un autre dans l'espace.



Orbite ouverte

Orbite fermée

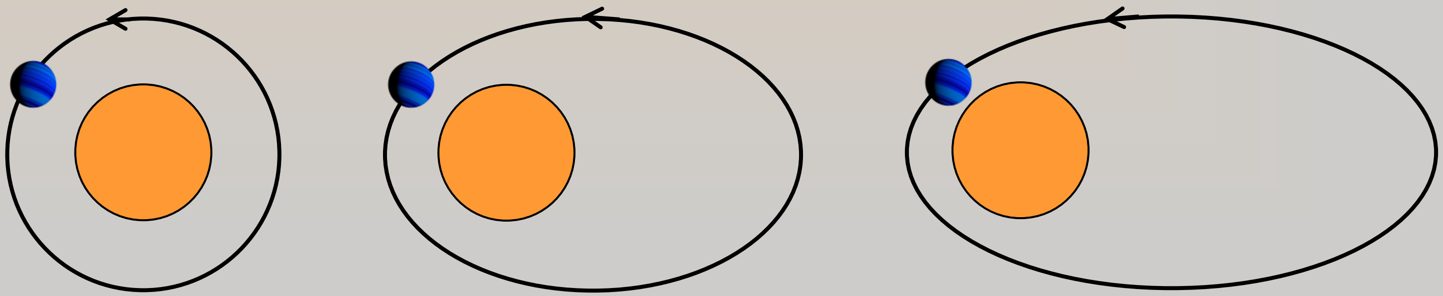


QU'EST-CE QU'UNE ORBITE ?

- Une **orbite** est une trajectoire curvilinéaire suivie par un corps céleste autour d'un barycentre sous l'influence gravitationnelle d'un autre corps. Cette trajectoire est stabilisée par la vélocité du corps orbitaire.

QU'EST-CE QU'UNE ORBITE ?

- Une orbite est une **trajectoire curvilinéaire** suivie par un corps céleste autour d'un barycentre sous l'influence gravitationnelle d'un autre corps. Cette trajectoire est stabilisée par la vélocité du corps orbitaire.

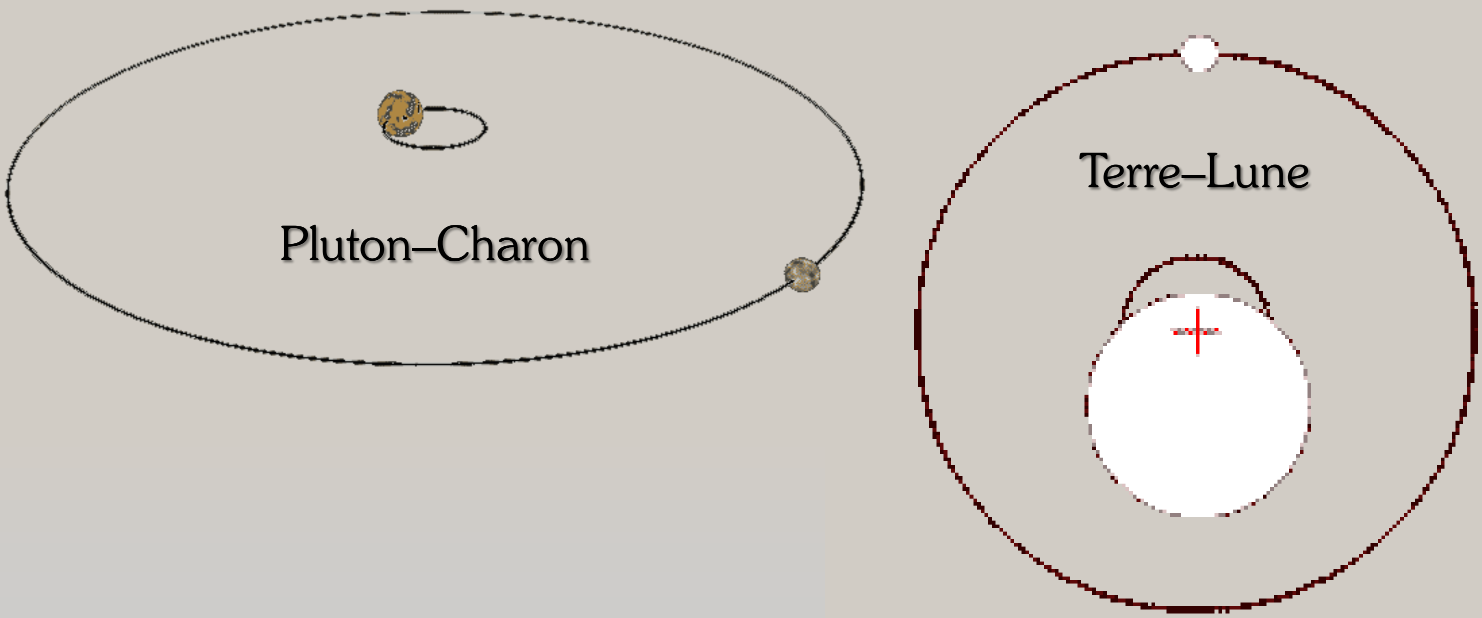


QU'EST-CE QU'UNE ORBITE ?

- Une orbite est une trajectoire curvilinéaire suivie par un corps céleste autour d'un **barycentre** sous l'influence gravitationnelle d'un autre corps. Cette trajectoire est stabilisée par la vélocité du corps orbitaire.

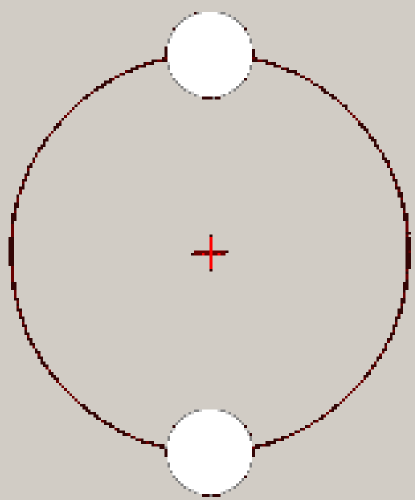
QU'EST-CE QU'UNE ORBITE ?

- Une orbite est une trajectoire autour d'un **barycentre**…(Centre de masse du système)

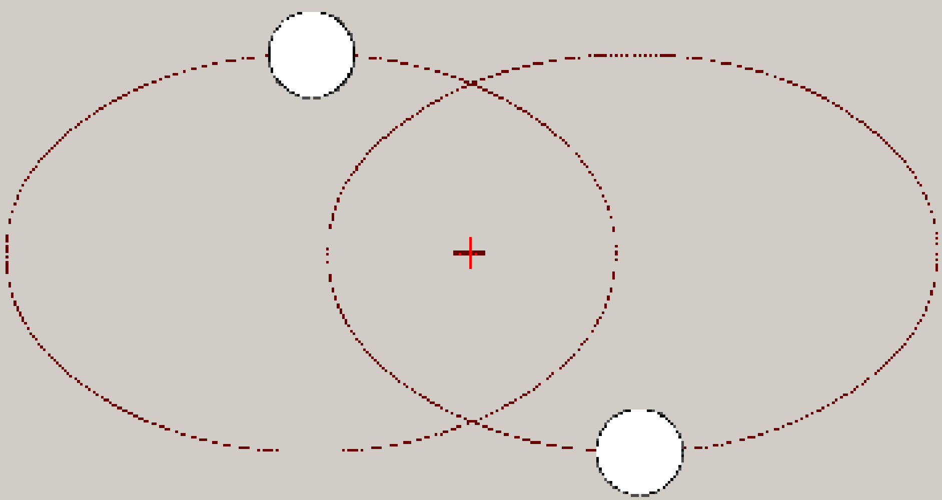


QU'EST-CE QU'UNE ORBITE ?

- Une orbite est une trajectoire autour d'un **barycentre**…(Centre de masse du système)



Masses identiques,
orbites circulaires



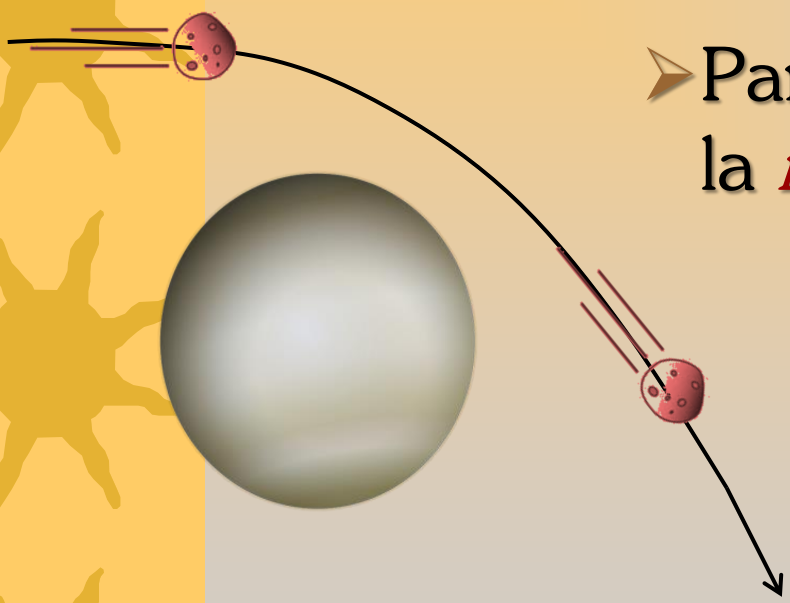
Masses identiques,
orbites elliptiques

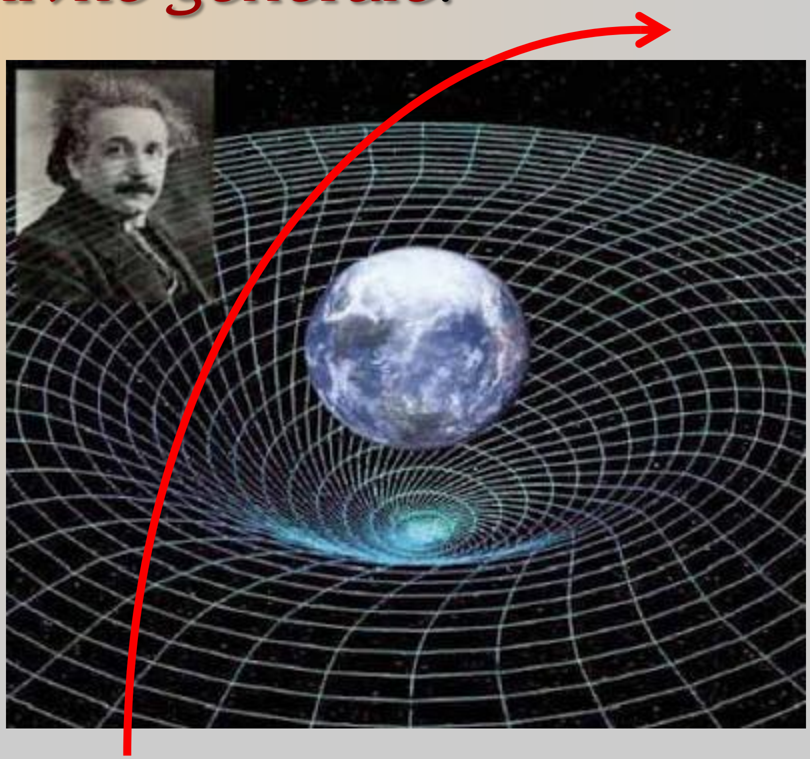
QU'EST-CE QU'UNE ORBITE ?

- Une orbite est une trajectoire curvilinéaire suivie par un corps céleste autour d'un barycentre sous l'**influence gravitationnelle** d'un autre corps. Cette trajectoire est stabilisée par la vélocité du corps orbitaire.

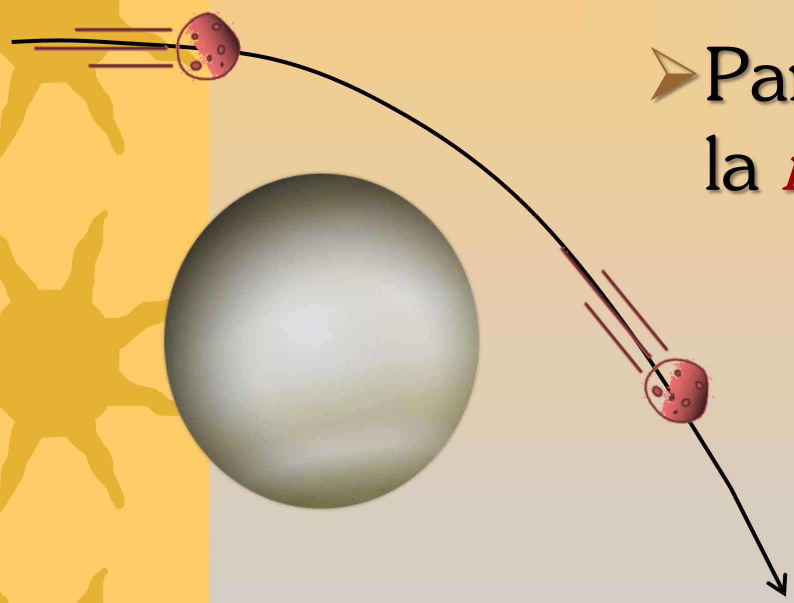
QU'EST-CE QU'UNE ORBITE ?

- Deux interprétations :
  - Paradigme einsteinien ➡ la *relativité générale*.





QU'EST-CE QU'UNE ORBITE ?



- Deux interprétations :
  - Paradigme einsteinien ➡ la *relativité générale*.
  - Paradigme newtonien ➡ la *gravitation universelle*.

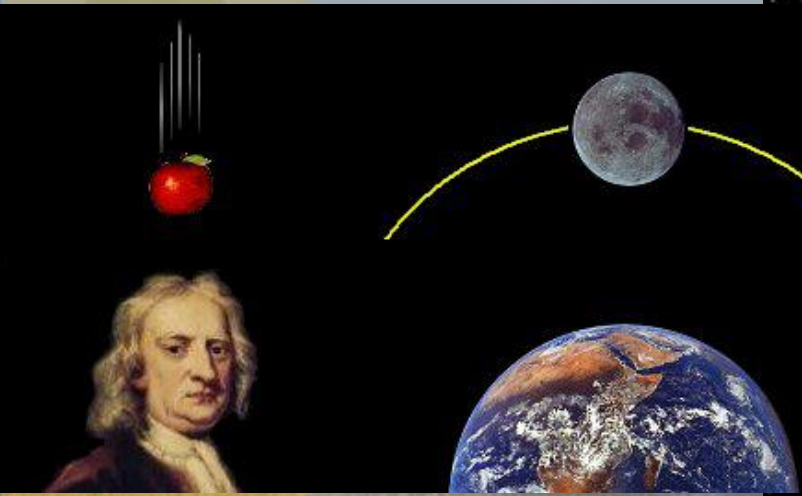
Au cours de cette présentation, nous allons adopter le paradigme newtonien.

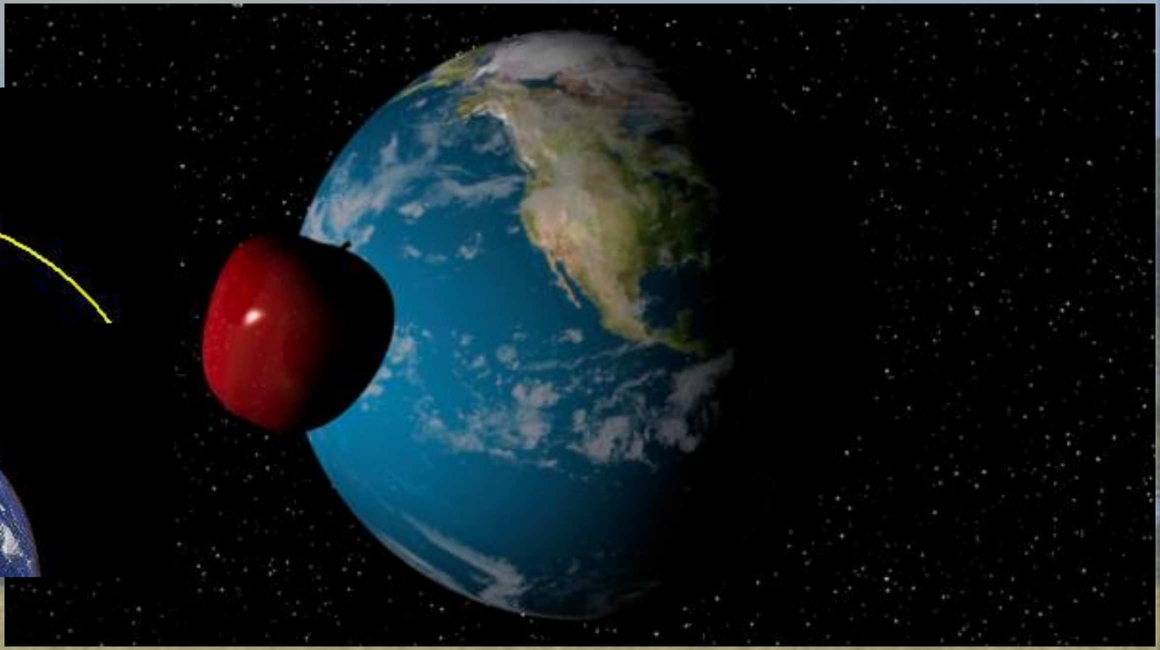
QU'EST-CE QU'UNE ORBITE ?

- Pourquoi la pomme tombe-t-elle ?

QU'EST-CE QU'UNE ORBITE ?

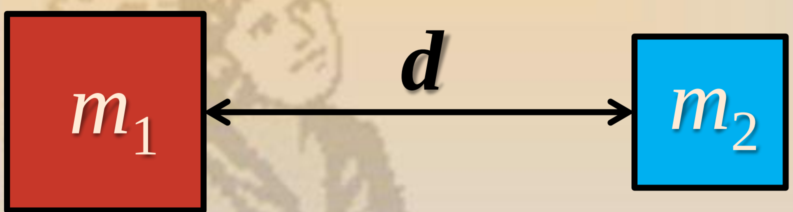
- Pourquoi la pomme tombe et que la Lune ne tombe pas ?





DYNAMIQUE DES ORBITES

- Calcul de l'orbite
  - Rappels sur la loi de la gravitation universelle



$$\boxed{\vec{F} = G\,\frac{m_1 \bullet m_2}{d^2}}$$

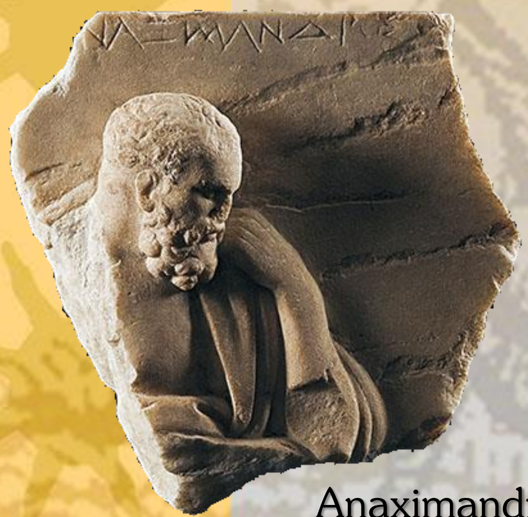
Où $\boldsymbol{G}$ (constante gravitationnelle) = 6,67 x 10^{-11} $m^3 \bullet kg^{-1} \bullet s^{-2}$

Et $\boldsymbol{F}$ est en Newton (N): $kg \bullet m \bullet s^{-2}$

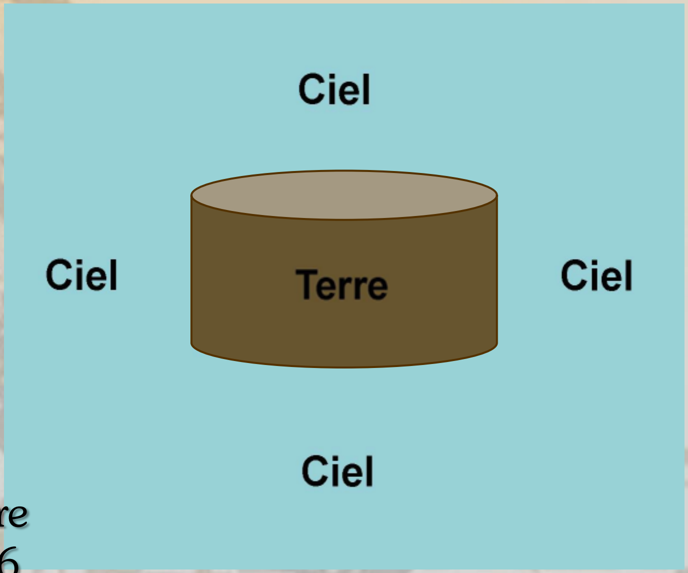
DYNAMIQUE DES ORBITES

- Calcul de l'orbite
  - Rappels sur la loi de la gravitation universelle

L'application de la masse



Anaximandre
-610 à - 546

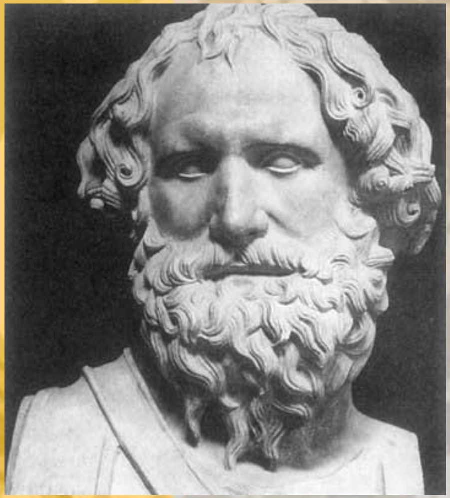


« Les choses ne tombent pas vers un bas absolu, mais plutôt vers le **centre** de la Terre. »
Anaximandre

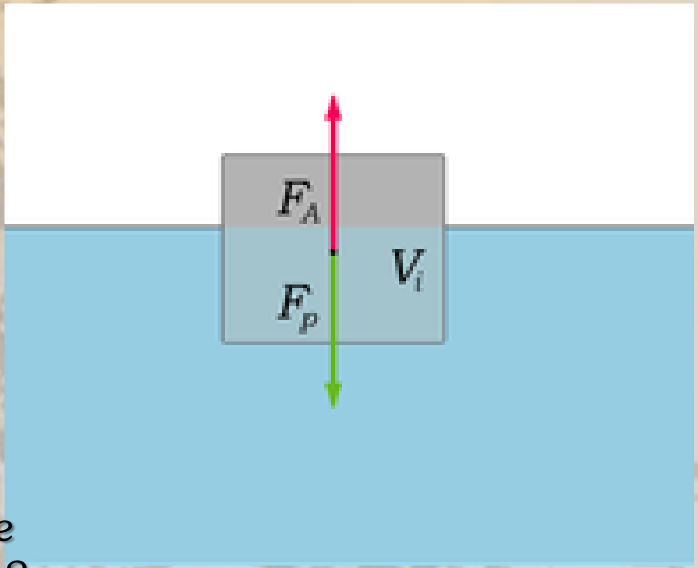
DYNAMIQUE DES ORBITES

- Calcul de l'orbite
  - Rappels sur la loi de la gravitation universelle

L'application de la masse



Archimède
-287 à - 212



« Tout corps pesant a un **centre de gravité** bien défini en lequel tout le poids du corps peut être considéré comme concentré »

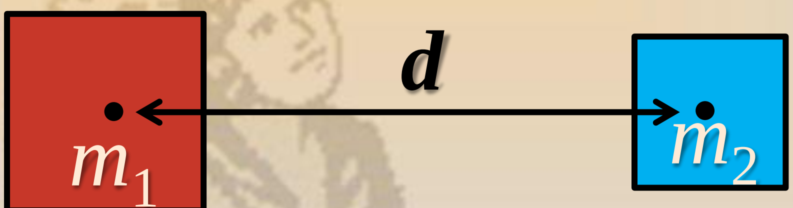
Archimède

DYNAMIQUE DES ORBITES

Calcul de l'orbite

- Rappels sur la loi de la gravitation universelle

Exemple



m_1 = 1 000 kg
m_2 = 500 kg
d = 2 m

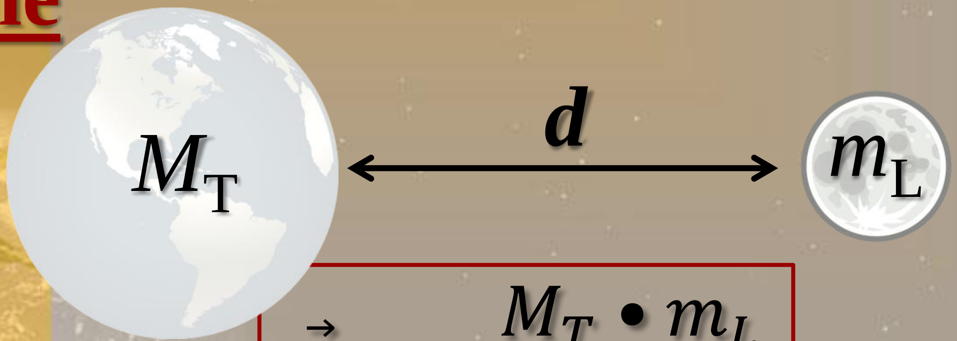
$$\boxed{\vec{F} = G\,\frac{m_1 \bullet m_2}{d^2}}$$

$\vec{F} = 6{,}67 \times 10^{-11}\,\frac{1000 \bullet 500}{2^2}$ = 8,34 x 10^{-6} N ou **8,34** **µN**

DYNAMIQUE DES ORBITES

- Calcul de l'orbite
  - Rappels sur la loi de la gravitation universelle

Exemple



M_T = 5,98 x 10^{24} kg
m_L = 7,36 x 10^{22} kg
d = 3,84 x 10^{8} m

$$\boxed{\vec{F} = G\,\frac{M_T \bullet m_L}{d^2}}$$

$$\vec{F} = 6{,}67 \times 10^{-11}\,\frac{5{,}98\times10^{24} \bullet 7{,}36\times10^{22}}{(3{,}84\times10^{8})^2}$$

$$\vec{F} = \mathbf{2 \times 10^{20}}\ \mathrm{N}$$

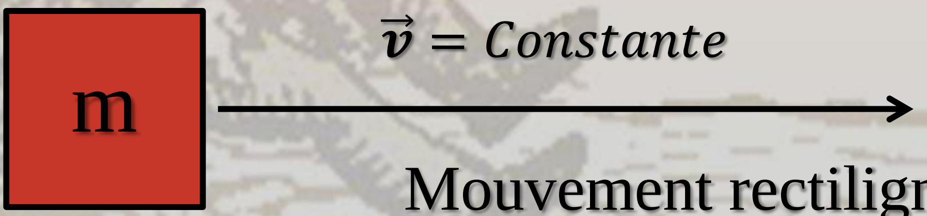
DYNAMIQUE DES ORBITES

Calcul de l'orbite

- Si la Lune est attirée par la Terre, pourquoi ne tombe-t-elle pas sur elle ?

1ère loi de Newton : loi d'inertie

Tout corps conservera son état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite, à moins qu'une force ne soit appliquée sur ce corps.



Mouvement rectiligne uniforme

DYNAMIQUE DES ORBITES

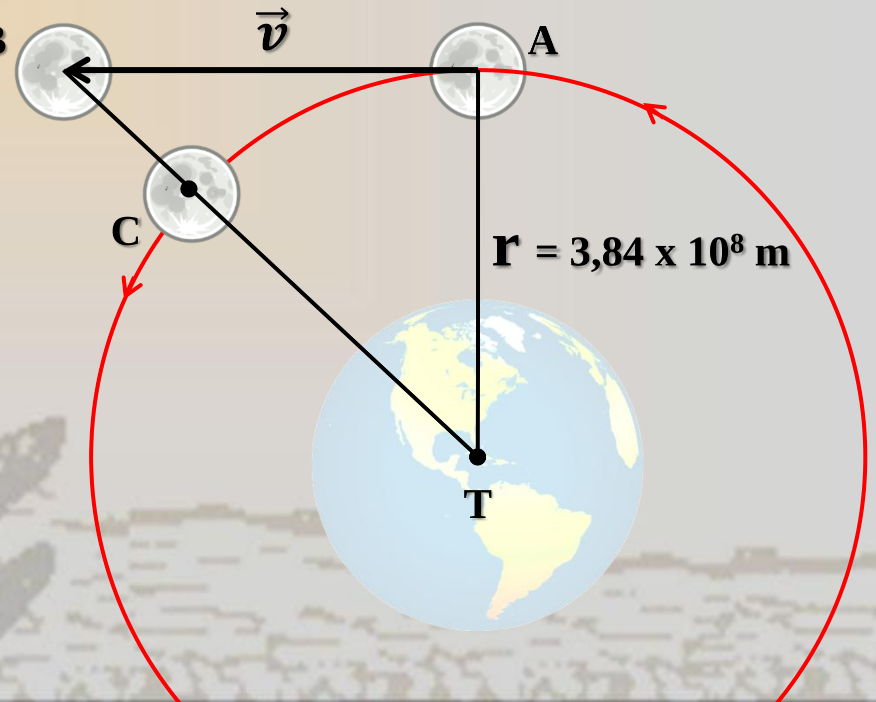
- Calcul de l'orbite
  - Si la Lune est attirée par la Terre, pourquoi ne tombe-t-elle pas sur la Terre ?

Supposons l'orbite de la Lune circulaire

$$C_L = 2\pi r = 2{,}41 \times 10^9 m$$

Durée (t) de l'orbite de la Lune = 27,3 jours

$$v = \frac{C}{t} = \mathbf{1\,020}\,\frac{m}{s}$$



DYNAMIQUE DES ORBITES

- Calcul de l'orbite
  - Si la Lune est attirée par la Terre, pourquoi ne tombe-t-elle pas sur la Terre ?

Supposons l'orbite de la Lune circulaire

En l'absence de gravitation, supposons A➡B en 1 seconde.

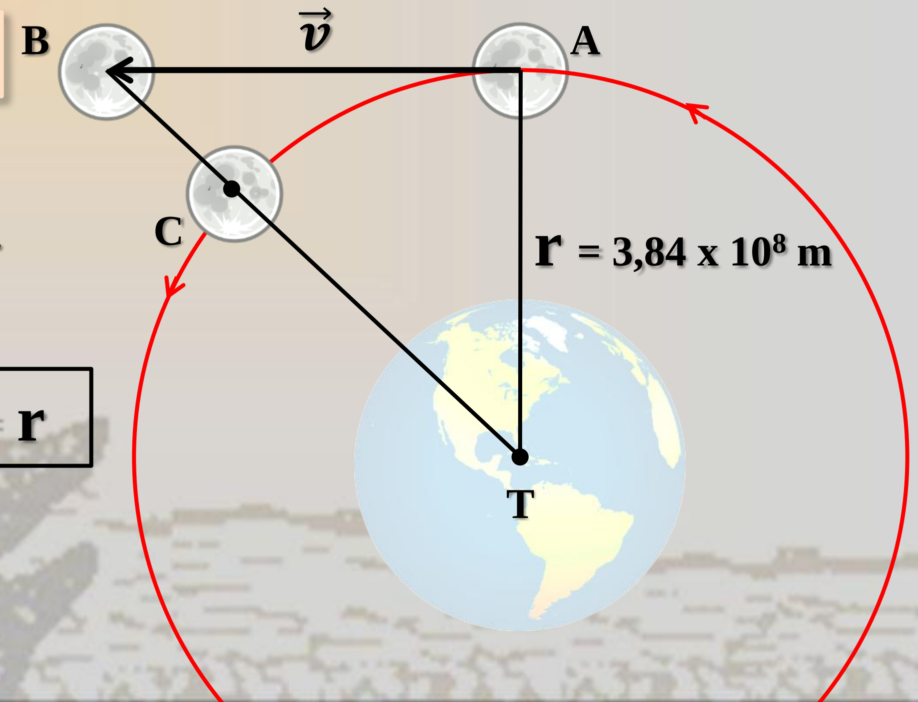
$$\overline{AB} = 1\,020m$$

$$BC = TB - TC$$

Or, TC= **r**

$$BC = \sqrt{r^2 + AB^2} - r$$

$$BC = \mathbf{1,3\ mm}$$



DYNAMIQUE DES ORBITES

✶Calcul de l'orbite

➢Si la Lune est attirée par la Terre, pourquoi ne tombe-t-elle pas sur la Terre ?

Supposons l'orbite de la Lune circulaire

En l'absence de gravitation, supposons A➡B en 1 seconde.

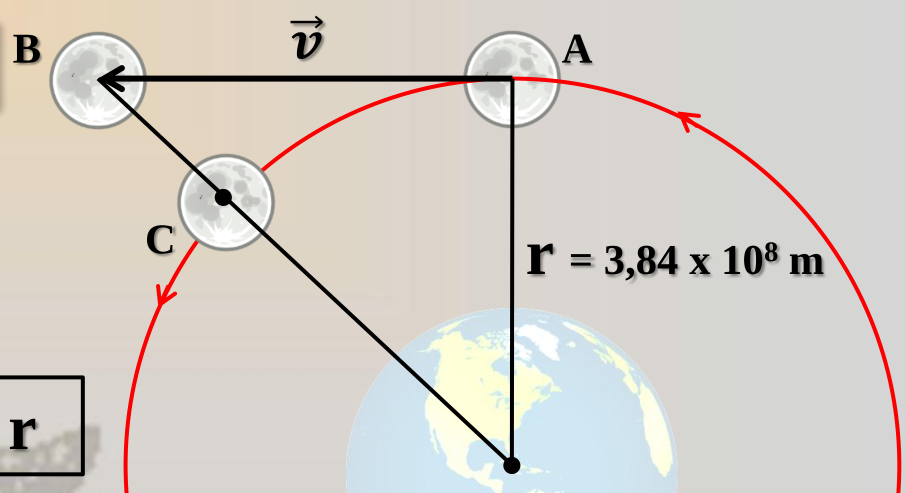
$$\overline{AB} = 1\,020m$$

$$BC = TB - TC$$

Or, TC= **r**

$$BC = \sqrt{r^2 - AB^2} - r$$

$$BC = \mathbf{1,3\ mm}$$



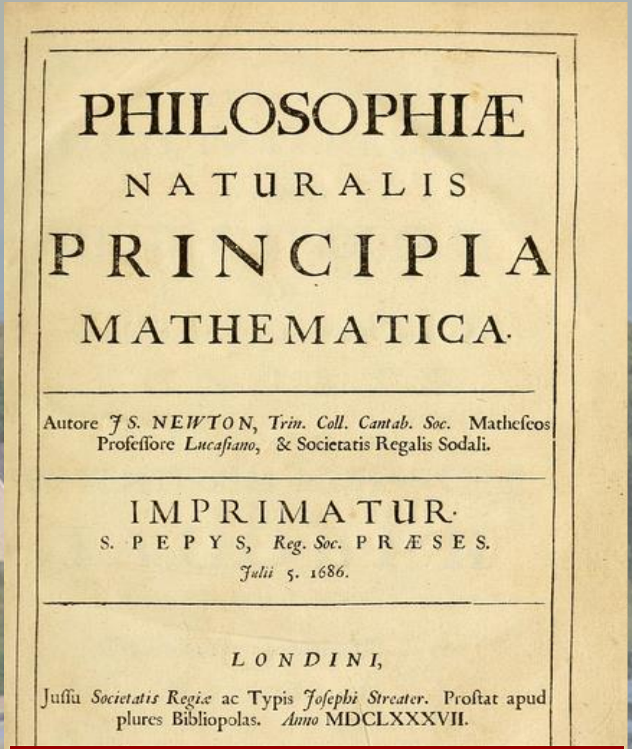
Ainsi, la Lune ***tombe*** sur la Terre de 1,3 mm par seconde !

DYNAMIQUE DES ORBITES

- Calcul de l’orbite
  - David St-Jacques flotte dans l’espace parce qu’il est en chute libre sur la Terre !

DYNAMIQUE DES ORBITES

- Expérience de pensée



PHILOSOPHIÆ

NATURALIS

PRINCIPIA

MATHEMATICA.

Autore J S. NEWTON, *Trin. Coll. Cantab. Soc.* Mathefeos Profeffore *Lucafiano*, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.

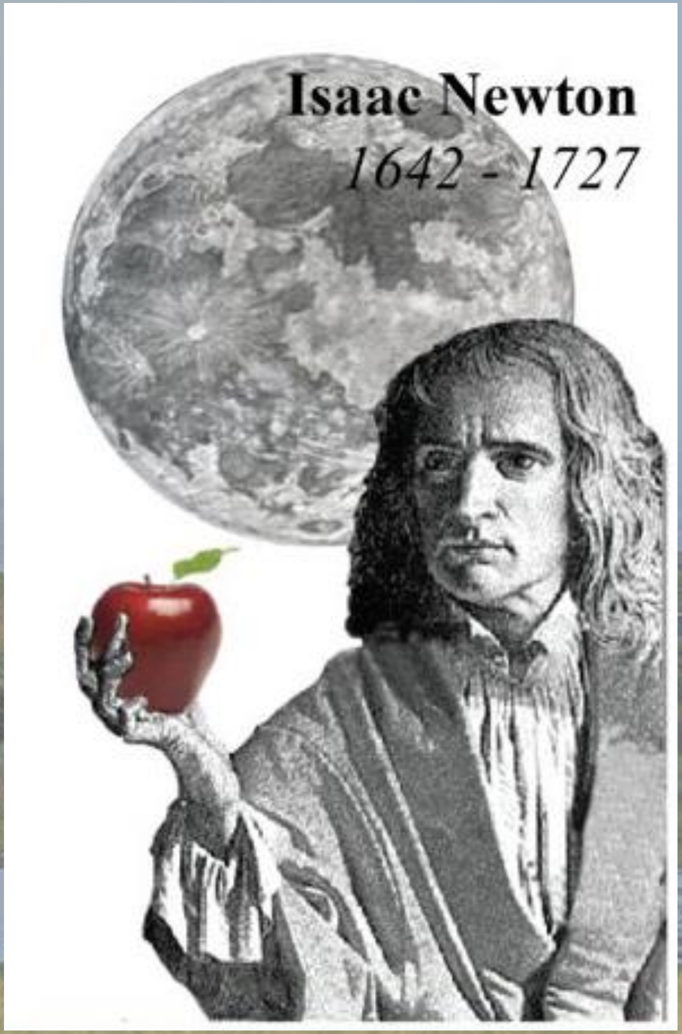
S. PEPYS, *Reg. Soc.* PRÆSES.

Julii 5. 1686.

LONDINI,

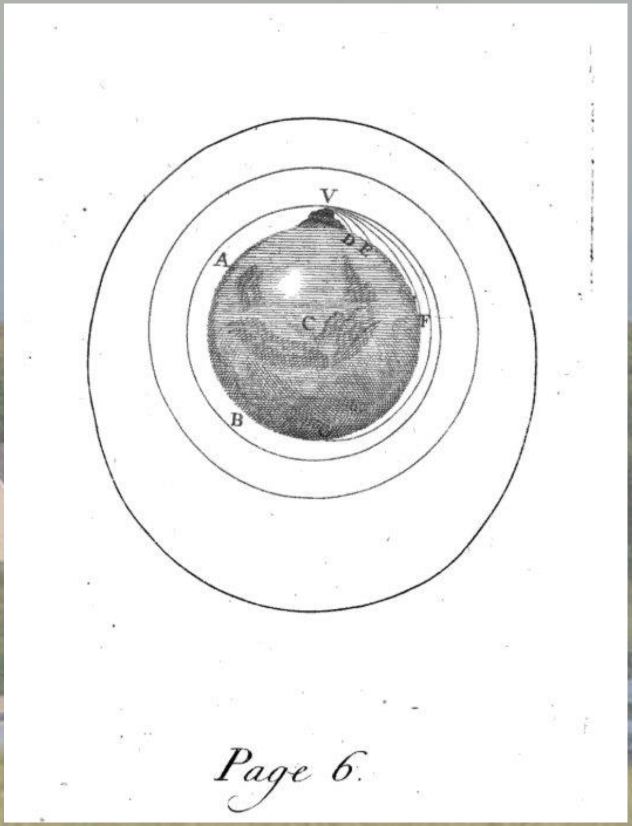
Juffu *Societatis Regiæ* ac Typis *Jofephi Streater*. Proftat apud plures Bibliopolas. *Anno* MDCLXXXVII.

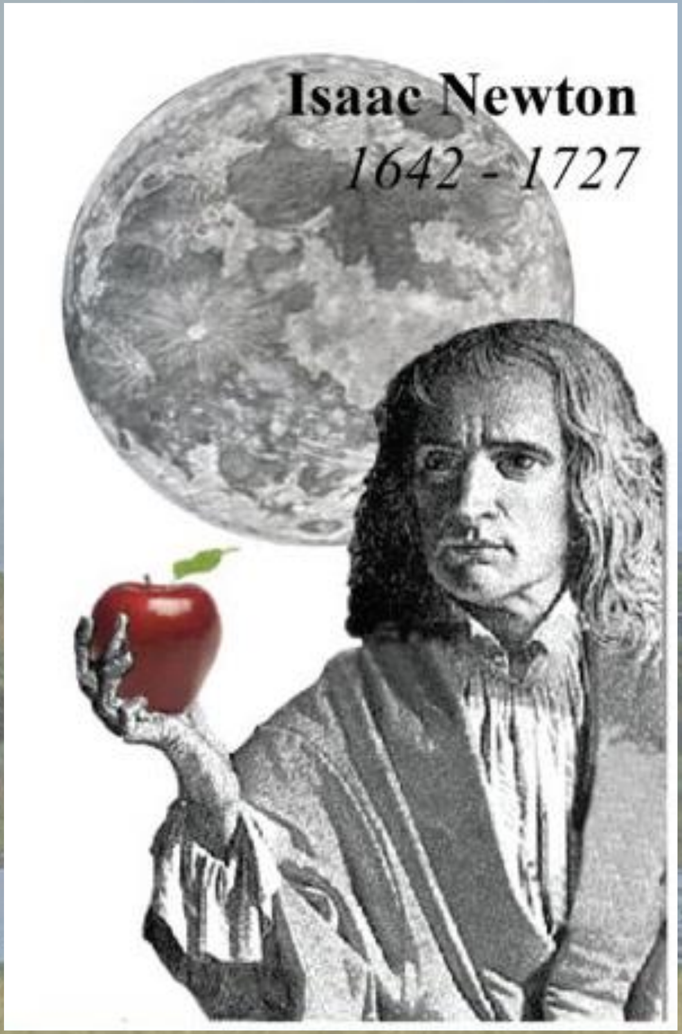
De mundi sistemate : liber tertius



DYNAMIQUE DES ORBITES

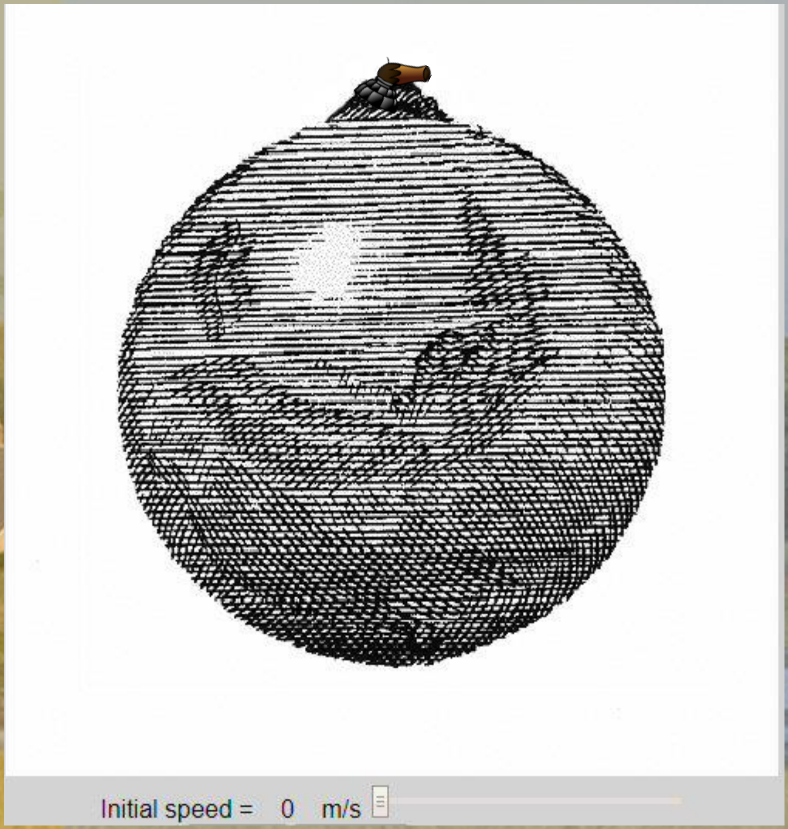
- Expérience de pensée

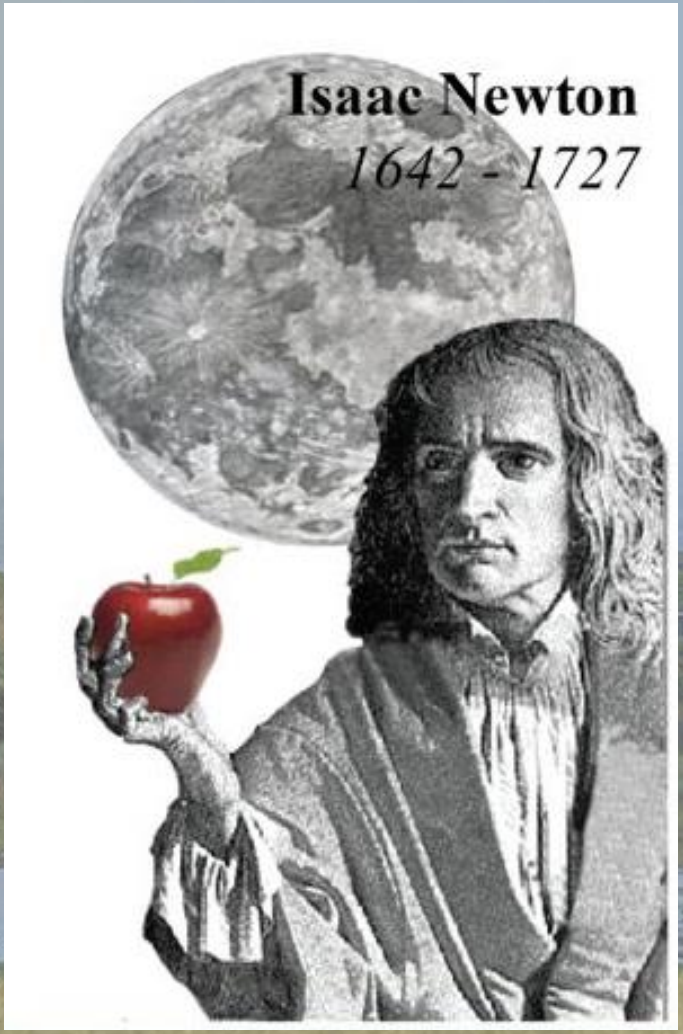




DYNAMIQUE DES ORBITES

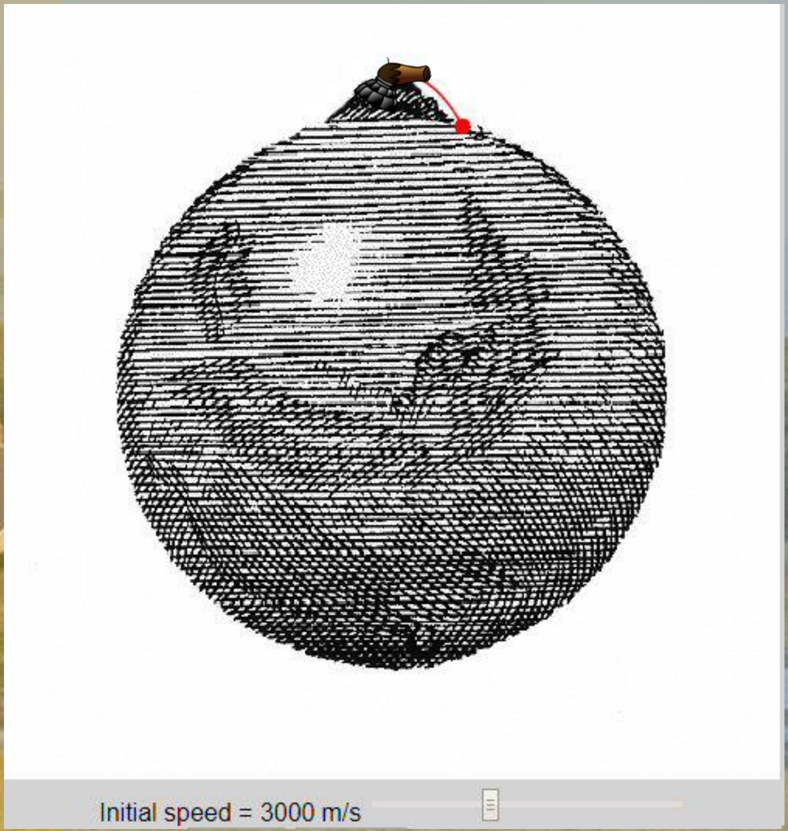
- Expérience de pensée

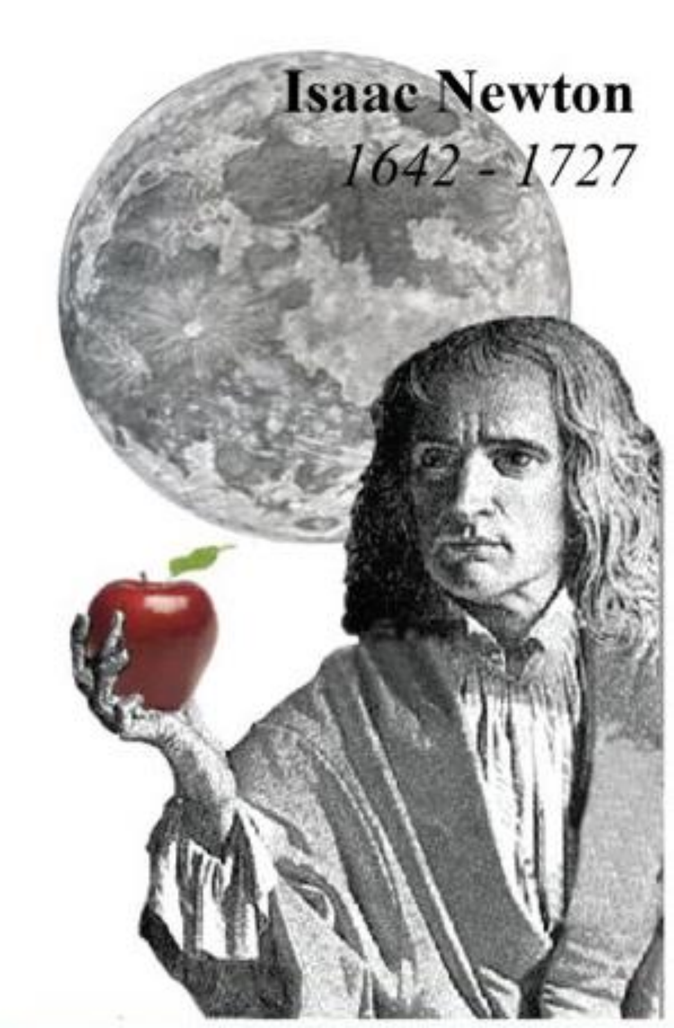




DYNAMIQUE DES ORBITES

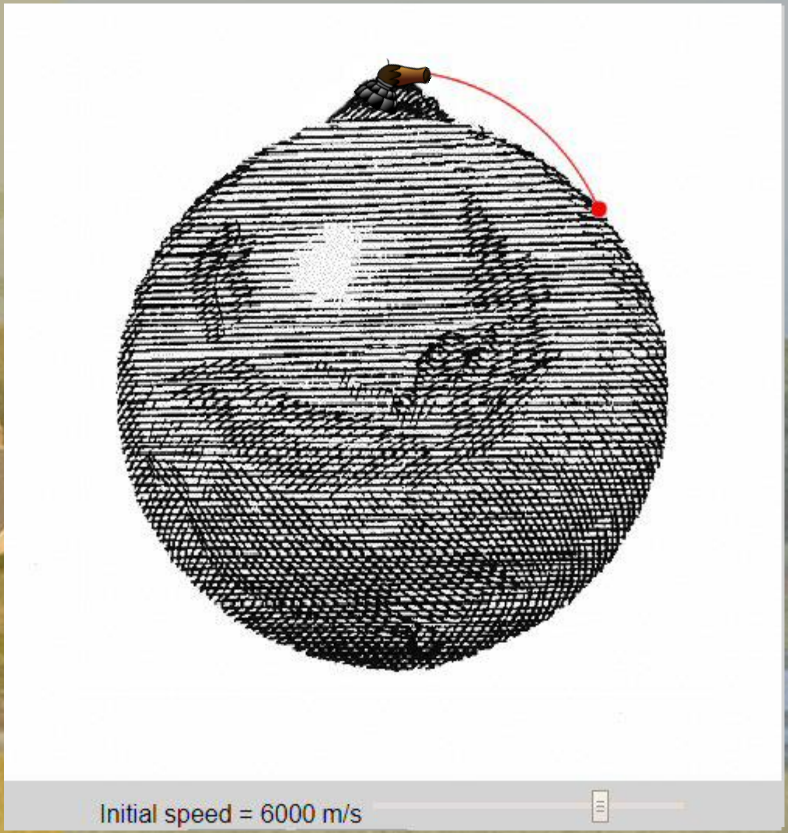
- Expérience de pensée

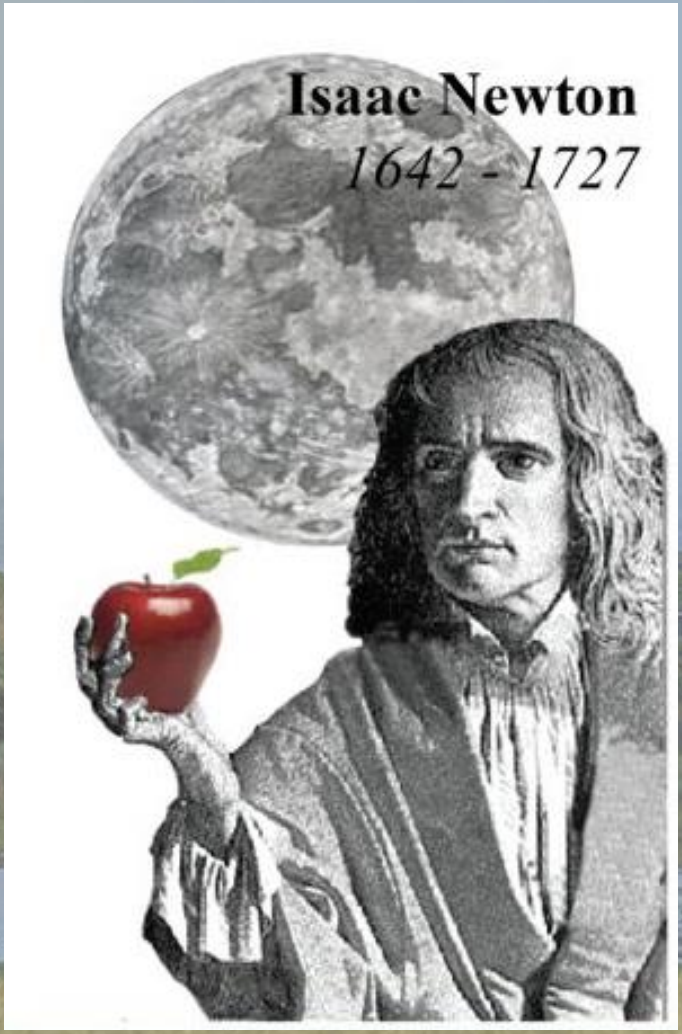




DYNAMIQUE DES ORBITES

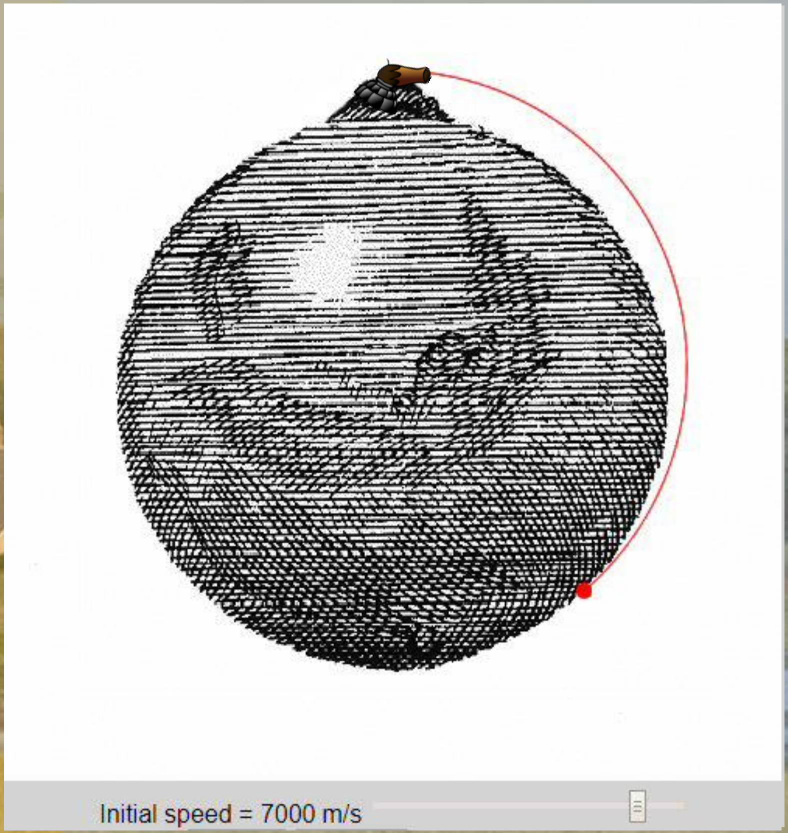
- Expérience de pensée

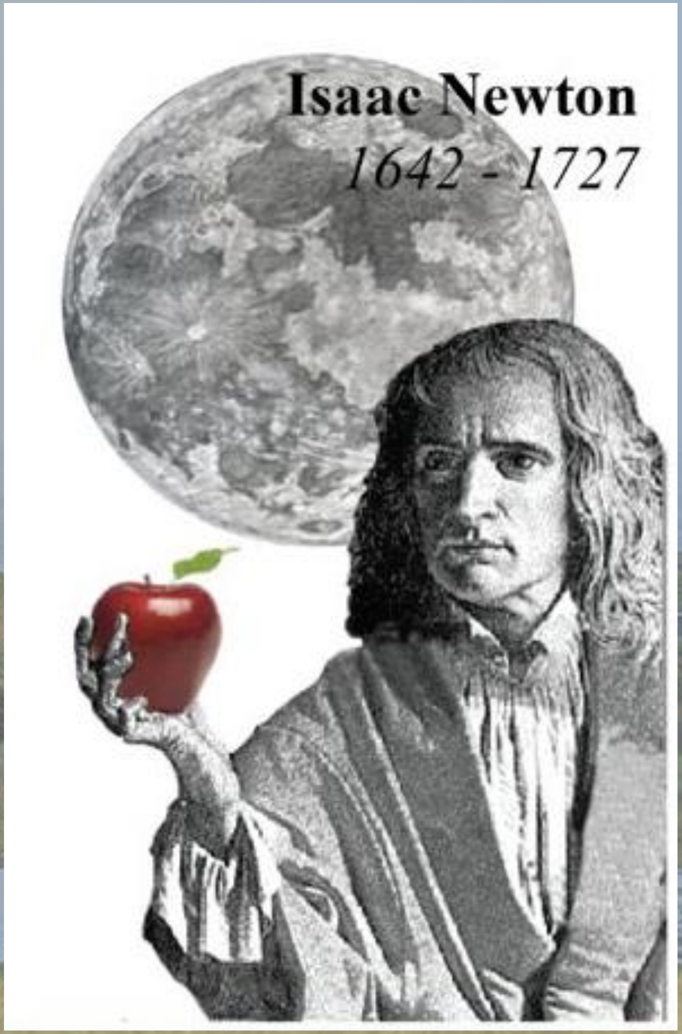




DYNAMIQUE DES ORBITES

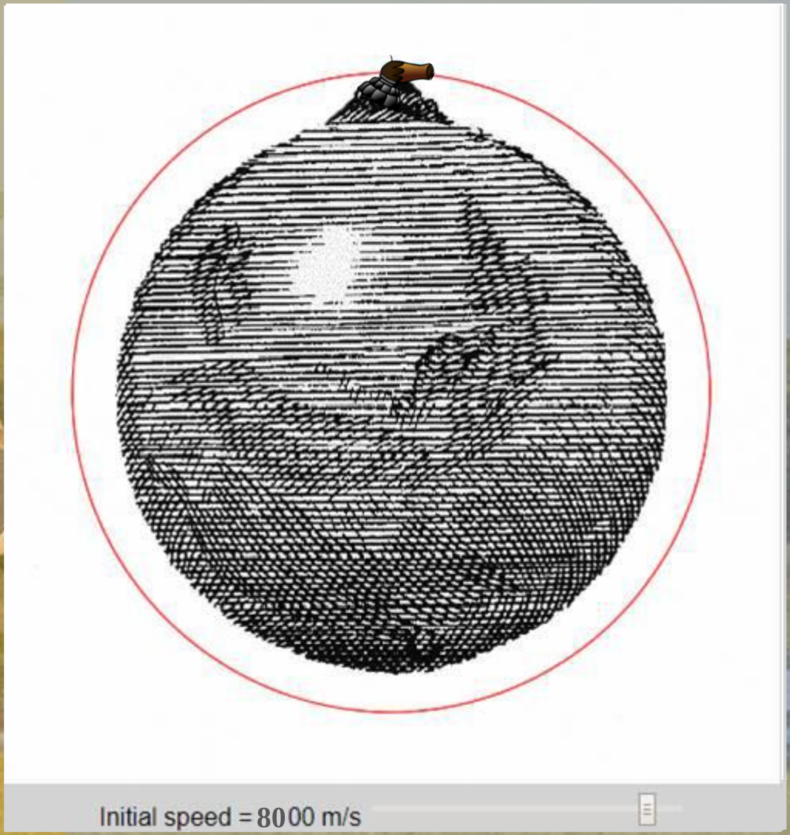
- Expérience de pensée

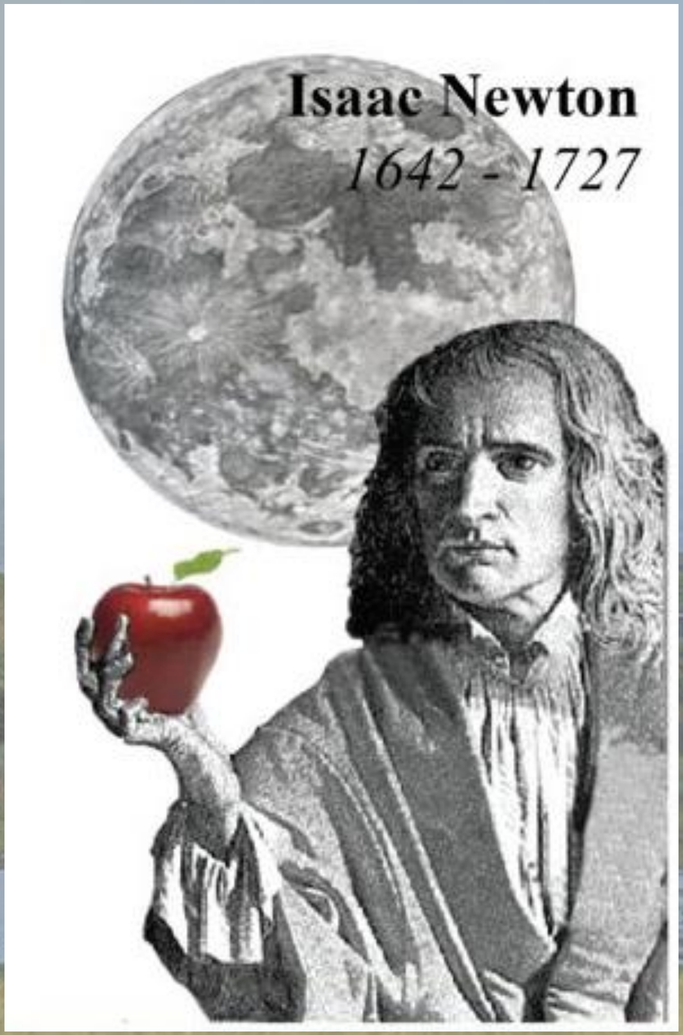




DYNAMIQUE DES ORBITES

- Expérience de pensée





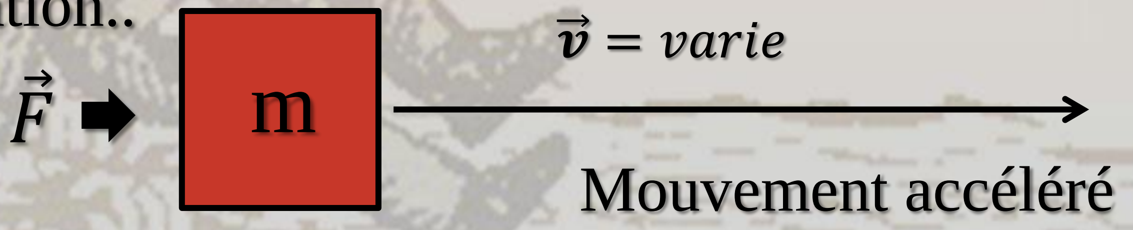
DYNAMIQUE DES ORBITES

- Calcul de l'orbite
  - Ce que Newton a compris, c'est que le déplacement orbital est un mouvement **accéléré**.

2e loi de Newton : principe fondamental de la dynamique

Une force résultante exercée sur un objet est toujours égale au produit de la masse de cet objet par son accélération. L'accélération produite et la force résultante ont la même orientation..

$$\vec{F} = m\vec{a}$$



DYNAMIQUE DES ORBITES

- Calcul de l'orbite
  - Ce que Newton a compris, c'est que le déplacement orbital est un mouvement **accéléré**.

2e loi de Newton : principe fondamental de la dynamique

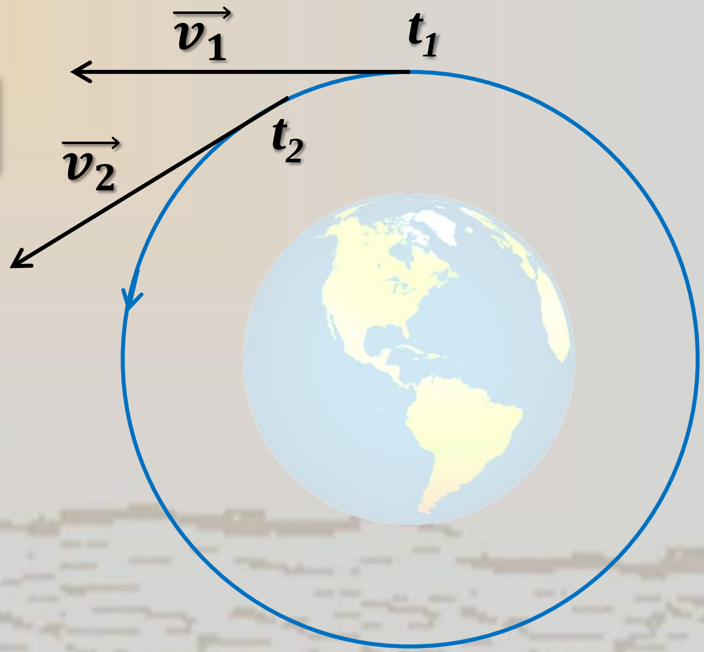
Une force résultante exercée sur un objet est toujours égale au produit de la masse de cet objet par son accélération. L'accélération produite et la force résultante ont la même orientation..

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

DYNAMIQUE DES ORBITES

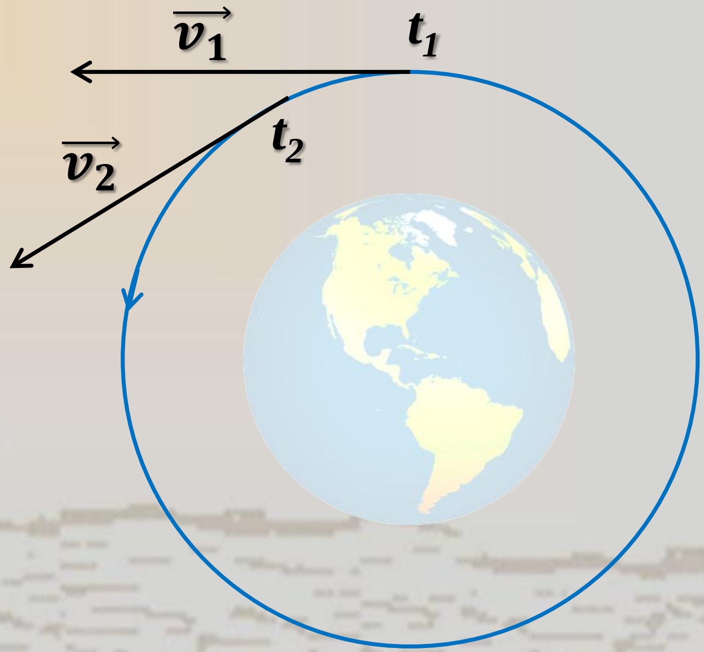
- Calcul de l'orbite
  - Ce que Newton a compris, c'est que le déplacement orbital est un mouvement **accéléré**.

$\vec{v}$ est tangentielle au plan de l'orbite



DYNAMIQUE DES ORBITES

- Calcul de l'orbite
  - Ce que Newton a compris, c'est que le déplacement orbital est un mouvement **accéléré**.



Dans un mouvement orbital circulaire :

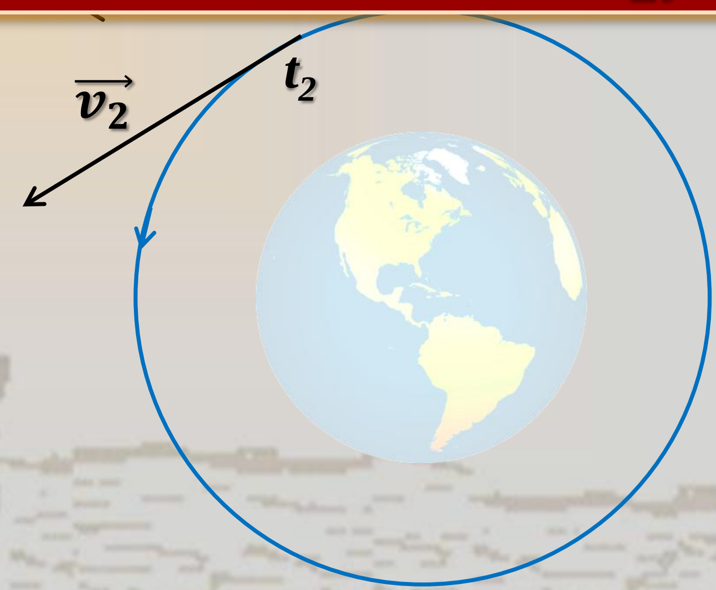
1. La vélocité est un objet vectoriel.
2. $\|\overrightarrow{v_1}\| = \|\overrightarrow{v_2}\|$

DYNAMIQUE DES ORBITES

La **vélocité** est représentée par $\vec{v}$ qui comprend une valeur scalaire, une direction et un sens. La valeur scalaire est appelée **vitesse** et est représentée par $\|\vec{v}\|$. C'est le module ou la norme de $\vec{v}$. La vitesse instantanée (v) est égale à $\frac{\Delta d}{\Delta t}$.

Dans un mouvement orbital circulaire :

1. La vélocité est un objet vectoriel.
2. $\|\overrightarrow{v_1}\| = \|\overrightarrow{v_2}\|$

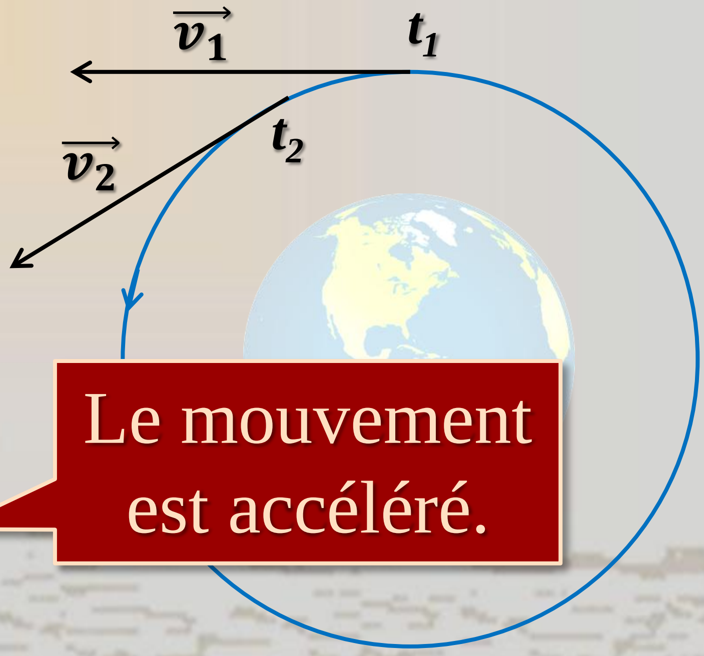


DYNAMIQUE DES ORBITES

- Calcul de l'orbite
  - Ce que Newton a compris, c'est que le déplacement orbital est un mouvement **accéléré**.

Dans un mouvement orbital circulaire :

1. La vélocité est un objet vectoriel.
2. $\|\overrightarrow{v_1}\| = \|\overrightarrow{v_2}\|$
3. Mais la direction change constamment.



Le mouvement est accéléré.

DYNAMIQUE DES ORBITES

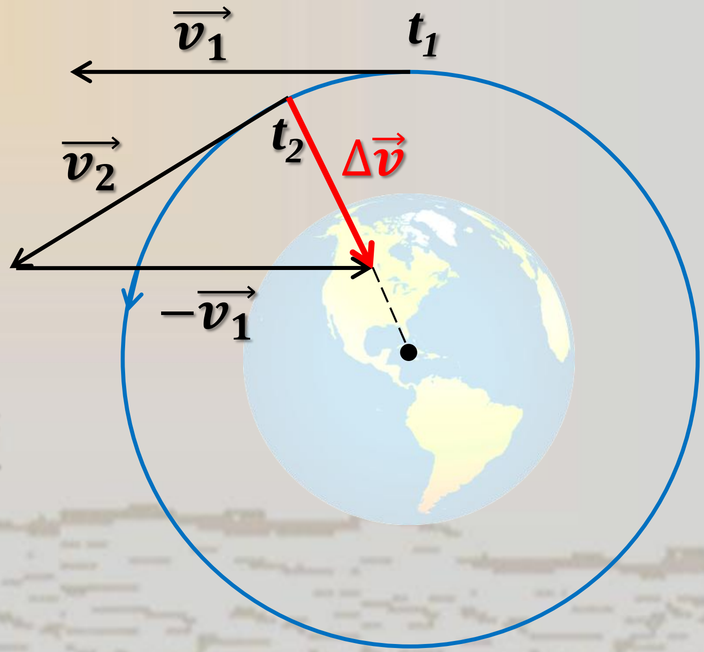
- Calcul de l'orbite
  - Quel est le sens de cette accélération ?

1) $\|\overrightarrow{v_1}\| = \|\overrightarrow{v_2}\|$

2) $\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\overrightarrow{v_2} - \overrightarrow{v_1}}{t_2 - t_1}$

3) $\overrightarrow{v_2} - \overrightarrow{v_1} = \overrightarrow{v_2} + (-\overrightarrow{v_1})$

4) $\Delta\vec{v}$ est orientée vers le centre du cercle et $\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ a la même orientation.



DYNAMIQUE DES ORBITES

- Calcul de l'orbite
  - Quel est le sens de cette accélération ?

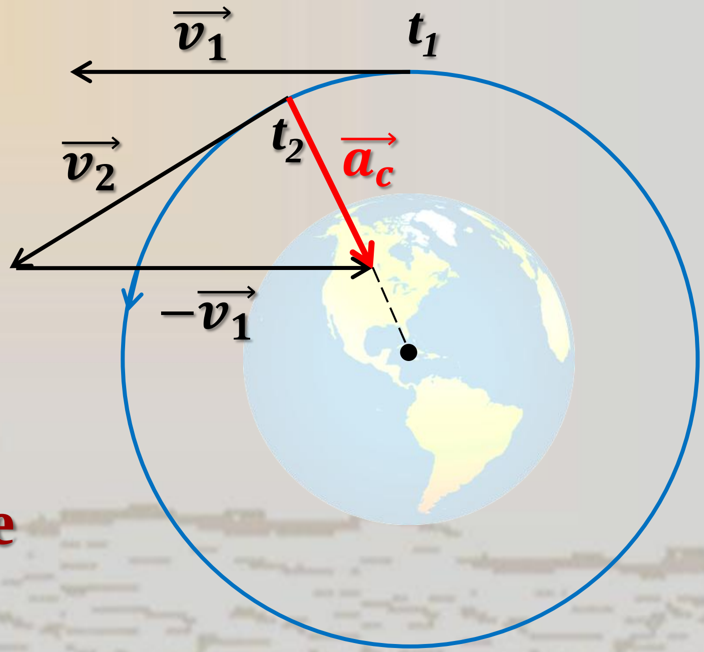
a. $\|\overrightarrow{v_1}\| = \|\overrightarrow{v_2}\|$

b. $\vec{a} = \frac{\overrightarrow{v_2}-\overrightarrow{v_1}}{t_2-t_1} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$

c. $\overrightarrow{v_2} - \overrightarrow{v_1} = \overrightarrow{v_2} - (-\overrightarrow{v_1})$

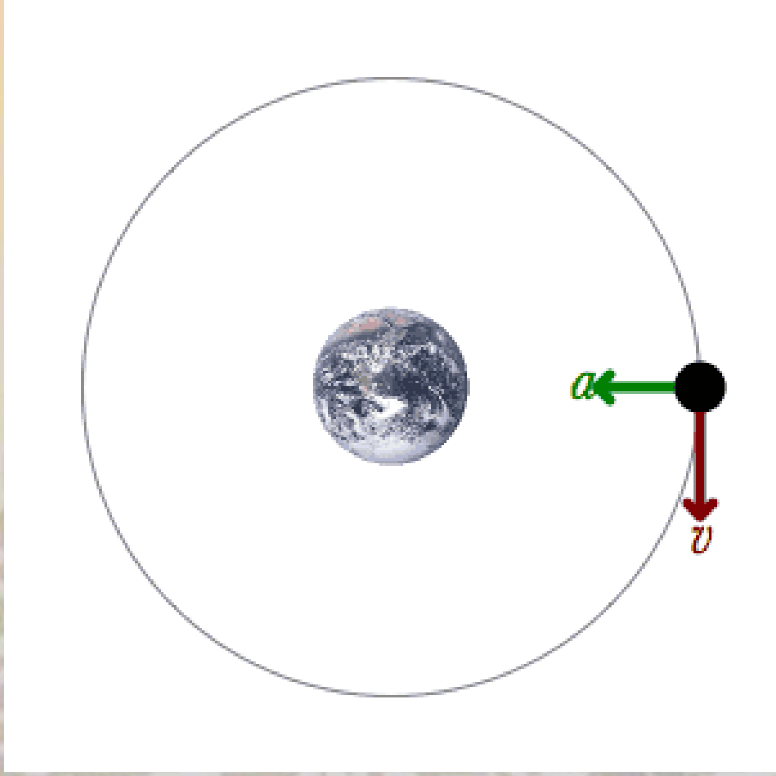
d. $\Delta\vec{v}$ est orientée vers le centre du cercle et $\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ a la même orientation.

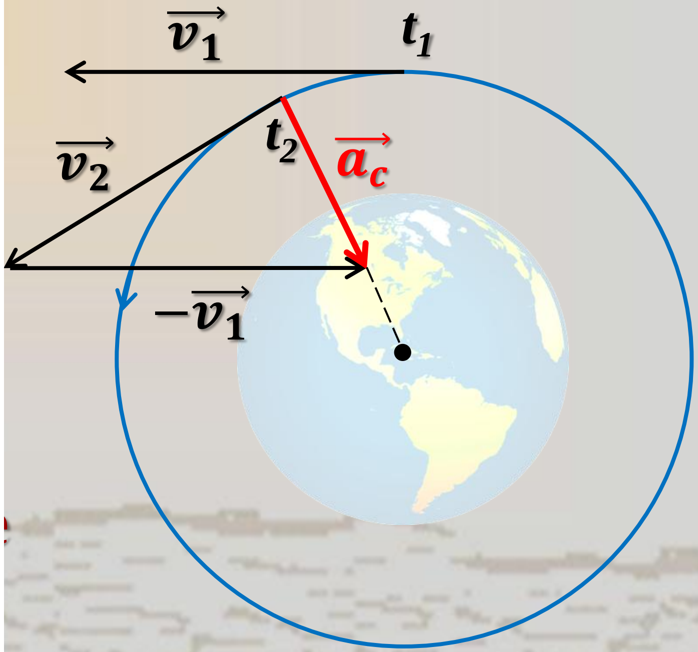
e. On dit que $\vec{a}$ est **centripète** ($\overrightarrow{a_c}$).



DYNAMIQUE DES ORBITES

- Calcul de l'orbite
  - Quel est le sens de cette accélération ?



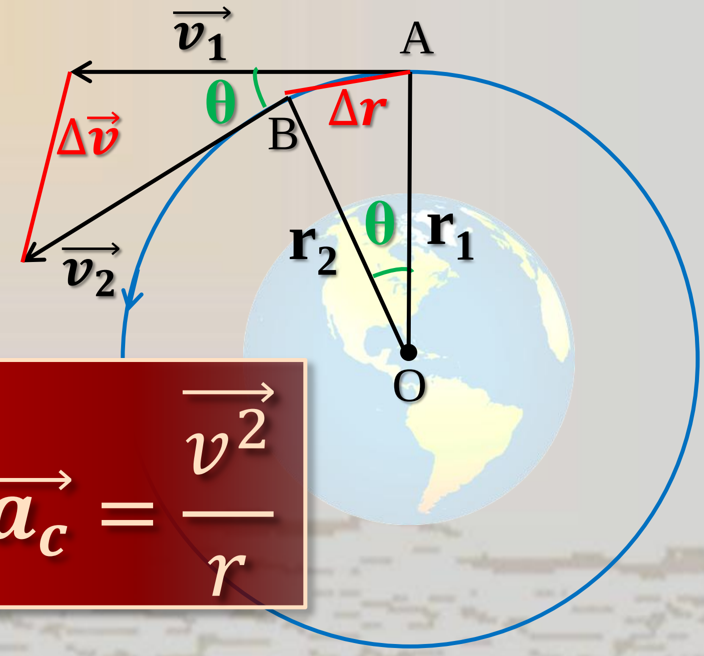


DYNAMIQUE DES ORBITES

Calcul de l'orbite

- Quelle est la valeur de cette accélération ?

1. On peut montrer que les triangles OAB et $\overrightarrow{v_1}\overrightarrow{v_2}\Delta\vec{v}$ sont semblables.
2. Ainsi, $\frac{\Delta\vec{v}}{v} = \frac{\Delta r}{r}$
3. $\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t\cdot\vec{v}} = \frac{\Delta r}{\Delta t\cdot r}$ et $\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\Delta r\cdot\vec{v}}{\Delta t\cdot r}$
4. Or, $\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ et $\vec{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t}$
5. Donc, $\vec{a} = \frac{\vec{v}\cdot\vec{v}}{r} = \frac{\overrightarrow{v^2}}{r}$



$$\overrightarrow{a_c} = \frac{\overrightarrow{v^2}}{r}$$

DYNAMIQUE DES ORBITES

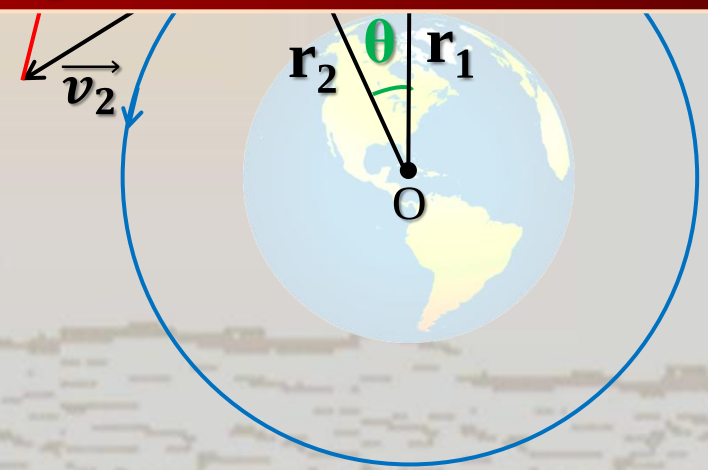
✶Calcul de l'orbite

➢Quelle est la valeur de cette accélération ?

1. On peut montrer
   triangles OAB et
   sont semblables.
2. Ainsi, $\frac{\Delta\vec{v}}{v} = \frac{\Delta r}{r}$
3. $\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t\cdot\vec{v}} = \frac{\Delta r}{\Delta t\cdot r}$ et $\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\Delta r\cdot\vec{v}}{\Delta t\cdot r}$
4. Or, $\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ et $\vec{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t}$
5. Donc, $\vec{a} = \frac{\vec{v}\cdot\vec{v}}{r} = \frac{\overrightarrow{v^2}}{r}$

La valeur $\overrightarrow{a_c}$:

- $\|\vec{a}\| = \frac{v^2}{r}$
- $\vec{a}$ est dirigée vers le centre de l'orbite.



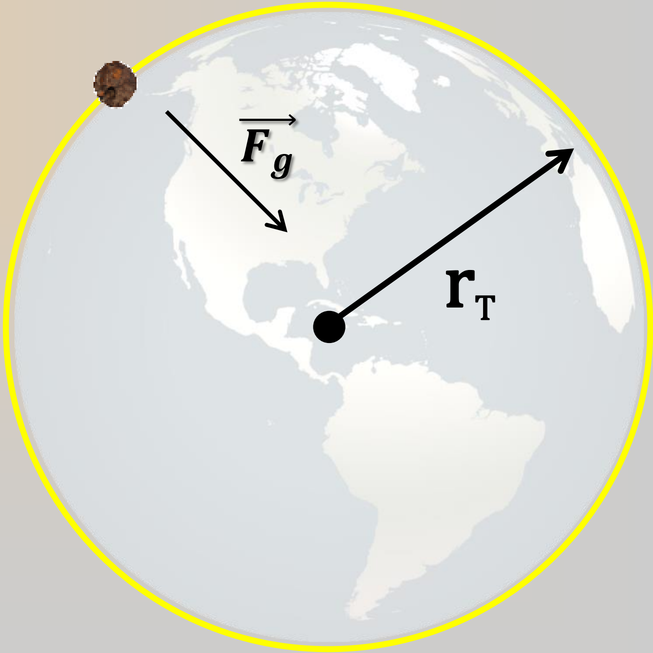
DYNAMIQUE DES ORBITES

- Qu'elle doit être la valeur de $\vec{v}$ pour que l'objet demeure en orbite.
  1) Orbite rasante = Boulet de canon de Newton

$$\overrightarrow{F_g} = G\frac{m_1 m_2}{d^2}$$

À la surface de la Terre :

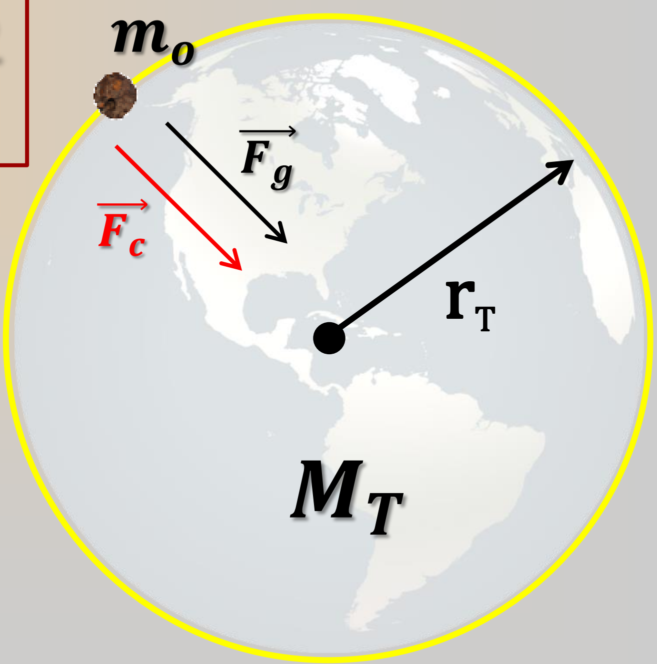
- d = r_T



DYNAMIQUE DES ORBITES

- Qu'elle doit être la valeur de $\vec{v}$ pour que l'objet demeure en orbite.
  1) Orbite rasante = Boulet de canon de Newton

$$\overrightarrow{F_g} = G\frac{m_1 m_2}{d^2} \qquad \boxed{\overrightarrow{F_g} = G\frac{M_T m_o}{{r_T}^2}}$$



Selon la 2e loi de Newton, $\vec{F} = m\vec{a}$

Or $\overrightarrow{a_c} = \frac{v^2}{r}$ Donc $\boxed{\overrightarrow{F_c} = \frac{m_o v^2}{r_T}}$

Et nous savons que $\vec{F_g} = \vec{F_c}$

DYNAMIQUE DES ORBITES

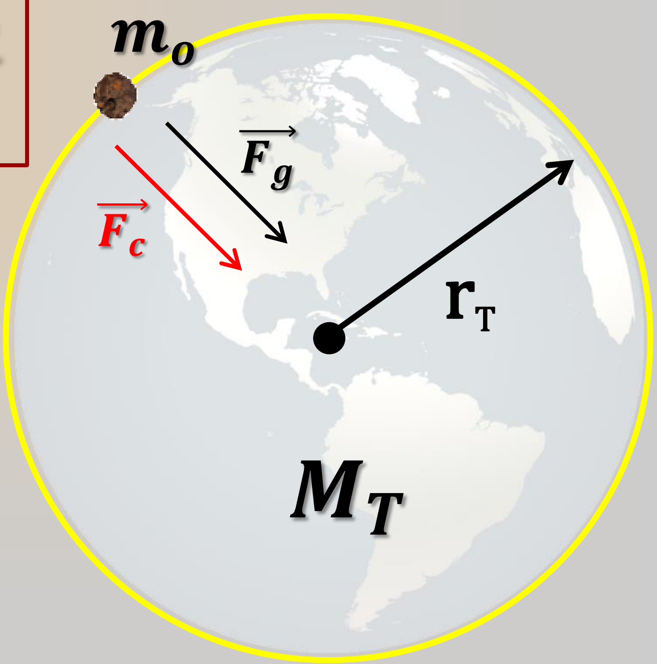
- Qu'elle doit être la valeur de $\vec{v}$ pour que l'objet demeure en orbite.
  1) Orbite rasante = Boulet de canon de Newton

$$\overrightarrow{F_g} = G\frac{m_1 m_2}{d^2}$$

$$\boxed{\overrightarrow{F_g} = G\frac{M_T m_o}{{r_T}^2}}$$

Mais $\boxed{\overrightarrow{F_c} = \frac{m_o v^2}{r_T}}$ Or, $\vec{F_g} = \vec{F_c}$

Donc, $\frac{m_o v^2}{r_T} = G\frac{M_T m_o}{{r_T}^2}$



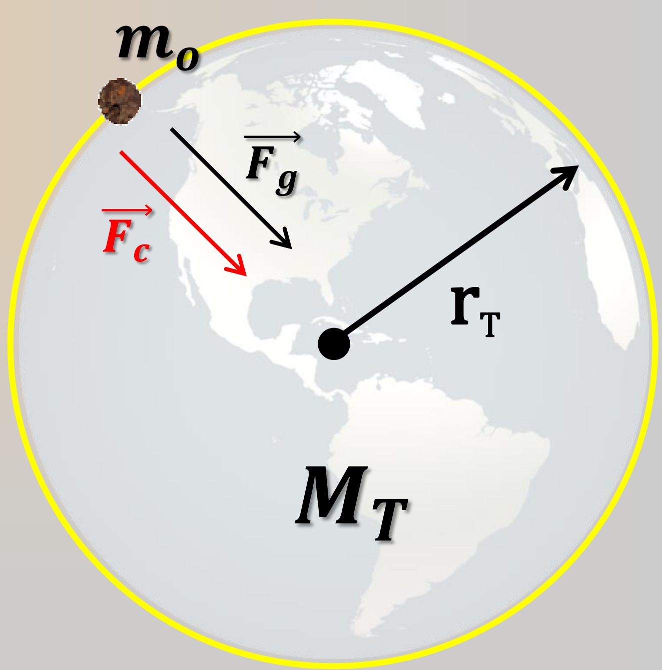
DYNAMIQUE DES ORBITES

- Qu'elle doit être la valeur de $\vec{v}$ pour que l'objet demeure en orbite.
  1) Orbite rasante = Boulet de canon de Newton

Donc, $$\frac{\cancel{m_o} v^2}{\cancel{r_T}} = G\,\frac{M_T \cancel{m_o}}{r_T{}^{\cancel{2}}}$$

Et, $$v^2 = G\,\frac{M_T}{r_T}$$

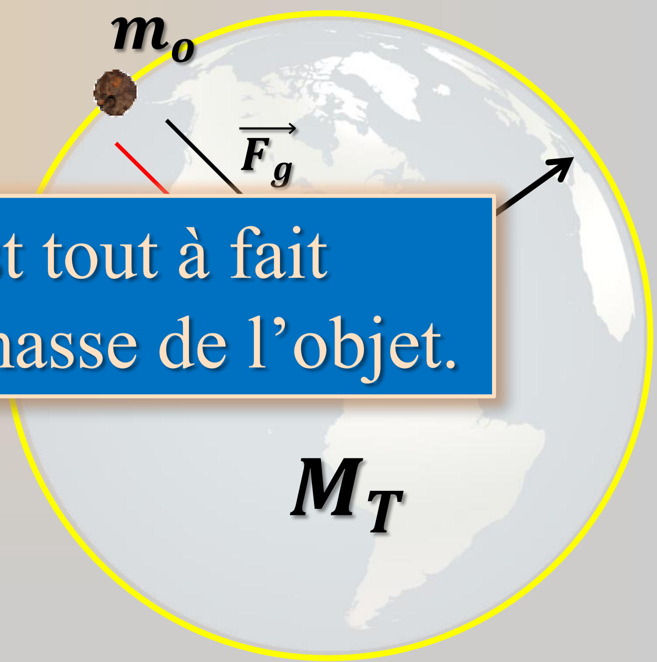
Enfin, $$\boxed{v = \sqrt{G\,\frac{M_T}{r_T}}}$$



DYNAMIQUE DES ORBITES

- Qu'elle doit être la valeur de $\vec{v}$ pour que l'objet demeure en orbite.
  1) Orbite rasante = Boulet de canon de Newton

Donc, $\frac{\cancel{m_o} v^2}{\cancel{r_T}} = G \frac{M_T \cancel{m_o}}{r_T^{\cancel{2}}}$



Et, $v^2 =$

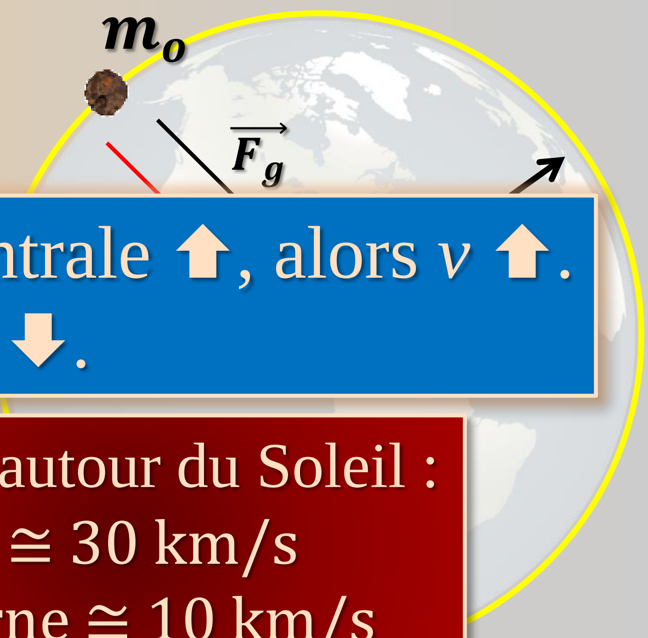
Notez que l'orbite est tout à fait indépendante de la masse de l'objet.

Enfin, $\boxed{v = \sqrt{G \frac{M_T}{r_T}}}$

DYNAMIQUE DES ORBITES

- Qu'elle doit être la valeur de $\vec{v}$ pour que l'objet demeure en orbite.
  1) Orbite rasante = Boulet de canon de Newton

Donc, $\dfrac{\cancel{m_o} v^2}{\cancel{r_T}} = G \dfrac{M_T \cancel{m_o}}{r_T^{\cancel{2}}}$



Et, $v^2 =$

Lorsque la Masse centrale ⬆, alors *v* ⬆.
Lorsque *r* ⬆, alors v ⬇.

Enfin, $\boxed{v = \sqrt{G \dfrac{M_T}{r_T}}}$

Vitesse autour du Soleil :
- Terre ≅ 30 km/s
- Saturne ≅ 10 km/s

DYNAMIQUE DES ORBITES

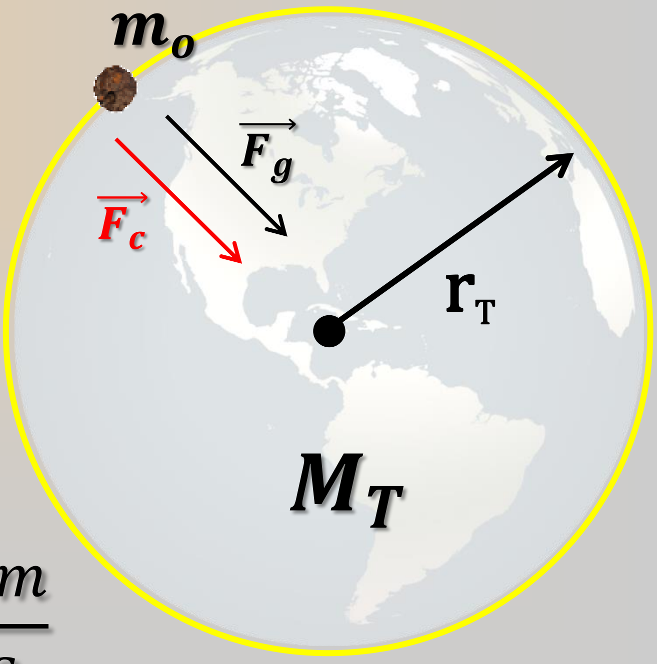
- Qu'elle doit être la valeur de $\vec{v}$ pour que l'objet demeure en orbite.
  1) Orbite rasante = Boulet de canon de Newton

$$\boxed{v = \sqrt{G\frac{M_T}{r_T}}}$$

Où:

- $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ N \bullet m^2 \bullet kg^{-2}$
- $M_T = 5{,}98 \times 10^{24}$ kg
- $r_T = 6{,}378 \times 10^6$ m

On trouve, $v = 7\,908\,\frac{m}{s}\ ou\ \cong \mathbf{8}\,\frac{km}{s}$

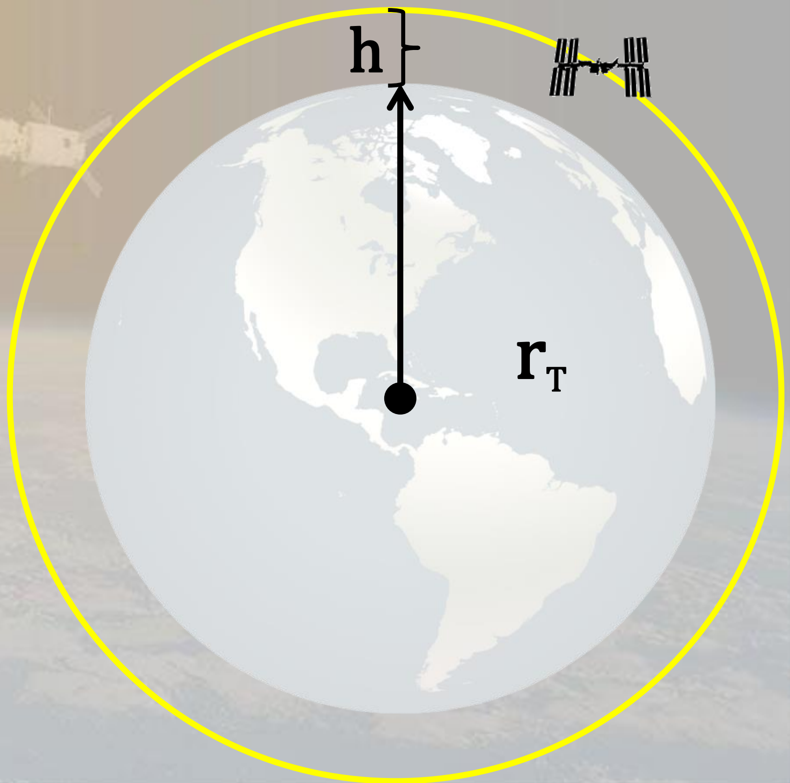


DYNAMIQUE DES ORBITES

- Qu'elle doit être la valeur de $\vec{v}$ pour que l'objet demeure en orbite.
  1) Station spatiale internationale à h=408 km

$$\boxed{v = \sqrt{G\frac{M_T}{d_T}}} \qquad d = r_T + h$$

$$v = 7,66\,\frac{km}{s}$$



DYNAMIQUE DES ORBITES

- Qu'elle est la durée d'une période orbitale de la Station spatiale internationale ?

$$\boxed{v = \sqrt{G\frac{M_T}{d_T}}}$$

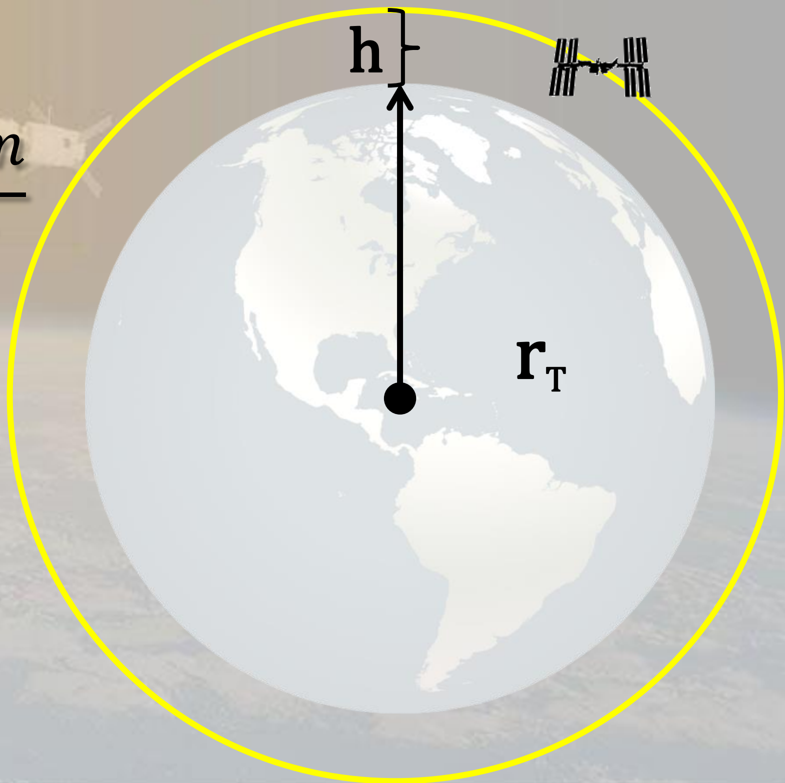
$$d = r_T + h$$

$$v = \mathbf{7,66}\,\frac{km}{s}$$

$$C = vt \qquad \text{D'où, } t = \frac{C}{v}$$

$$C = 2\pi d$$

$$t = \frac{2\pi d}{v} = 5\,566\ s\ ou\ \mathbf{93}\ \text{min}$$

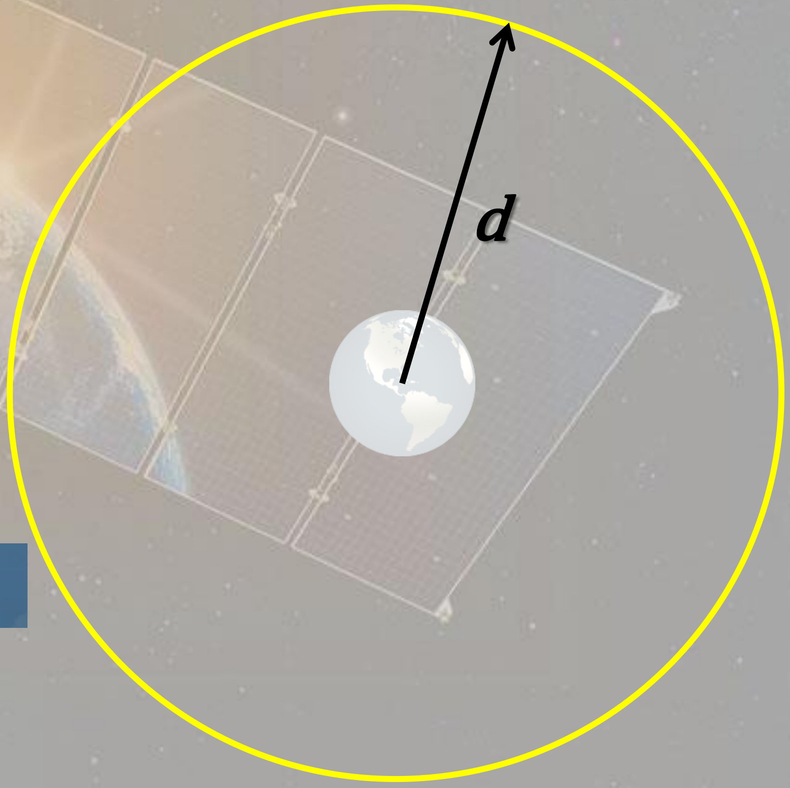


DYNAMIQUE DES ORBITES

- Un cas particulier : l'orbite géostationnaire.
  - Quelle est la distance ***d*** ?

$$\boxed{v = \sqrt{G\frac{M_T}{d}}}$$

$$d = r_T + h$$



Pour qu'un satellite soit géostationnaire, sa période ***T*** doit être égale à la période de rotation de la Terre.

T = 1 jour sidéral : 23 h, 56 min et 4 s = **86 164** s

$$C = vt \Rightarrow v = \frac{C}{t} = \frac{2\pi d}{T}$$

DYNAMIQUE DES ORBITES

- Un cas particulier : l'orbite géostationnaire.
  - Quelle est la distance ***d*** ?

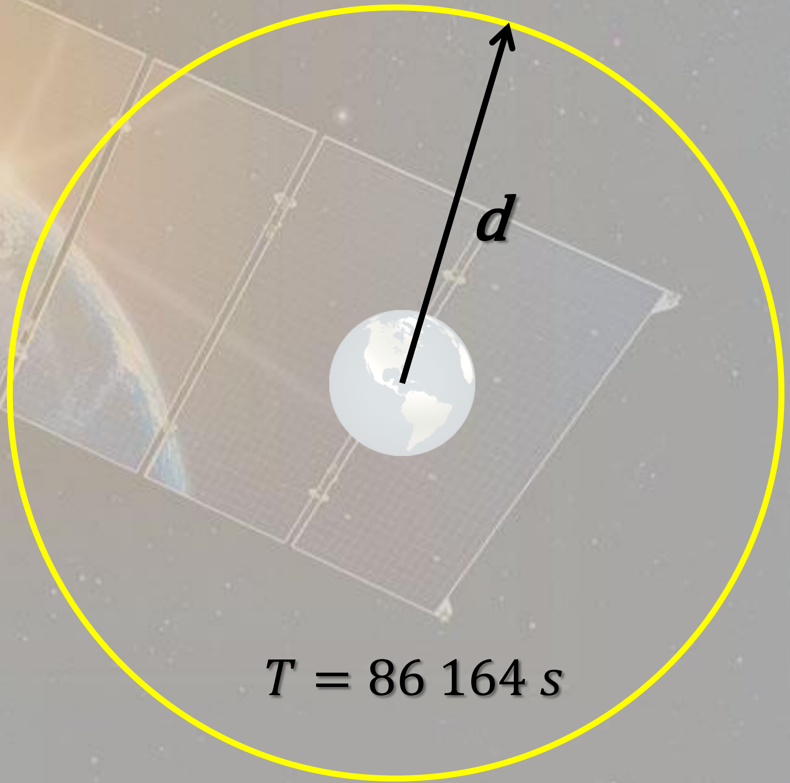
$$\boxed{v = \sqrt{G\frac{M_T}{d}}}$$

$$d = r_T + h$$

$$\boxed{v = \frac{2\pi d}{T}}$$

$$\frac{2\pi d}{T} = \sqrt{G\frac{M_T}{d}} \Rightarrow \frac{4\pi^2 d^2}{T^2} = G\frac{M_T}{d}$$

$$d^3 = \frac{GM_T T^2}{4\pi^2} \Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{GM_T T^2}{4\pi^2}}$$

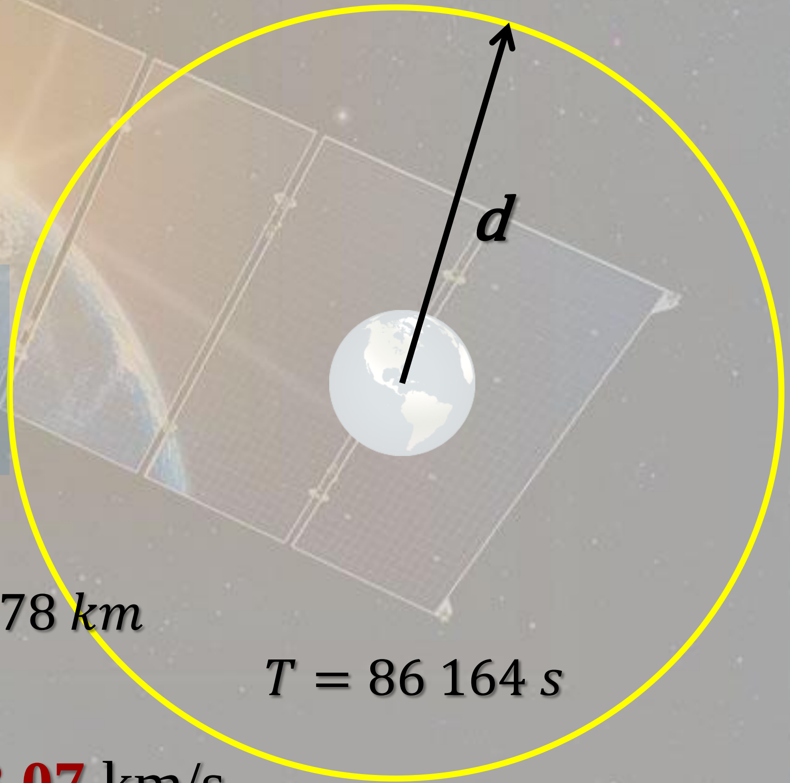


DYNAMIQUE DES ORBITES

- Un cas particulier : l'orbite géostationnaire.
  - Quelle est la distance ***d*** ?

$$\boxed{d = \sqrt[3]{\frac{GM_T T^2}{4\pi^2}}}$$

$$d = r_T + h$$



$$d = \sqrt[3]{\frac{6{,}67X10^{-11} \cdot 5{,}98X10^{24} \cdot 86\ 164^2}{4\pi^2}}$$

$d = 42\ 172\ km$

Or, $h = d - r_T = 42\ 172\ km - 6\ 378\ km$

$$\boxed{h = \mathbf{35\ 794}\ km}$$

Et *v* sera **3,07** km/s

DYNAMIQUE DES ORBITES

- Une vitesse particulière : la vitesse de libération

D'abord, démystifier et préciser $\vec{g}$

- 2e loi de Newton : $\overrightarrow{F_{\vec{a}}} = m\vec{a}$
- À la surface de la Terre, on remplace $\vec{a}$ par $\vec{g}$, appelée *accélération gravitationnelle*.
- $\overrightarrow{F_{\vec{a}}} = \overrightarrow{F_{\vec{g}}}$, où $\vec{g}$ est une grandeur vectorielle.
- Le poids est une force et il se mesure en *Newton*.
- Poids $= \overrightarrow{F_{\vec{g}}} = m\vec{g}$

DYNAMIQUE DES ORBITES

- Une vitesse particulière : la vitesse de libération

D'abord, démystifier et préciser $\vec{g}$

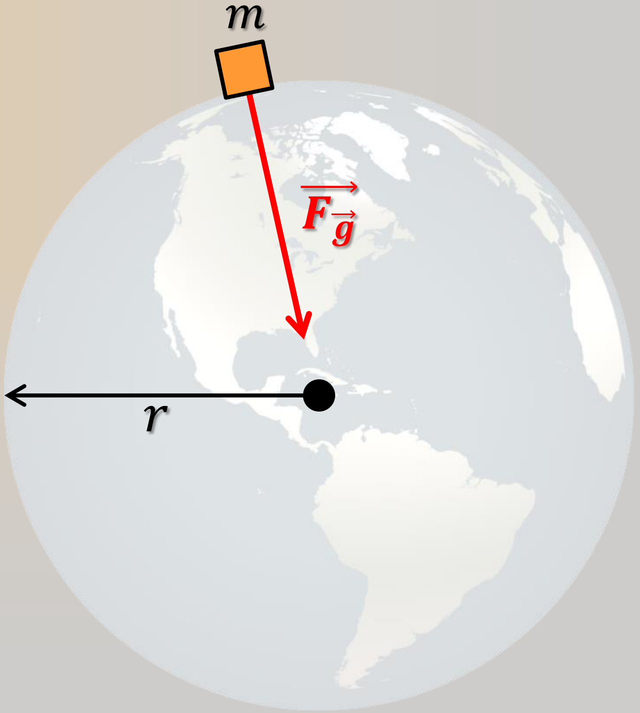
- Que vaut $\vec{g}$?

$$\overrightarrow{F_{\vec{g}}} = \cancel{m}\vec{g} = G\frac{\cancel{m}M_T}{r^2}$$

$$\boxed{\vec{g} = G\frac{M_T}{r^2}}$$

$$\vec{g} = \frac{6{,}67 \times 10^{-11} \cdot 5{,}98 \times 10^{24}}{6\,378\,000^2}$$

$$\vec{g} = \mathbf{9{,}8}\,\frac{m}{s^2}$$



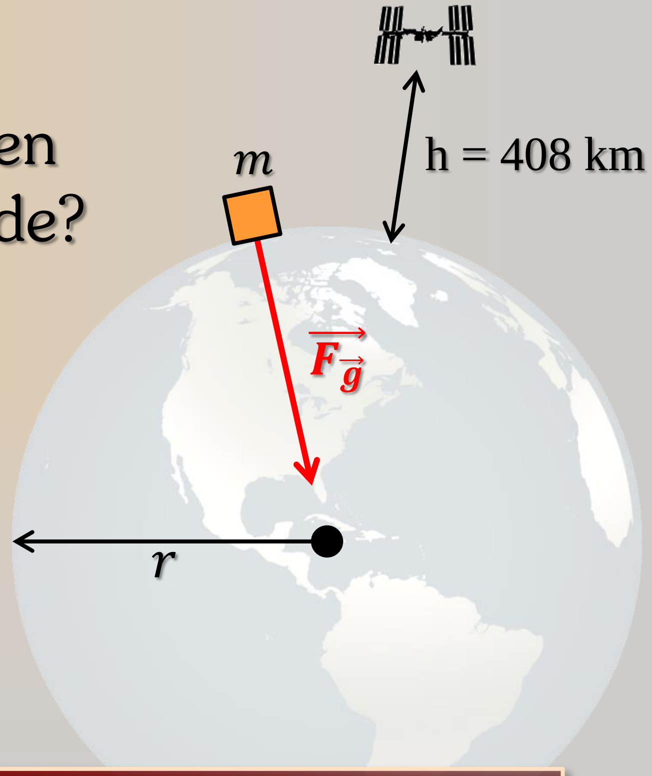
DYNAMIQUE DES ORBITES

★ Une vitesse particulière : la vitesse de libération

D'abord, démystifier et préciser $\vec{g}$

★ Que vaut $\vec{g}$ pour un satellite en orbite situé à 408 km d'altitude?

$$\boxed{\vec{g} = G\frac{M_T}{(r+h)^2}}$$



$$\vec{g} = \frac{6{,}67 \times 10^{-11} \cdot 5{,}98 \times 10^{24}}{(6\,378\,000 + 408\,000)^2}$$

$$\vec{g} = \mathbf{8{,}66}\frac{m}{s^2}$$

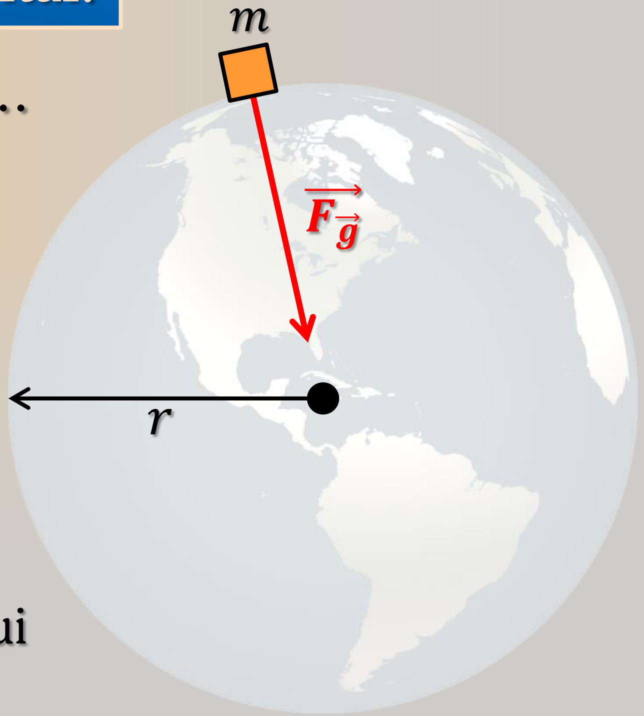
$\vec{g}$ n'est pas une constante

DYNAMIQUE DES ORBITES

- Une vitesse particulière : la vitesse de libération

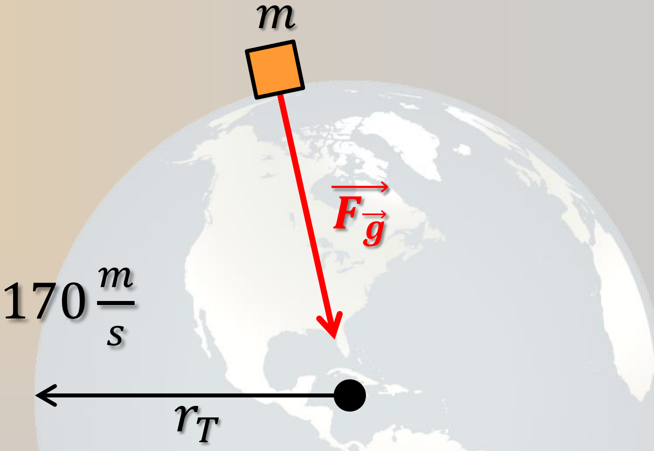
La formule $\vec{F} = m\vec{g}$ n'est pas un bon véhicule mathématique pour le calcul orbital.

- La conservation de l'énergie…
  - $E_{c\ initiale} + E_{pi} = E_{c\ finale} + E_{pf}$
  - À ∞, la $\overrightarrow{F_{\vec{g}}}$ ne peut ramener l'objet sur Terre et $E_{cf} = 0$.
  - De plus, à une distance ∞, $E_{pf} = 0$.
  - Donc, $E_{ci} + E_{pi} = 0$
  - Il faut trouver la $\overrightarrow{v_i}$ **minimale** qui permet ce résultat.



DYNAMIQUE DES ORBITES

- Une vitesse particulière : la vitesse de libération
- $E_{ci} = -E_{pi}$
- $\frac{1}{2}\cancel{m}v^2 = -(-G\frac{\cancel{m}M_T}{r_T})$
- $v_l = \sqrt{\frac{2GM_T}{r_T}}$
- $v_l = \sqrt{\frac{2 \cdot 6{,}67\times10^{-11} \bullet 5{,}98\times10^{24}}{6\,378\,000}} = 11\,170\,\frac{m}{s}$
- On a vu que $\vec{v_o} = \sqrt{G\frac{M}{r+h}}$



$$\boxed{v_l = \sqrt{2} \bullet \sqrt{G\frac{M}{r+h}}}$$

La v_l est atteinte en multipliant la v_o par un facteur $\sqrt{2}$ et ce, peu importe l'orbite…

$(v_l = \sqrt{2} \bullet v_o)$

CINÉMATIQUE DES ORBITES

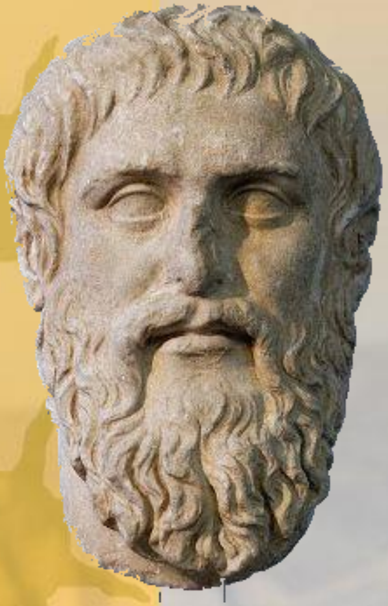
- Les éléments képlériens des orbites :
  1. Taille ➡ Demi-grand axe (a)
  2. Forme ➡ Excentricité (e)
  3. Tangage ➡ Inclinaison (i)
  4. Lacet ➡ Longitude du nœud ascendant (Ω)
  5. Roulis ➡ Argument du périastre (ω)
  6. Position orbitale ➡ Anomalie vraie (υ)

CINÉMATIQUE DES ORBITES

- Les éléments képlériens des orbites :
  1. **Taille** ➡ Demi-grand axe (a)
  2. Forme ➡ Excentricité (e)
  3. Tangage ➡ Inclinaison (i)
  4. Lacet ➡ Longitude du nœud ascendant (Ω)
  5. Roulis ➡ Argument du périastre (ω)
  6. Position orbitale ➡ Anomalie vraie (υ)

CINÉMATIQUE DES ORBITES

1. La forme des orbites :
   - Le grand verrouillage conceptuel platonicien.

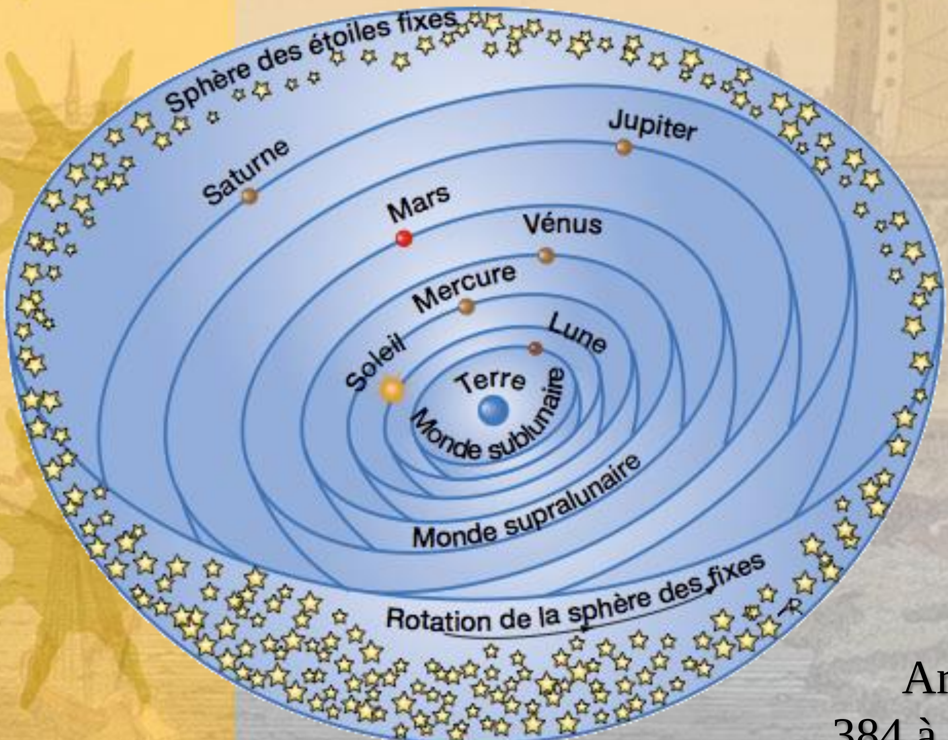


Platon
428 à 348 AEC

« Celui qui constitua le monde (…) lui donna comme figure celle qui lui convenait et qui lui était apparentée. Aussi est-ce la figure d'une sphère, dont le centre est équidistant de tous les points de la périphérie qu'il lui donna, convaincu qu'il y a mille fois plus de beauté dans le semblable que dans le dissemblable. »

CINÉMATIQUE DES ORBITES

1. La forme des orbites :
   - La Terre au centre du monde



Aristote
384 à 322 AEC

CINÉMATIQUE DES ORBITES

1. La forme des orbites :
   - La Terre au centre du monde

Problèmes du géocentrisme :

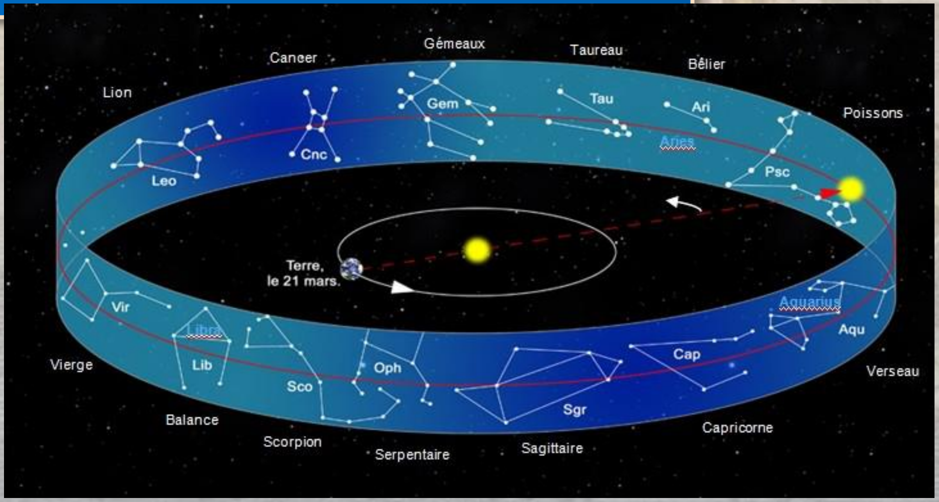
1. La variation de l'éclat des "astres errants".
2. Le mouvement rétrograde des "astres errants".

CINÉMATIQUE DES ORBITES

1. La forme des orbites :
   - La Terre au centre du monde

Problèmes du géocentrisme :

1. La variation de l'éclat des "astres errants".
2. Le mouvement rétrograde des "astres errants".
3. La préférence zodiacale des "astres errants".



CINÉMATIQUE DES ORBITES

1. La forme des orbites :
   - L’héliocentrisme appréhendé.

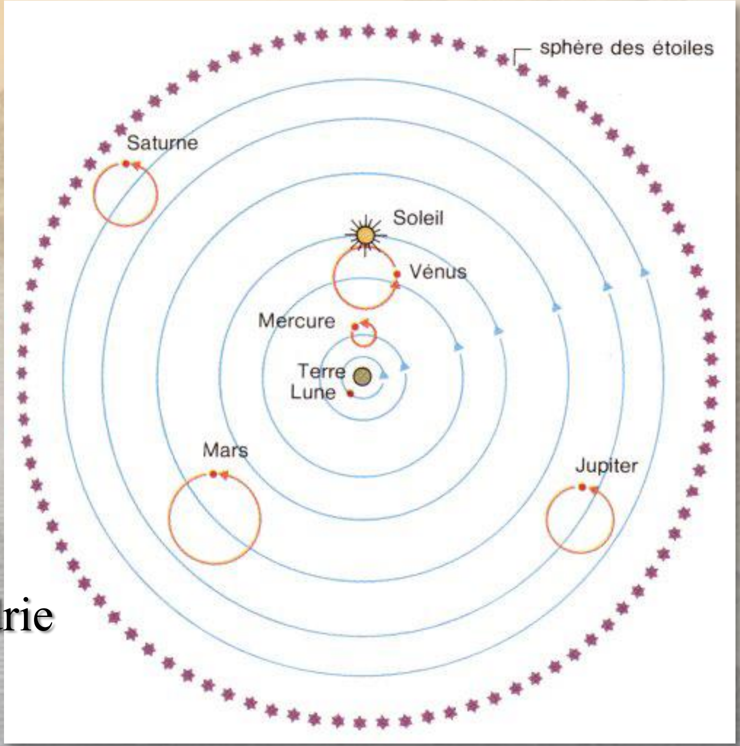
> « Aristarque de Samos a publié des écrits sur les hypothèses astronomiques. Il présuppose que les étoiles et le Soleil sont immobiles. Quant à la Terre, elle se déplace autour du Soleil sur la circonférence d'un cercle ayant son centre dans le Soleil. »
>
> Archimède, *L’Arénaire*

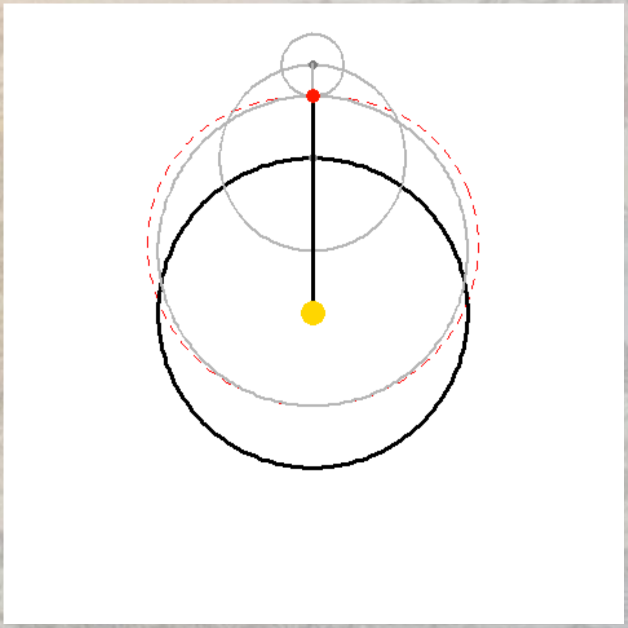
Aristarque de Samos
310 à 230 AEC

CINÉMATIQUE DES ORBITES

1. La forme des orbites :
   - L'apogée de la Terre au centre : l'Almageste

Ptolémée d'Alexandrie
90 à 168





CINÉMATIQUE DES ORBITES

1. La forme des orbites :
   - "Une ellipse !"

Hypatie d'Alexandrie
370 à 415

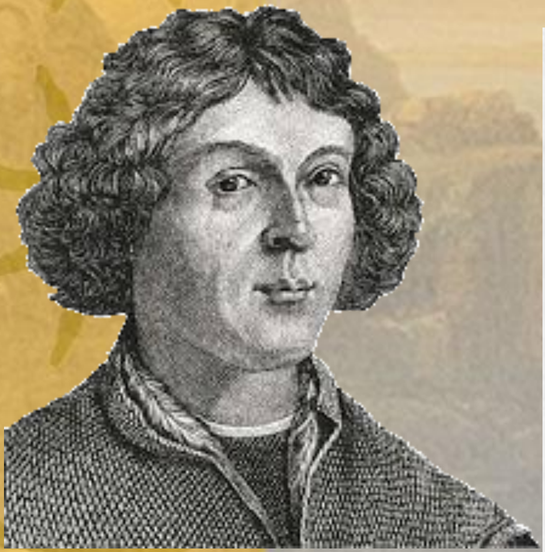
CINÉMATIQUE DES ORBITES

1. La forme des orbites :
   - "Une ellipse !"

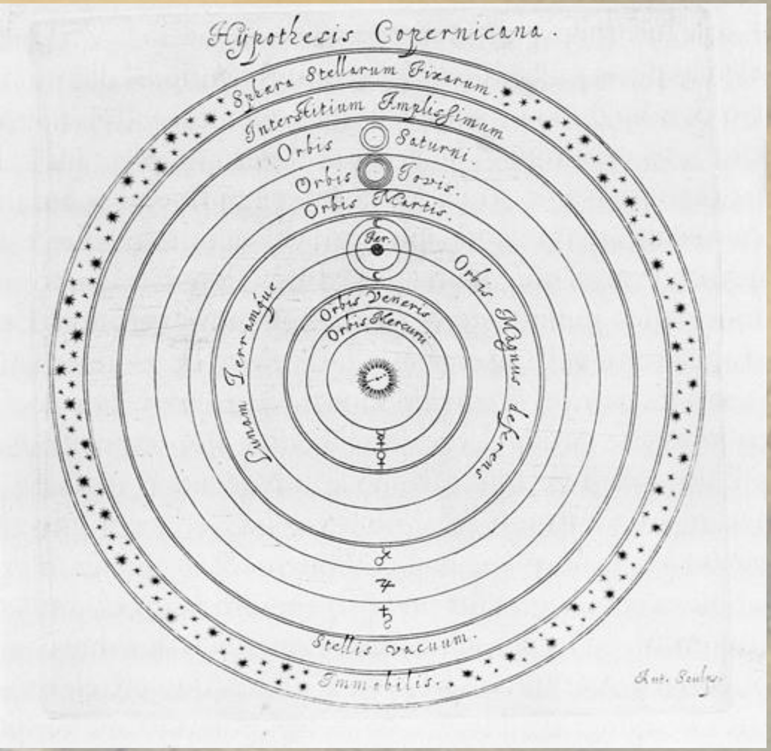
Hypatie d'Alexandrie
370 à 415

CINÉMATIQUE DES ORBITES

1. La forme des orbites :
   - Le retour du Soleil

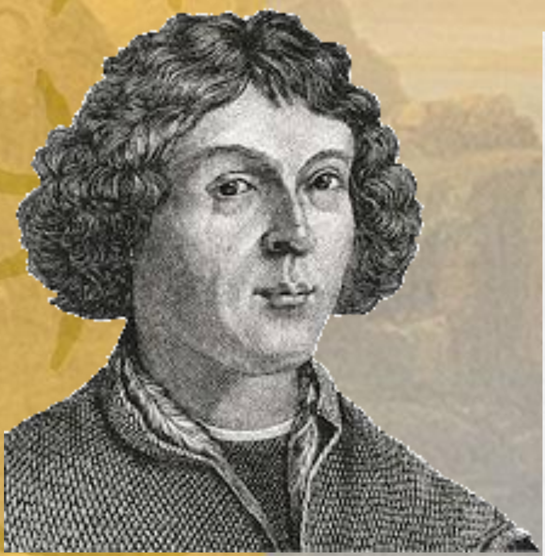


Nicolas Copernic
1473 à 1543

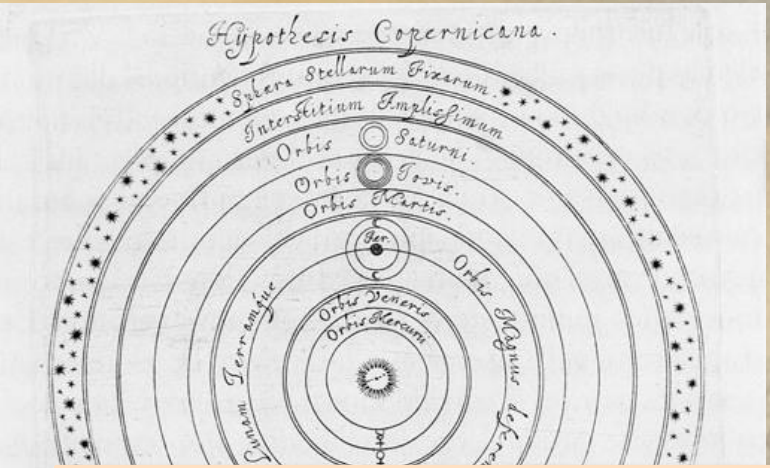


CINÉMATIQUE DES ORBITES

1. La forme des orbites :
   - Le retour du Soleil



Nicolas Copernic
1473 à 1543



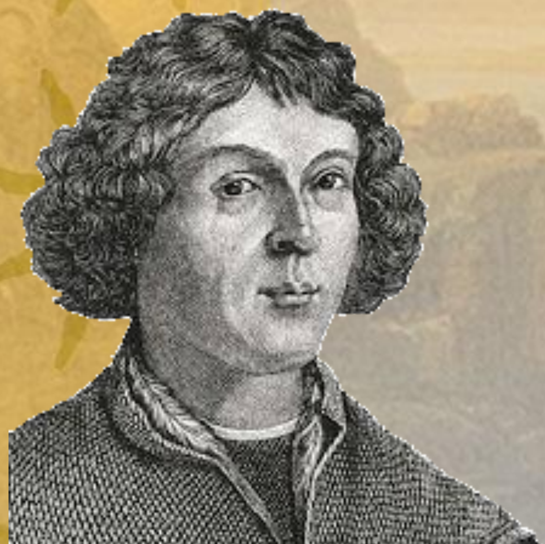
Prisonnier de Platon

Problèmes du géocentrisme :

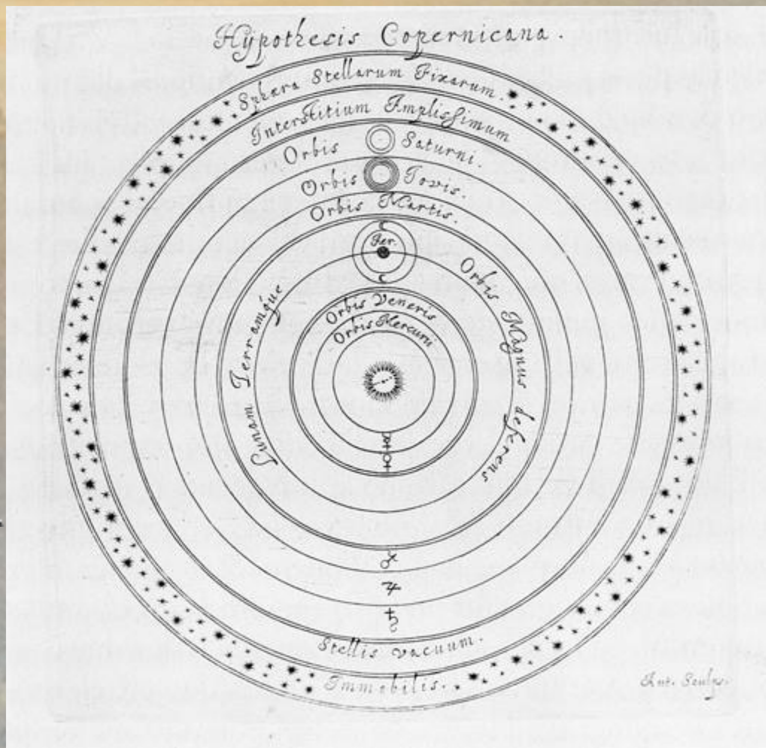
1. La variation de l'éclat des “astres errants”.
2. Le mouvement rétrograde des “astres errants”.
3. La préférence zodiacale des “astres errants”.

CINÉMATIQUE DES ORBITES

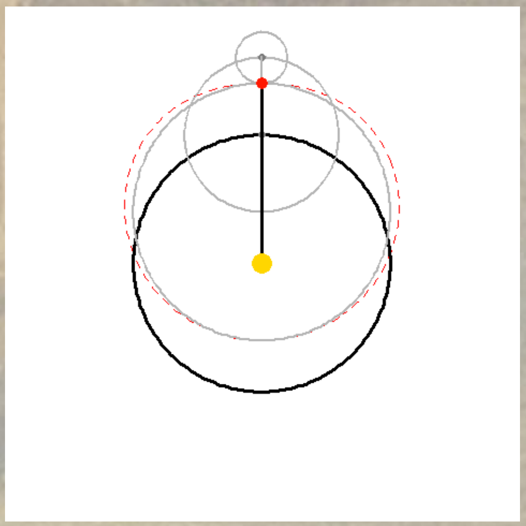
1. La forme des orbites :
   - Le retour du Soleil



Nicolas Copernic
1473 à 1543



Prisonnier de Platon

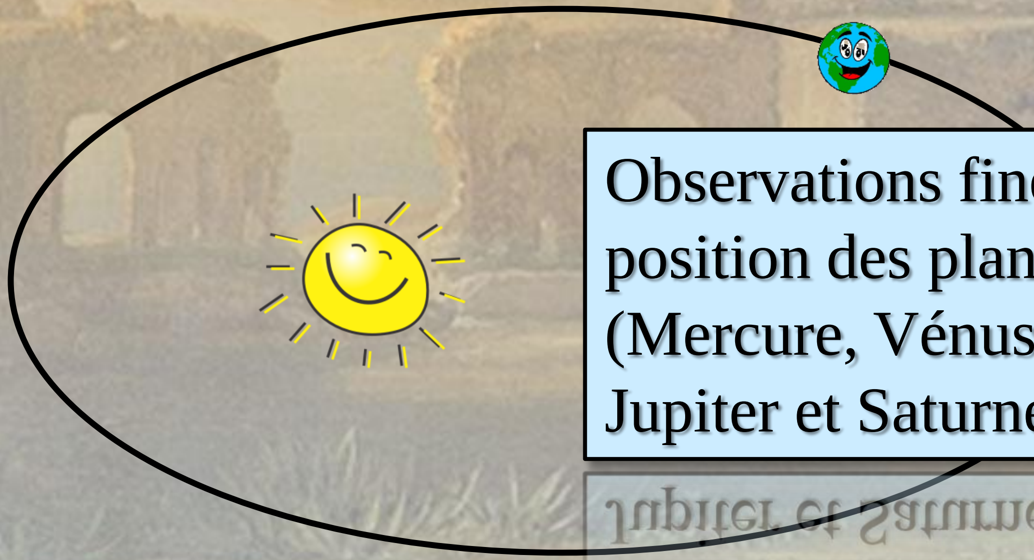


CINÉMATIQUE DES ORBITES

1. La forme des orbites :
   - Bien oui, une ellipse…

Tycho Brahe
1546 à 1601

Johannes Kepler
1571 à 1630



Observations fines de la position des planètes : (Mercure, Vénus, **Mars**, Jupiter et Saturne.

CINÉMATIQUE DES ORBITES

Mars

1. La forme des orbites :
   - Bien oui, une ellipse…

Johannes Kepler
1571 à 1630

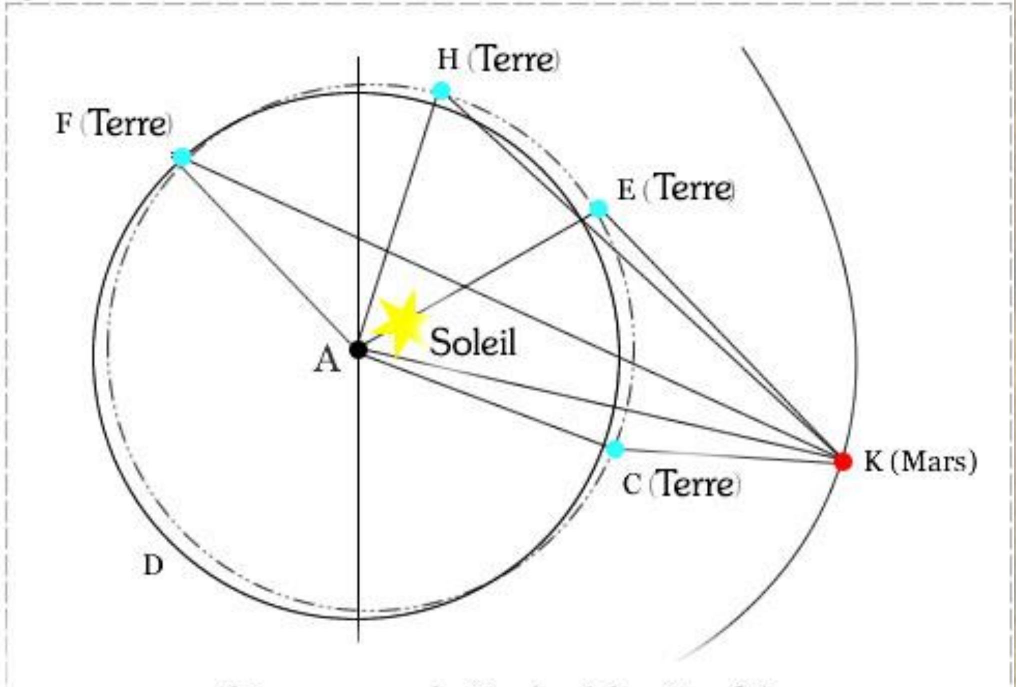
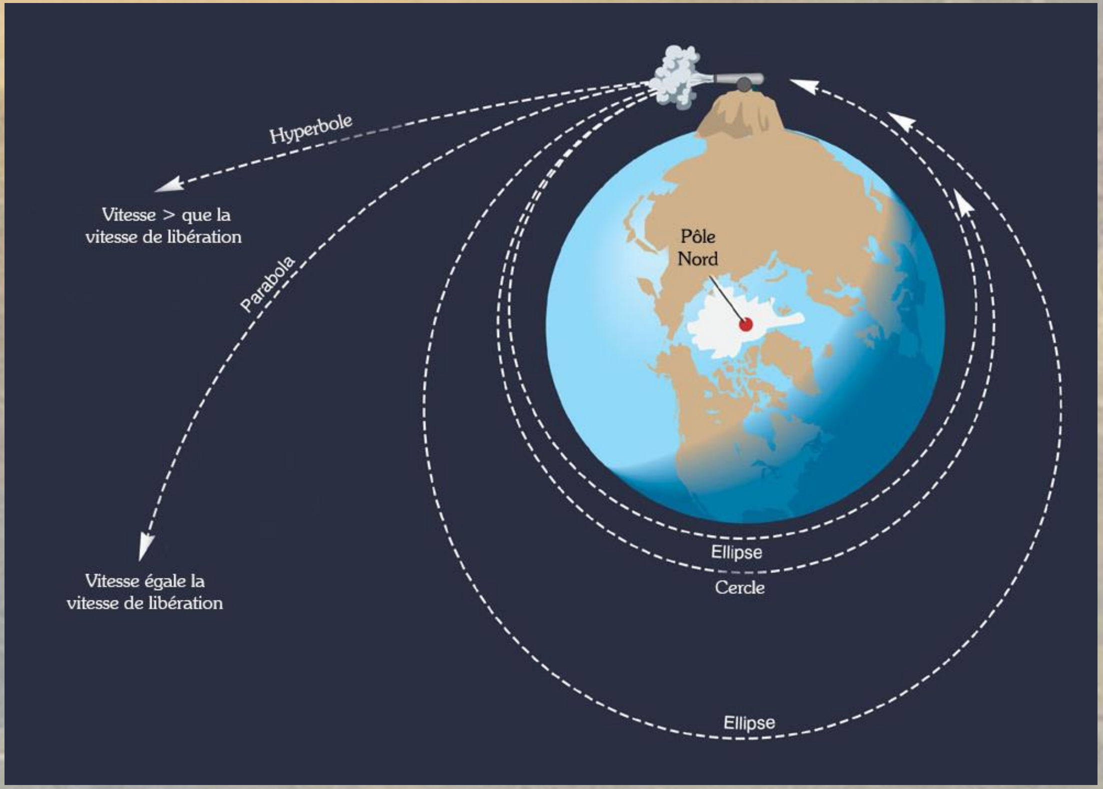


Diagramme de Kepler (chapitre 24

CINÉMATIQUE DES ORBITES

1. La forme des orbites :
   - Bien oui, une ellipse…

Johannes Kepler
1571 à 1630

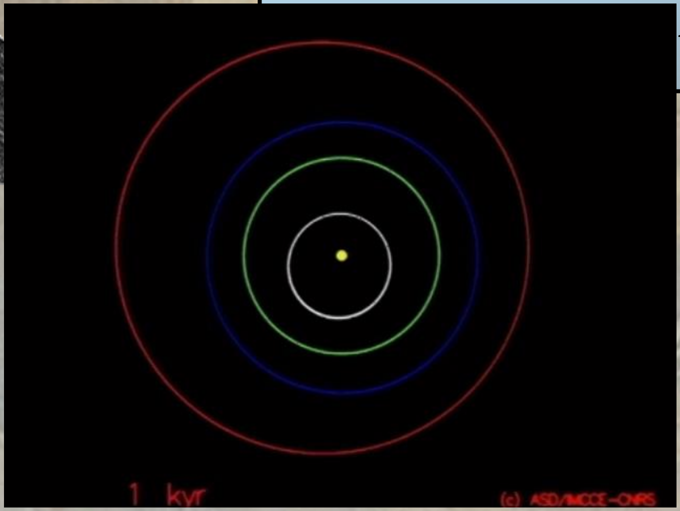


CINÉMATIQUE DES ORBITES

1. La forme des orbites :
   - Bien oui, une ellipse…

La presque totalité des orbites sont elliptiques. L'orbite circulaire est particulière, instable et excessivement rare. Toute perturbation la transforme en orbite elliptique.

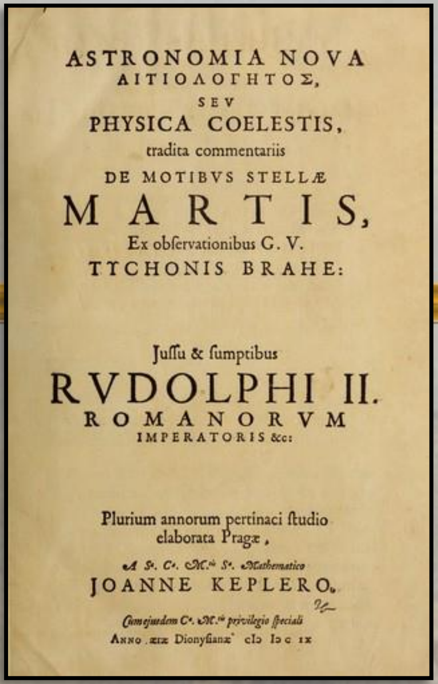
Johannes Kepler
1571 à 1630



CINÉMATIQUE DES ORBITES

1. La taille des orbites :
   - $1^{ère}$ loi deKépler

Johannes Kepler
1571 à 1630



ASTRONOMIA NOVA
ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ,
SEV
PHYSICA COELESTIS,
tradita commentariis
DE MOTIBVS STELLÆ
MARTIS,
Ex obſervationibus G. V.
TYCHONIS BRAHE:

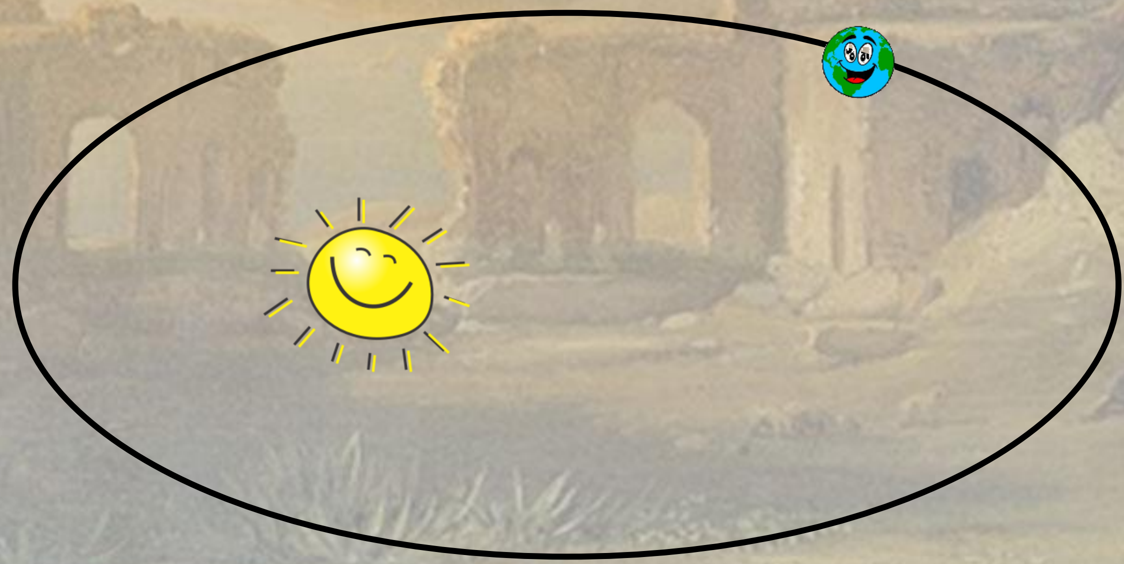
Juſſu & ſumptibus
RVDOLPHI II.
ROMANORVM
IMPERATORIS &c:

Plurium annorum pertinaci ſtudio
elaborata Pragæ,

A S. C. M.tis S. Mathematico
JOANNE KEPLERO,

Cum ejusdem C. M.tis privilegio ſpeciali
Anno æræ Dionyſianæ cIɔ Iɔ c ix

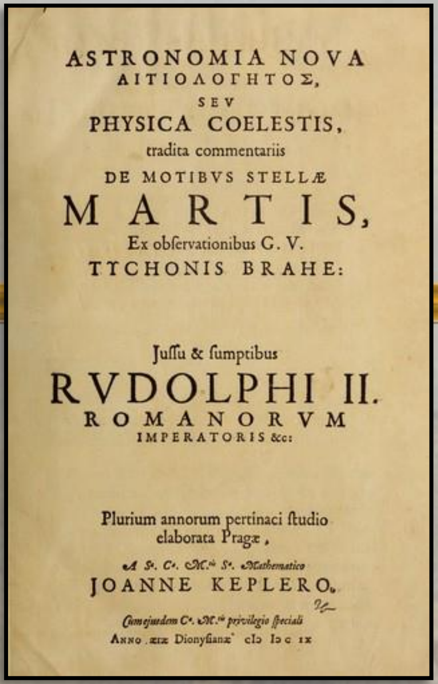
1609



CINÉMATIQUE DES ORBITES

1. La taille des orbites :
   - $1^{ère}$ loi de Képler

Johannes Kepler
1571 à 1630


ASTRONOMIA NOVA
ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ,
SEV
PHYSICA COELESTIS,
tradita commentariis
DE MOTIBVS STELLÆ
MARTIS,
Ex obſervationibus G. V.
TYCHONIS BRAHE:

Juſſu & ſumptibus
RVDOLPHI II.
ROMANORVM
IMPERATORIS &c:

Plurium annorum pertinaci ſtudio
elaborata Pragæ,

A S. C. M.tis S. Mathematico
JOANNE KEPLERO,

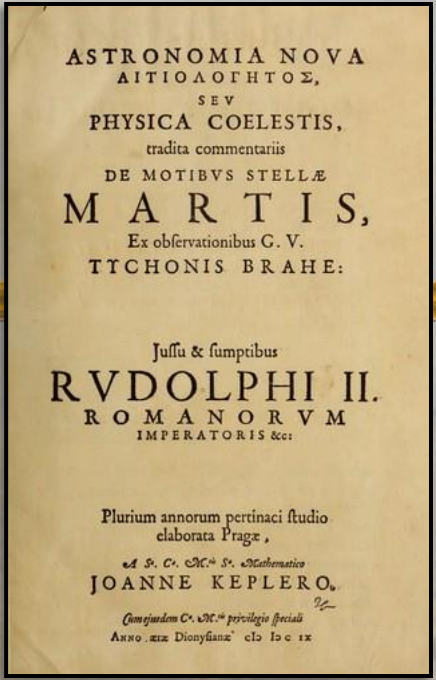
Cum ejusdem C. M.tis privilegio ſpeciali
ANNO æræ Dionyſianæ CIↃ IↃ C IX

1609

<u>$1^{ère}$ loi</u> : Les planètes tournent autour du Soleil en suivant des orbites en forme d'ellipse dont le Soleil occupe un des foyers.

CINÉMATIQUE DES ORBITES

1. La taille des orbites :
   - $1^{ère}$ loi de Képler



ASTRONOMIA NOVA
ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ,
SEV
PHYSICA COELESTIS,
tradita commentariis
DE MOTIBVS STELLÆ
MARTIS,
Ex obſervationibus G. V.
TYCHONIS BRAHE:

Juſſu & ſumptibus
RVDOLPHI II.
ROMANORVM
IMPERATORIS &c:

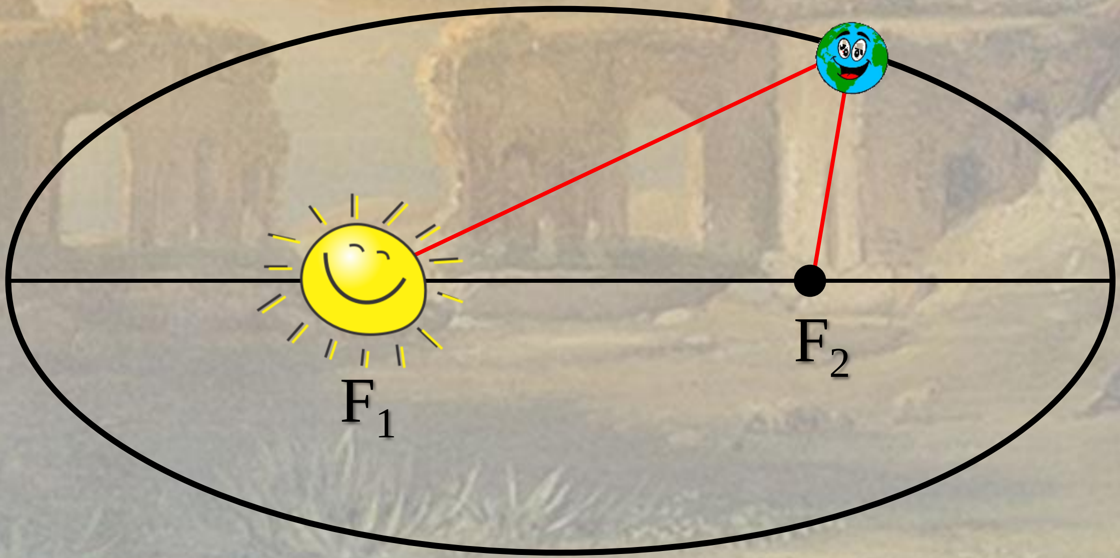
Plurium annorum pertinaci ſtudio
elaborata Pragæ,

A S. C. M.tis S. Mathematico
JOANNE KEPLERO,

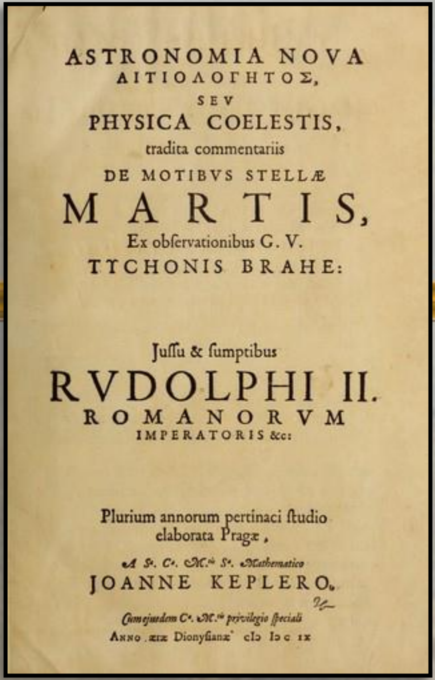
Cum ejusdem C. M.tis privilegio ſpeciali
ANNO æræ Dionyſianæ CIƆ IƆ C IX

1609

Johannes Kepler
1571 à 1630



CINÉMATIQUE DES ORBITES


ASTRONOMIA NOVA
ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ,
SEV
PHYSICA COELESTIS,
tradita commentariis
DE MOTIBVS STELLÆ
MARTIS,
Ex obſervationibus G. V.
TYCHONIS BRAHE:

Juſſu & ſumptibus
RVDOLPHI II.
ROMANORVM
IMPERATORIS &c:

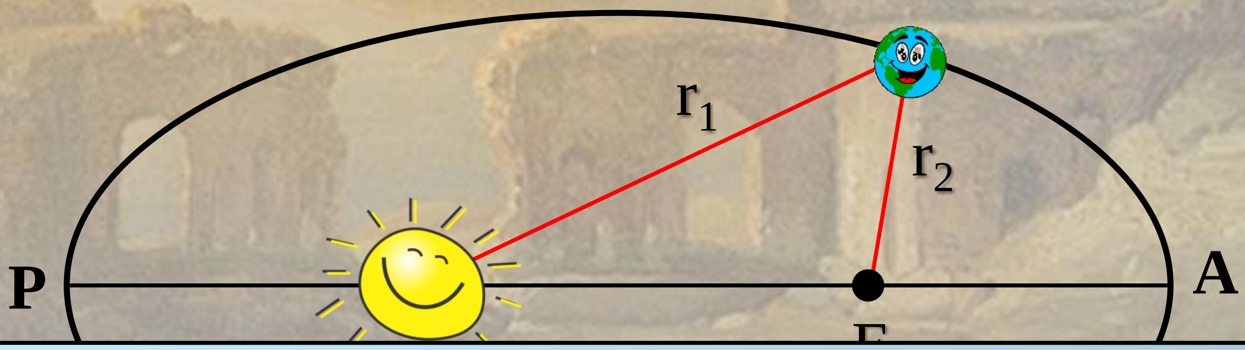
Plurium annorum pertinaci ſtudio
elaborata Pragæ,

A S. C. M.tis S. Mathematico
JOANNE KEPLERO,

Cum ejusdem C. M.tis privilegio ſpeciali
Anno æræ Dionyſianæ CIↃ IↃ C IX

1609

1. La taille des orbites :
   - 1^ère^ loi de Képler



Une ellipse est formée par l'ensemble des points dont la somme de la distance à deux positions appelés foyers est égale à une constante.

1) r_1+r_2 = Constante

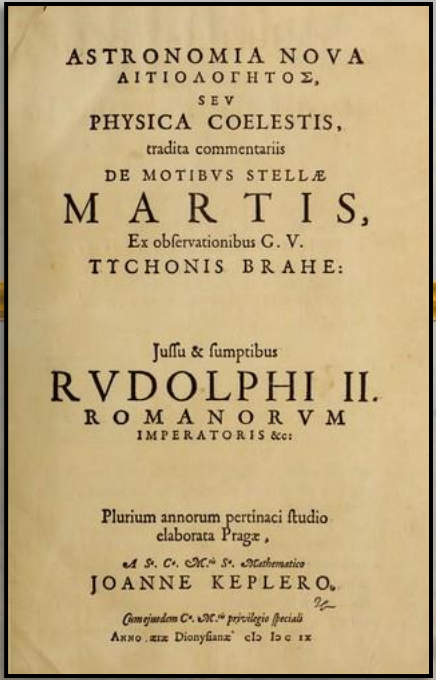
2) r_1+r_2 = PA

Johannes Kepler
1571 à 1630

CINÉMATIQUE DES ORBITES

1.

Johannes Kepler
1571 à 1630



ASTRONOMIA NOVA
ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ,
SEV
PHYSICA COELESTIS,
tradita commentariis
DE MOTIBVS STELLÆ
MARTIS,
Ex obſervationibus G. V.
TYCHONIS BRAHE:

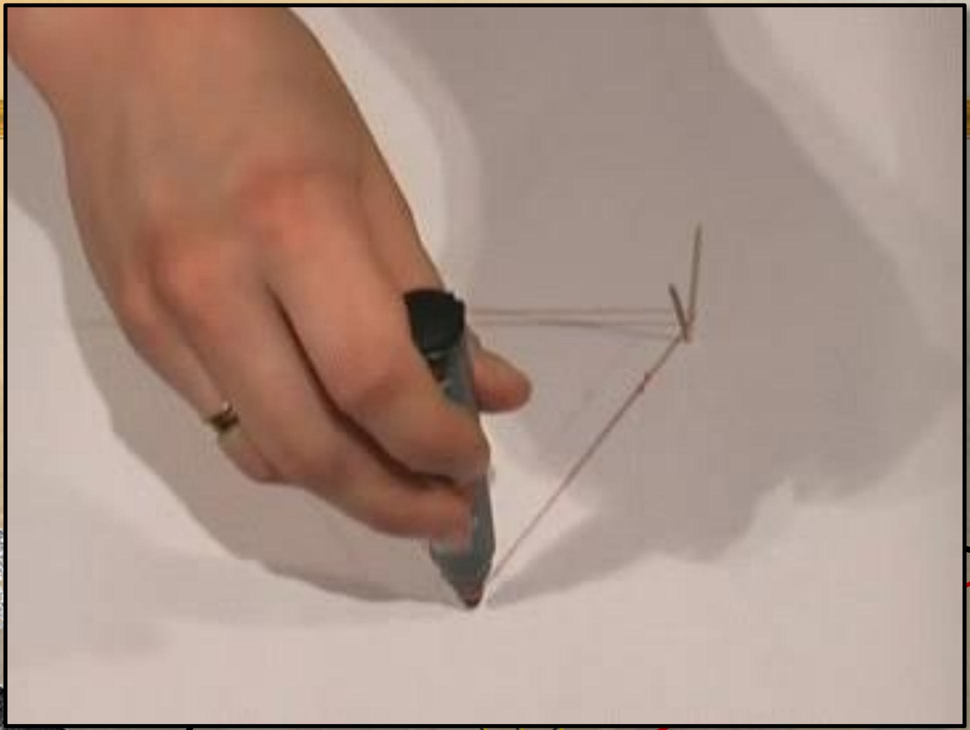
Juſſu & ſumptibus
RVDOLPHI II.
ROMANORVM
IMPERATORIS &c:

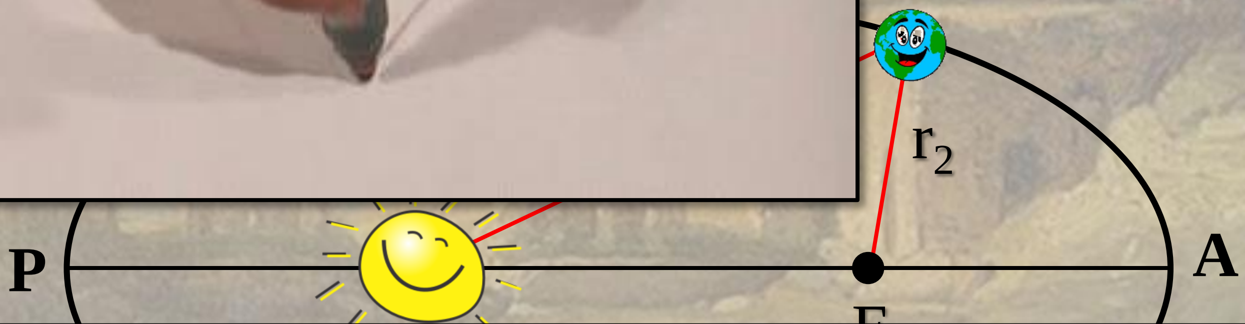
Plurium annorum pertinaci ſtudio
elaborata Pragæ,

A S. C. M.tis S. Mathematico
JOANNE KEPLERO,

Cum ejusdem C. M.tis privilegio ſpeciali
ANNO æræ Dionyſianæ cIↄ Iↄ c IX

1609





Une ellipse est formée par l’ensemble des points dont la somme de la distance à deux positions appelés foyers est égale à une constante.

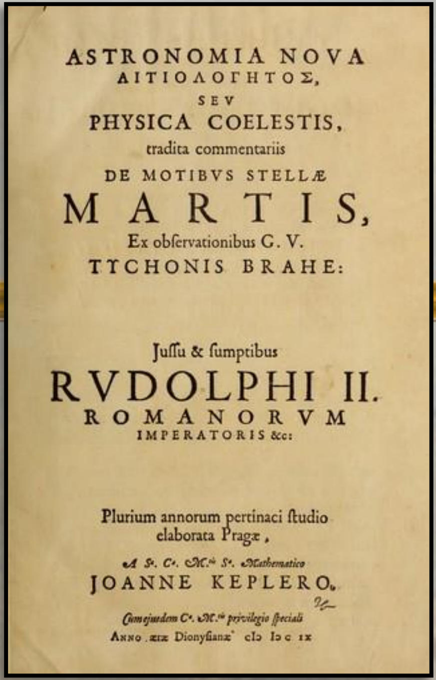
1) r_1+r_2 = Constante

2) r_1+r_2 = PA

CINÉMATIQUE DES ORBITES

2. La taille des orbites :
   - Anatomie de l'ellipse

Johannes Kepler
1571 à 1630



ASTRONOMIA NOVA
ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ,
SEV
PHYSICA COELESTIS,
tradita commentariis
DE MOTIBVS STELLÆ
MARTIS,
Ex obſervationibus G. V.
TYCHONIS BRAHE:

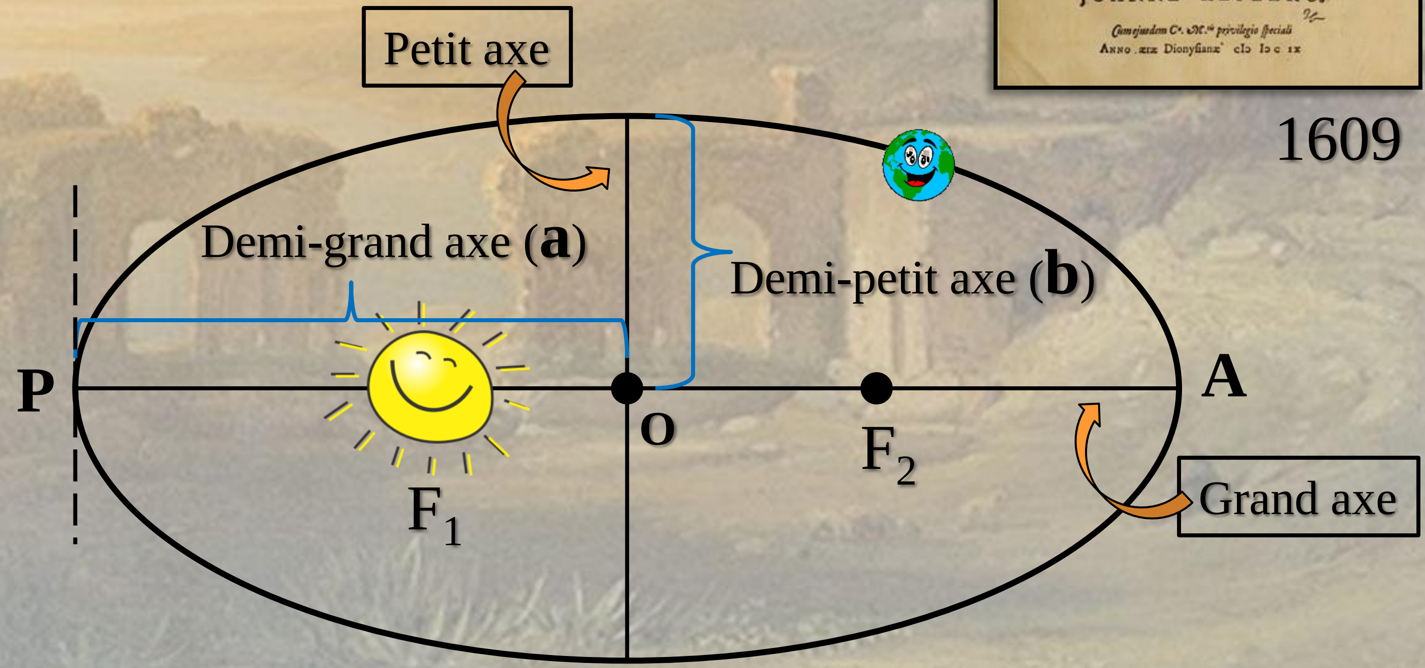
Juſſu & ſumptibus
RVDOLPHI II.
ROMANORVM
IMPERATORIS &c:

Plurium annorum pertinaci ſtudio
elaborata Pragæ,

A S. C. M.tis S. Mathematico
JOANNE KEPLERO,

Cum ejusdem C. M.tis privilegio ſpeciali
ANNO æræ Dionyſianæ clↃ IↃ c ix

1609

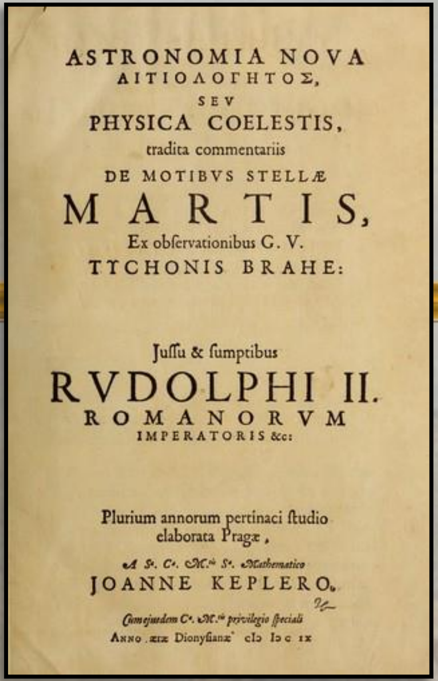


CINÉMATIQUE DES ORBITES

2. La taille des orbites :

- Anatomie de l'ellipse

Johannes Kepler
1571 à 1630



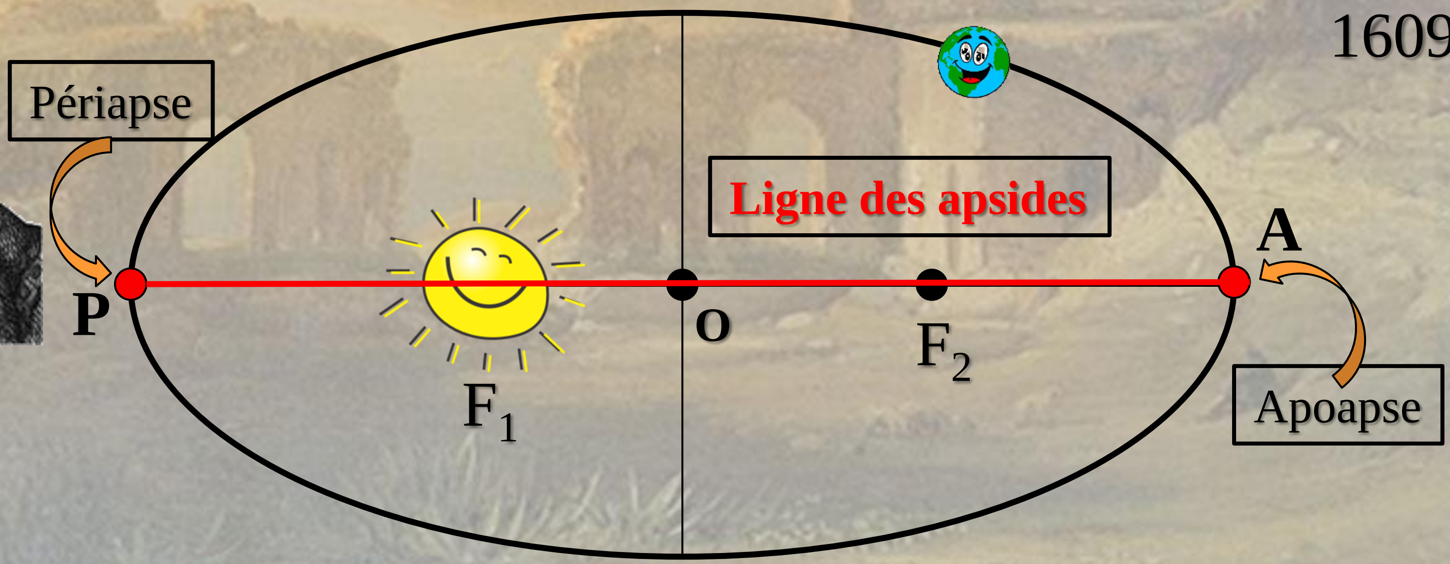
ASTRONOMIA NOVA
ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ,
SEV
PHYSICA COELESTIS,
tradita commentariis
DE MOTIBVS STELLÆ
MARTIS,
Ex obſervationibus G. V.
TYCHONIS BRAHE:

Juſſu & ſumptibus
RVDOLPHI II.
ROMANORVM
IMPERATORIS &c:

Plurium annorum pertinaci ſtudio
elaborata Pragæ,

JOANNE KEPLERO,

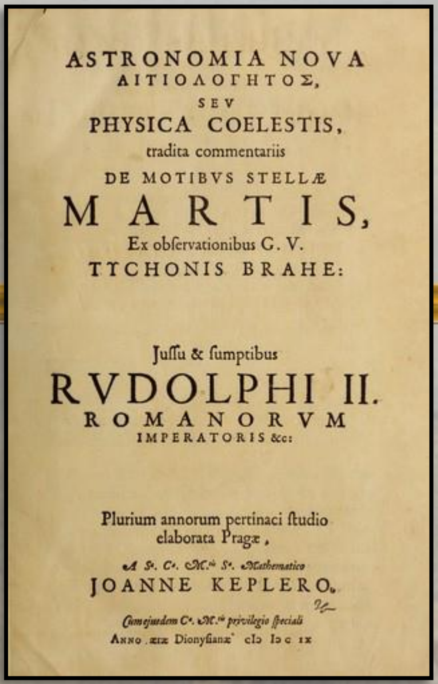
1609



CINÉMATIQUE DES ORBITES

2. La taille des orbites :
   - Anatomie de l'ellipse

Johannes Kepler
1571 à 1630



ASTRONOMIA NOVA
ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ,
SEV
PHYSICA COELESTIS,
tradita commentariis
DE MOTIBVS STELLÆ
MARTIS,
Ex obſervationibus G. V.
TYCHONIS BRAHE:

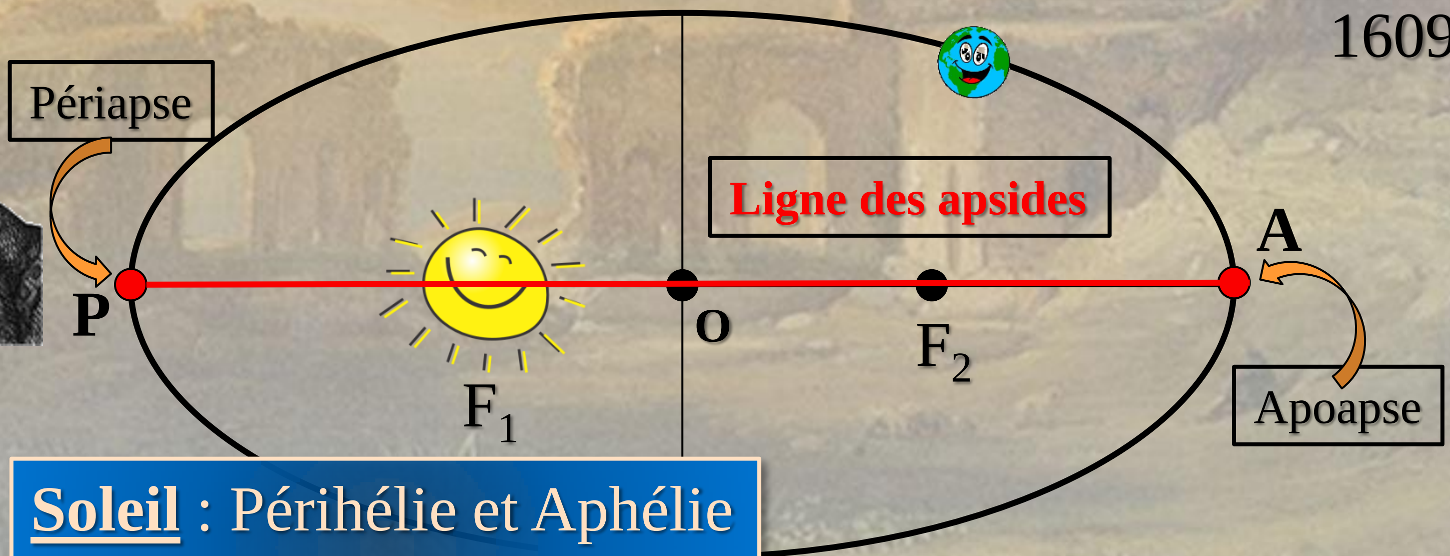
Juſſu & ſumptibus
RVDOLPHI II.
ROMANORVM
IMPERATORIS &c:

Plurium annorum pertinaci ſtudio
elaborata Pragæ,

A S. C. M.tis S. Mathematico
JOANNE KEPLERO,

Cum ejusdem C. M.tis privilegio ſpeciali
Anno æræ Dionyſianæ CIↃ IↃ C IX

1609



Soleil : Périhélie et Aphélie
Terre : Périgée et Apogée

CINÉMATIQUE DES ORBITES

✶ Les éléments képlériens des orbites :

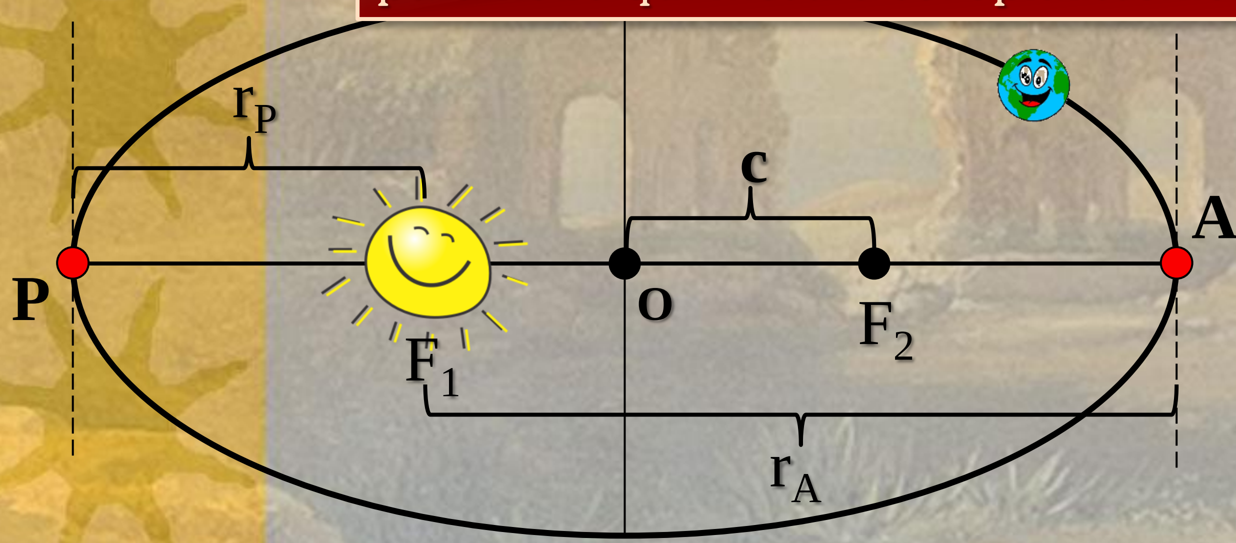
✓ 1. **Taille** ➡ Demi-grand axe (a)
2. **Forme** ➡ Excentricité (e)
3. Tangage ➡ Inclinaison (i)
4. Lacet ➡ Longitude du nœud ascendant (Ω)
5. Roulis ➡ Argument du périastre (ω)
6. Position orbitale ➡ Anomalie vraie (υ)

CINÉMATIQUE DES ORBITES

2. La forme des orbites :

- L'excentricité de l'ellipse

Une ellipse peut être ± *étirée*. L'excentricité (*e*) est le paramètre qui mesure cet aplatissement de l'orbite elliptique.



$$\mathbf{e} = \frac{\overline{F_1F_2}}{\overline{PA}} = \frac{r_A - r_P}{r_A + r_P}$$

Mais $r_A + r_P = 2a$

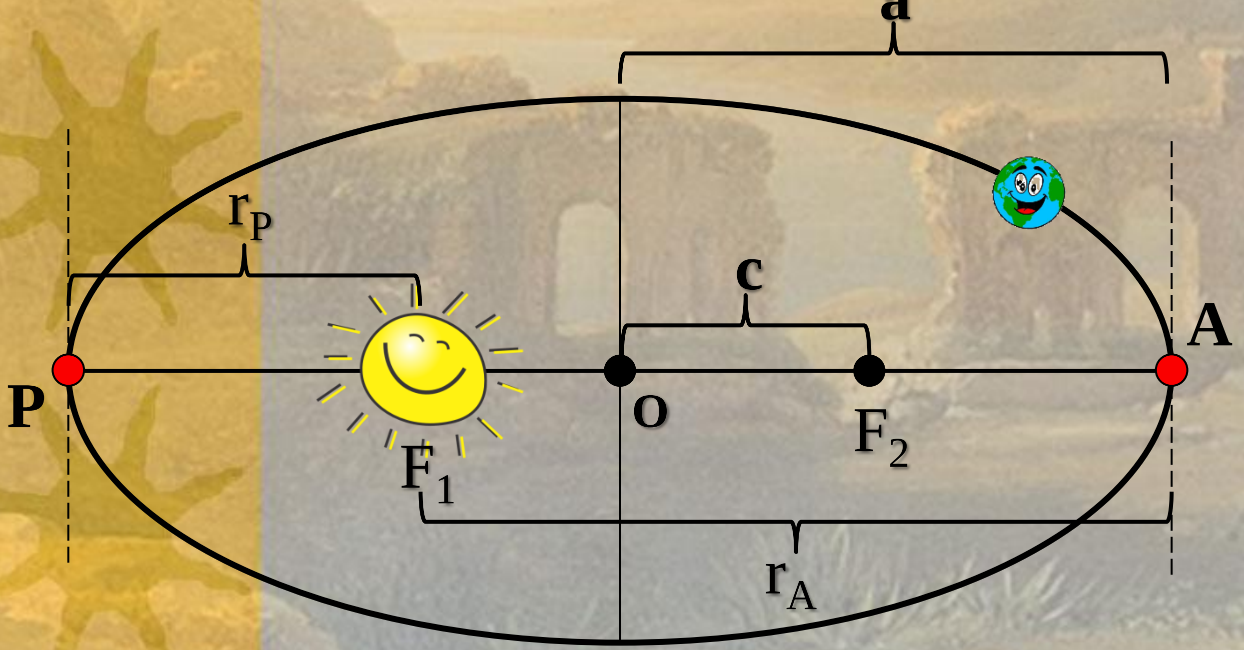
Et $r_A = a + c$

$r_P = a - c$

CINÉMATIQUE DES ORBITES

2. La forme des orbites :

- L'excentricité de l'ellipse ➡ $e = \frac{\overline{F_1F_2}}{\overline{PA}} = \frac{r_A - r_P}{r_A + r_P}$



Mais $r_A + r_P = 2a$

Et $r_A = a + c$

$r_P = a - c$

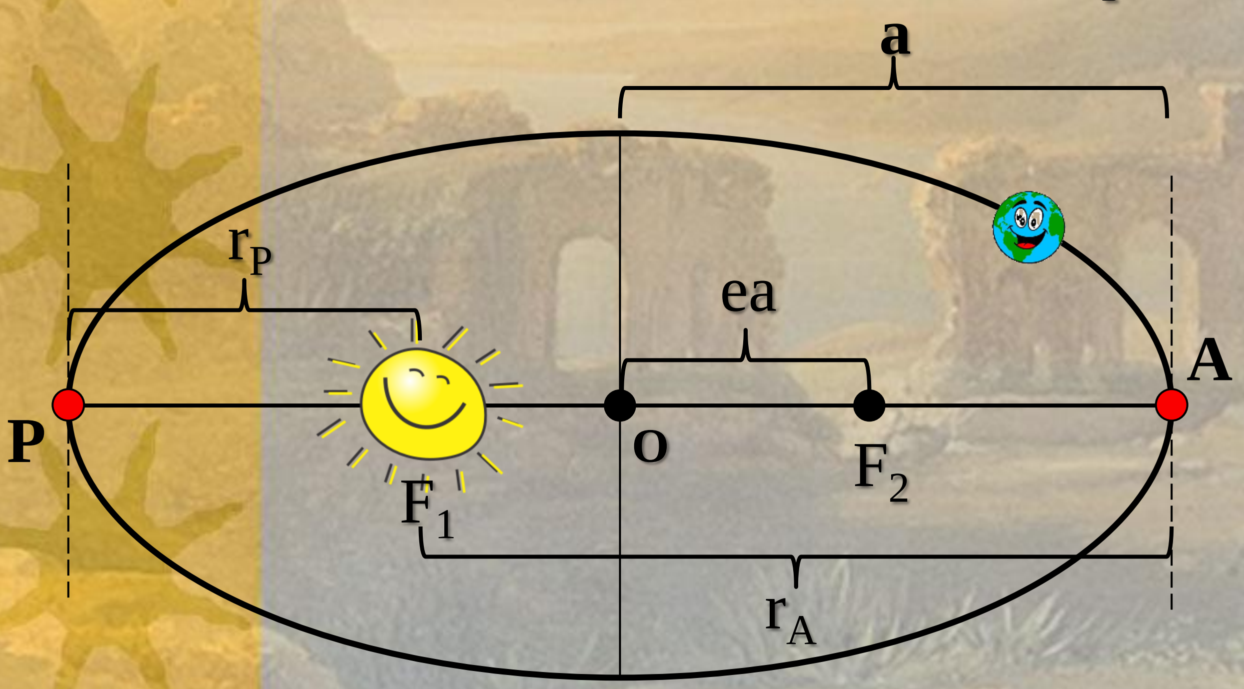
$$\boldsymbol{e} = \frac{a + c - (a - c)}{a + c + a - c} = \frac{2c}{2a}$$

Finalement, $\boxed{\boldsymbol{c = ea}}$

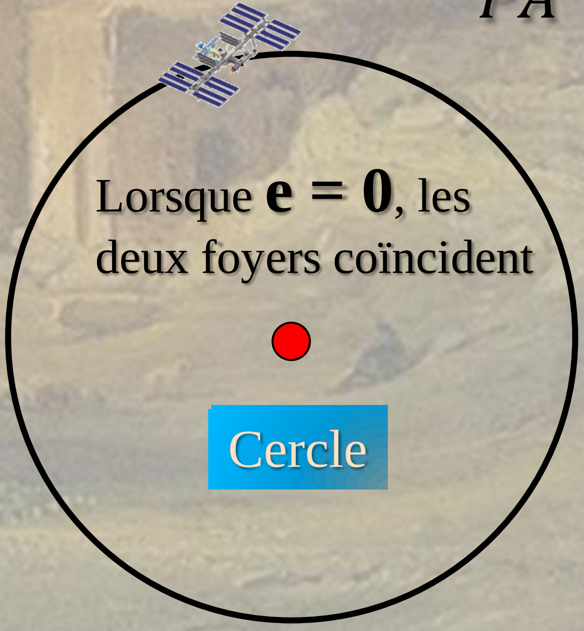
CINÉMATIQUE DES ORBITES

2. La forme des orbites :

- L'excentricité de l'ellipse ➡ $\mathbf{0 < \mathit{e} < 1}$



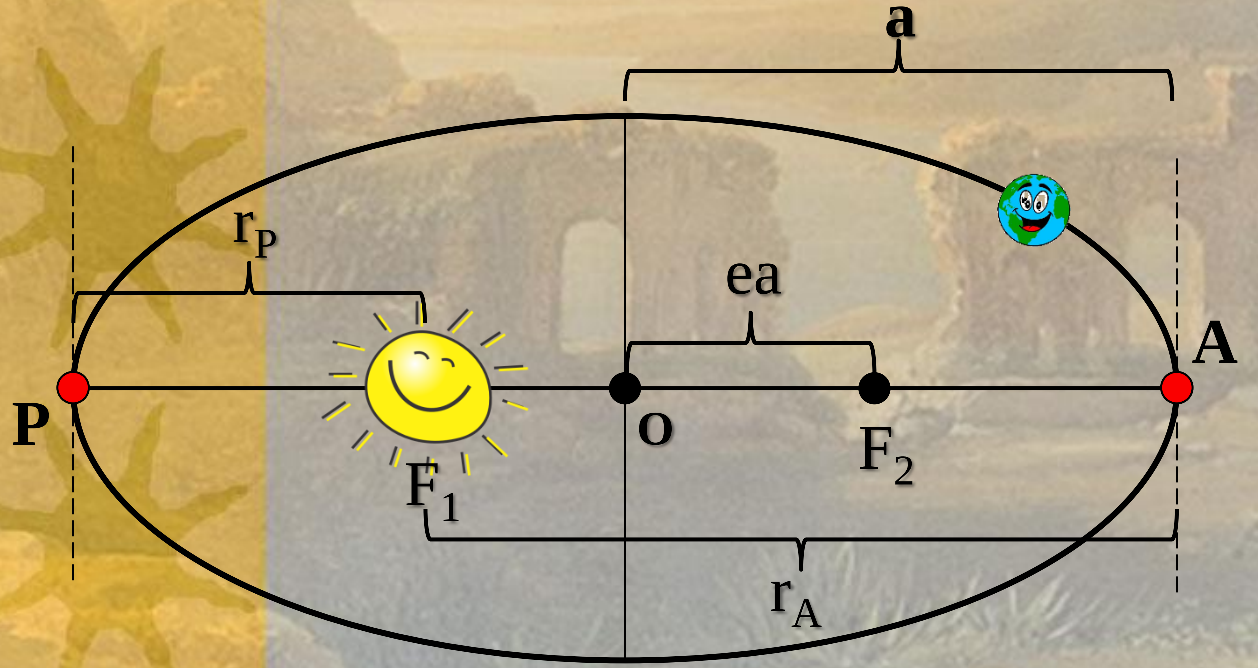
$$\mathbf{e} = \frac{\overline{F_1F_2}}{\overline{PA}}$$



CINÉMATIQUE DES ORBITES

2. La forme des orbites :

- L'excentricité de l'ellipse ➡ $0 < e < 1$

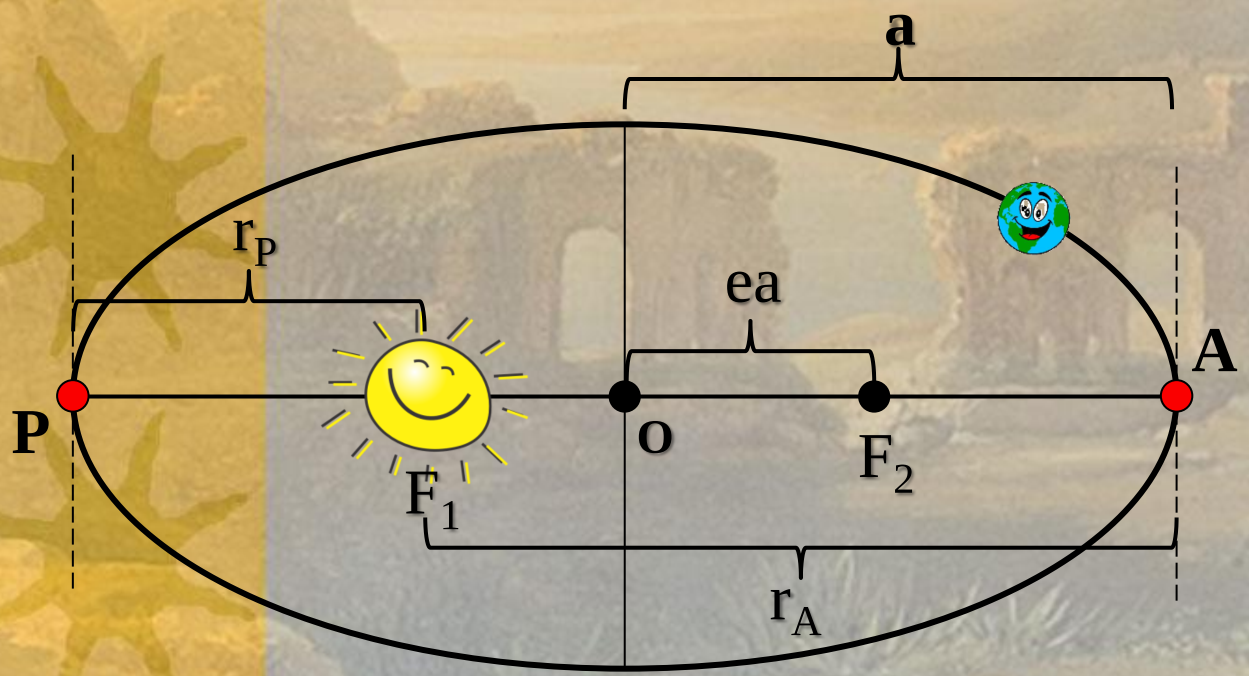


Lorsque **e = 1**, on obtient une parabole

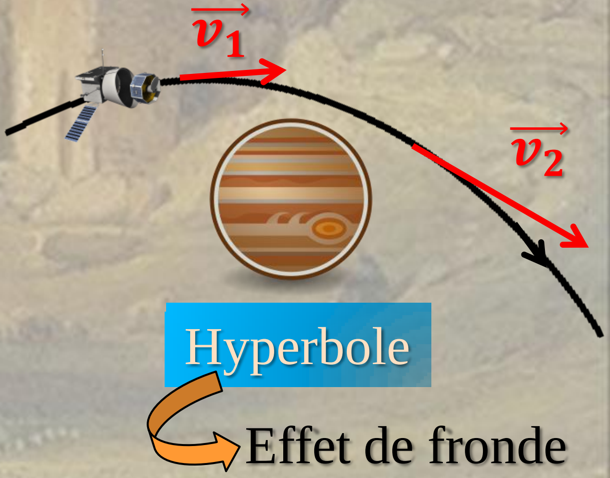
CINÉMATIQUE DES ORBITES

2. La forme des orbites :

- L'excentricité de l'ellipse ➡ $0 < e < 1$



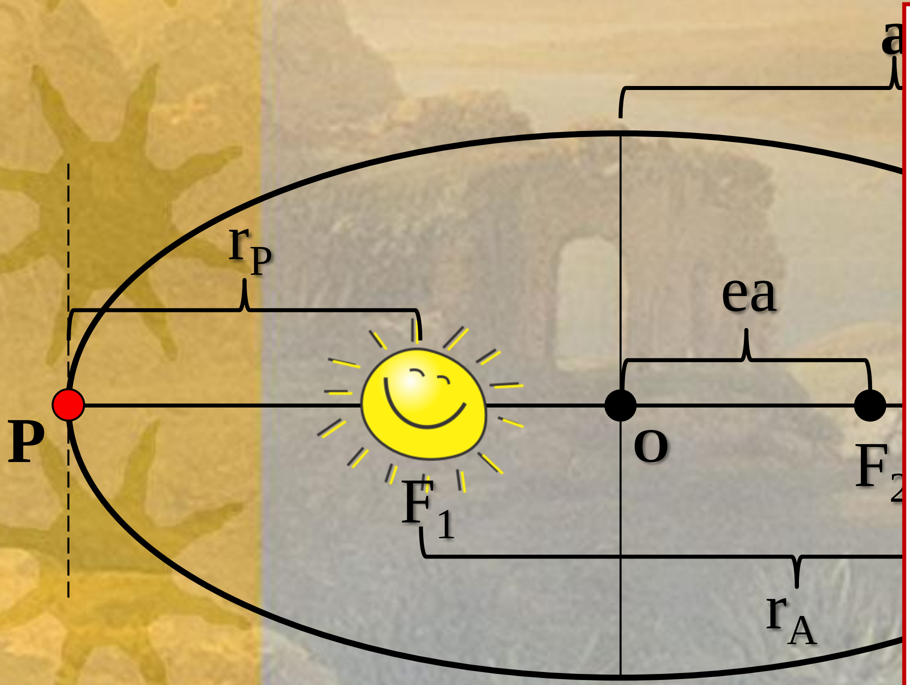
Lorsque **e > 1**, on obtient une hyperbole

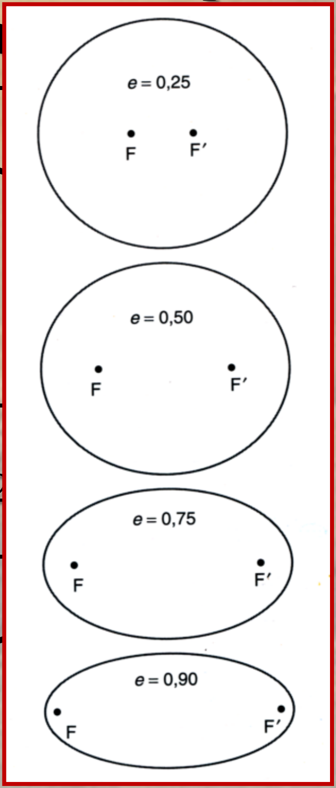


CINÉMATIQUE DES ORBITES

2. La forme des orbites :

- L'excentricité de l'ellipse ➡ $0 < e < 1$



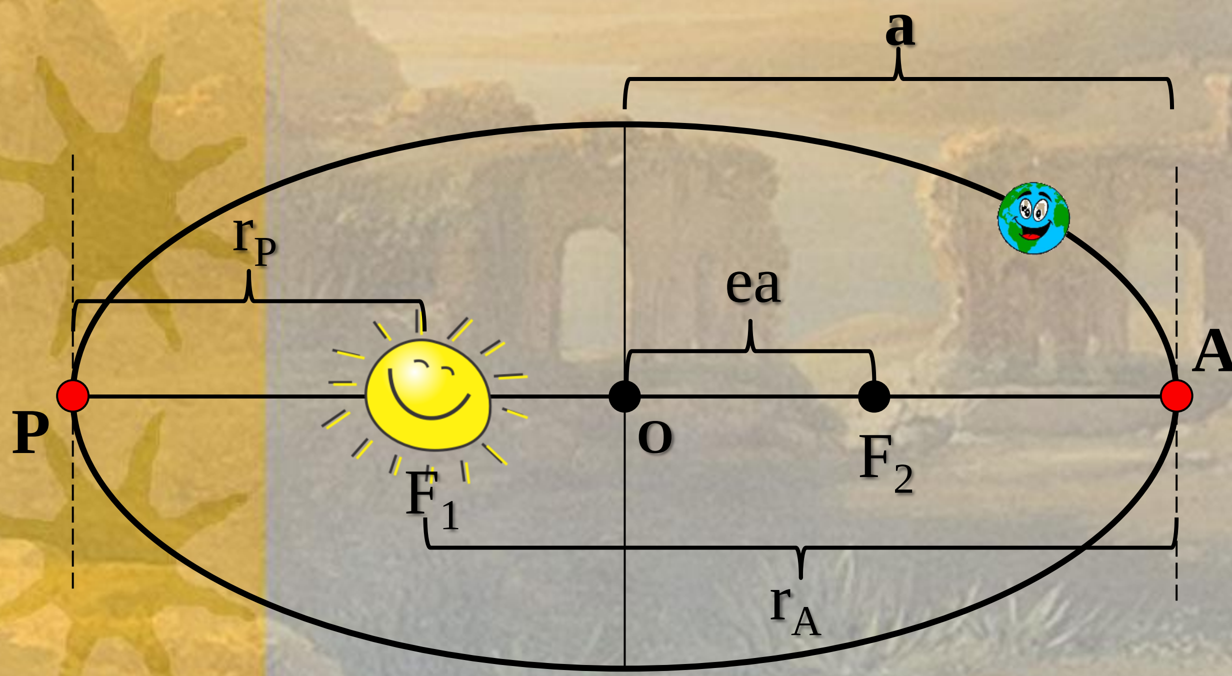


Planète	Excentricité orbitale Époque J2000
Mercure	0,205 630 69
Vénus	0,006 773 23
Terre	0,016 710 22
Mars	0,093 412 33
Jupiter	0,048 392 66
Saturne	0,054 150 60
Uranus	0,047 167 71
Neptune	0,008 585 87

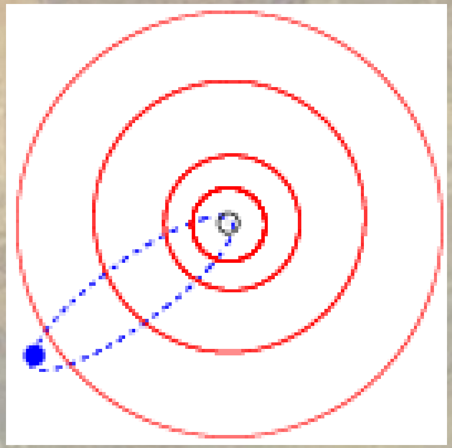
CINÉMATIQUE DES ORBITES

2. La forme des orbites :

- L'excentricité de l'ellipse ➡ $0 < e < 1$



e comète de Halley : 0,96727



Période = 76,09 ans   Périhélie = 0,58721 U.A.   Aphélie = 35,33 U.A.

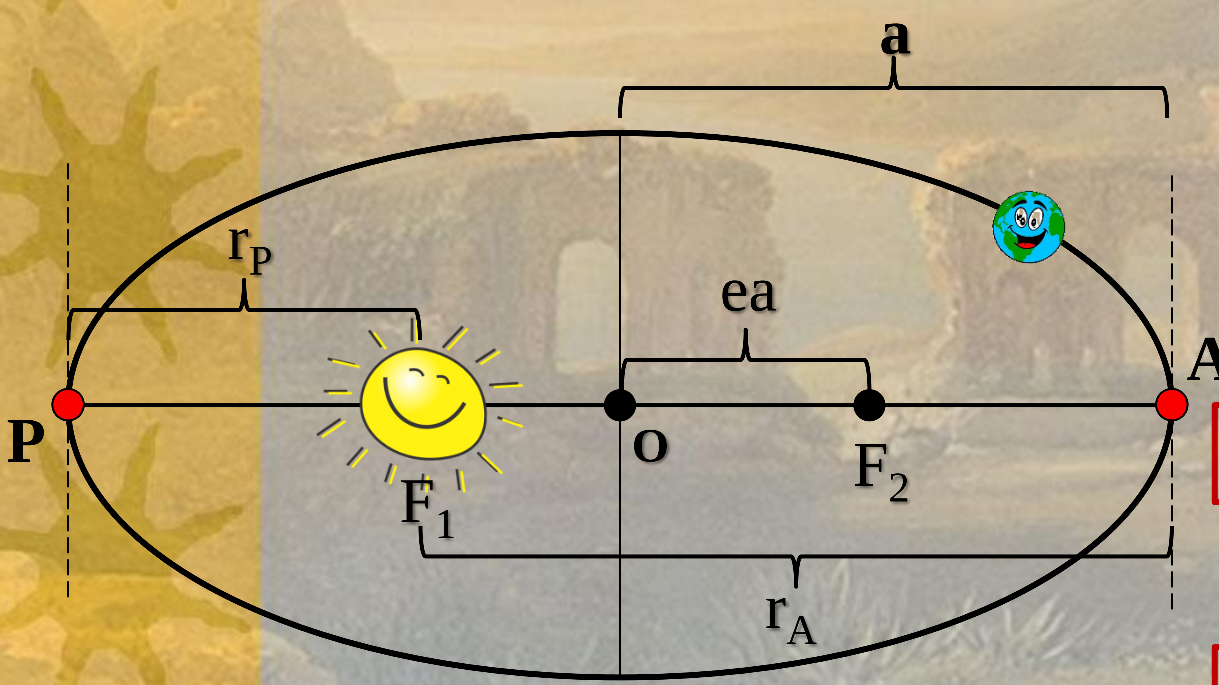
CINÉMATIQUE DES ORBITES

2. La forme des orbites :

- L'orbite de la Terre

$$\boldsymbol{a_T} = 1U.A. = 149{,}6 \times 10^6 km$$

$$\boldsymbol{e_T} = 0{,}0167$$



Distance au périhélie :

$$r_P = a - ea$$

$$r_P = a(1 - e)$$

$$r_P = 149{,}6 \times 10^6 (1\text{- }0{,}0167)$$

$$\boxed{\boldsymbol{r_P} = 147{,}1 \times 10^6 km}$$

$$r_A = a(1 + e)$$

$$\boxed{\boldsymbol{r_A} = 152{,}1 \times 10^6 km}$$

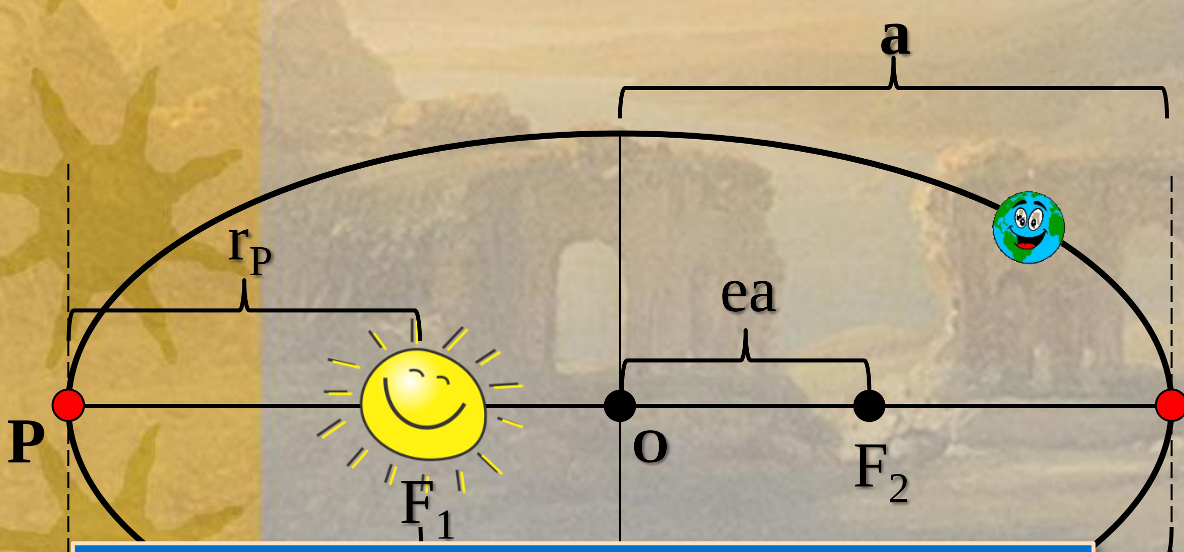
CINÉMATIQUE DES ORBITES

2. La forme des orbites :

- L'orbite de la Terre

$$\boldsymbol{a_T} = 1U.A. = 149{,}6 \times 10^6 km$$

$$\boldsymbol{e_T} = 0{,}0167$$



Distance au périhélie :

$$r_P = a - ea$$

$$r_P = a(1 - e)$$

$$r_P = 149{,}6 \times 10^6 (1\text{- }0{,}0167)$$

$$\boxed{\boldsymbol{r_P} = 147{,}1 \times 10^6 km}$$

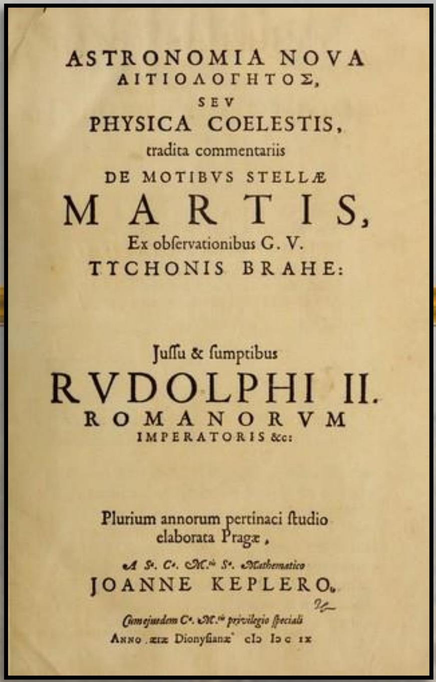
$$r_A = a(1 + e)$$

$$\boxed{\boldsymbol{r_A} = 152{,}1 \times 10^6 km}$$

Le périhélie de la Terre s'est produit cette année le 3 janvier à 5:00 heures.

CINÉMATIQUE DES ORBITES

Johannes Kepler



ASTRONOMIA NOVA
ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ,
SEV
PHYSICA COELESTIS,
tradita commentariis
DE MOTIBVS STELLÆ
MARTIS,
Ex observationibus G. V.
TYCHONIS BRAHE:

Jussu & sumptibus
RVDOLPHI II.
ROMANORVM
IMPERATORIS &c:

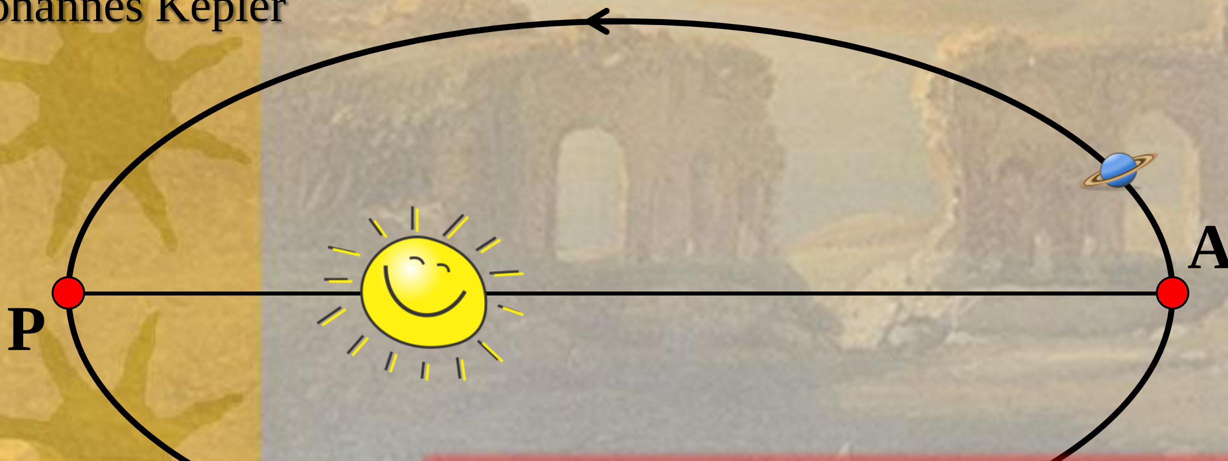
Plurium annorum pertinaci studio
elaborata Pragæ,
A S. C. M.tis S. Mathematico
JOANNE KEPLERO,
Cum ejusdem C. M.tis privilegio speciali
Anno æræ Dionysianæ CIↃ IↃ C IX

1609

2. La taille des orbites :

- La 2e loi de Kepler

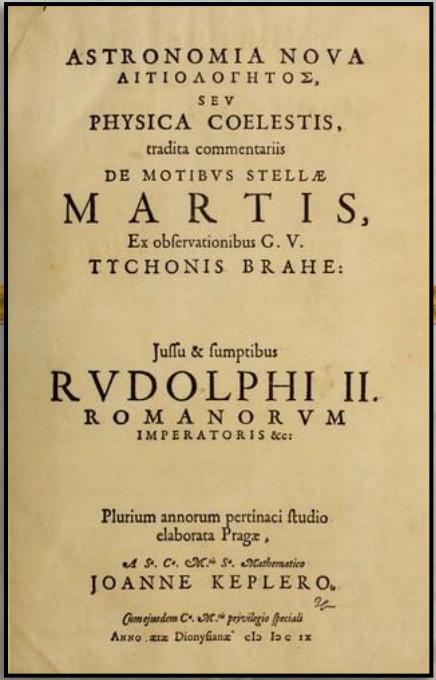
Loi du balai d'essuie-glace



2e loi : le rayon-vecteur reliant une planète au Soleil balaie des aires égales en des temps égaux

CINÉMATIQUE DES ORBITES

Johannes Kepler



ASTRONOMIA NOVA
ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ,
SEV
PHYSICA COELESTIS,
tradita commentariis
DE MOTIBVS STELLÆ
M A R T I S,
Ex obſervationibus G. V.
TYCHONIS BRAHE:

Juſſu & ſumptibus
RVDOLPHI II.
ROMANORVM
IMPERATORIS &c:

Plurium annorum pertinaci ſtudio
elaborata Pragæ,

A S. C. M.tis S. Mathematico
JOANNE KEPLERO,

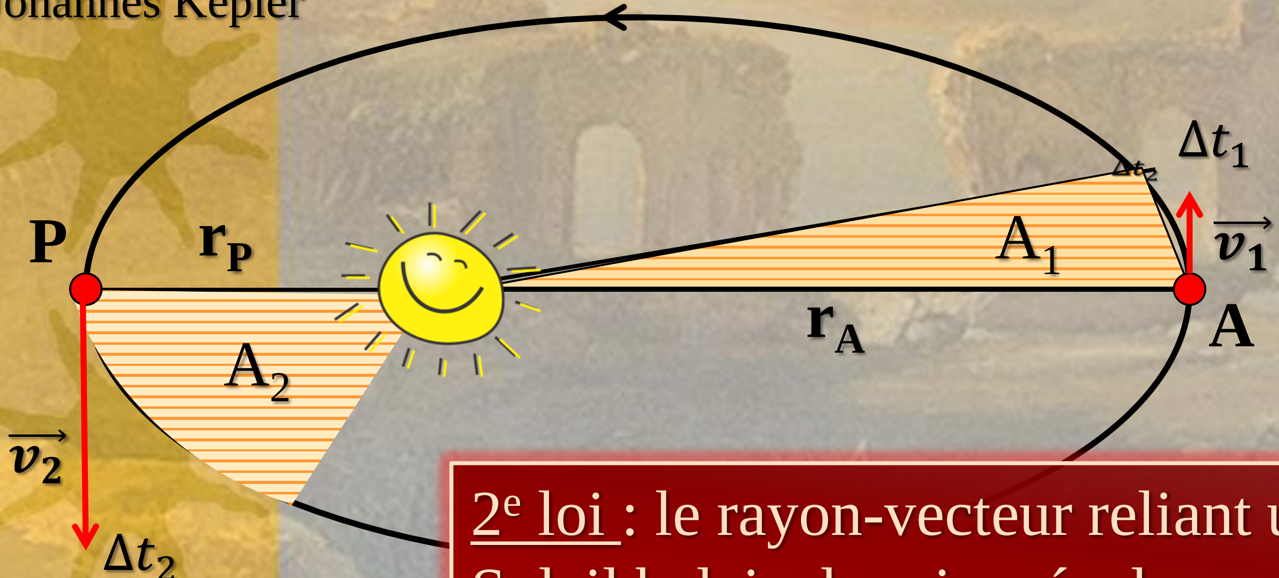
Cum ejusdem C. M.tis privilegio ſpeciali
ANNO æræ Dionyſianæ cIↃ IↃ c IX

1609

2. La taille des orbites :

- La 2[e] loi de Kepler

Loi du balai d’essuie-glace



Képler nous dit que si $\Delta t_1 = \Delta t_2$, alors $A_1 = A_2$

<u>2[e] loi</u> : le rayon-vecteur reliant une planète au Soleil balaie des aires égales en des temps égaux

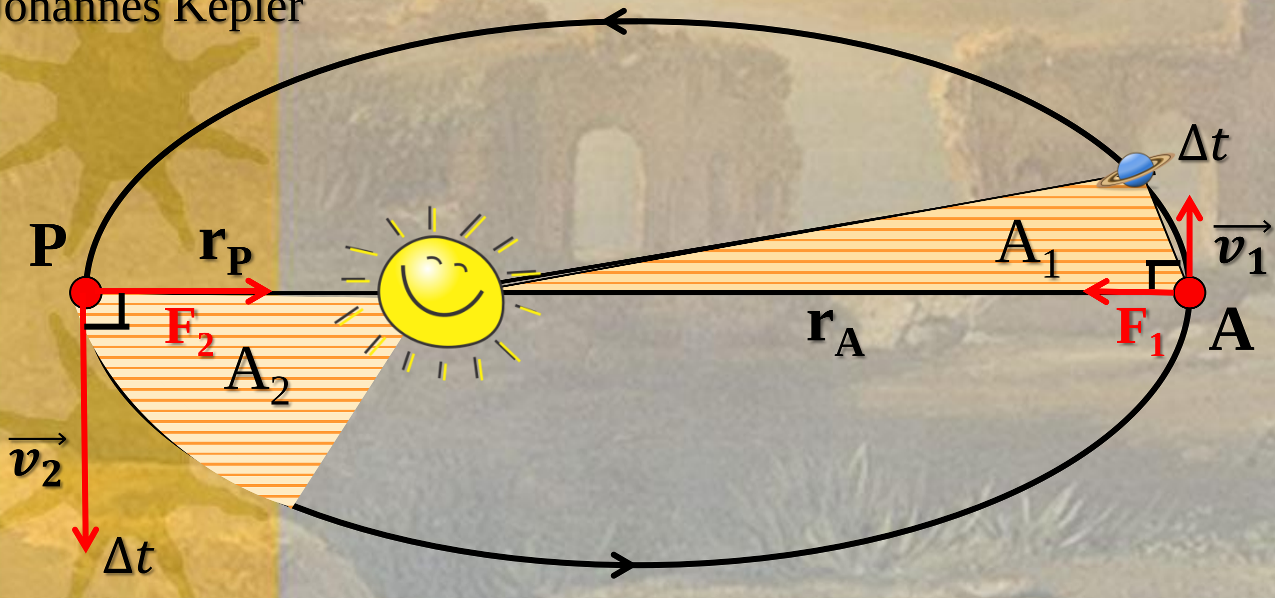
CINÉMATIQUE DES ORBITES

Johannes Kepler

2. La taille des orbites :

- La 2e loi de Kepler

Conservation du moment angulaire :



CINÉMATIQUE DES ORBITES

Johannes Kepler

2. La taille des orbites :

- La 2e loi de Kepler

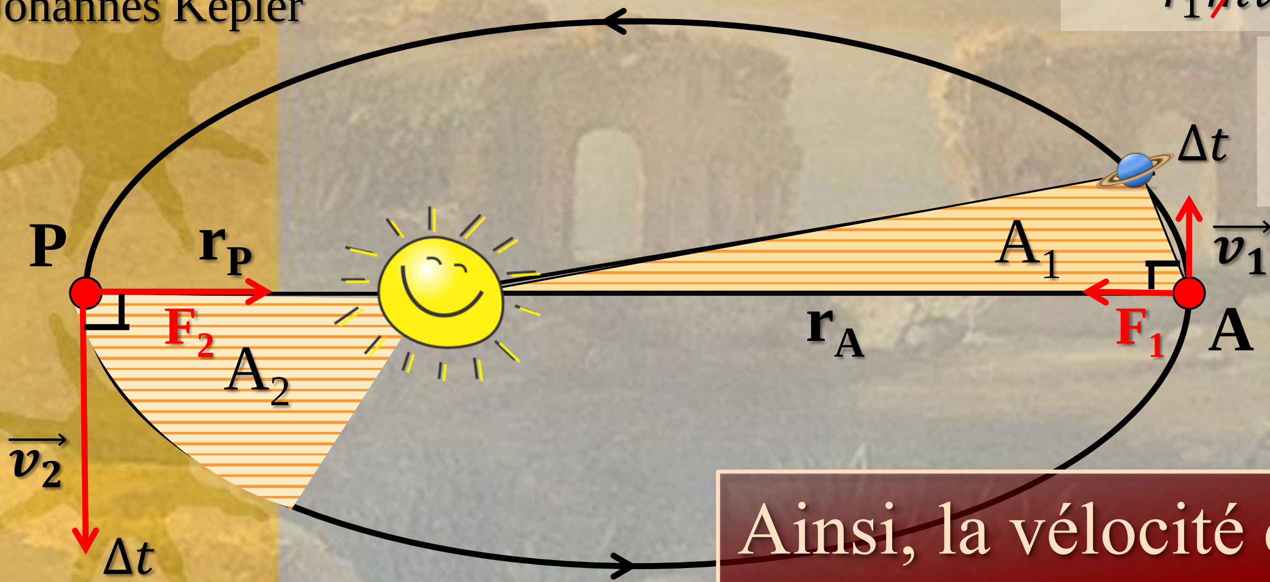
Conservation du moment angulaire :

$$\overrightarrow{L_1} = \overrightarrow{L_2}$$

$$\overrightarrow{r_1}\cancel{m}\overrightarrow{v_1}\cancel{\sin}\,\theta_1 = \overrightarrow{r_2}\cancel{m}\overrightarrow{v_2}\cancel{\sin}\,\theta_2$$

Au Périhélie et à l'Aphélie,

$\theta = \frac{\pi}{2}$ et $\sin\theta = 1$



Et, $\overrightarrow{r_1}\overrightarrow{v_1} = \overrightarrow{r_2}\overrightarrow{v_2}$

Si $|\vec{r}|$ ↑, alors $|\vec{v}|$ ↓

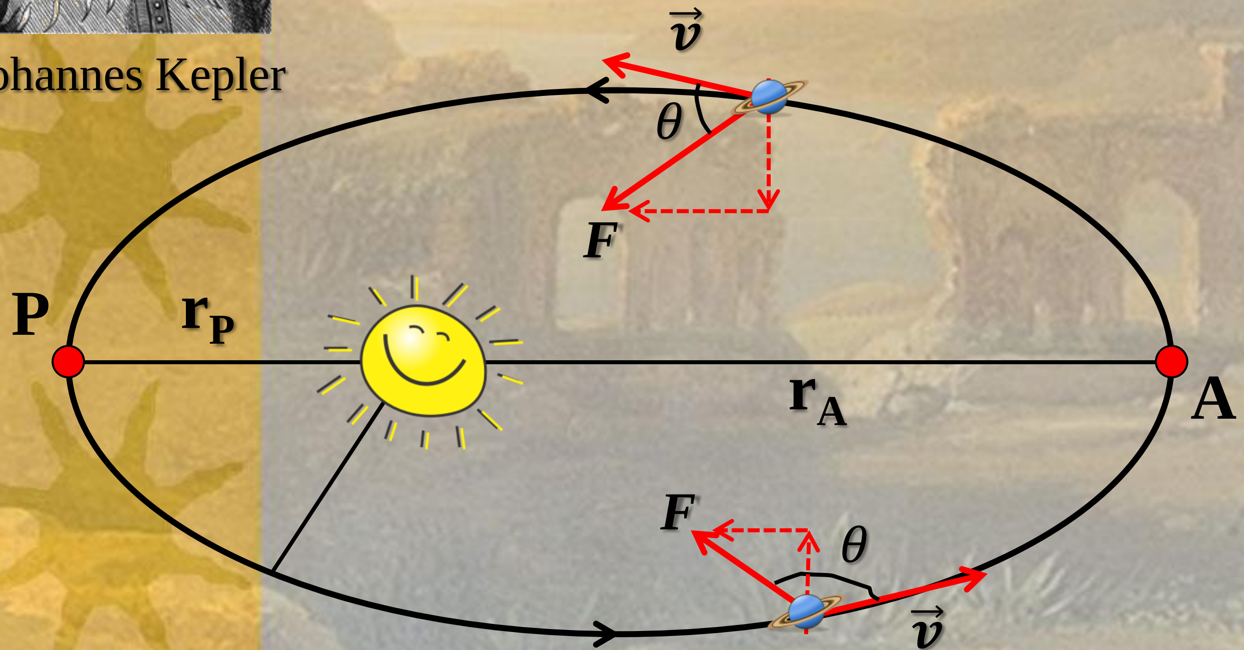
Ainsi, la vélocité de l'astre en orbite est variable sur une orbite elliptique.

CINÉMATIQUE DES ORBITES


Johannes Kepler

2. La taille des orbites :

- La 2e loi de Kepler

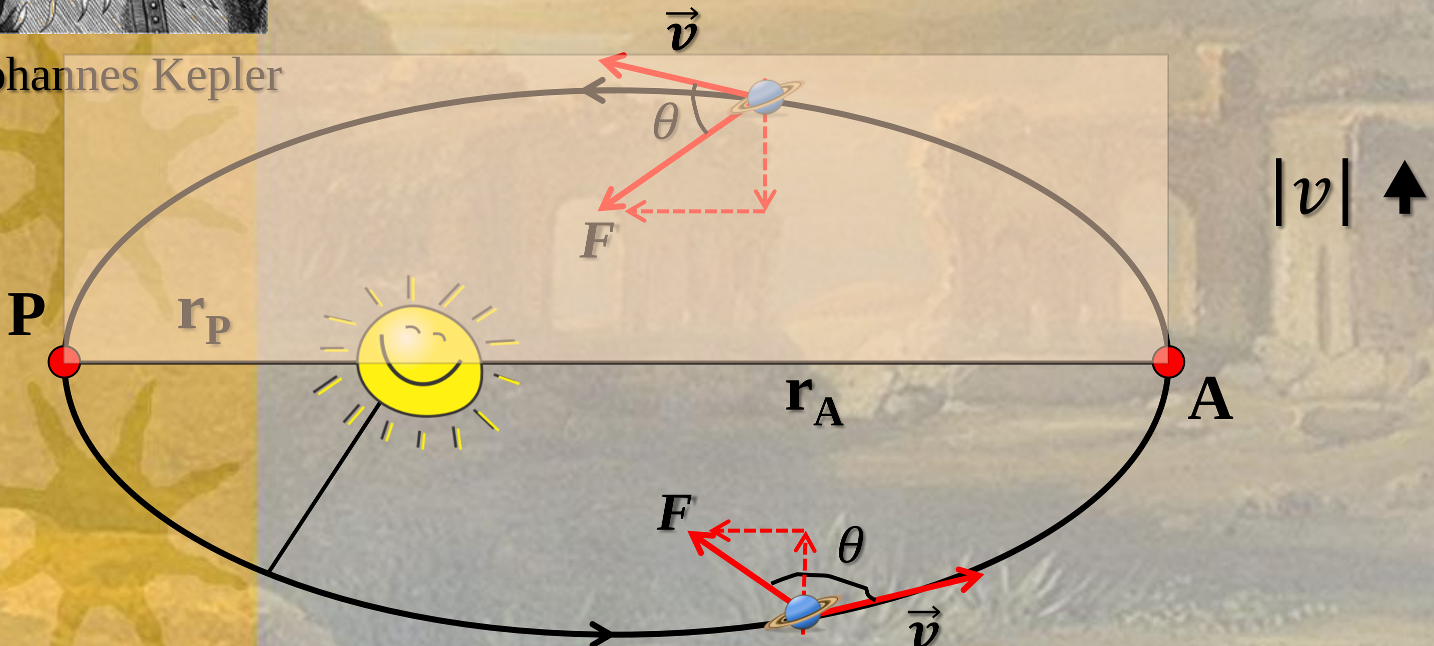


CINÉMATIQUE DES ORBITES

Johannes Kepler

2. La taille des orbites :

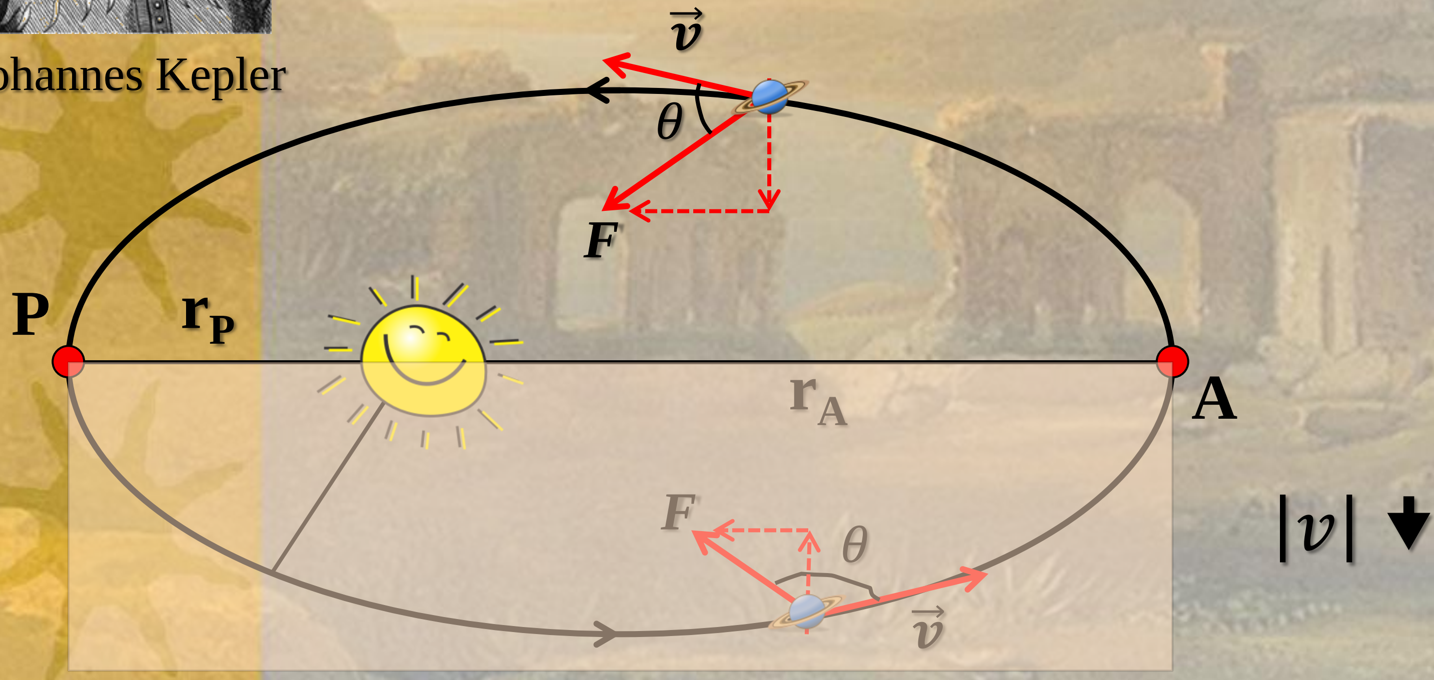
- La 2e loi de Kepler



CINÉMATIQUE DES ORBITES

Johannes Kepler

2. La taille des orbites :
   - La 2e loi de Kepler



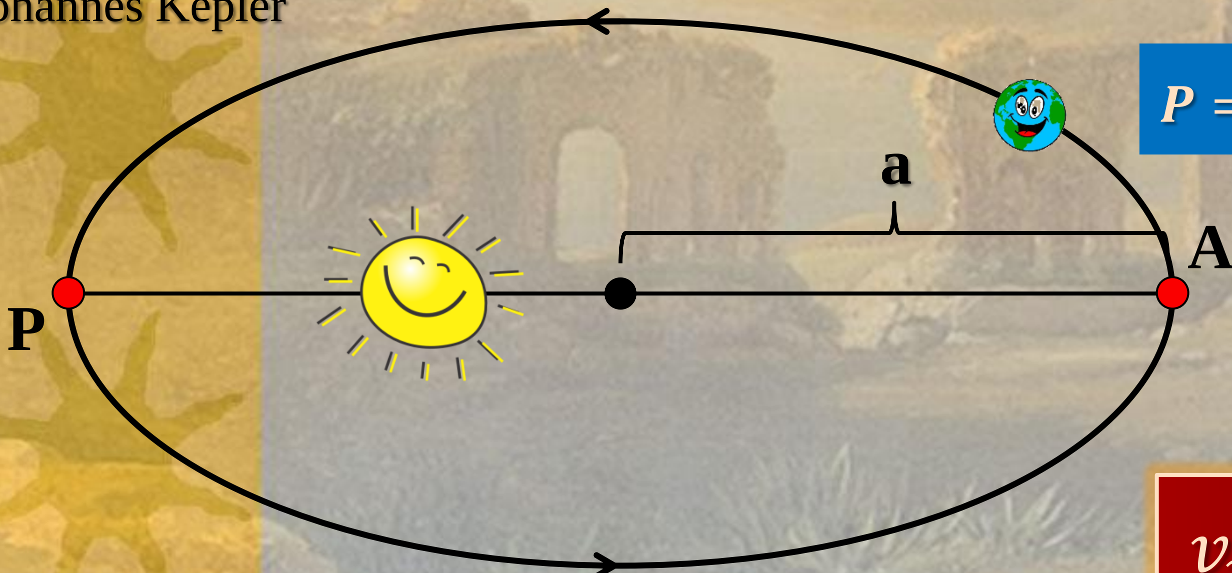
CINÉMATIQUE DES ORBITES

Johannes Kepler

2. La taille des orbites :

- La 2^e loi de Kepler

La vélocité de la Terre sur son orbite :



$$P = 4a \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - e^2 \sin^2 x}\, dx$$

$$v_m \cong \frac{2\pi a}{365{,}25\ j}$$

Où a = 149,6 x 10^6 km

$$v_m = 29{,}79\ {}^{km}/_{s}$$

CINÉMATIQUE DES ORBITES

Johannes Kepler

2. La taille des orbites :

- La 2e loi de Kepler

$$v_m = 29{,}79\ {}^{km}/_{s}$$

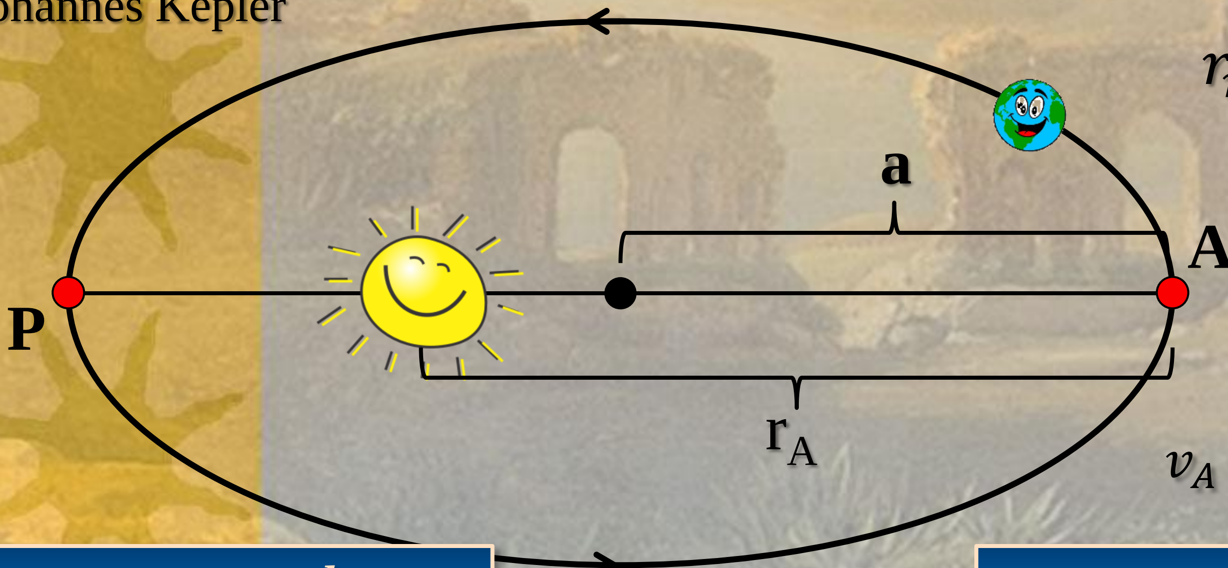
La vélocité de la Terre à l'aphélie :

$$r_m v_m = r_A v_A$$

$$v_A = \frac{r_m v_m}{r_A}$$

On a vu que $r_A = a(1+e)$

$$v_A = \frac{\cancel{a} v_m}{\cancel{a}(1+e)} = \frac{29{,}79}{1+0{,}0167}$$

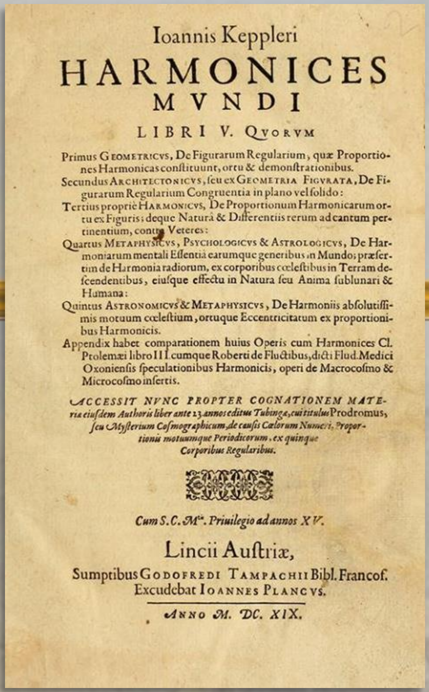


$$v_p = 30{,}17\ {}^{km}/_{s}$$

$$v_A = 29{,}178\ {}^{km}/_{s}$$

CINÉMATIQUE DES ORBITES

Johannes Kepler

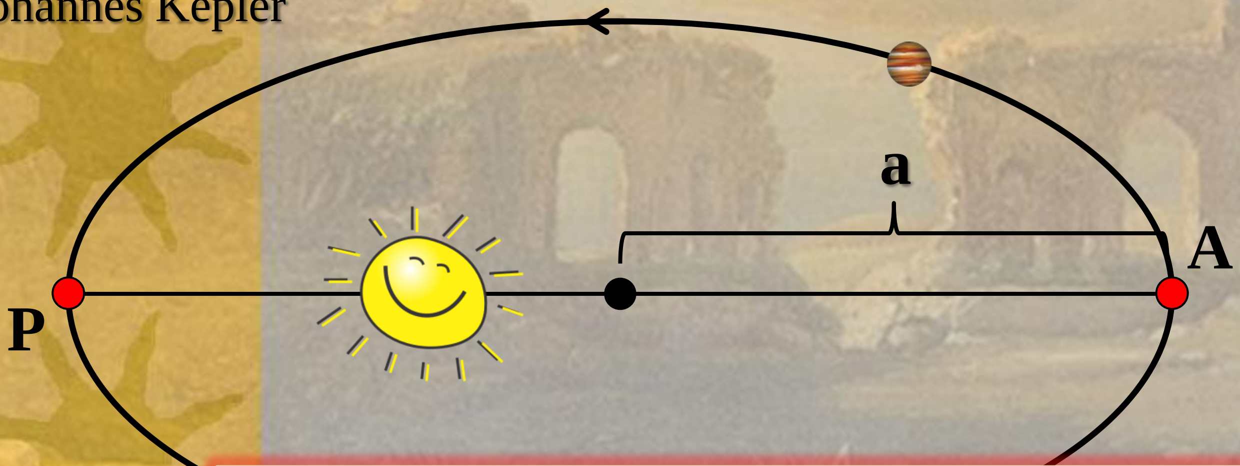


Ioannis Keppleri
HARMONICES MVNDI
LIBRI V. QVORVM
Primus GEOMETRICVS, De Figurarum Regularium, quæ Proportiones Harmonicas constituunt, ortu & demonstrationibus.
Secundus ARCHITECTONICVS, seu ex GEOMETRIA FIGVRATA, De Figurarum Regularium Congruentia in plano vel solido:
Tertius propriè HARMONICVS, De Proportionum Harmonicarum ortu ex Figuris; deque Naturâ & Differentiis rerum ad cantum pertinentium, contra Veteres:
Quartus METAPHYSICVS, PSYCHOLOGICVS & ASTROLOGICVS, De Harmoniarum mentali Essentiâ earumque generibus in Mundo; præsertim de Harmonia radiorum, ex corporibus cœlestibus in Terram descendentibus, eiusque effectu in Natura seu Anima sublunari & Humana:
Quintus ASTRONOMICVS & METAPHYSICVS, De Harmoniis absolutissimis motuum cœlestium, ortuque Eccentricitatum ex proportionibus Harmonicis.
Appendix habet comparationem huius Operis cum Harmonices Cl. Ptolemæi libro III. cumque Roberti de Fluctibus, dicti Flud. Medici Oxoniensis speculationibus Harmonicis, operi de Macrocosmo & Microcosmo insertis.
Cum S. C. Mtis. Priuilegio ad annos XV.
Lincii Austriæ,
Sumptibus GODOFREDI TAMPACHII Bibl. Francof.
Excudebat IOANNES PLANCVS.
ANNO M. DC. XIX.

1619

2. La taille des orbites :

- La 3e loi de Kepler



$$T^2 \propto a^3$$

$$T^2 = Ka^3$$

<u>3e loi</u> : le carré de la période de révolution d'une planète est proportionnel au cube du demi-grand axe de son ellipse.

CINÉMATIQUE DES ORBITES

Johannes Kepler

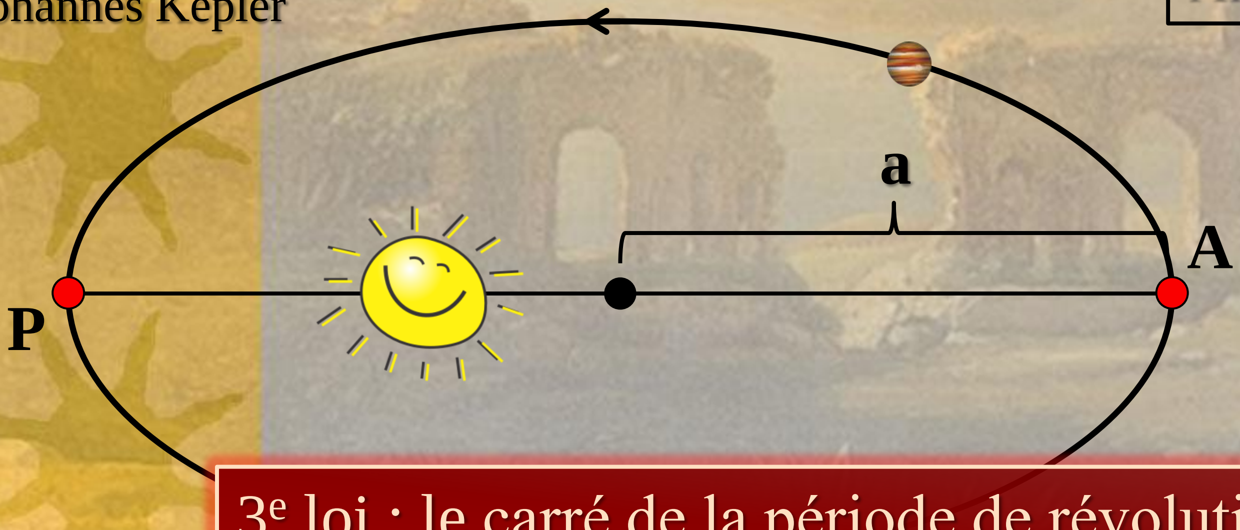
2. La taille des orbites :

$$T^2 = Ka^3$$

- La 3e loi de Kepler

- Si T est en « année »
- Si a est en « U.A. »

Alors K = 1



Et, $\boxed{T^2 = a^3}$

3e loi : le carré de la période de révolution d'une planète est proportionnel au cube du demi-grand axe de son ellipse.

CINÉMATIQUE DES ORBITES

Johannes Kepler

2. La taille des orbites :

$$T^2 = a^3$$

- La 3e loi de Kepler

Quelle est la distance d'Uranus au Soleil si elle décrit une orbite complète en 84,04 ans ?

$$a = T^{2/3}$$

$$a_U = \sqrt[3]{84{,}04^2}$$

$$\boxed{a_U = 19{,}18\ U.A.}$$

3e loi : le carré de la période de révolution d'une planète est proportionnel au cube du demi-grand axe de son ellipse.

CINÉMATIQUE DES ORBITES

Isaac Newton

Johannes Kepler

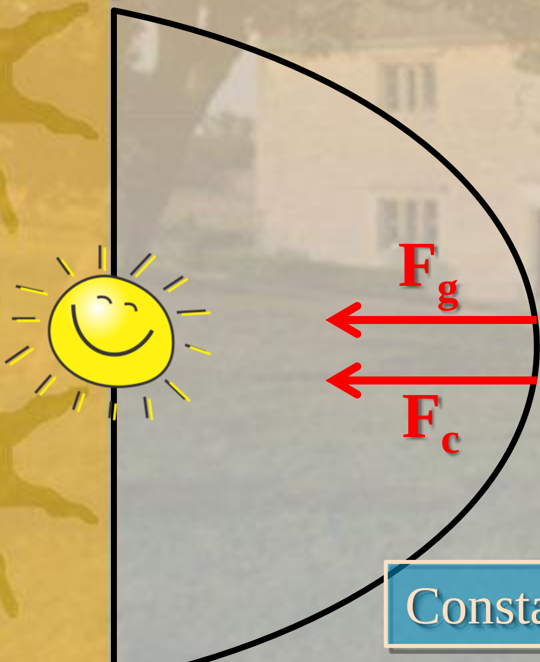
2. La taille des orbites :

- La 3e loi de Kepler (généralisée)

$$F_g = F_c$$

$$\frac{G\cancel{m}M}{r^{\cancel{2}}} = \frac{\cancel{m}v^2}{\cancel{r}}$$

Mais, $v = \frac{P_o}{T} = \frac{2\pi r}{T}$



$$\frac{GM_c}{r} = \left(\frac{2\pi r}{T}\right)^2 = \frac{4\pi^2 r^2}{T^2}$$

Un triomphe de la mécanique de Newton

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{G} \bullet \frac{r^3}{M_c}$$

Enfin, $\boxed{T^2 = K\frac{r^3}{M_c}}$

Constante de Kepler

Où $K = 5,92 \times 10^{11} s^2 \cdot kg \cdot m^{-3}$

CINÉMATIQUE DES ORBITES

Isaac Newton

Johannes Kepler

2. La taille des orbites :

- La 3e loi de Kepler (généralisée)
  - Quelle est la masse de la Terre si la Lune :
    - d = 384 000 km
    - T = 27,32 jours

$$T^2 = K\frac{r^3}{M_c}$$

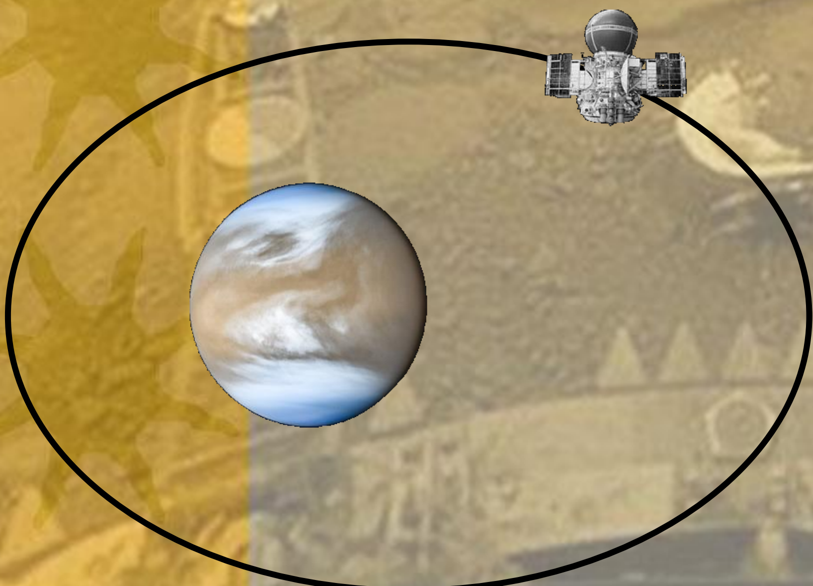
$$M_T = K\frac{r^3}{T^2} = 5{,}92 \times 10^{11} \cdot \frac{384\,000\,000^3}{2\,360\,448^2}$$

$$\boxed{M_T = 6 \times 10^{24} kg}$$

CINÉMATIQUE DES ORBITES

- Sonde Venera 9 (1975) ➡ Orbite Vénus
  - T = 48,3 heures
  - a = r = 62 850 km
- Quelle est la masse de Vénus ?

$$T^2 = K\frac{r^3}{M_c}$$



$$M_V = 5{,}92 \times 10^{11} \bullet \frac{62\,850\,000^3}{173\,880^2}$$

$$\boxed{M_V = 4{,}86 \times 10^{24} kg}$$

CINÉMATIQUE DES ORBITES

- Les éléments képlériens des orbites :

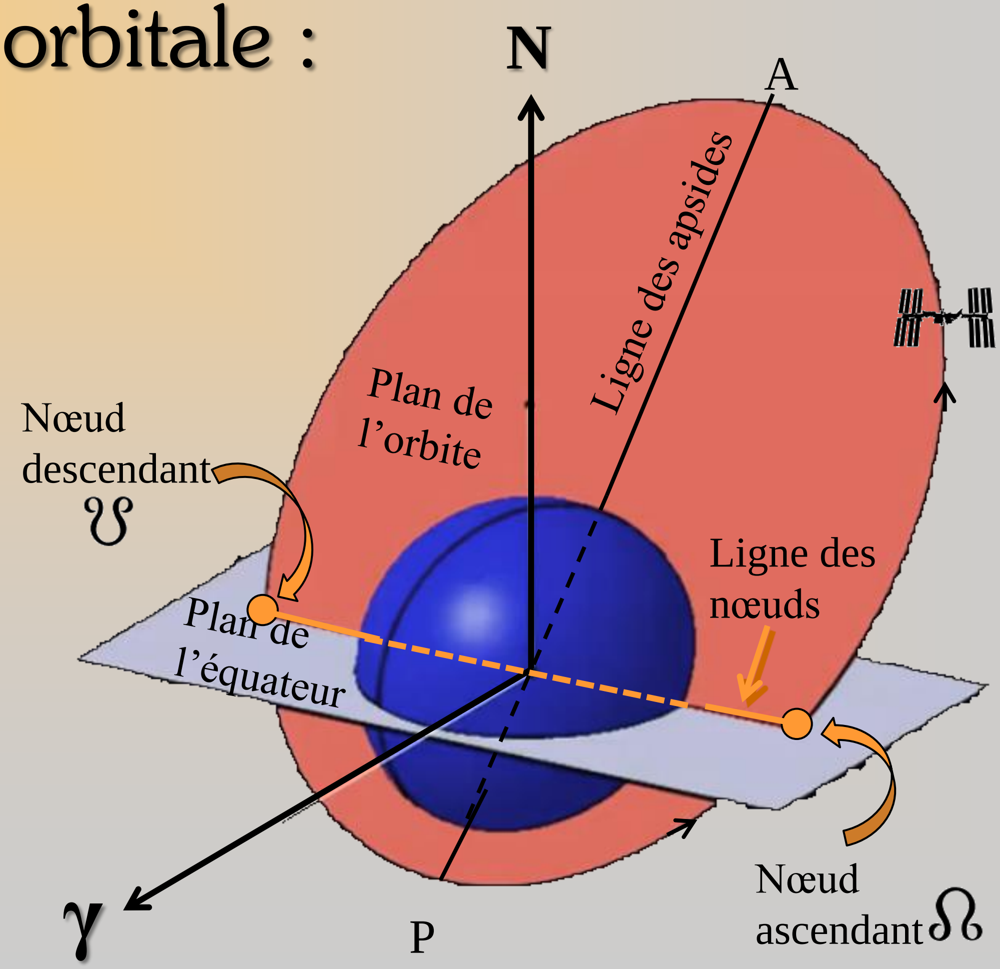
✓1. Taille ➡ Demi-grand axe (a)

✓2. Forme ➡ Excentricité (e)

3. Tangage ➡ Inclinaison (i)
4. Lacet ➡ Longitude du nœud ascendant (Ω)
5. Roulis ➡ Argument du périastre (ω)
6. Position orbitale ➡ Anomalie vraie (υ)

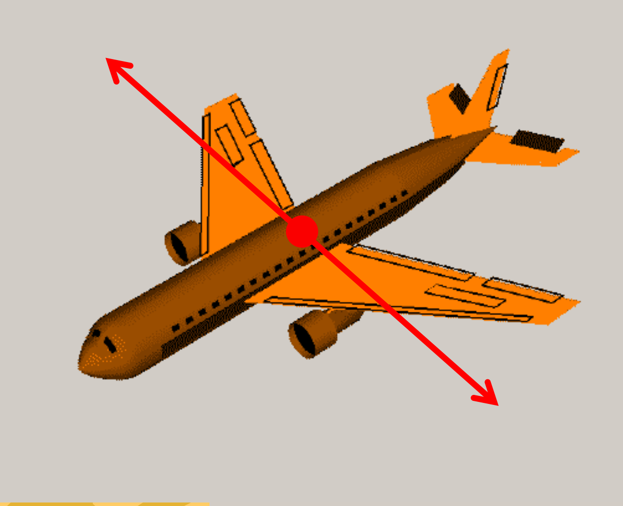
CINÉMATIQUE DES ORBITES

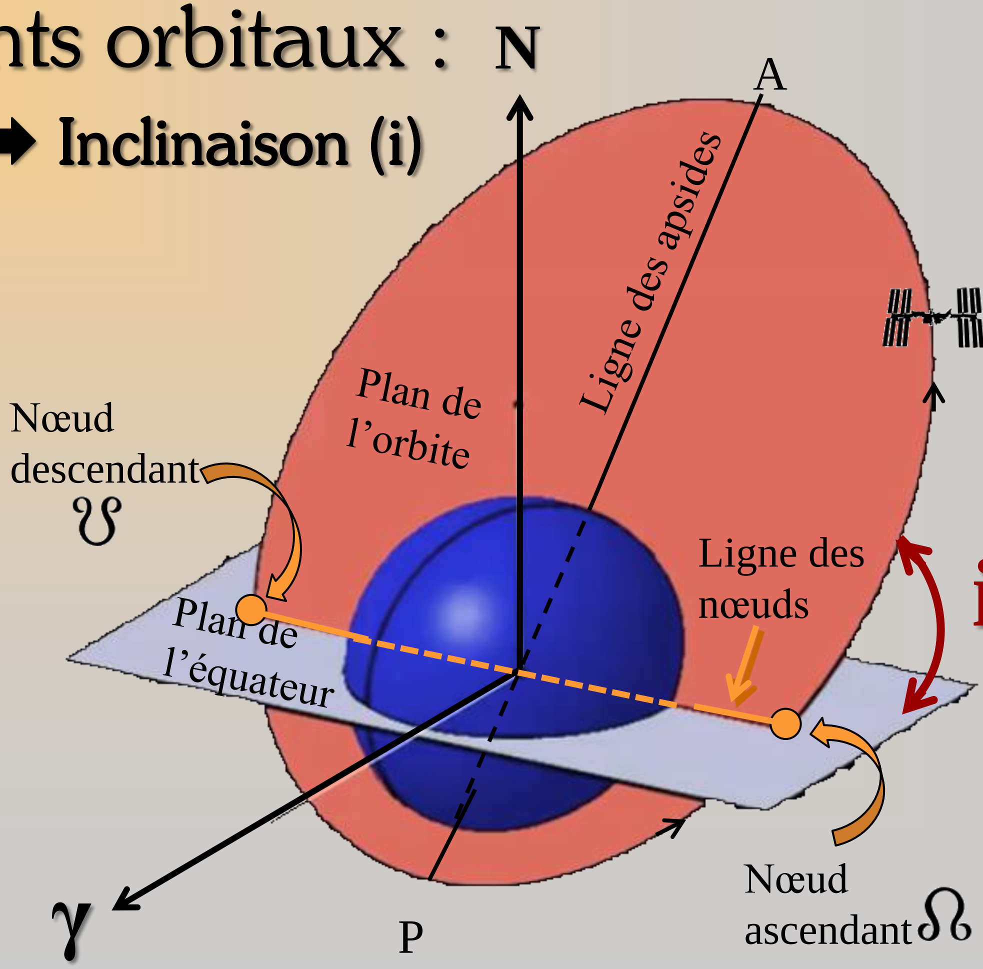
* Anatomie orbitale :



CINÉMATIQUE DES ORBITES

- Les éléments orbitaux :
  3. **Tangage** ➡ **Inclinaison (i)**

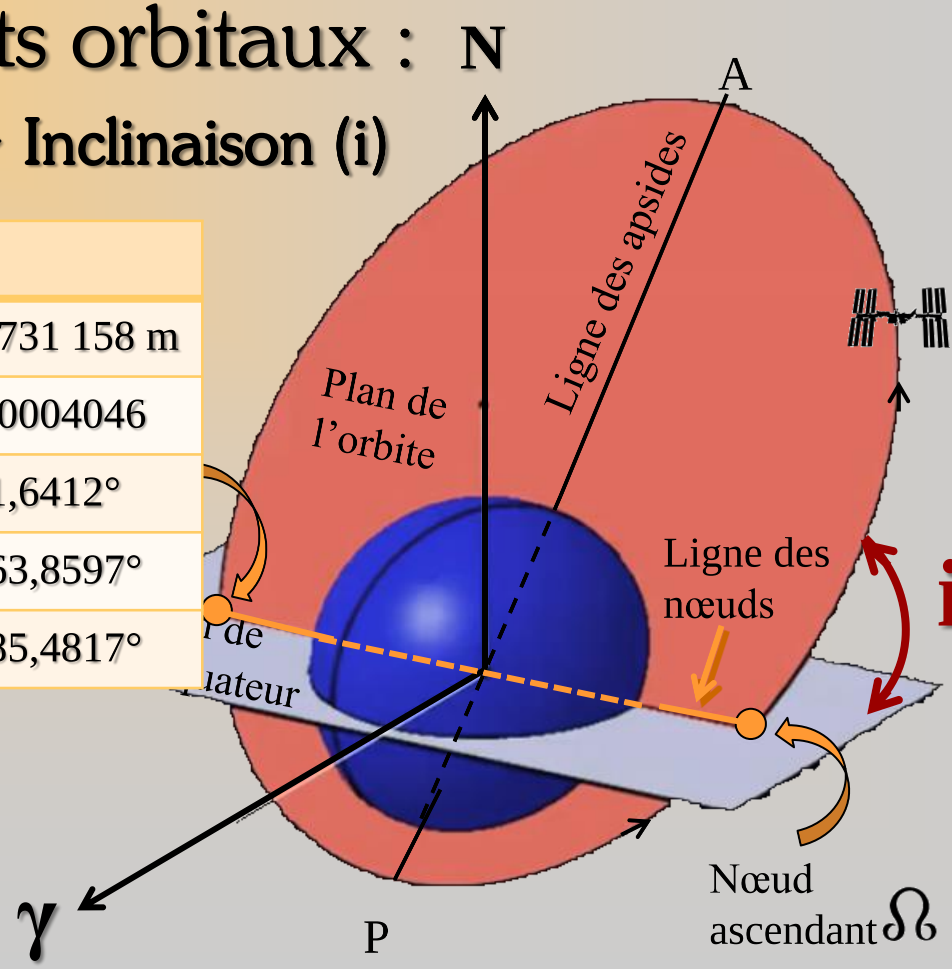




CINÉMATIQUE DES ORBITES

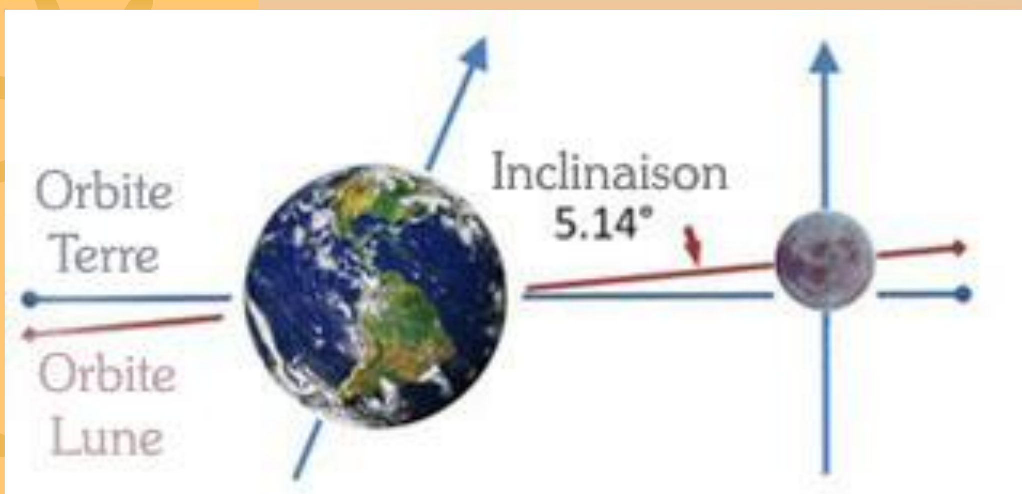
- Les éléments orbitaux :
  3. **Tangage** ➡ **Inclinaison (i)**

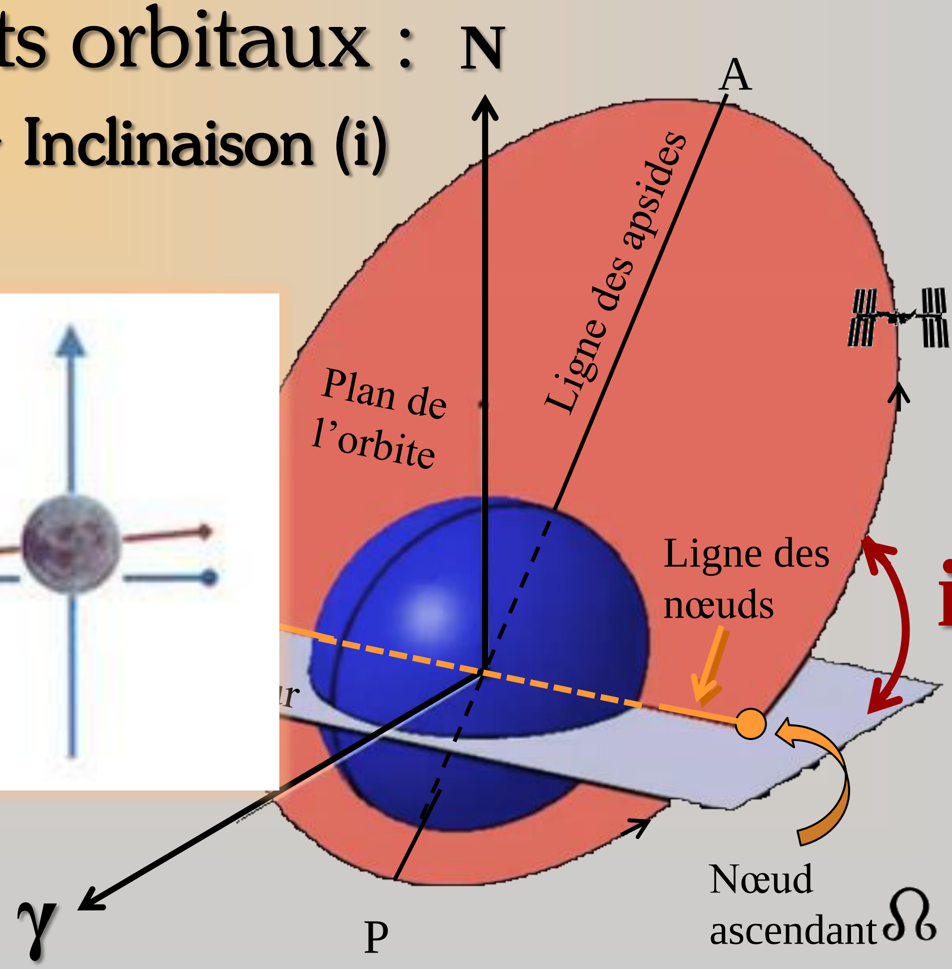
Éléments orbitaux (SSI)	
Taille [demi-grand axe (a)]	6 731 158 m
Forme [excentricité (e)]	0,0004046
Tangage [inclinaison (i)] *	51,6412°
Lacet [longitude du nœud ascendant (Ω)]	163,8597°
Roulis [Argument du périastre (ω)]	185,4817°



CINÉMATIQUE DES ORBITES

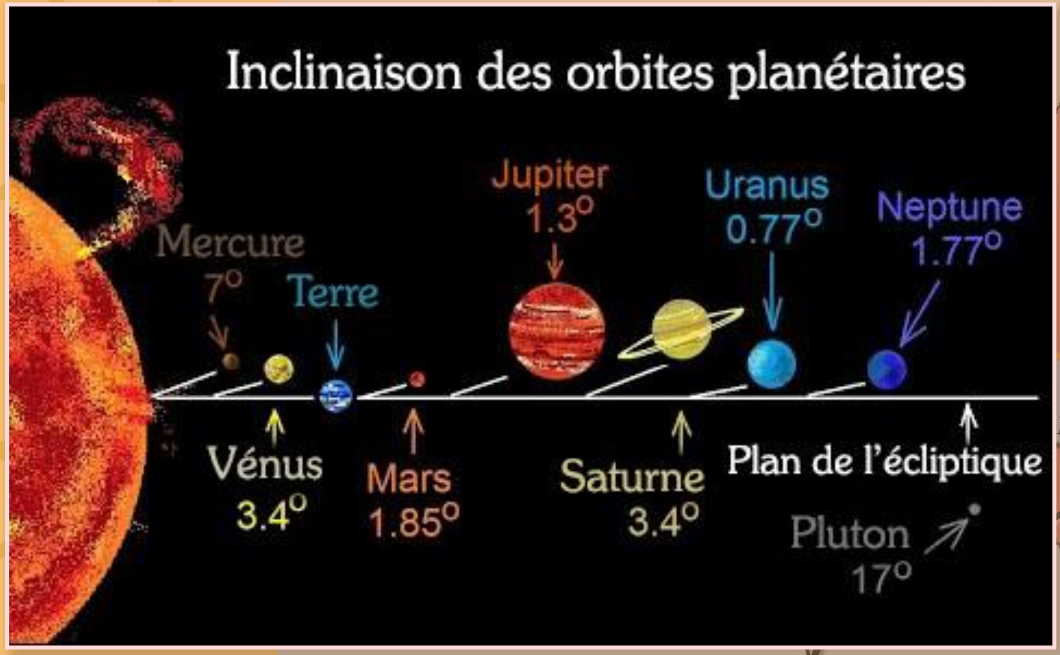
- Les éléments orbitaux :
  3. Tangage ➡ Inclinaison (i)

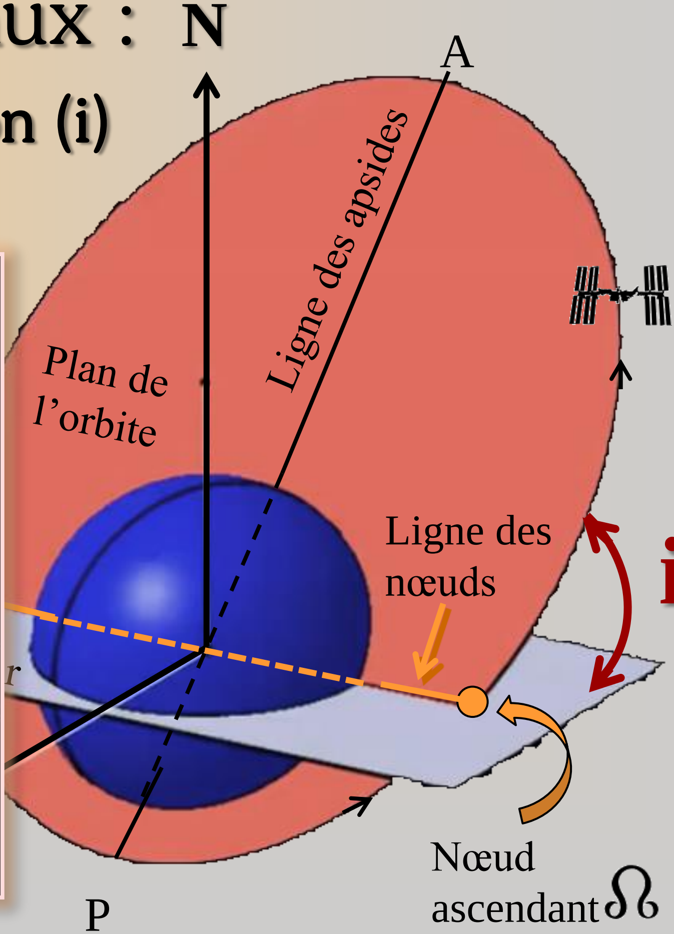




CINÉMATIQUE DES ORBITES

- Les éléments orbitaux :
  3. **Tangage** ➡ **Inclinaison (i)**





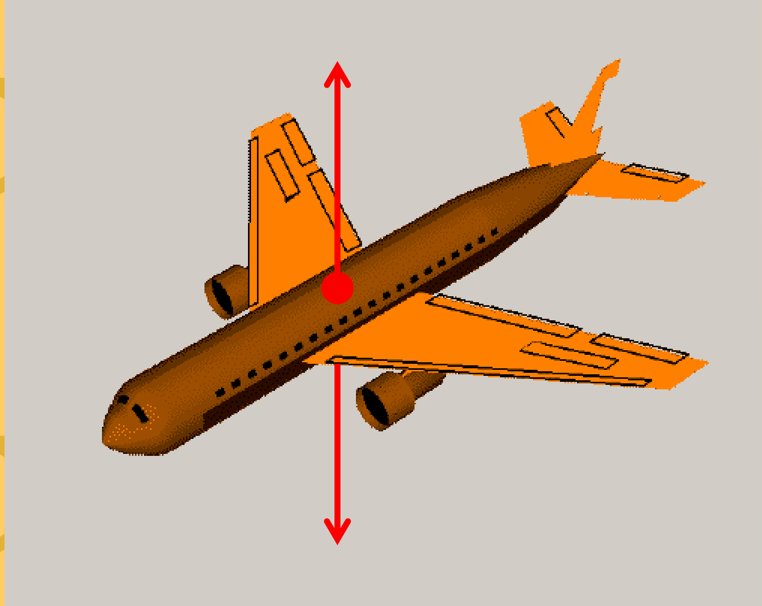
CINÉMATIQUE DES ORBITES

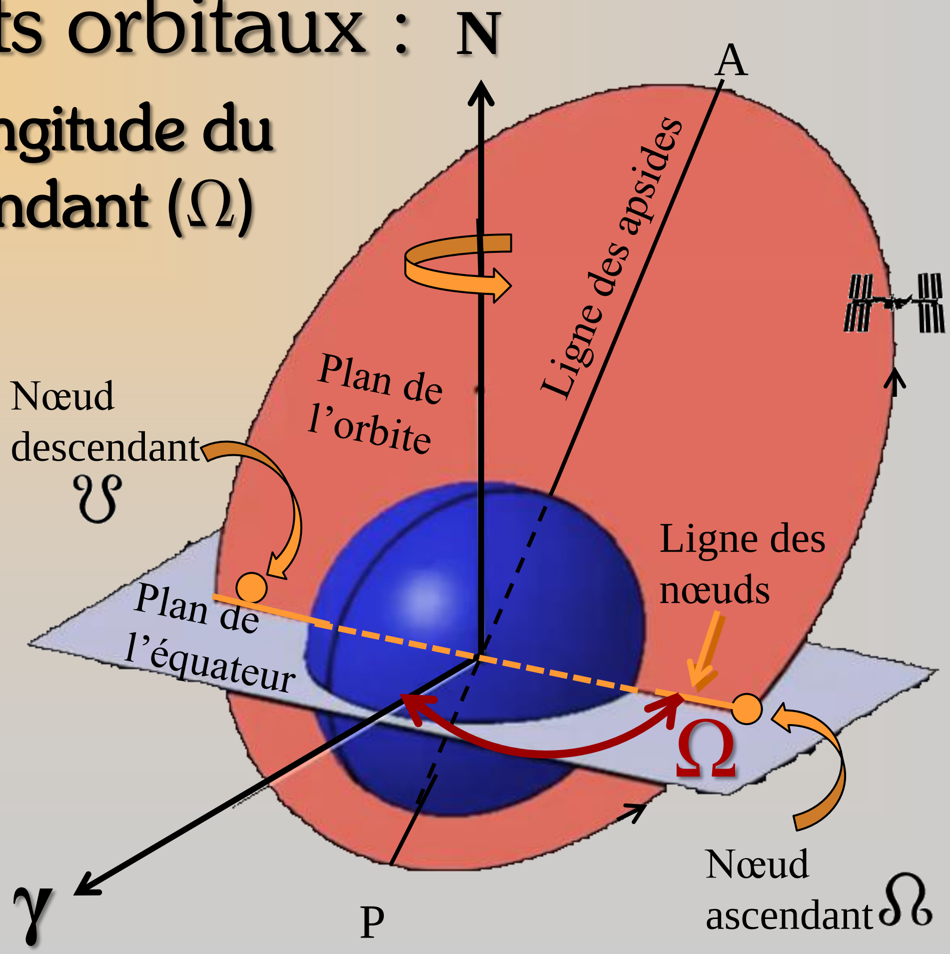
- Les éléments képlériens des orbites :

✓1. Taille ➡ Demi-grand axe (a)
✓2. Forme ➡ Excentricité (e)
✓3. Tangage ➡ Inclinaison (i)
4. **Lacet** ➡ Longitude du nœud ascendant (Ω)
5. Roulis ➡ Argument du périastre (ω)
6. Position orbitale ➡ Anomalie vraie (υ)

CINÉMATIQUE DES ORBITES

- Les éléments orbitaux :
  4. Lacet ➡ longitude du nœud ascendant (Ω)

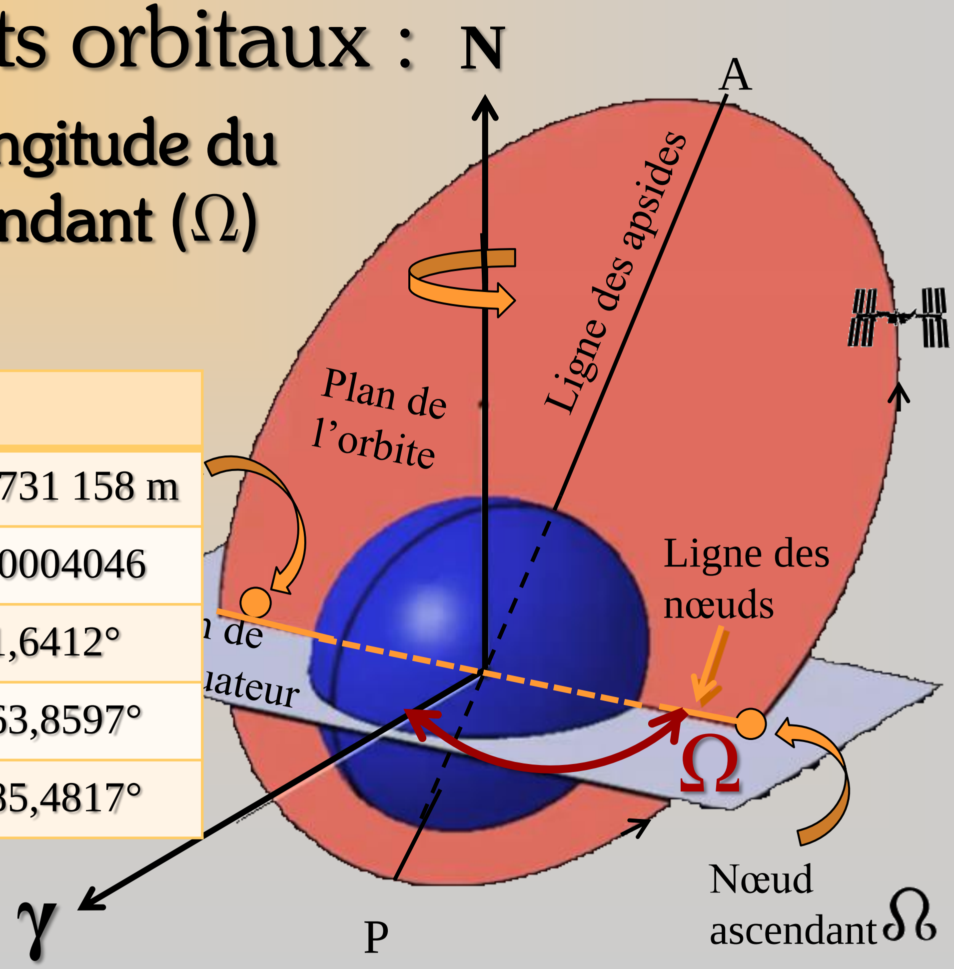




CINÉMATIQUE DES ORBITES

- Les éléments orbitaux :
  4. Lacet ➡ longitude du nœud ascendant (Ω)

Éléments orbitaux (SSI)	
Taille [demi-grand axe (a)]	6 731 158 m
Forme [excentricité (e)]	0,0004046
Tangage [inclinaison (i)]	51,6412°
Lacet [longitude du nœud ascendant (Ω)] *	163,8597°
Roulis [Argument du périastre (ω)]	185,4817°

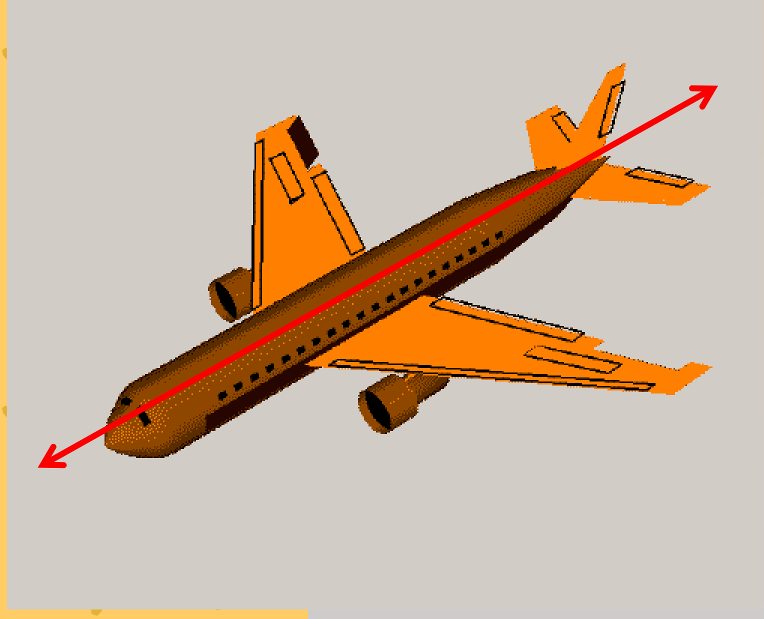


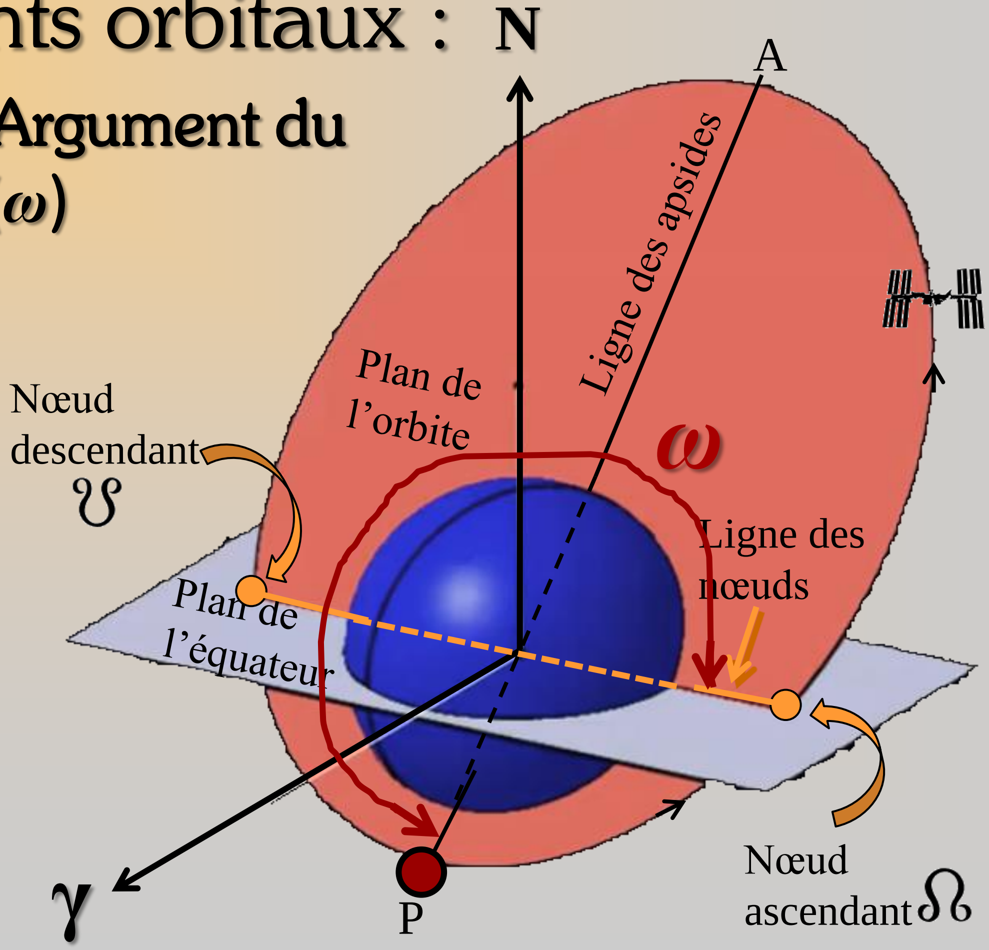
CINÉMATIQUE DES ORBITES

- Les éléments képlériens des orbites :
  1. Taille ➡ Demi-grand axe (a)
  2. Forme ➡ Excentricité (e)
  3. Tangage ➡ Inclinaison (i)
  4. Lacet ➡ Longitude du nœud ascendant (Ω)
  5. Roulis ➡ Argument du périastre (ω)
  6. Position orbitale ➡ Anomalie vraie (υ)

CINÉMATIQUE DES ORBITES

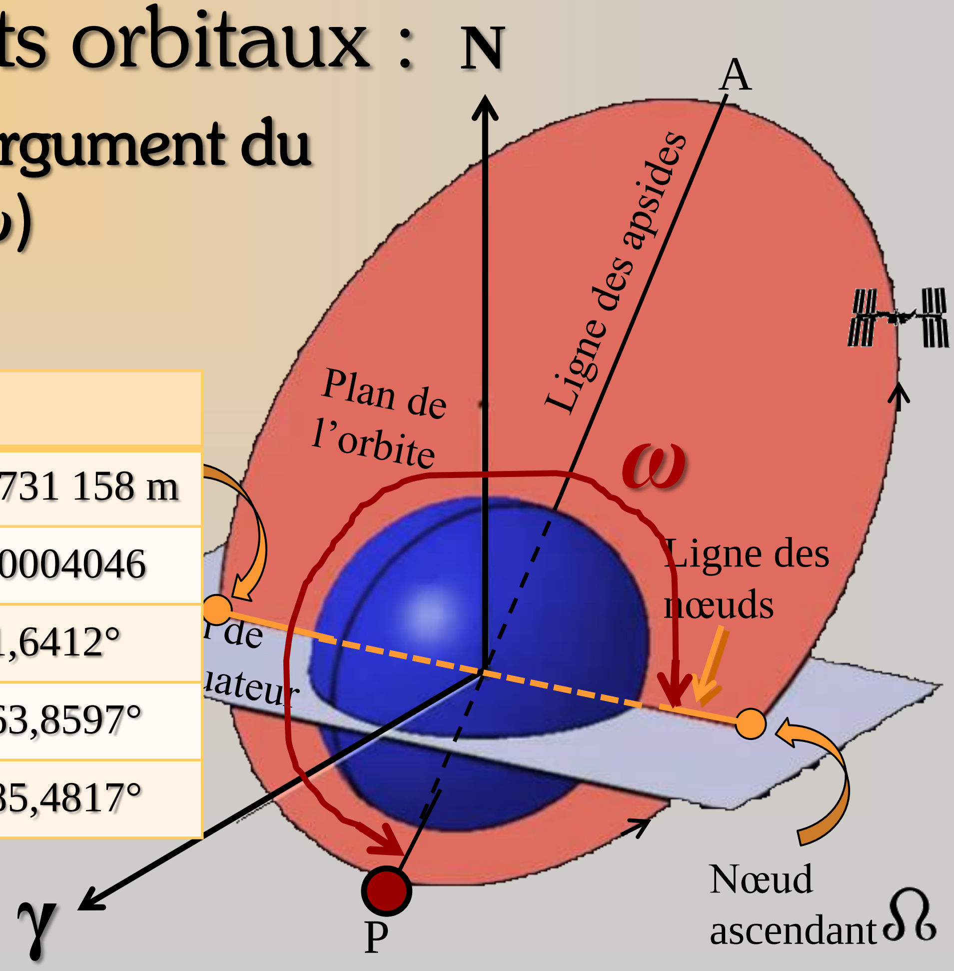
- Les éléments orbitaux :
  3. **Roulis ➡ Argument du périastre (ω)**





CINÉMATIQUE DES ORBITES

- Les éléments orbitaux :
  3. Roulis ➡ Argument du périastre (ω)

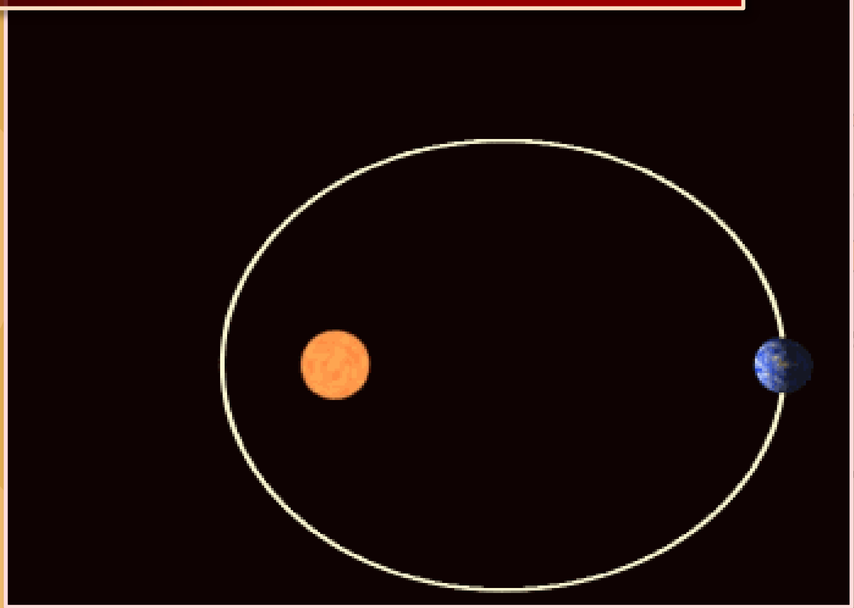


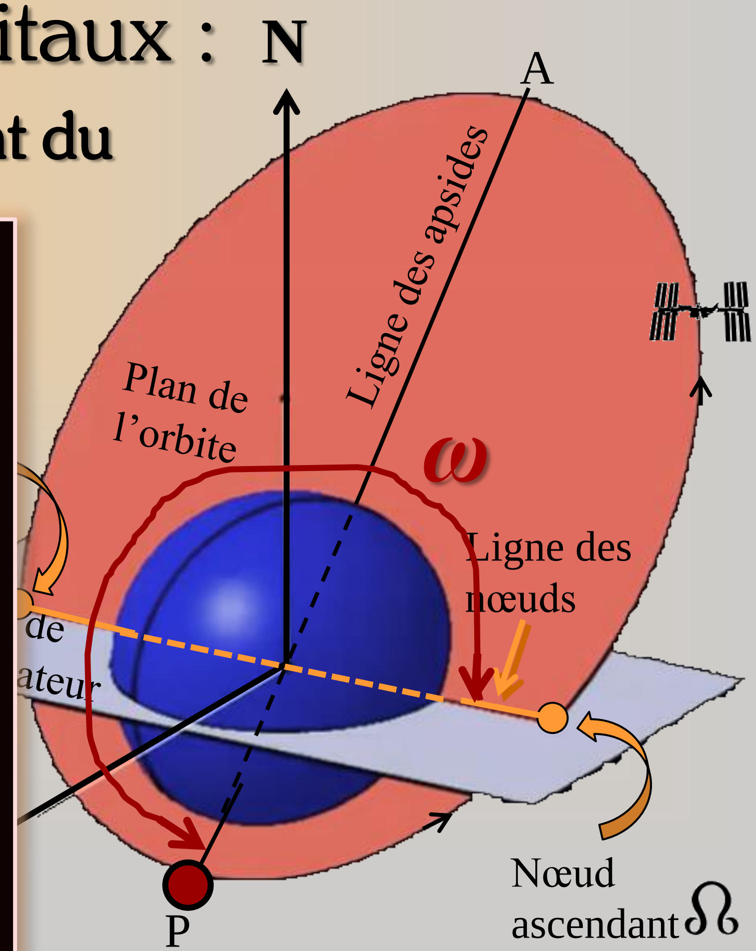
Éléments orbitaux (SSI)	
Taille [demi-grand axe (a)]	6 731 158 m
Forme [excentricité (e)]	0,0004046
Tangage [inclinaison (i)]	51,6412°
Lacet [longitude du nœud ascendant (Ω)]	163,8597°
Roulis [Argument du périastre (ω) *	185,4817°

CINÉMATIQUE DES ORBITES

- Les éléments orbitaux :
  3. Roulis ➡ Argument du

L'orbite de la Terre effectue un tour complet en **112 000** ans





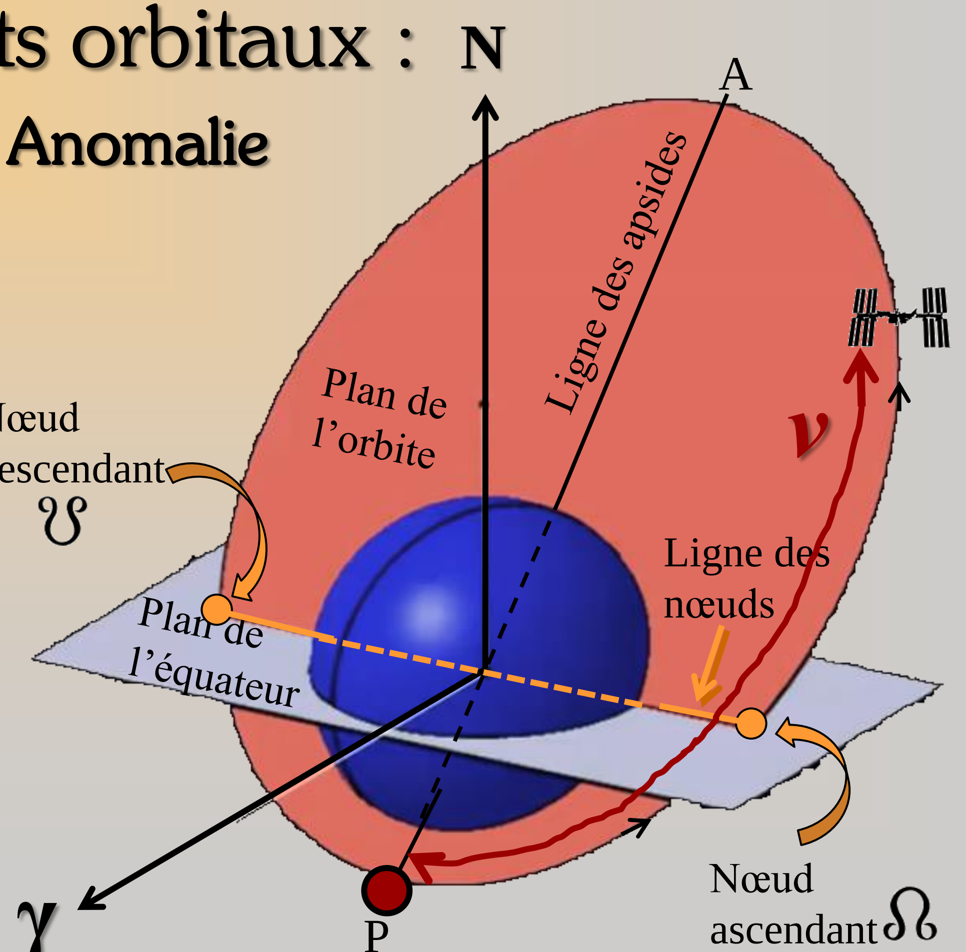
CINÉMATIQUE DES ORBITES

- Les éléments képlériens des orbites :

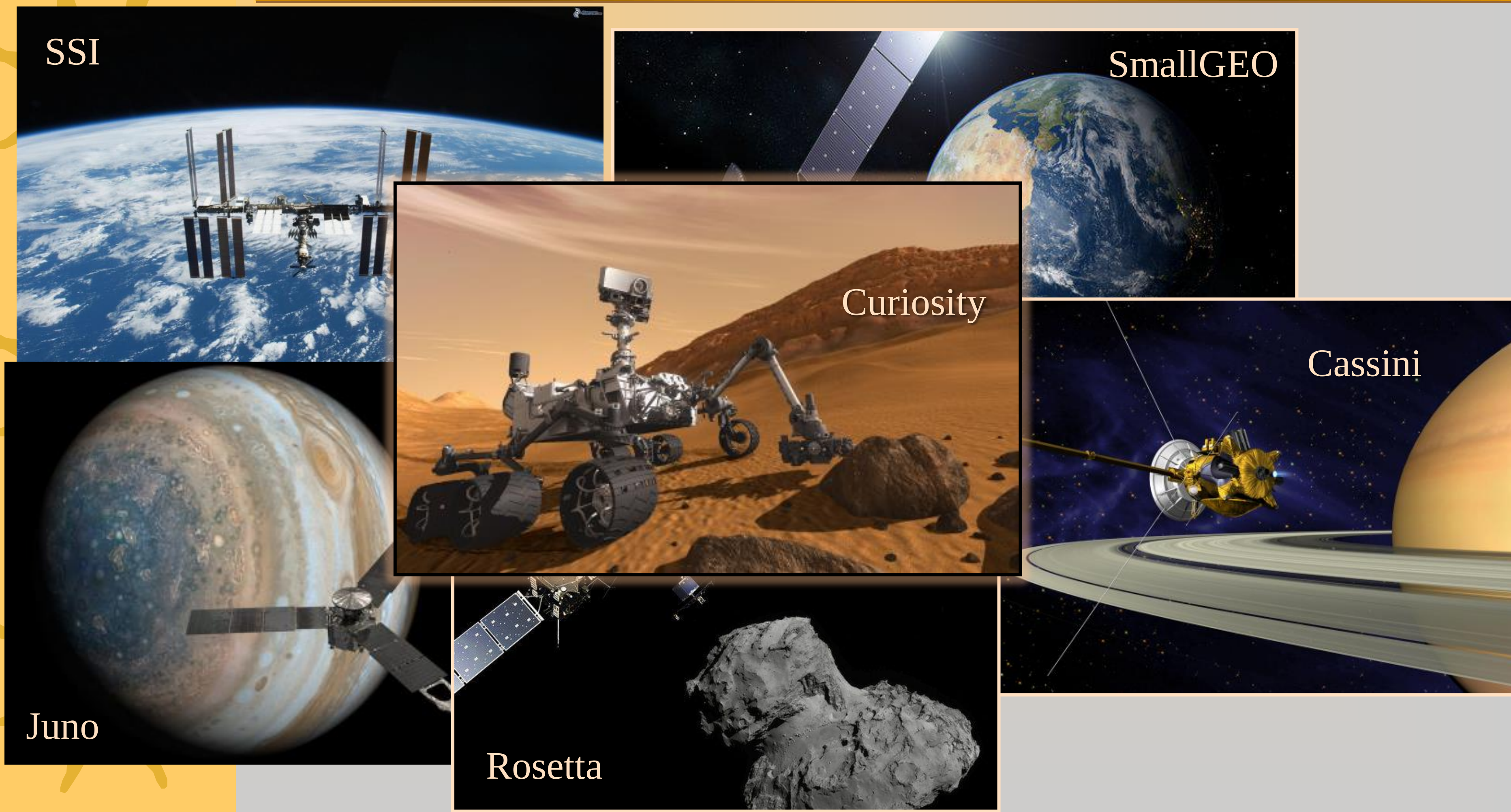
1. Taille ➡ Demi-grand axe (a)
2. Forme ➡ Excentricité (e)
3. Tangage ➡ Inclinaison (i)
4. Lacet ➡ Longitude du nœud ascendant (Ω)
5. Roulis ➡ Argument du périastre (ω)
6. **Position orbitale** ➡ Anomalie vraie (υ)

CINÉMATIQUE DES ORBITES

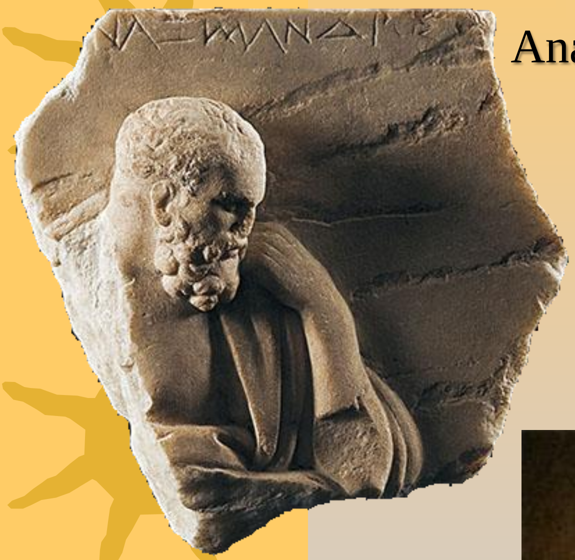
- Les éléments orbitaux :
  3. **Position** ➡ **Anomalie vraie (ν)**



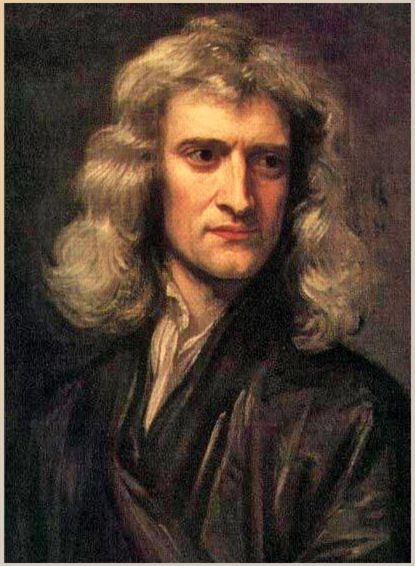
Toutes ces missions



Toutes ces missions

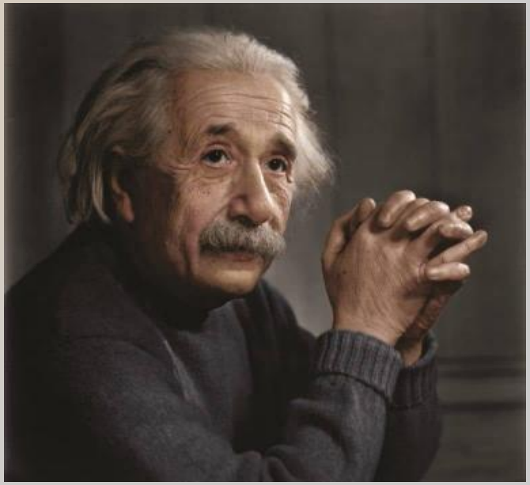


Anaximandre de Milet



Isaac Newton

Albert Einstein



Johannes Kepler

MESSAGES CLÉS

- Au sein des galaxies, les corps célestes décrivent des orbites presque toujours elliptiques.
- Une orbite est un mouvement accéléré par une force centripète. Sur une trajectoire elliptique, la vitesse de l'objet orbitant est variable.
- Par ses 3 lois, Kepler a établi les bases de la cinématique des orbites.
  Par ses 3 lois et la gravitation universelle, Newton a formalisé la dynamique des orbites.
- La connaissance précise des mouvements orbitaux a permis l'exploration spatiale.

RÉFÉRENCES

- Astronomie et Astrophysique, 2e édition
  Séguin M, Villeneuve B
  Éditions du Renouveau Pédagogique Inc., 2002

- Physics - Mechanics: Gravity par Michel van Biezen
  https://www.youtube.com/watch?v=yoUOJGdTc68&list=PLX2gX-ftPVXXOiNG_3EET7nex7bZIt1oX

- Orbite
  https://fr.wikipedia.org/wiki/Orbite

- https://www.youtube.com/user/SpaceflightScience