

## Mécanisme par lequel Phobos présente sa partie la plus massive à Mars (hypothèse).

Il est vraisemblable, et c'est l'avis de nombreux chercheurs, que Phobos qui gravite autour de Mars soit un bloc rocheux que la planète a capturé dans des circonstances extraordinaires.

Comme il s'agit d'un accident, la trajectoire du satellite était certainement aléatoire initialement, c'est-à-dire :

- Le corps céleste tournait sur lui-même selon une fréquence quelconque.
- le plan orbital était incliné sur celui équatorial de la planète rouge.
- L'orbite était de forme elliptique.

Cependant, partant des lois de la mécanique céleste, des calculs montrent que, s'il est soumis à des effets de marée significatifs, un objet périphérique gravitant autour d'un astre central obéit à un processus d'ajustement orbital qui fait évoluer sa circulation jusqu'à ce que :

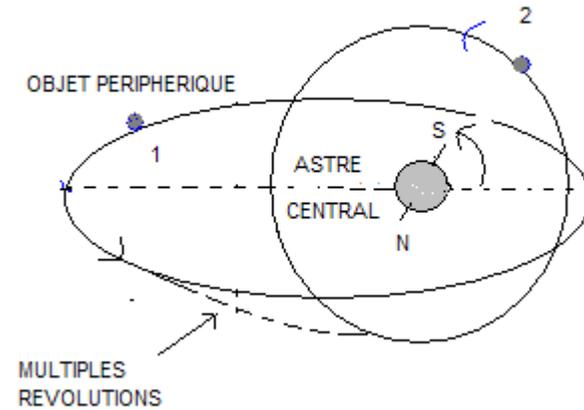
1. sa période de révolution soit identique à celle de rotation.
2. sa trajectoire s'inscrive dans le plan équatorial de l'astre central.
3. son orbite devienne circulaire.

L'étude indique aussi que la synchronisation rotation-révolution se déroule en priorité.

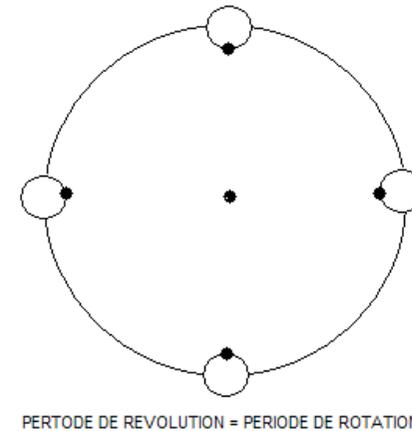
La Lune par exemple, satellite de notre planète depuis très longtemps, évolue vers ces mêmes caractéristiques de mouvement, mais ne satisfait actuellement qu'à la 1ère en présentant constamment la même face à la Terre. A contrario, son orbite accuse encore une excentricité de 0,0549, sa distance du globe terrestre variant entre 360 000 et 420 000 km. En outre son plan orbital s'incline de  $5,145^\circ$  sur celui équatorial de la planète.

Phobos en revanche est au terme de l'ajustement orbital, puisque ses périodes de révolution et de rotation sont égales et qu'il gravite dans un plan incliné d'environ  $1^\circ$  sur celui équatorial de Mars, et selon une orbite quasi circulaire.

Mais alors, s'agit-il de déterminer les contraintes qui orientent au final le satellite martien, faisant qu'il tourne vers la planète rouge la partie où se creuse le cratère Stickney? Et pour y répondre, il y a lieu de considérer la phase où Phobos transformait sa trajectoire d'elliptique en circulaire.



*A cause des effets de marée, au fil du temps l'orbite initialement elliptique d'un objet périphérique s'arrondit pour devenir circulaire.*



*Un objet périphérique en orbite circulaire présente toujours la même face à l'astre central s'il en fait le tour dans le même temps qu'il prend pour faire un tour sur lui-même.*

**Phobos en phase de libration.**

A sa mise en orbite Phobos tournait sur lui-même, mais au fil du temps à cause des effets de marée sa vitesse de rotation diminuait jusqu'à ce qu'à atteindre l'égalité avec la vitesse de révolution.

Cependant, la synchronisation se fait alors que le satellite martien circule encore sur une orbite elliptique.

Or la 2<sup>ème</sup> loi de Kepler indique que « le rayon vecteur qui joint l'astre central à l'objet périphérique en orbite elliptique balaie des aires égales en des temps égaux ».

Ecrivons que Aire = rayon vecteur . angle de balayage , soit  $A = R \cdot \omega$  .

Appliquons la loi :  $\frac{dA}{dt} = R \frac{d\omega}{dt} = \text{cste.}$

Donc la vitesse angulaire de révolution  $\frac{d\omega}{dt}$ , appelée  $\omega_0$  varie, puisque inversement proportionnel au rayon, ce qu'exprime la figure ci-contre.

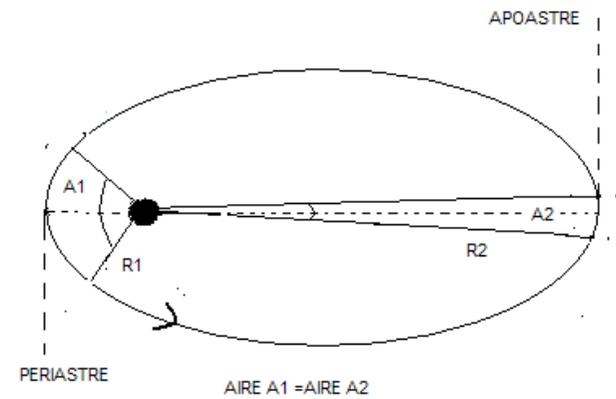
Considérons alors une phase critique d'ajustement orbital de Phobos, à savoir la première révolution pour laquelle ses périodes de rotation et de révolution sont égales, tandis que sa vitesse angulaire de rotation est quasiment constante, et celle de révolution varie.

Il apparaît que le corps rocheux oscille par rapport à Mars, avec une amplitude d'autant plus grande que l'excentricité de l'orbite est importante.

De fait, comme figuré sur le schéma 1 ci-contre, partageons la surface balayée par le rayon vecteur en huit secteurs de même aire, A1, A2, ..., A8. La vitesse angulaire de révolution varie entre ses valeurs  $\omega_1$  et  $\omega_2$  au périastre et à l'apoastre. L'axe fixe représenté par la flèche est de vitesse angulaire constante et donc opère dans des temps égaux un huitième de tour lorsqu'il passe de la frontière d'une aire à celle de la suivante.

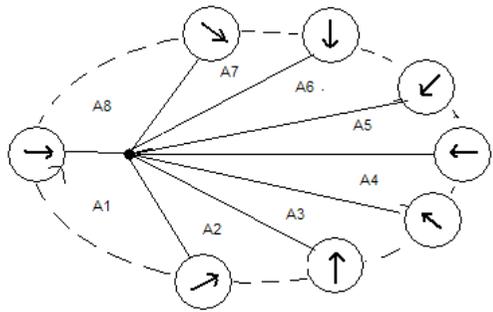
Comme le montre le schéma 2, l'oscillation relative de Phobos fait qu'il expose successivement à Mars une face principale dite « visible » et les secteurs qui lui sont juxtaposés, phénomène appelé « libration ».

Quelle serait alors la particularité de cette face « principale » pour que ce soit elle qui se positionne en vis à vis de Mars à au périastre et à l'apoastre ? La réponse est à chercher dans le fait que Phobos est certainement « balourd ».

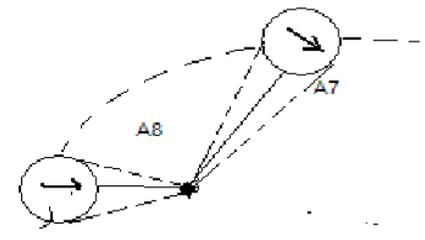


*Si  $\omega_1$  et  $\omega_2$  sont les vitesses angulaires du mouvement curviligne de l'objet à son passage au périastre et à l'apoastre, positions distantes de l'astre central de  $R_1$  et  $R_2$ , on peut écrire  $R_1\omega_1 = R_2\omega_2$ .*

SCHEMA 1



SCHEMA 2



*Quand Phobos décrivait une ellipse, depuis Mars se visualisaient la face actuellement en vis-à-vis de la planète, celle où se creuse le cratère Stickney et les secteurs limitrophes.*

*C'est le cas de celui qui observe La Lune aujourd'hui. Celle-ci est de vitesse angulaire de rotation constante, mais décrivant une ellipse, présente toujours la même face à la Terre, avec un décalage « avant » ou « arrière », ce qui permet de percevoir environ 15% de sa face cachée.*

**Objet périphérique « balourd » gravitant près d'un astre central.**

Il est vraisemblable que Phobos, de forme patatoïde, de 27 km dans sa plus grande dimension est un bloc rocheux hétérogène, certainement composé de matériaux de différentes densités. On peut donc admettre que le satellite martien serait balourd, c'est-à-dire qu'apparaît une différence de masse entre le demi volume à l'extrémité duquel se creuse le cratère Stickney, et celui complémentaire et qu'en conséquence son centre de gravité est décalé de son centre géométrique.. On dit que le corps rocheux est balourd.

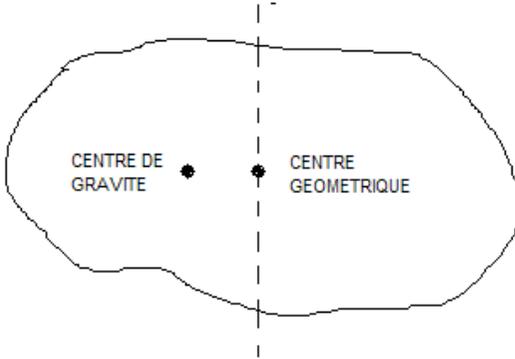
Il est possible de considérer Phobos comme constitué de deux parties accolées P1 et P2. D'où deux points matériels G1 et G2 représentant respectivement les centres de gravité des morceaux le plus massif et le moins massif, et distants respectivement de L1 et L2 du centre de gravité G0 de l'ensemble.

Posons  $m_1 = nm$  et  $m_2 = m$ .  
 Ce qui détermine comme masse de l'objet  $m_1 + m_2 = (n+1)m$ .

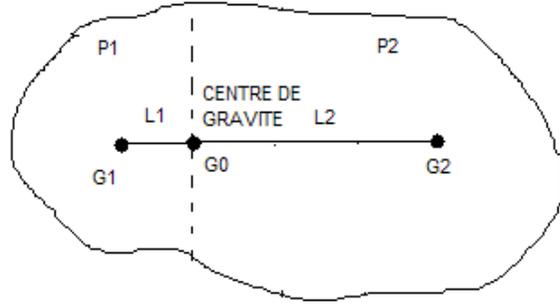
En conséquence, si L figure la distance  $G_0G_1$ , alors  $G_0G_2 = nL$ .

Il s'agit de déterminer quelle partie, la plus massive ou la moins massive, un tel objet est contraint d'exposer à l'astre central,

Pour ce faire, examinons le satellite en phase critique d'ajustement orbital : ses périodes de rotation et de révolution viennent de s'égaliser, tandis que son orbite est encore fortement elliptique. Comme indiqué précédemment, Phobos oscille par rapport à Mars avec une amplitude importante.



*Dans l'espace, un objet céleste en rotation sur lui-même tourne autour de son centre de gravité, qui peut être décalé de son centre géométrique.*



*Le théorème des moments impose que  
 $m_1 \cdot G_0G_1 = m_2 \cdot G_0G_2$ .*

**Orientation de Phobos.**

Représentons le système planète satellite par un schéma où Mars de masse M est figuré par le point G, foyer de l'ellipse sur quoi circule Phobos. Celui-ci est réduit à deux points matériels G1 et G2, dont la distance au centre de gravité commun G0 présente un différentiel, puisque l'objet balourd se constitue de deux parties accolées de masses différentes, m1 et m2.

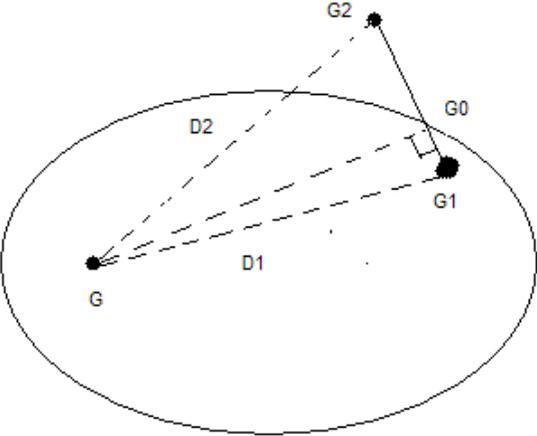
Ci-contre sont exprimées les forces et moments s'exerçant sur Phobos oscillant par rapport à Mars avec une grande amplitude et à l'instant où sa position est telle que le segment GG0 soit perpendiculaire à G1G2.

L'expression Moment1-Moment2 est toujours positive puisque D2 est plus grand que D1. Ce qui implique que l'objet tend à tourner vers l'astre central la partie la plus massive de masse m2=nm.

Remarque : La différence entre D1 et D2 n'est appréciable que si L est significatif par rapport à GG0. Concernant Phobos, L serait de l'ordre de 10 km, et n de 2 tandis qu'à l'instant considéré pour le raisonnement sur la phase critique d'ajustement, GG0 aurait été de l'ordre de 10 000 km. Le calcul valorise alors un différentiel de moment très petit, mais dans l'espace, où règne une absence totale de frottements, forces et moments mêmes faibles ont des effets significatifs.

Progressivement l'amplitude du pivotement diminue puisque l'orbite s'arrondit à cause des effets de marée, mais l'orientation de Phobos est acquise.

Il reste à montrer que cette orientation perdure lorsque Phobos circule sur une orbite circulaire.



Si  $D1 = GG1$  et  $D2 = GG2$ , alors les forces d'attraction exercées en G1 et G2 sur les deux éléments s'écrivent :

$$F1 = \frac{gnmM}{D1^2} \text{ et } F2 = \frac{gmM}{D2^2}$$

Les moments par rapport à G0 découlant de l'action des forces F1 et F2 appliquées en G1 et G2 s'écrivent :

$$\text{Moment1} = \frac{gnmM}{D1^2} L \text{ et } \text{Moment2} = \frac{gmM}{D2^2} nL$$

Et  $\text{Moment1-Moment2} = g.n.m.M.L \left( \frac{1}{D1^2} - \frac{1}{D2^2} \right)$

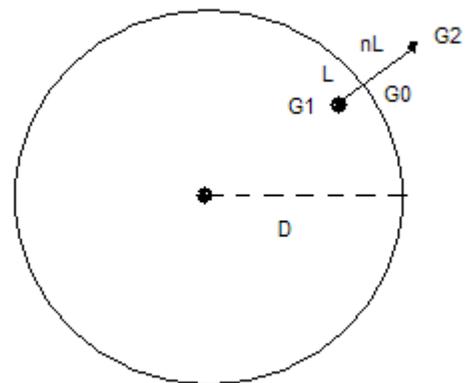
$D1 = \sqrt{GG0^2 + L^2}$  est toujours inférieur à  $D2 = \sqrt{GG0^2 + n^2L^2}$ ,  
 Donc Moment1 est toujours supérieur à Moment2

**Disposition définitive de Phobos.**

Au terme de son ajustement orbital le satellite martien décrit un cercle de rayon D autour de Mars.

En le réduisant, comme précédemment, à deux points matériels G1 et G2 respectivement de masses nm et m et distants du centre de gravité commun G0 de L et nL, on peut déterminer la force gravitationnelle qu'exerce Mars sur la partie la plus massive et la moins massive.

Les relations ci-contre expriment les forces F1 et F2 appliquées à G1 et G2. Il s'avère que F1 est nécessairement supérieur à F2.



Comme Phobos présente constamment à Mars le cratère Stickney, il s'en conclut que la partie où est creusée la grande excavation est plus massive que celle opposée, et que cette disposition est stable.

$$F1 = \frac{gnmM}{(D-L)^2} > F2 = \frac{gmM}{(D+nL)^2}$$