

VOICI POURQUOI LA LUNE NOUS MONTRE TOUJOURS LA MEME FACE

par Charles Hubert

Centre de masse = centre d'inertie

Le mouvement du centre de masse (barycentre) d'un système mécanique est le même que si toute sa masse y était concentrée et soumise à la somme des forces extérieures.

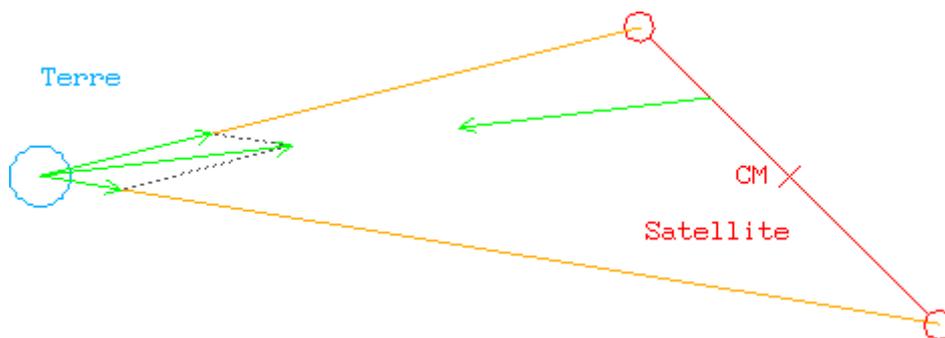
Centre de gravité

Le mouvement d'un système mécanique est le même que si la somme des forces de gravité extérieures agissant sur ce système était appliquée à son centre de gravité.

En mécanique terrestre, la taille d'un système mécanique est petite par rapport à la Terre et il est soumis à d'autres forces que la gravité. Pour simplifier on pose que le poids de chaque partie de ce système est proportionnel à sa masse et dirigé verticalement vers le bas ; alors le centre de gravité coïncide avec le centre de masse. L'erreur qui résulte de cette simplification est tout à fait négligeable.

En mécanique céleste ce n'est pas vrai. Si on considère l'attraction de la Terre, le centre de gravité de la Lune dépend de la direction et de la distance de la Terre, il ne coïncide pas avec son centre de masse.

Soit d'abord un satellite (rouge) composé de deux masses égales reliées par une barre rigide de masse négligeable. Puisque la force d'attraction (vert) est inversement proportionnelle au carré de la distance (jaune et vert), la masse la plus proche de la Terre l'attire plus que la plus éloignée. Le support de la somme des deux forces ne passe pas par le centre de masse CM, au milieu de la barre. La force que la Terre applique au satellite, opposée à cette somme et de même support (principe des forces réciproques), peut être considérée comme appliquée en n'importe quel point de ce support.



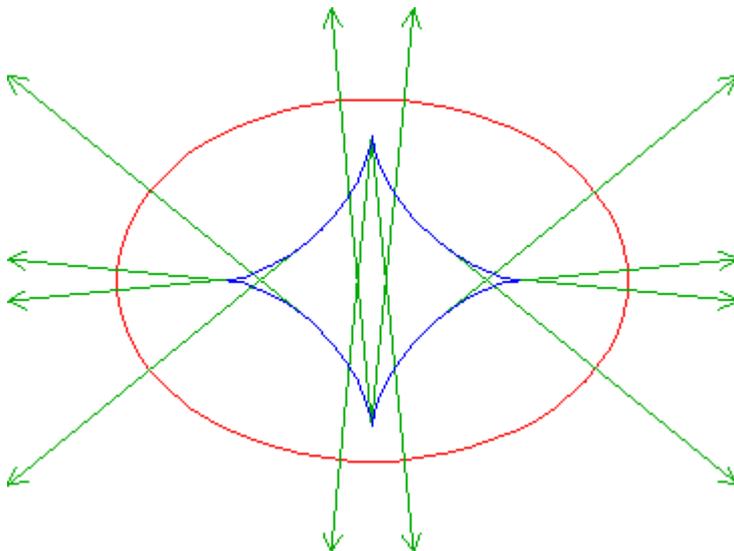
Si la Terre est vue du satellite dans une direction légèrement différente le nouveau support coupe le précédent en un point CG que nous appellerons centre de gravité et on peut considérer que la Terre applique la force de gravité en ce point du satellite ; CG est différent de CM.



Si le satellite est composé d'un nombre "astronomique" de masses au lieu de deux, le calcul conduit aussi à un centre de gravité CG différent du centre de masse CM ; sauf si la répartition des masses a la symétrie sphérique (si le moment d'inertie du satellite par rapport à tout axe passant par CM ne dépend pas de l'orientation de cet axe). Confondre CG et CM est une approximation souvent suffisante quand on ne s'intéresse pas au mouvement de rotation.

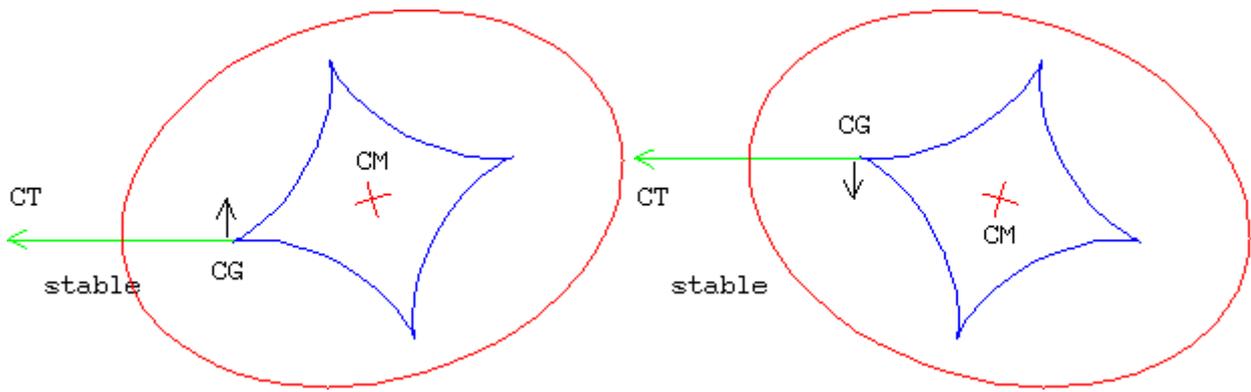
Centre de gravité de la Lune

La répartition des masses dans la Lune n'a pas la symétrie sphérique donc CG est différent de CM. Si on fait faire à la Terre un tour complet (vert) autour de la Lune, CG dessine une courbe (bleu) appelée astroïde ou hypocycloïde à quatre rebroussements. Sur la figure, on représente la Lune par une ellipse (rouge) pour visualiser le défaut de symétrie sphérique de la répartition des masses. (Le grand axe est mécaniquement l'axe de moment d'inertie minimal.)

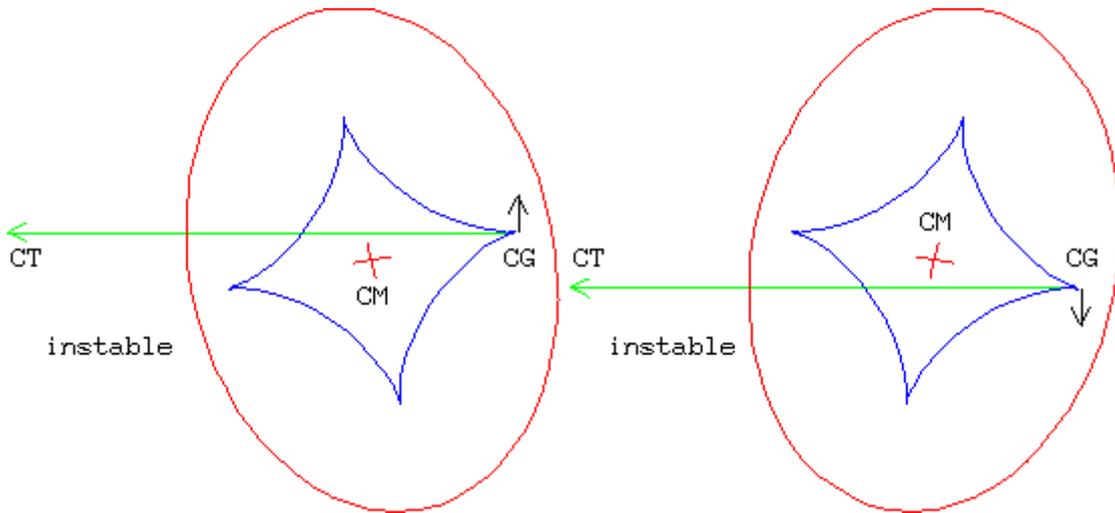


Translation et rotation de la Lune

Puisque CG est différent de CM, la Lune tend continuellement à ramener CG sur le segment de droite qui relie CM et le centre de la Terre CT. L'alignement CT-CG-CM est stable :

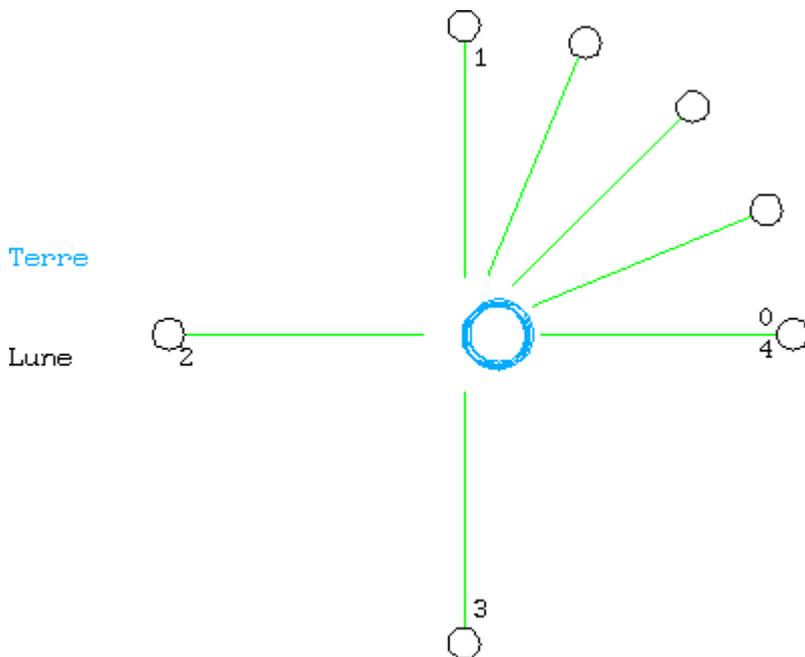


L'alignement CT-CM-CG est instable :



L'équilibre stable est à un demi-tour près.

Mais la Lune décrit une orbite elliptique d'excentricité 0,054 ; l'alignement CT-CG-CM ne peut pas être permanent et CG oscille de part et d'autre du segment CM-CT. Afin de suivre la rotation de la Lune sur la figure, on imagine qu'un faisceau de laser à l'argon (vert) est émis à la verticale lunaire depuis un point convenablement choisi (sur le grand axe de l'ellipse rouge). Pour voir les deux corps célestes on les a agrandis sur la figure ; à l'échelle, on les verrait mal.



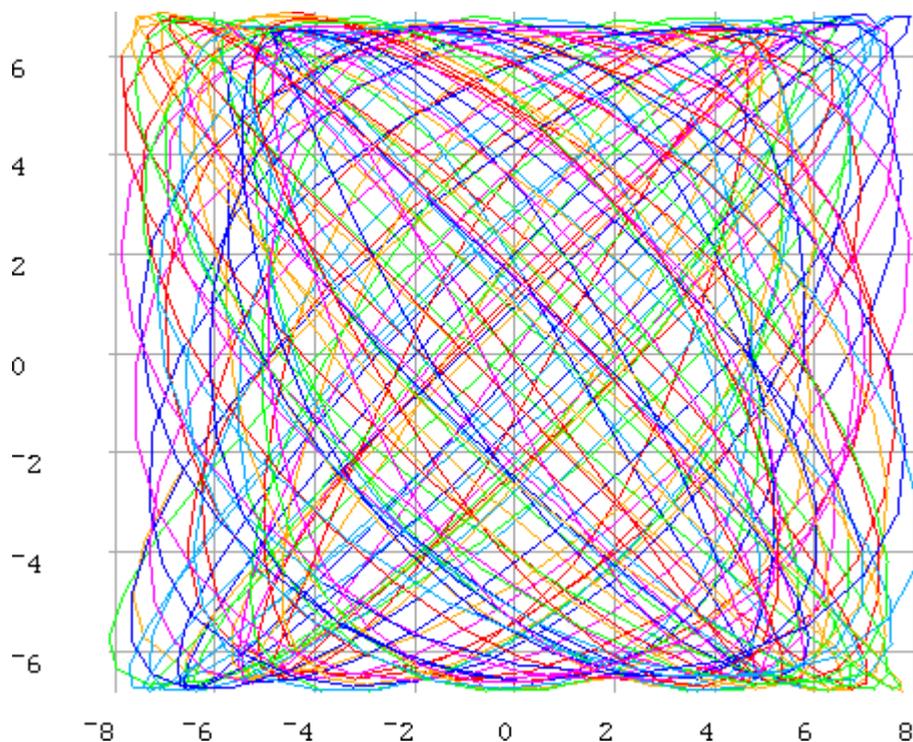
Quand la Lune fait 1 tour autour de la Terre, elle fait 1 tour sur elle-même ; on dit qu'elle est en résonance 1/1 avec son orbite. La figure numérote les quarts de tour de rotation. Le laser voit la Terre en face en 0/4, à sa gauche en 1, en face en 2 et à sa droite en 3. La Terre n'est pas floue, son mouvement est respecté car c'est le centre de masse du système Terre+Lune qui est fixe.

Stabilité de la Lune

Cette synchronisation de la face de la Lune vers la Terre est stable. On peut le vérifier en décalant l'orientation initiale de la Lune et en relançant le calcul. A l'oscillation synchrone de la période de lunaison (29j) se superpose alors une oscillation beaucoup plus lente, le centre de gravité CG cherchant en moyenne à se placer à l'intérieur du segment CT-CM. Cette oscillation lente s'amortit si on suppose que la Lune contient un liquide visqueux ; ce pouvait être le cas quand elle était encore chaude et c'est peut-être encore le cas actuellement. De plus l'hypothèse du liquide visqueux explique le ralentissement d'une rotation initialement non synchrone jusqu'au synchronisme actuel après des millions d'années, phénomène accompagné d'une augmentation progressive de la distance Terre-Lune (transfert du moment cinétique de rotation au moment cinétique orbital). A la fin de ce ralentissement, la face visible actuelle aurait pu être cachée et réciproquement, puisque l'équilibre stable est à un demi-tour près ; c'est le résultat final d'un tirage de pile ou face, unique puisqu'on ne rejoue pas l'histoire de la Lune.

Oscillation complète de la Lune

Le raisonnement que nous avons fait supposait que l'axe de rotation de la Lune était perpendiculaire au plan de son orbite. En fait l'angle entre cet axe et ce plan vaut $90\text{deg}-6,7\text{deg}$. Si on en tient compte, il en résulte une oscillation Nord-Sud en plus de l'oscillation Est-Ouest précédemment décrite. Ces oscillations portent le nom de librations. Si on avait pu l'observer depuis un point choisi de la Lune, on aurait vu la Terre décrire dans le ciel du 01/01/1967 au 31/12/1971 la courbe suivante :

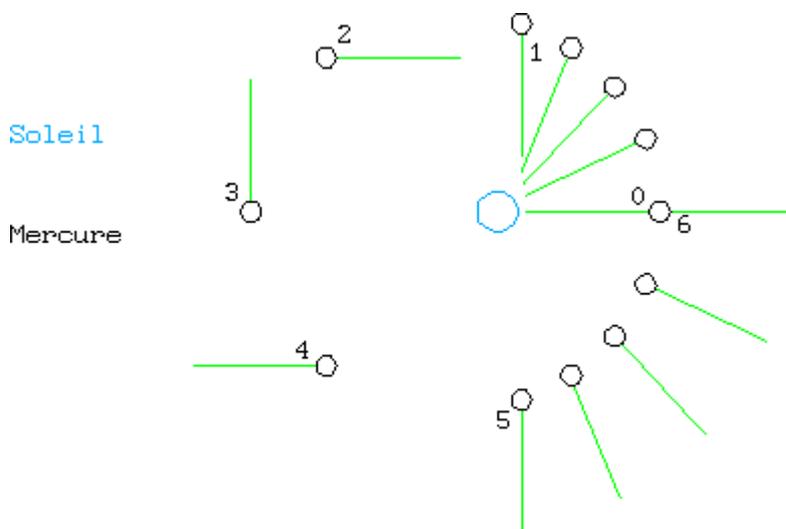


Sur cette figure, la couleur change d'un mois au suivant.

Synchronisation de Mercure

La planète Mercure présente une particularité relevant de la même explication, mais pour une résonance 3/2 : quand elle fait 2 tours autour du Soleil, elle fait 3 tours sur elle-même. Ceci est possible parce que son orbite est elliptique d'excentricité 0,2056.

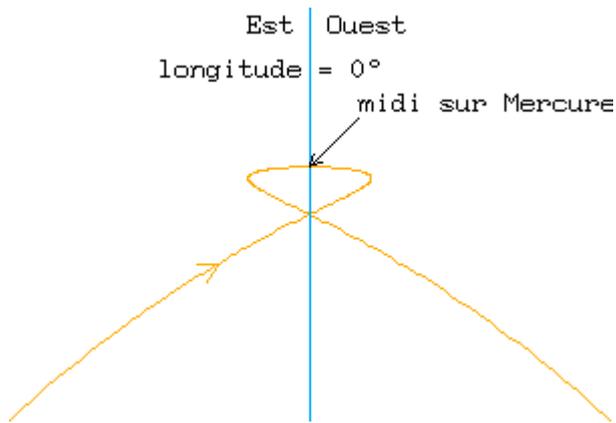
Si on applique la force due au Soleil au centre de masse on peut calculer l'orbite mais pas la rotation. Si on applique la force due au Soleil au centre de gravité, au lieu du centre de masse, on améliore la précision des équations. Cette amélioration est inversement proportionnelle au cube de la distance et permet de calculer la rotation. On montre que l'astroïde, lieu des centres de gravité, est environ 3,5 fois plus petite quand la planète est la plus éloignée du Soleil (aphélie) que quand elle en est la plus proche (périhélie), le centre de gravité est alors 3,5 fois plus proche du centre de masse et la cause de la synchronisation de la rotation est 3,5 fois moins efficace (le moment par rapport à CM de la force de gravité pour une même orientation est 3,5 fois plus faible). La figure numérote les quarts de tour de rotation, et ici aussi les astres sont montrés agrandis.



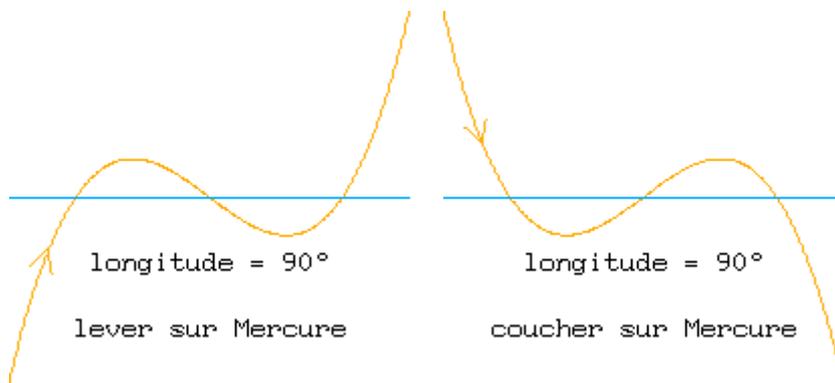
La planète est bien accrochée dans la zone (5__6/0__1) mais l'éloignement dans la zone (2__4) lui facilite le "demi-tour". Comme pour la Lune cette synchronisation est stable ; on le vérifie par un calcul analogue. Sur Mercure :

1 journée de Mercure = 1 nuit de Mercure = 1 année de Mercure = 88 jours terrestres

Au voisinage du périhélie, la vitesse de rotation de la droite Soleil-Mercure est plus grande que la vitesse de rotation de Mercure : le mouvement apparent du Soleil est alors rétrograde au voisinage du périhélie. A cause de cela, là où le laser fictif est installé, disons à la longitude 0 degré, le Soleil (jaune) se lève à l'Est (Mercure à l'aphélie), ralentit vers le méridien, traverse celui-ci, repart vers l'Est, retransverse le méridien (M. périhélie), repart vers l'Ouest, retransverse encore le méridien, accélère vers l'Ouest, et se couche à l'Ouest (M. aphélie).



Si on se place (fictivement) à 90 degrés ou 270 degrés de longitude, le Soleil se lève lentement à l'Est, se couche (M. périhélie), puis se lève à nouveau, accélère vers le méridien, traverse celui-ci (M. aphélie), ralentit vers l'Ouest, se couche, se lève (M. périhélie), et se recouche.



La mécanique de Newton et la loi de la gravitation universelle suffisent à expliquer tous ces phénomènes. On peut trouver des informations complémentaires sur Internet dans Wikipedia. Par exemple, demander à Google [lune](#) ou [mercure planete](#).