

FORMATION DES PERSONNES-RESSOURCES EN SCIENCE ET TECHNOLOGIE

LA GRAVITATION

André Grandchamps
Astronome
Planétarium de Montréal



Sir Isaac Newton
Source : pages.infinet.net/marct/newton2.jpg

DOCUMENT DE TRAVAIL

© 2005 - Planétarium de Montréal. Tous droits réservés.

La légende veut que le physicien anglais Isaac Newton (1642-1727) ait compris les fondements des lois de la gravitation en observant la chute d'une pomme. Malheureusement, les historiens des sciences reconnaissent aujourd'hui que cette fable aurait servi à embellir la réalité. Certes, Newton a joué un rôle primordial dans l'élaboration des lois de la gravitation. Cependant, cette fable lui aurait permis de s'en attribuer tous les mérites, des premiers balbutiements jusqu'à l'aboutissement final en 1687, tout en passant sous silence le travail de ses principaux rivaux.

Nous verrons dans les prochaines pages comment les astronomes et les physiciens sont arrivés à élaborer les lois régissant la gravitation.

Le mouvement des planètes

C'est la compréhension du mouvement des planètes qui va amener les astronomes à mettre au point une théorie élaborée de la gravité. Pendant des siècles, le mouvement des planètes a été la pierre d'achoppement de toutes les théories. Dans un premier temps, le fait de considérer la Terre au centre de l'Univers a induit les penseurs en erreur. Mais même après la diffusion de la théorie héliocentrique de Copernic, les astronomes ne comprenaient pas pourquoi les planètes tournaient autour du Soleil.

Le premier à élaborer une théorie juste du mouvement des planètes est l'astronome Johannes Kepler (1571-1630). Pour ce faire, il se servit des observations de Tycho Brahe (1546-1601). Pendant plus de vingt ans Tycho observa minutieusement le ciel et les planètes avec des instruments rudimentaires, mais obtint malgré tout une bonne précision pour l'époque. Ces travaux étaient d'autant plus remarquable que le télescope n'était pas encore inventé. En se basant sur ces observations, Kepler élaborer trois lois sur le mouvement planétaire, lois qui sont encore utilisées

aujourd'hui.

Les lois de Kepler

La première loi stipule que *les planètes tournent autour du Soleil en suivant des orbites elliptiques, où le Soleil occupe l'un des foyers.*

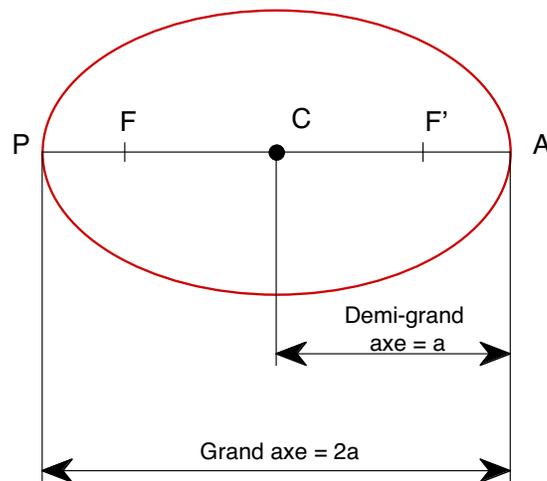


Figure 1 - source : Centre de développement pédagogique

Cette loi implique d'abord que les orbites ne sont pas des cercles parfaits, mais plutôt des « cercles aplatis », tel que montré sur la figure 1. L'aplatissement d'une orbite est appelé excentricité, quantifié par un nombre variant entre 0 et 1. L'excentricité d'une ellipse se remarque seulement lorsqu'elle est importante (0,75 ou plus). Les orbites des planètes ne sont que très légèrement aplaties. L'excentricité la plus importante, celle de la planète Pluton, n'est que de 0,248.

La première loi de Kepler nous dit aussi que la position du Soleil est décalée par rapport au centre de l'orbite. La distance la plus faible entre le Soleil et la planète est appelée le périhélie, alors que la distance la plus grande est l'aphélie.

La deuxième loi nous apprend qu'une planète tournant autour du Soleil balaie des aires égales en des temps égaux.

Cela veut dire que la vitesse de révolution d'une planète dépend de la distance qui la sépare du Soleil. La planète avance donc plus vite le long de son orbite lorsqu'elle est au périhélie et ralentit lorsqu'elle est à l'aphélie.

Enfin, la troisième loi est moins intuitive et se lit comme suit : *le carré de la période de révolution d'une planète (exprimée en années) est égal au cube du demi grand axe de son orbite (exprimé en*

unités astronomiques). À noter ici que le grand axe est la plus grande distance mesurée à l'intérieur d'une ellipse. Sur la figure 1, le demi grand axe est la distance AC. De plus, l'unité astronomique est la distance moyenne de la Terre au Soleil, établie à près de 150 millions de kilomètres.

Cette loi nous apprend surtout que les planètes les plus éloignées du Soleil sont celles qui prennent le plus de temps à boucler une orbite.

Ces lois permirent de prédire avec une bonne précision le comportement des planètes, ce qui constituait un énorme progrès pour l'époque. Mais si Kepler soupçonnait une force pour expliquer un tel comportement, il n'arriva pas à en comprendre la nature.

Le principe d'inertie

Galilée (1564-1642) posa le jalon suivant en énonçant le principe d'inertie. Quelques années plus tard, René Descartes (1596-1650) peaufina ce principe qui se lit comme suit : *en absence de force extérieure ou de frottement, un corps continuera son mouvement en ligne droite et à vitesse constante*. Newton reprit presque tel quel ce principe et en fit sa première loi de la gravité, une quarantaine d'années plus tard.



Robert Hooke (1635-1703)
Source : vitruvio.imss.fi.it/



Isaac Newton (1642-1727)
Source : historyguide.org/images/newton.jpg

Cette loi implique qu'un corps demeurera au repos ou se déplacera en ligne droite et à la même vitesse tant qu'il ne sera pas soumis à une force.

Or comme nous l'avons vu précédemment, les planètes ne se déplacent pas en ligne droite, mais suivent plutôt une ellipse. Elles sont donc soumises à une force extérieure qui modifie leur mouvement. Robert Hooke (1635-1703) réalisa que c'est le Soleil qui attire les planètes vers lui. Il constata aussi que cette force attractive est dirigée vers le foyer de l'orbite occupé par le Soleil.

Par la suite, Hooke constata que cette force attractive diminue à mesure que l'on s'éloigne du Soleil et ce, de façon particulière. Une planète deux fois plus loin du Soleil subira une force quatre fois plus faible, alors qu'une planète trois fois plus éloignée subira une force neuf fois moins puissante. On dit alors que la force d'attraction diminue selon l'inverse du carré de la distance (ou, dans le langage des physiciens, qu'il s'agit d'une force proportionnelle à $1/r^2$).

Malheureusement, Hooke ne parvint pas à démontrer mathématiquement ses conclusions. Il fit alors part de ses observations à Newton. Or, quelques années plus tôt, ce dernier avait conçu une nouvelle méthode de calcul (le calcul différentiel et intégral) qu'il n'avait pas encore rendue publique. Grâce à cet outil mathématique puissant, Newton parvint à expliquer mathématiquement le mouvement des planètes. Dès lors, il devenait possible de prédire et surtout d'expliquer comment tournaient les planètes autour du Soleil. Avec les travaux de Newton, on pouvait expliquer les lois de Kepler, soit pourquoi les planètes tournent selon une orbite elliptique et pourquoi le Soleil occupe l'un des foyers de cette orbite. On pouvait aussi expliquer pourquoi la force d'attraction qui guide les planètes diminue selon le carré de la distance et pourquoi elle est dirigée vers le Soleil.

Selon le principe d'inertie, les planètes se déplacent en ligne droite. Mais elles sont aussi soumises à une force qui les attire vers le Soleil. On pourrait s'imaginer que les planètes tombent vers le Soleil. Mais comme elles se déplacent en même temps que lui, elles tombent constamment à côté du Soleil. Il en est même de la Lune ou de tout autre corps en orbite autour d'un autre corps.

Newton poussa plus loin la portée de ses travaux en postulant que *tous les corps dans l'Univers s'attirent mutuellement avec une force inversement proportionnelle au carré de leur distance.*

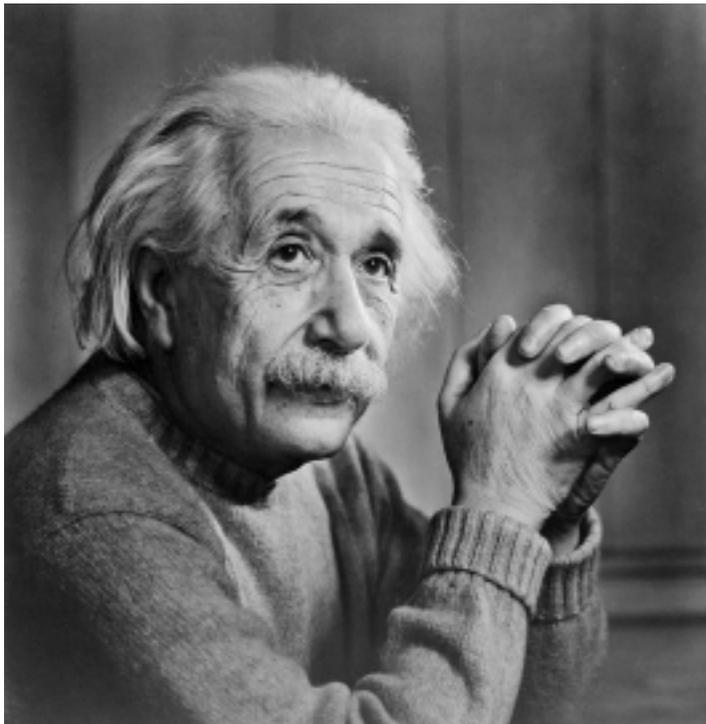
Cela veut dire que nous attirons la Terre tout comme cette dernière nous attire. Cependant, la force d'attraction dépend des masses des corps impliqués. Comme la masse de la Terre est beaucoup plus importante que la nôtre, la force que nous exerçons sur elle est négligeable. Seule

la force d'attraction de la Terre entrera en ligne de compte dans le cas présent.

Newton ne reconnut jamais l'apport de Hooke. La fable de la pomme servit à démontrer que Newton avait eu l'idée de base des lois de la gravité bien avant Hooke ou quiconque. Les historiens ont cependant démontré que Newton ne s'était pas intéressé à la gravité avant que Hooke ne le consulte à ce sujet. Cette fable est malheureuse, car même si Hooke avait travaillé sur le sujet avant lui, Newton a apporté une contribution exceptionnelle à cette question. Jeter les bases mathématiques pour arriver aux lois de la gravité représentait un travail titanesque. Il a ainsi été le premier à expliquer et à prouver mathématiquement le comportement des planètes ou de tout autre corps dans l'Univers.

Encore aujourd'hui, on se sert des lois de Newton pour prédire le comportement d'un corps se déplaçant à faible vitesse, comme une sonde spatiale lancée vers une planète du système solaire.

La relativité générale



Albert Einstein (1879-1955)
Source: data2.collectionscanada.ca/ap/a/a212510.jpg

En 1916, Albert Einstein proposa une nouvelle conception de la gravitation. Si les lois de Newton permettent d'expliquer le rôle de la gravité, elles ne nous éclairent en rien sur les raisons qui expliquent que la gravité agit comme elle le fait.

Selon Einstein, une masse déforme et courbe l'espace-temps qui l'entoure (dans l'Univers d'Einstein, l'espace et le temps sont intimement liés et indissociables). Un corps se trouvant à proximité d'un autre corps plus massif se déplacera en suivant cette courbure. La résultante sera une orbite elliptique diminuant selon le carré de la distance.

Cette vision de la gravitation élaborée dans la théorie de la relativité générale permet d'expliquer tous les énoncés que nous avons vus auparavant. Elle permet même de décrire des concepts que

les lois de Newton sont incapables d'expliquer, comme la trajectoire de la planète Mercure dont la précession échappe à la théorie newtonienne, mais trouve une explication élégante en relativité.

Pour en savoir plus...

COUPER, Heather et Nigel HENBEST. *Les trous noirs : voyage au centre de l'un des plus fascinant mystère de l'Univers, les trous noirs*, Hachette jeunesse, 1996, 45 p.

SÉGUIN, Marc et Benoît VILLENEUVE. *Astronomie et astrophysique*, Montréal, Éditions du Renouveau pédagogique inc, 1995, 550 p.