**ANNEXE 2 : De Kepler à Newton – Renseignements pour l’enseignant**

Au 16e siècle, la plupart des gens croient à un modèle géocentrique du système solaire, selon le modèle de Ptolémée. En 1543, Nicolas Copernic remet en question le modèle de Ptolémée et propose que la Terre tourne autour du Soleil. Cependant, sa théorie ne permet pas de prédire avec plus de précision la position des planètes dans le ciel que le modèle géocentrique de Ptolémée.

Tycho Brahé (1546-1601) est passionné de l’astronomie et effectue une grande quantité d’observations scientifiques. Il ne propose cependant aucune nouvelle explication pour le mouvement des planètes. C’est Johannes Kepler (1571-1630) qui développe des explications pour les observations de Tycho Brahé. Johannes Kepler est embauché par Tycho Brahé qui lui donne l’orbite de Mars à calculer. Tycho meurt en 1601, un an après avoir embauché Kepler. Kepler continue ses travaux à l’aide des données de Tycho Brahé. Cela lui prend six ans et des milliers de pages de calculs avant de résoudre le problème de l’orbite de Mars! Il constate que l’erreur de ses premiers essais était de demeurer accroché au concept des orbites parfaitement circulaires. Il propose en 1609 un modèle dans lequel les planètes tournent autour du Soleil dans une orbite elliptique et non circulaire. Le modèle de Kepler n’est pas beaucoup plus précis que celui de Ptolémée, mais finit par être adopté par les scientifiques à cause de sa simplicité. Il prédit aussi bien que le modèle de Ptolémée, mais est beaucoup plus facile à utiliser. Les lois de Kepler sur le mouvement orbital sont encore utilisées aujourd'hui pour calculer, par exemple, la trajectoire des sondes spatiales.

Kepler publie ses deux premières lois en 1609, la loi des ellipses et la loi des aires égales. Dix ans plus tard, il publie une troisième loi, la loi des périodes. Voici les trois lois de Kepler :

**Première loi** : Chaque planète se déplace autour du Soleil dans une orbite elliptique, le Soleil occupant un des foyers de l’ellipse.

planète

F2

F1

Soleil

Bloc B

**ANNEXE 2 : De Kepler à Newton – Renseignements pour l’enseignant (suite)**

****

**Deuxième loi** : la droite reliant une planète au

Soleil balaie des aires égales pendant des

durées égales (chaque planète se déplace

**aphélie**

**périhélie**

plus rapidement lorsqu’elle est plus proche

du Soleil et moins rapidement lorsqu’elle est

plus éloignée).

**Aires égales au cours d’intervalles de temps égaux**

**Troisième loi** : le carré de la période orbitale d’une planète autour du Soleil est proportionnel au cube du rayon moyen de l’orbite.

$$\left(K\_{s}=\frac{R^{3}}{T^{2}}\right)$$

Les lois de Kepler permettent de décrire comment les planètes tournent autour du Soleil, mais ne peuvent expliquer *pourquoi* elles effectuent ce mouvement. C’est Newton qui donnera cette explication vers la fin du 17e siècle.

Newton veut découvrir ce qui cause le mouvement des corps célestes. Il porte son attention en premier lieu sur le mouvement de la Lune. La Lune décrit une orbite presque circulaire autour de la Terre. Si aucune force n’agissait sur elle, elle effectuerait un mouvement en ligne droite, à vitesse constante. Elle doit donc subir une accélération dirigée vers la Terre (accélération centripète) et il doit y avoir une force qui cause cette accélération. Mais quelle est la nature de cette force?

Selon la légende populaire, une pomme tombant d’un arbre sur la tête d’Isaac Newton aurait catalysé sa plus grande idée, celle de la force gravitationnelle. La pomme devait subir une accélération parce que sa vitesse initiale sur la branche avait une valeur de zéro et que cette vitesse augmentait le long de sa chute. Il devait donc y avoir une force exercée sur la pomme. Puisque cette force s’étendait à la cime d’un arbre, ne pourrait-elle pas s’étendre encore plus loin? Cette force ne pourrait-elle pas se rendre jusqu’à la Lune? Il conclut qu’on pourrait comparer le mouvement de la Lune à la chute d’une pomme. L’orbite lunaire serait donc la conséquence d’une force exercée par la Terre sur la Lune.

Bloc B

**ANNEXE 2 : De Kepler à Newton – Renseignements pour l’enseignant (suite)**

Newton calcule ensuite l’accélération de la Lune, essentiellement de la même façon que nous calculons l’accélération centripète.

$$a\_{c}=\frac{4π^{2}R}{T^{2}}=\frac{4π^{2}\left(3,8×10^{8} m\right)}{27,3 jours}=\frac{4π^{2}\left(3,8×10^{8} m\right)}{2,3×10^{6} s}=2,7×10^{-3}{m}/{s^{2}}$$

Newton se pose ensuite la question suivante : Pourquoi l’accélération de la Lune est-elle tellement plus petite que l’accélération de la pomme à la surface de la Terre (9,8 m/s2) si c’est la même force qui cause leur mouvement? Cette force doit diminuer, mais quelle est la relation entre la force et la distance de séparation?

En utilisant les concepts du mouvement circulaire uniforme des planètes autour du Soleil (Kepler avait déterminé que ces orbites étaient elliptiques, mais les calculs pour les orbites circulaires sont plus simples.) et de la troisième loi de Kepler, Newton finit par déterminer cette relation.

Voici son raisonnement :

L’équation pour l’accélération centripète d’un objet ayant un mouvement circulaire uniforme est $a\_{c}=\frac{4π^{2}R}{T^{2}}$. La force centripète pour cet objet est donc $F=ma=\frac{m4π^{2}R}{T^{2}}$. La masse en question est la masse de la planète. Newton cherche la relation entre la force et la distance de séparation ainsi que la masse. Il élimine donc la période (*T*) à l’aide de la troisième loi de Kepler ($K=\frac{R^{3}}{T^{2}}$, donc $T^{2}=\frac{R^{3}}{K}$). L’équation devient donc $F=\frac{m4π^{2}R}{\frac{R^{3}}{K}}=m4π^{2}R×\frac{K}{R^{32}}=\frac{m4π^{2}K}{R^{2}}$. Puisque l’expression $4π^{2}K$ est une valeur constante, la force d’attraction gravitationnelle sur une planète est directement proportionnelle à la masse de la planète et inversement proportionnelle au carré de la distance qui la sépare du Soleil. Newton parvient aussi à démontrer que les trois lois de Kepler découlent de la loi de la force gravitationnelle.

Newton finit par conclure que tous les objets dans l’Univers exercent une attraction gravitationnelle les uns sur les autres.

*Deux corps dans l’univers s’attirent l’un l’autre avec une force directement*

*proportionnelle à la masse de chacun et inversement proportionnelle au*

*carré de la distance qui les sépare.*

Sa loi de la gravitation universelle peut être exprimée de cette façon : $\vec{F}\_{g}=\frac{Gm\_{1}m\_{2}}{r^{2}}$.

Bloc B

**ANNEXE 2 : De Kepler à Newton – Renseignements pour l’enseignant (suite)**

La valeur de la constante G a été calculée pour la première fois en 1798 par Henry Cavendish à l’aide d’une balance de torsion. Cavendish fixe deux petites sphères aux bouts d’une tige suspendue à un fil mince. La force gravitationnelle exercée par deux grandes masses placées près des sphères les attire et le fil subit une torsion. L’angle de torsion est proportionnel à la force gravitationnelle exercée par les deux masses. Cavendish réussit donc à déterminer la force d’attraction entre les masses et donc la valeur de G. La valeur acceptée aujourd’hui est $6,67259×10^{-11}{Nm^{2}}/{kg^{2}}$. Cette valeur est très petite, indiquant que la force gravitationnelle entre deux masses est seulement appréciable pour des objets ayant une masse importante. Deux élèves exercent une force gravitationnelle l’un sur l’autre, mais cette force est trop petite pour être ressentie. Cependant, la force gravitationnelle entre la planète Terre et les élèves peut être ressentie.

Balance de Torsion de Cavendish

Fgrav

Fgrav

Fgrav

Fgrav

Bloc B