

Histoire de la Mécanique du Ciel et de la Terre

1/ Selon Ptolémée, où se trouvait la Terre dans l'Univers ?

Ptolémée est un astronome grec qui vécut à Alexandrie entre le premier et second siècle après JC. Dans son ouvrage « L'almageste », il établit la synthèse des connaissances en astronomie de l'époque (surtout des astronomes grecs Eudoxe, Cnide et le célèbre Hipparque - -140 av JC -) sur les mouvements des corps célestes et perfectionne les modèles. Ses observations jointes aux données antérieures lui offrent des mesures assez précises – pour l'époque – des mouvements. Les précisions étaient suffisantes pour les besoins des astronomes, des astrologues, pour l'établissement des calendriers et pour la navigation.

Ptolémée consacre le système géocentrique proposé par Hipparque : La Terre est le centre des Orbes Célestes. Ceci est surtout motivé par des considérations philosophiques et théologiques liées à la montée du christianisme en Europe.

2/ Un chanoine écrit un ouvrage appelé « la révolution des Orbes célestes » : Comment s'appelle-t-il ? Quand cet ouvrage a-t-il été publié ?

Nicolas Copernic (1473 – 1543) était un chanoine, mathématicien, médecin et astronome polonais. Les quatorze siècles passés depuis Ptolémée ne peuvent se résumer facilement et on ne peut pas affirmer qu'il ne se soit rien passé sans citer les modèles établis par les astronomes arabes (Ibn Al Shatir) et les textes de l'école de Maragha dont s'inspira Copernic. Le système de Copernic repose sur un fait qu'il établit : la Terre tourne sur elle-même et revient dans sa position après un jour solaire. De plus, la Terre fait un tour autour du Soleil en un an. Il affirme que les planètes tournent autour du Soleil et que Mercure et Vénus sont des planètes dites internes (situées plus près du Soleil que la Terre). Son ouvrage principal « *De revolutionibus Orbium Coelestium* » (Des révolutions des sphères célestes) est achevé en 1530. **Cette œuvre sera publiée par un imprimeur luthérien le 24 mai 1543 après la mort de Copernic.**

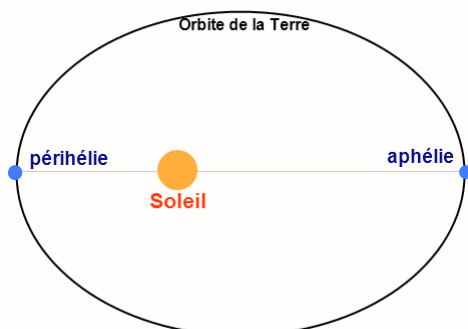
3/ Où se trouve le Soleil selon la théorie copernicienne ?

Le soleil se trouve au centre : c'est l'héliocentrisme.

4/ Au rang de quoi est relayée la Terre ?

La Terre est relayée au rang de simple planète.

5/ Johannes Kepler énonce trois lois au début du XVII^{ème} siècle. Selon sa théorie où se trouve précisément le Soleil ?



*Les deux premières lois de Kepler ont été publiées en 1609. La première loi est connue sous le nom de la loi des orbites : « **Les planètes du Système solaire décrivent des trajectoires elliptiques dont le Soleil occupe l'un des foyer** ».*

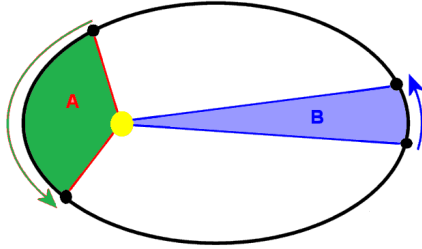
Lorsque la planète tourne autour du Soleil, elle se trouve parfois proche du Soleil (périhélie) parfois loin du soleil (aphélie). Pour la distance Terre-Soleil, elle varie entre 149 millions de km (au 21 décembre environ) à 152 millions de km (au 21 juin environ).

6/ Selon Kepler, quelle est la trajectoire des planètes autour du Soleil ?

La trajectoire est un ovale appelé ellipse.

7/ Quelle est le nom de la seconde loi de Kepler ?

La seconde loi de Kepler est connue sous le nom de la loi des aires : «En des durées égales, une planète balaye des aires égales».



L'aire A balayée pendant la durée T est égale à l'aire B balayée pendant la même durée T. Cela implique nécessairement des variations de la vitesse du déplacement du corps céleste. Au niveau de l'aphélie, la vitesse du corps céleste est minimale et au niveau du périhélie, la vitesse de ce même corps est maximale.

8/ Kepler a connu un autre physicien. Lequel ?

Kepler a connu Galilée. Il avait beaucoup d'admiration pour Galilée. Bien que distants, ils ont eu une correspondance constructive. Kepler s'est appliqué à mathématiser les lois de l'astronomie alors que Galilée a certes établi des bases de mécanique mais a surtout été un magnifique observateur et un défenseur des thèses coperniciennes.

9/ Avec sa lunette, ce physicien italien découvre en Janvier 1610 des objets qui tournent autour de Jupiter. Quels sont ces objets ?

Avec la lunette, Galilée a découvert en 1609 les phases de Vénus, les tâches du Soleil, les montagnes sur la Lune et la multitude d'étoiles de la Voie lactée. Le soir du 7 Janvier 1610, l'astronome italien décide de pointer sa lunette en direction de Jupiter. Il constate que 3 « étoiles » sont alignées avec la planète. Il relève sur son cahier la position de ces trois corps par rapport à la planète : [* * O *]. Le 8 Janvier, il observe de nouveau Jupiter et relève de nouveau les positions : [O * * *]. Surprise de Galilée : les trois corps sont à droite de la planète. Le lendemain, il manque « une étoile » et les deux restantes sont à gauche : [* * O]. Galilée est fasciné et poursuit ses observations chaque jour. Le 15 Janvier, par exemple, il relève la configuration suivante : [O * * * *]. Il comprend rapidement que ces objets tournent autour de la planète. Il a poursuivi ses observations pendant 54 jours. Aux quatre corps célestes découverts, il donne le nom de planètes Médicéennes en l'honneur de son protecteur, le Duc de Médicis. Il écrit dans son célèbre ouvrage Sidérius Nuncius « Maintenant, nous n'avons plus une seule planète tournant autour d'une autre pendant que deux parcourent un grand orbe autour du Soleil, mais notre perception nous offre d'autres étoiles errantes, tandis que toutes poursuivent ensemble avec Jupiter, en l'espace de douze ans, un grand orbe autour du Soleil ». **Ces « planètes Médicéennes » sont aujourd'hui appelées les satellites galiléens de Jupiter.**

10/ Quel système décrit précédemment valide-t-il ?

Galilée explique dans son ouvrage : « Nous tenons un argument excellent et lumineux pour ôter tout scrupule à ceux, qui tout en acceptant tranquillement la révolution des planètes autour du Soleil dans le système de Monsieur Copernic, sont tellement perturbés par le tour que fait seule la Lune autour de la Terre. Tandis que les planètes accomplissent toutes deux une révolution annuelle autour du Soleil, qu'ils jugent que cette organisation doit être rejetée comme une impossibilité ». **Il valide, par ses observations, les théories de Nicolas Copernic.**

11/ A-t-il apporté alors la preuve que la Terre tournait ?

Galilée n'a pas apporté la preuve que la Terre tournait autour du Soleil. Il a affirmé que la Terre était une planète possédant un satellite : la Lune.

Jupiter est une planète qui possédait 4 satellites et Jupiter tournait comme la Terre autour du Soleil.

12/ Il étudie aussi comment tombent les objets : la chute des corps. Avec son banc muni de clochettes, que constate-t-il ?

En 1604, Galilée adresse une lettre à son ami Paolo Scarpì dans laquelle il explique la chute des corps. Sur un plan incliné, des clochettes ont été placées de telle manière qu'une boule lâchée du haut du banc passe entre deux clochettes à des intervalles de temps égaux.

Il écrit : « Dans ces expériences répétées une bonne centaine de fois, nous avons toujours trouvé que les espaces parcourus étaient entre eux comme les carrés des temps, et cela quelque soit l'inclinaison du chevron». Il ouvre la porte aux lois de la mécanique dite classique.

13/ Lâchez en même temps les deux grosses sphères rouges. Laquelle arrive en premier ?

Elles arrivent toutes les deux en même temps. Galilée a réalisé maintes et maintes fois cette expérience à Padoue. D'un immeuble de deux étages, il lâchait des objets ronds, de différentes masses, et notait ses résultats. Il était évident à ses yeux qu'un objet lourd ou léger, petit ou gros était attiré par la Terre d'une façon identique et que ni la taille, ni la masse n'avaient d'influence quelconque sur la vitesse de chute libre de ces objets. Lors d'une célèbre discussion, au cours d'un repas bien agité, un ami lâche une plume et un marteau (qui servait à casser des noix). Cet ami fait remarquer à Galilée que la plume arrive bien après le marteau. Sur quoi Galilée lui répond : «Si ta plume arrive en dernier, c'est parce qu'elle s'appuie sur l'air. L'air ralentit la chute des objets. Enlève moi l'air, et je te fais chuter la plume et le marteau à la même vitesse et chacun d'eux arrivera en même temps au sol». Galilée n'a jamais fait chuter des objets de la célèbre tour à Pise !

14/ Il a affirmé lors d'une discussion avec l'un de ses amis, que si on lâchait une plume et un marteau en absence d'air, les deux objets arriveraient en même temps au sol. Où a été réalisée cette expérience ? Par qui ? Lors de quelle mission ?

Lors de la mission Apollo 15, en 1971, l'astronaute David Scott propose de faire l'expérience relatée par Galilée depuis le sol lunaire. Dans sa main droite, il tient un marteau et dans sa main gauche une plume de faucon. Le module lunaire lors de cette mission était le faucon. Pour rappel, lors de la mission Apollo 11, c'était «Eagle» : l'aigle. Il lâche les deux objets en même temps. La plume et le marteau arrivent en même temps au sol car sur la Lune il n'y a pas d'air pour ralentir la chute de la plume.

Vous pouvez revoir cette vidéo sur Internet : dans google vidéo taper « David Scott plume marteau ».

15/ Il est né un an après la disparition de ce grand savant italien. Comment s'appelle-t-il ?

Il s'agit de Isaac Newton. Il est né le 4 janvier 1643 alors que Galilée était décédé un an auparavant. Newton était philosophe, mathématicien, physicien, astronome et théologien anglais. Il est célèbre pour sa théorie de la gravitation universelle et ses trois lois universelles du mouvement qui sont les principes de bases de la mécanique classique newtonienne. En optique, il explique la décomposition de la lumière blanche au travers d'un prisme et met au point un réflecteur : le télescope de Newton. En mathématique, il établit en concurrence avec Leibniz, la théorie sur le calcul infinitésimal.

16/ Selon ce savant anglais, que ferait une pomme ou la Lune si la Terre n'était pas là ?

Selon Newton, si la Terre n'était pas là, la pomme et la Lune poursuivraient leur trajectoire en ligne droite. Ce principe est dit de l'inertie. Il exprime que « Si un corps persévère dans son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme, alors il est soumis à des forces qui se compensent ». La somme de toutes ces forces, si elles existent, s'annulent donc. C'est le cas lorsqu'un spationaute est en état d'impesanteur.

17/ Qu'affirme-t-il à propos de la Terre et du Soleil ?

En 1687, Newton publie son célèbre ouvrage : « Principes mathématiques de la philosophie naturelle ». Dans cet ouvrage, Newton décrit de nombreux phénomènes et en particulier, le mouvement des astres et de la chute des corps. Ces mouvements peuvent s'expliquer par l'action d'une force qui fait s'attirer entre eux et mutuellement les objets possédant une masse. C'est le cas de la force d'attraction du Soleil qui règle le mouvement des planètes donc de celui de la Terre ; de même que la Terre exerce une force sur les objets en les faisant chuter à sa surface. En utilisant les lois de Kepler, il donne l'expression mathématique à cette force et énonce la loi de gravitation universelle :

« L'intensité de la force d'attraction entre deux corps est proportionnelle au produit de leurs masses et inversement proportionnelle au carré de leur distance mutuelle ».

G est la constante de gravitation universelle

$$F = G \times \frac{M \times m}{R^2}$$

La troisième loi, appelée aussi principe des actions réciproques, affirme « Tout corps A exerçant une force sur un corps B subit une force d'intensité égale de même direction mais de sens opposé par le corps B ». Donc **si le Soleil attire la Terre, la Terre attire le Soleil**. Si la Terre attire une pomme, une pomme attire la Terre.

18/ Qui est le premier à appliquer la théorie de Newton ? A quelle occasion ?

En 1682, **Edmond Halley** observe une comète peu spectaculaire qui portera plus tard son nom. Il prend juste quelques notes sur cet objet que Cassini lui avait rapporté en premier. Sa rencontre avec Isaac Newton permet à Halley de se plonger de nouveau dans ses travaux en 1684. Les deux savants ont une amitié sincère. Halley recense tous les passages cométaires passés. Il recense trois comètes : 1531, 1607 et 1682 pouvant ne faire qu'une avec celle de 1682. Il émet l'hypothèse que les comètes sont soumises aux lois énoncées par Newton. En tenant compte des perturbations des planètes géantes, Jupiter et Saturne, influençant la trajectoire de sa comète, **il prédit son retour pour Noël 1758**. Halley savait qu'il ne verrait plus sa comète (Il aurait eu alors 102 ans).

Il prédit l'existence d'un réservoir cométaire au-delà des planètes connues (à l'époque, on ne connaissait pas d'autres planètes au-delà de Saturne).

Le 25 décembre 1758, la comète fut observée par une personne à Dresde à l'endroit exact où l'avait prédit Halley. Le 13 avril 1759, la comète de Halley effectuait son passage au plus proche du Soleil : son périhélie. Les derniers passages de cette comète datent de 1910 et 1986. Son retour est prévu en 2061.

19/ Qu'est-ce qu'une force ?

Une force désigne toute cause capable de modifier la vitesse ou la trajectoire d'un corps possédant une masse. Une force peut aussi déformer l'objet qui la subit.

20/ Qu'est-ce qu'une masse ?

La masse est une grandeur physique liée à la quantité de matière qui constitue cet objet. Plus l'objet contient de matière plus la masse est grande.

21/ Quelle découverte marque le triomphe de la mécanique newtonienne ?

La découverte de Neptune marque sans conteste le triomphe de la mécanique de Newton. Urbain le Verrier et John Adams déduisirent par calculs mathématiques l'existence d'une planète lointaine qui perturbait l'orbite de la planète Uranus. Johan Galle observa cette planète dans la région prédite par les calculs.

22/ Pourtant imparfaite, la mécanique de Newton n'explique pas les perturbations d'une planète.

Laquelle ?

La mécanique newtonienne s'avère impuissante à expliquer les perturbations de l'orbite de la planète Mercure. En effet, Mercure a la particularité d'être en résonance sur son orbite. Son périhélie connaît une précession autour du Soleil plus rapide que celle prédite par la mécanique classique. Cette avance de 42,98 secondes d'arc par siècle a été expliquée plus tard par un célèbre physicien allemand...

23/ Quel physicien résoudra ce problème ? Avec quelle théorie ?

Albert Einstein résoudra ce problème avec la théorie de la relativité générale. Cette théorie explique aussi les irrégularités des corps de la ceinture d'astéroïdes.

24/ Comment Newton définit-il la gravitation universelle ?

Voir explications question 19. Pour résumer : **c'est une force proportionnelle aux masses des objets et inversement proportionnelle au carré de leur distance**.

25/ Comment explique-t-il que les objets soumis à la gravité d'une planète tombent à la même vitesse ?

Sur Terre ou sur une autre planète, les masses des différents objets soumis à la gravité sont totalement insignifiantes par rapport à la masse de la planète. La gravité d'un corps céleste est indépendante de la masse des corps sur lesquels elle s'exerce. Elle dépend uniquement de la masse de la Terre ou du corps céleste sur lequel l'objet se trouve.

26/ Selon Albert Einstein, tout objet possédant une masse, produit quoi ?

Depuis la théorie de la relativité générale, la gravitation est décrite comme une propriété de l'espace inséparable de la matière et de l'énergie. **Tout objet possédant une masse produit une déformation de l'espace-temps**, créant une sorte de « creux » dans lequel tombent les objets à son voisinage. Ainsi,

dans le Système solaire, si les planètes tournent autour du Soleil, ce n'est pas parce que celui-ci les attire. Elles « tombent » en chute libre à travers un espace courbé par la masse du Soleil. Pour Einstein, la gravitation est une propriété de l'espace-temps.

27/ Dans quel objet de l'espace, la gravitation s'exerce-t-elle à l'extrême ? Que se passe-t-il alors pour la matière alors à proximité ?

*La gravitation est si forte en certains points de l'espace qu'elle courbe l'espace-temps au point de le refermer sur lui-même. **La matière alentour est inexorablement happée par l'entonnoir ainsi formé : c'est un trou noir.** Rien n'échappe d'un trou noir, même pas la lumière. On ne peut pas observer directement un trou noir. Avant d'être engloutie dans le trou noir, la matière forme un disque d'accrétion qui émet un flot de rayonnement énergétique dans le domaine X et gamma. Cela est observable par les astronomes grâce aux satellites comme XMM-Newton et Fermi (anciennement GLAST).*

Questionnaire, version corrigée, proposé par Bruno Evrard, enseignant détaché au PLUS
Contact : bruno.evrard@ac-lille.fr
Sur le site du PLUS : www.le-plus.fr

