

Une histoire de la Lumière

(Epoque 1550-1650: Concilier les mathématiques et l'expérience)

- Kepler -

Extraits de «Une histoire de la lumière» de Bernard Maitte
et de «Penultimate Curiosity» de Roger Wagner & Andrew Briggs
et de «Science Comprendre» de Peter Moore & Mark Frary
et Wikipedia

Biblio

Contexte historique

Rôle clef de la transmission du message

Outil technique et pratique

Quelle expérience sur scène

Les grands apports

« extraits de textes »

Chapitre époque 1550-1550

« L'optique et la lumière des outils pour comprendre le mouvement des planètes »
« Complémentarité de Kepler mathématicien «illuminé» et Galilée expérimentateur «polémiste» »
« Les contradictions entre les textes de la Bible et l'observation de la Nature »
avec les premières associations de mesures expérimentales et de calculs rigoureux,
avec le mouvement des idées dans l'Europe,
avec le transfert des discussion scientifique de l'Eglise vers la Noblesse
avec le mouvement des idées dans l'Europe,
avec les aléas de la Réforme et de l'Inquisition

- Contexte historique

Expliquer le mouvement des étoiles et des planètes, un vieil questionnement de l'Homme

Avez-vous déjà observé le ciel les nuits d'été ? Plein d'étoiles scintillent et au cours de la nuit, elles se déplacent dans le ciel en gardant les figures qu'elles dessinent (grande ourse, chariot,...). Toutefois parmi elles, il y a quelques astres qui se déplacent différemment, les planètes. Les hommes depuis cinq millénaires à Babylone et les Egyptiens les ont observé et ont trouvé que le cela permettait de prévoir les saisons, et donc de prévoir l'avenir des plantes !, d'où leur étude pour aussi prévoir l'avenir des hommes ! et aussi prévoir les éclipses. Plein de mesures sont réalisées depuis l'antiquité et au Moyen Âge et des modèles sont proposés pour expliquer ces mouvements des planètes. Longtemps le modèle le plus reconnu est celui des Grecs Aristote et Ptolémée. Pour Aristote les étoiles sont fixes sur une sphère de cristal (la sphère des fixes) et chaque planète est aussi fixée sur une sphère de cristal qui sont en rotation autour de la Terre comme la Lune, il en est de même le Soleil. Il en est de même pour Ptolémée, seule différence, « *les astres nagent dans un fluide parfait qui n'oppose aucune résistance à leurs mouvements* ». Au XVIe siècle, savants chrétiens et des pays islamiques sont en accord sur ce modèle de l'Univers. Toutefois, il y a quelques désaccords entre les positions calculées et les positions observées (à l'œil nu !), alors on corrige un peu le modèle quelques cercles (une courbe de géométrie parfaite) qui tournent sur ces sphères de cristal.

Copernic, la Terre n'est pas au centre du Monde, impossible ... c'est en contradiction avec les textes de la Bible

En 1512 le chanoine astronome, médecin et mathématicien polonais **Nicolas Copernic** (1473-1543) propose un autre modèle qui respecte mieux les positions des planètes observées. Il s'inspire d'un modèle **héliocentrique**, proposé notamment en 340 av JC par le grec Héraclide du Pont, où le Soleil est fixe et les planètes, dont la Terre, tournent autour de lui avec un mouvement circulaire uniforme. Ce modèle réduit le nombre de sphère et est plus simple, mais la Terre n'est plus au centre du Monde, ... aussi c'est impossible pour le l'Eglise chrétienne

qui domine en occident !. Heureusement pour lui, son manuscrit *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (*Des révolutions des sphères célestes*) achevé en 1530 circule relativement peu et il n'a pu être imprimé qu'à la veille de sa mort en 1543 !.

- Les acteurs : le théoricien Kepler et les expérimentateurs Tycho Brahe et Galilée

Tycho Brahe et ses mesures précises

En 1572 l'astronome **Tycho Brahé** découvre une nouvelle étoile (une nova) ainsi le monde ne serait pas immuable... chose difficilement acceptable. De plus il a créé un observatoire *Uraniborg* sur l'île de Hven, qui possède de très grands appareils de mesure qui permettent des mesures étonnamment précises. Il y mesure les déplacements des étoiles et, pour en tenir compte des écarts entre le modèle et l'observation, il propose un autre modèle où à la fois la Terre est un centre de rotation (pour les planètes Mars, Jupiter, Saturne et la Lune) et le Soleil est au centre de rotation des planètes Mercure et Venus. Pour confirmer son modèle, et faire les calculs des mouvements de la planète Mars, il a besoin d'un astronome mathématicien, **il embauche l'astronome Johannes Kepler** qui s'est fait connaître pour des horoscopes précis et qui vient de publier en 1596 dans *Mysterium Cosmographicum* un élégant modèle d'un Univers héliocentrique basés sur les cinq solides géométriques parfaits emprisonnés dans des sphères concentriques.

Johannes Kepler un savant « engagé » qui considère important les mathématiques

Johannes Kepler, est un Savant et protestant croyant allemand, né Weil der Stadt vers 1571 et mort en 1630. Désirant être ordonné prêtre, Kepler voyait ses recherches scientifiques comme une manière d'accomplir son devoir chrétien: comprendre l'œuvre de Dieu, penser Ses pensées après Lui. Il était convaincu que Dieu avait créé l'univers selon un plan mathématique; les mathématiques étaient donc le moyen de le comprendre.

Kepler avait étudié à Tübingen avec l'astronome Michael Maestlin (1550-1631), qui enseignait les idées récemment publiées de Nicolas Copernic. Cette théorie attire Kepler, au cours d'une présentation des mouvements des planètes dans ce modèle héliocentrique à des étudiants, il a l'idée d'utiliser des volumes pour expliquer le nombre des planètes et leur disposition. Il développe un argument complexe, selon lequel les trajectoires des planètes pouvaient être prédites en calculant les tailles d'une série de sphères, cubes et tétraèdres emboîtés les uns dans les autres. En 1596, Kepler publie son premier ouvrage, *Mysterium Cosmographicum* où il développe un modèle d'Univers fondé sur les cinq polyèdres réguliers de Platon. Ces arguments sont assez mystiques, mais les résultats étaient en assez bonne corrélation avec les mesures astronomiques.

Une complémentarité expérience - théorie, la rencontre entre Johannes Kepler et Tycho Brahe

La rencontre et la collaboration/confrontation entre **Johannes Kepler** et **Tycho Brahé** avait des intérêts conjoints : Kepler voulait des mesures plus précises pour affiner son modèle d'Univers du *Mysterium Cosmographicum*, Brahe voulait un mathématicien doué pour calculer l'orbite de Mars à partir de ses mesures précises avec un modèle héliocentrique. Tous deux avaient en tête la vision d'un modèle différent, ce furent les mesures fournies par expérience et leur interprétation fournie par les mathématiques qui ont conduit à un modèle différent révolutionnaire.

En regardant de plus près, Kepler découvre que l'orbite de Mars était elliptique plutôt que circulaire, le Soleil constituant l'un des foyers de cette ellipse. Pour arriver à cette conclusion, il a effectué plus d'un millier de pages de calculs mathématiques avant de se pencher sur l'étude d'autres planètes. Le fait que l'orbite de toutes les planètes était elliptique est devenu la première loi du mouvement planétaire de Kepler. Sa seconde loi reposait sur la réalisation que les aires balayées par un rayon vecteur joignant le centre d'une planète au centre du Soleil étaient proportionnelles au temps mis à les décrire. Ses résultats sont publiés en 1609 dans *Astronomia nova* où il les présente dans les trois systèmes : (i) Ptolémée, (ii) Copernic et (iii) Brahe (sponsor ou politesse oblige !).

Une complémentarité expérience - théorie, Kepler et Galilée

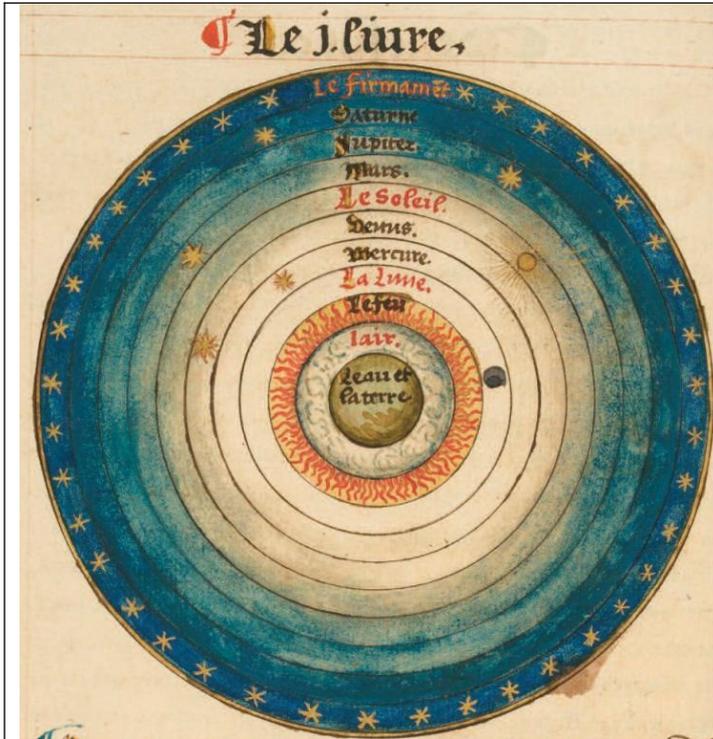
En 1597 un premier contact épistolaire a lieu entre l'astronome **Galilée** et **Johannes Kepler** au sujet du *Mysterium Cosmographicum* Il le remercie, heureux de son soutien à l'héliocentrisme, toutefois auprès de ses amis, il commente que son modèle est trop idéal pour être vrai.

Après l'idée initiale de Copernic et l'ajout par Galileo Galilei de données encore plus précises issues de ses observations avec un télescope, le travail de Kepler apporte pour la première fois une preuve mathématique et scientifique du fait que les planètes tournaient autour du Soleil. L'univers était le même, la compréhension que l'homme en avait était maintenant différente.

... et aussi les aléas de la vie de Kepler

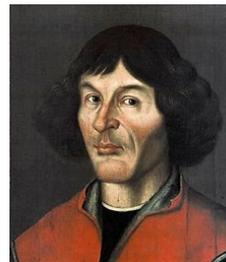
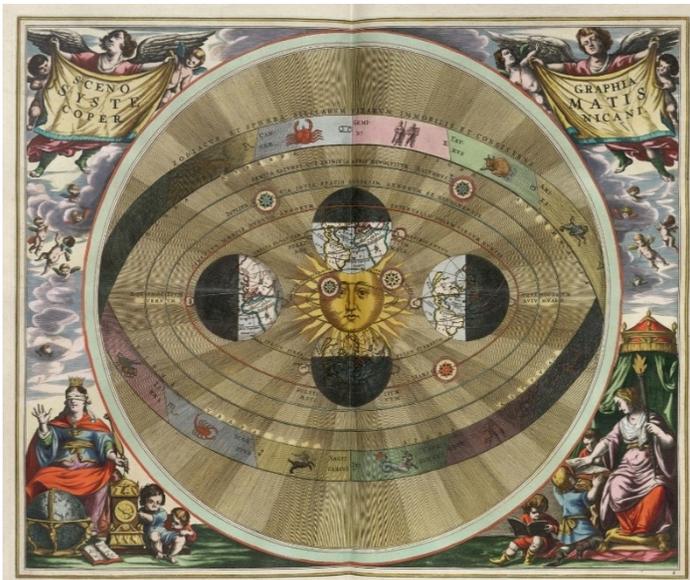
Toutefois la vie de Kepler fut difficile avec plein de péripéties, une histoire tourmentée par les guerres de religion et bien sûr, les soubresauts d'une pensée scientifique révolutionnaire et contestée. Kepler naît dans une famille peu ordinaire, entre une tante sorcière et un père mercenaire, le petit Johannes, frêle et hypocondriaque, deviendra un élève modèle du séminaire luthérien de Maulbronn puis de Tübingen (il est aussi un exemple des fruits de l'école...). Il se souviendra de ses professeurs et particulièrement de Michael Mästlin qui sut lui apprendre à envisager les phénomènes célestes avec des points de vue différents de Ptolémée et de Copernic. Même après ses études, Kepler a entretenu avec Mästlin une importante relation épistolaire. Pendant toute sa vie, il fut touché par les perturbations des guerres de religion et notamment pendant la guerre de trente ans. De plus, l'Eglise qui enseigne le modèle géocentrique, s'inquiète du développement des modèles héliocentriques qui commencent à se diffuser par le biais des lettres et de l'imprimerie, aussi la répression se développe via l'Inquisition et une répression similaire existe dans le monde protestant. Giordano Bruno est brûlé vif en 1600 pour « renforcer la foi » et fêter l'année sainte....

Entre 1615 et 1618, suspendra même une partie de ses recherches pour défendre sa mère Katharina contre des accusations de sorcellerie. Il meurt en 1630 à Regensburg à une époque où il voyageait beaucoup pour trouver les moyens pour imprimer ses œuvres. Même sa tombe ne connaîtra pas la sérénité, la guerre de trente ans dévastera le cimetière où il était enterré.



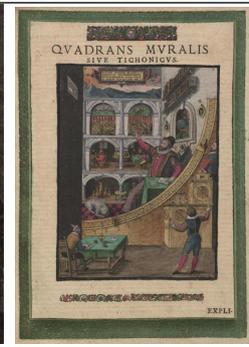
L'*Almageste* de Ptolémée (90-168) est le seul ouvrage antique complet sur l'astronomie qui nous soit parvenu.

Ptolémée y propose une théorie géométrique pour décrire les mouvements des planètes, de la Lune et du Soleil. L'Univers y est conçu comme géocentrique.



Le système héliocentrique de Copernic (*De Revolutionibus orbium coelestium*).

Nicolas Copernic (1473-1543) a développé et défendu la théorie de l'héliocentrisme selon laquelle la Terre tourne autour du Soleil, supposé au centre de l'Univers contre l'opinion alors admise, que la Terre était centrale et immobile.



Tycho Brahe (1546-1601) donne la priorité à l'observation, avec le souci constant de valider ses hypothèses au regard de celles-ci. Il prend grand soin de la fabrication et de la mise au point de ses instruments qui lui permettent de recueillir un nombre considérable de données. Bien qu'effectuées à l'œil nu, ces mesures sont, à leur meilleur, au moins dix fois plus précises que celles de ses prédécesseurs en Europe.

- Les grands apports

Johannes Kepler étudie l'Optique pour comprendre l'Astronomie

Dès ses premiers travaux auprès de Tycho Brahe en 1600, Kepler se pose une série de questions sur l'exactitude des observations : Brahe avait constaté que pendant les éclipses, le diamètre apparent de la lune paraît plus petit que d'habitude. Kepler pense que cela pourrait être une conséquence des phénomènes optiques comme la réfraction de la lumière par l'atmosphère. Tycho Brahe pensait notamment que cette réfraction dépendait de la distance et de l'intensité de la source ; aussi il réalisa 3 tables de corrections, une pour le Soleil, une pour les étoiles et une pour les planètes. Ce fut une voie erronée, mais la poser mis Kepler sur l'étude de cette réfraction pour pouvoir interpréter correctement les mesures. Kepler établit une loi qui exprime que l'angle d'incidence est proportionnel à l'angle de réfraction qui est proche de la réalité pour les petits angles inférieur à 20-30°. La loi correcte sera exprimée par Snell et Descartes quelques années plus tard.

Kepler fait ces études sur l'optique en parallèle de ses études sur l'astronomie et sur les calculs des orbites de Mars. Ceci ne ralentira pas ces deux études, au contraire elles furent complémentaires et enrichirent ses recherches tant optiques qu'astronomiques. Il lui fallait répondre aux questions « *D'où vient la lumière rouge sur la Lune lors des éclipses totale de Lune ? A quoi est due la couronne lumineuse autour du Soleil dans les éclipses de Soleil ? Pourquoi le diamètre de la Lune diminue-t-il pendant les éclipses de Soleil ?* ». Cela amène Kepler à calculer les diamètres et les distances relatives de la Lune, de la Terre et du Soleil, et à le rapporter dans les manuscrits *Hyparchus*. Surtout il étudie les œuvres de l'arabe Alhazen (965-1039) et du polonais Witelo (1230- 1314).

Johannes Kepler réinvente l'Optique

Le premier ouvrage de Kepler sur l'optique est *ad Vitellionem paralipomena* que Kepler appelle aussi *Optica*, publié en 1604 dont la première partie, divisée en cinq chapitres, est dédiée à l'optique pure et est très proche des œuvres de Alhazen et Witelo. La lumière émane d'une source et suit des droites infinies, les rayons, et la véritable essence/information de la lumière est répartie sur les surfaces normale à ces rayons (des surfaces d'ondes) c'est-à-dire sur des sphères concentriques à la source. Puisque l'aire d'une sphère augmente selon le carré de son rayon, l'intensité de la lumière diminue avec le carré de la distance. Kepler écrit aussi que la vitesse de la lumière est infinie et qu'elle se colore quand elle ricoche sur un corps coloré. Il y écrit également que la lumière est associée à la chaleur. Il y étudie également la chambre obscure où il explique le phénomène qui renverse les images.

Kepler utilise le fait que la lumière se propage en ligne droite et développe l'optique géométrique pour expliquer des phénomènes plus complexes (réflexion sur des miroirs, localisation des images, le foyer, la réfraction au passage entre différents milieux). Il étudie les images produites par des miroirs plans et courbes, il profite de son étude sur les miroirs courbes pour montrer comment une simple transformation permet de passer de manière continue de la droite à l'hyperbole, à la parabole, à l'ellipse et au cercle (la famille des formes « coniques ». Pour la première fois il montre l'importance que la vision stéréographique. Il introduit également l'image virtuelle et comment on peut faire croire à l'œil qu'il voit un objet dans un lieu différent.

Dans l'*Optica*, Kepler développe aussi les balbutiements d'une théorie de la vision pour répondre à comment se transmet une « chose » de la réalité extérieure jusqu'à nos organes de la vision et comment se passe la traduction de cette « chose » au cerveau (rôles des cristallin, rétine et pupille). Pour cela il part des travaux de Alhazen Witelo et Della Porta, ce dernier étant un peu considéré comme un charlatan, car il avait étudié les lentilles et publié *De magia universalis* en 1593 un ouvrage à succès sur ces objets qui produisent des « illusions ».

Les études d'optique et d'astronomie de Kepler se nourrissent mutuellement

C'est dans cette œuvre *Optica* qu'il traite de la réfraction dans différents milieux en montrant que l'angle de réfraction est proportionnel à l'angle d'incidence (ce qui est vrai pour les petits angles). En étudiant la réfraction dans les lentilles, il observe que dans une lentille sphérique, les rayons ne convergent pas dans un même point, il y a un élargissement, appelé de nos jours aberration sphérique. Aussi Kepler examine d'autres formes de lentilles convergentes et divergentes. En utilisant des formes « coniques » qui sont dotées d'une propriété particulière d'avoir des « foyers » où convergent parfaitement tous les rayons émis par un autre « foyer ».

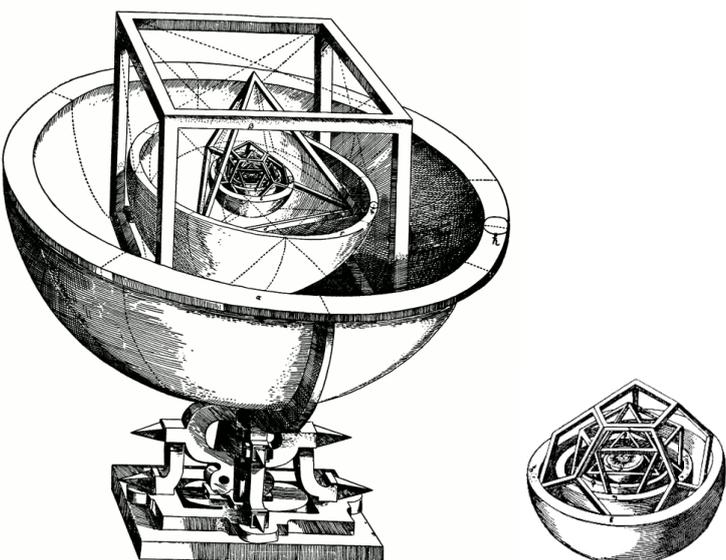
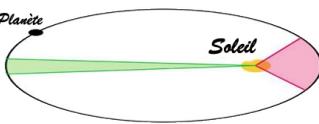
Les études d'optique et d'astronomie de Kepler se nourrissent mutuellement. Ainsi, si l'on place une source de lumière en l'un de ces points, l'image sera parfaitement claire au lieu de l'autre « foyer ». Le cercle que, depuis des années, Kepler pensait la forme parfaite en astronomie, n'est peut-être pas la forme la plus parfaite (le cercle n'a qu'un seul foyer, contrairement à l'ellipse). Voilà une propriété qui sera en accord avec le mysticisme de Kepler... pour le modèle de l'orbite de Mars. L'*Optica* est publié en 1604, l'année où Kepler parvient à caractériser l'orbite de Mars, où il abandonne le cercle en faveur d'une conique : l'ellipse, et où il identifie à son foyer la position du Soleil

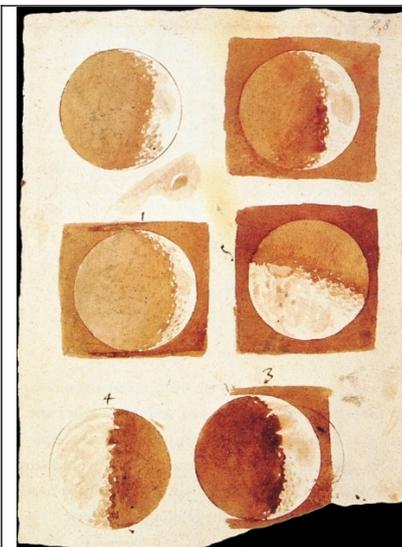
L'expérience de Galilée avec sa lunette stimule les travaux de Kepler sur l'optique des lentilles

Le *Siderus Nuncius*, publié le 4 mars 1610 par Galilée, rapporte les « sidérantes » (ou sidérales) observations des multiples étoiles de la voie lactée, des montagnes de la Lune, des quatre satellites de Jupiter. Kepler le reçoit le 8 avril et il confirme son soutien à Galilée et exprime son désir d'avoir une telle lunette astronomique pour réaliser lui-même ces observations. En plus des informations astronomiques, dans l'introduction de *Siderus Nuncius*, Galilée donne une première et vague explication du grossissement permis par sa lunette, ce qui stimule Kepler à étudier par la méthode de l'optique géométrique les problèmes liés aux lentilles et à leur combinaison.

Ce travail se réalisera entre août et septembre 1610 et sera publié en 1611 dans *Dioptriacae*. Dans cet œuvre, une place importante est consacrée au fonctionnement des lentilles, alors qu'à cette époque il était inconvenant qu'un *philosophe naturel* (un physicien), qui doit étudier les phénomènes réels s'interroge sur le fonctionnement des lentilles, qui sont une forme hybride (pas comme le cercle ou la sphère parfaits) qui déforme l'image du monde. Les lentilles sont juste laissées aux lunettiers et à ceux qui sont émerveillés par des tours et des artifices, où à des lecteurs du *De magia universalis* (1593) de Della Porta (ce qui explique la mauvaise réputation de ce dernier), bref elles sont laissées aux magiciens et non au scientifiques.

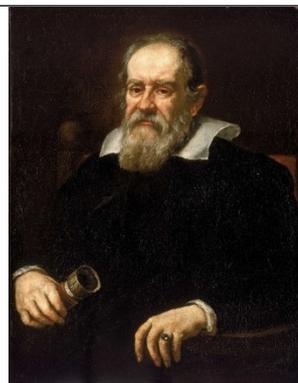
Dans *Dioptriacae* Kepler reprend de façon plus rigoureuse et développée de nombreux thèmes abordés dans l'*Optica*, par exemple la réfraction avec notamment la réflexion totale par un cristal (si l'angle d'inclinaison du rayon est inférieur à cette valeur, la lumière ne traverse plus le cristal et est entièrement réfléchi), mais surtout il y étudie les phénomènes liés aux lentilles et leur association, comme le grossissement. Après y avoir reconstitué le schéma optique de la lunette de Galilée, il propose un nouveau montage pour cette lunette : au lieu d'utiliser une lentille concave et une lentille convexe, il propose d'utiliser deux lentilles convexes qui donnent une image bien plus nette (mais inversée), il étudie aussi des systèmes à trois lentilles ou plus, qui sont la base des téléobjectifs modernes !

| | |
|---|---|
|  |   <p>Kepler (1571-1630) est un savant croyant « engagé » qui considère que un outil parfait les mathématiques sont un puissant instrument de connaissance qui peut le rapprocher de Dieu.</p> <p>En 1596, Kepler publie son premier ouvrage, <i>Mysterium Cosmographicum</i> où il développe un modèle d'Univers fondé sur les cinq polyèdres réguliers. Pour lui le monde était parfait car créé par Dieu, aussi il devait pouvoir se décrire par un outil parfait la géométrie et notamment des formes parfaites: sphères, cercles, polyèdres.</p> <p><i>In fine</i> il a découvert que les planètes ne tournent pas autour du Soleil en suivant des trajectoires formant des cercles parfaits mais des trajectoires en ellipses. Il a découvert les trois relations mathématiques, qui régissent les mouvements des planètes sur leur orbite.</p> |
|---|---|



Lettera di Galileo Galilei

Lettera Galileo Galilei, Scrittura della Serenissima Repubblica di Venezia, del 1610. In questa lettera Galileo descrive le sue scoperte astronomiche fatte con la sua lunetta, tra cui le macchie solari, le montagne e i crateri della Luna, le quattro lune di Giove e le stelle fisse. È un documento fondamentale per la storia dell'astronomia e della scienza in generale.



Galilée (1564-1642) a notamment perfectionné et exploité la lunette astronomique à partir d'une lunette d'approche hollandaise, pour procéder à des observations rapides et précises des mouvements des planètes qui ont bouleversé les fondements de l'astronomie.

- La voie lactée est pleine d'étoiles !
- la lune n'est pas parfaite !!
- Il y a des étoiles qui tournent autour de Jupiter !!!

Johannes Kepler et la perfection du Monde créé par Dieu

Kepler était enthousiasmé par les lois qu'il avait trouvées, dont la concordance avec les mesures fondait un modèle de l'Univers, certes dépassé aujourd'hui mais a représenté un énorme progrès. L'idée que l'Univers obéit à des lois simples qui expriment une harmonie fondamentale de la Nature est encore présente aujourd'hui, c'est un héritage important de la pensée de Kepler.

L'œuvre de Kepler occupe une position charnière : elle marque le passage de la science de la Renaissance à la science moderne : même si les motivations de Kepler sont « métaphysiques » et « mystiques », elles permettent la formulation des lois « modernes » décrivant précisément un phénomène physique.