Observer le ciel au XVIIe s., de la *Révolution des Orbes célestes* (Copernic) aux *Principes mathématiques* (Newton)

Si le ciel a frappé l'imagination depuis des millénaires, la période qui s'étend de la publication de l'œuvre de Copernic aux *Principes mathématiques* de Newton a été particulièrement féconde en découvertes et débats sur la représentation de l'univers. S'entrecroisent au XVIIe s. les réflexions philosophiques, théologiques, les croyances astrologiques, les travaux en mathématiques et mécanique dans un climat de grande effervescence intellectuelle, politique et religieuse. L'observation et l'étude des astres profitent de ce climat et entretiennent cette effervescence, c'est ce qui caractérise cette période dans l'histoire de l'astronomie.

I - <u>Les contextes politique, religieux et culturel</u>

1. L'insécurité et la violence omniprésentes

- **(5)** L'émiettement politique, la fragilité des Etats et les guerres à la fin du XVIe s. et au début du XVIIe s. On pourrait penser que cette situation géopolitique est peu propice à un essor scientifique car la guerre, les divisions politiques et religieuses monopolisent les souverains.

(6) En effet, la guerre est omniprésente aux XVIe et XVIIe s. en Europe.

Elle l'est d'abord dans la vie des observateurs du ciel. Nicolas Copernic prend lui-même les armes, comme commandant militaire de la forteresse d'Olsztyn, pour défendre la Warmie en 1520 contre les chevaliers teutoniques. Il porte une cicatrice au front ce qui a été révélé par la

reconstitution par la reconstitution opérée par la police scientifique polonaise à partir de son crâne.

René Descartes, le philosophe et mathématicien français, s'engage dans l'armée du Duc de Bavière en 1619 avant de voyager dans toute l'Europe. Ce serait pendant cette période militaire que lui serait venue à l'esprit sa méthode scientifique qu'il exposera dans le *Discours de la méthode*. Durant son engagement, il aurait peut-être rencontré J. Kepler.

La guerre a marqué l'enfance de Johannes Kepler, son père Heinrich en manque d'argent s'engage à plusieurs reprises comme mercenaire, il meurt en campagne en 1588. Son père, devenu brutal et querelleur était violent avec sa femme, Kepler attaché à sa mère Khatarina en fut fortement affecté…

La guerre crée un environnement peu favorable à la circulation des hommes et des idées. Le travail et la vie de Kepler sont perturbés par la guerre de Trente ans. En 1626, appauvri, il doit quitter la ville de Linz où sa famille est installée. Grâce à sa renommée il a pu échapper à l'expulsion des protestants, mais le siège de la ville par des paysans pauvres et affamés le contraint à errer comme un miséreux jusqu'à la capitale Prague où il compte rencontrer l'empereur et réclamer la somme importante que le pouvoir impérial lui doit. Il est obligé de laisser ses instruments, ses livres et ses manuscrits dans différents lieux et parviendra difficilement à les réunir par la suite. A Prague, il est contraint de suivre le prince Wallenstein, l'un des principaux chefs de guerre de l'empereur Habsbourg, pendant ses campagnes militaires, comme astrologue. Brouillé avec le militaire qui l'assaille de questions sur son avenir, Kepler fuit et meurt en novembre 1630, en inconnu à Ratisbonne (Bavière). Sa femme apprend la nouvelle deux mois plus tard. L'exemple de Kepler nous montre à quel point les conditions de vie et de circulation étaient difficiles pour de nombreux savants. Mais d'une façon générale, les hommes et les idées ont continué à circuler en Europe…

(7) Puis l'émiettement religieux et les guerres de religion renforcent l'intolérance. Des savants meurent pour leur appartenance religieuse, leurs idées philosophiques. 1600, l'ex dominicain et prêtre, Giordano Bruno, est condamné par l'inquisition et brûlé à Rome pour hérésie. C'est souvent pour des questions de dogme que les hommes de sciences sont condamnés. Bruno défend la pluralité des mondes, l'univers infini, mais c'est d'abord pour son refus de croire en la transsubstantiation (question de la présence réelle du corps et du sang du christ dans l'Eucharistie) qu'il est condamné.

Le Concile de Trente (1545-1562), réponse de l'Eglise catholique aux doctrines réformées, réaffirme un certain nombre de principes et vérités doctrinales et cosmologiques qui sont autant

de raisons de condamner les scientifiques. Concernant la cosmologie, les catholiques réunis autour du pape réaffirment les thèses d'Aristote, donc du géocentrisme. Dans le contexte des guerres des religions, l'Eglise, sous la pression de l'Inquisition et de l'Espagne, adopte une attitude plus ferme à l'égard des savants et religieux déviants au début du 17^{e} s. En 1616, les thèses de Copernic sont condamnées par l'Eglise. Mais de nombreux savants persévèrent et affirment que l'héliocentrisme n'est pas incompatible avec les écrits de la Bible. C'est ainsi que nait l'affaire Galilée. Le savant florentin fait publier en 1632 son *dialogue sur les deux grands systèmes du monde*, contre l'avis de ses amis et protecteurs car le contexte politique et idéologique est peu favorable. L'obstination de Galilée attise la vindicte des Jésuites, des cardinaux espagnols et entraine sa condamnation malgré le soutien de la famille Barberini.

Les églises protestantes sont à peine plus tolérantes. Luther aurait réfuté l'héliocentrisme dès 1539 bien avant la sortie du *De revolutionibus*, les commentateurs postérieurs ont voulu y voir une critique précoce des idées de Copernic. Le retour aux Ecritures et le refus du libre-arbitre sont a priori des freins au développement de la connaissance scientifique. Tout en connaissant la position de l'église Luthérienne, Kepler fait de la prédestination son sujet de dissertation pour son concours d'entrée en 1585. Il se demande comment lui, issu d'un milieu social modeste, peut-il avoir envie d'accéder à la Connaissance ? Est-ce Dieu qui a choisi pour lui ou Lui qui a choisi pour honorer Dieu, se demande-t-il ? Ce qui est certain, le climat intellectuel de la Réforme protestante, indépendant de l'Eglise catholique, a créé les conditions pour une réforme de l'enseignement, l'essor de l'imprimerie et la diffusion des idées nouvelles. L'opposition à l'Eglise catholique est telle que les terres protestantes refusent d'adopter la réforme du calendrier de 1582, « préférant être en désaccord avec le Soleil qu'en accord avec le pape » (J. Kepler).

(9) Néanmoins, le climat politique et religieux n'empêche pas l'alliance des personnes de religions différentes. Copernic est catholique et son disciple qui l'encourage à publier son *De Revolutionibus*, Rhéticus, est protestant. D'ailleurs les premiers soutiens de Copernic à la fin du XVI e s. sont tous protestants. Parmi eux, M. Maestlin, professeur de Kepler, et qui aurait converti Galilée à l'héliocentrisme ; Erasmus Reinhold qui a établi les premières éphémérides utilisant le modèle copernicien (1551). En 1620, Kepler est sollicité par l'évêque de Vienne qui a financé la republication de son *Epitomé*, un ouvrage qui résume en 900 pages son enseignement et ses idées. Mais celui-ci tente aussi de convaincre Kepler de se convertir à la foi catholique en insistant sur les avantages qu'il pourrait y trouver.

(10). Des savants qui sont souvent des religieux ou ont une formation religieuse

De nombreux observateurs sont des religieux, ou des hommes qui ont souvent fait des études de théologie, de droit ou de médecine.

Nicolas Copernic est un chanoine régulier toute sa vie dans le chapitre de la cathédrale de Frombork (ville polonaise à l'embouchure de la Vistule) issue d'une riche famille de marchands. Ses parents meurent alors qu'il est encore jeune, il est élevé par son oncle le prince-évêque de Frombork Lucas Watzenrode. Ses charges de chanoine sont nombreuses et c'est probablement l'une des explications de la publication tardive du *De revolutionibus*.

Moins célèbre, Marin Mersenne (1548-1648), prêtre, moine de l'ordre des Minimes, professeur dans le même ordre. Il est à la fois un catholique intransigeant, dénonçant les déviants comme G. Bruno, un éditeur des œuvres de Galilée et la tête d'un réseau de savants français et européens qu'il réunit régulièrement dans son Academia Parisiensis. Il est considéré comme « le secrétaire de l'Europe » car il avait des correspondants partout, à qui il a écrit plusieurs milliers de lettres.

L'astronomie est l'un des 7 enseignements libéraux classiques. Elle fait partie du quadrivium, avec les mathématiques et la musique. Son enseignement est longtemps de piètre qualité. A partir du XVIIe s. celle-ci s'améliore quand les enseignants sont des observateurs du ciel et d'excellents mathématiciens. Notamment avec les Jésuites, une congrégation catholique fondée au moment où Copernic meurt et qui a, entre autres, pour mission d'éduquer dans des collèges. Dans la seconde moitié du 17^{e} s., en Aquitaine, ils observent le ciel avec des instruments. A La Rochelle, le Jésuite Ignace Gaston Pardies observe l'éclipse de lune en 1666 alors qu'il est professeur dans la ville. Il aura une carrière d'enseignant en mathématiques à Pau, Bordeaux et Paris.

2. De l'astrologie à l'astronomie

D'après Micheline Grenet, la passion des astres au XVIIe siècle : de l'astrologie à l'astronomie

Pour commencer 3 anecdotes

(12) 28 octobre 1566 : A Rostock, Tycho Brahe fait des prédictions astrologiques en observant l'éclipse de lune et prévoit la mort prochaine de Soliman le magnifique… Mais celui-ci était déjà mort depuis plusieurs semaines, ce qui lui vaudra des moqueries et serait à l'origine du duel qui lui fit perdre son nez.

Descartes refuse que l'on mette en exergue sa date de naissance en bas des portraits qui sont faits de lui, dans le but, déclare-t-il, que l'on ne fasse pas des horoscopes et des prédictions

le concernant. Quelqu'un, qui aurait été détaché de la croyance astrologique, aurait-il craint de donner sa date aux astrologues (M. Grenet) ?

Kepler, jeune professeur à Graz, publie un almanach avec horoscope pour l'année 1595 dans lequel il prévoit une vague de froid intense et une invasion turque : les deux évènements se produisent. C'est le début d'une grande renommée pour le jeune enseignant.

Observation de la comète de 1577 en Allemagne

La fin du XVIe s. et le début du XVIIe s. se révèle comme une période tumultueuse où les hommes ont plus que besoin de connaitre leur avenir. Pour cela ils interrogent les astres.

Ainsi l'astrologie intervient dans tous les domaines et les astrologues ne se privent de donner leurs avis et prédictions : prédictions personnelles (thème astral), prédictions agricoles, météorologiques dans les almanachs, prédictions médicales… Le célèbre médecin du XVIe s. Paracelse (mort en 1541) n'hésite pas à accompagner ses traitements médicaux de prévisions astrologiques. Selon lui, la guérison du malade passe par l'observation des astres, ceux-ci ayant une influence sur les différentes parties du corps humain.

L'astrologie est présente dans toutes les couches sociales. Les paysans observent beaucoup le ciel pour prévoir la météo, donc les récoltes. De son côté, l'Eglise jusqu'au milieu du 17^{e} s. tolère l'astrologie tant que tout le monde s'accorde pour croire que la puissance divine est supérieure à celle des astres et qu'elle les utilise pour gouverner le monde. Cependant des bulles pontificales de 1586 et 1631 interdisent l'usage de l'astrologie concernant la vie des personnages importants, notamment le pape. Mais celles-ci restent sans effet, cela révèle surtout l'incapacité de l'Eglise à rassurer en cette période d'inquiétudes et de doutes. Même les princes et les souverains ne cessent de s'entourer d'astrologues.

Catherine de Médicis et Nostradamus

(13) Les astrologues arrivent en France avec la reine Catherine de Médicis (1519-1589, Médicis, femme d'Henri II, reine de 1547 à 1559, régente jusqu'en 1563, mère de 3 rois. (François II, Charles IX, Henri III) et de Marguerite, la future et 1ere épouse d'Henri IV). Dans son logis, elle fait ériger une tour pour ses astrologues qui observent le ciel. Son astrologue principal est Nostradamus de 1555 à 1564 qui utilise diverses approches pour faire ses prédictions dont l'astrologie. Ici il utilise un miroir pour faire apparaitre les portraits des souverains à venir. Selon la légende, les images de ses fils sont apparues, mais la dernière fut celle de Henri de Navarre (futur Henri IV). La Reine en fut profondément affectée…

Les astrologues sont encore très présents sous les gouvernements de Richelieu, Louis XIII et Mazarin. En 1631, Marie de Médicis, 2^{e} femme d'Henri IV, mère du jeune Louis XIII régente, membre du conseil du roi est définitivement bannie pour intrigues contre le roi. Son astrologue fut parmi ses mauvais conseilleurs, lui ayant prédit –à tort- la mort imminente de son fils (anecdote faisant partie de la légende noire ?).

14) En 1654, la panique lors de l'éclipse du soleil, dans un contexte de révolte des nobles et d'invasion espagnole, incite Mazarin à demander aux astronomes de lutter contre les superstitions. Cette panique a été provoquée par un tract présentant l'éclipse comme un jugement divin. Même l'Eglise s'inquiète et soutient l'argumentation scientifique développée par les astronomes du roi. Les astrologues reconnus font de même, sentant la menace que peut représenter pour leur profession, ce type de tracts, au moment où de nombreux astronomes affichent leur hostilité envers l'astrologie. C'est Pierre Gassendi, théologien et professeur de Mathématiques au Collège de France, qui est chargé d'écrire une *Réfutation* au tract. Sans grand succès…

Au milieu du XVIIe s. La « pensée magique » est encore présente en France, même si les scientifiques font des efforts pour la réfuter. **(15)** L'horoscope de naissance Louis XIV, le 1er janvier 1639, attribué à Tomasso Campanella, utilisé par Racine l'autobiographe du roi, accorde une grande place au soleil dans son thème astral. C'est pourtant ce même roi qui, 40 ans plus tard, décide de s'attaquer frontalement à la divination, l'astrologie et autres pratiques magiques. L'élément déclencheur est l'Affaire des poisons (1679-1682) qui révèle un réseau criminel impliquant des centaines de personnes à Paris, parfois renommées (comme des favorites royales), autour de meurtres, pratiques démoniaques, actes de profanation d'objets sacrés, de détournements d'argent etc… Cette affaire révèle d'abord que la demande sociale concernant la connaissance de l'avenir est encore très importante. Puis, avec les progrès de la connaissance astronomique, l'interdiction de l'enseignement de l'astrologie dans les collèges et universités en 1666, les astrologues connaisseurs du ciel ont pratiquement disparu, remplacés par des personnes non savantes qui font des pseudo-horoscopes et utilisent d'autres pratiques pour cacher leurs manques de savoirs astrologiques. La connaissance de l'avenir est devenue une pratique occulte, magique et surtout criminelle, incarnée par la devineresse Monvoisin (« La Voisin »). En 1682, une ordonnance royale condamne toutes ces pratiques, l'astrologie décline…

3. savants et princes

Quelques observateurs sont des princes ayant les moyens de voyager pour leurs études et d'observer :

16) Tycho Brahe : issu de la haute noblesse danoise, enlevé par son oncle, a reçu une bonne éducation, dans l'université de Copenhague en 1559, une université réformée qui met à l'honneur l'enseignement du quadrivium (géométrie, arithmétique, musique et astronomie), puis dans diverses universités allemandes (Rostock, Augsbourg) où il commence à observer le ciel et à construire ses premiers instruments. A la mort de son père en 1571, Brahe est un scientifique financièrement indépendant. 1575, Brahe voyage en Allemagne et en Italie pour le compte du souverain danois Frédéric II, qui le missionne d'attirer au Danemark des savants et artistes européens.

17) Même Tycho Brahe, tout au long de sa vie a dû profiter de soutiens d'aristocrates riches et influents. A Augsbourg, ses travaux astronomiques sont financés par Paul Hainzel, aristocrate et maire de la ville, pour lequel il construit un vaste quadrant astronomique de 5m de rayon. En 1575, Frédéric II roi de Danemark et de Norvège, probablement influencé par Guillaume IV de Hesse Cassel, apporte son soutien à Brahe jusqu'à sa mort en 1588 en lui

donnant la terre et les moyens financiers pour construire son observatoire, Uraniborg **.** Par contre son successeur Christian n'apprécie pas du tout l'astronome et le chasse de son observatoire. Brahe est en effet hautain, colérique, détesté par ses serviteurs et aides. Il quitte le Danemark et s'installe à Prague à la cour de l'empereur Rodolphe II. C'est en Bohême qu'il rencontre Johannes Kepler et meurt en 1601. Une controverse existe depuis sur les conditions de sa mort car celle-ci ressemble à un empoisonnement (orchestré par Christian IV ?)

Peu d'observateurs et savants qui ont des revenus suffisants pour pratiquer leur science. Quelques exemples toutefois :

(18) Parmi eux, le Conseiller au Parlement de Provence Nicolas Fabri de Peiresc, appelé par Gassendi « le prince des curieux » entretient une correspondance importante (10 000 lettres) avec des artistes, des scientifiques (Galilée, Gassendi) et des politiques (Richelieu, la famille Barberini). Surtout il observe avec une lunette en même temps que Galilée et serait le premier à mentionner la nébulosité de M42 dans Orion.

Johannes Hevelius (1611-1687) et sa femme Elisabeth Koopman (1647-1693)

En Pologne, Johannes Hevelius (1611-1687), fils de riches brasseurs de Dantzig, s'intéresse très tôt à l'astronomie fait des études de droit qui le mène partout en Europe où il noue des relations avec des scientifiques avec lesquels il entretiendra des relations toute sa vie. Sa 1ere femme, Catharina Rebeshke gère entièrement les affaires et lui permet de se consacrer à l'astronomie. Il édifie une plateforme-observatoire sur le toit de sa maison et construit une multitude d'instruments dont des lunettes de grande taille. Sa femme meurt et il se remarie en 1663 avec Elisabeth Koopmann, 16 ans, passionnée d'astronomie et qui travaillera avec lui jusqu'à sa mort ; En 1679, leur observatoire brûle et il en est profondément affecté. Sa femme poursuit son travail

et fait paraître après sa mort leur catalogue d'étoiles. François Arago, un siècle et demi plus tard dira d'elle :

« La première femme à ma connaissance qui n'ait pas craint d'affronter la fatigue des observations et des calculs astronomiques. »

Beaucoup sont finalement dépendants des princes et des souverains

Au début du XVIIe s. les observateurs du ciel sont de plus en plus liés aux rois, princes et religieux. Pour trois raisons essentielles :

- Financière : les instruments, notamment optiques, sont coûteux ;

- Ils ont besoin de la protection des princes lorsque leurs idées et publications les mettent dans une position risquée, surtout lorsqu'ils sont des savants rebelles, aventureux, indépendants.

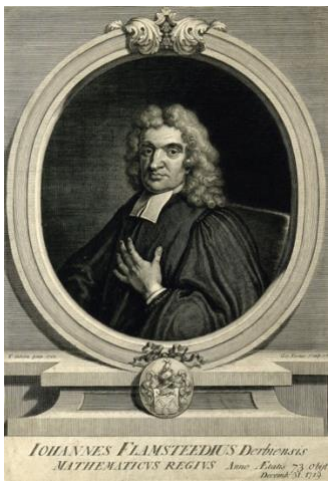
- Dans la seconde moitié du XVIIe s., les souverains s'intéressent aux astronomes parce que la connaissance du ciel et de la terre est devenue un enjeu de puissance.

(19) Il en est de même pour Galilée à la cour des grands ducs de Toscane. Il est nommé à la chaire de Mathématiques de l'université de Pise en 1589, mais il quitte l'université en 1592 pour un différend avec l'un des fils du Grand-duc Ferdinand 1er ; il rejoint l'université de Padoue, sur les terres de la République de Venise. En 1610, quelques mois après ses premières observations astronomiques, il retourne en Toscane à Florence. Très vite, il subit les premières attaques et il trouve dans Christine de Lorraine, la mère de Cosme II, une personne plus à l'écoute de ses idées. Au moment où l'Eglise se prépare à condamner l'héliocentrisme, il défend ses idées dans de nombreuses lettres qui circulent dans toute l'Europe. Galilée est célèbre en Italie, il a des admirateurs et des disciples fervents, y compris dans la famille Barberini, famille florentine qui donne de nombreux cardinaux et pape (Urbain VIII). **(20)** Mais Galilée n'est pas exempt de reproches, il est vaniteux, ridiculise ses adversaires… alors qu'il peut avoir tort. En 1618-1619, il s'oppose au jésuite Orazio Grassi au sujet des 3 comètes observables en 1618. Le religieux reprend la thèse de Brahe sur l'origine extra-lunaire de ces astres : les comètes se déplacent sur des orbites non circulaires parmi les planètes. Galilée, qui n'a pas particulièrement observé les comètes, refuse cette thèse et y voit un effet d'optique ! Dans son *discorso delle comete* et *il Saggiatore* il utilise la méthode qui fera son succès et qui va lui attirer la vindicte de l'Eglise : faire dialoguer des personnes aux thèses opposées, prendre les lecteurs à témoin, utiliser un style mordant pour ridiculiser l'adversaire. Pour la publication d'*Il Saggiatore* il obtient le soutien de Maffeo Barberini, juste avant son élection à la papauté en 1623. A partir de là, Grassi devient le premier opposant à l'astronome florentin et est surement à l'origine de la dénonciation de

Galilée à l'Inquisition pour son refus de renoncer à défendre l'héliocentrisme…. Système cosmologique officiellement interdit depuis 1616.

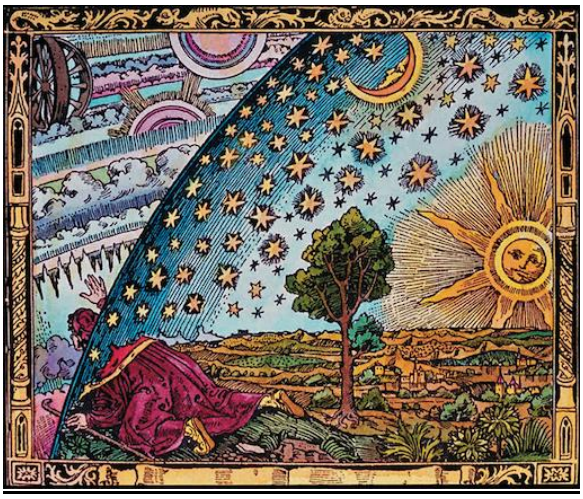
A partir des années 1650, encouragés par les souverains, des Académies, des sociétés savantes se constituent et réunissent des savants jusque-là dispersés. En France, les premières académies sont d'initiative privée, comme celle de Mersenne, *l'Academia parisiensis* dans les années 1630. Puis des académies royales sont fondées comme en en 1660 la Royal Society et l'Académie des Sciences en France (1666). (21) Cette dernière est constituée de savants partageant les mêmes affinités intellectuelles : partisans de l'héliocentrisme, rejetant l'astrologie (interdite d'enseignement la même année !). Une seule exception : Jean-Dominique Cassini, italien, professeur d'astronomie à Bologne, mis à la tête de l'observatoire en 1671, est partisan du système de Tycho Brahe. Colbert, jusqu'à sa mort en 1683, apporte tout son soutien aux travaux des astronomes dont les buts dépassent largement la simple connaissance du ciel. Cassini est entouré de savants de très grande qualité : Christian Huygens (1629-1695), Jean Picard (1620-1682), Jean Richer, Olaüs Romer (1644-1710)…

(21) Une nouvelle structure scientifique apparait : l'observatoire astronomique, à Copenhague en 1656, Paris en 1667, Greenwich en 1675. A partir de ce moment l'astronomie télescopique connait un essor rapide.



(22) L'observatoire de Greenwich est confié à John Flamsteed (1646-1719) qui en devient le premier directeur. Avec des moyens rudimentaires (lunette, quadrant) il produit le catalogue d'étoiles le plus précis et le plus fourni de son époque.

II - La nouvelle cosmologie s'impose difficilement



Cosmos signifie « bon ordre » en grec ancien, la cosmologie est donc la science des lois de l'univers et de sa formation.

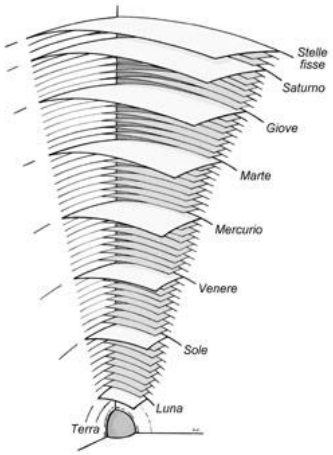
La nouvelle cosmologie, c'est celle de Nicolas Copernic, dévoilée dans un ouvrage publié après sa mort : *Des révolutions des orbes célestes*. Cette nouvelle cosmologie s'impose difficilement et surtout n'occulte pas immédiatement l'héritage antique.

1. L'héritage antique

(23) Cet héritage est produit d'une longue histoire, associée aux noms d'Aristote et de Ptolémée. Ce modèle va dominer l'astronomie jusqu'au XVIIe s. Retenons en l'essentiel :

Cet héritage, c'est d'abord une tradition philosophique qui affirme que :

- L'univers est unique, organisé, clos et fini et sans changement. Ce qui veut dire que la multitude des mondes et l'infini de l'univers ne sont pas convenables.



- Le monde est sphérique et la terre immobile en est le centre (géocentrisme). La sphère est la forme parfaite du monde et les formes parfaites sont gage de symétrie et donc d'harmonie. En outre certaines observations confirmeraient ce postulat (ombre de la terre sur la

lune lors d'une éclipse, sphéricité de la terre perceptible en mer quand un navire s'éloigne **(24)**). Pour Aristote, les mouvements qui en découlent sont forcément simples, circulaires ou rectilignes. **(25)** Aristote, dans son *Traité du Ciel* imagine un mécanisme de 56 sphères emboitées les unes sur les autres pour expliquer l'aspect changeant du ciel. Les mouvements étant transmis par contact des sphères intermédiaires entre les planètes et les étoiles à partir d'un moteur unique extérieur : Dieu.

- Le vide n'existe pas. Aristote pense que dans le vide la vitesse serait infinie car aucune résistance ne s'applique aux corps. L'espace est donc constitué d'une matière parfaite, inaltérable qui permet le mouvement circulaire à vitesse uniforme : le cinquième élément, la quintessence ou l'éther au XVIIe s.

- Le monde au-delà de la Lune, supralunaire, est parfait, immuable sans aucune perturbation. Le monde sublunaire est changeant, se transforme, les choses y bougent dans tous les sens, apparaissent et disparaissent. La conséquence astronomique en est que tous les phénomènes astronomiques soudains et éphémères ne peuvent se produire que dans l'espace sublunaire !

Cet héritage, c'est aussi une tradition scientifique qui a permis :

- de calculer la taille de la Terre, des distances Terre-Lune, Terre-Soleil.

- de proposer une vision globale de l'univers, une cosmologie complète avec *les* deux ouvrages de Ptolémée : *le Livre des hypothèses planétaires et surtout la Grande Composition* (l'Almageste).

(26) Dès l'Antiquité les observateurs avaient remarqué que les planètes peuvent s'immobiliser dans le ciel, faire demi-tour et repartir (mouvement rétrograde), que leur éclat varie, ce qui ne pouvait s'expliquer que par la variabilité de leur distance par rapport à la terre. Jusqu'à Ptolémée au IIe s., les savants antiques vont introduire plusieurs mécanismes qui permettent de rendre compte de ce que l'on peut observer.

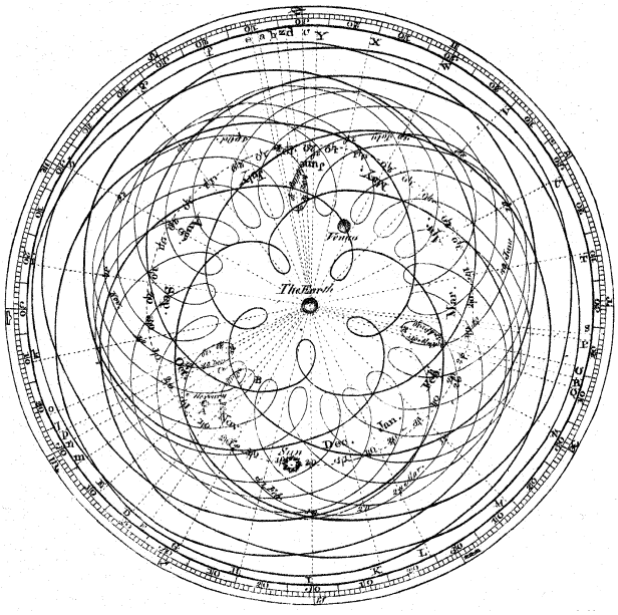
- L'excentrique. La terre est excentrée du centre du cercle de révolution de la planète, cela permet d'expliquer les différences de luminosité observées au long d'une année.

- L'épicycle. La planète observée n'est pas exactement sur son cercle de révolution, le déférent. Elle est sur un petit cercle qui lui-même a son centre sur le déférent. L'épicycle permet d'expliquer la rétrogradation de la planète.

- Le point équant inventé par Ptolémée qui permet d'expliquer les écarts de vitesse apparent de la planète. Il invente un 3^{e} point, le point équant qui sert de point de mesure de la vitesse angulaire de la planète qui doit rester uniforme. Par contre comme ce point est excentré

par rapport au centre réel du cercle de révolution et à la terre, la vitesse linéaire constatée dans le ciel semble changer.

	Plus petite distance (en rt)	Plus grande distance (en rt)
Lune	33	64
Mercure	64	166
Vénus	166	1 079
Soleil	1 160	1 260
Mars	1 260	8 820
Jupiter	8 820	14 187
Saturne	14 187	19 865



(27) Ptolémée propose aussi une estimation des dimensions des sphères (avec les orbites et leurs épicycles), donc des distances de la Terre aux planètes et à la sphère céleste.

(28) Le système géocentrique de Ptolémée présente un avantage et un inconvénient. L'inconvénient c'est que les principes posés par Aristote ne sont plus tout à fait respectés, le système de Ptolémée introduit trop de points et cercles fictifs.

Son avantage, c'est que ce système, en apparence complexe, est d'une bonne précision et permet de connaitre la position des planètes et de fabriquer des horoscopes, de rédiger des almanachs et éphémérides. Les erreurs trouvées tiennent autant qu'aux erreurs de calcul, aux mesures relevées et moyennes retenues qu'au système lui-même. Des traités astronomiques proposent des instruments simples en papier, carton et fil qui permettent de déterminer avec une grande précision et sans calcul les positions des planètes en fonction de la date et de l'heure : l'équatoire.

Le système géocentrique continuera à être utilisé bien après la publication du livre de Copernic, le *Des Révolutions des orbes célestes*.

2. L'héliocentrisme de Nicolas Copernic

(29) On ne sait pas trop quand Copernic a eu l'idée de son système du monde : l'héliocentrisme. En 1512, il rédige le *commentariolus*, un texte court où il expose les grandes lignes de son système. Durant les trente années suivantes, il observe, fait des calculs qui lui permettent de rédiger les 6 parties de son livre, le *De revolutionibus*. Le nouveau système, publié

peu avant sa mort en 1543, peut se résumer en quelques postulats.

- Le centre de l'univers n'est plus la terre mais, un point à proximité du soleil ; toutes les planètes tournent autour du soleil.

- Les mouvements de la terre, sur elle-même en 24h et sur son orbite en 1an, expliquent tous les mouvements apparents des planètes et du soleil.

- La sphère des étoiles est fixe.

(30) Quelle fut la portée du travail de Copernic ? Publié en Allemagne réformée le livre du Polonais ne pouvait qu'engendrer controverses et condamnations. Les éditeurs et les premiers soutiens de Copernic adoptèrent des attitudes différentes. Rhéticus, son disciple, opta pour une position radicale et réaliste : le système héliocentrique est la vraie cosmologie. Au contraire, l'auteur de la préface du *De revolutionibus*, Osiander, théologien luthérien et ami de Rhéticus, qui craignait les foudres de l'Eglise, le présenta comme une simple hypothèse. Il semblerait que Copernic lui-même opta pour une position intermédiaire dans sa lettre dédicace au pape Paul III : son système est le meilleur pour comprendre l'organisation du monde, sous-entendu que cela ne veut pas dire que le monde soit organisé ainsi !

En effet, il semblerait que ce soit la position choisie par de nombreux astronomes de la fin du XVIe s. et du début du XVIIe s. C'est aussi la position de l'Eglise : les thèses de Copernic sont rejetées par le Saint Office en 1616 ; mais une assemblée de Cardinaux, dès 1620, autorise de supposer le mouvement de la terre comme hypothèse ! Cette position ambiguë de l'Eglise oblige les astronomes à être prudents. En 1615, Galilée, qui sait que l'une de ses lettres critiques sur les Ecritures est en possession du Saint office, envoie à Londres à Monseigneur Dini, l'un de ses amis romains, une version expurgée d'une lettre qu'il avait envoyée à Benedetto Castelli, deux ans plus tôt, dans laquelle il exposait ses principes concernant l'interprétation de la Bible. Galilée soutenait que certains passages bibliques qui évoquaient les astres devaient être réinterprétés selon les connaissances scientifiques nouvelles. La lettre à Dini est raturée et l'astronome italien aurait compté sur son ami pour faire circuler cette nouvelle version « adoucie ». Cet épisode –si son interprétation est exacte- témoigne des rivalités existant dans l'entourage du pape sur la question de l'héliocentrisme.

Le modèle qu'il décrit n'est pas parfait et n'est pas beaucoup plus simple que celui de Ptolémée finalement. Sa faiblesse vient du fait qu'il conserve des orbites circulaires et des vitesses uniformes ; Copernic est lui aussi obligé d'introduire de petits épicycles pour rendre compte de la réalité observable. En outre, ses tables astronomiques sont difficiles d'utilisation,

des tests modernes montrent qu'il faut environ 30 minutes pour calculer la position d'un seul astre.

(31) Pourtant, ce sont les mathématiciens qui vont faire le succès du modèle de Copernic. Il permet de concevoir des éphémérides donnant avec une bonne précision la position des planètes, de la lune et du soleil dans le ciel pour l'avenir. En 1551, Erasmus Reinhold est le premier à utiliser l'héliocentrisme pour construire des tables astronomiques : les *Tables pruténiques*. Toutefois, il n'est pas certain que Reinhold ait adhéré pleinement au système de Copernic. La conjonction Jupiter-saturne de 1563 est l'occasion de montrer la supériorité de l'héliocentrisme. Le Flamand Joannes Stadius la prévoit le 24 août alors que les éphémérides conçus avec le modèle géocentrique la repousse au 27 septembre. Le rapprochement des deux planètes est observé le 24 août ! Aussi, avec une telle commodité et autant de précision, les premiers utilisateurs de ces éphémérides ne peuvent être que … les astrologues.

3. « *Beaucoup d'admirateurs, peu d'adeptes* » dit le professeur d'histoire des sciences Vincent Jullien

Pourquoi ? Le modèle de Copernic ne satisfait personne : il pose de nouvelles interrogations et est indémontrable par les inventeurs de la démarche scientifique.

(32) Pourtant le modèle a été amélioré par Johannes Kepler. L'astronome allemand, à partir des observations de Tycho Brahe, démontre que les orbites des planètes sont elliptiques, établit des lois sur les orbites planétaires (« les Lois de Kepler ») et publie les tables astronomiques les plus précises de l'époque, les *Tables Rudolphines* en1627. Ses lois sont des démonstrations géométriques, la 3^{e} établit une constante entre le demi grand axe de l'orbite elliptique d'un astre et sa période de révolution. Il suffit donc de connaitre la distance d'une planète au soleil –la Terre- pour connaitre la distance de toutes les autres.

(33) Les premières observations télescopiques, notamment celles de Galilée, permettent de douter des vérités de l'Eglise, inspirées des modèles antiques : le soleil n'est pas parfait, il contient des tâches ; des lunes tournent autour de Jupiter ; Vénus a des phases comme la lune ; la lune possède des « volcans » et des « mers ». En outre, des astres errants, les comètes par exemple, circulent dans le monde supra-lunaire, celui-ci n'est donc pas immuable. **(34)** Tycho Brahe était parvenu à un constat équivalent pour la supernova de 1572, l'étoile explosée était restée visible plusieurs mois dans le ciel sans jamais bouger, elle ne pouvait être située que dans la « Sphère des Fixes ».

Pourtant, en dépit de toutes ces preuves des doutes persistent parmi les savants.

D'abord parce que la méthode scientifique, celle des « mécanistes », exclut toute « pensée magique » pour expliquer les phénomènes observés. Pour eux, l'observation critique des mécanismes naturels doublée de leur mathématisation doit permettre de tout comprendre. Or, si la mécanique des sphères d'Aristote n'existe pas, que le vide remplit l'espace, pourquoi les planètes ne sont pas éjectées de leur orbite ? La seule explication possible est l'existence d'une force invisible qui se transmet dans l'espace. Or le refus d'une « pensée magique » empêche de concevoir la force d'attraction qui se propage dans le vide. C'est ainsi que Descartes construit sa *cosmologie des tourbillons*. Pour les Cartésiens, le monde est plein d'éther, les mouvements sont le résultat de contacts entre tourbillons de matières (le feu, la terre et l'air) à toutes les échelles. Et c'est Dieu qui fait que l'univers conserve toujours la même quantité de matière et de mouvement. L'influence de Descartes sur la cosmologie de la fin du 17^{e} s. est considérable en France, la portée des travaux de Newton y est donc limitée. Seules les premières expériences sur le vide remettent en cause la cosmologie cartésienne : la lumière se propage dans le vide et des objets en mouvement y ont une vitesse finie. Les savants anglais adoptent ces réserves et rejettent le système cartésien.

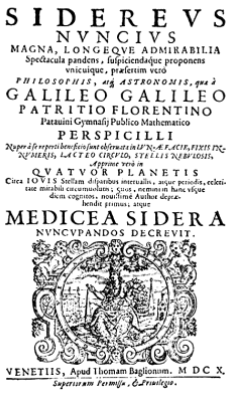
(35) De plus, la question de la parallaxe stellaire, révélée par Tycho Brahe, n'est pas résolue. Brahe considérait que si la Terre orbitait annuellement autour du Soleil, il devrait y avoir une parallaxe stellaire observable sur une période de six mois, au cours de laquelle l'angle d'orientation d'une étoile proche changerait. Mais cela n'était pas perceptible. Il en déduit que la distance des étoiles du fond du ciel à la terre est donc forcément très grande et leur taille apparente, exagérée à cause la diffraction, leur donne un diamètre des centaines de fois plus grand que celui du soleil. Ce qui est difficilement concevable à l'époque… En fait, la diffraction et le manque de précision des instruments ne permettent pas d'observer la parallaxe stellaire.

Finalement, Brahe propose une nouvelle organisation du monde (géo/héliocentrique) qui sera acceptée par l'Eglise au 17^{e} s. et connaitra un grand succès.

Ces incertitudes convainquent certains astronomes à abandonner l'héliocentrisme. Ainsi Pierre Gassendi (1592-1655) qui avait été un grand défenseur de l'héliocentrisme au Collège de France, propose à la fin sa vie un ralliement au système de Brahe puisque les thèses de Copernic ne peuvent pas être démontrées de façon irréfutable. Est-ce l'approche de la mort qui explique ce revirement ?

III. Les débuts de l'astronomie télescopique

1. L'invention de la lunette astronomique et du télescope

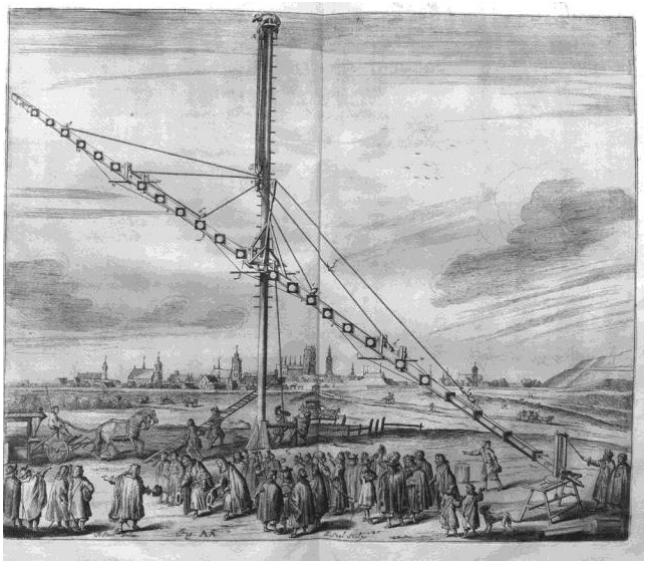

SIDEREVS
NVNCIVS
MAGNA, LONGEQVE ADMIRABILIA
Spectacula pandens, suspiciendaque proponens
vnicuique, præsertim verò
PHILOSOPHIS, atq; ASTRONOMIS, quæ à
GALILEO GALILEO
PATRITIO FLORENTINO
Patauini Gymnasij Publico Mathematico
PERSPICILLI
QVATVOR PLANETIS
MEDICEA SIDERA
NVNCVPANDOS DECREVIT.
VENETIIS, Apud Thomam Baglionum. M DC X.

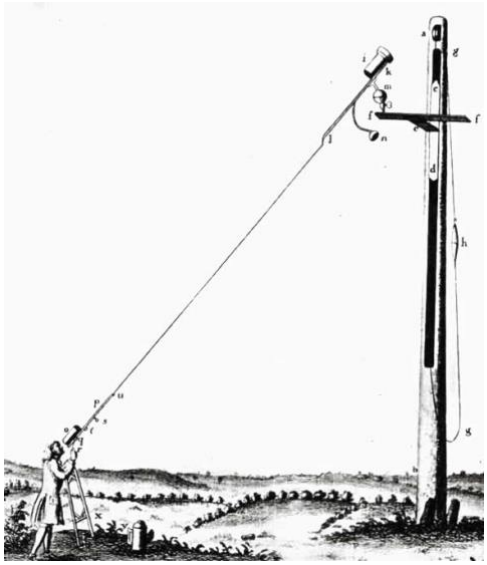
L'une des premières lunettes fabriquée par Galilée en 1610. Le tube principal est constitué de deux tubes semi-circulaires maintenus ensemble par un anneau de cuivre et couvert de papier. L'objectif biconvexe mesure 51 mm pour une focale de 1330 mm et une épaisseur au centre de 2.5 mm. L'oculaire est constitué d'une lentille plan concave d'un diamètre de 26 mm et de -94 mm de focale. Cette lunette grossit 14x et présente un champ de 15'.

(36) En 1609, et peut être avant, plusieurs observateurs pointent des lunettes d'approche vers les astres : l'Anglais Thomas Harriot, l'Allemand Christoph Scheiner et surtout l'Italien Galilée. Ces savants découvrent en quelques mois plus de choses que leurs prédécesseurs en plusieurs centaines d'années ! Les découvertes sont vite publiées et connues. Galilée s'empresse d'imprimer son *Messager des étoiles*, qu'il dédicace au grand-duc de Toscane, car il veut retourner à Florence et obtenir son patronage. Les premiers exemplaires du *Sidereus Nuncius* sont consécutives aux observations et n'intègrent donc pas les dessins du savant ! Galilée veut obtenir la primauté des découvertes. A Prague, Johannes Kepler est averti par l'ambassadeur de Florence que Galilée a fait des observations qui confirment la thèse de Copernic. L'Allemand cherche à entrer en relation avec l'Italien pour obtenir son *messager des étoiles*. Mais l'Italien est avare de commentaires et d'aide, Kepler ne peut compter que sur le Duc de Bavière qui a reçu un exemplaire de Galilée pour faire ses premières observations en compagnie de son aide, car lui-même n'a pas une bonne vue. Finalement Kepler se résout à fabriquer sa propre lunette, ce qu'il fait dès 1611. La sienne est de bien meilleure qualité que celle de Galilée car il maitrise les lois de l'optique, qu'ils publient dans un ouvrage la même année : *Dioptricae*. Galilée présente à plusieurs reprises ses instruments à des princes et clercs et le bilan des observations est mitigé. Les instruments sont de piètre qualité, les invités ont des difficultés à observer et beaucoup ne voient que des aberrations ou ne croient pas en ce qu'ils observent. Le vaniteux Galilée en est très contrarié. Kepler qui est au courant est pourtant le premier à le soutenir.

(37) Tout au long du XVIIe s. les lunettes sont très limitées en grossissement et champ exploitable. Elles déforment les objets et présentent des aberrations chromatiques importantes. Ces défauts sont liés à la qualité du verre et au défaut du polissage car les verriers et polisseurs expérimentent pour chaque instrument. Ils sont aussi issus de la qualité des matériaux utilisés pour fabriquer les tubes ou les pieds : bois, cartons, cuir, cordage etc…

(38) Galilée construit une soixantaine de lunettes, elles ont des objectifs de 20 à 50 mm de diamètre et grossissent de quelques fois à 30x. Elles utilisent un objectif convergent et oculaire divergent qui redresse l'image mais offre un champ exploitable limité (15' d'arc environ). Kepler propose d'utiliser un oculaire convergent qui offre un champ plus large, mais l'image est inversée. La seule solution au XVIIe s. pour améliorer la qualité des images est d'utiliser des lentilles à courbure faible, c'est-à-dire à grande distance focale.





Au XVIIe s. les lunettes atteignent des dimensions considérables. Pour des objectifs de diamètre dépassant rarement 10-20 cm de diamètre, les distances focales atteignent plusieurs dizaines de mètres. **(39)** En Pologne, Johannes Hevelius (1611-1687) se consacre à l'observation et construit chez lui plusieurs instruments. Sa grande lunette mesure 46m de long et est portée par un mât de 30m de haut. L'instrument est difficilement utilisable car il subit des tensions et ne résiste pas à l'humidité. La notoriété d'Hevelius est néanmoins grande, il est admis à la Royal Society et le jeune Edmund Halley, qui voyage dans toute l'Europe, lui rend visite en 1679. Il meurt l'année où Newton publie ses *Principes mathématiques*. **(40)** En France, en 1686 Huygens développe une lunette aérienne. Son alignement est difficile, on utilise une lampe éclairant l'objectif et on tente d'en apercevoir la lumière à l'oculaire. Huygens a fait ses découvertes (Titan, anneaux de saturne) avec des lunettes plus petites. **(41)** Une lunette comparable est utilisée à l'Observatoire de Paris par les Cassini.

(42) Le second instrument du 17^{e} s. est le télescope réflecteur. Durant la période qui nous intéresse, il demeure une expérience d'optique. Le concept du télescope est né au début du siècle avec le jésuite Nicolas Zucchi, qui remplace la lentille par un miroir concave réfléchissant. Mais il se trouve confronté au problème de l'obstruction : le miroir renvoie les images à l'avant. Comment observer un astre si l'observateur doit se placer entre le ciel et le miroir ? Le concept

est amélioré par des mathématiciens et opticiens tels que Marin Mersenne, James Gregory ou Laurent Cassegrain qui imaginent la présence d'un second miroir et l'utilisation d'un miroir principal parabolique. En 1672 Isaac newton présente un petit télescope de 4cm de diam, de 16 cm de longueur focale, grossissant 40 fois, avec un miroir plan qui envoie la lumière sur le côté. Les premiers télescopes utilisant les schémas proposés par Gregory ou Cassegrain ne sont pas fonctionnel avant cette date. Aussi, la difficulté à polir des miroirs paraboliques en métal avec une réflectivité qui dure fait que les lunettes demeurent les instruments privilégiés des observateurs jusqu'au début du XVIIIe s.

2. Observer pour mesurer

Les nouveaux instruments permettent la découverte de nouveaux objets, de vérifier ou contredire les systèmes cosmologiques mais ne changent pas fondamentalement la pratique astronomique.

(43) Depuis l'Antiquité, les astronomes observent pour mesurer les distances, mesurer la taille des astres, et connaitre leur position dans le ciel. Ce sont ces observations qui ont permis à Copernic de proposer son système et à Johannes Kepler d'élaborer ses Lois sur les orbites planétaires. Les instruments ont peu évolué mais ont gagné en précision. Il s'agit de mesurer les écarts angulaires, de mesurer la hauteur d'un astre à son passage au méridien, de donner ses coordonnées azimutales à un moment et lieu précis. Les instruments utilisés sont le bâton de Jacob, le quadrant et le sextant. **(44)** A la fin du XVI es, Tycho Brahe fait construire plusieurs instruments de grande qualité alliant métal et bois, et gravés avec une grande finesse. **(45)** La précision de ses observations atteint 1 à 2' d'arc soit la limite théorique de résolution de l'œil humain. Ce sont ces mesures qui permettront à Kepler de produire les *Tables Rudolphines*, tables astronomiques les plus précises du début du XVIIe s. Tycho Brahe a aussi utilisé des instruments plus complexes pouvant fournir d'autres coordonnées, notamment les coordonnées équatoriales : les armilles équatoriales.

Que mesure-t-on en observant le ciel ?

- Les coordonnées des lieux pour naviguer et cartographier les continents. L'idée est de bénéficier d'un signal universel : un évènement astronomique qui se produit en même temps partout sur terre et dont on sait à quelle heure il doit se produire sur le méridien de référence où ont été établies les tables astronomiques (Paris, Londres). Le décalage horaire entre l'heure du lieu d'observation et celle donnée par les tables astronomiques donne la longitude où se situe l'observateur. Les seuls soucis résident dans la connaissance de l'heure exacte car les pendules

ne sont pas fiables et sur la possibilité d'observer ces évènements astronomiques remarquables et réguliers avec un instrument approprié. Au XVIIe s. ce sont surtout les occultations régulières des satellites de Jupiter qui sont utilisées avec plus ou moins de succès. Le calcul de la longitude est une préoccupation des souverains. **(46)** En Angleterre, le roi prie Flamsteed « *de s'appliquer avec le plus grand sérieux et la plus grande diligence à la rectification des tables des mouvements célestes et la position des étoiles fixes de façon à ce que l'on puisse découvrir la longitude tant désirée des lieux pour perfectionner l'art de la navigation* ». En France, Colbert charge Dominique Cassini et Christian Huygens du double défi : proposer des tables de calcul des occultations des satellites de Jupiter et une horloge précise permettant de garder l'heure locale. Or à la fin du XVIIe s., on ne possède pas d'horloge fiable et d'instrument optique suffisamment compacte pour être transportés, notamment sur un navire. Autre méthode envisagée par Flamsteed pour calculer la longitude est celle des distances lunaires. Il s'agit de mesurer l'écart de la lune et d'une étoile sur un lieu et à un moment donné, de regarder à quelle heure cette situation correspond sur notre méridien de référence, et enfin de comparer avec l'heure locale. Encore une fois, il faut disposer de Tables de la position de la Lune (qui varie régulièrement) et de catalogues d'étoiles. C'est à cette dernière tache que Flamsteed va s'atteler. Il observe le transit des étoiles sur le plan méridien (nord-sud) avec une lunette sur monture fixe avec oculaire réticulé. L'étoile défile sur le fil horizontal et lorsqu'elle traverse le fil vertical, Flamsteed demande l'heure à son assistant pour déterminer l'ascension droite de l'astre

- La vitesse de la Lumière. Römer constate que les prévisions de Cassini concernant les occultations des satellites de Jupiter changent selon la position de la Terre sur son orbite. Lorsque la terre est le plus loin de Jupiter, la lumière met 22 mn de plus pour nous parvenir, la vitesse de la lumière n'est donc pas infinie. Mais il ignore le rayon exact de l'orbite terrestre, il ne peut donc proposer une valeur précise…

- **(47)** Calculer les distances dans le système solaire. D'abord celle de la Terre au soleil, l'Unité astronomique.

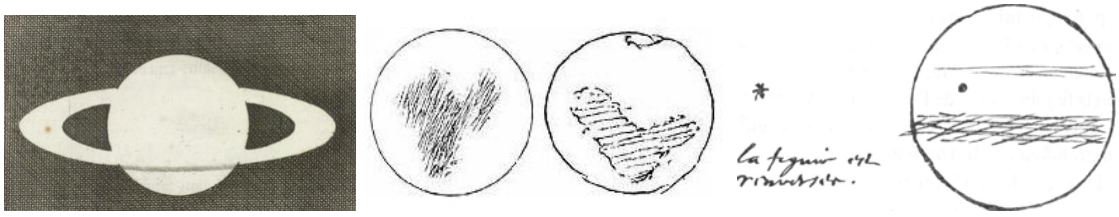
En 1639, le jeune Horrocks (1), 20 ans, et un ami observent en Angleterre le transit de Vénus qu'il a prédit en recalculant des tables astronomiques à partir des lois de Kepler. Il calcule que le diamètre apparent de la planète vu du soleil, 28'', est le même que celui de mercure et avance que celui de la terre est identique, conformément à la croyance des proportions harmonieuses dans le système solaire (Kepler). Celle-ci est fausse, mais il estime néanmoins la distance Terre Soleil à 100M de Km ! Le système solaire est beaucoup plus grand que ce que l'on

pensait à cette époque. Selon légende, Jeremiah Horrocks était tellement pieux qu'il aurait abandonné son observation pour aller remplir ses obligations religieuses.

Ensuite, la méthode utilisée consiste à observer deux évènements astronomiques à deux endroits éloignés sur terre sur le même méridien et de mesurer l'écart angulaire de l'astre observé sur le fond du ciel, c'est-à-dire sa parallaxe. Les difficultés résident dans l'estimation de la distance entre les deux points d'observation et la mesure avec précision de l'écart angulaire. En 1672, Picard, Cassini observent Mars depuis deux sites, Paris et Cayenne, au moment d'une opposition de Mars. Ils trouvent une distance de 55 millions de km pour la distance Terre-Mars. Avec la 3e loi de Kepler, ils en déduisent une bonne approximation de l'unité astronomique, la distance Terre-Soleil soit 155 M de km.

3. Observer pour découvrir et décrire les objets célestes

- Les taches solaires. **(48)** Cette observation est difficile car elle ne peut se faire que par projection du disque solaire. Si une controverse existe sur le nom du premier observateur, l'observation des taches solaires, en fournissant la preuve de la non perfection du disque solaire, sert tout de suite à réfuter la cosmologie aristotélicienne. En 1611, l'Allemand Johannes Fabricius est le premier à publier ses observations et à en déduire que le soleil tourne sur lui-même. Des observations des taches solaires est né le contentieux entre Scheiner et Galilée qui tient autant, sinon plus, aux personnalités des deux hommes qu'à leurs idées. En 1633, Scheiner est à Rome depuis plusieurs années lorsque Galilée est condamné, certains commentateurs attribuent une part de responsabilité à l'Allemand dans le jugement. Les correspondances de Mersenne, Pereisc et Gassendi évoquent la rivalité et les tentatives de conciliation. « *Je ne peux que plaindre le destin des savants lorsque je vois comment de grands esprits peuvent s'abaisser à de telles chamailleries* », dit Gassendi à Campanella, l'ami de Galilée.



Saturne, Mars et ombre d'un satellite sur le disque de Jupiter par Christian Huygens entre 1659 et 1665

- Les anneaux de Saturne. **(49)** La structure annulaire de qui entoure la planète et son satellite Titan sont découverts par Christian Huygens en 1655 et 1656. En 1675, Cassini détermine que l'anneau est composé de plusieurs petits anneaux séparés par des divisions, la plus large d'entre-elles portera son nom plus tard. C'est Galilée qui observe pour la première fois

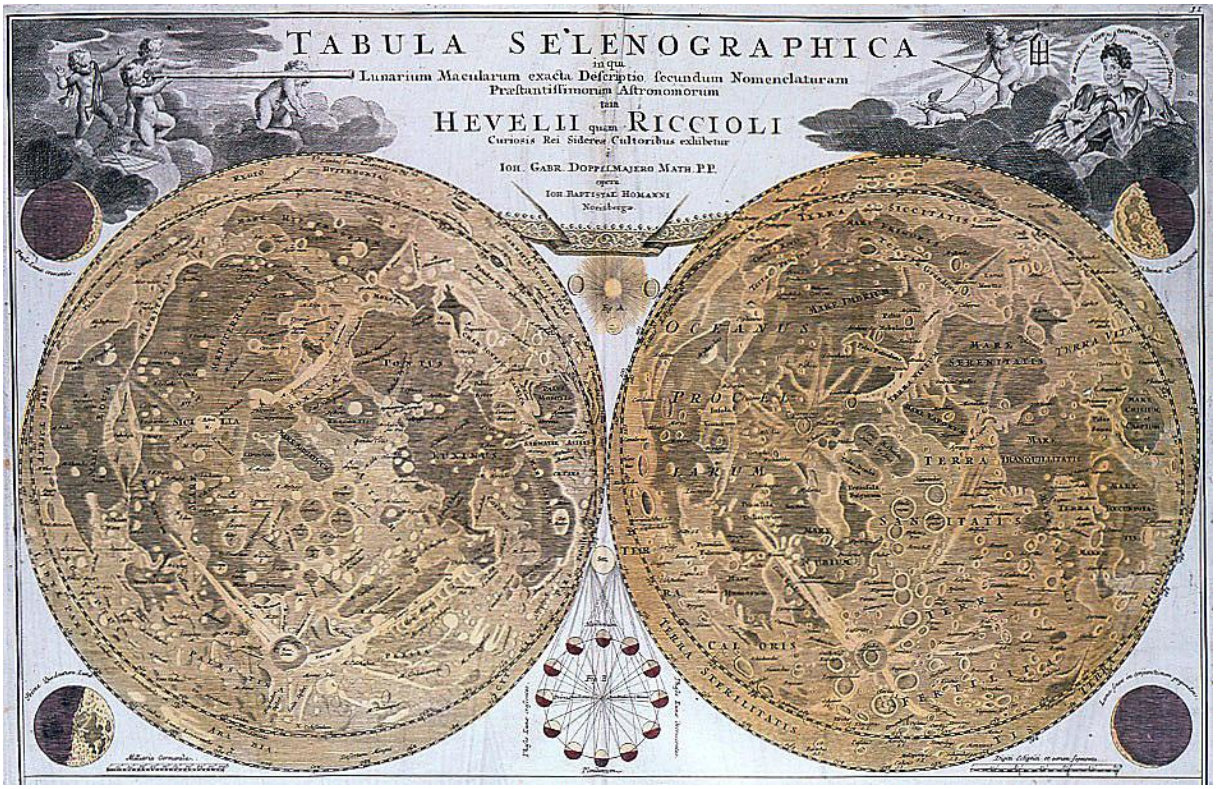
la forme originale de la planète sans pouvoir distinguer l'anneau. Le 30 juillet 1610, il écrit dans une lettre à son mécène : « *j'ai découvert une autre merveille étrange (…) L'étoile saturne n'est pas une planète, mais un composite de trois, qui ne se touchent pas, ne se déplace jamais l'un par rapport à l'autre* ». Il annonce sa découverte aux autres astronomes sous la forme d'une anagramme pour les empêcher de revendiquer sa découverte avant la publication de son livre. Huygens en fera de même pour la découverte de Titan. **(50)** Jusqu'à Huygens, les observateurs avaient noté l'évolution de la forme de la planète, la disparition à certains moments de ses excroissances mais les lunettes ne permettaient pas révéler la finesse de l'anneau qui disparait lorsqu'il est vu par la tranche.

- Les surface de Mars et de Jupiter. **(51)** Au XVIIe s. les détails observés restent limités : ombre des satellites, quelques détails dans les bandes et grande Tache rouge de Jupiter ; Pôle et tache sombre de Syrtis Major.

- La surface de la Lune. **(52)** Entre les premières images de la lune observée à la lunette par Galilée, publiées dans le *Messager des étoiles* en 1610, et les *Entretiens sur la pluralité des mondes* (1686) où Fontenelle estime donc la Lune aussi familière que Paris, les connaissances ont été bouleversées.

L'idée que la Lune puisse être semblable à la Terre, avec des reliefs, entraine un débat entre les tenants de la tradition qui continuaient de l'imaginer lisse et polie, et les partisans de Copernic qui y trouvèrent la confirmation du bien-fondé de son système. Les progrès de l'astronomie au XVII^{e} siècle doivent beaucoup à l'étude de la Lune. L'observation de la lune et les questions qu'elle soulève ont fait progresser les sciences en général (l'optique, la physique, les mathématiques). Des problèmes relatifs aux inégalités du relief, à la nature de la lumière lunaire intéressèrent les astronomes. La distance de la Lune à la Terre, la taille de la Lune, les irrégularités de ses mouvements, ses librations furent étudiées en détail. L'attraction de la Terre et de la Lune joua un rôle déterminant dans la genèse de la pensée de Newton.

(53) La Lune fut aussi cartographiée : par l'astronome de Philippe IV, Langrenus en 1645, qui produit la première carte imprimée ; par Hevelius qui publia le premier atlas lunaire (1647) ; par le père Giovani Batista Riccioli (1598-1671), jésuite, qui inventa la nomenclature des mers et des continents (qualités et états humains) et des cratères (noms de savants).



La carte de Riccioli atteint une bonne précision, il accorde au plus beau des cratères le nom de Copernic ; par Jean-Dominique Cassini qui, en 1679, publia la carte réalisée par l'Observatoire de Paris.

(54) Enfin, la lune est aussi à l'origine de toutes les spéculations sur l'existence de mondes habités, sur les voyages spatiaux. Des auteurs publient des voyages imaginaires, des fictions scientifiques et philosophiques dans lesquels ils passent en revue toutes les découvertes scientifiques, expriment leur point de vue et laisse libre-cours à leur imagination. Ainsi l'*Homme dans la Lune* de Francis Godwin (1638) se présente comme un roman en faveur de la théorie copernicienne où le héros Domingo Gonzales voyage vers la lune avec une attelage d'oies et y rencontre ses habitants, les Sélénites. Au milieu du XVIIe s. est publié *l'Autre Monde*, deux nouvelles, *l'histoire comique des Etats et empires de la lune, et … du soleil*, de Savinien Cyrano de Bergerac. Dans la première nouvelle, le héros vit de nombreuses expériences heureuses et malheureuses sur la lune qui sont autant d'occasions d'exposer les thèmes nouveaux : l'héliocentrisme, le mouvement de la Terre, la pluralité des mondes, la corruptibilité des cieux et l'infinitude de l'univers. Il atterrit au paradis et en est chassé pour hérésie, continue son voyage vers la lune, où il rencontre, parmi les Séléniens, Gonzales, le héros de F. Godwin, avec lequel il discute des 4 éléments, du vide et de la pesanteur. Cyrano de Bergerac traduit dans son œuvre les changements intellectuels du temps…

Bilan.

Cette période a donné quelques-uns des plus grands astronomes : Brahe, Kepler, Galilée, Huygens…

Elle a connu un bouleversement sans précédent des modèles cosmologiques et une remise en cause des traditions « magiques » ; elle a engendré la séparation de la pensée religieuse et de la pensée scientifique…

La fin du 17e s. et le début du 18e s. fournissent les conditions pour une accélération de cette dynamique de changements : les travaux de Newton, des instruments d'observation et de mesure du temps plus performants, des institutions soutenant les travaux scientifiques.

Les sources en image

Guédon Jean-Jacques, Ciel d'Aunis
guedon-jean.jacques@orange.fr