

Histoire de l'astronomie

Jay Pasachoff, Magda Stavinschi, Mary Kay Hemenway

L'Union Astronomique Internationale, le Collège Williams (Massachusetts, États-Unis), l'Institut Astronomique de l'Académie Roumaine (Bucarest, Roumanie), l'Université de Texas (Austin, États-Unis)

Résumé états

Cette courte étude de l'histoire de l'astronomie donne un bref aperçu de la nature omniprésente de l'astronomie à ses origines, suivie d'un résumé des événements clés du développement de l'astronomie dans l'Europe occidentale jusqu'à l'époque d'Isaac Newton.

Objectifs

- Donner un aperçu schématique de l'histoire de l'astronomie dans différentes régions du monde, afin de montrer que l'astronomie a toujours intéressé tous les peuples.
- Énumérer les principales figures de l'histoire de l'astronomie qui ont contribué à des changements majeurs dans l'approche de cette discipline jusqu'à Newton: Tycho Brahe, Copernic, Kepler et Galileo.
- Les contraintes de temps de la conférence nous empêchent de développer l'histoire de l'astronomie de nos jours, mais vous trouverez plus de détails dans les autres chapitres de ce livre.

Préhistoire

Avec un ciel sombre, les peuples anciens pouvaient voir les étoiles se lever à l'est du ciel, se déplacer vers le haut et se coucher à l'ouest. Dans un sens, les étoiles se déplaçaient en petits cercles. Aujourd'hui, lorsque nous regardons vers le nord, nous voyons une étoile à cette position-là: l'Étoile Polaire ou Polaris. Ce n'est pas une étoile très brillante: 48 étoiles dans le ciel sont plus brillantes que celle-ci, mais il se trouve que cette étoile est dans un endroit intéressant. Dans les temps anciens, d'autres étoiles étaient alignées sur le pôle nord de la Terre ou, parfois, il n'y en avait pas à proximité du pôle.

Comme les gens regardaient le ciel bien souvent, ils ont remarqué que quelques-uns des objets les plus brillants ne se levaient pas et ne se couchaient pas exactement comme les étoiles. Bien sûr, la Lune était de loin l'objet le plus brillant du ciel nocturne. Elle se levait presque une heure plus tard chaque nuit et elle apparaissait sur un fond différent d'étoiles. Sa forme a également changé ce que nous appelons maintenant les phases de la Lune.

Mais certaines de ces lumières dans le ciel se sont déplacées différemment des autres. Celles-ci ont été appelées des vagabonds, ou des planètes par les Grecs. Pratiquement, toutes les civilisations de la Terre ont remarqué et nommé ces objets.

Certains peuples anciens ont construit des monuments tels que de grosses pierres en cercle, comme Stonehenge en Angleterre ou des tombeaux tels que ceux de Minorque en Espagne alignés avec la Croix du Sud, l'an 1000 av. J.-C. Les Babyloniens étaient de grands enregistreurs de phénomènes astronomiques, mais les Grecs ont réalisé les connaissances pour tenter "d'expliquer" le ciel.

Les Grecs anciens

La plupart des Grecs anciens, y compris Aristote (384 av. J.-C. - 322 av. J.-C.), pensaient que la Terre était au centre de l'univers et qu'elle était composée de quatre éléments: Terre, Air, Feu et Eau. Autour de la Terre il y avait un cinquième élément, l'éther (ou quintessence), grâce auquel la lumière se propageait dans le ciel.

Comment ces vagabonds (planètes) se sont-ils déplacés parmi les étoiles? La plupart du temps, ils allaient dans la même direction que les étoiles: ils se levaient à l'est et se dirigeaient vers l'ouest. Mais parfois, ils semblaient faire une pause et reculer par rapport aux étoiles. Ce mouvement en arrière est appelé mouvement "rétrograde", pour le distinguer du mouvement en avant, appelé "prograde".

L'astronome grec Claude Ptolémée (environ 90 apr. J.-C. - environ 168 apr. J.-C.) a travaillé à Alexandrie en Afrique du Nord au deuxième siècle de notre ère. Ptolémée voulait pouvoir prédire la position des planètes et a-il proposé une solution mathématique. Après Aristote, il plaça la Terre au centre de l'univers. La Lune et les planètes la contournent dans des cercles concentriques qui se sont agrandis avec la distance de la Terre. Et si les planètes bougent vraiment sur de petits cercles dont les centres sont sur les grands cercles? Ensuite, sur certains des mouvements des petits cercles, ils avanceraient plus vite que les centres de ces cercles et nous sur Terre, nous verrions les planètes reculer.

Ces petits cercles sont appelés "épicycles" et les grands cercles sont appelés "déférents". L'idée de Ptolémée selon laquelle les cercles se déplacent sur des cercles a dominé la science occidentale pendant plus de mille ans. Passer de l'observation à la théorie en utilisant les mathématiques était une étape unique et importante dans le développement de la science occidentale.

Bien qu'elles n'aient pas eu les mêmes noms pour les objets qu'ils ont observés, pratiquement toutes les cultures de la Terre ont observé le ciel. Elles ont utilisé ces informations pour établir des calendriers et prévoir les cycles saisonniers de plantation, de récolte ou de chasse, ainsi que les cérémonies religieuses. Comme les Grecs, certains de ces peuples anciens ont développé des calculs mathématiques très sophistiqués pour prédire les mouvements des planètes ou des

éclipses, mais cela ne signifie pas qu'ils ont tenté ce que nous appellerions une théorie scientifique. Voici quelques exemples dans les paragraphes suivantes.

Afrique

Le cercle de pierres à Nabta, dans le désert nubien, date de 1000 ans avant Stonehenge. Les Égyptiens ont utilisé l'astronomie pour aligner les pyramides et pour élargir leurs croyances religieuses en intégrant leur connaissances des étoiles. Les pétroglyphes de Namoratunga (Kenya) ressemblent aux races des bétail actuelles. La connaissances sur les étoiles proviennent de toutes les régions de l'Afrique, de la région Dogon au Mali, à l'Afrique de l'Ouest, l'Éthiopie et l'Afrique du Sud.

Astronomie islamique

De nombreuses connaissances astronomiques ont été obtenues dans le monde islamique, en particulier au cours de l'âge d'or islamique (VIII^e-XV^e siècles) et principalement écrits en arabe. Elles ont été développées principalement au Moyen-Orient, en Asie centrale, à Al-Andalus, en Afrique du Nord, puis en Extrême-Orient et en Inde. Un nombre important d'étoiles dans le ciel, telles que Aldebaran et Altair, et des termes astronomiques tels qu'alidade, azimuth, almicantarot sont encore désignés par leurs noms arabes. Les Arabes ont inventé les chiffres arabes, y compris l'utilisation de zéro. Ils étaient intéressés à trouver des positions et l'heure du jour (car c'était utile pour les services de prière). Ils ont également fait de nombreuses découvertes en optique. De nombreuses œuvres en grec ont été préservées pour la postérité grâce à leurs traductions en arabe

Les premières observations systématiques dans l'Islam auraient eu lieu sous le patronage d'Al-Maâmun (786-833 de notre ère). Dans son observatoire, et dans de nombreux autres observatoires privés, de Damas à Bagdad, on a mesuré les degrés de méridien, on a établi les paramètres solaires et on a fait des observations détaillées du Soleil, de la Lune et des planètes.

Les instruments utilisés par l'astronomie islamique étaient les suivants: globes célestes et sphères armillaires, astrolabes, cadrans solaires et quadrants.



Fig. 1: Astrolabe arabe

Les Amériques

Amérique du Nord

Les peuples autochtones de l'Amérique du Nord ont également nommé leurs constellations et ils ont raconté des histoires célestes transmises par la tradition orale. Certains artefacts, tels que des roues de pierre ou des alignements de bâtiments, demeurent des preuves de leur utilisation de l'astronomie dans la vie quotidienne.

Astronomie Maya

Les Mayas étaient une civilisation mésoaméricaine, connue pour la seule langue écrite pleinement développée connue des Amériques précolombiennes, ainsi que pour son art, son architecture, ses systèmes mathématiques et astronomiques. Initialement établies au cours de la période préclassique (de 2000 à 250 av. J.-C.), les villes mayas ont atteint leur stade de développement le plus élevé au cours de la période classique (de 250 à 900 apr. J.-C.) et il a continué tout au long de la période postclassique jusqu'à l'arrivée des espagnols. Les peuples mayas n'auraient jamais disparu complètement et la période classique n'aurait pas connu le déclin si les conquistadors espagnols n'étaient pas arrivés et s'il n'y avait pas eu la colonisation espagnole ultérieure des Amériques.

L'astronomie maya est l'une des plus anciennes astronomies connues dans le monde, notamment

en raison de son célèbre calendrier, interprété aujourd'hui, à tort, comme prédisant la fin du monde. Maya semble être la seule civilisation pré-télescopique à démontrer la connaissance de la nébuleuse d'Orion comme étant en extension et non pas un point stellaire précis.

Les Mayas étaient très intéressés par les passages zénithaux, le moment où le Soleil passe au zénith, directement au-dessus de la tête. Les latitudes de la plupart de leurs villes étant en dessous du Tropique du Cancer, ces passages zénithaux ont lieu deux fois par an à distance égale du solstice. Pour représenter cette position du Soleil au-dessus de leur tête, les Mayas avaient un dieu nommé le Dieu Descendant.



Fig. 2: Chichén Itzá (Mexique) est un important vestige archéologique de l'astronomie maya.

Vénus était l'objet astronomique le plus important pour les Mayas, encore plus important pour eux que le Soleil. Le calendrier maya est un système de calendriers et d'almanachs utilisés par la civilisation maya de la Més-Amérique précolombienne et dans certaines communautés mayas modernes des hautes terres de Guatemala et d'Oaxaca, au Mexique.

Bien que les origines du calendrier mésoaméricain ne soient pas Mayas, ses extensions et raffinements Mayas ultérieurs sont les plus sophistiqués. Avec ceux des Aztèques, les calendriers mayas sont les mieux documentés et les mieux compris.

Astronomie Aztèque

Les Aztèques étaient certains groupes ethniques du centre du Mexique, en particulier ceux qui parlaient le nahuatl et qui dominaient une grande partie de la Més-Amérique aux XIV^e, XV^e et XVI^e siècles, période considérée comme la dernière période postclassique de la chronologie mésoaméricaine. Ils sont à l'origine des connaissances astronomiques.

La culture et l'histoire aztèques sont principalement connues grâce aux preuves archéologiques

découvertes lors de fouilles telles que celles du célèbre Grand Temple à Mexico City et beaucoup d'autres, à partir des codex écrits en papier indigène sur l'écorce, des histoires des témoins oculaires comme les conquistadors espagnols ou des descriptions de la culture aztèque aux XVI^e et XVII^e siècles, des histoires écrites par des ecclésiastiques espagnols et par des Aztèques en espagnol ou en nahuatl.

Le calendrier aztèque, ou la Pierre du Soleil, est le premier monolithe restant de la culture préhispanique en Amérique centrale et en Amérique du Sud. On pense qu'il a été sculpté vers l'an 1479. Il s'agit d'un monolithe circulaire à quatre cercles concentriques. Au centre apparaît le visage de Tonatiuh (le Dieu Soleil), orné de jade et tenant un couteau dans sa bouche. Les quatre soleils ou "mondes" antérieurs sont représentés par des figures carrées flanquant le Cinquième Soleil, au centre. Le cercle extérieur comprend 20 zones représentant les jours de chacun des 18 mois composant le calendrier aztèque. Pour compléter l'année solaire de 365 jours, les Aztèques ont incorporé 5 jours sacrificiels, nommés Nemontemi.

Comme presque tous les peuples antiques, les Aztèques regroupaient en associations les étoiles apparentes brillantes (constellations): Mamalhuaztli (ceinture d'Orion), Tianquiztli (Les Pléiades), Citlaltlactli (Gémeaux), Citlalcolotl (Scorpion) et Xonecuilli (La Petite Ourse, ou la Croix du Sud pour les autres, etc.). Les comètes étaient appelées "les étoiles qui fument".

Les grandes périodes de la cosmologie aztèque sont définies par les époques de différents soleils, dont la fin a été déterminée par des catastrophes majeures telles que la destruction par des jaguars, des ouragans, un incendie, des inondations ou des tremblements de terre.

Astronomie Inca

La civilisation inca est un groupe andin précolombien de civilisation. Elle commence au début du 13^{ème} siècle dans le bassin de Cuzco au Pérou et le courant se développe ensuite le long de l'océan Pacifique et des Andes, couvrant la partie occidentale de l'Amérique du Sud. À son apogée, elle s'étend de la Colombie à l'Argentine et au Chili, en passant par l'Équateur, le Pérou et la Bolivie.

Les Incas considéraient leur roi, le Sapa Inca, comme "l'enfant du soleil". Ses membres ont identifié les différentes zones sombres ou nébuleuses sombres de la Voie Lactée aux animaux et ils ont associé leur apparence aux pluies saisonnières.

Les Incas utilisaient un calendrier solaire pour l'agriculture et un calendrier lunaire pour les fêtes religieuses. Selon les chroniques des conquistadors espagnols, à la périphérie de Cuzco, au Pérou actuel, il y avait un grand calendrier public composé de 12 colonnes de 5 mètres de haut, visibles de loin. Avec lui, les gens pouvaient fixer la date. Ils ont célébré deux grandes fêtes, l'Inti Raymi et le Capac Raymi, respectivement les solstices d'été et d'hiver.

Ils avaient leurs propres constellations: le Yutu (la Perdrix) était la zone sombre de la Voie

Lactée que nous appelons le Sac du Charbon. Ils ont appelé le groupe Pléiades Qollqa. Avec les étoiles de la constellation Lyra, ils ont fait le dessin d'un des animaux les plus célèbres et l'ont baptisé le Petit Lama Argenté ou Lama Coloré, dont l'étoile la plus brillante (Vega) était Urkuchillay, ou selon d'autres, ce fut le nom de toute la constellation. Il y avait aussi le Machacuay (le Serpent), le Hamp'at (le Crapaud), l'Atoq (le Renard), le Kuntur, etc.

Les grandes villes ont été dessinées en suivant les alignements célestes et en utilisant les points cardinaux.

À la périphérie de Cuzco, se trouvait un important temple dédié au Soleil (Inti), d'où provenaient des lignes de forme radiale qui divisaient la vallée en 328 temples. Ce nombre est toujours un mystère, mais une explication possible le relie à l'astronomie: il coïncide avec les jours contenant douze mois lunaires. Et les 37 jours qui manquent jusqu'aux 365 jours de l'année solaire coïncident avec les jours où le groupe de Pléiades n'est pas observable de Cuzco.

Inde

La première mention astronomique textuelle donnée dans la littérature religieuse de l'Inde (2^e millénaire avant notre ère) est devenue une tradition établie dès le premier millénaire avant notre ère, lorsque les différentes branches auxiliaires de l'apprentissage ont commencé à prendre forme.

Au cours des siècles suivants, un certain nombre d'astronomes indiens ont étudié divers aspects des sciences astronomiques, puis un discours global avec d'autres cultures a suivi de la. Les gnomons et les sphères armillaires étaient des instruments courants.

Le calendrier hindou utilisé dans l'Antiquité a subi de nombreux changements dans le processus de régionalisation. Il existe aujourd'hui plusieurs calendriers régionaux indiens, ainsi qu'un calendrier national indien. Dans le calendrier hindou, la journée commence avec le lever du soleil local. On lui attribue cinq "propriétés", appelées angas.

L'écliptique est divisée en 27 nakshatras, que l'on appelle aussi maisons lunaires ou astérismes. Celles-ci reflètent le cycle de la lune contre les étoiles fixes, 27 jours et 72 heures, la partie fractionnelle étant compensée par un 28^e nakshatra intercalaire. Le calcul de Nakshatra semble avoir été bien connu à l'époque de Rig Veda (2^e au 1^{er} millénaire avant notre ère).

Chine

Avant les Arabes, les Chinois étaient considérés comme les observateurs les plus persistants et les plus précis des phénomènes célestes dans le monde entier. Les enregistrements détaillés d'observations astronomiques ont commencé au cours de la période des Royaumes combattants (4^{ème} siècle avant notre ère) et ont prospéré à partir de la période Han.

Certains éléments de l'astronomie indienne ont atteint la Chine avec l'expansion du bouddhisme au cours de la dernière dynastie des Han (25-220 de notre ère), mais l'incorporation la plus détaillée de la pensée astronomique indienne s'est déroulée pendant la dynastie Tang (618-907).

L'astronomie a été revitalisée sous l'impulsion de la cosmologie et de la technologie occidentales après que les jésuites eurent établi leurs missions. Le télescope a été introduit au 17^{ème} siècle. Les équipements et les innovations utilisés par l'astronomie chinoise sont: la sphère armillaire, le globe céleste, la sphère armillaire à eau et la tour du globe céleste.

L'astronomie chinoise était davantage axée sur les observations que sur la théorie. Selon les écrits des jésuites, qui se sont rendus à Pékin au 17^{ème} siècle, les Chinois possédaient des données datant de 4 000 ans avant notre ère, notamment l'explosion de supernovas, les éclipses et l'apparition de comètes.

En 2300 avant notre ère, ils ont mis au point le premier calendrier solaire connu et, en 2100 avant notre ère, ils ont enregistré une éclipse solaire. En 1200 avant notre ère, ils ont décrit les taches solaires en les qualifiant de "taches sombres" au soleil. En 532 avant notre ère, ils ont laissé la preuve de l'émergence d'une étoile de supernova dans la constellation de l'Aquila et des passages de la comète de Halley en 240 et 164 avant notre ère. En 100 avant notre ère, les Chinois ont inventé la boussole avec laquelle ils ont indiqué la direction nord.

Et plus récemment, ils ont déterminé la précession des équinoxes d'un degré tous les 50 ans, ils ont enregistré plusieurs supernovae et ils ont constaté que la queue des comètes pointait toujours dans la direction opposée à celle du Soleil.

En l'an 1006 de notre ère, ils remarquèrent l'apparition d'une supernova si brillante que l'on pouvait voir pendant la journée. C'est la supernova la plus brillante qui ait été rapportée. Et en 1054, ils ont observé une supernova dont les restes s'appelleraient plus tard la nébuleuse du Crabe.

Leur sphère céleste diffère de la sphère occidentale. L'équateur céleste était divisé en 28 parties, appelées "maisons" et il y avait un total de 284 constellations portant des noms tels que l'Ourse, les Trois Marches, le Palais Suprême, le Tripode, le Javelot ou l'Harpon. Le Nouvel An chinois commence le jour de la première nouvelle lune après l'entrée du Soleil dans la constellation du Verseau.

Le scientifique chinois Shen Kuo (1031-1095 de notre ère), un esprit universel, a été non seulement le premier à décrire le compas à aiguilles magnétiques, mais il a également effectué une mesure plus précise de la distance entre l'Étoile Polaire et le vrai Nord pouvant être utilisé pour la navigation. Shen Kuo et Wei Pu ont également mis en place un projet d'observation astronomique nocturne sur une période de cinq années consécutives, un travail intensif qui pourrait même rivaliser avec le travail ultérieur de Tycho Brahe en Europe. Ils ont également cartographié les coordonnées exactes des planètes sur une carte des étoiles pour ce projet et ont créé des théories sur le mouvement planétaire, y compris le mouvement rétrograde.

Europe de l'Ouest

Après la chute de Rome, les connaissances acquises par les Grecs étaient à peine transmises par le travail de moines qui copiaient souvent des manuscrits sans signification pour eux. Finalement, avec la montée des écoles autour des cathédrales et des premières universités, les érudits ont commencé à s'attaquer aux énigmes de la science. Par le biais du commerce (et du pillage), de nouveaux manuscrits venus de l'Est sont parvenus lors des croisades et le contact avec des érudits islamiques (notamment en Espagne) a permis la traduction en latin. Certains spécialistes ont tenté de rassembler les informations dans un ordre qui les intégrerait dans leur point de vue chrétien.

Génie mathématique: Nicholas Copernic de Pologne

Au début des années 1500, Nicholas Copernic (1473 - 1543) a conclu que l'Univers serait plus simple si le Soleil, plutôt que la Terre, était en son centre. Alors le mouvement rétrograde des planètes se produirait même si toutes les planètes tournaient simplement autour du Soleil. Le mouvement en arrière serait une illusion optique résultant de notre passage devant une autre planète. De même, si vous regardez la voiture à votre droite alors que vous êtes tous les deux arrêtés à un feu de signalisation, si vous commencez à vous déplacer le premier, vous pourriez brièvement penser que l'autre voiture recule.

Copernic a partagé ses idées avec les mathématiciens, mais il ne les a pas publiées avant qu'un jeune scientifique, Georg Rheticus, l'ait convaincu et il a organisé la publication dans une autre ville. Une copie imprimée de *De Revolutionibus Orbium Coelestium* est arrivée au moment de la mort de Copernic en 1543. Il n'a peut-être jamais vu la préface non signée de l'éditeur suggérant que le livre était un moyen mathématique de calculer les positions, et non la vérité réelle. Après Aristote, Copernic utilisait des cercles et ajoutait des épicycles. Son livre suivait la structure du livre de Ptolémée, mais sa passion pour la simplicité mathématique était influencée par Pythagore.

Le livre de Copernic contient (figure 3) peut-être le schéma le plus célèbre de l'histoire des sciences. Il montre le soleil au centre d'une série de cercles. Copernic a calculé les vitesses auxquelles les planètes tournaient autour du Soleil, sachant la quelle était la plus rapide du ciel. Ainsi, il a placé les planètes dans le bon ordre: Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne, et les distances relatives des planètes ont également été correctes. Mais ses calculs ne prédisaient pas beaucoup mieux la position des planètes que la méthode de Ptolémée.

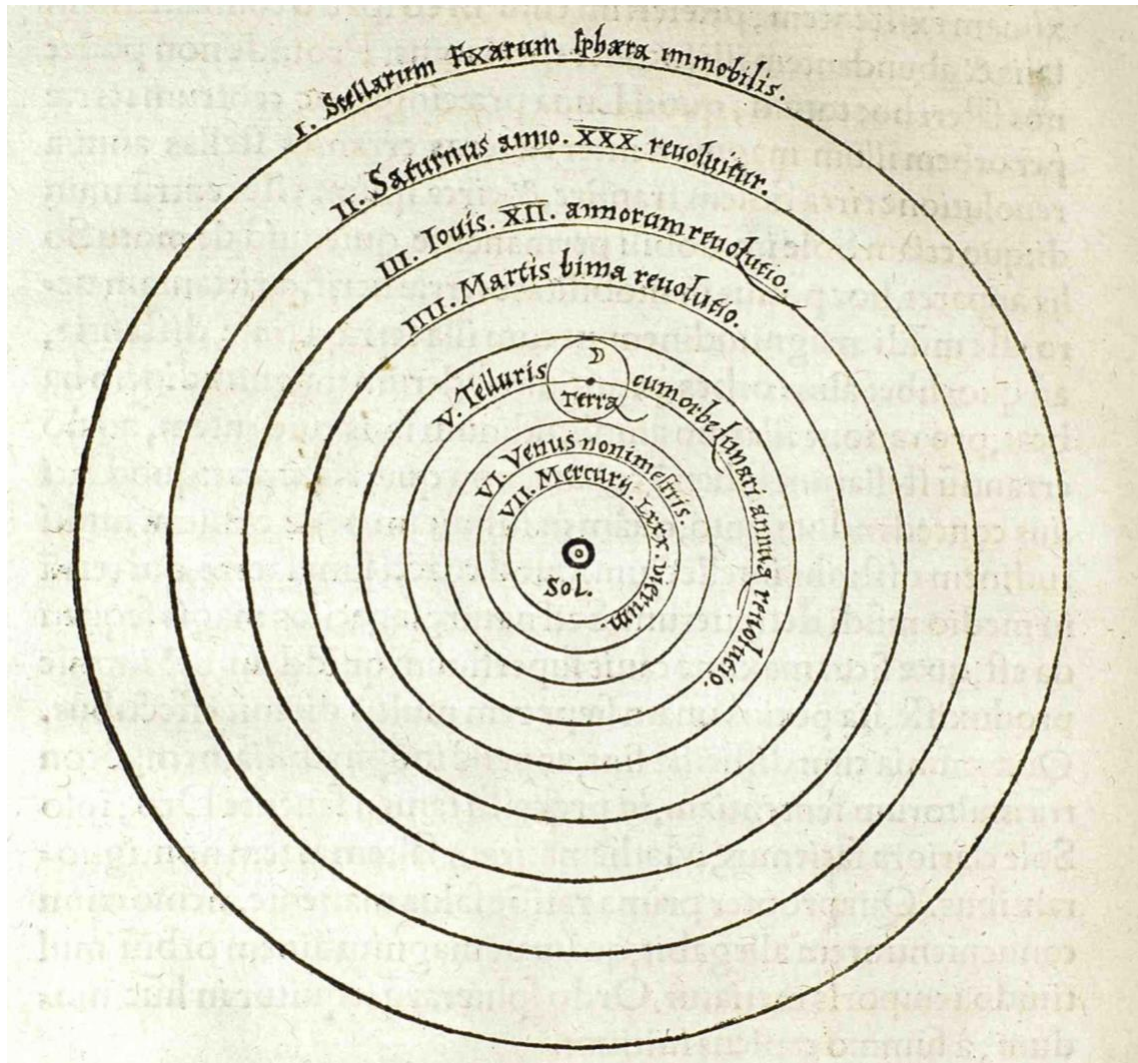


Fig. 3: Le diagramme de Copernicus montre d'abord le soleil au centre de ce que nous appelons maintenant le système solaire. Ce diagramme est issu de la première édition de *Revolutionibus Orbium Coelestium*, publiée en 1543.

En Angleterre, Leonard Digges a écrit un livre en anglais sur la Terre et l'Univers. En 1576, son fils Thomas écrivit une annexe dans laquelle il décrivait les nouvelles idées de Copernic. En annexe, la version anglaise du diagramme de Copernic est apparue pour la première fois (figure 4). Digges a également montré les étoiles à différentes distances du système solaire, pas seulement dans une sphère céleste.

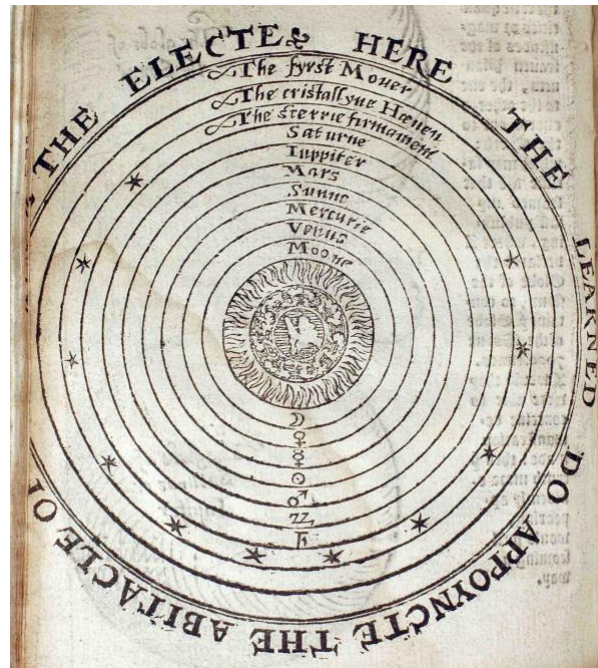


Fig 4. Premier diagramme copernicien en anglais, de l'annexe de Thomas Digges à *Une pronostique éternelle*, un livre de son père, publié pour la première fois en 1556. Il ne contenait qu'un diagramme ptolémaïque. L'appendice de Thomas Digges est apparu pour la première fois en 1576; ce diagramme provient de l'empreinte de 1596.

Génie des observations: Tycho Brahe du Danemark

L'aristocrate danois Tycho Brahe (1546-1601) s'empare d'une île au large de Copenhague et perçoit le loyer de ses habitants. Sur cette île, Hven, il a utilisé sa richesse pour construire un grand observatoire doté d'instruments plus grands et de meilleure qualité. Bien qu'il s'agisse d'instruments pré-télescopiques, ils permettaient des mesures de la position des étoiles et des planètes, plus précises que les précédents

Tycho a dirigé sa maison comme une des 'universités d'aujourd'hui, avec des scientifiques invités venant travailler avec lui. Il fabrique de mieux en mieux des dispositifs d'observation pour mesurer la position des étoiles et des planètes et il tient des registres précis

Mais dans son zèle scientifique, il a négligé certains de ses devoirs envers son monarque et lorsqu'un nouveau roi et une nouvelle reine sont apparus, il a été contraint de partir. Il a choisi de s'installer à Prague, sur le continent européen, avec ses presses à imprimer et ses pages déjà imprimées, ses disques et ses outils amovibles.

Tycho a réussi à améliorer la précision des observations scientifiques. Ses observations précises d'une comète à différentes distances lui ont montré qu'il n'était pas nécessaire que les sphères doivent être concentrique avec la Terre au centre. Il a donc créé son propre modèle d'univers, hybride entre celui de Ptolémée et celui de Copernic: le soleil et la lune tournent autour de la

Terre, tandis que les autres planètes tournent autour du soleil. Tycho avait toujours des cercles, mais contrairement à Aristote, il les laissait se croiser.

Nous apprécions Tycho principalement pour l'observation de haute qualité des positions de la planète Mars parmi les étoiles. Pour le rejoindre à Prague, Tycho a invité un jeune mathématicien, Johannes Kepler. C'est grâce à Kepler que demeure, en grande partie, la renommée de Tycho.

Utilisateur de mathématiques: Johannes Kepler de l'Allemagne

En tant qu'enseignant à Graz, en Autriche, le jeune Johannes Kepler (1571-1630) se souvint de son intérêt pour l'astronomie depuis son enfance, favorisé par une comète et l'éclipse lunaire qu'il avait vue. Il s'est rendu compte qu'il y avait cinq formes solides constituées de côtés de forme égale et que si ces solides étaient imbriqués et séparés par des sphères, ils pourraient correspondre aux six planètes connues. Son livre, *Mysterium Cosmographicum*, sur le sujet Le mystère du cosmos, publié en 1596, contenait l'un des plus beaux diagrammes de l'histoire des sciences (figure 5). Dans celui-ci, il a niché un octaèdre, un icosaèdre, un dodécaèdre, un tétraèdre et un cube, avec respectivement huit, douze, vingt, quatre et six côtés pour montrer l'espacement des planètes connues à l'époque. Le diagramme, bien que très beau, est complètement faux.

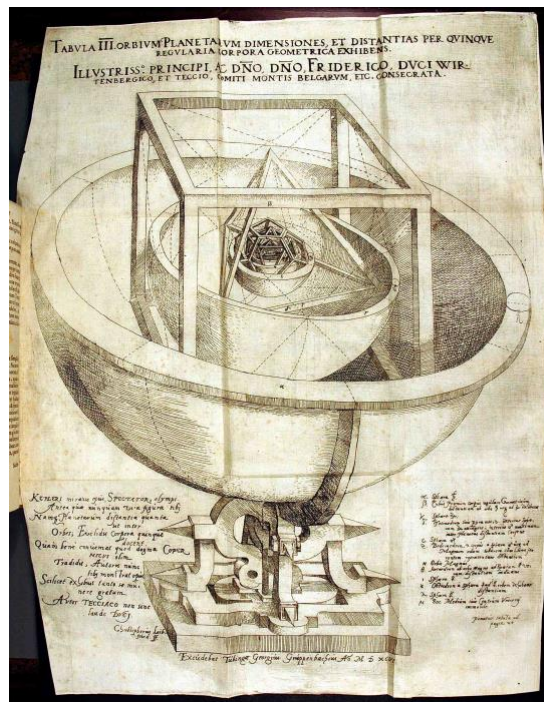


Fig. 5: Diagramme de Kepler tiré de son *Mysterium Cosmographicum* (Mystère du Cosmos), publié en 1596. Dans la décennie suivante, ses réflexions sur la disposition géométrique du système solaire furent remplacées par ses dispositions des planètes selon les deux premières de ses trois lois de mouvement planétaire, un système que nous

tenons valable jusqu'aujourd'hui.

Mais le talent mathématique de Kepler lui valut une interview avec Tycho. En 1600, il devint l'un des assistants de Tycho et il a fait des calculs à l'aide des données recueillies par Tycho. Ensuite, Tycho se rendit à un dîner officiel où il but librement. Il semble que l'étiquette l'empêcha de quitter la table et il se retrouva avec une vessie éclatée. Sa mort rapide et douloureuse a été soigneusement suivie dans un journal et elle est bien documentée.

Kepler n'a pas reçu les données immédiatement. D'une part, les données constituaient l'une des rares choses précieuses que les enfants de Tycho pouvaient hériter, Tycho ayant épousé une roturier qui n'était pas autorisée à léguer des biens immobiliers. Kepler a finalement eu accès aux données de Tycho pour Mars et il a essayé de les adapter à ses calculs. Pour faire ses calculs avec précision, Kepler a même élaboré son propre tableau de logarithmes.

Les données de Tycho, dont Kepler disposait, indiquaient la position de Mars dans le ciel, sur un fond d'étoiles. Il essaya de calculer ce que devait être son mouvement réel autour du Soleil. Pendant longtemps, il essaya de faire un cercle ou une orbite en forme d'œuf, mais il ne pouvait pas tout simplement faire correspondre la théorie aux observations avec suffisamment de précision. Finalement, il a essayé une figure géométrique appelée ellipse, une sorte de cercle aplati. Ça marche! Cette découverte est l'une des plus grandes de l'histoire de l'astronomie et, bien que Kepler l'ait d'abord appliquée à Mars et à d'autres planètes de notre système solaire, nous l'appliquons maintenant même aux centaines de planètes que nous avons découvertes autour d'autres étoiles.

Le livre de Kepler de 1609, *Astronomia Nova* (La nouvelle astronomie), contenait les deux premières de ses trois lois du mouvement:

Première loi de Kepler: Les planètes gravitent autour du Soleil en ellipses, le Soleil étant dans un foyer.

Deuxième loi de Kepler: Une ligne joignant une planète et le soleil balaie des surfaces égales en des temps égaux.

Une ellipse est une courbe fermée qui a deux points clés; ils sont connus comme les foyers. Dessinez votre propre ellipse: placez deux points sur un morceau de papier, chacun est un focus. Ensuite, prenez un morceau de ficelle plus long que la distance entre les foyers. Collez-les sur les foyers. Ensuite, placez un crayon dans la ficelle en tirant dessus et déplacez-le doucement d'un côté à l'autre. La courbe que vous allez générer sera l'un des côtés d'une ellipse; il est évident de savoir comment déplacer le crayon pour dessiner l'autre côté. Cette expérience avec la ficelle montre l'une des règles clés définissant une ellipse: la somme des distances d'un point de l'ellipse à chaque foyer reste constante. Un cercle est un type spécial d'ellipse où les deux foyers sont superposés.

Kepler continua de chercher des harmonies dans les mouvements des planètes. Il a associé les

vitesses des planètes aux notes de musique, les notes les plus hautes correspondant aux planètes les plus rapides, c'est à dire Mercure et Vénus. En 1619, il a publié son ouvrage majeur *Harmonices Mundi* (L'harmonie des mondes). Dans ce document (figure 6), il a inclus non seulement des portatives musicales avec des notes, mais aussi ce que nous appelons sa troisième loi du mouvement planétaire:

Troisième loi de Kepler sur le mouvement planétaire: Le carré de la période orbitale d'une planète autour du soleil est proportionnel au cube de sa distance moyenne du soleil.



Fig.6: Extrait des *Harmonices Mundi* de Kepler (L'harmonie du monde), publié en 1619.

Les astronomes ont tendance à mesurer les distances entre les planètes en termes d'unités astronomiques (ua), ce qui correspond à la distance moyenne entre la Terre et le Soleil, soit 150 millions de kilomètres.

Mercure	0.387 ua	0.240 ans
Vénus	0.723 ua	0.615 ans
Terre	1 ua	1 ans
Mars	1.523 ua	1.881 ans
Jupiter	5.203 ua	11.857 ans
Saturn	9.537 ua	29.424 ans

Table 1: Distances jusqu'au Soleil et les périodes des planètes dans le temps de Kepler.

Essayez d'élever la première colonne de données à la deuxième puissance et celles de la deuxième colonne à la troisième. Vous verrez qu'elles sont presque égales. Toutes les différences proviennent de l'approximation, et non du monde réel, bien que, avec plus de décimales, les influences des autres planètes puissent être détectées.

Découvertes avec le télescope: Galileo Galilei d'Italie

L'année 2009 a été l'Année Internationale de l'Astronomie, déclarée d'abord par l'Union Astronomique Internationale, puis par l'UNESCO et enfin par l'Assemblée Générale des Nations Unies. Pourquoi? Il commémorait l'utilisation du télescope dans les cieux par Galilée 400 ans auparavant, en 1609.

Galilée (1564-1642) était professeur à Padoue, dans la République de Venise. Il a entendu parler d'une invention néerlandaise qui pourrait rapprocher les objets distants. Bien qu'il n'en ait pas vu une, il a compris qu'elle devait contenir quelques lentilles. Il a montré son appareil aux nobles de Venise comme une entreprise militaire et commerciale, leur permettant de voir les navires plus au large que jamais auparavant. Son invention a été un grand succès.

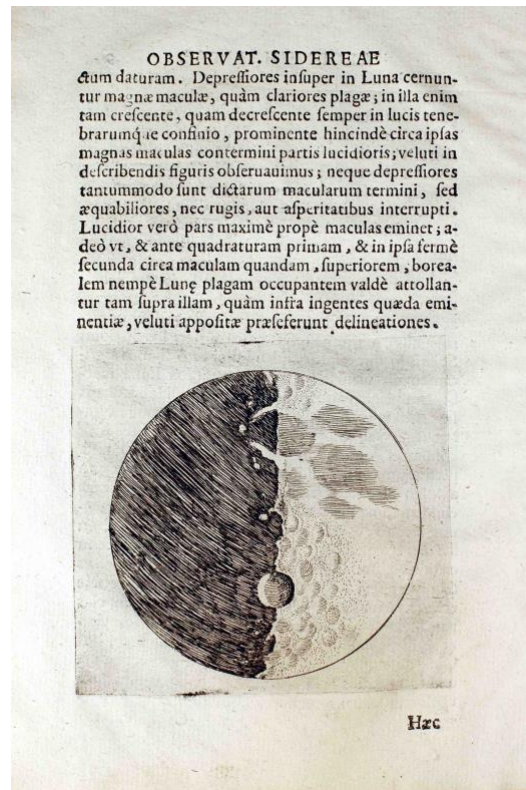


Fig. 7a: L'un des deux télescopes survivants de Galilée est arrivé à l'Institut Franklin de Philadelphie en 2009, lors de sa première visite aux États-Unis. Notez que la partie extérieure de l'objectif est recouverte d'un anneau en carton. En cachant la partie la plus marginale de l'objectif, Galilée a amélioré la qualité de ses images. (Photo par Jay M. Pasachoff). Fig. 7b: Une page de *Sidereus Nuncius* (Le messager des étoiles) de Galilée, publiée en 1610, montrant une gravure de la Lune. Le livre a été écrit en latin, la langue des érudits européens. Il comprenait une explication du mouvement relatif des quatre principales lunes de Jupiter.

Puis il eut l'idée de tourner le télescope vers le haut. Bien que le télescope soit difficile à utiliser, que son champ de vision soit très étroit et difficile à pointer, il a réussi à voir une partie de la

Lune et à se rendre compte qu'elle était très structurée. En raison de sa formation en dessin à la Renaissance italienne, il réalise que la structure représente l'ombre et la lumière et qu'il voit des montagnes et des cratères. À partir de la longueur des ombres et de la façon dont elles ont changé avec l'illumination changeante du Soleil, il pouvait même déterminer l'hauteur des montagnes. Quelques mois plus tôt, l'Anglais Thomas Harriot avait dirigé un télescope similaire vers la Lune, mais il n'avait dessiné que des gribouillis pas claires et des croquis. Mais Harriot ne s'intéressait ni à la publication ni à la gloire et son travail ne fut connu qu'après sa mort.

Un objectif que Galileo a utilisé pour ses découvertes, est resté fissuré, au Musée d'histoire des sciences de Florence en Italie, et deux télescopes complets qu'il a construits y ont également survécu (figure 7a).

Galilée commença à écrire ses découvertes à la fin de 1609. Il trouva non seulement des montagnes et des cratères sur la lune, mais aussi que la Voie Lactée était faite de nombreuses étoiles, dont certains sont groupés. Puis, en janvier 1610, il trouva près de Jupiter quatre "étoiles" qui bougeaient avec la planète et changeaient de position de nuit en nuit. Cela a marqué la découverte des principales lunes de Jupiter, que nous appelons maintenant les satellites galiléens. Il a écrit ses découvertes dans un petit livre appelé *Sidereus Nuncius* (Le messager des étoiles), qu'il a publié en 1610 (figure 7b). Depuis Aristote et Ptolémée, on pensait que la Terre était le seul centre de révolution. Et Aristote était considéré comme infallible. La découverte des satellites de Jupiter, en montrant qu'Aristote aurait pu se tromper, était un coup terrible porté à la notion géocentrique et donc un point fort en faveur de la théorie héliocentrique de Copernic.

Pour gagner des faveurs, Galileo a essayé de nommer les lunes d'après Cosmo de Medici, son patron. Mais ces noms ne collaient pas. Quelques années plus tard, Simon Marius a proposé les noms que nous utilisons maintenant. (Marius a vu peut-être les lunes même un peu avant Galilée, mais il a publié sa découverte beaucoup plus tard.) De gauche à droite ce sont Io, Europe, Ganymède et Callisto (figure 9). Même avec un petit télescope amateur, vous pouvez les voir dans une nuit claire et remarquer qu'au fil des heures, elles changent les positions. Elles gravitent autour de Jupiter sur des périodes allant jusqu'à quelques jours.

Même dans les plus grands et les meilleurs télescopes au sol, les astronomes ne pouvaient pas avoir une vision claire de la structure à la surface des satellites Galiléens. Ce n'est que lorsque les satellites Pioneer 10 et 11, puis Voyager 1 et 2, ont survolé le système de Jupiter que nous avons vu suffisamment de détails sur les satellites pour pouvoir les caractériser, eux et leurs surfaces. À partir des observations au sol et dans l'espace, les astronomes découvrent encore les lunes de Jupiter, bien que celles nouvellement découvertes soient beaucoup plus petites et plus faibles que les satellites galiléens.

Galileo a utilisé ses découvertes pour obtenir un meilleur travail avec un salaire plus élevé à Florence. Malheureusement, Florence était plus proche de l'autorité papale à Rome, là il y avaient les banquiers du Pape et la cité était moins libérale que la République de Venise. Galileo a continué à écrire sur une grande variété de sujets scientifiques, tels que les taches solaires, les comètes, les corps flottants. Chaque sujet semblait identifier un argument contre certains aspects

des études d'Aristote. Galileo découvrit que Vénus avait des phases, ce qui montrait que Vénus tournait autour du Soleil. Cela ne prouve pas que la Terre tourne autour du Soleil, car la cosmologie hybride de Tycho expliquerait ces phases. Mais Galilée y voyait un soutien pour Copernic.

En 1616, des représentants de l'Église à Rome lui ont dit de ne pas enseigner le copernicanisme, qui stipulait que le Soleil pas la Terre était au centre de l'Univers. Il parvint longtemps à rester silencieux, mais en 1632, il publia son *Dialogo* (Dialogue sur deux systèmes mondiaux principaux) dans lequel trois hommes discutaient des systèmes héliocentrique et géocentrique. Il avait la permission officielle de publier le livre, mais le livre indiquait clairement sa préférence pour le système héliocentrique de Copernic. Il a été jugé pour sa désobéissance et condamné à la détention à domicile, où il est resté jusqu'à la fin de ses jours.



Fig. 8: En 2009, pour commémorer le 400e anniversaire de la première utilisation du télescope par Galilée, une plaque a été posée sur une colonne située au sommet du Campanile, une tour du XVe siècle (reconstruite au début du XXe siècle après son effondrement en 1902) à Venise. Nous commémorons ici la démonstration par Galilée de son télescope aux nobles de Venise en observant des navires relativement éloignés en mer; c'était avant qu'il tourne sa lunette vers le haut. L'écriture sur la plaque peut être traduite approximativement comme suit: "Le 21 août 1609, Galileo Galilée, avec sa lorgnette, a élargi les horizons de l'homme, il y a 400 ans". (Photo: Jay Pasacoff)

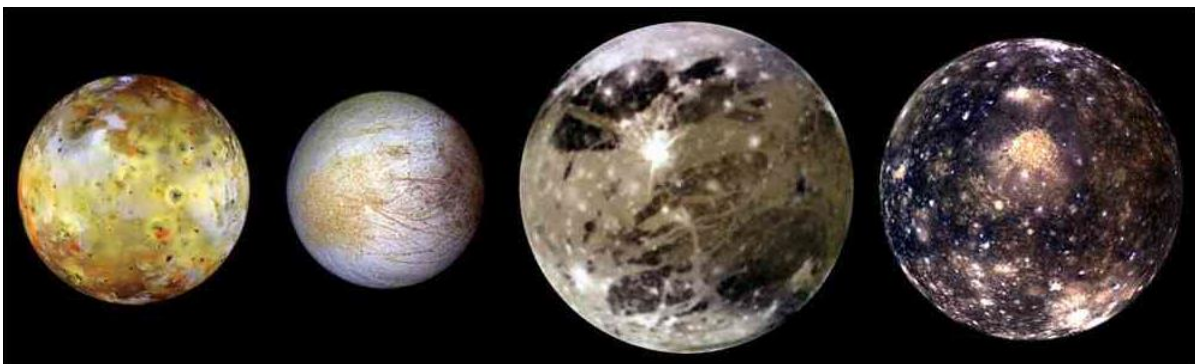


Fig. 9: Galilée lui-même serait étonné de voir ce que les navettes spatiales et ses prédécesseurs avaient découvert

grâce aux soi-disant "satellites Medician" qu'il avait découverts en 1609. Ils apparaissent ici en images à leur vraie échelle relative. De gauche à droite, nous voyons Io, avec une surface récemment refaite avec des dizaines de volcans en éruption continue. Deuxièmement, il ya l'Europe, principal suspect de la vie extraterrestre à cause de l'océan sous la couche de glace lisse que nous observons. Troisièmement, Ganymède, la plus grande lune du système solaire, montre une partie particulièrement fascinante de sa surface. Et à droite, Callisto, plus éloignée que les autres lunes et recouverte de glace dure, conserve les traces des collisions de météorites qui se chevauchent et se sont produites pendant des milliards d'années. (Photo: NASA, Mission Galileo, PIA01400)

La nouvelle physique: Isaac Newton d'Angleterre

Beaucoup pensent que les trois meilleurs physiciens de tous les temps sont: Isaac Newton, James Clerk Maxwell et Albert Einstein. Résumé: Newton a découvert la loi de la gravitation, Maxwell a rejoint l'électricité et le magnétisme et Einstein a découvert la relativité générale et spéciale.

Dans une histoire essentiellement vraie, le jeune Isaac Newton (1642-1727) a été renvoyé chez lui de l'Université de Cambridge à Woolsthorpe, près de Lincoln, en Angleterre, lorsque les universités anglaises ont été fermées à cause de la peste. Là-bas, il a vu une pomme tomber d'un pommier et il s'est rendu compte que la même force qui contrôlait la chute de la pomme était, sans aucun doute, la même force qui contrôlait le mouvement de la Lune.

Finalement, Newton était de retour comme membre du corps professoral au Collège Trinity, Cambridge. Entre-temps, un groupe de scientifiques de Londres se sont réunis dans un café pour former une société (maintenant la Royal Society), et le jeune Edmond Halley a été envoyé à Cambridge pour confirmer l'histoire du brillant mathématicien, Isaac Newton. Le voyage de Londres à Cambridge en diligence était plus long que le voyage en train d'une heure de nos jours.

Halley a demandé à Newton s'il y avait une force qui diminue avec le carré de la distance, quelle forme aurait l'orbite? Et Newton a répondu que ce serait une ellipse. Enthousiasmé, Halley lui demanda s'il l'avait prouvé et Newton affirma que c'était sur certains papiers qu'il possédait les calculs. Il a dit qu'il ne pouvait pas les trouver, parce qu'il voulait, peut-être revenir sur son analyse. Quoi qu'il en soit, Newton fut poussé à écrire certaines de ses conclusions mathématiques. En quelques années, elles ont abouti à son livre le plus célèbre, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (Principes mathématiques de la philosophie naturelle), où ce qu'ils appelaient alors Philosophie comprend ce que nous appelons maintenant Science.

Les *Principia* de Newton sont parues en 1687, en latin. Newton était encore enseignant à l'université à l'époque; il a fallu attendre longtemps avant qu'il soit anobli pour son travail. Halley a dû payer pour la publication du livre de Newton et aussi il a écrit la préface.

Les *Principia* ont notamment inclus la loi de Newton qui montrait comment la gravitation diminuait du carré de la distance et sa preuve des lois de Kepler sur les orbites planétaires. Le livre inclut également les lois du mouvement de Newton, clairement décrites comme des "lois" en latin, tandis que les lois de Kepler sont intégrées dans son texte.

Les lois de Newton du mouvement sont les suivantes:

Première loi du mouvement de Newton: un corps en mouvement tend à rester en mouvement et un corps en repos tend à rester en repos.

Deuxième loi du mouvement de Newton (version moderne): la force = la mass multipliée par l'accélération.

Troisième loi du mouvement de Newton: pour chaque action, il y a une réaction égale et opposée.

Newton a établi les bases de la physique mathématique qui a conduit à la science moderne.

La recherche en astronomie continue

Tout comme les anciens peuples étaient curieux du ciel et voulaient trouver notre place dans l'univers, les astronomes d'aujourd'hui se sont inspirés des découvertes du passé avec la même motivation. Les découvertes théoriques et observationnelles ont déplacé notre compréhension de notre place dans l'univers de la vision géocentrique de Ptolémée à l'hypothèse héliocentrique de Copernic, à la découverte que le système solaire n'était pas au centre de notre galaxie et à notre compréhension des galaxies distribuées dans tout l'univers.

L'astronomie contemporaine utilise des programmes pour rechercher la nature de la matière noire et de l'énergie noire. La théorie de la relativité d'Einstein indique non seulement que notre galaxie n'est pas au centre de l'univers, mais que l'idée même de "centre" semble n'avoir aucun sens. La découverte récente de plusieurs centaines d'exo planètes en orbite autour d'autres étoiles a montré à quel point notre système solaire peut être inhabituel. Les nouvelles théories sur la formation des planètes se développent parallèlement aux nouvelles observations de systèmes planétaires imprévisibles. Le chemin des nouvelles découvertes est ouvert aux astronomes contemporains des temps modernes, tout comme ils l'étaient il ya des milliers ou des centaines d'années.

Bibliographie

- Hoskin, M. (editor), *Cambridge Illustrated History of Astronomy*, Cambridge University Press, 1997.
- Pasachoff, J and Filippenko A, *The Cosmos: Astronomy in the New Millennium, 4th ed.*, Cambridge University Press 2012.

Sources d'Internet

- www.solarcorona.com
- <http://www.astrosociety.org/education/resources/multiprint.html>
- <http://www2.astronomicalheritage.net>