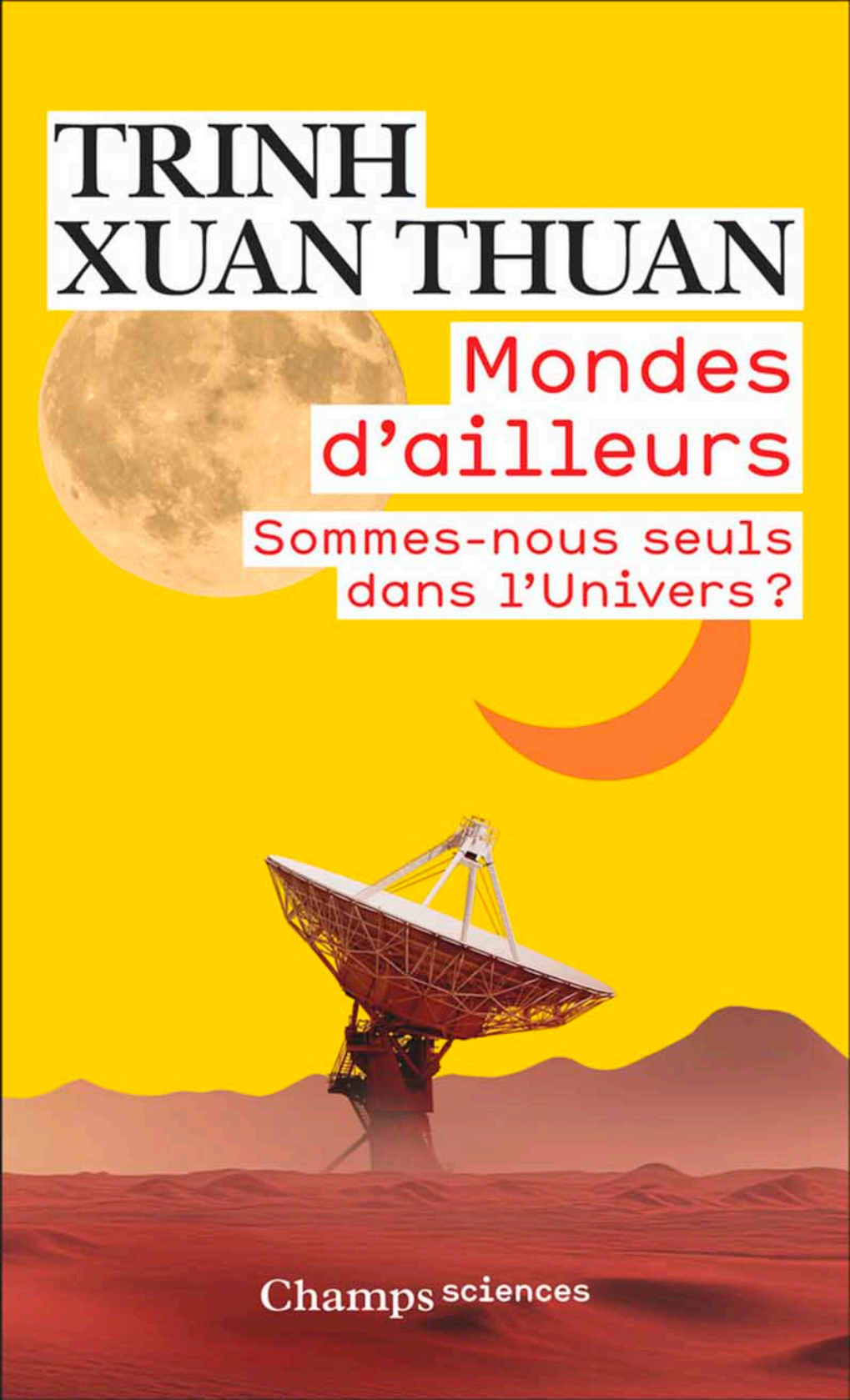
TRINH XUAN THUAN

Mondes d'ailleurs

Sommes-nous seuls dans l'Univers ?



Champs sciences

MONDES D'AILLEURS

Du même auteur
dans la même collection

Entretiens avec un astrophysicien.
Vertige du cosmos.

Trinh Xuan Thuan

MONDES D'AILLEURS

Champs sciences

© Éditions Flammarion, Paris, 2021.
© Éditions Flammarion, Paris, 2024, pour cette édition en « Champs ».
ISBN : 978-2-0804-3868-3

À ma famille et à tous ceux qui ont réfléchi à la possibilité de la vie au-delà de notre planète.

Du même auteur

Beauté et harmonie de l'Univers, Bouquins, 2022
Vertige du Cosmos, Flammarion, 2019 ; « Champs », 2021
Dictionnaire amoureux illustré du Ciel et des Étoiles, Plon/Gründ, 2018
Une Nuit, L'Iconoclaste, 2017 ; Prix Ciel & Espace du livre d'astronomie 2018 ; Le Livre de poche, 2020
La Plénitude du Vide, Albin Michel, 2016 ; Le Livre de poche, 2018
Face à l'Univers, Autrement, 2015, avec Jean d'Ormesson, Matthieu Ricard, Jean-Marie Pelt, Philippe Desbrosses, Edgar Morin, Joël de Rosnay, Fabienne Verdier, Jean-Claude Guillebaud ; Fayard/Pluriel, 2017
Désir d'infini, Fayard, 2013 ; Gallimard, « Folio/Essais », nº 594, 2014
Le Cosmos et le Lotus, Albin Michel, 2011 ; Prix Louis Pauwels 2012 décerné par la Société des Gens de Lettres ; Le Livre de poche, 2013
Dictionnaire amoureux du ciel et des étoiles, Plon/Fayard, 2009 ; *Petit dictionnaire amoureux du ciel et des étoiles*, Pocket, 2014
Le monde s'est-il créé tout seul ? avec Ilya Prigogine, Albert Jacquard, Joël de Rosnay, Jean-Marie Pelt et Henri Atlan, Albin Michel, 2008 ; Le Livre de poche, 2010
Voyage au cœur de la lumière, Gallimard, « Découvertes », nº 527, 2008
Les Voies de la lumière, Fayard, 2007 ; Gallimard, « Folio/Essais », nº 507, 2008 ; Grand Prix Moron 2007 de l'Académie française
Origines : la nostalgie des commencements, Fayard, 2003 ; Gallimard, « Folio/Essais », nº 468, 2006
L'Arpenteur du cosmos : entretiens avec Edmond Blattchen, Alice Éditions, 2002
L'Infini dans la paume de la main : du Big Bang à l'Éveil, avec Matthieu Ricard, Nil/Fayard, 2000 ; Pocket, nº 11171, 2002 ; Prix d'Asie 2000 de l'Association des écrivains de langue française
Le Chaos et l'Harmonie : la fabrication du réel, Fayard 1998 ; Gallimard, « Folio/Essais », nº 366, 2000
Le Destin de l'univers : le Big Bang et après, Gallimard, « Découvertes », nº 151, 1992 ; version remise à jour : Gallimard, « Découvertes », nº 151, 2008
Un astrophysicien : entretiens avec Jacques Vauthier, Beauchesne/Fayard, 1992 ; Flammarion, « Champs », 1995
La Mélodie secrète : et l'homme créa l'univers, Fayard, 1988 ; Gallimard, « Folio/Essais », nº 160, 1991

Pour plus de détails sur ces ouvrages, consulter le site Internet : www.trinhxuanthuan.fr

PRÉFACE

Depuis des millénaires, l'être humain n'a cessé de s'interroger sur sa place dans le cosmos. Cette question en entraîne une myriade d'autres : existe-t-il d'autres systèmes planétaires dans l'Univers ? Ressemblent-ils à notre Système solaire ? Sont-ils susceptibles d'héberger des formes de vie et d'intelligence, semblables ou non à la nôtre, qui sait ? Si des intelligences extraterrestres existent, avons-nous la possibilité d'entrer en contact avec elles ?

SOMMES-NOUS SEULS DANS L'UNIVERS ?

Cet ouvrage a l'ambition d'apporter des éléments sinon de réponse, du moins de réflexion à ces questions. Si je m'y suis attelé, c'est que, pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, nous disposons de la science et de la technologie nécessaires pour ébaucher ces réponses. Nous ne le mesurons pas toujours, mais nous vivons dans une période scientifique extraordinaire, un âge d'or où chaque jour apporte son lot de révélations sur les « autres mondes ».

Il y a à peine deux décennies (jusqu'en 1995), nous n'avions connaissance de l'existence que d'un seul système planétaire, le nôtre. Aujourd'hui, les observations astronomiques menées par des télescopes performants, au sol comme dans l'espace (je pense en particulier à la sonde spatiale *Kepler*), nous ont permis de découvrir une multitude de planètes autour d'autant d'étoiles. Nous avons photographié des systèmes en train de naître, mis en évidence des milliers de planètes (en général plus massives que la Terre, à cause de limitations inhérentes aux méthodes employées), mais aussi mesuré la température et la composition de l'atmosphère de quelques-unes d'entre elles.

Nous avons même prouvé que certaines atmosphères contenaient de la vapeur d'eau. Or qui dit eau dit peut-être vie. Bientôt, nous devrions être à même de découvrir des planètes similaires à la Terre et d'analyser leurs atmosphères, afin d'y rechercher des signes de vie et d'intelligence. Et si

un jour nous entrons enfin en contact avec une quelconque intelligence extraterrestre sur une autre planète, l'histoire de l'humanité en sera bouleversée, avec de profondes conséquences dans tous les domaines de la pensée et de l'activité humaine.

LA PLURALITÉ DES MONDES

Si on s'y arrête un instant, cette question de la pluralité des mondes possède une longue histoire. Pour les Grecs, le débat se situait surtout sur le plan philosophique. Ainsi, les « atomistes » Leucippe et Démocrite pensaient que l'Univers, composé d'un nombre infini d'atomes et évoluant dans un espace infini, devait contenir un nombre infini de mondes. Ces idées furent rejetées par Aristote parce qu'elles ne concordaient pas avec ses conceptions, que ce soit sur le mouvement comme sur l'infini.

Du fait de l'immense prestige du philosophe, l'idée de la pluralité des mondes disparut de la pensée occidentale pendant les deux millénaires qui suivirent, pour n'émerger de nouveau qu'à la Renaissance avec Giordano Bruno, qui paya de sa vie, en 1600, son acharnement à la défendre. Aux XVII^e^ et XVIII^e^ siècles, la discussion autour des systèmes planétaires (le seul connu était le Système solaire) prit une tournure plus scientifique avec la théorie des « tourbillons » de René Descartes, mais surtout avec la gravitation universelle d'Isaac Newton (Chapitre 1).

PROFUSION D'EXOPLANÈTES

Après des millénaires de spéculations et un siècle de prétendues « découvertes » d'exoplanètes – elles se sont toujours révélées erronées après vérification –, les astronomes ont finalement pu mettre en évidence, il y a seulement un peu plus de deux décennies, des planètes en orbite autour d'autres

étoiles que le Soleil. On les appelle des « planètes extrasolaires » ou « exoplanètes ».

Ces extraordinaires percées ont été à l'origine d'une révolution scientifique, puisqu'elles ont marqué un authentique changement de paradigme. Ainsi, nous savons désormais qu'il existe plus de planètes que d'étoiles dans la Voie lactée. En mars 2021, l'existence de quelque 4 400 exoplanètes a été confirmée !

Bien que nous nous trouvions encore au début de nos investigations, nous avons déjà appris que les exoplanètes sont caractérisées par une exubérante diversité de propriétés. Certaines ne ressemblent en rien aux astres de notre Système solaire. Comme vous le découvrirez, elles se présentent sous forme de « super-Terres » (ayant plusieurs fois la masse de la Terre), de Jupiter « chauds » qui ont migré de leur lieu de naissance à des endroits très proches de leurs étoiles-mères, de planètes très denses constituées de diamant, ou au contraire si peu denses qu'elles flotteraient dans votre baignoire, en admettant que celle-ci soit assez grande (Chapitre 2) !

Si, dans un futur proche, nous repérons aussi de nombreuses exoplanètes ressemblant à la Terre, une question se posera inévitablement : parmi les milliers d'exoplanètes ainsi détectées, s'en trouvera-t-il une qui réunira les conditions nécessaires pour éveiller et entretenir la vie, comme sur Terre ? C'est seulement en apportant des éléments de réponse à cette question que nous pourrons avoir une idée plus précise de notre place dans le cosmos, l'une des interrogations principales de cet ouvrage.

LA VIE SUR TERRE

C'est un truisme qu'il est bon de rappeler : la seule forme de vie que nous connaissions pour l'instant est la nôtre. Pour cerner les conditions qui ont favorisé son apparition sur Terre, il nous faut comprendre son origine et son évolution.

À quelle époque a-t-elle surgi et comment ? L'analyse de très anciennes roches nous dit que la vie remonte à 3,9 milliards d'années, c'est-à-dire peu après (à l'échelle cosmique) la formation du Système solaire, il y a 4,5 milliards d'années. A-t-elle éclos *in situ*, dans une « mare chaude » à la surface de la Terre, comme le songeait Darwin ? Ou est-elle remontée des profondeurs sous-marines, voire des entrailles de la Terre, sous la forme d'étranges organismes « extrêmophiles » ? Ces formes de vie prolifèrent dans des environnements si obscurs, si chauds, si acides ou si salés que cela en défie l'imagination. D'autres encore ont avancé la thèse de la panspermie, selon laquelle la vie serait venue d'ailleurs, véhiculée par des comètes et des astéroïdes tombés sur Terre.

Grâce à sa théorie de l'évolution des espèces par la sélection naturelle, Darwin a pu rendre compte magistralement à la fois de l'unité et de la diversité du vivant sur Terre. James Watson et Francis Crick, en explicitant la structure en double hélice de l'ADN, nous ont éclairés sur les mutations génétiques qui y président. J'ai aussi voulu aborder une question fondamentale qui me fascine : nous ne savons toujours pas comment l'animé a pu surgir de l'inanimé, comment des assemblages de poussières d'étoiles ont pu engendrer la vie (Chapitre 3).

LA VIE AILLEURS ?

Existe-t-il d'autres formes de vie dans le Système solaire ? Le mythe des Martiens, ces petits hommes verts qui auraient peuplé la planète rouge, n'est plus. Nous sommes la seule forme de vie intelligente dans notre système. Mais nous ne pouvons pas écarter la possibilité qu'il existe des micro-organismes en d'autres lieux, dans notre voisinage…

Les spécialistes considèrent que l'eau est une condition nécessaire de la vie, si bien que la quête actuelle d'une vie extraterrestre repose presque entièrement sur la recherche

d'eau liquide sur d'autres corps célestes du Système solaire. Mars, qui a présenté de l'eau courante à sa surface dans le passé, fait évidemment l'objet de toutes les attentions…

Ce n'est pas tout, puisque certaines lunes des géantes gazeuses sont aussi susceptibles d'héberger des micro-organismes. Europe, l'une des plus grosses lunes de Jupiter, possède ainsi un océan d'eau liquide, tapi sous une croûte de glace d'une vingtaine de kilomètres d'épaisseur ! Titan, Encélade ne sont pas en reste. De futures explorations de ces mondes fabuleux révéleront-elles des signes de vie (Chapitre 4) ?

À LA RECHERCHE D'E.T.

Si les intelligences extraterrestres sont désespérément absentes de notre Système solaire, en existe-t-il dans l'immensité de la Voie lactée, riche de ses centaines de milliards d'étoiles et de planètes ? Les lois de la physique et de la chimie étant universelles, la probabilité pour qu'il existe, quelque part, d'autres êtres capables de se poser des questions sur l'Univers et de s'émerveiller devant la beauté et l'harmonie du monde est non nulle ! Parmi les milliers d'exoplanètes que nous avons déjà recensées, certaines sont situées dans des « zones habitables » (des zones ni trop chaudes ni trop froides, autorisant la présence d'eau liquide) de leurs étoiles-mères. Certaines sont-elles susceptibles d'héberger la vie ? C'est l'une des questions fascinantes que nous aborderons.

À vrai dire, nous ne disposons pas encore de la technologie nécessaire pour observer directement la vaste majorité de ces exoplanètes. À terme, l'idée serait de chercher des signatures biologiques dans leur atmosphère (Chapitre 5).

Le début des années 1960 a vu le lancement du fameux programme d'écoutes de signaux radio artificiels venant de l'espace SETI. Des équipes d'astronomes n'ont cessé de

pointer des radiotélescopes vers le ciel, dans l'espoir de détecter des messages radio extraterrestres. Nous verrons que, jusqu'ici, E.T. est resté muré dans un silence de plomb…

La probabilité de succès de SETI dépend de plusieurs facteurs, que Frank Drake, l'un des pionniers de cette approche, a mis en avant. Parmi eux, le seul qui repose sur des bases observationnelles est le nombre de planètes habitables dans la Voie lactée, estimé à environ 100 milliards. Comme je le détaillerai, les autres sont beaucoup plus ardus à évaluer…

En particulier, nous n'avons aucune idée de la fraction de planètes hébergeant la vie, tant l'origine de cette dernière apparaît pour l'instant, selon le mot de Francis Crick, « quasiment comme un miracle ». En l'état de nos connaissances, le champ des possibles est très vaste.

DE L'INTELLIGENCE À LA SCIENCE

Si nous admettons que la vie a surgi plus d'une fois dans l'Univers, conduit-elle nécessairement à l'intelligence ? Je montrerai que deux courants de pensée s'opposent : le premier préconise que l'apparition de l'intelligence est des plus improbables, tandis que le second promeut l'existence d'une pression évolutionnaire « convergente », qui pousse les espèces à accroître leur intelligence.

Comment trancher ? Bien que le hasard et la contingence jouent un rôle certain dans l'évolution du vivant, ils restent conditionnés par le jeu subtil des contraintes imposées par les lois physiques et chimiques. Dit autrement, les choix sont limités, et le hasard est bridé. À la façon d'un musicien de jazz, en somme, la nature improvise en ajoutant d'innombrables petites variations à partir d'un thème principal…

S'il existe d'autres formes d'intelligence dans l'Univers, pouvons-nous échanger des messages radio interstellaires avec elles ? Pour cela, il faudrait que les extraterrestres potentiels aient atteint un certain niveau de technologie, disposant

au minimum de radiotélescopes. La question se pose donc : l'intelligence mène-t-elle inévitablement à la science et à la technologie ?

LA DURÉE DE VIE DES CIVILISATIONS

Il existe un autre facteur clé pour le succès de SETI, sans doute le plus important : la durée de vie des civilisations. En effet, pour que nous puissions communiquer avec une société extraterrestre, encore faut-il que celle-ci occupe la scène cosmique en même temps que nous (ou presque, en intégrant le temps de transit des messages). Qu'ils aient été présents dans un passé reculé ou qu'ils le soient dans un futur lointain, et tout échange serait interdit – dans le premier cas, nous n'existerions pas encore et n'aurions pas encore développé des radiotélescopes ; dans le second, nous nous serons peut-être autodétruits ! Cela n'a rien d'improbable : nous avons accédé à l'ère technologique il y a à peine 200 ans, et déjà nous mettons en péril les autres espèces vivantes et notre planète par notre inconscience, notre égoïsme et notre cupidité (Chapitre 6).

DES VOYAGES INTERSTELLAIRES

L'homme a toujours rêvé d'aller dans les étoiles, c'est entendu, mais est-ce un projet raisonnable ? L'obstacle principal, c'est celui des distances titanesques à parcourir. Songez que, pour rejoindre la prochaine étoile, Proxima du Centaure, à 4,3 années-lumière d'ici-bas, une sonde spatiale mettra quelque 40 000 ans avec notre technologie actuelle !

Il nous faudra aller beaucoup plus vite, tout en respectant la barrière de la vitesse de la lumière imposée par la théorie de la relativité d'Einstein. À supposer que nous y parvenions, la facture énergétique d'une expédition interstellaire ne serait-elle pas pharaonique comparée à nos ressources du moment ? Les

voyages vers les étoiles ne restent-ils pas du domaine des rêves (Chapitre 7) ?

OVNIS

Même si nous sommes incapables, pour l'instant, d'aller dans les étoiles, rien ne nous dit que des civilisations extraterrestres, fortes de technologies beaucoup plus avancées, n'aient pu le faire… Et s'ils étaient déjà parmi nous ? Cette thèse est alimentée par les témoignages assurant de l'existence d'ovnis, qui se comptent par milliers chaque année, rien qu'en Amérique du Nord ! Nous découvrirons qu'aucune « preuve » ne s'est vraiment montrée convaincante.

C'est justement cette absence totale de preuves de la présence des aliens parmi nous qui est à l'origine de ce qu'on a appelé le « paradoxe de Fermi », que j'exposerai. J'aborderai les différentes façons de lever cette contradiction apparente (Chapitre 8).

À LA RENCONTRE DE NOUS-MÊMES

Depuis plus de soixante ans, nous n'avons eu de cesse d'écouter le ciel en quête de signaux radio extraterrestres. Nous avons pointé nos radiotélescopes vers des dizaines de milliers d'étoiles parmi les plus proches, et vers des exoplanètes découvertes par les sondes spatiales, ressemblant à la Terre et situées dans la zone habitable de leurs étoiles-mères. Tout cela dans l'espoir de détecter des signaux artificiels émis par une civilisation lointaine – en vain à ce jour.

Mais même dans l'hypothèse où un signal d'une civilisation lointaine ne nous parviendrait jamais, réfléchir à l'existence de planètes au-delà du Système solaire et au programme SETI nous a obligés à aborder sérieusement quelques-unes des plus profondes questions de l'existence : quelle sorte de planète est capable d'héberger la vie ? Quelle

est la nature de la vie ? Quels sont les facteurs qui favorisent l'intelligence ? Quel est le destin de l'humanité ? Quel futur pour la Terre ?

Aller à la recherche des exoplanètes et des extraterrestres, c'est aussi aller à la rencontre de nous-mêmes. Si, un jour, le silence inquiétant du cosmos est enfin rompu, cela marquera à mon sens le plus grand tournant dans l'histoire de l'humanité. La certitude de n'être plus seuls nous fera enfin toucher du doigt les spécificités de la condition humaine.

Ce livre s'adresse à l'« honnête homme », curieux des dernières découvertes autour des exoplanètes, mais aussi des recherches menées sur les planètes dites « habitables » pour détecter la vie. Il rend aussi compte des vaillants efforts des scientifiques du programme SETI, qui traquent les possibles signaux émanant de civilisations extraterrestres. Dans sa rédaction, je me suis efforcé d'éviter tout jargon scientifique, en prenant soin de ne sacrifier ni la rigueur ni la précision. J'ai inséré tout au long du texte des dessins et des photos destinés non seulement à illustrer mes propos, mais aussi à faciliter la lecture. Le lecteur trouvera en outre en fin d'ouvrage un index afin d'aisément retrouver certains concepts et idées.

Trinh Xuan Thuan
Charlottesville, Virginie, avril 2021

1
LES PRÉMICES DES AUTRES MONDES

UNE INVENTION GRECQUE

L'idée qu'il puisse exister une multiplicité de mondes hébergeant des formes de vie extraterrestre, bien au-delà de notre planète, nous paraît très actuelle, mais il n'en est rien. Comme tant d'autres domaines du savoir, elle a en effet vu le jour lors de l'efflorescence de la pensée grecque, sur les rives de la Méditerranée, vers le VI^e^ siècle avant notre ère. Dans sa forme la plus ancienne, elle a surgi en même temps, ou presque, que la science occidentale, alors même que les fondements de la méthode scientifique se mettaient en place.

Notons que la formule « vie extraterrestre » n'est devenue courante qu'au début du XX^e^ siècle. Longtemps, ce fut l'expression grecque « pluralité des mondes » qui domina – Camille Flammarion l'emploie encore en 1862 dans son traité *La Pluralité des mondes habités*, « les curieux […] s'ingéniant à imaginer quelles races possibles d'êtres peuvent avoir planté leurs tentes là-haut ». Plus précisément, elle contenait, pour les Grecs, l'idée d'une infinité de mondes (en grec, *aperoi kosmoi*), expression qui fut plus tard traduite en latin par *plures mundi,* d'où son origine.

UNE AFFAIRE D'INFINI

Que l'infini surgisse ainsi dans cette fascinante éclosion des idées n'est pas anodin. Il faut en effet se souvenir que les premiers modèles cosmologiques étaient issus de considérations entièrement philosophiques ou presque. Par la suite, les contraintes imposées par l'observation du ciel, et en particulier par les mouvements des planètes, prirent graduellement de plus en plus d'importance dans l'élaboration des théories

du cosmos. Voilà pourquoi la question de la pluralité des mondes était intimement liée à la taille de l'Univers : si l'Univers était infini, il était plus probable qu'il puisse héberger d'autres planètes au-delà du Système solaire, tandis qu'un Univers fini était susceptible de ne pas héberger d'autres mondes.

Mais quelle est la taille de l'Univers ? Au fil des siècles, la représentation du cosmos avait oscillé entre un Univers infini sans limites, d'une part, et un Univers fini et limité d'autre part. Les premières cosmologies mettaient en scène un Univers infini. Elles possédaient encore fortement un élément mythique. Ainsi, pour le mathématicien Thalès (v. 624-546 av. J.-C.), l'eau était le constituant primordial de toute chose. La Terre, plate et finie, flottait sur un océan primordial surplombé par un ciel de vapeur, tous deux de dimension infinie.

Son contemporain et disciple Anaximandre (v. 610-546 av. J.-C.) rejeta l'idée d'un seul élément primitif. Pour lui, le monde était le résultat de l'interaction de contraires – le chaud et le froid, le sec et l'humide ou la lumière et l'ombre –, une idée qui rappelle très fortement le concept taoïste chinois des pôles contraires qui s'incarnait dans le Yin et le Yang. La Terre prit dès lors une forme cylindrique finie flottant au milieu des anneaux de feu successifs qu'étaient le Soleil, la Lune et les planètes, dans un Univers infini, donc.

L'idée d'une extension à l'infini fut aussi défendue haut et fort par un tout autre courant de pensée, celui de l'atomisme. Selon les deux fondateurs de cette école, le philosophe présocratique Leucippe (v. V^e^ siècle av. J.-C.) et son élève Démocrite (v. 460-370 av. J.-C.), l'Univers était composé d'unités fondamentales, des particules de matière insécables et indivisibles appelées « atomes » (du grec *atomos*, signifiant « qui ne peut être divisé »). L'espace de l'Univers étant infini et sans limites, il devait contenir un nombre infini d'atomes de taille

et de forme diverses. Ceux-ci se combinaient en une infinité de façons pour donner naissance à un nombre non moins infini de mondes.

Le philosophe grec Épicure (341 av. J.-C.-270 av. J.-C.), l'un des grands défenseurs de l'atomisme, loue ainsi l'infinité du cosmos et la pluralité des mondes planétaires dans sa « Lettre à Hérodote » :

> « Il existe un nombre infini de mondes à la fois semblables et différents du nôtre. Car les atomes, étant infinis en nombre, sont entraînés loin dans l'espace. Destinés par leur nature à créer ou à façonner des mondes, ils ne peuvent être épuisés ni sur un seul monde, ni sur un nombre limité de mondes. […] De sorte qu'il n'existe nulle part d'obstacle à un nombre infini de mondes [1]. »

Épicure va encore plus loin, puisqu'il n'hésite pas à peupler ces mondes lointains d'êtres vivants :

> « Nous devons croire que tous ces mondes hébergent des créatures vivantes, des plantes et d'autres formes de vie que nous voyons dans le nôtre. »

L'idée de l'infinitude de l'Univers et de la pluralité des mondes, avec en prime des réflexions sur la vie extraterrestre, fut célébrée avec fougue et lyrisme trois siècles plus tard par le poète latin Lucrèce (v. 98-55 av. J.-C.), chantre et vulgarisateur de l'atomisme. Dans son grand poème cosmologique *De la nature des choses*, il justifie ainsi sa conception :

> « Tout d'abord, nulle part, en aucun sens, à droite ni à gauche, en haut ni en bas, l'Univers n'a de limite ;

1. Lettre citée par le biographe des philosophes grecs, Diogène Laërce (v. III^e siècle), dans son ouvrage *Vies, doctrines et sentences des philosophes illustres*.

> je te l'ai montré, l'évidence le crie, cela ressort clairement de la nature même du vide. Si donc, de toutes parts, s'étend un libre espace sans limites, si des germes innombrables multipliés à l'infini voltigent de mille façons et de toute éternité, est-il possible de croire que notre globe et notre firmament aient été seuls créés, et qu'au-delà il n'y ait qu'oisiveté pour la multitude des atomes ? […] Si la même force subsiste et la même nature existe pour les rassembler en tous lieux et dans le même ordre que les atomes de notre monde, il faut admettre que les autres régions de l'espace connaissent aussi leur globe, leurs races d'hommes et leurs espèces sauvages [1]. »

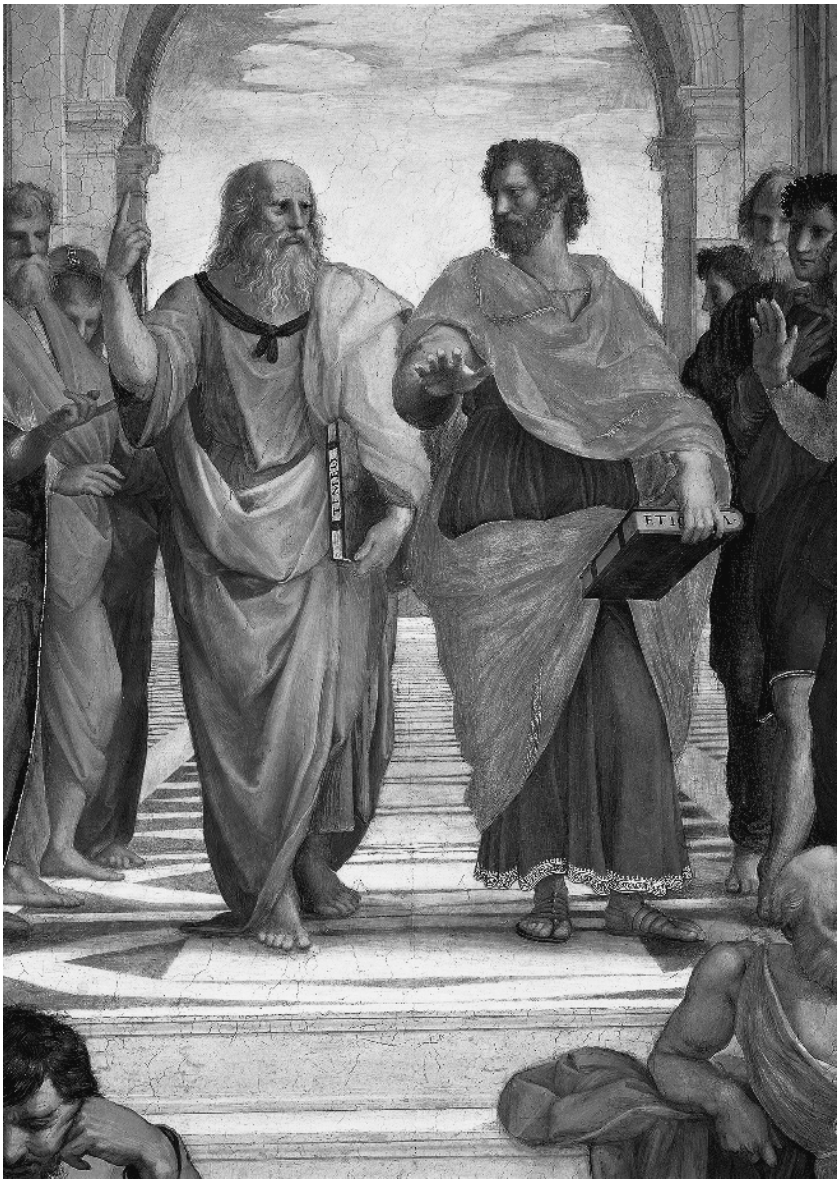
ARISTOTE CONTRE LES AUTRES MONDES

LE REJET DE L'UNIVERS INFINI

Troublante, la pensée atomiste était trop en avance sur son temps. Faute de preuves concrètes, elle ne parvint pas à s'imposer. À sa décharge, il faut préciser que l'existence des atomes ne fut démontrée expérimentalement que quelque vingt siècles plus tard. Le courant de pensée atomiste fut en définitive éclipsé par une représentation du monde plus cohérente et plus complète, celle qu'avaient proposée les philosophes grecs Platon (v. 424-348 av. J.-C.) et Aristote (384-322 av. J.-C.).

Ceux-ci esquissèrent un modèle d'Univers géocentrique dans lequel la Terre immobile occupait la place centrale et

1. Lucrèce, *De la nature des choses*, traduit par Henri Clouard, Flammarion, 1964.



Platon (à gauche) et son disciple Aristote, ici représentés par le peintre Raphaël à l'académie d'Athènes, développèrent un modèle géocentrique du monde qui régna en maître pendant quelque vingt siècles. Pour Platon, l'Univers était un univers à deux sphères : la sphère de la Terre était immobile au centre d'une immense sphère extérieure en rotation, sur laquelle étaient incrustées les planètes et les étoiles.

autour de laquelle tournaient tous les objets célestes, fixés sur des sphères cristallines concentriques [1].

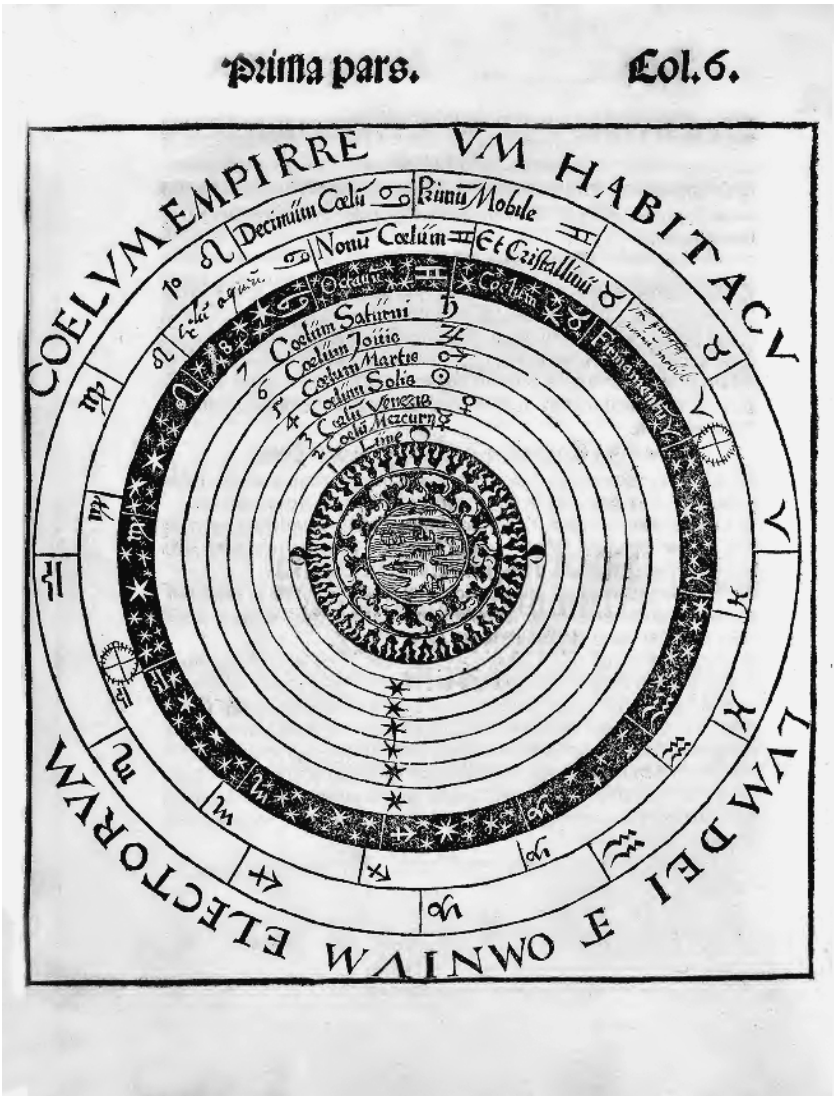
On le constate, la vision platonicienne et aristotélicienne du monde ne pouvait être plus différente de celle de l'atomisme. Pour Leucippe, les atomes étaient en mouvement permanent (une vue qui sera confirmée expérimentalement, bien plus tard, par la physique moderne) et l'Univers en transformation perpétuelle. Selon le père de l'atomisme, « toutes les choses sont illimitées et se transforment mutuellement les unes dans les autres [2] ». Par contraste, Aristote concevait le Ciel comme étant immuable. Dieu étant parfait, et le Ciel étant le domaine de Dieu, il devait être aussi parfait. Or ce qui est parfait ne saurait changer, d'où le concept de l'immuabilité aristotélicienne des cieux.

De plus, Aristote rejette fermement l'idée des atomistes selon laquelle l'espace est infini, qu'il contient un nombre infini d'atomes et, partant, un nombre infini de mondes planétaires. Dans son traité de *Physique,* Aristote exprime de manière succincte son aversion de l'infini. Pour lui, « l'existence de l'infini est potentielle […] Il n'existe pas en réalité ».

L'infini potentiel d'Aristote peut être compris par l'exemple suivant : quand nous marchons, nous alignons les pas l'un après l'autre ; nous faisons un pas, puis un autre, puis encore un autre. Par la pensée, nous savons qu'en principe, nous sommes capables de poursuivre indéfiniment notre chemin, de toujours aller potentiellement un peu plus loin *via* un pas de plus. Mais nous n'allons pas jusqu'au bout de ce parcours infini, nous ne l'effectuons que mentalement : c'est cela, l'essence de l'infini potentiel.

---

1. Voir une description détaillée du modèle géocentrique d'Aristote dans mon ouvrage *Vertige du cosmos*, Flammarion, 2019 ; « Champs » Flammarion, 2021.
2. Diogène Laërce, IX, 30.



Dans le modèle cosmologique d'Aristote viennent, par ordre de distance croissante à la Terre, les sphères cristallines concentriques de la Lune, de Mercure, de Vénus, du Soleil, de Mars, de Jupiter et de Saturne, et enfin la sphère extérieure des étoiles. Pour expliquer le mouvement des planètes, Aristote dut associer chaque sphère planétaire à des sphères supplémentaires tournant autour d'axes différents. Au total, Aristote eut besoin de cinquante-six sphères.

L'Univers d'Aristote était donc fini, délimité par la sphère extérieure des étoiles. Quelques esprits hardis tentèrent d'estimer la taille de cet Univers fini, autrement dit le rayon de la sphère extérieure. Ils obtinrent des résultats considérablement sous-estimés. Ainsi, Empédocle (v. 490-430 av. J.-C.) estima ce rayon à seulement trois fois la distance Terre-Lune. Un Univers si petit qu'il ne pouvait que contenir des objets de taille infime, et certainement pas d'autres mondes !

ZÉNON ET SES PARADOXES

Aristote abhorrait la notion de l'infini réel, car il était bien conscient des nombreux paradoxes associés à la notion. En particulier, il était familier de ceux mis en évidence par le Grec Zénon d'Élée (495-435 av. J.-C.), disciple du philosophe Parménide (v. 515-440 av. J.-C.). Ce dernier prônait une philosophie de la permanence qui excluait tout changement. Pour Parménide, tout ce qui est transformation et évolution ne peut être qu'illusion. Zénon s'attacha à démontrer cette dernière proposition en avançant une quarantaine de démonstrations, dont deux en particulier qui mettaient en scène l'infini, et qui frappèrent l'imagination des hommes à travers les siècles [1].

Dans son premier paradoxe, Zénon entreprend de démontrer que le mouvement est impossible. Il imagine un coureur qui va d'un point A à un point B. En analysant en détail les mouvements du coureur, il arrive à une conclusion absurde : celui-ci doit d'abord parcourir la moitié de la distance qui sépare les deux points, puis la moitié de la distance restante, puis encore la moitié de la distance restante, et ainsi de suite, *ad infinitum*. Parce que le coureur doit ainsi accomplir un

1. Voir mon ouvrage *Désir d'infini*, Fayard 2013 ; « Folio Essais », Gallimard, nº 594, 2014.

nombre infini d'étapes, Zénon en conclut qu'il ne pourra jamais arriver à destination, et que le mouvement est donc impossible ! Fort de ces arguments, si simples qu'ils semblent irréfutables, Zénon est parvenu à une conclusion qui ne tient pas debout : nous savons bien que le coureur arrivera à destination en un temps fini.

L'argumentation développée dans le deuxième paradoxe de Zénon, intitulé « Achille et la tortue », paraît de prime abord tout aussi convaincante. Zénon explique que le plus lent, la tortue, ne sera jamais rattrapé par le plus rapide, Achille, car celui-ci doit d'abord atteindre le lieu que la tortue vient de quitter, de sorte que le plus lent a toujours sur l'autre une avance déterminée. L'écrivain argentin Jorge Luis Borges (1899-1986) a décrit le paradoxe d'Achille et de la tortue en ces termes :

> « Achille court dix fois plus vite que la tortue, et il lui accorde une avance de dix mètres. Achille parcourt ces dix mètres, la tortue en parcourt un ; Achille parcourt ce mètre, la tortue un décimètre ; Achille parcourt ce décimètre, la tortue un centimètre ; Achille parcourt ce centimètre, la tortue un millimètre ; Achille aux pieds légers, le millimètre, la tortue un dixième de millimètre ; et ainsi de suite, à l'infini, sans qu'il puisse jamais la rattraper [1]… »

À nouveau, l'infini donne lieu à des arguments qui semblent inattaquables, et qui pourtant débouchent sur des conclusions intenables.

Les paradoxes de Zénon ne furent jamais réfutés de son vivant. Ils ne furent résolus qu'au XIX^e^ siècle avec l'étude des suites et séries infinies. En mathématiques, une suite de nombres est définie par une procédure qui permet, à partir

1. Jorge Luis Borges, *Oeuvres complètes*, Gallimard, La Pléiade, 2010.

d'un élément, de déterminer celui qui suit. Par exemple, dans la suite des nombres entiers positifs, chaque nombre est obtenu en ajoutant 1 à celui qui le précède. Ce processus étant sans fin, la suite est infinie. En mathématiques, la somme des termes d'une telle suite infinie est une série. Se pose alors la question : si l'on considère une série donnée, cette somme est-elle finie ou infinie ?

Ainsi, considérons la série qui se rattache au paradoxe de Zénon sur le coureur qui n'arrive jamais au but. En parcourant d'abord la moitié de la distance qui sépare son point de départ de son point d'arrivée, puis la moitié de la distance restante, et puis encore la moitié de la distance restante, et ainsi de suite, le coureur de Zénon franchit une distance déterminée par la somme suivante de la suite infinie de nombres :

$$1/2 + 1/4 + 1/8 + 1/16 + 1/32 + 1/64 + \ldots$$

Dans cette série infinie, chaque nombre est la moitié de celui qui le précède. À première vue, vous pensez peut-être que la somme d'une suite infinie de nombres doit aboutir à un résultat infini. En fait, ce n'est nullement le cas pour la somme mise en jeu dans la série précédente. Cette somme possède la remarquable propriété de ne jamais atteindre la valeur 1, quel que soit le nombre de termes que nous y incluions. Mais nous pouvons nous rapprocher le plus possible de la limite de 1, en incluant toujours plus de termes. Autrement dit, la somme tend vers une limite finie de 1, au fur et à mesure que le nombre de termes de la série tend vers l'infini.

D'ailleurs, c'est cette interaction entre le fini et l'infini qui nous fournit la clé du paradoxe du coureur de Zénon. En effet, si ce dernier conserve une vitesse à peu près constante, les intervalles de temps mis pour parcourir ces distances successives sont aussi décrits par la même série ci-dessus, le temps étant égal au rapport de la distance à la vitesse, supposée ici

être constante. Ce qui veut dire que, comme la distance totale parcourue est finie, le temps mis par le coureur pour accomplir son trajet est aussi fini, et non infini.

Si les paradoxes de Zénon ont vu le jour, c'est parce que les Grecs n'avaient pas envisagé la possibilité que la somme d'une suite infinie de termes puisse avoir une valeur finie. Acceptons maintenant que le fini puisse résulter de l'infini : le coureur peut parfaitement atteindre sa destination et Achille aisément rattraper et dépasser la tortue en un temps fini. Ouf, le bon sens est sauf ! En tout cas, Aristote, n'étant pas au courant de l'existence des séries infinies de nombres avec une somme finie, a fermement rejeté l'idée d'un Univers infini, et donc celle d'une infinité de mondes semblables à la Terre.

LA NATURE A HORREUR DU VIDE

Au-delà des discussions portant sur la pluralité des mondes, il existe un autre point de divergence entre les visions atomiste et aristotélicienne. Il concerne la nature du « vide ». Leucippe fut non seulement responsable de l'idée que la matière était composée d'unités fondamentales appelées *atomes*, mais il fut aussi le premier à réfléchir sur la notion d'un espace vide au sein duquel ces atomes pouvaient évoluer. Selon lui, ce vide était indispensable pour permettre tout changement ou tout mouvement. Pour le philosophe, à moins qu'il y ait un vide qui existe en soi, indépendamment d'autres choses, la matière ne pourrait se mouvoir, et les choses ne pourraient être distinctes car il n'y aurait rien pour les séparer.

Trois siècles plus tard, Lucrèce insiste aussi sur la nécessité du vide pour le mouvement des corps dans son poème cosmologique *De la nature des choses* :

> « Ainsi, il existe un lieu intangible, le vide et le vacant. S'il n'existait pas, les choses ne pourraient d'aucune façon se mouvoir ; car ce qui est la fonction du corps,

> s'opposer et faire obstacle, serait là pour affecter toutes choses en tout temps ; rien ne pourrait donc avancer, puisque rien ne commencerait à céder la place… Si le vide n'existait pas, les choses ne seraient pas simplement privées de leur mouvement incessant, elles ne seraient jamais venues à être d'aucune manière, puisque la matière, figée, serait partout en repos [1]. »

Or la notion de vide avancée par les atomistes, pourtant étonnamment proche de sa version moderne, fut écartée par Aristote. Selon ce dernier, l'espace ne pouvait être vide, mais était baigné d'une substance informe, l'éther [2], qui s'ajoutait aux quatre autres éléments composant l'Univers, la terre, le feu, l'eau et l'air.

Pour le philosophe, dont le but était de définir, d'analyser et d'ordonner toutes les composantes du monde en des catégories irréductibles, l'idée d'un vide qui ne pouvait être défini, catégorisé et perçu par les sens était inacceptable. Souvenez-vous : l'Univers d'Aristote était limité par la sphère extérieure des étoiles. Un espace vide ne pouvait exister au-delà de cette sphère. Définissant l'espace vide comme « un endroit qui ne contient pas de corps, mais qui pourrait en contenir un », le philosophe arguait que, si cet espace vide existait, il pourrait y avoir des objets hors des confins de l'Univers matériel, ce qui est par définition absurde.

Aristote érigea en principe sa conclusion que le vide ne pouvait exister : c'est le principe de l'*horror vacui* selon lequel « la nature a horreur du vide ». Parce que le vide ne saurait exister, la question du passage de l'Univers de la non-existence à l'existence, du néant à l'être, ne se pose pas. Dans la

1. Lucrèce, *op. cit.*
2. À la fin du XIX^e^ siècle, les physiciens américains Albert Michelson (1852-1931) et Edward Morley (1838-1923) démontrèrent expérimentalement que l'éther n'existait pas.

pensée aristotélicienne, l'Univers n'a pas été créé : il a toujours été et sera là pour l'éternité.

DU MOUVEMENT DES CORPS

L'argument principal d'Aristote envers l'unicité du monde est fondé sur sa théorie du mouvement. Celle-ci explique comment se déplacent les quatre éléments qui, selon le philosophe, composent le monde : l'eau, le feu, la terre et l'air. Dans son *Traité du ciel*, Aristote développe ce qui est appelé « la doctrine du mouvement et du lieu naturel ». Cette doctrine préconise que chacun des quatre éléments tend vers un certain emplacement, appelé son « endroit naturel ». Le mouvement d'un corps doit être tel qu'il tend vers son lieu naturel pour y demeurer. Il ne peut s'arracher de ce lieu que « par violence ».

Ainsi, le lieu naturel de l'élément terre est le centre du monde. Mais, puisque le centre du monde coïncide avec celui de la Terre, un corps lourd doit tendre vers le centre de notre planète. De même, le feu, de nature légère, s'éloigne du centre de la Terre, vers la circonférence. Quant à l'air et l'eau, ils se déplacent naturellement vers des positions intermédiaires. Aristote construit ainsi un système dans lequel tout corps possède un lieu naturel par rapport au centre du monde, et un mouvement qu'on qualifie de « naturel » ou de « forcé » par rapport à ce lieu.

En somme, dans le contexte de cette théorie du mouvement, supposer une pluralité de mondes équivaudrait à postuler une pluralité de centres, et une contradiction en résulterait immédiatement : par exemple, dans le cas de deux mondes, le mouvement d'un corps lourd serait forcé dans l'un, tandis qu'il serait naturel dans l'autre. C'est ainsi que la théorie aristotélicienne du mouvement s'oppose en soi à l'existence d'une multiplicité de mondes.

VIDE ET MOUVEMENT

La théorie du mouvement d'Aristote était aussi cohérente avec son rejet du vide. Le philosophe raisonnait de la façon suivante : un vide devrait être uniforme et symétrique, ce qui voudrait dire qu'il n'existerait pas de distinction entre le haut et le bas, la droite et la gauche, l'avant et l'arrière. Cette absence de direction préférentielle rendrait le mouvement impossible, car il n'y aurait aucune raison pour qu'un corps aille dans une direction plutôt que dans une autre. L'Univers serait en définitive vide de mouvement et figé, conclusion manifestement absurde.

Et, même si le mouvement d'un objet dans le vide était possible, il n'existerait aucune résistance qui s'opposerait à son mouvement. L'objet serait donc en mouvement perpétuel, ce qui est impensable [1]. À supposer que l'objet puisse s'arrêter, pourquoi le ferait-il à un endroit plutôt qu'à un autre dans un vide parfaitement homogène ? De surcroît, si le vide était « quelque chose » et que l'on plaçait un objet dans un espace vide, il y aurait deux « quelque chose » exactement au même endroit, ce qui était également impossible.

Fort de l'immense prestige du philosophe, l'idée aristotélicienne que la nature a horreur du vide allait régner et dominer toutes les discussions scientifiques autour du vide pendant les deux millénaires à venir. C'est seulement au XVII[e] siècle, à la Renaissance, que des scientifiques tels l'Italien Evangelista Torricelli (1608-1647) et le Français Blaise Pascal (1623-1662) purent démontrer expérimentalement

1. Nous savons aujourd'hui que cette conclusion est erronée. Ainsi, dans sa théorie de la gravitation universelle publiée en 1687, le physicien anglais Isaac Newton énonce sa « première loi du mouvement », qui dit exactement le contraire : le mouvement d'un objet se déplaçant à vitesse constante et en ligne droite, quand il n'est soumis à aucune force (ou résistance), est perpétuel.

que le vide existait bel et bien, reléguant l'*horror vacui* aux oubliettes [1].

ÉPILOGUE

Pour conclure, précisons que la grande synthèse de l'Univers géocentrique d'Aristote fut accomplie au IIe siècle de notre ère par l'astronome Claude Ptolémée (v. 100-170) dans son œuvre maîtresse, l'*Almageste* (« Le Grand Livre » en arabe). En rassemblant toutes les connaissances et les observations des objets célestes acquises lors des siècles précédents, il élabora un Univers géocentrique qui allait régner en maître pendant les quinze siècles à venir.

Pour rendre compte des observations de plus en plus fines des positions des planètes, il dut détacher ces dernières des sphères célestes et les placer sur de petits cercles, appelés « épicycles », dont les centres décrivent eux-mêmes de grands cercles, sur la surface des sphères célestes centrées sur la Terre.

En tout cas, la complexité croissante du modèle géocentrique de Ptolémée (de plus en plus d'épicycles devaient être ajoutés au fil des années, afin d'intégrer la précision croissante des observations menées sur la position des planètes) se conjuguait avec le rejet d'Aristote de l'Univers infini, son horreur du vide et sa théorie du mouvement, pour ne plus laisser aucune place pour d'autres mondes.

1. Voir mon ouvrage, *La Plénitude du Vide*, Albin Michel, 2016 ; Le Livre de Poche, 2018.

LA PENSÉE MÉDIÉVALE

PERMANENCE DE LA CONCEPTION ARISTOTÉLICIENNE

Quinze siècles s'écoulèrent avec leurs lots d'événements. La pensée grecque perdit de son lustre après l'annexion de la Grèce par Rome, vers la fin du IIe siècle. Aux Ve et VIe siècles, le coup de grâce fut donné à l'Empire romain par les invasions répétées des hordes barbares, et le savoir grec s'effaça en Occident. Le flambeau des sciences fut repris par les califes de Bagdad qui, entre l'an 750 et l'an mille, firent traduire en arabe les grands textes grecs, y ajoutant leurs propres commentaires et critiques. Et, dès l'aube du XIe siècle, l'Europe chrétienne redécouvrit la pensée grecque grâce à l'Espagne, devenue le centre intellectuel du monde islamique. Elle entreprit notamment la traduction des grandes œuvres grecques de l'arabe en latin.

La pensée d'Aristote qui recouvrait bien des domaines de la connaissance fut scrutée à la loupe, et en particulier son rejet de la notion de la pluralité des mondes, notion à laquelle le philosophe a consacré deux chapitres entiers dans son *Traité du ciel*. Avec le développement des universités, notamment à Paris et à Oxford, et l'apparition de nouveaux ordres religieux tels ceux des Dominicains (en 1216) et des Franciscains (1223), l'étude des textes d'Aristote, ce qu'on appelle la scolastique (du latin *schola*, « école »), prit son essor. Le but était de concilier l'apport de la philosophie grecque (particulièrement l'enseignement d'Aristote) avec la théologie chrétienne héritée des Pères de l'Église. La scolastique devint une activité majeure au Moyen Âge, après l'étude des Saintes Écritures et l'élaboration de la doctrine de l'Église.

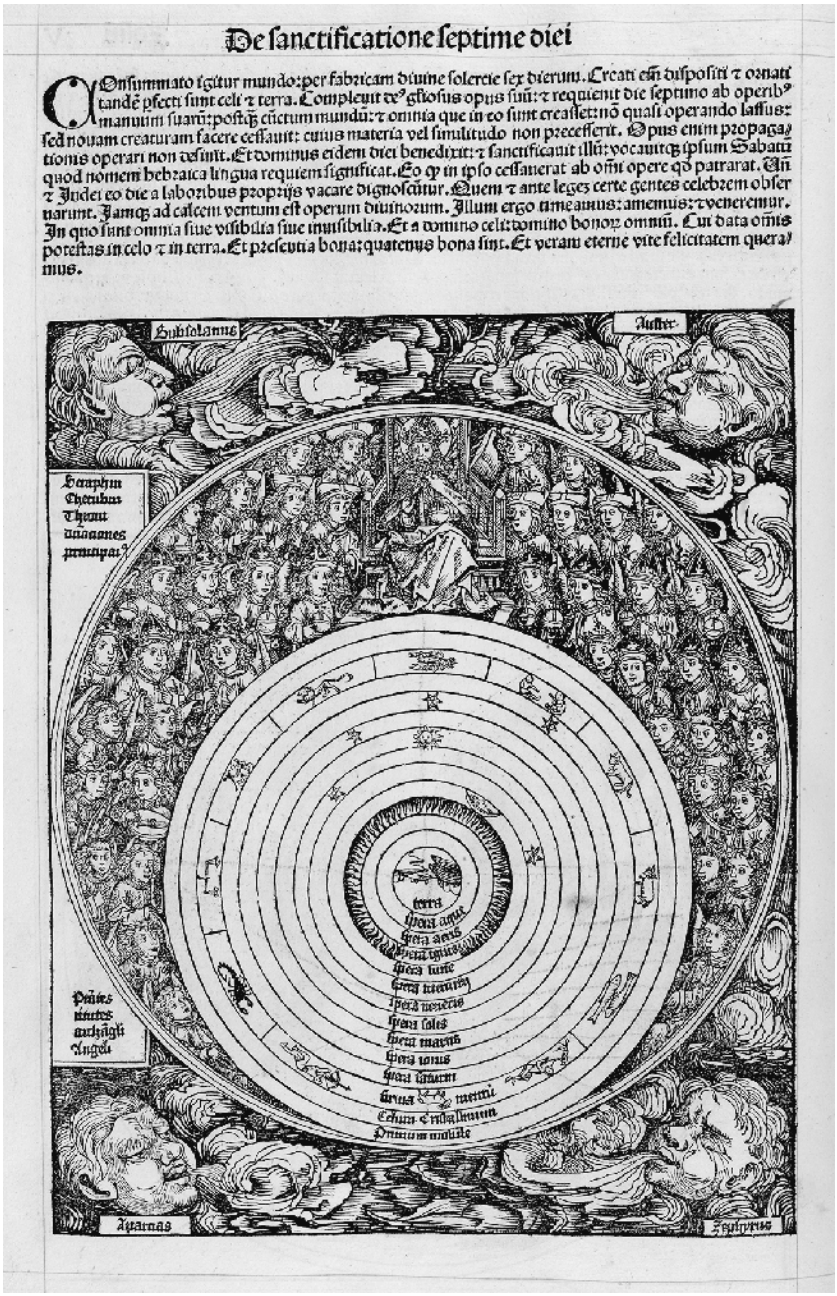
Pendant le siècle qui suivit la traduction en latin du *Traité du ciel* (1170), l'affirmation d'Aristote concernant l'absence d'autres mondes planétaires ne fut pas remise en cause. Les penseurs qui se penchèrent sur cette question, tel le moine franciscain Roger Bacon (1214-1292), se contentèrent de reprendre l'argument aristotélicien de l'impossibilité du vide dans l'espace : s'il existait plusieurs mondes, un vide les séparerait, ce qui est impossible.

ORDRE ET UNITÉ

Le moine dominicain Thomas d'Aquin (1225-1274) entreprit d'accomplir la synthèse des mondes aristotélicien et chrétien. La Terre était toujours au centre de tout. La Lune, le Soleil et les autres planètes tournaient autour de notre planète, incrustés sur des sphères cristallines. Au-delà de la sphère des étoiles existait une sphère supplémentaire introduite par les Arabes, la sphère primaire, également dotée d'un mouvement de rotation constant. Au-delà de la sphère primaire se trouvait le domaine éthéré des feux éternels, appelé « Empyrée », où résidait Dieu.

Comme Aristote, Thomas d'Aquin rejeta le concept d'une pluralité des mondes en invoquant la doctrine du « lieu naturel » : le mouvement de chaque corps est tel qu'il doit nécessairement aller à son endroit naturel « parfait », qui est le même pour tout corps de forme similaire. Il ne pouvait ainsi exister d'autres Terres, car chacune de ces Terres irait naturellement vers la position centrale, qui est celle de notre planète. Mais se posait la question de l'omnipotence de Dieu : son pouvoir absolu ne serait-il pas plus éclatant s'Il avait créé une pluralité de mondes plutôt qu'une Terre unique ?

Pour Thomas d'Aquin, l'omnipotence de Dieu se manifestait dans la perfection de la nature, perfection qui se traduisait par son unité. Un monde unique, constitué de tout ce



Thomas d'Aquin insuffla une dimension spirituelle chrétienne à l'Univers d'Aristote. Dieu était maintenant présent en personne. Il résidait dans l'Empyrée, le domaine des feux éternels, au-delà de la sphère des étoiles, et veillait à la bonne marche de l'Univers avec l'aide d'une armée d'anges.

qui existe, serait parfait, alors qu'une collection de mondes qui ne contiendraient pas chacun toute la matière de l'Univers serait imparfaite. Ainsi, l'omnipotence de Dieu serait plus en accord avec un monde parfait, unique, qu'avec une pluralité de mondes imparfaits.

À bien y réfléchir, en la notion d'unité, Thomas d'Aquin trouve non seulement l'idée de perfection, mais aussi celle d'ordre. Il précise dans sa *Somme théologique* (1267-1273) :

> « Toute chose qui est issue de Dieu est ordonnée l'une par rapport à l'autre, et par rapport à Dieu lui-même… Il s'ensuit que toute chose doit appartenir à un même monde. »

Selon lui, si l'ordre d'un monde unique était rejeté, on se retrouverait inévitablement face au chaos de la pluralité des mondes des atomistes…

Toutefois, la tentative visant à concilier foi et raison menée par Thomas d'Aquin ne rencontra pas l'aval de tous. Pour Étienne Tempier, évêque de Paris au XIII^e^ siècle, ce genre de débats ne faisait que semer le doute dans l'esprit des hommes d'Église quant aux pouvoirs absolus de Dieu. L'Univers de Thomas d'Aquin était fini et limité par l'Empyrée, lieu de séjour de Dieu. Or le Dieu de la religion, omniprésent et infini, résidait en tout lieu. Le confiner en un seul endroit revenait à douter de ses pouvoirs illimités. Si Dieu était infini, pourquoi l'Univers ne serait-il pas lui-même infini, en définitive ?

En 1277, à peine trois ans après la mort de Thomas d'Aquin, pour limiter l'influence trop grande des idées d'Aristote qu'il jugeait néfastes, l'évêque de Paris fit interdire des centaines d'articles de théologie et de philosophie naturelles qui tentaient de concilier les idées aristotéliciennes avec

le dogme chrétien. En particulier, le concept aristotélicien selon lequel « la Cause première » (Dieu) ne pouvait pas créer une pluralité de mondes fut remis en question.

DES MONDES MEILLEURS ?

Ainsi, le recteur de l'université de Paris Jean Buridan (v. 1295-1358) défendit au XIV^e^ siècle l'idée que « si Dieu était à l'origine de notre monde, il avait aussi le pouvoir de créer d'autres mondes »… Ces autres mondes seraient tout simplement gouvernés par des lois physiques différentes. En d'autres termes, l'idée de la pluralité des mondes n'entrerait pas nécessairement en conflit avec la logique aristotélicienne : les mouvements des Terres de ces mondes les amèneront au centre de ces mondes, mais certainement pas au centre de notre Terre.

La possibilité d'autres mondes fut aussi défendue par le philosophe-moine franciscain Guillaume d'Occam (v. 1280-1347). Il le fit en se penchant sur la question : « Dieu aurait-il pu créer un monde meilleur ? » En citant saint Augustin (354-430), qui avait affirmé que Dieu avait le pouvoir de créer un homme parfait qui ne connaîtrait pas le péché, il raisonna qu'un tel homme serait d'une autre espèce. Ce qui impliquerait que Dieu pouvait créer d'autres espèces habitant dans d'autres mondes meilleurs, et appuierait l'hypothèse d'une pluralité des mondes.

Hélas, les idées aristotéliciennes avaient la vie dure. Le décret d'Étienne Tempier fut révoqué en 1325. Néanmoins, grâce à l'interdiction de 1277, la tradition scolastique commença à remettre en question la nécessité absolue d'un monde unique, tout en s'éloignant de plus en plus de la doctrine du lieu naturel d'Aristote. Pendant les XIII^e^ et XIV^e^ siècles, le concept de la pluralité des mondes évolua d'un statut d'impossibilité à celui d'une possibilité, d'abord

théologique puis naturelle, mais sans jamais devenir réalité, faute d'observations bien sûr. Cette évolution témoigne du curieux mélange de la pensée médiévale entre audace et conservatisme et entre raison et foi.

DÉBOULONNÉ DU CENTRE DU MONDE

L'idée aristotélicienne que la Terre occupait la place centrale dans le cosmos commençait aussi à être remise en question. N'était-il pas présomptueux de la part de l'homme de penser qu'il était au centre du monde ? Pourquoi Dieu, qui résidait partout, n'occuperait-il pas aussi cette place centrale ? Au XV^e^ siècle, le cardinal allemand Nicolas de Cues (1401-1464) avança l'argument suivant : puisque Dieu est infini, présent en tout lieu, et centre en tout endroit, tout lieu dans l'Univers doit en être aussi le centre.

Dans son traité *De la docte ignorance*, publié en 1440, il indique ainsi :

> « La fabrique du monde a son centre partout et sa circonférence nulle part [1]. »

Mais, puisque tout est centre, rien n'est centre : l'Univers doit apparaître de façon identique quel que soit le lieu d'où on l'observe. L'idée qu'aucun endroit dans le cosmos n'est spécial, que ses propriétés sont en moyenne les mêmes partout, est connue en cosmologie moderne sous le nom de « principe cosmologique ». Ce principe sera exploité cinq siècles plus tard par Einstein et divers cosmologistes pour bâtir des modèles d'Univers. Il sera confirmé expérimentalement, de manière spectaculaire, à la fin du XX^e^ siècle, par des observations précises du rayonnement fossile qui est issu du Big Bang et baigne tout l'Univers.

---

1. Nicolas de Cues, *De la docte ignorance*, Rivages, 2008.

Nicolas de Cues se posa non seulement en défenseur de l'infinité de l'Univers, mais aussi en champion de la pluralité des mondes : selon lui, tous les objets célestes, le Soleil inclus, étaient composés des mêmes éléments, formidable intuition qui fut confirmée cinq siècles plus tard par l'astrophysique moderne. Le cardinal invoquait le « principe de plénitude » pour expliquer que Dieu ne saurait être limité dans son action et que sa création ne pourrait avoir de limites. Il évoque aussi sans ambiguïté l'idée d'une vie extraterrestre :

> « La vie, telle qu'elle existe ici sur Terre sous la forme d'hommes, d'animaux et de plantes, peut exister sous d'autres formes dans les domaines du soleil et des étoiles [1]. »

La conception selon laquelle les germes de la vie étaient disséminés dans d'innombrables endroits de l'Univers refait son apparition. Elle n'a pas été évoquée depuis la période grecque : au III^e^ siècle avant notre ère par Épicure, et au I^er^ siècle avant notre ère par Lucrèce.

Non seulement la position centrale de la Terre était remise en question, mais la conception aristotélicienne de son immobilité battait de l'aile. N'était-il pas sacrilège de penser que Dieu, avec ses pouvoirs illimités, était incapable d'extirper notre planète de son immobilité et de la faire bouger ? De Cues avait de plus connaissance de l'idée de l'évêque de Lisieux Nicole Oresme (v. 1320-1382), qui avait très justement remarqué que tout mouvement est relatif. Les mouvements des astres dans la voûte céleste pouvaient être aussi bien le résultat d'une rotation des objets célestes autour d'une Terre fixe que d'une rotation de la Terre sur elle-même par rapport à des objets célestes immobiles. Et si c'était la Terre qui était en mouvement, finalement, et non les étoiles ?

1. *Ibid.*

RENAISSANCES

COPERNIC FAIT LA RÉVOLUTION

Malgré ces attaques contre l'Univers géocentrique aristotélicien, celui-ci continuait à régner en maître, faute d'un meilleur modèle. Les épicycles s'ajoutaient aux épicycles pour rendre compte des observations de plus en plus précises des mouvements des planètes. L'édifice ptoléméen s'éloignait chaque jour davantage de l'harmonie simple des sphères tant prisée par Pythagore.

Il revient à un autre homme d'Église, le chanoine polonais Nicolas Copernic (1473-1543), de donner le coup de grâce à l'Univers géocentrique au XVI^e^ siècle. Dans son ouvrage *Des révolutions des sphères célestes*, publié en 1543 (la légende dit qu'il n'en vit un exemplaire que sur son lit de mort, si bien que l'Inquisition ne pouvait plus rien contre lui), Copernic déloge en effet la Terre de sa place centrale, la reléguant au rang d'une simple planète.

Le chanoine s'est fait le champion du système héliocentrique, car celui-ci explique les mouvements planétaires de manière beaucoup plus simple et élégante que le système géocentrique. Pour Copernic, la simplicité et la beauté d'une théorie scientifique sont souvent synonymes de vérité. Ce faisant, il déclenche une véritable révolution psychologique et intellectuelle, dont nous ressentons encore les effets à ce jour.

Dans l'Univers copernicien, le centre du Système solaire n'est plus la Terre, mais le Soleil. Copernic était également au courant de l'argument de Nicole Oresme, selon lequel tout mouvement est relatif. Il fit perdre son immobilité à la Terre, et celle-ci se mit à tourner autour du Soleil, de façon

que « tous les mouvements apparents que l'on constate au firmament sont dus au mouvement de la Terre et non du firmament ».

Pourtant, même Copernic ne put faire table rase de tous les concepts aristotéliciens. Les idées qui avaient prévalu pendant quelque deux millénaires avaient la vie dure. Dans l'Univers copernicien, les planètes demeuraient sur des sphères cristallines, et leurs orbites conservaient une parfaite circularité, tandis que leurs mouvements étaient strictement uniformes. Mais, puisque les mouvements réels des planètes ne sont ni circulaires ni uniformes, Copernic devait tout de même faire appel à des épicycles pour expliquer les mouvements planétaires.

L'INFINITÉ DE MONDES HABITÉS DE BRUNO

L'Univers copernicien restait fini, limité par la sphère extérieure des étoiles. En 1576, l'astronome anglais Thomas Digges (1546-1595) fit éclater les frontières du cosmos en éliminant cette sphère extérieure. Les étoiles étaient désormais disséminées dans l'espace illimité de l'Empyrée, lieu de résidence de Dieu. Bref, l'Univers devenait infini. Le moine dominicain [1] italien Giordano Bruno (1548-1600), fervent partisan de l'Univers copernicien héliocentrique et infini, alla encore plus loin. Il peupla cet Univers d'une infinité de mondes, habités par une infinité de formes de vie, qui toutes célébraient la gloire de Dieu. Il l'exprima ainsi dans son ouvrage *L'Infini, l'Univers et les mondes* :

> « Il existe un nombre infini de mondes à la fois semblables et différents du nôtre […] Nous devons penser que tous ces mondes hébergent des créatures vivantes,

1. Giordano quitta l'ordre dominicain en 1576, après avoir été accusé d'hérésie, car il ne croyait pas en la divinité du Christ.

> des plantes et d'autres entités que nous voyons dans ce monde. »

Bruno se servit d'arguments à la fois physiques et métaphysiques pour défendre son modèle cosmologique face à celui d'Aristote. Il invoqua à la fois le principe de l'unité de l'Univers et celui de la plénitude de la nature pour argumenter en faveur de la pluralité des mondes : la grandeur du pouvoir divin et la perfection de la nature ne pouvaient que mener nécessairement à un nombre infini de mondes et de formes de vie.

Le dominicain était conscient que l'existence de ces êtres extraterrestres soulèverait des questions théologiques épineuses vis-à-vis de la religion chrétienne. La présence d'autres mondes aurait de graves implications pour certaines doctrines de l'Église telles la Rédemption, l'Incarnation et la relation unique entre l'homme et son Créateur. Selon la doctrine chrétienne, nous aurions hérité le « péché originel » de nos ancêtres Adam et Ève. Une race extraterrestre qui se serait développée indépendamment sur une autre planète n'aurait pas eu cet héritage : serait-elle alors dépourvue de péché originel ?

De plus, Dieu a envoyé son fils Jésus-Christ sur Terre pour sauver l'humanité. Existerait-il une multitude de Jésus-Christ extraterrestres visitant chaque planète qui hébergerait la vie, afin de sauver les vivants qui s'y seraient développés ? Des questions qui paraissent absurdes *a priori*, mais auxquelles les théologiens devraient apporter une réponse aujourd'hui, si, un jour, nous entrions en contact avec des extraterrestres.

À cause de ses spéculations sur la plénitude des mondes, mais surtout de son déni de la divinité du Christ, Giordano Bruno fut accusé d'hérésie par l'Inquisition et condamné par l'Église à mourir sur le bûcher en l'an 1600. Sa statue se

Jordano Bruno, brûlé vif à Rome pour avoir proclamé la doctrine de la Pluralité des Mondes.

Giordano Bruno fit éclater les frontières de l'Univers fini d'Aristote en proposant un univers infini contenant une infinité de mondes, peuplés par une infinité de formes de vie. Il paya de sa vie cette hantise de l'infini.

dresse aujourd'hui à l'endroit où le philosophe a été brûlé, sur la place des Fleurs (Campo de' Fiori), en plein cœur de Rome.

LA SUPERNOVA DE TYCHO BRAHE

L'Univers copernicien a asséné un coup sévère à la psyché de l'homme, en le délogeant de sa place centrale dans le cosmos. Il a aussi remis en cause des concepts aristotéliciens qui avaient prévalu pendant deux millénaires Ainsi, Aristote pensait que la Terre et le ciel étaient gouvernés par des lois physiques différentes. La Terre et la Lune appartenaient au monde imparfait de l'homme, de l'impermanence, de la déchéance et de la mort. À l'inverse, le ciel, domaine des dieux, était parfait, éternel et immuable. Or, dans le modèle copernicien, la Terre, au lieu d'être dans la zone sublunaire changeante et éphémère, était devenue une haute sphère, comme les autres planètes. Cela signifiait-il que les cieux n'étaient pas aussi parfaits que le philosophe grec le pensait ?

Les observations de l'astronome danois Tycho Brahe (1546-1601), considéré comme le père de l'astronomie observationnelle moderne, enfoncèrent le clou encore plus profondément. Brahe découvrit en effet en 1572, dans la direction de la constellation de Cassiopée, une nouvelle étoile [1], qui donna le titre de son essai publié l'année suivante, *De nova stella*. Il put démontrer que cet astre était beaucoup plus éloigné que les sphères planétaires, car, au contraire des planètes, sa position n'évoluait pas par rapport aux étoiles lointaines. Autrement dit, les cieux avaient changé, et l'immuabilité aristotélicienne était mise à mal.

1. Nous savons aujourd'hui que cette nouvelle étoile n'est autre qu'une supernova, résultant de la déflagration thermonucléaire d'une naine blanche.

LA DÉMOLITION DES CONCEPTS ARISTOTÉLICIENS

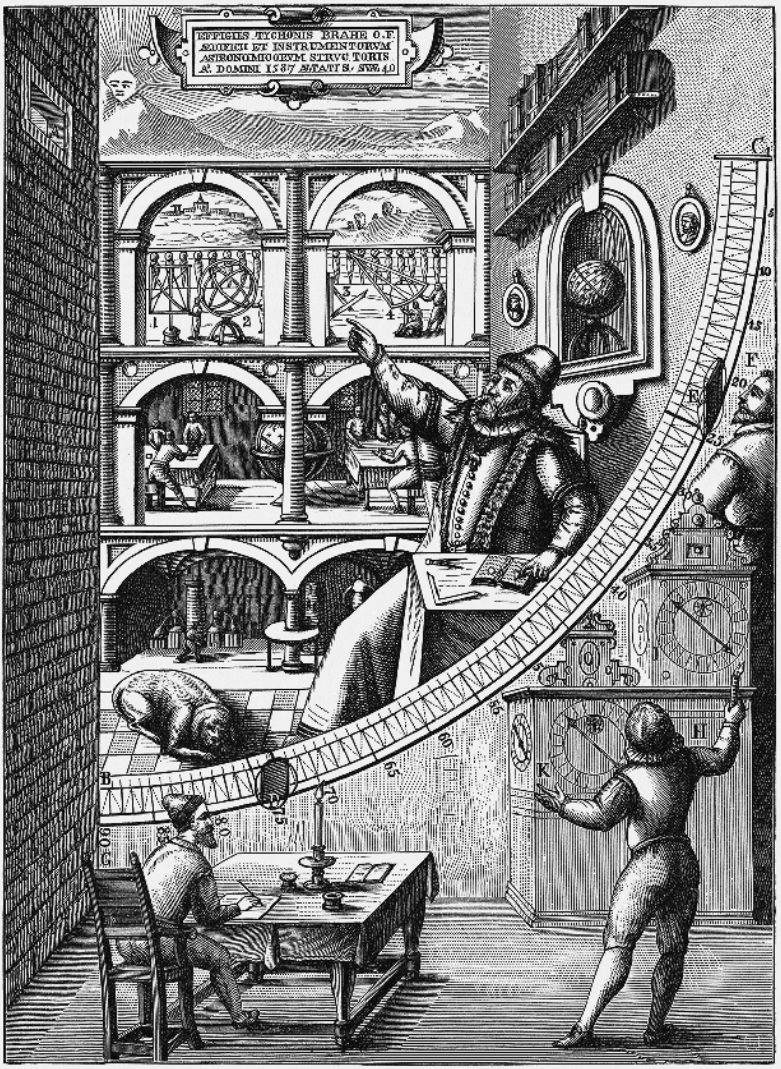
Tycho Brahe ne s'arrêta pas en si bon chemin : ses observations de la grande comète de 1577 démontrèrent de nouveau que le ciel ne pouvait être immuable. Jusqu'ici, les comètes étaient considérées comme des phénomènes atmosphériques terrestres [1]. Le Danois prouva que cela ne pouvait être le cas : la comète changeait de position par rapport aux étoiles lointaines, ce qui la plaçait plus près de la Terre que la supernova de Cassiopée.

Or ce mouvement était tellement réduit par rapport à celui de la Lune que la comète devait être plus éloignée que notre satellite. Ce qui plaçait la comète quelque part dans la zone des sphères planétaires. Avec l'apparition de la nouvelle comète, le ciel s'était modifié, et un nouveau coup de butoir fut asséné à l'immuabilité aristotélicienne.

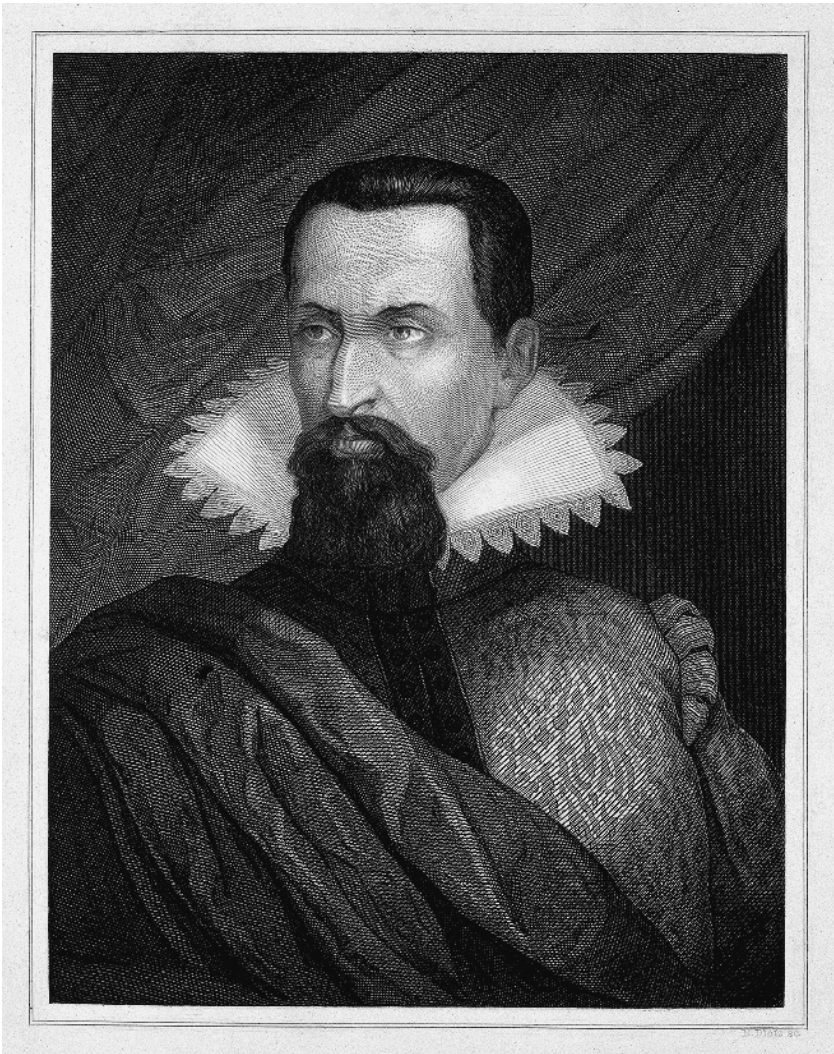
Pis, Brahe parvint à établir que l'orbite de la comète n'était pas circulaire avec le Soleil au centre, mais elliptique. Cela indiquait que son mouvement devrait nécessairement l'amener à traverser les parois des sphères solides cristallines, sur lesquelles les planètes étaient censées être incrustées, ce qui aurait été absurde. L'astronome en conclut que les sphères cristallines n'existaient que dans l'imagination des hommes ! Ces observations d'une orbite elliptique de la comète remettaient aussi en cause la perfection des mouvements célestes (des mouvements uniformes sur des orbites circulaires) tant prisée par Aristote.

---

1. Les comètes sont des astéroïdes couverts de glace qui viennent de régions, situées au-delà du Système solaire, appelées la « ceinture de Kuiper » et le « nuage de comètes de Oort ». Quand ces comètes s'approchent du Soleil, la chaleur de notre astre fait s'évaporer la glace, créant les longues queues de centaines de millions de kilomètres qui font la gloire des comètes.



Tycho Brahe dans son observatoire d'Uraniborg, sur l'île de Hven, au large du Danemark. Il poussa la précision des observations astronomiques au plus haut point, autant qu'il était possible avant l'invention de la lunette, en construisant d'énormes instruments pour mieux lire les mesures (comme le quadrant mural ici représenté). Il est à l'origine des observations des positions des planètes les plus précises de son temps, accumulées nuit après nuit pendant une vingtaine d'années. C'est ce trésor inestimable qui permit à son assistant Johannes Kepler de déchiffrer les mouvements planétaires.



Johannes Kepler est, dans l'histoire des sciences, un personnage intermédiaire entre Copernic et Newton. Se fondant sur les observations des mouvements planétaires de Tycho Brahe et reprenant l'idée fondamentale de Copernic – le Soleil occupe la place centrale du Système solaire –, il construit un modèle mathématique du monde sur lequel Newton bâtira sa théorie de la gravitation.

KEPLER ET LA FIN DE LA PERFECTION

Le prochain personnage à entrer en scène est l'astronome-mathématicien allemand Johannes Kepler (1571-1630). En exploitant le trésor d'observations des mouvements planétaires que Tycho Brahe lui avait laissé, et que celui-ci avait amassé à l'œil nu (le télescope n'était pas encore inventé) pendant une vingtaine d'années dans son observatoire au Danemark, Kepler envoya définitivement aux oubliettes de l'histoire des sciences l'idée aristotélicienne de la perfection des mouvements célestes. Il leur donna pour la première fois la forme mathématique qu'on leur connaît aujourd'hui et qu'on utilise toujours pour, par exemple, acheminer des hommes vers la Lune.

Kepler démontra en effet que les orbites des planètes ne sont pas circulaires mais elliptiques, avec le Soleil non pas au centre, mais à l'un des foyers de l'ellipse. Les planètes ne se déplacent pas d'un mouvement uniforme, mais accélèrent dans leurs orbites en s'approchant du Soleil et décélèrent en s'en éloignant. Mieux : Kepler établit une relation mathématique précise décrivant comment les planètes plus éloignées se déplacent moins vite que les planètes plus proches.

L'AUDACE GALILÉENNE

IMPERFECTIONS

Contemporain de Kepler, l'Italien Galilée (1564-1642) fut le premier à braquer une lunette vers le ciel, en l'an 1609. Il découvrit une multitude de phénomènes inédits, qui apportaient de l'eau au moulin du modèle héliocentrique copernicien, tout en mettant à mal la description aristotélicienne des cieux. Il annonça ses découvertes dans un petit ouvrage, *La*

Messager céleste, publié en 1610, qui révolutionna l'astronomie. Il y décrivit des cratères et des montagnes sur la Lune, ainsi que des taches sombres à la surface du Soleil[1]. Du jamais vu : des imperfections dans le ciel, qui ne cadraient aucunement avec l'idée de la perfection des cieux d'Aristote !

D'autres découvertes allaient dans le sens de l'Univers héliocentrique de Copernic, mais pas dans celui de l'Univers géocentrique d'Aristote. Ainsi, la planète Vénus montrait des phases, allant de la nouvelle à la pleine Vénus, phénomène dû à l'éclairage changeant du Soleil sur la planète. Cela ne pouvait s'expliquer que si Vénus était en orbite autour du Soleil, et non autour de la Terre. Galilée découvrit aussi les quatre plus grosses lunes de Jupiter, appelées aujourd'hui « lunes galiléennes[2] » en son honneur. L'existence de ces satellites naturels invalidait l'idée que la Terre était au centre du monde, et que tout tournait autour d'elle. D'innombrables étoiles de la Voie lactée se dévoilèrent à l'Italien. Ces observations modifièrent profondément la vision de l'homme en ce qui concerne la pluralité des mondes, et en particulier celle de Kepler.

Bien que Kepler favorisât un Univers fini[3] et non celui infini de Giordano Bruno, les descriptions proposées par Galilée de ses observations lunaires, des planètes et des étoiles avec sa lunette astronomique exercèrent une profonde impression sur lui. Elles lui firent comprendre que la Terre n'était pas unique ; que les objets célestes, et en particulier la

1. Ces « taches solaires » apparaissent sombres car leurs températures sont inférieures d'environ 2 000 kelvins par rapport à la température de la surface solaire, qui est de 5 800 kelvins (autour de 5525°C).
2. Les lunes galiléennes sont, en ordre croissant de distance de Jupiter : Io, Europe, Ganymède et Callisto.
3. Kepler rejette l'idée d'un Univers infini, car la nuit est noire. Selon sa conception, un Univers infini contiendrait une infinité d'étoiles aussi brillantes que le Soleil. Si tel était le cas, le ciel nocturne devait être aussi brillant que le jour. Or ce n'est pas le cas. L'Univers est donc fini.