

JEAN-PIERRE **LUMINET**

**TEXT O**

# **L'Univers** *en 100 questions*





# L'UNIVERS EN 100 QUESTIONS

## DU MÊME AUTEUR

- Les Trous noirs*, Belfond, 1987 ; « Points Sciences », 1992 et 2017.
- La Physique et l'Infini*, avec Marc Lachièze-Rey, Flammarion, 1994.
- Figures du ciel*, avec Marc Lachièze-Rey, BNF/Seuil, 1998.
- Éclipses. Les rendez-vous célestes*, avec Serge Brunier, Bordas, 1999.
- L'Univers chiffonné*, Fayard, 2001 ; « Folio Essais », 2005.
- Le Feu du ciel. Météores et astéroïdes tueurs*, Le Cherche Midi, 2002 ; « Points Sciences », 2005.
- L'Invention du Big Bang*, Seuil, 2004 ; « Points Sciences », 2014.
- De l'infini...*, avec Marc Lachièze-Rey, Dunod, 2005 et 2016 ; « Points Sciences », 2009 ; « Ekho », 2019.
- Astéroïde*, Seuil, « Points Sciences », 2005.
- Le Destin de l'univers*, Fayard, 2006 ; « Folio Essais », 2 tomes, 2010.
- Bonnes nouvelles des étoiles*, avec Éliisa Brune, Odile Jacob, 2009 ; « Poches Sciences », 2011.
- Illuminations. Cosmos et esthétique*, Odile Jacob, 2011.
- Astéroïdes : la Terre en danger*, Le Cherche Midi, 2012.
- Dialogues sous le ciel étoilé*, avec Iolande Cadrin-Rossignol et Hubert Reeves, Robert Laffont, 2016.

JEAN-PIERRE LUMINET

L'UNIVERS  
EN 100 QUESTIONS

TEXTO

Texto est une collection des éditions Tallandier

1<sup>re</sup> édition : Éditions la Boétie, 2014.

© Éditions Tallandier, 2015 et 2019 pour la présente édition  
48, rue du Faubourg-Montmartre – 75009 Paris  
[www.tallandier.com](http://www.tallandier.com)

ISBN : 979-10-210-4044-1

À Nina, quand elle aura 12 ans...





# Astronomes, lumières et télescopes



## Qui sont les grands découvreurs de l'histoire de l'astronomie ?

L'astronomie a ses racines au Moyen-Orient. Quarante siècles avant J.-C., les Babyloniens ont noté les heures des levers et des couchers de la Lune et du Soleil, regroupé les étoiles en constellations et commencé à comprendre comment fonctionnait le ciel. Ayant observé que les cinq planètes visibles à l'œil nu se déplaçaient sur le fond lointain des étoiles, ils les ont nommées « astres errants ».

Les astronomes chinois ont réussi à rassembler et à conserver le plus grand nombre d'observations. Pendant 4 000 ans, ils n'ont cessé de relever dans leurs moindres détails les conjonctions planétaires et les mouvements célestes. Ils ont établi un calendrier précis et des cartes stellaires, répertorié pour la première fois les éclipses de Soleil, les étoiles nouvelles et les apparitions de comètes.

Au troisième millénaire avant notre ère, au temps des pyramides, les Égyptiens ont créé notre calendrier solaire de 365 jours, la division de l'année en 12 mois et celle du jour en 24 heures.

L'histoire de l'astronomie se poursuit dans la Grèce antique. Aristote et la plupart des philosophes de l'époque croyaient que le ciel tout entier tournait autour de la Terre, laquelle était supposée être fixe et parfaitement immobile au centre de l'Univers. Au III<sup>e</sup> siècle avant notre ère, Aristarque de Samos affirma au contraire que la Terre tournait non seulement sur elle-même mais aussi autour du Soleil, des idées irrecevables pour l'époque. Un autre Grec, Hipparque, a dressé le premier catalogue d'étoiles du monde occidental, découvert la précession des équinoxes et inventé l'astrolabe, tandis qu'à Alexandrie, Ératosthène a calculé correctement la circonférence de la Terre.

Au II<sup>e</sup> siècle, Claude Ptolémée a tenté d'expliquer les mouvements complexes des planètes dans le ciel par la théorie mathématique des épicycles : selon lui, en tournant autour de la Terre, les planètes effectuaient en plus de petits cercles sur leurs orbites. La réputation de Ptolémée était telle que cette erreur persista longtemps après le déclin de la Grèce.

Au cours des siècles qui suivirent, le flambeau de la science grecque fut repris par les astronomes arabes tandis qu'en Occident, la chrétienté avait rejeté tout le savoir antique. Il fallut attendre le Polonais Nicolas Copernic, au XVI<sup>e</sup> siècle, pour que ressurgisse l'hypothèse héliocentrique selon laquelle la Terre tourne autour du Soleil en un an en même temps que sur elle-même en 24 heures. Mais il était encore trop tôt pour que cela soit accepté.

Quelques décennies après la mort de Nicolas Copernic, l'astronome danois Tycho Brahé a accumulé des observations précises sur le mouvement des planètes,

classé un millier d'étoiles et construit le premier grand observatoire européen sur une île du Danemark. Au début du XVII<sup>e</sup> siècle, la précision des observations de Tycho Brahé a permis au génial Johannes Kepler de comprendre que les planètes tournaient autour du Soleil en suivant des ellipses. Il a découvert les trois lois régissant leur mouvement et posé les bases de l'optique.

En 1609, Galilée a utilisé pour la première fois une lunette astronomique pour observer le ciel. Il a découvert le relief de la Lune, les phases de Vénus, les satellites de Jupiter et un grand nombre d'étoiles invisibles à l'œil nu – autant de choses qui n'étaient pas explicables par l'astronomie de Ptolémée. Galilée se prononça en faveur du système copernicien, mais en 1633, il dut se rétracter devant le tribunal de l'Inquisition.

Il fallut encore cinquante ans pour qu'un autre génie de l'histoire des sciences, l'Anglais Isaac Newton, découvre en 1687 la loi d'attraction universelle – une force de gravité qui attire entre eux tous les corps massifs. Il expliquait ainsi les lois de Johannes Kepler sur les mouvements planétaires et participait à la naissance de l'astronomie moderne. Isaac Newton a également compris que la lumière du Soleil, passant à travers un prisme, se décomposait en couleurs, celles de l'arc-en-ciel, et il a construit le premier télescope à réflexion en utilisant non plus des lentilles comme Galilée, mais des miroirs pour collecter et focaliser la lumière.

Deux découvertes fondamentales ont marqué la fin du XIX<sup>e</sup> siècle : la spectroscopie, où l'analyse de la lumière des astres permet d'en révéler leur composition chimique, et la photographie, qui permet de répertorier systématiquement un grand nombre d'objets célestes.

Au début du xx<sup>e</sup> siècle, une nouvelle théorie de la gravitation encore plus complète que celle d'Isaac Newton a vu le jour : la relativité générale d'Albert Einstein. Non seulement elle rend mieux compte des détails les plus fins du Système solaire, mais elle prédit également de nouveaux phénomènes qui seront tous découverts ultérieurement, comme les ondes gravitationnelles, les trous noirs et le Big Bang.

En parallèle, les premiers télescopes géants sont entrés en fonctionnement en Californie. Grâce à eux, les astronomes américains – parmi lesquels Edwin Hubble – ont prouvé la nature extragalactique des nébuleuses spirales et découvert leur décalage spectral vers le rouge, sans toutefois pouvoir leur donner de justification physique. C'est le Belge Georges Lemaître qui, en 1927, a compris que le phénomène était dû à l'expansion de l'Univers. En 1931, il a posé les bases de la cosmologie moderne et de ses fameux modèles du Big Bang.

Aujourd'hui, la recherche est devenue essentiellement collective, de sorte que l'histoire future ne retiendra probablement pas de noms de savants au même titre qu'un Copernic, un Kepler, un Newton ou un Einstein.

## Quels moyens avons-nous pour comprendre l'Univers ?

Les sciences de l'univers disposent de quatre grands types de moyens : l'acquisition de données, l'instrumentation, la modélisation et la théorisation. L'acquisition de données consiste à collecter le plus d'informations possibles en construisant, au sol ou dans l'espace, des télescopes et autres détecteurs sensibles aux signaux du cosmos. On capte les ondes électromagnétiques, visibles ou non, mais aussi d'autres vecteurs d'information plus ténus, comme les neutrinos, les rayons cosmiques, et bientôt les ondes gravitationnelles. Contrairement à la physique de laboratoire, il est impossible d'agir directement sur les systèmes qu'on étudie ; on se borne à détecter les rayonnements à distance, à l'exception notable de l'exploration du Système solaire, où les sondes spatiales se rendent *in situ*, voire ramènent sur notre planète des échantillons de matière extraterrestre.

Les performances dans l'acquisition de données sont conditionnées par les progrès techniques des appareils de détection. Le développement instrumental constitue

donc une branche à part entière de l'astrophysique. Il faut mettre au point des détecteurs de plus en plus sophistiqués. Les sondes d'exploration du Système solaire, les télescopes au sol à optique adaptative, les télescopes spatiaux, les interféromètres, les détecteurs de neutrinos ou d'ondes gravitationnelles ouvrent de nouvelles fenêtres sur l'Univers et font progresser l'astrophysique à pas de géant.

Ces deux activités capitales que sont l'observation et l'instrumentation ne suffisent nullement à faire de l'astrophysique. On peut développer les instruments les plus performants et accumuler des téraoctets de données, mais que signifient tous ces chiffres ? Pour les interpréter, il faut un modèle, c'est-à-dire un ensemble de concepts et de règles qui décrivent les mécanismes à l'œuvre dans les phénomènes observés. La modélisation astrophysique fait appel à toutes les théories de la physique. Celles-ci permettent d'interpréter une grande part de ce qu'on observe dans le ciel, comme l'organisation des systèmes planétaires, le fonctionnement des étoiles, l'évolution chimique des galaxies, etc. Pour comprendre par exemple comment fonctionne le Soleil, pratiquement tous les domaines de la physique entrent en jeu simultanément. C'est d'ailleurs pour cela qu'il a fallu attendre si longtemps (les années 1920, avec le progrès décisif de la physique nucléaire) pour commencer à comprendre pourquoi le Soleil brille.

À la base de tout cela, il y a le cadre théorique lui-même. Aujourd'hui, celui de la physique est solide ; il repose sur les concepts fondamentaux d'espace, de temps et de matière, décrits par la relativité et la mécanique quantique. Mais les concepts fondamentaux ne



sont jamais définitifs, comme le montre toute l'histoire des sciences. Il faut donc continuer à s'interroger sur la nature de l'espace, du temps, de la matière, la lumière, l'énergie, le vide, les forces fondamentales. On ne cherche plus, en l'occurrence, à faire fonctionner un modèle avec de nouvelles données, on remet en cause les piliers mêmes sur lesquels repose tout l'édifice des théories physiques.

Les quatre domaines réunis – acquisition, instrumentation, modélisation, théorisation – constituent les champs d'activité de la recherche en sciences de l'Univers. Aujourd'hui, le degré de spécialisation est tel qu'aucun chercheur ne travaille dans les quatre domaines à la fois, ni même dans trois d'entre eux. Certains ont des activités dans deux domaines, comme modélisation et théorisation, ou instrumentation et acquisition de données. À titre d'exemple, sur les huit cents astrophysiciens français, un tiers travaille dans l'acquisition de données, un tiers dans l'instrumentation et un tiers dans la modélisation. Les théoriciens « purs » se comptent sur les doigts de la main, ou bien ne sont pas directement rattachés à la discipline astrophysique, œuvrant plutôt dans la catégorie « physique fondamentale ». Il n'en reste pas moins que les quatre activités sont inextricablement liées puisqu'elles concourent à élucider une seule et même énigme, « celle du cosmos dans toute sa stupeur », comme l'écrivait le poète Jules Laforgue.



## Y a-t-il plusieurs formes de lumière ?

La lumière visible, dite aussi optique, se trouve dans une gamme de longueurs d'onde que nos yeux peuvent voir. Elle se décompose en sept couleurs, celles de l'arc-en-ciel, le violet ayant la plus petite longueur d'onde (390 nanomètres) et le rouge, la plus grande (780 nanomètres).

Mais la lumière optique n'est qu'une infime partie de l'ensemble des ondes électromagnétiques, étalées en fonction de leur énergie, leur longueur d'onde ou leur fréquence dans ce qu'on appelle le « spectre électromagnétique ». Ce dernier rassemble tous les rayonnements de même nature que la lumière visible, c'est-à-dire portés par des photons, mais de longueurs d'onde différentes. Depuis les moins énergétiques (grandes longueurs d'onde, basses fréquences) jusqu'aux plus énergétiques (courtes longueurs d'onde, hautes fréquences), on trouve les types de rayonnements suivants : radio – micro-ondes – infrarouge – lumière visible – ultraviolet – rayons X – rayons gamma.

L'être humain est ainsi fait que son œil – de même d'ailleurs que les plaques photographiques usuelles –

n'est sensible qu'à une portion extrêmement réduite du spectre électromagnétique. Or, les objets célestes n'émettent pas seulement de la lumière visible, mais un rayonnement réparti sur plusieurs gammes de longueurs d'onde. Par exemple, l'infrarouge révèle les nuages froids de gaz et de poussières ; le rayonnement ultraviolet localise les jeunes étoiles chaudes ; les rayons X et gamma, les plus énergétiques de tout le spectre, manifestent les plus violentes explosions de l'Univers.

Tout cela était resté parfaitement inconnu jusqu'à la découverte de l'électromagnétisme à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Pour l'astronomie, le progrès technique majeur du XX<sup>e</sup> siècle aura donc été d'ouvrir l'accès à toutes les formes de lumière, et non plus seulement à la minuscule fenêtre visible – laquelle ne révèle qu'un aspect très partiel du paysage cosmique. À l'heure actuelle, 90 % de l'information recueillie sur le ciel provient des « télescopes de l'invisible ». Précisons que seuls la lumière optique, les ondes radio et le proche infrarouge peuvent traverser l'atmosphère terrestre et atteindre le sol. Le reste, c'est-à-dire l'essentiel du spectre électromagnétique, est bloqué par la diffusion atmosphérique et ne peut être détecté que depuis l'espace. Pour explorer ces fenêtres-là, il faut utiliser des détecteurs embarqués sur des fusées ou des satellites.