

50

CLÉS POUR COMPRENDRE L'
ASTRONOMIE

JOANNE
BAKER

Traduit de l'anglais par Julien Bambaggi

DUNOD

Table des matières

Introduction 3

01 Les planètes	4
02 Héliocentrisme	8
03 Les lois de Kepler	12
04 La gravitation de Newton	16
05 L'optique de Newton	20
06 Lunette et télescope	24
07 Raies de Fraunhofer	28
08 L'effet Doppler	32
09 Parallaxe	36
10 Le Grand Débat	40
11 Le paradoxe d'Olbers	44
12 La loi de Hubble	48
13 Échelle des distances cosmiques	52
14 Le Big Bang	56
15 Fond diffus cosmologique	60
16 Big Bang et nucléosynthèse	64
17 Antimatière	68
18 Matière noire	72
19 L'inflation cosmique	76
20 La constante cosmologique	80
21 Le principe de Mach	84
22 La Relativité restreinte	88
23 La Relativité générale	92
24 Trous noirs	96
25 Astrophysique des particules	100
26 La « particule de Dieu »	104

27 La théorie des cordes	108
28 Le principe anthropique	112
29 La séquence de Hubble	116
30 Amas galactiques	120
31 Structure à grande échelle	124
32 Radioastronomie	128
33 Quasars	132
34 Fond cosmique de rayons X	136
35 Trous noirs supermassifs	140
36 Évolution galactique	144
37 Lentilles gravitationnelles	148
38 Classer les étoiles	152
39 Évolution stellaire	156
40 Naissances d'étoiles	160
41 Morts d'étoiles	164
42 Pulsars	168
43 Susauts gamma	172
44 Variabilité	176
45 Le Soleil	180
46 Exoplanètes	184
47 Formation du système solaire	188
48 Lunes	192
49 Exobiologie	196
50 Le paradoxe de Fermi	200

Glossaire 204

Index 206

Introduction

L'astronomie est l'une des sciences les plus anciennes et les plus profondes. Depuis la traque du mouvement du Soleil et des étoiles par nos ancêtres, les connaissances que nous avons acquises ont radicalement modifié la perception de la place de l'Homme dans l'Univers. Chaque avancée a eu des répercussions sociales. Au ^{xviii} siècle, Galilée fut arrêté pour avoir affirmé que la Terre tournait autour du Soleil. Les preuves du fait que notre système solaire est éloigné du centre de la Voie lactée ont provoqué pareils sursauts d'incrédulité. Et Edwin Hubble, dans les années 1920, a clos le débat en découvrant que la Voie lactée n'est qu'une des milliards de galaxies dispersées dans un vaste univers en expansion, vieux de 14 milliards d'années.

Au cours du ^{xx} siècle, les techniques ont accéléré le rythme des découvertes. Le siècle débuta avec des avancées dans notre connaissance des étoiles et de la fusion nucléaire dont elles sont le siège, parallèlement à nos découvertes sur l'énergie nucléaire et le rayonnement et à la construction de la bombe atomique. Pendant la Deuxième Guerre mondiale et les années qui ont suivi, il y eut le développement de la radioastronomie, l'identification des pulsars, des quasars et des trous noirs. De nouvelles fenêtres sur l'Univers s'ouvrirent d'un coup, depuis le rayonnement micro-onde du fond diffus cosmologique jusqu'aux rayons X et gamma, chaque bande de fréquences étudiée apportant ses propres découvertes.

Ce livre est un voyage dans le monde de l'astronomie et de l'astrophysique à partir des perspectives ouvertes par la recherche moderne. Les premières sections décrivent les grands sauts dans notre connaissance des échelles de l'Univers, cependant qu'ils introduisent les bases, depuis la gravité jusqu'au fonctionnement des lunettes et télescopes. Le groupe suivant de sections s'interroge sur ce que nous avons appris en cosmologie, l'étude de l'Univers comme un tout : ses différentes parties, son histoire et son évolution. On introduit ensuite les aspects théoriques de notre approche de l'Univers, entre autres la Relativité, les trous noirs et les multivers. Les dernières sections regardent en détail ce que nous savons des galaxies, des étoiles et du système solaire, depuis les quasars et l'évolution des galaxies jusqu'aux exoplanètes et à l'astrobiologie. Le rythme des découvertes reste rapide : peut-être les prochaines décennies nous verront-elles témoins du prochain renversement de paradigme – la découverte de la vie en dehors de la Terre.

01 Les planètes

Combien de planètes compte le système solaire ? Il y a quelques années, chacun pouvait facilement répondre : neuf. Ce n'est plus si simple ! Les astronomes ont tout chamboulé en découvrant dans la froideur glacée des confins du système solaire des corps rocheux soutenant la comparaison avec Pluton ainsi que des centaines de planètes tournant autour d'étoiles lointaines. Contraints d'en redéfinir le concept, ils préconisent désormais de décompter dans notre système solaire huit planètes dignes de ce nom et quelques planètes naines comme Pluton.

Les planètes – nous le savons depuis la Préhistoire – sont différentes des étoiles. Leur nom vient du Grec « errant » : elles se déplacent dans le ciel nocturne tandis que les étoiles en forment l'immuable toile de fond. Nuit après nuit, les étoiles constituent les mêmes motifs : leurs constellations tournent ensemble lentement autour des pôles Nord et Sud, chaque étoile gravant son cercle dans le firmament. Mais les positions des planètes par rapport aux étoiles se déplacent légèrement chaque jour, poursuivant à travers ciel une trajectoire inclinée dans un plan appelé écliptique. Tandis que les planètes tournent autour du Soleil, leur mouvement se fait dans le même plan dont la projection dans le ciel forme un trait.

Les principales planètes autres que la Terre sont connues depuis des millénaires : Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne. On peut facilement les voir à l'œil nu. Elles occultent souvent les étoiles voisines et leurs mouvements contraires leur confèrent un statut mythique, encore grandi par l'arrivée des télescopes au XVIII^e siècle : Saturne est entourée d'élégants anneaux, Jupiter s'enorgueillit d'une ribambelle de lunes tandis que la surface de Mars est striée de canaux sombres.

La planète X Ces certitudes célestes ont été bousculées par la découverte, en 1781, de la planète Uranus par l'astronome britannique William Herschel. Plus pâle et se déplaçant plus lentement que les autres planètes connues, on

chronologie

350 av. J.-C.

Aristote établit que la Terre est ronde

1543

Copernic publie sa théorie héliocentrique

1610

Galilée observe à la lunette les satellites de Jupiter

1781

William Herschel découvre Uranus

la croyait jusqu'alors étoile solitaire. C'est la quête méticuleuse de Herschel qui a définitivement prouvé qu'elle tournait autour du Soleil, lui conférant ainsi son statut de planète. Herschel se reposa sur la gloire que cette découverte lui avait apportée, allant jusqu'à rechercher les faveurs du roi George III dont le nom servit, pendant une courte période, à désigner la nouvelle planète.

D'autres découvertes allaient venir. De légères perturbations dans l'orbite d'Uranus laissaient penser qu'elles étaient dues à la présence, au-delà, d'un autre corps céleste. Plusieurs astronomes traquèrent l'intrus vagabond dans la direction attendue : en 1846, Neptune fut découverte par le Français Urbain Jean Joseph Le Verrier qui coiffait au poteau l'astronome britannique John Couch Adams.

Puis, en 1930, ce fut l'existence de Pluton qui fut corroborée. Comme pour Neptune, de petits écarts dans les mouvements attendus des planètes périphériques suggéraient la présence d'un corps situé au-delà – on l'appela la planète X. Aux États-Unis, Clyde Tombaugh, du Lowell Observatory, le repéra en comparant des photographies du ciel prises à différents moments : c'est par son mouvement que la planète s'est révélée. Mais c'est à une écolière qu'il appartient de lui donner un nom. Venetia Burney, d'Oxford au Royaume-Uni, remporta le concours lancé à cette fin en proposant un nom d'inspiration classique : Pluton, le dieu des Enfers. La planète Pluton a joué un grand rôle dans l'imagerie populaire, depuis le chien de la bande dessinée (Pluton se dit Pluto en anglais) jusqu'au récent plutonium.

Pluton déchu Notre système solaire à neuf planètes a tenu bon 75 ans, jusqu'à ce que Michael Brown et son équipe du Caltech découvrent que Pluton n'était pas seule. Aux confins glacés du système solaire, ils ont trouvé quelques objets

La définition d'une planète

Une planète est un corps céleste qui :

- (a) est en orbite autour du Soleil ;
- (b) a une masse suffisante pour que sa gravité l'emporte sur les forces de cohésion du corps solide et lui donne une forme presque sphérique ;
- (c) a éliminé tout corps susceptible de se déplacer sur une orbite proche.

« Comme les continents, les planètes sont davantage définies par notre façon de les voir que par une assertion énoncée après coup. »

Michael Brown, 2006

1843-1846

Adams et Le Verrier découvrent Neptune, dont l'existence était prédite

1930

Clyde Tombaugh découvre Pluton

1962

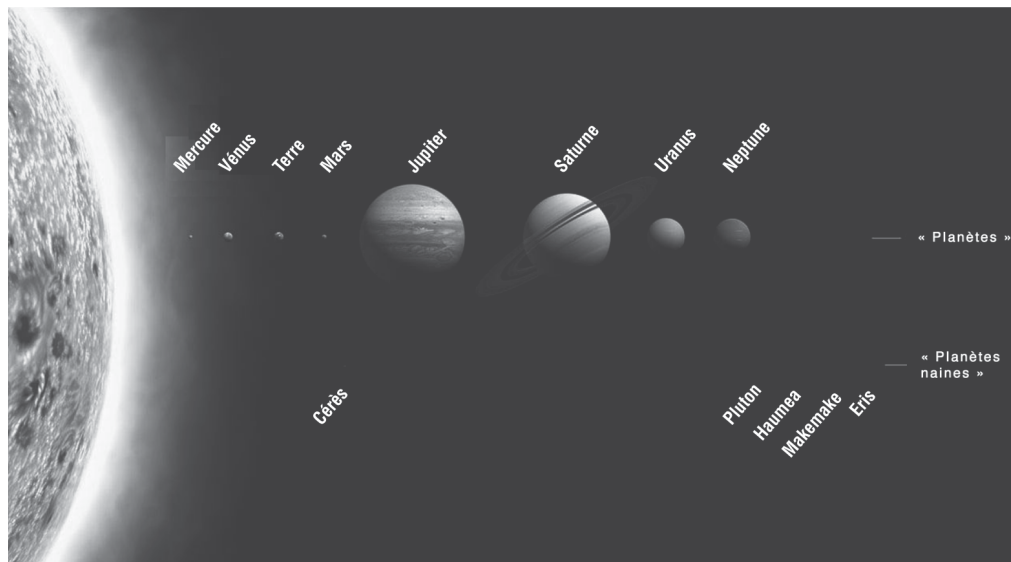
Les premières images de Vénus par la sonde Mariner 2 montrent la surface d'une autre planète

1992

Découverte de la première planète extrasolaire

2005

Michael Brown découvre Éris



d'assez belle taille, l'un d'entre eux étant même plus gros que Pluton lui-même. Ils l'ont appelé Éris. Une question se posait à la communauté scientifique : la découverte de Brown devait-elle être considérée comme une dixième planète ?

Et que dire des autres corps glacés proches de Pluton et Éris ? Le statut de planète de Pluton était remis en cause. Les confins du système solaire étaient jonchés d'objets recouverts de glace, Pluton et Éris n'en étant que les plus gros. De plus, on connaissait ailleurs des astéroïdes rocheux de taille semblable, dont Cérès, un astéroïde de 950 kilomètres de diamètre découvert en 1801 entre Mars et Jupiter pendant la traque de Neptune.

En 2005, une commission de l'Union astronomique internationale, l'organisation professionnelle des astronomes, se réunit pour décider du sort de Pluton.

William Herschel (1738-1822)

Frederick William Herschel est né en Allemagne, à Hanovre, en 1738. Il émigra en Angleterre en 1757 où il gagna sa vie comme musicien. Il se prit de passion pour l'astronomie, passion qu'il partageait avec sa sœur Caroline qu'il avait fait venir en Angleterre en 1772. Les Herschel ont construit un télescope pour contempler le ciel nocturne, identifiant des centaines d'étoiles doubles et des milliers

de nébuleuses. Herschel découvrit Uranus qu'il appela « Georgium Sidum », l'étoile de George, en l'honneur du roi George III qui le fit Astronome de la cour. Parmi les autres découvertes de Herschel : la nature binaire de nombreuses étoiles doubles, les variations saisonnières des calottes polaires de Mars et les satellites d'Uranus et Saturne.

Brown et quelques autres voulaient conserver son statut à Pluton considérant qu'il était d'ordre culturel.

Selon eux, Éris devrait aussi être considérée comme une planète. Pour les autres participants, tous les corps glacés au-delà de Neptune n'étaient pas de vraies planètes. Cela fit l'objet d'un vote lors d'une assemblée générale en 2006. On décida d'une nouvelle définition d'une planète. Jusque-là, il ne s'agissait pas d'un concept précis. Certains étaient perplexes, estimant que c'était comme demander, par exemple, la définition précise d'un continent : si l'Australie en est un, pourquoi pas le Groënland ? Où l'Europe finit-elle et où l'Asie commence-t-elle ? Mais les astrophysiciens ont fini par convenir d'un ensemble de règles.

Une planète est définie comme un corps céleste en orbite autour du Soleil, de masse suffisante pour que sa gravité lui donne une forme sphérique et le rende capable d'éliminer les corps voisins. D'après ces règles, Pluton n'est pas une planète parce qu'elle ne remplit pas la dernière condition. Pluton et Éris furent qualifiées de planètes naines, de même que Cérès. Les corps plus petits, en dehors des satellites, restèrent non définis.

Au-delà du Soleil Cette définition d'une planète était destinée à notre propre système solaire. Mais on peut l'appliquer ailleurs. Aujourd'hui, nous connaissons plusieurs centaines de planètes en orbite autour d'autres étoiles que le Soleil. Elles ont été repérées essentiellement par l'attraction ténue qu'elles exercent sur leur étoile hôte. La plupart de ces planètes sont de massives géantes gazeuses comme Jupiter. Mais de nouveaux engins spatiaux, tel Kepler lancé en 2009, rivalisent pour détecter autour d'autres étoiles des planètes plus petites qui pourraient ressembler à la Terre.

Une autre définition, celle d'une étoile, a elle aussi fini par être remise en cause. Les étoiles sont des boules de gaz, tel le Soleil, suffisamment grosses pour que, dans leur cœur, se soit enclenchée la fusion nucléaire. C'est là l'énergie qui fait briller les étoiles. Mais il n'est pas évident de distinguer les boules de gaz de taille planétaire, comme Jupiter, des étoiles les plus petites et les plus sombres, les naines brunes. L'espace est peut-être peuplé d'étoiles qui ne se sont pas allumées, voire de planètes à la dérive.

« Peut-être notre monde est-il l'enfer d'une autre planète. »

Aldous Huxley

l'idée clé
Les planètes sont des objets hors du commun

02 Héliocentrisme

Nous savons aujourd'hui que la Terre et les planètes tournent autour du Soleil mais il fallut que les preuves s'accumulent au XVII^e siècle pour que cela finisse par être admis. Notre vision du monde en a été bouleversée : les êtres humains n'étaient pas au centre de l'Univers, ce qui s'opposait aux philosophies et religions dominantes de l'époque. Le débat se poursuit sur la place de l'Homme dans le cosmos avec des arguments semblables, depuis les dogmes créationnistes jusqu'aux aspects rationnels de la cosmologie.

Les premiers hommes ne pouvaient concevoir qu'un univers gravitant autour d'eux. Dans l'Antiquité, la Terre était placée au centre des modèles du cosmos et tout le reste en découlait. On imaginait que les corps célestes étaient plaqués sur des sphères de cristal tournant autour de la Terre. Ainsi, chaque nuit, les étoiles fixées sur elles – ou révélées par des trous minuscules – étaient entraînées dans un mouvement circulaire autour des pôles célestes nord et sud : les êtres humains étaient bien la clé des mécanismes de l'Univers.

On soupçonnait cependant que ce modèle bien commode était erroné et cela a interpellé des générations de philosophes. L'idée que les cieux se meuvent autour du Soleil plutôt que de la Terre – un modèle héliocentrique, du grec *helios*, Soleil – a été avancée par les philosophes grecs de l'Antiquité dès 270 av. J.-C. Parmi eux, Aristarque de Samos a développé cette idée dans ses écrits. Il calcula la taille relative de la Terre et du Soleil et se rendit compte que ce dernier était bien plus grand. Il paraissait plus logique de penser que c'était le plus petit des deux astres, la Terre, qui se déplaçait.

Ptolémée, au II^e siècle de notre ère, se servit des mathématiques pour prédire le mouvement des étoiles et des planètes et il obtint des résultats corrects. Mais ses équations ne rendaient pas compte de configurations évidentes. La manifestation la plus curieuse était que, de temps à autre, le mouvement des planètes changeait de sens : c'est le mouvement rétrograde. Ptolémée – qui, comme d'autres avant lui, pensait que les planètes se déplaçaient sur de grandes roues

chronologie

270 av. J.-C.

Les Grecs de l'Antiquité proposent un modèle héliocentrique

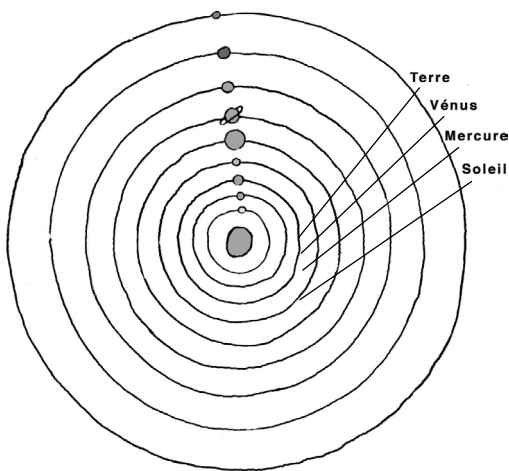
II^e siècle

Ptolémée ajoute des épicycles pour expliquer le mouvement rétrograde des planètes

circulaires dans le ciel – conçut une explication en ajoutant de nouvelles roues dentées à leurs orbites. Il avança que les planètes se déplaçaient sur de petits anneaux tout en poursuivant leur trajectoire principale, une espèce de mécanisme d'horlogerie géant. Ce sont ces « épicycles » superposés qui faisaient que les planètes, de temps à autre, donnaient l'impression de rebrousser chemin.

Cette idée d'épicycles s'installa. Elle fut affinée par la suite. Les philosophes étaient séduits par l'idée que la nature mettait en œuvre de parfaites figures géométriques. Mais, à mesure que la précision des mesures astronomiques augmentait, les savantes combinaisons mathématiques parvenaient de moins en moins à les expliquer : les données s'étoffaient, les contradictions aussi...

Le modèle de Copernic Au fil des siècles, il fut question, de temps à autre, d'héliocentrisme, mais cela ne fut pas pris au sérieux. La conception géocentrique allait de soi et toute théorie alternative paraissait une vue de l'esprit. Ce ne fut donc pas avant le ^{xvi}e siècle que les conséquences de l'héliocentrisme furent entièrement développées. Dans son ouvrage de 1543 *De revolutionibus orbium cœlestium*, l'astronome polonais Nicolas Copernic décrivit en détail un modèle mathématique héliocentrique, expliquant le mouvement rétrograde des planètes comme une projection vue depuis la Terre de leur mouvement autour du Soleil, la Terre étant elle-même animée d'un mouvement semblable.



« Enfin, nous pourrons mettre le Soleil lui même
au centre de l'Univers. »

Nicolas Copernic

1543

Copernic publie son
modèle héliocentrique

1609-1610

Kepler représente les orbites
des planètes par des ellipses ;
Galilée découvre les satellites
de Jupiter

1633

Galilée est poursuivi
pour avoir professé
l'héliocentrisme

Nicolas Copernic (1473-1543)

Né à Thorn, en Pologne, Copernic reçut une formation de chanoine, suivant des cours de droit, de médecine, d'astronomie et d'astrologie. Il était fasciné par les idées de Ptolémée sur l'ordre de l'Univers tout en les critiquant et préféra élaborer son propre système dans lequel la Terre et les planètes tournent autour du Soleil. L'ouvrage de Copernic, *De revolu-*

tionibus orbium cœlestium (*De la révolution des sphères célestes*), publié en mars 1543 – seulement deux mois avant sa mort –, a été une étape cruciale dans l'avènement d'un univers héliocentrique. Mais cela reste loin des idées de l'astronomie moderne.

Le modèle de Copernic mettait en cause la prédominance universelle des êtres humains et cela ne fut pas sans conséquences. L'Église officielle en tenait pour le système géocentrique de Ptolémée. Prudent, Copernic retarda la publication de son ouvrage jusqu'à l'année de sa mort. Ses arguments posthumes furent entendus et tranquillement mis de côté. C'est à un personnage plus enflammé qu'il revint de prendre le relais.

Les convictions de Galilée L'astronome italien Galileo Galilei a ostensiblement défié l'Église catholique romaine en défendant l'héliocentrisme. Sa témérité s'appuyait sur les observations qu'il avait faites à la lunette, alors construite depuis peu. Scrutant les cieux avec davantage de précision que ses prédécesseurs, il obtint la preuve que la Terre n'était pas un centre universel : des satellites gravitaient autour de Jupiter tandis que Vénus, comme la Lune, connaissait des phases. Il publia ces découvertes dans son ouvrage de 1610 *Siderus nuncius*, *Le Messenger des étoiles*.

Fort de sa conviction héliocentrique, Galilée défendit sa thèse dans une lettre à la Grande Duchesse Christine. Il avait affirmé que c'était la rotation de la Terre qui donnait l'impression que le Soleil se déplaçait dans le ciel : aussi se retrouva-t-il convoqué à Rome. Le Vatican voulait bien admettre la validité des observations, les astronomes jésuites ayant fait les mêmes constatations à la lunette. Mais l'Église refusa la théorie de Galilée, décrétant qu'il ne s'agissait que d'une simple hypothèse qu'il ne fallait pas prendre au pied de la lettre en dépit de sa séduisante simplicité. On interdit à Galilée de professer l'héliocentrisme, excluant toute possibilité pour lui de « défendre ou enseigner » cette idée controversée.