

*Le*  
PETIT LIVRE  
de L'UNIVERS



Le  
PETIT LIVRE  
de L'UNIVERS

Astéroïdes funestes, trous noirs étranges  
et ondes mystérieuses

Jean-Luc Robert-Esil  
& Jacques Paul

DUNOD

Conception graphique couverture et intérieur: J<sup>2</sup>Graph

Éléments graphiques: © Elinalee/Shutterstock

Illustrations de l'intérieur: Rachid Marai

© Dunod, 2014

5, rue Laromiguière 75005 Paris

[www.dunod.com](http://www.dunod.com)

Nouveau tirage corrigé

ISBN 978-2-10-071419-3

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

# Sommaire

<i>Avant-propos</i> .....	9
<b>1. Quelques outils bien utiles</b> .....	11
Quelles sont les échelles de distance en astronomie?.....	11
Quels sont les messagers de l'Univers?.....	13
Lunettes ou télescopes?.....	16
Quelles sont les forces fondamentales dans l'Univers?.....	20
<b>2. La Terre et ses deux luminaires : le Soleil et la Lune</b> .....	23
Comment mesurer la Terre?.....	23
Quelles sont les dimensions de la Terre?.....	26
Quelle est la distance de la Terre à la Lune?.....	30
Quelle est la distance de la Terre au Soleil?.....	32
Qu'est-ce qu'une éclipse de Lune ou de Soleil?.....	33
Quel est l'âge de la Terre?.....	34
Comment le système solaire s'est-il formé?.....	35
D'où vient la Lune?.....	37
Le réchauffement de la Terre est-il inéluctable?.....	39
Le Soleil va-t-il disparaître?.....	40
Aller dans l'espace, mais comment?.....	43
Qui furent les pionniers de la conquête spatiale?.....	45
Vol balistique ou à propulsion continue?.....	49
<b>3. Les planètes extérieures : Mars et au-delà</b> .....	51
La rétrogradation est-elle chose honteuse?.....	51
Y a-t-il des canaux sur Mars?.....	52
L'Homme va-t-il marcher sur Mars?.....	56
À quand une colonisation de l'espace proche?.....	57

Pourquoi vouloir vivre sur Mars ? Pourquoi vouloir l'explorer?..	57
D'où viennent les astéroïdes?.....	58
Les météorites, des objets tueurs?.....	61
Combien de lunes dans le système solaire?.....	64
Jupiter, une étoile «ratée»?.....	66
Le mystère des anneaux de Saturne?.....	68
Existe-t-il d'autres moyens pour voyager dans l'espace?.....	72
<b>4. Pluton et les frontières du système solaire.....</b>	<b>75</b>
Qui était Clyde William Tombaugh?.....	75
C'est quoi, une planète naine?.....	78
Qu'y a-t-il sous la ceinture de Kuiper?.....	79
Que savons-nous du nuage d'Oort?.....	81
Vous avez dit comètes?.....	82
L'anomalie Pioneer a-t-elle été expliquée?.....	86
Une bouteille à la mer, mais pour qui?.....	88
Où s'arrête le système solaire?.....	91
Comment rejoindre d'autres étoiles?.....	93
<b>5. Notre galaxie, la Voie lactée.....</b>	<b>95</b>
Les nébuleuses ne sont-elles que des nuées?.....	95
Qui a remporté le Grand Débat?.....	97
D'où viennent les constellations?.....	100
Combien d'étoiles dans la Galaxie?.....	101
Notre galaxie est-elle une spirale sans fin?.....	104
Que se passe-t-il au cœur des étoiles massives?.....	107
Comment finissent les étoiles massives?.....	111
Y a-t-il un trou noir géant au cœur de la Voie lactée?.....	113
Les nuages de Magellan, prochain abordage?.....	116
La Voie lactée va-t-elle entrer en collision avec Andromède?....	116
Comment détecter des planètes extrasolaires?.....	118

<b>6. Un Univers de galaxies.....</b>	<b>123</b>
Combien de galaxies dans l'Univers? .....	123
Qu'est-ce que le diapason de Hubble? .....	125
D'où vient la couleur des galaxies? .....	128
D'où vient la structure en spirale des galaxies? .....	129
Qu'appelle-t-on galaxie à noyau actif? .....	131
Y a-t-il un trou noir ultra-massif au cœur de chaque galaxie? .....	137
Qu'appelle-t-on amas de galaxies? .....	138
Qu'appelle-t-on le Groupe Local? .....	140
Comment les galaxies se sont-elles formées? .....	141
Quelle est la galaxie la plus lointaine connue? .....	143
 <b>7. Les premiers âges de l'Univers .....</b>	 <b>147</b>
Quel est le sens de l'expression Big Bang? .....	147
Quels indices soutiennent la théorie du Big Bang? .....	149
Comment Hubble a-t-il découvert l'expansion de l'Univers? .....	151
Qui a proposé la théorie du Big Bang? .....	152
Que s'est-il passé au tout début de l'Univers? .....	155
Qu'appelle-t-on nucléosynthèse primordiale? .....	159
Qu'appelle-t-on rayonnement cosmologique? .....	161
Comment l'Univers a-t-il évolué après la recombinaison? .....	166
Que sont les âges sombres de l'Univers? .....	166
Quelles sont les théories rivales du Big Bang? .....	168
Que se passait-il avant le Big Bang? .....	171
 <b>8. Les trous noirs .....</b>	 <b>173</b>
Un trou noir est-il un astre qui retient la lumière? .....	173
Que dit la relativité générale? .....	173
Qui a «inventé» les trous noirs? .....	178
Les trous noirs existent-ils vraiment? .....	181
Existe-t-il plusieurs types de trous noirs? .....	182
Comment «voir» un trou noir? .....	183

La formation d'un trou noir en direct? .....	185
Quelle est la forme d'un trou noir? .....	187
Peut-on plonger dans un trou noir? .....	188
<b>9. Matière noire et énergie sombre</b> .....	191
La matière noire, c'est quoi? .....	191
Qui a «inventé» la matière noire? .....	192
De quoi la matière noire est-elle faite? .....	194
Vous avez dit wimp? .....	196
Peut-on détecter les particules de matière noire? .....	197
Où en est la traque des neutralinos? .....	198
L'énergie sombre, c'est quoi? .....	200
Comment a-t-on découvert l'énergie sombre? .....	202
Quelle est la nature de l'énergie sombre? .....	205
L'énergie sombre dicte-t-elle le destin de l'Univers? .....	207
Et si matière noire et énergie sombre n'étaient qu'illusions? .....	208
<b>10. Les dangers du cosmos</b> .....	209
Un étrange bombardement céleste? .....	209
Comment les rayons cosmiques ont-ils été découverts? .....	210
Faut-il avoir peur des rayons cosmiques? .....	214
Les rayons cosmiques : anges ou démons? .....	216
Les voyages interplanétaires sont-ils périlleux? .....	217
Le ciel peut-il nous tomber sur la tête? .....	219
Une saute de vent en attendant la tempête? .....	222
Les étoiles peuvent-elles devenir menaçantes? .....	223
Un dernier sursaut? .....	225
Et les petits hommes verts? .....	227
<b>Index</b> .....	231

# Avant-propos

Que savons-nous de l'Univers ? À en croire Wikipédia, source inépuisable du savoir moderne, l'Univers est l'ensemble de tout ce qui existe... Ça nous fait une belle jambe ! Et pourtant, un jour ou l'autre, l'Univers s'invite dans notre quotidien, comme ce fut le cas en mars 2014 quand toute la sphère médiatique s'enflamma à l'annonce que des chercheurs américains auraient observé les toutes premières secousses de ce *Big Bang* qui aurait marqué la naissance de l'Univers.

Depuis que nous remontons dans le passé de l'Homme, nous savons que c'est pour nous un besoin quasi génétique d'en savoir plus sur le Grand Tout, cet Univers d'où proviennent toutes choses, à commencer par notre substance même. Et pour mieux s'approprier les secrets de l'Univers, c'est à l'astronomie qu'il faut s'en remettre. À son service, des yeux électroniques scrutent le ciel avec un formidable pouvoir de perception, si bien que l'Univers est devenu, comme le disait Fontenelle, « un grand spectacle qui ressemble à celui de l'opéra ».

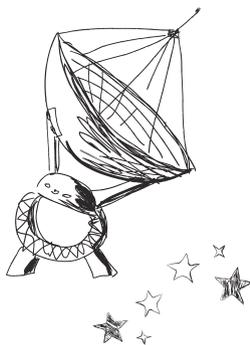
Et pourtant, que les dernières nouvelles du cosmos sont déroutantes ! Les astronomes postulaient voici moins d'un siècle que toute la matière de l'Univers était à leur image, faite d'atomes. Ils nous apprennent désormais que l'Homme n'est plus au centre de rien, ni spatialement (nous le savions depuis Copernic), ni même matériellement : le siècle de l'atome s'est terminé en proclamant l'insignifiance cosmique de la matière atomique et on nous dit maintenant que 95 % du contenu de l'Univers est de nature inconnue.

Pour s'y retrouver, nous vous proposons de balayer l'Univers au fil d'une centaine de questions portant sur tous les éléments du décor cosmique, des plus proches aux plus lointains, des plus compréhensibles aux plus indéchiffrables. Ce petit livre de l'Univers s'adresse en particulier – mais pas exclusivement – à tous ceux qui restent intimement persuadés que les extraterrestres sont un fait scientifique

avéré, qu'«ils» sont parmi nous ou que les anneaux de Saturne sont un boulevard circulaire... Nous espérons que les réponses à ce questionnaire leur donneront les moyens de se convaincre eux-mêmes de leurs erreurs. Mais si toutefois certains devaient rencontrer des petits hommes verts, merci de nous contacter immédiatement...

D'aucuns diront qu'ils ont la vue basse, qu'ils portent des lunettes. Toutes ces excuses n'ont aucune valeur. Il y a tellement de phénomènes observables qui ne sont pas du domaine du «visible» qu'il y en a pour tous les goûts! Entre la pluie de rayons cosmiques, les astres qui émettent dans l'infrarouge, dans les rayons X ou dans les rayons gamma, nous n'avons que l'embarras du choix...

En plus, il faut parfois procéder à de sérieuses investigations pour démêler le vrai du faux. Avec des phénomènes comme les lentilles gravitationnelles, véritables mirages de l'espace, nous serons bien obligés d'admettre que nous ne voyons pas ce que nous croyons voir! Rassurez-vous, nous ne vous entraînerons pas au fond d'un trou noir, mais nous ne résisterons pas au plaisir de vous raconter ce qui vous arriverait si vous vous en approchiez d'un peu trop près...



# Quelques outils bien utiles

## ? Quelles sont les échelles de distance en astronomie ?

Au fur et à mesure que nous nous intéressons à des éléments de plus en plus lointains du décor cosmique, la principale difficulté reste l'estimation des distances. Si l'astronomie est devenue de plus en plus précise pour mesurer la position d'un astre sur la voûte céleste, elle reste approximative s'agissant des distances...

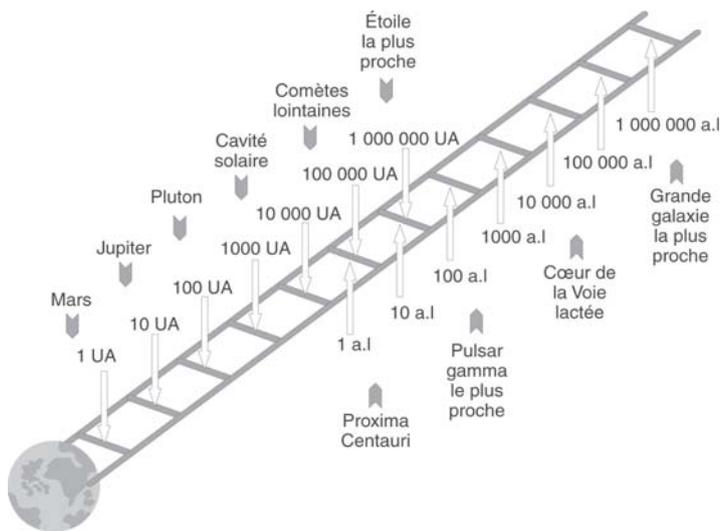
Comme nous sommes conduits à jongler avec des nombres astronomiques (au sens propre comme au sens figuré), nous sommes face à un problème de place pour les écrire si nous en restons à « l'écriture décimale ». Nous préférons donc nous en remettre, comme vos calculatrices, à « l'écriture scientifique », basée sur l'utilisation des puissances de 10. Écrire  $10^{13}$  prend bien moins de place que 10 000 000 000 000 et  $10^{-13}$  que 1/10 000 000 000 000.

À notre échelle quotidienne, les distances sont évaluées en kilomètres. Cette unité reste encore acceptable pour la distance qui sépare la Terre de la Lune. Au-delà, il a fallu imaginer des unités qui rendent intelligible l'immensité des espaces.

**L'unité astronomique,** d'abord définie comme le demi-grand axe de l'orbite terrestre, elle a été fixée en 1976 comme la distance au Soleil d'une particule de masse négligeable sur une orbite non perturbée et qui aurait une période orbitale de 365,2568983 jours, soit précisément 149 597 870,700 km, à trois mètres près !

Comme étalon de référence, on a d’abord eu recours au rayon moyen de l’orbite terrestre autour du Soleil, c’est l’unité astronomique (symbole: UA).

Mais cette échelle même devient vite inadaptée dès que l’on sort du système solaire. Prenez par exemple l’étoile la plus proche, Proxima Centauri. Elle se situe à une distance d’environ 270 000 UA (en gros,  $4 \cdot 10^{13}$  km). On a donc décidé d’estimer ces distances interstellaires en années-lumière (symbole: a.l.), une année-lumière étant la distance parcourue en une année par la lumière dans le vide, en dehors de tout champ gravitationnel. La célérité de la lumière dans le vide est  $c = 299\,792,458$  km/s, donc  $1 \text{ a.l.} = 9,461 \cdot 10^{12}$  km.



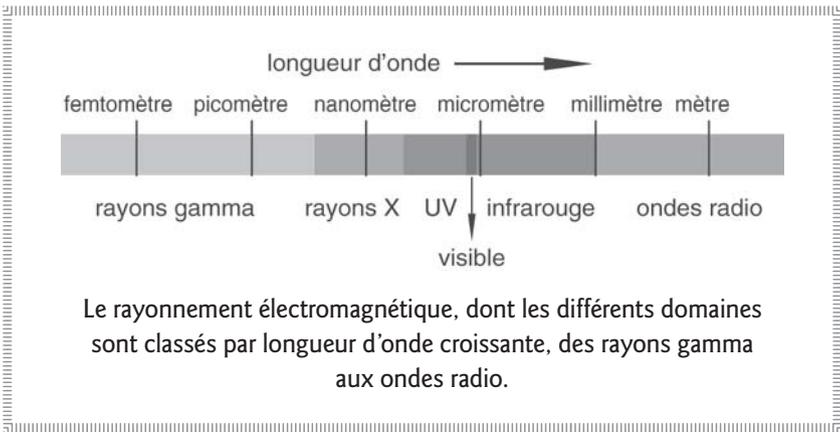
### La double échelle des distances en astronomie

En haut, en unités astronomiques; en bas, en années-lumière.  
 Comme points de repère, quelques objets célestes remarquables, de la planète Mars jusqu'à la plus proche des grandes galaxies spirales.

À l'échelle des espaces intergalactiques lointains, plutôt que de parler de milliards d'années-lumière, les astronomes et les astrophysiciens préfèrent s'en remettre au décalage vers le rouge, ce glissement vers les grandes longueurs d'onde de l'ensemble du spectre qu'ils observent dans les objets astronomiques éloignés.

## ? Quels sont les messagers de l'Univers?

À la différence de presque toutes les disciplines de la physique, fondées sur la réalisation et l'analyse d'expériences, l'astronomie est une science du regard, basée pour l'essentiel sur l'observation et l'étude de la lumière des astres – disons plutôt le rayonnement électromagnétique, ça fait plus chic.



Aujourd'hui les astronomes disposent d'autres messagers pour étendre et compléter leurs investigations. Ils commencent ainsi à collecter les neutrinos et les ondes gravitationnelles afin de sonder certains sites célestes qui se dérobent pour l'instant aux recherches menées avec les seules ondes électromagnétiques.

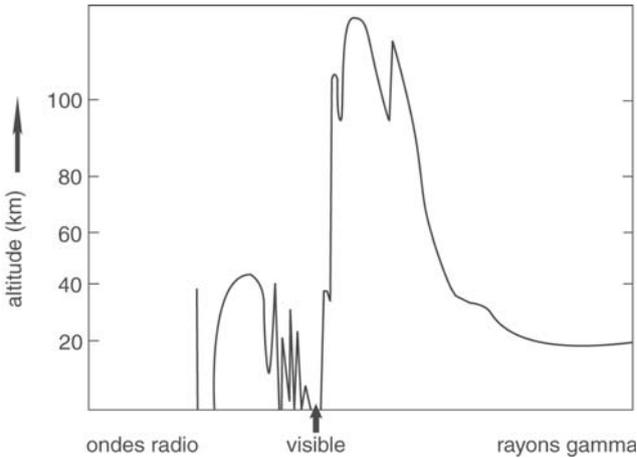


Le ciel nous envoie encore d'autres messagers, beaucoup moins palpables: les rayons cosmiques et les météorites. Les rayons cosmiques véhiculent de précieux indices sur les sites où ils sont accélérés et sur les milieux où ils se propagent. Quant aux météorites, ils constituent eux aussi une mine irremplaçable d'informations, limités toutefois à l'étude du système solaire. Il en est d'ailleurs de même des explorations *in situ* menées à l'occasion de quelques missions planétaires.

Tributaires des ondes électromagnétiques, les astronomes n'avaient jusqu'au milieu du xx<sup>e</sup> siècle qu'une vision du ciel limitée au seul visible, cette petite plage du spectre qui rassemble les rayonnements propres à impressionner la rétine de l'œil. Les astronomes ne s'intéressaient de ce fait qu'aux astres actifs dans cette petite bande spectrale, ce qui excluait de leur champ d'investigation tous ceux rayonnant très peu dans le visible, mais brillant d'un vif éclat dans d'autres domaines de longueurs d'onde. C'est le cas de tous les milieux portés à des températures très différentes de celle du Soleil, l'astre à la lumière duquel notre œil s'est adapté, qu'ils soient beaucoup plus froids, comme les nuages interstellaires, ou beaucoup plus chauds, comme les disques de matière ceinturant les trous noirs.

Ce dernier cercle de l'anthropocentrisme n'a été brisé qu'à la fin des années 1940, quand les astronomes ont effectué des observations dans le domaine des ondes radio au moyen d'appareils utilisant les techniques radars développées durant le dernier conflit mondial. Mais l'atmosphère constitue un écran opaque pour la plupart des rayonnements. Sur Terre, l'astronomie ne peut s'étendre au-delà du visible que sur quelques bandes spectrales, du côté des grandes longueurs d'onde.





Altitude à laquelle il faut monter pour capter au moins la moitié du rayonnement émis par un corps céleste en fonction du domaine de rayonnement, de celui des ondes radio à celui des rayons gamma.

Déclenchée par le lancement de Spoutnik 1 en octobre 1957, la course à l'espace à laquelle les États-Unis et l'Union Soviétique se sont livrés jusqu'à la fin des années 1980 a suscité un développement fulgurant des techniques spatiales. Les astronomes en ont profité pour placer au-delà de l'atmosphère toutes sortes d'équipements aptes à observer le ciel sur une très large gamme de rayonnements. Observatoires terrestres et spatiaux se complètent désormais pour scruter le cosmos, des ondes radio à courte longueur d'onde jusqu'aux rayons gamma de très hautes énergies. L'astronomie vit ainsi une révolution majeure, plus considérable que celle qui a vu Galilée braquer une longue-vue vers le ciel.



## ? Lunettes ou télescopes ?

Pour observer le ciel dans le domaine visible, tous les astronomes utilisent des appareils basés sur le même principe : un dispositif optique d'entrée, le plus grand possible, qui collecte et focalise la lumière des astres pour former une image qu'un deuxième dispositif permet d'examiner en détail. Un amateur, s'il se contente de son œil, examinera l'image avec un ensemble de lentilles, l'oculaire, qui joue le rôle d'une loupe. Un professionnel, avant tout soucieux d'enregistrer l'image, mettra en œuvre toutes sortes de surfaces sensibles à la lumière. Dans le passé, c'étaient des plaques photos. Aujourd'hui, il s'agit bien sûr de dispositifs électroniques très sensibles, du type de ceux qui équipent les appareils photo numériques.

Les Anglo-Saxons n'emploient qu'un seul et même mot, *telescope*, pour désigner tous ces instruments d'astronomie. Les francophones, toujours à la recherche du mot juste, distinguent les lunettes des télescopes, et ils ont raison ! Il s'agit bel et bien d'instruments différents, tant par leur mode de fonctionnement que par l'usage qu'on en fait. Dans une lunette (ou réfracteur), le dispositif optique d'entrée est un ensemble de lentilles, l'objectif, assimilable à une unique lentille convexe. Dans un télescope (ou réflecteur), c'est un miroir concave primaire, aidé par un secondaire plus petit pour renvoyer l'image en dehors du champ du primaire. Pour en finir avec les considérations linguistiques, l'habitude est désormais prise d'utiliser le terme de télescope pour désigner tout appareil destiné à l'observation astronomique, que son optique d'entrée soit constituée ou non d'un réflecteur concave.

La lunette nous serait venue d'Italie ou des Pays-Bas, à la fin du <sup>xvi</sup><sup>e</sup> siècle, mais nous ne connaissons pas le nom de son inventeur. Il ne s'agissait alors que d'une lunette d'approche à l'usage des marins et c'est bien Galilée qui, dès 1609, sera le premier à en faire un véritable instrument d'observation astronomique. Quant au télescope, c'est au mathématicien et physicien anglais Isaac Newton que nous devons le premier appareil utilisable, qu'il construisit de ses propres mains en 1671.

## Sir Isaac Newton



On dit souvent que la chute d'une pomme fut à l'origine de sa théorie de la gravitation. Fiction ou réalité? Quoi qu'il en soit, Isaac Newton est connu d'abord pour cette théorie: «Tous les corps s'attirent avec une force proportionnelle à leur masse respective et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare.» Mais il s'est aussi illustré en optique, avec sa théorie de la lumière, et en astronomie, réalisant le premier télescope à partir des travaux du théologien et homme de science français Marin Mersenne et du mathématicien et astronome écossais James Gregory. Son œuvre maîtresse, *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* a été publiée en 1687. Newton fut aussi très contesté: par l'Allemand Gottfried Leibniz sur la question du calcul infinitésimal, par le hollandais Christian Huygens sur la nature de la lumière, ou encore par son compatriote Robert Hooke sur la gravitation. On sait moins que ses recherches en matière d'alchimie ou de théologie l'ont occupé tout autant que la physique... On ne peut comprendre Newton et le contexte scientifique de son époque si l'on ne prend pas en compte ces deux aspects de ses recherches, physique et alchimie, aussi surprenant que cela puisse paraître à une personne du XXI<sup>e</sup> siècle!

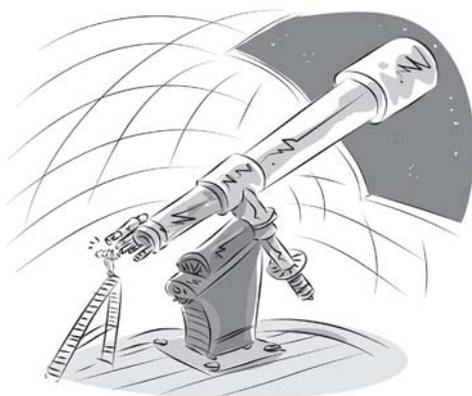


Avec nos lunettes et nos télescopes, nous percevons le grossissement apparent d'astres ayant une certaine étendue angulaire (comme les planètes ou les galaxies), alors que les étoiles conservent un aspect ponctuel. Mais plus grande est leur ouverture – la taille de leur optique

d'entrée –, plus nous détectons de nouvelles étoiles, invisibles auparavant. Autre caractéristique d'importance: le pouvoir de résolution, à savoir l'aptitude de l'appareil à distinguer les détails les plus fins.

Pour accroître le pouvoir de résolution d'une lunette ou d'un télescope, il suffit en théorie d'augmenter son ouverture; mais en pratique, ce gain reste limité par la turbulence de l'atmosphère. Deux possibilités pour s'en affranchir existent: l'optique adaptative, qui compense les turbulences, et le télescope spatial, qui permet d'observer au-delà de l'atmosphère terrestre.

Par contre, toute augmentation de la taille de l'optique d'entrée se traduit aussitôt par un gain en sensibilité. Et c'est l'une des raisons pour lesquelles les télescopes ont fini par supplanter les lunettes. Mettre en œuvre des lentilles de grande taille posait en effet des problèmes techniques insurmontables. C'est ainsi qu'avec un objectif d'un diamètre record (102 cm), la grande lunette de l'observatoire Yerkes, construite en 1897, était déjà longue d'une vingtaine de mètres!



Une lunette astronomique démesurée !

Le besoin toujours croissant de mener des observations de plus en plus profondes a donc conduit les astronomes à se tourner vers les télescopes. Le passage de témoin s'est concrétisé en 1918 avec la mise en service du grand télescope Hooker à l'observatoire du mont Wilson aux États-Unis. Avec son grand miroir (diamètre : 254 cm), cet appareil donna ses lettres de noblesse aux grands télescopes en permettant à Hubble de découvrir l'expansion de l'Univers.

## Lunettes ou télescopes ?

Beaucoup d'astronomes désirent embrasser d'un seul coup la plus grande portion de ciel possible. Dans le cas des réfracteurs, l'optique d'entrée doit alors incorporer un grand nombre de lentilles pour que l'image ne soit pas affectée de trop de distorsions. Sinon, il faut se contenter de former l'image à une distance équivalente à une dizaine de fois le diamètre de l'optique d'entrée ; c'est le cas des lunettes astronomiques pour amateurs débutants. De plus, le verre d'une lentille doit être très homogène, ce qui est très difficile à obtenir pour des objectifs de plus d'un mètre de diamètre. Avec un miroir comme optique d'entrée, un télescope, beaucoup plus compact à ouverture égale, est donc soumis à bien moins de contraintes mécaniques. Il offre en plus l'avantage de pouvoir opérer pratiquement dans tous les domaines spectraux, des ondes radio jusqu'aux rayons X pas trop mordants.



Aujourd'hui, les astronomes se tournent de plus en plus vers des instruments qui permettent de « voir » dans les autres plages du spectre électromagnétique tout en s'ingéniant à construire des « télescopes » aptes à observer le ciel par le truchement de messagers non