architecture de l'univers

Bordas

52

41-42

52
Isolé

architecture de l'univers

Fol. V
12086

architecture de l'univers

par
Serge Brunier

préface d'Yves Coppens

Bordas

DL-03-05-1985-11924

Ouvrages du même auteur

Nébuleuses et Galaxies,
atlas du ciel profond,
Dunod, 1981.

Les Planètes,
(en collaboration avec André de CAYEUX)
Bordas, 1982.

Le Ciel de vos vacances,
ouvrage collectif sous la direction
de l'Association française d'astronomie,
Hachette, 1984.

L'auteur remercie tout particulièrement son frère Stéphane, qui a donné l'impulsion nécessaire à la naissance de cet ouvrage ; sa chère maman pour son aide, morale bien sûr, mais aussi logistique ; Jean-Pierre Corteggiani et Anne Farabet qui ont relu le manuscrit avec un grand courage ; Pascal Chopin qui, en philosophe averti, pose toujours les bonnes questions ; René Gouzy, dont l'opposition systématique est si enrichissante ; Georges Riche, pour ses talents méconnus de maquettiste ; Christian Arsidi, grand maître astrophotographe ; tous ses collègues et amis astronomes qui, consciemment ou non, l'ont aidé à réaliser ce livre ; et enfin Aline Riche, qui partage avec lui de longues nuits de veille dans le froid et sous les étoiles.



Collaborateurs :

Responsable d'édition : Sophie Banquart
Correcteurs et Index : Philippe Doray et Frédéric Pustilnicov
Schémas et dessins : Gilles Alkan
Illustrations des double pages 48-49 et 64-65 : Orso Martinelli
Recherche iconographique : Christine Varin et Catherine Delleré
Couverture et maquette : Atelier de l'Alphabet
Mise en pages : Ruth Ballangé
Fabrication : Francine Deligny

© Bordas Paris 1985
I.S.B.N. 2-04-15394-2
Dépot légal : avril 1985

« Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (loi du 11 mars, alinéa 1er de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal. La loi du 11 mars 1957 n'autorise aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41 que les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective d'une part, et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration.

PRÉFACE

Confier la préface d'un livre d'astronomie à un paléontologiste : en voilà une drôle d'idée ! et le paléontologiste, grisé par les couleurs des galaxies et les mystères de l'espace-temps, qui accepte : en voilà une inconscience ! C'est pourtant ce qui s'est passé !

Serge Brunier, l'auteur, et Sophie Banquart, l'éditeur, sont venus un jour, me parler du ciel parce que j'étais, sans doute, un peu plus près de la terre que d'autres. Et ils m'ont demandé, le temps de quelques lignes, de lever un peu les yeux de ma tranchée de fouilles. Comment refuser l'occasion de fréquenter quelques instants les étoiles ?

Astronomes et paléontologistes me sont d'ailleurs vite apparus bien plus proches qu'ils n'en avaient l'air. N'écrivent-ils pas, après tout, les uns et les autres, la même histoire ? Les êtres vivants ne sont-ils pas, en effet, un état d'évolution de la matière créée au cœur des géantes stellaires ! Quel paléontologiste n'a rêvé de voir un jour la lumière lui restituer, par réflexion, le film de la vie sur la terre tout au long des 4 milliards d'années de son itinéraire ? Quel astronome n'a espéré devenir un jour le premier exobiologiste qui ferait connaître les formes de la vie sur les autres planètes ?

Mais c'est sans doute la beauté du livre de Serge Brunier qui m'a le plus frappé ; la beauté des couleurs, des formes, de leurs associations galactiques et celle du discours employé pour les décrire : ainsi les pages sur la destinée du Soleil sont, en soi, un bien extraordinaire poème.

Et puis ce sont les dimensions, justement connues sous le nom d'astronomiques, mais aussi parfois leurs étranges limites qui font de certaines d'entre elles des mesures finies et, paradoxalement, confortables ; dans la bulle de l'Univers, d'un rayon de quinze milliards d'années-lumière, ne brillent par exemple que dix mille milliards de milliards d'étoiles... Mais il faut dire que cette bulle est peut-être ouverte !

C'est aussi l'histoire de l'Univers avec son irrésistible besoin d'expansion, avec ses étoiles qui naissent, vivent et s'éteignent tandis qu'il en naît de nouvelles.

C'est encore le casse-tête de l'espace-temps, l'infini, la géométrie hyperbolique, l'éternité, l'inconnaissable..., notions où haute connaissance et poésie, immense complexité et rêve se rejoignent fort heureusement.

Le livre de Serge Brunier est donc tout cela : le plus merveilleux des livres d'images, le plus puissant des livres de poésie, le plus clair des livres de science, le plus extravagant des livres d'histoire... Il nous arrache à notre Terre en nous

racontant le déroulement des 15 derniers milliards d'années, et en nous montrant des instantanés qui mélangent des mondes que séparent ces milliards d'années. Il nous rassure en nous expliquant que de toute façon nous sommes tous faits d'une petite centaine d'atomes avec leurs protons, leurs neutrons, leurs électrons, et que nous n'habitons après tout qu'un coin de l'Univers comme un autre. Puis il nous arrache encore à notre planète en nous suggérant d'écouter les étoiles, dont certaines doivent bien émettre désespérément depuis des années-lumière, ou en nous décrivant leur fin inéluctable lorsque, trop chargées en éléments lourds, elles ne s'allumeront plus. Qu'ajouter, sinon qu'il faut lire et relire ce beau texte pour apprendre, bien sûr, pour remettre aussi les choses de la vie à leur juste place, mais pour s'étonner encore et s'étonner sans cesse... N'est-ce pas là, en effet, l'extraordinaire privilège du plus haut niveau de concentration de la matière actuellement atteint, ce niveau de conscience réfléchie que nous représentons ?

Yves COPPENS
Professeur au Collège de France

SOMMAIRE

Introduction *11*
La place de l'Homme dans l'Univers *13*
L'observation astronomique *19*
Une étoile et des planètes *35*
Représentation à l'échelle du Système solaire *48-49*
Le bestiaire des étoiles *57*
Représentation du diagramme Hertzsprung-Russel *64-65*
Une île de l'espace *85*
Dans l'océan des galaxies *97*
L'Univers évolue *117*
Architecture de l'Univers *129*
Sommes-nous seuls ? *151*
L'astronomie loisir *157*
Carte du ciel boréal *160-161*
Annexes *165*
Bibliographie *177*
Index *179*





INTRODUCTION

Notre vision du monde change. Pour les Anciens, l'inconnu était derrière l'horizon. Hier, l'inconnu commençait dans la Lune. Aujourd'hui, les enfants savent que le domaine de l'Homme s'étend dans l'espace. En 1989, c'est tout le Système solaire, quarante planètes et satellites, à l'exception de Pluton, qui aura été exploré par les robots des hommes, les sondes spatiales. Mais, passée la conquête du Système solaire, l'homme ira-t-il plus loin ? Peut-il atteindre les étoiles ? Pour le savoir, il nous faut suivre les deux sondes spatiales qui sortent actuellement du Système solaire, ou plutôt les devancer, aller à la rencontre des étoiles de notre Voie lactée, contempler et tenter de comprendre les spectacles que nous découvrons au détour des nébuleuses, aller plus loin encore, sortir de la Voie lactée et, nous retournant enfin, considérer son immensité. Maintenant, se déploie devant nous la « Tapisserie cosmique », les galaxies. C'est l'architecture même de l'Univers que nous entrevoyons. Mais c'est là, aussi, qu'apparaît l'horizon cosmologique, limite infranchissable par nos télescopes, borne actuelle de notre connaissance.

Cet ouvrage vous convie justement à ce voyage dans l'Univers. Partis de la Terre, nous survolerons les planètes et satellites du Système solaire et nous atterrirons sur certains d'entre eux. Nous observerons le Soleil qui nous permettra de comprendre la nature de ses cent milliards de semblables de la Voie lactée, les étoiles. Ces astres, inaccessibles aux fusées terrestres, nous les découvrirons au télescope car ce sont les télescopes les plus performants du monde qui, par un procédé photographique spécial, ont permis la réalisation des photographies de notre ouvrage, pour certaines inédites. Nous étudierons ces télescopes et les techniques permettant d'analyser la lumière des astres dans le premier chapitre du livre. Tout au long de cette exploration, nous découvrirons que notre Voie lactée, malgré son immensité, répète à l'infini les mêmes phénomènes. Partout la matière y est identique, partout elle s'agence en de mêmes atomes qui engendrent les mêmes astres, soumis à des lois physiques universelles. Dès lors, notre Voie lactée est le parangon de dizaines de milliards de galaxies. Qu'en est-il de la Terre et de ses habitants ? Si l'Univers est soumis partout aux mêmes lois, en découvrant celles-ci, nous pourrons comprendre celui-là. Tel est le pari de la cosmologie, science théorique certes, mais surtout expérimentale depuis un demi-siècle. Les images que nous présentons dans les derniers chapitres de ce livre le prouvent, l'Univers à grande échelle est désormais à la portée de nos plus puissants télescopes. Des astres nous apparaissent à dix milliards d'années-lumière de distance, tels qu'ils existaient il y a dix milliards d'années, deux fois l'âge du Soleil et de la Terre ! Les événements observés aussi loin dans l'espace et dans le temps montrent, et c'est sans doute l'une des plus grandes découvertes de notre temps, que l'Univers évolue, qu'il a une histoire. C'est elle que nous reconstituerons pièce par pièce, au cours de ce long voyage dans l'Univers.

Page de gauche : les mystères de l'horizon ont toujours fasciné les hommes. Ici, au soir du 30 mai 1984, le Soleil éclipsé va disparaître dans le crépuscule du grand erg marocain. (Ph. © S. Brunier/ Photeb.)



LA PLACE DE L'HOMME DANS L'UNIVERS

Que cherchaient ces hommes qui, il y a quatre mille ans, dressèrent dans nos contrées d'énormes mégalithes et de grands cercles de pierres levées ? Dans toutes les civilisations, l'homme du second millénaire avant notre ère lève les yeux, et des montagnes de pierres, vers le ciel. A Stonehenge, bien sûr, mais aussi à Gizeh, où le pharaon Kheops érige sa grande pyramide. Mais si l'on retrouve dans des édifices aussi divers des éléments empruntés en toute certitude à l'observation du ciel, il ne faut pourtant pas y voir une préoccupation astronomique.

La quête du Temps

Si l'humanité regardait le ciel, c'est que celui-ci lui imposait le rythme du temps. L'éternel retour du jour et de la nuit, le cycle des saisons rythmant la vie des hommes comme un grand métronome indifférent à l'activité humaine, évoquaient la nature divine du monde et le poids de la destinée. Mais comment les hommes interprétaient-ils la brusque chute dans les ténèbres où les plongeaient les éclipses, l'arrivée d'une flamboyante comète, ou d'une étoile nouvelle, et enfin le cours irrégulier de certains astres errant dans le ciel ? Ces impressionnantes facéties des dieux ne leur ont-elles pas suggéré que tout n'était pas écrit à l'avance dans le ciel ? L'identité de l'homme, et sa liberté, qui s'affirme merveilleusement dans l'éveil de la civilisation grecque, lui font jeter un regard nouveau vers le ciel. Les philosophes et astronomes grecs posent toutes les questions sur les fondements de la matière, sur la nature de l'espace et du temps, sur les paradoxes soulevés par la notion d'infini. Aristote lègue à l'Occident l'image d'un Univers profondément dualiste, centré sur la Terre et sur l'Homme. Le monde sensible d'Aristote se déploie autour de nous et ce sont les plaines et les montagnes qui s'étendent jusqu'à l'horizon. Cet horizon n'est pas rejeté à l'infini puisque, déjà chez les Grecs, la Terre est ronde. Autour de ce monde terrestre limité se trouve la sphère céleste. Essence même de la perfection — au contraire de la Terre considérée comme impure —, la sphère céleste est inaccessible, divine et éternelle. L'Univers d'Aristote est fermé, aussi bien pour la Terre que pour la sphère céleste, donc fini dans l'espace. Par contre, le mouvement circulaire, parfait, du ciel autour de la Terre dure de toute éternité ; le temps, lui, est infini.

En science, l'évolution des idées se heurte souvent aux préjugés du « bon sens commun » : trois siècles avant J.-C., Aristarque annonce déjà que la Terre tourne autour du Soleil, ceci en complète contradiction avec l'expérience de tous les jours. Mais qui, de nos jours, en contemplant un coucher de soleil, réalise, *intuitivement,* que c'est la rotation de la Terre sur elle-même qui fait ainsi basculer l'astre du jour derrière l'horizon ?

Au Ier siècle de notre ère, Ptolémée, regroupant ses observations et les découvertes passées, synthétise toutes les connaissances astronomiques de l'Antiquité, parmi lesquelles les mesures précises des dimensions de la Terre et de la Lune ainsi que celles de

On trouve des symboles astronomiques dans nombre de constructions de l'Antiquité. Page de gauche, derrière le Sphinx, apparaît la grande pyramide de Kheops, à Gizeh. Ses quatre faces sont parfaitement alignées sur les quatre points cardinaux et, à l'intérieur, son couloir nord est très exactement orienté vers l'étoile Polaire de l'époque. (2600 av. J.-C.), Thuban du Dragon. (Ph. © G. Dagli Orti.)

Ci-dessous : les mégalithes de Stonehenge (Angleterre). Ces alignements de pierres levées correspondent aux mouvements du Soleil et de la Lune. Ces mégalithes furent dressés vers 2100-1600 av. J.-C. (Ph. © Dr Fred Espenak/Cosmos.)





L'observatoire du Caracol (l'escargot), à Chichen Itza, province du Yucatan, Mexique. Édifié par les Mayas vers l'an 900 apr. J.-C., il permettait des observations précises des mouvements du Soleil, de la Lune et de Vénus. (Ph. © G. Dagli Orti.)

leur distance, et surtout le premier catalogue d'étoiles, établi par Hipparque, donnant les positions et éclats de plus de mille objets.

Au Ve siècle, l'incendie de la bibliothèque d'Alexandrie, où étaient rassemblées toutes les œuvres grecques, marque le début du Moyen Age et l'avènement de la chrétienté. Dans l'Europe déchirée par les invasions, le féodalisme et la famine endémique, l'homme, redevenu fataliste, se désintéresse de la recherche scientifique. N'est-il pas futile, voire hérétique, de désirer comprendre les rouages d'un monde voulu et conçu comme cela par Dieu ?

Renaissance

Dans le nouveau monde de la Renaissance, à partir du XVe siècle, les arts, dont la science, se développent sur le modèle de la Grèce antique. En 1543, année de sa mort, Copernic publie le traité où il annonce, deux mille ans après Aristarque, que le Soleil est au centre de l'Univers, et que notre planète tourne autour de lui. A cette même époque, les voyages des grands explorateurs maritimes ont convaincu tout le monde que la Terre est un monde fini, une sphère solide recouverte en grande partie d'eau où les formes minérales, végétales et animales obéissent partout aux mêmes lois.

Entre 1609 et 1619, Johannes Kepler, utilisant les très précises observations à l'œil nu faites par Tycho Brahe depuis son observatoire d'Uraniborg, démontre que les planètes tournent autour du Soleil en suivant des orbites légèrement elliptiques et non pas les cercles parfaits des Grecs. Enfin, en 1610, Galilée pointe pour la première fois une lunette vers le ciel, donnant ainsi naissance à l'astronomie d'observation.

L'Univers d'Aristote a vécu. A cette époque-là, presque toutes les conceptions modernes de l'Univers ont été discutées : le philosophe italien Giordano Bruno rompt de façon spectaculaire avec l'ancienne image du monde. Pour lui, non seulement la Terre n'est pas au centre de l'Univers, comme tout le monde s'en convainc peu à peu, mais le Soleil n'est pas non plus au centre de l'Univers ! L'idée de Bruno est profondément révolutionnaire ; il déclare que le Soleil n'est qu'une étoile parmi la multitude qui scintille dans le ciel, affirme que la vie peut être répandue partout dans l'Univers et proclame que celui-ci est infini ! C'est donc bien la profonde unité de la Terre et du cosmos qui est pressentie en cette fin de la Renaissance. L'Église s'érige violemment contre ceux qui détrônent le système d'Aristote : Bruno est brûlé vif, Galilée condamné à abjurer à la fois ses idées et la réalité de ses observations qui lui ont amplement démontré la justesse de vue de Copernic. Mais depuis Aristarque, l'époque a changé ; tout le monde peut constater, en pointant une longue-vue vers la Lune, que celle-ci n'a rien de la pureté mystique que lui conféraient les Grecs, couverte comme elle l'est de montagnes et de cratères. La Lune n'est plus un luminaire accroché à la sphère cristalline des étoiles, elle est un *lieu*.

C'est justement en méditant, sous un pommier, au clair de lune, qu'Isaac Newton comprend l'ordonnance des astres dans l'Univers ; il publie en 1687 sa loi de la gravitation universelle : « deux corps s'attirent avec une force dont l'intensité est proportionnelle au produit de leurs masses et inversement proportionnelle au carré de leur distance ».

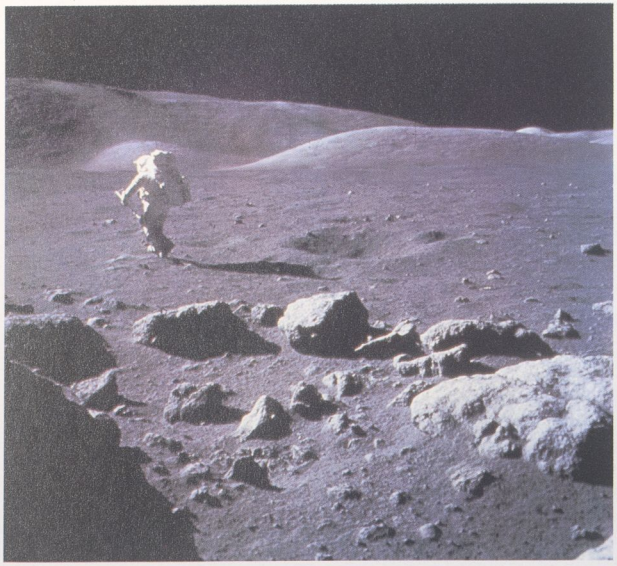
Astronome, mathématicien et physicien génial, Newton construit le premier télescope et jette les bases de la spectroscopie. Sa loi de l'attraction universelle va conforter les savants dans leur foi naissante en la profonde unité du monde : la pesanteur, cette force qui les attire vers le centre de la Terre, est la même que celle qui oblige la Lune à tourner autour de la Terre, et la Terre à tourner autour du Soleil.

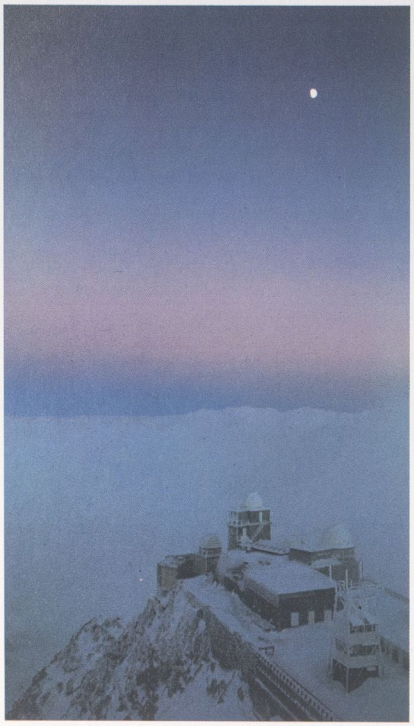
Cosmologie

Newton, semble-t-il, est le premier à aborder en termes scientifiques le problème de l'architecture de l'Univers et de la nature finie ou infinie de l'espace. En effet, remarque-t-il, si l'Univers est fini, l'attraction universelle doit attirer les uns vers les autres tous les astres qui le peuplent, jusqu'à les faire se toucher, ce qui n'est évidemment pas le cas. Newton conclut que l'Univers est infini et peuplé uniformément d'étoiles. Ainsi la gravitation n'agit dans aucune direction privilégiée. Cette image d'un Univers infini et égal à lui-même dans toutes les directions est devenue, depuis Newton, l'image intuitive du monde pour beaucoup d'entre nous. Pourtant, elle a tout de suite levé une objection d'une simplicité et d'une



Nous vivons aujourd'hui la même aventure que les grands explorateurs d'autrefois. Leurs voyages autour du monde duraient de nombreuses années, comme l'exploration actuelle du Système solaire. Une différence de taille, toutefois : la plupart de nos voyages au long cours se font par robots interposés. Cette illustration est extraite du Manuel de pilotage à l'usage des pilotes bretons, *de G. Brouscon, 1548, cinq ans après la parution de l'œuvre de Copernic. (Bibliothèque nationale, Paris. Ph. © Bibl. nat./ Arch. Photeb.)*





La Lune n'est plus un sujet d'étude astronomique, c'est un lieu que l'on va visiter, où l'on récolte des échantillons ; elle appartient désormais à notre monde. Curieusement, cette vue (ci-contre) de l'observatoire du pic du Midi au clair de Lune, prise juste avant son engloutissement par une mer de nuages, semble plus irréelle que celle d'un astronaute gambadant dans le désert lunaire (mission Apollo 17, ci-dessus). (Ph. © Serge Brunier. Ph. © Visions/ Rip-NASA/Cosmos.)

profondeur désarmantes. A quelques décennies d'intervalle, les astronomes Halley, Olbers et de Chéseaux posent la même question : pourquoi, si l'Univers est infini et uniformément peuplé d'étoiles, le ciel est-il noir la nuit ? Cette question est célèbre depuis lors sous le nom de « paradoxe du ciel nocturne » ou paradoxe d'Olbers. Un univers infini, infiniment peuplé d'étoiles devrait en effet couvrir notre voûte céleste d'une « couche » uniforme d'étoiles, éclairant la nuit d'un nouveau jour. On a tenté d'éluder le paradoxe d'Olbers en admettant que la lumière de nombre d'étoiles était arrêtée par des nuages de poussières interstellaires. Mais l'explication ne tient pas ; ces nuages interstellaires, absorbant le rayonnement des étoiles, doivent rendre l'énergie ainsi emmagasinée et eux-mêmes rayonner comme des étoiles. Le paradoxe du ciel nocturne restera sans solution pendant plus de deux siècles.

Mécanique céleste

Depuis l'Antiquité, on ne connaissait du Système solaire que cinq planètes en plus de la Terre : Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne. En 1781, William Herschel découvre Uranus totalement par hasard. Mais le XIX^{e} siècle voit l'avènement d'une nouvelle branche de l'astronomie : la mécanique céleste, qui étudie les mouvements des astres en général, selon la loi de la gravitation, et ceux du Système solaire en particulier. A cette époque les astronomes et les mathématiciens dissèquent avec un acharnement extraordinaire les mouvements planétaires. Cet acharnement est récompensé ; par le calcul seul, un astronome français, Le Verrier, et un astronome britannique, Adams, prédisent l'existence d'une nouvelle planète, extérieure à Uranus, ainsi que certaines de ses caractéristiques et enfin sa position dans le ciel. En 1846, Galle, un astronome allemand, découvre à la lunette la nouvelle planète, Neptune. En 1930, la

mécanique céleste permettra de découvrir la dernière planète de notre Système solaire, Pluton.

Les nouveaux horizons

Presque sans s'en rendre compte, pour ainsi dire naturellement, l'homme a, ces cent dernières années, conquis trois nouveaux milieux : l'espace des profondeurs sous-marines, l'espace atmosphérique, et enfin l'espace interplanétaire. Les techniciens et les ingénieurs qui lancent de nouveaux vaisseaux sur les vagues de l'espace pensent que l'horizon se trouve quelque part aux confins du Système solaire et ils ignorent s'il sera possible de traverser un jour les gouffres béants qui s'ouvrent au-delà, entre les étoiles.

L'astronome, lui, voit beaucoup plus loin. Les rayons lumineux en provenance du cosmos le font voyager en imagination, indifféremment dans l'espace et dans le temps. Il s'est découvert aussi un horizon, un horizon de l'observable, du connaissable, qui couvre la grande tapisserie cosmique à quelque quinze milliards d'années-lumière. C'est à Albert Einstein que l'on doit notre représentation actuelle de l'Univers. Sa théorie de la relativité restreinte nous a donné le « mode d'emploi » du monde physique, et la relativité générale le secret de l'architecture de l'Univers, peut-être. On a la science que l'on mérite : dans notre siècle où tout bouge et change tout le temps, l'astronomie découvre, avec la fuite des galaxies, que l'Univers n'est pas statique mais en continuelle évolution. Cette découverte, que l'Univers n'a peut-être pas toujours été, et qu'en tout cas les étoiles n'ont pas toujours brillé, permet enfin de lever le paradoxe du ciel nocturne. Quant à la vieille question de l'homme : « l'Univers est-il infini ? », elle n'a toujours pas de réponse. Par contre, on sait que l'Univers observable, lui, est limité. Quelle que soit la puissance du télescope que l'on utilisera, l'horizon cosmologique nous barrera toujours la vue. Il est par ailleurs assez amusant de noter que la science moderne, en couvrant la sphère céleste de ce nouvel horizon, a relevé le vieux modèle cosmologique d'Aristote ; de nouveau, notre Terre se trouve au centre de l'Univers.



La navette spatiale américaine doit atteindre la vitesse de 28 000 km/h pour s'échapper de notre petite planète bleue (Ph. © 1984 Skyline Features/Cosmos.)