

Le côté obscur
de l'univers

Hervé Dole

Le côté obscur de l'univers

Préface de Pierre Léna
Membre de l'Académie des sciences

EKHO

Avec la collaboration de Ludovic Ligot

Couverture : Delphine Dupuy
Image de couverture : à partir de
© julvil/Adobe Stock
Illustrations : Rachid Marai
Composition : Nord Compo

© Dunod, 2017, 2020 pour la présente édition
11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com
ISBN 978-2-10-080833-5

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.

Préface

Quand disparaissait le soleil et qu'une nuit sans lune, par temps clair, tombait sur la savane africaine où vivait l'*Homo sapiens*, pouvons-nous imaginer les sentiments de ce premier humain ? Dans l'obscurité naissante émergeaient une à une les premières étoiles, avant que le ciel entier n'en fut couvert et que leur lent mouvement d'Est en Ouest n'éteigne les unes pour allumer les autres. Avait-il peur de cette obscure et mouvante clarté, la stupeur l'envahissait-elle, ou peut-être une émotion tremblante face à ce spectacle à nul autre pareil ? Il ne nous est guère aisé d'imaginer cette nuit primitive et son mystère, peuplé de cris d'animaux qui, bien plus tard, se retrouveront dans les noms de constellations. Pendant des millénaires, l'expérience de cette nuit lumineuse a nourri les sentiments des humains, leurs poésies et leurs rêves, leurs questions de science et leurs philosophies. Hélas aujourd'hui, cette obscurité féconde et profonde est devenue un bien rarissime, plus rare encore que le silence. Bien de nos contemporains n'ont jamais senti la nuit, ils en ont peur, ils demandent aux édiles du plus petit village de montagne comme de toute ville d'inonder les rues de lumière artificielle. Et tant d'enfants grandissent, privés de cette expérience fondatrice, sans jamais avoir vu une étoile – hormis le Soleil – sinon sur un écran. Nous avons perdu la nuit, les astronomes ne la trouvent plus guère

même au sommet de hautes montagnes dans le désert, et nous dissipons vers l'espace, en pure perte, les mégawatts des éclairages urbains. Mais au fond, pourquoi la nuit est-elle noire ?

Ce livre d'Hervé Dole nous restitue la puissance évocatrice de l'obscurité, il emporte le lecteur dans un passionnant voyage pour explorer la face obscure de l'univers. Partant de cette interrogation séculaire, il livre la solution, toute récente, de l'énigme, en déployant l'essentiel de la cosmologie d'aujourd'hui, c'est-à-dire de notre représentation de l'univers dans sa totalité – un pléonasme. Son récit nous éclaire, et c'est comme s'il voulait illustrer pour son lecteur ces mots de Saint-John Perse: « *Ils m'appelaient l'Obscur et j'habitais l'éclat...* ». Et voici que l'énigme de la nuit noire, résolue, s'ouvre sur d'autres énigmes fascinantes auxquelles avec talent, et humour parfois, nous introduit l'auteur: celles de la matière noire et de l'énergie noire. Ainsi va la science dans son incessant dévoilement du réel qui nous entoure.

Professeur à l'université Paris-Sud, l'auteur a longtemps vécu les questions de ses étudiants, leurs difficultés à se représenter ces phénomènes si lointains dans l'espace et le temps. Conférencier, il ne ménage pas sa peine pour faire partager à toutes sortes de publics ce précieux savoir. Mais surtout, chercheur lui-même, partenaire et acteur des grandes missions spatiales de cosmologie observationnelle, telles que Spitzer et Planck hier ou Euclid demain, il a construit des instruments et préparé ces missions, analysé les signaux reçus de ces observatoires, interprété les précieuses informations qu'ils contenaient. Il a vécu à l'échelle d'une grande coopération internationale les émotions et la puissance du travail en équipe. Il sait partager avec le lecteur espoirs, joies et difficultés de son métier, il

illustre même parfois son témoignage de vie quotidienne par des courriels reçus. Avec lui, nous vivons quelques moments des trois dernières décennies, si fécondes, et nous partageons les nouvelles interrogations qu'elles soulèvent : l'obscur ne se laisse pas si aisément éliminer...

Hervé Dole est conscient des limites du savoir scientifique qui est le sien. Car il n'ignore pas la profondeur des questions métaphysiques ou religieuses que cette contemplation scientifique de l'univers peut susciter. Il sait alors distinguer ce qui est de l'ordre de la science, traité dans ce livre, de ce qui est de l'ordre de l'expérience spirituelle, de la recherche de sens qu'il respecte et qui habitent, tout autant que la rationalité, chaque être humain.

Combien davantage est riche une méditation sur l'univers lorsqu'elle peut s'inscrire dans un paysage balisé par la science, et par une science dont nous comprenons le cheminement ! Astrophysicien passionné autant que pédagogue, Hervé Dole ne cesse de proposer ce paysage, qu'il s'agisse d'enfants de maternelle ou de lycéens, d'astronomes amateurs ou d'étudiants en doctorat. Son site internet mérite la visite, qui montre comment de nos jours un véritable savant illustre ces quelques lignes écrites par Isaac Newton quelques semaines avant sa mort à l'un de ses amis : *« Je ne sais pas ce qu'il en semble au monde, mais quant à moi, il me semble que je n'ai été qu'un garçon jouant sur la plage, et me divertissant de temps à autre en découvrant un galet mieux poli ou un coquillage plus beau que d'ordinaire, alors que le grand océan de la vérité s'étendait devant moi, dans la totalité de son mystère. »*

Pierre Léna, août 2017
Membre de l'Académie des sciences

À Aline, Caroline et Maryse, qui m'inspirent

À la mémoire de Bernard Dole

Prologue

UNE AVENTURE HUMAINE ET SCIENTIFIQUE

L'idée de ce livre a germé progressivement, au cours des nombreuses conférences que j'ai pu donner devant des publics scolaires, universitaires, associatifs ou profanes, et grâce aux riches discussions qui s'ensuivent parfois. Elle s'est affinée lors d'échanges avec mes étudiants de l'université Paris-Sud à Orsay, où j'enseigne la physique et la cosmologie. Certaines balivernes proférées dans les médias par des pseudo-scientifiques y ont aussi été pour quelque chose... Après réflexion et en discutant avec des collègues chercheurs, il m'est apparu que la plus élégante parade serait de me mettre moi-même à l'écriture, avec un résultat peut-être moins sensationnel, mais assurément plus sérieux! Enfin, ma participation à des missions spatiales de la NASA et de l'ESA, en particulier l'extraordinaire aventure de Planck et celle (en cours) d'Euclid, m'a finalement convaincu de partager cette émulation scientifique et intellectuelle, mais aussi humaine et technique (ces derniers aspects étant plus rarement évoqués).

J'ai donc ici l'ambition de raconter « de l'intérieur » une partie des résultats marquants de la science contemporaine, ainsi que certains de nos questionnements quotidiens. Vous

trouverez dans ce livre un récit d'expériences personnelles et sensibles (comme l'indicible excitation provoquée par le lancement d'une mission spatiale à laquelle j'ai contribué), ainsi que des éléments de réponse à la question « à quoi sert l'envoi de satellites pour observer l'Univers ? ». Le cœur de mon propos concerne la cosmologie des xx^e et xxi^e siècles, avec en « point focal » la mission européenne Planck, qui a analysé le rayonnement fossile – résidu lumineux du Big Bang – avec une précision inégalée. Grâce à ces mesures, les chercheurs ont obtenu une carte d'identité précise de l'Univers – son âge, sa composition, son évolution – et ont pu éclairer des épisodes particulièrement obscurs, comme l'inflation cosmique ou l'époque de réionisation.

Astrophysicien spécialiste de cosmologie observationnelle, j'ai eu l'opportunité de coordonner un groupe d'une centaine de chercheurs – répartis dans plus de dix pays – pour organiser l'analyse des données de Planck relatives aux galaxies. Je coordonne actuellement une partie de l'architecture de la future analyse des données d'Euclid. Acteur et observateur privilégié de domaines connexes aux miens, j'ai côtoyé de nombreux chercheurs impliqués dans des projets visant à comprendre la nature et l'histoire de notre univers, ses lois fondamentales et ses constituants, dont les énigmatiques matière noire et énergie sombre.

Dès lors, quoi de plus naturel que de vouloir partager ce formidable bouillonnement d'idées, de technologies, de questionnements, de doutes et de rencontres ? Ce partage de connaissances et d'expériences entre les scientifiques et la société – ici matérialisé sous la forme d'un livre – me tient particulièrement à cœur. Depuis une vingtaine d'années, je rencontre les élèves (qu'ils soient écoliers, collégiens, lycéens ou étudiants) et le grand public, avec l'envie et l'exigence de transmettre et de partager nos

savoirs sans les dénaturer et, en retour, de comprendre les interrogations et le point de vue des citoyens. La science et toutes les autres formes de réflexion intellectuelle et sensible (artistique, culturelle, etc.) font partie d'une démarche commune de questionnements sur le monde, sur notre société et sur nous-mêmes.

Maintenant intégré à l'équipe de direction d'une grande université, je participe activement à la promotion de ce dialogue entre science et société, et au meilleur mélange entre la culture scientifique et la culture tout court. À l'heure des « faits alternatifs », et quand certains donnent le même crédit à une croyance ou à une opinion qu'à des faits scientifiques avérés, il s'agit de croiser plusieurs visions du monde afin de former des citoyens libres, critiques, épanouis et indépendants. Rien de moins qu'un vrai projet républicain !

Si vous découvrez ici la cosmologie, préparez-vous à un grand saut dans l'histoire méconnue des conceptions de l'Univers et dans son côté obscur, voyez les défis auxquels les chercheurs se confrontent afin de percer ses mystères. Si vous connaissez le sujet, vous serez peut-être surpris par la richesse de ses récents développements. Dans cet ouvrage (qui aurait pu s'appeler « 52 nuances d'univers avec Planck », vous comprendrez aux chapitres 2 et 5), vous pourrez éventuellement sauter des paragraphes ou des chapitres – indépendants du reste – dès le chapitre 6, si certains concepts vous semblent trop ardues, dans la deuxième moitié du livre. Il est temps de partir ensemble à la découverte de ce côté obscur de notre Univers. Même s'il sera peu fait mention de la saga *Star Wars* dans cet ouvrage, que la force soit avec vous pour ne pas tomber trop vite du côté obscur !

LE SPATIAL EN TÊTE

De son développement à son exploitation, un télescope spatial est une aventure collective de longue haleine, pleine de tension et de suspens. L'étape critique du lancement suscite toujours une émotion particulière. Pour initier ce voyage, je voudrais donc évoquer les trois télescopes qui ont façonné ma carrière, et faire vivre leurs lancements. Trois... deux... un... mise à feu!

Vendredi 17 novembre 1995, siège de l'Agence spatiale européenne (Paris)

Cet automne, j'ai démarré un DEA d'astrophysique (cinquième année universitaire, équivalente à l'actuel Master 2) et presque tous les cours me passionnent. Parmi les sujets d'actualité, les enseignants-chercheurs nous font l'article d'ISO (*Infrared Space Observatory*), un satellite qui doit décoller très bientôt. Développé par l'Agence spatiale européenne (ESA, pour *European Space Agency*), il sera le premier télescope spatial européen observant dans le domaine infrarouge (la lumière au-delà du rouge, ici entre 2 et 240 microns de longueur d'onde).

Ce satellite promet de faire bien des découvertes sur les objets « froids » de l'Univers, du Système solaire aux galaxies les plus lointaines. Certains de ses instruments

ont été conçus et développés en France, avec le soutien de l'agence spatiale française: le CNES (Centre national d'études spatiales). Les scientifiques – les Français en particulier – espèrent beaucoup d'ISO, car ils ont élaboré un programme ambitieux, tirant parti de l'exceptionnel potentiel des instruments. Le gain attendu par rapport aux missions précédentes est en effet immense: une résolution angulaire environ 100 fois meilleure, une sensibilité accrue d'un facteur 1 000!

Nous formons un groupe d'étudiants et demandons aux chercheurs à assister avec eux au lancement de l'engin, retransmis en direct au siège de l'ESA. La demande est rapidement acceptée et nos noms ajoutés à la liste des invités. Par une froide soirée de novembre, nous voici donc à attendre tardivement (minuit a déjà sonné) dans un café parisien. Puis nous entrons enfin dans l'Agence, un lieu magique à nos yeux.

Très intimidés, nous prenons place sur les sièges et écoutons sagement les informations techniques venant du Centre spatial guyanais (CSG) de Kourou. En voyant les mines de nos profs et de l'assistance, nous percevons bien la tension et l'importance de l'enjeu, dont le jargon technique ne rend évidemment pas compte. Une quinzaine d'années de travail technologique et scientifique de premier plan se trouvent au sommet du lanceur Ariane 4, et ce vol (le V80) va décider de toute la suite... Cette expérience unique aux allures de formation accélérée m'a durablement marqué.

Il est à présent plus de 2 h du matin et le compte à rebours s'égrène normalement. Vers 2 h 20, les dernières secondes sont scandées par le DDO (directeur des opérations) dans un silence et une tension inoubliables. *Cinq... quatre... trois... deux... un... top!* Les quatre moteurs Vulcain

du premier étage s'allument, suivis quatre secondes plus tard par les quatre propulseurs d'appoint à poudre, qui produisent un intense flash lumineux. La fusée s'élance dans le ciel nocturne guyanais. Tout se passe comme prévu: la poussée, la trajectoire, l'allumage des deuxième et troisième étages, la séparation des éléments. Environ 20 (très longues) minutes après le décollage, nous avons la confirmation qu'ISO est bien séparé du troisième étage: lancement réussi!

Les applaudissements et le soulagement fusent, la salle qui s'était comme figée durant presque une demi-heure revit: quel contraste! Une certaine tension demeure, car si le lancement est essentiel au succès d'une mission, d'autres étapes suivent: il faut scruter le satellite pour vérifier qu'il fonctionne bien. Première phase cruciale: l'ouverture des vannes cryogéniques d'ISO, avant la vérification et le test de ses quatre instruments scientifiques. Le satellite dispose en effet d'une technologie unique de refroidissement cryogénique (à des températures ultra-basses) du télescope et de ses instruments: de l'hélium liquide superfluide les maintient à $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$, soit 4 K (4 degrés au-dessus du zéro absolu).

Cette nuit à l'ESA scelle mon sort. Arrivé en dernière année universitaire (avant le «Gaal» du financement d'une thèse de doctorat pour continuer dans la recherche), j'ai désormais un but: participer à ces projets collectifs, les missions spatiales qui révolutionnent notre vision du monde, vibrer pour ces moments d'intensité unique. Ce soir-là, un modeste étudiant prend la décision de tout faire pour travailler sur les données d'ISO...

L'histoire a une suite assez belle. Le satellite a parfaitement fonctionné, bien au-delà des prévisions: 28 mois au lieu des 18 attendus. Malgré des études universitaires