

Voyage sur les flots
de galaxies

Hélène Courtois

Voyage sur les flots de galaxies

Laniakea, et au-delà

Préface de

Françoise Combes
Académicienne des sciences

EKHO



Ce pictogramme renvoie à des vidéos disponibles sur la chaîne Youtube de l'auteur : HeleneCourtois.

Avec la collaboration de : Caroline Bee

Illustrations : Rachid Maraï
Graphiques, vidéos, animations : Daniel Pomarède
Illustration de couverture : créée à partir d'une image
d'Hélène Courtois et de Benjamin Le Talour
Couverture : Delphine Dupuy

© Dunod, 2016, 2020 pour la présente édition
11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com
ISBN 978-2-10-080686-7

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

Qu'est-ce qu'un cosmographe? Un géographe du cosmos. C'est ainsi que se définit Hélène Courtois, avec en outre une dimension temporelle: en astronomie, voyager loin c'est remonter le temps. Attachez votre ceinture, car dans cet ouvrage, nous allons explorer notre environnement immédiat, jusqu'à 1 milliard d'années-lumière!

Les centaines de milliers de galaxies qui nous entourent ne sont pas distribuées de façon homogène. Au contraire, elles s'agglomèrent en amas denses, séparés par de grands vides et reliés par des filaments cosmiques, formant comme une toile d'araignée. Les images nous montrent cette toile de galaxies en projection sur le ciel, à deux dimensions. Alors, comment obtenir la distance, la troisième dimension, la profondeur?

La narration ne laisse aucun temps mort, et l'on accompagne l'auteur dans ses pérégrinations à travers le monde, pour travailler sur différents télescopes. Ces derniers sont d'abord optiques, puis ensuite radio. Les nombreuses campagnes d'observation nécessitent un travail d'équipe en collaboration avec plusieurs astronomes à travers le monde. L'équipe d'Hélène

Courtois surfe sur les flots cosmiques, et observe la nuit et le jour, en se servant de tous les fuseaux horaires possibles. C'est ainsi qu'en 2009, en dormant assez peu, elle a pu effectuer 480 nuits d'observations!

Une étape clé du processus est ensuite la reconstruction de la géographie en trois dimensions de notre Univers local. Les logiciels doivent être intelligents, pour pouvoir prendre en compte les divers artefacts des observations, tout comme le manque d'observations dans certaines régions. Si des vitesses sont manquantes, on peut les reconstruire, comme une fresque de Pompéi dont il manquerait des morceaux. Il faut deviner l'information manquante, avec des algorithmes basés sur des modèles et simulations de matière noire, en se servant des probabilités optimales, et des filtres de Wiener éduqués pour atténuer les effets du bruit.

L'aboutissement de tout ce travail est la découverte de la géographie/cosmographie de notre Univers local avec ses bassins-versants, l'existence de notre superamas Laniakea. Curieusement, nous sommes au bord de la grande structure, tout près du Grand Vide local. Au final, a-t-on découvert le Grand Attracteur? Laissons le suspense pour permettre au lecteur de le découvrir!

De nombreuses anecdotes émaillent cette quête de vingt ans. Les digressions sur la vie courante des astronomes et chercheurs la rendent ainsi beaucoup plus vivante et humaine. La recherche n'est pas un long fleuve tranquille! Il y a des échecs, dont on apprend

beaucoup si l'on persévère. De plus en plus, les observations cosmologiques font intervenir de vastes groupes de chercheurs et la carrière d'Hélène Courtois est une parfaite démonstration de cette transition. Débutant dans des groupes de moins de dix personnes, elle fait partie aujourd'hui de grandes collaborations, jusqu'au consortium de préparation de la mission Euclid, réunissant mille deux cents personnes! Le livre fait l'éloge du travail d'équipe et des collaborations internationales, où toutes les compétences sont mises en commun, pour se compléter.

Enfin, des encarts didactiques font le point sur une notion ou un concept. Cela permet de ne pas couper le fil de la narration, mais d'éclairer un point obscur. Ils peuvent d'ailleurs être lus indépendamment. Hélène Courtois déploie ses talents pédagogiques pour décrire dans le détail les divers indicateurs de distance employés, l'expansion de l'Univers, les concepts de matière noire et d'énergie noire, le fond cosmologique micro-ondes et ses anisotropies, ou une brève histoire du monde...

Françoise Combes
Astrophysicienne
Académicienne des sciences

Prologue

Notre Galaxie et ses voisines se déplacent dans l'Univers à une vitesse faramineuse de plusieurs centaines de kilomètres chaque seconde ! Cette observation était connue depuis le début des années 1960, sans que les astrophysiciens parviennent à en expliquer totalement la raison. Dans les années 1990, une équipe américaine a suggéré que ces mouvements sont dus à une masse énorme, le « Grand Attracteur », malheureusement situé dans une région difficile à observer.

Or, il se trouve que l'une de nos grandes spécialités lyonnaises est justement la (g)astronomie ! Notre quête du Grand Attracteur va conduire mon équipe et moi-même à découvrir le « superamas » de galaxies dans lequel nous vivons et que nous avons nommé « Laniakea ».

Le but de cet ouvrage est de vous faire partager l'histoire de cette découverte d'ampleur. Je souhaite proposer une vision simplifiée de l'Univers et des lois physiques qui le régissent. J'évite donc volontairement d'utiliser tout formalisme mathématique (hormis les puissances de dix), au risque de perdre un peu de rigueur dans les explications. Ce qui m'importe, avant tout, c'est de restituer l'ensemble de la démarche scientifique que les chercheurs suivent au quotidien.

Au cours du récit, je décrirai les méthodes d'analyse et de visualisation qui nous permettent de construire des cartes où les grandes structures (filaments, superamas, vides) de l'Univers se dévoilent petit à petit. Au fil de la lecture, vous allez vous familiariser avec votre nouvel environnement extragalactique (adjectif qualifiant tout ce qui se trouve hors de notre Galaxie), celui que nous, cosmologues, qualifions de «local», mais qui couvre pourtant un rayon de plus de 1 milliard d'années-lumière autour de nous.

Dans ce livre, actualisé à l'occasion de cette nouvelle édition, j'ai aussi inclus nos plus récentes découvertes depuis celle de Laniakea: la toile des vitesses cosmiques, les repousseurs du Dipôle et celui du Point Froid.

Je terminerai par un survol de l'impact de cette découverte sur nos connaissances actuelles. En effet, cette recherche permet de mieux comprendre différents processus de la formation des galaxies et pose des bases pour des prospections à venir, lesquelles seront poursuivies avec les futurs télescopes multi-antennes terrestres et spatiaux.

Le récit mettra à l'honneur différents chercheurs, hommes et femmes de toutes nationalités, qui ont participé d'une façon ou d'une autre à cette découverte. J'ai choisi d'inclure quelques portraits d'astrophysiciennes d'exception – Henrietta Leavitt, Sandra Faber, Wendy Freedman, Vera Rubin, Renée Kraan-Korteweg –, afin de présenter une autre image de l'astronome. J'aurais pu en citer beaucoup d'autres.

Ainsi, nous verrons que les découvertes ne sont liées ni à l'origine, ni au genre, mais à la détermination individuelle et au travail en équipe.

Mais assez discuté: calez-vous confortablement dans votre fauteuil et envolez-vous avec moi pour ce voyage dans le temps et l'espace, en suivant mes campagnes observationnelles depuis mes débuts de jeune étudiante dans le *bush* australien jusqu'à plus récemment, au-dessus des palmiers hawaïens ou au beau milieu d'une immense zone de silence radio nichée au cœur du Comté de Pocahontas en Virginie Occidentale.

NOTRE NOUVELLE ADRESSE COSMIQUE

Où je retrace la chronologie des progrès scientifiques qui ont permis aux cosmologues de localiser les galaxies dans l'espace et de construire les premières cartes de l'Univers local à trois dimensions.

Vous êtes ici

Depuis le 4 septembre 2014, nous avons officiellement une nouvelle adresse cosmique ! En effet, c'est ce jour-là qu'a été publié, dans la prestigieuse revue scientifique anglaise *Nature*, notre article qui annonçait la découverte de Laniakea. Le superamas extragalactique Laniakea est la plus grande structure de galaxies connue à ce jour à laquelle nous appartenons. Son nom, d'origine hawaïenne, signifie « horizon céleste immense ». En effet, sa taille est gigantesque, bien difficile à appréhender : il mesure environ cinq cent millions d'années-lumière de diamètre, c'est-à-dire que la lumière met cinq cent millions d'années pour le traverser de part en part. Il contient environ cent mille grosses galaxies comme

la nôtre, et un million de plus petites, ce qui représente environ 100 millions de milliards de soleils ! C'est l'histoire de la découverte de Laniakea, à laquelle j'ai activement contribué, que je vais vous raconter.

Petit lexique du cosmologue averti

Pour les cosmologues, l'objet céleste « de base » est la galaxie. Les galaxies (du grec ancien, signifiant *cercles laiteux*) contiennent des étoiles, du gaz, des poussières et de la matière invisible, dite noire, l'ensemble restant lié sous l'effet de la gravitation. Les galaxies ont été classées selon leur forme ou leur taille. On distingue ainsi les galaxies spirales, elliptiques, lenticulaires, irrégulières, naines ou géantes. Notre Galaxie, appelée aussi la Voie lactée, est relativement grande : on y dénombre quelques centaines de milliards d'étoiles. C'est une galaxie spirale ; elle a la forme d'un disque avec un bulbe central ; le Soleil est situé en périphérie, dans l'une des branches de la spirale, le « bras d'Orion ».

À l'intérieur des galaxies, il y a des étoiles. Une étoile est une « simple » boule de gaz, très chaude en raison des réactions de fusion nucléaires qui se produisent en son cœur. La température de l'étoile est en lien avec sa masse : les étoiles les plus massives sont les plus chaudes et ce sont aussi celles qui vivent le moins longtemps. Notre Soleil est une étoile de taille moyenne. Autour des étoiles gravitent les planètes, petits corps célestes qui ne sont pas assez chauds, car pas assez massifs, pour émettre leur propre lumière visible. Huit planètes orbitent autour du Soleil, dont la Terre. Des satellites encore plus petits orbitent autour de certaines planètes, comme la Lune, l'unique satellite naturel de la Terre.

Les galaxies se regroupent dans l'Univers sous l'effet de la gravitation. Nous habitons le Groupe local, qui ne compte que trois grandes galaxies, dont la Voie lactée, plus une cinquantaine de galaxies naines. Parfois, les galaxies peuvent se rassembler en bien plus grand nombre, formant ce qu'on appelle des amas. Ainsi, notre Groupe local est attiré par l'amas de la Vierge, qui contient plus de mille galaxies. Les amas sont positionnés le long de filaments en réseau pour former des superamas comme Laniakea.



elliptique (ESO 325)



irrégulière (NGC 1427A)



spirale (M83)

Figure 1.1. Quelques types morphologiques de galaxies (le petit nom de chacune est donné entre parenthèses)