

ASTROPHYSIQUE

FRANÇOISE COMBES, MÉDAILLE D'OR 2020 DU CNRS

Le prestigieux prix récompense l'astrophysicienne Françoise Combes, spécialiste de la formation et de l'évolution des galaxies.

Professeuse au Collège de France, où elle occupe la chaire Galaxies et cosmologie depuis 2014, et membre de l'Académie des sciences depuis 2004, Françoise Combes est une figure mondialement reconnue de la recherche en astrophysique. La médaille d'or du CNRS honore ainsi une chercheuse au parcours exceptionnel. Avec ses travaux et ses nombreuses collaborations, elle a contribué à de

nombreuses découvertes. Son champ d'expertise est particulièrement vaste, de la formation et l'évolution des galaxies à la matière noire en passant par les techniques d'observation des quasars.

Françoise Combes a aussi participé activement à la diffusion des idées et du savoir aussi bien par ses activités d'enseignement que par ses nombreux livres, articles et conférences à destination du

grand public. À l'occasion de l'attribution de la médaille d'or du CNRS, nous lui avons demandé de partager avec nous sa vision d'ensemble sur son domaine de recherche. Elle souligne à quel point la période que nous vivons est palpitante : de nombreuses grandes découvertes ont marqué l'astrophysique ces dernières années et d'ambitieux projets d'observation augurent d'un avenir proche non moins fécond.

Quelles découvertes récentes vous ont-elles particulièrement marquée ?

Depuis vingt ans environ, on constate une accélération des découvertes en astrophysique et en cosmologie. Elles sont surtout observationnelles grâce à la mise en service d'instruments très performants, comme le télescope spatial *Hubble*, qui est opérationnel depuis 1990, mais il est loin d'être le seul.

L'une des grandes découvertes est sans conteste la détection des planètes extrasolaires. En 1995, Michel Mayor et Didier Queloz, de l'université de Genève, ont découvert la première planète autour d'une étoile de type solaire. Aujourd'hui, notamment grâce au télescope spatial *Kepler*, on en connaît plusieurs milliers. Par ailleurs, en 1998, deux équipes de cosmologistes ont mis en évidence l'accélération de l'expansion de l'Univers en étudiant de lointaines supernovæ, des explosions très brillantes d'étoiles en fin de vie. Et, plus récemment, en 2015, la collaboration *Ligo-Virgo* a confirmé l'une des prédictions de la théorie de la relativité générale : les ondes gravitationnelles, c'est-à-dire des vibrations de l'espace-temps. Grâce à des interféromètres laser géants, on a détecté ces ondes émises lors de la fusion de deux trous noirs.

Ces quelques exemples s'accompagnent de beaucoup d'autres avancées aussi bien observationnelles que théoriques en cosmologie et dans le domaine de la physique des galaxies.

Vous occupez la chaire Galaxies et cosmologie au Collège de France. Ces domaines de recherche ont longtemps été vus comme indépendants. Connaissent-ils maintenant un rapprochement ?

Depuis une quinzaine d'années, les chercheurs se sont aperçus qu'on ne peut comprendre l'évolution des galaxies qu'en prenant en compte de vastes structures de matière, les filaments, qui s'étendent sur des échelles cosmologiques. Une étape cruciale a été le démarrage en 2000 du programme de relevé *SDSS (Sloan digital sky survey)*, qui a identifié des millions de galaxies. Nous avons alors constaté qu'il existe deux familles bien marquées : les galaxies bleues, où se forment de nouvelles étoiles, et les rouges, qui ne contiennent que de vieilles étoiles. Il n'y a pas de stade intermédiaire, mais une galaxie peut passer d'une famille à l'autre de façon cyclique en fonction de la quantité de gaz qu'elle contient. Les simulations numériques nous ont permis de comprendre que les filaments apportent le gaz et que le trou noir supermassif au centre de la galaxie a un effet régulateur : il devient très actif quand il est alimenté en matière et, par réaction, repousse le gaz hors de la galaxie.

On ne peut pas comprendre l'évolution des galaxies sans prendre en considération leur environnement aux échelles les plus vastes. Et, inversement, dans l'histoire de l'Univers, les galaxies





ont joué un rôle crucial, notamment pendant la période de réionisation. Vers 200 millions d'années après le Big Bang, elles ont contribué à ioniser et chauffer le gaz qui remplissait l'Univers. Mais cette période reste encore assez mal connue. Les chercheurs attendent beaucoup du futur télescope spatial *James-Webb (JWST)*, le successeur de *Hubble*, prévu pour 2021. Alors que *Hubble* ne voit que les galaxies primordiales les plus brillantes, et avec une résolution limitée, *JWST* devrait en voir beaucoup plus et plus finement. D'autres projets, comme le radiotélescope *SKA*, étudieront grâce à la lumière de quasars lointains (des galaxies dont le trou noir supermassif central est très actif) l'évolution du gaz dans l'Univers.

Quels ont été les progrès en cosmologie ?

Les observations les plus récentes, comme la carte du fond diffus cosmologique (le rayonnement émis par l'Univers 380 000 ans après le Big Bang) dressée par le satellite *Planck* avec une précision exceptionnelle, ont consolidé notre confiance dans le modèle du Big Bang, qui décrit un univers né d'un état de densité et de température extrêmes et qui se refroidit au cours de son expansion.

Il y a cependant encore beaucoup d'inconnues dans ce modèle. L'inflation, par exemple. En une fraction de seconde, l'Univers aurait gonflé d'un facteur 1030. Cette phase explique de nombreuses observations, mais le mécanisme sous-jacent n'est pas élucidé. Les théoriciens ont proposé beaucoup de scénarios. Pour faire le ménage, une piste serait de détecter des ondes gravitationnelles primordiales produites pendant l'inflation. Elles auraient laissé une empreinte dans le fond diffus cosmologique, signal qui n'a pas encore été détecté. Une autre piste serait d'utiliser un réseau de pulsars (des étoiles à neutrons émettant un signal périodique très régulier) dans la Voie lactée pour déceler le passage de ces ondes gravitationnelles.

Qu'en est-il de l'énergie noire et de la matière noire ?

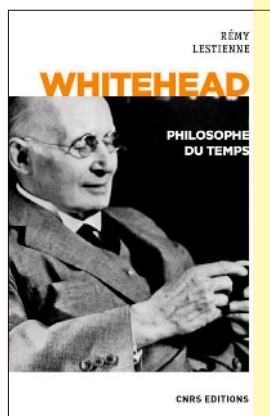
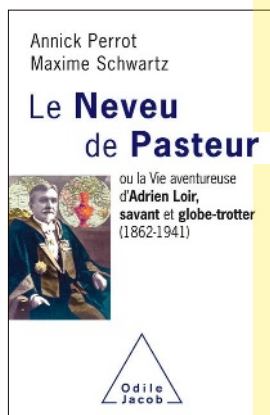
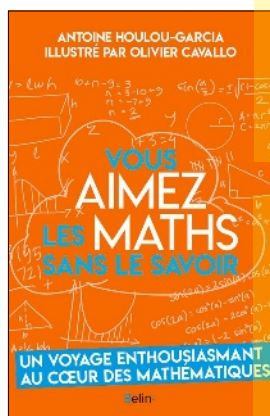
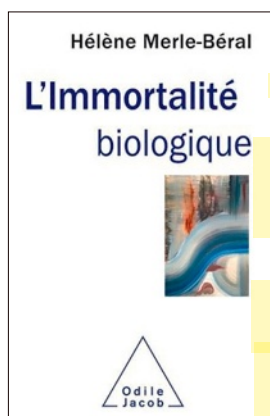
L'énergie noire représente 70 % du contenu de l'Univers ; elle explique l'accélération de l'expansion de l'Univers, mais sa nature reste inconnue. Comme pour l'inflation, les théoriciens ont proposé de très nombreuses explications. Si des observations ont déjà permis d'écarter certaines d'entre elles, les données actuelles ne sont pas assez précises pour dire si l'énergie noire est juste une constante cosmologique ou quelque chose de dynamique qui évolue au cours du temps. Le télescope spatial *Euclid*, prévu pour 2022, devrait recenser la position de 12 milliards de galaxies à différentes époques. L'analyse de ces données permettra de retracer la dynamique d'expansion de l'Univers avec assez de précision pour en savoir plus sur la nature de l'énergie noire.

Le reste du contenu de l'Univers se partage entre 5 % pour la matière baryonique (composée des atomes) et 25 % pour la matière noire. Cette dernière intervient à de nombreuses échelles, tant pour expliquer la dynamique des galaxies que pour interpréter les données du fond diffus cosmologique. On a longtemps pensé qu'une particule massive nommée « wimp » (pour *weakly interacting massive particle*) était le bon candidat. Mais sa non-détection au *LHC*, le grand collisionneur de hadrons du Cern, près de Genève, et dans d'autres expériences utilisant des approches très différentes amène à penser que le wimp n'est pas la bonne piste. Il faut regarder du côté des autres candidats, et ils sont nombreux : nouvelles particules exotiques, trous noirs primordiaux, gravité modifiée...

Que vous inspirent tous ces résultats et ces projets futurs ?

Je pense que nous sommes à un tournant. Les dernières décennies ont fait l'objet de découvertes fantastiques. Il reste encore de grandes questions, mais de nouveaux instruments, très puissants, scrutent déjà le ciel ou le feront bientôt. Nous avons beaucoup de chance de vivre à cette époque, parce que, j'en suis sûr, plusieurs des énigmes de l'Univers seront prochainement éclaircies. ■

Propos recueillis par SEAN BAILLY



BIOLOGIE

L'IMMORTALITÉ BIOLOGIQUE

Hélène Merle-Béral

Odile Jacob, 2020,
180 pages, 20,90 euros

Le fait d'être des animaux conscients a rendu notre finitude insupportable, de sorte que les humains ont inventé les dieux et les promesses de vie éternelle dans l'au-delà. Mais voilà que des avancées scientifiques ont ouvert la possibilité de flirter avec l'idée d'atteindre – non pas la vie éternelle sur Terre! – mais une forme d'«amortalité», comme écrit l'autrice dans son passionnant livre.

Celui-ci s'articule en trois parties. Hélène Merle-Béral passe d'abord en revue les principales croyances inventées par les hommes dans leur obsession d'échapper à la mort; elle nous explique ensuite les multiples raisons biologiques du vieillissement des êtres vivants. On comprend alors qu'en théorie, des recherches scientifiques pourraient livrer des moyens de stopper, voire d'inverser les processus qui nous font vieillir. Puis l'autrice décrit l'univers transhumaniste.

Non seulement Hélène Merle-Béral nous dresse un panorama exhaustif des outils déjà à disposition ou en cours d'élaboration (décryptage des génomes, ciseau à ADN, nanotechnologie, cellules souches, intelligence artificielle, prothèses en tous genres, robotisation, fabrication d'organes en 3D, exosquelette, biocapteurs...), mais elle nous explique aussi qui fait quoi et où actuellement parmi les différents laboratoires de la planète. Enfin, elle évoque plusieurs des conséquences sociétales qui découleront de ce nouveau monde, comme la coexistence transitoire des humains augmentés et normaux, la fin des religions ou encore le nouveau rôle des médecins dans la société.

Deux critiques: il manque un développement sur le pourquoi de la sénescence, thème puissant dans les sciences de l'évolution; pas de discussion non plus du désastre écologique que signifierait l'accession à l'amortalité. Les rêves transhumanistes de colonisation d'exoplanètes en tiennent-ils compte? Il vaudrait mieux...

FRÉDÉRIC THOMAS

LABORATOIRE MIVEGEC, CNRS, MONTPELLIER

MATHÉMATIQUES

VOUS AIMEZ LES MATHS SANS LE SAVOIR

Antoine Houlou-Garcia

Belin, 2020,
144 pages, 18,00 euros

Ce livre est un recueil d'historiettes de portée initiatique relatives à des résultats mathématiques généralement étonnants, donc prenants. Elles illustrent l'utilité des mathématiques, mais plus encore la beauté inattendue du cheminement logique. Si les sujets traités (tours de cartes, votes, géométrie, jeux de nombres...), ne sont pas tous inédits, l'angle de résolution des questions posées est original et autorise une réflexion parallèle. Exemple: le jeu avec deux dés est plus intéressant qu'avec un seul, car la somme des deux dés lancés n'est pas de probabilité uniforme et le résultat le plus fréquent est 7. Au Monopoly, il faut ainsi construire des maisons à une distance de 7 cases des adversaires dont c'est le tour de jouer. Qui utilise cette réflexion lors d'une partie? Les mathématiques s'appliquent dans des situations imprévues et nous y penserons si nous gagnons en confiance dans nos possibilités de réflexion.

Quoiqu'il soit absurde de prétendre que le monde est mathématique (le calcul de la trajectoire des planètes n'explique pas la nature de celles-ci), il est vrai que certains de ses aspects sont dévoilés par les mathématiques. Au prix d'un effort, car le «bon sens», prôné actuellement dans certains cercles antiscientifiques, est souvent démenti par la logique. C'est en cela que la promenade dans l'histoire de la réflexion mathématique retracée dans l'ouvrage est à la fois une leçon d'humilité et d'espoir.

De surcroît, les mathématiques, assimilées à un art, sont mises en relation dans les histoires du livre avec des considérations sur le dessin (voir le cas de la fougère fractale), la musique, la biologie, la philosophie...

Pour persuader de l'intérêt des aspects complexes des mathématiques, ne faut-il pas donner envie de les apprendre sur des situations simples qui en dévoilent l'essence? Le livre y réussit à merveille.

PHILIPPE BOULANGER
FONDATEUR DE POUR LA SCIENCE