



Françoise Combes

Entretien

COLLÈGE
DE FRANCE
— 1530 —

« Nous voulons observer l'aube cosmique »

Françoise Combes est astrophysicienne ; ses travaux portent principalement sur la physique galactique. Elle étudie la formation, le comportement et l'évolution des galaxies dans l'espace, à l'aide d'observations et de simulations numériques, mais elle s'intéresse aussi à la mystérieuse matière noire, qui constitue près de 80 % de toute la matière dans l'Univers.

En 2004, elle devient la première astrophysicienne à rejoindre l'Académie des sciences, depuis 2014, elle est titulaire de la chaire Galaxies et cosmologie du Collège de France. En 2020, elle reçoit la médaille d'or du CNRS.

Ses enseignements seront disponibles sur notre site :
www.college-de-france.fr

Entretien

Depuis sa théorisation dans les années 1930, la matière noire semble éluder toutes les tentatives des astrophysiciens de la percer à jour. Peut-on espérer l'identifier dans un avenir proche ?

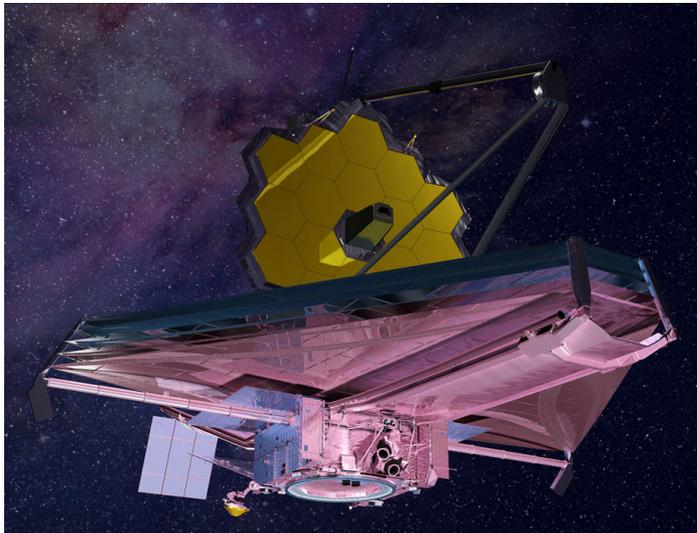
Françoise Combes : À l'heure actuelle, nous semblons encore loin de la découverte, car la plupart des candidats pouvant correspondre à ce que nous appelons « matière noire » ont disparu. En 1985, nous avions un candidat issu de la théorie supersymétrique des particules élémentaires. Cette supersymétrie supposée stipulait que toutes les particules élémentaires avaient leur correspondant dans un autre univers : ainsi les bosons (photons, gluons, etc.) y deviennent des fermions (électrons, protons, neutrons dans le modèle standard), et inversement. La particule candidate, le neutralino – qui n'existe qu'hypothétiquement – était supposée être la plus stable d'entre toutes. Hélas, elle a échappé à toutes les expériences de détection, dans les tunnels du mont Blanc ou du Gran Sasso. Puis, nous avons pensé pouvoir trouver cette matière noire dans les accélérateurs de particules. Elle devrait avoir à peu près cent fois la masse du proton. Or, au Grand collisionneur de hadrons (LHC), la collision de protons génère une énergie telle qu'elle devrait faire apparaître la particule que nous cherchons. En 2012, nous avons détecté le boson de Higgs, qui possède à peu près la même masse que l'hypothétique particule de matière noire, mais qui est très instable. Les expériences au LHC ont maintenant dépassé les niveaux d'énergie nécessaire à cette découverte d'un facteur 10, mais sans la moindre signature de notre particule d'intérêt, qui devrait pourtant être très stable, puisqu'elle existe depuis treize milliards d'années. D'autres candidats se sont présentés depuis, comme les neutrinos stériles, supposés avoir une masse encore plus faible, ou encore les axions, à masse extrêmement faible, mais aucun ne fait l'unanimité comme les neutralinos l'ont fait. Nous sommes un peu en situation de crise, car nous n'avons pas de candidat très sérieux pour cette matière noire actuellement.



La galaxie NGC_6753.
Télescope spatial Hubble
(CC BY 2.0)

Vous étudiez aussi la formation et le comportement des galaxies. Quels sont les outils qui permettent de travailler avec ces corps cosmiques ?

D'une part, nous avons les observations, à l'aide de télescopes et dans toutes les longueurs d'onde : optiques, radio, infrarouges, etc. Nous observons la dynamique des galaxies et leur rotation, et pouvons cartographier la matière noire grâce à la déviation qu'elle imprime aux rayons lumineux des galaxies d'arrière-plan. Et puis, les simulations numériques nous aident beaucoup. Nous formulons une hypothèse vis-à-vis d'une loi de gravité modifiée ou bien d'une certaine nature de la matière noire, et nous la simulons numériquement afin de voir ce qu'elle prédit : si les prédictions de ce modèle ne sont pas en accord avec les observations, nous modifions l'hypothèse jusqu'à ce que nous arrivions à concilier modèles et observations. De nouveaux outils vont bientôt venir enrichir cet arsenal, et notamment quelques télescopes spatiaux.



Le 25 décembre 2021 décollait justement le télescope spatial James-Webb, qui prend le relais de Hubble. Que devrait-il nous apprendre sur le comportement des galaxies et la matière noire ?

Ce lancement a été un formidable cadeau de Noël, en effet, et nous nous attendons à de grandes quantités de données précieuses. James-Webb est bien plus grand que Hubble, avec une surface et une sensibilité dix fois supérieures. Il bénéficie également d'une gamme de longueurs d'onde beaucoup plus vaste que son prédécesseur ; il peut observer dans l'infrarouge moyen et lointain, jusqu'à vingt-huit microns de longueur d'onde, alors que Hubble s'arrêtait dans l'infrarouge proche à un ou deux microns. Ainsi, ce nouveau télescope nous permettra de voir plus loin ; les galaxies primordiales, par exemple ; celles qui se sont formées au tout début de l'Univers, soit entre cent et cinq cents millions d'années après le Big Bang. L'Univers a traversé un long âge sombre avant cette période, durant lequel l'expansion l'a refroidi et recondensé, essentiellement en atomes d'hydrogène qui absorbent les rayonnements ultraviolets ; il n'y avait donc pas de lumière. Or, nous pensons que les premières étoiles, et donc les premières galaxies, qui se sont formées à cette époque ont progressivement réionisé l'Univers, l'amenant à l'état transparent dans lequel nous le connaissons aujourd'hui. Nous voulons jeter un œil à cette « aube cosmique » qui a tiré l'Univers d'une longue nuit. Mais nous ne savons pas de quoi ont l'air ces galaxies, et James-Webb devrait nous apporter quelques réponses. Je pense qu'aucune simulation ne peut nous préparer aux surprises qu'il peut nous révéler !

À gauche : Télescope spatial James-Webb observant les galaxies, vue d'artiste en 3D à partir d'éléments fournis par la NASA.



Ce télescope est porté par la NASA, mais pas seulement. Quelle place l'Agence spatiale européenne a-t-elle occupée dans ce projet ?

L'Agence spatiale européenne (ESA) possède 15 % du temps du télescope. Au départ, ce projet ne devait coûter qu'un milliard de dollars, mais depuis un facteur dix s'est immiscé et l'addition s'échelonne à dix milliards, principalement parce que le télescope a été long et compliqué à construire. L'ESA a contribué à hauteur d'un milliard de dollars, à peu près, soit environ 10 % du prix total. Mais nous avons aussi beaucoup contribué au montage des instruments qu'il emporte. Par exemple, l'instrument MIRI, qui est un spectrographe et imageur dans les longueurs d'onde infrarouge très lointaines, a été monté par les Français à l'Observatoire de Paris et à Orsay. Nous avons aussi fourni le lanceur, Ariane 5. Au début du mois de février ont commencé les premiers tests, afin de vérifier si tout fonctionne correctement, et nous commencerons à faire de la science à travers le télescope à partir du mois de juin 2022.

Dans un contexte de collaboration internationale comme celui-ci, comment se passe l'accès aux données récoltées par le télescope ?

Tous ceux qui ont contribué, par le montage des instruments par exemple, ont du temps d'usage garanti pour récompenser leur travail, bien évidemment. Toute la communauté a fait des propositions d'observations, et les plus intéressantes ont été sélectionnées. Ce processus a bien sûr été très compétitif, avec peut-être 10 % des propositions retenues, et ces équipes-là auront du temps ouvert. Ce dernier fonctionne un peu comme avec Hubble, lorsqu'une observation est sélectionnée, celui ou celle qui l'a proposée dispose d'un an de propriété, pendant lequel il peut essayer de faire des publications. Au bout d'un an, ces observations deviennent publiques et tout le monde peut y accéder sur Internet. Cela donne une certaine pression à ceux qui ont fait des propositions pour publier très vite.

À gauche : Le télescope spatial James-Webb détaché de son transporteur au centre spatial européen de Kourou. Photographie de Chris Gunn.

NASA/Chris Gunn (CC BY 2.0).

Comment les promesses de ce télescope vous ont-elles inspiré la création d'une nouvelle chaire au Collège de France ?

En plus des galaxies primordiales, nous utiliserons James-Webb pour examiner les exoplanètes – c'est-à-dire des planètes situées hors de notre système solaire – de plus près. Depuis vingt-cinq ans, nous avons détecté plus de cinq mille exoplanètes, mais toujours par des moyens détournés, des observations indirectes. Avec le nouveau télescope, on espère détecter la composition de l'atmosphère de ces exoplanètes. En effet, quand celles-ci passent en transit devant leur étoile, on peut, par transmission, observer la part des photons de l'étoile qui est absorbée par leurs atmosphères dont la composition nous est renseignée par les raies obtenues. Par ce biais, on peut par exemple espérer détecter une biosignature : la preuve de la présence des composés nécessaires à la vie sur ces planètes. On sait qu'il existe des étoiles pourvues de planètes dites « habitables ». Par exemple, l'étoile TRAPPIST-1 qui est assez proche, à « seulement » quarante années-lumière de la Terre, voit sept planètes rocheuses, un peu comme la Terre, graviter autour d'elle. Cette étoile est plus petite que le Soleil ; c'est une naine rouge froide, donc les planètes peuvent être plus proches d'elle et posséder toutefois de l'eau liquide à leur surface. En somme, la zone d'habitabilité est plus proche de l'étoile. Sur les sept, on en soupçonne trois, peut-être quatre, d'être habitables. Par ailleurs, comme elles sont très proches de leur étoile, elles complètent leur révolution autour d'elle en seulement quelques jours. Cela génère beaucoup de transits, le télescope James-Webb va pouvoir ainsi les observer de nombreuses fois et sommer les spectres lumineux de plusieurs transits pour obtenir des raies bien lisibles. On espère trouver des raies de dioxyde de carbone, de l'eau, de l'oxygène, du méthane, de l'ammoniac... autant d'éléments qui pourraient être le signe d'une présence – ou du moins d'une possibilité – de la vie sur ces planètes. C'est pour cela que nous avons pensé à la création de cette nouvelle chaire, décidée par l'Assemblée en novembre 2021, qui s'appellera « Formation planétaire, de la Terre aux exoplanètes ». On pense qu'on va apprendre énormément de choses sur la formation des planètes de notre propre système solaire en regardant ce qui se passe ailleurs, et cette chaire est là pour le refléter. Dans le proche avenir, on va pouvoir comprendre ce qui se passe dans d'autres systèmes et, par ricochet, ce qui se passe dans le nôtre ; comment la Terre s'est formée, par exemple.

Quel bilan tirez-vous de la chaire Galaxies et cosmologie que vous occupez présentement ?

C'est une expérience passionnante. Chaque année, nous devons faire cours avec des sujets différents. J'ai commencé avec un cours sur la matière noire, après cela sur l'énergie noire, puis sur les noyaux actifs de galaxie. Tout cela relève du domaine dans lequel je travaille tous les jours, donc c'était relativement facile. Mais, pour produire tous ces cours et ces séminaires, il faut se pencher sur tout ce qui se fait dans le domaine à cette époque-là – la science en train de se faire – ce qui est très passionnant ! Cela nous permet de prendre un peu de recul sur l'état de l'art d'un sujet donné, quand on est habitué à n'avoir le nez que dans ses propres travaux. Après les premières années, j'ai exploré les frontières de mes sujets. Par exemple, je parle cette année de tous les objets variables de l'Univers : les étoiles à neutrons, les sursauts gamma, etc. Des choses dont je connaissais l'existence, mais sur lesquelles je n'avais pas travaillé, l'occasion d'apprendre beaucoup de nouvelles choses. Changer de sujet chaque année est une expérience très enrichissante, qui demande beaucoup de travail, mais élargit nos propres horizons en tant que scientifiques.



La galaxie UGC 2665 faisant partie de l'immense amas de galaxies de Persée.

ESA/Hubble & NASA, J. Kalirai, A. Milone (CC BY 2.0)

En 2004, vous deveniez la première femme astronome à rejoindre l'Académie des sciences, puis en 2014, la première femme à obtenir une chaire d'astrophysique au Collège de France. Depuis, avez-vous constaté une évolution de la présence des femmes dans cette discipline ?

Il y a une évolution, oui, mais à double tranchant. Je pense qu'il faut être positif et optimiste dans le fait que les femmes acquièrent plus de postes de responsabilité de niveau supérieur, comme à l'Académie ou au Collège. Par exemple, au siècle dernier, même Marie Curie – qui a pourtant reçu deux prix Nobel – n'est jamais entrée à l'Académie des sciences, donc il y a eu du progrès. Récemment, dans les nouvelles entrées, il y avait presque la parité, et l'on a un total de 10 à 12 % de femmes – ce qui est toujours mieux que zéro. On constate la même évolution au Collège de France et ailleurs, dans des postes de direction des universités qui deviennent de plus en plus féminins. Du côté des jeunes, en revanche, c'est peut-être un peu plus difficile. Parce que, au début, les jeunes femmes qui se dirigent vers des secteurs scientifiques sont similaires en nombre aux jeunes hommes, avec presque 40 %. Ensuite, peu à peu, au niveau de la thèse, puis à la sortie, se présente la difficulté de trouver un poste stable, après une série de postdoctorats assez précaires, parce que la compétition est encore plus féroce qu'auparavant. À mon époque, on attendait deux ou trois ans pour atteindre un poste permanent. Désormais, il faut peut-être attendre sept, voire huit ans avant d'avoir un poste permanent dans lequel on peut s'établir et se stabiliser. On constate que les jeunes femmes abandonnent souvent à ce stade, car la thèse était déjà longue. Il faut faire quelque chose pour retenir les femmes à ce niveau en proposant après la thèse des postes moins précaires, qui peuvent déboucher sur une situation plus stable, dans la mesure où tout se passe bien. Quand j'ai commencé, il y avait à peu près 30 % de femmes qui obtenaient un poste permanent en astronomie, ce qui n'était pas trop mal, et bien mieux que les pays anglo-saxons, comme l'Allemagne ou l'Angleterre, où ce chiffre tournait plutôt autour de 3 ou 4 %. En revanche, on observe une diminution de ce pourcentage aujourd'hui, avec 20-25 %.



Ce déséquilibre de la présence des femmes en astrophysique peut-il être imputable à une « genrisation » des sciences ?

Absolument. L'astrophysique attire beaucoup de personnes, mais on voit moins de femmes en mathématiques ou en physique « dure », par exemple. Au niveau de l'université, pourtant, il y a plus de 50 % des femmes qui réussissent aux examens. Pourtant, souvent, ces étudiantes vont s'autocensurer et se diriger vers des disciplines désignées plus féminines, comme la biologie ou les professions de médecine et d'aide à la personne. Il faut lutter contre cette « genrisation » de la science et il reste, pour ce faire, beaucoup de préjugés à surmonter, des mentalités à changer – même au niveau de l'éducation à l'école, à travers les choses les plus élémentaires, comme des livres qui font perdurer les stéréotypes, et présentent les parents avec des rôles bien définis pour le père et pour la mère. C'est une culture qui doit changer, évoluer par des actions de sensibilisation, ce qui va très certainement se faire, mais prendre du temps.

Françoise Combes, à l'Observatoire de Paris.

© Frédérique Plas/LERMA/CNRS Photothèque

Vous étiez lauréate de la médaille d'or du CNRS en 2020, puis du prix L'Oréal-Unesco pour les femmes et la science l'année suivante. Comment ces distinctions affectent-elles votre travail ?

Cette médaille d'or a été une très grande reconnaissance pour toute l'équipe, et nous étions tous très fiers de voir que nos travaux contribuaient à la science de manière remarquable. De son côté, L'Oréal fait beaucoup de choses pour les femmes, y compris les jeunes, avec de nombreuses bourses accordées chaque année, notamment pour soutenir les chercheurs et chercheuses en situation de transition, lors de leurs postdoctorats, et qui s'interrogent sur leur avenir. Ces distinctions, et les portes qu'elles ouvrent par le biais de séminaires ou de conférences dédiées, sont l'occasion d'encourager les femmes dans la science. Ces cérémonies n'ont pas pu avoir lieu, les deux années passées, à cause de la pandémie, mais nous les tiendrons en juin, en même temps que la cérémonie de cette année, ce qui va permettre à plusieurs générations de prix de se rencontrer. Je pense que ce sera très important pour motiver et encourager les jeunes femmes scientifiques.



Propos recueillis par **William Rowe-Pirra**,
journaliste scientifique

Tous droits réservés,
Collège de France, 2022