

▪ Françoise Combes, astrophysicienne : « Je pense que nous ne sommes pas seuls dans l'Univers »

Entretien

Médaille d'or du CNRS en 2020, l'astrophysicienne Françoise Combes est titulaire de la chaire « Galaxies et cosmologie » au Collège de France. Cette année, son cours portait sur les étoiles et les trous noirs. L'occasion pour La Croix L'Hebdo d'aller la rencontrer, dans son bureau de l'Observatoire de Paris, ce haut lieu de la recherche astronomique fondé sous Louis XIV.

Recueilli par Mikael Corre

La Croix-L'Hebdo : Françoise Combes, d'où vient la vie dans l'Univers ?

Françoise Combes : L'Univers est constitué de gaz, de nuages de gaz qui contiennent tous les ingrédients nécessaires à la vie. Quand j'ai commencé ma carrière en 1975, nous cherchions à connaître sa composition. Nous étions en quelque sorte des « chasseurs de molécules ». Nous nous demandions : quels éléments allons-nous bien pouvoir observer dans ce gaz interstellaire extrêmement dilué ?

Pour vous donner une idée, le gaz qui nous entoure dans cette pièce (*Françoise Combes désigne l'air autour d'elle*) contient 100 000 milliards de milliards de particules par centimètre cube. Dans le milieu interstellaire, c'est seulement 10 particules par centimètre cube. Comment imaginer, dans ces conditions, que des atomes puissent se rencontrer et former des molécules ? C'est pourtant ce qu'on a observé à partir des années 1980, ce qui nous a stupéfiés !

Malgré sa faible densité, le gaz interstellaire contient des molécules d'hydrogène, avec aussi du carbone, de l'oxygène, de l'azote... Tout ce qui compose la vie sur Terre. Ce qui nous compose.

Pardon, mais comment peut-on « observer » des molécules d'hydrogène, d'oxyde de carbone ou d'oxygène dans l'Univers ?

F. C. : La plupart de ces molécules n'émettent pas de lumière visible, on ne peut donc pas les « voir » avec un télescope optique. En revanche, on peut capter les ondes millimétriques qu'elles émettent, à condition d'être sur la bonne fréquence.

Dans les années 1970, les seuls radiotélescopes capables de le faire se trouvaient aux États-Unis. Il fallait donc traverser l'Atlantique, avec de grosses valises transportant nos oscillateurs – des « klystrons », comme on les appelait. On avait un mal fou à les faire passer à la douane. Il nous fallait des tas de certificats pour prouver qu'il s'agissait d'instruments scientifiques, et pas d'une bombe ! Ensuite, il fallait rejoindre la Californie, l'Arizona ou le Texas, grimper sur le télescope, de nuit, avec nos clés à molette, et visser

le klystron pour changer la fréquence. L'idée était de faire battre l'oscillateur avec le signal du ciel. C'était le temps des pionniers.

C'est comme cela, je crois, que votre équipe a été la première à identifier du monoxyde de carbone (CO) dans une autre galaxie, Andromède. Qu'avez-vous appris ?

F. C. : Oui, c'était en 1977 avec le télescope d'Arizona. Les Américains n'avaient rien vu dans Andromède parce qu'ils avaient regardé au centre de la galaxie. Nous avons trouvé un autre endroit, plus en périphérie. Cette détection était importante, parce que le CO permet de « tracer » (*c'est-à-dire de capter les signaux, NDLR*) des molécules d'hydrogène, le principal gaz de l'Univers !

Cela nous a aidés à mieux comprendre comment naissent les étoiles. On s'est rendu compte que les molécules comme l'hydrogène ne sont pas réparties de manière uniforme dans l'Univers. Elles forment des nuages, qui vont se concentrer, sous l'effet de leur propre gravité, et devenir de gros nuages, à l'intérieur desquels vont se former des petits grumeaux (*des amas de matière, NDLR*). Cela devient une structure hiérarchique : d'autres grumeaux se créent à l'intérieur des grumeaux, et ainsi de suite, jusqu'à ce que le grumeau le plus dense s'effondre sur lui-même.

Le gaz devient si dense et si chaud dans l'effondrement que des réactions nucléaires peuvent s'enclencher. L'hydrogène fusionne alors en hélium, ce qui libère une énorme énergie, qui est rayonnée à l'extérieur. Une étoile est née.

C'est comme cela qu'est né le soleil, par exemple ?

F. C. : Tout à fait, c'était le soleil quand il était jeune, il y a 4,5 milliards d'années. Le plus impressionnant, c'est qu'on peut aujourd'hui voir des étoiles à ce stade très précoce grâce à l'interféromètre Alma, installé dans le désert d'Atacama au Chili.

Je me souviens, en 2012, de la première fois qu'on a observé l'une de ces protoétoiles (« *bébés étoiles* », *NDLR*). C'était un disque avec des anneaux, comme ceux que nous avons modélisés sur ordinateur. On distinguait la formation de l'étoile, au centre du disque, et des planètes, dans le creux des anneaux.

Les planètes se créent donc en même temps que leur étoile ?

F. C. : Oui. Ensuite la fusion se poursuit tout au long de la vie de l'étoile. La formation d'éléments nouveaux continue, jusqu'au jour où l'étoile, si elle est assez massive, explose en supernova, et que les nouveaux atomes puis molécules de carbone, d'oxygène ou encore d'azote ainsi créés soient rejetés dans l'Univers. Ce sont ces éléments qui composent la vie sur Terre. C'est la raison pour laquelle Hubert Reeves (*célèbre astrophysicien mort en 2023, NDLR*) disait que nous sommes des poussières d'étoiles.

Pensez-vous qu'il y a de la vie dans l'Univers ailleurs que sur Terre ?

F. C. : Certainement. Je pense que nous ne sommes pas seuls. Ce serait tout à fait improbable qu'il n'y ait qu'une seule planète dans l'Univers qui, comme la Terre, réunirait les conditions à la création d'une forme de vie. Pensez au nombre de planètes qu'on a détectées depuis 1995, depuis que Michel Mayor et Didier Queloz (*astrophysiciens de l'université de Genève, NDLR*) ont détecté la première planète extrasolaire, c'est-à-dire qui tourne autour d'une autre étoile que le Soleil !

On sait aujourd'hui que toutes les étoiles ont une, deux, trois, quatre, huit planètes. Or, dans la Voie lactée, il y a quoi, 200 ou 300 milliards d'étoiles ? Et on ne parle là que d'une seule galaxie, mais il y en a 2 000 milliards comme la nôtre ! Ces nombres font que la probabilité qu'il existe des planètes équivalentes à la Terre est proche de 1.

Le problème, c'est que les petites terres comme la nôtre, assez loin de leur étoile, sont difficiles à détecter. Mais nous allons y arriver. Pour l'instant, nous avons les moyens de détecter ce qu'on appelle des superterres, des « Jupiter chauds ». Ce sont de grosses planètes très chaudes, très proches de leur étoile.

Si on parvenait à détecter de la vie sur une autre planète, je ne me trompe pas en disant que ce serait des traces d'une vie passée ?

F. C. : Oui, évidemment. La lumière met un certain temps à nous parvenir et les objets dont on parle sont très loin. Des dizaines de milliers d'années-lumière séparent certaines étoiles de la Voie lactée. Entre les galaxies, ça se compte en millions et milliards d'années-lumière. Donc, quand nous observons des objets dans l'Univers, nous n'en voyons en réalité qu'une image révolue. Nous sommes des archéologues, en quelque sorte. C'est d'ailleurs le problème : si on trouve de la vie quelque part, elle sera sans doute très loin de nous, et peut-être déjà éteinte.

Mais nous cherchons aussi plus près de la Terre, dans le système solaire. On sait qu'autour de Jupiter, il y a des satellites comme Europa, Ganymède ou Callisto, qui sont glacés – on les appelle d'ailleurs les lunes glacées de Jupiter. Or, en passant à proximité, certains satellites artificiels (Galileo, Juno...) ont vu des geysers d'eau. On pense qu'il y a des forces de marée qui cassent la glace, sous laquelle il y aurait des océans énormes. En juillet 2023, l'Agence spatiale européenne a donc lancé un satellite, Juice (pour Jupiter Icy Moons Explorer). Bon, il n'arrivera au niveau de Jupiter qu'en 2031. Mais cela permettra de regarder la composition de cette eau.

À la recherche de phytoplancton jupitérien ?

F. C. : En quelque sorte. Il s'agira de voir s'il n'y a pas des bactéries, des restes de vie. Jupiter est proche, c'est pour cela qu'on y va. Mais nous n'abandonnons pas la recherche de traces de vie plus lointaines. Le Seti (*Search for Extra-Terrestrial Intelligence, un institut américain, NDLR*) cherche d'ailleurs à capter d'éventuels signaux extraterrestres. Mais bon, si un message d'une autre civilisation met 100 000 ans à nous arriver, ça va être difficile de répondre... (*Rires.*)

C'est un rapport au temps d'une tout autre échelle, mais vous nous recevez dans votre bureau à l'Observatoire de Paris, où vous travaillez. C'est une maison à l'histoire longue...

F. C. : Oui, l'Observatoire a été fondé en 1667, sous Louis XIV. C'était quelques décennies après l'invention de la lunette astronomique, qui a permis des avancées considérables !

C'était aussi quelques décennies après la condamnation de Galilée par l'Église catholique, en 1633. Je voulais vous demander ce que vous pensez de la démarche du pape Jean-Paul II, en 1992, de réhabiliter ce grand savant.

F. C. : C'est bien de l'avoir fait, mais on se demande pourquoi ce n'est pas arrivé plus tôt. Entre nous, en 1992, Galilée était déjà réhabilité pour tout le monde, y compris au Vatican, où il y a des astronomes, qui ont d'ailleurs un observatoire en Arizona.

Il m'est arrivé d'être invitée au Vatican pour un colloque, et j'ai trouvé que l'astronome en chef (le prêtre jésuite *José Gabriel Funes*, à qui a succédé en 2015 un autre prêtre jésuite et astronome, *Guy Consolmagno*, NDLR) était quelqu'un de très ouvert. D'ailleurs, c'est l'un de ses prédécesseurs, l'abbé *Georges Lemaître* (astronome belge, et président de l'Académie pontificale des sciences entre 1960 et 1964, NDLR) qui est le premier à avoir parlé « d'atome primitif ». C'est ce que *Fred Hoyle*, un détracteur de sa théorie, appellera plus tard le « big bang ». C'est ce nom qui est resté, mais c'est bien *Lemaître* – qui avait connaissance de la théorie de la relativité générale qui venait d'être découverte par *Albert Einstein* – qui a vu que l'espace se dilate. Et que si l'on remonte dans le temps, tout l'Univers qui nous entoure tient à l'origine dans un point, l'atome primitif.

Lemaître était allé parler au pape de l'époque (*Pie XII*, qui avait déclaré dans une encyclique en 1951 : « La vraie science, plus elle progresse, plus elle découvre Dieu », NDLR) pour lui dire de ne pas faire référence à l'atome primitif. Le pape s'était dit : « C'est formidable ce big bang, c'est peut-être la Création. » Et *Lemaître* lui avait répondu : « Non, non, ça n'a rien à voir. »

Peut-il, selon vous, y avoir un dialogue entre astronomie et religion ?

F. C. : Disons que ce sont deux attitudes totalement différentes. La science a besoin de preuves. Elle ne croit que ce qu'elle peut voir, détecter, mesurer... De l'autre côté, il y a la foi. Il faut croire sans avoir de preuves. Ce sont deux démarches qu'il faut bien différencier. Après, certains scientifiques, comme l'abbé *Lemaître* et d'autres encore aujourd'hui, sont croyants...

... C'est votre cas ?

F. C. : Non, ce n'est pas mon cas. Mais cela n'empêche pas d'avoir un regard humaniste. Il a fallu quelques milliards d'années pour que notre planète devienne habitable, que des petits êtres, des amibes (*organismes unicellulaires*, NDLR), des plantes, des crocodiles, des hommes apparaissent peu à peu. Cela a pris beaucoup de temps. Et je pense que l'on progresse encore. Alors, quelles vont être les évolutions de la vie terrestre à l'avenir ?

Je ne peux pas le dire, mais si on évite les catastrophes, je pense qu'elles peuvent être très positives. Je suis optimiste.

Si l'Univers n'était constitué que de planètes et de roches, ce serait un Univers un peu triste, non ? Le développement de la vie est quelque chose de très lumineux. Quelque chose qui donne du sens.

Quels regards portez-vous sur les progrès scientifiques de ces dernières décennies ?

F. C. : Le progrès a été exponentiel. On a découvert énormément de choses. Il faut se rendre compte. En cosmologie, nous avons déterminé en 1929 que l'Univers est en expansion. Moins de soixante-dix ans plus tard, en 1998, nous détectons que non seulement il est en expansion, mais que cette expansion s'accélère.

Il faut se représenter les progrès que cela constitue à l'échelle du siècle. Dans les années 1920, l'un des principaux débats scientifiques était : est-ce que les galaxies extérieures à la Voie lactée existent ? Avant cela, on pensait que les galaxies n'existaient pas. Que la Voie lactée était tout l'Univers. Le mot Voie lactée, d'ailleurs, fait référence à la bande blanche que l'on voit dans le ciel. Quand on s'est rendu compte que la Voie lactée était en fait une galaxie, on a nommé toutes les autres comme la nôtre (*en grec, galaxías signifie « voie lactée »*, NDLR).

Pensez-vous que les progrès vont se poursuivre sur ce rythme ?

F. C. : C'est possible qu'ils restent exponentiels, il n'y a qu'à voir la dernière décennie. Prenons les trous noirs, par exemple. Au XVIII^e siècle, les scientifiques John Michell et Pierre-Simon Laplace ont eu l'intuition qu'il existait des objets assez compacts pour que la vitesse d'échappement soit plus grande que la vitesse de la lumière, ce que l'on appelle aujourd'hui les trous noirs (*ils sont noirs puisque la lumière ne parvient pas à s'en échapper*, NDLR). Depuis 2019, on est sûr qu'ils existent, puisque nous sommes parvenus à obtenir une image de leur ombre.

Même chose pour les ondes gravitationnelles (*les oscillations de courbure de l'espace-temps*, NDLR). Albert Einstein les avait prédites en 1916, en même temps que la théorie de la relativité générale, mais il avait dit : « *C'est beaucoup trop faible, on n'arrivera jamais à les détecter.* » En 2015, nous sommes parvenus à en détecter quelques-unes. C'était un exploit fantastique ! Et aujourd'hui, on en a identifié des centaines.

Puisque l'on parle progrès, j'aimerais vous faire réagir au fait que les femmes restent minoritaires dans la plupart des champs de la recherche scientifique. Pensez-vous que cela va changer ?

F. C. : En astrophysique, nous sommes 30 % de femmes. C'est plus qu'en maths et en physique théorique. Mais ces différences avec les hommes tiennent aux stéréotypes. J'ai été frappée de lire une étude récente sur les enfants en CP. Au début de l'année, les filles sont aussi bonnes en maths que les garçons. Et puis, six mois plus tard, l'étude révèle un décrochage. C'est stupéfiant comme c'est rapide... Je pense que cela

tient aux professeurs, à l'entourage, qui va considérer que les maths intéressent moins les petites filles, et les en convaincre.

Plus largement, je pense que les choses vont dans le bon sens. Là aussi, il faut voir les progrès. Les femmes n'ont eu accès à l'enseignement supérieur en France qu'à partir du début du XX^e siècle. Avant cela, elles ne pouvaient pas étudier la médecine, un métier aujourd'hui majoritairement féminin. C'est fou quand on y pense aujourd'hui, mais l'École polytechnique ne s'est ouverte aux femmes qu'en 1972. Pareil pour l'Académie des sciences, qui avait quand même refusé l'entrée de Marie Curie... Sa candidature avait généré un grand débat entre toutes les Académies, et on avait dit : « *Eh bien non, ce n'est pas possible qu'il y ait des femmes.* » Elle avait quand même deux prix Nobel...

Vous êtes donc optimiste ?

F. C. : Oui, après cela progresse comme une courbe de la Bourse, il y a parfois des petits reculs. Mais je pense qu'il ne faut pas s'en désespérer. La première femme élue à l'Académie des sciences en 1979, la physicienne Yvonne Choquet-Bruhat, est encore en vie, elle a 100 ans.

Mais il y a aussi la question des violences sexuelles et sexistes dans le milieu de la recherche, qui n'est pas sans lien. J'ai été stupéfaite par les résultats d'une enquête récente commandée par la Fondation L'Oréal, au niveau mondial. 49 % des femmes chercheuses interrogées déclaraient avoir vécu une expérience de harcèlement sexuel. Ce qui m'a le plus surpris, c'est que, dans l'immense majorité des cas, ces situations ont été cachées, étouffées. Mais je pense que, sur ce point, la vague #MeToo participe à délier les langues. Et c'est heureux !

En aparté

➤ Ses dates

1952 Naissance à Montpellier.

1975 Enseigne à l'École normale supérieure (ENS).

1989 Astronome à l'Observatoire de Paris.

2004 Première femme astronome à entrer à l'Académie des sciences.

2014 Devient titulaire de la chaire galaxies et cosmologie au Collège de France.

2020 Médaille d'or du CNRS, pour ses travaux sur l'évolution des structures essentielles de l'Univers.

➤ Un lieu

Grenade

« Plus précisément, le télescope de l'Iram (*Institut de radioastronomie millimétrique, NDLR*), situé dans la sierra Nevada espagnole, à 2 800 mètres d'altitude. C'est le radiotélescope à antenne unique le plus sensible au monde. Tellement sensible qu'il permet « *de voir jusqu'au big bang* » et d'observer que, peu importe l'éloignement dans le temps ou dans l'espace, on retrouve toujours les mêmes molécules. Cela signifie que, s'il y avait de la vie aux origines de l'Univers, ce serait une vie semblable à la nôtre. »

➤ Une grande figure

Margaret Burbidge et Vera Rubin

« Impossible de choisir entre ces deux astrophysiciennes inspirantes. Quand l'astronome anglaise naturalisée américaine Margaret Burbidge (1919-2020) a commencé à travailler avec son mari au milieu du XX^e siècle, les femmes étaient interdites dans les laboratoires américains. Il a fallu qu'elle se batte pour pouvoir faire des observations. Quant à Vera Rubin (1928-2016), avec qui j'ai eu l'occasion d'échanger, elle est l'une des premières femmes à avoir regardé les courbes de rotation des galaxies, et à avoir mis en évidence la matière noire. »

➤ Un art

La peinture à l'huile

« Je peins beaucoup, enfin un peu moins ces derniers temps. C'est ma grande passion. Il y a des toiles partout aux murs de mon bureau comme de ma maison. Ce sont des copies des grands noms de l'impressionnisme, Renoir, Monet, mais aussi des représentations de galaxies et de nuages interstellaires. »