

FRÉDÉRIC COURBIN

est professeur au laboratoire d'astrophysique de l'EPFL, l'École polytechnique fédérale de Lausanne, en Suisse. Il participe au projet international *HOLiCOW* (H_0 Lenses in COSMOGRAIL's Wellspring) pour mesurer la constante de Hubble et est l'un des fondateurs du programme *TDCOSMO*.



Constante de Hubble

La diversité des méthodes de mesure enrichit le débat

Pour sortir de la crise provoquée par les mesures de la constante de Hubble, de nombreux chercheurs développent des méthodes de mesure indépendantes de celles utilisées jusqu'ici. Tour d'horizon avec Frédéric Courbin, astrophysicien à Lausanne.

Pouvez-vous nous rappeler brièvement l'origine de cette crise ?

Depuis sa naissance, l'Univers est en expansion, mais à une vitesse qui a varié au cours du temps. La constante de Hubble, notée H_0 , indique le taux d'expansion actuel. L'astronome américain Edwin Hubble, à la fin des années 1920, a été le premier à estimer la constante qui porte son nom. Son résultat était très approximatif, mais aujourd'hui, grâce à l'amélioration des techniques, des méthodes reposant sur des principes différents donnent des valeurs dans un intervalle très resserré. Cela prouve que nous comprenons globalement bien comment l'Univers fonctionne. Cependant, même si ces valeurs sont proches, certaines sont incompatibles entre elles (voir l'article de Richard Panek dans ce numéro). En l'état, nous ne pouvons ni expliquer ni ignorer ces différences.

Quel est l'enjeu ?

Les deux méthodes les plus connues pour mesurer H_0 utilisent des approches diamétralement opposées. La première construit échelon après échelon une échelle de distance en partant de l'univers local et en établissant une relation vitesse-distance liée au taux d'expansion. L'autre méthode utilise le fond diffus cosmologique, le rayonnement émis par l'Univers quand il avait 380 000 ans. L'idée est de partir d'une référence de longueur dans l'Univers jeune et de suivre son évolution en revenant vers le présent. Pour cela, il faut se donner un modèle cosmologique qui fournit les ingrédients pour décrire l'histoire de l'Univers. Les cosmologistes sont alors à même de calculer H_0 . Si le modèle est correct et si la construction de l'échelle des distances a été bien faite, les deux méthodes devraient converger vers la même valeur de H_0 ... et ce n'est pas le cas ! Où est l'erreur ? Dans les mesures, les analyses ou dans le modèle cosmologique ? C'est ce que nous devons déterminer.

Quelles pourraient être les sources d'erreur dans, par exemple, l'analyse du fond diffus cosmologique ?

L'Univers primordial était rempli d'un plasma chaud (des protons et des électrons libres liés aux photons), parcouru d'ondes, dites « acoustiques », qui ont créé des zones de surdensité de matière. Ces ondes se propageaient à une vitesse caractéristique qui fournit une référence de longueur correspondant à peu près à la distance que les ondes ont parcourue depuis le Big Bang en 380 000 ans. À ce moment, le plasma est devenu assez froid pour que les protons et les électrons s'associent et forment des atomes neutres. Les photons se sont alors échappés, ce qui a donné le fond diffus cosmologique. Ce rayonnement isotrope et

quasi homogène correspond à une température de 2,7 kelvins. Mais les surdensités de matière ont provoqué de petites fluctuations de température, mesurées avec précision par le satellite *Planck*. À partir des caractéristiques statistiques de ces fluctuations, les cosmologistes déduisent des informations sur les conditions ayant régné dans l'Univers primordial. Ensuite, avec le modèle cosmologique standard, ils extrapolent l'histoire de l'expansion cosmique et calculent la constante de Hubble, à l'époque actuelle. La collaboration *Planck* a ainsi obtenu $H_0 = 67,4$ kilomètres par seconde et par mégaparsec.

Les mesures de *Planck* sont très fiables. C'est plutôt dans l'interprétation des données qu'un problème pourrait se nicher. D'abord, il y a le modèle cosmologique qui est éventuellement à reconsidérer. Celui-ci intègre des éléments comme l'énergie sombre, qui explique que l'expansion cosmique accélère mais dont la nature n'est pas connue. Et cette dernière influe sur la valeur calculée de H_0 .

Autre piste, la vitesse du son dans le plasma primordial est peut-être mal évaluée. Pour la déterminer, la collaboration *Planck* a fait quelques hypothèses simplificatrices qui étaient alors raisonnables : absence de turbulences et de champ magnétique dans le plasma. Mais si ces hypothèses sont incorrectes, la vitesse du son change, la référence de distance aussi et, par ricochet, H_0 serait à réévaluer. On a intérêt aujourd'hui à travailler avec des spécialistes des plasmas pour étudier des conditions plus réalistes de l'Univers primordial.

Et comment fonctionne la méthode de l'échelle des distances ?

L'idée est de construire la relation, pour différents objets dans l'Univers, entre leur distance et leur vitesse de récession (c'est-à-dire leur vitesse d'éloignement due à l'expansion cosmique). En établissant cette relation sur une longue plage de distances, on peut extrapoler jusqu'à aujourd'hui et estimer finement H_0 .

Il est assez simple de mesurer la vitesse d'un objet grâce au *redshift*, c'est-à-dire le décalage du spectre vers les grandes longueurs pour un objet s'éloignant de nous à cause de l'expansion de l'Univers. Plus un objet s'éloigne vite et plus le *redshift*, ou décalage vers le rouge, est important.

Mais mesurer la distance est autrement plus difficile. Il faut utiliser des références qu'on établit de proche en proche. On commence par la parallaxe, une méthode géométrique : si l'on observe une étoile au cours de l'année, elle semble changer de position du fait du mouvement de la Terre autour du Soleil ; par un calcul de trigonométrie, on estime alors la distance de l'étoile. Cela fonctionne pour des étoiles assez proches, car plus elles sont lointaines, plus le changement de position est petit et difficile à mesurer.