
LES MYSTERES DE L'UNIVERS

- 2 Une vue du ciel étoilé
- 3 L'histoire de notre univers actuel
- 7 Le mystère de l'expansion de l'univers
- 7 Les mystères du Big bang
- 11 Le mystère de la matière noire
- 11 Le mystère de l'énergie sombre
- 13 Quelques recherches récentes
- 14 L'hypothèse des trous noirs primordiaux

UNE VUE DU CIEL ETOILE

Depuis que les humains existent, ils ont été fascinés par le ciel, les mouvements des astres, le lien avec les saisons, le lien aussi avec la vie humaine. La science, elle, a commencé par vouloir comprendre la réalité de ces mouvements observés, qui sont en fait une combinaison de mouvements complexes, puisque la Terre elle-même a ses propres mouvements.

Aujourd'hui, à une époque où nous sommes capables de voyager dans l'espace, les mouvements des astres ne sont plus un mystère. Nous avons même réussi à reconstituer une histoire de l'univers. Mais d'autres mystères nous sont apparus.

La connaissance de l'univers pose deux grands mystères à l'heure actuelle. Il y a deux problèmes, et des gros problèmes, deux énormes quantités de choses que l'on devrait voir, observer, mais qu'on ne trouve pas. La première, on l'a appelée la matière noire. Il y aurait une quantité de matière « manquante », et pas rien : en gros, cela correspondrait à 19 ou 20 fois tout ce que l'on connaît. Voilà pour la matière noire. C'est un peu embêtant.

Et ce n'est pas tout. De la même manière, il y a quelque chose de plus étrange encore qui manque, que l'on a appelé l'« énergie noire ». Elle aussi est en une quantité énorme, entre deux fois et deux fois et demi l'énergie qu'on connaît et qu'on observe dans l'univers.

Nous allons essayer de rentrer un peu plus dans chacun de ces deux mystères, et voir quels sont les axes de recherche, comment les physiciens actuels raisonnent et travaillent. Mais auparavant, on va quand même revenir sur ce qui est connu, et considéré comme vrai par l'ensemble de la communauté scientifique. Car c'est déjà impressionnant, même si les questions et les mystères le sont aussi.

Ce qui est connu, et qui est considéré comme tenant bien la route, c'est l'histoire de notre univers *actuel*. Je fais remarquer que je dis bien univers *actuel*, on va y revenir bientôt. L'histoire : c'est-à-dire comment, à quel moment, par quels phénomènes sont apparus les premières particules, la première lumière, les premiers atomes, les premières étoiles, les premières planètes, et la vie (je n'ai pas dit la première vie, ça on n'en sait rien) mais je dis la vie telle que nous la connaissons, sur la Terre, une minuscule planète qui tourne autour d'une étoile très moyenne, dans une galaxie très banale.

Mais avant de nous lancer dans cette histoire, il nous faut dire quelques mots sur ce que nous voyons quand nous regardons le ciel, par une belle nuit claire, et loin des sources de lumière fabriquées par l'homme.

On a l'impression que ce que nous voyons, comme ce que nous sommes habitués de voir, c'est une scène unique, un paysage global qui a lieu au même moment, et au moment où on le regarde. Mais ce n'est pas du tout ça.

Il faut savoir une chose, c'est que la lumière voyage, et qu'elle met du temps à voyager. Lorsqu'on allume une ampoule, la lumière en part et va venir jusqu'à nos yeux. Cette lumière met une minuscule fraction de seconde, mais pas zéro. On connaît sa vitesse, et on sait aussi que c'est toujours la même, dans le vide : 300 000 kilomètres en une seconde. On n'y réfléchit pas quand on regarde le Soleil, mais la lumière qu'il nous envoie met un peu plus de 8 minutes à nous arriver (exactement 8 minutes et 20 secondes).

Ca veut dire quoi ? Ca veut dire que, lorsqu'on regarde le Soleil (attention aux yeux !), on ne le voit pas tel qu'il est au moment où on le regarde. Non, en fait, on voit une image de lui qui date de 8 minutes et quelques. Et si l'on fait la même chose pour l'étoile la plus proche de nous, Proxima du Centaure, on la voit telle qu'elle était il y a un peu plus de trois années, car elle se trouve à une distance telle que la lumière, allant à 300 000 kilomètres par seconde, doit quand même mettre un peu plus de trois années pour faire la distance. On dit aussi que cette étoile se trouve à 3 années-lumière de la Terre.

Et comme chaque étoile est à une distance différente de celles qui nous semblent ses voisines, quand on regarde le ciel, la nuit, on regarde, en réalité, une série d'images avec chacune un passé différent. Une dernière remarque : on peut donc voir aussi une image de quelque chose qui date d'un très lointain passé de notre univers, pas des tout débuts mais quand même.

L'HISTOIRE DE NOTRE UNIVERS ACTUEL

Attention, j'ai bien dit en introduction que ce que nous connaissons bien, c'est « l'histoire de notre univers *actuel* ». Je n'ai pas dit « l'histoire de l'univers ». La différence ? Eh bien, cela veut dire que l'on ne sait pas si notre univers actuel ne fait pas suite à une autre histoire, celle d'un autre univers. Ou même s'il n'a pas une existence en parallèle avec un ou d'autres univers. Et là, il y a des questions, des théories, des hypothèses, des recherches, mais pas un accord de la communauté scientifique.

Donc, « notre univers *actuel* », celui que nous voyons, que nous étudions, a une histoire à lui. Elle commence par une naissance, à un moment qu'on va appeler le temps zéro, qui se trouve sous la forme d'un volume nul, et qui a une densité (une masse, si vous préférez) infinie, c'est en tout cas ce que disent les mathématiques.

Au moment où démarre le chronomètre du temps, il y a un peu moins de 14 milliards d'années (13,8 pour être plus précis), on appelle ce moment le Big bang. Notre cerveau n'est capable d'imaginer qu'une forme gigantesque d'explosion, mais ce n'est pas cela non plus. En tout cas, notre univers actuel se déploie.

Dans un premier instant, il n'y a aucune matière, il n'y a que des radiations et de l'énergie. Tout va aller à une vitesse astronomique, pendant laquelle les températures absolument énormes vont baisser. Et selon la température, les réactions entre ce qui existe changent.

Dans une première fraction de temps, on est à plus de 10 milliards de degrés de température ; trois sortes de particules élémentaires, infiniment plus petites encore que les atomes, sont là et agissent les unes sur les autres : des électrons, des photons et des neutrinos. Les électrons sont bien connus aujourd'hui, car c'est leur mouvement qui crée le courant électrique. Les photons, eux aussi, sont habituels aujourd'hui, pour simplifier on dira qu'ils sont les particules de la lumière, en ajoutant qu'ils ne pèsent rien du tout.

Le neutrino nous est plus étrange. C'est une particule qui subit très peu les forces comme la gravitation ou l'électricité. A tel point que la plupart des neutrinos qui arrivent du Soleil sur Terre la traversent de part en part. Du coup, dans la journée, notre corps est traversé par les neutrinos que nous envoie le Soleil. La nuit, ce sont ceux qu'il envoie de l'autre côté de la Terre et qui la traversent, qui nous traversent le corps ensuite.

Voilà donc de quoi est fait l'Univers à sa naissance : électrons, photons, neutrinos. En clair, il n'y a aucune matière. Il n'y a paradoxalement pas non plus de lumière, dans le sens où on l'entend d'habitude. Car les photons ont beau être présents et nombreux, ils sont sans cesse en train de réagir, donnant naissance à d'autres particules, au lieu de pouvoir circuler librement. L'univers est une sorte de soupe bouillante opaque. Le militant et physicien soviétique Sakharov a travaillé sur cette étape de la naissance de notre Univers, pour tenter de comprendre comment l'on est passé ensuite au début de l'apparition d'une matière.

Donc, pour l'instant, à plus de 10 milliards de degrés, électrons et photons s'annihilent pour donner naissance à des couples électron-positron, le positron étant, pour simplifier, un électron de charge positive ; après quoi, dans la même fraction de seconde, ce couple électron-positron s'annihile puis est recréé. On tourne en rond.

Il faut que la température descende sous les 5 milliards de degrés pour que cela commence à changer un peu. Les neutrinos ne réagissent plus avec les autres particules. Restent donc les électrons et les photons qui continuent à réagir, mais avec un changement : électrons et photons donnent surtout des photons. Il commence donc à rester des électrons qui ne subissent pas de réaction. Mais pour l'essentiel, on a encore une sorte de soupe à peu près uniforme. Très peu de matière ou en tout cas une matière particulière, et pas non plus de lumière.

Tout cela, redisons-le, se produit à une vitesse inimaginable pour notre cerveau. Arrivés à un milliardième de seconde après le Big bang, apparaissent enfin les premiers protons. On peut vraiment parler de matière. La température est passée sous les un milliard de degrés. Les protons, et avec eux, les neutrons, pourront bientôt donner naissance à des atomes.

Entre 1 seconde et 3 minutes qui suivent le Big bang, se forment donc les constituants de base des atomes, neutrons et protons. Ces protons et ces neutrons s'accrochent entre eux, et cela va former les noyaux des futurs atomes, qui sont différents les uns des autres, selon le nombre de neutrons et le nombre de protons accolés. Les premiers qui se forment à cette étape sont donc les noyaux des atomes les plus légers, l'hydrogène et l'hélium.

Dans un livre paru en 1977, le physicien américain Steven Weinberg décrivait une première version de cette histoire dans le détail, avec comme titre *Les trois premières minutes de l'univers*. En fait, Steven Weinberg trichait un peu. Il ne commençait à expliquer les choses qu'à partir d'environ « *un centième de seconde après le commencement, lorsque la température était tombée (...)* ». Mais il avait l'honnêteté de le dire : « *Il m'est impossible de commencer le film à l'instant zéro et à une température infinie* ». Nous reviendrons plus loin sur ce premier centième de seconde, et pourquoi il pose un problème.

Il va falloir attendre 380 000 ans, et qu'il y ait des températures bien plus basses, pour que se forment véritablement et complètement les atomes, à une température de, seulement, 6000° environ. Auparavant, les atomes se brisaient du fait de la chaleur.

C'est le moment d'un très important changement pour l'univers. Jusque-là, il était composé d'une soupe pleine d'énergie, et toutes les particules étaient comme chargées avec de l'électricité. Descendu à 6000°, cela change. Les atomes, neutres, sans électricité, se forment. C'est vraiment de la matière, une matière qui devient enfin prépondérante par rapport aux rayonnements et à l'énergie. Et, contrairement à ce qu'on pourrait penser, du fait qu'elle est moins chargée en rayonnements, cette matière va pouvoir laisser passer la lumière et d'autres ondes.

Auparavant, l'univers était opaque, la lumière ne pouvait pas le traverser. Maintenant, la lumière file tout droit, partout où elle peut, en fait presque partout. On dit que l'univers est devenu transparent. Pourquoi la lumière peut circuler ? parce qu'en réalité la matière est pleine de vide. Certes, la lumière aurait du mal à traverser la planète Terre, mais la Terre n'est qu'un point infinitésimal, absolument minuscule par rapport au vide qu'il y a entre les planètes, ou encore plus, entre les étoiles. L'Univers est plein de vide, au point qu'en moyenne, un mètre cube ne contient que 5 protons.

Cette lumière, qui a enfin pu surgir il y a 380 000 ans après le Big bang, une chance pour nous aujourd'hui, elle est toujours présente ! En fait, c'est même presque toute la lumière qui était dans l'univers à ce moment-là, qui est encore là, puisqu'elle ne traverse presque que du vide. On appelle cette première lumière de l'univers, qui rend les choses visibles pour nos yeux, le « fond diffus cosmologique ».

Ce fond diffus cosmologique a été appelé de cette manière un peu spéciale parce qu'il est spécial. Comme cette sorte d'éclairage a concerné tout l'univers de l'époque, aujourd'hui on en a des traces partout aussi, puisque l'univers a connu une expansion continue. Ce n'est pas comme une chambre où la lumière vient d'une ampoule. Tout l'univers est une ampoule qui date de cette époque. Ce « fond diffus » a été prévu par Gamow en 1948. Il a été découvert en 1964 par les Américains Penzias et Wilson.

Nous en sommes donc à 380 000 ans après le Big bang. Par rapport à l'âge de l'univers, 13,8 milliards, c'est encore très peu. La matière devient importante, et la gravitation va pouvoir jouer de plus en plus fortement. C'est donc un peu après que sont apparues les premières étoiles.

L'étoile la plus proche de nous, c'est le Soleil. Le Soleil est une étoile petite. Les étoiles se forment au départ par une accumulation d'un immense nuage de gaz d'hydrogène, qui commence à s'effondrer sur lui-même, du fait de la force de gravité. C'est la même force qui, sur Terre fait qu'une pomme qui se détache du pommier va tomber en ligne droite attirée par le centre de la Terre. Le nuage va ainsi se contracter, diminuer de volume, et plus il devient dense, plus cette force augmente. Sa température va s'échauffer.

Arrivés vers 10 millions de degrés, une réaction particulière se déclenche entre les atomes d'hydrogène. Deux par deux, ils se mettent à fusionner, ce qui donne des atomes nouveaux, de l'hélium. Et cette réaction de fusion entre les atomes dégage une énergie gigantesque. Cette énergie va aller en sens inverse de la gravité qui faisait s'effondrer le nuage, elle a tendance à faire éclater le nuage. Les deux forces contraires s'équilibrent ; on a alors une première étoile. L'étoile ne scintille pas. Si nous les voyons scintiller, c'est dû à l'atmosphère de la Terre qui perturbe la lumière que nous recevons.

C'est donc environ 400 000 ans après le Big bang que naissent les premières générations d'étoiles, à ce stade-là, toutes nées à partir de l'hydrogène. Bientôt, la fameuse force de gravité va jouer entre les étoiles elles-mêmes. Celle qui sont assez proches les unes des autres commencent à s'attirer entre elles. 750 000 ans après le Big bang, elles finissent par former de très grands groupements d'étoiles, les galaxies.

Notre étoile le Soleil et notre système de planètes, Terre comprise, nous faisons partie de la galaxie appelée la Voie Lactée. C'est une galaxie en forme de spirale, d'un diamètre d'environ 110 000 années-lumière, dans laquelle nous sommes situés à 26 ou 27 000 années-lumière du centre. Notre galaxie comprend entre 200 et 400 milliards d'étoiles. Beaucoup sont trop petites, trop éloignées, ou cachées par des nuages de gaz, c'est ce qui explique le manque de précision. On est obligé de faire une estimation pour une partie d'entre elles.

Un dernier chiffre astronomique, sur le nombre de galaxies qu'il y aurait dans l'univers : il est estimé aujourd'hui à 2 000 milliards de galaxies. Avec les galaxies, nous sommes arrivés à 750 000 ans après le Big bang. L'Univers, notre univers actuel, aujourd'hui âgé de 13,8 milliards d'années, est donc encore très jeune.

Si on veut arriver à la formation de la Terre, il faut attendre plutôt la fin de cette histoire. La Terre commence à prendre sa forme au bout d'un peu plus de 9 milliards d'années après le big bang. Autrement dit, la Terre a commencé sa formation il y a 4,6 milliards d'années. Et les premières formes de vie sur Terre seraient apparues il y a donc 3,6 milliards d'années. Enfin, l'homme, ou du moins notre espèce Homo sapiens, ne daterait que de 200 000 ou, aux dernières nouvelles, 300 000 ans : une fraction de seconde par rapport à tout ce que nous venons de voir.

Voilà donc pour ce qui est, en gros, de l'histoire connue de l'Univers. Nous pouvons maintenant aborder les mystères.

LE MYSTERE DE L'EXPANSION DE L'UNIVERS

Nous avons vu que l'univers, depuis le big bang, subit ce qu'on peut appeler une expansion. L'une des premières questions que l'on s'est posée au sujet de cette d'expansion, c'est de savoir quel avenir elle peut avoir. Si l'univers s'est ainsi dilaté, ouvert, développé d'une manière astronomique, est-ce que cela allait continuer, ou y a-t-il des forces contraires qui finiraient par gagner et qui feraient qu'il allait entamer un mouvement contraire, cesser de gonfler, se contracter et se refermer sur lui-même ?

La réponse que l'on a aujourd'hui vient des observations faites avec nos instruments, télescopes, satellites. Partout, on ne voit qu'un mouvement d'expansion de l'univers, et en plus, ce mouvement va en s'accélégrant.

Mais ce mouvement d'expansion de l'univers, déjà, pose une question. Car on peut l'imaginer de deux manières différentes. Pour simplifier, je remplace l'univers par un grand tissu peint avec des motifs, des fleurs séparées les unes des autres, par exemple. J'étire le tissu : que se passe-t-il ? Tout le tissu s'agrandit, et en même temps, chaque dessin de fleur grandit également.

Est-ce ce genre de chose qui se produit avec l'expansion de l'univers ? Est-ce que chaque galaxie, ou même chaque étoile s'agrandit ? Et donc la Terre aussi ? Si tout ce qui existe s'agrandit, eh bien, le mètre avec lequel on fait la mesure s'agrandit aussi, et la mesure... ne bouge pas : le résultat est qu'on ne peut pas voir l'agrandissement si tout s'agrandit de la même manière, dans la même proportion.

Deuxième possibilité : je remplace chaque dessin de fleur sur la toile par une pièce en métal. J'étire le tissu, mais cette fois chaque fleur ne change pas, ne s'agrandit pas, seul l'espace entre les objets grandit. Eh bien, c'est cette forme-là d'expansion qu'on observe dans la réalité de l'univers. La Terre ne grandit pas, le Soleil et notre galaxie, qu'on appelle la Voie Lactée, ne grandissent pas non plus.

Par contre, les galaxies s'éloignent les unes des autres, et elles s'éloignent plus vite lorsqu'elles sont plus éloignées, ce qui veut dire qu'il y a une accélération de cette expansion.

Si chaque galaxie reste identique, et ne subit pas l'expansion de l'univers, c'est qu'il y a une force qui agit contre une expansion de la galaxie elle-même, une force qui « colle » les étoiles de la galaxie entre elles. Cette force, c'est celle que nous connaissons bien, c'est la force de « gravitation ». Elle joue partout autour de nous, c'est celle qui fait que nous devons nous tenir debout, au risque sinon de tomber, toujours vers le centre de la Terre.

LE MYSTERE DU BIB BANG

C'est au début des années 1900 que des physiciens ont commencé à observer que certains objets qu'ils étudiaient s'éloignaient de nous. Et en même temps, on n'en trouvait pas qui s'approchent de nous. Conclusion : ces objets, qu'on avait encore du mal à bien

distinguer et qu'on appelait nébuleuses, devaient se trouver en dehors de notre galaxie. S'ils en faisaient partie, certains d'entre eux se rapprocheraient de nous. Il y avait donc une expansion de l'univers tout entier. Si l'on accepte donc l'idée que notre univers est en expansion, on peut imaginer de faire tourner le film de l'histoire en marche arrière. C'est comme cela que l'on est arrivé à cette idée d'un début, appelé Big bang.

Le premier qui émet l'idée d'un passé chaud et concentré, c'est le soviétique Alexandre Friedmann en 1922. Peu après, en 1927, c'est l'astrophysicien belge Georges Lemaître, qui est aussi chanoine catholique, qui la propose. L'expansion est observée la première fois par l'astronome américain Hubble. Il faudra attendre la découverte du fond diffus cosmologique, en 1964, pour avoir la première preuve qui convainc la communauté scientifique.

Mais cette idée de Big bang n'a pas plu aux scientifiques, dans un premier temps. Car si l'univers est en expansion, c'est qu'il y a un début au film, et ce début ressemble diablement à quoi, à qui ? à une création divine, évidemment. Or la science s'est donnée pour but d'expliquer les choses sans dieu.

Dès qu'elle a été connue, cette théorie du Big bang a vu de nombreuses oppositions. Des physiciens ont proposé une théorie dite stationnaire, dans les années 1940 : pour des gens comme Fred Hoyle, Thomas Gold, Herman Bondi, l'univers a toujours été exactement comme il est maintenant. Pour eux, il doit y avoir une création de matière qui accompagne l'expansion, et cette nouvelle matière qui se crée va occuper des vides entre les galaxies. Mais cette théorie a une faiblesse, elle ne dit rien du tout de l'origine de l'univers.

Aujourd'hui, la théorie dite standard, qui date des années 1960, est reconnue par la communauté scientifique, car de nombreuses mesures et expériences l'ont très bien confirmée. Mais cela n'empêche pas certains de chercher à l'intégrer, dans une théorie plus large, et où les explications actuelles ne seraient plus qu'une partie d'une explication plus vaste. Car c'est le moment même du Big bang qui pose problème et qui est en discussion.

Dans la théorie actuelle, les calculs posent un gros problème. Car on trouve qu'au moment où va débiter le Big bang, le volume est égal strictement à zéro, et en même temps, la densité est infinie. Quelque chose qui semble ne pas exister et qui pèse comme s'il est tout et plus que tout !

Aujourd'hui encore, certains scientifiques essaient d'imaginer autre chose ; ils imaginent que lors du big bang, le volume de départ est infiniment petit, mais pas zéro. On a cette idée dans la théorie appelée « théorie des cordes » et dans une autre appelée « gravitation quantique à boucles ». Et là, le Big bang devient juste le moment d'une sorte de rebond, rebond d'un ancien univers qui était en train de se contracter, qui avait juste fini de se contracter, et qui rebondit... il y a 13,8 milliards d'années, pour recréer une nouvelle histoire, celle de notre univers *actuel*.

D'autres théories existent, qui nous font entrer dans des idées encore plus étranges. Par exemple le « modèle ekpyrotique ». En gros, l'idée, là, est que notre univers, celui que nous connaissons, sa lumière, sa matière, ses galaxies, tout cela n'est qu'une partie de

l'univers complet. Notre univers ferait partie d'un ensemble bien plus grand. L'univers complet aurait donc plusieurs dimensions qui nous sont inaccessibles, que ces théoriciens appellent des branes. Dans cette théorie, le Big bang serait un moment où deux branes se touchent, chacune transmettant à l'autre une quantité d'énergie incroyable ; et le phénomène peut s'être reproduit plusieurs fois.

Ces théories sont dites inabouties, c'est-à-dire qu'elles n'ont quasiment encore aucune preuve, aucun indice pour parler en d'autres termes, pour elles. Ce sont surtout des idées pour tenter d'expliquer les choses autrement, et si possible mieux que la théorie actuelle. Il existe ainsi un ensemble d'idées qui ont en commun le fait que l'univers réel serait fait de plusieurs univers, et que nous ne serions prisonniers seulement de l'un d'entre eux, on parle aussi de multivers.

Mais voilà, la théorie des branes ou des multivers a un défaut, c'est qu'elle suppose qu'il y a un monde ou des mondes qui nous sont inaccessibles. Or, il ne sera jamais possible de prouver quoi que ce soit au sujet de quelque chose qui est inaccessible. Mais ça ne veut pas dire que c'est complètement faux...

De même, l'idée du rebond, elle aussi a un défaut. Le monde d'avant le rebond, lui aussi, est inaccessible, semble-t-il. Ou alors il faudrait qu'il en reste des traces jusqu'au moment fatidique du rebond, du Big bang... Pas évident ! Quant aux questions qu'on peut se poser sur le moment même du Big bang, elles ne sont pas plus résolues. Ok, on a changé les calculs en remplaçant zéro par un nombre autre. Mais si l'univers vient d'un rebond, d'où vient l'univers précédent ? D'un rebond encore ? Et si le premier univers vient d'un Big bang, ce Big bang part de zéro forcément... On n'a pas franchement avancé. Mais là non plus, cela ne veut pas dire que cette idée est totalement fautive...

En tout cas, on voit, que ce soit avec ces théories, mais aussi avec la théorie standard aujourd'hui acceptée, toutes s'appuient sur l'idée qu'il est tout à fait possible qu'il y ait eu quelque chose avant le fameux Big bang de notre univers *actuel*. Il n'est pas un début absolu de l'histoire. Et, bien sûr, toutes les théories cherchent quelque chose qui n'est pas un Dieu extérieur à l'univers et qui aurait enclenché son apparition d'un claquement de doigts. On cherche à expliquer par des événements qui se sont produits dans l'univers lui-même.

Vous comprenez maintenant pourquoi, dès le début de cet exposé, nous avons insisté sur l'idée et sur les mots « notre univers *actuel* ». On n'écarte pas, et même on préserve, l'idée qu'il ait pu y avoir un univers avant lui, ou à côté de lui, etc.

*

Tout ce que nous venons de dire ici au sujet du Big bang tourne autour d'un fait. Le moment de départ du Big bang reste un grand mystère. Le premier instant du tout début nous est inconnu. Ce n'est certainement pas un hasard, mais ce premier instant correspond à un volume, à une température et à une durée d'existence si minuscule qu'à ces échelles-là les lois classiques de la physique ne fonctionnent plus. On a commencé à comprendre ce problème dès le début des années 1900.

Dans le monde à l'échelle des humains et au-dessus, les planètes, les galaxies, fonctionnent les lois de ce qu'on appelle la « relativité générale ». Dans l'infiniment petit, il faut utiliser des lois très différentes, qu'on appelle la « mécanique quantique ».

La séparation entre ces deux mondes est très précise. Elle se produit à une mesure de l'espace et du temps que l'on connaît. La longueur, pour ce qui est de l'espace, se dit en mathématiques 10 puissance moins 35 mètres. Cela veut dire que vous prenez une longueur et que vous la divisez, par dix, et que vous recommencez 35 fois en tout.

Déjà à 10 puissance moins trois mètre, on est à un millimètre ; à 10 puissance moins 6, on est à un millième de millimètre. Un atome avec ses électrons, cela mesure 10 puissance moins 10 mètres. Le noyau de l'atome mesure 100 000 fois moins, donc 10 puissance moins 15 mètre. En dessous, on arrive à des situations du genre de celles qu'a connues l'univers dans les premiers instants qui ont suivi le Big bang.

Pour ce qui est du temps, c'est encore plus difficile à concevoir pour nos cerveaux. La durée en-dessous de laquelle les lois de la physique changent totalement, c'est 10 puissance moins 43 seconde. Mais là aussi, même si c'est inimaginable pour nous, l'univers est forcément passé par cette étape-là entre le Big bang et cette première fraction de seconde.

Donc, toute la question, pour ce qui est de la recherche scientifique telle qu'elle a avancé actuellement, c'est de trouver comment étudier et comprendre ce qui s'est passé entre le moment zéro seconde, zéro volume, et le (ou les) moments où l'univers venant de démarrer son expansion arrive à un volume de taille 10 moins 35 mètres et /ou une durée de vie de 10 moins 43 seconde.

C'est dans ces intervalles que l'on a un problème. Par contre, au bout d'un centième de seconde, par exemple, tout va bien ; là, on sait les choses, et on sait que l'univers, pardon, notre univers actuel est sous la forme d'une soupe assez bien mélangée composée de matière et de rayonnement ; on a même la température de cette soupe ; on l'a vu, avec ses milliards de degrés.

Mais aujourd'hui, dans l'univers actuel, on ne rencontre nulle part de telles températures. Même le Soleil n'atteint, et à certains endroits seulement, que 15 millions de degrés. On ne voit donc pas de nos jours apparaître des électrons et des positrons quand les photons se rencontrent. Mais lorsque l'univers connaissait cette température ou plus encore, aux tous débuts qui suivent le Big bang, cela se produisait partout.

Voilà donc où nous en sommes avec l'histoire de l'Univers, et avec ce moment étrange qu'est le Big bang.

LE MYSTERE DE LA MATIERE NOIRE

En 1933, un astronome suisse, Fritz Zwicky, a voulu étudier la masse de tout un amas de galaxies, un groupe de plus d'une centaine de galaxies. Ces galaxies assez proches sont toutes liées entre elles par la force de la gravitation. Sans cette force, les galaxies s'éparpilleraient un peu partout, au lieu de former des amas qui restent globalement groupés. Zwicky obtient donc un premier résultat sur la masse qu'il doit y avoir.

Il veut alors vérifier son calcul, en utilisant une deuxième méthode, cette fois à partir de la lumière qui vient de ces galaxies. Là aussi, il y a un lien entre la quantité de lumière et la quantité de matière qu'il doit y avoir. Il obtient son résultat. Problème : les deux masses que l'astronome obtient sont complètement différentes. La quantité de matière qu'il observe ne suffit pas du tout pour expliquer la force gravitationnelle qui relie l'amas de galaxies.

Zwicky en conclut qu'il doit y avoir un genre de matière inconnu qui crée de la force gravitationnelle, mais qui n'émet pas de lumière. Voilà d'où vient l'expression matière noire. A l'époque, les astronomes ne sont pas convaincus. Il faudra attendre les années 1970, et de nouvelles études avec des appareils et des calculs bien plus précis. Une astronome américaine, Vera Rubin, va en effet étudier la vitesse de rotation des étoiles dans une galaxie en forme de spirale, un peu comme notre Voie Lactée.

D'après les lois de la physique établies par le physicien Kepler dans les années 1609-1619, les étoiles sur les bords de la spirale devraient tourner moins vite que celles situées plus à l'intérieur. C'est en tout cas ce qui se passe pour les planètes quand elles tournent autour du Soleil. Eh bien, Vera Rubin s'aperçoit que ce n'est pas du tout ce qui se passe pour les galaxies. Toutes les étoiles tournent à la même vitesse. Pour l'expliquer, il faut admettre qu'il y a en fait dix fois plus de matière dans la galaxie que ce que nos appareils actuels nous permettent de voir. Cette fois, la communauté scientifique accepte l'idée d'une matière manquante, la matière noire.

Aujourd'hui, on a une autre preuve et même un moyen de mesurer cette matière noire, tout en restant incapable de l'observer. On utilise le fait que la lumière ne circule pas toujours en ligne droite. Lorsqu'elle passe à proximité d'une grosse quantité de matière, une grosse masse donc, une étoile par exemple, la lumière est un peu déviée par cette masse, et sa trajectoire va être courbée.

Avec le télescope Hubble, on a pu capturer des images d'une collision entre deux amas de galaxies. Et on a pu voir sur la même photo que les rayons de lumière n'avaient pas tous suivi le même trajet. On a obtenu d'un côté ceux envoyés par la matière visible, et, décalés, ceux qui avaient été attirés par autre chose, on suppose : la matière noire.

Une dernière question a été étudiée, c'est celle de savoir, à l'échelle cette fois de tout l'univers, quelle est la quantité de matière noire qui s'y trouve. Une équipe qui s'est dénommée *Planck* a travaillé sur cette question, en utilisant un satellite du même nom. L'idée était de capter une lumière, invisible à des yeux humains, mais pas aux capteurs du satellite, lumière du fameux fond diffus cosmologique. On se souvient que cette lumière date de 380 000 ans après le Big bang, quand la température était descendue à 6000° (Celsius).

Grâce à ce satellite *Planck*, on a obtenu une carte de l'univers qui date de ce moment-là. On voit que l'univers n'était déjà plus homogène, qu'il y avait des points plus lumineux, plus chauds, des endroits avec des sortes de grumeaux, où la matière commençait à s'agglutiner, toujours du fait de la force gravitationnelle. Avec cette carte, les scientifiques de *Planck* ont rentré les résultats dans un modèle d'ordinateur qui calcule comment l'univers a pu évoluer du Big bang à aujourd'hui. Résultat, l'univers actuel contient 27% de matière noire, 68% d'énergie sombre, au total donc 95% d'inconnus, et seulement 5% de matière visible, connue ! Mais nous avons une carte de l'inconnu.

En ce qui concerne la matière noire, comme on a bien du mal à la repérer, on se dit aussi qu'il est possible qu'elle soit plus lourde, plus dense, que la matière connue, ce qui lui permettrait d'occuper moins de volume, et nous rendrait plus difficile les moyens de la repérer précisément. On y reviendra en regardant de plus près les recherches les plus récentes.

LE MYSTERE DE L'ENERGIE SOMBRE

Si on commence à savoir certaines choses pour ce qui est de la matière noire, on ne sait par contre presque rien sur l'énergie sombre, si ce n'est qu'elle existe, et qu'elle est même très majoritaire dans l'univers : 68%.

C'est en mesurant cette fois la vitesse à laquelle les galaxies s'éloignent les unes des autres qu'on a avancé, un peu. Deux équipes différentes ont mesuré cette vitesse d'éloignement entre galaxies en 1998. La première équipe était dirigée par le cosmologiste américain Saul Perlmutter, la deuxième par deux cosmologistes, l'Américain Adam Riess et l'Australien Brian Schmidt. Ils montrent tous que, non seulement l'univers est en expansion, mais que cette expansion s'accélère. Ils auront pour cela un prix Nobel de physique en 2011. Cette accélération semble avoir commencé à se produire il y a 7 milliards d'années.

Les cosmologistes ont proposé deux sortes de réponses pour expliquer cette accélération. La première explication est qu'Einstein se serait trompé au sujet de la gravitation. Certes, à l'échelle de notre système solaire, la gravitation joue bien en attirant et en gardant les planètes autour du Soleil, ou les étoiles de la Voie Lactée rapprochées entre elles. Mais il ne serait peut-être pas impossible qu'à une échelle bien plus gigantesque, la gravitation s'inverse et devient une force qui repousse au lieu d'attirer. C'est la première idée.

Deuxième idée, c'est qu'il existe une énergie, *l'énergie sombre*, qui joue contre la gravité et qui prend le dessus à un moment donné. Pour qu'il y ait accélération, que vous soyez en voiture, en vélo, ou quoi que ce soit, il faut qu'il y ait un apport supplémentaire d'énergie. Sinon, la vitesse resterait la même, constante. A l'échelle de tout l'univers, pour apporter une énergie qui accélère sa propre expansion, il faut une énergie incroyable. D'où peut venir une telle énergie ? On n'en a strictement aucune idée. On a juste pu lui donner un nom : l'énergie sombre.

Ce n'est donc pas l'expansion de l'univers qui pose problème et qui a obligé à imaginer l'idée d'énergie sombre. C'est le fait que l'on découvre qu'il y a actuellement une accélération de cette expansion.

Des programmes d'observation ont été lancés pour analyser finement l'univers, ou du moins certaines de ses régions, dans le but de départager entre les deux idées. Et on raisonne en même temps en s'appuyant sur tout l'historique de l'univers, car le résultat actuel est le produit de cette histoire.

L'Univers tout jeune était rempli d'un plasma de matière ionisée, c'est-à-dire ayant des charges électriques, des noyaux d'atomes positifs, des électrons négatifs, plus des photons, le tout agissant les uns sur les autres. La gravité avait alors tendance à condenser ce plasma à certains endroits, à se concentrer, tandis que les photons, la lumière – encore emprisonnée- avait tendance à exercer une pression qui joue en sens inverse. Cette opposition entre ces deux forces contradictoires a fait apparaître des ondes, des vibrations.

On a calculé que les ondes de vibration parties à ce moment-là ont parcouru jusqu'à aujourd'hui 480 millions d'années-lumière. Or, cette distance, on la retrouve aujourd'hui : c'est celle qui sépare, souvent, les galaxies les unes des autres.

On a aussi pu calculer que c'est 7 milliards d'années après le Big bang que l'accélération de l'expansion avait commencé. La matière s'étant alors assez diluée, quelque chose s'est mis à jouer qui ne jouait pas jusque-là, et les grandes structures, comme les amas de galaxies, qui se formaient auparavant ne se sont plus formées.

C'est tous les détails de ces évolutions que l'on essaie donc de comprendre. Et là encore, on utilise à la fois des observations par télescopes et satellites et des modèles qu'on introduit dans des ordinateurs. Le programme DES, pour Dark Energy Camera, a ainsi travaillé pendant 5 ans à collecter des observations sur des supernovæ et des amas de galaxies. Il y en a pour des années ensuite à les analyser. Il s'agit de déterminer finement, selon les résultats, comment départager entre les hypothèses, énergie sombre ou gravité modifiée.

*

On le voit, l'univers a beau être de mieux en mieux connu, on sait en fait très mal de quoi il est fait. Tout ce que nous permettent de voir, d'analyser, de comprendre, nos observatoires, nos satellites, nos mathématiques, c'est seulement 5% de ce qui fait l'univers, énergie ou matière. Mais on sait ce qui nous manque : 95% de l'univers nous est inconnu. Et cet inconnu se partage en un tiers de matière, exactement 27% de matière noire, et deux tiers d'énergie, précisément 68% d'énergie sombre.

En résumé, la matière noire, c'est ce qui nous manque pour expliquer que les milliards d'étoiles qui forment chaque galaxie restent bien ensemble, attirés par une force de gravitation qui doit jouer sur cette matière noire. L'énergie sombre, c'est ce qui nous manque pour expliquer que l'expansion de l'univers est en train de s'accélérer. Sans elle, l'expansion serait en train de ralentir.

On le voit, les deux effets sont contradictoires, l'apport d'énergie pousse à ce que les corps se séparent de plus en plus, la matière elle augmente la gravitation et amène les corps à s'attirer. L'énergie joue un rôle contraire à la gravitation. Il manque dans chaque galaxie de la matière – pour l'instant appelée noire – pour faire que les étoiles qui la forment ne partent pas dans tous les sens. Il manque dans l'univers de l'énergie – pour l'instant appelée sombre - peut-être entre les galaxies, pour expliquer qu'elles s'éloignent en accélérant leur fuite les unes par rapport aux autres.

On pense vraiment que tout cela n'est pas une vue de l'esprit. Avec les super calculateurs qui existent maintenant, on a pu mettre dans la machine des données qui disent tout ce que l'on sait de l'univers et de son histoire, et des lois de la physique. On fait partir le film des débuts que l'on connaît bien, température, volume, composition, et on avance étape par étape, en parcourant les 13,8 milliards d'années de cette histoire.

Si on dit à l'ordinateur qu'il y a tant de matière noire et tant d'énergie sombre, ça marche très bien. Il obtient la création des premiers atomes, 380 000 ans après le Big bang. Et les galaxies, entre 100 millions d'années et un milliard d'années après. Et il trouve en gros, au final, la situation actuelle, avec les galaxies, les amas de galaxies, toutes les grandes structures de l'univers. Mais si on enlève à l'ordinateur l'énergie sombre et la matière noire, ça ne marche plus du tout. On n'a plus les galaxies et les amas de galaxies. C'est un argument de plus, mais toujours pas une preuve, et encore moins une explication.

QUELQUES RECHERCHES RECENTES

Une situation, où on sait qu'il y a des choses très importantes qu'on ne connaît pas, cela ne manque pas d'exciter la curiosité des chercheurs. On va essayer ici de donner une idée de certaines des directions dans lesquelles ils travaillent, au début donc des années 2020.

Déjà, en 1983, un chercheur israélien, Mordeshai Milgrom, a carrément supposé qu'il fallait abandonner une partie des lois de la physique la plus classique, à commencer par la loi de Newton. Newton avait trouvé dans les années 1680 la formule mathématique qui prédit la force avec laquelle la gravitation agit entre deux objets. Cette force augmente avec la masse de chaque objet, dans la même proportion ; par contre elle diminue quand la distance entre les objets augmente, et elle diminue plus vite que la distance. Cette loi explique parfaitement les mouvements de toutes les planètes de notre système solaire.

Milgrom se met donc à supposer que cette loi ne s'applique pas dans certaines circonstances, et qu'elle ne s'applique pas pour des accélérations extrêmement petites, plus petites que ce que nos appareils sont capables de mesurer. On aurait deux forces de gravitation différentes, l'une bien connue, appelons-la normale, et une nouvelle, modifiée. Et, miracle, ça marche, les calculs collent bien. Sauf qu'en réalité, il choisit des calculs et une loi qui lui conviennent pour que cela colle bien. Il faudrait ajouter une expérience qui montre cette force modifiée, ou une autre manière d'arriver au même résultat. En tout cas, avec cette façon de voir, il n'y a plus de matière noire et le problème semble réglé.

Sauf que les chercheurs n'aiment pas ne pas avoir de preuve. Et on ne peut pas en avoir puisque son hypothèse se base sur des accélérations qu'on ne sait pas mesurer. Et puis, il y a quand même un souci. C'est que si on applique ses calculs cette fois aux amas de galaxies, avec sa force de gravité modifiée, eh bien, ça ne marche pas : il manque encore de la matière noire.

Là, Milgrom essaie de s'en sortir quand même, car un chercheur tient évidemment à l'hypothèse sur laquelle il a travaillé. Et pour lui, ok, il manque quelque chose au centre de l'amas ? Eh bien, dit-il, il peut s'agir de nuages très froids d'hydrogène moléculaire, qui sont très difficiles à détecter. Il faudrait donc arriver à voir ces nuages froids, pour vraiment avancer dans cette explication.

Autre explication qui a été tentée en 2004, cette fois par Jacob Bekenstein, toujours en Israël : lui invente, ou suppose qu'existeraient non pas une loi différente de la physique, comme on vient de le voir, mais des particules élémentaires, celles qui sont les briques de la matière, et qu'on ne connaîtrait pas encore. En l'occurrence, ce seraient des neutrinos très massifs, plus massifs que ceux qu'on connaît.

Le neutrino qu'on connaît, lui, est déjà très spécial. On l'a dit, c'est une particule qui subit très peu les forces comme la gravitation ou l'électricité. A tel point que la plupart des neutrinos qui arrivent sur la Terre la traversent de part en part et poursuivent leur route dans l'espace.

Bekenstein suppose des neutrinos donc bien plus massifs, qui joueraient le rôle de matière noire. Mais là encore, cette hypothèse bloque à un moment : elle bloque car elle ne fonctionne pas au moment où se fait le fond diffus cosmologique, et où l'univers devient transparent pour la lumière.

Un Français maintenant, l'astrophysicien Benoît Famaey, a, lui aussi supposé une autre sorte de neutrino avec des masses énormes. Là, ça marche bien pour les amas de galaxies, mais ça ferait fabriquer trop d'amas très massifs, bien plus qu'il n'y en a en réalité.

Ce chercheur de l'observatoire astronomique de Strasbourg, a alors pris une autre piste. Elle en est à ses débuts. Il suppose que la matière connue et la matière noire entrent en collision dans les galaxies, ce qui provoque un échange d'énergie. Pour que ça marche, il lui faut supposer que la matière noire est composée, soit de particules très légères ou bien très lourdes. Il explique que cette matière noire qu'il imagine aurait eu peu de collisions dans l'univers des tout débuts, formé d'une énergie très dense. Ce qui peut coller avec la suite de l'histoire.

Il doit maintenant travailler pour étudier ce qui se passe ensuite, arrivé à l'échelle d'une galaxie. « C'est un programme de recherche qui prendra encore des années », dit-il en 2020 (Pour la Science hors-série n° 106, février-mars 2020).

L'HYPOTHESE DES TROUS NOIRS PRIMORDIAUX

Une autre hypothèse, qui semble sérieuse, expliquerait et réglerait le mystère de la matière noire. Elle est en partie venue de l'idée que si la matière noire est difficile à trouver, c'est qu'il s'agit peut-être de ces objets qu'on connaît depuis quelque temps, et dont on sait qu'ils ne se voient pas non plus, puisqu'ils capturent et gardent toute la lumière qu'ils produisent : ce sont les trous noirs.

Alors qu'est-ce que c'est que les trous noirs, et quels trous noirs pourraient être la fameuse matière noire que l'on cherche ? Si les trous noirs ont leur lumière prisonnière, c'est qu'ils ont une masse si énorme que la force de gravitation empêche sa lumière de s'échapper. Mais, heureusement pour nous, d'autres rayonnements que la lumière réussissent à en partir et, du coup, à indiquer la présence d'un trou noir : ce sont des rayons X, les mêmes qui sont utilisés pour obtenir une radiographie des poumons.

Et puis, comme on l'a expliqué plus haut, si un rayon de lumière provenant d'une étoile ou d'une galaxie passe près d'un trou noir, il sera dévié par la gravité du trou noir, et cette déviation nous permet de déceler la présence du trou noir. Voilà pour ce qui est de les trouver, et on en trouve de cette manière en quantité.

D'où provient le trou noir ? C'est une des fins de vie possibles pour une étoile. Tout dépend de sa masse au départ. L'immense majorité des étoiles mesurent moins de 10 fois la masse de notre Soleil ; celles-là finissent leur vie sous la forme de ce qu'on appelle des naines blanches, quelque chose qui est de la taille de la Terre mais où le même volume pèse un million de fois plus.

La plupart des autres étoiles, celles donc qui mesurent plus de dix fois la masse de notre Soleil, finissent dans une belle explosion, qu'on appelle supernovæ. Mais il reste en même temps une sorte de noyau, qui, sous la force de la gravitation, s'effondre sur lui-même. Les réactions qu'il y avait du vivant de l'étoile apportaient une énergie qui empêchait cet effondrement. Là, rien ne l'empêche, et c'est cet effondrement qui donne naissance au trou noir.

Evidemment, certains scientifiques ont voulu obtenir une image du trou noir, une idée folle, puisqu'un trou noir n'émet pas de lumière, par définition. L'idée était de se dire que si le trou noir se trouvait placé devant une émission de lumière, on verrait celle-ci nous arriver avec un trou noir au milieu. Il faudrait donc trouver une source de lumière placée derrière un trou noir.

Eh bien, le trou noir lui-même nous en offre une : en effet, quand il avale de la matière qui se trouve dans son environnement, cette matière se met à tourner en s'approchant, et plus elle s'approche, plus elle tourne vite, autour du trou noir. Deux disques se forment alors, avec des rotations de vitesse un peu différentes, donc un frottement, et un réchauffement, réchauffement qui crée de la lumière. Il suffit donc de prendre une photo à ce moment-là, et l'on aura un beau trou noir entouré d'une certaine lumière.

Oui, sauf que le trou noir, il mesure en général quelque chose comme 30 kilomètres. Vu de la Terre avec nos instruments habituels, c'est comme si l'on devait voir avec des yeux humains les traces de pas de Neil Young sur la Lune. Mais là encore, on a trouvé une

solution. On a décidé d'utiliser une technique appelée interférométrie. On va essayer de synchroniser un grand nombre de télescopes aux quatre coins du monde, qui prendront une photo absolument au même moment, un grand réseau donc, après quoi les ordinateurs pourront reconstituer une image globale, comme si l'on avait utilisé un télescope aussi large que la distance qui sépare les différents télescopes utilisés, qui, chacun ne peut recevoir qu'une bien trop petite quantité de lumière.

Pour bien avoir les photos du même moment, il a fallu garder en mémoire 4 millions de gigaoctets de photos (4 pétaoctets), et il a fallu un an de traitement pour les travailler. Et on y est arrivé, la première fois donc, en 2019. On a ainsi obtenu la première image du trou noir qui se trouve au centre de la galaxie M87. On a bien une tache noire, un peu floue, au centre. Sur une partie du bord, une lumière assez intense, floue également, du fait des difficultés de tout ce travail. C'est la partie du disque la plus proche de nous, puisque la lumière qui en part vient vers nous. Et sur la partie diamétralement opposée, une lumière moins forte.

Dans notre galaxie, la Voie lactée, il y a au moins 200 milliards d'étoiles. Même si les étoiles très massives sont rares, une sur mille, il y en aurait 200 millions qui finissent ou finiront leur vie en trou noir. Rien que dans notre galaxie, il y a de quoi faire.

Dans l'histoire de l'univers, rappelons-le, ces trous noirs n'ont commencé à exister qu'avec la mort des premières générations d'étoiles, apparues, on l'a vu, 400 000 ans après le Big bang.

Mais dans les années 1970, le célèbre physicien Stephen Hawking, l'astronome Bernard Carr et le physicien George Chapline ont proposé comme idée que des trous noirs seraient apparus dès les premiers instants de l'univers. Certains auraient été des petits trous noirs, d'autres bien plus massifs. Stephen Hawking a réussi à prouver que les trous noirs avaient quand même une forme d'évaporation de leur matière. Du coup, les petits trous noirs, avec le temps, auraient complètement disparu. Par contre, les plus massifs, s'ils ont vraiment existé à l'origine, existeraient toujours, et seraient donc de bons candidats pour être la matière noire qu'on ne cesse de rechercher.

Cette idée date des années 1990. Elle s'appuie sur une autre idée, qui date des années 1980, du physicien américain Alan Guth. Pour lui, le premier instant qui suit le Big bang aurait connu une expansion absolument incroyable, avant d'être ralentie en comparaison par la suite. Lui, il chiffre cette expansion fabuleuse en disant qu'en 10 puissance moins 35 seconde, des objets qui auraient été distants de la taille du noyau d'un atome, se seraient retrouvés éloignés à une distance d'une année-lumière, en gros la distance qu'il y a entre notre Soleil et une des étoiles les plus proches. Alan Guth appelle ce phénomène l'inflation.

En 1996, l'espagnol Juan Garcia-Bellido, avec l'anglais David Wans et l'américain Andrei Linde, travaille à nouveau sur l'inflation. Ils montrent, par le calcul et les modèles obtenus sur ordinateur, que l'inflation a pu provoquer la formation de régions très denses qui, effectivement, s'effondrent en formant une quantité de trous noirs importante, et ce, donc, dès les tout débuts de l'univers, bien avant que naissent les étoiles.

Il y aurait donc deux sortes de trous noirs : d'abord ceux que nous commençons à connaître assez bien, et qui sont la signature de la mort des étoiles massives. Mais il y aurait aussi des trous noirs qui datent de la première seconde de l'univers, et qui seraient notre mystérieuse matière noire. On appellera ces trous noirs venus du Big bang des trous noirs primordiaux. Il ne reste plus qu'à en trouver.

Les calculs et les simulations de ces physiciens font dire à cette équipe que les trous noirs primordiaux, contrairement aux trous noirs des étoiles, ne seraient pas répartis un peu partout, mais seraient plutôt regroupés en amas, des amas de trous noirs primordiaux, donc. Or, grâce aux cartes obtenues par Planck sur la matière noire dans l'univers, on s'est aperçu que les amas de galaxies se forment dans des sortes d'immenses filaments de matière noire, qui entourent de grandes régions vides de matière.

On a donc une chance de trouver cette matière noire, en cherchant des petites galaxies naines, très peu lumineuses, qui se baladeraient autour de notre Voie Lactée. Là, il y aurait jusqu'à des centaines de fois plus de matière noire que d'étoiles.

Et on vient d'observer de nouvelles sources très fortes de rayons X qui viendraient, justement, elles aussi, de l'univers primordial. Ils seraient la preuve de l'existence des trous noirs primordiaux. « D'ici à quelques années, écrit un des physiciens, nous lèverons peut-être le voile sur le mystère de la matière noire » (Juan Garcia-Bellido, Pour la Science hors-série n° 106, février-mars 2020)

Le mystère de la matière noire est peut-être en voie d'élucidation. Resteront la question de l'énergie noire, et, sans doute la plus difficile, la question du Big bang lui-même et de la première seconde de l'existence de l'univers actuel. La science a de quoi faire.

Pour la Science

Trous noirs, matière noire, énergie sombre, Enquête sur l'univers noir
hors-série n° 106 février-mars 2020

Février 2024