

Une brève histoire de l'univers du Big bang à la formation des galaxies.

La physique contemporaine échoue à scruter l'instant T du big bang, quand tout commence, il y a 13,7 milliards d'années.

À cet instant crucial, les lois de la physique ne s'appliquent plus. Un consensus semble se dessiner sur l'idée que la physique ne pourra explorer le temps T qu'à condition de parvenir à une théorie unifiée de la relativité et de la physique quantique, ce qui n'est pas encore le cas. Pour l'heure, la physique continue de buter sur un mur, le mur de Planck. Elle ne peut remonter plus en amont que de 10^{-43} secondes après le temps T. De l'instant T jusqu'à 10^{-43} seconde, il n'est pas possible de dire comment se déroule cette phase, ni de déterminer sa durée exacte, par le simple fait que les notions de temps et d'espace sont ici problématiques.

Notre temps à nous, réel, n'existe pas dans l'ère de Planck. La seconde, la minute, le siècle, etc. n'ont plus de sens. Le temps est en perpétuelle évolution, mais celle-ci n'a pas de sens. De l'autre côté de ce mur encore inaccessible aux scientifiques, le temps réel est mélangé au temps imaginaire : le passé, le présent et le futur forment le seul et même temps. Le temps est fixe, il reste en état. C'est un univers d'informations (mathématiques), sans particules, et non d'énergie et de matière (physique).

On considère en général que le big bang a affecté un point infiniment petit, très dense. Mais sur ce sujet la physique déroute nos intuitions et nos représentations, car il ne s'agissait sans doute pas d'un point, et encore moins d'un point qu'on puisse localiser avec précision dans l'univers actuel.

Toujours est-il que sitôt après le mur de Planck, l'univers a commencé à occuper un espace d'environ un millionième de milliardième de milliardième de centimètre cube, soit $1/100$ de milliardième de la taille d'un proton. Il grossit ensuite à une vitesse fulgurante. C'est ce qu'on appelle l'inflation. En un temps record, jusqu'à 10^{-32} secondes après le temps T, l'univers passe d'une taille infiniment petite à celle d'une orange, et très vite, à celle d'un amas de galaxies. Le petit univers est encore opaque et aucun photon, aucune lumière ne circule. Il a donc fallu 10^{-32} secondes pour que l'explosion originelle inscrive le jeune univers dans les dimensions du temps et de l'espace. Se forment alors des particules élémentaires, dont la nature et les agencements sont à la base de ce que les physiciens appellent le modèle standard. Parmi ces particules, on trouve les électrons, les photons, les quarks, les bosons et beaucoup d'autres formes, une sorte de soupe, de plasma déstructurée.

Au sein du jeune univers, la matière et l'antimatière se livrent un combat titanesque. Chaque particule de matière a son symétrique dans l'antimatière, de charge électrique opposée : le quark et l'antiquark, l'électron négatif et le positron positif. Il y a cependant un peu plus de matière que d'antimatière, un milliardième en plus, de sorte qu'à la fin, la matière l'emporte et l'antimatière disparaît à la suite des collisions entre elles. Dans

l'hypothèse d'une symétrie parfaite entre les quantités de matière et d'antimatière, tout serait anéanti et nous ne serions pas là pour en parler.

Les résultats de cette confrontation entre matière et antimatière de plusieurs particules élémentaires dans la nature et leur agencement sont à la base du modèle standard de la physique. Les bosons sont associés à des particules immatérielles de quarks, pour leur conférer une masse. Car, avant d'interagir avec les bosons, les quarks étaient une fonction mathématique sans réalité physique. En s'associant au boson, il devient de la matière, acquérant ainsi une existence physique. On voit ici à l'œuvre le principe d'associativité, créateur de la notion de masse, avec les conséquences qui en découlent, notamment la soumission à la loi de la gravité.

L'univers vieillit, et trois minutes après l'instant T, il contient déjà les premiers noyaux de l'atome d'hydrogène (un proton) et de l'atome d'hélium (deux protons et deux neutrons). Tandis qu'il continue à grossir, il devient moins dense et moins chaud, le temps passe et nous voici à trois cents mille ans après l'instant T.

C'est alors que les premiers atomes se forment, car leur noyau positif, fait de neutrons et de protons, capture des électrons de charges négatives. Un proton et un électron forment un atome d'hydrogène. Deux protons, deux neutrons et deux électrons forment un atome d'hélium. Parvenu à ce stade, nous observons que le principe d'associativité a joué trois fois : entre les bosons de Higgs et les quarks pour former de la masse, entre quarks pour former des noyaux d'atomes, entre noyaux d'atome et électrons pour former des atomes d'hydrogène et d'hélium. À chaque fois, il y a eu une association créatrice de nouveautés.

Nous sommes maintenant à 380 000 ans après l'instant T. La température est tombée sous les 3000°. Les photons, grains de lumière résultant du choc entre particules et anti-particules, c'est-à-dire entre matière et antimatière, qui étaient jusque-là bloqués par la densité du plasma primitif et les mouvements encore désordonnés des électrons, profitent de la dédensification de l'univers encore jeune pour irradier. Les électrons, captés par les noyaux d'atomes, ne les gênent plus. L'univers entier s'embrace d'une lumière étincelante. Cette lumière est la plus ancienne trace de l'univers détectable aujourd'hui. On l'appelle le fond diffus cosmologique ou encore rayonnement fossile, découvert et mis en image en 1965. (Après ce gigantesque flash, l'univers retombe dans l'obscurité absolue pendant 360 millions d'années, jusqu'à ce que les premières étoiles apparaissent)

Dès lors que la masse apparaît, la force gravitationnelle mise en évidence par Newton entre en jeu. Les atomes d'hydrogène et d'hélium vont donc s'attirer mutuellement et former des nuages de plus en plus denses, mais aussi de plus en plus chauds, car la température d'un gaz est d'autant plus élevée que sa densité est plus grande. Ces nuages sont comme des pouponnières de corps célestes : lorsque la température atteint 15 millions de degrés, ils se transforment en étoiles qui se forment quatre cents millions d'années après le Big Bang.

En celles-ci s'enclenche une réaction bien connue : deux atomes d'hydrogène et un neutron s'associent pour former un atome d'hélium : c'est la réaction thermonucléaire. Cette fusion dégage une énergie colossale conformément à la fameuse équation d'Einstein liant l'énergie à la masse $E=mc^2$, l'énergie d'un atome est égale à sa masse fois

le carré de la vitesse de la lumière. Un peu de masse perdue dégage donc une fabuleuse quantité d'énergie.

Au fur et à mesure qu'une étoile prend de l'âge, son cœur se réchauffe. Quand la température atteint cent millions de degrés, commence une nouvelle phase de fusion. Les atomes d'hélium se condensent trois par trois pour donner des atomes de carbone.

L'atome de carbone capture à son tour un nouvel atome d'hélium pour former des atomes d'oxygène. Les processus de fusion vont plus loin encore dès lors que les températures continuent à grimper. À six cents millions de degrés, les atomes de carbone fusionnent pour donner du magnésium.

À partir du milliard de degrés, les fusions conduisent au phosphore et au soufre, atomes qui joueront un grand rôle dans les processus vitaux. Les fusions se poursuivent de proche en proche jusqu'au fer. Lorsque la température atteint la valeur extraordinaire de 3 milliards de degrés, au centre ferreux, dans une extraordinaire densité de 1000 tonnes par centimètre cube, les grosses étoiles, parvenues en fin de vie, explosent, expulsant tous ces atomes dans le vide interstellaire. Elles sont devenues Des supernova.

Nous sommes maintenant à 380 000 ans après l'instant T. La température est tombée sous les 3000°. Les photons, grains de lumière résultant du choc entre particules et anti-particules, c'est-à-dire entre matière et antimatière, qui étaient jusque-là bloqués par la densité du plasma primitif et les mouvements encore désordonnés des électrons, profitent de la dédensification de l'univers encore jeune pour irradier. Les électrons, captés par les noyaux d'atomes, ne les gênent plus. L'univers entier s'embrase d'une lumière étincelante. Cette lumière est la plus ancienne trace de l'univers détectable aujourd'hui. On l'appelle le fond diffus cosmologique ou encore rayonnement fossile, découvert et mis en image en 1965.

Dès lors que la masse apparaît, la force gravitationnelle mise en évidence par Newton entre en jeu. Les atomes d'hydrogène et d'hélium vont donc s'attirer mutuellement et former des nuages de plus en plus denses, mais aussi de plus en plus chauds, car la température d'un gaz est d'autant plus élevée que sa densité est plus grande. Ces nuages sont comme des pouponnières de corps célestes : lorsque la température atteint 15 millions de degrés, ils se transforment en étoiles. Les premières étoiles se forment quatre cents millions d'années après le Big Bang.

En celles-ci s'enclenche une réaction bien connue : deux atomes d'hydrogène et un neutron s'associent pour former un atome d'hélium : c'est la réaction thermonucléaire. Cette fusion dégage une énergie colossale conformément à la fameuse équation d'Einstein liant l'énergie à la masse $E=mc^2$, l'énergie d'un atome est égale à sa masse fois le carré de la vitesse de la lumière. Un peu de masse perdue dégage donc une fabuleuse quantité d'énergie.

Au fur et à mesure qu'une étoile prend de l'âge, son cœur se réchauffe. Quand la température atteint cent millions de degrés, commence une nouvelle phase de fusion. Les atomes d'hélium se condensent trois par trois pour donner des atomes de carbone.

L'atome de carbone capture à son tour un nouvel atome d'hélium pour former des atomes d'oxygène. Les processus de fusion vont plus loin encore dès lors que les températures

continuent à grimper. À six cents millions de degrés, les atomes de carbone fusionnent pour donner du magnésium.

À partir du milliard de degrés, les fusions conduisent au phosphore et au soufre, atomes qui joueront un grand rôle dans les processus vitaux. Les fusions se poursuivent de proche en proche jusqu'au fer. Lorsque la température atteint la valeur extraordinaire de 3 milliards de degrés, au centre ferreux, dans une extraordinaire densité de 1000 tonnes par centimètre cube, les grosses étoiles, parvenues en fin de vie, explosent, expulsant tous ces atomes dans le vide interstellaire. Elles sont devenues Des supernovae.

L'éclat d'une supernova est visible à des milliards d'années-lumière, et cet extraordinaire brasier est le siège de la fabrication par fusion des atomes lourds chers aux alchimistes : le fer, le plomb, l'argent et l'or. Les processus de fusion, des petites étoiles aux plus grosses, ont créé 92 éléments présents dans la nature et soigneusement répertoriés dans le tableau du Russe Mendeleïev. La fabrication des atomes dans les profondeurs du ciel met en œuvre une fois encore, dans le monde inanimé, le principe de l'association, avec émergence de propriétés nouvelles. Celles-ci sont à la base de la chimie minérale.

Les atomes composant notre corps et tous les corps présents dans l'univers sont nés au cœur des étoiles. Comme l'écrit le physicien Hubert Reeves, nous sommes des poussières d'étoiles.

Les atomes projetés dans le vide interstellaire à la mort des étoiles vont à nouveau s'attirer par gravité et, en s'associant, constituer des molécules. Celles-ci ne pouvaient se former dans les étoiles car elles sont instables aux hautes températures qui y règnent. En revanche, dans le milieu interstellaire vide et froid, les molécules peuvent se former par association d'atomes. Deux atomes d'hydrogène, par exemple, vont se combiner à un atome d'oxygène pour former une molécule d'eau. L'eau a des propriétés que ne possèdent ni l'oxygène ni l'hydrogène. Il y a bien là, de nouveau, associativité avec émergence de propriétés nouvelles.

Ainsi se forment de vastes nuages dont les éléments s'attirent à nouveau par gravité. Ces nuages tournent sur eux-mêmes tandis qu'augmente la température, de sorte que de nouvelles étoiles ne cessent de s'allumer dans l'univers.

Ces étoiles se regroupent en galaxies sous l'effet de la gravitation. La répartition des galaxies dans l'Univers n'est pas uniforme. L'ensemble des galaxies constituent une structure en éponge, avec des feuilletés et des régions vides, et sont préférentiellement distribuées selon des filaments. À l'intersection de ces filaments se situent des amas ou des superamas de galaxies.

Parmi ces superstructures galactiques, le superamas dans lequel nous nous trouvons s'appelle Laniakéa, qui en langue hawaïenne signifie « horizons célestes immenses ». Il est vaste de 520 millions d'années-lumière. Il se compose d'un million de petites galaxies et d'une centaine de milliers de galaxies plus grosses, dont la nôtre, la Voie lactée.

Mais la théorie du Big Bang pour tenir mathématiquement doit faire appel à l'existence d'une "matière noire". C'est la matière noire qui aurait façonné les grandes structures

observées dans notre univers. Et l'on a découvert que depuis 6 milliards d'années, contre toute attente, l'expansion de l'univers s'accélère : la présence d'une force nouvelle et inconnue appelée énergie noire en serait la cause.

Aujourd'hui, l'énergie noire et la matière noire sont des ingrédients essentiels du modèle du Big Bang puisqu'ils constitueraient 95 % de notre univers.

Texte en grande partie tiré de : "le monde a-t-il un sens ?" de Jean-Marie Pelt et Pierre Rabhi, Actes Sud collection Babel, 2016

Complété par :

le mur de Planck : https://fr.wikiversity.org/wiki/Mur_de_Planck/Introduction

La distribution à grande échelle des galaxies dans l'Univers :

https://media4.obspm.fr/public/ressources_lu/pages_structures/distr_gal_impression.html

Super amas Laniakea : <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/cosmologie-laniakea-16067/>