

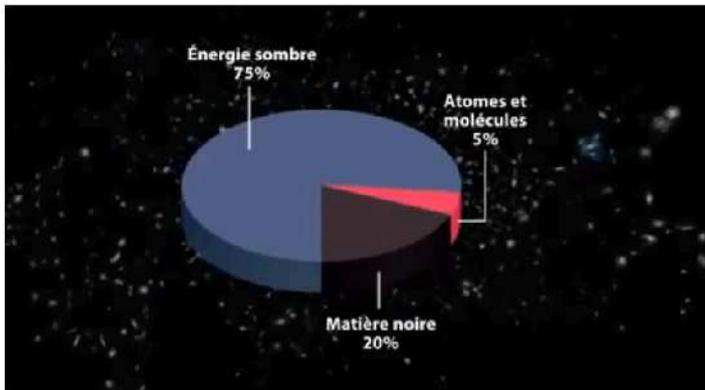
## 9. Matière noire - Énergie sombre

Les scientifiques savent aujourd'hui que les véritables énigmes célestes se cachent au sein de l'obscurité et non dans ce qui brille en pleine lumière.

La découverte de l'expansion de l'univers connaît aujourd'hui un nouveau rebondissement, les astronomes sont confrontés à deux phénomènes mystérieux, à deux énigmes singulières.

La matière visible ne représente que 5 % de l'univers !

L'univers possède deux autres composantes assez mystérieuses : la première est **la matière noire**, la deuxième, **l'énergie sombre**. A elles deux, elles constituent 95 % de l'univers.



Tenter de découvrir leurs secrets nous permettra peut-être d'avoir une approche différente de notre univers.

### La matière noire

La matière noire ne ressemble à rien de ce que nous connaissons. A chaque seconde, des milliards de ces étranges particules traversent tout ce qu'elles rencontrent. Elles sont tellement massives qu'elles ont le pouvoir d'influencer les galaxies (leur formation, la vitesse à laquelle elles tournent, leur cohésion).

Invisible, la matière noire est partout présente. Elle n'émet pas de lumière et n'en absorbe pas. Elle est là, les spécialistes en sont certains mais sa présence n'a été détectée qu'indirectement. D'abord mathématiquement puis par l'étude du cosmos, il ne reste plus qu'à la trouver, à prouver son existence.



Cette énigme est la suivante : les galaxies tournent beaucoup plus rapidement que ne permet de l'expliquer la quantité de matière qu'elles contiennent, il existe donc dans le cosmos une matière inconnue assez puissante pour agir sur le mouvement des galaxies mais dont la présence échappe à nos instruments.

La seule façon de résoudre le paradoxe de ces galaxies qui tournent dix fois trop vite, c'est de supposer qu'un halo de matière invisible les entoure et préserve leur intégrité. (En tournant si rapidement, elles devraient se disloquer, perdre du poids et donc avoir moins de gravité, ce qui n'est pas le cas.) La matière noire est la colle qui maintient en place les formations des galaxies. Elle serait présente dans toutes les galaxies et elle aurait une masse (un poids, une force) suffisante pour que la vitesse de rotation demeure constante dans la gravitation.



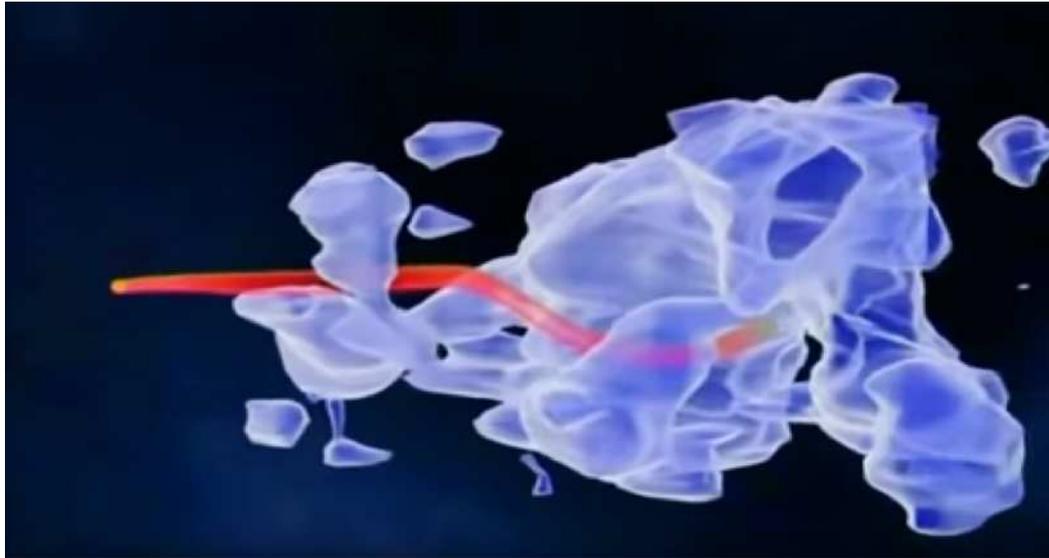
Pour mieux comprendre, imaginez qu'un homme soit la matière noire et qu'il fasse tourner une balle, qui est une étoile, autour de lui au bout d'un fil.



Même si on ne pouvait pas voir cet homme, on saurait que quelque chose est là car sinon l'étoile filerait en ligne droite. Il y a forcément un élément qui exerce une force gravitationnelle pour que tout reste ensemble et on en déduit ainsi l'existence de la matière noire (qui a une force).

Les astrophysiciens ont analysé des centaines de galaxies et elles sont toutes bâties sur le même modèle : elles tournent trop vite par rapport à ce qu'elles sont, elles ont donc besoin de matière noire pour rester réunies.

Les astrophysiciens se sont aperçus qu'elle révélait sa présence en déviant la lumière (en rouge) qui la traversait. On appelle cela le mirage gravitationnel, on peut mesurer la distorsion des rayons lumineux qui la traverse.



Ainsi on peut obtenir une carte de la matière noire.

La majeure partie de la masse d'une galaxie provient de la matière noire.

Elle est dix fois plus abondante que la matière ordinaire dont sont faites les étoiles et les planètes.

La matière ordinaire qui se construit à partir d'atomes, de protons, de neutrons et d'électrons n'est pas assez abondante pour rendre compte de toute la matière qui se trouve dans les galaxies.



Après avoir épuisé toutes les hypothèses, de nombreux chercheurs pensent que la matière noire est faite de particules qui ne ressemblent à rien de ce qu'on connaît et que des milliards d'entre elles nous traversent à chaque seconde.

Le candidat idéal pour former la matière noire doit avoir certaines propriétés physiques qu'aucun des précédents suspects ne possédait.

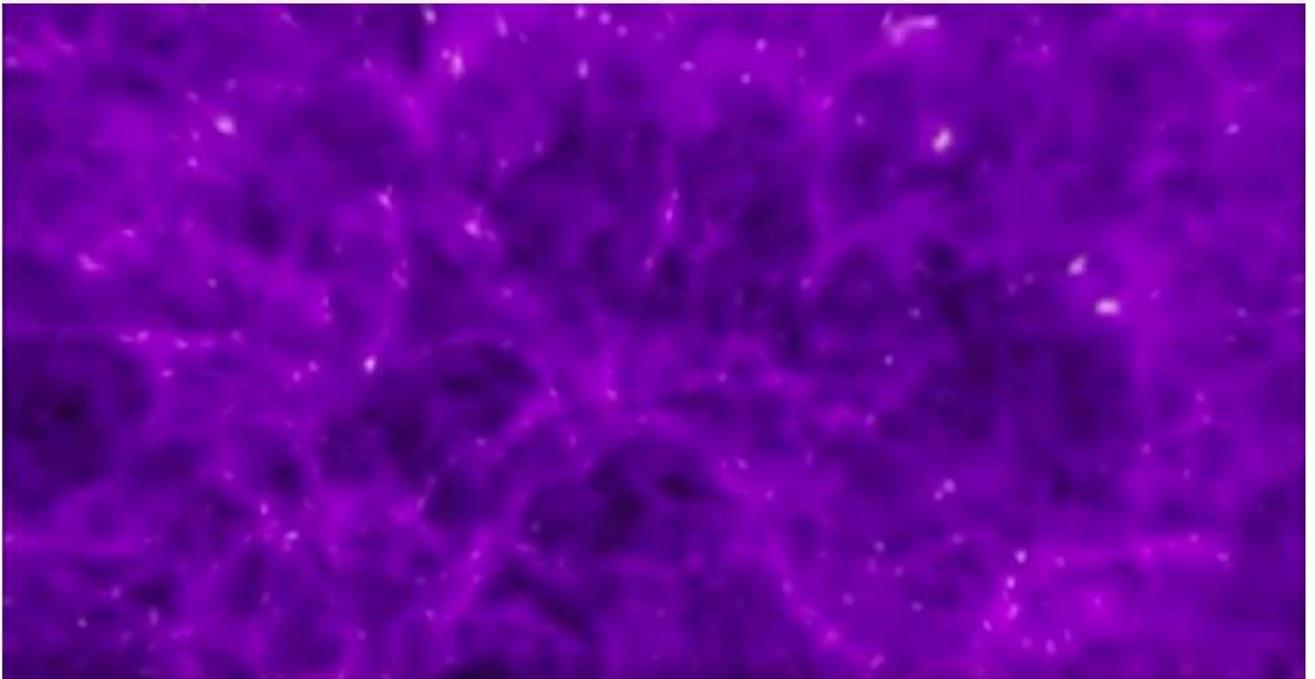
La matière noire est une substance assez lourde, elle dévie la lumière, elle ne bouge pas très vite, ses particules ne se déplacent pas à la vitesse de la lumière, nous ne pouvons pas la voir et ses particules n'entrent pas en interaction avec quoi que ce soit, à part avec la gravité. C'est pour cela qu'il est tellement difficile de la localiser.

Aujourd'hui les scientifiques ont compris qu'elle a été créée au moment du big bang et qu'elle a joué un rôle essentiel pour que la matière ordinaire s'agrège et forme les étoiles et planètes. Les galaxies sont comme les lumières des guirlandes de Noël, elles sont les éléments visibles.



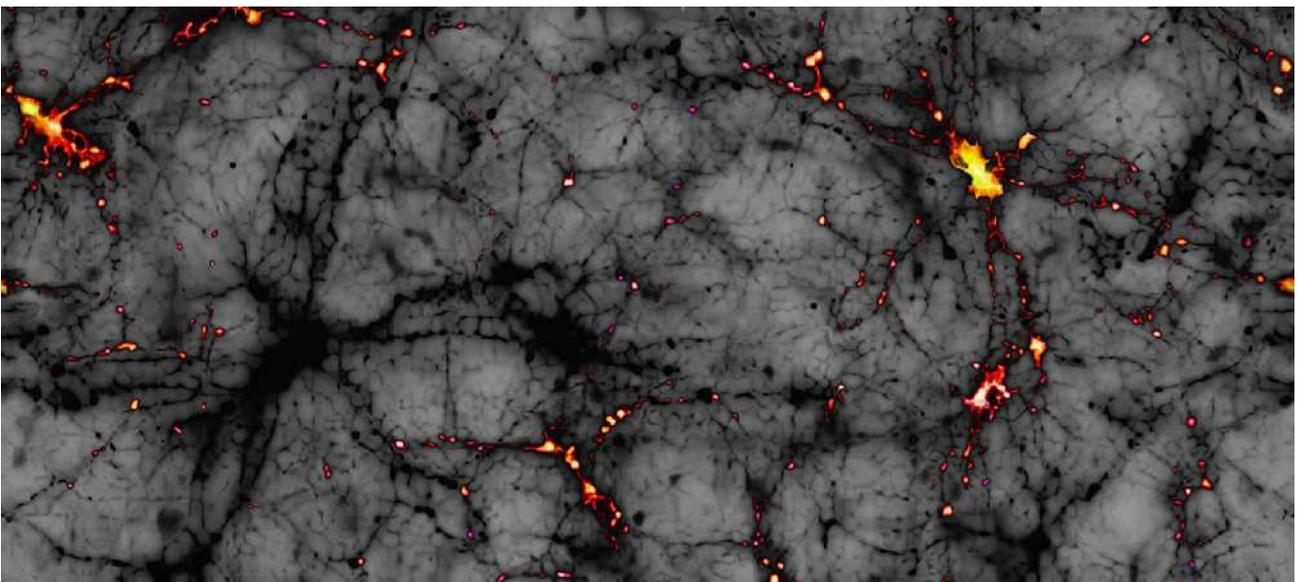
Comme les poutrelles d'acier utilisées sur les chantiers, les particules de matière noire qui se déplacent lentement, ont servi d'échafaudage sur lequel la matière ordinaire est venue s'accrocher.



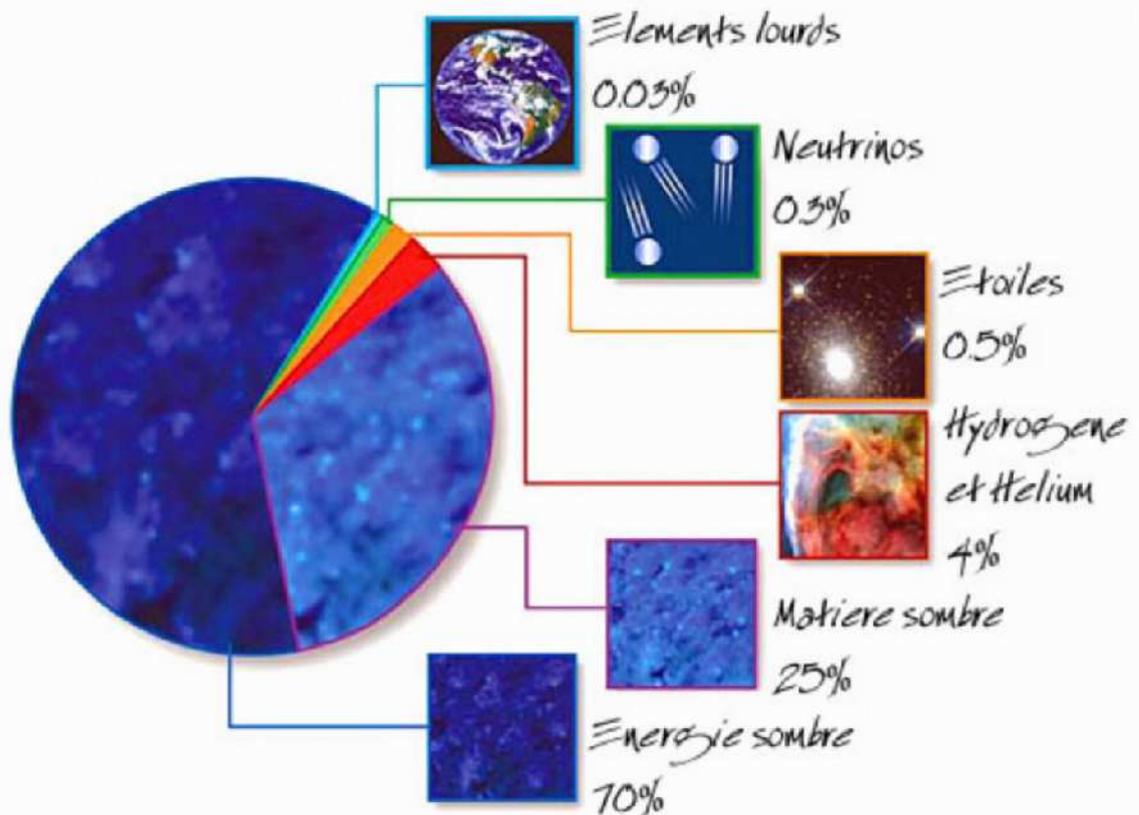


Comme elle est froide et peu interactive, les physiciens pensent qu'elle s'est assemblée très lentement sous l'effet de la force gravitationnelle et qu'ainsi se sont créés les germes autour desquels la matière ordinaire s'est agglomérée pour former les galaxies. C'est un réseau cosmique, une toile d'araignée où des filaments de matière noire se croisent. C'est en ce sens, que la matière noire constitue la structure des galaxies lumineuses et que nous pouvons les voir sans difficulté.

La matière ordinaire s'accumule dans le champ gravitationnel de la matière noire.



## Composition de l'Univers



Ce qui, avant, était considéré comme un espace vide ressemble à un système nerveux invisible à nos yeux qui traverse l'univers en reliant tout. Mais on ne sait pas quoi. Les recherches sur la matière noire continuent et les spécialistes émettent de nouvelles hypothèses. Ils ont reconsidéré certaines particules découvertes précédemment comme les neutrinos, les axions...



Si celle-ci est un jour captée, nous aurons un aperçu de ce qui s'est produit 11 millièmes de seconde après le Big Bang ! En la découvrant, les scientifiques espèrent comprendre comment l'univers a évolué au tout début de son existence.

Elle n'est pas seulement un élément mystérieux de l'univers, elle est fondamentale pour comprendre pourquoi et comment nous sommes là.

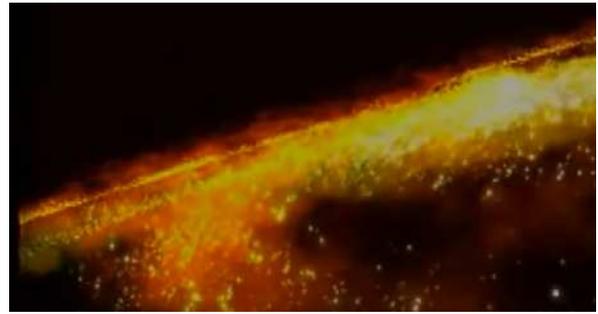
Sans elle, il aurait été difficile que naissent les galaxies puis le système solaire et enfin la vie sur Terre.



Les scientifiques se sont longtemps demandés pourquoi les galaxies s'étaient formées dans l'espace selon des modèles apparemment aléatoires.

On sait aujourd'hui que c'est à cause de la force d'attraction gravitationnelle de la matière noire. L'univers n'est pas uniforme, il s'y trouve des vides, des amas et il semble aussi comprendre des régions entières qui sont comme des bulles. Tout cela serait dû à la matière noire.





Au cours des dernières années, les astronomes ont avancé dans leur théorie et ont élaboré une carte détaillée en 3D de la matière noire dans l'univers grâce au mirage gravitationnel.

Déjà Einstein avait dit que la gravitation affectait tout et qu'elle était également provoquée partout.

Or, comme nous l'avons dit, un des éléments qui est affecté par la gravité, c'est la lumière elle-même.

Quand la lumière traverse la matière noire, elle est déviée comme elle est déviée quand elle traverse une vitre. La lumière ne fait pas de différence entre la matière ordinaire et la matière noire, les deux types de matière entravent le passage de la lumière à travers les galaxies.

Aussi, comme on trace une route sur une carte, les astronomes ont tracé le parcours de milliers de sources lumineuses à travers la matière noire.

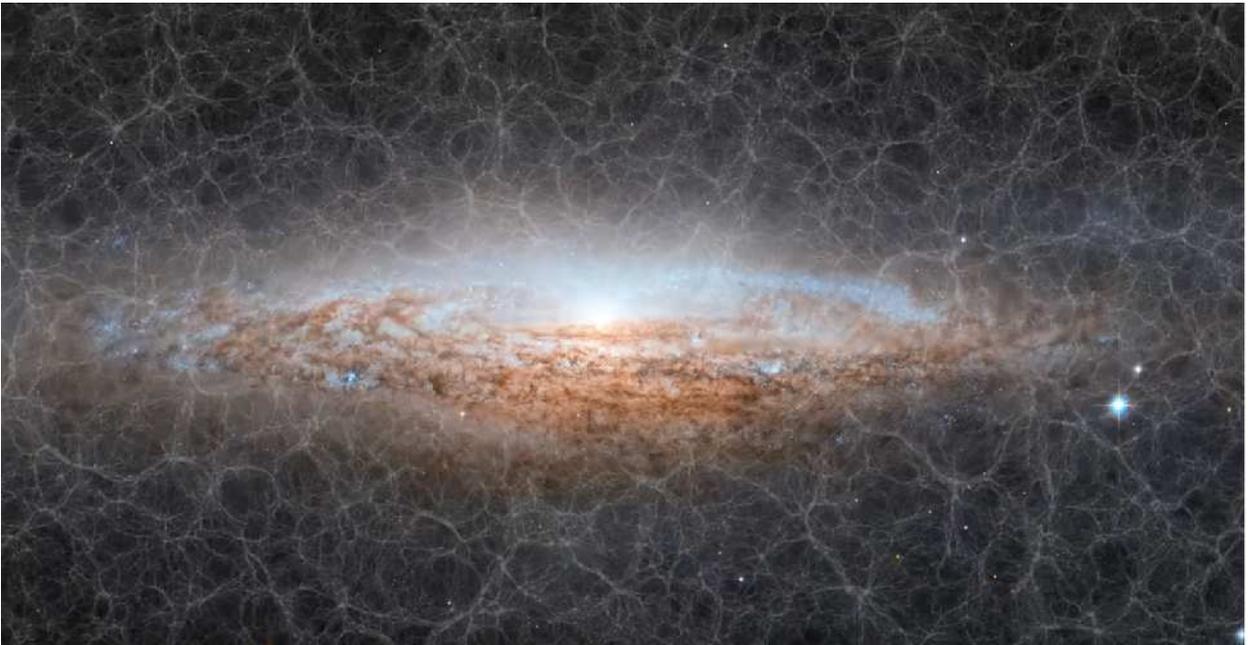




Ainsi les scientifiques ont-ils obtenu l'image, la plus précise qui soit, des milieux où la matière noire se cache dans l'espace.

On peut comparer cette carte de la matière noire avec les emplacements des galaxies et on découvre alors que la matière noire agit comme un squelette, c'est la colonne vertébrale autour de laquelle s'amassent les matériaux visibles.

A grande échelle, les galaxies sont regroupées suivant des sortes de filaments, nous soupçonnons la distribution de la matière noire d'être à l'origine de ce réseau filamenteux.



A Genève, dans le grand collisionneur du CERN, en 2012, la particule appelée le « **boson de Higgs** », qui avait été prédit en théorie par Peter Higgs dans les années 60, a été enfin **découverte**. Ce qui lui a valu le prix Nobel de physique.

Le cas du boson de Higgs est intéressant parce qu'il vient défaire une association que l'on a tous appris à l'école et qui date de Newton.

C'est l'assimilation que nous faisons quasiment automatiquement entre le concept de masse, de matière et de substance. Car, dans notre esprit, de la masse qui ne serait pas incarnée en des particules, c'est absurde. De la même façon, des particules de matière qui ne seraient pas massives, c'est absurde. Donc selon notre conception communément acceptée, masse, matière, substance, forment une espèce de continuum ontologique par lequel nous associons ces trois notions.

Et ce que montre le boson de Higgs, c'est que l'on s'est trompé, ces notions ne sont pas connectées aussi fortement qu'on l'avait pensées.

En 1964, Higgs et Englert ont publié deux articles dans lesquels ils montrent qu'en introduisant un champ supplémentaire, nommé aujourd'hui le champ de Higgs, qui est censé habiter tout l'espace, donc remplir le vide en quelque sorte, on peut comprendre comment les particules qui n'ont pas de masse ont acquis de la masse et, du coup, le statut de la masse change complètement. La masse n'est plus une propriété des particules qu'elles porteraient en elles-mêmes, qui serait une sorte de propriété intrinsèque mais elle devient une propriété secondaire qui résulte de l'interaction des particules sans masse avec le vide qui n'est pas vide !

Qu'est-ce qu'il y a dans le vide : ce champ de Higgs qui est partout présent.

Il est homogène (la même valeur partout), uniforme, c'est en fait le plus bête des champs.

Pour mieux comprendre, comparons ce champ, à un champ de neige, et les particules qui sont sans masse interagissent plus ou moins avec ce champ.

Il faut imaginer que ces particules n'ont pas de masse mais elles ont des skis et ces skis sont plus ou moins bien fartés.

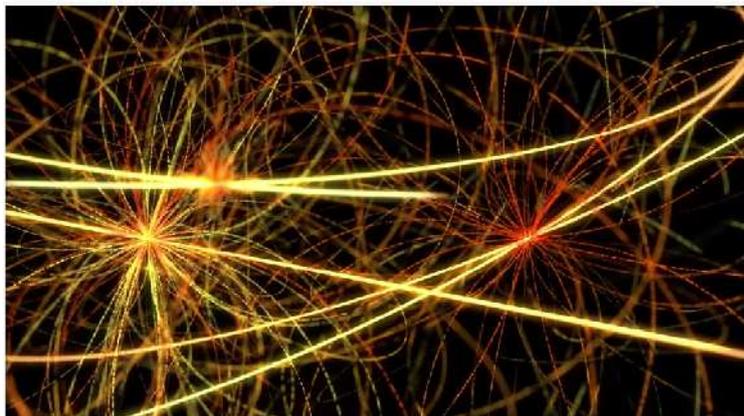
Celles qui ont les skis très bien fartés, glissent sans frottement. Nous qui les regardons, nous disons qu'elles ont une masse nulle et nous les voyons se propager à la vitesse de la lumière.

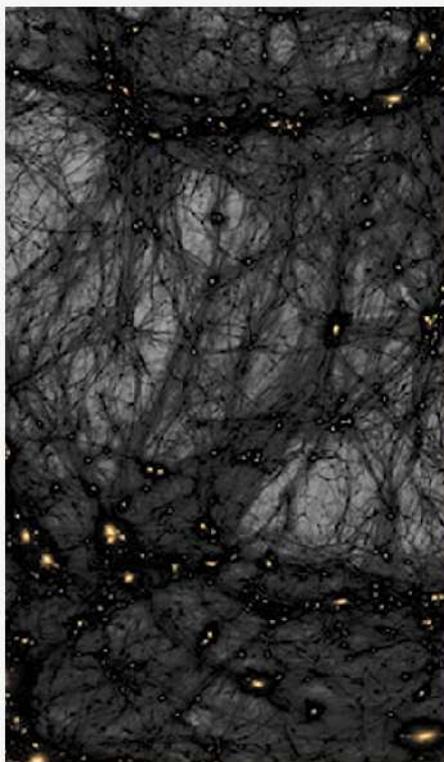
Et celles qui ont des skis mal fartés frottent et nous leur attribuons une masse non nulle et nous les voyons aller moins vite que la lumière.

Dans cette conception, la masse est simplement une mesure de la mauvaise qualité du fartage. Si le fartage est très mauvais, la masse est élevée, si le fartage est très bon, la masse est faible. Ce champ est quantique et comme tous les champs quantiques, il est quantifié et donc ces deux chercheurs ont prédit l'existence de quanta associés à ce champ qu'on a appelé « les bosons de Higgs ».

Dès lors, on peut confirmer que l'univers n'est pas fait que de matière ordinaire. Il y a aussi de la matière noire qui n'est pas atomique, qui n'est pas constituée de protons, de neutrons, d'électrons comme nous-mêmes : les bosons de Higgs.

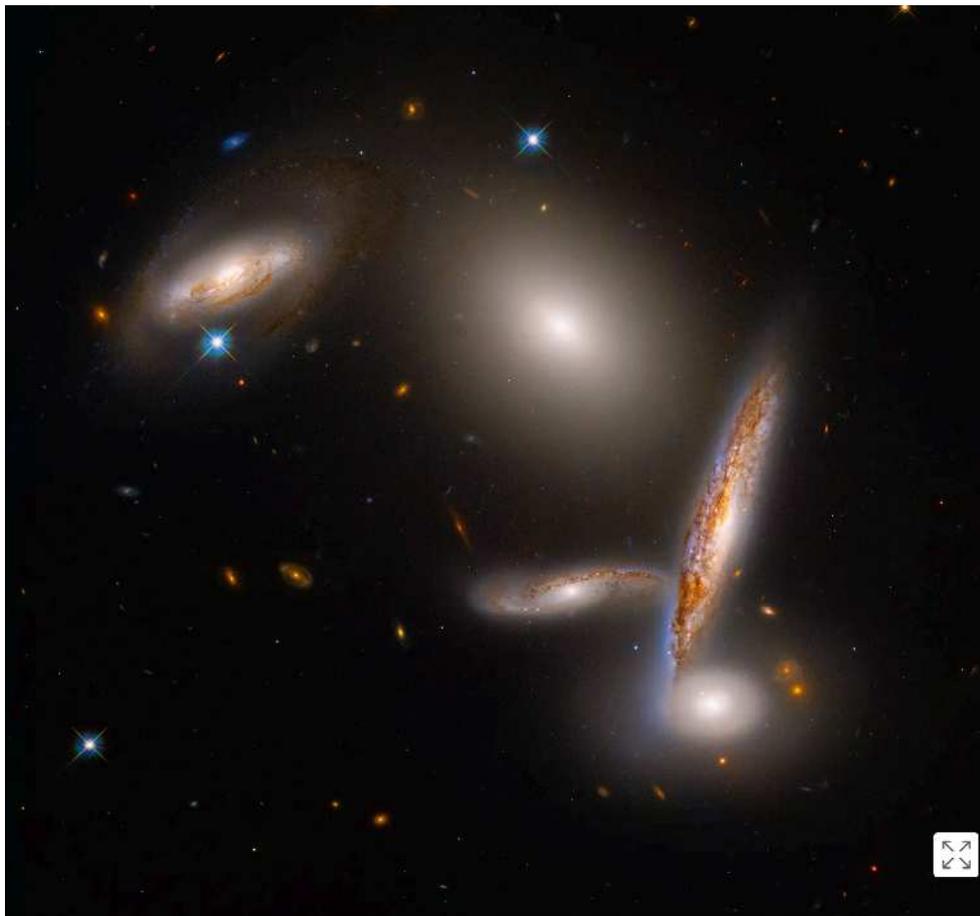
Est-ce le début de la compréhension de cette matière noire ?





La matière noire

Serait-ce le boson de Higgs ?



CES CINQ GALAXIES SONT PIÉGÉES DANS UN HALO DE MATIÈRE NOIRE QUI LES CONTRAINT À SE RAPPROCHER LES UNES DES AUTRES, JUSQU'À LEUR COLLISION. [TÉLÉCHARGEZ L'IMAGE POUR L'IMPRIMER](#) (28,6 MB). © NASA, ESA, STSCI, ALYSSA PAGAN

## L'énergie sombre

Les astronomes ont pu déduire la quantité totale de matières ordinaire et noire dans l'univers. On estime que la matière noire constitue 20 % de l'univers alors que la matière ordinaire n'en fait que 5 %.

Mais de quoi sont constitués les 75 % restants de l'univers ? Les spécialistes ont été stupéfaits en découvrant qu'une énergie sombre dominait l'espace et que son énergie répulsive éloignait les galaxies les unes des autres et que cette expansion s'accélérait.

L'espace entre les galaxies est en expansion mais pas les galaxies elles-mêmes.

Dès lors la deuxième grande énigme touche au destin de notre univers : une **énergie sombre** de nature répulsive crée de l'espace dans l'univers et éloigne les galaxies les unes des autres. Il semble aujourd'hui exister dans l'univers une autre forme d'énergie, ce n'est plus de la matière car la matière gravite toujours et donc a tendance à freiner l'expansion de l'univers, aussi il doit y avoir de l'énergie à l'état diffus qui accélère cette expansion et qui a des propriétés répulsives. Nous savons que l'univers est en expansion, pourtant la force de gravité devrait ralentir cette expansion. Mais non seulement l'expansion de l'univers ne ralentit pas mais elle accélère.

Cette force répulsive, l'énergie sombre, qui conduit l'univers est une énergie invisible que personne ne s'attendait à trouver, ni ne comprenait.

Cela suggère qu'il y a dans l'univers une force répulsive qui l'emporte sur la gravitation. Cette énergie a créé l'espace et emporte de plus en plus loin les galaxies les unes des autres, en même temps qu'il se crée plus d'espace. L'univers s'agrandit, s'élargit.

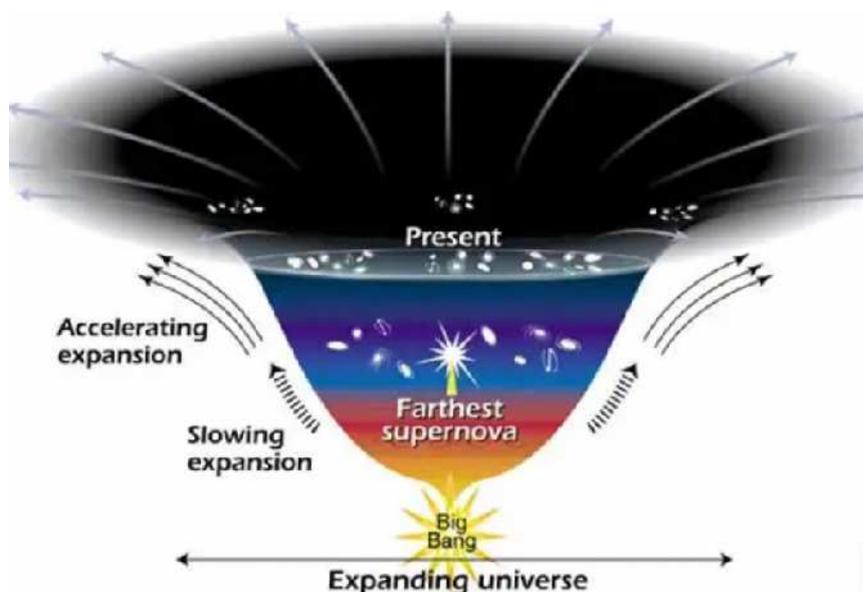
L'énergie sombre agit donc à l'opposé de la matière noire, elle ne rassemble pas en galaxie ou en système solaire, elle les écarte.

On pense qu'elle est assez uniforme car on retrouve la même accélération dans quelque direction que ce soit. Elle est probablement constante, bien que certains pensent qu'il pourrait y avoir une structure dans sa répartition et son influence. L'énergie sombre est l'énergie du vide, du rien.

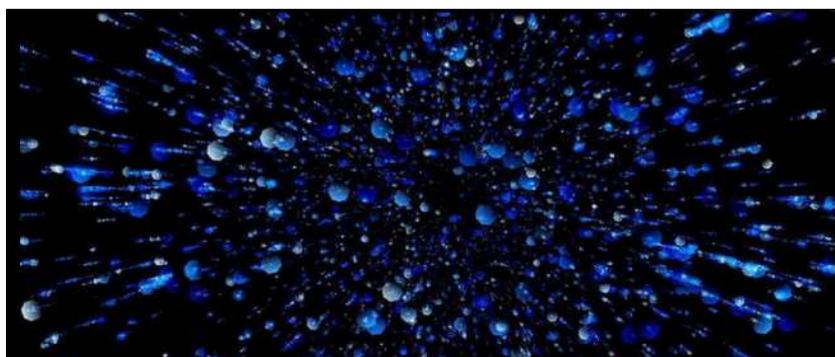
Donc même le néant a de l'énergie qui sépare les galaxies.

La science pense que l'énergie sombre a été créée en même temps que la matière noire au moment du Big Bang. Elle a toujours existé mais les forces gravitationnelles de la matière noire l'ont contenue, ralentissant l'expansion de l'espace au cours des 9 premiers milliards d'années. Cela a changé, il y a 5 milliards d'années, quand l'univers est devenu assez vaste pour que la matière noire soit dispersée à travers l'univers. L'énergie sombre a été alors moins affectée par la pression de la matière noire et, de ce fait, l'univers est entré en expansion à une vitesse accélérée. L'énergie sombre est un élément constant qui était sans doute très insignifiant quand l'univers était chaud et dense à ces débuts. La présence de cette énergie sombre n'avait alors guère d'importance, elle ne jouait aucun rôle. Ensuite, quand l'univers s'est refroidi et qu'il est devenu moins dense et plus vaste, la gravitation a perdu de son importance et l'énergie sombre a pris le pouvoir.

Des chercheurs ont réalisé une nouvelle estimation de la quantité d'énergie noire et de matière noire qui abrite notre Univers. Leur nouvelle méthode, bien plus précise que les évaluations précédentes a permis à Adam Riess, de recevoir le prix Nobel de physique en 2011 pour la découverte de l'accélération de l'expansion de l'Univers. Il déclare que le taux d'expansion actuel entre les galaxies de l'Univers est estimé à 73km/seconde et que l'espace lui-même s'étend de 264 240 kilomètres par heure.



De façon surprenante, la théorie de l'énergie sombre avait déjà été émise, il y a déjà un certain temps puis abandonnée, par un des plus grands génies de la physique, il s'appelait, encore une fois, Einstein ! Il aurait pu faire la plus grande découverte du 21<sup>ème</sup> siècle, 80 ans avant qu'on en ait la moindre preuve. Il a appelé cela : la plus grosse gaffe de sa vie : Malgré tous ses efforts, Einstein ne réussissait pas à accorder ses équations à un univers statique (ce qu'à l'époque, tous les scientifiques pensaient). Ses calculs montraient que l'univers devait soit s'agrandir, soit se contracter. Aussi Einstein a proposé une énergie répulsive qui maintiendrait l'univers en équilibre, pour contrecarrer la force attractive de la gravitation. Il l'avait appelé la « constante cosmologique », une énergie constante qui assure l'équilibre de l'univers.



Mais il s'est rétracté et a déclaré que c'était la plus grosse gaffe de sa vie. Il s'avère aujourd'hui que l'énergie sombre, concept qu'il a abandonné dans les années 20, est en fait la force dominante qui écartèle l'univers.

Idéalement les physiciens aimeraient pouvoir mesurer comment agira cette énergie sombre quand l'univers vieillira. Cette énergie, surnommée la gaffe d'Einstein, nous apprendra peut-être si notre univers doit périr par le feu ou la glace.

Et le pari est qu'il mourra dans la glace.

Avec cette expansion, nous serons de plus en plus seuls. En regardant le ciel, il sera beaucoup plus noir, nous ne verrons plus les autres galaxies.

L'hypothèse dominante est celle de la mort thermique de l'univers.

Les étoiles et les galaxies transforment une partie de leur masse en énergie, ce qui contribue à réchauffer l'espace.

Mais lorsque la température de l'univers deviendra uniforme, il sera impossible pour un astre de se former. Tout sera plus froid dans l'univers, les océans seront gelés... Cela semble s'apparenter à la mort de l'univers : le Big Freeze. Une échéance que nous devrions connaître, selon certains, dans 20 milliards d'années environ.

Le Big bang est, à ce jour, le meilleur modèle théorique que les chercheurs aient imaginé. Mais il reste une impossibilité de "voir" au-delà de 13 milliards d'années, limite que les astrophysiciens n'ont cessé de repousser pour remonter jusqu'au temps zéro.

La première étincelle, le tout premier milliardième de milliardième de milliardième... de seconde reste une énigme. Car au temps "zéro" n'existent ni atomes, ni étoiles, ni galaxies... Juste une "écume quantique" soumise aux quatre forces fondamentales de la nature, la pression et la température sont alors si phénoménales, que l'espace-temps semble posséder une courbure infinie.

Une bizarrerie qu'aucune théorie physique actuelle ne permet d'interpréter. Telle est pourtant la spéculation sur laquelle repose le scénario de la naissance de l'Univers, il y a 13,8 milliards d'années, fourni par le modèle cosmologique de référence du Big bang.

Cette hypothèse est née de l'impossibilité de "voir", à l'aide des télescopes, les événements survenus avant 380 000 ans, lorsque les photons éclairaient notre Univers de leur première lumière. « Avant » on extrapole. Et lorsque nous arrivons à 10<sup>-32</sup> seconde (c'est-à-dire 0, suivi de 32 zéros), nous ne sommes plus sûrs de rien, c'est l'infime fraction de seconde qui marque la fin de ce que les théoriciens appellent l'inflation cosmique, une période ultracourte durant laquelle notre Univers a vu son volume doubler 100 fois de suite. Un modèle désormais indissociable du Big bang et qui reste, à ce jour, le meilleur scénario théorique des prémices de l'Univers.

Notre compréhension de l'Univers, ce que les théoriciens appellent le modèle cosmologique, se situe à un tournant de son histoire. D'un côté, il s'est érigé sur les fondations de la théorie de la Relativité générale, chef-d'œuvre incontesté du génie Einstein. De l'autre, il est tirailé par des questions lancinantes qui restent toujours sans réponse, témoignant de son incomplétude : comment décrire l'instant zéro de l'Univers ? Comment expliquer son évolution et l'accélération subite de son expansion ? Et le fait que la matière noire, la fameuse masse manquante, reste désespérément invisible ?

Force est de constater que notre modèle n'en est qu'à ses débuts.

Rappelons-nous que l'existence d'autres galaxies a été découverte il y a moins d'un siècle.

Que le concept même du Big bang n'est largement accepté que depuis cinquante ans.

Et que l'existence de l'énergie noire, qui précipite l'expansion de l'Univers, n'a, elle, été révélée qu'il y a quinze ans. Autrement dit, hier.

Les astronomes savent que c'est de ces tensions que jaillira demain la connaissance. Comment le Big bang s'est-il enclenché ? Comment les premières étoiles se sont-elles allumées ? Comment l'énergie noire a-t-elle pris le dessus sur la gravité ?

Si quelques éléments de réponse commencent d'ores et déjà à poindre, de nombreux chapitres du grand livre de l'Univers doivent encore s'écrire.

Il n'en reste pas moins que la matière noire comme l'énergie noire, n'ont jamais pu être observées et demeurent pour l'instant au stade de la théorie.

En les découvrant, la science est tout près de pouvoir établir la **théorie du tout**, une équation qui décrira l'ensemble du fonctionnement de l'univers. Il est indéniable qu'une fois que nous aurons cette théorie, nous serons capables de répondre à certaines des questions les plus importantes que se sont posés les hommes et les femmes depuis qu'ils regardent le ciel.

Actuellement les esprits les plus brillants sur la planète tentent de résoudre ce problème qui a toujours tenu Einstein en échec : **concevoir un corpus unique de lois applicables aussi bien à l'échelle cosmique qu'atomique, une théorie unifiée, l'objectif ultime de la physique.**

Les chercheurs sont motivés par le même rêve qu'Einstein : tout formuler par des mathématiques élégantes. Les travaux d'Einstein pour décrire la Relativité générale sont si élégants et précis, à tant de chiffres après la virgule, qu'il est très difficile d'échafauder une autre théorie.

Lorsqu'ils parviendront à dépasser Einstein, ce sera peut-être grâce à un génie encore inconnu qui travaille en solitaire dans une petite école du Kenya ou, au contraire, grâce à une vingtaine de personnes avec autant de points de vue différents qui aboutiront à une vision globale capable d'inclure la Relativité générale et la physique quantique.

Pour les astrophysiciens, c'est très frustrant de constater que toutes leurs connaissances se limitent à 5 % de l'univers c'est-à-dire à la matière ordinaire !

Une aventure, semblable à la découverte de nouveaux continents, les attend dans le domaine de la physique des particules. Les physiciens et mathématiciens du monde entier sont à la recherche de ce Saint Graal.

Mais y arriveront-ils un jour ?

Avons-nous une vision distordue de l'univers car, en l'étudiant, nous sommes à la fois observateurs et sujets de l'observation ?

Nos conclusions pourraient être faussées par notre subjectivité.

Dans un tout petit bout de l'univers, une planète minuscule essaie de se comprendre elle-même !

Nous avons encore beaucoup de choses à découvrir. Les jeunes générations ont de quoi s'occuper encore longtemps. Puissent-ils le faire à bon escient.

Résumé du rôle de la matière noire depuis le début de l'univers :

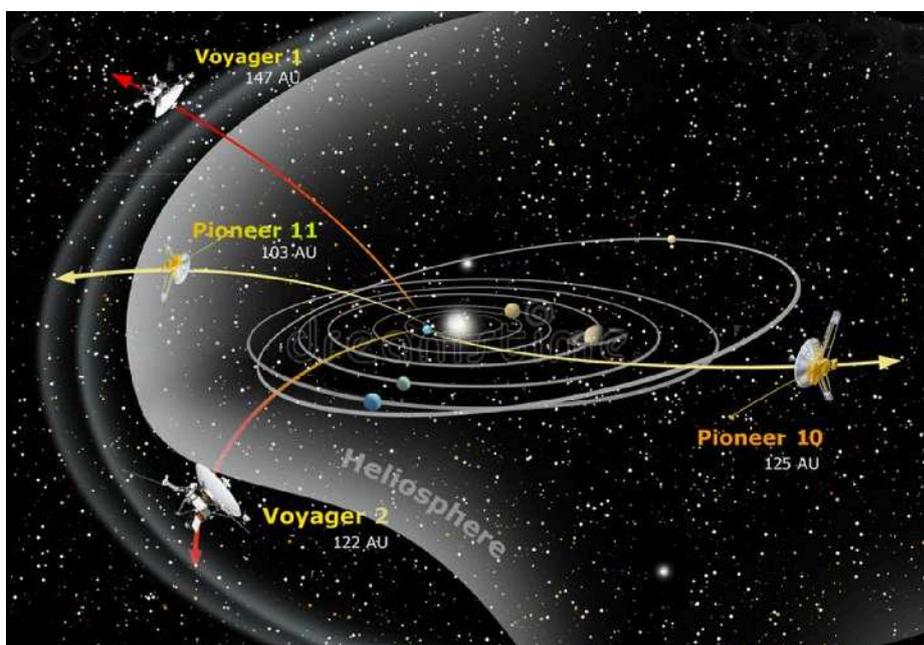
<https://www.youtube.com/watch?v=OVDzfqxUm54&t=320s>

L'histoire de l'Univers selon le modèle du Big Bang (5,25 minutes)

## 10. Notre système solaire

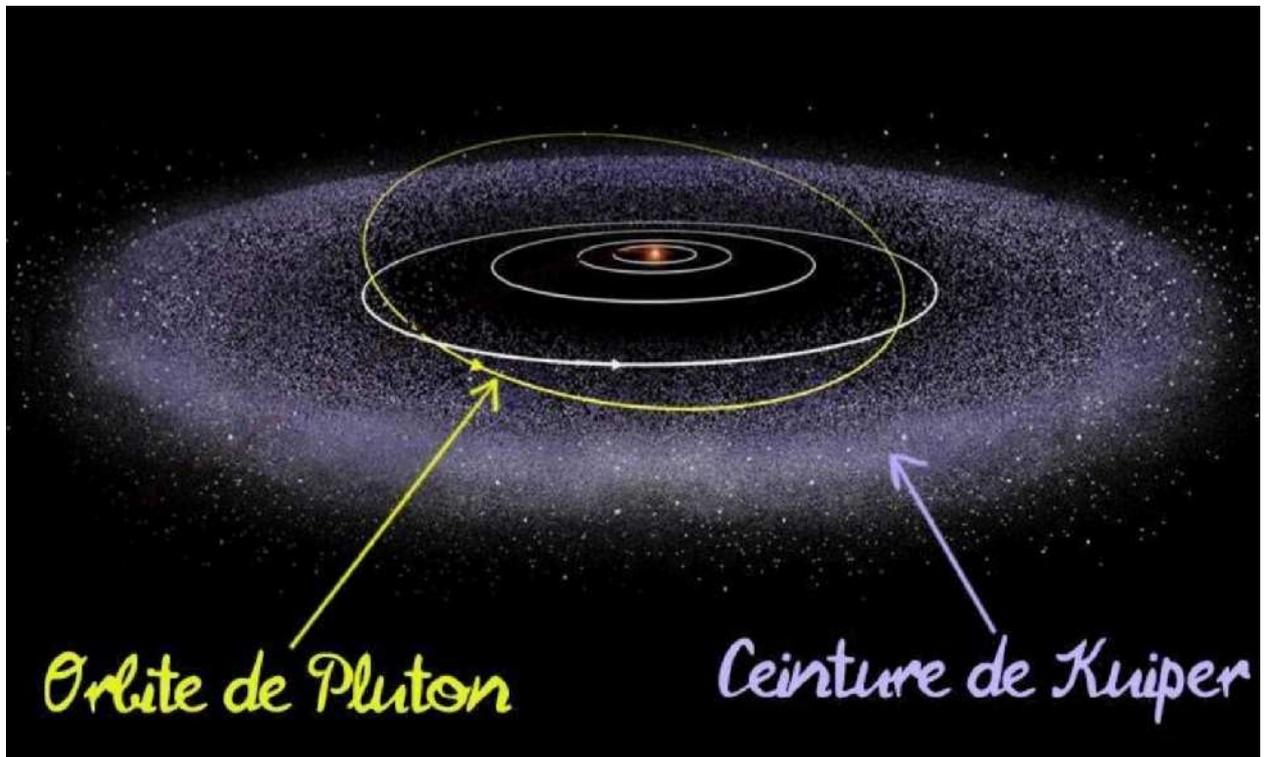
Si certains astrophysiciens cherchent à comprendre « l'invisible » dans l'univers (le mot « rien » n'étant plus approprié, nous le savons maintenant), d'autres explorent le visible, la matière, les astres. C'est tout aussi important de connaître l'endroit dans lequel nous vivons, de se le représenter, de savoir si tout, dans le cosmos, agit selon les mêmes lois et si nous sommes les seuls dans cette immensité.

Grâce aux sondes spatiales, vaisseaux non habités, nous commençons à connaître les objets du système solaire et même l'espace qui est au-delà.

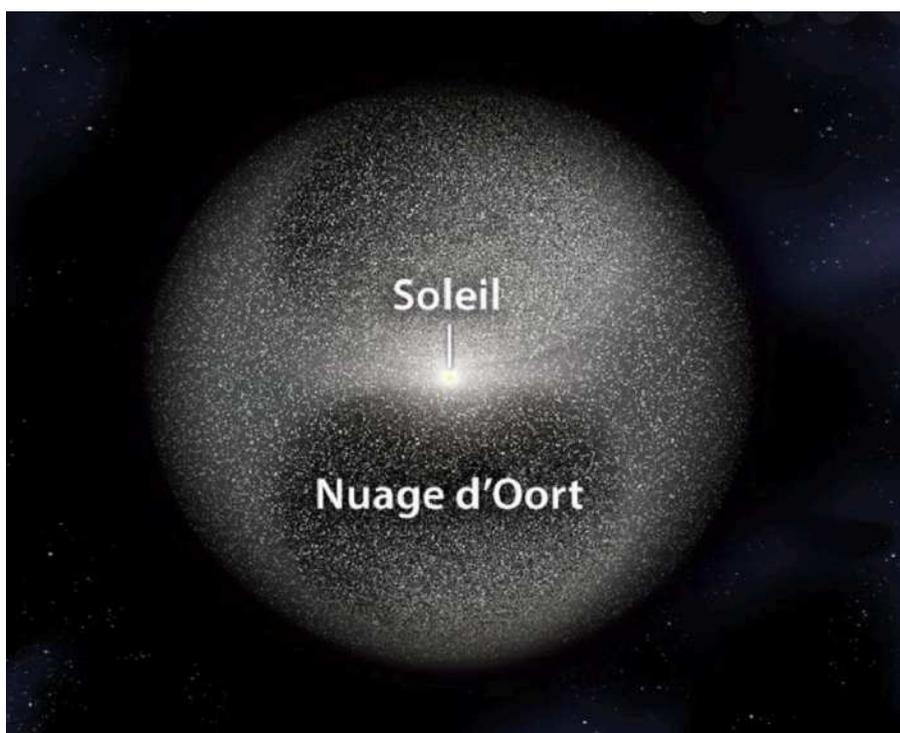


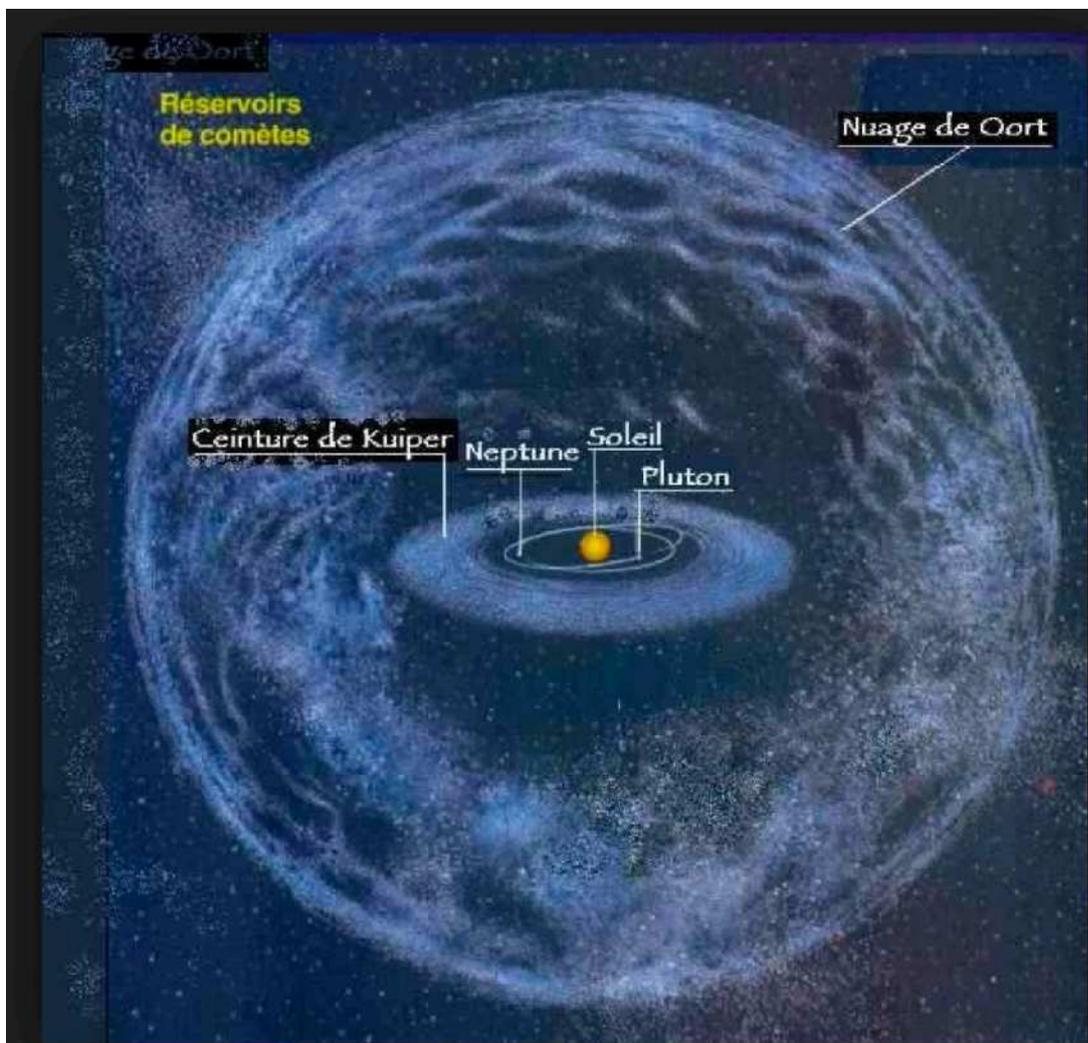
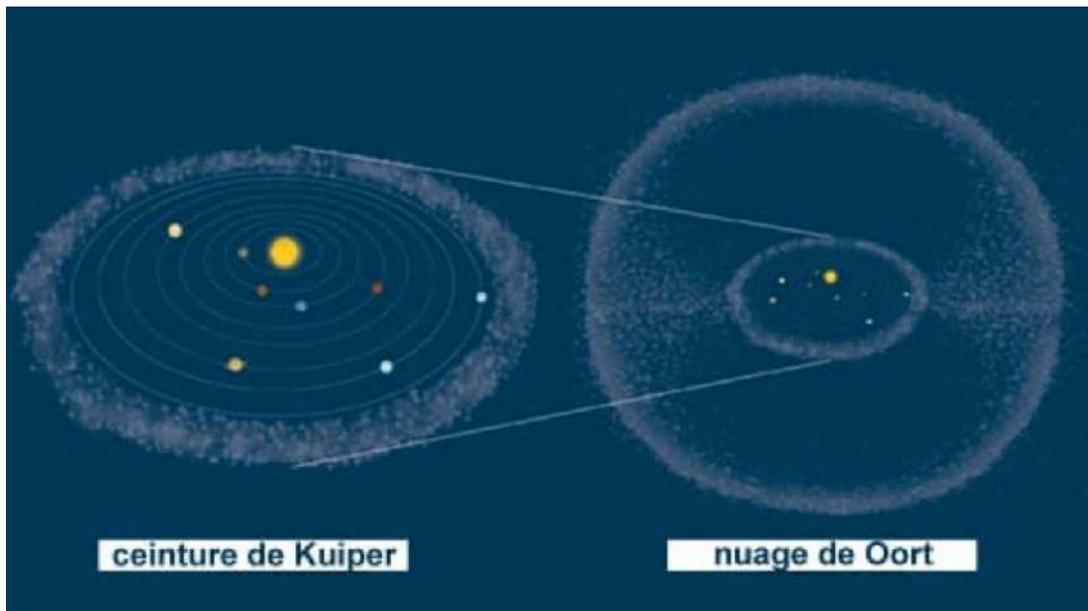
Les sondes Voyager I et II sont les objets les plus lointains jamais envoyés dans l'espace. Elles ont rejoint l'espace interstellaire c'est-à-dire qu'elles ont quitté la limite de notre système solaire. Et les dimensions de celui-ci se mesurent en dizaines de milliards de km. Ce sont des chiffres trop grands qui ne nous parlent pas. Et pourtant ce n'est que notre petit système solaire !

Pour les cosmologues, ce fut une autre grande surprise de découvrir, grâce aux sondes, que l'influence du soleil s'exerce bien au-delà de ses planètes, jusqu'à la **ceinture de Kuiper**, un immense anneau de petits corps glacés qui est mille fois plus éloigné du soleil que la Terre.



Mais l'ultime surprise fut de découvrir que l'influence de la gravité du soleil s'étend jusqu'au **nuage d'Oort**.





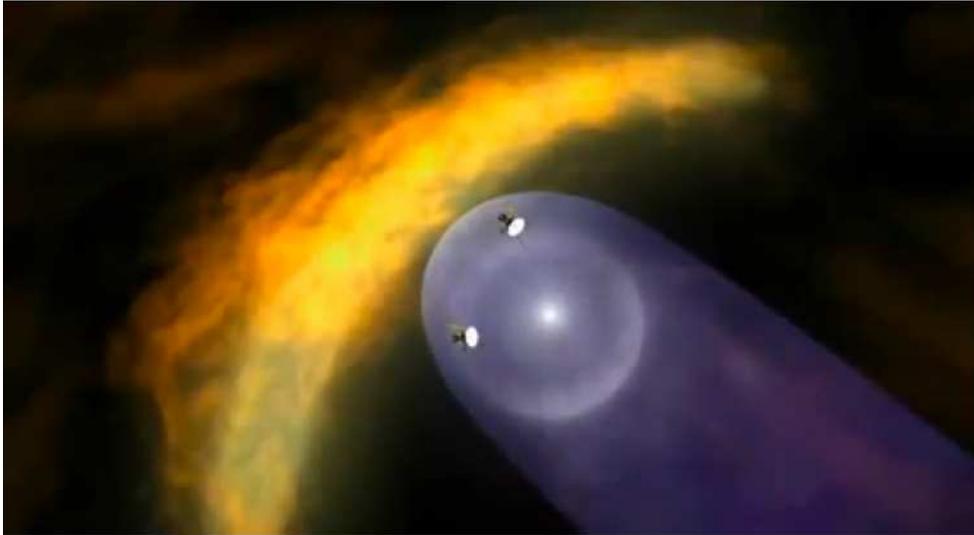
La Nasa compare le nuage d'Oort à « une grosse bulle épaisse autour du système solaire ». Le **nuage d'Oort** abrite des milliards de comètes contenant des molécules complexes et organiques. Dans la jeune histoire de la Terre, il est fort probable que le grand bombardement météoritique qui a eu lieu il y a 4 milliards d'années, soit le responsable de l'apparition de la vie

sur Terre, au moyen de l'apport organique de ces **comètes**, couplé à la présence d'eau à la surface de notre planète.

Si Voyager 2 survit, elle mettra 300 ans à entrer dans ce nuage, et 30 000 ans à en sortir, se libérant alors définitivement de l'influence de la gravité du Soleil.

Autour de ce nuage, il y a une zone, l'héliosphère, une bulle géante et allongée engendrée par les vents solaires qui soufflent à plus d'un million de kilomètres à l'heure.

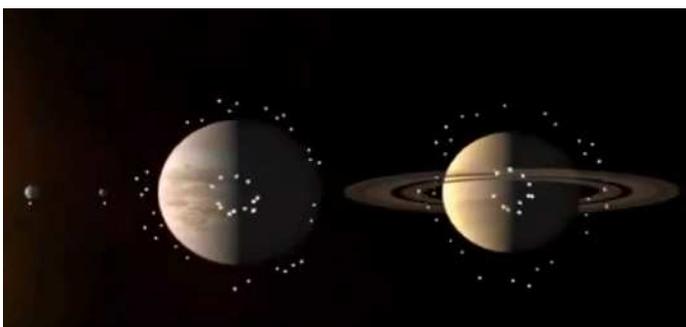
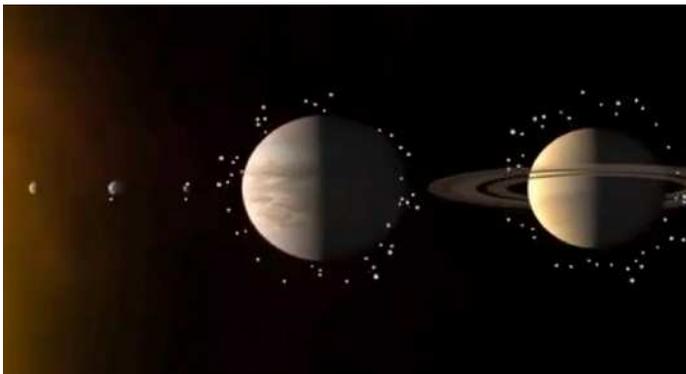
Les 2 Voyager sont dans cette région à la limite de la bulle.



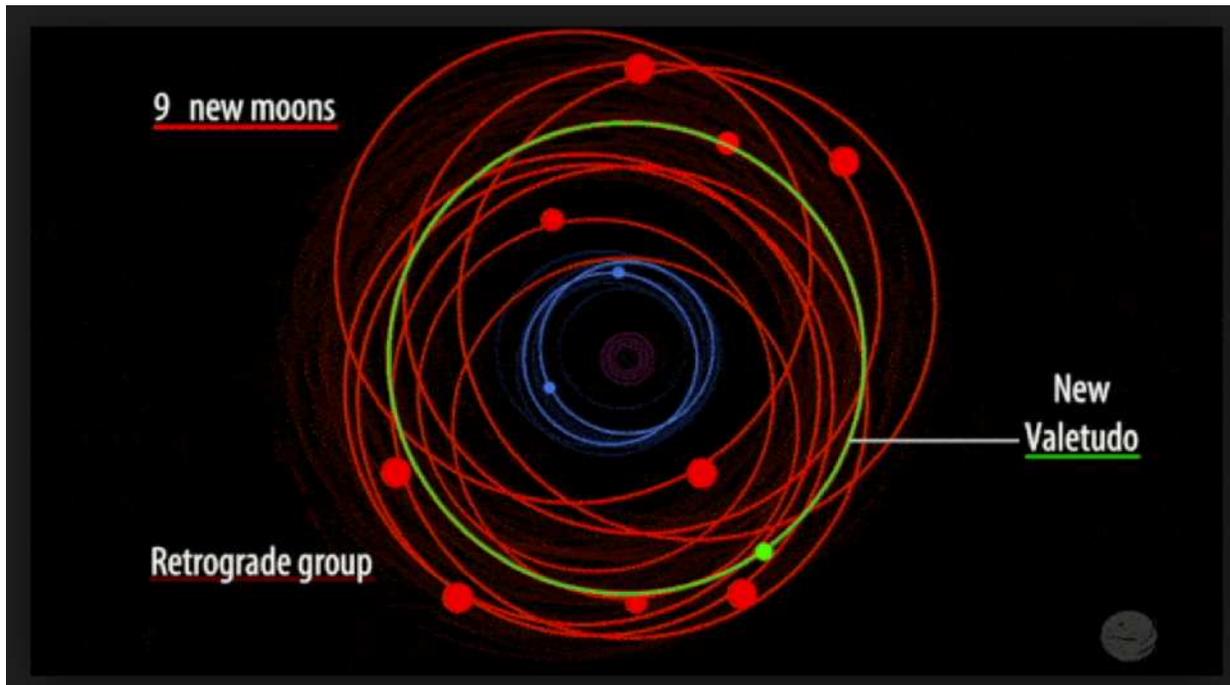
Grâce à l'invention des sondes, nous connaissons notamment les 4 planètes géantes gazeuses de notre système.

Ce sont de gigantesques et turbulentes boules d'hydrogène, d'hélium, d'ammoniaque et de méthane. Mais surprise, les Sondes ont révélé que plus de 160 lunes orbitent autour de ces planètes géantes.

Jupiter et Saturne avec leurs lunes :



La trajectoire de chaque lune autour de Jupiter :



Évidemment les étoiles ne sont pas des êtres vivants mais on peut quand même dire qu'elles ont leur vie propre : elles naissent, vivent et meurent. Il y en a qui sont célibataires comme notre soleil mais la plupart des étoiles vivent à plusieurs. En général, ce sont des couples stellaires.



C'est en observant les différentes créatures de ce véritable zoo cosmique que l'on peut commencer à vraiment comprendre comment fonctionne une étoile et quelles sont les étapes progressives de sa naissance, de sa formation puis de son évolution et de sa mort.

A l'origine, l'astronomie, c'était l'observation du visible. Aujourd'hui grâce aux télescopes et autres instruments, c'est tout l'inobservable du cosmos qui se révèle.

Par exemple, les couleurs des étoiles : on peut mesurer très finement les variations de couleurs en termes de longueurs d'ondes et enregistrer ainsi un spectre lumineux complet d'une étoile.

Un spectre constitue l'empreinte digitale d'un objet cosmique, un véritable code-barres qui révèle quelles sont les éléments chimiques présents dans une étoile. Il y a de nombreux

rayonnements que nos yeux ne peuvent percevoir mais que les instruments peuvent voir et révèlent ainsi les secrets de la formation des étoiles.

Par les ondes radio, on détecte une foule de molécules organiques flottant dans le cosmos, mélangées à la poussière et aux gaz. Ces molécules contribuent peut-être à la chimie du vivant. On y détecte aussi de l'eau. Mais d'où proviennent les atomes qui forment ces molécules, comment les étoiles s'y prennent-elles pour fabriquer de prodigieuses quantités de carbone, d'oxygène ou même de fer ?

Les étoiles sont de gigantesques forges qui vont mettre parfois jusqu'à dix milliards d'années à fabriquer patiemment des atomes en brûlant du carburant. Le carburant d'une étoile, c'est la matière dont elle est formée c'est-à-dire essentiellement de l'hydrogène et un peu d'hélium. Le plus merveilleux est que chaque catégorie d'étoiles va ensuite dispersée de façon spectaculaire ce matériel dans l'espace. Tout cela va se jouer au moment fatidique de la mort de l'étoile. Elle va brûler tout son carburant et va commencer à se dilater pour devenir une géante rouge.

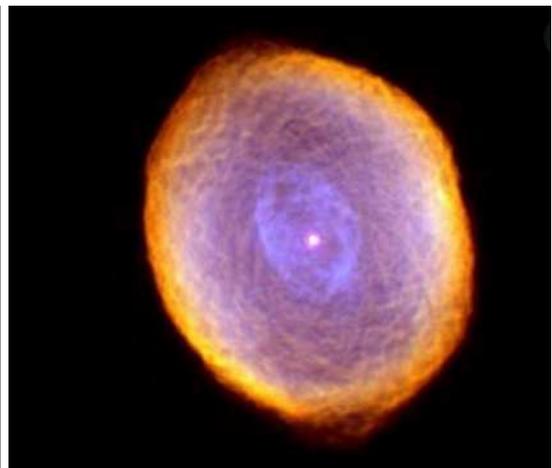


Elle va tellement se dilater qu'elle finira par se diluer lentement en formant une nébuleuse planétaire.





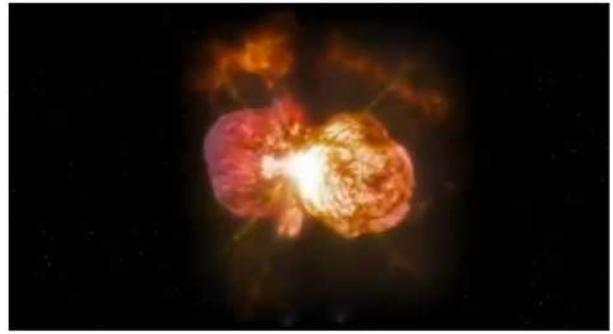
Et ces bulles de gaz vont un jour féconder d'autres nuages interstellaires, une pouponnière d'étoiles, en important le carbone et l'oxygène que l'étoile a fabriqué pour les générations d'étoiles qui vont suivre.



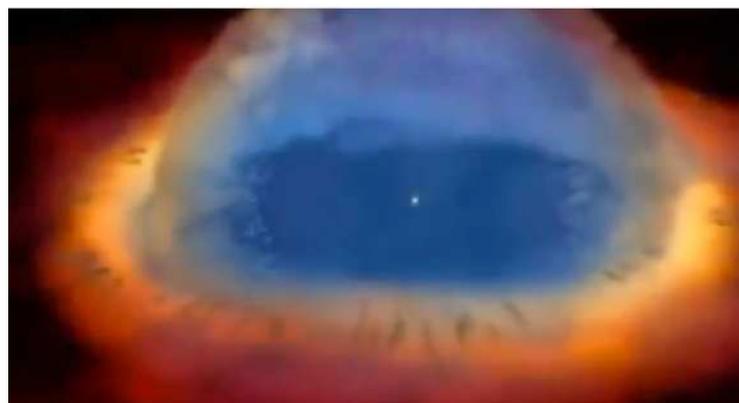


Et c'est le début d'une immense aventure parce que, dans ces nébuleuses de gaz, on trouve les éléments qui ont été fabriqués par les étoiles.





A la mort de l'étoile, son cœur, en se contractant de plus en plus, finira par devenir une **naine blanche**, naine car elle sera toute petite, à peu près de la taille de la Terre. Elle se refroidira lentement sur des milliards d'années.



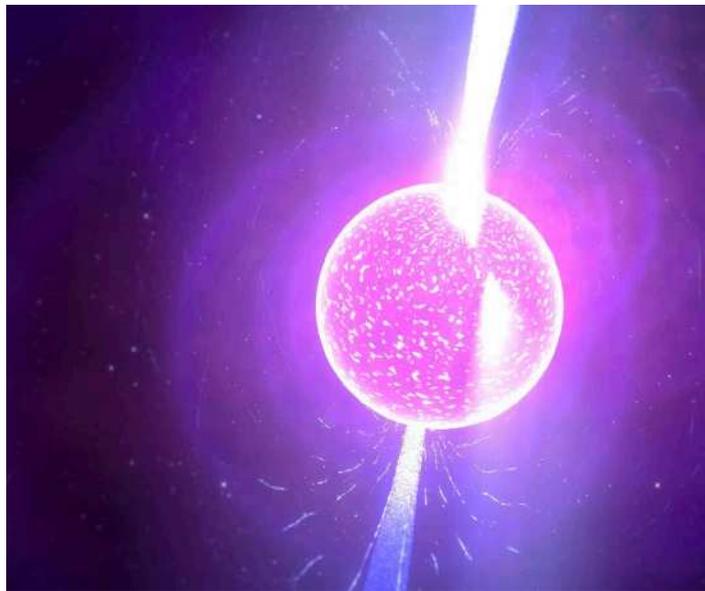
<https://www.youtube.com/watch?v=PHj4ER0nG7Y>

Les plus belles nébuleuses du ciel

Superbes photos du télescope spatial Hubble (12 minutes)

Ce phénomène cosmique d'explosion d'étoiles se joue parfois à deux.

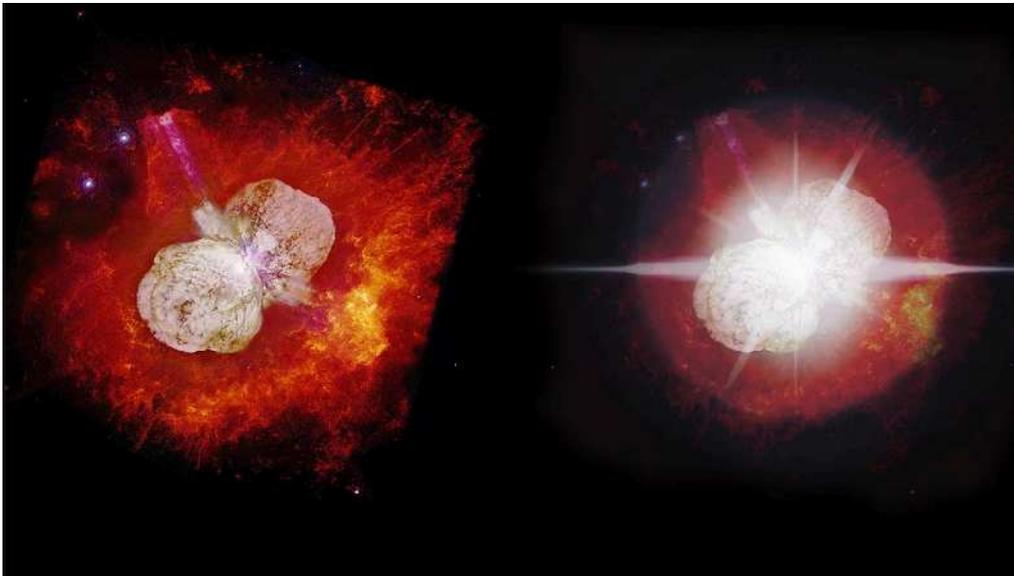
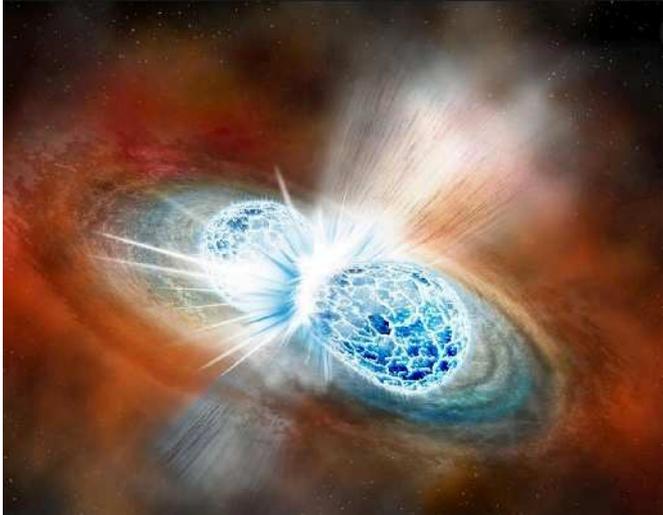
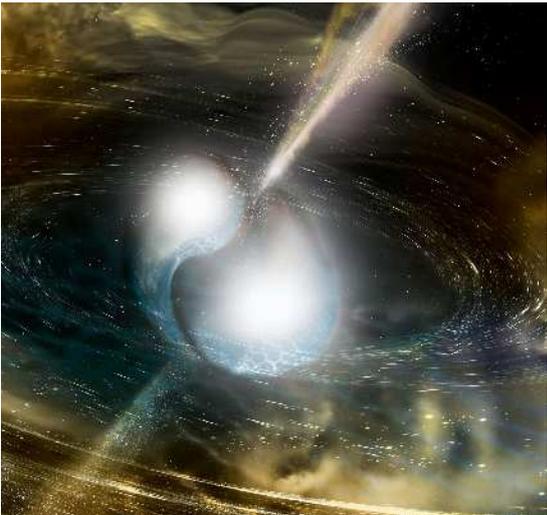
Dans un couple d'étoiles, le danger survient quand l'une d'elles s'effondre en **étoile à neutrons**.



Une étoile à neutrons est très attractive, à tel point qu'elle arrache de la matière à sa partenaire.



Une des deux explosera. Un formidable jet de plasma jaillira provoquant en moins de trois secondes une détonation cataclysmique.

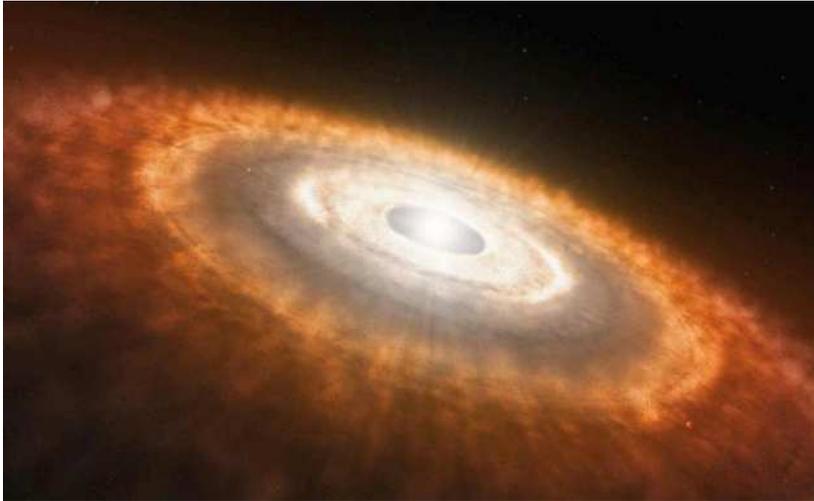


Les astrophysiciens pensent aujourd'hui que notre système solaire a certainement débuté de la même manière.

La formation du système solaire a commencé par l'effondrement d'un nuage interstellaire, dense et froid, où se sont formées des molécules d'hydrogène ou d'oxyde de carbone appelées nuages moléculaires.

Il y a 4,6 milliards d'années, notre système solaire s'est façonné grâce aux cendres d'anciennes étoiles !

Ce nuage se serait rapidement structuré en un disque de poussières en rotation lente sur lui-même et au centre se serait formé notre étoile.



La vitesse de rotation, la pression et la densité augmentent au centre d'où émerge une protoétoile. Au fur et à mesure que l'on s'en approche, la température s'élève par friction moléculaire. Seuls les éléments lourds subsistent.

Au-delà, les conditions sont plus clémentes pour permettre aux molécules légères de se condenser.

Tournoyant dans le disque protoplanétaire, la matière se concentre par endroits en raison de turbulences dans le disque. Cette accumulation aboutit à la formation d'objets de quelques kilomètres de long. Par un phénomène d'accrétion, ils vont s'assembler pour constituer les planètes. La répartition de la matière dans le disque protoplanétaire est l'élément-clé dans la nature des planètes. On retrouve les éléments lourds qui serviront à former les planètes telluriques et les corps solides de la Ceinture d'astéroïdes.



Au-delà, le disque est essentiellement constitué d'éléments volatils. Présents en beaucoup plus grande quantité, ils seront les constituants des planètes géantes gazeuses et des comètes. On estime qu'il aura fallu entre 50 à 100 millions d'années pour former les planètes telluriques contre 10 pour les planètes gazeuses.



A 1500 années-lumière de nous, dans la nébuleuse d'Orion, existe aujourd'hui une pouponnière stellaire où naissent des étoiles en formation dont certaines sont ceinturées d'un disque de gaz et de poussières.

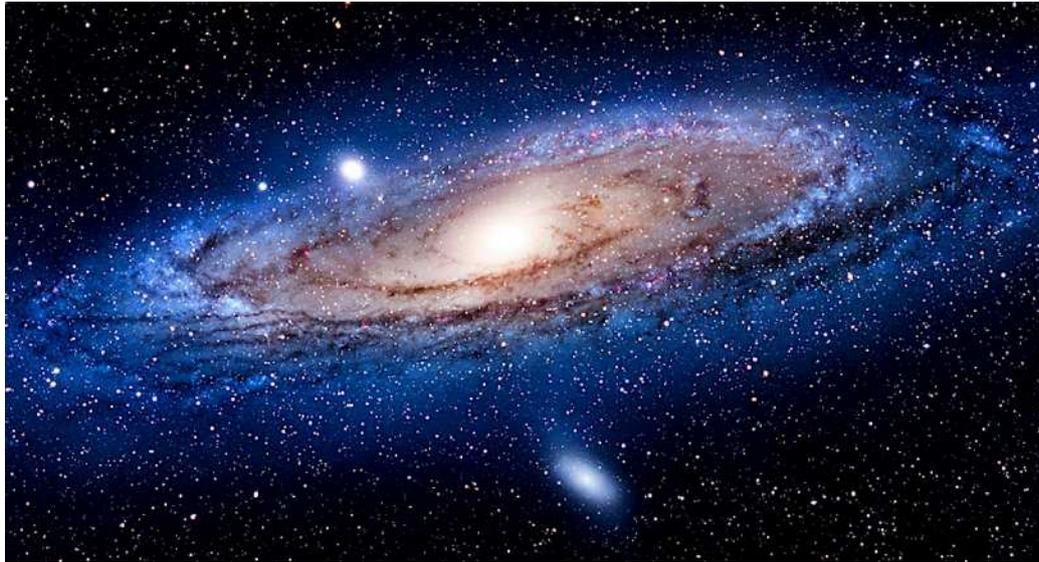




Les télescopes VLT et MPG ont saisi, à 600 années-lumière, au cœur de Lupus 3, la naissance de deux étoiles (au centre en bleu) baignant dans le nuage de poussières cosmiques qui leur a donné vie.

Notre galaxie, la Voie Lactée, comprend entre 200 à 400 milliards d'étoiles.





Et dans l'espace, combien y a-t-il d'étoiles?

Elles sont impossibles à compter précisément. Il est toutefois concevable d'estimer leur nombre. Il y en aurait ainsi 200.000.000.000.000.000.000.000 dans notre univers.

Regardez le ciel par une nuit claire et vous verrez des milliers d'étoiles, environ 6.000. Mais ce n'est qu'une infime fraction des étoiles. Les autres sont bien trop loin pour que nous puissions les voir.



# 11. Constantes de l'univers

Notre univers est comme une machine réglée avec une précision infinie et infime.

De cette boule de feu qu'est le Big bang, vont naître les **4 forces dites fondamentales de la nature** :

Ces quatre interactions élémentaires sont responsables de tous les phénomènes physiques observés dans l'univers. Sans ces 4 forces, l'univers ne serait qu'un amas informe de radiations.

Ce sont :

- L'interaction gravitationnelle, elle est dominante pour les grandes structures de l'univers comme les galaxies, les systèmes solaires car elle est toujours attractive. Elle est à l'origine de la formation des étoiles et planètes. Elle nous fait par la même occasion garder les pieds sur terre.
- L'interaction électromagnétique, responsable de la plupart des phénomènes quotidiens : lumière, électricité et magnétisme, chimie... Cette force nous permet de nous éclairer, de connecter nos téléphones et d'utiliser nos ordinateurs.
- L'interaction nucléaire forte, responsable de la cohésion des noyaux atomiques, de la cohésion des particules qui constituent la matière.
- L'interaction nucléaire faible, responsable de la radioactivité, elle joue un rôle important dans la fusion nucléaire (comme au centre du Soleil), ce qui alimente la fournaise des étoiles.

Ce qui est remarquable, c'est que ces 4 forces sont exactement telles qu'elles doivent être pour que la vie que nous connaissons, soit possible.

Le moindre changement de paramètre serait catastrophique, la planète disparaîtrait, le soleil s'éteindrait, l'ADN se déferait.

C'est un peu comparable à la réussite d'un soufflé au chocolat, il faut un mélange précis d'ingrédients, cuire à une température spécifique, pendant un temps déterminé.

De la même manière, notre univers est tel que nous le connaissons grâce à l'équilibre parfait entre ces 4 forces fondamentales. C'est la cause des processus physiques de notre monde, une vie basée sur l'élément carbone.

Les scientifiques ont découvert qu'il y a, au total, une vingtaine de constantes fondamentales dans la nature qui donnent à l'univers les caractéristiques que nous lui connaissons.

Ils n'ont aucune théorie pour expliquer de telles valeurs. Ce sont des nombres comme la masse des protons, la charge des électrons, la vitesse de la lumière...

Et tant qu'on règle les boutons de la machine sur les bonnes valeurs, sur chacune de ces constantes, elle produit l'univers tel que nous le connaissons. Cela détermine entièrement les propriétés de l'univers.

Mais si l'on change ces valeurs, même de façon minime, les conséquences seraient spectaculaires.

Par exemple, si on augmente l'intensité de la force magnétique, les atomes se repoussent plus fortement et la chaudière nucléaire qui fait briller les étoiles s'arrête, y compris notre soleil, et l'univers tel que nous le connaissons disparaîtrait.

## Le Réglage fin de l'Univers dépend de la valeur de 15 constantes :

- Densité de l'Univers
- Charge proton & électron
- Masse électron, neutron & proton
- Constante gravitationnelle
- Constante de structure fine
- Force gravitationnelle
- Force nucléaire
- Force électromagnétique
- Force nucléaire faible
- Vitesse de la lumière
- etc ...

Un infime changement et ... toute vie serait **impossible**

Constante	Symbole	Valeur (SI)
Vitesse de la lumière	c	299792458 m/s
Constante de Planck	h	$6.63 \times 10^{-34}$ kg/m <sup>2</sup> /s (ou J.s)
Charge électrique du proton	e	$1.6 \times 10^{-19}$ coulomb
Masse au repos du proton	m <sub>p</sub>	$1.67 \times 10^{-27}$ kg
Masse au repos de l'électron	m <sub>e</sub>	$9.11 \times 10^{-31}$ kg
Constante de la gravitation	G	$6.67 \times 10^{-11}$ m <sup>3</sup> /kg/s <sup>2</sup>
Constante de l'interaction forte	g <sub>s</sub>	$6.88 \times 10^{-13}$ (J.m) <sup>1/2</sup>
Constante de l'interaction faible	G <sub>F</sub>	$1.43 \times 10^{-62}$ J.m <sup>3</sup>
Constante de Coulomb (électromagn.)	k <sub>c</sub>	$8.99 \times 10^9$ kg.m <sup>3</sup> /A <sup>2</sup> /s <sup>4</sup>

Ce sont ces constantes physiques qui ont permis notre poids, notre hauteur, les couleurs des fleurs, la taille de la plus haute montagne sur Terre, la taille de la Terre.

Toutes les constantes ont été réglées de façon extrêmement précise pour que cette vie puisse apparaître.

La densité de l'univers, par exemple, doit être réglée à une précision de 10 puissance -60, ce qui serait égal à la précision qu'un archer devrait exercer s'il voulait planter une flèche dans une cible de 1 cm<sup>2</sup> qui serait placée au bord de l'univers à 14 milliards d'années !

C'est vraiment d'une précision extrême.

Certains physiciens pensent que c'est la preuve de l'existence d'un « Dieu ».

Ce réglage minutieux montre bien que nous ne vivons pas dans n'importe quel monde.

Cet équilibre des forces en tant que signe d'intelligence divine divise les scientifiques. Il pourrait s'agir d'un simple coup de dé cosmique.

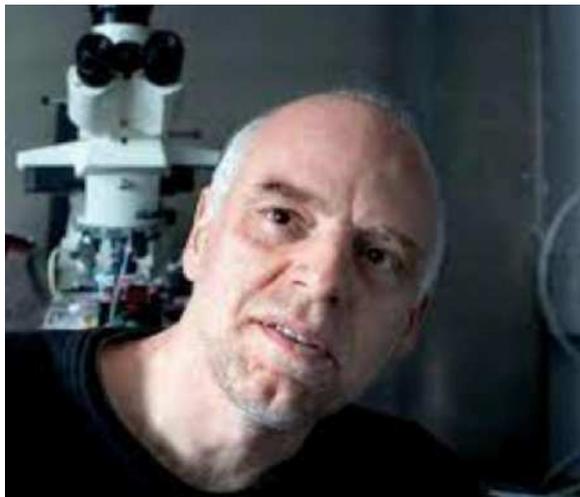
Est-ce qu'il y a un principe créateur, quelque chose qui a réglé les choses dès le début ou est-ce le pur hasard ?

Mais si c'est le pur hasard, quand il y a une probabilité si faible pour que cela aboutisse, il faut alors faire l'hypothèse qu'il y a une infinité d'univers avec, chacun, des constantes différentes, c'est la théorie des multivers. Nous reviendrons sur cette conception dans le chapitre consacré aux différentes théories sur l'univers.

## 12. Une suggestion toute récente concernant l'univers



David Elbaz : astrophysicien et directeur de recherche au Commissariat à l'Énergie Atomique



Alain Destexhe : neurobiologiste et chercheur en neurosciences intégratives et computationnelles à l'institut NeuroPsi CNRS de l'université Paris Saclay.

En partageant leurs connaissances en neurologie, biologie et astrophysique, ces deux scientifiques ont trouvé des similitudes entre l'univers et le cerveau et osent postuler que notre univers serait peut-être un cerveau !

Fréquemment dans l'histoire des sciences, ce sont des analogies qui ont permis des avancées remarquables. C'est souvent l'imagination visuelle, comme celle d'Einstein ou de Dirac, qui a été à la base de nouvelles découvertes.

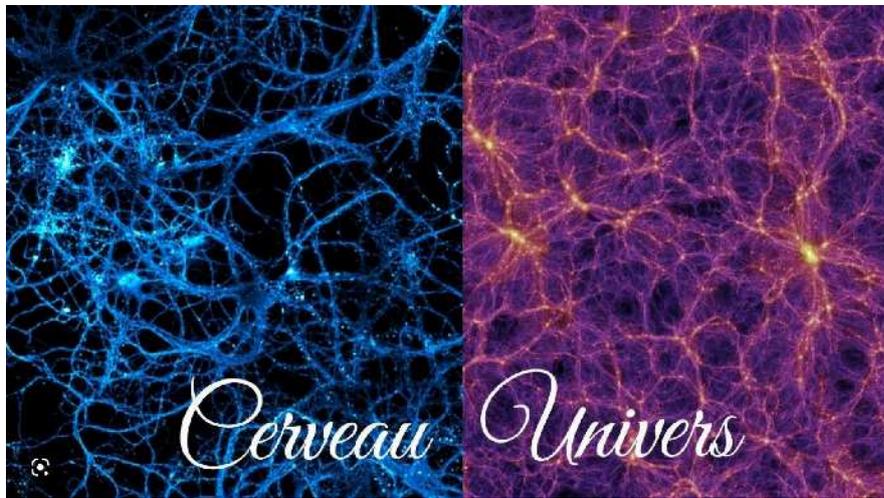
L'une des premières analogies que l'on a pu constater, dans le passé, est simplement la comparaison entre un poisson et un oiseau. De par leur morphologie semblable, on est arrivé à la découverte que chacun se déplaçait dans un fluide : l'eau ou l'air.

Pour ces deux chercheurs, les analogies ont un certain pouvoir dans l'évolution de la connaissance. Einstein serait certainement d'accord avec eux.

Dans ce cas-ci, ils mettent en évidence les similitudes entre les neurones et les galaxies, entre le cerveau et l'univers. Les galaxies dans l'univers seraient l'équivalent des cellules neuronales du cerveau. Depuis, d'autres astrophysiciens se sont aussi lancés dans cette recherche.

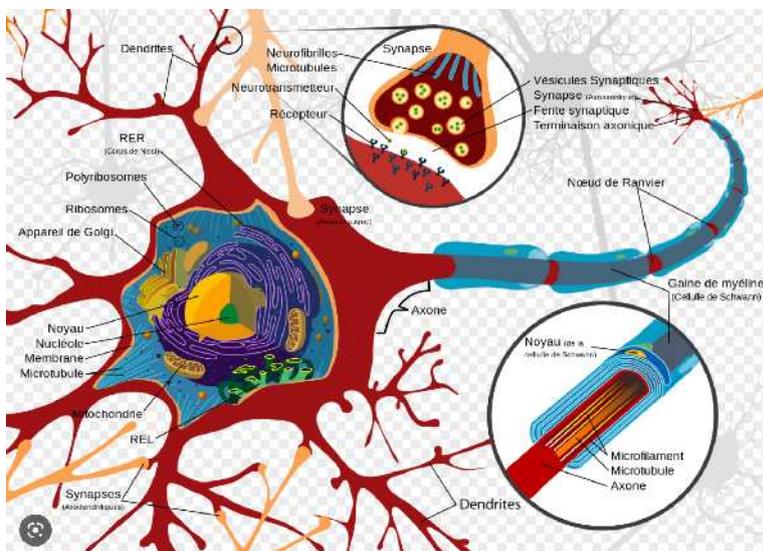
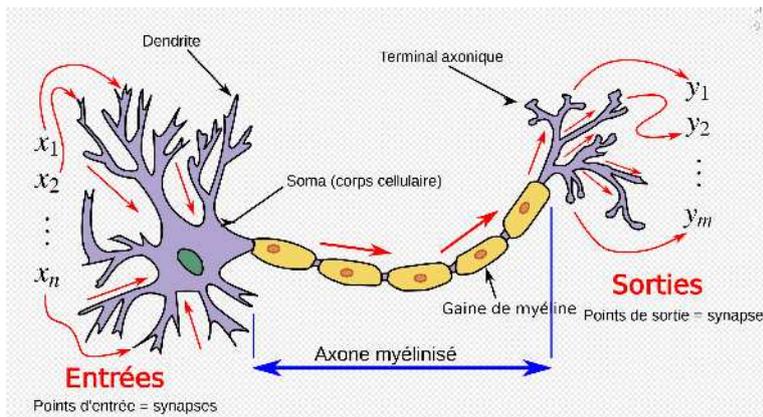
Voici quelques-uns de leurs arguments (simplifiés et résumés) :

- D'étonnantes similitudes apparaissent, ne serait-ce que sur le plan visuel, entre les microscopiques réseaux de neurones situés dans le cerveau et les gigantesques réseaux de filaments cosmiques qui relient les galaxies entre elles dans l'Univers.

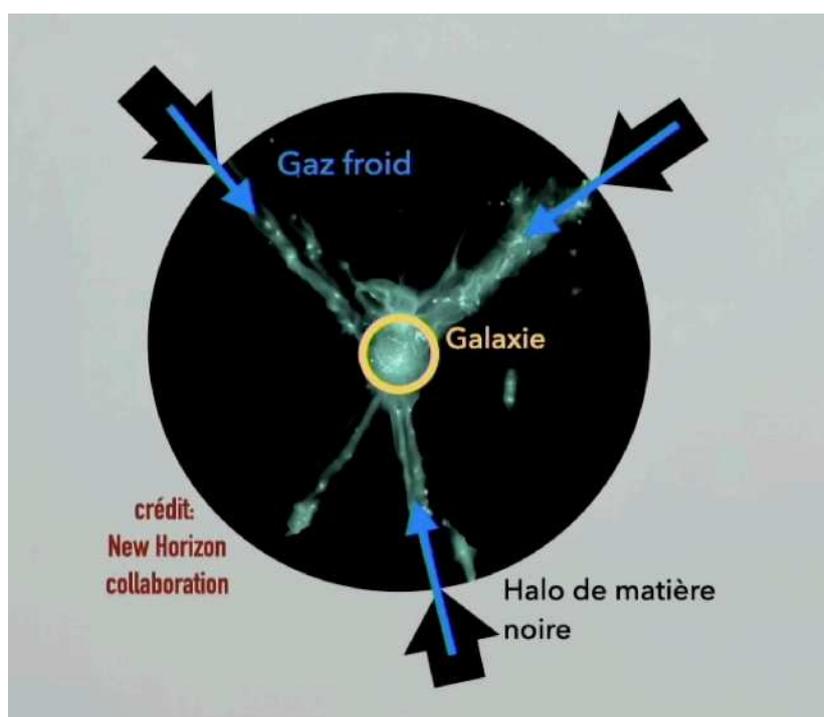
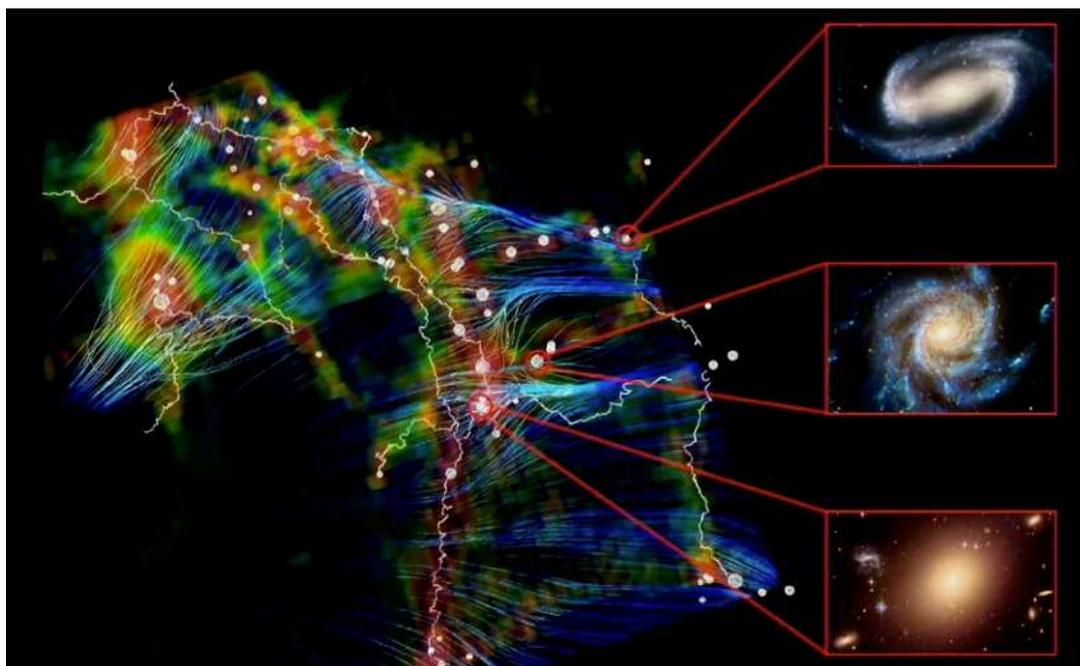


Une analogie peut être faite entre :

Les neurones et leurs filaments, les axones, les connectant entre eux



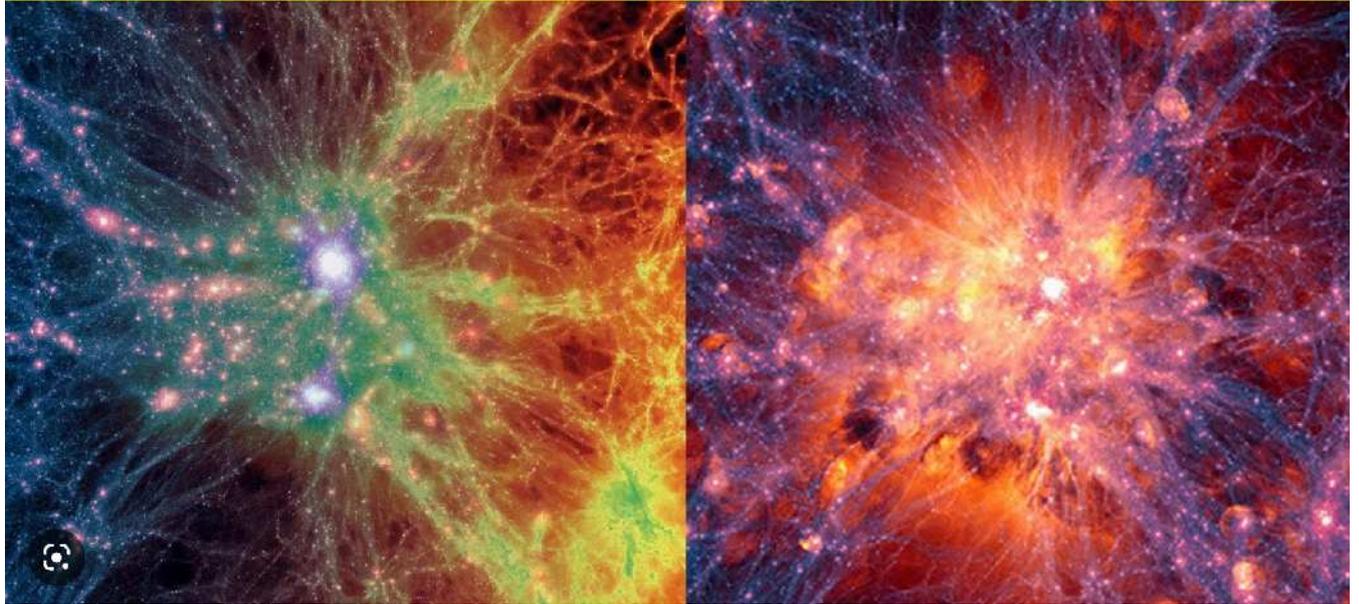
Et les galaxies avec leurs filaments cosmiques, les connectant entre elles



Ils suggèrent que divers processus physiques semblables peuvent aboutir à ces structures caractérisées par des niveaux similaires de complexité et d'auto-organisation.

Ils rapprochent le nombre de cellules nerveuses du cerveau avec le nombre de galaxies dans l'univers observable : environ 100 milliards de neurones dans l'encéphale et de même pour les galaxies, on se situe donc dans le même ordre de grandeur. Dans les deux systèmes, ces éléments ne contribuent qu'à environ 30% de la masse totale. Sous la boîte crânienne c'est l'eau qui forme 70% de la masse et qui semble avoir un rôle essentiellement passif. Dans le cosmos, quelque chose représente aussi 70% de la densité d'énergie, c'est la fameuse "énergie noire" dont la nature reste pour le moment indéfinie et dont l'effet se manifeste par l'accélération de l'expansion de l'Univers. C'est une **analogie structurelle**

# Human Brain      The Universe



- Autre analogie : le cerveau n'est jamais au repos, de même que l'univers est en perpétuelle activité.

Ce qu'ils appellent ici « activité » et qui est analogue à l'activité des neurones, est le fait que les galaxies donnent naissance à de nouvelles générations d'étoiles tout le temps comme, dans le cerveau, de nouveaux neurones.

De la même manière qu'un nouveau-né a une activité cérébrale relativement faible le temps qu'il se forme et qu'ensuite son activité, avec le temps, soit quasi saturée dans le cerveau, par plus de naissances et de morts de neurones.

Il en est de même dans l'univers : on a une phase de l'univers-enfant où les galaxies viennent à peine d'émerger, la formation d'étoiles y est très faible et puis l'univers va atteindre, à l'étape suivante, un moment où les galaxies, d'un commun accord, vont former quasiment toutes ensemble beaucoup d'étoiles pour atteindre l'âge adulte. Il y a donc une ressemblance majeure entre les deux : l'univers est en perpétuelle évolution, perpétuel changement, de la même manière que le cerveau. **Analogie de l'activité**

- Autre point commun : Il y a des noyaux cellulaires et des liens entre toutes les cellules du cerveau.

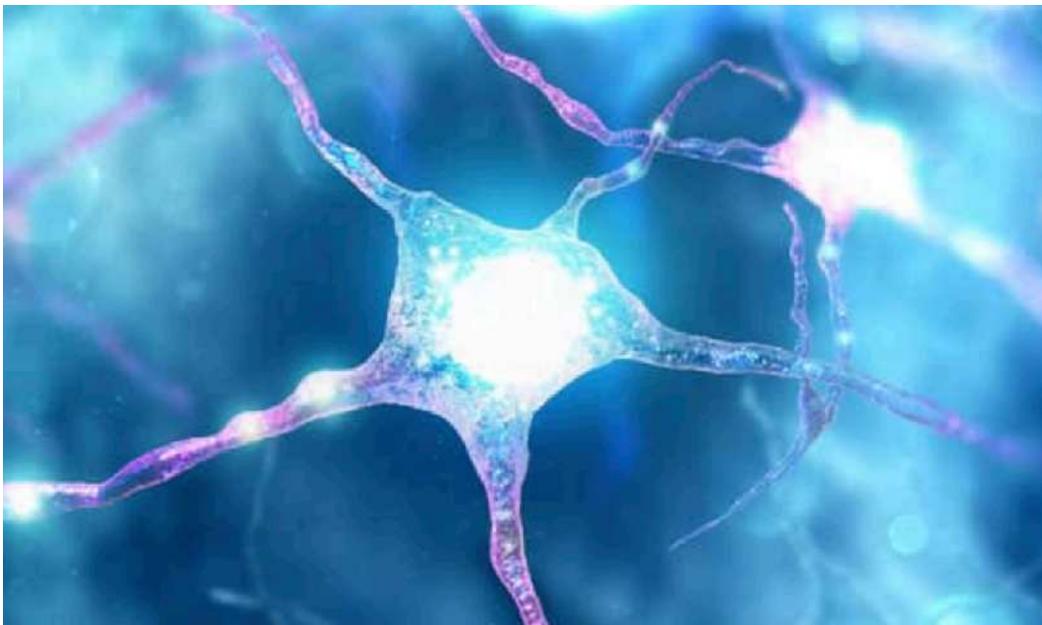
C'est exactement la même chose dans l'univers : il y a des noyaux au centre des galaxies, les trous noirs, et les galaxies sont toutes interconnectées par des filaments.

Les filaments entre les galaxies leur apportent de la matière, les nourrissent en permanence, sans modifier le rythme de formation des étoiles et quand on plonge à l'intérieur d'une galaxie, de nouveau, on rencontre des filaments entre les étoiles, semblables aussi aux liens entre les neurones. C'est une **analogie fonctionnelle**.

Grâce aux technologies de plus en plus sophistiquées, voici une photo récente (2020) prise d'une galaxie



Neurone du cerveau



- Encore une analogie intéressante :

Il existe un phénomène dans le cerveau que l'on appelle l'apoptose, qui est la mort programmée de neurones, et c'est dans le noyau de ces cellules que sont localisées, au niveau du code génétique, toutes les informations, l'ADN.

La mort des cellules se programme à partir de ce noyau. (Nous en parlerons dans le septième chapitre.)

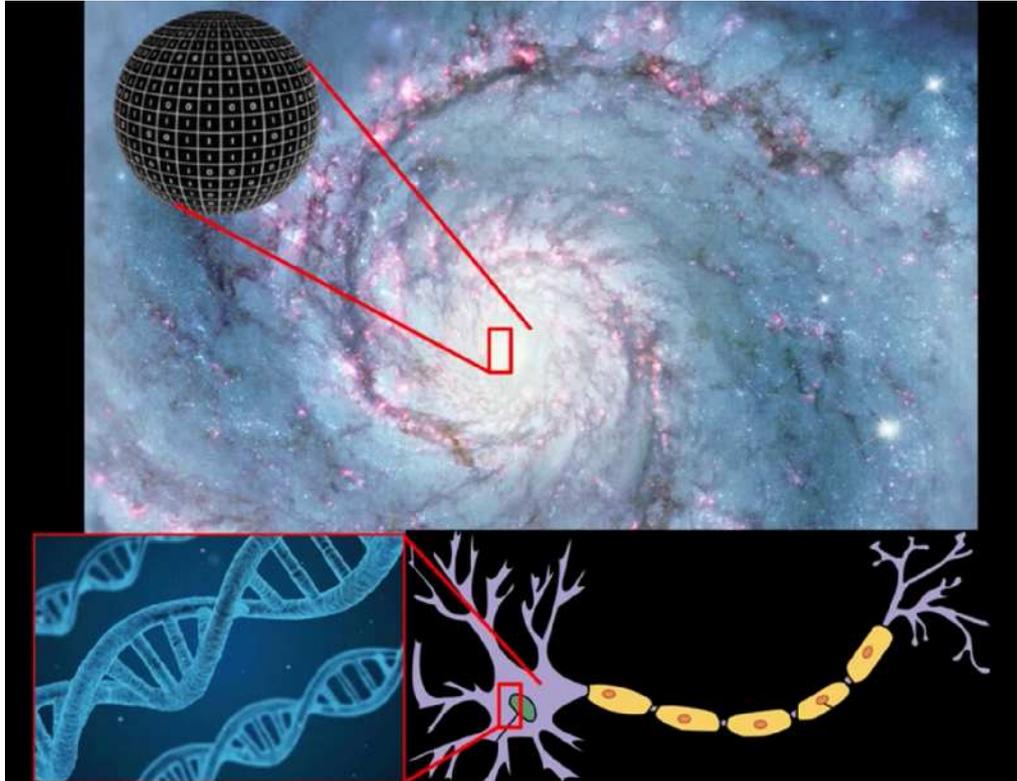
Dans le langage entre spécialistes cosmologiques, ils parlent aussi de mort de galaxies car elles ne créent plus d'étoiles. Est-elle aussi programmée ?

On pense que cette mort est liée au trou noir.

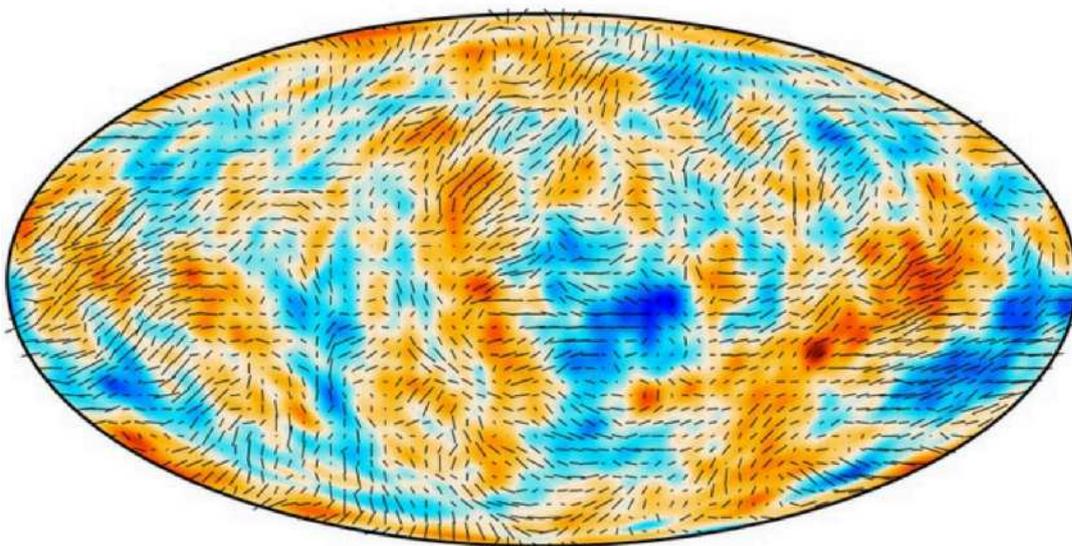
Suivant les études les plus récentes sur les propriétés des surfaces des trous noirs, on pense qu'il est inscrit à la surface du trou noir toute l'information de la matière qui a sombré dans le trou noir, son ADN. C'est là que la plupart de l'information de la galaxie serait située.

Si on devait dire qu'il y a un code, un enregistrement de toute l'information, dans l'univers, ce serait dans le noyau de la galaxie, le trou noir central. Comme dans le noyau du neurone !

**Analogie de comportement et analogie d'une information globale localisée**

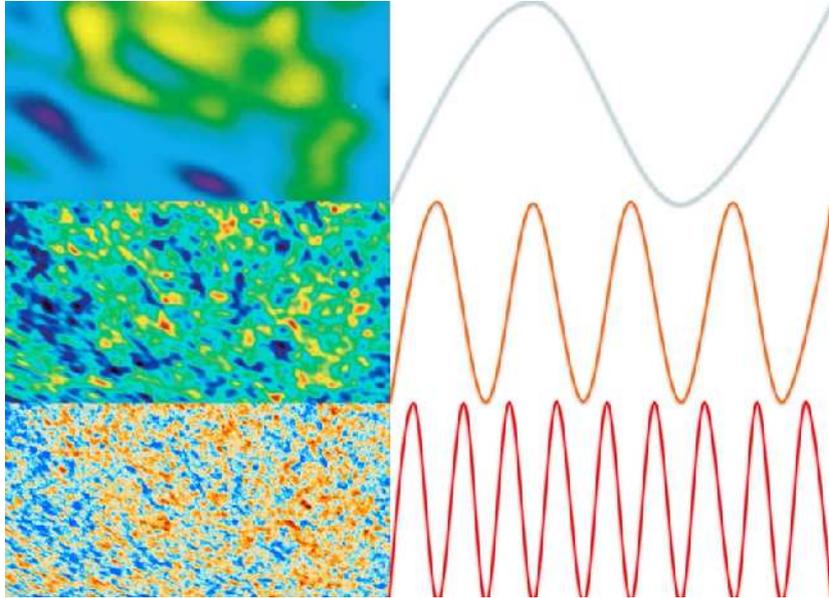


- On se souvient de la découverte qui a conduit à l'idée du Big Bang : ce rayonnement diffus cosmique qui a ensuite mené à la découverte des germes des galaxies :



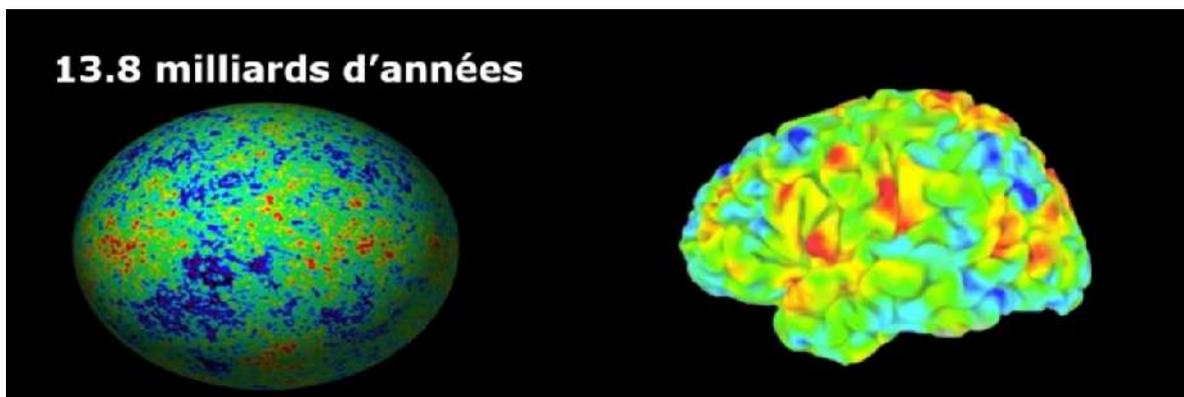
Des ondes acoustiques dans l'univers ont été provoquées par le couplage entre la matière et la lumière (le Big Bang) et ont créé des germes, des particules de matière qui deviendront des galaxies.

Avec nos satellites, on a pu constater qu'il y avait effectivement différentes fréquences dans ces bruits : des basses, des moyennes, des hautes fréquences qui vont être des régions les unes plus chaudes et les autres plus froides.



Ce sont ces ondes acoustiques propagées dans l'univers qui vont se geler au moment où l'univers va devenir transparent. Elles vont se cristalliser et vont devenir les galaxies tels qu'on les voit aujourd'hui.

Il y a 13,7 milliards d'années, un univers pendant 380 000 ans a été une véritable symphonie cosmique qui s'est arrêtée par la cristallisation de ses notes de musique qui deviendront les galaxies telles qu'on les voit aujourd'hui et ce mécanisme s'est produit grâce à ce bruit (on s'est rendu compte que ce bruit était en réalité de la musique cohérente) et qu'aucun des points rouges et bleus (dans l'image ci-dessous) créés par les ondes sonores, n'étaient dénués de significations, tout cela avait un sens profond.



<https://www.youtube.com/watch?v=IFfNQ6V01j8>

Simulation de la formation de la Voie Lactée (0,40 minute)

<https://www.youtube.com/watch?v=Rdd9KAUcvgQ>

Simulation de formation de galaxies (4,23 minutes)

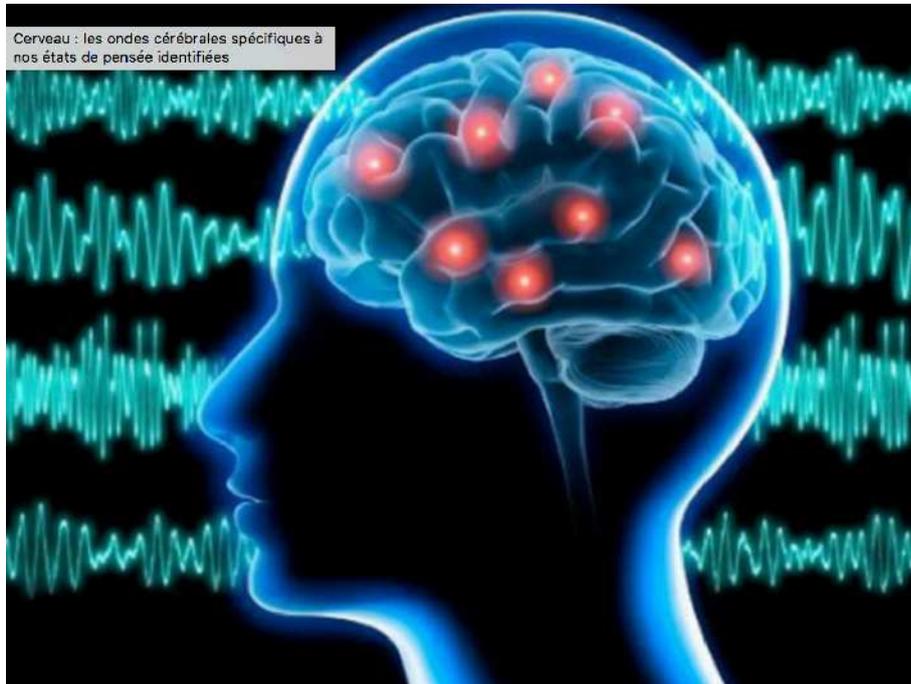
Il se passe un processus analogue dans l'étude du cerveau.

La première fois que l'activité électrique cérébrale a été enregistrée chez l'homme en 1924, on a observé des signaux d'une grande activité qui, à l'époque, ont été qualifiés de bruits.

Sauf que maintenant on a démontré une caractéristique absolument essentielle de ces signaux : la nature du signal enregistré dépend de ce que fait la personne. Ce ne sont pas des bruits incohérents mais ceux-ci reflètent l'activité cérébrale, à un sens.

Les bruits de l'activité de l'univers, les bruits de l'activité du cerveau sont une autre similitude.

**Analogie des ondes acoustiques.**



Toutes ces perspectives permettent d'appréhender l'univers d'une autre manière, de se poser des questions différemment...