



www.astrosociety.org/uitc

**No. 37 - Winter 1997**

© 1997, Astronomical Society of the Pacific, 390 Ashton Avenue, San Francisco, CA 94112.

## Big Bang

Philippe Brieu  
University of Michigan

George Musser  
Astronomical Society of the Pacific

Quand est-ce que le temps a démarré? Quelle est notre origine? Quelle est notre destinée? Trois questions fondamentales qui ont toujours occupé l'esprit humain.

Qu'y avait-il avant l'origine du temps? Qu'y a-t-il au-delà des limites de l'univers? Est-il possible de voyager dans le temps? Trois autres questions qui ne manquent pas de fasciner la jeunesse et d'embarrasser les enseignants.

Je me souviens que je me posais ce genre de questions dans ma jeunesse. Malheureusement personne dans mon entourage ne semblait avoir de réponses. Pourtant, il fallait que je sache! Je me suis dit que je devrais devenir astronome et trouver les réponses.

En fait, j'ai découvert que ce n'est pas aussi simple. Les chercheurs ont fait d'immenses progrès ces dernières années, mais beaucoup d'aspects restent controversés. On retrouve souvent cela dans les titres des journaux: "Un chercheur voit le visage de Dieu, confirme le Big Bang" (une allusion aux résultats du satellite COsmic Background Explorer), "Le cosmos est-il plus jeune que certaines des étoiles qu'il contient? La cosmologie en déroute" (les tentatives de mesure du taux d'expansion de l'univers), "Les astronomes découvrent des milliards de galaxies auxquelles ils ne s'attendaient pas" (des observations du Télescope Spatial Hubble), "Des physiciens décrivent la sombre fin du monde" (des suppositions sur le destin de l'univers).

Tous ces sujets, et bien d'autres, font de la cosmologie un domaine passionnant. Par définition, la cosmologie est l'étude de l'univers dans son ensemble, de son histoire, et de son contenu global. La cosmologie tente de répondre à certaines des questions les plus élémentaires que nous ayons à propos de la réalité dans laquelle nous vivons.

**[L'Unique Univers](#)**  
**[Le Plus Grand De Tous Les Bouts](#)**  
**[Comment Fabriquer Un Élément](#)**  
**[L'Univers Grandit](#)**  
**[Masquez Vos Yeux](#)**  
**[Le Destin de l'Univers](#)**

**L'Unique Univers**

Les cosmologues sont des chercheurs dans une situation unique. Ils n'ont qu'un exemplaire à étudier: le seul et unique univers dans lequel nous vivons. On ne peut pas le reproduire; on ne peut pas en choisir un autre pour voir ce qui s'y passe; on ne peut pas le comparer à quoi que ce soit, comme le font couramment les astronomes avec les planètes, les étoiles, et les galaxies. Et on ne peut pas non plus faire d'expériences avec ce qu'on étudie. On ne peut que l'observer passivement.

Qui plus est, nous sommes à l'intérieur de l'univers (par définition). Cela le rend encore plus difficile à étudier. Les cosmologues sont comme des dentistes qui essaient d'opérer dans leur propre bouche. Ils sont enfermés dans l'objet de leur étude. En science il est toujours utile de regarder les choses de l'extérieur. Les zoologistes essaient de ne pas être vus par les animaux qu'ils étudient afin de ne pas influencer leur comportement. Les météorologues observent les tempêtes à l'aide de satellites météo. Mais on ne peut pas s'échapper de l'univers. On ne peut pas en sortir et y jeter un coup d'oeil.

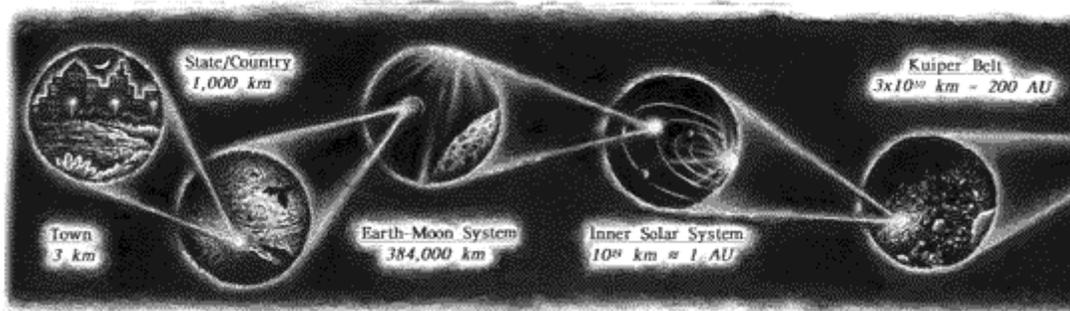
Aussi faut-il faire attention au sens qu'on donne à ce qu'on voit à proximité et au loin. Si vous regardez autour de vous, vous voyez probablement un mur, une porte, une fenêtre, un placard. Si vous regardez plus loin, vous voyez une rue, d'autres bâtiments, et peut-être des montagnes au loin. Entre, peut-être une ferme, un lac, une forêt, une autoroute. Vous voyez donc des choses très différentes dans des directions et à des distances différentes (voir dessin p. \*).

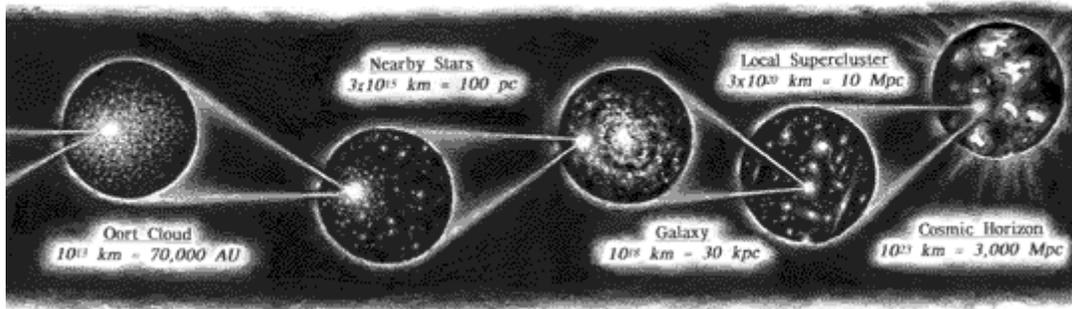
Si vous pouviez voir encore plus loin, vous finiriez par voir l'océan. A partir de là, vous pourriez distinguer entre terre et eau: ici un continent, là un océan, au bord duquel se trouve un autre continent, etc... Quelqu'un d'autre pourrait faire la même chose depuis n'importe où sur Terre, et bien que son voisinage proche puisse être assez différent du vôtre, à une échelle suffisamment grande--celle de la Terre entière--vous auriez tous deux la même description élémentaire: terre et eau.

En cosmologie, les galaxies sont la terre et l'espace entre les galaxies est l'eau. Ce n'est qu'aux échelles de galaxies et au-delà qu'on peut parler de l'univers en général. A ces échelles, votre position exacte dans l'univers n'a pas d'importance, car celui-ci est à peu près identique depuis n'importe quel endroit dans n'importe quelle direction: des galaxies partout (voir photo p. \*).

Cette observation est le point de départ de la cosmologie. Tout comme la Terre n'est pas au centre du système solaire, elle n'est pas au centre de l'univers, mais plutôt à un endroit quelconque équivalent à tout autre endroit. En termes techniques, les cosmologues disent que l'univers est "homogène" et "isotrope" aux plus grandes échelles. Homogène signifie que l'univers a la même composition élémentaire et la même structure partout. Isotrope veut dire qu'il a en gros la même apparence dans chaque direction.

Les cosmologues pensent également que les mêmes lois de la physique--gravité, mouvement, électricité, magnétisme, etc--sont valables partout tout le temps. Cela s'appuie aussi sur des observations. Si les lois de la physique étaient un tant soit peu différentes, les étoiles lointaines refuseraient de briller, les orbites ne seraient pas respectées, la lumière aurait l'air fatiguée. On ne constate rien de tel. L'uniformité remarquable de l'univers est ce qui nous permet de l'étudier dans sa totalité.





Mais quelle est donc la taille de l'univers? Chacune de ces bulles est environ 300 fois plus large que la précédente. En partant de votre ville et en zoomant 9 fois, vous atteignez l'extrémité de l'univers observable. Ce schéma est un exemple d'échelle logarithmique. En fait, dans l'autre direction, en réduisant la taille de chaque bulle d'un facteur 300, vous vous retrouveriez avec un fragment plus petit que la plus petite particule subatomique connue. L'être humain est donc au milieu de l'intervalle des échelles cosmiques. Nous sommes environ aussi petits face à l'univers que les particule subatomiques par rapport à nous. Schéma par Kathleen L. Blakeslee pour la SAP.



## Big Bang

### Le Plus Grand De Tous Les Boms

Fort de ces hypothèses, observations, et lois, les cosmologues essayent de construire une théorie du développement ou de l'évolution de l'univers. Comment est-il né? Que va-t-il devenir? La science peut-elle même espérer répondre un jour à ces questions? La plupart des cosmologues pensent que oui. Au cours des 70 dernières années ils ont bâti et mis à l'épreuve une théorie qui semble expliquer les principales propriétés de l'univers: la théorie du Big Bang.

Cette théorie est basée sur la théorie de la relativité générale d'Albert Einstein, qui fût l'un des progrès les plus importants en physique au début du siècle, et qui a établi les fondations intellectuelles de la cosmologie moderne. La théorie d'Einstein contient des équations que les chercheurs peuvent résoudre pour décrire l'évolution de l'univers.

Une des solutions possibles indique que quand l'univers est né tout était concentré en un point minuscule--vraiment tout: toute la matière, tout le rayonnement, toute l'énergie qu'on observe aujourd'hui. Comme on pourrait s'y attendre, la température en ce point était extrêmement élevée. Rapidement, l'univers s'est mis à gonfler, éparpillant son contenu uniformément dans toutes les directions sur des distances de plus en plus grandes. Comme cela ressemble beaucoup à une explosion, on l'a appelé le Big Bang ("Grand Boum").

La théorie de Big Bang comprend deux idées essentielles: l'univers est né infiniment petit et chaud il y a quelques milliards d'années, et il est en expansion continue et n'arrête pas de se refroidir depuis. Mais la théorie ne précise pas ce qui a créé cette expansion. Elle n'indique pas comment les galaxies et les étoiles se sont formées. Et elle ne dit pas quelle quantité de matière l'univers contient ou sous quelle forme elle est.

C'est là un détail important: la théorie du Big Bang autorise beaucoup de scénarii différents pour les détails de l'évolution et de la composition de l'univers. Ce n'est que les fondations sur lesquelles les modèles cosmologiques sont construits. On pourrait le comparer à une soupe de légumes. La recette de base est simple: faire cuire les légumes, les passer à la moulinette, ajouter de l'eau, et réchauffer le tout. Mais on peut utiliser des légumes différents, mettre plus ou moins d'eau, ou faire cuire selon des durées variables. On a alors des soupes qui n'ont pas le même goût, mais qui ressemblent plus ou moins à la photo du livre de cuisine.

De même, les cosmologues utilisent des recettes différentes basées sur la formule du Big Bang. Ils ajustent les constantes de leurs équations afin de créer des modèles d'univers qu'ils comparent ensuite à leur livre de référence: le ciel. Si la comparaison n'est pas bonne cela ne veut pas dire que le modèle du Big Bang est faux--mais simplement qu'ils n'ont pas utilisé la bonne recette, auquel cas ils doivent changer de recette et voir si la nouvelle a meilleur goût. Les cosmologues peuvent ne pas être d'accord sur la valeur de certaines constantes particulières, mais peu d'entre eux remettent en cause le Big Bang.

Pour prouver que le Big Bang est complètement faux, il faudrait que les astronomes observent un phénomène qui contredirait une de ses idées fondamentales. Ce serait par exemple le cas si la distribution des galaxies s'avérait ne pas être homogène, ou si on confirmait qu'il existe une étoile plus vieille que l'univers. De tels problèmes ont été soulevés, mais jamais confirmés. Au fil des ans, les trois preuves essentielles du Big Bang n'ont fait que devenir plus incontestables. L'une explique comment les éléments chimiques ont été créés; une autre explique à quelle vitesse l'univers grandit; et la dernière nous permet de voir le Big Bang lui-même.

### Comment Fabriquer Un Élément

On dit parfois que nous sommes les enfants des étoiles. La plupart des éléments chimiques de notre corps, tels le carbone et l'oxygène, n'existaient pas dans la jeunesse de l'univers. Ils furent créés bien plus tard par les étoiles. Comment le savons-nous? Grâce à une théorie appelée la nucléosynthèse.

La nucléosynthèse décrit comment le cœur des atomes (noyaux) sont formés (synthétisés) dans l'univers. Il en existe deux types. L'un a eu lieu très tôt dans l'histoire de l'univers (pendant les trois premières minutes) et s'appelle par conséquent nucléosynthèse primordiale. L'autre type, la nucléosynthèse stellaire, est un processus qui a lieu en continu dans les étoiles comme notre soleil.

C'est la théorie de la nucléosynthèse qui a donné pour la première fois une assise solide au Big Bang. La nucléosynthèse primordiale est un mélange de la théorie du Big Bang et de la physique des particules aux hautes énergies. La théorie du Big Bang nous dit quelles conditions régnaient dans l'univers primordial et de quelle façon elles ont évolué au cours du temps. Les accélérateurs de particules reproduisent ces conditions, ou du moins s'en rapprochent. Il s'avère que certaines réactions nucléaires ont eu lieu à différents stades de l'évolution de l'univers.

Au départ l'univers était une soupe dense des particules subatomiques les plus élémentaires, connues sous le nom de quarks. Il n'existait pas encore de noyaux atomiques, même pas leurs briques élémentaires, les protons et les neutrons. L'univers se refroidissant, les quarks se sont regroupés pour former protons et neutrons. Le proton étant le seul composant du noyau de l'atome d'hydrogène, l'hydrogène fut le premier élément créé dans l'univers. Plus tard, des réactions nucléaires ont combiné protons et neutrons, formant de l'hélium et des traces de lithium.

Ce furent les trois éléments primordiaux, et ce sont les plus légers dans la table périodique. En buvant un verre d'eau, vous avalez des noyaux d'hydrogène aussi vieux que l'univers. De plus, la nucléosynthèse primordiale a produit un quatrième noyau atomique: le deutérium, une version de l'hydrogène qui possède aussi un neutron.

Tous les autres éléments--du béryllium à l'uranium--n'existaient pas jusqu'à quelques milliards d'années plus tard, quand les étoiles sont elles-mêmes passées à la nucléosynthèse. Les étoiles ne produisent pas de deutérium, mais elles créent un peu d'hélium en brûlant l'hydrogène. Ainsi, tout le deutérium et la plupart de l'hélium qu'on observe aujourd'hui datent de la naissance de l'univers.

La théorie prédit précisément les quantités d'éléments qu'on s'attend à voir dans l'univers. De plus, la théorie prédit ces quantités pour tous les éléments en même temps, alors que les observations sont indépendantes pour chaque élément. Si toutes les quantités observées étaient en accord avec la théorie sauf une, la théorie serait complètement rejetée. Pourtant, toutes ces mesures indépendantes concordent--un argument très persuasif en faveur de la théorie.

Vous pouvez voir cela comme un puzzle miniature. Si vous faites la moindre erreur en le construisant, vous vous retrouverez avec une pièce qui ne colle pas, et il vous faudra tout recommencer. D'un autre côté, si toutes les pièces s'emboîtent bien, vous pouvez être assez sûr que vous avez réussi. Ici, les pièces sont les mesures des quantités des éléments. Elles concordent.



Qu'est-ce que les cosmologues entendent par "l'univers"? Manifestement, l'univers est composé de tout ce qui existe. Mais tout étudier serait bien trop compliqué, aussi les cosmologues étudient l'univers comme une entité--tout comme un docteur étudie votre corps tout entier sans songer à tous les atomes qu'il contient.

En regardant du haut d'une colline, on peut voir des objets à des distances différentes: herbe, arbres, bâtiments, planètes, étoiles, galaxies. En se concentrant sur une distance donnée, on peut regrouper les choses et traiter chaque groupe comme une entité: pelouse, forêt, système solaire, galaxie, amas de galaxies. Les amas de galaxies sont les éléments de base de la plus grande des entités: l'univers. Les amas les plus éloignés sont si distants qu'il a fallu pratiquement tout l'âge de l'univers pour que leur lumière nous arrive. Schéma de Kathleen L. Blakeslee pour la SAP.



## Big Bang

### L'Univers Grandit

La seconde preuve du Big Bang vient de l'observation de l'expansion de l'univers. L'astronome américain Edwin Hubble devint célèbre dans le monde entier pour l'avoir mesurée dans les années 1920. Il remarqua que quasiment toutes les galaxies s'éloignent de nous--se déplaçant d'autant plus vite qu'elles sont éloignées. Il a établi que la vitesse ( $v$ ) d'une galaxie est proportionnelle à sa distance ( $d$ ) de nous:  $v = H \times d$ , où  $H$  est un nombre connu aujourd'hui sous le nom de constante de Hubble. Cette équation s'appelle de nos jours la loi de Hubble et la soit-disant constante de Hubble n'est en fait constante que dans l'espace; elle varie dans le temps.

Pour avoir une image de ce que signifie la loi de Hubble, prenez un ballon et dessinez des points dessus. Quand vous le gonflez, vous voyez que la distance entre chaque paire de points augmente. Laissez sortir l'air, reprenez votre souffle, et recommencez l'expérience. Imaginez que vous êtes l'un des points regardant les autres points. De ce point de vue-là, tous les autres points semblent s'éloigner, comme des bateaux quittant un port dans des directions différentes. Peu importe quel point vous avez pris; tous les points voient la même chose.

A partir de cette analogie, les chercheurs ont déduit que la loi de Hubble est exactement ce à quoi on s'attend si l'univers est en expansion. Les galaxies d'un univers en expansion sont semblables aux points sur un ballon qu'on gonfle, ou à des bateaux dans un océan immense qui s'agrandit avec le temps.

Bien sûr les choses sont un peu différentes dans l'univers réel car nous ne sommes pas sur la surface (bi-dimensionnelle) d'un ballon. C'est notre univers tri-dimensionnel qui est en expansion. Nous ne pouvons pas le voir de l'extérieur, comme c'était le cas pour le ballon. C'est une illustration parfaite du fait que notre vision est limitée parce que nous ne pouvons pas sortir de l'univers. Il nous est parfois impossible de visualiser ce qui se passe, et les chercheurs en sont réduits à parler en termes purement mathématiques.

La constante de Hubble est un des nombres les plus importants en cosmologie. En revenant à la loi de Hubble, vous constatez que la constante est une vitesse divisée par une distance. Comme la vitesse est elle-même une distance divisée par un temps, l'inverse de la constante de Hubble est simplement un temps. Il s'avère que ce temps est l'âge approximatif de l'univers.

Pour comprendre cela, imaginez que vous et votre frère alliez rendre visite à de la famille. Vous partez de la maison à la même heure, mais il va chez votre grand-mère à 120 kilomètres au nord, alors que vous allez chez votre oncle à 120 kilomètres au sud. Vous conduisez tous deux à une vitesse moyenne de 60 km/h. Quand vous arrivez, votre oncle vous demande combien de temps vous avez roulé, mais supposons que vous ne savez plus à quelle heure vous êtes parti(e). Connaissant la distance et la vitesse, vous calculez que vous avez conduit 120 kilomètres divisés par 60 km/h, soit 2 heures. Votre frère fait le même calcul. L'un par rapport à l'autre, vous avez fait 240 kilomètres à 120 km/h, ce qui correspond également à un voyage de 2 heures.

Cette situation est analogue à la loi de Hubble. Les astronomes peuvent estimer à quelle vitesse la Voie Lactée et la galaxie M100 s'éloignent l'une de l'autre, ainsi que la distance de l'une à l'autre. En divisant la distance par la vitesse, ils déduisent quand les deux ont dû partir du même point. On peut faire de même pour n'importe quelle paire de galaxies, et la loi de Hubble impliquera que toutes sont parties du même point au même moment--l'essence même de ce qu'on appelle le Big Bang.

Jusqu'à il y a deux ou trois ans, la constante de Hubble n'était connue qu'à un facteur 2 près, et sa valeur exacte donnait lieu à des débats houleux. Mais grâce essentiellement aux observations du Télescope Spatial Hubble, on pense maintenant qu'elle est comprise entre 60 et 70 kilomètres par seconde et par mégaparsec, ce qui implique que l'univers a environ 15 milliards d'années. C'est une valeur encourageante, car proche mais pas inférieure, à l'âge des plus vieilles étoiles connues, soit environ 14 milliards d'années.

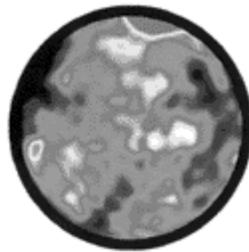
D'autres mesures de la constante de Hubble correspondaient à un âge d'environ 10 milliards d'années, ce qui remettrait en question toute la théorie du Big Bang. Ces mesures ont fait beaucoup de bruit dans la presse au cours de ces dernières années. En fait, des estimations plus anciennes donnaient un âge encore inférieur! Mais la conversion exacte de la constante de Hubble à l'âge de l'univers n'est pas aussi simple que la division d'une distance par une vitesse. D'autres effets pourraient rendre l'univers plus vieux que ne le laisse croire la constante, tout comme, dans l'exemple précédent, le trajet aurait pris plus de deux heures si vous vous aviez fait une pause café. Quoi qu'il en soit, les observations semblent maintenant converger vers une valeur qui est tout-à-fait cohérente avec le Big Bang.

## Masquez Vos Yeux

Bien sûr, la façon la plus simple de prouver le Big Bang serait de vérifier ce qu'on trouve quand on regarde dans le passé jusqu'à l'origine des temps. Comme la lumière voyage à une vitesse finie, un objet vu aujourd'hui est en fait tel qu'il était quand il a émis sa lumière. Donc, plus on regarde loin, plus on remonte dans le passé. On voit la Lune telle qu'elle était il y a une seconde, le soleil tel qu'il était il y a 8 minutes, la galaxie d'Andromède telle qu'elle était il y a deux millions d'années. Pourquoi ne pas regarder jusqu'au bout?

Malheureusement, cela n'est pas possible. Dans sa jeunesse, l'univers était trop chaud et dense pour que la lumière puisse se propager. Il était rempli de lumière, mais aussi d'électrons, qui bousculaient les particules de lumière et les maintenaient confinées. L'espace était opaque. Du moins jusqu'à environ 300,000 ans après le début du Big Bang.

C'est alors que les noyaux atomiques ont attrapé les électrons et mis fin à leur agitation. Tous ces photons étaient enfin libre de s'échapper. Ils s'en allèrent dans toutes les directions, comme le flash de lumière d'une bombe. La théorie du Big Bang prédit qu'on devrait voir une trace de cette lumière sous la forme d'une lumière qui semble venir de tout autour de nous. On ne peut pas voir le Big Bang se produire de plus près que cela. C'est l'horizon de l'univers observable.



L'illumination primordiale. Une explosion produit un flash brillant, n'est-ce pas? Et bien le Big Bang a produit son propre flash, dit "rayonnement cosmique de fond." Tout comme nous sommes à l'intérieur de l'univers, nous sommes à l'intérieur du Big Bang, et donc le flash est tout autour de nous. On ne peut pas le voir avec nos yeux parce que le Big Bang a eu lieu il y a tellement longtemps que le flash s'est atténué. Mais il peut encore être observé par les télescopes radio, et en fait il crée des interférences avec les satellites de communications. Le flash a eu lieu au moment où l'univers est devenu transparent, 300,000 ans après le début du Big Bang. En première approche, le flash est assez uniforme. Mais quand on l'amplifie 100,000 fois, on voit des zones claires et sombres. Ces zones représentent des concentrations de matière qui sont ensuite devenues des amas de galaxies. Image fournie par Charles L. Bennett, Centre des Vols Spatiaux Goddard.

Heureusement, cette lumière n'est pas aussi intense qu'elle l'était il y a des milliards d'années. L'expansion de l'univers a tellement allongé sa longueur d'onde que la lumière est devenu du rayonnement micro-ondes.

La découverte de ce rayonnement en 1965 fût le triomphe ultime de la théorie du Big Bang. Aucune autre théorie ne pouvait l'expliquer. Depuis 1989, le satellite COsmic Background Explorer mesure ce rayonnement et a trouvé qu'il est presque identique dans toutes les directions: il est isotrope, comme le prédit la théorie (voir diagramme p. \*).

Le satellite a bien trouvé que le rayonnement varie de quelques millièmes sur l'ensemble du ciel, ce qui signifie que l'univers avait perdu un peu de son uniformité au moment où il a libéré cette lumière. Loin de réfuter le Big Bang, ce manque d'uniformité fut une victoire pour les modèles de formation des galaxies basés sur cette théorie. Après tout, à petite échelle, l'univers n'est pas homogène. On trouve des galaxies, des planètes, des champignons. Il fallait bien qu'il arrive un moment où l'univers parfaitement uniforme se mette à former des grumeaux. Les théoriciens pensent maintenant que l'imperfection de l'uniformité du rayonnement représente les germes des structures qu'on observe aujourd'hui. Certains vont même jusqu'à dire que cela pourrait refléter les processus physiques qui ont donné lieu au Big Bang à l'origine. Un cosmologue s'exclama qu'on voyait le visage de Dieu, un fossile de la création.

A ce stade, la limite entre science et religion se fond. Ce n'est pas très surprenant, car la cosmologie tente de répondre à des questions qui sont parmi les plus fondamentales que nous puissions avoir.

On peut se servir de la science pour découvrir quand le temps a démarré, d'où nous venons, et ce que notre destin peut être. Mais nous ne pouvons cependant pas dire ce qu'il y avait avant le début des temps, où ce qu'il y a au-delà de l'univers. L'univers dans lequel nous vivons est le seul que nous puissions atteindre par l'observation, et les lois de la physique que nous connaissons ne peuvent pas être extrapolées à une date hypothétique antérieure au Big Bang. Ce sont-là des sujets philosophiques et théologiques que la science ne peut pas et n'essaie pas d'aborder.

La théorie du Big Bang dit bien que l'univers a eu un début et qu'il aura peut-être une fin. D'autres théories, comme celle de l'univers immuable, prétendaient que l'univers est éternel. Mais cela s'est avéré être en contradiction avec les observations. Il se peut qu'un jour la théorie du Big Bang soit aussi remplacée par une théorie meilleure et plus complète. Peut-être que cette théorie répondra aux questions à propos d'"au-delà" et d'"avant." Mais même si la théorie du Big Bang n'est pas la réponse définitive, c'est la seule théorie scientifique qui puisse expliquer tout ce que l'on sait sur l'univers à l'heure actuelle.

PHILIPPE BRIEU est un chercheur associé à l'Université du Michigan à Ann Arbor. Il étudie la formation des structures dans l'univers à l'aide de super-ordinateurs (un domaine connu sous le nom de cosmologie numérique). Son adresse électronique est: [philippe@astro.physics.lsa.umich.edu](mailto:philippe@astro.physics.lsa.umich.edu).

## **Le Destin de l'Univers**

Les cosmologues ne s'intéressent pas qu'au passé de l'univers. Ils peuvent aussi faire des prédictions savantes sur son avenir.

Le devenir l'univers dépend de la quantité de matière qu'il contient. C'est parce que la gravité est la force qui domine l'univers, et plus il y a de matière, plus cette force est importante. La gravité (qui attire les objets) est donc en concurrence avec l'expansion (qui les sépare).

Si la masse totale de l'univers est plus grande qu'une certaine masse, dite mass critique, la gravité l'emportera. L'expansion finira par ralentir, s'arrêtera, et fera demi-tour. L'univers se contractera jusqu'à ce qu'il atteigne un état infiniment petit et dense semblable à celui où le Big Bang a eu lieu. Ce point est appelé le Big Crunch. En théorie, le cycle d'expansion et de contraction se poursuit ainsi. Les cosmologues appellent ce destin un univers fermé.

D'un autre côté, si la masse de l'univers est inférieure ou égale à la masse critique, l'expansion aura le dessus. L'univers n'arrêtera pas de grandir. Après bien des milliards d'années, toutes les étoiles se seront éteintes, aucune nouvelle étoile ne pourra se former, et la vie telle que nous la connaissons ne sera plus en mesure de se maintenir. Les cosmologues appellent ce destin un univers ouvert, ou, si sa masse est exactement égale à la masse critique, un univers plat.

En gros, le destin de l'univers diffère peu du lancer d'une balle en l'air. Dans ce cas-là aussi, la gravité fait concurrence à une force initiale: celle du bras qui lance la balle. En général la balle monte, s'arrête, puis retombe. Cela correspond à un univers fermé: la gravité l'emporte. Mais avec suffisamment de force on

pourrait envoyer la balle dans l'espace et elle ne reviendrait jamais sur Terre. Cela correspond à un univers ouvert: la force initiale a le dessus.

Quel destin est-ce que ce sera? Comme vous pouvez vous en douter, mesurer la quantité totale de matière dans l'univers n'est pas une mince affaire. Non seulement cela demande d'additionner toutes les étoiles et galaxies qu'on peut voir, mais il faut aussi y ajouter toute la matière qu'on ne peut pas voir: la matière sombre dont la présence n'est révélée que par les forces qu'elle exerce sur la matière visible. Pour l'instant les observations semblent indiquer que l'univers est ouvert, alors que la théorie préfère un univers plat. Ceux qui pensent que l'univers se contractera vers un Big Crunch ne sont pas nombreux.



Croissance exceptionnelle. Comme un embryon humain se développant dans un ventre, l'univers était minuscule avant de grandir jusqu'à sa taille et sa complexité actuelles. Au cours de sa croissance, les différentes choses qui nous paraissent aujourd'hui acquises--l'espace et le temps, les forces physiques, les particules subatomiques, les noyaux atomiques, les atomes, les étoiles, les planètes, la vie--se formèrent l'une à la suite de l'autre. Aux tous premiers instants, le taux de croissance était beaucoup plus élevé qu'aujourd'hui. C'est pourquoi nous avons présenté cet historique avec une échelle logarithmique. A savoir, l'espacement entre chaque graduation représente un facteur de 10 milliards en distance (axe vertical) ou temps (axe horizontal). Il se peut que l'univers continue son expansion à jamais, ou il se peut qu'elle finisse par s'arrêter et que l'univers se contracte jusqu'à un Big Crunch ("Grand Effondrement"). Ce schéma est tiré en partie d'un dessin de Chris D. Impey, Observatoire Steward.

## tuyaux pour des activités en classe

Le livre d'activités "L'Univers aux Bout des Doigts" de la SAP (disponible dans le catalogue des articles éducatifs de la SAP) fournit plusieurs activités pratiques liées à la cosmologie. Dans l'activité HM-P2, les élèves fabriquent un historique de l'univers. Dans HM-P4, HM-P5, et HM-P6, ils étudient la loi de Hubble et l'expansion de l'univers. Dans DM-P9, ils étudient ce qu'est une "année-lumière." Pour d'autres idées sur l'enseignement de la cosmologie, voir "Banging Your Head on the Big Bang," Mercury, Septembre/Octobre 1996, p. 8.