

# > Dossier

Inflation, matière et én

# Trois inconnues qui bouleversent le big bang

**Deux coups de tonnerre** gigantesques dans le ciel de la cosmologie ont très récemment chamboulé notre vision de l'Univers. Avec l'apparition d'une mystérieuse énergie sombre et la confirmation de la platitude de l'Univers, toutes les théories sur son évolution sont à revoir. Aujourd'hui, l'Univers n'a plus de visage et tout est à reconstruire. Retour sur une histoire à rebondissements.

Jean-Marc Bonnet-Bidaud

**L**E big bang n'est plus ce qu'il était. Notre théorie de l'Univers s'est retournée contre ses créateurs, leur enseignant une éternelle et cruelle leçon d'humilité : la nature se révèle toujours plus complexe que les théories humaines. Fini ce big bang rassurant, resplendissant

# nergie sombres

de certitudes, issu de l'imagination débordante de cosmologistes optimistes qui croyaient pouvoir lire la création du monde, son histoire et son devenir dans le seul combat de la matière et de la gravité. Nous sommes désormais passés sous l'emprise d'un Univers sombre et inquiétant, soumis à d'étranges forces occultes qui le façonnent à notre insu... Une énergie sombre, dont la nature réelle est totalement ignorée des physiciens et

## Une guerre entre l'expansion et la matière

Dans la théorie du big bang "classique", toute l'histoire de l'Univers est contenue dans deux uniques paramètres : la constante de Hubble  $H_0$  et le facteur de décélération  $q$ . Ils résument le combat entre l'expansion qui dilate l'Univers et la matière qui, par sa gravité, tend à ralentir ce mouvement. Si la matière est présente en quantité suffisante, au-delà d'une certaine densité critique, elle

prendra toujours le pas sur l'expansion et l'Univers verra son expansion s'arrêter puis se changer en contraction vers un "big crunch". En quantité inférieure, c'est au contraire l'expansion éternelle qui prend définitivement le dessus. Entre les deux, l'Univers est dit plat et il hésite. Son expansion se ralentit progressivement mais ne s'arrêtera que dans un temps infini.

astrophysiciens, semble dorénavant avoir pris le contrôle de l'Univers. Et elle l'entraîne dans une expansion accélérée dont l'issue est hautement incertaine. L'avenir

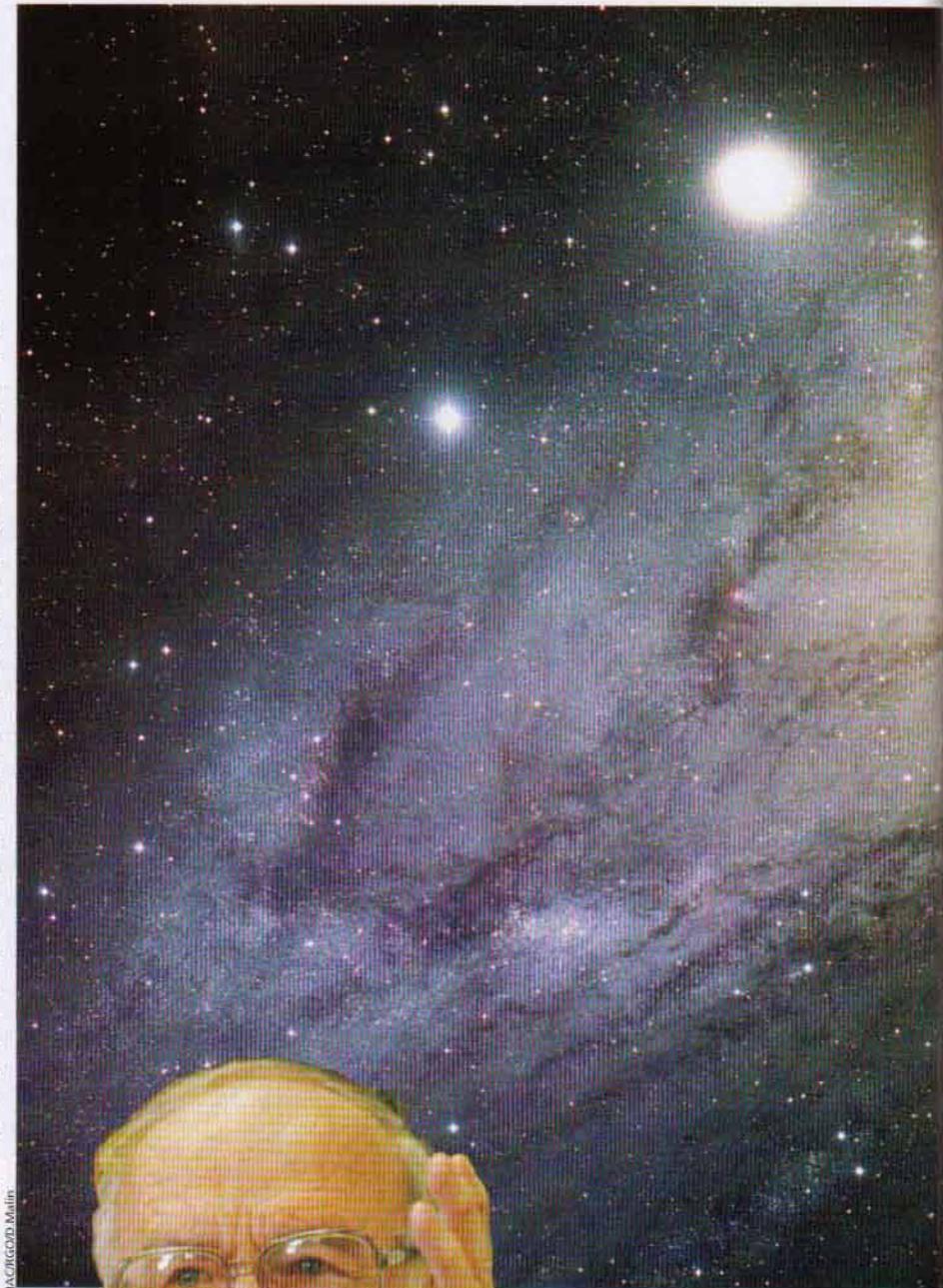
n'est plus prévisible et le passé devient brumeux. En quelques années, c'est toute la face de la cosmologie qui s'est trouvée bouleversée.

1929-1980

## L'Univers est simple et beau

Dans les années 1970, nous enseignions aux enfants la bible du big bang, reposant sur ses trois piliers de certitude. Rappelez-vous, d'abord quelques hypothèses simples et naturelles. L'Univers est identique dans toutes les directions, fait partout de la même matière que nous connaissons et qui subit les mêmes lois que celles en vigueur dans nos laboratoires. Ensuite, premier pilier, il est animé d'une expansion, découverte en 1929 par l'astronome américain Edwin Hubble, qui fait s'écarter les galaxies les unes des autres. D'autre part, deuxième pilier, il est uniformément rempli d'une mer de lumière froide, un rayonnement d'une température de  $-270^{\circ}\text{C}$ , découvert en 1964. Et si la lumière est froide, c'est parce qu'elle s'est refroidie lors de la longue expansion. Mais si l'on remonte suffisamment en arrière, l'Univers était tellement chaud et dense que les premières particules ont pu se coller les unes aux autres pour former les premiers noyaux d'atomes, les plus légers. Voilà notre troisième pilier, car la quantité de matière produite alors et la proportion des différents atomes sont justement sensiblement celles que nous observons autour de nous. Avec comme seuls ingrédients matière et gravité, tout semble concorder à merveille, la théorie du big bang vit son âge d'or.

L'Américain Alan Sandage, qui a pris la suite d'Edwin Hubble dans l'étude de l'expansion de l'Univers, trace alors la voie des derniers détails à régler. Il suffira encore de quelques années pour faire une mesure plus précise du taux d'expansion de l'Univers, la célèbre constante de Hubble, et d'une deuxième quantité, le facteur de décélération, lui aussi à portée de télescopes (voir encadré page 37). Avec ces deux quantités, on pourra définitivement graver dans le marbre la belle histoire : "Il y a



C'est en observant des étoiles dans la galaxie d'Andromède qu'Edwin Hubble a mis en évidence l'existence et la fuite des galaxies extérieures à la Voie lactée. À partir de là, il établira la réalité la théorie de l'expansion de l'Univers, qui fut affinée par son disciple Alan Sandage (ci-contre).



En décembre 1999, le télescope spatial a repéré ce gigantesque amas de galaxies (Abell 2218) à 2 milliards d'années-lumière. Il est si massif qu'il dévie la lumière des astres situés en amont. Et par un effet de lentille gravitationnelle, on peut voir les images de ces objets très lointains. Des données indispensables pour étudier la quantité de matière présente dans l'Univers.

*15 milliards d'années, débutait l'expansion, et comme la matière est en quantité visiblement insuffisante pour l'arrêter, l'Univers est et sera pour toujours en expansion infinie mais prévisible.* "Le monde est simple et beau, c'est celui de l'enfance de la cosmologie.

## 1980-1997 Matière sombre et inflation bouleversent le tableau

**Seulement voilà,** les galaxies les plus proches refusent de nous livrer une valeur décente de la constante de Hubble. Le facteur de décélération, quant à lui, semble encore plus hors d'atteinte. Quelques autres illusions vont petit à petit tomber. Tout d'abord, un premier doute s'insinue sur la matière. Le mouvement des étoiles dans les

galaxies et des galaxies dans les amas de galaxies révèle une quantité de matière bien plus importante que celle fabriquée sous forme d'atomes lors du big bang. L'inventaire initial était-il faux ? Pour sauver les apparences, il faut bien imaginer une autre matière invisible, celle-là, et de nature totalement différente de celle de nos labora-

Voici le cœur de l'amas de la Vierge, tel que l'a capturé le CFHT. Si l'expansion continue à son rythme actuel, cet amas situé à 50 millions d'années-lumière de nous sera le dernier à disparaître de l'horizon des astronomes dans 88 milliards d'années.



J.-C. Coulland/CFHT

## Faut-il croire les

C'est en étudiant un premier échantillon d'une cinquantaine de supernovae de type I (SNI), échelonnées entre 1 à 6 milliards d'années-lumière, que les chercheurs du Supernova Cosmology Project conduit par Saul Perlmutter (Berkeley) et ceux du High-Z Supernova Search Team d'Alan Riess (Institut du télescope spatial) ont mis au jour un curieux effet systématique. Les SNI les plus lointaines ont une lumière beaucoup plus affaiblie que ne laisse prévoir une simple expansion régulière. Résultat, elles semblent plus loin que prévues. La conclusion s'imposait d'elle-même : l'expansion n'est donc pas régulière mais accélérée, les SNI paraissent plus éloignées car l'Univers s'est dilaté plus vite que prévu. Seul problème, avec les lois physiques

### > Zoom

**Platitude :** courbure très faible ou nulle de l'Univers qui le fait ressembler à un plan et qui ne peut résulter que de coïncidences particulières. L'Univers plat est un équilibre instable aussi improbable que celui du couteau posé sur la pointe.

toires. La matière sombre, composée de particules exotiques, fait son entrée comme premier joker de la cosmologie. De leur côté, quelques esprits moroses continuent de pointer perfidement certaines anomalies criantes du big bang, celles de la platitude (**Zoom**) et de l'horizon (**Zoom**). Pourquoi l'Univers est-il si plat, proche

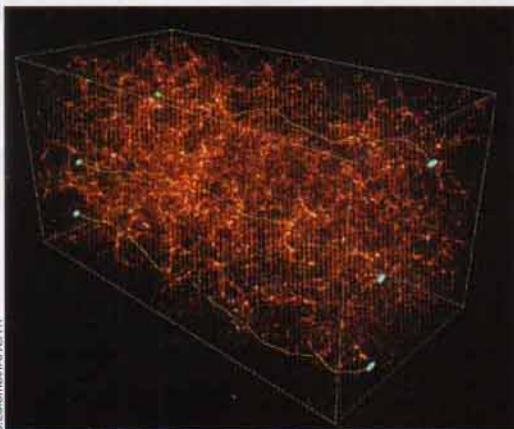
de sa densité critique, et pourquoi des régions qui n'ont jamais pu communiquer entre elles car trop éloignées sont-elles si semblables ? La proposition d'une solution viendra en 1981 d'un brillant physicien américain, Alan Guth, sous forme d'une élégante hypothèse, l'inflation. Le devenir

### > Zoom

**Horizon :** distance maximale parcourue par la lumière à partir d'un point, depuis le big bang. En raison de l'expansion rapide, deux régions trop éloignées au départ ne peuvent communiquer car leurs horizons ne se recoupent pas.

de l'Univers n'aurait pas été si calme et continu qu'il y paraît. Très tôt dans son histoire, vers  $10^{-32}$  seconde, il aurait subi une dilatation phénoménale. La cause de cette accélération originelle de l'expansion est encore bien floue, mais le résultat est convaincant. En ayant démultiplié démesurément

son volume, l'Univers aurait pris instantanément une géométrie similaire à celle d'une sphère si énorme que sa surface semble plate. D'autre part, avec cette même démesure, l'ensemble de l'Univers observable aujourd'hui, soit plus de 10 milliards d'années-lumière, serait issu avant l'inflation d'une région un milliard de fois plus petite que la taille d'une particule élémentaire comme le proton ! Rien d'étonnant alors que toutes ses parties soient si semblables. Cette idée audacieuse paraît si incroyable que la plupart des astrophysiciens préfèrent d'abord tourner le dos à ce deuxième joker,



S. Colombi/IAP/CFHT

choisissant toujours de croire à de pures coïncidences numériques aléatoires.

Mais une autre surprise attend les scientifiques en 1992 : grâce au satellite Cobe, est obtenue la première carte détaillée de la lumière froide du fond de l'Univers, émise lorsque celui-ci n'avait que 300 000 ans. À cette époque, il apparaît presque idéalement homogène... trop homogène. Contrairement à toutes les prévisions du moment, la température de point en point ne varie pas de plus de quelques dizaines de micro-degrés, une quantité bien insuffisante pour pouvoir faire naître des galaxies quelques centaines de millions d'années plus tard. On fait donc appel à la matière sombre. Elle seule, en proportion importante, peut parvenir à amplifier des micrograines de galaxies présentes dans la lumière froide. Les astronomes s'y rallient définitivement et de grands programmes de recherche sont lancés pour découvrir la nature de cette inconnue qui, à plus de 90 %, constitue désormais l'essentiel de l'Univers.

Cette simulation de la distribution de la matière sombre a été établie par les chercheurs de l'IAP, sur une distance de 1 milliard d'années-lumière (les points brillants représentent les régions où elle est la plus dense). C'est en traquant cette énigmatique matière qu'on réussira sans doute à trouver sa nature.

# bouleversent le big bang

## observations qui ont fait basculer la cosmologie ?

connues, l'expansion de l'Univers ne peut jamais être accélérée mais seulement ralentie par l'action d'attraction de la matière. Si l'on en croit les SNI, il faut donc "inventer" une nouvelle force répulsive inconnue qui emplit l'Univers

d'une énergie non détectée, baptisée pour l'instant "énergie sombre". Avant de considérer comme établie cette surprenante hypothèse, certaines précautions sont à prendre. Il faut d'abord s'assurer que la luminosité des

SNI est bien seulement fonction de leur distance. Jamais jusqu'ici les astronomes n'ont réussi à trouver de véritables "chandelles standard". Que l'on se souvienne de la découverte des quasars, d'abord considérés comme des objets de référence avant qu'on ne réalise que leurs luminosités étaient aussi disparates que les fleurs des champs. Les SNI n'échappent pas à la suspicion, bien au contraire. On ignore encore si leur origine est l'explosion d'une naine blanche ou sa fusion avec une autre étoile, et certains considèrent que leur luminosité pourrait bien évoluer avec la composition chimique de ces étoiles. Beaucoup de travaux ont également été publiés sur l'influence inévitable de l'absorption de leur lumière à travers le gaz et la poussière des galaxies.



C'est en étudiant des supernovae de type I, comme celle-ci baptisée 1998 bu de la galaxie M 96, mais beaucoup plus lointaines, que des scientifiques ont conclu que l'expansion de l'Univers s'accélérait.

M.B. Sontzeff/CTIO

cisement "plat". Supernovae et granulations de la lumière froide attestent ainsi d'un rapport des forces dans l'Univers totalement différent de ce que l'on croyait il y a trois ans à peine. Aujourd'hui, l'énergie sombre a définitivement pris la place de la matière sombre. À elle seule, elle contribue à environ 70 % de l'énergie de l'Univers contre maintenant 25 % pour la matière sombre et seulement 5 % pour la matière ordinaire. Ce ne sont finalement ni la matière connue ni des lois connues qui régissent le monde, mais des particules inconnues dans un état exotique, jointes à une force déroutante, non encore répertoriée. Toute l'évolution du monde doit être revue en conséquence. La matière qui constitue tout ce que nous avons sous les yeux, dans nos laboratoires et dans tout l'Univers, du plus petit atome aux plus grandes galaxies, devient aujourd'hui négligeable. Elle n'existerait pas que bien peu de chose serait changé dans l'histoire de l'Univers. Encore un sacré coup pour notre orgueil humain.

1998-2000

## L'énergie sombre entre en piste

Le dernier virage de la cosmologie est beaucoup plus raide et radical. Il a lieu en décembre 1998 dans un salon d'un grand hôtel parisien, lors d'une réunion enfiévrée du Symposium Texas. Deux groupes différents de chercheurs dévoilent des résultats spectaculaires et concordants. Afin de mesurer la décélération de l'expansion projetée par Sandage, les deux équipes ont utilisé des explosions d'étoiles particulières, les

supernovae de type I (Zoom), dont ils pensent pouvoir déterminer à la fois la distance et la luminosité et, pour la première fois, jusqu'à des distances de plusieurs milliards d'années-lumière. Or, au lieu de montrer la décélération prévue, due à la seule action de la matière, ces supernovae indiquent le contraire : l'Univers est en expansion accélérée (lire ci-dessus). Ce premier résultat, qui doit bien sûr être soigneusement confirmé, a une conséquence inéluctable. Il est la preuve indirecte mais irréfutable de la présence d'une énergie supplémentaire dans le cosmos. Baptisée "énergie sombre", elle est la seule capable de vaincre le frein qu'exerce l'attraction de la matière. Voici donc notre troisième joker.

Enfin, le point d'orgue de la révolution cosmologique est venu des toutes dernières cartes, beaucoup plus précises, sur les inhomogénéités de la lumière froide, publiées en avril 2000 et en mai 2002. Elles semblent confirmer que l'Univers est très pré-

### > Zoom

Les supernovae de type I (SNI) sont considérées comme des "chandelles standard", des objets dont la luminosité est identique. L'affaiblissement de leur éclat apparent, dû à leur éloignement, permet d'estimer leurs distances.



## L'expansion de l'Univers

L'histoire de l'Univers pourrait être résumée par ce schéma. Un big bang immédiatement suivi par l'inflation, qui cède très vite la place à une expansion ralentie puis accélérée lorsque l'énergie sombre prend le pas sur la matière. Le problème est que cette vision repose sur 95 % d'inconnu.

2001

## L'Univers n'a plus de visage

**Expansion, matière** et énergie sombres forment donc la nouvelle trinité qui régit l'Univers. Sans énergie sombre, l'expansion est lentement ralentie par l'attraction exercée par la matière (visible et sombre). Et si cette dernière existait en quantité suffisante (au-delà de la fameuse densité critique), elle arrêterait l'expansion. L'action de l'énergie sombre est totalement différente. Elle équivaut à une force répulsive, une antigravité qui va donc à l'encontre de l'effet de la matière. Elle apparaît dans les équations sous la forme de la fameuse constante cosmologique, qui crée une accélération constante. À la différence de la matière qui se dilue progressivement avec l'expansion, son effet est d'autant plus grand que le volume de l'Univers est grand. Elle crée donc un effet analogue à celui d'un ballon gonflé avec un souffle de plus en plus élevé au fur et à mesure qu'il se dilate.

Au début, lorsque le volume était faible, son action était totalement négligeable. C'est l'attraction de la matière qui dominait et freinait progressivement l'expansion.

Mais au fur et à mesure que le volume augmente, l'énergie sombre devient prépondérante. Son action répulsive a d'ores et déjà dépassé l'attraction de la matière. Désormais, à cause d'elle, l'Univers accélère son expansion rapidement et pour toujours. Depuis quand s'est produite cette prise de pouvoir et quelle est sa conséquence ? Si on en croit les résultats des supernovae, l'accélération pourrait avoir débuté il y a environ 4 à 5 milliards d'années, ce qui correspond à un décalage vers le rouge d'environ 0,7.

Cette fuite en avant va avoir des conséquences spectaculaires. Bien sûr, il n'est plus question de big crunch, mais au contraire d'un désert programmé. L'accélération est tellement puissante que l'expansion rapide de l'espace va nous couper progressivement du reste de l'Univers. Les distances vont devenir si grandes que la lumière ne pourra simplement plus nous parvenir des autres galaxies qui vont sortir peu à peu de notre "horizon cosmologique". Il y a quelques mois, les astrophysiciens américains Kentaro Nagamine et Abraham Loeb ont ainsi calculé que tous les amas de galaxies auront disparu de l'horizon dans environ 80 milliards

d'années. L'amas de la Vierge, qui est situé aujourd'hui à environ 50 millions d'années-lumière, sera le dernier à disparaître du ciel dans 88 milliards d'années. Les images de ces astres vont d'abord se figer, puis devenir de plus en plus faibles avant de s'évanouir. Seuls les objets du Groupe local qui accompagnent notre Voie lactée pourront résister à ce déchirement de l'espace. Les galaxies comme Andromède sont suffisamment massives et proches pour que la gravité résiste encore localement mais le prix à payer sera probablement sa fusion avec notre monde. Il sera alors impossible pour les astronomes de l'époque de connaître autre chose dans le cosmos !

Autre conséquence : l'énergie sombre augmente l'âge de l'Univers. Il faut en effet plus de temps pour remonter au début de l'expansion puisque l'Univers est plus dilaté qu'on ne le pensait. Pour la valeur actuellement acceptée de la constante de Hubble ( $H_0 = 70$ ) et un Univers plat, il aurait donc 13,5 milliards d'années — une valeur un peu plus confortable au vu des plus vieilles étoiles connues — au lieu de 11,3 milliards d'années si l'on tenait compte seulement de la matière sombre. Enfin, l'énergie sombre fait revivre les vieux démons de la platitude. Comment expliquer qu'un équilibre si délicat entre cette énergie nouvelle et la matière conspire à garder l'Univers plat ? Le problème est démultiplié car si elle est associée à l'énergie du vide, comme le proposent les physiciens des particules, sa

## bouleversent le big bang

valeur initiale doit être de  $10^{55}$  à  $10^{122}$  fois plus élevée que sa valeur actuelle ! Un ajustement d'une précision diabolique, bien supérieure à celle d'un archer qui, tirant une flèche d'un bout de l'Univers à l'autre, atteindrait sa cible avec un écart inférieur à la taille d'une particule élémentaire !

Avec l'apparition de la matière sombre, de l'inflation et de l'énergie sombre, avon-nous fait des progrès vers la connaissance ou au contraire vers l'ignorance ? Car sur ces trois jokers, nous ignorons tout et le tableau accuse donc un lourd déficit, même si mathématiquement les équations encaissent le choc. Il n'existe encore aucune trace directe de la matière sombre (voir *C&E* n° 384). La nouvelle énergie sombre est encore plus opaque avec, pour seule piste actuelle, une lointaine parenté avec l'énergie du vide. Quant à l'inflation, il n'existe que peu d'espoir de pouvoir vérifier dans un avenir proche s'il s'agit d'une intuition géniale ou d'un piège fatal.

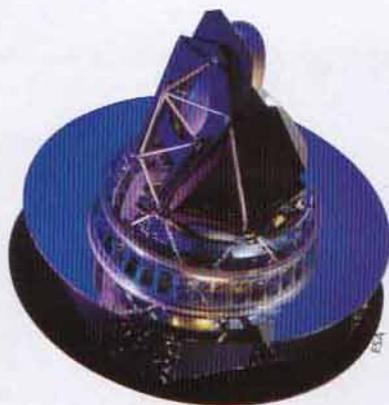
La cosmologie moderne réussit donc ce tour de force de faire une théorie complète avec plus de 95 % d'inconnu. Comme si la météo se faisait sans la pluie et les nuages, ou la paléontologie avec une demi-vertèbre pour reconstituer un dinosaure ! Alors science ou mythologie ? Le débat bat son plein (lire encadré ci-contre).

2002-?

## Comment redessiner le portrait de l'Univers ?

**L'avenir du big bang** va se décider dans les prochaines années et, pour cela, bien des espoirs résident dans l'étude très précise de la lumière froide du fond de l'Univers et celle des supernovae de type I.

La lumière froide d'abord constituée à elle seule 99,9 % de toute la lumière existante et au moins 1 % du bruit de fond de nos téléviseurs ! C'est aussi le tout premier message direct que nous puissions avoir de l'état de l'Univers lorsque, après 300 000 ans, la lumière a réussi à se dégager de la matière et à voyager librement. Auparavant, l'Univers était donc opaque et il n'y avait aucune



Avec le satellite Planck, qui mesurera dès 2007 la lumière froide, témoin de l'enfance de l'Univers, les astrophysiciens espèrent enfin pouvoir définir certains paramètres cosmologiques.

chance d'en obtenir une information lumineuse. Pour vaincre cet horizon obscur, les astrophysiciens font aujourd'hui le pari d'étudier la texture de la première lumière dans ses moindres détails. Dans ce tapis lumineux, sont restées imprimées les traces des inhomogénéités primordiales. Tout comme des météorologues dans le désert qui pourraient étudier la hauteur et la taille des dunes pour déterminer la force du vent, il s'agit de mesurer l'amplitude et la taille d'infimes variations de température pouvant être présentes pour déterminer la force qui les a produites. Ainsi, en dressant la carte de ces défauts, on peut reconstituer l'état antérieur et voir derrière le mur de la lumière. Après les ébauches un peu trop grossières du satellite Cobe et des ballons Boomerang et Maxima, la carte tracée grâce à l'Imageur du fond cosmique (ou CBI, pour Cosmic Background Imager, un interféromètre de treize antennes placé sur un haut plateau du Nord du Chili à plus de 5 000 m d'altitude), et rendue publique en mai dernier, confirme de façon éclatante la présence de "dunes" d'une taille particulière, des régions d'environ  $1^\circ$  d'angle (deux fois le diamètre solaire), montrant des différences de température de quelque 0,07 millièmes de degré ! Pour infimes qu'elles soient, ces dunes sont d'une importance capitale car leur taille dépend bien sûr des fluctuations initiales mais également de la géométrie de l'Univers et une dimension de  $1^\circ$ , c'est justement la taille prévue si l'Univers est plat, selon la théorie de l'inflation ! L'excitation est donc montée d'un cran ces derniers mois.

D'autant que des "dunes" plus petites, d'environ  $0,3^\circ$  et  $0,1^\circ$ , sont d'ores et déjà visibles et dépendent des autres paramètres cosmologiques, comme la proportion entre

## Branle-bas de combat chez les cosmologistes

La découverte de l'accélération de l'expansion et les nouvelles cartes de la lumière froide ont créé une certaine euphorie chez les spécialistes.

Mais les avis sont loin d'être convergents. Pour preuve : lors d'une réunion tenue en octobre 1998, à Boston (USA), dans les mêmes lieux qui avaient vu s'affronter Harlow Shapley et Heber Curtis sur l'existence d'autres galaxies en 1920, une question fondamentale fut posée :

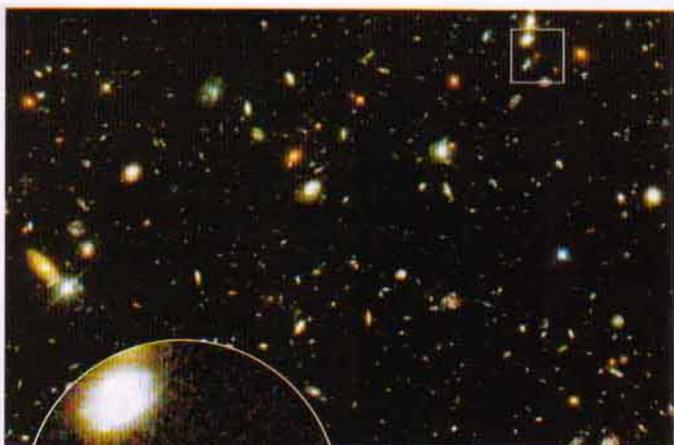
*"La cosmologie est-elle résolue ?"* Des astrophysiciens, comme James Peebles, restèrent très prudents et, reprenant les termes de Willem de Sitter, un des fondateurs de la cosmologie, ils soulignèrent qu'*"il ne devait pas être oublié que tout ce que nous disons sur l'Univers implique une extrapolation démesurée qui est une opération dangereuse"*. L'Américain Michael Turner afficha, lui, une attitude provocatrice. *"Il faudra dix ans pour vérifier les derniers ajouts à la cosmologie standard et pouvoir répondre 'oui' à la question"*, prétendit-il.

Aujourd'hui, il semble que le pari soit de plus en plus risqué. Certains, comme l'Anglais Michael Disney, commencent même à crier à l'escroquerie intellectuelle. *"La chose la plus charitable qui puisse être dite de ces affirmations est qu'elles sont naïves à l'extrême et trahissent un manque complet de compréhension de l'histoire, de l'énorme différence entre science d'observation et science expérimentale et des limitations particulières de la cosmologie en tant que discipline scientifique"*, affirme-t-il dans un article récent intitulé *"Arguments contre la cosmologie"*. L'avenir dira peut-être qui a raison.

matière et énergie sombres. Pour l'instant, le tableau semble donc assez favorable à l'énergie sombre et à l'inflation. Et pour la première fois, il est possible de tester certaines hypothèses sur l'origine des fluctuations primordiales. Plus que par des défauts de structure de l'espace-temps envisagés par certains, la texture observée semble ainsi davantage en accord avec l'hypothèse de fluctuations "quantiques", surgies de l'agitation microscopique présente avant l'inflation quand tout notre Univers était réduit à la taille d'une particule.

Toutes ces conclusions sont plus que préliminaires. Parviendra-t-on à terme à mesu-

# > Dossier Trois inconnues...



En étudiant ce champ profond de l'Univers, les chercheurs ont déniché 1997 ff, une des plus lointaines supernovae jamais observées. Grâce à ces objets, on va pouvoir vérifier la réalité de l'accélération.

rer tous les paramètres cosmologiques quand nous aurons une image parfaite de l'aube lumineuse de l'Univers ? Les espoirs sont grands avec les nouveaux résultats attendus du satellite MAP déjà mis en orbite en juin 2001 (voir C&E n° 373) et de la mission européenne Planck, prévue pour 2007.

Mais les difficultés sont nombreuses. Les plus petits détails d'une carte du fond de l'Univers, par exemple, se superposent et se mélangent aisément avec les autres sources de lumière que sont les galaxies et les amas, voire même le gaz de notre Voie lactée. D'autre part, pour prédire la structure de la première lumière, il est nécessaire d'introduire des fluctuations initiales inconnues et le nombre de paramètres cosmologiques augmente considérablement (au moins sept aujourd'hui !). En l'état actuel, on frise ce que l'on appelle le "syndrome de l'éléphant" : un nombre de paramètres tel qu'une courbe peut reproduire n'importe quelle forme, y compris celle d'un éléphant.

Les promesses de ces recherches sont donc réelles. Mais n'oublions pas la mise en garde de Fritz Zwicky, auteur de l'hypothèse de la matière sombre : "Si seulement les théoriciens savaient ce qui est derrière une mesure expérimentale et si les observateurs savaient ce qui est derrière un calcul théorique,

Aujourd'hui, les astrophysiciens cherchent à comprendre l'enfance de l'Univers et à en dessiner la forme en se penchant sur les cartes de Cobe (ci-contre), mais surtout sur celles plus précises que le Cosmic Back Ground Imager a réalisées en avril 2000 et mai 2002 (à droite).

ils se prendraient mutuellement beaucoup moins au sérieux."

En parallèle des études de ces nouvelles cartes de lumière primordiale, les chercheurs poursuivent la chasse aux supernovae de type I, celles-là même qui leur ont permis de démontrer l'accélération de l'expansion. Première étape : vérifier les résultats obtenus en 1998. Afin de lever tous les doutes, de nombreuses équipes tentent à l'heure actuelle d'augmenter l'échantillon de SNI. Second objectif, prioritaire lui aussi : étudier des supernovae encore plus lointaines pour déterminer

précisément quand a débuté la phase d'accélération. Ce test est crucial quant à l'idée même du big bang car, pour que matière et structure aient eu le temps de se créer, il est absolument nécessaire que l'expansion ait été ralentie au départ. Un big bang uniquement accéléré serait impossible car stérile. Pour l'instant, la plus lointaine des supernovae a été découverte par hasard en octobre 2001 dans le champ profond de galaxies étudié avec le télescope spatial Hubble, à une distance d'environ 7 milliards d'années-lumière. À première vue, et malgré son très faible éclat (une magnitude de 27 !), elle semble effectivement montrer qu'à l'époque où elle a explosé, l'Univers était encore freiné, bien qu'aujourd'hui sa lumière nous parvienne en pleine accélération. Mais une hirondelle ne fait pas le printemps. Seuls les très grands télescopes pourront nous confirmer dans les prochaines années si l'accélération

existe bel et bien et à quelle époque réelle a eu lieu ce renversement de l'histoire. Parallèlement à ces recherches, de grands programmes sont actuellement lancés afin d'effectuer l'inventaire de tout ce qui existe, visible ou invisible. La carte de l'Univers visible est actuellement basée sur la position de seulement 30 000 galaxies proches. Elle devrait bientôt s'enrichir de plus d'un million d'objets grâce à deux grands programmes : le Sloan Digital Sky Survey (SDSS) et le Two Degree Field Survey (2dF) en cours. Des mesures de la matière sombre à partir de microdéformations qu'elle produit sur les images de centaines de milliers de galaxies sont également en cours notamment par des équipes françaises à Hawaï, grâce à des caméras géantes comme Mégacam.

Ainsi, insensiblement, nous avons changé de monde puisqu'en l'espace de trois ans, l'Univers, lui, a changé de sens, au propre comme au figuré. Du coup, la cosmologie est sens dessus dessous, et les scientifiques cherchent les voies nouvelles qui pourraient remettre un peu d'ordre et de certitudes dans leur vision du monde. Certains ont déjà saisi l'occasion pour proposer des théories concurrentes sur des bases aussi révolutionnaires que l'idée d'une vitesse variable de la lumière ou d'un Univers cyclique. ■

