

où la somme des angles d'un triangle vaut 180 degrés). Pourquoi l'Univers est-il dans cette configuration si particulière ? Pourquoi sa géométrie ne serait-elle pas sphérique ou hyperbolique (configurations où la somme des angles d'un triangle est, respectivement, supérieure ou inférieure à 180 degrés) ?

Inflation énigmatique

Peut-être pourrions-nous espérer des réponses si nous comprenions mieux le Big Bang. Il est très difficile en particulier d'imaginer comment l'Univers des premiers instants après le Big Bang a pu donner lieu à celui que nous observons aujourd'hui – un cosmos à la température presque uniforme et dont l'espace est euclidien, c'est-à-dire de courbure nulle.

L'inflation cosmique, cette phase d'expansion rapide dans les premiers instants de l'Univers, est une approche efficace pour expliquer la structure à grande échelle de l'Univers. L'inflation aurait tendance à «aplatir» l'Univers, lissant toutes les régions incurvées de l'espace-temps ; en raison de cette expansion rapide, certaines régions de l'Univers, qui semblaient trop éloignées pour avoir été en contact, ont pu l'être, ce qui explique l'homogénéité de température du fond diffus cosmologique. Et, telle une loupe cosmique, l'inflation a amplifié les minuscules fluctuations quantiques de densité jusqu'à des tailles cosmiques. Ces fluctuations sont devenues les germes à partir desquels des structures telles que les galaxies et les étoiles ont émergé.

On considère généralement l'inflation comme un paradigme très fructueux. Mais

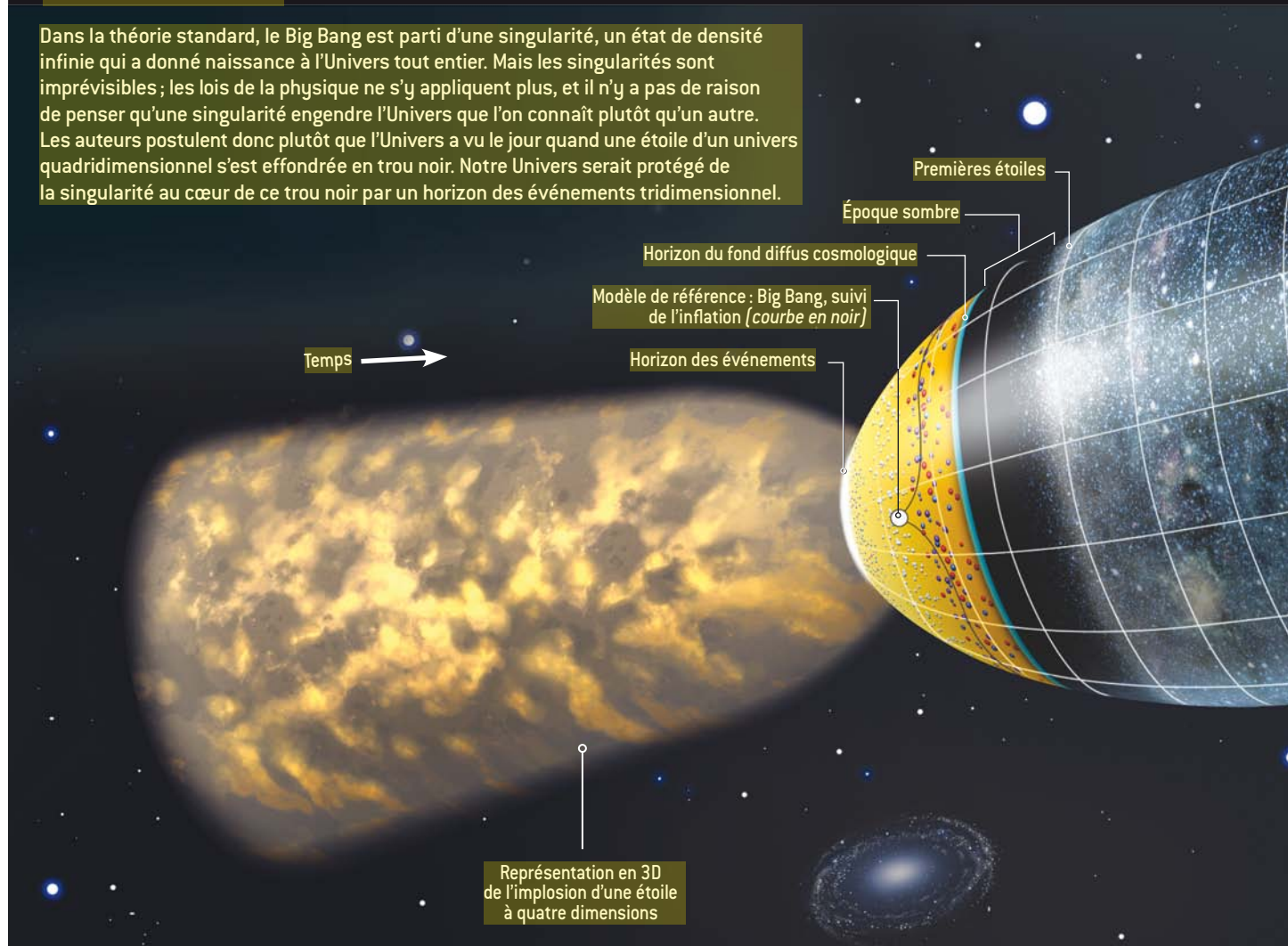
comment l'inflation s'est-elle déclenchée ? Beaucoup d'énergie était nécessaire. Selon le modèle standard, l'Univers primordial aurait pu contenir cette énergie sous la forme d'inflatons, des particules hypothétiques. Mais l'inflaton ne résout pas pour autant nos problèmes ; il les repousse juste d'un cran.

Il nous manque aussi une description satisfaisante de l'histoire de notre cosmos avant l'époque inflationnaire, ces premiers 10^{-36} seconde après le Big Bang. Ici, les phénomènes quantiques deviennent si importants que les équations de la relativité générale ne sont plus appropriées. Une théorie quantique de la gravitation est requise, et elle manque encore.

Le plus grand défi de la cosmologie est de comprendre le Big Bang lui-même, l'émergence subite et violente de l'espace, du temps et de toute la matière à partir

AVANT LE BIG BANG

Dans la théorie standard, le Big Bang est parti d'une singularité, un état de densité infinie qui a donné naissance à l'Univers tout entier. Mais les singularités sont imprévisibles ; les lois de la physique ne s'y appliquent plus, et il n'y a pas de raison de penser qu'une singularité engendre l'Univers que l'on connaît plutôt qu'un autre. Les auteurs postulent donc plutôt que l'Univers a vu le jour quand une étoile d'un univers quadridimensionnel s'est effondrée en trou noir. Notre Univers serait protégé de la singularité au cœur de ce trou noir par un horizon des événements tridimensionnel.



d'un état infiniment dense que l'on nomme une singularité. En présence d'une singularité, toutes les lois de la physique deviennent caduques. Nous n'avons pas les outils pour décrire ce qui s'y passe et nous n'avons aucune raison de penser qu'une singularité engendrerait un univers ordonné comme celui que nous voyons. On s'attendrait plutôt à l'émergence d'un univers extrêmement chaotique, dont le fond diffus cosmologique serait marqué par d'énormes fluctuations de température d'un point à un autre. L'inflation serait-elle suffisante pour lisser les fluctuations? De surcroît, si ces fluctuations sont trop grandes, l'inflation pourrait-elle s'amorcer? Les problèmes d'une singularité ne peuvent pas être résolus par la seule inflation.

Les singularités sont étranges, mais elles ne nous sont pas tout à fait incon-

Au niveau d'une singularité, les lois de la physique sont caduques. Nous n'avons pas les outils mathématiques pour décrire ce qui s'y passe.

nues. En effet, il s'en forme également au centre des trous noirs, ces vestiges d'étoiles géantes effondrées. Toutes les étoiles sont des fournaies nucléaires où fusionnent les éléments légers (principalement de l'hydrogène). Ce processus de fusion nucléaire alimente une étoile pendant la majeure partie de son existence et s'oppose à l'effondrement gravitationnel. Cependant, vers la fin de sa vie, l'astre a épuisé tout son combustible nucléaire et la gravité prend le dessus. Une étoile au moins dix fois plus massive que le Soleil s'effondre sur elle-même avant d'exploser en supernova. Si l'étoile est encore plus grosse (plus de 15 masses solaires), la supernova laisse derrière elle un cœur dense qui connaît un effondrement que rien n'arrête, se contractant jusqu'à un point de taille nulle: une singularité qui forme un trou noir.

La singularité du trou noir est cachée par une surface bidimensionnelle que l'on nomme l'horizon des événements. Ce dernier marque une limite de non-retour: toute matière qui franchit cette frontière ne peut plus s'échapper du trou noir, car il lui faudrait une vitesse supérieure à celle de la lumière. La matière est alors inexorablement attirée vers la singularité. L'intérieur de l'horizon des événements est coupé du reste de l'Univers.

Un horizon pour le Big Bang

Comme avec la singularité du Big Bang, les lois de la physique ne s'appliquent plus à la singularité du trou noir. Mais contrairement au Big Bang, un trou noir est entouré d'un horizon des événements. Cette surface se comporte comme une protection: elle empêche toute information concernant la singularité de fuir. L'horizon des événements du trou noir protège les observateurs extérieurs des effets catastrophiquement imprévisibles de la singularité (on parle de censure cosmique).

Enveloppée par un horizon des événements, la singularité ne perturbe pas les lois de la physique qui décrivent et prédisent tout ce que nous observons. Vu de loin, un trou noir est une structure très simple, lisse et uniforme, définie par sa masse, son moment cinétique et sa charge électrique. Les physiciens disent de façon imagée que «le trou noir n'a pas de cheveux»: il n'a aucun signe distinctif en dehors des trois grandeurs citées.



Notre Univers tridimensionnel correspond ici à l'enveloppe bidimensionnelle de la figure.

George Riebeck