

Le vide n'est donc pas le néant, il est potentiellement bourré d'énergie

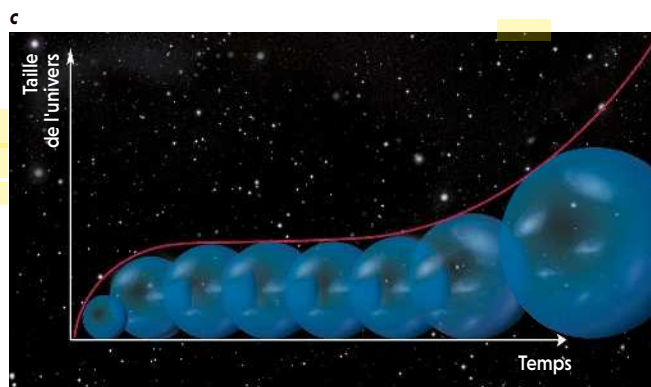
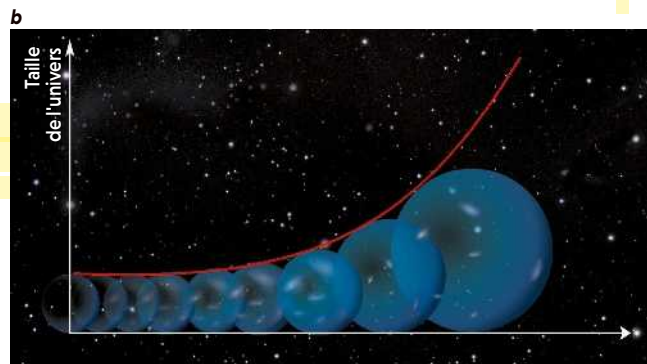
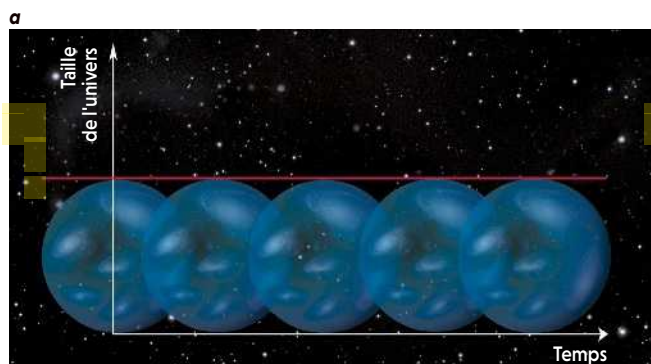
Forts de ces acquis théoriques, les cosmologistes Alan Guth et Andrei Linde proposent en 1979 que l'énergie du vide a provoqué une phase d'«inflation» dans l'Univers très primordial: sur un très court laps de temps compris entre 10^{-36} et 10^{-34} seconde après le Big Bang, notre Univers aurait subi une croissance exponentielle, son expansion s'étant fortement accélérée sur cette période.

Les modèles d'inflation sont assez vite acceptés, mais les astronomes continuent à ignorer la constante cosmologique, considérée comme inadéquate pour décrire l'Univers actuel. Seul le cosmologiste d'origine

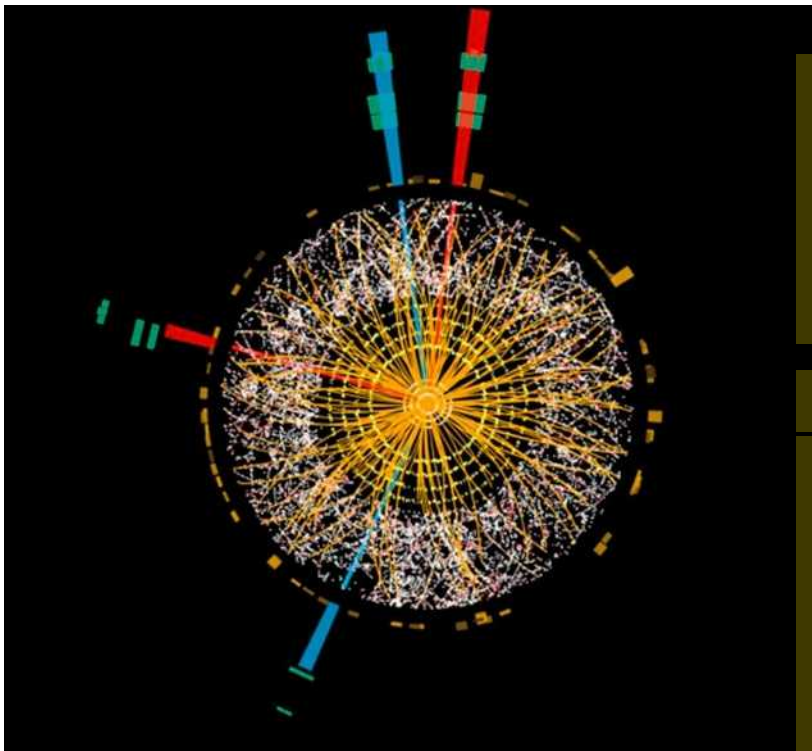
canadienne James Peebles, récompensé en 2019 par le prix Nobel, propose au début des années 1980 la réintroduction de la constante cosmologique dans les modèles de Big Bang. Le développement de la théorie de l'inflation implique en effet que la géométrie de l'espace observable doive être très proche d'une géométrie de courbure nulle. Or, il n'y a pas assez de matière dans l'Univers pour aboutir à une telle géométrie. Peebles invoque donc une valeur élevée de la constante cosmologique pour combler le déficit.

LES MAUVAIS CALCULS DE L'ÉNERGIE DU VIDE

Les physiciens qui travaillent sur le concept d'énergie du vide ont en vue un projet plus grandiose: l'unification des interactions fondamentales. Dans ce dessein, ils sont obligés d'ajouter des termes dans leurs équations, qui représentent des champs naturels entièrement nouveaux. Le concept de champ a été inventé au XIX^e siècle par les mathématiciens pour exprimer comment une quantité donnée peut varier d'un point à l'autre de l'espace. Les physiciens ont aussitôt adopté cette idée pour décrire quantitativement comment des forces, comme la gravité et l'électromagnétisme, changent en fonction de l'éloignement par rapport à une source. Par exemple le champ de Higgs, dont le boson médiateur (*voir la figure page suivante*) a été mis expérimentalement en évidence au Cern en 2012, découle de la théorie électrofaible ➤



Dans le modèle d'Univers statique (a) conçu par Albert Einstein, l'introduction d'une constante cosmologique contrebalance la tendance à l'effondrement dû à la gravité. Georges Lemaître élabore d'autres modèles, dynamiques. Dans celui de 1927, dit «de l'Univers en expansion éternelle» (b), la constante cosmologique engendre une force répulsive qui accélère l'expansion. Le commencement est repoussé à l'infini vers le passé où il se raccorde au modèle statique d'Einstein. Dans le modèle de l'Univers hésitant (c), datant de 1931, l'Univers à un début, le Big Bang, puis connaît une phase où son expansion est ralentie par la gravitation. Après une phase de quasi-équilibre, la constante cosmologique prend le dessus: l'expansion s'accélère.



➤ introduite par Sheldon Glashow, Abdus Salam et Steven Weinberg pour unifier les interactions électromagnétique et nucléaire faible.

Mais il y a un prix à payer pour l'introduction de nouveaux champs quantiques : ils confèrent à l'état de vide une énorme énergie latente, qui se comporte exactement comme la constante λ des modèles cosmologiques. Comme l'avait prophétisé Lemaître, voici donc ce terme si controversé brillamment ressuscité par la théorie quantique ! Il ne reste plus qu'à calculer sa valeur dans le cadre du modèle standard de la physique des particules. Et là, catastrophe ! Plusieurs manières de calculer sont possibles, mais la valeur obtenue dans la plupart des cas est 10^{122} fois supérieure à celle prescrite par l'observation astronomique, un écart si faramineux, qualifié de « pire prédiction de toute la physique », que notre esprit a des difficultés à le saisir. Avec une énergie du vide aussi grande, toute la matière de l'Univers serait instantanément dispersée, et les galaxies ne se seraient jamais formées.

On conçoit qu'il soit déplaisant, aux yeux des physiciens théoriciens, que leurs meilleurs modèles d'unification, censés faire des prédictions ultra-précises dans le domaine des particules élémentaires, conduisent à une conséquence cosmologique aussi aberrante. C'est un exemple extrême du problème de base qui affecte le modèle standard de la physique des particules : on ne comprend pas pourquoi les quelque trente paramètres libres dont il dépend pour écrire les lois de la physique ont telle ou telle valeur.

Le boson de Higgs a été découvert en 2012 au Cern par le détecteur Atlas. Il est ici trahi par sa désintégration en quatre particules (les faisceaux bleus et rouges). Il est le médiateur d'un champ quantique (le champ de Higgs) qui contraint la valeur de l'énergie du vide, possible cause de l'expansion accélérée de l'Univers.

Pour la constante cosmologique, les physiciens ont donc tout tenté pour réduire l'écart en inventant des théories « au-delà du modèle standard ». La plus étudiée est la supersymétrie (Susy), ainsi nommée car elle suppose une symétrie entre les fermions (particules qui constituent la matière) et les bosons (qui véhiculent les interactions). Mais rien à faire, elle échoue complètement à résoudre le problème.

UNE CONSTANTE QUI NE L'EST PAS

Pour sauver la mise, les physiciens des hautes énergies ont alors imaginé que la constante cosmologique n'était peut-être pas vraiment constante. Par exemple, Robert Caldwell et ses collaborateurs ont proposé en 1998 l'existence d'une nouvelle entité qui imbiberait complètement l'espace, un peu comme le faisait l'éther chez Aristote, un cinquième élément nommé « quintessence ». Le terme a été repris par les chercheurs pour l'appliquer à ce nouveau champ d'énergie hypothétique. Celui-ci, auquel on attribue une variation excessivement lente, peut encore être représenté dans les modèles d'Univers à l'aide du terme cosmologique, lequel cesse alors d'être défini comme une constante. Il peut toujours s'interpréter comme ce qui reste dans l'Univers lorsqu'on en retire toute la matière et tout le rayonnement. En ce sens, la quintessence correspond à une certaine forme de vide, mais plus flexible que la constante cosmologique car variable au cours du temps. La valeur de ce champ, extrêmement élevée dans l'Univers très primordial (donc en accord avec les calculs des physiciens des hautes énergies), tomberait très bas au cours de l'évolution cosmique, conformément à la valeur aujourd'hui mesurée par les astronomes.

Une autre approche est celle de la théorie des cordes, extension de la supersymétrie destinée à inclure une description de la gravité. L'une de ses propositions les plus étonnantes concerne les multivers. Ses partisans les plus fervents (et médiatisés) comme Leonard Susskind, Brian Greene ou Max Tegmark espèrent convertir un échec explicatif en un tour de passe-passe extravagant : si l'on ne comprend pas les valeurs que prennent les constantes fondamentales dans notre Univers, il suffit de présumer que notre Univers appartient à un ensemble quasi infini et inobservable d'Univers, chacun d'eux étant muni de paramètres aléatoirement distribués. Dans le « paysage » du multivers, la constante cosmologique est extraordinairement grande dans la plupart des cas, mais il y a forcément un Univers très improbable où elle est strictement nulle, un autre tout aussi improbable où elle a la « bonne valeur » – celle de notre Univers, bien entendu.