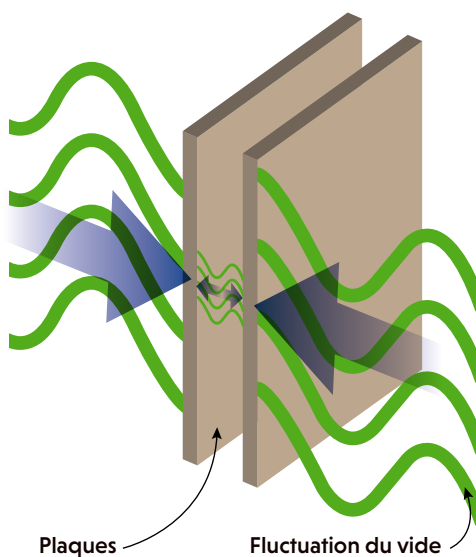




Deux surfaces parfaitement conductrices séparées par du vide s'attirent. Cet « effet Casimir » résulte des fluctuations quantiques spontanées du champ électromagnétique dans le vide.

➤ 1 milliard d'années après le Big Bang. Enfin, l'énergie contenue dans l'Univers n'est définie qu'à une constante additive près, car la relativité générale ne fournit pas de méthode d'ajustement lors d'un changement arbitraire du niveau zéro de l'énergie. Selon Lemaître, la constante cosmologique permet de faire cet ajustement. Dès 1934 il entrevoit ainsi le lien entre la constante cosmologique et la mécanique quantique.

Aux yeux de Lemaître, la constante cosmologique est donc parée de toutes les vertus. Il ne parviendra pourtant jamais à convaincre Einstein, lequel ira jusqu'à dire qu'avec l'introduction de la constante cosmologique il avait commis la plus grosse bétise de sa vie.

On interprète souvent cette curieuse déclaration par le fait que le père de la relativité générale aurait été mécontent d'avoir gâché la beauté de sa théorie en introduisant un terme superflu. C'est faux, car dès 1916 Einstein avait envisagé l'existence de ce terme hors du contexte cosmologique. Dans une note de bas de page, il remarquait que ses équations du champ gravitationnel n'étaient pas les plus générales possible et qu'il existait un terme additionnel compatible avec la structure de sa théorie. Par ailleurs, le mathématicien français Élie Cartan a démontré en 1922 que la forme la plus générale des équations de la relativité générale doit nécessairement comprendre une constante d'intégration identique à la constante cosmologique, et Einstein connaissait ce résultat. Non, la vraie bétise commise par Einstein a été de donner au terme cosmologique une valeur très particulière pour forcer son modèle d'Univers à demeurer statique. Ce faisant, il est passé à côté de la découverte capitale de la cosmologie du xx^e siècle : l'expansion de l'Univers. Einstein en était parfaitement conscient, et l'on peut interpréter sa surprenante décision

d'abandonner toute recherche en cosmologie à partir de 1933 comme la conséquence d'une blessure d'amour-propre !

Toujours est-il que le désaveu du père de la relativité pèsera de tout son poids, et le reste de la communauté des cosmologistes le suivra : malgré les puissants arguments de Lemaître en sa faveur, la constante cosmologique va rester au placard pendant soixante ans, d'autant qu'avant 1998 aucune observation astronomique directe n'est venue appuyer son existence.

LES VERTUS DE L'ÉNERGIE DU VIDE

L'idée de constante cosmologique a aussi pâti de son interprétation en termes d'énergie du vide. En 1934, à une époque où la théorie quantique est encore balbutiante, Lemaître est le premier à prendre en compte l'énergie du vide et à lui associer une pression négative pour interpréter la constante cosmologique. Mais sa contribution va rester complètement ignorée.

Il faut attendre la fin des années 1940, époque où la majorité des astronomes rejette l'idée d'une constante cosmologique, pour que des physiciens théoriciens commencent à explorer les propriétés du vide. Ils commencent à comprendre que la notion d'espace vide est plus subtile qu'ils ne le pensaient. L'espace n'est pas un réceptacle passif empli de matière et de rayonnement, c'est une entité physique et dynamique qui a une « chair ». Et cette chair, c'est l'énergie du vide. Des physiciens comme Paul Dirac, Enrico Fermi et Richard Feynman font l'hypothèse que ce que nous appelons « espace vide » est, en vertu du principe de Heisenberg, empli de « particules virtuelles », ne se manifestant en tant que réalité matérielle que de façon éphémère. Le vide quantique joue le rôle d'une banque auprès de laquelle on peut emprunter de l'énergie pour créer pendant un temps très court une particule et une antiparticule (de telle sorte qu'elles sont inobservables). La quantité d'énergie que l'on peut emprunter est inversement proportionnelle à la durée de l'emprunt.

Les fluctuations quantiques du vide électromagnétique ont même des manifestations macroscopiques, prévues en 1948 par le physicien néerlandais Hendrik Casimir, qui montra qu'elles induisaient une force d'attraction entre deux plaques conductrices parallèles (voir la figure ci-contre).

Le vide n'est donc pas le néant, il est potentiellement bourré d'énergie. Appliquant ce concept à la cosmologie, le Russe Iakov Zeldovitch redémontre en 1967, sans jamais avoir lu Lemaître, que le terme Λ équivaut à un champ d'énergie latent dans l'espace vide. La constante cosmologique est en quelque sorte une « dynamite » du vide.

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

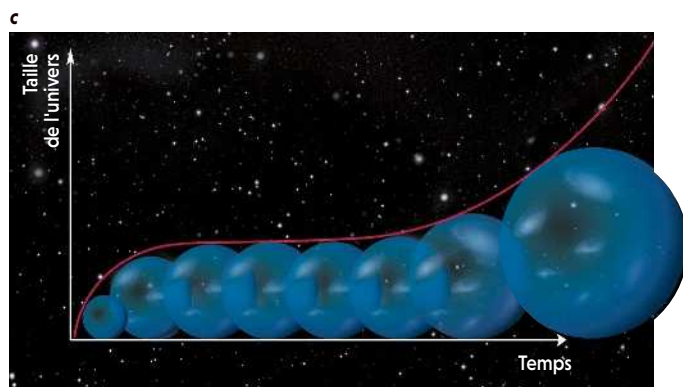
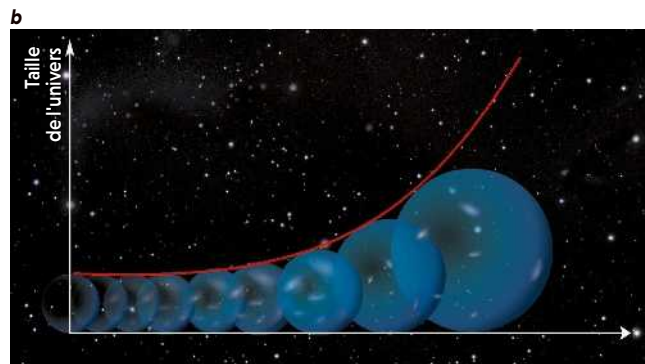
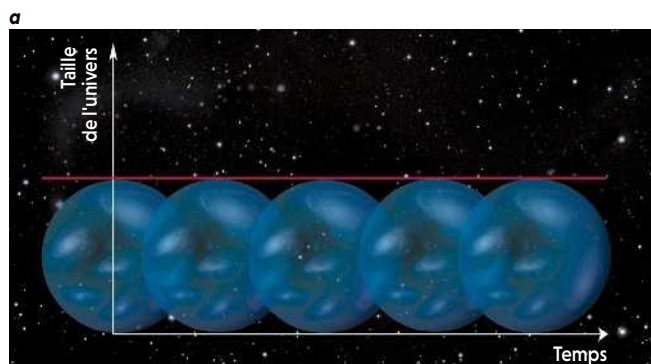
Forts de ces acquis théoriques, les cosmologistes Alan Guth et Andrei Linde proposent en 1979 que l'énergie du vide a provoqué une phase d'«inflation» dans l'Univers très primordial: sur un très court laps de temps compris entre 10^{-36} et 10^{-34} seconde après le Big Bang, notre Univers aurait subi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