



ROYAUME DU MAROC  
ACADÉMIE HASSAN II DES SCIENCES ET TECHNIQUES

## L'UNIVERS A-T-IL CONNU UN INSTANT ZERO ?

Conférence par Étienne KLEIN :

*Physicien, Directeur de recherche au CEA  
et Docteur en philosophie des sciences.  
Professeur à l'Ecole Centrale de Paris*

Rabat – Lundi 18 mai 2015





**Sa Majesté le Roi Mohammed VI - que Dieu Le garde -  
Protecteur de l'Académie Hassan II  
des Sciences et Techniques**

*Dans le cadre du cycle de conférences organisées par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, et à l'occasion de **l'anniversaire de son installation par Sa Majesté le Roi Mohammed VI -que Dieu Le garde-***

*le Professeur Etienne KLEIN a donné le 18 Mai 2015 à l'Académie  
une conférence intitulée :*

**«L'univers a-t-il connu un instant zéro?»**

**Monsieur le Secrétaire Perpétuel,  
Monsieur le Chancelier,  
Mesdames et messieurs les académiciens,  
Chers étudiants, je vois qu'il y en a,  
Chers professeurs,  
Honorables invités,**

*Je suis très heureux et très honoré d'être parmi vous. Je vous remercie pour cette invitation qui me fait très plaisir, d'autant plus que j'ai une affection très particulière pour le Maroc que j'ai fréquenté, d'abord, pour faire de la montagne dans l'Atlas que je connais maintenant un peu mieux par ses grandes villes : Marrakech, Casablanca.*

*Et j'ai appris il y a très peu de temps que j'aurais l'occasion d'y revenir tous les ans en mois de janvier, ce qui pour un parisien est une période plutôt agréable quand il vient au Maroc pour dispenser des cours à l'école centrale de Casablanca qui forme des étudiants marocains de la même façon que nous formons des étudiants à l'école centrale de Paris.*

Alors, cela étant dit, dans la présentation je m'intéresse à la physique, j'en ai fait pendant beaucoup d'années. Mais je m'intéresse aussi à ce qu'on appelle la philosophie des sciences, qui est une discipline assez peu connue mais qui consiste en fait à tenter d'imaginer ce que diraient les équations de la physique si elles pouvaient parler. Evidemment, elles ne parlent pas. C'est un exercice presque de fiction, mais vous voyez si vous prenez la question du temps qui a été évoquée tout à l'heure, la question du temps c'est une question qui est certes très intéressante mais qui est pleine de pièges. Parce que par exemple, on peut dire que le temps c'est une chose dont on a une certaine connaissance empirique. On peut avoir des idées à priori sur ce qui est le temps! Par ailleurs le mot «temps» il est présent dans le langage courant. Il y a toutes sortes d'expressions qui le contiennent, et donc, on pourrait prendre conscience dans ce que dit le langage pour le penser. Et en fait, à l'examen, on s'aperçoit que ce n'est pas si simple parce que le sens que nous donnons au mot temps dépend du flux verbal dans lequel on l'a inséré. C'est-à-dire, il dépend de la phrase dans laquelle on l'a mis. C'est une remarque qu'avait faite Paul Valéry et bien avant lui Saint Augustin.

Nous comprenons les phrases qui contiennent le mot «temps» et en fait, quand nous sortons le mot «temps» tout seul de la phrase dans laquelle il est inséré, il devient une énigme, un problème, peut-être même un mystère. On se demande quelle est cette chose que nous appelons le «temps»? Penser en lui-même, à partir du moment où nous ne sommes plus aidés dans le contexte verbal dans lequel nous l'avons inséré pour lui trouver un sens. Cette question du langage, notre façon de dire le «temps» devient suspecte d'autant plus notre façon de dire le «temps» détermine en partie notre façon de le penser. Et si nous le disons mal, il y a des risques que nous le pensions mal. Et le problème est d'autant plus grave que, comme vous le savez, je pense que ça existe dans les langues, autres que le français, mais, en tout cas, en français, le mot «temps» est victime de ce qu'on pourrait appeler une polysémie fulgurante, au sens où c'est un mot qui sert à dire beaucoup d'autres choses que lui-même.

Le «temps» sert à dire la succession, la simultanéité, le devenir, le changement, l'évolution, etc. Ce qui fait beaucoup trop pour un seul mot. Il y a un piège qui est donc de trop faire confiance au langage, ou bien de trop faire confiance aux à priori dans lesquels nous sommes tentés d'insérer ce qu'il faut penser du temps. Et puis, un autre piège pour les scientifiques que nous sommes, c'est, au contraire, de trop faire confiance aux équations, et de dire, par exemple, le temps c'est le paramètre «t» qu'on trouve dans les équations à commencer par celle de Newton.

Une fois que le temps était mathématisé, alors tous les problèmes philosophiques qui se posent autour du temps sont réglés par le fait qu'il a été transformé en une variable mathématique qui est clairement définie. Une fois que cette mathématisation était faite, les problèmes que nous nous posons autour du temps vont s'évaporer. Ça c'est évidemment une illusion puisque le fait d'avoir représenté le temps par une variable, certes, répond à sa question mais en pose d'autres. Le travail d'un philosophe des sciences, s'agissant de la question du temps, c'est d'essayer de se situer entre ces deux pièges pour trouver un endroit où l'on puisse les éviter tous les deux. Par exemple, si vous dites le temps c'est «t», ça veut dire que c'est un paramètre à une dimension que vous pouvez représenter par une courbe dont on ne sait pas trop bien dans quel espace elle va être tracée. Et la question se pose de savoir si cette courbe est une courbe infinie. Si vous la représentez par une droite, par exemple, est-ce vraiment une droite? Ou est-ce que c'est simplement une demi-droite avec une origine? Ou bien ce n'est pas simplement un segment de droite avec une origine puis une fin?

Avec le fait de dire le temps c'est «t» ne répond pas à cette question. Et donc, il y a un petit travail à faire qui m'a beaucoup intéressé et qui permet d'isoler ce qu'un philosophe français qui s'appelle Jacques Merleau-Ponty appelait «des découvertes philosophiques négatives faites par la physique». La physique ce n'est pas de la philosophie. La physique produit les résultats, qui peuvent être des résultats théoriques ou bien expérimentaux qui, s'ils sont pris vraiment au sérieux, et s'ils sont pensés à la juste hauteur, vont éclairer, peut être même, contraindre les réponses philosophiques qu'on peut apporter à une question philosophique.

Il y a des situations où un résultat de physique vient modifier certaines habitudes de penser. Et c'est en cela que la physique est aussi précieuse. Elle est précieuse, évidemment par ses applications concrètes, mais aussi par le fait qu'elle produit, de temps en temps, des chocs pour la pensée. S'agissant de la question du temps, on peut évidemment penser aux travaux d'Einstein. On peut penser aux travaux de Dirac sur l'antimatière. On peut penser à la variante CPT qui est une variante fondamentale de la physique des particules qui est la façon moderne d'expliquer le principe de causalité. Et on peut penser à ce que vous avez cité tout à l'heure à savoir la découverte du Boson de Higgs.

La découverte du Boson de Higgs, évidemment, c'est un triomphe pour la physique, pour le modèle standard de la physique des particules. C'est aussi une découverte qui oblige à repenser le lien que nous faisons toujours entre matière et masse; c'est-à-dire que dans notre esprit, masse et matière sont deux notions qui sont intriquées l'une à l'autre. C'est-à-dire que dès que nous pensons masse, nous pensons matière. Nous avons du mal à penser ce que pourrait être à enlever la masse qui ne serait pas incarnée en particule de matière. Et réciproquement, dès que nous pensons matière, nous pensons objet matériel doté de masse.

Les notions de masse et de matière dans notre esprit se renvoient l'une à l'autre comme si elles étaient presque synonymes, presque identiques, et la découverte du Boson de Higgs nous montre que c'est faux. Les particules élémentaires n'ont pas de masse. En fait, elles n'ont pas de masse qui vient d'elles-mêmes. On ne savait pas, parce que ce sont les particules de matière qui possèdent de la masse! Elles possèdent de la masse, en apparence, parce que le vide n'est pas vide. Ce qu'il y a dans le vide, il y a ce qu'on appelle un choc quantique, en l'occurrence, c'est le champ de Higgs avec lequel les particules sans masse interagissent plus ou moins, et c'est cette interaction qui leur donne l'inertie

que nous confondons avec leur masse. Par conséquent la masse des particules ne vient pas d'elles-mêmes. Elle vient d'une espèce de frottement avec le vide. Et ça, je ne suis pas sûr que beaucoup de systèmes philosophiques l'aient envisagé, de sorte que cette découverte de physique nous oblige à repenser certaines catégories philosophiques d'une façon qui tient compte des résultats que la physique, en l'occurrence, a apporté.

Alors, le sujet, ce n'est pas le temps, c'est l'origine de l'univers. En effet, vous l'avez souligné, c'est une question qui intéresse tout le monde, même si, il existe des civilisations qui ne se sont jamais posé la question de l'origine de l'univers, à commencer par la civilisation chinoise qui ne fait jamais échos, ni dans la cosmologie traditionnelle ni dans sa philosophie à l'idée d'une origine à l'univers. Donc, ce n'est pas une question obligatoire. Simplement, chez nous, elle a un poids particulier, elle est considérée comme une question fondamentale, ou comme une question mystérieuse. Et avant de l'aborder, je dois faire une remarque : c'est que, comme vous le savez tous, au 20<sup>ème</sup> siècle, nous avons identifié l'origine de beaucoup de choses».

Nous avons montré que beaucoup de choses sont apparues au cours de l'histoire de l'univers. Autrement dit, ce sont des choses qui n'ont pas toujours été là. Et si elles n'ont pas toujours été là, c'est qu'elles ont eu une origine. Prenez l'exemple des atomes ou des noyaux d'atomes. Nous avons pu reconstituer de façon quasi intégrale ce que nous appelons la nucléosynthèse. C'est à dire, nous avons compris comment ont été formés au cours des temps, au cours des âges, les différents atomes ou noyaux qui sont dans le tableau de Mendeleïev. Nous savons que les plus légers ont été formés dans l'univers primordial, dans les trois premières minutes. Nous savons que les plus lourds jusqu'au Fer sont fabriqués dans des étoiles, des étoiles normales comme le soleil. Et nous savons enfin que les plus lourds, ceux qui sont entre le Fer et l'Uranium, ont été fabriqués dans les étoiles en phases explosives, donc des étoiles qui ont épuisé leurs combustibles en Hydrogène, qui s'effondrent sur elles-mêmes, ce qui provoque des zones de chocs terribles avec l'émission de flux de neutrons qui permettent, par captures successives de neutrons, de fabriquer les éléments les plus lourds.

Nous avons la possibilité d'écrire toutes les réactions nucléaires qui ont conduit à la formation de tous les noyaux que nous connaissons, et nous disons, après avoir fait cela, nous avons compris l'origine des atomes. Vous voyez que le mot «origine» là, a un sens assez particulier puisqu'il désigne



l'achèvement des processus antérieurs à l'apparition des atomes, dont les atomes sont l'achèvement. Autrement dit, en physique, raconter l'origine de quelque chose, c'est raconter une histoire dont cette chose est la fin. Donc «origine» veut dire fin. C'est le contraire du sens qu'on donne à ce mot dans le langage courant. Et vous voyez bien que si maintenant j'abandonne les atomes pour m'intéresser à l'univers lui-même, je tombe sur une difficulté qui est que si je prétends décrire l'origine de l'univers, un peu comme j'ai décrit l'origine des atomes, cela signifie que je vais devoir raconter une histoire qui a précédé l'univers et dont l'univers est l'achèvement. Et donc, raconter l'origine de l'univers c'est supposer qu'il y a eu quelque chose avant l'univers. Or, ce quelque chose qu'on ait avant l'univers, ou bien il a toujours été là? A enlever ce moment-là, je ne peux pas dire que l'univers a une origine, puisqu'il y avait toujours quelque chose. Ou bien cette chose, que je mets en amont de toutes les autres, est elle-même l'effet d'une cause qui l'a précédée? Et à ce moment-là, ce n'est pas l'origine. On tombe tout de suite, s'agissant de l'origine de l'univers, sur une difficulté qui conduit à penser que si l'univers a une origine, alors ça signifie qu'il a été précédé par rien, et que, du coût, décrire l'origine de l'univers c'est décrire comme, en l'absence de toute chose, a pu engendrer une première chose. Et là, on est devant une difficulté logique qui revient à dire que prétendre qu'on peut penser l'origine de l'univers, c'est aussi prétendre qu'on peut penser l'absence de l'univers.

Dire que l'univers a une origine, c'est dire que l'univers a été précédé par une absence d'univers, première chose! Et d'autre part, être capable de dire comment cette absence d'univers a pu engendrer l'univers. Vous voyez que ce n'est pas assez simple quand on aborde les questions de cette façon.

Avant de rentrer dans le vif du sujet, je voudrais faire une autre remarque qui a trait, disant, au vocabulaire elle aussi. Les philosophes sont des gens qui se sont mis d'accord pour donner deux sens différents au mot «origine». Premier sens : c'est, en gros, l'idée d'une cause première, c'est-à-dire, une sorte d'événement transcendant qui a engendré une suite qui ne lui ressemble pas. Alors quand vous pensez par exemple à l'origine de l'univers, quelques soit la façon que vous avez d'y penser, qui peut être philosophique, religieuse, scientifique... quand vous pensez à l'origine de l'univers, est ce que vous pensez que l'origine de cet univers étant l'univers ou est-ce que vous pensez qu'il est extérieur à l'univers? Autrement dit, est ce que le principe créateur du monde étant le monde ou il est extérieur au monde? Si vous pensez qu'il est dans l'univers, vous avez également le droit de penser que, du coût, cette

origine sera accessible à la science. La science explore l'univers et donc si l'origine de l'univers fait partie de l'univers, on peut penser que la science pourra la saisir un jour.

En revanche, si vous pensez que l'origine de l'univers est transcendante, autrement dit, qu'elle ne fait pas partie de l'univers, ce n'est pas en faisant de la science que vous la trouverez. Et donc, première définition : l'origine de l'univers c'est une cause, absolument créatrice, une cause première qui est capable de sortir d'elle-même pour engendrer quelque chose qui ne fait pas partie d'elle-même. Vous voyez bien que les monothéismes, les trois monothéismes envisagent pour l'univers ce genre d'origine, c'est-à-dire, un être transcendant qui s'excède de lui-même pour faire l'univers que nous connaissons. Mais, il y a un deuxième sens du mot «origine» qui est ce que les philosophes appellent un «faux non logiquement premier» c'est-à-dire, les conditions qui permettent à l'univers tel que nous le connaissons d'apparaître et de se développer. Alors peut être comme pour le «vide quantique» pour ceux d'entre vous qui connaissent cette notion.

Quand je vois que vos visages sont empreints de suspicion ou de scepticisme, je vais donner un exemple : Imaginez que la question qui vous intéresse soit la question de l'origine du langage, et vous savez que cette question a passionné les linguistes au point où la société française de linguistique a été abreuvée de toute sorte de manuscrits qui prétendaient répondre à cette question.

En 1871, la société française de linguistique a décidé, et elle l'a même inscrit dans ses statuts qu'elle n'examinerait plus ces manuscrits. Pourquoi ? Parce qu'il y avait une confusion sur le mot «origine». Quand vous cherchez l'origine du langage, vous avez, en fait, deux options : soit vous dites je vais chercher la première langue parlée qui a engendré les six milles langues aujourd'hui connues à la surface de la terre, donc, je cherche la première langue, comme d'autres cherchent l'instant zéro. Et ayant identifié cette première langue, je peux ensuite raconter comment toutes les autres langues sont apparues comme dérivation de cette première langue. Si je fais cette recherche, et bien cela signifie que je cherche un événement qui est historiquement daté, ça s'est passé un certain moment, et géographiquement localisé. La première langue est apparue à un certain endroit au cours de l'histoire. Mais, il y a une autre façon de comprendre la question, c'est non plus de chercher la première langue, mais de chercher les conditions sociales, environnementales, intellectuelles liées à la taille du cerveau, culturelles qui ont fait que des groupes humains ont

éprouvé un moment donné de leur histoire la nécessité de communiquer entre eux. Chose d'ailleurs qui interroge les darwinistes, parce que les darwinistes savent que le langage n'est pas très utile.

Donner des informations à autrui ce n'est pas très bon pour soi. En général, il vaut mieux les cacher, et donc, il y a certainement eu des choses qui ont obligé les humains à communiquer pour devenir plus forts. Par exemple, pour traverser un torrent, le fait d'avoir un bâton et de faire confiance à quelqu'un d'autre qui va le tenir et vous aider à traverser ça peut être très utile. Bref, dans certaines conditions, peut-être, liées à la chasse tout simplement, les hommes ont eu besoin de communiquer des informations. Evidemment, ils ne l'ont pas fait immédiatement en parlant comme Victor Hugo. Ils ont échangé des onomatopées, ils ont imité des sons et petit à petit, ces sons ont pris une signification. On ne sait pas comment d'ailleurs. On ne sait pas comment des sons deviennent des mots. Des sons, il y en a toujours eu. Je pense que l'homme a toujours émis des sons. Et à partir de quel moment pouvons-nous dire que des sons sont devenus des mots? Des mots dont le sens est compris par la communauté. Je laisse la question ouverte. Simplement je veux remarquer que si c'est cette recherche là que vous menez dans le but de trouver l'origine du langage. Vous cherchez non pas un événement historiquement bien défini et géographiquement situé, vous identifiez un processus continu qui a fait passer progressivement, peut être en plusieurs endroits à des époques différentes dont l'onomatopée, un langage de plus en plus articulé. Et donc, ce n'est pas la même origine que vous cherchez dans les deux cas. Dans le premier cas, c'est un élément singulier. Dans l'autre cas, c'est un processus qui a démarré lorsque les conditions qui rendaient ce processus inéluctable sont apparues sur la surface de la terre.

Maintenant, j'en viens à mon sujet, qui est l'origine de l'univers. Il est vrai que je peux être pris par la même tentation de comprendre la même question de deux façons différentes. Soit je cherche un événement unique, une sorte de «Fiac Luxe» qui a créé l'univers, soit je cherche comment l'univers était à ses débuts? Comment était-il constitué? Et comment a-t-il pu devenir ce que je vois qu'il est devenu? Alors, très souvent, on dit, c'est au XX<sup>ème</sup> siècle que nous avons compris que l'univers avait une origine. Cette phrase n'est pas tout à fait vraie, parce que, tout d'abord, il existe toutes sortes de cosmogonies, de récits ancestraux, qui racontent l'origine de l'univers, qui sont des récits mythiques mais qui supposent que l'univers a une histoire. Il n'a pas toujours été comme nous le voyons qu'il est. D'autre part, même chez les scientifiques, comment

par exemple écrire à l'âge de vingt-huit ans une théorie du ciel dans laquelle ils imaginent comment se sont formés le système solaire et, en gros, la galaxie dans laquelle nous sommes. Donc, ils amendent bien l'idée d'une histoire de l'univers. Au XIX<sup>ème</sup> siècle, lorsqu'on met sur pied la thermodynamique et qu'on découvre, notamment, la deuxième loi, qui est la loi de croissance de l'entropie, des gens appliquent cette loi à l'univers lui-même, et ça les mènent plutôt, à la conclusion que l'univers va vers une mort thermique. Si l'univers va vers une mort thermique c'est qu'il a eu une histoire, et donc bien avant le XX<sup>ème</sup> siècle, toute sorte de gens (des philosophes et des scientifiques) ont écrit l'univers et l'histoire. Simplement, et c'est ce qui donne quand même raison à ceux qui disent qu'au XX<sup>ème</sup> siècle seulement qu'on a fait ces découvertes, c'est que lorsqu'un physicien du XX<sup>ème</sup> siècle dit «l'univers a une histoire», il dit quelque chose qui n'a pas le même sens qu'un physicien du XIX<sup>ème</sup> siècle qui dirait la même phrase. Parce qu'entre le XIX<sup>ème</sup> et le XX<sup>ème</sup> siècle, il y a une révolution dont on fête d'ailleurs cette année le premier centenaire qui est la relativité générale, nouvelle théorie de la gravitation proposée par Einstein.

La gravité n'est plus une force, c'est une déformation de l'espace-temps, vous connaissez tout ça, mais ce qui m'intéresse dans cette révolution c'est plutôt le fait que, pour la première fois, grâce aux équations de la relativité générale, nous disposons d'un formalisme mathématique qui permet de considérer l'univers comme un objet physique. Si cet univers, ce n'est plus l'enveloppe vague et diffuse qui contient les objets physiques ? C'est l'univers, lui-même, qui devient un objet physique, c'est-à-dire, un objet qui a des propriétés globales, qui lui appartiennent en propre, et qui ne sont pas liées à des propriétés locales des objets qu'il contiendrait.

Je pense qu'au Maroc, comme partout ailleurs, on a suivi, avec attention, les résultats et les interprétations obtenus par le satellite PLANCK. Vous savez, c'est le satellite PLANCK qui mesure le fond diffus cosmologique. Ce sont des résultats absolument extraordinaires qui font suite à des résultats qui avaient été obtenus par WMAP et COBE, deux satellites précédents, et ces résultats nous donnent des indications, non pas sur des propriétés de telle ou telle chose de l'univers, mais des indications sur l'univers lui-même. Par exemple, nous savons que la courbure généralisée de l'espace-temps c'est Zéro. L'espace-temps à grande échelle, il est plein, il n'y a pas de courbure.

Nous connaissons l'intensité des fluctuations de densité qui ont permis la formation des galaxies. Nous connaissons la proportion dans le corps de l'univers en matière ordinaire, celle qui est faite de quarks et de leptons, enfin

de matière baryonique comme on dit. Nous connaissons la proportion de matière noire, d'énergie noire. Tout ça, ce sont des propriétés de l'univers. Et donc, en 1915, l'univers devient un objet physique, et à partir de ce moment-là, quand on dit «L'univers a une histoire», on ne dit pas la même chose que ce que disait un physicien qui n'avait pas dans la tête la relativité générale. Ensuite, l'histoire, évidemment, s'est accélérée. HUBBLE, astronome américain, avec un télescope très puissant au Mont Wilson, observe ce qu'on appelle à l'époque les nébuleuses, qui est l'ancien nom pour galaxie, et voit dans une partie du ciel qui est très petite par rapport à celles qu'on explore aujourd'hui dans une petite partie du ciel. Il remarque que les nébuleuses et les galaxies s'éloignent, en apparence, d'autant plus vite qu'elles sont plus distantes les unes des autres. HUBBLE, évidemment, en déduit qu'il y a une fuite des galaxies, les galaxies se fuient dans l'espace, que les galaxies ont une vitesse de déplacement dans l'espace qui conduit à leur éloignement progressif. Simplement, c'est une longue histoire que je résume : «Un chanoine belge qui s'appelle l'abbé Lemaitre, grand spécialiste des équations d'Einstein de la gravitation, reprend les résultats de HUBBLE en 1929 et les interprète dans le cadre des équations d'Einstein, et la conclusion à laquelle il arrive, est complètement différente de celles que HUBBLE avait énoncé.

Au lieu de dire, comme HUBBLE, les galaxies se fuient les unes des autres dans l'espace, Gamow dit : «les galaxies sont immobiles. Elles sont immobiles dans l'espace.»

Alors, comment se fait-il qu'on les voit bouger? Et bien, ça vient de ce que l'espace qui sépare les galaxies se dilate, et donc, l'augmentation de leur distance ne vient pas d'un déplacement qu'elles auraient dans l'espace, il vient d'une dilatation de l'espace-temps. Il faut mettre l'espace-temps dans l'affaire. C'est ça ce qu'on appelle l'expansion de l'univers, et à partir de ce moment-là, quand on remonte l'histoire de l'univers dans le passé, et ça se fait en prenant les équations d'Einstein, donc, ces équations que, sans doute, vous avez vu. On prend les paramètres «t» qui sont dedans et on le fait dérouler à l'envers, et donc on va dans le passé de plus en plus lointain, et quand on insère dans cette description la loi de HUBBLE que je viens d'énoncer, on aboutit par le calcul, sur le papier, pardon, grâce à des calculs, à l'idée d'un univers observable. Ce n'est pas l'univers réel, c'est l'univers qu'on observe qui est de plus en plus petit à mesure qu'on va dans le passé, de plus en plus dense et c'est ce que va montrer Gamow, physicien Russe après la deuxième guerre mondiale, de plus en plus chaud.

L'hypothèse de température très haute dans le passé a été avancée par Gamow pour expliquer la nucléosynthèse dont j'ai parlé. Là, pour comprendre comment les noyaux puissent être fabriqués, il faut imaginer que dans le passé l'univers était plus chaud qu'il l'est. Et tout ça se met ensemble, s'agrège même dans une sorte de formalisme, qu'on 1948, Gamow et ses collègues publient sous le nom de model d'évolution dynamique de l'univers. Et en effet, c'est lors d'une émission à la BBC que ferait Hoyle que vous avez cité, astrophysicien britannique, raconte ce modèle d'évolution dynamique, auquel il ne croit pas une seconde, et pour s'en moquer, dit c'est comme un Big Bang, expression qu'il n'aurait pas dire parce que ça va être repris par les tenants de cette école et le mot va rester et va désigner tous les modèles dans lesquelles on suppose que dans le passé l'univers était très petit, très chaud et plus dense. ça va même plus loin que quand on remonte dans le passé les plus loin possible, en utilisant les équations d'Einstein et en extrapolant aussi loin qu'on peut, on tombe sur ce qu'on appelle une singularité, c'est-à-dire, en l'occurrence, un univers ponctuel, ponctuel ça veut dire à la taille d'un point, volume nul, température infinie et densité infinie. Et c'est cet évènement-là auquel, évidemment, on l'a associé à un instant zéro qu'on appelle le Big Bang.

Le Big Bang n'apparaît pas au cours de l'histoire quand on va dans le temps, dans le sens du temps normal, il apparaît comme point limite d'une extrapolation vers le passé. Et comme nous sommes dans une culture qui promu l'idée que l'univers a une origine, assez rapidement on a créé une sorte d'amalgame entre l'origine de l'univers tel que la raconte les récits religieux, donc une sorte de «Fiac Luxe» si vous préférez, et puis le Big Bang. Donc on a dit que le Big Bang c'est une sorte d'explosion originelle qui a engendré tout ce qui existe, donc, l'espace, le temps, la matière, l'énergie, le rayonnement, etc... avec évidemment à la clé toutes sortes de questions embarrassantes du genre : Qu'est ce qu'il y avait une minute avant le Big Bang? Qu'est ce qui a déclenché le Big Bang? Qu'est ce qu'il y avait avant? Qu'est ce qu'il a provoqué? etc... Questions auxquelles la physique, évidemment, ne peut pas répondre.

Ce que je vais essayer de vous expliquer maintenant, en m'appuyant sur ce que j'ai dit en préambule, à savoir que mon métier et celui de mes collègues, c'est d'essayer d'imaginer ce que diraient les équations de la physique si elles pouvaient parler. Or, entre 1950, date à laquelle apparaît cette théorie du Big Bang, et aujourd'hui, comme vous l'imaginez, il s'est passé beaucoup de choses en physique, notamment en cosmologie. Et donc, la question est de savoir si ce que nous avons appris depuis 1950 nous oblige, ou non, à changer notre façon

de raconter le Big Bang? Et la réponse est : OUI. Et c'est cela que je voudrais vous expliquer rapidement, et d'ailleurs, le peu que j'ai dit aujourd'hui est suffisant pour comprendre pourquoi il y a des choses à changer. Ce que je vous ai dit c'est que le Big Bang apparait comme le résultat d'une extrapolation vers le passé des équations d'Einstein.

Or, les équations d'Einstein ne décrivent qu'une seule des quatre interactions fondamentales, c'est la gravitation. Il y a d'autres forces: il y a les forces électromagnétiques, il y a les forces nucléaires. Les forces nucléaires, il y en a deux : l'une qu'on appelle la faible, parce qu'elle est faible, l'autre qu'on appelle la forte parce qu'elle est forte. Voilà, ces trois interactions ne sont pas décrites par la relativité générale. Elles sont décrites ailleurs dans ce qu'on appelle le modèle standard de la physique des particules qui s'appuie lui-même sur un cadre théorique qu'on appelle les théories de jauge, qui, elles même, s'appuient sur la physique quantique. Donc pour le dire en simplifié: les trois autres interactions sont décrites par la physique quantique dans des modèles particuliers dans lesquels, en fait, on associe à chacune des interactions fondamentales un groupe de symétrie mathématique. Donc c'est le groupe des nombres complexes de module 1 pour les forces électromagnétiques, c'est des groupes un peu plus compliqués non abéliens pour les forces nucléaires. Mais une fois qu'on a choisi les groupes, le formalisme des théories de jauge permet de déterminer complètement le lagrangien de ces interactions. Et c'est ce modèle standard, d'ailleurs, de la physique des particules qui conduisait à la prédiction de l'exhaure du Boson de Higgs qui a été donc faite en juillet 2012, qui confirme que ces trois interactions sont bien, au moins les énergies on peut les tester, décrites de la même façon, bien décrites par le modèle standard.

Je reviens à l'univers, je fais une extrapolation vers le passé, à partir des équations d'Einstein, je peux continuer autant que je veux à faire des calculs qui seront mathématiquement justes, mais qu'au bout d'un certain temps deviendront, physiquement, faux. Pourquoi physiquement faux? Tout simplement, parce qu'ils décrivent la gravitation et pas les autres forces. Or, quand vous remontez dans le passé, l'énergie des particules augmente parce que la température augmente, et donc les particules sont sensibles à toutes les forces en même temps, notamment aux forces nucléaires. Et donc, il y a un moment dans l'extrapolation vers le passé où les équations d'Einstein deviennent physiquement incomplètes. Incomplètes par ce qu'elles décrivent une équation sur quatre seulement. Et ce moment en deçà duquel les calculs deviennent physiquement faux, c'est ce qu'on appelle le mur de PLANCK. Et

ce mur de PLANCK, évidemment, si vous croyez à l'instant zéro avec un temps normal qui lui succède? Ce temps de PLANCK, il advient, à peu près,  $10^{-43}$  secondes d'après le Big Bang. Donc, c'est comme même très court, mais ça suppose que le temps avant le mur de PLANCK est le même qu'après. Or, c'est là-dessus qu'on a de gros doutes.

Donc, si je résume, on peut dire que nous sommes capables de raconter l'histoire de l'univers qui nous sépare du mur de PLANCK et que cette histoire a durée 13.7 milliards d'années, mais nous ne pouvons pas dire que le mur de PLANCK c'est l'origine. Simplement, avant le mur de PLANCK, nous n'avons pas de théorie de physique qui fonctionne. Pourquoi? Parce que les quatre forces jouent ensemble. Donc, pour décrire l'univers primordial, il faudrait avoir une théorie de physique qui décrit ensemble les quatre forces.

Pour vous donner une indication plus concrète, le LHC (la machine du CERN qui a permis la découverte du Boson de Higgs), nous donnons au proton qui entre en collision une énergie de quelques Téra électro volts, quelques milliers de GeV par proton. C'est-à-dire que chaque proton a autant d'énergie qu'un moustique en vol, mais dans le cas d'un moustique, l'énergie est distribué sur des milliards et des milliards de particules qui le constitue, alors que dans le LHC, chaque particule a autant d'énergie qu'un moustique. Donc, ce sont des densités énormes par rapport aux densités de la matière ordinaire, mais ridicule par rapport à celles qu'elles avaient les particules au mur de PLANCK. Au mur de PLANCK, les particules avaient, en moyenne, autant d'énergie qu'un TGV en circulation. D'un point de vue expérimental, on en est aux moustiques.

Le mur de PLANCK c'est TGV. Il y a des sortes de grandeurs qui séparent les deux situations et nous sommes très loin de pouvoir réaliser en laboratoire les conditions qu'avait l'univers parce qu'il a franchi le mur de PLANCK. Et donc pour le franchir, il n'y a qu'une solution, c'est les équations, c'est-à-dire faire des théories qui permettent de décrire l'univers d'avant le mur de PLANCK. Et là, comment faire? Ça fait 40 ans que les gens cherchent. Il y a plusieurs pistes, mais je ne vais pas avoir le temps de toutes les détailler, je vais quand même vous donner quelques-unes. Ce qui est sûr, parce que ça correspond à un théorème mathématique qui a été démontré : c'est que nous ne pouvons pas marier la physique quantique et la relativité générale, qui est pourtant ce qu'il faut faire, dans un espace-temps à quatre dimensions lisse et continu. C'est dire, si vous prenez l'espace-temps qu'on apprend à l'école, soit celui de la relativité restreinte qui est un espace-temps rigide et statique, soit celui



de relativité générale, qui est un espace-temps souple et dynamique puisqu'il est déformé par son contenu, mais il est lisse et continu, il est déformable mais continu. Quel que soit le choix que vous faites, si c'est simplement parmi ces deux possibilités, ce choix ne vous permettra pas de quantifier la gravitation, c'est-à-dire, de faire ce mariage : gravitation et physique quantique. Et donc, il n'y a pas d'autres solutions que de tenter des hypothèses un peu baroques. Par exemple, l'hypothèse énoncée dans les années 70 qui a conduit à ce qu'on appelle la théorie des supercordes selon laquelle, l'espace-temps aurait plus que quatre dimensions, et donc l'espace-temps aurait par exemple six dimensions supplémentaires qui seraient plutôt des dimensions spatiales plutôt que temporelles, qui seraient repliées sur elles-mêmes à très petites distances de sorte qu'elles seraient imperceptibles, c'est ce qu'on appelle la théorie des supercordes et c'est une théorie qui a suscité énormément d'espoir dans les années 80 et 90 parce qu'on pensait qu'effectivement elle pouvait décrire, en même temps, les quatre forces.

Aujourd'hui, on est un peu plus embêté parce qu'on s'est rendu compte qu'il y avait de multiples variantes de cette théorie, surtout si on met dedans ce qu'on appelle l'inflation cosmique, et ça a conduit à une hypothèse un peu embêtante ce qu'on appelle l'hypothèse des multivers, c'est-à-dire, qu'il y aurait en fait autant d'univers possibles qu'il y a de jeux possibles des constantes fondamentales. Alors, c'est une idée qui plaît à certains, qui déplaît à d'autres. C'est presque une idée de métaphysique, donc, il faut la manier avec des pincettes.

Vous voyez, la théorie des supercordes, en principe, permet d'escalader le mur de PLANCK, c'est-à-dire de décrire l'univers d'avant le mur de PLANCK, et donc peut être de voir l'origine. Mais, comme toujours il y a des gens qui contestent ces hypothèses, et par exemple, il y a un auteur dont on parle beaucoup en ce moment, un physicien qui s'appelle Carlo Rovelli qui reprend des travaux qu'il avait fait lui-même avec d'autres physiciens, remet en cause l'hypothèse qu'il pourrait y avoir des dimensions supplémentaires d'espace-temps et qu'il préfère prendre l'espace-temps habituel de la relativité général qui est souple et dynamique, mais considéré comme n'est pas lisse et continu. C'est-à-dire que l'espace-temps aurait une structure granulaire. Il serait discontinu, il serait discret de telle façon qu'un volume dans cet espace-temps serait nécessairement un multiple entier d'un atome d'espace-temps élémentaire, d'un quantum d'espace-temps comme on dit, qui est d'ailleurs lié à la constance de PLANCK de la physique quantique, c'est-à-dire qu'un volume ne peut pas être quelconque.

Un volume ne peut être qu'un multiple entier d'un plus petit volume qui n'est pas nul et dont les dimensions sont reliées finalement à la constante de PLANCK qui est la constante fondamentale de la physique quantique. Et là, c'est une autre piste qui revient, non pas, à marier les quatre forces, mais à insérer la physique quantique dans la gravitation. C'est ce qu'on appelle la théorie de la gravité quantique à boucles avec l'espoir si on arrive à mettre la gravitation dans la physique quantique, on pourra mettre ensuite les autres forces et obtenir ainsi une théorie généralisée qui décrira les quatre forces comme le fait la théorie des supercordes et pourra ainsi permettre de décrire l'univers d'avant le mur de PLANCK.

Et puis, il y a d'autres pistes comme celle du vide quantique qui est ce qu'on appelle les modèles ekpyrotiques. 'EKPYROSIS' c'est un mot grecque qui veut dire renaissance, et l'idée que l'univers en fait suit des cycles, revient toujours, et qu'il naît chaque fois d'une fluctuation du vide quantique. Vous avez le vide quantique qui serait une espèce d'entité primitive, qui a toujours été là finalement. Ce vide quantique a des fluctuations. Sur une fluctuation, peut apparaître un univers qui va être en expansion. Et dans l'expansion sa densité d'énergie va décroître. Le vide quantique c'est un état de la matière dans lequel l'énergie est minimale, et donc, dans son expansion, l'univers va finir par rejoindre la densité du vide quantique, non pas redevenir le vide quantique. A nouveau, une fluctuation va engendrer, ta ta ta... et ça n'en finira pas. Et donc, c'est ce qu'on appelle l'univers à bulles. Il y a plusieurs appellations, mais c'est l'idée que tout univers a un début qui apparaît dans un cadre qui n'a pas de début, qui a toujours été là, il va disparaître pour donner place à un autre etc... Il faudrait imaginer qu'il y a autant d'univers différents qu'il y a de possibilités pour le vide quantique de fluctuer.

Bon, oui, il y a vraiment beaucoup de domaines de recherche. Et la question c'est comment est-ce qu'on va savoir lequel est le bon? Comment est-ce qu'on va pouvoir tester ces hypothèses? Alors, le LHC a redémarré il y a 15 jours après deux années d'interruption. On l'avait fait fonctionner jusqu'en 2013 avec une énergie par faisceaux de 3.5 TeV, donc, ça faisait 7 TeV la somme des deux dans le centre de masse parce qu'on fait des collisions frontales, on a redémarré il y a trois semaines avec 7 TeV par faisceau, ce qui veut dire 14 TeV dans le centre de masse. Et donc, on a deux fois plus d'énergie que dans la phase qui nous a permis de trouver le Boson de Higgs. Et donc, on explore une fenêtre en énergie qu'on n'a jamais vue. C'est inédit. On n'a jamais fait

des collisions à aussi haute énergie, et peut être qu'on aura des surprises. Peut-être qu'on pourra découvrir des particules de matière noire par exemple. Mais personne ne pense qu'on va pouvoir voir des dimensions supplémentaires d'espace-temps. Et donc, le LHC n'est sans doute pas la bonne machine pour nous dire si c'est plutôt la théorie des cordes qu'il faut suivre ou la théorie de la gravité quantique à boules, etc... Parce que la gravité est une force trop peu intense par rapport aux autres forces que subissent les particules pour qu'elles aient des effets manifestes aux énergies du LHC. D'autres gens pensent que le fond diffus cosmologique, vous savez cette lumière qui était émise 380 000 ans après le Big Bang parce que dans la première phase la lumière ne pouvait pas se propager dans la matière, il y avait trop de densité de matière, donc les photons étaient arrêtés par les particules chargées, et quand l'univers après 380 000 ans d'expansion est devenu plus froid (4000 degré), les atomes ont pu se former. Les atomes sont neutres. La lumière peut les traverser sans interagir.

C'est le fond diffus cosmologique qui aujourd'hui fait 2.7 kelvin, il s'est refroidit avec l'expansion et le satellite de PLANCK que j'ai évoqué est entrain de faire des analyses et, il faut beaucoup de temps pour analyser ces données.

Beaucoup de résultats ont déjà été publiés, qui sont, je l'ai dit, absolument merveilleux, mais là, ce que font les chercheurs qui travaillent sur ces résultats, c'est d'essayer de voir si le fond diffus cosmologique est un rayonnement électromagnétique a une polarisation ou pas. Parce que s'il a une polarisation, c'est la preuve, avant même le mur de PLANCK il y a eu ce qu'on appelle une inflation cosmique, une hypothèse qui a été lancée dans les années 80 pour expliquer deux choses en même temps à savoir pourquoi l'univers est homogène? Et pourquoi il n'y a pas de courbure? Et la réponse qu'on a proposé c'est : il n'a pas de courbure parce qu'en fait on n'en voit qu'un petit monde.

On est sur un ballon courbé, mais comme on ne voit que notre environnement, on a l'impression que la surface est plane parce que derrière l'horizon, on n'a pas accès à une vision qui nous permet de lire la topologie, et donc, l'univers observable est très petit par rapport à l'univers réel, et on croit qu'il est plat parce que la courbure n'a pas le temps de se manifester sur les distances qu'on explore. C'est Alain Guth et quelques autres qui ont fait cette hypothèse et a été rajoutée dans les modèles du Big Bang pour expliquer ces deux bizarreries que sont courbure nulle et homogénéité de la matière. Et quand on met cette hypothèse dans les équations du Big Bang, on voit que la taille de l'univers, la dimension de l'espace-temps, en fait, a dû être multipliée par un facteur  $10^{50}$  en

$10^{-32}$  secondes. Vous voyez ce que ça veut dire : on augmente les dimensions de  $10^{50}$  en un temps de  $10^{-32}$  secondes. C'est impossible à imaginer, mais c'est ça ce qu'on appelle l'hypothèse de l'inflation cosmique. Ça veut dire que l'espace-temps, si ce phénomène a eu lieu, a subi des distorsions considérables qui ont évidemment engendré des ondes gravitationnelles extrêmement puissantes telles que prédites par les équations d'Einstein.

Les ondes gravitationnelles ont pour effet de polariser le champ électromagnétique du fond diffus cosmologique. Et donc, si on voit une polarisation dans le fond diffus cosmologique, et vous avez peut-être le souvenir il y a quelques mois, des physiciens américains qui travaillaient sur l'expérience 'BICEPS 2' au pôle sud, avez cru mesurer cette polarisation, et on s'est rendu compte, d'ailleurs, grâce aux résultats de PLANCK, que ce qu'ils ont mesuré c'est l'effet des poussières galactiques. En fait, l'univers est un four micro-ondes. Il y a des micro-ondes qui viennent de partout et la part des micro-ondes qui vient du fond diffus cosmologique c'est très peu par rapport au total. Donc, il faut nettoyer le ciel des micro-ondes pour voir le fond diffus cosmologique, ce que les américains n'avaient pas bien fait, et du coup, le résultat était invalidé, ils l'ont retiré. Mais la question est de savoir si la polarisation, ou non, se pose encore? Et si la réponse est 'oui', alors on aura donc la preuve qu'il a eu une inflation cosmique et ça va faire le ménage dans les théories de physique qui prétendent décrire l'univers d'avant le mur de PLANCK.

Il y a toutes les hypothèses, tous les modèles, qui n'incluent pas le rôle de l'inflation, devront être éliminés ou modifiés. Et le point important, parce qu'il faut quand même que je réponde à la question posée : «L'univers a-t-il connu un instant zéro?» Alors si on prend le modèle de Big Bang des années 50, oui, il y a un instant zéro. C'est celui qu'on associe à la singularité avec taille nulle, température infinie et densité infinie.

Maintenant, si je prends la théorie des cordes par exemple, et je regarde ce qu'elle donne comme description de l'univers primordial avant le mur de PLANCK, je constate, assez vite, que les équations sont tellement compliquées parce que la densité des supercordes est tellement énorme que les interactions sont très violentes, et donc, je ne peux pas résoudre l'équation. Trop compliqué. Donc la seule chose que je puisse faire ce sont des modèles par lesquels je vais simplifier ces équations et essayer d'éliminer les termes les moins importants.

Il y a toute sorte de physiciens qui ont fait ce travail notamment Gabriele Veneziano qui fait un cours sur cette question au collège de France. Quand on applique ces modèles, qu'on appelle des modèles de pré Big Bang, pré Big Bang c'est une appellation intéressante, on découvre une chose assez étonnante c'est que la singularité initiale disparaît. Alors pourquoi elle disparaît? Parce que les modèles de supercordes sont des modèles qui prédisent l'existence d'une température maximale dans l'univers. Concrètement, ça veut dire qu'en tout instant de son histoire et en tout point de son espace, donc en tout point de l'espace-temps si vous préférez, la température dans l'univers ne peut pas avoir dépassé un certain seuil qui est très élevé mais qui n'est pas infini. Et oui, il suffit que je dise cette phrase pour que la singularité des modèles de Big Bang d'avant avec un instant zéro à laquelle j'associe une température infinie devienne problématique. C'est à dire, selon la théorie des cordes, la singularité avec une température infinie ne peut pas avoir été un instant physique de l'univers. Donc, par quoi est-elle remplacée? Et bien, par ces modèles qu'on appelle de pré Big Bang, c'est-à-dire, vous avez un univers d'avant qui est en contraction. Etant en contraction, sa température augmente avant d'atteindre une taille nulle, il atteint une température égale à la température maximale autorisée par la théorie des cordes. L'ayant atteinte, il ne peut pas se contracter d'avantage parce que ça augmenterait sa température, donc il rebondit sur lui-même, pour devenir l'univers en expansion dans lequel nous sommes. Et donc, dans ce modèle, ce qu'on appelle le Big Bang n'est plus une singularité, c'est une transition de phase qui fait passer d'un univers en contraction au même univers en expansion. D'accord, donc, le Big Bang n'est plus l'origine. Et même dans ces modèles-là, la question de savoir ce qui est l'avant de Big Bang est une question de physique.

Comme personne ne sait si la théorie des cordes est la bonne théorie ou pas, la conclusion à laquelle je viens d'arriver est très fragile parce que je suis partie de la théorie des cordes et j'abouti à l'idée que si elle est juste alors il n'y a plus de Big Bang, mais je ne sais pas si elle est juste.

Alors la chose que je veux vous dire et ça sera ma conclusion, c'est que personne ne sait qu'elle est la bonne théorie pour décrire les autres interactions, mais que le point intéressant c'est que quelque soit la piste théorique étudiée pour escalader le mur de PLANCK (Revoli, les vides quantiques, ... autres choses!) et bien, la singularité disparaît. C'est-à-dire que quand vous faites un traitement quantique de l'univers primordial, la singularité disparaît. Ça ne

veut pas dire qu'elle n'existe pas. Ça veut dire qu'elle n'est pas là où on pensait qu'elle était. Donc, soit l'univers a une origine, et cet univers est en amont de cette singularité disparue, soit l'univers n'a pas d'origine. C'est-à-dire il y a toujours eu quelque chose. La conclusion à laquelle on arrive, c'est que pour l'instant, nous n'avons pas la preuve scientifique que l'univers a une origine, et donc, je prends le mot «origine» au sens radical. C'est à dire, nous n'avons pas la preuve scientifique que l'univers a été précédé par rien. Et nous n'avons pas non plus la preuve scientifique que l'univers n'a pas eu d'origine.

Donc, la question «a-t-il eu une origine?» est une question ouverte. On ne sait pas! on ne sait pas !!!

En tout cas, il y en a une, ce qui est possible, je n'en sais rien, je ne suis pas dans le secret du Dieu, mais s'il y en a une, nous ne l'avons pas saisie.

Voilà, je vous remercie pour votre attention.

**Académie Hassan II des Sciences et Techniques**  
**Km 4, Avenue Mohammed VI - Rabat**

**Tél : 0537 63 53 77**

**Fax : 0537 75 81 71**

**Site internet :**

**<http://www.academiesciences.ma>**

