

Les processus de séparation dans le modèle du Big Bang ¹

J.-P. Luminet

Dans le modèle du Big Bang qui marque le début d'une expansion de l'espace, nous trouvons trois processus de **séparation** qui jouent un rôle essentiel dans la formation de l'Univers. Le premier d'entre eux est assuré sur un plan épistémologique, le second l'est un peu moins, le troisième relève du domaine spéculatif.

Le premier de ces processus porte sur la **séparation** de la lumière et de la matière.

Durant les 380 000 premières années de l'expansion, l'Univers primitif était constitué d'un gaz extrêmement chaud et dense (plasma), mélange de quelques particules élémentaires (quarks, protons, électrons, et particules de lumière que sont les photons). Cet Univers primitif, à de telles températures, est à l'état d'équilibre, c'est-à-dire que toutes ces particules, dites thermiques, sont en équilibre. Au-dessus de 3 000 degrés, la lumière est prisonnière de la matière, car les photons ne peuvent pas se répandre librement comme dans un espace ordinaire. La lumière ne se propageant pas, l'Univers primitif est par conséquent opaque. Au cours de sa dilation, c'est-à-dire au bout de 380 000 ans, se produit un processus appelé « recombinaison » dans lequel les électrons se couplent et se combinent aux particules chargées pour former les premiers atomes (on emploie d'ailleurs à tort le terme de « recombinaison » dans la mesure où ils n'ont jamais été combinés auparavant). A partir de ce phénomène, l'Univers devient transparent et la lumière peut se propager. Autrement dit, le fluide initial qui mêlait particules ordinaires et particules de lumière se *sépare* en deux fluides différents : la matière au sens ordinaire du terme et la lumière.

¹ Ce document est issu d'un entretien enregistré entre l'astrophysicien J.-P. Luminet et nous-même, réalisé le 16 décembre 2004 à l'Observatoire de Meudon dans l'optique des recherches concernant cette thèse.

Pour les cosmologistes, cette **séparation** joue un rôle capital dans la mesure où elle correspond à la prédiction clé du modèle de Big Bang dans lequel l'Univers a dû émettre sa première lumière – le *fiat lux* de la cosmologie – au bout de 400 000 ans (avec certaines caractéristiques très précises qui se calculent : lumière définie par un certain spectre, appelé spectre de « corps noir », par une certaine température, par la distribution de la température en fonction de la fréquence, etc.). Il avait été en effet prédit par des théoriciens, dès les années 1930, que cette lumière devrait être captée comme vestige de cet événement, le « rayonnement fossile ». Or, précisément, ce rayonnement fut capté dans les années 60 par des radiotélescopes, sorte de thermomètres ultrasensibles capables de mesurer cette température du « fond » de l'Univers. Ils établissent des cartes extraordinairement précises de cette première lumière, cette dernière dévoilant ce qu'était l'Univers il y a 380 000 ans, c'est-à-dire constitué de « grumeaux » de densité (de lumière), desquels proviennent toutes les structures astronomiques que nous observons aujourd'hui. Ce qu'il y a également de fondamental dans la précision de ces observations tient au fait que ces grumeaux confirment et affinent le modèle du Big Bang tout en fixant les paramètres de l'Univers (ses propriétés, son âge, son destin, de quoi il est fait, sa forme, etc.). On décode ces grumeaux, un peu comme l'on pourrait décoder les harmoniques fondamentales d'un instrument de musique complexe, pour finalement déduire, à travers un spectre, ces paramètres. Les dernières données les plus précises en ce domaine, grâce à un satellite de la Nasa (WMAT), sont assez récentes puisqu'elles datent de 2003. Le décodage extrêmement fin de ces grumeaux (confirmant la **séparation** de la matière et de la lumière) permet de dire, de façon assez assurée, que l'Univers a 13,7 milliards d'années, qu'il est en expansion perpétuelle accélérée et qu'il est constitué essentiellement à 99 % de matière et d'énergie dite « sombre », c'est-à-dire que l'ensemble de toute la matière visible ne représente qu'une tête d'épingle infinitésimale, moins de 1% de la totalité. A ce sujet, on peut lire dans des articles de vulgarisation que, si 99% de la matière et de l'énergie est « sombre », cela signifie que nous ne savons rien sur l'Univers et que le modèle du Big Bang n'est pas assuré sur un plan épistémologique. Or, si cette matière est effectivement sombre, on a en revanche des idées précises sur sa composition (de même que l'on a des indications sur la géométrie de l'Univers, sur sa taille et sa forme, le fait qu'il soit fini ou infini). Si les grandes questions de la cosmologie sont loin d'être toutes résolues, une étape a été néanmoins franchie de façon tout à fait extraordinaire depuis deux ou trois ans grâce aux observations radiotélescopiques qui ont permis d'affiner les théories.

Ce qui est décrit ici est assuré et correspond donc au processus de **séparation** de la lumière et de la matière qui date d'environ 400 000 ans après l'hypothétique temps zéro, 3,5 milliards d'années derrière nous, en remontant dans le passé depuis notre présent.

Ce qui intéresse la physique fondamentale porte sur la connaissance de ce qui s'est déroulé avant ce phénomène, c'est-à-dire quand la température était encore plus élevée dans l'Univers primitif. S'il n'est pas possible d'y accéder directement par l'observation astronomique, en revanche, par l'analyse de phénomènes physiques, nous pouvons remonter de façon très plausible jusqu'à quelques fractions de seconde après le début de l'expansion. Il suffit pour cela de mesurer des proportions relatives de certains éléments chimiques, comme le deutérium, isotope de l'hydrogène. On sait en effet que le deutérium qui se forme aujourd'hui dans les étoiles, par des réactions nucléaires, est aussitôt détruit. On sait, d'autre part, d'après les modèles de Big Bang, que le deutérium s'est formé pour la première fois dans l'Univers au bout de trois minutes environ et qu'il est possible de calculer dans le cadre de ces modèles la proportion de deutérium qui a été créée. Ainsi, il suffit de mesurer aujourd'hui la quantité de deutérium que l'on trouve dans l'Univers pour tester les modèles de la validité du Big Bang quand il n'est âgé que de trois minutes, c'est-à-dire à l'époque où l'Univers a, en moyenne, une température de 10 milliards de degrés. A l'aide d'expériences réalisées dans des accélérateurs de particules au CERN, nous sommes en mesure de reconstituer l'histoire de l'Univers jusqu'à l'hypothétique Big Bang en l'explorant à une température toujours plus élevée.

Cette reconstitution fait intervenir la physique des hautes énergies, et c'est à ce niveau que la théorie commence à rencontrer des difficultés et trouve également ses limites. En effet, à partir d'un certain stade, la théorie purement gravitationnelle qui gouverne l'Univers à grande échelle - la relativité générale - a besoin également d'une compréhension de l'ordre de la physique quantique pour décrire les processus des très hautes énergies. Mais, à ce stade, les théories s'effondrent, tout en apportant également des espoirs dans un mariage possible ou encore une rénovation de ces mêmes théories avec pour projet commun de se débarrasser de la singularité du Big Bang, c'est-à-dire du temps zéro ou de la naissance à partir de « rien » qui, sur un plan strictement épistémologique, pose de grandes difficultés.

Il existe deux autres processus de **séparation** qui sont antérieurs par rapport à la **séparation** de la lumière et de la matière, et qui ont également joué un rôle essentiel.

Le premier d'entre eux correspond à la **séparation** de la matière et de l'anti-matière, cette **séparation** s'étant nécessairement produite.

Quand l'énergie en effet se matérialise en particules ($E=mc^2$), il se produit toujours des couples de particules et d'anti-particules. Ce phénomène signifie que, dans l'Univers primitif, l'énergie devait être parfaitement symétrique et, d'une certaine façon, aurait dû le rester dans la mesure où la matière et l'antimatière n'auraient pas cessé de se créer et de s'annihiler. Or l'Univers est matériel ! Les étoiles et les galaxies que l'on observe dans le ciel prouvent que la matière est davantage présente que l'antimatière. En moyenne, on trouve en effet un milliard de particules de matière pour une particule d'antimatière. Ce phénomène constitue une énigme relevant de la physique des hautes énergies. A l'heure actuelle, on essaie de comprendre comment un processus de **séparation** a eu lieu entre la matière et l'antimatière faisant très largement basculé la balance en faveur de la matière. On sait que cet événement a eu lieu mais, en revanche, l'explication du mécanisme responsable n'est pas assurée. Il existe des théories assez intéressantes sur une évolution de symétries reposant sur l'idée générale d'une symétrie initiale brisée. Chaque brisure de symétrie crée en effet des phénomènes nouveaux et une dynamique nouvelle. Jusque dans les années 1960, il était considéré que les grandes symétries de la physique classique des particules étaient respectées, ces symétries étant appelées symétries CPT (symétrie de Charge, symétrie de Parité, symétrie Temporelle). Dans la physique classique, elles sont effectivement respectées, c'est-à-dire que, si l'on change la charge d'une particule en + ou en -, les mêmes phénomènes physiques et les mêmes interactions sont conservés. De même, si l'on inverse le sens du temps dans les équations de la physique traditionnelle, rien ne change fondamentalement. A partir des années 60, il a été découvert que certaines de ces symétries n'étaient pas respectées. On pense qu'il y a eu une sorte de désintégration d'une particule qu'on appelle le boson X (qui n'existe plus aujourd'hui à basses énergies) et qui, au lieu de donner autant de quarks que d'anti-quarks, a donné un très léger excédent des quarks sur les anti-quarks (un excédent d'un milliardième seulement, l'essentiel des quarks et des anti-quarks produits s'étant annihilé). Autrement dit, de ce phénomène, il ne serait resté que l'« écume » qui correspondrait aujourd'hui à la matière que nous observons, faite justement de quarks. Ce sont donc finalement des violations de combinaisons très complexes qui permettent de fournir des modèles plausibles sur l'énorme dissymétrie entre la matière et l'antimatière.

En remontant encore plus loin dans le temps et dans les hautes énergies, un second processus s'interprète en termes de **séparation** : les brisures spontanées de symétrie. Il s'agit du découplage entre interactions fondamentales. Cette partie de la physique théorique concerne la recherche d'unification. Aujourd'hui, dans notre Univers à basses énergies, il est en effet considéré qu'il existe quatre interactions dites fondamentales qui gouvernent l'ensemble des phénomènes physiques : la gravitation, l'électromagnétisme avec deux interactions nucléaires, une forte qui assure les cohésions des noyaux, et l'autre, faible, associée au processus de radioactivité de désintégration. Les physiciens cherchent à comprendre si ces quatre interactions pourraient ne pas être le reflet à basses énergies d'un nombre plus restreint d'interactions et plus fondamentales à hautes énergies. Sur le papier, le projet d'unification théorique a commencé dans les années 60, et a déjà abouti à un grand succès dans la mesure où il a permis l'unification de l'électromagnétisme et de l'interaction faible, appelée théorie « électrofaible » faisant des prédictions très précises. Cette théorie énonce qu'à une température correspondante à environ 1000 milliards de degrés, l'électromagnétisme et l'interaction faible se fondent effectivement en une interaction électrofaible. C'est une fusion. (Il faut remarquer que parler de fusion ou de **séparation** dépend du sens du temps. Si nous remontons en effet dans le passé, l'énergie augmente et l'on observe que ce sont deux interactions qui fusionnent. Si, en revanche, nous reprenons la flèche du temps en partant du Big Bang, on constate que l'Univers refroidit dans le sens d'une **séparation** entre ces deux mêmes interactions). Lors de cette fusion entre l'électromagnétisme et l'interaction faible, doit se produire l'apparition spontanée de certaines particules qui n'existent qu'à ces hautes énergies. Les expériences réalisées au CERN ont montré que, dans des accélérateurs de particules qui ont reconstitué ces énergies, ces particules sont présentes. C'est donc un succès.

Mais la difficulté est de construire les théories à toujours plus hautes énergies. Et c'est à ce niveau que nous entrons dans le domaine du spéculatif. Si les théories ne manquent pas, les vérifications expérimentales deviennent impossibles, car nous ne sommes pas capables de recréer ces hautes énergies. Les GUT (Grand Unified Theory) trouvent ici leurs limites (elles ne portent d'ailleurs pas bien leur nom, car l'on pourrait croire, d'après leur titre, qu'elles réalisent l'unification complète mais, en réalité, elles ne concernent que l'unification hors gravitation. Ce nom fut donné par les physiciens des particules qui, dans leur recherche d'unification, ignoraient la gravitation et la relativité générale. Pour eux, la grande unification correspondait à l'unification des trois forces qui concernaient la physique quantique). Cette unification comme processus (ou

cette **séparation** dans l'autre sens), qui est censée s'être produite dans l'histoire de l'Univers au bout de 10-35 secondes, donc à des énergies absolument phénoménales, aurait dû produire quelques vestiges que l'on peut espérer découvrir (comme des cordes cosmiques). Mais, à ce jour, rien de tel n'a été découvert. Et plus on va monter en énergie, plus les difficultés vont devenir importantes de sorte que, si l'on veut vraiment faire l'unification totale, ce que certains appellent, de façon prétentieuse, « la théorie de Tout », ce ne sont plus les expériences qui vont manquer, mais les théories. On sait que la relativité et la physique quantique ne fonctionnent pas, prises séparément. Mais le problème, c'est qu'elles ne fonctionnent pas non plus ensemble ! A ce niveau, il faut totalement repenser le modèle. Comment arriver à élaborer une théorie qui porte déjà un nom, celui de « gravité quantique » ? C'est la grande question de la physique fondamentale, mais l'élaboration pose d'immenses difficultés. Il existe plusieurs pistes qui sont suivies par différentes écoles de chercheurs, des pistes en réalité assez différentes. Certaines sont moins méconnues que d'autres comme la théorie des supercordes, mais il existe d'autres approches tout aussi intéressantes. Techniquement, elles sont toutes excessivement difficiles à mettre en œuvre, car l'union finale de ces deux forces se fait au prix d'une complexification extrêmement élevée du modèle mathématique pour décrire l'espace. Par exemple, on est obligé de considérer, pour que soient cohérentes certaines approches théoriques, un espace à plusieurs dimensions (pouvant aller jusqu'à dix). Ce qui évidemment complexifie considérablement la conception à trois dimensions que nous avons de l'espace.

Par ailleurs, nous ne comprenons pas actuellement la possibilité d'un état antérieur de l'Univers, c'est-à-dire ce qui se serait passé avant le Big Bang. Cette question était considérée comme quasi taboue jusqu'à il y a quelques années car, dans la relativité générale classique non quantique, le Big Bang marquait le début de toutes choses, y compris du temps. La question : « Qu'est-ce qu'il y avait avant le Big Bang ? » n'avait aucun sens. Maintenant que des théories de gravité quantique ont vu le jour, elles laissent la porte ouverte à un modèle de pré-Big Bang. Mais, même si ces théories suppriment la singularité, nous ne sommes pas en mesure de connaître ce qui a pu se passer avant. C'est à ce jour une énigme.

Un autre phénomène que l'on ne comprend absolument pas, et qui se trouve lié à certaines théories de gravité quantique, tient à la possibilité d'existence de ce que l'on appelle un *pluri-vers*, c'est-à-dire une multiplicité d'Univers. Ce sont des théories possibles, mais nous n'avons aucune idée de la formation de ces *pluri-vers*. En outre, au regard de cette éventualité, nous ne savons pas comment les mettre en évidence expérimentalement.

On se trouve ici aux limites de la raison et de l'imaginaire.

La question du « commencement » de l'Univers :

Origine et séparation

L'astrophysique, comme son étymologie l'indique, porte sur la physique des astres. Les astres sont des objets. L'unification théorique du « Tout » de l'Univers concerne la physique fondamentale et, à ce niveau, les astres ne sont pas encore formés. Néanmoins, on peut définir l'Univers en fonction de ce qu'il contient, donc admettre que l'Univers représente l'ensemble des astres et, à ce titre, observer des naissances : les étoiles naissent en effet selon certains processus. Le soleil est né, il y a quelque cinq milliards d'années dans certaines circonstances. Des étoiles continuent à naître aujourd'hui. Ce ne sont évidemment pas des naissances spontanées, faites à partir de « rien », mais de longs processus physiques qui remontent à des structures primordiales, des nuages de gaz à la naissance de la lumière, c'est-à-dire aux grumeaux de lumière. Mais l'on peut remonter encore plus loin en se posant la question de savoir d'où viennent ces grumeaux. Selon les dernières observations, ils auraient pris « naissance » dans ce que l'on appelle les « fluctuations quantiques du vide ». Mais, avant de comprendre ce phénomène, il nous faut poser la question de la nature du commencement de l'Univers.

Aujourd'hui, du point de vue de la cosmologie, et si l'on reste dans le cadre du Big Bang non quantique, c'est-à-dire sans faire exploser le cadre avec le modèle de pré-Big Bang, l'éternité n'existe pas dans le passé, mais elle est possible dans le futur. Dans le passé, le Big Bang marque en quelque sorte le début du temps, c'est-à-dire un commencement, ce qui exclut logiquement l'éternité. Mais, en revanche, cette éternité serait envisageable dans le futur, notamment dans le cadre des modèles d'expansion perpétuelle, modèles attestés par les dernières données astronomiques. Il existerait donc une forme d'éternité, mais celle-ci concernerait un futur de l'Univers qui n'aurait jamais de fin.

Au départ, les solutions des équations d'Einstein appliquées à l'Univers, dans le cadre du modèle du Big Bang relativiste, prédisent deux destins possibles. Soit un Univers en expansion-contraction, appelé Big Crunch, où l'avenir de l'Univers est soumis à une expansion qui va progressivement cesser pour laisser place à une contraction, sous l'effet de la gravité. Dans ce schéma, il n'y a donc d'éternité ni dans le passé, ni dans le futur. Soit un Univers en expansion perpétuelle, avec un commencement (le Big Bang), mais où la fin serait absente, donc avec cette idée d'éternité dans le futur. Les dernières observations tranchent en faveur de cette seconde

alternative : un Univers en expansion perpétuelle et de surcroît qui s'accélère (c'est un détail qui a son importance pour la subsistance des structures matérielles).

Mais toute la difficulté est de penser que l'Univers ait pu avoir un commencement dans le temps, par là même une existence temporelle, et de postuler l'éternité dans son futur. Comment concevoir une éternité dans le futur sans postuler celle du passé ? Ou ce qui revient au même, comment penser d'une même entité physique qu'elle peut être à la fois temporelle et éternelle ? Face à cette difficulté, certains chercheurs postulent une forme d'éternité de l'Univers dans les deux sens, dans le passé et dans le futur, notamment en explorant des modèles possibles de pré-Big Bang où l'Univers aurait connu toute une histoire pouvant se prolonger indéfiniment dans le passé. Mais ces chercheurs, par manque d'outils (principalement mathématiques), se heurtent à la difficulté de décoder cette histoire. A l'inverse, d'autres chercheurs, plus à l'aise dans le fini que dans l'infini, essaient de développer des modèles, en rajoutant des hypothèses qui modifieraient le destin futur de l'Univers. Après une phase d'expansion accélérée, l'Univers pourrait se recontracter et récupérer la possibilité d'un Big Crunch dans le futur achevant ainsi l'Univers. C'est l'idée ici d'une finitude temporelle.

Ce sont deux options philosophiques que l'on peut traduire par des modèles qui autorisent les deux possibilités.

Interroger l'origine dans une réflexion sur la **séparation**, en se posant notamment cette question : « Pourquoi y a-t-il quelque chose plutôt que rien ? », présuppose cette autre notion vraiment fondamentale dans notre compréhension actuelle de l'Univers : le vide quantique.

Cette question sur le « rien » a été en effet totalement renouvelée dans le domaine de la physique fondamentale par la physique quantique. Dans la physique dite classique (Newton, Galilée, etc.), le néant correspond au vide. Le vide quantique est l'équivalent du vide classique, mais la description par la physique quantique de ce vide change notre compréhension. Si, par exemple, on fait complètement le vide dans une boîte en enlevant tout ce qu'elle contient jusqu'à la dernière particule, il restera encore quelque chose. Ce qui reste, ce « quelque chose » est de l'énergie, appelée « énergie du vide ». C'est le niveau minimum de l'énergie, mais ce niveau ne correspond pas à zéro. Si l'on retrouve ici l'idée classique que le vide correspond à l'état le plus naturel et le plus stable dans la mesure où le niveau d'énergie minimum correspond à l'état le plus stable d'un système physique, dans le cadre de la physique quantique, ce vide est habillé d'une énergie qui a été mise en évidence expérimentalement. Certaines manifestations de ce vide

quantique observé en laboratoire semblent régir non seulement le futur de l'Univers, mais également l'accélération de l'expansion perpétuelle. Cette accélération est dûment mesurée par des observations astronomiques et pourrait s'expliquer par une forme d'énergie qui, en quelque sorte, serait anti-gravitante, considérant effectivement que la gravitation aurait toujours tendance à freiner, à ralentir l'expansion. Autrement dit, à l'origine de cette accélération, on trouverait une forme d'énergie anti-gravitationnelle qui ferait exploser et dilater l'Univers en chacun de ses points. Cette énergie du vide dilatatrice, sorte de dynamite de l'espace, semble aujourd'hui dominer le futur de l'Univers. Dans les modèles les plus simples, cette énergie est constante au cours du temps tandis que la matière décroît continûment puisque l'Univers, en se dilatant, contribue à ce que la densité de matière, dans un volume donné, diminue. A partir du moment où l'énergie du vide commence à dominer l'énergie de la matière, sa domination devient exponentielle (une accélération qui s'accélère). Dans ce cas de figure, on se trouve en présence à la fois d'un Univers perpétuel, et d'une destruction rapide de toutes structures matérielles. C'est une éternité de l'espace et du temps, mais non des structures matérielles, appelée « Big Grip », théorie relativement récente qui décrit non pas la fin de l'Univers en soi, mais la fin de tout ce qui, pour nous, fait l'Univers, c'est-à-dire les structures matérielles (les étoiles, les planètes, les particules, les atomes, etc.). Avec le Big Grip, le grand « déchirement » surviendrait dans un temps compris entre vingt et cinquante milliards d'années, c'est-à-dire rapidement à l'échelle cosmologique. Aujourd'hui, la dilation du tissu de l'espace ne se perçoit et ne se mesure qu'à de très grandes échelles, à des milliards d'années-lumières. A de petites échelles, la gravité l'emporte encore mais, à mesure que cette expansion s'accélère, elle se manifestera à des échelles plus petites jusqu'à se manifester à l'échelle d'une galaxie et d'un système planétaire. La dilation de l'espace entraînera celle de ce système et, à ce niveau, les structures les plus petites, comme les atomes, seront déchirées par l'espace lui-même. Autrement dit, le Big Grip décrit la dissolution de toutes structures, y compris les particules et les atomes, en créant un Univers perpétuel, mais perpétuellement vide. Devant ce qui peut être interprété comme un non-sens pour notre intelligibilité, certains physiciens essaient de se sortir de l'impasse en disant que, si l'énergie du vide est constante dans une modélisation simple, en revanche, dans l'établissement de modèles dits de « quintessence », cette énergie varie au cours du temps et peut rediminuer dans le futur, auquel cas il est possible de sauver la situation et éviter le Big Grip, donc retrouver une situation cosmique plus satisfaisante, c'est-à-dire plus supportable pour l'esprit humain.

Non seulement ce vide quantique semble jouer un rôle prépondérant dans le futur de l'Univers, mais également dans la naissance possible de l'espace et du temps avec les fluctuations spontanées du vide quantique. Le vide quantique a en effet une énergie qui fluctue spontanément (principe d'incertitude, temps et énergie en physique quantique). Il est possible de calculer une fonction d'onde qui décrit l'évolution naturelle du vide quantique. Ce vide quantique a tendance à naturellement produire des fluctuations sur des échelles de temps extrêmement courtes et, à l'échelle du temps de Planck (10^{-35}), ces fluctuations d'énergie sont phénoménalement élevées et capables de produire un Univers à part entière avec un espace temps-matière. On retrouve ici le scénario du *multi-vers* ou du *pluri-vers* avec, à la base, cette forme d'éternité qu'est le vide quantique, où les fluctuations vont générer localement ce que l'on va appeler « espace » et « temps ».

Il faut souligner enfin que le vide joue un rôle extrêmement important, sinon fondamental, dans la tentative d'unification des quatre forces au sens où cette conception du vide est née de la physique quantique qui se trouve elle-même à l'origine de la théorie du « Tout ». Le vide pourrait donc servir de guide.

Séparation ontologique et lois de l'Univers

La démarche du physicien n'est pas de découvrir ou de dévoiler une éventuelle éternité ou infinité de l'Univers, mais de parier uniquement sur le fait qu'il existe des lois qui permettent d'avoir un discours rationnel sur l'Univers. Mais rien ne garantit que ces lois sont pérennes et elles-mêmes éternelles. En sachant que, si l'on doit parler d'un « commencement » de l'Univers, celui-ci correspond au commencement de son intelligibilité, c'est-à-dire au commencement de la possibilité d'une description rationnelle qui ne marque évidemment pas le vrai commencement. A l'heure actuelle, l'intelligibilité commence à 10^{-35} secondes.

On ne peut pas préjuger d'un éventuel Univers antérieur à ce « commencement » où les lois qui le gouverneraient n'auraient aucun rapport avec celles que nous connaissons aujourd'hui, et où aucun discours intelligible fondé sur ces lois ne pourrait être formulé. De ce point de vue, la révolution cosmologique newtonienne est exemplaire. Elle s'inscrit en effet dans la conception d'un espace infini et dans un temps éternel. Mais Newton, profondément croyant, pense que Dieu a eu toute liberté pour décider de créer l'Univers et faire en sorte que l'esprit humain soit capable de le penser. Il ne s'agit pas toutefois de penser la Création du monde, mais les lois qui le gouvernent, c'est-à-dire celles que Dieu aurait décidé de rendre intelligibles.

Il existe peut-être une autre façon d'envisager la question sans faire référence à Dieu ou à un Esprit supérieur. Le pari de la physique est de considérer un certain ordre de la nature que l'on serait éventuellement capable de décoder pour donner sens au monde, au moins partiellement. Le fait que cet ordre soit créé ou non par un ordre supérieur n'est pas la question. La physique fonctionne sur ce principe. Ce n'est d'abord que, parce qu'on présuppose qu'il existe certains principes de symétrie dans l'organisation du monde, certaines régularités le rendant intelligible, que nous avançons dans nos théories. Mais un philosophe comme F. Bacon, au XVII^e siècle, a pensé en profondeur le fait que l'esprit humain avait tendance à trouver plus de régularités dans l'Univers que ce qu'il en contenait en réalité, et ce que nous appelons « lois du monde » ne correspondrait peut-être qu'à l'écume d'un chaos totalement désorganisé. Le « vrai » Univers, chaotique et totalement inaccessible à notre entendement, ne pourrait fondamentalement obéir à aucune lois mais, du fait de la constitution très faible de notre entendement, nous serions capables de repérer illusoirement ce qui nous paraîtrait être des régularités et d'en tirer des lois. Il est vrai qu'il faut replacer Bacon dans le contexte des connaissances de son époque : il avait en tête le vieux modèle des Grecs où les symétries, les régularités appliquées au cosmos, étaient faites de combinaisons de cercles, d'épicycles, etc.

La démarche de la physique est modeste en ce qu'elle consiste à sauver les apparences. Au départ, il est présupposé que certaines lois physiques sont intrinsèquement valables. A quoi correspondent-elles ? Elles correspondent à quelques constantes fondamentales de la nature, comme la constante de la gravité, la vitesse de la lumière, la constante de Planck, etc. Une fois que ces constantes sont fixées, il semble que les lois perdurent dans toute l'histoire cosmique. Même si l'Univers se dilate perpétuellement en s'accélégrant, ces lois restent identiques. L'Univers obéit aux lois de départ qui, effectivement, ne changent pas. Dans le cas des modèles du Big Bang, on bute évidemment sur la singularité, c'est-à-dire sur la question de la création de l'espace, du temps, de la matière et, d'une certaine façon, des lois elles-mêmes. Dans le questionnement le plus contemporain, ces interrogations qui prennent de plus en plus d'importance avec la physique fondamentale sont omniprésentes. Ces lois se sont-elles vraiment fixées au tout début de l'Univers pour ne plus se modifier par la suite ou y a-t-il eu une phase « très première » au cours de laquelle ces lois se sont constituées de façon progressive ? A-t-il existé une phase dans l'Univers où la constante de la gravité n'était pas une constante, où celle de la vitesse de la lumière ne l'était pas également ? Autrement dit, les constantes de la physique sont-elles invariables dans le temps ? Quelques-unes des pistes suivies actuellement, comme la

théorie des (super)-cordes, impliquent une variation des constantes fondamentales de la physique. Ces variations ne se produisant qu'à de très hautes énergies, elles ne concernent donc pas le futur de l'Univers. Ces théories disent que, si aujourd'hui ces constantes ne varient pas, elles auraient pu néanmoins varier à l'état primitif de l'Univers. Et, si l'on arrive à faire varier ces constantes, la théorie du Big Bang peut être éliminée pour laisser place éventuellement à des modèles de pré-Big Bang.

Fondamentalement, on ne voit effectivement pas pourquoi ces constantes seraient fixées de manière définitive. Qu'est-ce qui nous permet de penser qu'elles ne se modifieraient plus ? Néanmoins, leur invariabilité représente la condition nécessaire pour exercer notre métier dans la mesure où la physique ne consiste pas seulement à expliquer ce qui est déjà connu, donc passé, mais consiste également à faire des prédictions sur le futur, à calculer l'évolution d'un système. Sans paramètres constants, les prédictions et les calculs deviennent en effet impossibles. Néanmoins, les observations astronomiques nous permettent de mesurer la valeur des constantes physiques dans le passé de l'Univers (comme notamment celles de la gravitation et de la vitesse de la lumière) avec des contraintes extrêmement fortes sur leurs variabilités. Ces contraintes nous révèlent une quasi constance de ces valeurs sur une échelle de temps de 13,7 milliards d'années. On sait, par exemple, qu'il y a dix milliards d'années, la constante gravitationnelle de Newton « G » était la même qu'aujourd'hui ; il en est de même pour la vitesse de la lumière. Rien n'a en réalité varié sur une période de temps qui recouvre l'histoire intelligible de l'Univers. Les valeurs sont rigoureusement identiques (aux précisions expérimentales près). Au pire, la vitesse de la lumière a varié d'un millionième sur quinze milliards d'années ! Cette variation ne signifie pas que la vitesse de la lumière a effectivement varié, car un tel changement serait considérable, mais que, si elle a varié, compte tenu des contraintes que fournissent les expériences, elle n'a pas pu le faire de plus d'un millionième. Mais rien n'indique à ce jour que la vitesse de la lumière ait réellement varié. L'hypothèse de sa constante est donc maintenue jusqu'à nouvel ordre.

Séparation et conception cosmologique

Dans l'histoire des idées concernant le rapport que l'homme a entretenu avec la connaissance de l'Univers, une **séparation** historique a eu lieu.

A partir de la conception moderne de l'Univers, l'homme se confronte de plus en plus à un sentiment d'abandon et de désillusion, là où le cosmos grec qui sous-tend l'idée de beauté et de perfection sert de modèle dans la conduite de la cité vers un bien commun. A observer l'histoire

des découvertes astronomiques, il est donc clair que la dimension éthique et la conception cosmologique entretiennent un rapport privilégié.

L'approche de la cosmologie moderne a-t-elle les moyens de proposer un modèle pour les sociétés occidentales désenchantées ? La recherche en astrophysique peut-elle conduire à créer du sens pour la vie de la cité ?

L'astrophysique, réduite à son domaine de recherches, s'est débarrassée de ces questions posées par les Grecs. Mais rien n'empêche de superposer à la recherche cette véritable réflexion sur le sens de l'existence. A partir de cette possibilité s'ensuit une question d'interprétations des données. On peut effectivement les faire « parler » en dehors de leur champ strict de connaissances objectives, selon tel ou tel penchant philosophique. Prenons l'exemple de l'astrophysique au XXe siècle : qu'apprend-elle à l'homme en particulier ? Elle lui apprend, au-delà de la simple information scientifique, vis-à-vis de sa condition d'être humain, comment fonctionnent les étoiles et quelle est la nature de leur « œuvre ». Quelle est cette œuvre ? L'homme sait aujourd'hui qu'il est une poussière d'étoile. Ce savoir n'est pas innocent. C'est une façon de retrouver avec l'astrophysique moderne, et dans une autre option philosophique, le rôle que pouvait jouer le cosmos pour les Grecs. Selon ce savoir, il est possible de dire que l'homme, mais finalement tout être vivant, du lapin à la bactérie en passant par l'extra-terrestre, est le produit naturel de l'évolution cosmique.

L'homme qui présente la spécificité d'être conscient de cette condition a une forme de responsabilité vis-à-vis de l'Univers. On peut être à la fois d'une extrême modestie dans l'astrophysique moderne car, depuis Copernic, une suite de désillusions arrache constamment l'homme du cœur de l'histoire cosmique en le ramenant à la périphérie, au grain de poussière, à cette chose banale qu'est sa galaxie dans l'Univers, etc. Mais, une autre interprétation le replace au cœur de cette histoire dans la mesure où les éléments dont il est formé viennent des étoiles qui ont explosé en supernovae il y a cinq milliards d'années en ensemençant la nébuleuse pré-solaire. L'homme porte finalement en lui toute l'histoire de l'Univers. Cette dimension n'est-elle pas plus grandiose que le petit cosmos fermé des Grecs centré sur la terre ? On peut certes se cantonner à répéter que l'homme n'est rien du tout, qu'il est né par le hasard des choses sur une planète tout ce qu'il y a de plus ordinaire, mais force est de reconnaître qu'il s'est produit un phénomène extraordinaire : le fait que cet être soit capable de recréer les conditions de son existence ! Le grandiose est ici : l'Univers a finalement produit des créatures équipées d'un système

d'entendement, d'intelligibilité capable de reconstituer une histoire qui devrait normalement les dépasser totalement et les écraser.

C'est le basculement de l'effroi pascalien devant l'éternité...