

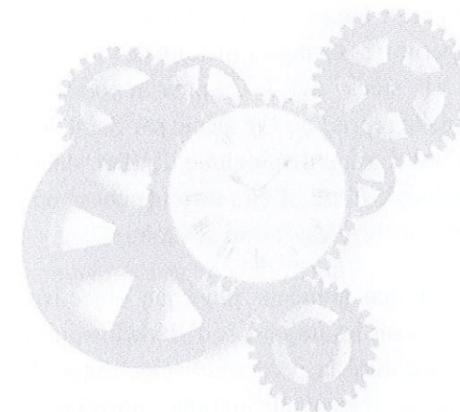
et sera éternellement – d'un point de vue logique ! Cette approche est séduisante mais quelle garantie avons-nous quant à la cohérence de cette logique ? Pour que l'univers puisse *être logiquement*, encore faut-il qu'il réponde à une logique ou bien que cette logique mène à un univers cohérent.

En synthèse, si l'on prend le mot origine au sens de transcendance, le temps, comme l'univers, requiert une cause première dont l'antériorité pose problème du fait de l'absence de temps avant que celui-ci apparaisse. En revanche, selon sa seconde acception, le temps peut se passer de cause et exister en soi, à condition que la logique qui régit l'univers (et qui mène à son apparition) soit auto-suffisante et cohérente.

Mais alors, quelle relation le Big Bang entretient-il avec l'origine de l'univers ? D'une manière générale, le Big Bang ne renverrait pas au commencement de quelque chose mais plutôt à un changement d'état de quelque chose de préexistant. C'est ce que semblent nous indiquer les tentatives de construction d'une théorie de la gravité quantique. Plusieurs modèles sont aujourd'hui proposés par les théoriciens mais tous décrivent le Big Bang comme un changement d'état de l'univers. Les modèles sur lesquels travaillent les cosmologues s'appuient essentiellement sur la théorie de la relativité générale et du modèle standard de la physique des particules. En parcourant à rebours l'histoire que racontent ces modèles, il arrive un moment où la densité de matière et d'énergie de l'univers dépasse le seuil de formation d'un trou noir. La relativité générale est donc, d'un point de vue physique et mathématique, incapable de parler du début de l'univers car celui-ci ne pourrait tout simplement pas avoir lieu. Il faut nécessairement introduire d'autres ingrédients dans nos modèles pour pouvoir faire sortir l'univers de sa singularité inévitable. Cet ingrédient s'appelle de façon générique la *gravité quantique*, à savoir une théorie qui permette de décrire la gravité dans le formalisme de la mécanique quantique.

La future théorie de la gravité quantique, en nous éclairant sur la nature de l'événement appelé Big Bang, nous dira ce qu'il en est du temps. Le temps a-t-il débuté avec le Big Bang ? Ou bien, le temps existe-t-il comme entité première ou est-il une grandeur émergente de processus élémentaires ? Dans l'état de nos connaissances, ces questions sont encore en suspens, sans réponses qui puissent s'inscrire dans le cadre d'une véritable théorie scientifique.

## Le temps de conclure



Ce survol des manifestations du temps a soulevé plus d'interrogations qu'il a apporté de réponses. Le temps reste une énigme cachée derrière un mur encore infranchissable par l'entendement humain. La science en a fait une entité opérationnelle sans parvenir à en cerner véritablement la nature. Elle l'a dépouillé, pour ce faire, de sa résonance ontologique pour n'en conserver que les caractéristiques mathématisables. Il est devenu un paramètre sans signification, un nombre dont on peut faire varier la valeur sans contenu physique. Quant à la philosophie, elle hésite depuis des siècles entre négation et fondement même de l'être. C'est dire qu'aucune proposition consensuelle ne se dégage.

### Le temps existe-t-il ?

Nous ne connaissons peut-être jamais la vraie nature du temps mais il est une chose que nous ne pouvons réfuter, à moins de se réfugier dans un solipsisme : nous existons, nous *sommes*, dans le temps. Cette conscience que nous avons du temps n'est-elle qu'une construction de notre cerveau ou reflète-t-elle une réalité tangible ? Au cœur de cette interrogation se trouve la question de l'existence

même du temps qui nous a accompagnés tout au long de ce livre : le temps existe-t-il comme une entité physique objective ou n'est-il qu'une illusion fabriquée par notre conscience ? Nous avons vu trois grandes doctrines s'opposer sur ce sujet.

*Le temps n'existe pas.* Il n'est qu'une illusion créée par notre conscience qui résulte de mécanismes neurologiques d'une grande complexité. Seul le présent – un présent éternel qui est le temps de notre conscience – est une réalité objective. Cette position est apparue très tôt dans l'histoire de l'humanité. D'abord formulée par Parménide au VI<sup>e</sup> siècle av. J.-C. pour répondre à des considérations métaphysiques, elle a été reprise au IV<sup>e</sup> siècle par Saint Augustin pour résoudre, cette fois, des questions d'ordre théologique. En fait, dans les deux cas il s'agit d'affirmer l'immutabilité de *l'être* ; l'être de toute chose pour Parménide et l'être du Tout pour Saint Augustin, c'est-à-dire selon lui, Dieu.

*Le temps existe.* C'est une grandeur physique objective qui accompagne le changement. Ebauchée dans les fragments d'Héraclite puis affirmée par Aristote, cette idée s'est imposée avec la révolution scientifique du XVII<sup>e</sup> siècle. Isaac Newton fit du temps un objet mathématique, universel. Cette conception du temps fut celle de la mécanique et de la physique jusqu'à une analyse critique menée par Ernst Mach, Henri Poincaré, Albert Einstein... à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle et au début du XX<sup>e</sup>. D'absolu et universel selon la vision newtonienne, il est devenu une grandeur relative à la position et au mouvement de l'observateur. Cette doctrine a engendré le modèle *d'univers-bloc* né de la relativité ; un univers où le temps possède le statut d'une dimension géométrique. Il s'ensuit que dans un tel univers, tous les instants sont déjà inscrits dans le temps sans distinction entre passé, présent et futur. Le temps est relégué au rôle d'un paramètre par lequel on étiquète les événements dans une suite ordonnée. Une extension du modèle *d'univers-bloc* – *l'univers-bloc en évolution* – tente toutefois de réhabiliter le passé. Dans un même temps, certains philosophes (Henri Bergson, par exemple) se sont élevés contre cette vision géométrique du temps en lui opposant un temps créateur d'avenir.

*Le temps est un phénomène physique.* Il n'existe pas à l'échelle des processus élémentaires mais émerge de ceux-ci à une échelle supérieure. Dans un tel modèle, le temps n'est plus appréhendé comme une dimension géométrique, ni même comme une grandeur primitive mais comme un phénomène responsable du changement engendré par la succession – non temporelle – des états. La théorie la plus aboutie allant dans ce sens est celle du *temps thermique* proposée par Alain Connes et Carlo Rovelli. A l'échelle microscopique, les processus

physiques se réalisent sans temporalité. A notre échelle, du fait de notre incapacité à acquérir une connaissance totale des phénomènes en cours, nous en avons une perception qui est en quelque sorte une moyenne (à comparer avec les grandeurs thermodynamiques comme la température ou l'entropie, d'où le qualificatif de *thermique*). Cela induit un ordre séquentiel entre les événements ainsi qu'une sorte d'entraînement de l'évolution des systèmes.

## Le passage du temps

Si l'on se place dans l'hypothèse que le temps existe, alors quel statut attribuer aux différents *moments* du temps, à savoir, le passé, le présent et le futur ? C'est par le *passage du temps* que ces *moments* acquièrent une signification. Sur ce point, nous avons rencontré deux approches distinctes.

*Le passage du temps est une illusion créée par notre conscience.* C'est la position des partisans de la théorie de l'univers-bloc. Tous les instants jouissant du même statut dans ce modèle, la théorie ne parvient pas à rendre compte du glissement du futur au présent et vers le passé. Le présent se distingue des autres moments du temps par le fait qu'il est le temps de notre conscience. Pour les partisans de la théorie de l'univers-bloc, le présent est donc une construction de notre conscience qui n'a aucune réalité objective et aucune signification physique particulière. Il s'ensuit que les autres moments du temps perdent à leur tour toute signification physique. Le temps ne passe donc pas ; il n'est qu'un paramètre, une étiquette qui permet de distinguer les divers états des systèmes au cours de leur évolution. Dans une telle vision, le futur est parfaitement déterminé. Tout est déjà là. Le temps n'est pas créateur, pas plus qu'il est dynamique. C'est notre conscience qui déroule la succession des états à la manière d'un projecteur de cinéma qui fait apparaître les images successives imprimées sur un film. Cette approche du temps s'appuie sur une vision déterministe des lois qui gouvernent l'évolution de l'univers. Mais le déterminisme est une vision de l'esprit qui ne peut être atteinte pour une multitude de raisons : l'incommensurable quantité d'information requise pour connaître l'état de l'univers à un instant donné, l'impossibilité de définir un instant commun à l'ensemble de l'univers selon la relativité, l'indéterminisme inhérent aux phénomènes quantiques...

*Le passage du temps est une réalité objective.* Le temps passe, dévoilant à chaque instant un nouvel état de l'univers. Quelque chose de nouveau est créé à chaque instant, qui n'existait pas un instant plus tôt. Le présent s'interprète alors comme

la frontière du devenir à l'être du nouvel état de l'univers. Ce qui vient après n'existe pas encore mais est engendré par l'état présent. Le passé n'existe plus car cet état a disparu. Le passage du temps est la manifestation permanente et concrète – la concrétisation, pourrait-on dire – de la création de nouveaux états. Cette vision du temps s'accorde bien avec l'indéterminisme quantique qui nous empêche de prédire avec certitude ce que sera l'état de l'univers à l'instant suivant. Cet état semble effectivement émerger des conditions du présent.

### La flèche du temps

Face à toutes ces théories et à tous ces points de vue qui s'opposent à propos du temps, quelles certitudes nous restent-ils encore ? L'ordre du temps, le séquençement des événements dans une direction unique nous apparaît comme une manifestation solide du temps. Mais rien n'est finalement moins sûr. Encore une fois, les opinions à ce sujet divergent. Elles se classent, en gros, en trois catégories.

*La flèche du temps est une réalité physique objective.* Cette position s'appuie sur quelques phénomènes qui semblent effectivement nous indiquer une direction unique du temps. On peut en citer cinq : la propagation des ondes électromagnétiques qui ne s'effectue qu'en direction du futur, la violation de la symétrie  $CP$  par la désintégration du  $K^0$  qui laisse supposer que la symétrie temporelle (symétrie  $T$ ) serait elle aussi non respectée, le caractère asymétrique par rapport au temps de la réduction de la fonction d'onde en mécanique quantique, l'asymétrie par rapport au temps des relations de causalité et enfin l'expansion de l'univers qui montre une direction privilégiée du passage du temps.

*La flèche du temps n'existe pas à l'échelle des processus élémentaires. La flèche du temps émerge d'une perte d'information.* La quasi-totalité des lois de la nature sont symétriques par rapport au temps, c'est-à-dire qu'elles restent valides quelle que soit la direction du temps. Pourtant, les phénomènes de la nature sont pour la plupart irréversibles, ce qui semble nous indiquer, au contraire, une direction privilégiée du temps. Face à cette flagrante contradiction, la physique a cherché à expliquer comment des processus réversibles pouvaient donner naissance à des phénomènes irréversibles. Selon Ludwig Boltzmann, l'irréversibilité vient de la tendance de tout système à occuper l'état le plus probable, à savoir celui qui compte le plus de micro-configurations. Le nombre de micro-configurations (le

logarithme de ce nombre, dans les faits) porte le nom *d'entropie*. Tout système tend donc inévitablement vers l'état comptant le plus de micro-configurations, état que l'on appelle l'équilibre thermodynamique. Cette loi générale porte le nom de *second principe de la thermodynamique*. Il stipule que l'entropie de tout système fermé ne peut qu'augmenter avec le temps. Aujourd'hui, ce principe est formulé un peu différemment. On définit l'entropie d'un système, non plus comme le nombre de ses micro-configurations mais comme la quantité d'information que nous possédons sur lui. L'augmentation de l'entropie résulterait de notre connaissance imparfaite de l'état du système.

*La flèche du temps n'existe pas. Les deux directions du temps se réalisent.* Ce point de vue est défendu, entre autres, par Julian Barbour. Il est appuyé par l'analyse critique du concept de flèche du temps par le philosophe des sciences Huw Price. Partant de la symétrie par rapport au temps des lois physiques, Barbour propose un modèle où l'évolution de l'ensemble de l'univers peut suivre indifféremment une direction ou l'autre du temps. En fait, il suivrait les deux directions mais nous nous trouverions dans l'une des deux branches. En invoquant un principe très similaire tout en étant plus général que le second principe de la thermodynamique, il parvient à montrer que chaque *branche temporelle* de l'univers évolue en revanche dans une seule direction : vers un état toujours plus complexe.

★

Le temps est un concept flou que l'on pourrait qualifier de polysémique tant il revêt de natures différentes selon le contexte dans lequel on y fait référence. Ainsi, parle-t-on d'un temps de la conscience, d'un temps physique, d'un temps mathématique, d'un temps psychologique, d'un temps de l'histoire, d'un temps cosmologique... Est-ce à dire qu'il existe plusieurs formes de temps ?

En fait, je pense qu'il faudrait poser la question différemment, s'interroger sur ce que l'on désigne quand on parle de temps. La bonne question serait plutôt : nous référons-nous toujours au même concept quand nous évoquons le temps ? Ainsi, le temps dont nous avons conscience fait appel à des mécanismes neurologiques complexes qui construisent – le mot n'est pas trop fort – une sensation de durée. Cette durée est-elle une réalité physique ? Nous pouvons la rapporter au temps affiché par une montre, mesure que nous considérons comme objective et invariante, mais rien ne nous garantit qu'elle ne varie pas d'un jour à l'autre ! Quant à son objectivité, la relativité l'a sérieusement remise en question !

Pour autant, nous pouvons affirmer que notre conscience du temps est bien la conscience de quelque chose qui se déroule. Les durées indiquées par nos montres sont bien les mesures de quelque chose qui est passé. Le temps mis par une source radioactive pour perdre la moitié de son intensité révèle bien la réalisation de processus au cours de quelque chose. Mais s'agit-il, au final, de la même chose ? Rien n'est moins sûr. Dans chacune de ces situations, ce que nous appelons *temps* se rapporte à des phénomènes de natures très différentes. Dans le cas de la conscience, le *temps* est un rapport entre une succession de stimuli et d'états de conscience. Dans le cas de la montre, le *temps* est un rapport entre des phénomènes mécaniques qui pourrait embrasser l'univers tout entier (c'est la vision machienne). Dans le cas de la radioactivité, le *temps* est un rapport statistique entre des désintégrations aléatoires. Ces trois *temps* ne sont manifestement pas, d'un point de vue épistémologique, la même entité physique. Comment pouvons-nous alors les associer dans un seul et même concept que nous appelons génériquement TEMPS ?

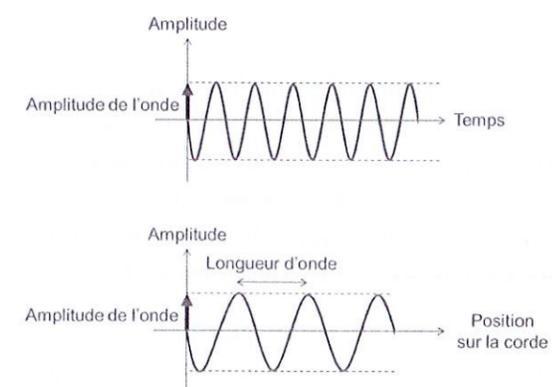
Finalement, après plus de deux mille cinq ans de débats, d'études, d'analyses, nous faisons face aux mêmes questions que les premiers philosophes grecs à propos du temps. Cependant, la science a accompli d'immenses progrès depuis ces temps reculés. Après avoir traité le temps comme un simple objet mathématique pour des raisons de commodité, elle se penche à présent sur sa nature intime. Elle le fait par nécessité car les représentations « classiques » du temps (mécanique classique et théories de la relativité) posent de vraies difficultés théoriques et épistémologiques. Des théories originales ont vu le jour ces dernières décennies qui tendent à éliminer le temps à l'échelle des processus élémentaires pour tenir compte, entre autres, de l'indéterminisme quantique. Les développements de la gravitation quantique vont très certainement révolutionner très profondément notre conception du temps comme ont pu le faire les théories de la relativité du début du XX<sup>e</sup> siècle. Le XXI<sup>e</sup> siècle sera le siècle du temps !

## Compléments

### C1. Les ondes

Une onde est une perturbation d'un milieu qui se propage de loin en loin. Prenons l'exemple des ronds qui se dessinent à la surface d'un lac lorsque l'on y jette une pierre. La chute de la pierre provoque une perturbation à la surface de l'eau, en fait un étirement de la surface. Du fait de l'élasticité de l'eau, des forces de rappel vont ramener la surface à sa position d'équilibre mais l'étirement va se propager en cercles concentriques sur la surface de l'eau. Au cœur des phénomènes ondulatoires on trouve toujours une force de rappel qui assure la propagation de la perturbation initiale. Ce point est essentiel : sans force de rappel, pas d'onde !

Considérons une onde se déplaçant le long d'une corde. L'amplitude de cette onde varie d'un point à un autre sur la corde et d'un instant à un autre : elle dépend de la position et du temps. Plaçons-nous en un point quelconque situé sur la corde. Si l'on observe ce point, on constate qu'il est animé d'un mouvement oscillatoire vertical comme représenté sur la figure qui suit (figure du haut). La corde dessine une ondulation parfaitement régulière que l'on appelle une sinusoïde.



**Onde se propageant le long d'une corde.** En haut : oscillations observées au cours du temps en un point donné. En bas : oscillations observées à un instant donné en fonction de la position (photographie de la corde).