

Stephen Hawking

et le sens du temps

Le temps pose problème en relativité générale : d'une part il perd sa signification à l'approche de singularités comme le big-bang, et d'autre part rien n'y distingue le passé de l'avenir. Ces deux difficultés disparaissent peut-être dans une cosmologie quantique proposée par Stephen Hawking.

1 - Le temps singulier

Le temps est une notion subtile. Nous avons une conscience intuitive du temps qui passe, souvent comparé à un fleuve qui s'écoule et marqué par les changements du monde qui nous entoure. La physique rationalise cette image, et fait du temps un cadre de référence par rapport auquel on repère ces changements, un calendrier. Mais, selon la relativité générale, le temps n'est pas une simple arène où se déroulent des événements : le temps (comme l'espace d'ailleurs) est déformé par la matière et l'énergie qui s'y trouvent et n'existe pas indépendamment d'elles. La possibilité est alors ouverte que le temps ait été créé, au moment du big-bang, et ait une fin si l'univers se recontracte "à la fin des temps".

Stephen Hawking s'est longtemps demandé ce qui se passait exactement dans ces situations extrêmes, où le temps perd son sens. Toutes les quantités physiques deviennent alors infinies ou nulles, et les équations sont inutilisables. On appelle de telles situations des singularités, et Hawking a consacré toute la première partie de sa carrière à démontrer qu'une telle singularité était inévitable au moment du big-bang, ainsi qu'au centre des trous noirs.

Il est assez ironique qu'il consacre désormais ses efforts à démontrer qu'en réalité ces singularités n'existent pas. Il est probable en effet qu'elles se trouvent dans les équations et non dans la réalité physique. Autrement dit, la rupture entraînée dans la description des événements par la présence d'une singularité indique simplement que la relativité générale cesse d'être applicable dans des conditions extrêmes de la matière. On s'en doutait d'ailleurs, car la mécanique quantique ne peut être négligée dans ces circonstances, et Hawking cherche maintenant à fusionner mécanique quantique et relativité générale. Une telle fusion est très difficile à réaliser, et pour le moment seuls des modèles simplifiés de relativité générale quantique ont pu être construits. Il est encore trop tôt pour dire de façon certaine ce qui se passe, mais il semble que (dans ces modèles) le moment du big-bang soit un point "normal", pas plus singulier que le pôle nord sur la Terre dont la longitude n'est pas définie mais qui

n'a rien de bizarre quand on s'y trouve. Le temps et l'espace seraient alors des quantités ayant une signification bien définie en toutes circonstances.

2 - Quatre flèches du temps

Mais un autre aspect du temps intéresse Hawking. La relativité générale ne fait aucune distinction entre passé et futur, qui ne sont pour elle qu'illusion : l'état de l'univers à un instant donné détermine son évolution ultérieure et permet de reconstituer son passé, qui n'ont donc aucune existence propre. Et pourtant, il est évident à nos yeux que le temps s'écoule *irréversiblement* du passé vers le futur. Depuis longtemps, Stephen Hawking se demande ce qui détermine la direction du temps.

Il est courant de définir quatre façons différentes de distinguer le passé du futur, quatre "flèches du temps". D'abord, nous nous souvenons du passé, non du futur, ce qui nous donne le sentiment d'un temps qui passe au fur et à mesure que nos souvenirs augmentent. Ensuite, l'évolution thermodynamique spontanée d'un système physique s'accompagne toujours d'un accroissement irréversible du désordre à l'intérieur de ce système* . Troisièmement, les ondes s'éloignent toujours de leur source, qu'il s'agisse des ondes provoquées par la chute d'un caillou dans une flaque d'eau ou des ondes électromagnétiques rayonnées par une antenne. On ne les voit jamais venir de l'infini et converger en un point, bien que rien dans les équations ne l'interdise. Enfin, l'univers n'est pas statique, mais évolue avec le temps. Il est en expansion, les distances entre galaxies augmentent régulièrement (à quelques exceptions près), la température moyenne diminue ainsi que la densité moyenne. Il est remarquable que ces quatre flèches pointent toutes dans la même direction, mais pourquoi ? Nos processus mentaux sont sans doute d'origine physique et biologique, d'où l'accord entre les deux premières flèches. Ne retenir que les solutions divergentes des équations d'onde équivaut à ne considérer que des systèmes physiques où le

* Comment des lois qui, au niveau fondamental, sont réversibles conduisent à une évolution irréversible est un problème non résolu malgré plus d'un siècle d'efforts : certains pensent qu'il faut inclure l'irréversibilité dans les lois fondamentales, d'autres pensent que l'irréversibilité n'est qu'une conséquence des approximations faites, et donc une simple illusion due à l'imperfection de nos moyens d'observation. En pratique, bien sûr, nous n'avons qu'une connaissance imparfaite d'un système physique, et nos possibilités de calculer son évolution passée ou future sont limitées (les prévisions météorologiques en fournissent une bonne illustration).

désordre augmente. Mais peut-il exister un lien entre évolution de l'univers et augmentation spontanée du désordre ?

Hawking pense que oui, en s'appuyant sur les modèles de relativité générale quantique qu'il a pu élaborer avec ses collaborateurs. Si tout système physique évolue spontanément de l'ordre vers le désordre, cela doit aussi être le cas de l'univers tout entier. Donc l'univers devait être particulièrement ordonné au sortir du big-bang. En ce cas, le désordre augmente avec le temps à l'échelle du cosmos, et cela fixe l'évolution thermodynamique pour tous ses constituants. Mais pourquoi l'univers a-t-il commencé dans un état ordonné ? Il n'est pas très satisfaisant d'imposer "à la main" cet ordre initial dans un modèle cosmologique, mais les modèles d'univers quantiques de Hawking ont la particularité de ne pas avoir de bords (tout comme la Terre n'a pas de bord), et c'est d'ailleurs pour cela qu'ils n'ont pas de singularité. Cette absence de bords implique qu'il n'y a pas de point particulier où imposer une condition initiale : comme le dit Hawking, "La condition initiale est qu'il n'y a pas de condition initiale". Il montre alors que l'univers commence naturellement son évolution dans un état aussi homogène, uniforme et ordonné que le permet la mécanique quantique, et évolue vers un état de plus en plus désordonné, *définissant* ainsi la flèche thermodynamique du temps *. L'explication est élégante, mais il est difficile de savoir si ce résultat est général, ou seulement particulier aux modèles étudiés jusqu'ici. N'oublions pas qu'il ne s'agit encore que de modèles simplifiés (quoique très difficiles à étudier) et que la théorie continue d'évoluer.

* Hawking pensa un moment qu'un univers en contraction retournerait nécessairement vers un état ordonné, et que la flèche thermodynamique (et psychologique) du temps serait alors inversée. Mais il changea d'avis quand des modèles d'univers quantiques furent découverts où le désordre continuait à croître pendant la phase de contraction.