

observation ne pouvait indiquer que ce temps n'en était pas vraiment un. Mais les progrès des mesures physiques et le changement d'échelle des systèmes étudiés rendent cette approximation intenable.

Les durées de vie propres des particules voyageant à des vitesses proches de celle de la lumière dans les accélérateurs ou dans le rayonnement cosmique sont par exemple beaucoup plus courtes que les durées que nous observons. Dans l'environnement terrestre proche, les horloges atomiques les plus précises, séparées

ment « mon réveil indique sept heures ». On peut ensuite corréler les indications du réveil à celles d'une horloge atomique, à la rotation de la Terre ou à tout autre système physique. Aucune référence au temps n'est nécessaire dans ces corrélations. Cette reformulation « relationnelle », qui rejette l'usage du temps, évite toute ambiguïté. Elle s'accorde avec les notions de durées propres, personnelles à chaque observateur et valables uniquement dans son environnement. Mais déjà, elle suggère que la notion de temps n'est pas aussi fondamentale qu'il pourrait sembler.

À un niveau plus fondamental, selon la théorie de la relativité, la durée propre d'un processus physique découle de certaines propriétés de l'espace-temps ; et plus précisément de ce qu'on appelle sa métrique, c'est-à-dire la façon dont les distances sont définies dans l'espace-temps. Autrement dit, la durée propre qu'un système physique perçoit, et peut mesurer, peut être vue comme le résultat d'une interaction avec la métrique de l'espace-temps dans lequel il évolue.

IL Y A TOUTES LES RAISONS DE PENSER

que la disparition du temps est fondamentale et doit être prise en compte dans une approche plus large de la physique.

de quelques mètres seulement, n'indiquent pas le même temps ! Le temps propre d'un cosmonaute ou d'un satellite en orbite autour de la Terre est différent du nôtre (le cosmonaute « vieillit moins vite »).

Mais tant que l'on ne s'éloigne pas trop de la Terre, on peut encore considérer le temps des objets en orbite comme une petite déviation de notre temps propre. Des « corrections relativistes » sont ainsi indispensables au système GPS de géolocalisation, qui ne fonctionnerait pas dans un cadre purement newtonien.

La relativité impose donc la disparition de la notion de temps. Cela étant, de nombreuses raisons nous laissent penser que la physique actuelle n'est pas aboutie et qu'il doit exister une théorie plus fondamentale intégrant la relativité et la physique quantique. Les physiciens se heurtent cependant à une difficulté de taille pour construire cette théorie de la « gravitation quantique » : la physique quantique est construite sur la notion de temps universel, dont la relativité générale nie l'existence.

Il existe néanmoins une reformulation de la physique quantique qui élimine la notion de temps ; c'est une voie prometteuse (voir l'article de Carlo Rovelli). L'idée est de considérer les mesures temporelles d'un événement non pas comme une référence à un temps, mais comme la comparaison avec un autre processus, considéré comme une horloge. Par exemple, se lever à sept heures en regardant son réveil revient à constater une corrélation entre l'événement « se lever » et l'évène-

Vers la disparition de la métrique

Ce dernier bastion à caractère temporel pourrait lui aussi être remis en question. En effet, les approches de gravité quantique évoquées – « gravité quantique à boucles », « écumes de spin » et autres théories apparentées – impliquent non seulement l'absence de temps, mais aussi de toute structure d'espace-temps préalable, ou au moins d'une métrique. La métrique n'est pas considérée comme existant *a priori*, mais comme une conséquence attendue de la théorie. On parle de *background independence*, qu'on pourrait traduire par « indépendance par rapport au cadre ». L'absence de métrique entraîne celles des durées propres qui en découlent, ainsi que de la causalité. La disparition du temps est une chose, bien établie aujourd'hui, mais celle de ces notions plus fondamentales en est une autre...

Toutes ces réflexions sont loin d'être achevées et font l'objet de recherches actives. Mais il est incontestable que la relativité a définitivement condamné la plupart des propriétés du temps et des notions qui s'y rapportent. Il y a toutes les raisons de penser que cette disparition est fondamentale, et doit être prise en compte dans une approche plus large de la physique. ■

✓ BIBLIOGRAPHIE

M. Lachièze-Rey,
Au-delà de l'espace et du temps :
La nouvelle physique,
Le Pommier, 2003.

S. Bergia, Einstein, le père
du temps moderne, Les Génies
de la Science, n° 11, 2002.

S'affranchir du temps

Carlo Rovelli

La notion de temps pose certaines difficultés à la physique moderne. Une issue à ce problème consiste à se passer de structure temporelle dans les théories fondamentales. Des physiciens ont montré que c'est possible.

La notion intuitive de temps nous paraît simple. En réalité, elle a de nombreuses caractéristiques qui la rendent complexe et structurée. Premièrement, le temps a une structure linéaire : il est comme une droite dont chaque point représente un instant. Deuxièmement, cette droite est orientée, le passé étant différent du futur. Troisièmement, cette droite contient un instant très particulier, le « présent », qui sépare le passé du futur et qui, en un sens, est le seul qui soit réel. Quatrièmement, le temps est mesurable, par exemple en jours et heures. Cinquièmement, le temps est universel, le même pour tous. Enfin, le temps passe même quand rien ne bouge : il a sa propre réalité, indépendante de la complexité des événements qui se succèdent. On peut donner de toutes ces propriétés une image un peu naïve en considérant le temps de l'Univers comme le battement imposé par une Grande horloge cosmique.

Mais les progrès de la science montrent que le monde est souvent bien différent de ce qu'il nous paraît. Des notions « évidentes » comme le caractère plat et l'immobi-

L'ESSENTIEL

✓ Il est possible de formuler la mécanique newtonienne, la mécanique quantique et la relativité générale sans utiliser de paramètre temporel.

✓ Cela résout certains problèmes conceptuels posés par le temps. Mais il faut alors expliquer d'où provient notre intuition du temps.

✓ Une réponse possible est donnée par le « temps thermique », un sens d'évolution associé aux systèmes macroscopiques dont l'état microscopique est décrit de façon probabiliste.

© Shutterstock/FreemoveProduction, Pour la Science