

L'AUTEUR



Carlo ROVELLI est professeur à l'Université de la Méditerranée et travaille au Centre de physique théorique de Luminy (CNRS), près de Marseille.

revoir notre notion de temps pour construire un schéma conceptuel cohérent.

La physique quantique et la relativité générale, prises ensemble, indiquent que pratiquement tous les aspects de la notion naïve de temps ne sont que des propriétés locales et partielles de la temporalité, qui dépendent des limites de nos sens et des particularités de notre expérience.

Comment est-on parvenu à cette conclusion ? Oublions un instant la mécanique quantique. Le succès de la théorie de la relativité nous a appris que le temps est indissociable d'un continuum nommé espace-temps, et que cet espace-temps est une entité dynamique, qui bouge : c'est comme un immense mollusque mobile au sein duquel nous sommes immergés, pour

nous mesurons en réalité n'est jamais le temps, mais toujours quelque variable physique qui change « avec le temps ». Par exemple, nous mesurons le « temps » en observant la position des aiguilles de notre montre ; mais pourquoi ces aiguilles nous donnent-elles le « vrai temps » ? Parce que leur lecture est la même que celle de l'horloge de la mairie ou de l'horloge diffusée sur le Web. Mais ces horloges nous indiquent-elles le « vrai temps » ?

La réponse à ces questions apparemment sans fin a été donnée par Newton dans une très belle page de sa grande œuvre, les *Principia*. En effet, notait Newton, nous ne mesurons jamais le temps t . Nous ne faisons qu'observer des grandeurs physiques A, B, C , etc. et constater qu'elles prennent à chaque fois des valeurs différentes. Les quantités observables nous apparaissent changer continuellement. Il est fort utile, remarquait Newton, de postuler l'existence d'une variable physique t qui n'est pas observable, mais qui serait comme l'occulte chef d'orchestre qui mène le ballet des grandeurs observables. Quand le paramètre t change, les variables physiques changent et leur modification est décrite par des fonctions $A(t), B(t), C(t)$, etc.

Toute la physique, proposait Newton, peut être exprimée en termes d'équations qui régissent ces fonctions de t . Nous n'observons jamais ces fonctions, parce que ce n'est pas la variable t que nous observons, mais seulement les quantités A, B, C , etc. et leur ballet. Autrement dit, nous observons comment A change avec B, C , etc., B avec A, C etc., C avec A, B , etc., et ainsi de suite. En d'autres termes, expérimentalement, nous n'avons accès qu'aux fonctions $A(B, C, \dots), B(A, C, \dots), C(A, B, \dots)$, etc. Mais d'un point de vue théorique, il se révèle plus facile d'accéder aux relations entre les grandeurs observables en déterminant les fonctions $A(t), B(t), C(t)$, etc. : il suffira alors d'exprimer t en fonction de l'une de ces grandeurs et ainsi de retrouver les relations entre A, B, C , etc.

Cette démarche un peu saugrenue, qui consiste à faire appel à un paramètre temporel t sous-jacent et inobservable, est à la base de la physique newtonienne et de ses avatars. Elle fonctionne très bien... jusqu'à ce qu'on essaie de construire une théorie quantique de la gravité. Le schéma newtonien du temps montre déjà ses limites en relativité générale, puisque par exemple les temps de systèmes différents ne sont généralement pas les mêmes (voir l'article

« LA MEILLEURE OPTION EST D'ABANDONNER la notion de temps tout entière, un peu comme nous avons abandonné la notion de couleur pour décrire la matière au niveau atomique. »

utiliser une métaphore chère à Einstein. Cette étape réduit déjà le temps à quelque chose de très différent de la notion intuitive que l'on en a. Maintenant, si nous prenons en compte la mécanique quantique, cette dernière révèle que toute entité dynamique, par exemple le champ électromagnétique, est en réalité bien plus complexe qu'un continuum mobile : ses manifestations peuvent seulement être décrites en termes de lois de probabilités. Il s'ensuit que le temps, qui n'était déjà plus universel comme l'a montré la relativité, n'est plus orienté et perd même sa structure linéaire...

Je suis ainsi convaincu que, pour conceptualiser la temporalité, le devenir et l'évolution d'une façon qui soit compatible tant avec la mécanique quantique qu'avec la relativité générale, c'est-à-dire qui puisse fonder une théorie quantique de la gravitation, la meilleure option est d'abandonner la notion de temps tout entière, un peu comme nous avons abandonné la notion de couleur pour décrire la matière au niveau atomique, ou comme nous avons abandonné le caractère absolu de la simultanéité dans la théorie de la relativité restreinte.

S'affranchir entièrement de la notion de temps est une option moins radicale qu'il n'y paraît. Tout bien réfléchi, le temps n'est pas si essentiel en physique. Ce que

✓ BIBLIOGRAPHIE

C. Rovelli, *Qu'est-ce que le temps ? Qu'est-ce que l'espace ?*, Bernard Gilson Éditeur, 2006.

C. Rovelli, *Quantum Gravity*, Cambridge University Press, 2004.

✓ SUR LE WEB

C. Rovelli et M. Smerlak, *Thermal time and the Tolman-Ehrenfest effect : temperature as the « speed of time »*, 2010, disponible sur : <http://fr.arxiv.org/abs/1005.2985>

C. Rovelli, *Forget time*, 2008, essai disponible sur : http://www.fqxi.org/data/essay-contest-files/Rovelli_Time.pdf

C. Rovelli, *Gravité quantique : quand le temps et l'espace n'existent plus*, conférence donnée le 19 mars 2005, disponible sur : http://www.cite-sciences.fr/francais/ala_cite/college/04-05/conferences/01-05-einstein/03-rovelli/index.htm

de Marc Lachièze-Rey). Et quand, en plus, on tient compte de la mécanique quantique, où un même système physique peut être dans une superposition d'états différents, donc où plusieurs temps peuvent se superposer, c'est toute la conception newtonienne du temps qui s'effondre. Les variables physiques ne dansent plus au rythme unique d'une seule variable t , elles dansent de façon beaucoup plus sauvage.

Comment résoudre la difficulté ? La solution est simple dans son principe : en écrivant des équations pour les fonctions $A(B, C, \dots)$, $B(A, C, \dots)$, $C(A, B, \dots)$, etc. qui décrivent directement l'évolution des variables physiques les unes par rapport aux autres, au lieu de passer par l'hypothèse newtonienne de l'existence d'une unique variable t menant la danse. Au niveau de la gravité quantique, c'est-à-dire dans l'infiniment petit, au cœur des trous noirs ou dans un état de l'Univers proche du Big Bang, la nature ne ressemble pas à un défilé bien ordonné mené à la baguette par une variable t .

Une variable t absente

En fait, la possibilité de ne pas introduire une variable privilégiée t et de ne décrire que l'évolution relative des variables a toujours été présente. Comme je l'ai montré à partir des années 1970, on peut reformuler toute la mécanique newtonienne sans jamais utiliser de variable t ! C'est une possibilité dans le cadre limité de la physique newtonienne. Mais cela devient une nécessité dans le cadre bien plus large de la théorie quantique de la gravité : dans les équations de cette dernière, la variable t ne figure pas.

Historiquement, les choses se sont passées un peu dans le sens inverse. D'abord, une équation pour la gravité quantique a été obtenue à la fin des années 1960 par les Américains Bryce DeWitt et John Wheeler, qui ont appliqué les règles formelles de la mécanique quantique à la relativité générale. Le résultat était surprenant, car le temps t était absent de cette équation.

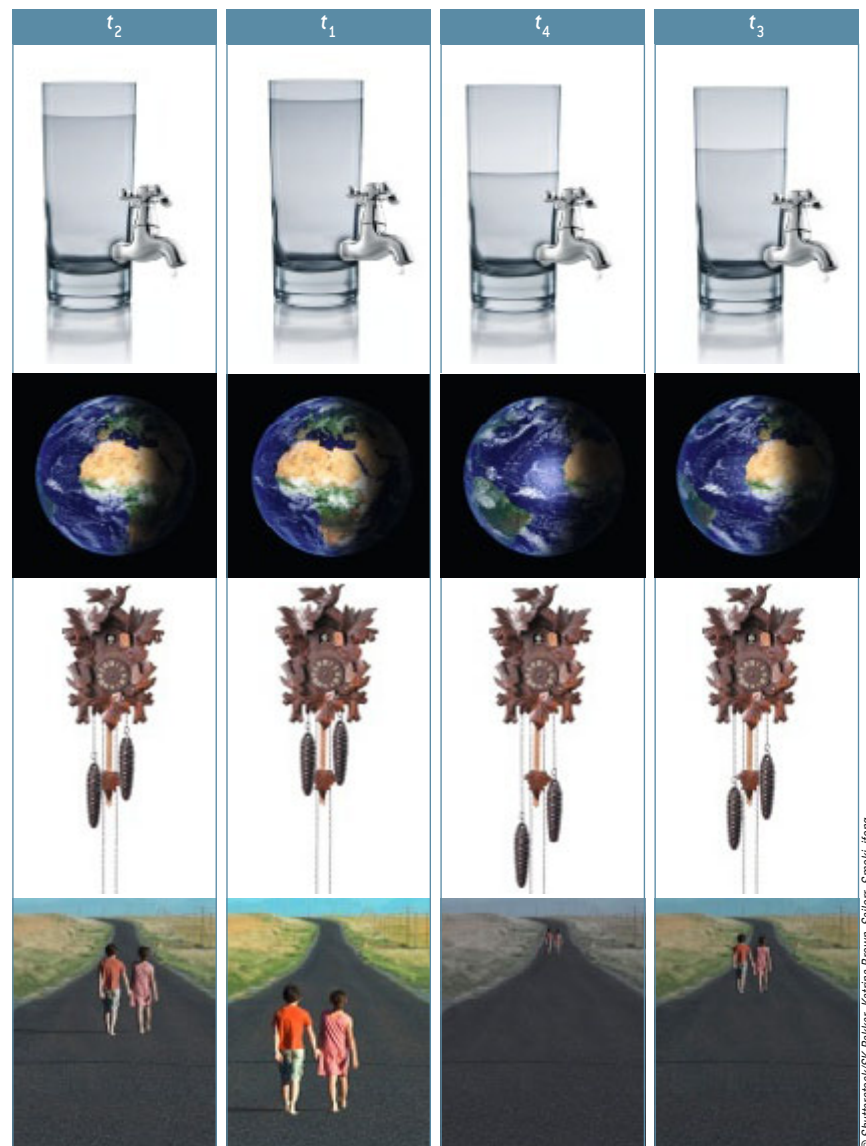
Petit à petit, nous avons fini par comprendre la signification physique de cette absence de la variable t : le postulat newtonien de l'existence d'une variable inobservable nommée « temps » n'est ni nécessaire ni possible quand on tient compte à la fois de la mécanique quantique et de la relativité générale. Et de fait, des formulations atemporelles de la méca-

nique quantique et de la relativité générale ont pu être élaborées au cours des deux dernières décennies. Aideront-elles les théoriciens à trouver une façon satisfaisante de marier ces deux édifices, c'est-à-dire à trouver une théorie quantique satisfaisante de la gravité ? Je l'espère.

Finalement, que signifie tout cela ? L'explication la plus directe est que l'idée d'un temps indépendant des événements qui s'y déroulent est fausse. Le temps, en soi, n'existe pas, il n'est qu'une tentative que nous avons faite pour mettre de l'ordre dans le ballet complexe du réel. Comme

les couleurs, le temps n'existe que dans certains contextes, et il émerge de notre propre perspective, particulière et limitée, sur la réalité. Pour comprendre le monde dans un contexte plus vaste que celui de notre petit jardin, il faut oublier le temps.

Cependant, pour prendre au sérieux cette image d'un monde dépourvu de temps, un pas conceptuel reste à franchir. Si, au niveau fondamental, le monde peut être décrit sans référence à une notion de temps, en quoi consiste ce flux continu que nous percevons au quotidien, qui semble diriger nos vies et que nous appelons



© Shutterstock/SK Bakker, Karina Brown, Salar, Smoki, Ilong

2. COMMENT S'AFFRANCHIR DU TEMPS ? Plutôt que de décrire tout phénomène en termes de grandeurs qui varient en fonction d'une variable temporelle t , l'idée est de relier les phénomènes entre eux, c'est-à-dire d'établir des relations entre les valeurs prises par les grandeurs observables associées aux phénomènes. De telles relations sont illustrées ici pour quatre grandeurs observables : le niveau d'eau dans un récipient qui fuit, l'angle de rotation de la Terre sur elle-même, la hauteur des poids d'un coucou, la distance parcourue en marchant le long d'une route. L'ordre temporel n'a ici pas été respecté, mais il suffit d'ordonner l'une des grandeurs pour que les autres le soient aussi.