

de A. La causalité distingue le passé et le futur. Dans le cadre de la théorie de la relativité, il existe un troisième cas : l'événement A ne peut influencer l'événement B ni inversement.

Une fois encore, c'est dû à la vitesse finie de l'information. Par exemple, une explosion survenue à la surface du Soleil « il y a trois minutes » dans un référentiel qui m'est associé ne peut avoir d'impact sur un événement se déroulant au moment présent sur Terre, car la lumière met au minimum huit minutes pour nous parvenir. Inversement, ce qui se passe sur Terre au moment présent ne peut influencer sur l'explosion à la surface du Soleil. Les deux événements sont « non causalement liés ». En termes mathématiques, la relation de causalité relativiste est une relation d'ordre partielle, et non plus totale comme en physique newtonienne.

Le temps universel n'existe donc pas. Au quotidien, cela reste cependant une approximation utile. Deux horloges marquent chacune l'écoulement de leur temps propre. Mais si elles sont voisines

et au repos l'une par rapport à l'autre, ces deux grandeurs sont très proches, et l'on peut les confondre (la proximité et le repos dépendant de la précision considérée). Deux observateurs assez proches peuvent considérer qu'un même temps s'écoule pour eux. De fait, nous et nos horloges occupons un minuscule coin de l'Univers, et nous sommes tous au repos les uns par rapport aux autres en comparaison des distances cosmiques et de la vitesse de la lumière. En pratique, il est légitime de considérer que nous partageons un temps propre commun ; ce qui revient à dire que, dans notre environnement et pour des vitesses assez petites par rapport à celle de la lumière, on peut appliquer la physique newtonienne. C'est ce temps propre commun que Newton a qualifié d'universel. Mais c'est un choix arbitraire et valable localement.

Tant qu'elle n'a pas eu affaire à des vitesses très élevées et que la précision des mesures temporelles est restée limitée, la physique a pu s'accommoder du temps universel. À l'époque de Newton, aucune

## L'AUTEUR



Marc LACHÎÈZE-REY est directeur de recherche au Laboratoire Astroparticule et cosmologie (CNRS-Université Paris 7-Denis Diderot)



# Research

- Salon européen des carrières de la recherche
- Europäische Messe für Forschung und Karriere
- European research career fair



## Paris

19 novembre 2010  
November 19, 2010

- **60 exposants**  
Entreprises, centres et laboratoires de recherches, campus européens
- **60 exhibitors**  
Companies, Research centres and laboratories, European campuses
- **5 conférences**  
5 conferences

## L'événement européen de votre carrière

The European event dedicated to your career

- Recrutement/Recruitment
- Conseils/Advice

Pré-inscription et informations sur:  
Registration and information online:

[www.ResearchCareerFair.com](http://www.ResearchCareerFair.com)



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.

## 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. ■

## 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-

## ✓ 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.