

LES DÉFENSEURS DE L'ÉCOULEMENT DU TEMPS

Tous les physiciens ne pensent pas que le monde est, par essence, intemporel. L'une des idées alternatives les plus intéressantes est la « théorie des ensembles causaux », développée par Rafael Sorkin et David Rideout de l'Institut Perimeter (PI) pour la physique théorique du Canada. Elle suppose que le monde est un ensemble d'événements qui croît à mesure que de nouveaux événements voient le jour selon des règles probabilistes. Ils espèrent que le processus reproduit les caractéristiques de l'espace-temps que nous percevons, y compris l'écoulement du temps. Reste cependant à déterminer si ce processus produit des univers compatibles avec la théorie de la relativité.

mécanique quantique. Prenons le célèbre exemple du chat de Schrödinger. Ce chat, dont le sort dépend de l'état d'une particule quantique, est suspendu entre la vie et la mort. Dans la représentation classique, le chat devient l'un ou l'autre après une mesure ou un processus équivalent. Mais C. Rovelli prétendrait que le sort du chat n'est jamais déterminé. La pauvre bête peut être morte vis-à-vis d'elle-même, vivante par rapport à un humain présent dans la pièce, morte par rapport à un autre humain dans la pièce d'à côté, et ainsi de suite.

Une chose est de faire dépendre de l'observateur le moment de la mort du chat, comme dans la relativité restreinte; une autre, encore plus surprenante, est que la mort du chat elle-même soit relative, comme le suggère C. Rovelli, en poussant l'esprit de la relativité à son extrême. Le temps fait tellement partie de notre intuition que son éviction transformerait la vision que les physiciens ont du monde.

Une question pressante pour quiconque épouse la gravitation quantique atemporelle est d'expliquer pourquoi le monde a une temporalité apparente. La relativité générale elle non plus n'intègre pas le temps au sens newtonien, mais au moins elle possède divers substituts partiels qui, ensemble, se comportent comme le temps newtonien quand la gravité est faible et les vitesses relatives petites. L'équation de Wheeler-DeWitt ne laisse même pas la place à ces substituts. J. Barbour et C. Rovelli ont chacun proposé des suggestions sur la manière dont le temps, ou du moins son illusion, pourrait surgir de rien. Mais la gravitation quantique canonique offre déjà une idée plus développée.

Connue sous le nom de temps semi-classique, elle remonte à un article de 1931 du physicien anglais Nevill Mott qui décrivait la collision entre un noyau d'hélium et un atome plus gros. Pour modéliser le système total, Mott utilisait une équation où le temps ne figure pas, et qu'on n'applique généralement qu'aux systèmes statiques. Il décomposait alors le système en deux sous-systèmes et utilisait le noyau d'hélium comme « horloge » pour l'atome. Remarquablement, l'atome obéit, par rapport au noyau, à l'équation usuelle de la mécanique quantique, mais où une fonction spatiale remplace le paramètre temps.

Ainsi, même quand le système dans son ensemble est atemporel, les éléments individuels ne le sont pas. Un temps pour

le sous-système se cache dans l'équation atemporelle du système total.

Quelque chose d'assez similaire a lieu avec la gravitation quantique, comme l'a argumenté Claus Kiefer, de l'Université de Cologne, suivant en cela les pas de Thomas Banks, de l'Université de Californie à Santa Cruz, et d'autres. L'Univers est peut-être dépourvu de temps, mais si on le décompose, certaines de ses parties peuvent servir d'horloges aux autres. Le temps émerge ainsi de l'atemporalité. Nous percevons le temps parce que nous sommes, par nature, un de ces éléments de l'Univers.

Reconstituer le temps de l'expérience

Pour intéressante et étrange que soit cette idée, elle nous laisse un peu sur notre faim. L'Univers ne peut pas toujours être décomposé en éléments qui servent d'horloges et, dans ce cas, la théorie ne fait pas de prédictions probabilistes. Le traitement de ces situations nécessitera une théorie complète de la gravitation quantique, et il faudra repenser le temps encore plus en profondeur.

Les physiciens sont partis du temps structuré de l'expérience, le temps d'un passé fixé, du présent et d'un futur ouvert. Ils l'ont petit à petit démantelé, et il n'en reste plus grand-chose. Les chercheurs doivent désormais inverser ce raisonnement et reconstruire le temps de l'expérience, peut-être à partir d'un réseau de corrélations entre éléments d'un monde fondamentalement statique.

Le philosophe français Maurice Merleau-Ponty avançait que le temps lui-même ne s'écoule pas vraiment, et que cet écoulement apparent est un produit du fait « que nous mettons subrepticement dans le ruisseau un témoin de sa course ». En d'autres termes, la tendance à croire que le temps s'écoule vient du fait que nous oublions de nous mettre nous-mêmes et nos relations avec le monde dans le tableau. Merleau-Ponty parlait de notre expérience subjective du temps, et jusque récemment personne n'avait deviné que le temps objectif pourrait lui-même s'expliquer comme résultant de ces relations. Le temps pourrait n'exister qu'en éclatant le monde en sous-systèmes et en regardant ce qui les relie. Dans ce tableau, le temps physique émerge parce que nous nous considérons comme distincts de tout le reste. ■

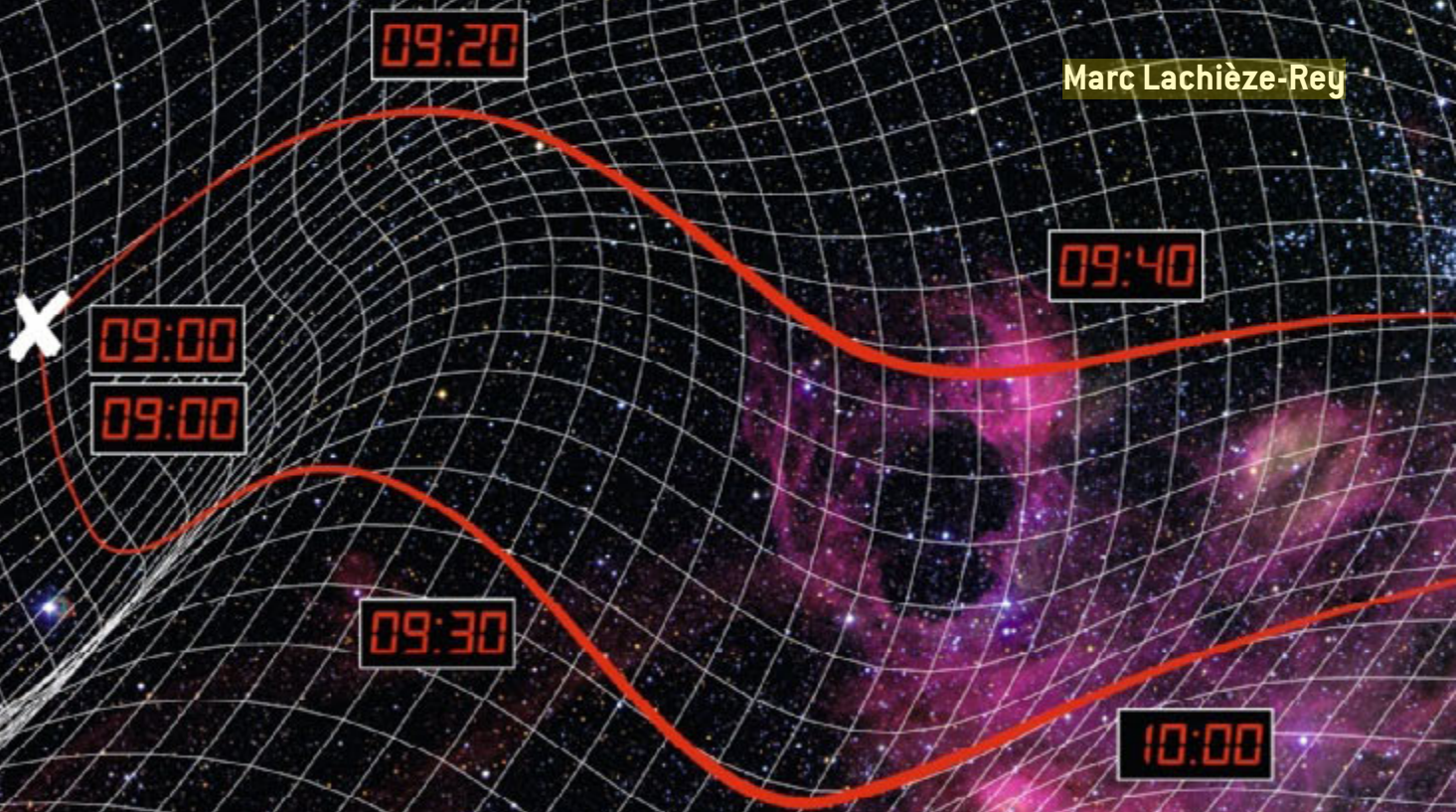
Physique théorique

La disparition du

TEMPS

en relativité

Marc Lachière-Rey



LES DURÉES MESURÉES par des observateurs qui ne suivent pas la même trajectoire de l'espace-temps sont différentes : les durées absolues n'existent pas.



Chacun de nous a une perception personnelle du temps, mais nous considérons qu'elle reflète, certes imparfaitement, un temps « universel », qui serait le même pour tous et en tout lieu, et s'écoulerait indépendamment de tout événement. Cette façon de voir fonctionne bien au quotidien : nous réussissons à honorer nos rendez-vous à une date convenue et, même si le temps nous paraît parfois « long » ou « trop court », nous sommes convaincus qu'il est possible d'accorder une durée objective à chaque phénomène.

Cela n'a pourtant rien d'une évidence. Le concept de temps universel est en accord avec la physique newtonienne, dont il constitue l'un des fondements. En introduisant le temps dans la physique – introduction qui n'avait rien de naturel ! –, Newton a permis le développement d'une science qui a volé de succès en succès pen-

loges, le balancement des pendules et, *in fine*, tous les mouvements sont des manifestations du temps universel. Cette conception a longtemps parfaitement fonctionné et reste toujours valable pour la plupart des phénomènes familiers que l'on étudie au laboratoire.

Mais au cours du XIX^e siècle, diverses expériences, et notamment celle de Michelson et Morley, ont convaincu les physiciens que la vitesse de la lumière dans le vide est invariante. En particulier, la vitesse de la lumière ne s'ajoute ni ne se retranche à celle de sa source si celle-ci est en mouvement. Autrement dit, la lumière n'obéit pas à la loi d'additivité des vitesses de la cinématique newtonienne (héritée de Galilée). Or la cinématique est l'étude des mouvements de la matière libre de toute interaction, et qui ne dépendent donc que des propriétés de l'espace et du temps. L'invariance de la vitesse de la

La théorie de la relativité d'Einstein remet en cause les propriétés usuelles du temps. Il n'est plus possible de considérer le temps comme une entité universelle et indépendante.

dant trois siècles. Mais le cadre de la physique newtonienne est désormais dépassé. Il a été remplacé par deux corpus distincts, la théorie de la relativité générale d'Einstein et la physique quantique, qui expliquent à elles deux une immense gamme de phénomènes physiques. Ces développements ont remis en question la conception classique du temps. En particulier, la relativité condamne l'idée newtonienne du temps universel et absolu. Et pour aller plus loin encore, il faudra sans doute se passer de la notion même de temps. Nous allons voir pourquoi.

On peut considérer que la physique moderne est née avec la publication des *Principia Mathematica* par Newton en 1687. Parmi ses innovations fondamentales, Newton postule l'existence objective d'un temps universel. Ce temps serait indépendant de nous et de tout système physique particulier. À notre échelle, il se manifeste par des propriétés en apparence évidentes : la possibilité d'attribuer une date à un événement, de mesurer une durée entre deux événements, ou de dire si un événement s'est déroulé avant un autre, etc. De façon moins intuitive, le tic-tac des hor-

lumière entraînait donc une remise en cause des notions newtoniennes de temps et d'espace absolus, ce qu'Einstein fut le premier à reconnaître pleinement.

Einstein montra tout d'abord qu'en raison de la vitesse finie de l'information (au maximum égale à celle de la lumière), la simultanéité absolue est impossible. Ce furent les prémisses de la théorie de la relativité restreinte, publiée en 1905. Cette théorie énonce que le cadre correct pour décrire les phénomènes physiques est l'espace-temps, et non plus l'espace seul. On peut découper comme on le souhaite dans ce continuum d'espace-temps des coordonnées de natures spatiales et temporelles, formant un référentiel. Mais chaque observateur possède son propre référentiel, différent de celui des autres.

La théorie stipule que les lois de la physique prennent des formes identiques dans tous les référentiels en mouvement uniforme les uns par rapport aux autres, et indique comment, d'un point de vue mathématique, passer d'un référentiel à un autre.

La relativité restreinte fut reformulée quelques années plus tard par Henri Poincaré et Hermann Minkowski, lequel

L'ESSENTIEL

✓ Le temps universel, qui s'écoule indépendamment des événements et de la même façon pour tous, est une invention de Newton.

✓ Ses propriétés, et donc son existence même, sont remises en cause par les théories de la relativité restreinte et générale.

✓ Cette disparition du temps, confirmée par l'expérience, se révèle incontournable dans les tentatives pour établir une théorie physique plus fondamentale.

déclara lors de son introduction à la 80^e assemblée des physiciens allemands en 1908 : « L'espace en lui-même, le temps en lui-même, sont condamnés à s'évanouir telles de simples ombres, et seule une sorte d'union des deux préserve une réalité indépendante. »

La théorie de la relativité générale, développée par Einstein dans les années qui suivirent, étend les principes de la relativité restreinte à des changements de référentiels plus généraux (en accélération les uns par rapport aux autres). L'espace-temps y devient une structure plus complexe, dotée d'une courbure. Cette courbure, qui s'identifie avec la gravitation, est créée par le contenu en matière et énergie de l'Univers.

La théorie de la disparition du temps

La relativité restreinte exprime la disparition du temps, disparition encore plus radicale en relativité générale. Cette idée suscite parfois des réticences, parce qu'au quotidien, nous continuons à utiliser sans problème nos montres et autres manifestations du temps universel. Et un examen superficiel des principes des équations de la relativité restreinte laisse croire qu'elles sont compatibles avec l'existence d'un temps. On parle ainsi fréquemment de « dilata-

tion des durées » ou du temps qui « s'écoule plus ou moins vite ». Mais en réalité, c'est bien la disparition du temps qui est à l'œuvre. Voyons en quoi.

Tous les auteurs ont déclaré leur impuissance à définir ce qu'est le temps. Mais faute de le définir, on peut au moins énoncer les propriétés qui le caractérisent : durée et chronologie, déjà évoquées, mais aussi simultanéité et causalité, pour les principales. En montrant que ces propriétés ne sont pas vérifiées dans la nature, on pourra en conclure que le temps, tel qu'on le qualifie, n'existe pas.

Tout d'abord, l'existence du temps universel permet d'attribuer sans ambiguïté une date à chaque événement. On peut voir chaque événement comme un point de l'espace-temps, auquel on peut assigner sans ambiguïté une date, identique pour tous les observateurs. Ensuite, il est possible d'assigner une durée bien définie à tout phénomène physique. C'est simplement la différence entre la date de la fin et la date du début du phénomène. Une troisième propriété du temps universel est la simultanéité. Il est toujours possible de décider si deux événements se sont déroulés en même temps ou non ; il suffit pour cela de vérifier si leurs dates coïncident. De même, en comparant leur date, on peut dresser une chronologie, c'est-à-dire déterminer si un événement s'est déroulé avant ou après un autre. La dernière propriété qui nous intéresse ici

LA SIMULTANÉITÉ N'EXISTE PAS

En relativité, la notion de simultanéité n'existe pas. Imaginons qu'une supernova explose dans la galaxie d'Andromède et qu'une

météorite s'écrase sur Terre. Les phénomènes sont-ils simultanés ? Cela dépend de chaque observateur, chacun suivant sa propre ligne d'es-

pace-temps. Pour un observateur terrestre (a), la supernova a explosé après la chute de la météorite ; pour un observateur dans Andromède, la

supernova a explosé avant la chute (b) ; et l'on peut trouver un troisième observateur pour qui les deux événements sont simultanés (c).

