

Pour fêter un anniversaire, il faut définir un point de départ, puis un événement régulier et récurrent pour déterminer une durée en comptant le nombre d'occurrences. Ainsi,

le premier numéro de *Pour la Science* étant paru en novembre 1977, la revue aura donc 40 ans révolus à la fin de cette année, en prenant comme référence la révolution de la Terre autour du Soleil. Mais ce choix est bien sûr arbitraire : compter le nombre de levers du Soleil confère à *Pour la Science* un âge de 14610 jours, ou 495 lunaisons si l'on se réfère au nombre de nouvelles lunes depuis la création du magazine. Notons que cette dernière valeur est à peu près égale au nombre de numéros parus, ce qui est normal pour une revue dont la périodicité est voisine de la durée moyenne qui sépare deux nouvelles lunes (29,5 jours environ).

Une autre façon d'annoncer son âge, qui amuse beaucoup les enfants, consiste à le mesurer en référence à la période de révolution d'une autre planète. Ainsi, 40 années terrestres correspondent à environ 166 années mercuriennes, 65 années vénusiennes ou 21 années martiennes, pour ne parler que des planètes telluriques du Système solaire.

Ce jeu sur l'âge nous rappelle qu'une histoire, la vôtre ou celle de votre revue préférée, est une succession d'événements séparés par des durées perçues et mesurées en les rapportant à un mouvement périodique, astronomique (Soleil ou Lune), mécanique (clepsydre, horloge ou montre) ou quantique (horloge atomique). Autrement dit, une histoire est un empilement de durées et le choix d'une origine, votre date de naissance ou celle de la parution du premier numéro de votre revue, permet de définir un « temps » : nous sommes en l'an 40 après *Pour la Science*.

ET LE TEMPS DEVIENT RELATIF

La question du temps et de la mesure des durées a pris un relief particulier avec les travaux d'Albert Einstein. La nouvelle théorie de l'espace et du temps qu'il publia en 1905 est fondée sur deux postulats en rupture profonde avec la physique de son époque : «... pour tous les systèmes de coordonnées où les équations de la mécanique sont valables, ce sont également les mêmes lois de l'optique et de l'électrodynamique qui sont valables. Nous voulons élever cette conjecture [dont le contenu sera appelé dans ce qui suit « principe de relativité »] au rang d'une hypothèse et introduire en outre la supposition, qui n'est qu'en apparence incompatible avec ce principe, que la lumière se propage toujours dans le vide à une certaine vitesse c indépendante de l'état de mouvement de la source lumineuse. »

Si le premier postulat d'Einstein ne fait qu'étendre le principe de relativité de Galilée à toute la physique alors connue, le second est

véritablement révolutionnaire. Jusqu'alors, espace et temps formaient le cadre universel dans lequel se déroulent les événements, et la vitesse, quotient d'une distance par une durée, est une notion qui découle de ce cadre. Poser que la vitesse de la lumière est indépendante du mouvement de la source revient à lier le temps et l'espace pour s'adapter à cette vitesse : ils deviennent « relatifs » au système de référence de l'observateur. Le second postulat d'Einstein implique alors que la durée d'un phénomène n'est plus identique pour tous les observateurs et Einstein montre qu'elle dépend de leurs vitesses relatives. Il définit aussi une durée « propre », celle qui sépare deux événements se produisant au même endroit.

En 1908, Hermann Minkowski proposa de fusionner l'espace à trois dimensions et le temps unidimensionnel pour former une nouvelle entité physique, l'espace-temps à quatre dimensions, ensemble de tous les événements. Une histoire, succession d'événements se déroulant en différents lieux, est alors une ligne de

À bord d'un vaisseau intersidéral, la durée du voyage est plus courte que pour le Terrien

l'espace-temps dont chaque portion a une durée qui est propre à l'observateur qui suit cette ligne. Le temps, construit par accumulation de durées propres, est donc une grandeur purement personnelle, liée à chaque observateur, et qui n'a *a priori* rien à voir avec le temps d'un autre observateur. Cela interdit de définir une grandeur universelle nommée « temps » construite par l'addition de durées successives sur lesquelles tous les observateurs s'accorderaient.

En 1971, les physiciens américains Joseph Hafele et Richard Keating réalisèrent une expérience pour tester cette prédiction étonnante. Des horloges atomiques extrêmement précises furent embarquées dans deux avions partis pour faire le tour du monde. À leur retour, les durées des voyages mesurés par ces horloges furent comparées avec celle mesurée par une horloge identique, restée au sol et avec laquelle elles avaient été préalablement synchronisées. Les horloges de l'avion accusaient, selon la direction de leur vol vers l'est ou vers l'ouest, >

LES AUTEURS



ROLAND LEHOUCQ
astrophysicien
au CEA, à Saclay



SÉBASTIEN STEYER
paléontologue
au CNRS-MNHN

> respectivement un retard ou une avance sur celle restée au sol en accord avec la théorie d'Einstein. Les différences, de l'ordre d'une centaine de milliardièmes de seconde, sont toutefois si infimes que, pour la vie courante, il est possible de rassembler nos temps propres pour fabriquer un temps « universel ». Ouf, les apparences sont sauvées et, à une infime fraction de seconde près, *Pour la Science* a bien 40 ans pour tout le monde ! Mais il existe des situations bien différentes.

VOYAGE SPATIAL

Puisque cette année marque aussi les 40 ans de la célèbre saga *Star Wars*, faisons un peu de science-fiction. Imaginons que le jour de la publication du numéro 1 de *Pour la Science*, un voyageur embarque dans un vaisseau interstellaire capable d'atteindre une vitesse proche de celle de la lumière avec la promesse de revenir quand 40 années se seront écoulées sur Terre. Quelle sera la durée propre de son voyage ? Pour mener ce calcul, il faut connaître le plan de vol du vaisseau dont nous allons supposer qu'il fait demi-tour à mi-parcours, avec une accélération ou une décélération propres – mesurées à bord – constantes. Ainsi, un voyage à une accélération constante de 1g conduit à une durée propre du voyage de 11,74 ans. À 2g, le voyage dure 7,21 ans, etc. On constate que la durée propre du voyage est toujours inférieure à la durée mesurée par un observateur terrestre. Bonne nouvelle, car cela implique qu'avec une accélération propre constante, un voyageur peut franchir des distances interstellaires en une durée inférieure à celle d'une vie humaine.

Pour éviter de vous ennuyer durant le voyage, vous avez maintenu votre abonnement à *Pour la Science*. Chaque numéro vous est envoyé par ondes radio, à la vitesse de la lumière donc. Comme les durées terrestres et les durées propres diffèrent, la périodicité mensuelle terrestre ne sera pas respectée à bord. Ainsi, au cours du voyage aller, vous recevrez votre magazine avec des intervalles de plus en plus grands. Ils commenceront à diminuer au début de la phase de décélération. Avec une accélération/décélération propre de 1g, environ 20,6 mois sépareront deux numéros successifs autour du moment où la vitesse maximale est atteinte. Finalement, vous ne recevrez que 22 numéros lors de l'aller – dont la durée propre est de 5,87 ans – car la lumière porteuse d'information doit vous rattraper. Il en va tout autrement au retour, car alors votre vaisseau va à la rencontre des messages terrestres. Les intervalles de réception des numéros de *Pour la Science* se réduiront de plus en plus jusqu'à atteindre un minimum au milieu du voyage retour, avec un intervalle de réception minimal de 1,5 jour : il faudra lire vite ! Durant les 5,87 années propres du voyage retour, vous aurez à lire 458 numéros...



FREE-RUNNING

Dans certains cas, l'horloge biologique ne peut pas se synchroniser sur des signaux réguliers exogènes tels que la lumière du jour. C'est le cas de la plupart des personnes aveugles. Pour les autres aveugles, certains photorécepteurs sont encore fonctionnels et connectés à l'hypothalamus. Cet effet de free-running a été reproduit artificiellement par le spéléologue Michel Siffre qui, dans les années 1960, a passé plusieurs mois dans une grotte sans repères de temps. Son organisme s'est alors calé sur un cycle de 24 h 30.

On le voit bien, la notion d'anniversaire – et donc de durée – varie en fonction de l'observateur humain. Qu'en est-il chez les autres espèces ? Elles perçoivent probablement les durées de façon différente : chacune à son échelle, notamment en fonction de la durée de vie moyenne, très différente d'une espèce à l'autre. Ainsi, l'éphémère, insecte volant dont la durée de vie au stade adulte est de l'ordre de 24 heures, perçoit les durées sans doute d'une autre façon que le pin Bristlecone (*Pinus longaeva*), dont certains représentants dans les montagnes Rocheuses sont âgés de près de 5000 ans, ou du corail noir de Hawaï (du genre *Leiopathes*), dont l'individu le plus vieux connu est âgé de 4265 ans.

On pourrait penser que le cycle solaire étant le même pour toutes les espèces, la perception du cycle jour/nuit serait identique pour tous, mais c'est sans compter sur les horloges biologiques, qui définissent un rythme propre à chacun. Celles-ci confèrent aux organismes une notion de temps subjectif mais autonome, et on parle, par extension, d'horloges circadiennes.

Les premiers travaux sur les rythmes biologiques datent du IV^e siècle avant notre ère, lorsque le philosophe grec Théophraste, élève d'Aristote, observait l'influence de la lumière sur la croissance des arbres sur l'île de Tylos (aujourd'hui Bahreïn). Mais le terme « circadien » (du latin *circa*, environ, autour ; et *diem*, jour) est bien plus tardif. Il a été proposé en 1729 par l'astronome et mathématicien français Jean-Jacques Dortous de Mairan ; celui-ci avait observé que, même plongée en permanence dans l'obscurité, la sensitive (*Mimosa pudica*) continuait d'ouvrir et de fermer ses feuilles comme elle le faisait habituellement le jour et la nuit.