

> 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.

En 1984, Jeffrey Hall, Michael Rosbach et Michael Young ont montré que ces horloges biologiques, présentes chez les plantes mais aussi chez les cyanobactéries, les champignons, les animaux, etc., sont d'origine génétique. Les trois chercheurs ont reçu cette année le prix Nobel de physiologie et médecine pour cette découverte.

Ces horloges internes sont multiples (horloge du sommeil, de la digestion, de la reproduction etc.) et agissent sur l'organisme entier, mais aussi à l'échelle cellulaire, voire moléculaire. Elles sont codées par plusieurs familles de gènes, nommés par exemple *per* (pour *period* en anglais), *clock* (horloge) ou encore *cry* (pour cryptochrome, un pigment photorécepteur). Ces gènes sont les mêmes chez les mammifères et les insectes. On parle alors de gènes homologues, c'est-à-dire hérités de l'ancêtre commun aux deux groupes – s'ils ne sont pas apparus avant au cours de l'évolution.

Ces gènes contrôlent la période des horloges biologiques (circadienne, saisonnière, etc.) mais ils sont aussi influencés par des facteurs exogènes nommés synchronisateurs, qui sont des événements périodiques aussi bien naturels (le cycle jour/nuit) qu'artificiels (une sonnerie de réveil), et permettant de déclencher un cycle (mais non de le créer). Un changement drastique dans le rythme des synchronisateurs peut chambouler tout un cycle: c'est ce que nous ressentons lors d'un long voyage au cours duquel nous souffrons du décalage horaire. En l'absence de synchronisateur, l'organisme est dit en *free-running* (voir l'encadré page ci-contre).

UNE HORLOGE DANS LE CERVEAU

Chez les mammifères, on distingue une horloge centrale circadienne dans le cerveau – c'est aussi le cas chez les insectes – et des horloges périphériques (dites aussi harmoniques, car plus ou moins en phase les unes avec les autres) dans les autres organes. Notre horloge centrale est synchronisée par les variations circadiennes de l'intensité lumineuse reçue du Soleil au cours du nyctémère (durée de 24 heures correspondant à la succession d'une nuit, *nux* en grec, et d'un jour, *hêméra*).

Certaines cellules photoréceptrices de notre rétine, une fois stimulées, envoient des neurotransmetteurs dans le nerf optique, lesquels sont ensuite captés par une minuscule zone de l'hypothalamus de 5 millimètres cubes, le noyau supra-chiasmatique, située juste au-dessus du croisement des nerfs optiques. Certaines cellules réceptrices déclenchent alors une cascade de réactions, dont l'expression des gènes *per*: notre horloge interne centrale peut alors démarrer un nouveau cycle. Les cellules de la rétine en jeu (nommées cellules ganglionnaires à mélanopsine, du nom de leur pigment photosensible) sont très spécifiques et ne représentent que 1%

de toutes les cellules rétinienne. Avec le temps, elles s'altèrent naturellement, ce qui expliquerait en partie pourquoi les personnes âgées sont plus sujettes aux insomnies que les jeunes. Pour revenir à l'anniversaire de *Pour la Science*, si nos hémisphères cérébraux fêtent consciemment ses quarante années d'existence, notre hypothalamus préfère, lui, fêter inconsciemment ses (environ) 14 610 cycles de jour et de nuit!

Ainsi, toutes ces horloges biologiques, qu'elles soient centrales ou périphériques, sont cruciales pour l'évolution des espèces, car elles

Les horloges biologiques sont codées par plusieurs familles de gènes

gouvernent nos cycles vitaux. Sommes-nous pour autant réduits à l'état de pantins réglés comme des métronomes? Et, pour reprendre notre exercice de science-fiction, peut-on imaginer des extraterrestres dotés de cycles très différents?

Si la vie existe ailleurs que sur Terre, nul doute qu'elle est influencée d'une façon ou d'une autre par les cycles astronomiques de sa planète d'origine (rotation sur elle-même, révolution autour de l'étoile, etc.). Dans le film *Pitch Black*, l'équipage d'un vaisseau spatial détenant le dangereux Riddick fait naufrage sur une planète désertique habitée de monstres souterrains. Comme cette planète a une lune et gravite autour de trois étoiles, sa surface est presque toujours éclairée, sauf pendant les rares éclipses où les monstres en question sortent pour se nourrir! Le cycle de vie de ces extraterrestres photosensibles, pour ne pas dire photophobes, semble donc très long, et leur horloge biologique est *a priori* calquée sur l'occultation des astres.

Les découvertes en physique et en biologie nous montrent que définir une durée n'est pas chose facile. La subjectivité est de mise, qu'il s'agisse de l'espèce à laquelle vous appartenez, de la vitesse à laquelle vous vous déplacez ou même de la planète où vous êtes né. Malgré cela, nous pourrions arriver à un consensus et conclure que *Pour la Science* a bien 40 ans... mais peut-être un peu plus, 40 ans et 1 mois, sachant qu'en octobre 1977, *Pour la Science* a eu un numéro pilote! ■

BIBLIOGRAPHIE

E. B. Roark et al., **Extreme longevity in proteinaceous deep-sea corals**, *PNAS*, vol. 106(13), pp. 5204-5208, 2009.

C. A. Feuillet et al., **Lack of food anticipation in *Per2* mutant mice**, *Current Biology*, vol. 16(20), pp. 2016-2022, 2006.

W. A. Zehring et al., **P-element transformation with period locus DNA restores rhythmicity to mutant, arrhythmic *Drosophila melanogaster***, *Cell*, vol. 39, pp. 369-376, 1984.

T. A. Bargiello et al., **Restoration of circadian behavioural rhythms by gene transfer in *Drosophila***, *Nature*, vol. 312, pp. 752-754, 1984.

R

ENDEZ-VOUS

P.108 Logique & calcul
P.114 Idées de physique
P.118 Chroniques de l'évolution
P.122 Science & gastronomie

COÏNCIDENCES SURPRENANTES, MAIS BANALES

Des erreurs de jugement nous conduisent à voir dans certaines coïncidences des phénomènes incroyables et à leur rechercher d'impossibles explications.

Il est vrai que, en moyenne dans une école primaire, plus les élèves lisent rapidement, plus ils sont grands. En concluons-nous qu'apprendre à lire fait grandir? Plus sérieusement, une étude statistique de Franz Messerli, de l'université Columbia, menée avec toute la rigueur méthodologique nécessaire et publiée en 2012 dans la revue *New England Journal of Medicine*, a établi qu'il existe une étroite corrélation entre la consommation de chocolat par habitant d'un pays et le nombre de prix Nobel obtenus par ce pays par million d'habitants. En déduisons-nous que les chercheurs doivent manger du chocolat pour augmenter leurs chances de se voir attribuer le fameux prix?

L'explication ne serait-elle pas plutôt que le système social et éducatif des pays riches favorise la bonne recherche et donc l'attribution des prix Nobel, et que cette même richesse favorise l'achat par tous de chocolat? Les deux faits sont

bien liés, mais seulement parce qu'ils sont la conséquence d'une même cause, pas parce que l'un implique l'autre. Quand deux faits sont corrélés, cela ne signifie pas que l'un est la conséquence de l'autre, mais parfois seulement qu'un troisième facteur les entraîne tous les deux. La recherche des liens de causalité entre faits doit être menée avec précaution (voir l'article d'Isabelle Drouet, «Des corrélations à la causalité», *Pour la Science* n° 440, juin 2014).

DU HASARD PUR?

Hormis ces situations où, malgré tout, la corrélation repérée a une explication satisfaisante faisant intervenir un troisième facteur, tel que l'âge ou la richesse économique, il existe des cas où, en définitive, la seule explication est le hasard.

Les quelques exemples donnés par la figure ci-dessous permettent de comprendre ce que cela signifie. Ces corrélations illusoire ont été

Source : d'après www.tylervigen.com

DES CORRÉLATIONS ÉTONNANTES MAIS FORTUITES, AUX ÉTATS-UNIS

