La théorie de la "relativité restreinte" (1905), le temps et les jumeaux de Langevin

Science facile

A partir du moment où la **lumière** a une **vitesse constante** partout dans l'espace, se pose directement la question du temps, ou plutôt de la mesure du temps. Il est facile d'en déduire que **le temps observé n'est pas le même selon l'endroit où on se trouve** (même si l'effet est extrêmement faible entre deux points rapprochés comme sur Terre.

Prenons un exemple très simple. Un train venant de Marseille arrive à la gare de Lyon à 14 h 27. Je ne peux le vérifier que si j'ai une montre. Effectivement l'arrivée du train et le déplacement de la grande aiguille de ma montre coïncident à ce moment particulier de l'entrée en gare. Nous appelons ceci en physique, un "événement".

Supposons maintenant que nous soyons deux observateurs, l'un situé à la gare de Lyon et l'autre situé sur la Lune. Celui sur la Lune observe la gare avec un télescope (si tant est que c'est possible). Lorsque le train arrive, il ne lit pas 14 h 27 sur sa montre, mais 14 h 27 mn et 1,3 seconde. **Pour le même "événement" les montres ne donnent pas la même heure à chaque observateur…**

En effet la durée du trajet lumineux entre la Terre et la Lune décale la coïncidence en rajoutant pour l'observateur situé sur la Lune un temps de propagation de 1,3 seconde. **Le temps (mesuré) dépend de l'espace.** C'est ce qu'explique la **théorie de la relativité restreinte** d'Albert Einstein, énoncée dès 1905.

Ceci a été **validé par plusieurs expériences**, et notamment celle des américains Joseph Hafele et Richard Keating en 1971. Quatre **horloges atomiques** effectuèrent deux tours du monde à bord d'avions, l'un en sens direct et l'autre en sens inverse de la rotation de la Terre. A chacun de leur retour, elles furent comparées à des horloges-témoins restées au sol. Le décalage observé était conforme à la théorie qui prévoyait une **désynchronisation relativiste des horloges**.

Aujourd'hui, on peut dire que **les systèmes GPS ne pourraient fonctionner sans la théorie de la relativité restreinte**. Chaque satellite est pourvu d'horloges atomiques embarquées, permettant de compenser les effets relativistes.



© AI Pollo pour JBx

- Chaque lieu dans l'espace possède sa propre horloge fictive. Lorsque les horloges restent **immobiles** les unes par rapport aux autres, elles sont **synchronisées** car elles font partie du même référentiel inertiel.
- Lorsqu'elles sont **en mouvement** les unes par rapport aux autres, elles **ne sont plus synchronisées**. Le voyageur verra toutes les horloges des autres tourner plus lentement que sa propre horloge. C'est la **"dilatation du temps"**.

Dès 1911, le physicien français Paul Langevin excitait la curiosité en avançant, à partir de la relativité des durées, l'idée d'un "paradoxe des horloges", dit le **"paradoxe des jumeaux"**.

Deux jumeaux, nés sur Terre, se séparent. L'un reste sur notre planète, tandis que l'autre fait un petit aller-retour dans une fusée à une vitesse proche de celle de la lumière. Pour chaque jumeau, le temps s'écoule normalement à sa propre horloge, située dans un référentiel différent de celle de l'autre.

Qu'observent les deux jumeaux au retour de celui qui était parti en ballade ? S'ils étaient tous deux âgés de 30 ans au départ, l'horloge de celui qui a voyagé lui indiquera que son voyage aura duré 5 ans et qu'il a maintenant **35 ans**, alors que horloge du sédentaire lui donnera un âge de… **80 ans**.

A l'époque, Langevin considérait ceci comme un paradoxe. En effet, chacun des jumeaux ayant son référentiel indépendant à lui, celui qui voyage pourrait considérer que son frère a voyagé par rapport à lui et que c'est lui qui devrait être plus jeune à leurs retrouvailles. Mais il n'en est rien ! En fait, **celui resté sur Terre n'a pas changé de référentiel inertiel, alors que le voyageur effectue un demi-tour.** Ceci avait été remarqué dès 1911 grâce à une représentation de l'espace-temps développée en 1908 par Hermann Minkowski montrant l'**asymétrie des trajets de chaque jumeau.** L'explication est complexe, mais, pour résumer, le demi-tour induit des trajectoires asymétriques des jumeaux dans l'espace-temps, le voyageur subissant une **décélération-accélération** au moment du demi-tour. La différence de vieillissement est aussi la conséquence de cette asymétrie.