

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

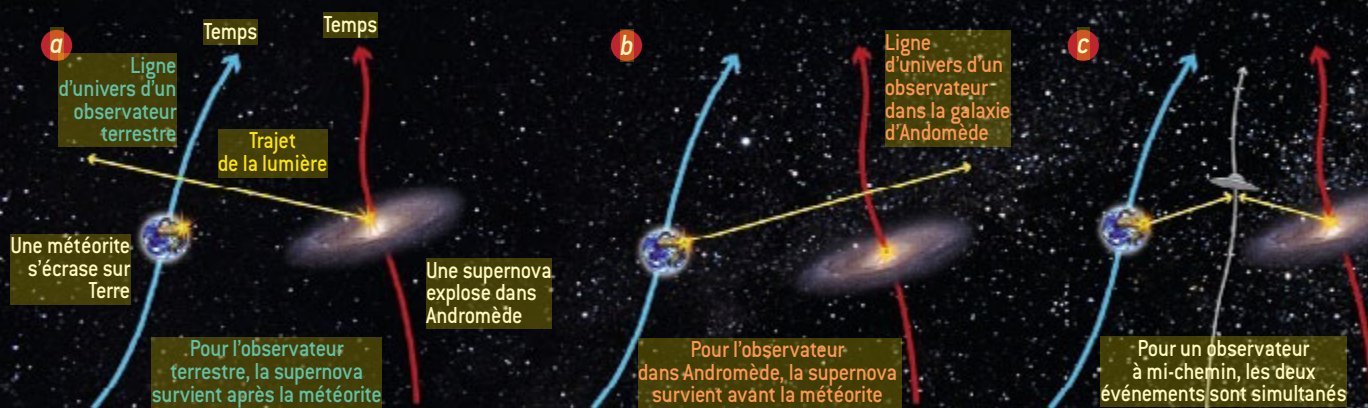
LA SIMULTANÉITÉ N'EXISTE PAS

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).



est la causalité : on peut influencer sur certains événements – ceux du futur causal – mais pas sur d'autres – ceux du passé causal. En physique newtonienne, la causalité se confond avec la chronologie.

À chacun sa durée

Or la relativité restreinte – et *a fortiori* la relativité générale – remet en cause toutes ces propriétés. Il est par exemple impossible d'assigner une durée bien définie à un processus physique. Imaginons le trajet d'un photon, de son émission par une étoile à sa réception par un télescope au sol. Bien que l'universalité de la méthode de mesure elle-même pose problème, supposons qu'il existe un tel protocole. Un premier observateur, sur Terre, l'applique et mesure une « durée » t_1 . Un autre, situé sur le trajet, effectue une observation identique, et trouve une durée t_2 , tandis qu'un troisième, se déplaçant le long du trajet, mesure une durée t_3 . La physique newtonienne considère que t_1 , t_2 et t_3 sont trois mesures d'une même grandeur, la durée : elles doivent donc être égales.

Mais de nombreuses observations (cascades de particules engendrées par les rayons cosmiques, désintégration dans les accélérateurs de particules, phénomènes astrophysiques à haute énergie, ainsi que des expériences en laboratoire ou en orbite, etc.) prouvent que ce n'est pas le cas : en général, les valeurs mesurées par différents observateurs ne sont pas les mêmes, écarts que prédisent avec exactitude les théories relativistes.

La seule explication cohérente est que ces mesures concernent en fait des grandeurs différentes ; autrement dit, il n'existe pas de grandeur que l'on pourrait appeler sans ambiguïté « durée » d'un phénomène. Toute autre interprétation cherchant à relier les différentes « durées » mesurées à une durée intrinsèque conduit à des paradoxes.

Il existe pourtant une durée en un sens « plus valable » que les autres. Les équations de la relativité indiquent que dans notre exemple, plus le trajet d'un observateur est proche de celui du photon émis par l'étoile, plus la « durée » qu'il va mesurer est petite. De façon générale, l'observateur qui est lié à un processus et l'accompagne du début à la fin mesurera la durée la plus petite possible. Nommée « durée propre », on peut considérer que c'est la « vraie » durée du processus.

Dans notre exemple, la durée propre du phénomène est celle que mesurerait le photon. Or la relativité indique que la durée propre d'un photon est... nulle. Cela n'est qu'une manifestation du fait qu'il voyage à la vitesse limite, celle de la lumière ; de façon générale, c'est vrai pour toute particule de masse nulle. Ainsi, la durée propre du trajet d'un photon, de son émission dans une galaxie lointaine à sa réception, est nulle. On aurait pourtant envie de dire que le trajet dure des milliards d'années !

Dès lors, comment différents observateurs peuvent-ils comparer les durées entre deux événements donnés ? Chaque observateur ne peut mesurer que sa durée propre, le long de sa trajectoire dans

Les durées dépendent de l'observateur

La notion de durée d'un phénomène est différente d'un observateur à l'autre. Imaginons par exemple un train en mouvement uniforme, qui passe devant une gare. Une impulsion lumineuse est envoyée du sol vers le plafond du train, où elle est réfléchie par un miroir vers son point de départ.

Pour un observateur assis dans le train, la durée du trajet de la lumière est $d = 2h/c$, où h est la hauteur du plafond et c la vitesse de la lumière. Mais pour un observateur sur le quai de la gare, puisque le train a avancé pendant le trajet de la lumière, le point de réflexion

de la lumière au plafond, et encore plus le point d'impact au retour sur le plancher, sont décalés par rapport à la verticale du point d'émission.

Comme ce point de retour ne se trouve pas là où se situe l'observateur de la gare, celui-ci ne peut mesurer directement la durée du phénomène (on dit que cet événement n'appartient pas à sa « ligne d'univers », qu'il décrit dans l'espace-temps.) Il peut cependant reconstituer ce qu'il qualifiera – de façon impropre, au sens strict – de durée du phénomène.

La vitesse de la lumière étant invariante, l'aller-retour

de la lumière dure ainsi plus longtemps observé depuis la gare. Un calcul géométrique simple montre que la « durée » observée depuis le quai est :

$$d' = d / \sqrt{1 - v^2/c^2},$$

où v est la vitesse du train. Le « temps » du train et le temps de la gare ne sont donc pas identiques.

Cependant, pour avoir une compréhension correcte de la situation, il faudrait comparer les durées de phénomènes se situant sur la trajectoire des différents observateurs dans l'espace-temps. C'est tout l'objet du « paradoxe des jumeaux » (voir l'encadré page suivante).

