



La relativé restreinte

□ P H □ □ Y S I □ Q U E □ □ □ □ D E □ □ L A M A T I È R E □ □ □ □

L'Espace-Temps et la Matière-Énergie

*Le temps se résout en une quatrième dimension
sur un pied d'égalité avec l'espace
où l'harmonie prévaut dans un éternel repos.*

Hidilat Yukawa.

1. Les postulats de la relativité restreinte

Dans l'univers de Newton, l'espace semblait posséder une réalité et une existence indépendante et le temps s'écoulait dans la même direction d'un mouvement uniforme et à la même vitesse pour tout le monde.

En 1905, la théorie de la relativité restreinte met un terme à la séparation de l'espace et du temps ainsi qu'à la notion d'action instantanée à distance. Toute la théorie d'Einstein est basée sur deux postulats devenus pour lui certitude après de longues réflexions.

Le premier peut s'exprimer ainsi :

Les lois de la nature sont les mêmes pour tous les observateurs. Selon ce premier postulat, toutes les lois de la physique obtenues dans un système de référence quelconque sont indépendantes de l'état du mouvement uniforme global du système. Ceci revient à dire que deux observateurs en mouvement de translation uniforme l'un par rapport à l'autre découvrent les mêmes lois de la nature. Il n'y a aucun moyen de savoir lequel des observateurs est en mouvement ou au repos puisqu'il n'est pas possible de détecter un mouvement uniforme absolu.

Ce postulat trouve une parfaite illustration quand on considère deux personnes l'une sur le quai de la gare l'autre dans un train en mouvement. Pour la personne qui reste sur le quai c'est le train qui se déplace mais, l'autre qui se trouve dans le train peut tout aussi imaginer qu'il est immobile et que c'est toute la gare qui se déplace en passant devant lui. Tout mouvement uniforme est relatif : on ne peut parler de mouvement que par rapport au mouvement d'un autre objet.

D'après les lois de l'électromagnétisme énoncées en 1865 par Maxwell, les physiciens savaient que la vitesse de la lumière était constante. Mais, Einstein osa postuler que cette vitesse est une constante absolue : $C=300\,000\text{ Km/s}$. Quelque soit la vitesse à laquelle on se déplace la vitesse de la lumière demeure constante, même si les données immédiates de nos sens suggèrent que C pourrait être variable d'un observateur à l'autre. Tel était le second postulat de la relativité restreinte. L'hypothèse de l'indépendance de la vitesse de la lumière signifiait en outre qu'il allait falloir réviser toutes les idées établies à propos de l'espace et du temps.

Désormais, la nature offrait un cadre où espace et temps, c'est à dire mouvement et temps, étaient indissociables l'un de l'autre. Pour mesurer une vitesse, il faut utiliser une horloge et une règle. Si la vitesse de la lumière, mesurée par un observateur au repos est la même que celle mesurée par un observateur en mouvement par rapport à la source, alors il faut que d'une façon ou d'une autre, pour un observateur au repos, la règle en mouvement change de longueur et l'horloge en mouvement change de cadence de telle sorte que la vitesse de la lumière apparaît demeurer la même.

Cet effet curieux qui n'est pas très sensible aux petites vitesses devient important quand on se rapproche de la vitesse de la lumière. C'est ainsi qu'une règle de 100cm ne mesure plus que 43,6cm quand elle se déplace dans la direction de sa longueur avec 90 % de la vitesse de la lumière, elle ne fait plus que 14,1 cm à 99 % de la vitesse de la lumière et elle disparaît à la vitesse de la lumière.

Si l'espace était absolu c'est à dire, si la distance ne dépendait pas de la vitesse pour aller sur la galaxie d'Andromède qui se trouve à 2 000 000 AL, il faudrait 2 000 000 d'années environ à la lumière issue de la terre pour s'y rendre. En tenant compte des postulats de la relativité, un calcul simple montre qu'à 99 % de la vitesse de la lumière il ne faudrait plus que 28 000 ans pour se rendre sur Andromède, 283 ans à 99,9999 % de cette même vitesse et, 2,8 ans seulement si on disposait d'une fusée se déplaçant à 99,999999 % de la vitesse de la lumière.

La théorie de la relativité est vérifiée ici avec une extraordinaire précision. Un objet en mouvement semble se contracter dans la direction du mouvement lorsque sa vitesse augmente mais aussi, une horloge en mouvement marche plus lentement qu'une horloge au repos jusqu'à ce qu'elle s'arrête à la vitesse de la lumière.

Les vérifications de la dilatation du temps ont été réalisées de bien des manières.

En 1972, des avions chargés des quatre horloges atomiques les plus précises au monde firent le tour de la terre. Après ce voyage, on a pu constater que ces horloges étaient légèrement en retard par rapport à d'autres, restées à la surface de la terre, en parfait synchronisme avec les premières.

Mais, c'est avec la particule subatomique, le muon, qu'on a pu vérifier le ralentissement des horloges en mouvement avec la plus grande précision. Le muon se désintègre pour donner d'autres particules et, le temps de désintégration, mesuré avec précision, est comparable au tic tac d'un pendule. En comparant la durée de vie d'un muon au repos avec celle d'un muon en mouvement, on peut évaluer le ralentissement de cette minuscule horloge.

Nous éprouvons beaucoup de difficultés à comprendre le fait paradoxal que les vitesses raccourcissent les distances et dilatent le temps parce que nous avons du mal à concevoir que nous sommes indissociables de tout l'univers qui nous entoure. Nous pensons généralement que nous sommes des êtres indépendants plongés dans un univers aux dimensions absolues. Il n'en est rien. Nous sommes en fait, de simples singularités solidaires de l'espace qui nous entoure.

« Certes, écrit à ce sujet le physicien J. E. Charon, *l'homme pris isolément est bien peu de chose par rapport au tout. Mais, à regarder de plus près, on est obligé d'apercevoir les liens étroits qui associent chacun de nous à l'ensemble de l'univers: nous sommes solidaires de tout l'univers comme la goutte d'eau est solidaire de l'Océan.* »

2. Relation masse-énergie

La relativité d'Einstein affirme que le temps et l'espace ne sont pas séparés. Il n'y a pas de temps et d'espace. Seul subsiste un continuum Espace-Temps où, l'espace et le temps sont un.

Précisons, avant de poursuivre, que dans la pensée d'Einstein il ne faut pas considérer le temps seul et l'espace seul, mais une entité unique et continue l'Espace-Temps. Une illustration peut nous permettre de mieux comprendre cette notion d'Espace-Temps continu. En effet, quand nous regardons le soleil, par exemple, nous ne le voyons pas tel qu'il est à l'instant où nous vivons présentement, mais tel qu'il était il y a 8 minutes dans le passé. En d'autres termes, quand nous regardons autour de nous, nous ne regardons pas seulement dans l'espace mais aussi, dans le passé c'est-à-dire, dans le temps. Le temps se trouve donc dans la réalité, absolument inséparable de l'espace.

La théorie d'Einstein implique aussi l'abandon de la distinction entre masse et énergie et de leur conservation séparée. Cette étonnante découverte tient toute entière dans la plus célèbre formule au monde: $E=mc^2$. La masse et l'énergie ne sont rien de plus que des formes différentes d'une seule et unique chose. Il n'existe pas de différence qualitative entre la masse et l'énergie. La masse et l'énergie sont des noms différents désignant la même chose. En effet, toute masse est une mesure d'énergie interne. La matière est énergie. L'énergie est donc le seul matériau de l'univers. Tout est énergie.

Avec cette relation, Einstein découvrit le secret de l'énergie des étoiles. Au centre d'une étoile, des atomes d'hydrogène sont si fortement comprimés par la force gravitationnelle qu'ils fusionnent en donnant naissance à un nouvel élément: l'hélium. Quatre atomes d'hydrogène produisent ainsi un atome d'hélium.

Mais, la masse d'un atome d'hélium est légèrement inférieure à la somme des masses des quatre atomes d'hydrogène. Cette petite différence de masse est libérée sous forme d'énergie radiante, chaleur et lumière.

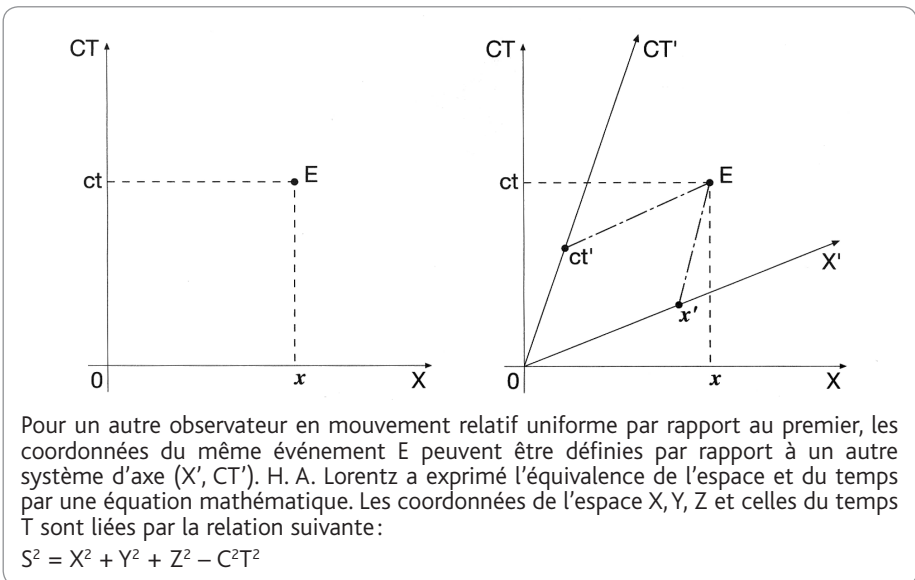
3. L'Espace-Temps, représentation de Minkowski

On peut représenter l'Espace-Temps par un système de coordonnées à quatre dimensions: les 3 dimensions de l'espace formant les 3 premiers axes, le temps le quatrième.

Pour un événement donné E, on peut représenter le diagramme d'Espace-Temps dans un plan (X; CT) où, l'axe X représente la trajectoire de l'espace et l'axe CT le temps.

Le mathématicien Hermann Minkowski montra que l'équation de Lorentz pouvait traduire des rotations d'un faisceau de 4 axes euclidiens dans un Espace-Temps de dimension quatre. L'équation caractéristique $S^2 = 0$ définit un cône qui trisse l'Espace-Temps en 3 régions:

- deux régions intérieures « du genre temps »: le « passé » et le « futur »;
- une région extérieure du « genre espace »: l'ailleurs, inconnu de la physique classique.



Le cône est le lieu des trajectoires des rayons lumineux émis ou reçus en E. (ET) et (ET') sont les lignes d'univers des photons. Deux remarques importantes doivent être soulignées :

- **L'extension temporelle de la matière**

Si la matière est conçue comme spatialement étendue, alors, par nécessité géométrique, elle est aussi temporellement étendue.

Le physicien O. Costa de Beauregard arrive à la même conclusion quand il écrit :

« De ce que dans tout repère inertiel la vitesse de la lumière est mesurée la même dans toutes les directions, résulte la conséquence métaphysique que, la matière est étendue dans le temps tout autant que dans l'espace. »

- **Le problème du temps en relativité**

Pour un observateur se trouvant en E, on peut imaginer que la région de l'« ailleurs » est virtuellement comprimée entre « passé » et « futur ». Sa ligne d'univers se confond pratiquement avec l'axe des temps.

Nous accordons une dimension spatiale au temps, et c'est cette représentation du mouvement du temps dans l'espace qui nous donne la sensation du passé, du présent et du futur.

C'est pour cela que les événements de notre vie semblent se confondre avec le temps et que nous avons la sensation d'avancer peu à peu dans la vie avec les années. Arrêtons-nous, un instant, sur cette impression de temps linéaire qui domine toute notre existence et a ses implications.

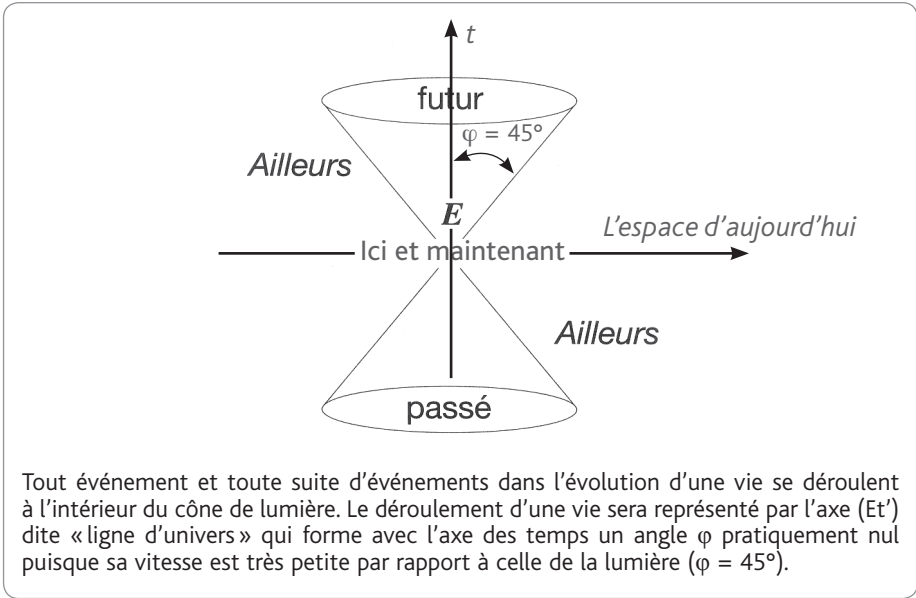
Constatons que cette simple sensation d'un temps réel, objectif et universel, qui s'écoule, en dehors de nous, de façon linéaire sans boucles, sans interférences entre le passé et le futur infinis, est devenue la croyance et le moteur absolu de nos vies. Inconsciemment présent en chacun de nous, ce concept de temps absolu tout à fait imaginaire n'est pas sans influence sur notre existence et notre comportement.

Nous parlons, nous pensons, nous organisons notre vie comme si ce temps existait réellement et nous le vivons comme un contenant dans lequel nous nous efforçons, désespérément, de faire, rentrer le plus de choses possibles.

Plus « le temps passe » plus nous envahissons notre mémoire de souvenirs et plus nous sommes angoissés parce que nous ne profitons pas de nos actes au moment de leur accomplissement.

En contradiction flagrante avec la notion de temps réel absolu, la théorie de la relativité propose une autre démarche dont les perspectives sont à la fois fascinantes et révolutionnaires. Elles révèlent, en effet, grâce à la repré-

sentation graphique de l'Espace-Temps de Minkowski, que passé, présent, futur sont intimement mêlés. Autrement dit, passé et futur existent tous deux à la fois en l'instant présent.



« De l'amas d'informations contenu dans cette représentation, écrit Zukav, l'aspect le plus frappant est que la totalité du passé et la totalité du futur, pour chaque individu, convergent à jamais vers un point unique, maintenant.

Qui plus est, le maintenant de chaque individu est spécifiquement situé, et ne se trouvera jamais en un autre endroit que l'ici (où se trouve l'observateur). »

Le présent, dans cette perspective, est le seul temps qui nous appartienne vraiment. Cette vision surprenante de l'existence nous commande donc « d'être à chaque instant » puisque « vivre » c'est être présent à chaque instant.

La représentation de l'Espace-Temps souligne avec force la portée de « l'instant présent ». Elle pose les bases d'une autre philosophie de la vie qu'exprime bien le physicien Jeremy Hayward dans son ouvrage : *Lettres à une jeune fille sur l'enchantement du monde* :

« Pour vivre dans sa plénitude chaque instant de notre vie, il faut ressentir personnellement "cet instant-là". Pour le ressentir à la fois dans notre corps et dans notre esprit, notre corps et notre esprit doivent être reliés. Quand nous serons capables de ressentir le flux de notre expérience immédiate en transformation, notre vécu retrouvera la richesse qu'il a perdue depuis des générations. Quand on n'essaie pas de faire rentrer en force tout ce qu'on vit dans le fourreau étroit du temps objectif, on peut commencer à sentir le rythme et la variété des multiples motifs que dessine notre expérience. On

peut commencer à sentir que le temps vécu comporte des mouvements, des qualités, des discontinuités et même des brèches. Dans ces brèches du présent, des choses se rencontrent, "tombent ensemble", d'une façon mystérieuse. Ce sont des co-incidences et elles ont un sens pour nous. Si nous savons être attentif, elles peuvent nous frapper, nous réveiller... »

Pour des physiciens de renom – Wheeler, D. Mattuck, Costa de Beauregard, pour ne citer que ceux-là – la révolution relativiste reste, tant sur le plan philosophique, que sur le plan théorique, largement sous-estimée.

De plus, lorsqu'elle est associée au principe de non-séparabilité de la mécanique quantique, elle postule, clairement selon ces physiciens, l'existence des phénomènes de l'expérience humaine qui défient toute logique ; à savoir : la télépathie, la précognition et la psychocinèse.

Richard D. Mattuck de l'Université de Copenhague écrit à ce sujet :

« Certaines expériences ont montré, me semble-t-il, que quelque chose qui se passera dans le futur, peut avoir une influence sur ce qui se passe aujourd'hui, et l'on peut, peut-être, admettre aussi la réalité de ce que l'on appelle précognition. »

De son côté, Costa de Beauregard va encore plus loin quand il écrit :

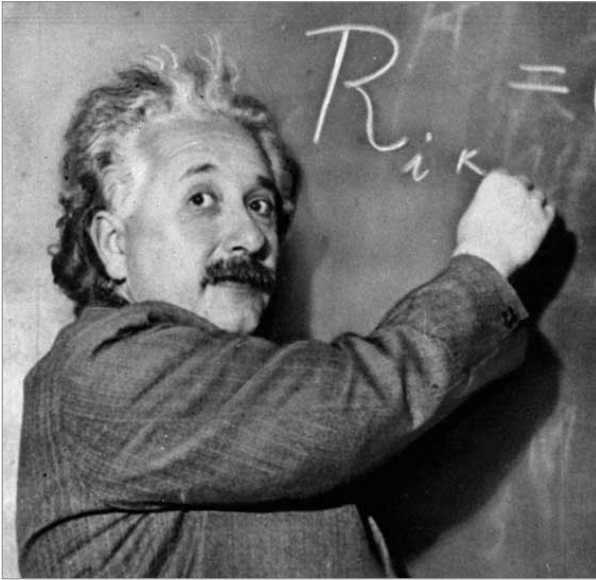
« Incorporée au contexte "sui generis" de la non-séparabilité quantique (surtout dans son expression relativiste), la problématique informatique postule enfin des plus clairement l'existence des phénomènes dits "paranormaux" de télépathie, précognition, psychocinèse... De plus, des preuves expérimentales répétées en sont maintenant produites au laboratoire. »

Notons pour finir qu'au sein du concept d'Espace-Temps, les grandeurs fuyantes que sont isolément l'espace et le temps se compensent l'une l'autre, et révèlent une unité sous-jacente qui n'est pas relative mais absolue ou « invariante ». À plusieurs occasions, Einstein émit le regret d'avoir appelé sa théorie « relativité » et pensa qu'il aurait mieux fait de la nommer « théorie de l'invariance » puisque c'est l'invariance de L'Espace-Temps qui en est le principal concept.

LA RELATIVITÉ GÉNÉRALE

*« Le temps et l'espace sont reliés ;
la matière et l'énergie courbent l'espace ;
l'espace recourbé modifie les mouvements des corps ».*

Albert Einstein – 1879-1955



$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \kappa T_{\mu\nu}$$