

LE TEMPS A LA LUMIERE DE LA RELATIVITE ET DE LA MECANIQUE QUANTIQUE

Lucien Daly

Il n'est pas possible de parler du temps sans parler de l'espace. Pourquoi ? Parce que nous sommes maintenant très loin de la conception de Newton, qui reste celle que nous vivons pratiquement tous les jours : conception d'un espace statique et d'un temps distinct qui s'écoule dans un sens inexorable pour tous et que l'on appelle la flèche du temps. La relativité restreinte, établie depuis 1905, montre que le temps et l'espace sont profondément liés. La relativité générale montre que l'espace et le temps sont modifiés par la présence de la matière ou de l'énergie. La mécanique quantique quant à elle, qui régit le monde microscopique, est surprenante avec son effervescence frénétique et la possible réversibilité du temps.

Le temps et la relativité restreinte

En 1887, l'américain Albert Michelson en mesurant sa vitesse de propagation de la lumière obtint un résultat inattendu : la lumière émise dans le sens et en sens inverse de la rotation de la Terre donnait, dans les deux cas, le même résultat, c'est-à-dire une vitesse c inchangée. Il s'attendait, bien entendu, à trouver, respectivement dans les deux cas la somme et la différence des vitesses de la lumière et de la rotation de la Terre, en accord avec la formule qui donne la vitesse absolue V_a comme la somme algébrique des vitesses relative et d'entraînement V_r et V_e :

$$V_a = V_r + V_e \quad (1)$$

La vitesse de la lumière apparaissait ainsi comme une vitesse limite indépassable. Et comme cela était en contradiction avec les lois du mouvement de Newton et en particulier avec ses hypothèses d'espace et de temps absolus, il fallait en tirer les conclusions. C'est Albert Einstein et Henri Poincaré qui, pratiquement la même année en 1905, proposèrent une solution à ce problème dans le cadre de ce que l'on appelle maintenant le principe de la relativité restreinte. Ce principe stipule, d'une part, que le déplacement dans l'espace n'est pas un concept absolu, c'est-à-dire que l'on ne peut le qualifier que par rapport à un autre¹, et d'autre part que l'espace et le temps sont de même nature.

L'application de ce principe de relativité, en tenant compte du fait que la vitesse de la lumière c est une constante, c'est-à-dire toujours la même que la source lumineuse soit fixe ou mobile, a conduit à l'établissement de la nouvelle formule suivante qui lie c aux vitesses précédemment introduites V_a , V_e et V_r .

$$V_a = (V_r + V_e) / (1 + V_r V_e / c^2) \quad (2)$$

On voit tout de suite que si les vitesses relatives et d'entraînement sont petites devant c , ce qui est le cas dans notre vie courante, le terme $V_r V_e / c^2$ est très petit et cette formule se réduit à la formule (1). On comprend ainsi pourquoi la formule plus générale traduisant la relativité restreinte, mais surtout valide pour des vitesses se rapprochant de celle de la lumière, a pu si longtemps nous échapper.

On peut montrer simplement que le temps comme l'espace n'est pas un concept absolu à partir d'une expérience de simultanéité. Imaginons que vous soyez dans une station spatiale et qu'une navette spatiale pourvue de propulseurs très puissants passe devant vous à une vitesse proche de celle de la lumière. Si son conducteur se positionne exactement au centre de sa navette et allume une lampe il pourra vérifier que la lumière de la lampe atteint les deux extrémités de la navette au même moment, de façon simultanée. Mais pour vous le vaisseau est en mouvement. L'arrière de la navette avance et se précipite vers les rayons lumineux provenant de la lampe, alors que l'avant au contraire s'éloigne et tend à retarder le moment de la rencontre. Pour vous, les rayons de la lampe atteignent donc l'arrière de la navette avant de toucher l'avant.

¹ Le mouvement dont il s'agit ici est un mouvement à vitesse constante et en ligne droite. En aucun cas il ne s'agit de mouvements avec une accélération ou avec une rotation, qui font intervenir respectivement une force d'accélération ou une force centrifuge. L'exemple d'un tel mouvement est celui que vous subissez dans un wagon de chemin de fer lorsque la vitesse du train est constante. Si vous avez les yeux fermés, vous ne ressentez absolument rien et vous pouvez même avoir l'impression que le train est arrêté : vous êtes comme on dit un *observateur libre*. C'est ce cas-là que nous examinons et non celui où le train freine ou tourne dans un virage à faible rayon de courbure, auquel cas vous ressentez respectivement une force, soit vers l'avant, soit sur le côté.

Les deux événements qui étaient simultanés pour le navigateur, ne le sont pas pour vous. On comprend donc que si les deux observateurs sont incapables de se mettre d'accord sur la chronologie de deux événements il n'est plus possible de parler d'un temps absolu.

On admettra donc sans peine que pour des grandes vitesses un phénomène nouveau devient de plus en plus important : il y a **dilatation du temps**. Pour un observateur en mouvement à la vitesse v , le temps n'a pas la même mesure que pour un observateur au repos ; On peut démontrer qu'il est multiplié par le coefficient de dilatation :

$$D_T = (1 - v^2/c^2)^{-1/2} \quad (3)$$

De même il y a **contraction de la longueur**. La longueur d'un objet en mouvement à grande vitesse v par rapport à un observateur fixe subit une contraction, sa longueur étant multipliée par le coefficient de contraction qui est l'inverse du coefficient précédent:

$$C_L = (1 - v^2/c^2)^{1/2} \quad (4)$$

L'espace et le temps étant de même nature, il en résulte d'abord que **le choix d'unités différentes de temps et d'espace ne se justifie plus**. Il serait stupide par exemple de mesurer la longueur et la largeur en centimètres et la hauteur en grammes. Non, le rapport d'une longueur sur une hauteur, comme vous le savez, est un nombre pur : on dit sans dimension. Eh bien, il doit en être maintenant de même pour le rapport entre le temps et une distance. La valeur de 299.792 Km/s pour la vitesse de la lumière résulte du mauvais choix de nos unités. La relativité restreinte montre que la nature profonde de la vitesse (rapport d'une longueur sur un temps) est d'être en fait un nombre sans dimension, comme nous admettions précédemment que c'était le cas pour le rapport d'une longueur sur une largeur par exemple. Pourtant peu de gens savent que depuis 1985, c'est-à-dire tout de même 80 ans après l'émergence de la relativité restreinte, le Bureau international des poids et mesures a fini par entériner ce fait : il n'y a plus qu'une seule unité, celle de temps et l'unité de longueur s'en déduit une fois c définitivement fixé : 299.792 Km valent 1s, c'est-à-dire que c vaut 1 et par exemple 30 cm vaut 10^{-9} s (c'est-à-dire une nanoseconde). Les vitesses deviennent alors des quantités non dimensionnées ne pouvant varier que entre -1 et $+1$. Il faut bien comprendre que, si nous allions jusqu'au bout des implications de la relativité restreinte, nous devrions mesurer les longueurs en nanosecondes. Il faudrait en particulier changer tous les panneaux routiers. On pourrait lire par exemple à Limoges : Paris 1 milliseconde au lieu de 300 kilomètres ! Mais pour rester pragmatique, on peut dire que le kilomètre et la seconde sont des unités plus proches de nos ordres de grandeur et dont nous avons l'habitude. C'est pourquoi, nous en restons sans le savoir aux unités de Newton.

Il en résulte ensuite **que nous devons maintenant raisonner dans un espace à 4 dimensions** en utilisant l'extension mathématique de la géométrie à 3 dimensions. Pour se faire une idée de ce qui en résulte on peut simplement examiner ce qui se passe dans un espace à deux dimensions, c'est-à-dire dans un plan, avec deux axes, l'un nord-sud et l'autre est-ouest par exemple. Imaginons un mobile qui part de A vers le sud, fait 30 Km, puis se dirige vers l'est et fait 40 Km pour arriver en B. Quelle est la distance de A à B ? Certes, elle n'est pas de 70 Km, ce qui serait le cas si le mobile n'avait utilisé qu'une seule dimension, mais de 50 km. Et pour calculer cette distance, nous avons utilisé simplement le **théorème bien connu de Pythagore**, c'est-à-dire introduit dans les formules des puissances de deux et des racines carrées en déterminant ce que l'on appelle la somme géométrique telles qu'elles apparaissent dans les formules (2), (3) et (4). Le fait d'utiliser une dimension supplémentaire fait donc diminuer l'espace parcouru. Eh bien, le même raisonnement s'applique si le mobile se déplace en ligne droite et que nous faisons intervenir la dimension supplémentaire du temps. On peut ainsi parler de la vitesse d'un objet dans le temps de la même façon que nous avons appris à parler de la vitesse d'un objet dans l'espace. Mais dans le cas de l'espace-temps, il est question maintenant de la vitesse généralisée d'un mobile dans les quatre directions, trois spatiales et une temporelle.

Il en résulte aussi que **les objets de l'Univers se déplacent dans l'espace-temps toujours à la même vitesse, celle de la lumière**. Si vous vous déplacez dans l'espace à la vitesse de la lumière, vous ne pouvez plus vous déplacer dans le temps. On est donc à même maintenant de comprendre qu'une horloge en translation retarde pour un observateur extérieur, car une partie de son mouvement temporel sert à son déplacement dans l'espace. De même, la vitesse dans l'espace d'un objet est limitée : sa vitesse maximale est atteinte si la totalité du mouvement dans le temps est employée au déplacement dans les dimensions d'espace. C'est le cas de la lumière qui ne *vieillit* pas. Un photon créé lors du Big Bang a toujours le même âge aujourd'hui et pour l'éternité. A la vitesse de la lumière, le temps cesse de s'écouler. Si nous pouvions vivre à la vitesse de 298.300 Km/s, c'est-à-dire à 99,5% de celle de la lumière, notre durée de vie serait multipliée par 10, conformément à la formule 4. Nous pourrions vivre 8 siècles au lieu de 80 ans ! Cependant, notre vie se

ferait bien au ralenti pour l'observateur extérieur, mais on comprend que pour partager réellement sa vie avec d'autres personnes, celles-ci doivent vivre à la même vitesse².

Il en résulte enfin **qu'il est possible d'envisager de voyager dans le futur** : construisez un vaisseau spatial, voyagez presque à la vitesse de la lumière pendant six mois, faites demi-tour et revenez à la même vitesse. Quand vous serez de retour, vous aurez un an de plus - six mois pour l'aller, six mois pour le retour. Mais Einstein a montré qu'à cause de votre vitesse le temps se sera écoulé pour vous plus lentement que pour n'importe qui sur Terre. Donc, quand vous descendrez de votre vaisseau spatial, vous constaterez que bien plus d'une année s'est écoulée sur notre planète. En fonction de votre vitesse, ce seront deux ans, ou dix, ou cent, ou cent millions d'années qui se seront écoulées sur la Terre. Vous aurez voyagé dans le futur terrestre. Bien sûr, nous ne savons pas encore construire des vaisseaux capables d'atteindre de telles vitesses avec la technologie habituelle, mais, du point de vue de la physique fondamentale, il n'y a aucun obstacle à voyager dans le futur.

Le temps et la relativité générale

On sait depuis les expériences spatiales que l'un des moyens de recréer dans l'espace une pesanteur artificielle est de réaliser une grande roue, tournant suffisamment vite pour que sur la partie externe (à l'intérieur d'une sorte de pneu pressurisé, partie en quelque sorte la plus éloignée du centre de la roue) la **force centrifuge soit de même intensité que la pesanteur terrestre**. Imaginez que vous marchiez à l'intérieur de ce gros pneu, la tête dirigée vers le centre de la roue et les pieds bien fixés sur la bande de roulement du pneu comme sur le sol terrestre, et qu'un cosmonaute en combinaison, situé au centre de rotation reste en état d'apesanteur. Si vous mesurez la circonférence de la roue avec un mètre et si le cosmonaute mesure le rayon R de la roue, la relativité restreinte impose que votre mètre soit contractée en accord avec la formule (4), car il est disposée dans le sens du mouvement et que le mètre du cosmonaute ne le soit pas puisqu'il est perpendiculaire à la direction du mouvement. Ainsi la circonférence que vous mesurez est plus petite que $2\pi R$. Ceci ne peut s'expliquer, évidemment, que si le cercle est tracé sur une surface courbe, ici en l'occurrence sur une surface convexe comme une sphère.

Si l'on remarque qu'il y a équivalence entre la force centrifuge et la pesanteur terrestre (qui est due à la masse de la Terre), on en déduit qu'une masse **déforme l'espace-temps**³ en son voisinage. La figure 1, extraite d'un livre Brian Greene⁴, représente dans un espace à deux dimensions l'effet produit par le Soleil.

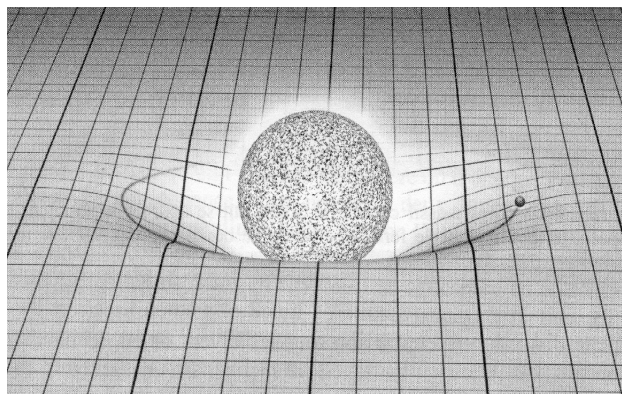


FIGURE 1

Au voisinage du Soleil, l'espace est en quelque sorte distendu, un peu comme une membrane élastique sur laquelle on poserait une boule, le creux étant d'autant plus grand que la masse de la boule est plus grande. Ce n'est qu'une analogie imparfaite parce que la troisième dimension d'espace et le temps ne sont pas représentés. Mais on a ici la **justification de la loi de Newton** qui n'expliquait pas comment la gravitation peut agir à distance. On peut aussi conclure que **le temps peut varier d'un endroit à un autre**, en fonction de la présence de matière. Ainsi, il s'écoule plus lentement à proximité d'un corps massif. En effet,

² Pour ceux qui souhaiteraient parfaire leur compréhension de la relativité restreinte, Georges Gamov et Russell Stannard (*Le nouveau monde de M. Tomkins*) ont imaginé un univers particulier où la vitesse de la lumière est beaucoup moins grande que dans la réalité, ce qui amplifie évidemment les effets de cette relativité. Les multiples exemples qu'ils présentent illustrent bien les conséquences inhabituelles que nous vivrions si nous nous déplaçons à des vitesses proches de celle de la lumière.

³ En ce sens, la relativité générale est une extension de la relativité restreinte, ce qui n'étonnera personne.

⁴ GREENE Brian, *L'Univers élégant*, Editions Robert Laffont, Paris 2000.

on vit plus longtemps au niveau du sol qu'en haut de la tour Eiffel. De même, on vieillit plus vite au 100^e étage d'un gratte-ciel qu'au rez-de-chaussée. Sur la figure, la Terre a été représentée. On comprend mieux maintenant, à l'aide de cette figure, comment cette dernière est maintenue sur une orbite autour du Soleil. Elle file sur les reliefs de la structure courbe de l'espace ; elle suit en quelque sorte un chemin de moindre résistance dans la région courbée autour du Soleil. Nous avons là, un mécanisme de transmission immédiate de la gravité.

Le temps et l'espace dépendent intimement de la matière ? Notre intuition nous conduit à penser que là où il n'y a pas de matière, il est bien impossible de définir un espace. En effet, comment définir une distance, si aucun *grain* de matière ne permet de définir un point de départ ou un point d'arrivée. Et puis, au-delà de notre Univers en expansion, où il n'y a évidemment pas de matière, il n'y a pas d'espace ni de temps. La nécessité de la présence de matière pour définir un espace temps, est donc quasiment une évidence.

Dans le langage philosophique, le temps et l'espace sont des *accidents* liés aux substances matérielles dont l'Univers est fait et hors desquelles le temps et l'espace n'existent pas. D'autres exemples d'*accidents* sont la couleur ou la taille (d'une cerise ou d'un homme par exemple). Un accident ne peut pas exister indépendamment d'une substance qui en est le sujet. De la même façon, une substance matérielle ne peut exister sans accidents. Un fruit a une certaine couleur, une énergie a une certaine intensité, un rayonnement une certaine longueur d'onde. Les deux sont liés, mais il apparaît clairement que les accidents sont moins nobles que la substance, puisqu'ils ont besoin de son support pour exister.

Dans ces conditions, on peut donc dire qu'un être immatériel n'occuperait ni espace ni temps. On peut s'interroger sur l'éventuelle immatérialité de Dieu. Un Dieu que l'on pourrait situer dans le domaine immatériel hors de notre Univers en expansion, permet de lui attribuer quelques caractéristiques évidemment assez troublantes. Plutôt que de dire que ce Dieu est partout, il vaudrait mieux dire que c'est partout qui est en lui. Cela rappelle, la comparaison faite par Saint Augustin *entre la multitude d'éponges qu'il avait vu plongées dans l'océan et l'univers des galaxies ainsi plongées dans l'immensité de Dieu*. Ainsi, les galaxies et chacun d'entre nous seraient en lui, comme les éponges étaient dans l'océan que contemplait le Saint Patron des théologiens. De même, toute la durée du temps est présente en lui ; il n'existe en lui qu'un unique instant sans succession, qu'un éternel présent. Il est difficile ici de ne pas penser à un monde parallèle, qui contiendrait deux dimensions temporelles : un temps ordinaire tel que nous le vivons et un super temps où chaque instant contiendrait une vie entière.

Ainsi semble aussi pouvoir s'éclaircir le texte liturgique suivant de *La Préface de la nativité* du Christ, qui pouvait paraître quelque peu ésotérique : *engendré avant le temps, il entre dans le cours du temps*. Ce texte devient ainsi conforme à la foi, à la philosophie et à la science. Dans cette hypothèse, le Christ qui est le fils de Dieu aurait bien existé avant la création, c'est-à-dire avant que le temps ne commence à exister comme conséquence de la création de la matière. Il serait entré dans le temps lors de sa naissance parmi nous : *et le verbe s'est fait chair (Evangile selon St Jean 1,14)*.

Le temps et la mécanique quantique

La réversibilité du temps

Notre Univers est un milieu fractal, c'est-à-dire qu'il montre des structures et des propriétés différentes en fonction des échelles auxquelles on l'examine. Aux échelles astronomiques, la théorie de la relativité prévoit qu'un espace vide de masse est un espace plat, comme l'illustre, avec deux dimensions pour simplifier, la figure 2 dans sa partie basse. Au fur et à mesure que l'on examine des zones de plus en plus petites de l'espace, il apparaît ici et là de faibles ondulations dues à l'existence de masses, comme celle du Soleil à l'échelle de l'espace (figure 1) ou comme votre propre masse à notre échelle. Cependant, l'espace reste continu et lisse. Ce n'est qu'au dernier grossissement de la figure 2 que les fluctuations d'énergie, de masse et donc de gravitation, bouleversent profondément la structure de l'espace-temps. La description de Brian Greene est particulièrement bien imagée : *L'examen microscopique de l'espace (et du temps) révèle une terrible facette de l'Univers : les notions conventionnelles de droite et gauche, devant et derrière, haut et bas – et même avant et après – perdent leur sens. John Wheeler a inventé le terme de mousse quantique pour décrire cette écumeuse effervescence*. La courbure douce et continue de l'espace-temps du monde, à grande échelle, est en désaccord total avec l'effervescence frénétique de l'espace-temps du monde ultramicroscopique. Pour ce qui nous intéresse ici particulièrement, c'est-à-dire le temps et l'espace, nous franchissons à cette échelle une nouvelle étape où le temps, comme l'espace, peuvent maintenant être réversibles. **La flèche du temps disparaît et le temps peut s'écouler dans les deux directions : le futur et le passé.**

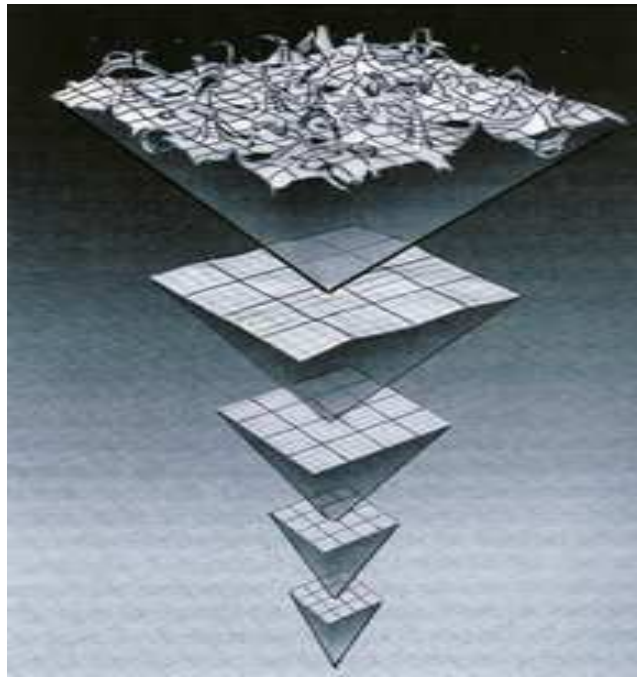


FIGURE 2

On peut se demander comment le monde quantique, régi par des lois si difficiles à accepter, peut donner naissance au monde qui nous est familier et dont les lois sont si différentes. Plusieurs théories ont été proposées, comme celle de la décohérence. En gros, à petite échelle, tant que l'amas de particules n'est pas trop important, les interactions (interférences) quantiques ne seraient pas perturbées par le milieu ambiant : la matière, en état de cohérence, obéirait aux lois de la mécanique quantique. Lorsque le nombre de particules devient suffisamment grand, l'effet des interactions avec toutes les particules environnantes produirait le phénomène de décohérence. Dans ce domaine de l'infiniment petit, que penser également d'une intelligence qui se serait développée à cette échelle et qui obéirait aux lois de la mécanique quantique ? **Jouirait-elle de la réversibilité temporelle admise par la science ?**

Le phénomène d'intrication

L'interprétation du phénomène d'intrication continue encore à faire débat parmi les physiciens. C'est un des plus bel exemple, actuellement en physique, de débat épistémologique. Il pose en effet la question de savoir comment interpréter le fait que **deux grains de lumière, même séparés par des milliards de kilomètres, font partie du même ensemble.** Pour tenter de le savoir, Albert Einstein, avec deux de ses collaborateurs, Boris Podolsky et Nathan Rosen, avait imaginé en 1935 une expérience de pensée connue sous le nom de paradoxe EPR (d'après les initiales des noms des trois auteurs). Dans cette expérience, il s'agissait de vérifier si deux particules A et B issues d'un même atome, donc initialement interdépendantes, le restaient après leur séparation, ce que ne pouvait accepter Einstein. Ce n'est qu'en 1982 que le français Alain Aspect de l'Université d'Orsay pu réaliser une expérience avec deux photons A et B issus d'un seul atome, la grandeur physique mesurée étant l'état de polarisation. Émis en sens opposés, après une séparation de 12 mètres, la mesure de leur état de polarisation, permet de montrer sans ambiguïté que l'état de polarisation de l'un dépend toujours de celui de l'autre. A sait toujours instantanément ce que fait B et réciproquement ce qui semble être en contradiction avec le fait que la vitesse de la lumière est indépassable. Autrement dit, le lien demeure même si les particules sont très éloignées l'une de l'autre : c'est ce que Niels Bohr a appelé l'indivisibilité du quantum d'action ou encore l'inséparabilité quantique.

Après cette première expérience, d'autres ont été réalisées montrant la même corrélation sur des distances plus grandes. La conclusion est que nous devons accepter l'idée que les deux grains de lumière, même séparés par plusieurs kilomètres (144 dans une expérience récente faite par Thomas Scheidl de l'équipe de Vienne d'Anton Zeilinger), font partie du même ensemble. Enfin, la même équipe a constaté le même résultat en 2004 sur une molécule de 256 atomes ayant pu passer à la fois par les 2 fentes de Young. (Cet état quantique où la décohérence n'est pas encore présente permettrait d'ailleurs la téléportation)

Ce phénomène d'intrication est évidemment troublant de prime abord. En effet, les physiciens rejettent unanimement l'intervention d'un signal pouvant aller à une vitesse supérieure à celle de la lumière. Pourtant,

Olival Fréire⁵ rapporte que la dernière expérience faite par l'équipe de Vienne en 2007 conduit à admettre que **les propriétés des particules dépendraient des observations**⁶. Par ailleurs, il fait la constatation que *de plus en plus de physiciens pensent que la non-localité quantique implique une révision radicale des concepts d'espace-temps*.

A la réflexion, l'intrication à distance de deux photons est-elle si étonnante ? Nous avons vu que les photons qui voyagent dans l'espace à cette vitesse, **ne peuvent plus se déplacer dans le temps**. La lumière ne vieillit pas. N'est-ce pas un résultat aussi surprenant que le phénomène d'intrication mais qui s'explique pourtant dans le cadre de la relativité restreinte ? De ce fait, les photons, et sans doute bien d'autres particules qui se déplacent à des vitesses proches de celle de la lumière, évoluent dans un espace-temps à seulement 3 dimensions et non 4 comme les observateurs que nous sommes. Il ne me paraît donc pas si étonnant que ces particules, prisonnières comme dans un **hologramme**, donc privées de « mouvement » et dont les propriétés sont dépendantes des observations, conservent leur dépendance mutuelle. Pour aider à la réflexion, il est important de bien comprendre la conséquence de la suppression d'une dimension. Imaginez que cela vous arrive ! Imaginez vous inclus dans une photo qui est un espace à 2 dimensions, ou dans un hologramme qui est un espace à 3 dimensions, comparable à celui dans lequel évolue le photon.

Le temps et les théories des cordes et des multivers

La théorie des cordes intéresse le domaine de l'infiniment petit. Elle est née pour tenter de régler le conflit entre la mécanique quantique qui régit le monde ultra microscopique et la mécanique relativiste qui régit notre monde visible. Les quarks et les électrons seraient constitués d'éléments encore plus petits, les cordes dont les dimensions seraient de l'ordre de la longueur de Planck, c'est-à-dire 10^{-33} cm. On peut imaginer les cordes comme des boucles élastiques fermées qui vibrent avec un nombre entier d'ondes réparties sur leur circonférence, ce nombre dépendant de la tension à laquelle est soumise la corde. Ainsi, les différentes particules, comme les quarks et les électrons, seraient faites de cordes identiques, mais vibrant différemment. Cette théorie résoudrait non seulement le conflit entre les deux mécaniques, mais de plus propose un seul et unique constituant, la corde, pour générer toutes les particules connues jusqu'alors.

Pour ce qui nous intéresse, cette théorie implique l'existence de **onze dimensions (dix spatiales et une temporelle)**. Il peut évidemment paraître étrange que l'espace dans lequel nous vivons comporte sept dimensions spatiales supplémentaires. Pourtant, l'explication est relativement simple. Ces sept dimensions seraient *cachées* c'est-à-dire enroulées sur elles-mêmes. On peut se demander si ces dimensions restent enroulées dans ce domaine de Planck. Cela permettrait aussi d'envisager *l'éventualité fascinante de nouvelles dimensions temporelles qui pourraient bien avoir un rôle à jouer dans les développements futurs*⁷.

Quant à la théorie des super cordes ou théorie M, elle nous laisse soupçonner, comme le souligne Brian Greene, l'existence **d'un domaine étrange et nouveau tapi sous la longueur de Planck ; un domaine où il pourrait n'exister ni notion d'espace ni notion de temps**. D'ailleurs, Actuellement, Carlo Rovelli travaille en collaboration avec Alain Connes, un mathématicien renommé du Collège de France à Paris. Ensemble, ils ont développé un cadre de travail leur permettant de démontrer comment la chose que nous appelons le temps pourrait émerger de l'écume de la réalité intemporelle quantique. Carlo Rovelli la décrit de manière imagée : *"Le temps pourrait être un concept émergent à grandes échelles - un peu comme le concept de la 'surface de l'eau', qui n'a de sens qu'au niveau macroscopique mais qui perd son sens précis quand on l'examine au niveau atomique."*

Dans le domaine de l'infiniment grand, les univers multiples d'Andrei Linde, dont les dimensions d'espace-temps peuvent aller jusqu'à 10, offrent des possibilités quasi infinies... Que penser de l'existence dans **certains univers d'une dimension temporelle supplémentaire**, comme la science ne l'exclue pas ? Comment imaginer ce super temps, qui engloberait en *un instant* toute la durée de notre vie humaine ? Les espaces bulle de Linde resteront sans doute hypothétiques, mais ils sont pourtant acceptables scientifiquement.

⁵ FREIRE Olival, La bizarrerie quantique à l'épreuve, Les dossiers de La Recherche, n°29, 2007

⁶ Ceci s'accorde avec la mécanique quantique relationnelle de Carlo Rovelli (1990). Il n'existerait en fait pas de propriété absolue indépendante de l'observateur. Tous les objets sont quantiques, et leurs propriétés sont relatives à l'appareil qui les mesure. Le monde apparaît comme un ensemble de relations plutôt que comme une collection d'entités autonomes. En particulier, un univers quantique qu'un observateur extérieur examinerait n'a aucun sens.

⁷ GREENE Brian, *L'Univers élégant*, Editions Robert Laffont, Paris 2000.

REMARQUE

Il peut être utile de donner quelques explications pour faciliter la compréhension, difficile il est vrai, de ce que pourrait être un monde qui posséderait ne serait-ce qu'une seule dimension supplémentaire d'espace par rapport au monde dans lequel nous vivons.

Le plus simple est d'envisager, comme un certain nombre d'auteurs l'on déjà fait, un monde à deux dimensions spatiales contenu dans notre monde qui en contient trois, et d'examiner comment se verraient des êtres contenus dans l'un et l'autre de ces espaces. On peut déjà noter qu'il peut exister dans notre espace une infinité de plans parallèles et par conséquent on peut penser qu'un monde à n dimensions peut contenir une infinité de mondes à $n-1$ dimensions. Imaginons donc, dans notre espace, par exemple un plan vertical dans lequel vit un être à deux dimensions. Ce dernier ne peut voir que ce que son plan qui le contient recoupe dans notre espace. Par exemple, une boule à 3 dimensions qui traverse son espace à deux dimensions a la forme d'un point puis d'un segment qui grandit puis rapetisse pour redevenir un point et disparaître. S'il voulait se faire une idée de la forme de l'objet 3d qui lui apparaît, il lui faudrait non seulement connaître la loi du mouvement de l'objet, mais encore reconstituer ce dernier à partir de la succession des images 2d, comme dans une synthèse réalisée avec les images de scanner. Et encore, dans le cas précis, il ne pourrait reconstituer qu'une section de l'objet, c'est-à-dire un cercle plein. Ainsi, tant que vous ne traverserez pas ce plan, il ne vous verra pas. Si ce plan vous recoupe, il ne verra de vous qu'une tranche, à la manière d'une image élémentaire de scanner. Il ne vous voit pas comme vous êtes en 3 dimensions, mais à *son image*, dans 2 dimensions. Si maintenant vous imaginez que votre espace à 3 dimensions spatiales est contenu dans un espace à 4 dimensions, on peut penser par analogie, qu'un être évoluant dans ce dernier espace ne vous sera visible *en tranche* que s'il veut bien recouper votre espace. Dans ce dernier cas, vous le verrez apparaître de façon partielle, à *votre image* en quelque sorte.

Ainsi, on pourrait expliquer, à titre d'illustration, les apparitions, Dieu, la vierge Marie ou l'ange Gabriel vous apparaissant à *votre image* lorsque, évoluant dans un espace à 4 dimensions spatiales, ils décident de recouper votre espace à trois dimensions. On pourrait alors être tenté de dire que si Dieu nous a créé à *son image*, les privilégiés qui Le *voient* lors d'apparitions ne Le voient pourtant que à *notre image* et jamais en 4d ! Cette explication, il faut l'admettre, n'est pas en désaccord avec la science, du moins au premier examen. Car il faudrait encore examiner toutes les implications de cet exemple donné surtout pour bien montrer toute la difficulté de comprendre les conséquences de l'existence d'une simple dimension supplémentaire. Or la théorie des cordes en prévoit sept. Imaginez donc encore que Dieu dispose, en plus des 4 dimensions spatiales précédentes, une dimension temporelle supplémentaire !