

Vitesse de la lumière et expansion de l'univers

INTRODUCTION

La vitesse de la lumière manifeste à bien des égards des propriétés paradoxales : son apparition dans des phénomènes où il n'y a ni lumière ni mouvement, son indépendance absolue par rapport à la vitesse d'un observateur, sa double interprétation en termes de vitesse de la lumière et de vitesse de la gravitation, pour ne citer que ces trois exemples. Ces paradoxes nous invitent, en rattachant la vitesse de la lumière à la géométrie de l'Univers plutôt qu'au caractère particulier de certains phénomènes qui s'y déroulent, à lui accorder *une signification plus fondamentale* que celle qui lui est habituellement donnée.

Par ailleurs, des articles récents [1-3] suggèrent qu'une autre valeur de la vitesse de la lumière au moment du big-bang pourrait résoudre de nombreux problèmes cosmologiques. Ces articles cependant n'abordent pas la question de justifier l'origine d'une telle variation de c qu'ils limitent d'ailleurs aux tout premiers instants de l'univers.

Dans cet essai, qui résulte d'une réflexion approfondie faite à partir de ces difficultés rencontrées en physique et de certaines anomalies présentes dans l'expression actuelle des théories cosmologiques, nous proposons de relier « c » à l'expansion de l'univers et nous montrerons quelques-unes des conséquences cosmologiques et physiques de cette hypothèse. Nous élargirons ensuite notre réflexion à une question de logique.

UNE DRÔLE DE VITESSE

Nous parlons souvent de « vitesse de la lumière » sans vraiment nous arrêter sur le caractère paradoxal de ces termes : la « grandeur c » a bien les dimensions d'une vitesse (puisque'elle est définie par le rapport d'une distance sur un temps), mais est elle pour autant une véritable vitesse ? Pour analyser le caractère exotique de cette « drôle de vitesse », reprenons certaines de ses particularités :

1. *La vitesse de la lumière est indépendante de celle de la source lumineuse et de celle de l'observateur.* Examiné sous l'angle de la notion de vitesse, la première partie de cet énoncé de la Relativité ne pose aucun problème puisqu'elle ne fait qu'exprimer un résultat bien connu pour toutes les ondes. La seconde exprime cependant *une propriété tout à fait exceptionnelle*. Dans tous les cas connus, qu'il s'agisse

BERNARD VIGOUREUX

d'onde ou même de matière, la vitesse mesurée par rapport à un observateur donné dépend toujours de l'état de mouvement de cet observateur : les ondes ou les particules qui viennent vers moi m'arrivent toujours plus vite si je vais à leur rencontre que si je les fuis. *Le phénomène lumineux est le seul de tous les phénomènes connus*

à ne pas satisfaire à cette règle : quelle que soit la direction de leur déplacement (qu'ils aillent au devant de la lumière ou qu'ils la fuient), tous les observateurs galiléens voient la lumière arriver vers eux à la même vitesse $c = 299\,792\,458$ m/s. En d'autres termes, la vitesse de la lumière ne peut s'ajouter à la vitesse d'aucun mobile. Ce résultat absolument unique dans la nature lui confère évidemment *un statut tout à fait spécial*.

2. *La vitesse de la lumière ne peut être assimilée à une grandeur vectorielle.* C'est là une autre caractéristique, plus mathématique mais tout aussi étonnante, de la vitesse de la lumière. Une vitesse est une grandeur vectorielle, c'est-à-dire définie par la donnée simultanée d'une direction (par exemple, je me déplace suivant le méridien du lieu où je me trouve), d'un sens (vers le nord) et d'un nombre appelé module (l'aiguille de mon compteur indique « 90 km/h »). Or la « vitesse de la lumière » *n'apparaît comme un vecteur dans aucune équation physique*. Cette infirmité, pour une « vitesse », de n'être définie que par un nombre est la plupart du temps masquée par l'usage de termes comme « célérité », etc... Il n'en demeure pas moins qu'une grandeur physique, qui n'a besoin, pour être parfaitement définie, que d'un nombre, ne peut pas être rigoureusement considérée comme un vecteur et, partant, comme une « vraie vitesse ». Sans doute, d'un point de vue historique, y avait-il là de quoi éclairer la question de savoir pourquoi la vitesse de la lumière ne peut pas s'ajouter ou se soustraire à celle d'un observateur : la vitesse de l'observateur est un vecteur ; et la « vitesse » de la lumière n'en est pas un. Il n'est mathématiquement pas possible d'ajouter une grandeur vectorielle et une grandeur scalaire.

3. Autre caractère surprenant, la vitesse de la lumière apparaît dans le cadre d'expériences qui ne mettent en jeu ni lumière ni mouvement. A y regarder de près, ce caractère singulier de la « vitesse » de la lumière était présent, en filigrane, dès les premiers instants de la théorie électromagnétique. En 1857, en effet, une mesure étonnante de ce que l'on appelait la « constante de Weber », et qui devait être identifiée ensuite comme la vitesse de la lumière dans

le vide, était réalisée à partir de mesures de forces « statiques » exercées dans deux expériences où n'intervenait ni lumière ni mouvement. C'est Kirchhoff qui, le premier, devait identifier cette constante comme étant la vitesse de la lumière et souligner son étrange apparition dans une expérience où même la lumière était absente. Cette découverte de « c » dans un contexte purement statique aurait dû étonner davantage les chercheurs plus longtemps. Elle s'est trouvée totalement occultée par la suite et, à notre connaissance, le XX^e siècle n'a jamais réinterrogé le sens physique de cette « drôle de vitesse ».

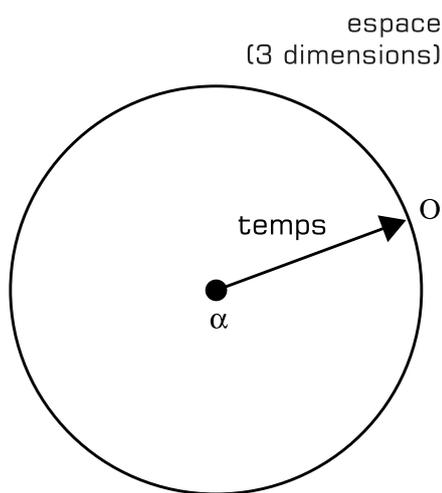


Figure 1 :
L'hypersphère à 4 dimensions représentant l'Univers à un instant donné. Le rayon du cercle représente le temps écoulé depuis le big-bang α . Le cercle, qui a en réalité 3 dimensions, représente l'espace à l'instant actuel.

4. On s'est depuis habitué à trouver « c » dans les circonstances les plus inattendues. Un

exemple en est bien sûr l'équation $E = mc^2$ qui a permis, en 1937, de calculer la valeur de « la vitesse de la lumière » avec une précision supérieure à un demi pour cent, en mesurant la masse des corps intervenant dans une réaction nucléaire et l'énergie libérée lors de la réaction. A supposer que la précision des mesures le permette, n'est-il pas curieux de mesurer une vitesse avec une balance et un thermomètre en pesant une certaine quantité d'eau avant et après qu'elle ait refroidi ?

5. Pour terminer ce rapide inventaire des manifestations étonnantes de cette « drôle de vitesse », soulignons encore que « c » intervient aussi dans la théorie de la gravitation où les perturbations du champ gravitationnel (qui n'ont rien à voir avec les phénomènes lumineux) apparaissent se propager, eux aussi, à la même vitesse « c »... Ce fait, lui aussi, apparaît singulier et mérite d'être élucidé sans faire implicitement intervenir une bien invraisemblable coïncidence.

UNE DOUBLE RELATION DU TEMPS À L'ESPACE ?

Devant cette succession de propriétés bouleversantes, il est naturel d'une part de chercher au phénomène lumineux une interprétation différente et plus fondamentale que celle qui lui est donnée habituellement, et d'autre part, relier ce phénomène à la structure de l'univers plutôt qu'au caractère particulier de tel ou tel phénomène qui s'y déroule.

Pour ce faire, il est important de souligner que la physique nous révèle l'existence de deux relations fondamentales entre l'espace et le temps : celle que l'on a dans l'expansion de l'univers (son accroissement à chaque seconde) et celle que nous fait connaître le phénomène

appelé « vitesse de la lumière ».

Il paraît difficile d'admettre qu'il puisse exister entre l'espace et le temps deux relations fondamentales qui soient différentes et surtout indépendantes l'une de l'autre ; il paraît aussi logique de considérer que la deuxième relation (la vitesse de la lumière) dépend de la première (qui caractérise l'expansion de l'univers) et non l'inverse, et qu'à l'origine de cette dépendance se tient un problème structurel lié à la géométrie de l'univers.

Ainsi, postulons que « c » soit l'expression, pour chaque observateur, de l'expansion de l'univers. De façon plus précise, nous proposons que la vitesse de la lumière soit la vitesse de fuite de notre antipode cosmique.¹

Cette affirmation permet de définir la vitesse de la lumière en fonction de la taille de l'univers et de son âge, donc en fonction de données purement géométriques comme on est en droit de s'y attendre pour une constante fondamentale. De même que dans un cercle, se définit à partir des seules données de la circonférence et du rayon indépendamment du choix d'un étalon de longueur, de

même « c » doit pouvoir se définir de façon universelle et donc en fonction des seules caractéristiques de l'univers. Que signifieraient en effet 300 000 km et 1 s, ou même, plus simplement, que signifieraient des kilomètres et des secondes dans un univers primordial pas même gros comme une tête d'épingle ? Au contraire, les notions d'âge et de taille de l'univers conservent leur sens en tous lieux et à tout moment.

Notons aussi, dès à présent, qu'un tel lien entre l'expansion de l'univers et le phénomène lumineux illustre et explique le caractère paradoxal d'une vitesse qui ne se compose pas avec d'autres vitesses.

Considérons le cas d'un univers sphérique dont la surface bidimensionnelle représente l'espace et le rayon représente le temps. Dans un tel modèle, dont une image simple nous est donnée par un ballon d'enfant, l'expansion correspond au gonflement progressif du ballon. Si l'on assimile la vitesse de croissance de l'univers à la vitesse de gonflement d'un ballon, on comprend qu'elle apparaisse identique à tous les observateurs quels que soient leurs mouvements propres puisque la vitesse de gonflement d'un ballon est la même pour tous les êtres qui se déplacent à sa surface, et indépendamment de leur mouvement particulier. On voit dès lors pourquoi la vitesse de la lumière ne se compose pas avec d'autres vitesses : ces dernières sont des vitesses de transfert, alors que la vitesse de la lumière est une vitesse d'expansion. Celle-ci ne peut, dès lors, se composer avec celle d'un engin spatial que l'on peut comparer à celle d'une mouche se déplaçant sur le ballon : quelle que soit la vitesse de l'engin et en tout point de son parcours, l'espace-temps se manifeste au pilote dans la relation constante d'une distance de 300 000 km avec le temps d'une seconde...

Notre définition géométrique de « c » (où la vitesse de la lumière correspond à la vitesse de gonflement d'un ballon) est également en accord avec le fait que celle-ci n'apparaisse jamais comme une grandeur dirigée, donc comme un vecteur. On comprend également qu'elle ne puisse apparaître comme un déplacement au sens habituel du terme.

Si, de plus, la vitesse de la lumière exprime le dynamisme de l'univers indépendamment de tout mouvement local, on peut ne plus s'étonner de la trouver dans des phénomènes aussi divers et même purement statiques.

Avant d'examiner les conséquences de notre postulat, il est utile de nous arrêter sur la représentation qu'il nous permet de donner de l'univers et de notre espace-temps.

QUE PENSER DE L'UNIVERS RÉEL ?

Dans l'espace-temps, ce qui nous entoure ne nous est connu qu'avec un certain retard, retard d'autant plus grand que ce que nous observons est plus éloigné de nous : les objets que nous observons n'existent plus tels que nous les voyons. La lumière mettant un temps considérable pour venir de la plupart des étoiles ou objets cosmiques, ceux-ci peuvent même ne plus exister au moment où nous recevons les informations qu'ils nous ont envoyées. Nous ne voyons en effet que du passé : cet arbre qui est à trente mètres, nous le voyons que tel qu'il était il y a un dix millionième de seconde, la Lune telle qu'elle était il y a un peu plus d'une seconde, le Soleil après huit minutes ; le cœur de notre galaxie, dans la constellation du Sagittaire, tel qu'il était il y a trente trois mille ans et les lointaines galaxies nous apparaissent avec un retard qui peut être de plusieurs milliards d'années.

Pourtant, dans l'instant où nous sommes, tout cela existe sans doute, sauf à tenir compte des modifications minimales ou importantes qu'ils ont pu subir.

Il est normal de penser que cet état actuel, instantané, de l'univers se présente sous une forme sphérique, une hypersphère à 4 dimensions (figure 1), dont la surface à trois dimensions constitue l'espace, dans toute sa réalité actuelle, et dont le rayon est le temps cosmique :

- Forme sphérique, car il est logique de penser que dans sa croissance, l'univers ne rencontre pas une résistance différente selon les directions de son expansion (sauf détails dus aux masses qu'il lui faut charrier dans cette croissance et dont nous ne parlons pas ici) ; forme sphérique que l'on reconnaît d'ailleurs dans l'isotropie de l'univers.

- Surface tridimensionnelle, voilà ce qui, de prime abord, pourrait surprendre. Mais il n'y a rien de surprenant à cela, si l'on considère que le cercle, la sphère, l'hypersphère sont les premières figures d'une série sphérique qui se continue jusqu'à l'infini :

- le cercle, comportant une « surface » unidimensionnelle et son rayon ;
- la sphère, comportant une surface bidimensionnelle et son rayon ;
- l'hypersphère à 4 dimensions,

- les hypersphères à 5, 6, ..., n dimensions, comportant une surface à 4, 5, ..., n-1 dimensions et leur rayon.

Bien sûr, dans un monde à 3 dimensions, nous ne pouvons construire ces hypersphères ni même avoir idée de leur représentation géométrique, mais les mathématiques n'ont aucune difficulté à les envisager et à les décrire.

Notons que cette représentation de l'univers à l'aide d'une sphère à 4 dimensions revient en quelque sorte à réhabiliter la notion d'espace absolu (la surface tridimensionnelle de cette hypersphère), qui est le monde de tous les astres et de tous objets dans leur état actuel (espace dont nous ne connaissons donc rien et dont nous ne pouvons rien connaître, sinon le point où nous sommes), et celle d'un temps absolu, le temps cosmique (le rayon de cette hypersphère), qui est le nôtre mais aussi celui de tout autre point de l'univers actuel (figure 1).

Cette hypersphère à 4 dimensions donne une image de l'univers au temps cosmique T mais il est également possible de décrire l'Univers dans tout le dynamisme de son développement temporel.

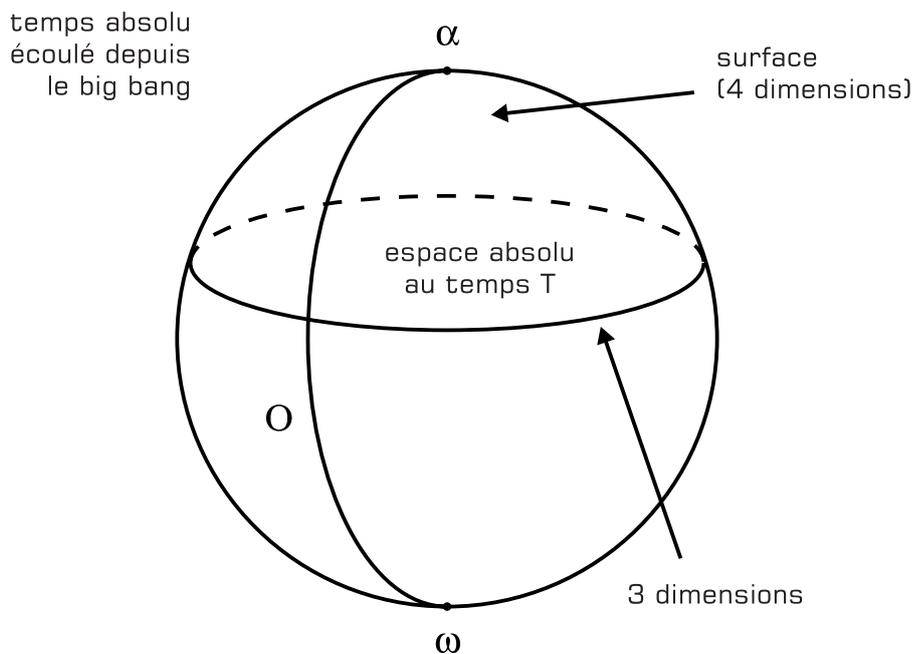


Figure 2 :

La dynamique de l'Univers représenté sur une sphère à 5 dimensions : sur cette figure, la surface de la sphère a 4 dimensions. Le temps est représenté par le méridien ; il a son origine au big bang α et son extrémité au big crush ω . Le temps cosmologique T actuellement écoulé depuis l'origine du monde correspond à l'arc O séparant le big bang du point O où se trouve l'observateur. L'espace absolu à l'instant T où nous sommes est représenté par le parallèle passant par le point O. De même que sur un globe terrestre, un parallèle que l'on fait évoluer du pôle nord jusqu'au pôle sud recouvre, par ses positions successives, toute la surface à deux dimensions de la sphère terrestre qui a trois dimensions, de même l'espace absolu (3 dimensions) évoluant du big-bang (comparable au pôle nord) jusqu'au big crush (comparable au pôle sud), décrit par ses positions successives la surface à 4 dimensions d'une hypersphère à 5 dimensions.

Si l'univers quadridimensionnel a pour origine le big-bang, on peut penser qu'il a aussi une fin (le big-crush), car seul ce qui n'a pas commencé n'a pas de fin.² Son évolution au cours du temps peut alors se décrire en faisant appel à une dimension supplémentaire et en décrivant donc l'univers global sous la forme d'une hypersphère à 5 dimensions dont les pôles correspondent respectivement au big bang et au big crush et dont la surface (qui a cette fois 4 dimensions) représente l'espace et le temps dans la totalité de leur développement (**figure 2**).

Sur cette surface, un parallèle (3 dimensions) représente l'espace en un instant donné de son développement alors qu'un méridien représente le temps dans son déploiement total depuis le big bang α jusqu'au big-crush ω . Ainsi, sur la **figure 2** :

- le parallèle passant par O représente l'espace au temps cosmique T de l'observateur ;
- le segment de méridien α - O représente le temps cosmique T actuel de l'observateur.

Dans cette représentation sphérique de l'univers, l'espace absolu représenté par le parallèle se dilate progressivement depuis jusqu'à l'équateur de l'hypersphère puis se contracte jusqu'au big crush.

QUE PENSER ALORS DE L'ESPACE-TEMPS ?

Que penser alors de l'espace-temps ? Il est relatif à chacun de nous et l'on peut s'étonner qu'on lui ait décerné le nom d'univers puisqu'il n'est pas exactement le même pour deux observateurs qui (cela ne peut être autrement) n'occupent pas, dans l'espace, la même place. Sans doute, la différence minime, même pour deux observateurs qui seraient situés à quelques centaines ou milliers de kilomètres l'un de l'autre, mais cela suffit à lui retirer toute objectivité (on peut même dire toute « réalité »). L'espace-temps est l'image de notre relation à l'univers réel qui, lui, nous reste voilé ; c'est l'univers tel qu'il apparaît à chacun de nous : il résulte de notre relation personnelle à l'univers total.

On peut se demander d'où provient ce « trompe-l'œil » de l'espace-temps. L'espace-temps résulte de ce qu'on peut appeler une « perspective dynamique » en lien avec la croissance de l'univers : alors que l'univers s'accroît du passé vers le futur à la façon d'une sphère dont le centre est le big bang, nous, qui sommes à la surface de cette sphère (**figure 1**), regardons vers le passé et voyons s'enfuir le big bang : nous sommes un peu comme assis à l'arrière d'un camion et regardant la route que nous avons parcourue ; nous voyons se déployer le ruban de celle-ci et s'éloigner le point horizon d'où nous sommes partis. La différence entre notre vision de l'univers et cette image d'une route, c'est que cet éloignement se fait en tout azimut autour du point où nous sommes et que les objets célestes dont nous nous éloignons nous apparaissent se situer en surfaces de sphères dont nous occupons le centre et dont les rayons sont d'autant plus grands que l'objet est plus lointain, si bien que le big-bang qui est au plus loin, bien qu'il ne s'agisse que d'un point très petit, nous est perçu comme une immense sphère que nous appelons « confins de l'univers ».

Ainsi arrivons nous à la constatation paradoxale suivante : plus nous regardons loin dans l'espace plus nous voyons grand un univers qui, en réalité, est de plus en plus petit. Dans notre vision du monde, c'est l'univers primitif, qui n'a encore subi que peu d'expansion, qui

enveloppe tout ce que nous voyons. Cette illusion provient de ce que notre regard (on peut dire aussi le rayon lumineux) est considéré comme s'effectuant sur une droite alors qu'il s'agit en réalité d'une courbe. Dans le cadre de notre hypothèse, et contrairement aux théories usuelles, le « cône de lumière », au fur et à mesure qu'il se rapproche du big bang, se referme sur lui-même³ tout en donnant au big-bang une extrême dispersion (**figure 3**).

Alors que l'univers progresse du passé vers le futur, nous subissons ainsi par rapport à ses origines, un recul à la fois temporel et spatial (1 s - 300 000 km) et nous voyons nos origines s'enfuir dans l'espace et le temps. Ces deux mouvements, qui sont pour nous rigoureusement indistincts, créent en nous l'illusion d'un temps et d'un espace qui se mêlent dans ce que nous appelons « espace-temps ».⁴

L'espace-temps résulte donc de notre relation personnelle avec l'univers. Ce qu'on y perçoit de lui est très éloigné du « réel » ; c'est un univers partiel et déformé. Partiel parce que nous n'en voyons que des strates successives qui n'ont pas le même âge (les astres tels que nous les voyons dans une constellation n'étant pas contemporains, on comprend qu'Einstein ait parlé de « l'incohérence du firmament ») : l'image que l'espace temps nous donne de l'univers est un peu celle que donnerait de la France un observateur parisien qui représenterait Paris dans son état actuel, Dijon au 16^e siècle, Lyon au 14^e et Marseille à la fin du 9^e. On n'aurait là ni une représentation géographique réelle de la France, ni un exposé de son histoire. Ni l'histoire ni la géographie n'y trouveraient leur compte. Déformé puisque ce qui est central dans l'univers (son origine) est rejeté en périphérie et devient ce que l'on appelle « confins de l'univers » et ce qui est en périphérie (l'observateur) se situe comme centre.

Il n'y a donc rien de réel dans l'espace-temps, sauf si l'on convient d'appeler réel ce que nos sens perçoivent.

ECLAIRAGES DONNÉS PAR CETTE INTERPRÉTATION

Nous avons vu dans le chapitre 3 comment notre interprétation du phénomène lumineux pouvait rendre compte des propriétés « exotiques » de la lumière présentées au début de cet article. Notre propos est maintenant d'en présenter certaines conséquences cosmologiques.

1. Dans le cadre de notre interprétation du phénomène lumineux, l'espace-temps n'étant plus ouvert comme l'est le « cône de lumière » usuel mais se refermant sur lui-même, nous comprenons pourquoi le rayonnement cosmologique nous parvient de toutes les directions à une température parfaitement uniforme.

Dans les théories usuelles, la source ayant émis le rayonnement qui nous arrive dans une direction donnée de l'espace n'a pas pu être en relation physique avec celle ayant émis le rayonnement qui nous arrive dans la direction opposée (à cause de la trop grande distance qui les sépare, aucun signal n'a pu avoir le temps de passer de l'une à l'autre). Dans ces théories, les différents secteurs du ciel sont ainsi disjoints les uns des autres, d'où la difficulté d'expliquer la surprenante isotropie de ce rayonnement.

Dans notre théorie, où c est considéré comme l'expression locale de l'expansion de l'univers, ce problème ne se pose plus : puisque l'espace-temps se referme sur lui-même, c'est le même point que nous voyons dans toutes les directions (**figure 3**) et il n'y a donc pas lieu de nous

étonner de lui trouver des caractéristiques identiques dans l'une ou l'autre directions. Ainsi, le fait d'obtenir un espace-temps fermé change radicalement la structure causale du fond cosmologique et la question de l'horizon et de l'isotropie observée se trouve ainsi éclairée de façon naturelle.

2. Une autre conséquence concerne l'évaluation de la masse de l'univers et de son apparence plate ou sphérique lors de l'interprétation d'observations astronomiques.

Dans les théories usuelles, la géométrie de l'univers est déterminée par sa masse. Pour toutes les valeurs de celle-ci supérieures à une certaine masse critique, l'univers est sphérique; pour toutes ses valeurs inférieures à la masse critique, l'univers apparaît hyperbolique. Seule une masse exactement égale à cette masse critique conduit à un espace plat. La question se pose donc de savoir pourquoi l'univers nous apparaît justement plat. C'est là, dit-on, une « coïncidence cosmique » bien étrange puisqu'il n'y avait qu'une chance infime pour que la masse de l'univers ait exactement cette valeur. Sur cette question, notre hypothèse conduit à montrer que si l'univers apparaît plat, ce n'est pas en raison d'une coïncidence, qui serait effectivement bien étrange, mais parce que le lien entre la vitesse de la lumière et l'expansion de l'univers (et donc le ralentissement progressif de la lumière à des échelles cosmologiques), fait justement apparaître plat un univers sphérique quelle que soit sa masse.

3. Parmi d'autres conséquences possibles, ajoutons que la réhabilitation des notions d'espace et de temps absolus conduit à penser que l'univers serait construit sur deux forces physiques universelles, perpendiculaires l'une à l'autre (et donc, totalement différentes l'une de l'autre, irréductibles l'une à l'autre). C'est un peu comme dans un ballon, on a une force radiale exerçant la pression intérieure qui tend à le gonfler à laquelle répond une force superficielle, de nature toute différente, s'exprimant par une résistance (tension). Dans le cas de l'univers, le déploiement de la force radiale est à l'origine du temps-énergie; celui de la force de surface se manifeste dans une tension qui est l'attraction universelle.

C'est en raison de l'accroissement de l'univers que ces deux forces (pourtant perpendiculaires l'une à l'autre) nous apparaissent se superposer dans l'espace-temps (comme nous le disions dans le chapitre 5). Leur variation, à chaque instant et en tout point de l'univers, s'effectue en effet de manière simultanée, équivalente et de façon inséparable.

Ainsi, la charpente de l'univers nous apparaît-elle constituée par des forces « premières » (qui se révèlent notamment dans l'électromagnétisme) et des forces « secondes » (qui sont des forces de résistance se révélant dans l'attrac-

tion universelle et s'exerçant entre les masses, comme si, dans l'inertie qui les caractérise, ces dernières cherchaient à revenir à cette cohésion unitaire qu'elles avaient dans le big-bang). Il faut souligner que ces forces de cohésion ne pouvaient être vaincues ou contrebalancées que par des forces qui leur sont perpendiculaires et agissant donc selon des « géodésiques » de niveau supérieur.⁵

Ajoutons à cela que cette idée de perpendicularité entre l'Espace (absolu) et le Temps (absolu) vient également illustrer et expliquer la double expression corpusculaire et ondulatoire du phénomène lumineux (et, plus généralement, la double expression de ce qu'on appelle le « quanton »). Bohr remarquait qu'un cylindre était vu comme circulaire dans une certaine direction du regard, alors qu'il se montre rectangulaire dans une autre direction, perpendiculaire à la première. Nous pouvons penser de même que vu selon l'Espace, le quanton est corpusculaire, alors que vu selon le Temps, il est ondulatoire, et en arriver aux conclusions suivantes :

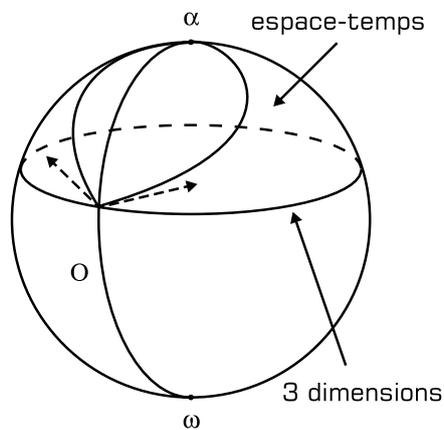


Figure 3 :

Sphère à 5 dimensions (comme sur la figure 2) mais sur laquelle figure ce que l'on peut appeler le « profil de l'espace-temps » de l'observateur O. Pour cet observateur, l'ensemble des événements perçus est représenté par le cône de lumière qui, dans le cas de notre hypothèse, se referme vers α au lieu de s'ouvrir indéfiniment (pointillés) comme dans les théories usuelles. Cette forme de l'espace-temps a pour conséquence essentielle d'expliquer pourquoi le rayonnement cosmologique est isotrope : lorsque nous regardons dans une direction (flèche vers la droite sur la figure) ou dans la direction opposée (flèche vers la gauche) c'est le même « point » de l'univers primitif que nous voyons. Notons que si notre espace-temps nous paraît n'avoir que 3 dimensions au lieu de $3 + 1$, cela provient du fait qu'il s'agit pour chacun de nous d'une « perspective dynamique » dans laquelle le temps est accolé à l'une des 3 dimensions de l'espace (la dimension radiale qui correspond à la distance d'éloignement de nous-mêmes aux différents objets de l'univers).

- que le corpuscule est à l'onde, ce que l'Espace est au Temps, ou encore, ce qui est une autre manière d'exprimer la même chose, que l'onde est au temps ce que le corpuscule est à l'espace.

- que la Matière est à l'Energie ce que l'Espace est au Temps dans une équivalence⁶ qui est celle que l'on a - au facteur π près - entre une circonférence et son rayon, remarque qui confirme encore la structure sphérique de l'Univers.

Sur ce point, il est intéressant de souligner la richesse de cette représentation : de même que dans le cercle, la circonférence, bien que radicalement différente du rayon, en donne la complète connaissance (et inversement), de même le corpuscule nous donne une complète connaissance de l'onde (et inversement). Ainsi, la géométrie sphérique sur laquelle nous nous appuyons éclaire t-elle aussi de façon nouvelle la dualité onde-corpuscule.

Nous revenons ci-dessous à ces problèmes qui nous invitent à les étendre au domaine de la logique.

CONCLUSION

Le modèle que nous proposons nous permet ainsi de comprendre les propriétés de la lumière et éclaire de façon nouvelle de nombreux problèmes cosmologiques et physiques. Il nous invite en conclusion à ouvrir nos réflexions à d'autres questions plus générales concernant ce que nous pourrions appeler une « logique sphérique ».

La logique traditionnelle, basée implicitement sur la notion de plan, ou plus généralement sur une représentation euclidienne, nous habitue à penser en termes opposés ou comparables :

- ainsi, les couples de mots : vrai-faux ; jamais-toujours, etc... sont des oppositions ;

- les couples : pauvreté misère, chaud tiède, etc... incitent à des comparaisons ;

- alors que d'autres mots ne suggèrent entre eux aucune relation simple, par exemple, écrevisse, armoire, etc...

Cette façon de raisonner peut être qualifiée d'euclidienne car de tels couples de mots peuvent être représentés dans un espace euclidien :

- de même que + 4 et - 4 sur la droite réelle, des grandeurs opposées peuvent se représenter par deux vecteurs de même direction et de même module mais de sens contraire ;

- tout comme + 4 et + 10, des grandeurs comparables peuvent correspondre à deux points sur un même axe ;

- des termes qui n'ont rien à voir l'un avec l'autre sont enfin représentables par des droites orthogonales, l'orthogonalité rendant compte de l'irréductibilité d'une grandeur à une autre (en raison de l'impossibilité qu'il y a à projeter l'une sur l'autre).⁷

Cette représentation « euclidienne » pourtant ne nous suffit pas. La physique en effet nous ouvre à des équivalences de termes qui a priori n'ont rien de commun (qui se trouvent donc être « orthogonaux » l'un à l'autre) et qu'il nous faut pourtant rapprocher sans que nous sachions comment penser leur rapprochement. Ainsi en est-il, par exemple, des couples de mots « temps-espace » ou « onde-corpuscule » dont les termes :

- s'opposent (ou au moins paraissent s'opposer) ;

- ne peuvent être comparés ;

- et ont cependant entre eux une relation très étroite.

Ces couples de mots que nous avons du mal à assembler semblent exprimer deux façons d'aborder une même réalité, dont paradoxalement, chacune exprime à elle seule une totalité bien que l'ensemble des deux soit absolument nécessaire pour rendre totalement compte des phénomènes.

Pour préciser le problème, considérons plus précisément le couple de termes onde-particule. De l'onde et de la particule, le physicien peut dire :

- que ce sont des termes équivalents, puisqu'ils permettent chacun (dans le cas de la lumière par exemple) la description du phénomène lumineux ;

- qu'ils sont arbitrairement échangeables puisque chacun d'eux est une expression complète de la même réalité ;

- et qu'ils sont pourtant exclusifs l'un de l'autre puisque les concepts qu'ils sous-tendent n'ont rien à voir l'un avec l'autre. Ainsi, ces deux aspects complémentaires de la réalité que sont l'onde et le corpuscule apparaissent-ils également contradictoires : le corpuscule est un phénomène bien limité, localisé de façon précise, alors que l'onde est un phénomène sans localisation.

Dans cet exemple du couple « onde-particule », la synthèse conceptuelle des deux termes « onde » et « particule » paraît a priori impossible dans le cadre d'une logique classique, à tel point que celle-ci a pu paraître dépassée et que certains auteurs ont pu aller jusqu'à clamer sa déchéance en écrivant, par exemple : il nous faut découvrir « une autre façon de penser qui [...] engage à moins séparer que ne le fait la logique cartésienne encore dominante ; l'usage de la logique des contraires doit être tempéré. Il faut apprendre à ne pas se laisser enfermer dans de fausses alternatives », et encore : « La contradiction des aspects corpusculaire et ondulatoire de la particule viole les principes de base de notre logique classique et notamment les principes de non contradiction et d'identité selon lesquels on ne peut être à la fois une chose et une autre chose et surtout pas une chose et son contraire ».

Notre représentation sphérique de l'univers (dans laquelle la vitesse « c », exprimée dans l'expansion de l'univers, rend possible la synthèse entre l'espace et le temps) peut nous ouvrir à des raisonnements plus larges en nous permettant de faire la synthèse conceptuelle de termes aussi différents que « onde » et « particule ». Considérons pour cela une sphère ou même, plus simplement, un cercle. Le couple de mots qui décrit cette figure est ici le couple « rayon-circonférence ». Nous pouvons constater que ce couple présente les mêmes caractéristiques que celles dont nous venons de parler à propos de la théorie quantique. Ces termes sont en effet :

- exclusifs l'un de l'autre, puisque les concepts qu'ils décrivent (rayon et circonférence) ont en géométrie des caractères tout à fait différents : le rayon a une origine et une extrémité, la circonférence n'en a pas ; le rayon est un segment de droite, la circonférence est courbe ; et, plus précisément encore, ils se trouvent être incommensurables l'un à l'autre puisque leur rapport est exprimé par le nombre π (soulignons que cette incommensurabilité exprime d'une manière forte la différence irréductible existant entre rayon et circonférence) ;

- et pourtant, rayon et circonférence sont arbitrairement échangeables et ne s'opposent pas puisque la connaissance de l'un seul de ces termes permet la connaissance totale de la figure circulaire et donc de l'autre (la connaissance du rayon nous donne celle de la circonférence et inversement). Ainsi, le rayon et la circonférence, bien qu'irréductibles et incommensurables l'un à l'autre, sont arbitrairement échangeables et donc présentent entre eux un certain mode d'équivalence.

Le cercle, et plus généralement la sphère, conduit ainsi à un exemple particulièrement simple de couple de grandeurs à la fois complémentaires et supplémentaires et permet donc de s'appuyer sur une base concrète pour une réflexion sur les autres couples du même type. Il permet en quelque sorte de relier et de trouver un lien entre deux grandeurs que l'on peut usuellement considérer comme « orthogonales ». Les mêmes considérations s'appliquent en effet dans le cas des couples « espace-temps » et « onde-corpuscule » :

- la circonférence est bien sûr différente du rayon et n'a rien à voir avec lui, mais tous deux sont rendus équivalents par le nombre π ;

- de même l'espace est bien sûr différent du temps mais il n'y a pas de contradiction entre eux deux qui sont rendus équivalents dans l'espace-temps par le nombre « c ».

A la lumière de ces exemples, nous pouvons dire qu'il n'y a pas plus de contradiction entre l'onde et le corpuscule (ou entre l'espace et le temps) qu'entre un rayon et une circonférence. Dans chacun des couples de grandeurs « espace et temps » ou « onde et corpuscule », les deux termes se trouvent réunis malgré leurs caractères irréductibles, dans un type nouveau de relation qui est un privilège des figures sphériques.

Ainsi, le désarroi parfois exprimé devant les développements actuels de la physique peut-il provenir de ce qu'on n'ait pas perçu ce fait que le cercle, la sphère ou les figures sphériques ajoutent à une logique euclidienne la possibilité de concevoir des liens entre des grandeurs qui n'ont a priori rien à voir l'une avec l'autre ; soit, pour résumer, des liens entre deux termes équivalents, arbitrairement échangeables et pourtant orthogonaux, exclusifs l'un de l'autre, incommensurables l'un à l'autre ; termes dont les

expressions sont à la fois complémentaires et supplémentaires.

Ces quelques remarques peuvent justifier l'appellation de logique sphérique à ce raisonnement puisque le modèle sphérique permet de satisfaire à ces deux exigences opposées : admettre l'irréductibilité de deux concepts (tels ceux d'espace et de temps ou d'onde et de corpuscule) tout en affirmant l'existence entre eux d'une relation et, mieux, d'une équivalence les reliant l'un à l'autre.

On voit ainsi que la sphère ou le cercle peuvent nous aider à penser le monde de façon nouvelle. Nous voyons qu'ils nous font comprendre qu'en physique (et sans doute aussi dans tout autre domaine) ce n'est pas la raison qui est à modifier, mais les modèles qui nous permettent de l'appliquer et que, même lorsque l'observation paraît défier la raison, il n'y a cependant pas de contradiction entre elle et la réalité.

BIBLIOGRAPHIE

Albrecht A. and Magueijo J. A, 1999 *Time varying speed of light as a solution to cosmical puzzles*, Phys Rev D 59, 043516 (1999)

Avelino P. P., Martins C. J. A. P., 1999 *Does a varying speed of light solve the cosmological problems*, Phys Lett B, 459, 468 (1999)

Moffat J. W. 1998, *Varying light velocity as a solution to the problems in cosmology*, astro-ph/9811390 .

NOTES

1. Pour être clair, considérons un univers dans lequel l'espace est circulaire, unidimensionnel et en expansion. Un tel univers est représentable par un cercle dont la circonférence C (correspondant à l'espace) croît en fonction du rayon T (correspondant au temps). La relation $C=2\pi R$ reliant la circonférence d'un cercle à son rayon s'écrit, dans ce cas, $C=2\pi T$ et conduit donc à l'expression $\pi=C/2T$ dans laquelle π a ici les dimensions d'une vitesse et joue, dans ce cas particulier, le rôle de c dans notre modèle.

2. On remarque que cet aphorisme correspond très bien à la sphère, puisque deux pôles peuvent être considérés chacun comme centre d'un cercle qui se réduit à l'autre ; ainsi l'existence d'un pôle est-elle conditionnée par l'existence de l'autre : il est vraisemblable qu'il en soit ainsi du big-bang et du big-crunch. De plus, notons encore que s'il nous paraît nécessaire pour une raison *logique* de considérer que l'Univers ait une fin, son éventuelle expansion infinie ne contredirait en rien l'essentiel de nos propos : en effet, les mêmes raisonnements peuvent être faits sur d'autres hypersurfaces que les hypersurfaces sphériques.

3. L'origine de ce résultat peut se comprendre en utilisant la représentation de la figure 3 : sur cette figure, lorsque le parallèle descend progressivement du big-bang α vers le big-crush ω sa vitesse d'expansion diminue progressivement depuis le pôle jusqu'à l'équateur. Si donc on relie la vitesse de la lumière à cette expansion du parallèle au cours du temps, on en déduit que « c » diminue avec le temps sur une échelle cosmologique. L'ouverture du cône de lumière, qui est elle-même reliée à la valeur de la vitesse

de la lumière, varie donc elle aussi au cours du temps et on peut comprendre alors que le « cône de lumière » puisse se refermer en approchant du big-bang. Ajoutons que le fait de considérer une vitesse de la lumière variable au cours du temps pourrait étonner puisque des résultats semblables pourraient être obtenus en faisant varier le facteur d'échelle tout en conservant « c » constant. Il faut souligner cependant, que plusieurs théories mathématiquement équivalentes n'ont pas forcément la même richesse heuristique : étant habitués à nos échelles d'espace et de temps, il nous semble plus riche de considérer une variation de c tout en conservant nos échelles usuelles.

4. Pour comprendre comment l'espace et le temps se mêlent, il nous faut bien remarquer que les trois dimensions de l'espace-temps ne peuvent pas être comparées aux trois arêtes d'une trièdre trirectangle (comme le sont pour nous ce que nous appelons longueur, largeur et hauteur) qui ont chacune par rapport aux deux autres une relation identique, mais aux trois dimensions d'une sphère dont nous sommes le centre et dont deux constituent la surface, la troisième étant le rayon. Le temps n'intervient que sur la dimension radiale (plus nous regardons loin dans l'espace, plus nous voyons loin dans le temps), mais non sur les deux dimensions de surface. C'est donc sur le rayon seul que s'effectue le recul spatio-temporel qui amène la dimension spatiale à se confondre avec la dimension temps et réduit ainsi à trois les dimensions d'un univers quadridimensionnel.

5. J'appelle géodésiques, les grands cercles de sphères ou d'hypersphères : c'est là que s'exercent les forces, car, quelles qu'elles soient, les forces agissent toujours selon le chemin le plus court qui leur est offert : - les forces d'attraction agissent selon les géodésiques de l'hypersphère à 4 dimensions (donc en surface de cette hypersphère) c'est-à-dire, dans l'Espace absolu ; - les forces qui régissent le temps agissent selon les géodésiques – les méridiens pourrait-on dire ici – d'une hypersphère à cinq dimensions.

6. Il faut remarquer toutefois que plutôt qu'équivalence, il faudrait dire même contenu, même signification : ils nous « signifient » (font signe de) la même chose.

7. C'est ainsi que l'irréductibilité l'une à l'autre des notions d'espace et de temps absolus nous conduit à penser à une « orthogonalité » de ces deux entités.

Commentaire de la rédaction

La rédaction de Fusion a décidé de publier l'essai de M. Vigoureux, même s'il ne s'inscrit pas tout à fait dans la démarche de Fusion. Nous en donnons ici les raisons.

Fusion vise avant tout à réhabiliter l'hypothèse dans la pratique scientifique courante et, par la même occasion, à éclaircir la différence entre la notion d'hypothèse proprement dite et une réflexion exclusivement axée sur la logique ou le simple raisonnement mathématique.

Premièrement, l'essai de M. Vigoureux repose sur une démarche intellectuelle, détachée de la méthode expérimentale. Or, une hypothèse véritablement nouvelle ne se limite pas à expliquer les résultats expérimentaux passés (et encore faut-il distinguer, comme nous le verrons plus loin, entre les résultats eux-mêmes et les différentes interprétations qu'on peut leur donner), mais appelle - ou se trouve intimement jumelée, de manière « organique » pour ainsi dire - à une expérience entièrement nouvelle, qui seule permettra de vérifier sa validité. Son sort en dépendra entièrement, et de cette expérience pourront découler des résultats expérimentaux nouveaux, insoupçonnés jusqu'à présent.

L'essai de M. Vigoureux ne comporte malheureusement aucune proposition d'expérience cruciale, aucun « protocole de validation » n'est associé à son hypothèse.

Deuxièmement, M. Vigoureux adopte sans les questionner deux des grands postulats posés lors de l'élaboration des grandes théories cosmologiques et de la théorie de la relativité. Nous disons postulats car il s'agit ici d'hypothèses non validées, du moins pas à la satisfaction de la rédaction de Fusion, par une expérience cruciale.

Par exemple, lorsqu'il affirme que « la vitesse de la lumière est indépendante de celle de la source lumineuse et de celle de l'observateur », il oublie de préciser qu'il ne s'agit là que d'un postulat et qu'Einstein a élaboré sa théorie de la relativité restreinte dans le seul but de rendre l'indépendance de la vitesse de la lumière par rapport au mouvement de l'observateur conforme au principe de relativité.

Ce principe, qui affirme que « si K' est, relativement à K , un système de coordonnées qui effectue un mouvement uniforme sans rotation, les phénomènes de la nature se déroulent, relativement à K' , conformément aux mêmes lois générales que relativement à K », repose sur l'hypothèse qu'il n'est pas possible d'identifier un système de référence « au repos absolu » par rapport à tous les autres, dans lequel les lois de la nature seraient formulées d'une manière plus simple que dans tous les autres.

En particulier, la validité du postulat posé par Einstein dépend de l'absence de toute anisotropie dans l'espace, c'est-à-dire que l'expression de « lois fondamentales de la nature » comme la gravité ou la vitesse de la lumière, par exemple, ne devrait pas changer lorsque le « référentiel Terre » se déplace dans l'espace, ou par rapport à un référentiel qui serait considéré comme absolu. Beaucoup de scientifiques doutent aujourd'hui de cette affirmation, dans la mesure où ils ont constaté, à plusieurs reprises, des manifestations d'anisotropie. Par conséquent, si ces manifestations d'anisotropie devaient être confirmées, elles remettraient en question l'indépendance de la vitesse de la lumière par rapport au mouvement de l'observateur.

Plusieurs articles de Fusion ont été consacrés à cette question.

Soulignons au passage que même si notre univers était anisotrope, il n'en découlerait pas nécessairement que l'espace et le temps seraient absolus. Même si le principe de relativité devait être rejeté (et si l'expression des lois fondamentales de la nature devait varier selon le référentiel choisi), l'espace et le temps pourraient tout aussi bien être relatifs, au sens où l'a défini Leibniz dans sa célèbre correspondance avec Clarke.

L'autre grand postulat, à l'origine de la théorie du big-bang, est celui de l'expansion de l'univers, qui repose sur une interprétation « récessionniste » du décalage vers le rouge, une interprétation qui attribue l'accroissement du décalage vers le rouge de la lumière des galaxies plus lointaines à l'accroissement de leur vitesse de récession (ou d'éloignement) avec la distance. Or, d'autres explications sont possibles, comme par exemple celle d'une lumière nous parvenant, après un long parcours, dans un état « fatigué », se manifestant par une perte d'énergie et une baisse de fréquence, que nous percevrions alors sous forme de décalage vers le rouge. Même si l'interprétation récessionniste est celle qui est la mieux acceptée aujourd'hui des astrophysiciens, un débat persiste toujours à cet égard et des anomalies toujours plus nombreuses et coriaces menacent la suprématie de cette interprétation.

Fusion a, ici encore, été l'un des seuls magazines scientifiques à couvrir ce débat dans toute son étendue.

BENOIT CHALIFOUX

DÉCOUVREZ NOTRE SITE INTERNET :
WWW.REVUEFUSION.COM