



Espace, temps et réalité

Entre hypothèses cosmogoniques et architecture *évolutive*

AMCO 2349 | Questions contemporaines en théorie de l'architecture
(Prof. D. Vanderburgh)

Table des matières

Article :		
Entre hypothèses cosmogoniques et architecture <i>évolutive</i>	pp.	1 - 32
Annexes I :		
Illustrations	pp.	I - II
Annexes II :		
Entité uniduale évolutive	pp.	I
Annexes III :		
Schémas évolutifs	pp.	I

Illustrations de la couverture : Supernova, ESA / NASA & The Hubble Heritage Team sur <http://www.futura-sciences.com>, 25 Avril 2005.

« L'espace, le temps, la réalité : tout est à repenser. »

Brian GREENE¹

Entre hypothèses cosmogoniques et architecture évolutive

0 | Introduction

Par la *complexité* évidente du sujet, il existe une *infinité* d'approches théoriques de l'architecture. Chacune correspondant à un « point de vue » individuel de la problématique. Nous considérons que toute approche théorique est valable à partir du moment où un *point de vue* initial – inévitable et nécessaire – existe et fournit des résultats qui intègrent la prise de conscience de celui-ci. Parmi d'autres – au sein d'un mouvement théorique déjà entrepris dans d'autres articles – nous tentons ici d'approcher l'architecture d'un *point de vue* précis. En effet, nous pensons (croyons) que l'**architecture** est *l'un* des systèmes d'« organisation de la réalité » qui possède le privilège d'assurer une présence dans l'espace et dans le temps. L'architecture aide l'homme à se situer en un point précis de l'*espace-temps*, par l'édification d'un « monde signifiant » – une définition de la réalité – qui l'aide à trouver une « *assise existentielle* »², lui permettant de se libérer de l'angoisse de la mort.

Nous pensons que l'architecture est faite par des hommes et pour des hommes dont la « vision du monde » – de l'espace, du temps et de la réalité – s'actualise constamment au gré de la succession des cosmologies³, des mutations métaphysiques et des changements de paradigmes scientifiques. En s'intéressant précédemment à la philosophie, l'anthropologie, la paléontologie, la linguistique ; nous avons entrepris d'étudier la manière dont se succèdent les conceptions de la réalité, de l'espace et du temps. Dans les lignes qui vont suivre, nous allons tenter de comprendre l'influence de la **physique**⁴ – fondamentale parmi les autres sciences *exactes* – quant à la construction de la *vision du monde* de l'individu.

Nous nous reposerons ici essentiellement sur le livre « magique » de Brian GREENE, *La magie du cosmos*, dans lequel il retrace trois siècles d'investigations scientifiques. Pour celui-ci, la réalité est un théâtre, et l'espace et le temps forment la structure de l'Univers, c'est-à-dire la « scène de la réalité »⁵.

Parmi les questions fondamentales que se sont posées et se posent continuellement les physiciens, les concepts d'espace et de temps sont omniprésents. Ceux-ci sont-ils des entités physiques réelles, des concepts mathématiques utiles ? Sont-ils fondamentaux, des entités pures ou constituées d'éléments plus élémentaires ? Que signifie le vide pour l'espace et existe-il un commencement ou une direction au temps ? Il va sans dire que toutes ces questions – abordées dans cet article – nous ramènent constamment à la question de savoir ce qu'est la *réalité*.

¹ B. GREENE, *La magie du cosmos*, Paris : Robert Laffont, 2005.

² C. NORBERG-SCHULZ, *La signification dans l'architecture occidentale*, Liège : Mardaga, 1977.

³ **Cosmologie** : « A. Chez WOLFF, étude des lois générales de l'univers et de sa constitution d'ensemble tant au point de vue expérimental, qu'au point de vue métaphysique. (...) B. Partant de là, KANT appelle *cosmologie rationnelle* l'ensemble des problèmes concernant l'origine et la nature du monde, considéré comme une réalité. » In A. LALANDE, *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, Paris : P.U.F., 2002, p. 193.

⁴ Notons qu'une bonne partie de la physique et, sans doute, des autres sciences exactes repose sur un important outillage mathématique sous-jacent.

⁵ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 7.

« Moi qui passe et qui meurs, je vous contemple, étoiles !
La terre n'étreint plus l'enfant qu'elle a porté.
Debout, tout près des dieux, dans la nuit aux cent voiles,
Je m'associe, infime, à cette immensité;
Je goûte, en vous voyant, ma part d'éternité. »

PTOLEMEE⁶

1 | Cosmologie⁷

La cosmologie⁸ scientifique s'est difficilement émancipée de la métaphysique et de la théologie (cosmologie religieuse) à partir du XVIII^e siècle. Mais des liens entre ces systèmes d'organisation de la réalité subsistent encore aujourd'hui. À l'instar de la « vision du monde » de l'individu, la notion d'*univers* a évolué tout au long de l'histoire de la cosmologie de manière inextricable avec l'évolution de la notion de réalité⁹. « À chaque époque sa propre vision du commencement et de l'organisation de l'Univers [...] »¹⁰

À partir du VI^e siècle av. J.-C., la terre est *plate*, de la forme d'un disque. Ce dernier est entouré par de l'eau et couvert d'un ciel en coupole hémisphérique¹¹. Une interrogation de l'époque est de savoir pourquoi la terre ne « tombe » pas dans un autre lieu du ciel. Pour **THALES de Milet**¹² la terre est soutenue par un *pilier* imaginaire, il la fera ensuite reposer sur de l'eau¹³. **ANAXIMENE de Milet**¹⁴, quant à lui, la fait reposer sur de l'air.

Par la suite, **ANAXIMENE** remet en cause ses propres idées et voit la terre isolée, sans appui et au repos, de forme *cylindrique* et « en équilibre au centre d'un ciel entièrement sphérique ». Les astres peuvent ainsi passer sous la terre pour reprendre leur course céleste le jour suivant.

PARMENIDE¹⁵, motivé par des préoccupations esthétiques et géométriques, – liées à la philosophie de l'école pythagoricienne à laquelle il appartient – va imaginer la terre sphérique pour qu'elle soit symétrique à la voûte céleste.

Ensuite, les philosophes grecs voudront savoir jusqu'où va le monde afin de connaître ce qui se cache derrière notre horizon. Ils découvrirent par l'observation

⁶ Le seul poème parvenu jusqu'à nous de **PTOLEMEE**. In M. **YOURCENAR**, *La Couronne et la Lyre*, Paris : Gallimard, 1979, p. 407.

⁷ Voir en annexes, les tableaux chronologiques synthétiques : **annexes II**.

⁸ **Cosmologie** : vient du grec *cosmos* : ordre.

⁹ Nous nous limiterons ici uniquement à la succession des cosmologies européennes. Nous développerons dans nos recherches ultérieures les cosmologie présentes sur d'autres continents et tout aussi intéressantes.

¹⁰ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 103.

¹¹ La forme hémisphérique est « suggérée par le mouvement des astres qui décrivent de grands arcs de cercles au cours de la journée et de la nuit ». Pourtant la question se posait déjà à l'époque de savoir comment les astres peuvent revenir journalièrement en mouvements similaires. In V. DEPARIS, *Quelle est la forme de la terre : plate, oblongue ou aplatie aux pôles ?*, sur www.ens-lyon.fr, 15 juin 2001.

¹² **THALES de Milet** (625-547 av. J.-C.), savant et philosophe grec.

¹³ Pour **THALES de Milet**, l'eau est l'élément premier de l'univers d'où tout *découle*.

¹⁴ **ANAXIMENE de Milet** (585-525 av. J.-C.), philosophe grec faisant de l'air le principe de l'univers.

¹⁵ **PARMENIDE** (515-440 av. J.-C.), philosophe grec.

des étoiles que la surface de la terre devait être *courbe*¹⁶ ce qui fit dire à [SOCRATE](#)¹⁷ et à [PLATON](#)¹⁸ que la terre était ronde.

[HIPPARQUE](#)¹⁹ (IV^e siècle av. J.-C.) fut le premier à *mesurer* (en sous-évaluant nettement) que l'univers était bien plus étendu que la terre.

De [ARISTOTE](#)²⁰ (IV^e siècle av. J.-C.) à [PTOLEMEE](#)²¹ (II^e siècle apr. J.-C.), la terre occupait une position fixe dans l'univers, c'est un univers *géocentrique*²². Cette conception perdura jusqu'au Moyen Âge.

À partir de VIII^e siècle, l'astronomie fait partie du *quadrivium*²³ tel que forgé par [BOECE](#)²⁴. Les représentations de l'univers sont alors liées à des préoccupations théologiques.

Avec la Renaissance (XV^e siècle), [COPERNIC](#)²⁵ remet en cause la place de l'homme dans l'univers. Le principe copernicien postule que la terre n'occupe pas une position privilégiée autour de laquelle tourne l'univers entier, c'est un univers *héliocentrique*. Cette théorie est vivement rejetée à l'époque par l'Église catholique.

Postérieurement au modèle copernicien, [Tycho BRAHE](#)²⁶ (XVI^e siècle) mit au point un autre modèle en conservant les caractères du modèle géocentrique de [PTOLEMEE](#). Mais à partir de ses observations astronomiques, il adapta celui-ci en deux point : la solidité des sphères et la circularité de la trajectoire des astres²⁷. Ce modèle permit à son élève, [Johannes KEPLER](#)²⁸, d'énoncer les lois du mouvement des planètes²⁹.

Au XVII^e siècle l'arrivée de nouveaux instruments d'observation astronomique³⁰ permet d'observer le cosmos et de théoriser sa *structure* (espace) et son *évolution* (temps).

Au XVIII^e siècle, [James BRADLEY](#)³¹ avec la découverte de l'« aberration de la lumière des étoiles »³², prouve (de manière optique) l'orbitation de la terre.

¹⁶ Ils voyaient l'étoile *Canopus* depuis Alexandrie mais pas depuis Athènes, ils en déduisirent que la surface terrestre devait être courbe.

¹⁷ [SOCRATE](#) (470-399 av. J.-C.), philosophe grec.

¹⁸ [PLATON](#) (425-347 av. J.-C.), philosophe grec, disciple de [SOCRATE](#).

¹⁹ [HIPPARQUE](#) (460-377 av. J.-C.), astronome grec, fondateur de l'astronomie de position.

²⁰ [ARISTOTE](#) (384-322 av. J.-C.), philosophe grec, disciple de [PLATON](#).

²¹ [PTOLEMEE](#) (100-170), savant grec, il développa l'astronomie et la géographie en réalisant une vaste synthèse des connaissances des Anciens.

²² « Pour Aristote, l'Univers était une collection de cinquante-cinq sphères cristallines concentriques, la sphère extérieure étant le paradis, entourant celle des planètes, de la Terre et de ses éléments, pour finir avec les sept cercles de l'enfer. » In B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 103.

²³ Le *quadrivium* (voie quadruple) est créé par [BOECE](#) (IV^e siècle) et désigne les études scientifiques (l'arithmétique, la géométrie, la musique et l'astronomie) qui devaient suivre le *trivium* (voie triple : grammaire, dialectique et rhétorique). « Ce programme d'étude, trivium et quadrivium – les sept piliers de la sagesse –, fut suivi par les « facultés des Arts » du Moyen Âge européen pendant des siècles. » In P. LEVY, *Qu'est-ce que le virtuel ?*, Paris : La Découverte, 1998, p. 134.

²⁴ [BOECE](#) (480-524), philosophe et poète latin.

²⁵ [Nicolas COPERNIC](#) (1473-1543), astronome polonais, il définit l'héliocentrisme de l'univers dans *De revolutionibus orbium coelestium libri VI*, 1543.

²⁶ [Tycho BRAHE](#) (1546-1601), astronome danois.

²⁷ Voir en annexes, les illustrations représentant les systèmes de [PTOLÉMÉE](#), de [COPERNIC](#) et de [BRAHE](#) : **annexes I**.

²⁸ [Johannes KEPLER](#) (1576-1630), astronome allemand.

²⁹ Généralisation du principe des orbites elliptique à tous les astres.

³⁰ La lunette astronomique (Galileo Galilei) et le télescope (Isaac Newton) ont été successivement inventés.

³¹ [James BRADLEY](#) (1693-1762), astronome anglais.

³² L'aberration de la lumière des étoiles est le fait que la direction apparente d'une source lumineuse (une étoile) dépend de la vitesse de celui qui l'observe. Ce phénomène est découvert en 1725 par [James BRADLEY](#) par l'étude des positions apparentes de l'étoile *γ Draconis*. Cette première découverte

Pour [NEWTON](#)³³ (xvii^e et xvii^e siècles), l'univers est représenté par une formulation mathématique précise et *déterministe* du mouvement, pareille à un gigantesque mécanisme d'horlogerie remonté, placé dans son état initial, passant d'un moment précis à l'autre avec une régularité parfaite et prévisible.

Avec le passage de la physique classique aux théories des relativités – restreinte et générale –, le grand mécanisme newtonien devient plus subtil ; il n'existe aucune horloge privilégiée, unique et universelle, aucun consensus ne peut définir ce qu'est un instant, un *maintenant*. L'horloge est *notre* horloge, l'histoire, *notre* histoire avec toutefois toujours autant de régularité et de manière, tout aussi prévisible. Avec la théorie de la relativité générale, l'univers est décrit comme homogène, fini et statique.

Suite aux découvertes de [Edwin HUBBLE](#)³⁴, l'univers (observable) est conçu d'abord en expansion et ensuite plus dense et plus chaud que par le passé : c'est l'apparition de la théorie du big-bang (au milieu du xx^e siècle).

Finalement, le *modèle standard de la cosmologie* est apparu. Celui-ci est une vision unifiée du contenu matériel, de la structure, de l'histoire et de l'évolution de l'univers à partir de la réunion de la relativité générale, de la mécanique quantique, de la théorie des champs et de nombreuses observations astronomiques.

Aujourd'hui nous considérons donc l'univers comme homogène³⁵, isotrope³⁶, de courbure nulle³⁷ et rempli d'un certain nombre de formes de matières³⁸.

Le « modèle standard » a ensuite été amélioré par la *théorie de l'univers inflationnaire*. Nous pensons actuellement que l'univers va continuer son expansion. Celle-ci serait même en train de s'accélérer (l'énergie noire par sa pression négative provoquerait l'accélération de l'expansion de l'univers contrairement à ce que nous pourrions attendre d'un univers dominé par la matière qui exercerait une pression positive et ralentirait l'expansion).

Les grands changements de *paradigme* de la cosmologie sont rares et liés aux progrès scientifiques : passage du géocentrisme à l'héliocentrisme, découverte des échelles de distances interstellaires (connaissance de la distance des étoiles les plus

lui permettra de découvrir le phénomène de nutation : l'existence d'une petite variation de l'axe de rotation de la terre.

³³ [Sir Isaac NEWTON](#) (1642-1727), savant anglais.

³⁴ [Edwin Powell HUBBLE](#) (1889-1953), astrophysicien américain, il établit l'existence de galaxies extérieures à la notre (1924), et formula une loi empirique selon laquelle, les galaxies les unes des autres selon une vitesse proportionnelle à leur distance (1929).

³⁵ L'univers possède les mêmes propriétés quelque soit l'endroit où nous nous trouvons.

³⁶ L'univers possède les mêmes propriétés quelque soit l'endroit vers où nous regardons.

³⁷ La géométrie à grande échelle correspond à la géométrie dans l'espace usuel. Nous en reparlerons dans la section 5 de cet article : Espace et temps : réalité cosmologique.

³⁸ En plus de la matière ordinaire (ou **matière baryonique** qui totalise 5% de la composition de l'univers : atomes, molécules, électrons, ...) à partir de laquelle nous sommes constitués, les scientifiques sont aujourd'hui persuadés qu'il existe une autre forme de matière, actuellement inconnue en laboratoire : la **matière noire**. Celle-ci, composée de particules massives non détectées à ce jour, n'interagit pas avec la lumière (elle est invisible) et ne forme pas de structures compactes (étoiles, planètes, astéroïdes, ...), elle posséderait une masse très diffuse au sein des galaxies. De plus, cette matière noire occuperait plus de 25% de l'univers observable. Une autre forme d'énergie inconnue est l'**énergie noire**, qui entre pour 70% de la matière de l'univers. Celle-ci est connue pour exercer une pression négative (une force gravitationnelle répulsive). En outre, il existerait un fond homogène de photons (le rayonnement électromagnétique), un fond cosmologique de neutrinos et un fond cosmologique d'ondes gravitationnelles. Mis à part les 5% de matière baryonique que nous connaissons en partie, tous les autres constituants de l'univers identifiés actuellement par les physiciens sont inconnus.

proches trouvée par [Friedrich Wilhelm BESSEL](#)³⁹ en 1838), de la structure de la voie lactée (découverte de la nature extragalactique des galaxies – auparavant nommées nébuleuses – par [Edwin HUBBLE](#) dans les années '20), de l'expansion de l'univers, les mises à jour moins fondamentales de paradigmes sont plus régulières (comme par exemple l'ajout de l'inflation cosmique, ou de la matière noire et de l'énergie noire au modèle standard de la cosmologie).

Une cosmologie – essayant de répondre à la question : qu'est-ce que l'univers et d'où vient-il ? – dépend donc de nos connaissances à l'époque où nous nous posons des questions. Ce qui pousse [Stephen W. HAWKING](#) à écrire que pour tenter de répondre à nos questions existentielles, nous adoptons quelques « représentations du monde » et si « une tour sans fin de tortues supportant la terre plate [⁴⁰] est une de ces représentations, la théorie des super-cordes [⁴¹] en est une autre »⁴².

³⁹ [Friedrich Wilhelm BESSEL](#) (1784-1838), astronome allemand, il donna la première mesure précise d'une distance stellaire en 1838.

⁴⁰ [Stephen HAWKING](#) écrit que [Bertrand RUSSEL](#) (1872-1970) – philosophe et logicien anglais – donna un jour une conférence sur l'astronomie. Celui-ci décrivit comment la terre tourne autour du soleil et comment le soleil lui-même tournait autour du centre d'un grand rassemblement d'étoiles appelé galaxie. À la fin de la conférence, une vieille dame se leva et lui dit : « Tout ce que vous venez de raconter, ce sont des histoires. En réalité, le monde est plat et posé sur le dos d'une tortue géante. » Russel rétorqua : « Et sur quoi se tient la tortue ? » La vieille dame ne se démontra pas : « Vous êtes très perspicace, jeune homme, vraiment très perspicace. Mais sur une autre tortue jusqu'en bas ! » In S. W. HAWKING, *Une brève histoire du temps, Du big bang aux trous noirs*, Paris : Flammarion (Coll. : 'Champ'), 1989, p. 17.

⁴¹ Nous verrons la théorie des cordes dans la section 6 de cet article : Espace et temps : réalité unifiée.

⁴² S. W. HAWKING, *Une brève histoire du temps, Du big bang aux trous noirs*, (Op. cit.), p. 215.

« Ce que j'ai vu et entendu dans l'espace de six ans que je fus en sa compagnie au pèlerinage d'outre-mer, et aussi depuis notre retour. »

Jean sire de JOINVILLE en champagne⁴³

2 | Espace et temps : réalité classique

Au cours de l'histoire, les concepts d'*espace* et de *temps* sont toujours restés intimement liés. La confusion entre les notions de temps et d'espace, remonte sans doute à l'origine étymologique du mot *espace*. En effet le mot *espace* vient du latin *spaze* qui signifie espace (vers 1190 av. J.-C.) ; ensuite il signifie 'moment' (vers 1160 av. J.-C.) ; par après, le temps et l'espace restaient indissociables, les mots pour les désigner aussi. Ainsi jusqu'au XIV^e siècle, il a surtout le sens d' 'espace-temps', comme en témoigne le célèbre vers du poète François de MALHERBE : « Et rose elle a vécu ce que vivent les roses / L'espace d'un matin. »⁴⁴ Nous avons gardé la trace du sens *temporel* du mot *espace* dans des expressions telle que : « en l'espace d'une année ».

Le concept d'**espace** possède une multitude de *sens*⁴⁵ et pourtant personne ne peut le définir⁴⁶. L'espace est-il différent de la matière ? L'espace existe-t-il s'il n'y a pas de matière dedans, si l'espace est vide ? L'espace et la matière s'excluent-ils mutuellement ?

Pendant des siècles on confère à l'espace un *caractère divin*. Les questions sur l'espace sont alors liées aux questions théologiques⁴⁷. Ainsi, par exemple, pour Nicolas de CUES, le mot latin *absolutus* signifie absolu et définit ce qui est réservé au divin, ce qui est *Infini* et hors de toute proportion. Ainsi Dieu, sa face, son regard et sa puissance sont absolus⁴⁸.

⁴³ Ce mot célèbre nous montre comment nous avons gardé la trace du sens *temporel* du mot *espace*. In J. sire de JOINVILLE, *Vie de Saint-Louis*, 1309, cité par LAGARDE et MICHARD : Moyen Age, Paris : Bordas, 1960, p. 124.

⁴⁴ F. de MALHERBE, *Consolation à M. du Perier*, 1599, cité par P. HANOZIN, S.J., *Modèles français*, Bruxelles : Lesigne, 1951, p. 38.

⁴⁵ Un espace est une étendue (géographie), un milieu dans lequel se meuvent les astres (astronomie), ensemble d'éléments mathématiques sur lequel nous définissons une structure (mathématiques), une représentation d'une étendue perçue par nos sens telle qu'un espace auditif (psychologie), un volume occupé par quelque chose, un blanc séparant les mots, un intervalle de temps, une surface, un intervalle, un milieu affecté à une chose (un espace vert, un espace publicitaire, un espace vital, un espace de jeux, un espace aérien, ...), ...

⁴⁶ Tous les plus grands penseur anciens s'y sont pourtant risqué (DEMOCRITE, ÉPICURE, LUCRECE, PYTHAGORE, PLATON, ARISTOTE, ...)

⁴⁷ Pour Henry MORE l'espace et le temps sont des réalités absolues en tant qu'ils sont la manifestation de la présence divine dans le monde, et une représentation de l'essence divine elle-même. Il posera la question : « pourquoi ferions-nous difficulté d'attribuer (à Dieu) une extension qui remplisse des espaces infinis aussi bien qu'une succession infinie de durée ? ». Il faut savoir que la cosmologie de NEWTON affirme très clairement : « *Existo semper et ubique durationem et spatium constituit (Deus)* : en existant toujours et en tout lieu, Dieu constitue l'espace et la durée ». « Newton en vient à parler de 'cette espèce d'esprit très subtil qui pénètre à travers tous les corps solides et qui est caché dans leur substance ; c'est par la force et l'action de cet esprit que les particules du corps s'attirent mutuellement aux plus petites distances, et qu'elles cohèrent lorsqu'elles sont contiguës' ». In M. CAZENAVE, *La science et l'âme du monde*, Paris : Albin Michel, 1996, p. 43.

⁴⁸ J. BEDARD, *Nicolas de Cues, une spiritualité de la finitude*, texte d'accompagnement au Séminaire estival 1999 sur l'avenir de la spiritualité, basé en grande partie sur Encyclopædia Universalis (1998). Employé comme adjectif, *absolutus* est souvent accompagné dans la pensée de Nicolas de CUES du

Derrière cette problématique une question plus fondamentale va être isolée, parallèlement à la diminution du caractère théologique de la conception humaine : l'espace a-t-il une réalité indépendante comme d'autres objets matériels ou bien l'espace est « un simple langage pour décrire les relations entre objets matériels ordinaires ? »⁴⁹

À cette époque, [Gottfried Wilhelm von LEIBNIZ](#)⁵⁰ développe un *point de vue* appelé *relationniste*. Pour lui, l'espace n'existe pas en tant que tel, c'est juste une manière simple d'encoder les situations où certaines choses sont *relatives* à d'autres, l'espace n'a en soi ni existence, ni signification. Il justifiera cela en disant que si l'espace avait une substance de fonds, Dieu aurait dû choisir un endroit où créer l'Univers, mais comment aurait-il pu privilégier un endroit plutôt qu'un autre s'ils sont tous pareils ?

Par la mise en évidence de l'existence de la force gravitationnelle et par des observations terrestres et astronomiques qui mettaient en évidence un *ordre* bien précis dans l'*occurrence* des *événements* cosmiques, les premiers fondateurs de la pensée scientifique moderne ([Galilée](#)⁵¹, [René DESCARTES](#)⁵² et [Isaac NEWTON](#)⁵³) affirment que tous les *événements* de l'univers sont *explicables* et *prévisibles*. L'objet des premières études scientifiques portait sur des situations *naturelles*, que nous pouvons rencontrer dans la vie de tous les jours ou *expérimenter*, c'est-à-dire la « réalité physique ».

C'est finalement [NEWTON](#) qui synthétisa tout ce que l'on savait à l'époque des mouvements sur terre et dans les cieux. Il élaborait ainsi la « scène » de la *physique classique*. Dans ses *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, [NEWTON](#) proposait une conception des notions d'espace et de temps en quelques mots. Pour lui, « l'espace et le temps étaient une charpente invisible donnant à l'Univers forme et structure »⁵⁴, espace et temps sont des entités *absolues* et *immuables* fournissant à l'univers une « scène » invariable⁵⁵. Cette vision ne fit pas l'unanimité : certains ob-

mot composé *superexaltatus* « élevé au-dessus de tout », il s'oppose à ce qui est réduit (*contractus*): le regard absolu est le vrai regard non réduit.

⁴⁹ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 47.

⁵⁰ [Gottfried Wilhelm von LEIBNIZ](#) (1646-1716), philosophe et savant allemand, il développe une pensée mathématique et logique (méthode rationaliste) qui essaie de surmonter les clivages religieux et philosophiques de la chrétienté.

⁵¹ [Galileo Galilei](#), dit [Galilée](#) (1564-1642), savant et écrivain italien. Il introduit la lunette en astronomie et les mathématiques en physique. Rallié au système héliocentrique de Copernic, il fut condamné par l'Inquisition à se rétracter. In *Le petit Larousse illustré 2002*, Paris : Larousse, 2001, p. 1349.

⁵² [René DESCARTES](#) (1596-1650), philosophe, mathématicien et physicien français.

⁵³ [Sir Isaac NEWTON](#) (1642-1727), savant anglais.

⁵⁴ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 21.

⁵⁵ « Je viens de faire voir le fens que je donne dans cet Ouvrage à des termes qui ne font pas communément ufités. Quant à ceux de temps, d'efpace, de lieu & de mouvement, ils font connus de tout le monde ; mais il faut remarquer que de n'avoir confidéré ces quantités que par leur relation à des choses fenfibles, on eft tombé dans plufieurs erreurs. Pour les éviter, il faut diftinguer le temps, l'efpace, le lieu, & le mouvement, en abfolus & relatifs, vrais & apparens, mathématique & vulgaires. I. Le temps abfolu, vrai & mathématique, fans relation à rien d'extérieur, coule uniformément, & s'appelle durée, le temps relatif, apparent & vulgaire, eft cette mefure fenfible & externe d'une partie de durée quelconque (égale ou inégale) prife du mouvement : telles font les mefures d'heures, de jours, de mois, & dont on fe fert ordinairement à la place du temps vrai. II. L'efpace abfolu, fan relation aux chofes externes, demeure toujours fimilaire & immobile. L'efpace relatif eft cette mefure ou dimenfion mobile de l'efpace abfolu, laquelle tombe fous nos fens par fa relation aux corps, & que ke vulgaire confond avec l'efpace immobile. C'eft ainfi, par exemple, qu'un efpacement, pris au-dedans de la terre ou dans le ciel, eft déterminé par la fituation qu'il a à l'égard de la terre. » In [I. NEWTON](#), *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, Sceaux : Jacques Gabay (trad. Mme du Chastellet), tome I, 1990, pp. 7-8.

jectèrent que nous ne pouvions établir l'existence de quelque chose que l'on ne pouvait ni sentir, ni saisir, ni affecter. Mais l'efficacité des équations de **NEWTON** à expliquer et à prédire les phénomènes physiques apaisa les critiques et un dogme fut admis à l'époque : l'existence de l'espace absolu et du temps absolu.

Contrairement à ce que nous croyons habituellement, le concept de **relativité** est apparu bien avant la théorie de la relativité d'**EINSTEIN**. Parmi d'autres, **Galilée** et **NEWTON**, avaient conscience que la **vitesse**, « l'allure et la direction d'un objet en mouvement »⁵⁶, est *relative*. En effet, si un objet passe à côté de nous, nous pensons qu'il possède une vitesse. Mais pour l'objet, c'est nous qui nous nous déplaçons. Les deux propositions se valent : ce n'est qu'une question de « point de vue ». Le mouvement n'a de sens que de manière relative, la vitesse d'un objet n'est spécifiable qu'à partir d'un autre objet⁵⁷. « Ainsi, même si nous ne pouvons ressentir un déplacement à vitesse constante sur une ligne droite (c'est ce qu'on appelle le « mouvement à vitesse constante »), nous ressentons les *variations* de notre vitesse. »⁵⁸ « Si la vitesse n'a de sens que par le biais des comparaisons (lorsqu'on dit que ceci est en mouvement par rapport à cela), comment se fait-il que les variations de vitesse soient différentes, en ce sens qu'elles n'ont pas besoin de comparaisons pour qu'on les perçoive ? »⁵⁹ Les scientifiques vont se pencher sur cette question.

À l'époque de la présentation moderne des idées attribuées généralement à **Ernst MACH**⁶⁰, la conception de l'espace traverse une nouvelle crise. Que se passe-t-il si nous déplaçons l'univers entier d'un mètre vers la droite ? Quelle est la vitesse de l'univers dans la *substance* de l'espace ?

D'après **MACH**, sans comparaison possible, les concepts de *mouvement* et d'*accélération* perdent leur sens. En effet, d'après lui, dans un univers complètement vide mis à part nous, le fait d'être parfaitement immobile ou de tourner sur nous-même est indiscernable. Dans un univers vide, il n'y pas de distinction entre rotation et immobilité, nous ne pouvons rien ressentir. Mais à l'autre extrême, dans un univers rempli de matière – *non-vide* – nous sentons des effets centrifuges sur nos membres lorsque nous sommes en rotation. De là, « la force que l'on ressent serait proportionnelle à la quantité de matière contenue dans l'Univers ». S'il y a plus de matière nous sentons plus de force, et inversement. Donc, selon **MACH**, se sont les mouvements relatifs et l'accélération relative qui compte. « *On ne ressent l'accélération que lorsqu'on accélère par rapport à la distribution moyenne de la matière qui peuple l'Univers.* »⁶¹ Le point de vue de **MACH** sur l'espace rejoint en quelque sorte celui de **LEIBNIZ**, puisque pour eux, l'espace est le langage permettant d'exprimer la relation entre les différentes positions des objets (l'espace n'a pas ici une position indépendante)⁶².

⁵⁶ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 41.

⁵⁷ D'où la difficulté de comprendre tout de suite quel train démarre quand 2 trains sont côte à côte.

⁵⁸ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 41.

⁵⁹ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 41.

⁶⁰ **Ernst MACH** (1838-1916), physicien et philosophe autrichien.

⁶¹ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), pp. 55-56.

⁶² « Au point de vue physique, le temps et l'espace sont des relations particulières des éléments physiques entre eux. » In E. MACH, *La connaissance et l'Erreur*, Paris : Flammarion, 1908, p. 351.

« Tout point de vue est aussi valable qu'un autre »

Brian GREENE⁶³

3 | Espace et temps : réalité relativiste

§1 - De la physique classique à la relativité

À partir des propriétés de la **lumière**, **Albert EINSTEIN**⁶⁴ entama la révolution relativiste avec la théorie de la relativité restreinte (1905)⁶⁵ et la théorie de la relativité générale (1916)⁶⁶, en comprenant que la conception de l'espace et du temps Newtonienne à la base de toute la *physique classique* était fausse. Pour **EINSTEIN**, l'espace et le temps ne sont ni indépendants, ni absolus ; ils devinrent *souples* et *dynamiques*. « Non seulement Einstein représenta l'espace et le temps comme deux parties d'un unique tout, mais il montra en outre qu'ils participent à l'évolution cosmique en se courbant et en se déformant. »⁶⁷ Dans la relativité restreinte : espace et temps sont relatifs, mais leur union, l'espace-temps, est absolue. Enfin, avec la relativité générale l'espace-temps est un acteur de l'évolution de l'Univers.

⁶³ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 49.

⁶⁴ **Albert EINSTEIN** (1879-1955), physicien allemand. « Il établit la théorie du mouvement brownien et, appliquant la théorie des quanta à l'énergie rayonnante, abouti au concept de photon. Il est surtout l'auteur des théories de la relativité (relativité restreinte, 1905 ; relativité générale, 1916), qui ont marqué la science moderne, dans lesquelles il révisait profondément les notions physiques d'espace et de temps, et établit l'équivalence de la masse et de l'énergie ($E=mc^2$). » In *Le petit Larousse illustré 2002*, (Op. cit.), p. 1302.

⁶⁵ **Théorie de la relativité restreinte** : première version de la théorie de la relativité (**Albert EINSTEIN**, 1905) qui ne considère pas la question des accélérations d'un référentiel, ni les interactions d'origine gravitationnelles ; mais donne une explication cohérente des interactions électromagnétiques et de leur transformation par changement de référentiel à l'aide de la transformation de **LORENTZ** et résout les paradoxes au sein de la mécanique classique (du point de vue de la mesure de la vitesse de la lumière). Elle parle pour la première fois de continuum espace-temps, et montre des phénomènes vérifiés expérimentalement donnant des variations de longueur et de durée entre observateurs situés dans des référentiels différents. C'est la seule théorie utilisable pour représenter les effets relativistes en mécanique quantique. Théorie populaire en science-fiction (phénomène de dilatation du temps, paradoxe des jumeaux). En philosophie, la théorie élimine toute possibilité d'existence d'un temps et d'une durée absolus dans l'ensemble de l'univers, ce qui était implicitement admis avant. Elle repose sur deux postulats : **1. le principe de relativité** : « Il est impossible de déterminer un système de références absolu sur la base de phénomènes physiques quels qu'ils soient. » Pour tous les référentiels inertiels (c'est-à-dire, les objets quelconques, en tant qu'origines de systèmes de forces) en mouvement uniformes les uns par rapport aux autres, les lois de la nature sont identiques. Tous ces systèmes peuvent donc être considérés comme équivalents ; **2. la constance de la vitesse de la lumière**. Il en résulte une **relativité de la simultanéité**. Les temps de deux points situés dans des référentiels inertiels différents, en mouvement l'un par rapport à l'autre, doivent être calculés. Il faut trouver une correspondance entre l'espace-temps des deux référentiels (par le biais des transformations dites de **LORENTZ**).

⁶⁶ **Théorie de la relativité générale** : réalisée par **EINSTEIN** de 1907 à 1915. Théorie relativiste de la gravitation, où la présence d'une masse (de matière) déforme l'espace-temps (distorsion ou espace-temps *élastique*). Cette théorie permet de mettre ensemble mécanique classique (simultanéité de deux actions) et relativité restreinte (la simultanéité de deux événements n'y est pas définie pourtant cette théorie est censée être universelle). Elle traite des référentiels accélérés et non uniquement des référentiels dits inertiels (animés d'une vitesse constante sans changement de direction). Les lois de **NEWTON** sont donc valables comme approximations dans un référentiel local inertiel. Ainsi, les photons ont une trajectoire linéaire dans un référentiel inertiel local et puis courbe (géodésique) au-delà.

⁶⁷ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 23.

Si **NEWTON** tenait compte des forces de la **gravité**, les forces **magnétiques** et **électriques** furent prises en compte pour la première fois par **James Clerk MAXWELL**⁶⁸ dans ses célèbres équations qui décrivent aussi bien les phénomènes électriques que magnétiques à la fin du XIX^e siècle⁶⁹.

Aujourd'hui nous sommes *traversé* de toutes parts par des champs électromagnétiques⁷⁰. Bien que toutes ces technologies n'existent pas encore à l'époque, **MAXWELL** réussit, en raisonnant en termes de *champ*⁷¹, à relier deux phénomènes qui semblaient jusqu'alors séparés : *électricité* et *magnétisme*. De plus, en étudiant ses équations, il a découvert que des variations ou des perturbations du champ électrique se déplacent comme des *ondes*⁷² avec une vitesse précise⁷³, exactement identique à celle de la *lumière*, dont la vitesse avait été mesurée dans d'autres expériences. Alors, **MAXWELL** comprit que la lumière était une *onde électromagnétique* « dotée de bonnes propriétés pour interagir avec notre rétine et nous procurer la sensation de voir »⁷⁴ et il essaya d'expliquer la vitesse apparaissant dans les équations comme étant due au « rapport au milieu »⁷⁵. Les physiciens crurent qu'à l'instar des ondes sonores qui progressent à travers un élément de référence fixe (l'air), les ondes électromagnétiques cheminaient aussi par rapport à un « milieu particulier » – jamais détecté, mais existant néanmoins – et ils lui donnèrent le nom d'« éther luminifère » ou plus simplement d'**éther**. Ainsi les équations de **MAXWELL** semblaient exprimer la vitesse de la lumière par rapport à l'*éther stationnaire*⁷⁶.

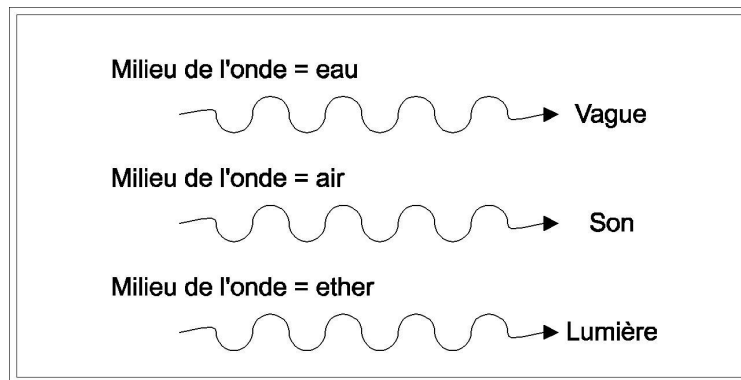


Figure 1 : Types d'ondes et milieux traversés

⁶⁸ **James Clerk MAXWELL** (1831-1879), physicien britannique. Il a unifié les théories de l'électricité et du magnétisme donnant les équations générales du champ électromagnétique (1860).

⁶⁹ Il faut un meilleur bagage mathématique pour comprendre les équations de **MAXWELL** que celles de **NEWTON**. Mais les équations de **MAXWELL** décrivent aussi bien les phénomènes électromagnétiques que les équations de **NEWTON** pour le mouvement.

⁷⁰ Par les téléphones sans fil, les ondes radios, les ordinateurs et les connexion Internet sans fil, ...

⁷¹ Par après il y aura d'autres types de champs (champ gravitationnel, champ des forces nucléaires, champ de **HIGGS**), le concept de champ étant au cœur de la formulation moderne des lois de la physique.

⁷² **Onde** : « 4.PHYS.a. Modification de l'état physique d'un milieu matériel ou immatériel, qui se propage à la suite d'une action locale avec une vitesse finie, déterminée par les caractéristiques des milieux traversés. (On distingue les *ondes mécaniques* [ondes sonores, vagues dans un liquide, etc.], qui se propagent par vibration de la matière, et les *ondes électromagnétiques* [ondes radios, lumière, etc.], qui se propagent en dehors de tout support matériel, dans le vide.) » In *Le petit Larousse illustré 2002*, (Op. cit.), p. 716.

⁷³ 1080 millions de km/s

⁷⁴ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 62.

⁷⁵ Par exemple les ondes familières comme les vagues sont portées par l'eau, les ondes sonores par l'air (1200km/h à température ambiante ou Mach 1 (de Ernst **MACH**)), ...

⁷⁶ L'**éther** devint un peu le *nouvel* espace absolu de **NEWTON**, ou l'avatar concret de l'esprit divin de **Henry MORE** et **NEWTON**.

Mais le raisonnement avait une faille. Si nous partons du principe que la lumière se déplace toujours à la même vitesse par rapport à l'éther, alors la lumière devrait m'atteindre plus rapidement si je vais vers une source lumineuse que si je m'en éloigne. Pourtant les expériences de l'époque montrèrent que la vitesse de la lumière était la même quelque soit notre mouvement ou celui de la source lumineuse⁷⁷.

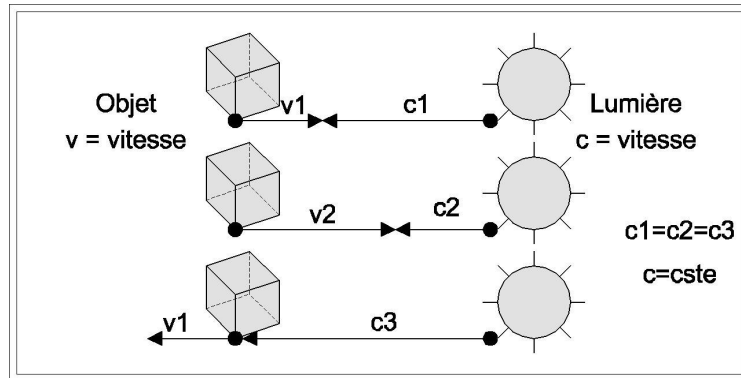


Figure II : Vitesse constante de la lumière

§2 - La relativité restreinte

C'est alors qu'EINSTEIN eut un éclair de génie : si personne n'avait su mettre en évidence l'éther c'est peut-être simplement parce qu'il n'existe pas. Dans ce cas, si les équations de MAXWELL décrivant la vitesse de la lumière ne font appel à aucun milieu de ce type, c'est parce que la lumière n'a pas besoin de milieu pour se déplacer, elle se déplace dans le **vide**. Mais par rapport à quoi, à quel « point de vue » se calcule la vitesse de la lumière ? En fait la théorie de MAXWELL ne laisse pas de place pour la lumière stationnaire, parce que la lumière n'est **jamais** au repos. Ainsi la vitesse de la lumière fut considérée comme une constante non nulle dans les équations, ce fut la fin de l'éther luminifère.

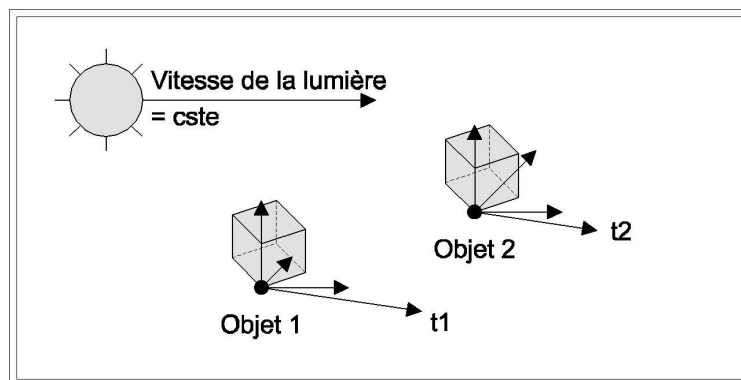


Figure III : Référentiels inertiels différents

⁷⁷ Ce résultat expérimental entrait en *contradiction* avec la physique *classique*. Rappelons que la **vitesse** est « la distance parcourue par le temps qu'il faut pour la parcourir », c'est-à-dire une « mesure d'espace » par une « mesure de temps ». Or pour NEWTON, l'espace et le temps sont absolus et permettent jusqu'alors une conception universelle de la réalité applicable (et donc mesurable) en tout point de l'espace et du temps qui s'accorde avec la perception quotidienne ou le sens commun. Celle-ci dirait plutôt que la lumière mettra plus de temps pour nous atteindre si nous nous éloignons d'elle, que si nous nous en approchons.

D'après **EINSTEIN** qui énonça la **relativité restreinte**, la conception de l'espace et du temps absolus est incorrecte puisque « des observateurs en mouvement les uns par rapport aux autres, [...], ne trouvent pas les mêmes mesures de distance et de temps. Les données expérimentales sur la vitesse de la lumière ne peuvent être expliquées que si leurs perceptions de l'espace et du temps sont différentes. »⁷⁸ « En partant du fait que la vitesse de la lumière est une constante, on en déduit que l'espace et le temps dépendent du regard de l'observateur. Chacun de nous a sa propre horloge, sa propre manière de voir passer le temps. Chaque horloge est tout aussi précise qu'une autre, et pourtant, lorsque deux observateurs se déplacent l'un par rapport à l'autre, les horloges ne sont pas en accord. Elles ne sont plus synchronisées : elles mesurent des durées différentes entre deux mêmes événements. »⁷⁹ Si l'espace et le temps ne se comportaient pas comme cela, la vitesse de la lumière ne serait pas constante et dépendrait du mouvement de l'observateur. « L'espace et le temps s'ajustent de manière équilibrée si bien que les observations donnent toujours le même résultat pour la vitesse de la lumière, quelle que soit celle de l'observateur. »⁸⁰

Les objets se déplacent dans l'espace, mais également constamment dans le temps. **NEWTON** pensait que ces deux déplacements étaient séparés. Pour **EINSTEIN** ces phénomènes sont liés, et la découverte révolutionnaire de la relativité restreinte c'est que « lorsque nous regardons quelque chose comme une voiture à l'arrêt, c'est-à-dire stationnaire de notre point de vue – j'entends par là immobile dans l'espace – *tout son mouvement se fait dans le temps* »⁸¹. Nous, la voiture, nos vêtements, les objets qui nous entourent, tout se déplace dans le temps de manière synchronisée (avec un tic-tac uniforme). Si la voiture démarre, « une partie de son mouvement dans le temps est alors utilisé pour son mouvement dans l'espace »⁸² et cela signifie que « la progression de la voiture dans le temps est ralentie et donc que *le temps s'écoule plus lentement pour la voiture et son conducteur lancés à toute vitesse, que pour l'observateur et tout ce qui reste stationnaire autour de lui* »⁸³. La relativité restreinte exprime donc une loi pour tout mouvement : « *pour n'importe quel objet, la vitesse combinée de son mouvement dans l'espace et de son mouvement dans le temps est toujours précisément égale à la vitesse de la lumière* »⁸⁴. La lumière qui chemine toujours à la même vitesse *dans l'espace* est un cas particulier puisque son mouvement ne se fait que dans l'espace et ne permet **pas** d'évoluer dans le temps⁸⁵.

La relativité restreinte d'**EINSTEIN** ne stipule pas que *tout* est *relatif*. Elle affirme que certaines choses sont *relatives* : vitesses (espace par temps), distances (espace), intervalles (temps) ; mais introduit un concept absolu : l'**espace-temps**⁸⁶. Nous parlons donc du *continuum* espace-temps.

⁷⁸ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 67.

⁷⁹ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), pp. 67-68.

⁸⁰ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 68.

⁸¹ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 69.

⁸² B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 69.

⁸³ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 69.

⁸⁴ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 70.

⁸⁵ Ainsi le temps s'arrêterait si nous voyagions dans l'espace à la vitesse de la lumière.

⁸⁶ L'espace-temps est aussi absolu en relativité restreinte que ne l'étaient espace et temps pour **NEWTON** en physique classique.

§3 - La relativité générale

La relativité restreinte s'appliquait aux corps en vitesse **constante**⁸⁷ et vers 1915 (10 ans après) la **relativité générale**, également développée par **EINSTEIN**, s'applique aux corps **accélérés**⁸⁸.

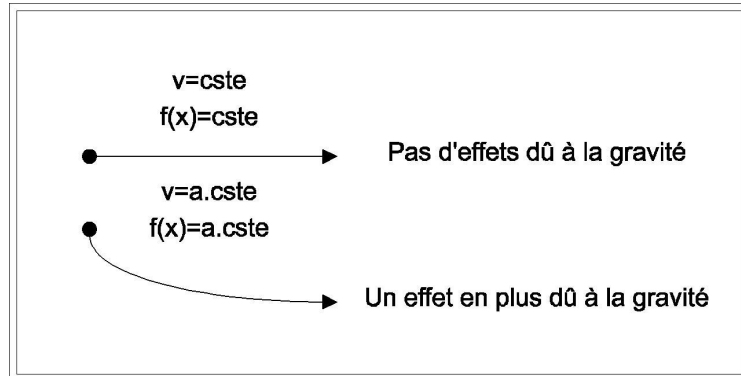


Figure IV : Objet en mouvement avec une accélération nulle ou constante

La différence dans le cas d'un mouvement accéléré, c'est que nous *sentons* l'accélération. En chute libre, un individu ressent les mêmes sensations de légèreté qu'un cosmonaute en apesanteur. **EINSTEIN** réalisa alors que gravitation et mouvement accéléré étaient les deux faces d'un même problème. De là, Einstein définit le « principe d'équivalence », où « les forces ressenties en présence de la gravité et en accélération sont identiques »⁸⁹. « *Puisque gravitation et accélération sont équivalentes, si l'on ressent l'influence de la gravitation, c'est que l'on accélère.* »⁹⁰ Si un individu croise un autre individu en chute libre ou flottant librement (c'est-à-dire dans les deux cas ne subissant aucune accélération), alors il est accéléré. En relativité générale les observateurs en chute libre⁹¹ (soumis uniquement à la force de la gravitation) sont les points de référence parce qu'eux seuls peuvent juger d'un objet s'il est accéléré ou pas. La trajectoire d'un observateur en chute libre serait le résultat de « l'influence collective de toute la matière de l'Univers, des étoiles du firmament jusqu'à la maison du voisin »⁹².

Une conséquence fondamentale du « principe d'équivalence » (où gravitation et accélération sont équivalentes) c'est que la gravitation elle-même est une distorsion ou **courbure**⁹³ de l'espace-temps. « Tout se passe comme si la matière et l'énergie inscrivaient un réseau de monts et de vallées le long desquels les objets seraient guidés par la main invisible de la structure de l'espace-temps. »⁹⁴ Les équations de la relativité générale permettent de prévoir à quelle vitesse la gravitation opère,

⁸⁷ La relativité restreinte entraînait en conflit avec la loi de la gravitation de **NEWTON** qui permettait pourtant de prédire la trajectoire de tous les objets présents dans le ciel depuis plus de deux siècles et prétendait que la gravitation s'exerçait instantanément sur un corps et instantanément c'est *plus* vite que la vitesse de la lumière.

⁸⁸ Si la trajectoire d'un objet dans l'espace est une *droite*, celui-ci n'est *pas* accéléré. Si la trajectoire présente une autre forme ; celui-ci est accéléré. C'est une coordonnée en espace et en temps qui fournit la référence pour savoir d'après la trajectoire si l'objet est accéléré ou non : $f(x,y,z,t)$.

⁸⁹ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 91.

⁹⁰ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 91.

⁹¹ Un observateur en chute libre n'est soumis qu'à la force gravitationnelle qui procède de toute la matière et l'énergie répartie dans l'univers.

⁹² B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 99.

⁹³ Voir en annexes, l'illustration de la courbure de l'espace-temps : **annexes 1**.

⁹⁴ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 95.

transmet son influence, c'est-à-dire à quelle vitesse l'espace peut changer dans le temps.

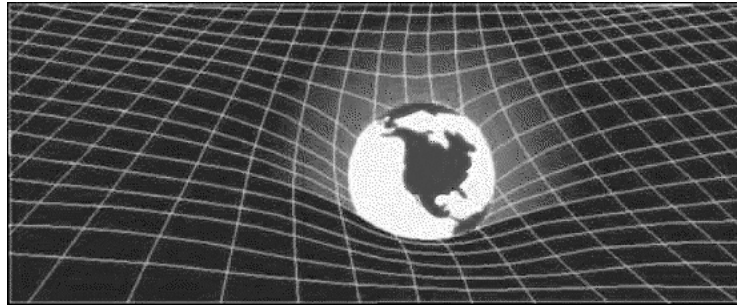


Figure v : Courbure dans l'espace-temps théorique provoquée par un corps massif

Alors qu'en relativité *restreinte* l'espace-temps était considéré comme absolu (donné une fois pour toute), en relativité *générale* ce n'est plus vrai, l'espace et le temps deviennent acteurs de l'évolution de l'Univers. « La matière ici provoque une courbure de l'espace là, qui fait se déplacer la matière là-bas, qui courbe plus encore la région de l'espace située tout là-bas au loin, et ainsi de suite. La relativité générale orchestre la chorégraphie de la danse cosmique qui mêle l'espace, le temps, la matière et l'énergie. »⁹⁵ « La Terre, la Lune, les planètes lointaines, les étoiles, les nébuleuses, les quasars, les galaxies, ..., tous contribuent au champ gravitationnel (ou, en termes géométriques, à la courbure de l'espace-temps) qui règne en chaque endroit où l'on se trouve. »⁹⁶ Ainsi, au voisinage d'un objet ayant une masse, l'espace-temps se déforme et prend une courbure. Cette déformation est d'autant plus grande que la masse de l'objet est grande⁹⁷.

D'après [EINSTEIN](#), l'« accélération par rapport à l'espace-temps de la relativité générale est relationnelle »⁹⁸. « Il ne s'agit pas d'une accélération par rapport à des objets matériels comme des bâtiments ou des étoiles, mais d'une accélération par rapport à quelque chose de tout aussi réel, tangible et évolutif : un champ – le champ de gravitation. Dans ce sens, l'espace-temps (comme incarnation de la gravitation) est *tellement* réel en relativité générale que la référence qu'il fournit reste tout à fait acceptable pour beaucoup de relationnistes. »⁹⁹

La relativité générale arrive au même point que la relativité restreinte, elle dit que dans un univers vide de toute autre matière, nous sentirions les effets de l'accélération. Même en relativité générale, l'espace-temps vide représente une référence pour le mouvement accéléré.

⁹⁵ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 97.

⁹⁶ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 98.

⁹⁷ Un objet ayant une masse particulièrement élevée va provoquer une courbure énorme de l'espace-temps, nous dirons ici qu'il va *creuser* l'espace-temps pour former ce qui est appelé un « trou noir ». L'apparition d'un trou noir est généralement causée par l'effondrement d'une étoile sur elle-même, c'est-à-dire la compression énorme de l'objet qui conservant la même masse voit sa densité s'élever vertigineusement. L'étoile atteint alors le stade de « naine blanche », puis d'« étoile à neutrons » et enfin de trou noir. Le trou noir possède une masse tellement énorme, que son attraction est énorme et sa courbure devient une *singularité*. Du coup, même la lumière ne peut en sortir, nous parlons donc d'un trou *noir*.

⁹⁸ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 101.

⁹⁹ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 101.

§4 - Le temps ne s'écoule pas

Les théories de la relativité restreinte et de la relativité générale ont bouleversé l'*universalité* et l'*unicité* du temps. Nous avons tous notre horloge personnelle, notre « tic-tac » individuel, qui nous fait passer d'un maintenant au suivant d'une manière qui nous semble uniforme et en totale adéquation avec notre vision intuitive du temps. Mais la comparaison avec les autres horloges internes révèle les différences.

Notre expérience nous enseigne que le futur (qui semble présenter de vastes possibilités) est différent du passé (qui ne semble lié qu'à ce qui a réellement eu lieu). Nous nous sentons capable d'influencer le futur, tandis que le passé nous paraît immuable. « Entre *passé* et *futur* réside en outre le concept fuyant du *maintenant*, point d'ancrage temporel qui se réinvente d'un instant à l'autre. »¹⁰⁰ Notre expérience nous enseigne également qu'il existe une « tendance manifeste » à la manière dont les événements se déroulent dans le temps. Notre monde semble adhérer à une « flèche » temporelle à sens unique où les événements se succèdent dans un ordre précis, orienté. Le temps semble s'écouler à sens unique, tout ayant lieu en une seule et succession d'événements.

Pourtant, la reformulation de certaines idées de la relativité restreinte montre que le *temps ne s'écoule pas*, que la réalité englobe passé, présent et futur. L'image d'un écoulement, selon lequel les *tranches* temporelles successives (les *instantanés*) s'illumineraient l'une après l'autre serait *illusoire*. Aucun scientifique n'a jamais pu trouver dans les lois physique, une expression incarnant cette conscience de l'instant qui se déplace, privilégiant un instant après l'autre comme étant momentanément réel (un *maintenant* momentané) et qui se poursuit dans le futur.

Une *définition* efficace de la réalité (ce qui existe à un instant donné) est mon idée de la réalité, ma vision du monde, une sorte d'image instantanée de tout l'univers *maintenant*, une liste de tous les événements qui peuplent mon image mentale fixe. C'est ce type d'approche intuitive qui nous permet de définir la réalité lorsque nous nous questionnons sur l'existence des choses en un instant.

Mais, rien de ce que nous voyons maintenant n'apparaît sur la liste des événements à l'instant présent, « puisqu'il faut un certain temps à la lumière pour atteindre la rétine. « Tout ce que l'on voit *maintenant* a déjà eu lieu. »¹⁰¹ Si nous regardons un objet à proximité de nous, c'est imperceptible, il y a un milliardième de seconde entre le moment où nous voyons l'objet et le moment où il fait partie de notre *maintenant*. Mais pour un objet très éloigné, l'effet est énorme¹⁰². « En fait, notre liste de l'instant présent ne peut être réalisée qu'après les faits. »¹⁰³ Si nous écoutons [NEWTON](#), l'image de l'univers figé à un instant donné contient les mêmes éléments, la même liste d'événements, le même *maintenant* pour tous le monde. Mais selon la théorie de la relativité restreinte, ce n'est pas le cas. « *Des observateurs en mouvement rela-*

¹⁰⁰ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 160.

¹⁰¹ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 166.

¹⁰² Si nous regardons la lune, nous la voyons telle qu'elle était *une seconde et demie* plus tôt. Mais le soleil, nous le voyons tel qu'il était il y a *huit minutes* et les étoiles visibles à l'œil nu telles qu'elles étaient il y a *quelques années ou quelques dizaines de milliers d'années*.

¹⁰³ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 166.

*tif ont des conceptions différentes de ce qui existe à un instant donné ; ils ont donc des conceptions différentes de la réalité. »*¹⁰⁴

Dans la vie quotidienne les « angles que forment entre eux les découpages des *maintenant* de deux observateurs en mouvement relatif sont dérisoires »¹⁰⁵, ainsi nous ne remarquons jamais la différence entre *notre* maintenant et celui d'un *autre*. Les exposés sur la relativité restreinte s'intéressent surtout à ce qui se passe à des vitesses proche de la vitesse de la lumière, où un tel mouvement amplifie les effets à l'infini.

Il en va de même pour l'espace-temps, aux vitesses de tous les jours, les découpages correspondant aux « *maintenant* » des observateurs proches sont orientés selon des angles très légèrement différents et l'effet est imperceptible. Pourtant un *maintenant* d'un individu identique au *maintenant* d'un autre individu, devient différent au moindre mouvement du premier par rapport au deuxième. Plus le temps pour recevoir la lumière émise est long, plus nous sommes éloigné d'un événement donné. De là, bien que nous soyons habitués à ce que des effets relativistes apparaissent à grande vitesse, il faut savoir que des effets apparaissent amplifiés aussi à basse vitesse à cause d'une grande distance dans l'espace.

L'espace-temps est-il une entité réelle ou un concept abstrait (union abstraite de l'espace à l'instant présent avec toute son histoire et tout son futur présumé). L'image figée des événement que conçoit un individu, sa conception de ce qui existe maintenant est tout aussi réelle pour lui que l'est pour vous votre propre conception de la réalité. Il serait très étroit d'esprit de nier le point de vue de cet individu. C'est la somme des « découpages » de tous les individus qui approche la réalité¹⁰⁶. D'ailleurs pour ceux qui en douteraient, la théorie de [NEWTON](#) va dans le même sens (ou la physique du quotidien, habituellement acceptée) c'est juste aussi : dans un univers où l'espace et le temps sont absolus, tous les « découpages » de l'instant présent coïncident pour tout le monde. La somme des conceptions de la réalité est simplement identique à celle de chacun.

Donc si on accepte l'idée que « la réalité est constituée des événements qui apparaissent dans notre image mentale à l'instant présent » et que l'on admet que « notre maintenant n'est pas plus valable que le maintenant d'un autre situé à une très grand distance et pouvant se déplacer librement, alors « la réalité englobe tous les événements de l'espace-temps », et la réalité comme **entité**, comme *finie*, comme *somme* de *tous* les points de vues **existe**. Ainsi, alors que nous disons que tout l'espace existe, tout le temps existe *réellement* également. Oui : passé, présent et futur apparaissent comme des entités séparées, mais pour [EINSTEIN](#), la distinction entre passé, présent et futur « n'est qu'une illusion, quoique persistante »¹⁰⁷ et la seule chose persistante est l'espace-temps.

« La sensation de flux d'un instant au suivant provient de la conscience que nous avons de cette évolution, dans nos pensées, nos sensations et nos perceptions. »¹⁰⁸ Cette évolution semble se dérouler de manière continue, logique et cohérente. Mais en réalité celle-ci ne peut exister. Pour nous qui vivons un instant particulier, celui-ci

¹⁰⁴ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 167.

¹⁰⁵ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 167.

¹⁰⁶ Sans doute d'une manière moins dangereuse que de décrire la réalité selon le point de vue d'un seul individu.

¹⁰⁷ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 173.

¹⁰⁸ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 174.

est notre *maintenant*, « c'est l'instant que nous vivons à cet instant »¹⁰⁹. De plus au sein de chaque « tranche de temps » prise individuellement, il existe en nous une quantité énorme de souvenirs et de pensées pour nous donner l'impression que le temps n'a cessé de s'écouler jusqu'à maintenant. Cette sensation « n'a pas besoin que les instants antérieurs (les plans précédents) soient « éclairés les uns après les autres » »¹¹⁰. Ce serait donc un événement maintenant associé aux souvenirs que nous avons maintenant qui crée notre sensation d'avoir vécu notre vie à travers nos souvenirs. Tout individu vivant un *maintenant* individuel possède un *état* – de conscience et de présence physique en même temps – qui est le produit de tout ce que l'individu a expérimenté dans sa vie¹¹¹. Si nous plaçons l'individu (corps et esprit) dans le même *état* que *maintenant* ailleurs dans un autre point de l'espace, alors il aura la sensation d'avoir vécu la même vie – attestée ses souvenirs – même si ces événements n'ont jamais eu lieu ou ont été « imprimés » d'une quelconque façon dans son cerveau.

Pourtant le concept de changement n'a aucun sens par rapport à un instant unique dans le temps. Le changement doit « marquer » le temps qui passe, mais les instants n'incluent pas par définition l'écoulement du temps¹¹². « Les instants *sont*, tout simplement, ils sont le matériaux brut qui forge le temps, ils ne changent pas. »¹¹³ Si une position change, elle devient une autre position dans l'espace ; si un instant change, il devient un autre instant dans le temps. Selon [Brian GREENE](#), nous imaginons habituellement le temps comme une pellicule dont la succession d'images représente une série ordonnée d'instantanés¹¹⁴, éclairés les uns après les autres par la conscience qui l'interprète. Tous ces instants sont éclairés, et le restent puisque tous ces instants *sont*.

¹⁰⁹ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 175.

¹¹⁰ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 175.

¹¹¹ Nous simplifions ici pour la clarté de l'exposé. Il faut évidemment un certain temps à la conscience pour analyser, reconnaître et interpréter les stimuli qu'elle reçoit.

¹¹² En tout cas pas pour le temps tel que nous le percevons.

¹¹³ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 175.

¹¹⁴ Les instants peuvent être comparés ici à des *instantanés* de la réalité perçue par l'individu.

« Ce qui est rationnel est réel et ce qui est réel est rationnel. »

Georg Wilhelm Friedrich HEGEL¹¹⁵

4 | Espace et temps : réalité quantique

Alors que l'étude des forces de la **gravité** avait permis de mettre en place la physique classique newtonienne, que l'étude des forces **magnétiques** et **électriques** avait permis, en passant par l'étude de la lumière, de mettre en place les théories de la relativité restreinte et de la relativité générale, c'est l'étude du **rayonnement** émis par des objets chauds qui conduisit à la *révolution quantique*¹¹⁶.

Selon la physique classique et de manière plus subtile, selon les théories de la relativité (restreinte et générale) : l'ensemble des équations de **NEWTON** et de **MAXWELL**, combinées à une connaissance complète du présent¹¹⁷, permettent de déterminer l'état de l'univers : son passé et son futur. Dans ce cas, passé et futur sont *gravés* dans l'instant présent.

Par contre après l'arrivée de la mécanique quantique, nous aurons beau mesurer un état présent de la manière la plus précise possible, nous ne pourrions jamais connaître la position ou la vitesse exacte d'un *objet microscopique* (une particule), nous pouvons au mieux prédire la *probabilité* qu'une telle expérience donne tel résultat, que la *situation* « évolue vers » ou soit « l'évolution de ». « L'Univers, selon la mécanique quantique, n'est pas gravé dans le présent ; l'Univers selon la mécanique quantique est un jeu de hasard. »¹¹⁸

C'est la mise en place d'une réalité floue où les *choses* ne sont plus définies d'une manière **ou** d'une autre (physique classique et relativiste), mais d'une manière **et** d'une autre (mécanique quantique). De plus, les *choses* ne sont définies aux yeux de l'observateur que lorsqu'un type d'observation ou une *mesure* les cantonne dans une possibilité plutôt qu'une autre, quand nous donnons une probabilité que la *chose* soit cette *chose*. La mécanique quantique introduit le calcul probabiliste en physique.

Pour **Max BORN**¹¹⁹, une **onde** devrait plutôt être vue comme une **onde de probabilité**¹²⁰. Nous devons envisager l'électron non plus comme une région ponctuelle de

¹¹⁵ Préface de F. HEGEL, *Principes de la Philosophie du droit* (1821), Paris : Gallimard, 1972.

¹¹⁶ **La mécanique quantique** : (mode de raisonnement mis en place dans les années '30) c'est avec la relativité générale l'un des deux théories majeures du xx^e, elle est nommée ainsi en opposition à la physique classique et reprend l'ensemble des théories physiques nées au xx^e siècle : théorie des quanta, mécanique quantique non relativiste, physique des particules reposant sur la théorie quantique des champs, physique de la matière condensée, physique statistique quantique, chimie quantique, théories décrivant la gravité quantique, ...

¹¹⁷ La connaissance du présent vient habituellement de la connaissance des conditions initiales telles que les positions et les vitesses des objets impliqués par l'expérience à un moment donné. Celles-ci permettent de donner la position des objets à n'importe quel autre moment : *passé* ou *futur*.

¹¹⁸ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 24.

¹¹⁹ Max BORN (1882-1970), physicien allemand à l'origine de l'interprétation probabiliste de la mécanique quantique.

¹²⁰ Une **onde de probabilité** : possède une forme caractéristique présentant des régions de faibles (des creux) et de fortes (des crêtes) intensités. Et « l'amplitude d'une onde en un point donné de l'espace est proportionnelle à la probabilité que l'électron soit localisé en ce point de l'espace »¹²⁰ In B. GREENE, *La magie du cosmos*, Paris : Robert Laffont, 2005, p. 116. En effet, les endroits où l'onde de probabilité est *élevée* ou *faible* sont respectivement les endroits où nous avons le *plus* ou le *moins* de chance de trouver l'électron. Les endroits où l'onde de probabilité est *nulle* sont les endroits où l'on est sûr de ne *pas* trouver l'électron.

l'espace, mais comme une onde s'étendant dans l'univers entier. « Personne n'a jamais vu directement une onde de probabilité, et les raisonnements habituels en mécanique quantique stipulent que personne ne pourra jamais en voir. »¹²¹ Certains scientifiques avancent qu'il est difficile de croire en l'existence des ondes de probabilité puisqu'elles ne sont pas observables. Au cours des huit dernières décennies, aucune manière de comprendre ce que sont réellement les ondes de probabilité n'a fait l'unanimité. « Doit-on dire de l'onde de probabilité d'un électron qu'elle est l'électron, ou qu'elle est associée à l'électron, ou quelle est un outil mathématique pour décrire le mouvement de l'électron, ou qu'elle est l'*incarnation de ce que l'on peut connaître* de l'électron ? Cette question n'est toujours pas élucidée. »¹²²

Toujours d'après Max BORN, la *fusion* onde-particule – le fait que nous puissions observer un objet selon une description *matérielle*¹²³ et une description faisant intervenir une *onde*¹²⁴ – vaut pour tous les constituants de la nature (électrons, protons, neutrons) qui ont à la fois « un comportement corpusculaire et un comportement ondulatoire »¹²⁵

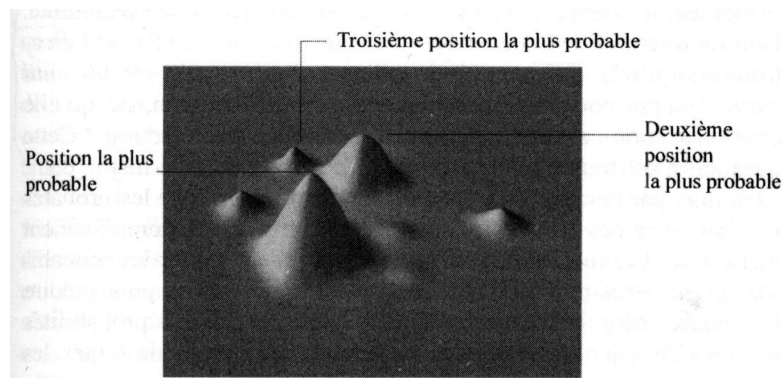


Figure VI : Schéma théorique d'une onde de probabilité décrivant la position d'une particule¹²⁶

Dans notre *vision* quotidienne de la réalité, la propriété la plus fondamentale de l'espace est d'être un « milieu séparant un objet d'un autre »¹²⁷. À partir de cette hypothèse¹²⁸, un point précis de l'espace, isolé des autres points, ne pourrait avoir aucune influence (relation) sur les autres points de l'espace, puisque l'espace physique entre le point et les autres – l'espace intermédiaire – est une absence de lien physique. S'ils sont séparés par de l'espace, nous considérons habituellement des *objets*

¹²¹ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 116. Nous pouvons nous faire une idée de l'allure des ondes de probabilité grâce à certaines équations mathématiques (de E. SCHRÖDINGER, N. BOHR, W. HEISENBERG, P. DIRAC, ...). Après avoir calculé l'onde de probabilité d'un électron dans un contexte expérimental donné, nous effectuons x fois la même expérience en relevant la position de l'électron. Ces expériences identiques, à partir de conditions initiales identiques, ne conduisent pas forcément à des résultats identiques (horreur pour Newton). Pour la mécanique quantique, l'onde de probabilité s'étend à l'univers entier. Mais dans bien des cas l'onde de probabilité de la particule chute facilement vers zéro en dehors d'une région réduite, indiquant qu'il y a plus de chance de trouver la particule dans cette région là. Mais, tant que l'onde de probabilité n'est pas totalement égale à zéro, il existe une chance minuscule que l'on puisse y trouver la particule.

¹²² B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 118.

¹²³ Selon une description *matérielle*, un électron occupe une région ponctuelle de l'espace.

¹²⁴ Selon une description faisant intervenir une *onde*, un électron aura la probabilité forte de se situer dans une région ponctuelle de l'espace.

¹²⁵ Début XX^e siècle, on découvre d'ailleurs, que la lumière, onde bien connue, peut également être connue pour un comportement corpusculaire : photons ou « petits paquets de lumière ».

¹²⁶ Illustration tirée de B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 117.

¹²⁷ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 101.

¹²⁸ Encore fortement ancrée aujourd'hui.

comme des entités indépendantes. Or les scientifiques quantiques vont remettre ceci en cause et nous démontrer que contrairement à notre perception quotidienne, une *action* en un point de l'espace – situé ici – aurait une influence sur un autre point – situé là-bas – (très) éloigné dans l'espace. Ceci tendrait à montrer qu'il existe *toujours* un « quelque chose » qui parcourt la distance entre les deux objets nécessaire pour que l'influence puisse s'exercer.

Les expériences *reproductibles* et *vérifiables* dans notre quotidien confirment que l'espace est « local » et qu'un objet influence uniquement un autre objet *proche*. Et le caractère local de l'espace quotidien reste valable. Mais, des résultats théoriques et expérimentaux montrent que l'univers abrite aussi des interconnexions « *non locales* » où un événement *ici* peut être lié à un événement *là*, alors que *rien* n'a traversé la distance de *là* à *ici*, même si la distance est tellement grande que rien (pas même la lumière) n'aurait eu le temps d'aller de *là* à *ici*. Séparées par des milliards de kilomètres, tout ce passe parfois comme si les particules étaient ensemble et formaient aux yeux de la mécanique quantique une « équipe unique ». Les « intrications à grande distance » ne se manifestent pas parce que les particules ont des propriétés corrélées définies et préexistantes¹²⁹. Ceci tendrait à montrer que « notre Univers n'est pas local »¹³⁰ ! « On pensait autrefois qu'une des propriétés les plus élémentaires de l'espace était qu'il permet de séparer et donc de distinguer un objet d'un autre. Mais nous voyons maintenant que la mécanique quantique modifie cette vision des choses. *Deux objets peuvent être séparés dans l'espace par une distance gigantesque et pourtant ne pas avoir d'existence indépendante.* »¹³¹

Il n'existe aujourd'hui aucune explication à cette énigme : deux objets peuvent être suffisamment en « contact » pour que quoi que fasse l'un, le second le fasse également et *immédiatement*¹³². Les expériences auront fini par donner tort à [EINSTEIN](#)¹³³ :

¹²⁹ Un conflit est possible entre mécanique quantique et relativité restreinte. En effet, si un chercheur mesure le spin – vitesse de rotation d'une particule – d'un photon à droite, au même instant le photon de gauche adopte la même valeur de spin. Dans ce cas, il faudrait qu'un médiateur quelconque alerte le deuxième photon instantanément, ce qui est en opposition avec la limite de vitesse imposée par la relativité restreinte (vitesse de la lumière). Nous savons que la matière et l'énergie ont en commun la propriété de pouvoir transmettre de l'information (le concept d'information a été introduit dans la théorie lors de l'apparition de la théorie de l'information). Or le médiateur ne peut dépasser la vitesse de la lumière pour transmettre de l'information et pourtant de l'information « passe ». Les spins mesurés sont donc corrélés (listes de propriétés identiques), mais n'obéissent pas à une relation causale traditionnelle (cause à effet) parce que rien ne parcourt la distance qui les sépare.

¹³⁰ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 106.

¹³¹ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 155.

¹³² Ce qui implique que « quelque chose » dépasse la vitesse de la lumière pour amener une « information », de manière à ce que les deux objets évoluent simultanément. Or la simultanéité est contradictoire à la théorie de la relativité restreinte qui stipule que la vitesse de la lumière est la vitesse maximale. Mais pour certains, le véritable cœur de la relativité restreinte ne pose pas que la vitesse de la lumière est une limitation de vitesse, mais plutôt que la vitesse de la lumière fait l'unanimité pour tous les observateurs quels que soient leurs mouvements. Pour eux, le principe central de la relativité restreinte se résume plutôt à l'inexistence d'un point de vue privilégié.

¹³³ Incomplète, la mécanique quantique n'était pour [EINSTEIN](#) qu'une étape intermédiaire avant une théorie *complète*. Selon lui, la mécanique quantique ne pouvait pas prendre en compte tous les aspects de la réalité physique. De plus, l'existence même du principe d'incertitude de [HEISENBERG](#) montre les limites du champ d'application de cette théorie. Pour [EINSTEIN](#), « effectuer des mesures sur la particule de droite, ne peut avoir un quelconque effet sur la particule de gauche, car il s'agit de deux entités distinctes et séparées » Les particules ont des positions et des vitesses bien définies. In B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 131. Pour [EINSTEIN](#) tout objet possède des valeurs définies pour toutes ses propriétés physiques. Mais aujourd'hui, la majorité des physiciens pensent que les propriétés des particules n'*accèdent* à l'existence que contraintes par la *mesure* et si elles ne sont ni observées, ni en interaction avec leur voisinage, les propriétés des particules ont une existence

les chercheurs ont aujourd'hui réussi à « mesurer » la position d'une particule à *deux* endroits en même temps. Une des propriétés la plus intuitive de l'espace est donc fausse : l'univers n'est **pas local**.

Werner HEISENBERG¹³⁴ énonça son **principe d'incertitude** (1927) qui révèle l'impossibilité fondamentale de déterminer simultanément – sans *incertitude* – toutes les propriétés¹³⁵ d'un système quantique (monde microscopique). Ainsi, plus nous mesurons avec précision une propriété (la position) d'une particule, moins nous pourrions avoir de précision sur une autre propriété (la vitesse) et inversement¹³⁶. « La théorie quantique met donc en scène sa propre dualité : on peut déterminer avec précision certaines caractéristiques physiques du monde microscopique, mais, ce faisant, on élimine les possibilités de déterminer d'autres caractéristiques complémentaires avec la même précision. »¹³⁷ À l'échelle des phénomènes quotidiens, l'incertitude mise en jeu est dérisoire et passe *inaperçue*, mais à l'échelle d'un objet quantique celle-ci devient énorme.

Le principe d'**HEISENBERG** stipule que l'incertitude est de mise et précise « *en toute certitude* » la quantité d'incertitude *minimale* dans une situation donnée. En mécanique quantique, les particules errent donc dans les « limbes quantiques »¹³⁸, dans le « flou probabiliste et informe de toutes les possibilités »¹³⁹, et ce n'est que « par la mesure qu'est choisie une issue donnée parmi tous les possibles »^{140 141}.

Un **état** est l'ensemble des caractéristiques d'un système quantique, telle une particule (atome, électron, neutron, photon, ...). Quand un système a plusieurs états possibles, la somme de ces états est également un état possible, le système se trouve alors dans une superposition d'états et nous parlons alors de **superposition quantique**¹⁴². Mais, l'*action* de **mesurer** le système fait disparaître la superposition d'état au profit d'un seul état et la superposition reste donc actuellement indétectable

floue et nébuleuse caractérisée uniquement par la probabilité que telle ou telle possibilité soit réalisée. « Parmi ceux qui partagent cette opinion, les plus radicaux iraient jusqu'à déclarer qu'en effet, lorsque rien ni personne ne « regarde » ou interagit avec la Lune, celle-ci n'est tout bonnement pas là. » In B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 154.

¹³⁴ **Werner Karl HEISENBERG** (1901-1976), physicien allemand, est l'un des fondateurs de la mécanique quantique.

¹³⁵ Les propriétés mesurées d'une particule sont : la position, la vitesse, le spin, ...

¹³⁶ En localisant un *objet* par la vue, nous recevons la lumière réfléchi par l'*objet* en direction de nos yeux. Mais la lumière, en se réfléchissant sur l'objet, lui donne une microscopique impulsion. Ces interactions nous affectent autant qu'elles affectent l'objet. Ces interactions avec des objets du quotidien sont imperceptibles, mais le même rapport s'appliquant à l'échelle d'un électron produit un effet énorme. Plus nous réalisons une mesure précise d'une propriété d'un objet quantique (de la vitesse de l'électron), plus le rayon lumineux doit être énergique et précis, provoquant une tornade à l'échelle de l'objet quantique (effet important sur la position de l'électron). Nous pouvons donc connaître avec précision une propriété (la vitesse), mais nous perdons alors la possibilité de mesurer avec précision une autre propriété (la position). Ce qui précède démontre que plus nous observons avec une précision élevée un phénomène, plus nous basons l'expérience.

¹³⁷ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 125.

¹³⁸ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 144.

¹³⁹ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 144.

¹⁴⁰ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 144.

¹⁴¹ De par le caractère probabiliste, il existe une *infinité* de possibles (de potentiels) attendant une réalisation.

¹⁴² Les exemples de superposition quantique les plus connus sont le fait qu'une particule puisse se trouver à deux endroits en même temps ou qu'un atome puisse se trouver dans une superposition d'énergie. Un atome a été observé en deux endroits à la fois dans une expérience exécutée pour la première fois en 1996 au National Institute of Standards and Technology (Colorado).

expérimentalement. Heureusement, en passant dans le monde macroscopique (le nôtre), nous n'avons jamais vu le même objet à deux places à la fois, c'est-à-dire en deux états possibles à la fois.

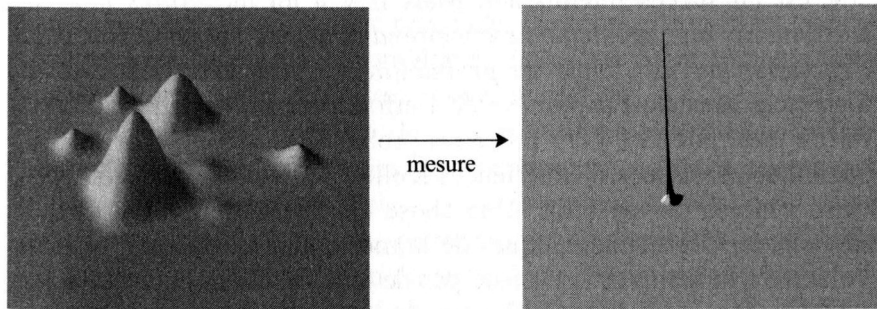


Figure VII : Schéma théorique d'une onde de probabilité décrivant la position d'une particule avant et après la mesure¹⁴³

Le *choix* de l'état mesuré dans le monde macroscopique ne s'effectue pas selon une sélection particulière ; il ne s'effectue qu'au *hasard*¹⁴⁴. Par contre, des outils mathématiques permettent de calculer la probabilité que nous avons de mesurer chaque état¹⁴⁵. La mécanique quantique est donc *probabiliste* et non *déterministe* comme l'était la physique classique. La « règle » permettant de passer de la formulation théorique d'un système incluant une superposition quantique à la probabilité de résultats de l'expérience s'appelle le « principe de réduction du paquet d'ondes »¹⁴⁶

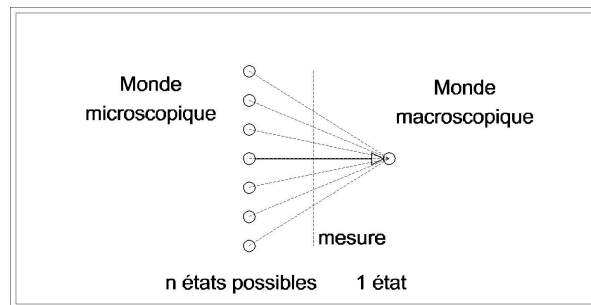


Figure VIII : Schéma théorique d'une réduction du paquet d'ondes

Au cours du siècle passé, les scientifiques ont tenté plusieurs explications du passage d'un système à plusieurs états à un système à un seul état. Certains ont attribué la réduction du paquet d'ondes à l'acte d'observer, à l'observateur ou à la conscience ([Eugène Paul WIGNER](#)¹⁴⁷), ... D'autres pensaient que le *hasard* n'avait pas de rôle dans la théorie et cachait les manquements de la théorie quantique. Ils atten-

¹⁴³ Illustration tirée de B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 151.

¹⁴⁴ Au hasard aujourd'hui, mais peut-être pas demain ...

¹⁴⁵ En effectuant expérimentalement de nombreuses mesures, nous aurons des résultats de mesures imprévisibles, mais en comparant les résultats des différentes mesures entre elles nous aurons les proportions prédites par la théorie.

¹⁴⁶ Le « principe de réduction du paquet d'ondes » a été découvert par le physicien allemand [Werner Karl HEISENBERG](#). Cette règle empirique fonctionne, mais a suscité la controverse. In H. GUILLEMOT, 'Comment la matière devient réelle', *Science & Vie*, n° 977, fév. 1999, pp. 39-52.

¹⁴⁷ [Eugène Paul WIGNER](#) (1902-1995), physicien hongrois. Il contribue au développement de la physique théorique et du programme de recherche nucléaire américain. Selon lui, l'acte de cognition serait responsable de la réduction du paquet d'ondes. En effet, un observateur qui utilise un appareil de mesure reste doué de conscience. Et celle-ci se manifeste dans et au cours de l'expérience de manière subjective.

daient la découverte d'une théorie sous-jacente plus profonde et ... déterministe. D'ailleurs, **EINSTEIN** refusait que « Dieu pût jouer aux dés ».

Pour **Hugh EVERETT**¹⁴⁸, « il y a non pas réduction d'une superposition d'états à un seul état, mais réalisations de tous les états possibles, chacun dans un univers distinct ! »¹⁴⁹, cette théorie serait invérifiable puisque les innombrables univers parallèles ne communiqueraient pas entre eux.

Pour **Niels BOHR**¹⁵⁰, ayant une position plus pragmatique, la réduction du paquet d'ondes supposait une *frontière* absolue entre le système quantique à mesurer et l'appareil de mesure (appareil classique puisqu'il subsiste dans la réalité de tous les jours). Selon lui c'est la mesure seule qui fixe les propriétés de la particule, sans mesures, ces propriétés ne sont pas définies. À partir de cela, il y a l'idée qu'il n'est pas certain que la particule **existe** hors de la mesure (si on ne donne pas une « mesure » une connotation subjective à un objet, il n'existe pas réellement c'est-à-dire dans la réalité de l'individu).

Enfin, **Erwin SCHRÖDINGER**¹⁵¹ soulignait l'absurdité de la « réduction du paquet d'ondes » en développant l'idée que selon la mécanique quantique un individu est à la fois vivant et mort tant que la « mesure » n'a pas été effectuée.

Il fallut attendre le physicien **Wojciech ZUREK** qui inventa la **décohérence** (1982) et postula simplement que : « dans une mesure, ce qui produit la réduction du paquet d'ondes, c'est l'interaction du système et de son environnement »¹⁵². En effet, l'interaction des *objets* quantiques avec leur *environnement* – avec tout ce qui interagit avec le système quantique : appareils de mesures, molécules d'air, photons lumineux, ... – va entraîner une destruction très rapide des *interférences* quantiques du système¹⁵³, ce qui entraîne la suppression de la superposition d'états inhérente à tout système quantique. Après la réduction du paquet d'ondes, nous nous trouvons donc dans un système classique (un état simple), l'interaction entre le système et le contexte ayant supprimé les interférences entre les différents éléments d'un ensemble de possibles pour ne sélectionner qu'un unique *possible* qui se *réalise*¹⁵⁴.

Parallèlement à l'apparition de la théorie de l'information et métaphoriquement, le concept d'*information* apparaît en mécanique quantique et se définit par l'interaction du système quantique avec son environnement. La mesure de la propriété d'une par-

¹⁴⁸ **Hugh EVERETT** (1930-1982), physicien américain.

¹⁴⁹ H. GUILLEMOT, 'Comment la matière devient réelle', *Science & Vie*, n° 977, fév. 1999, p. 45.

¹⁵⁰ **Niels BOHR** (1885-1962), physicien danois, l'un des fondateurs de la mécanique quantique.

¹⁵¹ **Erwin SCHRÖDINGER** (1887-1961), physicien autrichien. Il donne une formulation nouvelle de la mécanique quantique (1926).

¹⁵² H. GUILLEMOT, 'Comment la matière devient réelle', *Science & Vie*, n° 977, fév. 1999, p. 47.

¹⁵³ Les *interférences* sont le résultat de la superposition d'ondes de probabilité. C'est un phénomène ondulatoire qui caractérise le comportement d'un système quantique. **J.-M. RAIMOND** (Physicien français né en 1955) et **S. HAROCHE** (Physicien français né en 1944. Spécialiste de physique atomique et d'optique quantique, il réalise des opérations de logique quantique pour le traitement de l'information), ont réalisé la première expérience au monde qui permet d'observer la décohérence en direct, ou le passage d'un système quantique à un système classique. Dans un objet macroscopique (un individu par exemple) les atomes sont chacun environnés d'autres atomes qui interagissent avec lui et toutes ces interactions provoquent automatiquement un brouillage des interférences. La vitesse de « décohérence » augmente avec la taille du système (un chat = 10^{27} particules et vitesse de « décohérence » = 10^{-23} s, du coup nous n'avons jamais vu un chat mort-vivant et la décohérence est difficile à observer).

¹⁵⁴ La physique quantique ne s'applique donc pas à notre échelle, vu que les systèmes ne sont jamais isolés. Mais les perspectives actuelles de la théorie de la « décohérence » sont la possibilité future de créer des systèmes quantiques qui resteront superposés et résisteront à la décohérence en demeurant à l'écart de toute interaction avec l'environnement, de manière à pouvoir transposer les systèmes quantiques dans la réalité classique et à pouvoir les observer.

ticule de système quantique peut être conçue comme une interaction entre le système et l'environnement sous la forme d'une information : la mesure elle-même. Ainsi, les états superposés se séparent lorsqu'une information est émise par le système quantique, tandis que les états sont indiscernables et interfèrent lorsque aucune information n'est extériorisée.

Selon [Murray GELL-MANN](#) et [James HARTLE](#)¹⁵⁵ la *décohérence* est irréversible dans le temps, ce qui selon eux permet de donner une direction au temps¹⁵⁶.

¹⁵⁵ [Murray GELL-MANN](#) (1929, spécialisé dans le rapprochement entre la physique des particules et la théorie de l'évolution) et [James HARTLE](#) (a repoussé avec [Stephen HAWKING](#) le problème de la réduction du paquet d'ondes en introduisant la « fonction d'onde de l'univers »), physiciens américains, sont avec [W. ZUREK](#), [J.-M. RAIMOND](#) et [S. HAROCHE](#) les pères de la théorie de la décohérence.

¹⁵⁶ Jusque là, les équations de la physique étaient invariantes lorsque les scientifiques inversaient la direction du temps. Mais au niveau microscopique, notre perception du temps choisit une direction particulière : la flèche du temps est orientée dans le sens d'une entropie croissante (second principe de la thermodynamique).

« Tant que l'univers aura un commencement, nous pouvons supposer qu'il a eu un créateur. Mais si réellement l'univers se contient tout entier, n'ayant ni frontière, ni bord, il ne devrait avoir ni commencement ni fin : il devrait simplement être. Quelle place reste-t-il alors pour le créateur ? »

Stephen W. HAWKING¹⁵⁷

5 | Espace et temps : réalité cosmologique

Aujourd'hui, les physiciens essayent de trouver ce qu'ils nomment les « *symétries* » de la réalité, les *symétries* de la *nature* qui seraient les « fondements dont découlent les lois ». Face au concept d'*espace*, ils tentent de mettre en place des lois physiques universelles « insensibles à la fois à l'endroit où l'on se trouve (c'est la symétrie de translation) et à notre orientation spatiale (c'est la symétrie de rotation). »¹⁵⁸ Cette recherche fait donc l'hypothèse inévitable d'un espace *homogène* et *isotrope* aux lois physiques. Mais les *symétries* sont également essentielles à l'étude du concept de *temps*. En effet, si personne n'a jamais pu trouver une définition du temps, nous savons qu'il est caractérisé par le *changement*. Un temps est passé si nous pouvons observer un changement d'état du système. « L'existence du temps correspond donc à l'*absence* d'une certaine symétrie : tout dans l'Univers doit *changer* d'un instant à l'autre afin que l'on puisse ne serait-ce que définir une notion de passage d'un *instant* à l'autre qui ait quelque chose à voir avec notre conception quotidienne. »¹⁵⁹

L'univers observé à (très) très grande échelle affiche une homogénéité extraordinaire¹⁶⁰, ce qui permet de définir une conceptualisation *uniforme* du temps (ou de l'évolution de l'univers). Si nous définissons le temps comme la « mesure du changement » de l'univers, l'homogénéité de l'univers à très grande échelle induit une uniformité du temps qui passe dans tous l'univers. « L'homogénéité de l'espace garantit une synchronie cosmique. »¹⁶¹

En observant des galaxies avec un télescope, Edwin HUBBLE a découvert que celles-ci s'éloignaient toutes de nous et qu'elles s'éloignaient d'autant plus rapidement qu'elles étaient éloignées (1929). La *vision du monde* est une nouvelle fois bouleversée, puisque les philosophiques et les scientifiques de l'époque imaginaient un univers immuable et statique.

C'est la combinaison d'expériences et de la théorie de la relativité générale qui permet de donner une explication aux découvertes de HUBBLE. En effet, si nous lançons une balle de tennis en l'air, l'attraction gravitationnelle de la terre implique qu'elle va continuer à s'éloigner de la terre ou retomber à la surface, mais en aucun cas elle ne restera fixe. Par analogie, Alexander FRIEDMAN¹⁶² et Georges LEMAITRE¹⁶³

¹⁵⁷ S. W. HAWKING, *Une brève histoire du temps, Du big bang aux trous noirs*, (Op. cit.), p. 183.

¹⁵⁸ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 272.

¹⁵⁹ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 274.

¹⁶⁰ L'univers homogène dont nous parlons ici est observé par les scientifiques à des échelles de l'ordre de centaines de millions d'années-lumière. Le caractère homogène vient peut-être de notre impossibilité actuelle d'appréhender ces échelles gigantesques.

¹⁶¹ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 278.

¹⁶² Alexander FRIEDMAN (1888-1925), météorologiste et physicien russe, analyse la théorie de la relativité générale et montre que l'univers stable est un cas d'exception et qu'il existerait une infinité de solutions mettant en scène un univers dynamique. Dans ses modèles de l'Univers, il s'intéressa en particulier au concept de courbure et il montra l'existence théorique de trois formes différentes d'univers qui se distinguent par leur courbure et par leur évolution dans le temps.

ont découvert que « le rayonnement disséminé dans tout l'Univers impliquait que la structure de l'espace est soit en expansion, soit en contraction, mais qu'elle ne peut être fixe »¹⁶⁴. Selon la théorie de la relativité générale, l'espace est en *expansion* tandis que les galaxies sont en *récession* depuis des milliards d'années. Cette apparente contradiction n'en est plus une lorsque nous comprenons que c'est l'espace lui-même qui s'étire, tandis que les galaxies restent de taille constante.

Selon GREENE, nous devrions visualiser cela à l'aide une sphère – remplaçant notre espace tridimensionnel habituel – que nous gonflerions de plus en plus, et sur la surface de laquelle les galaxies seraient réparties uniformément. Plus nous gonflons la sphère, plus les galaxies s'éloignent les unes des autres, comme dans notre univers en expansion. Il existe alors une symétrie parfaite entre les galaxies, puisque le point de vue de chacune d'elles est le même que celui de n'importe quelle autre. Si nous nous trouvons sur l'une des galaxies lors de l'expansion, nous verrions que toutes les galaxies autour de nous s'éloignent dans toutes les directions. Nous verrions donc toutes les galaxies en récession¹⁶⁵. Et nous verrions la même chose quelque soit la galaxie sur laquelle nous sommes, il n'y a donc aucune galaxie privilégiée à partir de laquelle tout l'univers s'étire. Pour un intervalle de temps donné, l'augmentation de la distance entre deux galaxies est proportionnelle à la distance initiale entre elles. Donc, plus la distance est grande entre elles, plus vite elles s'éloignent l'une de l'autre¹⁶⁶. Un observateur au repos ne subit donc uniquement que la force due à l'expansion cosmique.

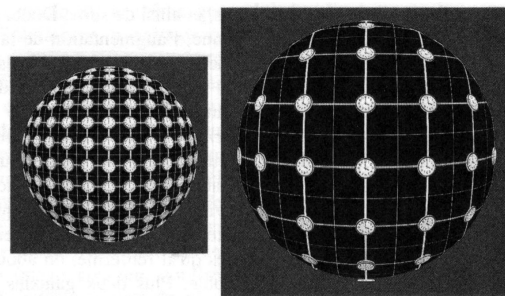


Figure IX : « Des horloges qui se déplacent avec les galaxies (dont le mouvement, en moyenne, ne provient *que* de l'expansion de l'espace) donnent des mesures de temps cosmique universelles. Même si elles s'éloignent les unes des autres, elles restent synchronisées car elles se déplacent *avec* l'espace et non *dans* l'espace. »¹⁶⁷

¹⁶³ Georges LEMAITRE (1894-1966), astrophysicien et mathématicien belge, auteur d'un modèle relativiste d'univers en expansion (1927).

¹⁶⁴ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 280.

¹⁶⁵ L'univers étant infini et l'infini étant égal à l'infini pour toute opération, si l'espace infini entre les galaxies est en inflation, alors les galaxies sont en *récession* par rapport à l'infini.

¹⁶⁶ 1. L'éloignement des galaxies peut atteindre une vitesse *supérieure* à la vitesse de la lumière. Ce n'est pas en contradiction avec la théorie d'EINSTEIN puisque selon lui rien ne peut cheminer *dans* l'espace plus vite que la lumière, alors qu'ici s'est l'espace lui-même qui s'étire plus vite que la lumière. 2. L'expansion de l'espace n'implique pas que tout augmente en taille, si bien que nous ne pourrions pas percevoir les effets de l'expansion. En effet, les forces de cohésion des atomes sont beaucoup plus intenses que la force due à l'expansion. In B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 288.

¹⁶⁷ Illustration et légende tirées de B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 284.

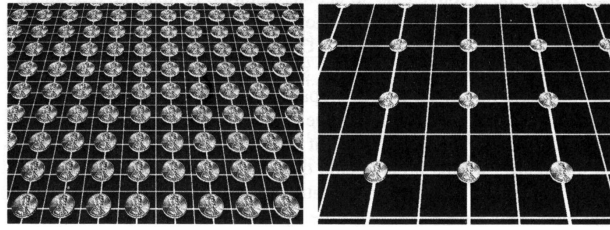


Figure x : « Le point de vue depuis une pièce [symbolisation d'une galaxie] sur un plan infini est le même que depuis n'importe quel autre pièce. Plus deux pièces sont éloignées l'une de l'autre (...), plus leur éloignement augmente à mesure de l'expansion du plan. »¹⁶⁸

Selon la relativité, des *horloges* identiques soumises à des influences physiques différentes¹⁶⁹ ont des *tic-tac* différents. Mais, toutes les galaxies réparties uniformément sur la sphère en expansion sont soumises aux mêmes conditions physiques : le temps possède donc le même rythme sur chacune d'elles. La distribution uniforme des galaxies dans l'espace nous permet, selon GREENE, de déduire l'uniformité du temps.

Ce résultat n'est pas en contradiction avec la théorie de la relativité selon laquelle les *horloges* qui se déplacent différemment *dans* l'espace ont des *tic-tac* différents¹⁷⁰, puisque ici les galaxies ne se déplacent pas *dans* l'espace, mais sont déplacées *par* l'espace (ou en tout cas le fait de son expansion). Enfin, ce sont ces *horloges* synchronisées que nous pouvons utiliser pour estimer l'âge de l'univers et développer une théorie : le **big-bang**¹⁷¹. Celle-ci indique que l'univers était primitivement très chaud et très dense et serait donc entré en expansion il y a 15 milliards d'années environ. Depuis l'*explosion*, il ne cesserait de se dilater et de se refroidir. Ce modèle confirmé par de nombreuses preuves au milieu des années '60 : découverte d'un fonds de rayonnement micro-ondes presque uniforme imprégnant tout l'espace, progrès dans la compréhension de l'évolution des particules élémentaires de l'univers face à des variations extrêmes de température. La connaissance combinée du temps que met la lumière des étoiles pour nous parvenir et de la vitesse d'expansion cosmique permet aux scientifiques de dater l'origine de l'univers.

Nous avons l'habitude de concevoir le big bang comme une sorte de point, sans espace et sans temps, à partir duquel l'univers est né. Partant du fait qu'une partie de l'univers infini vaut toujours l'infini, une vision différente du big bang est possible. L'étendue de l'espace serait déjà infinie avant le big bang. Dès lors, son « irruption primordiale » aurait eu lieu dans une étendue infinie. Par la suite, l'espace infini en expansion aurait augmenté de taille sans que n'augmente l'infini de sa taille globale¹⁷².

¹⁶⁸ Illustration et légende tirées de B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 290.

¹⁶⁹ Mouvements ou champs de gravitation différents.

¹⁷⁰ « Parce qu'elles consacrent des fractions différentes de leur mouvement dans le temps en mouvement dans l'espace ». In B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 285.

¹⁷¹ **Big-bang** (ou big bang) : « n.m. Événement assimilable à une gigantesque explosion, qui serait à l'origine de l'expansion de l'Univers ; théorie cosmologique décrivant l'évolution de l'Univers consécutive à cet événement. » In Collectif, *Le petit Larousse Illustré 2005*, Paris : Larousse, 2004, p. 134.

¹⁷² Certains objecteront que le caractère infini que nous impose les scientifiques actuellement peut très bien cacher une possible limite de l'univers non observable actuellement.

La cosmologie **inflationnaire**, qui remanie la théorie du big-bang¹⁷³, propose que « les premiers instants de l'Univers auraient connu un sursaut d'expansion extraordinairement rapide et extrêmement bref »¹⁷⁴. L'hypothèse d'une croissance fulgurante de l'Univers explique la forme de l'espace, l'uniformité du fond de rayonnement micro-onde et l'état hautement ordonné de l'Univers primordial. C'est également un progrès pour expliquer la flèche du temps que nous expérimentons tous au quotidien. Les scientifiques ont découvert que l'univers entier pouvait subir des transformations de phases. En effet, une variation de la température introduit une modification de phase dans l'univers.

À partir de la théorie de l'univers en expansion, les scientifiques ont cherché à connaître la **forme de l'univers**. Certains pensent que la forme de l'espace est sphérique¹⁷⁵, d'autres penchent pour un espace plat¹⁷⁶. Certains encore imagine un espace dont la forme allie les caractéristiques d'un espace sphérique et d'un espace courbe : le *tore tridimensionnel*. Ainsi, lorsque nous traversons la face du haut, du fond ou de gauche, nous réapparaissons respectivement par la face du bas, de devant, ou de droite. Nous pourrions y voir une sorte de système de boucles passant par les trois axes. Enfin, d'autres pensent que l'espace prend la forme d'une « selle », c'est-à-dire une sorte d'inversion de la sphère.

Ce qui est incroyable, c'est que selon les travaux d'**Alexander FRIEDMAN** notamment, il n'existe que trois formes ou types possibles de courbures « symétriques » de l'univers : *positive* (bombée vers l'extérieur comme une sphère), *négative* (bombée vers l'intérieur comme une selle) et *nulle* (comme sur un plan infini ou un jeu vidéo – système de boucles). Les équations d'Einstein font actuellement pencher les scientifiques actuellement vers un espace de courbure nulle.

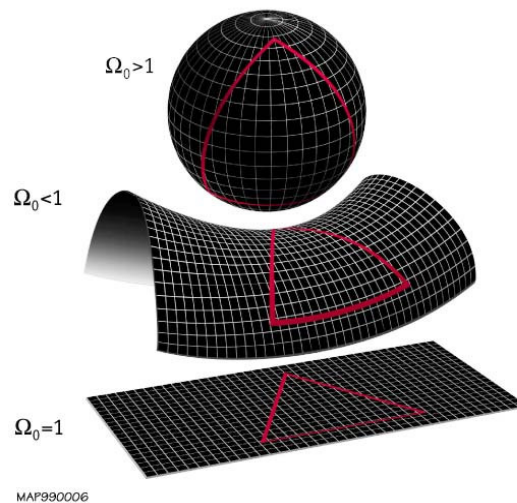


Figure XI : Les trois formes d'espace possibles, positive, négative ou nulle pour une surface à deux dimensions¹⁷⁷

¹⁷³ La théorie du big-bang présente d'importants défauts : pourquoi l'espace a-t-il la forme telle qu'observée astronomiquement, pourquoi la température du rayonnement micro-onde est-elle uniforme dans tout le ciel, comment expliquer que l'univers était dans un état hautement ordonné dans son commencement, état nécessaire à l'établissement d'une « flèche du temps » ? Ces questions sont à l'origine de la « cosmologie inflationnaire » (fin '70, début '80).

¹⁷⁴ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 29. Selon Brian Greene, la taille de l'Univers augmente d'un facteur supérieur à 1000 Milliards x 1 Milliard x 1 Milliard en moins d' 0.001 de Milliards de Milliards de secondes !!!

¹⁷⁵ Cela évacue les questions du type : quel bord a l'espace ou que se passe-t-il si nous arrivons au bord ?

¹⁷⁶ Espace dénué de courbure. Cette forme d'espace évacue les questions du type : quel bord a l'espace ou que se passe-t-il si nous arrivons au bord ?

¹⁷⁷ Illustration obtenue auprès de la NASA.

« Une théorie complète, logique et unifiée n'est que le premier pas : notre but est une complète compréhension des événements autour de nous et de notre propre existence. »
 Stephen W. HAWKING¹⁷⁸

6 | Espace et temps : réalité unifiée

Pendant plusieurs dizaines d'années le principal obstacle pour trouver une *théorie unifiée* était le conflit fondamental entre les deux plus grandes découvertes de la physique du ^{xx}e siècle, qui se prétendent chacune universelles (valable dans tous les domaines) : la relativité générale qui s'applique à grande échelle (notamment aux étoiles et aux galaxies) et la mécanique quantique qui s'applique à petite échelle (typiquement aux molécules et aux atomes). Or, seul un petit nombre de domaines, « des contextes physiques extrêmes où le massif côtoie le minuscule »¹⁷⁹ permettent de combiner les équations des deux théories (le trou noir : « résultat de l'effondrement jusqu'à une taille dérisoire d'une étoile entière sous son propre poids »¹⁸⁰, le big-bang : « la totalité de l'Univers aurait été comprimé en une pépite minuscule, plus petite encore qu'un simple atome »¹⁸¹), les autres situations donnent des résultats absurdes.

En effet, la *cosmologie inflationnaire* – et avant elle la théorie du big-bang – nous cache depuis 20 ans un secret gênant. Elle se base sur la relativité d'EINSTEIN dont les équations décrivent bien les objets *grands* et *massifs*. Mais, pour décrire les *petits* objets – tel que l'univers âgé de quelques fractions de secondes – la mécanique quantique lui est indispensable. Or, si nous combinons les équations de la relativité générale avec celles de la mécanique quantique : le résultat est *catastrophique*. Les équations perdent leur sens et il manque aux théoriciens des outils mathématiques capables de prendre en compte des conditions extrêmes de densité, d'énergie et de température, typiques des premiers instants de l'univers. Les chercheurs tentent donc de résoudre cette situation par une « théorie unifiée ».

Aujourd'hui, les scientifiques espèrent réunifier la relativité générale et la mécanique quantique au sein de la « théorie des supercordes ».

La question à la base de cette théorie est de savoir quel est le composant ultime de la matière ?¹⁸² La réponse à cette question récurrente fut longtemps que : « la matière est composée de particules (les électrons et les quarks) que l'on peut modéliser comme des points, insécables et sans extension ni structure interne. (...) ces particules se combinent de diverses manières pour former les protons, les neutrons et toute la richesse des atomes et des molécules qui composent notre monde »¹⁸³. La théorie des supercordes ne remet pas cela en cause, mais pour elle, les particules ne sont pas des points, mais « un minuscule filament d'énergie »¹⁸⁴ (100 milliards de milliards de fois plus petit qu'un noyau atomique : encore impossible à observer ex-

¹⁷⁸ S. W. HAWKING, *Une brève histoire du temps, Du big bang aux trous noirs*, (Op. cit.), p. 213.

¹⁷⁹ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 31.

¹⁸⁰ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 31.

¹⁸¹ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 31.

¹⁸² Peut-être que cette question n'est pas pertinente ? Il serait utile, puisque que toute entité est divisible, de s'intéresser à la plus petite relation entre un tout et ses parties. Peut-être ses relations sont-elles aussi récurrentes ou bien sont-elles uniquement le fruit de la manière de concevoir de l'homme ?

¹⁸³ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 32.

¹⁸⁴ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 32.

périmentalement) comparable à une « corde minuscule »¹⁸⁵ qui, pour chaque vibration, produit différentes propriétés de particules. Ainsi, une corde vibrant d'une certaine manière aurait la masse et la charge d'un électron ... et **serait** ce que l'on appelle d'habitude un électron. Toutes les espèces de particules seraient donc unifiées par la « théorie des supercordes » puisque « chacune d'elles provient d'un mode de vibration différent d'une même entité sous-jacente »¹⁸⁶.

L'union entre la relativité générale et la mécanique quantique par la « théorie des supercordes » n'est mathématiquement correcte et possible que si nous soumettons notre conception de l'espace-temps à une nouvelle révolution. En effet la théorie des supercordes ne nécessite pas 3 dimensions spatiales et 1 dimension temporelle comme nous le concevons actuellement, mais 9 dimensions spatiales et 1 temporelle¹⁸⁷. « Comme nous ne voyons pas ces dimensions supplémentaires, la théorie des supercordes nous indique donc que nous n'avons perçu, jusqu'à présent, qu'une infime partie de la réalité. »¹⁸⁸

Pour les scientifiques, la théorie des supercordes permet d'aboutir à un modèle cohérent dans toutes les conditions même les extrêmes – historiquement ils l'ont déjà cru à mainte reprise –, ce qui devrait permettre selon GREENE de pouvoir remonter le temps pour comprendre le début de l'univers.

¹⁸⁵ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 32.

¹⁸⁶ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 33.

¹⁸⁷ Selon Greene, dans la « théorie M » (= incarnation plus robuste de la théorie des supercordes), l'unification de la relativité générale et de la mécanique quantique nécessite 10 dimensions d'espace et 1 dimension de temps). Nous constatons donc la tendance à complexifier chaque fois à partir d'hypothèses de base, qui ne pourront jamais recouvrir la réalité.

¹⁸⁸ B. GREENE, *La magie du cosmos*, (Op. cit.), p. 33.

7 | Conclusions : hypothèses cosmogoniques & architecture évolutive

Intimement liées à la connaissance *imaginée* et *évolutive* de la réalité, les conceptions du temps et de l'espace évoluent continuellement. Elles amènent régulièrement de nouveaux récits mythiques expliquant la formation de l'univers : des hypothèses cosmogoniques.

Dans cet article, nous nous sommes intéressés à la physique, vue ici en tant que système particulier d'organisation de la réalité. L'histoire de la physique, rapidement parcourue, nous a permis de montrer l'incroyable variété d'hypothèses qu'elle a proposée – du big-bang à la cosmologie inflationnaire – et a remis en question notre vision quotidienne de l'espace, du temps et de la réalité.

Étymologiquement proches, espace et temps se remplacent l'un l'autre, avant de devenir des absolus différents. Plus tard, ils forment un espace-temps indivisible, mais fixe, avant de devenir des acteurs de la *courbure* de l'univers. Alors que le *maintenant* d'un individu est différent du *maintenant* d'un autre, nous apprenons que le temps ne s'écoule pas et est plutôt une succession d'instantanés. D'absolu, fixe ou divinisé, l'espace s'est révélé en expansion et plus tard en expansion accélérée.

En détaillant le monde *macroscopique*, nous avons vu que le support physique de notre monde – la terre – était conçu comme plat, puis sphérique, faisait partie d'un système géocentrique, puis d'un système héliocentrique. L'univers n'a cessé de changer d'échelle, d'abord une planète seule entourée d'une voûte céleste, avant de trouver sa place au sein d'un système solaire, rapidement placé dans une galaxie, qui n'était tout compte fait qu'une galaxie parmi d'autres et enfin parmi d'autres groupes de galaxies. Nous avons également montré l'incertitude de préciser la taille ou la forme globale de l'univers.

En observant le monde *microscopique*, nous avons vu que les particules qui nous constituent sont des ondes de probabilité dont l'évolution est due au hasard et qu'elle peuvent souffrir d'ubiquité. En outre, nous nous sommes aperçus que l'espace n'est pas local, puisque un événement *ici* peut avoir une influence *là-bas*, sans que rien ne traverse l'espace entre *ici* et *là*. De plus, le principe d'incertitude d' [HEISENBERG](#) nous a révélé l'*impossibilité fondamentale* à déterminer simultanément *toutes* les propriétés d'un système quantique.

Finalement, après tout ce qui précède nous ne savons toujours pas définir les concepts d'espace, de temps et de réalité.

Chaque époque a sa conception du monde, ses hypothèses initiales et inévitables. Comme l'écrit très justement [GREENE](#), « il serait simpliste de résumer le progrès scientifique en ne considérant que celles des théories modernes qui ont détrôné leurs ancêtres. Une description plus correcte serait de dire sur chaque nouvelle théorie perfectionne celle qui la précédait, en proposant un contexte à la fois plus vaste et plus précis. »¹⁹⁰

Le contexte est d'ailleurs de plus en plus complexe, au fur et à mesure que les scientifiques découvrent en profondeur l'infiniment petit ou l'infiniment grand, ou tentent de créer une théorie unifiée incluant relativité générale (macroscopique) et mé-

¹⁸⁹ Ouverture des travaux pendant une « tenue » au sein d'une loge Franc-Maçonne.

¹⁹⁰ B. GREENE, *La magie du cosmos*, Paris : Robert Laffont, 2005, p. 392.

canique quantique (microscopique). Il semblerait que plus nous tentons de nous rapprocher de la réalité, plus nous nous en éloignons. « Nous envisageons chaque nouvelle théorie comme nous rapprochant du but évasif que représente la vérité, mais personne ne peut répondre à la question de savoir s'il existe une théorie ultime – une théorie qui, parce qu'elle aurait dévoilé les rouages de l'Univers au niveau le plus fondamental possible, ne pourrait être perfectionnée par aucune autre. »¹⁹¹

L'humain subit la coupure du langage qui l'éloigne de la réalité. Mais, il peut contourner cette coupure en mettant en place une conception, un ordre des choses pour tranquilliser son angoisse existentielle. Pour cela, il doit trouver une situation, une place dans l'espace et le temps. Or, nous l'avons vu, la conscience de l'individu se retrouve face à un espace dont il ne peut cerner les caractéristiques dans une évolution qu'il ne contrôle pas (le temps), en relation subjective aux autres individus et objets. Il ne peut que mettre au point des subterfuges pour tromper son angoisse : ce que nous appelons des systèmes d'organisation de la réalité.

Pour nous, l'**architecture** est *l'un* des systèmes d' « organisation de la réalité » qui est la projection de la conception de l'espace et du temps d'un individu ou d'un groupe d'individus. L'architecture qui aide l'homme à *habiter* le monde est une prise de parti, résultat d'une combinaison pondérée de la croyance subjective que l'individu porte en chacun des systèmes d'organisation de la réalité dont il s'entoure.

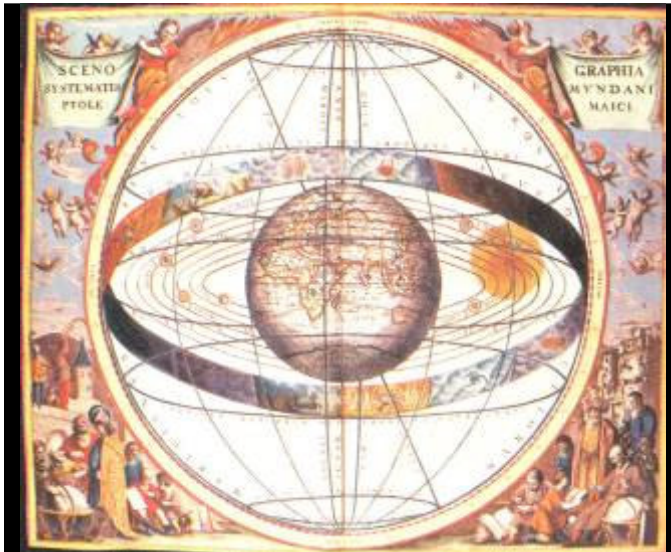
L'humain étant pour nous défini comme une entité uniduale évolutive¹⁹², l'architecture, système d'organisation privilégiant le rapport à l'espace et au temps, ne peut qu'être tributaire de l'évolution de la vision du monde de l'individu. L'architecture est évolutive ! L'architecture dépend de notre hypothèse cosmogonique individuelle !

¹⁹¹ B. GREENE, *La magie du cosmos*, Paris : Robert Laffont, 2005, p. 392.

¹⁹² Nous avons développé le concept d'*entité uniduale évolutive* dans un autre article. Ce concept définit le caractère d'abord *uniduale* et ensuite *évolutif* du système cérébral humain représenté, par une boucle rétroactive entre les pôles de la conception et de la perception. In D. CLAEYS, *Situer une entité uniduale évolutive, L'architecture : entre angoisse et complexité*, U.C.L. | FSA3DA / ARCH3, 2005-2006. Voir annexes II.

Annexes I : Illustrations

1| Modèles géocentrique – héliocentrique



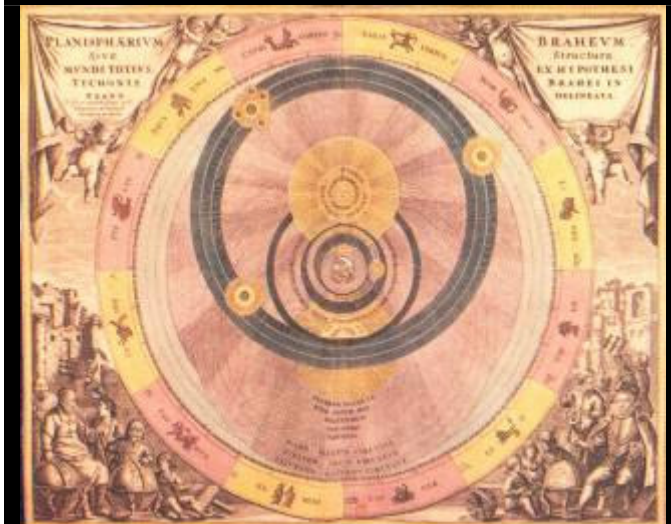
Modèle de Ptolémée
(II^e siècle apr. J.-C.)

La terre est au centre de l'univers
et l'univers est de dimension finie



Modèle de Copernic
(XV^e siècle apr. J.-C.)

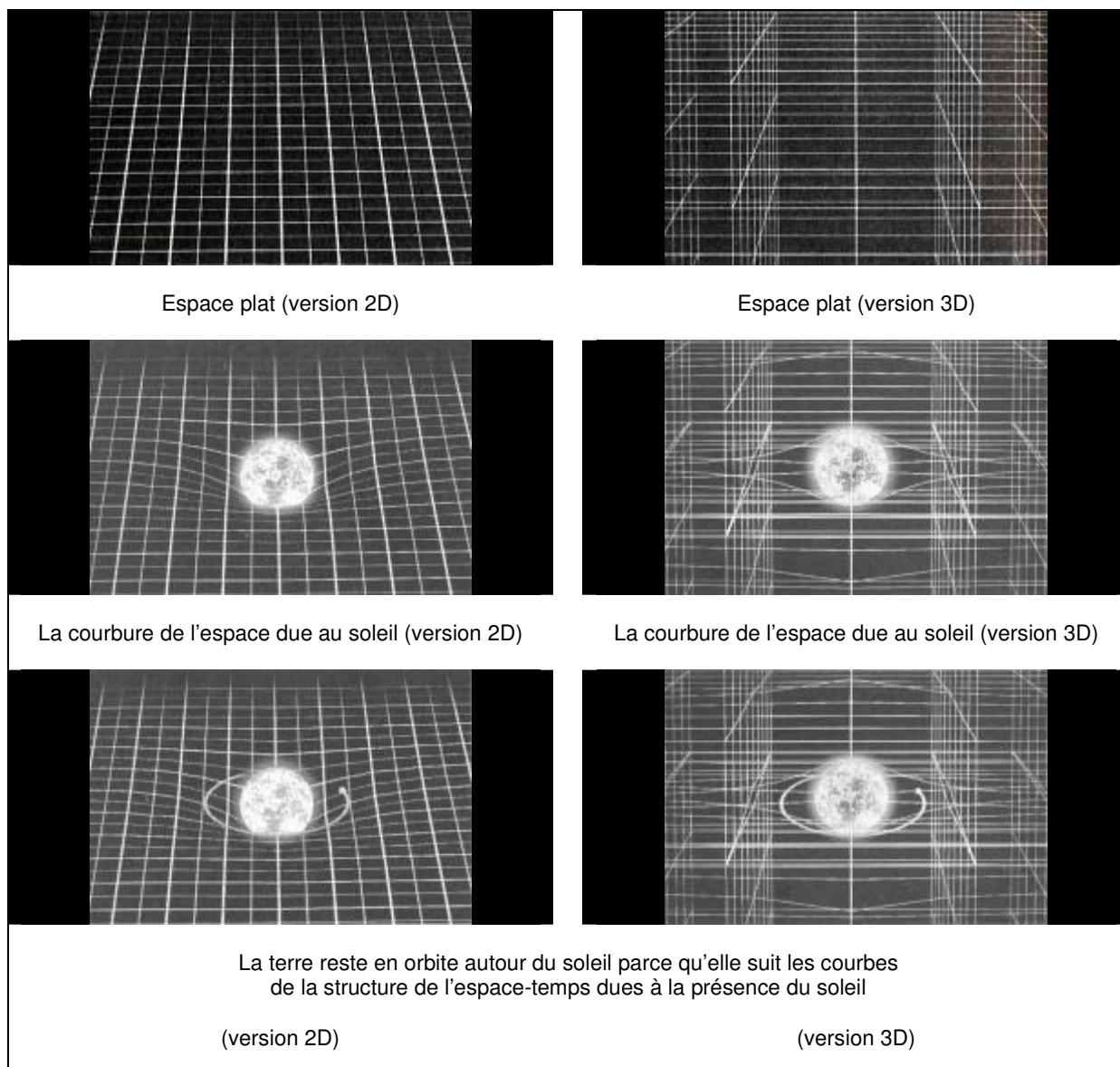
La terre tourne autour du soleil



Modèle de Tycho Brahe
(XVI^e siècle apr. J.-C.)

Les planètes autour du soleil, mais
le soleil tourne autour de la terre

2 | Modèles de courbure de l'espace-temps¹

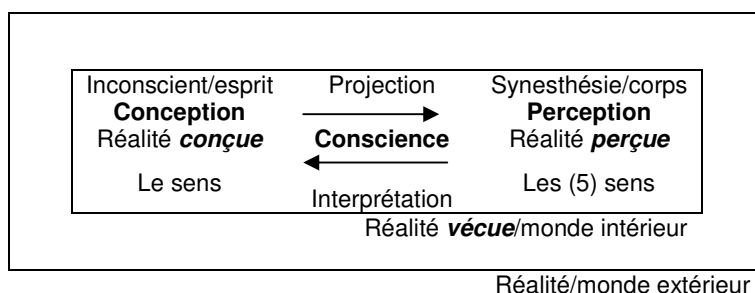


¹ Les illustrations et légendes de cette section sont tirées du livre de Brian Greene. In B. GREENE, *La magie du cosmos*, Paris : Robert Laffont, 2005, pp. 94-95.

Annexes II : Entité uniduale évolutive

1 | Schéma d'une entité uniduale évolutive¹

Au sein de l'ensemble complexe de systèmes traduisant la multidimensionnalité de la réalité qui le structurent, l'humain est le théâtre d'une boucle rétroactive particulière puisqu'elle organise la symbolisation de toutes les autres : celle du système cérébral. Nous posons ici le caractère *unidual* du système cérébral humain, boucle rétroactive entre les pôles de la conception et de la perception. Ceci nous amène à définir l'homme par le concept d' « entité uniduale », représenté graphiquement par le schéma suivant :



¹ D. CLAEYS, *Situer une entité uniduale évolutive, L'architecture : entre angoisse et complexité*, U.C.L. | FSA3DA / ARCH3, 2005-2006.

Annexes III : Schémas évolutifs

1| Paradigmes scientifiques

Époque	Nom / courant	Champ d'application des lois (force)	Equations / Titre d'oeuvres
Physique classique (Phénomènes à l'échelle humaine)			
1564-1642	Galileo Galilei, dit Galilée		
1596-1650	René DESCARTES		<i>Principia philosophiae</i>
1642-1727 Fin 1600	Isaac NEWTON	Gravité	Equation de Newton
1646-1716	Gottfried Wilhelm von LEIBNIZ		
1724-1804	Emmanuel Kant		
1838-1916 XIX ^e siècle	Ernst MACH		
Électromagnétisme (Phénomènes électriques et magnétiques)			
1831-1879 Fin 1800	James Clerk MAXWELL	Magnétique et électrique	Equations de Maxwell
1854-1912	Henri POINCARÉ		
Relativité restreinte (Phénomènes macroscopiques)			
1879-1955 1905	Albert EINSTEIN	Lumière	Equations d'Einstein
Relativité générale (Phénomènes macroscopiques)			
1879-1955 1915	Albert EINSTEIN	Lumière	Equations d'Einstein
Mécanique quantique (Phénomènes microscopiques)			
1926	Erwin SCHRÖDINGER	Particules	Equation de Erwin SCHRÖDINGER
Théorie des cordes (Phénomènes microscopiques et macroscopiques)			
1968	Gabriele VENEZIANO	Cordes	
1974	John SCHWARZ Joël SCHERK		
Théorie des supercordes (Phénomènes microscopiques et macroscopiques)			
	KALUZA-KLEIN		