



HAL
open science

Invariances et transformations

Thomas Delavande

► **To cite this version:**

Thomas Delavande. Invariances et transformations : Essai sur la gravitation, l'électromagnétisme et les interactions nucléaires, de Kepler aux pentaquarks. 2017. hal-01541922v4

HAL Id: hal-01541922

<https://hal.science/hal-01541922v4>

Submitted on 11 Sep 2017 (v4), last revised 26 Dec 2022 (v14)

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Mémoire 6 Le Temps ressenti et le Temps en physique

Résumé du mémoire

On s'interroge ici sur les différences entre le Temps ressenti (Temps orienté telle une flèche) et le Temps utilisé en physique (Temps souvent décrit mathématiquement comme une dimension spatiale).

Pour répondre à cette interrogation, on étudiera les concepts les plus variés. Idée de John Wheeler et de Richard Feynman d'un électron qui remonte le Temps (idée évoquée dans le discours de réception du prix Nobel de R. Feynman en 1965). Travaux de Rudolf Clausius sur l'entropie (1865), de Ludwig Boltzmann sur l'entropie statistique (vers 1870), de Claude Shannon sur l'entropie de l'information (années 1950). Expériences de Chien-Shiung Wu (1957) sur la violation de parité lors de la désintégration bêta du cobalt-60. Relativité générale (A. Einstein vers 1915). Premiers modèles de Big-bang qui en découlent, modèles proposés par Willem de Sitter, Alexandre Friedmann et Georges Lemaître dans les années 1920. Découvertes en 1920 par Edwin Hubble d'un Univers en expansion, puis en 1965 par Arno Penzias et Robert Wilson d'un fond diffus cosmologique, deux découvertes qui viennent confirmer les modèles du Big-bang et en font une théorie.

Enfin, on élargira nos réflexions à d'autres domaines que la physique comme l'approche phénoménologiste d'Edmund Husserl (début du 20^{ème} siècle) ou l'hypothèse Gaïa de James Lovelock (1979).

Chapitre I Pourquoi le Temps utilisé en physique semble si différent du Temps ressenti ?

Objet du chapitre

On souligne la contradiction entre le Temps fréquemment utilisé en physique : un Temps à 2 sens, traité dans les équations comme une dimension spatiale, et le Temps ressenti par nous êtres humains qui est orienté vers le futur. Pour souligner cette contradiction, le physicien A. Eddington introduit en 1927 le concept de flèche du Temps.

I.1 Le Temps de la physique, le Temps ressenti et la flèche du Temps

Dans les mémoires précédents, on a traité identiquement la dimension Temps et les trois dimensions de l'Espace. Par exemple, on a proposé la notion de vecteur rotation dans un plan spatiotemporel sur le modèle d'un vecteur rotation dans un plan spatial. Pour obtenir les équations sources champs appliquées à la gravitation, on a utilisé un Temps à deux sens similaire à une dimension spatiale. Un Temps finalement très différent du Temps ressenti, dans lequel nous vivons.

En fait, ce constat s'applique à de nombreux autres modèles et théories physiques, où les caractéristiques du Temps utilisé paraissent souvent bien différentes de celles du Temps ressenti. En particulier, la plupart des équations fondamentales de la physique sont invariantes par renversement du Temps.

A contrario, le Temps ressenti, dans lequel nous vivons, est orienté et ne s'apparente pas à une dimension spatiale. Il semble s'écouler à peu près linéairement (même si tous, nous percevons une accélération de l'écoulement en vieillissant). En 1927, pour caractériser ce Temps ressenti et orienté, le physicien A. Eddington introduit la notion de flèche du Temps. Une notion qui insiste sur le constat que le Temps, notre Temps, semble s'écouler toujours dans la même direction et dans le même sens. La flèche du Temps est fréquemment qualifiée de flèche psychologique car elle se réfère à notre esprit.

Ainsi, l'une des questions fondamentales de la physique est celle-ci : pourquoi à partir d'équations mathématiques le plus souvent réversibles dans le Temps, notre Temps ressenti prend-il une direction particulière ?

I.2 Le Temps dans la théorie de la Relativité, souvent présenté comme similaire à une dimension spatiale

Dans les écrits scientifiques d'A. Einstein, une idée revient inlassablement. C'est le traitement de la dimension Temps à l'image des trois dimensions de l'Espace.

Malgré la difficulté d'accepter intuitivement une telle ressemblance entre Temps et Espace, A. Einstein et ses successeurs ont constaté que l'analogie entre Temps et Espace est bien souvent féconde dans les tentatives de compréhension de l'Univers.

Par exemple, dans la théorie de la Relativité, on retrouve un traitement identique entre Temps et Espace dans la proposition d'un continuum Espace-Temps à quatre dimensions, dans des déformations des distances à l'image de celles des durées, ou dans la variable locale ct traitée comme les variables locales x , y , z .

On l'observe aussi dans la notion de quadrivecteur Espace-Temps. En géométrie, dans un Espace à trois dimensions, on utilise usuellement la notion de vecteur. Les mathématiciens généralisent cette notion de vecteur dans un espace à n dimensions identiques.

On doit à H. Minkowski et A. Einstein l'introduction du quadrivecteur Espace-Temps dans la théorie de la Relativité. Au lieu de travailler dans un Espace à trois dimensions, utilisant des vecteurs, ou plutôt des tri-vecteurs Espace pour reprendre une terminologie analogue, on travaille dans un Espace-

Temps à quatre dimensions, utilisant des quadrivecteurs Espace-Temps. Cela suppose implicitement une dimension temporelle de même nature que les trois dimensions spatiales.

La théorie de la Relativité et son prolongement à l'électromagnétisme et à la Physique quantique : l'Electrodynamique quantique relativiste, utilisent de nombreux quadrivecteurs Espace-Temps : le quadrivecteur énergie impulsion (généralisation du tri-vecteur quantité de mouvement), le quadrivecteur pulsation vecteur d'onde, le quadrivecteur potentiel électromagnétique, le quadrivecteur densité de charge courants, etc. Tous ces quadrivecteurs manifestent une identité d'approche pour le Temps et l'Espace.

I.3 La plupart des théories physiques sont réversibles dans le Temps

A travers quelques exemples, soulignons maintenant que la plupart des théories physiques, de la gravitation newtonienne, en passant par la théorie de la Relativité, jusqu'à l'Electrodynamique quantique relativiste sont réversibles dans le Temps.

I.3.1 Théorie de la Gravitation d'I. Newton

Commençons par l'expérience de pensée suivante. Imaginons une soucoupe volante A filmée par un expérimentateur E. La soucoupe volante possède une vitesse initiale, puis s'éloigne moteurs éteints de la Terre.

Lors du passage (usuel) du film vers le futur, l'expérimentateur E visualise un mouvement décéléré de la soucoupe volante A sous l'effet de la force gravitationnelle attractive de la Terre, en accord avec la théorie de la Gravitation d'I. Newton.

Lors du passage à rebours du film vers le passé, l'expérimentateur E visualise un mouvement accéléré de la soucoupe volante A se rapprochant de la Terre. Cette soucoupe volante A subit une force gravitationnelle attractive et un mouvement accéléré, également en accord avec la théorie d'I. Newton.

Cette expérience de pensée souligne la réversibilité dans le Temps de la théorie la Gravitation d'I. Newton. Que le film soit passé vers le futur ou vers le passé, les images visualisées sont en accord avec la théorie.

I.3.2 Théorie de la Relativité d'A. Einstein et antimatière de P. A. Dirac

Précédemment, on a souligné que la théorie de la Relativité traite le Temps et l'Espace comme s'ils étaient de nature similaire. Cependant, initialement, la théorie de la Relativité n'accorde pas au Temps 2 sens comme elle le fait pour les dimensions spatiales. Cela apparait dans le choix d'une énergie positive pour les solutions de l'équation :

$$E^2 = c^2 p^2 + m^2 c^4 \quad (6.1)$$

La question d'une réversibilité temporelle de la théorie de la Relativité se pose à partir de 1928, avec l'introduction par P. A. Dirac d'une équation d'onde nécessitant des solutions d'énergie à la fois positives et négatives, et donc implicitement réversibles dans le Temps :

$$E = \pm \sqrt{c^2 p^2 + m^2 c^4} \quad (6.2)$$

P. A. Dirac propose d'interpréter l'énergie négative comme de l'antimatière, c'est-à-dire des antiparticules de même masse et de charge électrique opposée à la particule de matière correspondante. Par exemple, l'antiélectron (qu'on appelle également le positron) est l'antiparticule de l'électron.

A l'époque, la proposition de P. A. Dirac laisse incrédule la plupart des physiciens. Cependant, quelques années plus tard, en 1932, Carl David Anderson découvre dans les rayonnements cosmiques

du ciel des électrons à charge positive. L'hypothèse d'une antimatière devient largement acceptée par la communauté scientifique.

Nota

Cette hypothèse d'antimatière est d'autant plus intéressante qu'elle suggère une conservation énergétique à l'échelle de l'Univers. Si matière et antimatière sont en même quantité, le bilan total de l'énergie de l'Univers est nul.

I.3.3 Le positron, l'électron qui remonte le Temps et l'Electrodynamique quantique relativiste

Dans les années 1950, R. Feynman propose l'idée suivante : le positron (ou l'antiélectron) s'apparente à un électron remontant le Temps. R. Feynman associe le suffixe anti à la propriété de remonter le Temps.

On appelle cette association la prescription d'E. Stueckelberg et de R. Feynman, en référence à E. Stueckelberg qui a eu une idée similaire quelques années auparavant.

R. Feynman introduit cette association dans les équations de l'Electrodynamique quantiques relativistes. Soulignons qu'on la retrouve déjà dans les équations de l'électromagnétisme du 19^{ème} siècle.

Soit une particule de charge électrique $-q$ remontant le Temps dans un champ électromagnétique. Montrons que cette particule subit les mêmes effets qu'une autre particule de charge q , de masse identique m , avançant dans le Temps dans le même sens que nous, c'est-à-dire vers le futur.

Dans un champ électromagnétique, une charge électrique répond à l'équation du mouvement :

$$m \frac{d^2 \vec{X}}{d^2 t} = q \vec{E} l + q \frac{d\vec{X}}{dt} \wedge \vec{B} \quad (6.3)$$

Les champs $\vec{E}l$ et \vec{B} dérivent d'un quadrivecteur potentiel \vec{A} . On obtient l'équation du mouvement :

$$m \frac{d^2 \vec{X}}{d^2 t} = (q) \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} + (q) \frac{d\vec{X}}{dt} \times (\vec{\nabla} \cdot \vec{A}) \quad (6.4)$$

équivalente à :

$$m \frac{d^2 \vec{X}}{d(-t)^2} = (-q) \frac{\partial \vec{A}}{\partial(-t)} + (-q) \frac{d\vec{X}}{d(-t)} \times (\vec{\nabla} \cdot \vec{A}) \quad (6.5)$$

On constate donc qu'une charge q , avançant dans le Temps suivant des instants t , présente une équation du mouvement équivalente à une charge $-q$, remontant le Temps suivant des instants $-t$.

Lors du discours de réception de son prix Nobel, R. Feynman explique comment l'idée d'un électron remontant le Temps, a germé dans son esprit. Lui-même s'inspire d'une idée de son ancien professeur J. A. Wheeler, cherchant à comprendre pourquoi tous les électrons de l'Univers ont la même masse et la même charge. Selon J. A. Wheeler, tous les électrons seraient en fait une même particule qui effectue des allers-retours dans le Temps.

R. Feynman ne retient qu'une partie de l'idée originelle de son ancien professeur et l'applique à l'antiélectron.

Le dessin ci-dessous vient compléter le discours Nobel de R. Feynman. Il représente un électron se mouvant dans l'Espace et le Temps. Aux points A et C, électron et positron s'annihilent. On peut

interpréter cette annihilation comme un demi-tour dans le Temps de l'électron, se transformant alors en positron.

A l'instant t_0 , on observe 3 électrons et 2 positrons. Ces allers-retours dans le Temps permettent de générer de la matière et de l'antimatière.

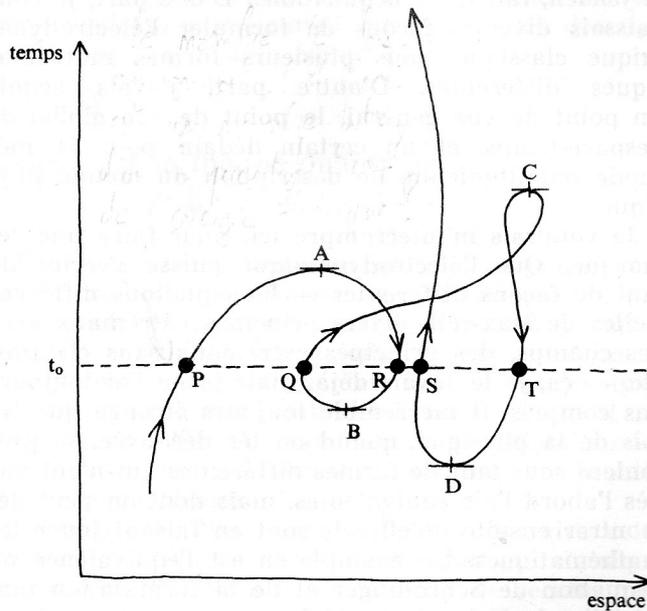


Figure 1 : dessin de R. Feynman, la ligne d'Univers d'un électron capable de remonter le Temps

I.4 Temps à 2 sens et principe de moindre action

I.4.1 Avantage et inconvénient d'un Temps à 2 sens

L'hypothèse d'un Temps à deux sens, identique aux trois dimensions spatiales présente un avantage indéniable. En effet, le modèle proposé pour l'Espace-Temps n'est pas complexifié. Au contraire, il se simplifie. L'introduction du Temps dans les équations mathématiques est même singulièrement triviale, puisqu'elle se fait identiquement aux 3 dimensions spatiales.

L'hypothèse d'un Temps à deux sens présente néanmoins un handicap majeur. C'est la perte au passage d'un principe à priori fondamental : le principe de causalité difficilement concevable avec un Temps réversible.

Pour pallier à la perte de ce principe de causalité, les partisans de la réversibilité du Temps, en particulier R. Feynman, insistent sur un autre principe fréquemment rencontré en physique : le principe de moindre action.

I.4.2 Du principe de moindre action

On peut dater la première véritable approche physique du principe de moindre action au 17^{ème} siècle et à Louis Fermat, dans le cadre de l'optique géométrique et de l'étude de la lumière. L. Fermat insiste sur une minimisation de la trajectoire de la Lumière.

Un siècle plus tard, en 1744, Pierre Louis Moreau de Maupertuis étend ce principe à la mécanique newtonienne et à l'étude des forces.

En 1756, Joseph-Louis Lagrange propose une description mathématique du principe et l'applique à des phénomènes variés de la physique. Par exemples, la trajectoire de la lumière dans des milieux dispersifs, les lois classiques de la dynamique newtonienne.

Dans sa thèse de 1942, R. Feynman s'intéresse à son tour à ce principe, il étudie son adaptation à la mécanique quantique.

Pour expliciter le principe de moindre action, reprenons la parabole savoureuse de R. Feynman rapportée dans son ouvrage *La nature de la physique*.

Sur une plage ensoleillée de l'océan, un maître-nageur court secourir une baigneuse qui se noie à un vingtaine de mètres du rivage. Le maître-nageur symbolise la lumière ou tout autre système qui cherche à minimiser ses efforts. Athlétique, le maître-nageur reste néanmoins un terrien, il court beaucoup plus vite qu'il ne nage. Pour minimiser ses efforts et son temps de parcours, il effectue un trajet bien plus important sur le sable que dans l'eau.

Soit v_{plage} la vitesse du maître-nageur sur la plage, $v_{océan}$ la vitesse du maître-nageur dans l'océan et c une vitesse de référence. On a :

$$c > v_{plage} > v_{océan} \quad (6.6)$$

On définit les indices :

$$n_1 = \frac{c}{v_{plage}} \text{ et } n_2 = \frac{c}{v_{océan}} \quad (6.7)$$

$$n_1 < n_2 \quad (6.8)$$

La trajectoire du maître-nageur forme un angle au niveau du passage plage océan (sable eau). On retrouve la loi de Snell-Descartes pour la réfraction de la Lumière :

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2) \quad (6.9)$$

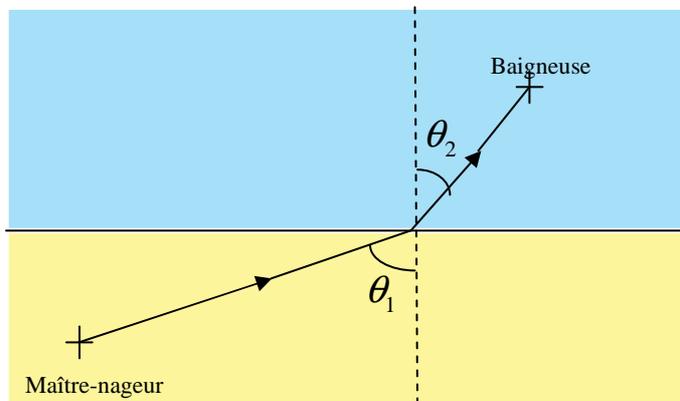


Figure 2 : minimisation de l'action du maître-nageur

En mécanique classique analytique, on définit l'action $S[q_2(t+\varepsilon), q_1(t)]$ à partir de l'intégrale du lagrangien $L(q, \dot{q}, t)$ sur une durée ε :

$$S[q_2(t+\varepsilon), q_1(t)] = \int_t^{t+\varepsilon} L(q, \dot{q}, t) dt \quad (6.10)$$

Suivant l'expression mathématique du principe de moindre action, avec l'action considérée comme un extremum, on a :

$$\delta \mathcal{S}[q] = 0 \quad (6.11)$$

On en déduit l'équation d'Euler-Lagrange :

$$\frac{\partial L}{\partial q} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}} \right) = 0 \quad (6.12)$$

Nota

Dans l'hypothèse d'un Temps à 2 sens, le principe de moindre action pourrait favorablement se substituer à celui de causalité comme principe constitutif de l'Univers. Le débat reste évidemment ouvert.

I.4.3 Moment magnétique de spin et intégrales de chemin de R. Feynman

L'une des grandes réussites de l'Electrodynamique quantique relativiste, c'est de retrouver avec une grande précision la valeur expérimentale du moment magnétique de spin $\vec{\mu}_s$ de l'électron. Ce moment magnétique est décrit à l'aide du facteur de Landé g et du moment cinétique de spin \vec{S} :

$$\vec{\mu}_s = g \frac{-e}{2m_e} \vec{S} \quad (6.13)$$

Pour retrouver cette valeur expérimentale, on peut utiliser les intégrales de chemin de R. Feynman, construites sur le modèle de l'action S . On introduit en Electrodynamique quantique relativiste une formulation analogue de :

$$S[q_2(t+\varepsilon), q_1(t)] = \int_t^{t+\varepsilon} L(q, \dot{q}, t) dt \quad (6.14)$$

L'utilisation des intégrales de chemin de R. Feynman nécessite de tenir compte des 2 *sens* du Temps, afin de retrouver la valeur de $\vec{\mu}_s$ mesurée expérimentalement. En effet, il faut à la fois introduire des particules qui avancent dans le Temps, et des antiparticules qui remontent le Temps.

I.5 Conclusion du chapitre

La plupart des théories physiques sont réversibles dans le Temps. En mécanique newtonienne, dans la théorie de la Relativité ou dans l'Electrodynamique quantique relativiste, les analogies Temps Espace sont souvent porteuses. Surtout, l'hypothèse d'un Temps à 2 sens permet de trouver des résultats expérimentaux dont l'obtention serait impossible autrement.

Cela vient en contradiction avec le Temps ressenti dans lequel nous vivons, qui présente une flèche qualifiée fréquemment de flèche psychologique, car elle se réfère à notre esprit.

Cette contradiction entre Temps utilisé en physique et Temps ressenti, apparaît aujourd'hui comme l'une des grandes énigmes de la physique.

Dans les 3 prochains chapitres, on va voir néanmoins qu'il existe quelques cas en physique, théories ou faits expérimentaux, qui ne semblent pas réversibles dans le Temps. On les trouve par exemple en thermodynamique avec la notion d'entropie, de certaines expériences de particules élémentaires faisant intervenir les interactions faibles, ainsi que dans la théorie cosmologiste du Big-bang. Pour ces trois cas, on parle respectivement de flèche thermodynamique, de flèche microscopique et de flèche cosmologique. Ce sont ces trois flèches que nous allons maintenant étudier.

Chapitre II Existence d'une flèche thermodynamique ?

Objectif du chapitre

On s'intéresse ici à l'existence d'une flèche thermodynamique qui se manifeste dans la notion d'entropie.

II.1 Définitions de l'entropie

II.1.1 Entropie de Clausius

Si la plupart des théories physiques présentent une possible réversibilité temporelle, l'une d'entre elles, la thermodynamique fait figure d'exception. L'irréversibilité temporelle se manifeste dans la notion d'entropie, qui évolue en croissant dans le Temps.

On rappelle les formules de l'entropie introduites en 1865 par Rudolf Clausius dans le cadre du 2^{ème} principe de la thermodynamique, d'après les travaux de Sadi Carnot :

- pour une transformation réversible dans le Temps, on a :

$$dS_{\text{sys}} = \frac{\delta Q_{\text{rév}}}{T} \quad (6.15)$$

- pour une transformation irréversible dans le Temps, on a :

$$dS_{\text{sys}} > \frac{\delta Q_{\text{irrév}}}{T} \quad (6.16)$$

$Q_{\text{rév}}$ est la quantité de chaleur reçue par un système thermodynamique lors d'une réaction réversible,

$Q_{\text{irrév}}$ est la quantité de chaleur reçue par un système thermodynamique lors d'une réaction irréversible,

T est la température du système thermodynamique.

On note que lors d'une réaction irréversible dans le Temps, l'entropie S_{sys} ne peut que croître.

II.1.2 Entropie statistique de Boltzmann, la mesure du désordre

Dans les années 1870, Ludwig Boltzmann développe la thermodynamique statistique. Il apporte un nouvel éclairage à la notion d'entropie en proposant l'entropie statistique :

$$S_{\text{sys}} = k \log W \quad (6.17)$$

avec $k \approx 1,38064 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kg} \times \text{s}^{-2} \text{ K}^{-1}$ la constante de Boltzmann et W le nombre d'états possibles du système étudié.

L'entropie statistique s'interprète comme la mesure du degré de désordre d'un système au niveau microscopique. Plus l'entropie du système est élevée, plus grand est le nombre d'états possibles, moins ses éléments sont ordonnés, liés entre eux. La part de l'énergie inutilisable pour l'obtention d'un travail grandit. Suivant la thermodynamique statistique, si l'on ne fait rien, le système tend naturellement vers le désordre.

II.2 Le Temps orienté en thermodynamique, rapprocher l'entropie et l'information ?

II.2.1 Démon de Maxwell

Parallèlement à L. Boltzmann, J. C. Maxwell s'intéresse lui-aussi à la thermodynamique statistique. Il semble être le premier à avoir fait un lien implicite entre entropie et information à travers une expérience de pensée qu'on appelle le démon de Maxwell.

Le démon de Maxwell est un être hypothétique qui traite de l'information et la mémorise. Le démon mesure la vitesse des molécules de gaz qui parviennent à l'entrée de deux compartiments. Il ouvre ou ferme un clapet entre les deux compartiments en fonction de la vitesse des molécules. Si les molécules vont vite, il les envoie dans le 1^{er} compartiment. Si elles sont lentes, il les envoie dans le 2^{ème}. Cette action construit deux compartiments différents, l'un chaud et l'autre froid.

Ainsi, le démon est capable de réduire l'entropie d'un gaz homogène à une température donnée. Il inverse le cours du Temps thermodynamique, agissant apparemment contre le second principe de la thermodynamique.

II.2.2 Entropie de Shannon, la mesure de l'information manquante pour un récepteur

Le démon de Maxwell a suscité de nombreux travaux et interrogations, afin de mieux comprendre comment il peut inverser le cours du Temps thermodynamique.

En 1929, Leo Szilard soutient l'idée que la création d'informations requiert de l'énergie pour tenir compte de la façon dont le démon de Maxwell agit. Dans les années 1950, John von Neumann et Claude Shannon rapprochent explicitement information et entropie.

Initialement, C. Shannon ne connaît pas les travaux de L. Boltzmann sur l'entropie statistique. Il développe ses propres travaux sur l'information statistique. On a pour la formule de Shannon sur l'information :

$$I = k \log\left(\frac{1}{p}\right) \quad (6. 18)$$

avec I la quantité d'information contenue dans une source, information manquante pour un récepteur et donc à acquérir,

p la probabilité d'un événement,

k une constante.

Si tous les événements, en nombre W , sont également probables, la probabilité de chacun vaut :

$$p = \frac{1}{W} \quad (6. 19)$$

On obtient alors la formule de l'information manquante et à acquérir pour un récepteur :

$$I = k \log W \quad (6. 20)$$

En examinant les travaux de C. Shannon, J. von Neumann fait le lien avec ceux de L. Boltzmann. Il rapproche alors entropie et information manquante. Ainsi, I est aujourd'hui appelée entropie de Shannon ou entropie de l'information.

II.3 Conclusion du chapitre

L'irréversibilité temporelle de la thermodynamique se manifeste dans la notion d'entropie. Historiquement, cette notion d'entropie est introduite comme une mesure du désordre, qui ne peut que croître. A la fin du 19^{ème} siècle, J. C. Maxwell est le premier à faire le lien entre entropie et information via son démon. Dans les années 1950, on associe désordre, entropie, information manquante et à acquérir. On peut alors relier la flèche de la thermodynamique à une flèche de l'information manquante, flèches contre lesquelles le démon de Maxwell peut apparemment s'opposer en traitant et en mémorisant l'information.

Chapitre III Existence d'une flèche microscopique des particules ?

Objectif du chapitre

On s'intéresse ici à l'hypothèse d'une flèche du Temps au niveau des particules élémentaires. On s'arrêtera sur quelques percées de la physique des années 1950-1960. Cette physique a particulièrement étudié les symétries P , C et T à travers les désintégrations de particules.

III.1 Existence d'une flèche microscopique du Temps ?

Dans le 1^{er} chapitre, on a souligné que les lois de la mécanique classique, ainsi que celles de l'électromagnétisme étaient possiblement réversibles dans le Temps. La réversibilité temporelle semble même nécessaire pour l'Electrodynamique quantique relativiste des années 1950.

Pourtant, au cours des années 1950-1960, en étudiant de manière de plus en plus fine les collisions entre particules élémentaires, certains physiciens décèlent des indices d'irréversibilité temporelle. C'est ce que nous allons maintenant étudier en commençant par quelques rappels sur les opérateurs P , C et T .

III.1.1 Rappels sur les opérateurs P et T

L'opérateur P est une transformation qui inverse les coordonnées d'Espace (opération aussi appelée parité).

$$x \rightarrow x' = -x \quad (6.21)$$

Nota

Le moment cinétique orbital L et le moment cinétique de spin S ne sont pas affectés par l'opération de Parité. L'énergie et l'impulsion sont inversées. Par inversion des coordonnées d'Espace, on a :

$$\begin{aligned} L &\rightarrow L' = L \\ S &\rightarrow S' = S \\ p &\rightarrow p' = -p \\ E &\rightarrow E' = -E \end{aligned}$$

L'opérateur T est une transformation qui inverse le sens du Temps.

$$t \rightarrow t' = -t \quad (6.22)$$

Nota

Par l'inversion des coordonnées du Temps, on a :

$$\begin{aligned} L &\rightarrow L' = -L \\ S &\rightarrow S' = -S \\ p &\rightarrow p' = -p \\ E &\rightarrow E' = -E \end{aligned}$$

III.1.2 Rappels sur la conjugaison de charge électrique C

La conjugaison de charge électrique C est une transformation qui inverse la charge électrique d'une particule. Elle change aussi les quantités quantiques liées à la charge électrique. On trouve les moments magnétiques orbital et de spin, l'isospin I , l'hypercharge Y (et les nombres liés : nombre baryonique Ba , étrangeté St , nombre leptonique L_e , etc.).

La conjugaison de charge C n'affecte pas à priori les moments cinétiques orbital et de spin, la masse, l'impulsion, la vie moyenne d'une particule.

Nota 1

Les seules particules qui restent invariantes par conjugaison de charge C sont les particules vraiment neutres électriquement, c'est-à-dire celles qui ont leur charge électrique et les quantités quantiques liées nulles (moment magnétique, isospin, hypercharge, etc.).

On trouve le photon γ , le boson Z^0 , ainsi que des états formés d'une particule et de son antiparticule : e^-e^+ , le méson pion π^0 formé d'un mélange de paires de quarks $u\bar{u}$ et $d\bar{d}$.

Notons que le neutron n'est pas vraiment neutre électriquement puisqu'il possède une hypercharge Y positive et un isospin I négatif. Il existe donc un antineutron neutre électriquement d'hypercharge opposée (négative) et d'isospin opposé (positif).

Nota 2

Les équations de l'interaction électromagnétique, ainsi que les équations de Maxwell sont invariantes par conjugaison de charge.

III.1.3 Rappels symétrie et violation de transformations

On appelle symétrie de P , C ou T , une conservation des lois du mouvement d'une particule par transformation P , C ou T .

On appelle violation de P , C ou T , une non conservation des lois du mouvement d'une particule par transformation P , C ou T .

III.1.4 Théorème CPT

Le théorème CPT stipule qu'une transformation $R = CPT$, c'est-à-dire une opération combinée de C , P et T laisse invariante les lois du mouvement pour une particule.

Le théorème CPT apparaît pour la première fois en 1951, de manière implicite, dans les travaux de J. Schwinger. Ce dernier cherche alors à prouver la corrélation entre spin et statistique. Il tente de faire le lien entre les statistiques de Fermi-Dirac et de Bose-Einstein. Pour comprendre pourquoi l'électron possède un spin demi-entier alors que le photon possède un spin entier, il s'intéresse au théorème CPT .

En 1954, G. Lüders et W. Pauli établissent une démonstration du théorème CPT . Ainsi, ce dernier est parfois appelé théorème de Lüders-Pauli. Parallèlement et de manière indépendante, le théorème est aussi démontré par J. S. Bell. Ses preuves se basent sur la validité de l'invariance de grandes lois physiques vis-à-vis de la transformation de Lorentz et le principe de localité dans l'interaction des champs quantiques.

Ces démonstrations reposent sur le postulat que le monde dans lequel nous vivons est à la fois quantique, relativiste et causale. La preuve ou la réfutation expérimentale du théorème CPT reste aujourd'hui une question ouverte.

Nota 1

Si on admet le théorème CPT , une violation de CP implique une violation de T .

Nota 2

En lien avec le théorème CPT , toute particule possède une antiparticule (qui peut se confondre avec elle-même comme dans le cas du photon), de charge opposée ou nulle suivant la transformation C , d'impulsion et d'hélicité opposées suivant la transformation P , qui se propage en remontant le Temps suivant la transformation T .

III.2 Désintégrations β^\pm , violation de P et de C , conservation de la symétrie CP

III.2.1 Désintégration β^- du cobalt-60, violation de la symétrie P

En physique classique et en Electrodynamique quantique relativiste, les équations du mouvement sont séparément invariantes par transformations P , C et T .

Cependant, dans les années 1956-57, on constate avec surprise que l'invariance par parité P au niveau du spin n'est pas à priori satisfaite dans des réactions faisant intervenir l'interaction faible.

Les physiciens Tsung-Dao Lee et Chen Ning Yang s'intéressent alors à la conservation de la parité dans toutes les interactions fondamentales. Ils proposent de tester leurs idées à la physicienne expérimentale C.-S. Wu Chien-Shiung Wu sur la désintégration β^- du cobalt-60.

La réaction de désintégration est schématisée sur la figure ci-dessous. Les impulsions des particules sont en flèches fines et noires, les spins des particules sont en flèches grasses et colorées. On en déduit les hélicités pour les électrons et antineutrinos produits de la désintégration β^- .

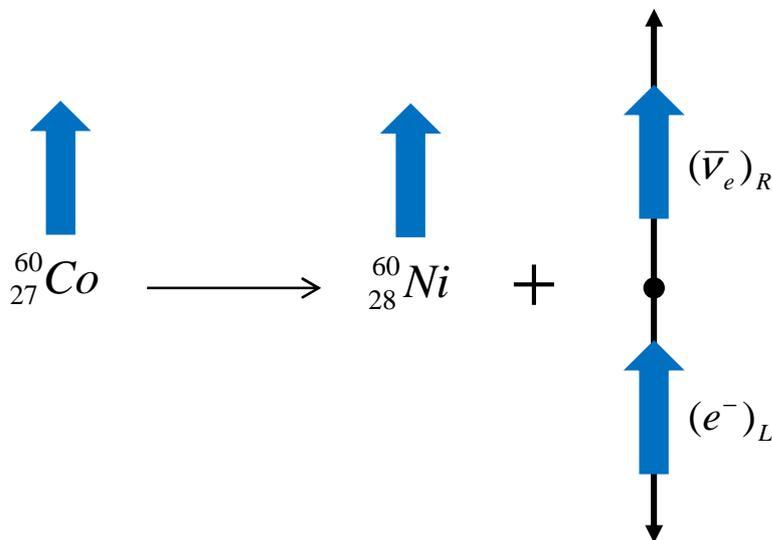


Figure 3 : désintégration β^- du cobalt en nickel

Si la parité P est conservée, on doit obtenir comme produit de la réaction autant d'électrons d'hélicité droite $(e^-)_R$ que d'hélicité gauche $(e^-)_L$. Or, C.-S. Wu obtient uniquement des électrons d'hélicité gauche $(e^-)_L$ et des antineutrinos d'hélicité droite $(\bar{\nu}_e)_R$ (les seuls d'ailleurs qui semblent exister).

Pour la désintégration β^- du Cobalt-60, la parité est donc violée au maximum, c'est-à-dire qu'on n'observe pas d'antineutrino d'hélicité gauche $(\bar{\nu}_e)_L$.

III.2.2 Rappels sur les pions

Suivant la théorie de Yang-Mills, les pions π^+ , π^- et π^0 sont les particules médiatrices chargées fort de l'interaction forte. Ils sont porteurs d'une charge forte et peuvent modifier la charge forte d'un nucléon.

Les pions π^+ , π^- sont de type opérateur d'échelle, ils peuvent augmenter ou diminuer d'un I^3 la charge forte d'un nucléon.

Suivant le Modèle des quarks, les pions π^+ , π^- et π^0 sont formés des quarks u et d (et antiquarks \bar{u} et \bar{d}) de 1^{ère} génération. Tous ont un isospin $I = 1$, un spin nul et une hypercharge nulle. On a le tableau suivant où on les distingue par la 3^{ème} composante de leur isospin I^3 .

$\pi^+ \quad u\bar{d}$	$\pi^0 \quad (u\bar{u} - d\bar{d})/\sqrt{2}$	$\pi^- \quad \bar{u}d$
$(I, I^3) = (1, +1)$	$(I, I^3) = (1, 0)$	$(I, I^3) = (1, -1)$

III.2.3 Désintégrations β^\pm des pions π^+ et π^- , particules de 1^{ère} génération, conservation de la symétrie CP

Sur la figure ci-dessous, on indique les désintégrations β^\pm observées des pions chargés π^+ et π^- en anti-muon, neutrino muonique, muon et antineutrino muonique.

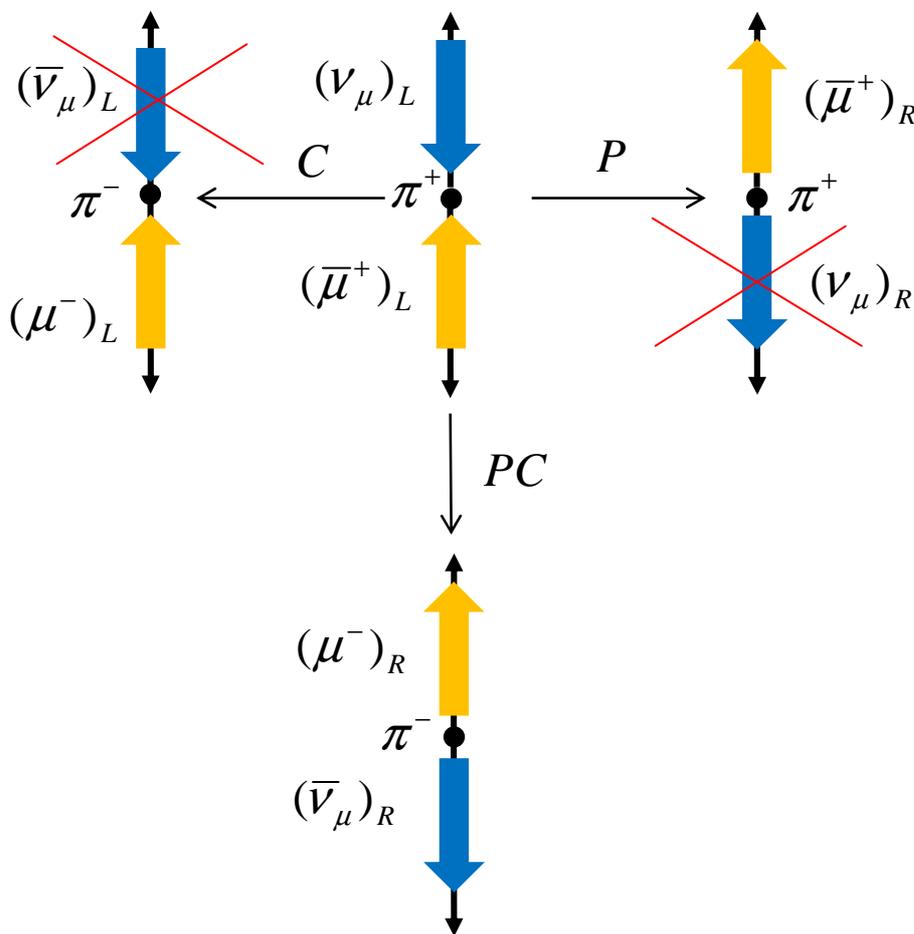


Figure 4 : désintégrations β^+ et β^- des pions π^+ et π^-

On part de désintégration β^+ d'un pion π^+ en neutrino muonique gaucher $(\nu_\mu)_L$ et anti-muon gaucher $(\bar{\mu}^+)_L$. On note que la symétrie P est violée au maximum, c'est-à-dire qu'on n'observe pas de neutrino muonique droitier $(\nu_\mu)_R$ lors de la désintégration β^+ . De même, la symétrie C est violée au maximum, c'est-à-dire qu'on n'observe pas d'antineutrino muonique gaucher $(\bar{\nu}_\mu)_L$ lors de la désintégration β^- d'un pion π^- .

Par contre, on observe une désintégration β^- d'un pion π^- en anti-neutrino muonique droitier $(\bar{\nu}_\mu)_R$ et muon droitier $(\mu^-)_R$. Le passage d'une désintégration β^+ d'un pion π^+ à une désintégration β^- d'un pion π^- correspond à une transformation CP .

Ainsi, la transformation C seule est impossible car les anti-neutrinos muoniques gauchers n'existent pas. De même, la transformation P seule est impossible car les neutrinos muoniques droitiers n'existent pas. Comme les symétries C et P sont toutes deux violées au maximum, la symétrie CP est conservée. On retrouve la conservation des lois du mouvement d'une particule par transformation CP .

Dans le cas des pions, on s'arrête aux quarks de 1^{ère} génération. On va maintenant s'intéresser aux quarks de 2^{ème} génération, qui possèdent un nombre d'étrangeté St non nul. On va étudier la physique des kaons et constater dans ce cas une violation de la symétrie CP .

III.3 Physique des kaons, violation de la symétrie CP

III.3.1 Rappels sur les kaons

Suivant le Modèle des quarks, les mésons kaons appartiennent aux particules médiatrices de l'interaction forte (c'est-à-dire que les kaons sont porteurs d'une charge forte et peuvent modifier la charge forte d'un baryon).

Les kaons sont formés des quarks u , d et s (ainsi que de leurs antiquarks). Ils sont à l'origine de la proposition du nombre d'étrangeté St .

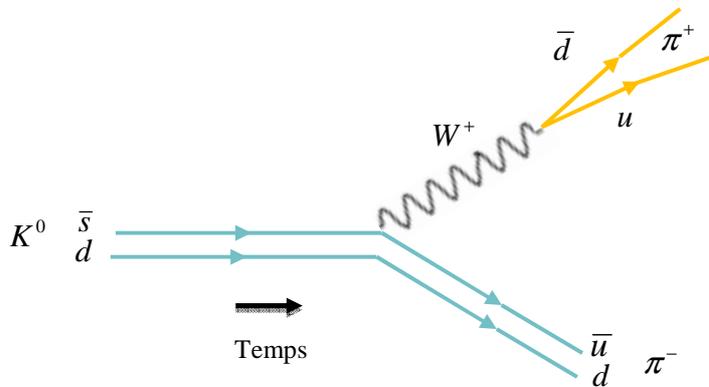
Pour les kaons K^+ , K^- , K^0 , \bar{K}^0 , on a la décomposition en quarks suivante :

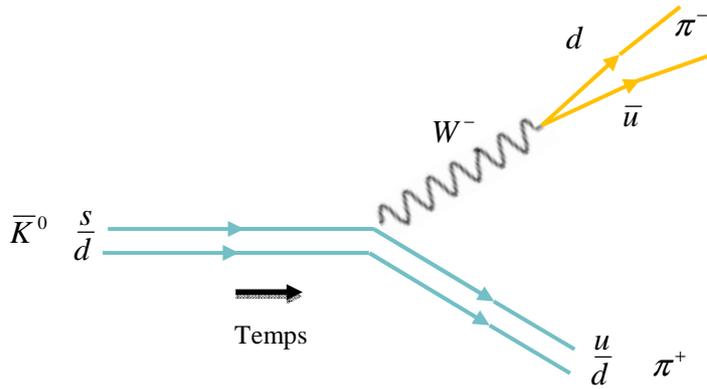
K^+ $u\bar{s}$	K^0 $d\bar{s}$
\bar{K}^0 $\bar{d}s$	K^- $\bar{u}s$

Examinons de plus près le cas des kaons et antikaons neutres K^0 et \bar{K}^0 .

III.3.2 Désintégration β^\pm des kaons neutres

Les kaons et antikaons neutres K^0 et \bar{K}^0 peuvent se désintégrer en pions π^+ , π^- , π^0 . On a par exemple les réactions de désintégration β^\pm où intervient l'interaction faible :




 Figure 5 : désintégrations β^+ de K^0 et β^- de \bar{K}^0
Nota

Observons que le nombre d'étrangeté St n'est pas conservé lors de ces 2 désintégrations.

En 1964, J. H. Christenson, J. W. Cronin, V. L. Fitch et R. Turlay mettent en évidence la violation de la symétrie CP dans l'interaction faible en étudiant les propriétés des kaons neutres. Rappelons ici leur modèle.

III.3.3 Violation de la symétrie CP dans l'interaction faible, modèle de Christenson-Cronin-Fitch-Turlay

Les kaons sont produits par interaction forte et se désintègrent par interaction faible. Tout comme les pions, ils ont une parité négative. On a les transformations suivantes par l'opérateur de parité P :

$$P|K^0\rangle = -|K^0\rangle ; P|\bar{K}^0\rangle = -|\bar{K}^0\rangle \quad (6.23)$$

Par conjugaison de charge C , on a :

$$C|K^0\rangle = |\bar{K}^0\rangle ; C|\bar{K}^0\rangle = |K^0\rangle \quad (6.24)$$

En combinant les deux transformations CP , on obtient :

$$CP|K^0\rangle = -|\bar{K}^0\rangle ; CP|\bar{K}^0\rangle = -|K^0\rangle \quad (6.25)$$

Soient $\eta_{CP} = 1$ et $\eta_{CP} = -1$, les valeurs propres des opérateurs conjugaison de charge C et parité P , associées aux états propres $|K_1^0\rangle$ et $|K_2^0\rangle$. On a les relations :

$$CP|K_1^0\rangle = |K_1^0\rangle \text{ avec } \eta_{CP} = 1 \quad (6.26)$$

$$CP|K_2^0\rangle = -|K_2^0\rangle \text{ avec } \eta_{CP} = -1 \quad (6.27)$$

On donne les états propres de la transformation CP $|K_1^0\rangle$ et $|K_2^0\rangle$ en fonction des états produits par interaction forte $|K^0\rangle$ et $|\bar{K}^0\rangle$:

$$|K_1^0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|K^0\rangle - |\bar{K}^0\rangle) \quad (6.28)$$

$$|K_2^0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|K^0\rangle + |\bar{K}^0\rangle) \quad (6.29)$$

Si la symétrie CP est conservée dans l'interaction faible, les états $|K_1^0\rangle$ et $|K_2^0\rangle$ doivent représenter des particules observées, c'est-à-dire les états propres de l'interaction faible. Ces particules se désintègrent par la voie $\eta_{CP} = 1$ pour l'état $|K_1^0\rangle$ et par la voie $\eta_{CP} = -1$ pour l'état $|K_2^0\rangle$, c'est-à-dire en deux et trois pions respectivement.

Nota, brève explication pour comprendre les désintégrations des kaons K_1^0 et K_2^0 en respectivement 2 et 3 pions

Soit un système à 2 pions dans un état de moment cinétique orbital relatif L , on a :

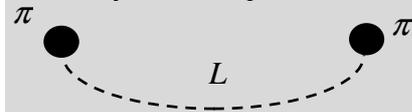


Figure 6 : système à 2 pions

On a la valeur propre de la transformation CP donnée par la formule :

$$\eta_{CP}(\pi\pi) = (-1)^2(-1)^L = (-1)^L$$

L'analyse des distributions angulaires de pions révèle que $L = 0$.

On a donc :

$$\eta_{CP}(\pi\pi) = 1$$

Pour un système de trois pions, avec l et L les moments cinétiques orbitaux, on a :

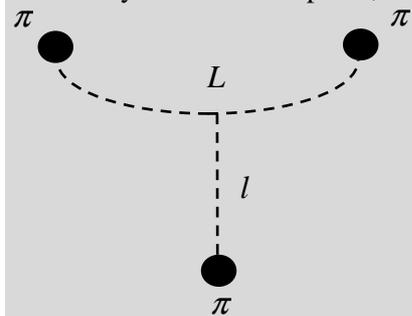


Figure 7 : système à 3 pions

On a la valeur propre de la transformation CP donnée par la formule :

$$\eta_{CP}(\pi\pi\pi) = (-1)(-1)^l(-1)^L$$

L'analyse des distributions angulaires de pions révèle que $L = l$.

On a donc :

$$\eta_{CP}(\pi\pi\pi) = -1$$

Puisque le système à 2 pions correspond à $\eta_{CP}(\pi\pi) = 1$, K_1^0 doit se désintégrer en 2 pions. De même, puisque le système à 3 pions correspond à $\eta_{CP}(\pi\pi\pi) = -1$, K_2^0 doit se désintégrer en 3 pions.

Expérimentalement, on distingue un kaon neutre long K_L doté d'un temps de vie long d'un kaon neutre court K_S doté d'un temps de vie court. Les kaons observés K_L et K_S sont tous deux les états propres de l'interaction faible.

Si la symétrie CP est conservée par interaction faible, on devrait observer un état $K_L = |K_2^0\rangle$ qui se désintègre uniquement en 3 pions et un état $K_S = |K_1^0\rangle$ qui se désintègre uniquement en deux pions. On a les 2 réactions de désintégration :

$$K_L \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0 \quad (6.30)$$

$$K_S \rightarrow \pi^+ + \pi^- \quad (6.31)$$

Cependant, avec une probabilité très faible mais non nulle, on observe une désintégration de K_L en deux pions.

On a en effet les relations :

$$|K_S\rangle = \frac{1}{\sqrt{1+|\varepsilon|^2}} (|K_1^0\rangle - \varepsilon |K_2^0\rangle) \quad (6.32)$$

$$|K_L\rangle = \frac{1}{\sqrt{1+|\varepsilon|^2}} (\varepsilon |K_1^0\rangle + |K_2^0\rangle) \quad (6.33)$$

avec $\varepsilon = 2,284 \pm 0,014 \times 10^{-3}$

De ce fait, les 2 états propres de l'interaction faible $|K_S\rangle$ et $|K_L\rangle$ ne sont pas exactement identiques aux 2 états propres de la transformation CP $|K_1^0\rangle$ et $|K_2^0\rangle$. Cela indique que la symétrie CP est violée par interaction faible.

Nota 1 sur la matrice CKM

Pour prendre en compte la violation de la symétrie CP dans l'interaction faible, Makato Kobayashi et Toshihide Maskawa proposent en 1973 une 3^{ème} génération de quarks. Ils introduisent une phase complexe δ dans la matrice CKM matrice de Cabibbo-Kobayashi-Maskawa comprenant 3 générations de quarks. La phase δ introduit un terme qui viole la symétrie de la transformation CP .

$$M_{CKM} = \begin{pmatrix} c_1 & c_3 s_1 & s_1 s_3 \\ -c_2 s_1 & c_1 c_2 c_3 - s_2 s_3 e^{i\delta} & c_1 c_2 s_3 + c_3 s_2 e^{i\delta} \\ s_1 s_2 & -c_1 c_3 s_2 - c_2 s_3 e^{i\delta} & -c_1 s_2 s_3 + c_2 c_3 e^{i\delta} \end{pmatrix}$$

A noter qu'avec la matrice de Cabibbo à deux générations de quarks, la violation de la symétrie CP n'est pas prise en compte.

Nota 2 sur le théorème CPT

Si l'on accepte le théorème *CPT*, une violation de la symétrie *CP* implique une violation (indirecte) de la symétrie *T*.

Nota 3, violation directe de la symétrie T ?

Il existe des expériences qui suggèrent une violation directe de la symétrie *T*. Cette violation est observée en 1998 lors de l'expérience CPLEAR au CERN. Elle porte également sur les kaons neutres.

L'expérience CPLEAR montre que la probabilité d'oscillation d'un kaon neutre en son antikaon n'est pas rigoureusement égale à son image par renversement temporel : la probabilité d'oscillation d'un anti-kaon en kaons. Schématiquement, on a :

$$K^0 \rightarrow \bar{K}^0 \neq \bar{K}^0 \rightarrow K^0$$

Nota 4, sur l'anticharge faible

Dans le mémoire 5, on a souligné que le passage de la matière à l'antimatière, c'est-à-dire l'opération *CP* est liée à l'interaction électromagnétique. L'analogue pour l'interaction faible serait l'opération qui inverse la charge faible C_T (et peut-être en outre l'opération *P*).

Comme on l'a évoqué, le spin *S* est conservé lors du passage de la matière à l'antimatière, alors qu'il devrait être modifié lors du passage de la charge faible à l'anticharge faible.

De même, le nombre de génération *Ge* s'inverse lors du passage de la matière à l'antimatière, alors qu'il devrait être conservé lors du passage de la charge faible à l'anticharge faible.

Dans ce cas, on peut raisonnablement accepter pour l'interaction faible, une conservation de la symétrie $C_T P$, une violation de la symétrie *CP*, tout en refusant une violation de la symétrie *T*.

Le théorème *CPT* ne s'appliquerait alors qu'à l'interaction électromagnétique.

III.4 Conclusion du chapitre, existence ou non d'une flèche microscopique ?

En conclusion, la question sur l'existence ou non d'une flèche microscopique reste encore très discutée. Dans ce chapitre, on a évoqué le modèle de Christenson-Cronin-Fitch-Turlay qui met en évidence chez les kaons neutres une violation de la symétrie *CP* dans l'interaction faible.

Néanmoins, dans ce mémoire, on penchera pour l'absence de violation de la symétrie *T* au niveau des particules élémentaires. C'est-à-dire que l'on appliquera le théorème *CPT* uniquement à l'interaction électromagnétique. La question reste quoiqu'il en soit ouverte et on n'apportera ici aucun véritable nouvel argument.

Dans le prochain chapitre, on va s'intéresser à la flèche cosmologique et aux origines de la théorie du Big-bang.

Chapitre IV Flèche cosmologique et éléments sur la théorie du Big-bang

Objet du chapitre

On revient sur la théorie du Big-bang, depuis les prémices dans les années 1910 avec la théorie de la Relativité générale, jusqu'à la découverte dans les années 1960 d'un rayonnement électromagnétique fossile.

IV.1 Rappels historiques sur la théorie du Big-bang

IV.1.1 La relativité générale d'A. Einstein (années 1910)

Au cours des années 1910, A. Einstein développe la théorie de la Relativité générale qui s'applique à la gravitation. Il se fixe pour principal objectif le respect du principe suivant : les lois de la Nature restent les mêmes lors d'un changement de référentiels quelconque (par exemple un mouvement accéléré, un mouvement de rotation, etc.).

Pour développer sa théorie sur la gravitation et trouver une équation comparable à la loi universelle de la gravitation de Newton $\vec{F}_{Gr} = -G \frac{mM}{r^3} \vec{r} = m\vec{G}r$, A. Einstein part d'une analogie avec l'équation source potentiel de Poisson gravitation :

$$\nabla^2 V^t = 4\pi G \rho \quad (6.34)$$

V^t est le potentiel newtonien,
 G la constante gravitationnelle,
 ρ la densité de masse.

L'idée d'A. Einstein, c'est d'étendre l'équation de Poisson gravitation aux 4 dimensions de l'Espace-Temps. Pour cela, dans la théorie de la Relativité générale, $\nabla^2 V^t$ est assimilé au tenseur de Ricci R_{ij} (les termes de $\nabla^2 V^t$ et de R_{ij} comportent tous deux des dérivées secondes). La densité de masse ρ est assimilée au tenseur T_{ij} , le tenseur énergie impulsion.

A. Einstein propose une première équation :

$$G_{ij} = R_{ij} = \frac{4\pi G}{c^4} T_{ij} \quad (6.35)$$

G_{ij} est appelée le tenseur d'Einstein.

Le souci, c'est qu'en analogie avec $\nabla^2 V^t$ qui possède une dérivée nulle, le tenseur d'Einstein $G_{ij} = R_{ij}$ ainsi défini ne possède pas une dérivée covariante nulle.

Afin d'obtenir une dérivée covariante nulle, le tenseur d'Einstein est alors redéfini :

$$G_{ij} = R_{ij} - \frac{1}{2} g_{ij} R \quad (6.36)$$

R est la courbure scalaire.
 g_{ij} est le tenseur métrique.

A. Einstein propose une deuxième équation :

$$G_{ij} = R_{ij} - \frac{1}{2} g_{ij} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{ij} \quad (6.37)$$

Nota 1, l'équation d'Einstein vue comme une généralisation à l'Espace-Temps de Gauss gravitation

L'équation d'Einstein appliquée à la gravitation est une équation source (tenseur énergie impulsion T_{ij}) potentiel (G_{ij}) dans un Espace-Temps à 4 dimensions. On peut l'interpréter comme une généralisation des 3 dimensions de l'Espace aux 4 dimensions de l'Espace-Temps de l'équation source potentiel de Poisson gravitation : $\nabla^2 V^t = 4\pi G \rho$ ou de l'équation source champ de Gauss gravitation :

$$\oiint_{\Sigma} \vec{G}r(M).d^2\vec{S} = \iiint_V -4\pi G \rho_{masse} dV = -4\pi G M_{int}, \quad \text{div} \vec{G}r = -4\pi G \rho_{masse} \quad (6.38)$$

Nota 2, rapprochements entre les équations sources champs

Au sujet des équations sources champs de la gravitation proposées dans cet essai, on peut réitérer la remarque faite sur l'équation Gauss gravitation (équation elle-même liée à Poisson gravitation et à la loi universelle de la gravitation de Newton).

A la recherche des équations sources champs de la gravitation, on s'attend à retrouver Gauss gravitation et la force gravitationnelle de Newton. Or, un peu paradoxalement, c'est l'autre grande loi de Newton que l'on retrouve : le principe fondamental de la dynamique $\frac{dp}{dt} = -\frac{\partial E_p}{\partial r}$ avec $E_p = \hbar\Omega$.

Cependant, à l'instar de Gauss gravitation (ou de Poisson gravitation), on peut rapprocher l'équation d'Einstein $G_{ij} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{ij}$ des équations sources champs incluant le potentiel newtonien V^t , c'est-à-dire

de celles utilisant le champ vecteur d'onde $K_{tx}^{1/y} = \frac{1}{2c^2} \left(\frac{\partial V^x}{\partial t} - \frac{\partial V^t}{\partial x} \right)$: de Broglie $\frac{dp}{dt} = \frac{\partial \hbar K}{\partial t}$ et Compton $\frac{dmc^2}{dx} = -\frac{\partial \hbar K}{\partial t}$.

On note d'une part que ces équations sources champs ont des sources similaires : impulsion p et énergie massique $E_0 = mc^2$, d'autre part que l'équation d'Einstein peut apparaître comme plus générale, puisqu'elle s'applique à un Espace-Temps à 4 dimension.

Néanmoins, l'équation d'Einstein ne tient pas compte du terme $\frac{\partial V^x}{\partial t}$ présent dans le vecteur d'onde $K_{tx}^{1/y}$. C'est-à-dire qu'elle ne tient pas compte des masses en mouvement et d'un potentiel vecteur vitesse \vec{V} , comme l'électrostatique ne tient pas compte des charges électriques en mouvement et d'un potentiel vecteur magnétique \vec{A} .

IV.1.2 La métrique de Minkowski

On rappelle la métrique g_{ij} donnée sous sa forme différentielle et générale :

$$ds^2 = g_{ij} dx^i dx^j \quad (6.39)$$

Suivant les idées d'A. Einstein, l'intervalle d'Espace-Temps ds^2 doit être conservé quel que soit le changement de référentiels.

Dans le cas de la Relativité restreinte, on s'arrête aux changements de référentiels galiléens (ou inertiels). L'intervalle d'Espace-Temps à conserver est :

$$ds^2 = -c^2 dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2 \quad (6.40)$$

On a la métrique dite de Minkowski :

$$g_{ij} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.41)$$

IV.1.3 La métrique de K. Schwarzschild (1915)

En 1915, Karl Schwarzschild propose une résolution simple de l'équation d'Einstein dans le cas d'une symétrie sphérique : champ gravitationnel généré par une masse sphérique, statique (sans rotation) non chargée et entourée de vide.

Cette masse peut être une étoile, une planète ou un trou noir de Schwarzschild. La résolution est donnée en coordonnées sphériques :

$$ds^2 = \left(1 - \frac{r_s}{r}\right) c^2 dt^2 - \left(1 - \frac{r_s}{r}\right)^{-1} dr^2 - r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2) \quad (6.42)$$

$$ds^2 = \left(1 - \frac{r_s}{r}\right) c^2 dt^2 - \left(1 - \frac{r_s}{r}\right)^{-1} dr^2 - r^2 dS \quad (6.43)$$

où :

- ds est l'intervalle d'Espace-Temps d'un déplacement infinitésimal dt , dr , $d\theta$, $d\varphi$ à partir du point P centre de la symétrie sphérique,
- t , r , θ , φ sont les coordonnées dites de Schwarzschild du point P dans l'Espace-Temps,
- t est la coordonnée de Temps auquel on considère le point P (mesuré par une horloge située à une distance infinie de l'objet massif),
- r est la coordonnée radiale du point P ,
- θ est la colatitude du point P en radians,
- φ est la longitude du point P en radians,
- $dS = d\Omega^2 = d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2$ l'intervalle d'Espace sur la sphère de surface S pouvant croître ou décroître,
- $r_s = \frac{2GM}{c^2}$ est le rayon de Schwarzschild de l'objet massif, avec G la constante gravitationnelle, M la masse de l'objet, et c la vitesse de la lumière.

IV.1.4 Modèle d'Univers statique et constante cosmologique (1917)

A partir de la mécanique newtonienne et de l'équation de Poisson gravitation et, il y avait déjà eu des tentatives pour décrire l'état général de l'Univers. En 1917, dans un célèbre article intitulé *Considérations cosmologiques sur la théorie de la Relativité générale*, A. Einstein propose un modèle cosmologique de l'Univers, à partir de l'équation qu'il a proposée quelques années plus tôt.

A. Einstein utilise ce qu'on appelle aujourd'hui le principe cosmologique. Ce principe stipule que l'Homme n'occupe pas une position privilégiée dans l'Univers. Cela se traduit par un Univers homogène et isotrope, c'est-à-dire semblable à lui-même quels que soient le lieu et la direction d'observation.

Au principe cosmologique, A. Einstein ajoute implicitement une autre hypothèse, celle que l'Univers est statique, c'est-à-dire n'évolue pas avec le Temps. Il propose de transformer l'équation de Poisson $\nabla^2 V^t = 4\pi G\rho$, en ajoutant ce qu'il appelle une constante Universelle Λ (appelée aujourd'hui constante cosmologique). Il obtient :

$$\nabla^2 V^t - \Lambda V^t = 4\pi G\rho \quad (6.44)$$

Nota

Si on change le signe de Λ et qu'on annule la source, avec $\nabla^2 V^t + \Lambda V^t = 0$, on peut interpréter l'introduction de Λ , comme l'Univers assimilé à un gros ressort, effectuant des oscillations mais ne s'étendant pas infiniment (c'est-à-dire contraire à l'idée d'un Univers en expansion).

Pour un ressort :

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0 \quad \text{avec} \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (6.45)$$

On a une solution du type :

$$x = A \cos(\omega_0 t) + B \sin(\omega_0 t) \quad (6.46)$$

A. Einstein effectue une approche semblable pour son équation $G_{ij} = R_{ij} - \frac{1}{2} g_{ij} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{ij}$. Il la transforme en introduisant une constante cosmologique Λ et obtient :

$$G_{ij} = R_{ij} - \frac{1}{2} g_{ij} R - g_{ij} \Lambda = \frac{8\pi G}{c^4} T_{ij} \quad (6.47)$$

IV.1.5 Modèle d'Univers en expansion, métrique de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker (années 1920)

Dans les années 1920, Willem de Sitter, Alexandre Friedmann et Georges Lemaître utilisent l'équation d'Einstein (celle sans constante cosmologique) pour développer un modèle d'Univers non plus statique, mais en expansion. Il s'agit du 1^{er} modèle de Big-bang, même si à l'époque, ce nom ne lui est pas encore attribué.

Ce modèle d'Univers en expansion est décrit par la métrique dite de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker qui reprend en partie la métrique de Schwarzschild (surtout pour les intervalles d'Espace) :

$$ds^2 = c^2 dt^2 - R(t)^2 \left(\frac{1}{1-kr^2} dr^2 + r^2 dS \right) \quad (6.48)$$

où :

- $R(t)$ est le rayon de l'Univers. Le signe de $\dot{R}(t)$ renseigne sur l'évolution de l'Univers. $\dot{R}(t) > 0$ pour un Univers en expansion, $\dot{R}(t) < 0$ pour un Univers en contraction et $\dot{R}(t) = 0$ pour un Univers statique, le tout considéré à l'instant t .

- k est la courbure de l'Espace, $k = \{-1, 0, +1\}$. Si $k = 0$ le modèle est dit plat (correspondant à l'espace euclidien de la Relativité restreinte), si $k = -1$ le modèle est dit ouvert (correspondant à une géométrie hyperbolique), et si $k = +1$ le modèle est dit clos (correspondant à une géométrie sphérique).
- $dS = d\Omega^2 = d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2$ l'intervalle d'Espace sur la sphère de surface S pouvant croître ou décroître.
- t est le Temps cosmique.

En examinant cette métrique, on constate qu'elle contient un certain nombre d'hypothèses implicites :

- que l'intervalle d'Espace varie proportionnellement au facteur $R(t)^2$ fonction des instants,
- enfin que le *Temps est orienté* à partir d'une origine.

Contrairement à la majorité des théories physiques (y compris la Relativité générale) qui sont possiblement réversibles dans le Temps, ce 1^{er} modèle de Big-bang est postulé non réversible dans le Temps.

L'idée d'une croissance (ou d'une décroissance) de l'Univers à partir d'un instant initial est implicitement contenue dans la métrique de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker. On retrouvera cela dans les autres modèles de Big-bang.

IV.1.6 Décalage vers le rouge (1929)

Les idées de W. de Sitter, A. Friedmann et G. Lemaître d'un Univers en expansion rencontrent surtout le scepticisme, voire l'indifférence. En 1927, G. Lemaître publie un article dont l'audience restera confinée. Il propose l'existence d'un rapport constant entre distance et vitesse d'éloignement de certaines nébuleuses (aujourd'hui appelées galaxies).

En 1929, Edwin Hubble publie un long article détaillé qui parvient cette fois à toucher un large public scientifique. Il constate un décalage vers le rouge du spectre discontinu de la lumière émis par les éléments chimiques des galaxies. Le décalage vers le rouge est proportionnel à la distance des galaxies depuis notre Galaxie, la Voie lactée. Ce décalage rappelle l'effet Doppler-Fizeau d'une onde lumineuse émise par une source qui s'éloigne de l'observateur.

E. Hubble propose alors que les galaxies s'éloignent de la Voie lactée, avec une vitesse proportionnelle à leur distance, c'est la loi de Hubble.

IV.1.7 Le fond diffus cosmologique prédit dans les années 1940 et découvert en 1965

Dans les années 1950, pour la première fois, le modèle est désigné sous le terme ironique de Big-bang par le physicien Fred Hoyle, qui lui-même défend les modèles d'état statique.

En 1965, le modèle du Big-bang reçoit une nouvelle confirmation expérimentale avec la découverte du fond diffus cosmologique. Pour bien comprendre, il faut remonter quelques années plus tôt, au modèle de Big-bang proposé par George Gamow, Ralph Alpher et Robert Herman.

L'expansion de l'Univers induit naturellement une densité plus grande par le passé. À l'instar d'un gaz qui s'échauffe lorsqu'on le comprime, l'Univers doit également avoir été plus chaud par le passé.

Dans les années 1940, G. Gamow, R. Alpher et R. Herman établissent que l'Univers doit être rempli d'un rayonnement électromagnétique qui perd de l'énergie du fait de l'expansion. Ce rayonnement électromagnétique devait être d'autant plus intense que l'Univers était dense. Il doit encore exister aujourd'hui, bien que considérablement affaibli.

Depuis les travaux de Gustav Kirchhoff en 1862, de Wilhelm Wien en 1896, ainsi que de Max Planck en 1900, on relie rayonnement électromagnétique émis par une source (appelée corps noir lorsqu'il est considéré comme un objet idéal) et sa température T .

On rappelle ci-dessous la loi de rayonnement de Planck, correction de celle de Wien pour les basses fréquences, qui vaut aussi pour son intérêt historique car elle introduit la constante h de Planck :

$$L_\lambda = \frac{C_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1} \quad (6.49)$$

L_λ luminance énergétique monochromatique,

λ longueur d'onde,

T température en kelvin,

$C_1 = 2\pi^5 hc^2$ avec c la vitesse de la lumière et h la constante de Planck,

$C_2 = \frac{hc}{k_B}$ avec k_B la constante de Boltzmann.

Dans leurs travaux, G. Gamow, R. Alpher et R. Herman suggèrent que la température actuelle du rayonnement électromagnétique de l'Univers peut être calculée à partir de la connaissance de l'âge de l'Univers (13,8 milliards d'années environ), de la densité de matière, et de l'abondance d'hélium.

En 1964-1965, Arno Allan Penzias et Robert Wilson découvrent un rayonnement électromagnétique, appelé aujourd'hui fond diffus cosmologique ou rayonnement fossile. Conformément aux prédictions de G. Gamow, R. Alpher et R. Herman, le rayonnement correspond à celui d'un corps noir à basse température (2,7 kelvins) (la température prédite étant toutefois sensiblement différente).

IV.2 Question que soulève le Big-bang, sources d'inspiration

Suite à cette confirmation expérimentale, le modèle du Big-bang acquiert le statut de théorie. Néanmoins, comme beaucoup de théories fascinantes, celle du Big-bang soulève davantage de questions qu'elle n'en résout. On cite ici le problème de l'observateur, on aborde ensuite les sources d'inspiration de la théorie.

IV.2.1 Le problème de l'observateur

« L'observateur est aussi essentiel à la création de l'Univers que l'Univers l'est à la création de l'observateur. »

J. A. Wheeler

Pour poursuivre sur cette phrase de J. A. Wheeler, l'une des principales questions soulevée par la théorie du Big-bang, c'est ce paradoxe d'une théorie relativiste, qui se construit sans observateurs, et qui est vérifiée par des observations (décalage vers le rouge, fond diffus cosmologique) qui nécessitent un observateur.

On suggèrera dans les prochains chapitres une réponse à cette contradiction.

IV.2.2 Sources d'inspiration

On relève dans la théorie du Big-bang deux types d'influences à priori contradictoires, les unes d'inspiration mystique, les autres d'inspiration scientifique.

On relève d'abord l'idée d'un dessein originel, avec un instant de création de l'Univers (et donc possiblement un Créateur), puis une marche de l'Univers en croissance perpétuelle vers un destin tracé, voire mystique.

On relève ensuite l'influence des théories évolutionnistes des espèces (théories développées au 19^{ème} siècle par Jean-Baptiste de Lamarck, Charles Darwin, etc.). L'univers est décrit tel un immense organisme qui se serait peu à peu construit. Dans toutes ces théories, on relève le principe d'une Histoire et d'un Temps orienté.

IV.3 Conclusion du chapitre

Le Big-bang est l'une des rares théories physiques postulées irréversibles dans le Temps. La théorie présente à la fois des prédictions étonnantes qui ont reçu confirmation et un problème conceptuel avec l'absence d'observateur.

Chapitre V Démarcation entre Vie et non Vie, l'approche phénoménologique, l'hypothèse Gaïa

Objet du chapitre

Pour répondre à la distinction entre le Temps de la physique et le Temps ressenti, on propose de caractériser la Vie par un Temps orienté. On parlera pour ce dernier de Temps biologique.

V.1 Démarcation entre Vie et non Vie

Selon le biologiste Ladislas Robert, chercheur spécialiste de l'immunologie et du vieillissement, le « Temps existe en biologie depuis l'apparition de la Vie sur Terre ».

Cette relation entre Temps et Vie nous interpelle dans notre question initiale posée dans ce mémoire : pourquoi le Temps utilisé dans les équations physiques semble aussi différent que le Temps ressenti ? Cela nous amène à proposer l'hypothèse suivante : la démarcation entre réversibilité temporelle et irréversibilité temporelle peut-elle être la même que celle entre non vivant et vivant ?

Cette hypothèse présente l'avantage de proposer une réponse simple à notre question initiale. Ce qui caractériserait le non vivant, ce serait une possible réversibilité temporelle. Et comme on l'a souligné, la plupart des théories physiques disposent d'une telle liberté.

Ce qui caractériserait le vivant, ce serait une irréversibilité temporelle, créée à partir de conditions d'origine, avec perte de libertés comme celle de la réversibilité temporelle, mais offrant en contrepartie le principe de causalité, la possibilité d'une Histoire et celle d'un destin.

Lorsqu'on observe dans les trois dimensions de l'Espace des corps matériels, ces derniers sont rarement symétriques dans les trois dimensions de l'Espace telles des sphères. La symétrie spatiale est simplement possible, elle n'est que très rarement exigée. Par analogie entre le Temps et l'Espace, la symétrie temporelle n'est que simplement possible.

En résumé, ce qui distinguerait le non vivant du vivant, c'est pour le premier une possible symétrie temporelle et pour le deuxième, une dissymétrie temporelle caractéristique, qu'on appelle la flèche du Temps.

Nota 1 sur une caractérisation du vivant par L. Pasteur

La démarcation entre le non vivant et le vivant n'est pas chose facile, tant le vivant possède les mêmes molécules, les mêmes atomes que le non vivant. Dans la seconde moitié du 19^{ème} siècle, Louis Pasteur propose la caractérisation la plus célèbre, et sans doute la plus énigmatique du vivant. En reprenant les travaux de E. Mitscherlich, il constate que le tartrate modifie la polarisation de la lumière, alors qu'une substance a priori identique : le paratartrate ne modifie pas cette polarisation.

Pour comprendre cela, rappelons que le tartrate est issu de la matière vivante, alors que le paratartrate provient de la matière minérale. Le tartrate et le paratartrate sont tous deux des substances dites chirales, c'est-à-dire composées de molécules non superposables avec leur symétrique dans un miroir.

Le tartrate, capable de modifier la polarisation de la lumière, est composé d'un seul type chiral de molécules. On parle de molécules lévogyres.

Le paratartrate, incapable de modifier la polarisation de la lumière, est composé des deux types chiraux de molécules. On parle de molécules lévogyres et dextrogyres. Ces molécules sont différenciées suivant la représentation de Fisher, par l'ordre des groupements que portent le carbone C central : groupement *COOH* en haut et groupement acide aminé *NH₂* à droite ou à gauche suivant que ce soit dextrogyre ou lévogyre.

L. Pasteur suppose que la capacité à modifier la polarisation de la lumière (c'est-à-dire le fait d'être des molécules d'un seul type chiral lévogyre) est une caractéristique de la matière vivante (ou autrefois vivante). Il interprète ainsi comme vivantes des entités qui autrefois, n'étaient pas considérées de la sorte. Il s'agit des levures, des microorganismes, etc. Suite à cela, L. Pasteur développe la vaccination et les expériences sur le système immunitaire. Cela ouvrira la voie aux antibiotiques.

Cette caractérisation de la Vie (d'un seul type chiral lévogyre) implique l'existence d'une orientation spatiale propre à la Vie. A voir s'il existe également une orientation spatio-temporelle propre à la Vie et un lien entre un seul type chiral lévogyre des molécules du vivant et la flèche du Temps biologique ?

Nota 2 sur le film d'un être vivant

Lorsqu'on passe le film d'un être vivant à l'envers, on s'aperçoit très rapidement de l'anomalie. Au contraire, lorsqu'on passe le film d'une planète ou d'un astéroïde en mouvement, il est quasiment impossible de distinguer l'envers de l'endroit.

Pour certains phénomènes naturels comme la pluie ou la neige, on s'aperçoit également s'ils sont passés à l'envers ou à l'endroit. A voir si ces phénomènes naturels ne peuvent pas en réalité être rapprochés de la Vie ?

V.2 L'approche phénoménologique

V.2.1 Une connaissance ontologique

L'idée de rapprocher la flèche du Temps de la Vie, et par conséquent du sujet, s'inscrit dans un vaste courant d'idées, entre science et philosophie, qualifié de phénoménologie. Les initiateurs de ce courant d'idées ont été au début du 20^{ème} siècle les philosophes Edmund Husserl, Martin Heidegger ou en France Maurice Merleau-Ponty. L'intérêt de la phénoménologie, c'est la richesse des applications offertes, à tous les domaines du possible.

L'idée de base de la phénoménologie est que le phénomène, à priori extérieur au sujet, contient en fait les principales informations sur lui.

L'exemple fréquemment cité est celui des notes de musiques. Pour un simple magnétophone, ces notes ne sont qu'une suite d'ondes sonores, mais pour un sujet humain, elles expriment une mélodie, des sensations, des souvenirs, des croyances, des espérances.

Les philosophes du courant phénoménologique ont coutume de dire que la connaissance d'un phénomène est ontologique (du grec ancien, onto, ce qui est). C'est-à-dire, le phénomène nous en apprend davantage sur le sujet, l'être qui observe et qui pense, que sur l'objet qui est observé.

Les idées phénoménologiques se développent à partir des années 1910. A l'origine, sans doute sont-elles influencées par les idées physiques de l'époque, en particulier par le principe de relativité, remis au goût du jour par H. Poincaré et A. Einstein.

Par exemple, suivant le principe de relativité, il n'existe pas de vitesse absolue, mais une différence de vitesse entre un objet et un sujet. La mesure de la vitesse, en apprend autant sur l'objet mesuré que sur le sujet mesurant.

Dans les années 1920-1930, les idées phénoménologiques influencent à leur tour la physique quantique de N. Bohr, de W. Pauli ou de W. Heisenberg, par exemple sur la dépendance du résultat de l'expérience en fonction du sujet.

A l'époque, grâce à l'équation de Schrödinger, on réussit à unifier la physique et la chimie. Cela provoque un optimisme contagieux parmi les scientifiques. Sur cet élan, W. Pauli pronostique une unification de l'étude du psyché et du physis (c'est-à-dire de la psychologie et de la physique) dans une nouvelle et prochaine science.

V.2.2 L'exemple du sens commun

Dans un petit essai, intitulé *Invitations aux sciences cognitives*, le biologiste Francisco Valera s'intéresse aux sciences cognitives, à l'intelligence artificielle et au fonctionnement de l'esprit humain. Il propose des réponses s'inscrivant dans l'approche phénoménologique, des réponses en définitive proches d'une explication subjective de la flèche du Temps.

Pour introduire les idées phénoménologiques dans les sciences cognitives, F. Varela souligne l'insuffisance des approches contenant un Univers prédéfini aux sujets et à leur esprit. Il prend comme exemple et argument le sens commun, qu'il définit comme un jugement identique, que nous autres êtres humains portons face à un événement (ou plus généralement un phénomène) vécu collectivement.

Une part d'acquis est décelable dans le sens commun : des êtres humains possédant une même culture, une même histoire, sont prédisposés à porter des jugements identiques face à un événement. On trouve également une part d'innée dans le sens commun, une part d'innée à priori énigmatique, qui ne permet pas de comprendre pourquoi des êtres humains portent des jugements identiques face à un événement.

Pour expliquer cette part d'innée dans le sens commun, F. Varela suggère que la réalité et la perception que l'on en a, est due autant, voire davantage, à notre nature d'être humain, qu'à la Nature extérieure.

Ainsi, puisque la réalité et la perception que l'on en a, se construisent principalement à travers notre nature d'être humain, et puisque nous-autres êtres humains partageons une nature identique, cela explique l'existence de jugements identiques portés par le sens commun des êtres humains.

V.2.3 L'activité de la Vie peut-elle créer la réalité ?

Dans son essai, F. Varela prolonge son raisonnement. Son idée n'est pas seulement que la réalité soit définie mentalement par le sujet lui-même, mais qu'elle soit également créée physiquement par le sujet.

Pour expliciter cela, F. Varela forge le concept d'énaction. Un concept qui suggère que l'activité de la Vie, lors de son Histoire, transforme et crée physiquement la réalité.

En effet, au quotidien, on constate que nos activités (artistiques, sportives, scientifiques ou autres) modifient la réalité qui nous entoure. Grâce à nos décisions et à nos actions, nous avons les moyens de transformer physiquement une part de notre réalité.

V.3 Une application, l'hypothèse Gaïa

V.3.1 La Vie construit un environnement favorable à son épanouissement

Dans les années 1970, le chimiste James Lovelock propose que la surface de la Terre et la couche atmosphérique qui l'entoure forme un hyper organisme qu'il baptise Gaïa. Il fait alors référence à une déesse de la Terre de la mythologie grecque.

Suivant une analogie avec chacun de nos organismes, qui sont constitués de multiples cellules et microorganismes interagissant entre eux, Gaïa serait constitué de tous les êtres vivants sur Terre (ainsi que de leur production), en interaction les uns avec les autres.

Dans son livre *La Terre est un être vivant, l'hypothèse Gaïa*, J. Lovelock rapporte que la source d'inspiration de l'hypothèse Gaïa, ce sont ses interrogations sur la façon de détecter la présence ou non de Vie sur les planètes sœurs de la Terre : Mars et Vénus.

Il répond à ses interrogations en suggérant d'analyser la composition atmosphérique de ces deux planètes. Mars contient 96,0 % de CO_2 , et Vénus 96,5 % de CO_2 , une composition à priori semblable à la Terre primitive d'il y a environ 4 milliards d'années. Au vu de ces compositions, J. Lovelock en

déduit qu'aucune action de la Vie n'intervient dans la composition atmosphérique des deux planètes. Il en retient que la Vie n'est sûrement pas présente sur Mars et Vénus.

Nota

A l'instar de L. Pasteur, J. Lovelock cherche aussi à caractériser la Vie. Le premier le fait par des molécules d'un seul type chiral lévogyre, le second le fait par l'action de la Vie sur la composition atmosphérique.

Par la suite, J. Lovelock développe l'idée que l'atmosphère de la Terre s'est peu à peu différenciée de celui de ses deux planètes sœurs par l'action de la Vie sur Terre. De ce fait, il réfute l'idée que les conditions de la Terre primitive aient été spécialement plus avantageuses que celles de Vénus ou Mars. Selon lui, pour expliquer la présence de Vie sur Terre, on ne peut simplement arguer que notre planète était bien positionnée, juste à la bonne distance du Soleil, afin de bénéficier de températures propices à la Vie.

Il soutient que la Vie s'est peu à peu construit sur Terre un environnement favorable à son propre épanouissement. Comme dans une boucle rétroactive globalement vertueuse, l'environnement terrestre a été transformé par l'action de la Vie. Cela a favorisé l'apparition de formes vivantes de plus en plus riches, de plus en plus diversifiées, de plus en plus complexes.

V.3.2 Etape majeure de transformation de l'environnement terrestre

Suivant J. Lovelock, on peut distinguer plusieurs grandes étapes de transformation de l'environnement terrestre.

Comme étape majeure, J. Lovelock cite l'apparition de la photosynthèse avec deux conséquences importantes pour Gaïa. D'une part, la photosynthèse a utilisé l'énergie solaire, du CO_2 et de l'eau pour produire de la matière organique. Par ce nouveau mécanisme, la matière organique s'est développée beaucoup plus rapidement qu'autrefois.

D'autre part, la photosynthèse a fortement augmenté le taux de dioxygène O_2 présent dans l'atmosphère.

Le dioxygène O_2 possède un grand pouvoir d'oxydation, il a provoqué la disparition de nombreux microorganismes qui ne pouvaient lui résister. Cependant, les microorganismes résistants ont su utiliser ce pouvoir pour produire leur propre énergie. Ça a été l'apparition de la respiration. En « brûlant » du glucose à partir de O_2 , les cellules ont produit bien plus facilement de l'énergie et ont accru leurs capacités de mouvement.

Avec beaucoup de justesse, J. Lovelock compare l'apparition du O_2 dans l'atmosphère à des lignes électriques haute-tension. Ces lignes haute-tension sont nettement plus dangereuses que la basse-tension, mais elles permettent de transporter de plus grandes quantités d'énergie, beaucoup plus loin, sans grosse perte d'énergie par effet joule.

Nota 1

Les antioxydants sont souvent présentés comme des agents actifs contre le vieillissement de nos cellules. Et c'est sans doute vrai ! Le fait que nos cellule soient encore fortement sensibles à l'oxydation et que cela accélère leur vieillissement, est la marque que les ancêtres de nos cellules se sont autrefois développés dans une atmosphère qui ne contenait pas ou très peu de O_2 .

Nota 2

Dans le modèle de la sélection naturelle darwinienne, les individus avatagés par les conditions de l'environnement présentent un avantage reproductif et ont donc plus de chance d'avoir une descendance importante.

J. Lovelock complexifie le modèle darwinien en ajoutant une boucle rétroactive qui confère aux individus la possibilité de modifier l'environnement. La modification de l'environnement peut prendre une direction qui soit défavorise, soit désavantage les individus.

V.4 Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre, on a proposé de caractériser la Vie par sa capacité à orienter l'une des quatre dimensions spatio-temporelles, y avançant continuellement dans un seul sens et créant ce qu'on appelle le Temps « biologique ». Ce Temps biologique contiendrait le précieux principe de causalité et permettrait la constitution d'une Histoire. Cela aurait été tout à l'avantage de la Vie.

On a ensuite effectué un parallèle entre cette caractérisation de la Vie, les idées phénoménologiques et l'hypothèse Gaïa. Selon cette hypothèse, la Vie sur Terre, aurait lors d'un cercle vertueux, modifié son environnement tout à son avantage, depuis des milliards d'années.

Dans le prochain chapitre, on revient sur le Big-bang, rare théorie physique à se postuler irréversible dans le Temps.

Chapitre VI L'origine de la Vie, le Big-bang un phénomène biologique ?

Objet du chapitre

On s'intéresse à l'origine de la Vie, on s'interroge si le Big-bang peut être interprété comme un pur phénomène biologique.

VI.1 Origine de la Vie selon les biologistes

VI.1.1 Phénomène biologique et phénomène à Temps orienté

Dans le chapitre précédent, on a proposé que tout phénomène à Temps orienté soit une caractéristique de la Vie, c'est-à-dire un phénomène biologique.

Précédemment, on a parlé de 3 flèches en physique : la flèche thermodynamique, la flèche microscopique et la flèche cosmologique.

Concernant la flèche thermodynamique, à l'instar du démon de Maxwell, la Vie est capable d'aller contre la croissance du désordre, de l'entropie et de l'information manquante. En agissant contre le second principe de la thermodynamique, la Vie peut inverser le cours du Temps thermodynamique, et suivre son propre Temps : le Temps biologique.

Concernant la flèche microscopique, on penche dans ce mémoire pour son absence au niveau des particules élémentaires. Le théorème CPT n'est à priori valable que pour l'interaction électromagnétique et pas pour l'interaction faible.

Reste maintenant à éclairer la flèche cosmologique et la théorie du Big-bang. C'est ce que nous allons étudier dans ce chapitre, préalablement à travers l'origine de la Vie.

VI.1.2 Protéines et ADN

La Vie est constituée de la symbiose de deux entités radicalement différentes. D'une part, on trouve des chaînes d'acides aminés plus communément appelées les protéines. Leur principale fonction est de catalyser les réactions chimiques dans l'organisme et donc de lui assurer une certaine stabilité thermodynamique.

D'autre part, on trouve des chaînes de nucléotides dont l'ARN et l'ADN sont les plus célèbres représentants. Ce sont les principaux (uniques ?) supports de l'information génétique.

Les modèles sur l'origine de la Vie peuvent être répartis en deux grandes catégories. D'une part, il y a les modèles qui postulent la primauté des chaînes de nucléotide, ARN ou ADN. On rapproche ces modèles des théories de l'information, puisque ARN et ADN sont des supports de l'information génétique.

D'autre part, il y a les modèles fondés sur le pouvoir d'autorégulation des entités vivantes, sur les réactions chimiques et donc davantage sur les protéines. On peut interpréter ce pouvoir d'autorégulation comme un rétablissement de l'ordre contre le désordre, c'est-à-dire une lutte contre le 2^{ème} principe de la thermodynamique (la croissance irréversible de l'entropie). On rapproche ces modèles des théories thermodynamiques. Ils ont également un lien avec l'information si l'on associe croissance de l'entropie et croissance de l'information manquante.

Aujourd'hui, les modèles à ARN ont la faveur des biologistes. En effet, dans les années 1980, Tom Cech et Sidney Altman découvrent indépendamment que certains ARN, ensuite appelés ribozymes, ont un rôle de catalyseur comme les protéines. Suite à cela, se développe l'hypothèse du monde à ARN, avec l'ARN considéré comme l'entité primordiale de la Vie.

VI.1.3 Prérequis à l'apparition de la Vie

Dans son ouvrage *Les transitions Majeures en Évolution*, le biologiste et ancien ingénieur aéronautique John Maynard Smith définit par ordre chronologique les grandes étapes de la Vie :

1. Réplication (production de clones grâce à l'hypothèse du monde à ARN),
2. Catalyse (d'abord l'ARN à la fois gène et enzymes, puis l'ADN en tant que gène et les protéines en tant qu'enzymes),
3. Symbiose (par exemple, union symbiotique de cellules procaryotes sans noyau, et apparition des cellules eucaryotes avec noyau),
4. Sexualité, échange de gènes pour former de nouveaux individus,
5. Apparition des êtres vivants multicellulaires,
6. Apparition des sociétés d'individus,
7. Apparition des sociétés humaines dotées de culture et de langage.

A noter que J. M. Smith place la réplication avant la catalyse. Lui-aussi donne une primauté aux théories de l'information et à l'ARN, face aux théories thermodynamiques et à protéines. Il reprend également les idées de Lynn Margulis et accorde une place importante à la symbiose entre entités vivantes dans les transitions majeures de l'Evolution.

Nota sur le monde à ARN

Il subsiste de nombreuses interrogations sur le monde à ARN. Par exemple, comment la sélection naturelle a-t-elle joué pour créer l'ARN ? Y a-t-il eu plusieurs codes génétiques en concurrence ?

VI.1.4 Approche physique d'un problème de biologie

Les biologistes en sont à l'hypothèse du monde à ARN, mais l'ARN apparaît déjà d'une complexité redoutable pour les physiciens qui étudient le Modèle des quarks. Il semble qu'entre les quarks et l'ARN, il y ait de nombreuses étapes à franchir. Il faut d'autres prérequis à l'apparition de la Vie, beaucoup plus en amont. Sans prétention d'exhaustivité, on citera :

- le problème du Temps,
- la primauté de la matière, face à l'antimatière,
- la constitution de l'atome et des éléments chimiques.

VI.1.5 L'Univers en évolution, vu comme une complexité croissante avec la Vie qui en émerge peu à peu

Une autre façon d'aborder le problème de l'origine de la Vie, est de ne pas poser de différence fondamentale entre la Vie et la non Vie. L'Univers apparaît comme une entité en évolution, avec une augmentation au cours du Temps biologique de la complexité. Il n'y a pas de discontinuité entre un Univers qui était autrefois inerte et sans sujet, et un Univers doté de la Vie et donc de sujets.

En gros, la Vie diffère de la matière inerte par une complexité de plus en plus grande dans son organisation. On règle en quelque sorte le problème de l'origine, puisque l'origine de la Vie se confond avec l'origine de l'Univers comme le point instant initial du début de la complexification. La Vie ne se différencie pas alors radicalement de la matière inerte : elle est déjà présente lors du Big-bang, ou tout du moins sous-jacente.

On peut qualifier cette hypothèse d'animiste au sens que tout dans l'Univers est vivant, où ne s'en distingue pas radicalement. Si cette approche partage des ressemblances avec les idées présentées ici, elle présente néanmoins une contradiction avec ce qu'on a proposé précédemment. En effet, dans ce cas, la Vie ne se distinguerait pas radicalement de la matière par son orientation dans le Temps.

VI.2 Le Big-bang, l'origine de la vie ?

« Certains croient que de la matière naît la Vie, mais dans 10 000 ans de ça, ne s'apercevront pas plutôt que de la Vie naît la matière ? »

Louis Pasteur

Dans ce paragraphe, s'inspirant de cette phrase de L. Pasteur, on va suggérer que ce n'est pas de la matière que naît la Vie, mais au contraire, que c'est de la Vie que naît la matière.

VI.2.1 Retrouver un sujet pour la théorie du Big-bang

On a déjà évoqué la découverte en 1965 par A. Penzias et R. Wilson d'un fond diffus cosmologique, qui confirme spectaculairement les prévisions du modèle de Big-bang de Gamow Alpher Herman.

Toutefois, suivant les idées phénoménologiques, la théorie du Big-bang et sa confirmation expérimentale posent problème. En effet, dans la première, le sujet est absent, seul l'objet existe, ou plutôt se met à exister, alors que dans la deuxième, sujet et objets existent, soulignant une incohérence entre prédiction théorique et confirmation expérimentale.

On peut même s'interroger si la découverte d'un fond diffus cosmologique, avec sujet, peut être la confirmation d'une théorie avec absence de sujet. L'inconvénient, c'est que dans certaines approches phénoménologiques, l'objet sans sujet n'a pas vraiment de sens. Il reste indéfinissable.

Cependant, puisque ce fond diffus cosmologique doit bien signifier quelque chose, et qu'il semble confirmer de manière étonnante la théorie du Big-bang, il est tentant de postuler pour l'époque du Big-bang l'existence d'un sujet. Cela rend alors sa cohérence entre prédiction théorique et vérification expérimentale, toutes deux incluant une relation sujet objet.

Ce sujet n'est évidemment pas un être humain, il pourrait même plutôt être le tout début de la Vie, ce phénomène se confondant alors avec le Big-bang.

VI.2.2 Un lien profond avec nos ancêtres qui nous permet de percevoir le fond diffus cosmologique

On se remémore alors les idées du biologiste Ernst Haeckel fervent admirateur de C. Darwin et des idées évolutionnistes.

A la fin du 19^{ème} siècle, E. Haeckel propose une hypothèse fascinante : que l'ontogénèse résume la phylogénèse. C'est-à-dire que tout être vivant résume lors des premiers instants de sa vie, l'évolution des espèces, ou le long chemin qu'ont autrefois accompli ses ancêtres. Qu'on songe par exemple aux doigts palmés qui apparaissent chez le fœtus humain, puis qui disparaissent, chaque être vivant retracerait une évolution en raccourci de celle de ses ancêtres.

Même si l'hypothèse d'E. Haeckel a parfois été mise en difficulté, elle est aujourd'hui plutôt confirmée par les résultats de la biologie moléculaire.

Suivant cette hypothèse, nous, êtres humains, porterions encore en nous une part des caractéristiques les plus primitives de la Vie. Caractéristiques qui nous rattacheraient aux tous premiers instants de la Vie, caractéristiques qui nous permettraient encore aujourd'hui de percevoir le fond diffus cosmologique.

VI.2.3 La Vie construit un Univers favorable à son épanouissement

Racontons alors l'Histoire suivante qui aurait commencé il y a plus de 13 milliards d'années.

A partir d'un Univers très libre, à 4 dimensions identiques et sans histoires, la Vie se serait constituée en construisant les conditions nécessaires à son existence. Elle aurait eu le désir d'avancer continuellement dans un seul sens, dans l'une des 4 dimensions existantes. Elle aurait créé un Univers du vivant adapté à son développement. Le Temps orienté et la matière organisée serait apparu.

L'Univers du vivant, dit raisonnable, serait d'ailleurs très proche de celui imaginé par G. Lemaître, G. Gamow, et bien d'autres, contenant l'irréversibilité temporelle, le principe de causalité, et des singularités dans l'Espace-Temps, comme ces trous noirs ou ce Big-bang.

On serait passé de la physique avec un Temps à 2 sens, reposant sur le principe de moindre action, à l'Histoire avec un Temps orienté, reposant sur le principe de causalité.

Le bang en serait encore plus fascinant, il aurait explosé non pas pour l'apparition de l'Univers, mais pour celle de la Vie.

Les flèches du Temps, celle du vivant (souvent qualifiée de psychologique) et celle du Big-bang (souvent qualifiée de cosmologique) auraient une unique origine : le vivant. A ces deux flèches, on pourrait ajouter la flèche cognitive, c'est-à-dire la flèche de l'intelligence et de la connaissance, qui viendrait s'opposer à la flèche de l'entropie et de l'information manquante.

Pour générer cet Univers du vivant, les systèmes vivants, pour vivre ensemble, auraient avancé de la même façon dans le Temps, à chaque instant. Ils auraient peu à peu façonné l'Univers du vivant tel que nous le connaissons aujourd'hui.

Suivant cette hypothèse, Gaïa ne serait pas seulement la surface de la Terre et son atmosphère, mais l'Univers du vivant dans sa globalité.

Nota 1 sur des systèmes cycliques dans le Temps

Il existe de nombreux systèmes cycliques dans l'Espace. Citons par exemples les molécules aromatiques (benzène, etc.), les chaînes alimentaires ou les rings networks. Suivant une analogie entre l'Espace et le Temps, on peut imaginer des systèmes cycliques dans le Temps, avec une possible remonté dans le passé.

Ces systèmes cycliques dans le Temps ne concerneraient pas à priori les êtres vivants, sauf peut-être au tout début de la Vie.

Imaginons qu'au début de la Vie (en fait juste avant le Big-bang et le Temps orienté), les précurseurs des êtres vivants n'avançaient pas tout à fait dans un seul sens du Temps, que cela serait venu par la suite. Ces précurseurs pouvaient présenter des systèmes cycliques dans le Temps.

Ce genre d'idée pourrait résoudre le problème de l'œuf et de la poule, ou le problème de l'ADN et de la protéine. L'un n'a pas à générer l'autre, puisque ces deux entités pouvaient autrefois être associées dans un système cyclique dans le Temps.

Dans ce cas, la question, c'est savoir s'il subsiste des traces de ces systèmes cycliques dans le Temps, précurseurs des êtres vivants. Comment ces systèmes cycliques dans le Temps pourraient se manifester dans ce qu'on voit aujourd'hui de l'Univers ?

Nota 2 sur l'existence d'autres formes de vie

Depuis les années 1990, de nombreuses exo-planètes ont été découvertes à travers notre Galaxie. Certains scientifiques supposent l'existence de formes de vie sur ces exo-planètes. Dans ce cas, ces formes de vie partagent-t-elles avec la vie sur Terre une origine commune ou sont-elles totalement indépendantes ?

La question rappelle un peu les débats menés au 19^{ème} sur la génération spontanée. D'un côté, on a Félix Archimède Pouchet comme figure de proue, qui croit en la possible apparition de multiples formes de vie. De l'autre, on a L. Pasteur, qui croit en l'unicité de l'origine de la Vie.

Dans ce mémoire, on propose de lier le Big-bang à notre lignée de vie. Cela implique une singularité de notre lignée et la quasi impossibilité de découvrir d'autres lignées indépendantes.

Si nous détectons sur d'autres planètes d'autres entités vivantes, alors celles-ci partageront avec nous une origine commune, et elles présenteront des ressemblances.

Néanmoins, après tout, peut-être existe-t-il d'autres formes de vie ? Mais leur temps n'est pas le nôtre, leur Big-bang n'est pas le nôtre. Pour nous, ils vivent tout simplement dans d'autres Univers.

VI.3 Mon Big-bang

VI.3.1 Le ressenti du Temps biologique

Dans le très beau livre *Moi et les autres : initiation à la génétique*, le généticien et mathématicien Albert Jacquard parle de mon Big-bang, c'est-à-dire pour chacun, de son instant originel, là où le spermatozoïde du père rencontre l'ovule de la mère. De manière très juste, A. Jacquard met en parallèle le Big-bang de chacun, le début d'une vie individuelle, avec le fameux Big-bang des physiciens, vu comme l'instant originel de l'Univers, et interprété ici comme le début de la Vie.

Dans son ouvrage, A. Jacquard souligne que le ressenti du Temps biologique se mesure comme un logarithme. Pour nous tous, la naissance semble dater d'une éternité, provenir d'un passé infiniment lointain. Nous n'en avons même plus le souvenir !

Pour l'instant 0 de chacun, on a en mesure logarithmique : $\log 0 = -\infty$. De même, en vieillissant, le Temps semble apparaître comme une courbe logarithmique.

En échelle logarithmique, le $-\infty$ de la naissance de chaque individu peut se confondre avec le $-\infty$ du Big-bang ou de l'apparition du vivant.

A nouveau, cela rappelle l'hypothèse d'E. Haeckel, la récapitulation par l'ontogénèse de la phylogénèse. En reproduisant les grandes étapes de l'évolution, l'être vivant retrace le long chemin de la Vie, en un Temps accéléré. Cela lui permet de rejoindre le reste des êtres vivants, dans un présent où tous, nous avançons concomitamment dans le même Temps.

VI.3.2 Conclusion du chapitre

Dans le précédent chapitre, on a proposé de caractériser la Vie par son Temps orienté. Ainsi, tout phénomène physique à Temps orienté serait en fait un phénomène biologique.

Dans ce chapitre, on a proposé d'interpréter le Big-bang comme un phénomène biologique. Il correspondrait au début de la Vie, c'est-à-dire à l'instant où la Vie a eu le désir d'avancer continuellement dans une même direction et dans un seul sens.

Dans le prochain chapitre, on va intéresser aux procédés mis en œuvre par les êtres vivants pour se caler sur le même Temps, et ainsi vivre ensemble.

Chapitre VII Comment vivre ensemble dans le même Temps ? L'hypothèse Temps lumière

Objectif du chapitre

Dans ce chapitre, on revient d'abord sur les idées développées par A. Einstein dans la théorie de la Relativité restreinte sur les déformations des distances et des durées. Partant de l'idée d'un Temps déformable, on s'intéresse ensuite aux procédés utilisés par les êtres vivants pour se caler sur les mêmes instants, c'est-à-dire vivre ensemble.

Idée 9. L'hypothèse Temps lumière : la vitesse de la lumière toujours mesurée constante quel que soit le mouvement de l'observateur, pourrait être une caractéristique de l'avancée dans l'Espace et dans le Temps, identique et partagée, des êtres humains vivant ensemble.

VII.1 L'incompatibilité apparente entre le principe de relativité énoncé par G. Galilée et la propagation de la Lumière

VII.1.1 Préambule

En 1916, A. Einstein publie un petit ouvrage de vulgarisation intitulé *la Relativité* où il rappelle sa vision de la Relativité restreinte et générale. Pour la rédaction de cet ouvrage, il s'inspire d'un long article de synthèse publié aussi en 1916 *Les fondements de la théorie de la Relativité Générale*¹ reprenant nombres d'idées développées depuis ses premiers articles de 1905.

Dans le chapitre 7 de la *Relativité*, A. Einstein revient sur l'incompatibilité apparente entre le principe de relativité énoncé par G. Galilée et les expériences réalisées à la fin du 19^{ème} siècle par A. Michelson et E. Morley, sur la propagation de la lumière. Suivant ces expériences, la vitesse de la lumière est toujours mesurée constante, quel que soit le mouvement de l'observateur, en contradiction donc avec le principe de relativité galiléenne.

Dans les chapitres 8 à 13, on ne peut qu'être conquis par la solution proposée par A. Einstein pour régler cette apparente incompatibilité. Il remet d'abord en cause la notion de simultanéité, puis propose les notions de déformations des durées et des distances (déformations de l'Espace-Temps), conciliant ainsi principe de Relativité et propagation de la Lumière.

Nota

Cela se traduit mathématiquement par le remplacement de la transformée de Galilée par la transformée de Lorentz vu dans le 1^{er} mémoire.

Dans les paragraphes qui suivent, on va proposer une approche alternative et intuitive des notions de déformations des durées et des distances, afin de retrouver les grands résultats de la Relativité restreinte. L'approche permettra aussi de mieux comprendre les notions de déformations des durées et des distances, tout du moins de les expliciter autrement.

VII.1.2 Expérience, vitesses de signaux lumineux

Soient un miroir et un expérimentateur $E1$. Miroir et $E1$ sont fixes l'un par rapport à l'autre. L'expérimentateur $E1$ envoie un signal lumineux vers le miroir. $E1$ connaît la distance le séparant du miroir et mesure la durée mise par le signal lumineux pour effectuer l'aller-retour. Il en déduit la vitesse du signal lumineux :

$$c = \frac{dx}{dt} \quad (6.50)$$

¹ « *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie* » *Annalen der Physik*, vol XLIX, 1916, p. 769-882

Soit un miroir fixe et un expérimentateur $E2$, qui selon $E1$ avance à une vitesse v le long de ce miroir. $E2$ envoie un signal lumineux vers le miroir. On cherche la vitesse de la lumière $\frac{dx}{dt}$ que mesure $E2$ selon $E1$?

Si on applique le principe de relativité galiléenne, on a le diagramme des vitesses :

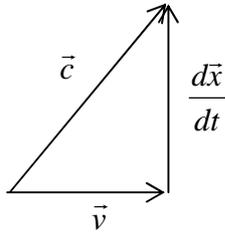


Figure 8 : diagramme des vitesses

Suivant le théorème de Pythagore, on a :

$$c^2 = \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + v^2 \quad (6.51)$$

Selon $E1$, $E2$ mesure pour la lumière une vitesse inférieure à ce que lui a mesuré :

$$\frac{dx}{dt} = \sqrt{c^2 - v^2} \quad (6.52)$$

Or expérimentalement, $E2$ mesure également une vitesse de la lumière :

$$c = \frac{dx}{dt} \quad (6.53)$$

VII.1.3 Déformation des durées

Pour résoudre l'incompatibilité apparente entre principe de relativité galiléenne et cette expérience rappelant celles d'A. Michelson et E. Morley, A. Einstein imagine que les durées propres de $E2$ (qui se considère immobile) : dt_0 , sont différentes de celles de $E1$ (qui considère $E2$ avancer à une vitesse v) : dt .

Dans le temps de $E1$, $E2$ mesure : $\frac{dx}{dt} = \sqrt{c^2 - v^2}$. Et dans son propre temps, $E2$ mesure :

$$\frac{dx}{dt_0} = c.$$

On obtient bien une vitesse c mesurée par $E2$ et un Temps qui devient déformable avec l'introduction de dt_0 . Le Temps n'est plus un absolu. Son écoulement est lié à la vitesse de l'expérimentateur.

Pour trouver la relation entre les durées de $E1$ et celles de $E2$, on part de dx qui reste identique pour $E1$ et $E2$:

$$dx = \sqrt{c^2 - v^2} dt = dx = c dt_0 \quad (6.54)$$

On obtient la relation entre les durées propres dt_0 de $E2$ et les durées dt de $E1$:

$$dt = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} dt_0 \quad (6.55)$$

On pose généralement :

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} > 1 \quad (6.56)$$

Les durées d'un corps (ici $E2$) qui se considère immobile sont donc toujours plus petites que celles d'un corps (ici $E1$) qui le considère en mouvement v par rapport à lui.

On introduit les notations suivantes :

- les durées de $E2$ par rapport à $E1$ (durées de $E2$ dans le référentiel de $E1$) :
 $dt = [dt_{E2}]_{R^{E1}} = dt_{E2/E1}$,
- les durées de $E2$ par rapport à $E2$ (durées de $E2$ dans le référentiel de $E2$) :
 $dt_0 = [dt_{E2}]_{R^{E2}} = dt_{E2/E2}$.

On a la relation :

$$dt_{E2/E1} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} dt_{E2/E2} \quad (6.57)$$

Nota :

On suppose que les durées propres sont les mêmes pour tout le monde. On a donc pour des expérimentateurs $E1$, $E2$ ou pour un corps A quelconque :

$$dt_0 = dt_{E2/E2} = dt_{E1/E1} = dt_{A/A} \quad (6.58)$$

On a donc également :

$$dt_{E2/E1} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} dt_{E1/E1} \quad (6.59)$$

VII.1.4 Déformation des distances

Le même raisonnement peut s'appliquer pour les distances. Pour résoudre l'incompatibilité apparente entre principe de relativité galiléenne et expérience, on imagine que les distances propres de $E2$ dx_0 , sont différentes de celles de $E1$ dx .

Dans l'espace de $E1$, $E2$ mesure : $\frac{dx}{dt} = \sqrt{c^2 - v^2}$, et dans son propre espace, $E2$ mesure :

$$\frac{dx_0}{dt} = c.$$

On obtient bien une même vitesse c mesurée par $E2$ et un Espace qui devient déformable avec l'introduction de dx_0 .

Pour trouver la relation entre les distances de $E1$ et celles de $E2$, on part de dt qui reste ici identique pour $E1$ et $E2$:

$$\frac{dx}{\sqrt{c^2 - v^2}} = dt = \frac{dx_0}{c} = dt \quad (6.60)$$

$$\frac{dx}{dx_0} = \frac{\sqrt{c^2 - v^2}}{c} \quad (6.61)$$

On obtient :

$$dx = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} dx_0 \text{ avec } \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} < 1 \quad (6.62)$$

Les distances d'un corps (ici $E2$) qui se considère immobile sont donc toujours plus grandes que celle d'un corps (ici $E1$) qui le considère en mouvement v par rapport à lui.

On introduit les notations suivantes :

- les distances de $E2$ par rapport à $E1$ (distances de $E2$ dans le référentiel de $E1$) :
 $dx = [dx_{E2}]_{R^{E1}} = dx_{E2/E1}$,
- les distances de $E2$ par rapport à $E2$ (distances de $E2$ dans le référentiel de $E2$) :
 $dx_0 = [dx_{E2}]_{R^{E2}} = dx_{E2/E2}$.

On a la relation :

$$\boxed{dx_{E2/E1} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} dx_{E2/E2}} \quad (6.63)$$

Nota

On suppose que les distances propres sont les mêmes pour tout le monde. On a donc pour des expérimentateurs $E1$, $E2$ ou pour un corps A quelconque :

$$dx_0 = dx_{E2/E2} = dx_{E1/E1} = dx_{A/A} \quad (6.64)$$

$$dx_{E2/E1} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} dx_{E1/E1} \quad (6.65)$$

VII.1.5 Déformation des distances et des durées

On peut imaginer avoir à la fois des déformations des distances et des durées.

Les durées propres et distances propres doivent alors vérifier la relation :

$$\frac{dt_0}{dt} \times \frac{dx}{dx_0} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (6.66)$$

$$\boxed{\frac{dt_{E2/E2}}{dt_{E2/E1}} \times \frac{dx_{E2/E1}}{dx_{E2/E2}} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (6.67)$$

VII.2 Notion de déformation des distances ou d'avancée dans l'Espace

VII.2.1 Définition

On a la relation suivante entre deux expérimentateurs $E1$ et $E2$:

$$dx_{E2/E1} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} dx_{E1/E1} \quad (6.68)$$

On a une relation semblable pour un expérimentateur E qui étudie un corps A :

$$dx_{A/E} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} dx_{E/E} \quad (6.69)$$

On définit la déformation des distances, qui peut s'interpréter comme une avancée dans l'Espace :

$$\alpha_{A/E}^x = \frac{dx_{A/E}}{dx_{E/E}} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \text{ avec } \alpha_{A/E}^x < 1 \quad (6.70)$$

VII.2.2 Etude de la vitesse d'un corps A

Soit $v_{A/E}$ la vitesse du corps A lorsque E s'estime avancer à la vitesse de la lumière.

Soit $v_{E/E} = c$ la vitesse du corps E lorsque E s'estime avancer à la vitesse de la lumière.

Soit $v_{A/E+E} = v$ la vitesse du corps A lorsque E s'estime immobile.

On se place dans le cas où seules les distances se déforment. Par définition de la vitesse, on a :

$$v_{A/E} = \frac{dx_{A/E}}{dt_{E/E}} \quad (6.71)$$

On obtient :

$$v_{A/E} = \frac{dx_{A/E}}{dt_{E/E}} = \frac{dx_{A/E}}{dx_{E/E}} \times \frac{dx_{E/E}}{dt_{E/E}} = \alpha_{A/E}^x v_{E/E} \quad (6.72)$$

On a la relation entre la déformation des distances et la vitesse :

$$v_{A/E} = \alpha_{A/E}^x v_{E/E} = \sqrt{1 - \frac{v_{A/E+E}^2}{v_{E/E}^2}} v_{E/E} \quad (6.73)$$

avec $\alpha_{A/E}^x < 1$

E observe pour tous les corps A une vitesse inférieure à la sienne $v_{E/E}$.

VII.2.3 Multiplications des déformations des distances, relation de composition

Soit un corps A avançant à la vitesse initiale $v_{A/E}^0 = \alpha_{A/E}^{x0} \times v_{E/E}$, mesurée par l'expérimentateur E, avec une déformation initiale des distances égale à $\alpha_{A/E}^{x0}$.

Le corps A pénètre dans un corps B où les distances sont contractées de $\alpha_{B/E}^x$.

On interprète la pénétration du corps A dans le corps B, de la manière suivante : la déformation des distances du corps A, mesurée initialement par rapport à l'expérimentateur E, est maintenant mesurée par rapport au corps B, avec une déformation des distances du corps A conservant la même valeur.

La traduction en équation est :

$$\alpha_{A/B}^{x1} = \alpha_{A/E}^{x0} \quad (6.74)$$

On souhaite maintenant calculer la nouvelle contraction des distances du corps A par rapport à l'expérimentateur E. On a :

$$\alpha_{A/E}^{x1} = \alpha_{A/B}^{x1} \times \alpha_{B/E}^{x1} = \alpha_{A/E}^{x0} \times \alpha_{B/E}^{x0} \quad (6.75)$$

On pose :

$$\alpha_{A/E}^{x1} = \alpha_{A \times B/E}^x \quad (6.76)$$

On obtient la relation de composition pour les déformations des distances :

$$\alpha_{A \times B/E}^x = \alpha_{A/E}^x \times \alpha_{B/E}^x \quad (6.77)$$

La vitesse du corps A dans le corps B, mesurée suivant les distances de l'expérimentateur E est égale à :

$$v_{A \times B/E} = \alpha_{A/E}^{x1} v_{E/E} \quad (6.78)$$

On obtient :

$$v_{A \times B/E} = \alpha_{A/E}^x \times \alpha_{B/E}^x v_{E/E} \quad (6.79)$$

VII.3 Notion de déformation des durées ou d'avancée dans le Temps

VII.3.1 Définition

On a la relation suivante entre deux expérimentateurs $E1$ et $E2$:

$$dt_{E2/E1} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} dt_{E1/E1} \quad (6.80)$$

On a une relation semblable pour un expérimentateur E qui étudie un corps A :

$$dt_{A/E} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} dt_{E/E} \quad (6.81)$$

On définit la déformation des durées, qui peut s'interpréter comme une avancée dans le Temps :

$$\alpha_{A/E}^t = \frac{dt_{A/E}}{dt_{E/E}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ avec } \alpha_{A/E}^t > 1 \quad (6.82)$$

VII.3.2 Etude de la vitesse d'un corps A

On se place dans le cas où seules les durées se déforment. Par définition de la vitesse, on a :

$$v_{A/E} = \frac{dx_{A/E}}{dt_{E/E}} \quad (6.83)$$

On obtient :

$$v_{A/E} = \frac{dx_{E/E}}{dt_{A/E}} = \frac{dt_{E/E}}{dt_{A/E}} \times \frac{dx_{E/E}}{dt_{E/E}} = \frac{1}{\alpha'_{A/E}} v_{E/E} \quad (6.84)$$

On a la relation entre la déformation des durées et la vitesse :

$$\boxed{v_{A/E} = \frac{1}{\alpha'_{A/E}} v_{E/E} = \sqrt{1 - \frac{v_{A/E+E}^2}{v_{E/E}^2}} v_{E/E}} \quad (6.85)$$

avec $\alpha'_{A/E} > 1$

E observe donc pour tous les corps A une vitesse inférieure à la sienne $v_{E/E}$.

VII.3.3 Relation de composition

On a la même relation de composition pour les déformations des durées que pour les déformations des distances :

$$\alpha'_{A \times B/E} = \alpha'_{A/E} \times \alpha'_{B/E} \quad (6.86)$$

On obtient :

$$v_{A \times B/E} = \frac{1}{\alpha'_{A/E} \times \alpha'_{B/E}} v_{E/E} \quad (6.87)$$

VII.4 Déformations concomitantes des durées et des distances

Par définition de la vitesse, on a :

$$v_{A/E} = \frac{dx_{A/E}}{dt_{A/E}} \quad (6.88)$$

Se plaçant dans le cas où distances et durées se déforment, on a :

$$v_{A/E} = \frac{dx_{A/E}}{dx_{E/E}} \times \frac{dt_{E/E}}{dt_{A/E}} \times \frac{dx_{E/E}}{dt_{E/E}} \quad (6.89)$$

$$\boxed{v_{A/E} = \frac{\alpha^x_{A/E}}{\alpha^t_{A/E}} v_{E/E}} \quad (6.90)$$

avec $v_{E/E} = c$ et $\frac{\alpha^x_{A/E}}{\alpha^t_{A/E}} = \sqrt{1 - \frac{v_{A/E+E}^2}{v_{E/E}^2}} < 1$

Nota choix de conventions pour la description de mouvements

Pour étudier la vitesse de la lumière, un expérimentateur E peut se considérer :

- soit comme immobile et la lumière avançant à une vitesse c ,
- soit comme avançant à la vitesse c et la lumière immobile.

Le tableau suivant récapitule ces deux conventions, avec les notations utilisées dans ce mémoire :

	Vitesse de la lumière	Vitesse de E	Vitesse de A
E immobile et la lumière avançant à la	$v_{L/E+E} = c$	$v_{E/E+E} = 0$	$v_{A/E+E} = v$

vitesse c			
E avançant à la vitesse c et la lumière immobile	$v_{L/E} = 0$	$v_{E/E} = c$	$v_{A/E} = \sqrt{c^2 - v^2}$

VII.5 Que nous indique la vitesse constante c de la lumière ? L'hypothèse Temps Lumière

Plaçons-nous maintenant dans une approche fonctionnaliste. C'est-à-dire, interprétons l'Univers comme une grosse machine où tous les éléments auraient une fonction (on peut même parler d'utilité). Suivant cette approche, interrogeons-nous sur la fonction d'une vitesse constante c de la lumière quel que soit le référentiel ?

Parallèlement, suivant l'hypothèse d'un Temps déformable et possiblement à 2 sens, interrogeons-nous sur les procédés que nous utilisons, nous êtres humains qui vivons ensemble (ou plus largement tous les êtres vivants), pour nous positionner sur les mêmes instants ?

Soit une lumière L et un expérimentateur E . Quel que soit l'instant de la mesure, on a :

$$v_{L/E+E} = c, \quad v_{E/E+E} = 0 \quad (6.91)$$

$$v_{L/E} = 0, \quad v_{E/E} = c \quad (6.92)$$

Ces 4 relations sont vraies *quel que soit l'expérimentateur E* . Suivant une approche phénoménologique, elles introduisent implicitement un lien entre tous les sujets mesurant la vitesse de la lumière.

Proposons alors que la mesure de la vitesse c toujours constante de la lumière, indique l'existence d'un lien identique et partagé par tous les expérimentateurs vivant ensemble. Ce lien, perte d'une liberté, permet en contrepartie aux expérimentateurs de vivre ensemble, d'avancer concomitamment dans l'Espace et dans le Temps.

On a commencé poétiquement cet essai en imaginant des rotations dans des plans spatiotemporels. On le finit tout aussi poétiquement en imaginant la constante c , comme la caractéristique d'une avancée dans l'Espace et le Temps, partagée et identique à tous les êtres humains qui vivent ensemble, leur permettant de se positionner sur les mêmes instants.

Cette constance c est grande, mais c'est vrai que la vie s'écoule si vite ! Cette hypothèse est baptisée l'hypothèse Temps Lumière.

Notre souci initiale, c'est l'inutilité à priori d'une vitesse constante c et indépassable de la lumière, avec un agacement de ne pouvoir dépasser une certaine valeur (d'ailleurs difficilement compatible avec les idées d'infini et de continuité).

Notre argument, c'est l'utilité d'une avancée dans l'Espace et le Temps partagée et identique à tous les êtres humains, afin que tous, nous puissions vivre ensemble.

Nota 1 sur les souvenirs et le fonctionnement de la mémoire

On émet ici l'hypothèse que les êtres humains avancent à la même vitesse c dans l'Espace et dans le Temps. Néanmoins, notre être ne forme pas obligatoirement un tout. On peut imaginer certaines parties de notre être qui avancent dans l'Espace et le Temps identiquement à ceux qui nous font face, et d'autres parties qui remontent le Temps (ou qui restent figées à une certaine époque).

Ces parties revivent des instants, leur conférant une sorte d'éternité. Elles peuvent également en rapporter des souvenirs oubliés.

Ainsi, lorsque nous nous remémorons notre vie passée, sommes-nous entièrement à l'instant présent, ou certaines parties de nous-mêmes sont-elles à l'instant dont nous nous souvenons ? Notre mémoire stocke-t-elle toutes les informations ou pointe-t-elle seulement sur des instants, sur lesquels il faut revenir, pour retrouver l'information ?

Nota 2 sur un agent biologique faisant avancer identiquement dans l'Espace et le Temps les êtres vivant ensemble

Un agent biologique peut se définir par l'utilité et les fonctions qu'il exerce au sein d'un organisme. Par exemple, l'ADN est un agent qui permet de stocker l'information génétique. De même, quel pourrait être l'agent biologique (on pourrait parler d'horloge biologique) qui permettrait aux êtres vivant ensemble d'avancer identiquement dans l'Espace et le Temps à la vitesse c ?

Nota 3 sur la Vie et la mort

Si la Vie est caractérisée par une avancée identique dans l'Espace et le Temps, la mort pourrait être caractérisée par la fin de cette avancée identique.

VII.6 Conclusion de l'essai, la question du Temps

S'il fallait trouver un thème central à cet essai, ce serait sans doute la question du Temps. On a surtout abordé la question du Temps d'un point de vue physique : tenter de comprendre comment il intervient dans les équations de la gravitation, de l'électromagnétisme et des interactions nucléaires ?

Mais ce qui nous intéresse particulièrement, davantage que le Temps de la physique, c'est le Temps ressenti, notre Temps qui nous emporte tel un courant turbulent dans une course folle. Une course dont intérieurement, nous pouvons remonter le cours, afin de goûter une nouvelle fois à de merveilleux instants. Une course qui extérieurement, est sans retour possible, avec arrêt terminus au bout du chemin.

Pour mieux comprendre une chose, parfois il est pertinent de pas l'appréhender directement, mais d'étudier des choses ressemblantes. Comme le soulignent les systémiques, on ne comprend pas quelque chose en lui-même, on le comprend via sa relation avec les autres, ses différences, ses failles, ses incohérences.

A travers ce long voyage consacré à l'étude de l'Espace et du Temps en physique, notre objectif était également de mieux cerner notre Temps ressenti. Qu'est-ce qui pouvait le caractériser et en faire sa singularité vis-à-vis du Temps de la physique ?

Bibliographie du mémoire 6

Sur le Temps à 2 sens dans les théories physiques

- [1] R. Feynman, The principle of least action in Quantum Mechanics, thèse, Princeton University, 1942
- [2] R. Feynman, Conférence Nobel, 1965
- [3] R. Feynman, The Character of Physical Law, 1965

Sur la flèche du Temps

- [4] Etienne Klein, Michel Spiro, Le Temps et sa Flèche. Colloques de la Société Française de Physique : Physique et Interrogations fondamentales. Première Rencontre sur « le Temps et sa Flèche », Editions frontières, Paris, 1994
- [5] Wikipedia, Flèche du temps

Sur la flèche du Temps thermodynamique

- [6] Roger Balian, Le Temps macroscopique. Colloques de la Société Française de Physique : Physique et Interrogations fondamentales. Première Rencontre sur « le Temps et sa Flèche », Editions frontières, Paris, 1994
- [7] Wikipedia, Démon de Maxwell

Sur la flèche du Temps microscopique

- [8] L. Bay, Introduction à la physique des particules. Laboratoire de Physique des Hautes Energies, EPFL
- [9] J. Collot, Symétries discrètes P C T Règles de sélection. UJF Grenoble, années 2007-2008
- [10] Maurice Jacob, Le temps des processus élémentaires II. Colloques de la Société Française de Physique : Physique et Interrogations fondamentales. Première Rencontre sur « le Temps et sa Flèche », Editions frontières, Paris, 1994
- [11] L. Marleau, Particules élémentaires. Université Laval, Québec, 2007

Sur la flèche du Temps cosmique

- [12] Wikipédia, Big-bang
- [13] Wikipédia, Métrique de Schwarzschild

Sur la flèche du Temps biologique

- [14] L. Robert, Le Temps en biologie. Colloques de la Société Française de Physique : Physique et Interrogations fondamentales. Première Rencontre sur « le Temps et sa Flèche », Editions frontières, Paris, 1994

Sur la Vie, l'étude de l'esprit humain et de la connaissance

- [15] R. Dawkins, Il était une fois nos ancêtres, une histoire de l'évolution. Editions Robert Laffont, Paris, 2007, New-York, 2004 pour l'édition originale en anglais
- [16] J. Lovelock, La Terre est un être vivant, L'hypothèse Gaïa. Editions du Rocher, 1986 pour la traduction française, Oxford University Press, Oxford, 1979 pour l'édition originale en anglais
- [17] L. Margulis, D. Sagan. L'Univers bactériel, Albin Michel, Paris, 1989 pour la traduction française, New-York, 1986 pour l'édition originale en anglais
- [18] J. M. Smith, The Major Transitions in Evolution, Oxford University Press, Oxford, 1995
- [19] L. Pasteur, Ecrits scientifiques et médicaux, Flammarion, Paris, 2010
- [20] F. Varela, Invitation aux sciences cognitives. Editions du Seuil, Paris, 1996, pour la traduction et l'édition françaises.
- [21] Wikipédia, Origine de la vie

Sur la théorie de la Relativité

[22] A. Einstein, *La relativité*. Gauthier-Villars, Paris, 1956 pour l'édition en langue française, 1916 pour la 1^{ère} édition en langue allemande

[23] A. Einstein, *Physique, philosophie, politique, textes choisis et commentés* par Françoise Balibar. Seuil, Paris, 2002 pour l'édition en livre de poche

Table des matières

Mémoire 6	Le Temps ressenti et le Temps en physique	389
Chapitre I	Pourquoi le Temps utilisé en physique semble si différent du Temps ressenti ?	390
I.1	Le Temps de la physique, le Temps ressenti et la flèche du Temps.....	390
I.2	Le Temps dans la théorie de la Relativité, souvent présenté comme similaire à une dimension spatiale.....	390
I.3	La plupart des théories physiques sont réversibles dans le Temps.....	391
I.4	Temps à 2 sens et principe de moindre action.....	393
I.5	Conclusion du chapitre.....	395
Chapitre II	Existence d'une flèche thermodynamique ?.....	396
II.1	Définitions de l'entropie.....	396
II.2	Le Temps orienté en thermodynamique, rapprocher l'entropie et l'information ?	396
II.3	Conclusion du chapitre.....	397
Chapitre III	Existence d'une flèche microscopique des particules ?	398
III.1	Existence d'une flèche microscopique du Temps ?.....	398
III.2	Désintégrations β^\pm , violation de P et de C , conservation de la symétrie CP	400
III.3	Physique des kaons, violation de la symétrie CP	402
III.4	Conclusion du chapitre, existence ou non d'une flèche microscopique ?	406
Chapitre IV	Flèche cosmologique et éléments sur la théorie du Big-bang.....	407
IV.1	Rappels historiques sur la théorie du Big-bang.....	407
IV.2	Question que soulève le Big-bang, sources d'inspiration.....	412
IV.3	Conclusion du chapitre.....	413
Chapitre V	Démarcation entre Vie et non Vie, l'approche phénoménologique, l'hypothèse Gaïa	414
V.1	Démarcation entre Vie et non Vie.....	414
V.2	L'approche phénoménologique.....	415
V.3	Une application, l'hypothèse Gaïa	416
V.4	Conclusion du chapitre.....	418
Chapitre VI	L'origine de la Vie, le Big-bang un phénomène biologique ?	419
VI.1	Origine de la Vie selon les biologistes	419
VI.2	Le Big-bang, l'origine de la vie ?.....	420
VI.3	Mon Big-bang.....	423
Chapitre VII	Comment vivre ensemble dans le même Temps ? L'hypothèse Temps lumière	424
VII.1	L'incompatibilité apparente entre le principe de relativité énoncé par G. Galilée et la propagation de la Lumière	424
VII.2	Notion de déformation des distances ou d'avancée dans l'Espace.....	427
VII.3	Notion de déformation des durées ou d'avancée dans le Temps.....	429
VII.4	Déformations concomitantes des durées et des distances	430
VII.5	Que nous indique la vitesse constante c de la lumière ? L'hypothèse Temps Lumière .	431
VII.6	Conclusion de l'essai, la question du Temps.....	432
Bibliographie du mémoire 6.....		433

