

Sur les Rotations de Wick et les Quaternions: Le Jeu de Symétrie entre l'Espace et le Temps

Nilo Serpa

Centro Universitário ICESP, Brasil; L'Université Libre des Sciences de L'Homme de Paris.

Abstract: Malgré tant d'avancées, la physique moderne reste embarrassé par un certain nombre de questions ouvertes, dont certaines sont à l'origine d'obstacles considérables au cours des 30 à 40 dernières années. J'appartiens au groupe de ceux qui considèrent que le plus gros problème vient des limitations instrumentales et conceptuelles. Nos façons de comprendre l'univers sont encore extrêmement limitées par l'héritage de la pensée positiviste classique. De plus, il n'est pas simple de briser les contraintes d'un cerveau dont la conception fonctionnelle s'est développée au cours de millions d'années dans une évolution interactive en trois ou quatre dimensions essentiellement conditionnée par les impératifs de la survie. Cette résistance naturelle à une large reconstruction théorique nous amène à avancer très lentement à travers l'essence la plus profonde du cosmos, ayant des réflexes évidents sur nos motivations et nos attentes. Le présent essai examine un modèle préliminaire de la structure de l'espace-temps dans le but d'offrir un nouveau support conceptuel pour l'étude de l'enchevêtrement quantique. Les rotations de Wick sont appliquées sur une base quaternionique pour établir les fondements théoriques des symétries spatio-temporelles proposées.

Key words: Rotation de Wick, quaternion, algèbre de Clifford, enchevêtrement quantique, symétries spatio-temporelles.

Resumo: Apesar de tantos avanços, a física moderna permanece enredada em várias questões abertas, algumas das quais responsáveis por obstáculos consideráveis nos últimos 30-40 anos. Eu pertencço ao grupo daqueles que consideram que o maior problema vem das limitações instrumentais e conceituais. Nossos modos de entender o universo ainda são extremamente restringidos pela herança do pensamento positivista clássico. Além disso, não é simples quebrar as restrições de um cérebro cujo *design* funcional se desenvolveu ao longo de milhões de anos de evolução interativa tridimensional, basicamente condicionada pelos ditames da sobrevivência. Essa resistência natural a uma ampla reconstrução teórica nos leva a avançar muito lentamente através da essência mais íntima do cosmos, tendo reflexos evidentes em nossas motivações e expectativas. O presente ensaio examina um modelo preliminar de estrutura de espaço-tempo numa tentativa de oferecer novos subsídios conceituais para o estudo do emaranhamento quântico. Rotações de Wick são aplicadas em uma base quaterniônica para estabelecer os fundamentos teóricos da simetria proposta entre espaço e tempo.

Palavras-chave: Rotação de Wick, quaternio, álgebra de Clifford, emaranhamento quântico, simetrias do espaço-tempo.

Auteur correspondant: Nilo Serpa, nilo.serpa@icesp.edu.br

Commencé le: 10 Mai 2019 / Terminé le: 04 Août 2019 / Révisé le: 27 Novembre 2019.

Prologue

Steven Weinberg

The effort to understand the Universe is one of the few things that elevates human life above the level of farce and imprints something of the elevation of tragedy [17] ¹.

¹ Libre traduction de l'auteur.

Depuis que j'ai traversé la sémiotique en tant que simple élève d'Umberto Eco [3], je n'ai jamais manqué de mettre l'accent sur les problèmes du langage en science, en particulier en physique, et ses répercussions sur la construction des théories. Il y a, bien sûr, une dis-

cussion philosophique derrière la critique linguistique dans la mesure où la philosophie est un excellent outil pour perfectionner nos idées. Ajoutant à tout cela la compréhension de tout ce qui a été dit sur la dimensionnalité du monde, sur l'espace et sur le temps, je dirais que nous avons à portée de main une excellente corne d'abondance de doutes. Comme Simon Brissenden l'a dit récemment sur la façon dont le temps est pensé après la relativité d'Einstein,

The language we use and the culture we have been raised in, are profoundly Newtonian and it is difficult to adjust to thinking relativistically [2].

L'une des questions qui m'a toujours incité est de savoir si l'espace et le temps peuvent être mis sur le même pied opérationnel, c'est-à-dire si nous pouvons formellement travailler de la même manière avec les deux concepts. En ce qui concerne la compréhension de ce qu'est le temps, bien que nous voyions dans la littérature actuelle une sorte de conformisme déguisé à la difficulté inéluctable de l'assimiler comme une quantité physique réelle, il n'y a pas de consensus général sur la façon de le définir rigoureusement dans le même statut de l'espace.

L'idée d'une unité complète entre l'espace et le temps a germé après plusieurs générations. En fait, c'est un processus de maturation lent, allant des idées les plus naïves aux représentations les moins tangibles de l'intellection abstraite. Hegel, par exemple, montrait déjà des signes d'une perception philosophique lucide de la réalité en ce qui concerne la séparation apparente entre l'espace et le temps:

Sublimiore autem geometria, quae geometriae calculum analyticum jungit, at ex ipsa necessitate temporis spatiique unitorum rationes emetiendi orta est, separationem non nisi negative per notionem infiniti tollente, neque utriusque veram synthesisin proponente, et in negotio suo a formali geometriae et arithmeticae methodo neutiquam discedente [4]¹.

Il précise non seulement la nécessité d'une synthèse *spatio-temporelle*, mais aussi le fait que cette synthèse n'était pas encore atteinte. Je pense que Weil a été celui qui est venu très près de le faire pour la première fois en 1922, l'année de son travail fondateur "Space, Time, Matter" [16], bien que la première étape sérieuse vers ce qui pourrait être dit "une symétrie parfaite" entre l'espace et le temps a été donnée par Locke, bien avant Hegel:

¹ La géométrie supérieure qui résulte de la fusion du calcul analytique avec la géométrie fondamentale, et qui résulte de la même nécessité de mesurer les relations du temps et de l'espace, ne surmonte cette séparation que de façon négative, au moyen de la notion d'infini, mais ne propose pas la véritable synthèse des deux [...] (libre traduction de l'auteur).

[...] expansion and duration do mutually embrace and comprehend each other; every part of space being in every part of duration, and every part of duration in every part of expansion [5].

Autant nous pensons que l'espace et le temps sont inséparables, il reste dans nos esprits un sentiment d'incomplétude, un vide intellectuel quant à la compréhension du type de symétrie de cette combinaison. Cela est principalement dû au fait que le bon sens ne conçoit pas une image par laquelle le temps et l'espace peuvent être placés sous une seule construction plus large. Même "l'amalgame" popularisé à partir de la théorie de la relativité d'Einstein n'explique pas une relation viscérale entre ses constituants (car établir un cadre pseudo-pythagorien en quatre coordonnées n'est pas en soi suffisant pour caractériser une symétrie parfaite entre l'espace et le temps), ni à quoi dans quelle mesure nous pouvons qualifier de non artificiel le mélange d'espace et de temps.

Une fois, un étudiant intéressé par la cosmologie et l'astrophysique m'a demandé s'il était possible de voyager dans le temps, ce à quoi j'ai répondu: "Si oui, nous aurons besoin d'un modèle théorique exotique pour essayer de comprendre comment quelque chose pouvait-il transiter librement entre les âges. Nous devons probablement repenser l'espace-temps à la manière de la mécanique quantique face aux paradoxes, et restreindre nos approches aux limites de la théorie de l'information" (après tout, l'idée de transmettre des informations au passé ou au futur est beaucoup moins prétentieuse que d'envoyer une personne à la Rome antique ou au Jurassique). Je mentionne cela parce que je pense que le déplacement dans le temps est un excellent paradigme pour discuter de la façon dont l'espace et le temps peuvent présenter une symétrie parfaite. Par symétrie parfaite je comprends la possibilité de changer les rôles joués par deux objets distincts interconnectés.

Ma perspective de recherche est cosmologique et quantique, car la théorie de l'espace-temps quantique que je préconise décrit comment le web cosmique évolue. Il y a encore beaucoup de spéculations en cosmologie astrophysique, même si les objets d'importance cosmologique tels que les supernovae de type I-A restent l'objet d'études approfondies, ainsi que l'intérieur des trous noirs et le centre des galaxies spirales. Mais je crois que de telles spéculations, tant qu'elles sont inscrites dans une plausibilité savante, peuvent fleurir à un moment donné, que ce soit par des découvertes observationnelles ou des procédures de laboratoire. Il se peut que le voyage dans le temps soit une question de symétrie parfaite entre l'espace et le temps, si une telle symétrie existe. Dans au moins un cas notable, il pourrait être vrai un effet d'une telle symétrie: l'enchevêtrement quantique.

La notion de symétrie est très large et joue un rôle fondamental en physique. En particulier, j'aime l'exemple issu de la remarquable contribution révolution-

naire de Maxwell par laquelle on a compris qu'un champ électrique changeant génère un champ magnétique et, au contraire, un champ magnétique changeant génère un champ électrique. Il y a aussi la belle symétrie entre bosons et fermions, appelée supersymétrie, sur laquelle je travaille depuis quelques années. Les théories supersymétriques nous ont permis de surmonter certaines dichotomies; grâce principalement à la supergravité, nous avons obtenu l'avantage de la symétrie entre matière (particules de spin semi-entières) et interaction (particules de spin entières). Je me demande si l'espace et le temps présenteraient une symétrie aussi puissante, capable de se manifester à travers des phénomènes que nous ne soupçonnons même pas.

Mon intention dans cet essai est de discuter d'une proposition de supersymétrie spatio-temporelle (ou symétrie parfaite), en considérant certaines implémentations sémantiques dans le langage formel de la théorie et en spécifiant dans quelles conditions une telle supersymétrie pourrait être vérifiée. La question de savoir si, à l'avenir, une telle représentation servira de base à des implémentations technologiques permettant une sorte de transport temporel est une question à laquelle je ne propose pas de risquer une réponse.

 PARTIE: L'ÉVEIL DU SCHISME

1 Un peu sur la rotation de Wick

Un casse-tête très présent dans la science moderne, bien qu'il soit obséquieusement mis de côté, consiste à trouver un sens physique pour justifier la rotation de Wick, une procédure mathématique que beaucoup considèrent comme "une simple astuce technique". Il y a eu un temps où j'ai consacré beaucoup d'efforts à l'étude de la signification physique de la rotation de Wick. Je vais donc me permettre de reproduire une partie de mes enregistrements ici, en ajoutant quelques mises à jour importantes.

L'application de la rotation de Wick est d'une telle manière confuse que dans de nombreux ouvrages, je n'ai même pas été en mesure de déterminer si les auteurs discutaient en pensant à la signature lorentzienne ou euclidienne; en effet, je ne pouvais pas voir de justification claire avec une signification physique pour introduire des rotations imaginaires dans ces discussions. Sauf les rares que l'on peut trouver sur la rotation de Wick appliquée à la variable de moment k_0 dans les fonctions de Green, aucune référence remarquable a été faite, en particulier sur les rôles possibles remplis par les bosons et les fermions dans la rotation de Wick (concernant en particulier les fermions, ce a également été noté par Nieuwenhuizen and Waldron [?]). Même dans les premiers temps de la

physique quantique, l'unité imaginaire est vide de signification physique. À titre d'exemple, concernant les matrices de Pauli, nous voyons que les physiciens aiment les mettre en correspondance biunivoque avec des directions orthogonales dans l'espace euclidien à 3 dimensions, exprimant leur orthogonalité par le produit externe grassmannien $\sigma_1 \wedge \sigma_2 = \sigma_1 \sigma_2 = -\sigma_2 \sigma_1$. Ainsi, le produit $\sigma_1 \wedge \sigma_2 \wedge \sigma_3 = \sigma_1 \sigma_2 \sigma_3 = i$ montre l'identité entre i , comme l'unité pseudo-scalaire pour l'espace euclidien à 3 dimensions, et un trivecteur créé par le produit extérieur des vecteurs orthogonaux σ_1, σ_2 et σ_3 . Tout est tacitement accepté comme un simple résultat formel. Toujours dans la théorie des twisteurs, aucune interprétation physique directe n'est généralement attribuée aux coordonnées complexes. Soit dit en passant, rappelant les algèbres de Clifford, nous voyons qu'une réflexion liée à un plan orthogonal à γ^a est donnée par $\psi \Rightarrow \gamma^a \psi$ dans l'espace des spineurs, et pour le γ^a genre-temps nous devons remplacer γ^a par $i\gamma^a$ pour satisfaire l'imposition de l'identité pour des réflexions carrées, en effet une belle caractéristique mais beaucoup plus liée à la modélisation mathématique qu'à des demandes physiques (j'essaie simplement de montrer où nous pouvons être plus emphatiques sur la physique). Enfin, en discutant du mécanisme de Higgs pour la gravité et en considérant un spectre violant de Lorentz dans un modèle pour les gravitons non massifs, les physiciens sont une fois de plus laconiques sur la fréquence imaginaire à très faible impulsion. Après tout, un nombre complexe peut toujours être utilisé pour enregistrer une association spinorale, car le couplage de "i" spécifie un tourbillon,

$$\begin{array}{c} \text{spin} \\ \downarrow \\ \underbrace{a + ib} \\ \text{complex number.} \end{array}$$

Certes, personne d'autre n'imagine une véritable rotation dans le monde quantique. Le spin n'est pas une "chose", mais seulement un symbole désignant un type de symétrie appartenant à une classe de symétries dont la rotation cartésienne est un exemple trivial.

En 1977 est apparu un travail intéressant du physicien et philosophe des sciences français Jean Émile Charon, it Theorie de la Relativité Complexe, dans lequel il a proposé une structure riemannienne quadridimensionnelle complexe à l'espace physique avec une métrique

$$Z_{\alpha\beta} = \tilde{Z}_{\alpha\beta} + i\tilde{\tilde{Z}}_{\alpha\beta}, Z_{\alpha\beta} = Z_{\beta\alpha}, \tag{1}$$

de sorte que,

$$ds^2 = Z_{\alpha\beta} dy^\alpha dy^\beta, \tag{2}$$

avec

$$y^\alpha = \tilde{y}^\alpha + i\tilde{\tilde{y}}^\alpha. \tag{3}$$

Charon fait valoir, entre autres, que seul un espace aussi complexe devient possible pour étendre la relativité générale au domaine des champs quantiques et justifier les quatre composantes supplémentaires complexes

ULSHP - L'Université Libre des Sciences de L'Homme de Paris. Droit de copie gratuit conformément aux principes établis par Creative Commons.



(y compris le temps) comme un moyen d'attribuer des quantités physiques à la théorie (par exemple, la action associée au spin)². Malheureusement, la théorie n'a pas retenu l'attention méritée.

John G. Taylor, au sommet de sa carrière, a attribué l'interprétation physique à des quantités imaginaires lorsqu'il a écrit le troisième chapitre de "The New Physics", intitulé "Faster Than Light". Racontant le célèbre article d'Einstein de 1905, nous pouvons lire à la page 94 de la version espagnole:

... si acelerar una partícula hasta la velocidad de la luz exige una cantidad infinita de energía, acelerarla por encima de este valor requeriría una energía imaginaria. Una cantidad imaginaria está formada por el producto de un número real y la raíz cuadrada de menos uno. Aun cuando esta cantidad puede manejarse sin mayor problema como símbolo, en la realidad no resulta posible medirla (Taylor, 1974).

Ici, une grandeur physique imaginaire est une grandeur à laquelle il n'y a aucun sens d'appliquer des règles ou des horloges; est celui auquel les opérations d'observation ne sont pas définies. Même ainsi, il est considérablement présent dans le cadre qui explique le monde.

En outre, il convient de se rappeler la distribution de probabilité dans la théorie des champs quantiques ou, comme il est mieux connu, l'intégrale du chemin. Selon Baez, les amplitudes de probabilité sont proportionnelles à $\exp(-S/i\hbar)$, donnant au monde quantique une caractéristique obscure par rapport à la mécanique statistique, où la distribution de Boltzmann $\propto \exp(-E/T)$ découle naturellement du principe d'entropie maximale.

L'introduction de l'unité imaginaire à travers les rotations de Wick peut être indirectement associée à des mécanismes physiques d'acquisition de masse dans la relation supersymétrique entre les bosons et les fermions. Parallèlement à la description anticipée par Higgs d'un tel mécanisme en termes de boson, j'ai eu quelques idées intéressantes lors de mes recherches sur la supergravité.

Pour l'instant, nous ne connaissons qu'un seul boson de Higgs, ce qui ne veut pas dire qu'il n'y en a pas d'autres. Il y a des années, j'ai établi un modèle de gravité supersymétrique avec des gravitinos confinés dans un espace-temps anti-De Sitter. La frontière entre cet espace-temps et l'univers De Sitter où les médiateurs d'interaction gravitationnelle (gravitons) habitent est en fait un champ que j'ai appelé "filtrinique" (par rapport à une particule hypothétique appelée "filtrino"), qui est la barrière dont le "péage" pour être payé par un gravitino qui s'échappe est sa propre masse; si "décide" de le payer, le gravitino perdra son identité devenant un graviton sans masse. Le filtrino, la particule de spin semi-entière hypothétique corrélée au champ de

jonction entre les deux espace-temps, conserve la masse du gravitino, mais pendant une courte période dès qu'un graviton pénètre dans la jonction et devient un nouveau gravitino dans l'espace-temps anti-De Sitter. En fait, le filtrino massif interagit avec le champ gravitationnel à travers son émissaire (graviton) pour générer un gravitino. L'opération inverse révèle une symétrie parfaite entre graviton et gravitino, car inversement un gravitino interagit avec le champ gravitationnel pour générer un filtrino. Nous pouvons voir que le champ de jonction est une sorte de région gravitationnelle exotique issue de la séparation entre deux espaces-temps fondamentalement distincts, où le filtrino est un fait éphémère. Pour la représentation de ce mécanisme en termes de formalisme matriciel de type spinorial, l'application des rotations de Wick s'est avérée extrêmement pratique.

Pas exactement dans la même ligne de raisonnement, mais d'une certaine manière similaire à mes considérations ci-dessus, Nieuwenhuizen et Waldron ont proposé "une rotation continue de Wick pour les spinors de Dirac, Majorana et Weyl dès l'espace-temps de Minkowski à l'espace euclidien, qui traite les fermions sur la même base en tant que bosons" [7]. Ils soulignent que l'étude ne se concentre pas sur la rotation de Wick de la variable de moment k_0 mais sur une rotation de Wick de la théorie du champ elle-même. Après quelques observations, ils ont été amenés à suggérer pour un spinor de Dirac la rotation de Wick

$$\Psi(\tau, \vec{x}) \rightarrow \mathbf{S}(\theta)\Psi_\theta(\tau, \vec{x}), \quad (4)$$

$$\Psi^\dagger(\tau, \vec{x}) \rightarrow \Psi_\theta^\dagger(\tau, \vec{x})\mathbf{S}(\theta), \quad (5)$$

dans lequel $\Psi_{\theta=\pi/2} \equiv \Psi_E$ est le spineur euclidien de Dirac et $\mathbf{S}(\theta)$ une matrice diagonale avec des entrées $(e^{\gamma^4 \gamma^5 \pi/2}, 1, 1, 1)$ qui n'agit que Wick-tournant le secteur temporel (les exposants γ^4 and γ^5 sont des éléments de l'algèbre euclidienne de Clifford). Des arguments similaires sont appliqués aux spinors Majorana et Weil.

Dernièrement, Matt Visser [15] a fait une discussion intéressante sur les rotations de Wick dans des espaces-temps plats, rappelant la prescription " $i\epsilon$ " pour les propagateurs de champ quantiques comme une conséquence élémentaire de la causalité dans l'espace de Minkowski, et montrant que la procédure simple d'une continuation analytique de la variable temporelle, " $t \rightarrow it$ " — qui ne convient que dans des cas comme les métriques statiques de Minkowski et Schwarzschild —, n'offre pas une généralisation cohérente pour toutes les variétés courbes. Dans la suite, il a obtenu une interprétation capable de fournir une belle généralisation. Le lecteur trouvera curieux la coïncidence formelle, quoique dans des contextes très différents, entre l'approche de référence [15] et mon approche en termes d'une métrique complexe "pas tout à fait Minkowskienne", faite ci-dessus.

Dans un sens analogue, comme nous pouvons définir un champ dual ϕ_D et une fonction dual $F_D(\phi_D)$, de sorte que $\phi_D = F'(\phi)$ and $F'_D(\phi) = -\phi$ constituent une transformation de Legendre $F_D(\phi_D) = F(\phi) - \phi\phi_D$ ou,

² J. Charon, "Théorie de la Relativité Complexe", Albin Michel, Paris (1977).

ce qui est devenu la même chose, une symétrie de dualité,

$$\begin{pmatrix} \phi_D \\ \phi \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \phi_D \\ \phi \end{pmatrix}, \quad (6)$$

nous avons dans la théorie des gravitons [11] une symétrie

$$\begin{pmatrix} \mathbf{i}_2 \\ \sigma_\eta \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} \gamma_{11}^- & \gamma_{12}^- \\ \gamma_{21}^- & \gamma_{22}^- \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{i}_2 \\ \sigma_\eta \end{pmatrix} \quad (7)$$

pour les gravitinos ou,

$$\begin{pmatrix} \mathbf{1}_2 \\ \sigma_\mu \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{1}_2 \\ \sigma_\mu \end{pmatrix} \quad (8)$$

pour les gravitons. Dans cette théorie, selon ma façon de voir, la rotation de Wick est un type particulier de représentation abstraite qui sert très bien à expliquer les transformations isométriques ayant une signification physique, mettant face à face, de manière simple, l'état-objet et son changement qualitatif. Il conserve un grand héritage mathématique, car nous traitons de l'idée si intuitive et puissante du groupe de rotation, mais, en même temps, garantit que "quelque chose" n'est plus la "même chose" du point de vue de la physique du système sous isomorphisme isométrique. Par exemple, lorsque nous effectuons une rotation binaire d'une représentation bosonique, nous apportons une représentation fermionique mais dans un cadre affine unique car $S(g) = iS(g)$.

1.1 Expliquant le problème

Ce qui doit être clair pour le lecteur, c'est que je n'ai pas l'intention de faire résonner des accords d'identification avec des idées de science-fiction (bien que j'apprécie le genre). La discussion ici concerne les phénomènes du monde quantique, n'ayant rien à voir avec les fantaisies anthropiques; Je souhaite seulement travailler à un niveau conjectural qui pourrait être utile dans les futurs travaux suivant la pensée de Popper, selon lequel

[...] Risky ideas, unwarranted anticipations, speculative thinking, are the only means we can use to interpret nature: our only "organon", our only instrument to apprehend it. And we must risk ourselves, with these means, to achieve the prize. Those who are not willing to expose their ideas to the eventuality of refutation will not participate in the scientific game³ [8].

Je pense aussi que l'espace et le temps dans sa connexion la plus intime constituent un phénomène qui

³ Cependant, il doit y avoir un équilibre entre la nécessité de risquer et l'utilité de l'idée risquée. Par exemple, bien que nous n'ayons pas d'accès direct au-delà de l'horizon des événements, rien ne prouve que nous devrions abandonner les équations d'Einstein pour décrire l'intérieur d'un trou noir, au moins tant que nous nous éloignons du quantum de l'espace-temps qui caractérise sa singularité centrale (comme je l'ai expliqué dans un autre article, la notion de point n'a pas de signification physique, la raison pour laquelle il est nécessaire de spécifier le quantum d'espace-temps défini sous l'action d'une énergie de chaîne intense).

transcende toute aide que la perception peut nous apporter. Rien de mieux qu'un extrait de Merleau-Ponty (malgré qu'il ait pu être confondu sur certains aspects de la théorie de la relativité d'Einstein), suivant les idées de Husserl, pour résumer cette pensée:

[...] every effort to understand the spectacle of the world from within and from the sources demands that we separate ourselves from the effective unfolding of our perceptions and our perception of the world, that we be content with its essence, that we no longer confuse ourselves with the concrete flow of our own life to retrace the whole movement and the main articulations of the world upon which it opens. To reflect is not to match the flow from its source to its last branches; it is to get rid of things, perceptions, the world and perceptions of the world [6].

Ma théorie part de deux questions fondamentales: existe-t-il une telle symétrie (une symétrie parfaite) entre l'espace et le temps qui rend possible le trafic d'informations du présent au futur comme au passé? Et si oui, y a-t-il un phénomène qui insinue cette possibilité? Selon mon interprétation, une symétrie parfaite entre l'espace et le temps détermine que les deux peuvent être convertis l'un en l'autre. En d'autres termes, l'inverse de l'espace est le temps et vice-versa. Pour répondre à la deuxième question, le seul phénomène dont nous disposons pour nous aider à justifier une telle transformation est l'enchevêtrement quantique. Mais, si l'espace-temps peut souffrir de cette inversion présumée des rôles, il est raisonnable de supposer que cette inversion commence par l'enchevêtrement quantique elle-même, car les particules enchevêtrées, séparées par une distance arbitraire, changent leur comportement simultanément comme si elles diffusaient librement entre le passé et le futur. L'inversion des rôles, je crois, se produit au moment de l'enchevêtrement quantique².

1.2 Le quantum de l'espace-temps

Pour la discussion qui suit, il est intéressant de noter que la réfutation de l'ancien "éther" par la théorie de la relativité n'a pas éliminé, comme beaucoup le pensent, l'idée d'un espace absolu. En fait, l'espace conserve ses propriétés physiques, car les équations de mouvement des corps matériels et des champs de force n'ont pas la même forme dans les cadres de translation et de rotation. Ainsi, ce qui devrait vraiment être retiré de la physique, c'est la notion newtonienne d'un "espace-conteneur" inamovible qui existait comme cadre de référence au repos absolu. Ce rappel est crucial, car en attribuant une structure dynamique quantique sous-planckienne à l'espace-temps, je postule sa propre existence physique.

La limitation ontologique de l'esprit est remarquable lorsqu'il s'agit de décrire l'espace-temps; il se présente tantôt comme un fait déterminé par le mode de relation entre les objets, tantôt comme un substrat de tout ce qui existe. Je crois que nous devrions embrasser les deux

compréhensions, en les appliquant selon les besoins dans différentes situations de pensée.

Dans le premier cas, si nous comparons l'espace-temps dans lequel nous vivons avec l'espace-temps où les particules enchevêtrées vivent censément, le raisonnement logique suivant peut être pris en charge:

Les espaces-temps ne sont que des états qui se manifestent par la façon dont les objets et les ensembles d'objets sont liés les uns aux autres; ainsi, l'espace-temps ordinaire, qui reflète l'univers observable, est l'état qui résulte de la manière dont les objets que nous connaissons s'interconnectent, s'influencent, se disposent les uns par rapport aux autres, se détruisent ou fusionnent dans d'autres entités. Dans cet espace-temps quotidien, le temps est unidimensionnel; seul futur lié à un passé fixe.

Pour le deuxième cas, regardons le problème d'un point de vue physique. Dans un ouvrage récent, j'ai abordé (en français) une question qui me semble à l'origine de la difficulté de concilier la mécanique quantique avec la relativité générale. Alors que la cosmologie cherche à comprendre la genèse de l'univers, it entre autres, à partir d'une dynamique d'expansion qui, en principe, n'indique aucun caractère discontinu de l'espace-temps, la mécanique quantique révèle le caractère discret de la structure microphysique de la matière. À mon avis, cette image discrète n'est que ce qui est capturé à partir des interactions, et Rovelli a raison quand il met l'accent sur l'interaction comme concept clé pour comprendre le monde (notez que cette conclusion va bien avec le raisonnement logique précédent). Mais quand on parle de la tapisserie ultime de l'univers, du contenu le plus intime de toute matière, ce serait une contradiction philosophique d'établir une matière indivisible, puisque l'indivisible ne consiste pas en parties, et ce qui n'a pas de parties a, théoriquement, la nature d'un point. Mais le point est une pure abstraction mathématique; il est maintenant temps de se rappeler que la matière est finalement constituée de l'espace-temps lui-même. Ainsi, la façon la plus logique de concevoir la réalité physique est d'imaginer un continuum dynamique formé par des expansions ou des contractions infiniment petites. La cellule du continuum dynamique, exprimée par une quantité aussi petite que vous le souhaitez, est le quantum de l'espace-temps; si petite qu'on puisse l'imaginer, elle est encore plus petite, et encore plus petite, non pas parce qu'elle est inaccessible aux règles, mais parce que sa dynamique s'exerce dans le domaine des quantités infiniment petits. De cette façon, l'infiniment petit se traduit par des expansions ou contractions spatio-temporelles, aussi petites que l'on veut, et non par des intervalles abstraits d'une géométrie statique. Je comprends que, très probablement, ce que nous appelons "énergie noire" est l'énergie dissipée par ces fluxions infinitésimales. Une telle approche, cependant, ne fait pas partie de cet essai. Les fondements de la théorie quantique de l'espace-temps

que je préconise se trouvent dans les références [10] et [12].

Certes, l'être humain n'a pas la capacité intellectuelle de comprendre pleinement la symétrie discutée, tout comme le phénomène de l'enchevêtrement quantique échappe à la raison commune. Il semble même peu probable que nous puissions tester une telle symétrie dans les limites de l'existence de l'humanité. Il faudrait alors détecter un phénomène physique pour lequel une description satisfaisante pourrait être construite à partir de l'inversion mutuelle proclamée des rôles entre l'espace et le temps.

PARTIE: LA MODÉLISATION QUATERNIONIQUE

2 Cherchant à modéliser l'enchevêtrement quantique

L'enchevêtrement quantique génère une étrange interaction entre les particules, une sorte de liaison qui n'a pas d'équivalent dans le monde classique. Deux façons sont possibles de comprendre l'enchevêtrement: 1) à partir de l'informatique quantique, en introduisant un pli quantique (*quantumfold*) imaginaire, un "unpli" (*onefold*) qui n'existe que dans les descriptions quantiques de la nature, à partir desquelles nous pouvons obtenir une représentation imaginaire des états enchevêtrés par des opérations de tenseurs qui y sont appliquées (ce *quantumfold* n'est pas géométriquement pensable, de sorte qu'il est recouvert d'un produit tensoriel spécial et unique à un qubit)⁴. Pour extraire des états enchevêtrés réels de ce type de couverture, nous avons logiquement besoin d'une porte imaginaire; 2) de la supersymétrie, pivotant l'espace-temps pour changer les rôles des composants de la base de coordonnées. Je traiterai de la deuxième option, car j'ai examiné la première dans un ouvrage précédent [13]. Réfléchissons un instant à la signification d'attacher l'unité imaginaire à n'importe quelle quantité. Nous pouvons suggérer que nous appliquons un marqueur sur une variable qui ne peut pas être mesurée (mais oui, sur laquelle nous pouvons mener virtuellement et artificiellement un comptage). Cela semble être le cas avec le temps; on peut le compter abstraitement avec une horloge ou un sablier. Nous ne pouvons cependant pas le mesurer dans le sens empirique strict de mettre un intervalle de durée à côté d'une règle; il n'existe pas la perception de "l'espacement" par rapport au temps.

Supposons maintenant que la physique aussi proche que vous le souhaitez d'une paire de particules enchevêtrées puisse être décrite à partir d'un système de coordonnées à quatre dimensions similaire au système

⁴ En fait, les particules enchevêtrées se répondent en même temps, ne sont séparées que dans l'espace ordinaire, mais solidement liées, s'imbriquant les unes dans les autres dans le pli quantique.

de Minkowski. Revenons un peu en arrière pour discuter de la base des coordonnées pures, y compris les marqueurs qui seront couplés plus tard aux variables, en leur attribuant une signature temporelle ou spatiale. Avant une observation (au sens expérimental du terme), il n'y a aucune raison logique d'attribuer une signature spatiale ou temporelle à une valeur donnée appartenant à un *Gedankenexperiment* dans ce voisinage. Tout ce que nous pouvons faire est de manipuler la base par une algèbre et de voir comment les marqueurs se transforment par l'algèbre. Les transformations possibles sont les symétries de la théorie.

Nous devons ensuite nous demander: quel est le temps tridimensionnel? Il serait plus naturel de le concevoir en deux dimensions: passé et futur! Cependant, un peu d'acuité théorique nous fait prendre conscience que le présent est aussi une dimension si nous comprenons que, dans une ligne causale, c'est une variable très engagée pour l'avenir et, rétroactivement, pour le passé. Le présent, ce flash éphémère, contient l'état de l'observateur, un horizon de référence mouvant. Une curieuse illustration serait la suivante: si nous regardons le soleil, nous aurons une image du passé; dans la direction opposée, on peut dire que la lumière du soleil qui vient de nous passer, en allant vers le futur, nous donne le passé du futur depuis le mur d'un édifice que nous regardons, éclairé par cette lumière, c'est-à-dire le futur de l'édifice avec une certaine "remise". Mais nous sommes "le présent" en tant qu'observateurs, et nous pouvons déplacer ce présent pour voir un passé plus éloigné du soleil et un avenir proche du édifice (ou une séparation plus courte entre le passé du édifice et son avenir), même si le système dans son ensemble est toujours tourné vers l'avenir. Passé, présent et futur sont alors très dynamiques et entrelacés! Cela peut sembler peu intuitif, mais la physique contemporaine est très remplie de choses non intuitives. Un exemple catégorique de la présence d'éléments non intuitifs au coeur des principes fondamentaux de l'une des théories scientifiques les plus importantes de tous les temps est la trajectoire d'un rayon lumineux. Selon la théorie de la relativité d'Einstein, suivant l'excellente approche de Bertrand Russell (2018), la lumière décrit des trajectoires à partir de chemins minimaux, ce qui signifie qu'entre deux points voisins d'un rayon lumineux, la distance est nulle (géodésique nulle) [9]. Pourtant, il y a une différence temporelle entre les deux points, de sorte qu'il y a des intervalles plus proches de la source que d'autres (tout cela, et plus précisément le concept de géodésique nulle, en plein accord avec ma théorie quantique de l'espace-temps). C'est un résultat logique de la conception de l'espace-temps, dont l'espace et le temps ne se séparent plus comme en physique newtonienne.

2.1 Quaternions à rotation de Wick

Comme suggéré précédemment, on peut dire que l'une des lacunes de la physique mathématique actuelle est l'attribution d'une signification physique directe associée

à l'unité imaginaire. En plus de la signification discutée des expressions (7) et (8), il existe un moyen plus efficace d'introduire l'unité imaginaire comme marqueur physique. En particulier, je proposerai un modèle provisoire pour traiter de l'hypothèse d'une symétrie parfaite entre l'espace et le temps, dans laquelle une telle signification physique directe est attribuée au couplage de l'unité imaginaire.

On considère une base à quatre coordonnées (X_0, X_1, X_2, X_3) avec une condition *a priori*: aussi proche que vous le souhaitez de la paire de particules enchevêtrées au moment de sa création, vous ne savez pas quelles sont les coordonnées, qu'elles soient temporelles ou spatiales; ces coordonnées forment un quaternion. Un *CIS*-quaternion temporel (C) est Minkowskien, c'est-à-dire constitué d'une composante temporelle et de trois composantes spatiales; un *TRANS*-quaternion temporel (T) est formé de trois coordonnées temporelles et d'une coordonnée spatiale. Pour simplifier, j'appelle *CT*-quaternion la paire (C, T) . Aussi pour plus de simplicité et pour éviter toute confusion, j'appelle quatrième dimension le composant qui caractérise unidimensionnellement l'espace ou le temps. Comme je ne traiterai que des transformations de la base d'espace-temps quaternionique, à titre d'exemple avec des représentations matricielles abstraites $2X2$, j'adopterai des arrangements arbitraires construits à partir de matrices de Pauli, qui seront certainement utiles dans d'autres études.

Tout d'abord, avant d'étudier les transformations du quaternion, nous supposons que les opérateurs i, j, k mappent les réels aux nombres imaginaires; la polarité de l'axe i, j, k peut être librement fixée selon que la rotation de Wick provient de la rotation de i, j, k dans le sens horaire ou antihoraire. De plus, nous devons nous rappeler que les propriétés mathématiques des opérateurs de rotation dans les systèmes 2D et 3D sont invariantes par rapport aux changements de parité axiale [14]. Enfin, le temps imaginaire est un concept qui joue un rôle crucial dans notre compréhension des phénomènes exotiques; Il semble donc prometteur d'élargir le concept pour tenter d'expliquer un phénomène aussi exotique que l'enchevêtrement quantique.

Maintenant, laissez la base de coordonnées *TRANS*-quaternionique égale à $(\mathbb{1}, i\sigma_{(k)2}, j\sigma_1, k\sigma_1)$, où i, j, k sont des unités imaginaires, $\mathbb{1}$ est la matrice unitaire $2X2$, $\mathbb{0}$ est la matrice zéro $2X2$, et $\sigma_{...}$ sont les matrices de Pauli,

$$\sigma_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix},$$

$$\sigma_2 = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix},$$

sachant que cela ne fait aucune différence si nous utilisons k ou j au lieu de i , et

$$\sigma_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix},$$

en se rappelant que définir sur une configuration particulière à 4 dimensions d'axes coordonnés un système

d'opérateurs rotationnels qui a la propriété d'être non commutatif nous conduit aux relations suivantes entre les opérateurs:

$$\begin{aligned} ij &= k; j i = -k; \\ jk &= i; k j = -i; \\ ki &= j; i k = -j. \end{aligned}$$

Ainsi, la transformation

$$\begin{pmatrix} \mathbb{O} & \begin{vmatrix} 0 & +k \\ -k & 0 \end{vmatrix} & \mathbb{O} & \mathbb{O} \\ \mathbb{O} & \mathbb{O} & \begin{vmatrix} +j & 0 \\ 0 & +j \end{vmatrix} & \mathbb{O} \\ \mathbb{O} & \mathbb{O} & \mathbb{O} & \begin{vmatrix} +k & 0 \\ 0 & +k \end{vmatrix} \\ \begin{vmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} & \mathbb{O} & \mathbb{O} & \mathbb{O} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} +\mathbb{1}_2 \\ +i\sigma_{(k)2} \\ +j\sigma_1 \\ +k\sigma_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} +i\mathbf{i}_2 \\ -\sigma_1 \\ -\sigma_1 \\ -\sigma_1 \end{pmatrix}, \quad (9)$$

est une rotation de Wick du *TRANS*-quaternion donnant un *CIS*-quaternion. Les matrices de Pauli sont toujours utiles, car elles génèrent le sous-espace observable de l'espace de Hilbert bidimensionnel et génèrent des transformations vers les algèbres de Lie. Nous pouvons construire plusieurs quaternions de ce type en utilisant des matrices de Pauli et trouver ainsi toutes les matrices qui effectuent des rotations de Wick sur elles. Par exemple,

$$\begin{pmatrix} \mathbb{O} & \begin{vmatrix} 0 & +1 \\ +1 & 0 \end{vmatrix} & \mathbb{O} & \mathbb{O} \\ \mathbb{O} & \mathbb{O} & \begin{vmatrix} +j & 0 \\ 0 & +j \end{vmatrix} & \mathbb{O} \\ \mathbb{O} & \mathbb{O} & \mathbb{O} & \begin{vmatrix} +k & 0 \\ 0 & +k \end{vmatrix} \\ \begin{vmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} & \mathbb{O} & \mathbb{O} & \mathbb{O} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} +\mathbb{1}_2 \\ +i\sigma_1 \\ +j\sigma_1 \\ +k\sigma_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} +i\mathbf{i}_2 \\ -\sigma_1 \\ -\sigma_3 \\ -\sigma_1 \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Il est clair cependant que ces transformations peuvent être non triviales, selon la représentation employée. Une rotation de Wick au sens large est la transformation d'un composant réel en un composant imaginaire (ou *vice-versa*), pas nécessairement de manière non ambiguë et directe. Le principal avantage de la base de marqueur quaternionique est que nous pouvons l'associer à n'importe quelle grandeur vectorielle que nous souhaitons analyser spatialement ou temporellement.

La rotation de Wick transforme les marqueurs spatiaux en marqueurs temporels, et *vice-versa*. Dans ces

circonstances, le marqueur temporel précédent est devenu spatial, limitant la liberté d'espace à une structure "filamenteuse". Qu'est-ce que cela signifie vraiment? Il est raisonnable de penser que chaque lieu sur la trajectoire filamenteuse de l'observateur constitue son propre espace et porte un "trièdre" temporel recevant des signaux d'événements temporels distincts se produisant à différents endroits. Au contraire, chaque instant dans la chronologie de l'observateur constitue son temps propre et transporte un trièdre spatial recevant des signaux d'événements spatiaux distincts se produisant à des moments différents. Tout cela n'a rien à voir avec l'accessibilité des films de science-fiction, mais cela peut indiquer la possibilité d'une transmission libre d'informations de l'avenir vers le passé. Le filament spatial pourrait même être infini, liant les deux particules enchevêtrées à la distance que vous souhaitez. Notez que cela n'a rien à voir avec la vision newtonienne-euclidienne de la simultanéité, car il y a un temps propre (ainsi qu'un espace propre) de l'observateur, et les temps et espaces relatifs à chaque événement observé.

Malgré tout ce que j'ai dit, un univers trop anthropique a dominé nos modèles de réalité, nous laissant confus par des phénomènes exotiques tels que l'enchevêtrement quantique. Le fait est: *a priori*, nous ne pouvons pas réaliser quelque chose qui ne se produit pas entièrement dans notre univers testable; pour assimiler l'enchevêtrement, une nouvelle configuration de coordonnées d'espace-temps doit être partagée par les particules enchevêtrées avec un cinquième composant de connexion intégré dans l'un des composants du continuum à quatre dimensions. C'est précisément la situation dans laquelle nous devons chercher de nouvelles façons de relier des objets bien différents de ceux que nous observons habituellement.

2.2 Les matrices: algèbres ouvertes complexes

De la diversité des combinaisons possibles, nous pouvons restreindre les choix uniquement à un ensemble de matrices comme la matrice (10) (chacune d'entre elles multipliée par sa transconjugué donne la matrice unitaire) qui représenterait avec élégance ces transformations de base.

$$\begin{pmatrix} \mathbb{O} & \begin{vmatrix} 0 & +1 \\ +1 & 0 \end{vmatrix} & \mathbb{O} & \mathbb{O} \\ \mathbb{O} & \mathbb{O} & \begin{vmatrix} +j & 0 \\ 0 & +j \end{vmatrix} & \mathbb{O} \\ \mathbb{O} & \mathbb{O} & \mathbb{O} & \begin{vmatrix} +k & 0 \\ 0 & +k \end{vmatrix} \\ \begin{vmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} & \mathbb{O} & \mathbb{O} & \mathbb{O} \end{pmatrix} \times$$

$$\begin{pmatrix} \begin{matrix} \text{O} & \text{O} & \text{O} \\ \begin{vmatrix} 0 & +1 \\ +1 & 0 \end{vmatrix} & \text{O} & \text{O} \\ \text{O} & \begin{vmatrix} -j & 0 \\ 0 & -j \end{vmatrix} & \text{O} \\ \text{O} & \text{O} & \begin{vmatrix} -k & 0 \\ 0 & -k \end{vmatrix} \end{matrix} \begin{matrix} \begin{vmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} \\ \text{O} \\ \text{O} \\ \text{O} \end{matrix} \end{pmatrix} = \mathbb{1}_4$$

Ces matrices forment ce que j'ai appelé une "algèbre ouverte complexe" (le terme "algèbre ouverte" a été utilisé pour la liberté de choix des représentations en fonction de la portée physico-mathématique visée). Ils peuvent également spécifier une symétrie invariante supplémentaire à partir de l'opération de multiplication; ainsi, il est possible de choisir arbitrairement des matrices qui construisent cette symétrie. Par exemple, le produit de deux matrices d'une algèbre ouverte complexe donnée sera une matrice dont les entrées non nulles sont disposées de la même manière, avec la même disposition conjuguée. Donc,

$$\begin{pmatrix} \begin{matrix} \text{O} & \begin{vmatrix} 0 & +1 \\ +1 & 0 \end{vmatrix} & \text{O} & \text{O} \\ \text{O} & \text{O} & \begin{vmatrix} +j & 0 \\ 0 & +j \end{vmatrix} & \text{O} \\ \text{O} & \text{O} & \text{O} & \begin{vmatrix} +k & 0 \\ 0 & +k \end{vmatrix} \\ \begin{vmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} & \text{O} & \text{O} & \text{O} \end{matrix} \end{pmatrix} \times$$

$$\begin{pmatrix} \begin{matrix} \text{O} & \begin{vmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} & \text{O} & \text{O} \\ \text{O} & \text{O} & \begin{vmatrix} 0 & +i \\ -i & 0 \end{vmatrix} & \text{O} \\ \text{O} & \text{O} & \text{O} & \begin{vmatrix} -j & 0 \\ 0 & -j \end{vmatrix} \\ \begin{vmatrix} -j & 0 \\ 0 & +j \end{vmatrix} & \text{O} & \text{O} & \text{O} \end{matrix} \end{pmatrix} =$$

$$\begin{pmatrix} \begin{matrix} \text{O} & \text{O} & \begin{vmatrix} -i & 0 \\ 0 & +i \end{vmatrix} & \text{O} \\ \text{O} & \text{O} & \text{O} & \begin{vmatrix} +1 & 0 \\ 0 & +1 \end{vmatrix} \\ \begin{vmatrix} +i & 0 \\ 0 & -i \end{vmatrix} & \text{O} & \text{O} & \text{O} \\ \text{O} & \begin{vmatrix} +1 & 0 \\ 0 & +1 \end{vmatrix} & \text{O} & \text{O} \end{matrix} \end{pmatrix},$$

où

$$\begin{pmatrix} \begin{matrix} \text{O} & \begin{vmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} & \text{O} & \text{O} \\ \text{O} & \text{O} & \begin{vmatrix} 0 & +i \\ -i & 0 \end{vmatrix} & \text{O} \\ \text{O} & \text{O} & \text{O} & \begin{vmatrix} -j & 0 \\ 0 & -j \end{vmatrix} \\ \begin{vmatrix} -j & 0 \\ 0 & +j \end{vmatrix} & \text{O} & \text{O} & \text{O} \end{matrix} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} +i\mathbf{i}_2 \\ -\sigma_1 \\ -\sigma_3 \\ -\sigma_1 \end{pmatrix} =$$

$$\begin{pmatrix} +\mathbf{1}_2 \\ +i\sigma_1 \\ +j\sigma_1 \\ +k\sigma_3 \end{pmatrix}$$

est une rotation de Wick de

$$\begin{pmatrix} +i\mathbf{i}_2 \\ -\sigma_1 \\ -\sigma_3 \\ -\sigma_1 \end{pmatrix}.$$

Dans ce cas, il faudrait que toutes les matrices de produits de l'algèbre ouverte complexe particulière aient la forme

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & 0 & n \\ m^\dagger & 0 & 0 & 0 \\ 0 & n & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

2.3 Une autre dimension?

Bien sûr, si nous pensons à l'espace (ou au temps) réduit à un filament, il sera naturel de déduire qu'il peut y avoir de nombreux filaments indépendants mais en quelque sorte connectés. Assumer par la voie conventionnelle une cinquième dimension qui répond par une telle connexion nous ramènerait à la vieille question de savoir pourquoi nous ne la percevons pas. De plus, nous ajouterions une complication de matrice inutile. Il semble plus élégant de supposer un composant caché ⁵ imbibé dans la quatrième dimension et signé par une unité imaginaire distincte des autres, définie comme $\varepsilon = \sqrt[4]{-1}$. Nous ne le percevons pas parce qu'il fait partie de la quatrième dimension, et parce qu'il est, par définition, nul sous rotation de mèche. En fait, la composante associée à la quatrième dimension, c'est-à-dire le "pont" entre les filaments infinis du temps ou de l'espace, exprime ce qui constitue réellement l'édifice du continuum: des tranches à quatre dimensions qui se détachent d'une "cinquième direction" ce n'est ni le temps ni l'espace. Et, plus précisément, la différence qualitative entre l'espace et le temps, qui nous est imposée par la perception, n'appartient pas au monde objectif, comme l'a souligné Weil[16].

Cette cinquième "direction" manifeste, par définition, l'intéressante propriété d'être nulle sous rotations de Wick et *sluepotent*. Une opération *sluepotent* est une opération où une quantité a est telle que $aa = i$. Donc,

⁵ La discussion des caractéristiques transempiriques ou cachées dans la structure de l'univers n'est pas nouvelle. La conjecture de Bohm sur les variables cachées date des années 50 cite Bohm. Néanmoins, la situation dont je parle n'a pas exactement la même nature épistémologique. Dans le modèle de Bohm, les variables de moment et de position bien définies d'une particule sont appelées ses variables supplémentaires ou cachées par rapport à la théorie quantique; ils ont une existence simultanée, mais ils n'apparaissent explicitement dans le processus que sous la forme d'un certain potentiel quantique. Dans ma théorie, au contraire, il y a une dimension supplémentaire cachée qui n'a pas de racine classique ou de correspondance naturelle avec des quantités précédemment connues qui seraient maintenant simplement "invisibles" en raison de nouvelles dispositions théoriques et arrangements formels.



$$1. \quad i\varepsilon = j\varepsilon = k\varepsilon = 0; \quad (11)$$

$$2. \quad \varepsilon\varepsilon = i. \quad (12)$$

Compte tenu de cette nouvelle perspective, examinons la structure matricielle de la représentation décrite ci-dessus. Je dois définir les matrices suivantes,

$$E_1 = \begin{bmatrix} \sqrt[4]{-1} & 0 \\ 0 & \sqrt[4]{-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon & 0 \\ 0 & \varepsilon \end{bmatrix};$$

$$E_2 = \begin{bmatrix} 0 & -\sqrt[4]{-1} \\ -\sqrt[4]{-1} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\varepsilon \\ -\varepsilon & 0 \end{bmatrix};$$

$$E_3 = \begin{bmatrix} 0 & -\sqrt[4]{-1} \\ \sqrt[4]{-1} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\varepsilon \\ \varepsilon & 0 \end{bmatrix};$$

$$E_4 = \begin{bmatrix} \sqrt[4]{-1} & 0 \\ 0 & -\sqrt[4]{-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon & 0 \\ 0 & -\varepsilon \end{bmatrix}.$$

A partir des nouvelles définitions et avec le pont représenté dans le premier composant quaternionique, il est possible d'écrire la transformation

$$\begin{pmatrix} \begin{matrix} \mathbb{O} & \begin{vmatrix} 0 & -i \\ -i & 0 \end{vmatrix} & \mathbb{O} & \mathbb{O} \\ \mathbb{O} & \mathbb{O} & \begin{vmatrix} +j & 0 \\ 0 & +j \end{vmatrix} & \mathbb{O} \\ \mathbb{O} & \mathbb{O} & \mathbb{O} & \begin{vmatrix} +k & 0 \\ 0 & +k \end{vmatrix} \\ \begin{vmatrix} 0 & -\varepsilon \\ \varepsilon & 0 \end{vmatrix} & \mathbb{O} & \mathbb{O} & \mathbb{O} \end{matrix} \\ \begin{matrix} (\mathbb{1}_2, E_1) \\ +i\sigma_1 \\ +j\sigma_1 \\ +k\sigma_3 \end{matrix} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} +\mathbb{1}_2 \\ -\sigma_1 \\ -\sigma_3 \\ (\sigma_2, E_3) \end{pmatrix}, \quad (13)$$

où le nouveau quaternion inclut le pont dans le dernier composant.

On note que l'inversion de cette transformation est donnée par

$$\begin{pmatrix} \begin{matrix} \mathbb{O} & \begin{vmatrix} 0 & -1-\varepsilon \\ -1-\varepsilon & 0 \end{vmatrix} & \mathbb{O} & \mathbb{O} \\ \mathbb{O} & \mathbb{O} & \begin{vmatrix} 0 & +i \\ -i & 0 \end{vmatrix} & \mathbb{O} \\ \mathbb{O} & \mathbb{O} & \mathbb{O} & \begin{vmatrix} -k & 0 \\ 0 & +k \end{vmatrix} \\ \begin{vmatrix} +k & 0 \\ 0 & -k \end{vmatrix} & \mathbb{O} & \mathbb{O} & \mathbb{O} \end{matrix} \\ \begin{matrix} +\mathbb{1}_2 \\ -\sigma_1 \\ -\sigma_3 \\ (\sigma_2, E_3) \end{matrix} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (\mathbb{1}_2, E_1) \\ +i\sigma_1 \\ +j\sigma_1 \\ +k\sigma_3 \end{pmatrix}. \quad (14)$$

On peut continuer et terminer le calcul en faisant le produit des deux matrices

$$\begin{pmatrix} \begin{matrix} \mathbb{O} & \begin{vmatrix} 0 & -i \\ -i & 0 \end{vmatrix} & \mathbb{O} & \mathbb{O} \\ \mathbb{O} & \mathbb{O} & \begin{vmatrix} +j & 0 \\ 0 & +j \end{vmatrix} & \mathbb{O} \\ \mathbb{O} & \mathbb{O} & \mathbb{O} & \begin{vmatrix} +k & 0 \\ 0 & +k \end{vmatrix} \\ \begin{vmatrix} 0 & -\varepsilon \\ \varepsilon & 0 \end{vmatrix} & \mathbb{O} & \mathbb{O} & \mathbb{O} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \mathbb{O} & \begin{vmatrix} 0 & -1-\varepsilon \\ -1-\varepsilon & 0 \end{vmatrix} & \mathbb{O} & \mathbb{O} \\ \mathbb{O} & \mathbb{O} & \begin{vmatrix} 0 & +i \\ -i & 0 \end{vmatrix} & \mathbb{O} \\ \mathbb{O} & \mathbb{O} & \mathbb{O} & \begin{vmatrix} -k & 0 \\ 0 & +k \end{vmatrix} \\ \begin{vmatrix} +k & 0 \\ 0 & -k \end{vmatrix} & \mathbb{O} & \mathbb{O} & \mathbb{O} \end{matrix} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \begin{matrix} \mathbb{O} & \mathbb{O} & \begin{vmatrix} -1 & 0 \\ 0 & +1 \end{vmatrix} & \mathbb{O} \\ \mathbb{O} & \mathbb{O} & \mathbb{O} & \begin{vmatrix} -i & 0 \\ 0 & +i \end{vmatrix} \\ \begin{vmatrix} -1 & 0 \\ 0 & +1 \end{vmatrix} & \mathbb{O} & \mathbb{O} & \mathbb{O} \\ \mathbb{O} & \begin{vmatrix} +(\varepsilon+i) & 0 \\ 0 & -(\varepsilon+i) \end{vmatrix} & \mathbb{O} & \mathbb{O} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \mathbb{O} & \mathbb{O} & \begin{vmatrix} -1 & 0 \\ 0 & +1 \end{vmatrix} & \mathbb{O} \\ \mathbb{O} & \mathbb{O} & \mathbb{O} & \begin{vmatrix} -i & 0 \\ 0 & +i \end{vmatrix} \\ \begin{vmatrix} -1 & 0 \\ 0 & +1 \end{vmatrix} & \mathbb{O} & \mathbb{O} & \mathbb{O} \\ \mathbb{O} & \begin{vmatrix} +(\varepsilon+i) & 0 \\ 0 & -(\varepsilon+i) \end{vmatrix} & \mathbb{O} & \mathbb{O} \end{matrix} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \begin{matrix} \mathbb{O} & \mathbb{O} & \begin{vmatrix} -1 & 0 \\ 0 & +1 \end{vmatrix} & \mathbb{O} \\ \mathbb{O} & \mathbb{O} & \mathbb{O} & \begin{vmatrix} -i & 0 \\ 0 & +i \end{vmatrix} \\ \begin{vmatrix} -1 & 0 \\ 0 & +1 \end{vmatrix} & \mathbb{O} & \mathbb{O} & \mathbb{O} \\ \mathbb{O} & \begin{vmatrix} +(\varepsilon+i) & 0 \\ 0 & -(\varepsilon+i) \end{vmatrix} & \mathbb{O} & \mathbb{O} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \mathbb{O} & \mathbb{O} & \begin{vmatrix} -1 & 0 \\ 0 & +1 \end{vmatrix} & \mathbb{O} \\ \mathbb{O} & \mathbb{O} & \mathbb{O} & \begin{vmatrix} -i & 0 \\ 0 & +i \end{vmatrix} \\ \begin{vmatrix} -1 & 0 \\ 0 & +1 \end{vmatrix} & \mathbb{O} & \mathbb{O} & \mathbb{O} \\ \mathbb{O} & \begin{vmatrix} +(\varepsilon+i) & 0 \\ 0 & -(\varepsilon+i) \end{vmatrix} & \mathbb{O} & \mathbb{O} \end{matrix} \end{pmatrix}. \quad (15)$$

Le produit de cette matrice par son conjuguée transposée fournit

$$\begin{pmatrix} \begin{matrix} 0 & 0 & -\sigma_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -i\sigma_3 \\ -\sigma_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & (i\sigma_3, E_4) & 0 & 0 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 & 0 & -\sigma_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (-i\sigma_3, E_4) \\ -\sigma_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & i\sigma_3 & 0 & 0 \end{matrix} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \begin{matrix} 0 & 0 & -\sigma_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (-i\sigma_3, E_4) \\ -\sigma_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & i\sigma_3 & 0 & 0 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 & 0 & -\sigma_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (-i\sigma_3, E_4) \\ -\sigma_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & i\sigma_3 & 0 & 0 \end{matrix} \end{pmatrix} =$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \tilde{U} \end{pmatrix}, \quad \tilde{U} = 1 + i.$$

Les choix et la séquence des opérations étaient tels que nous sommes arrivés à la matrice unitaire de la théorie, la " \tilde{U} -matrice", c'est-à-dire une matrice avec la dernière entrée diagonale égale à la unité complexe, conséquence de la cinquième dimension encastrée dans la quatrième.

Le but de cet essai n'est pas d'épuiser toutes les options qui conduiraient à des résultats similaires, mais simplement de démontrer un résultat cohérent. Comme je ne traite que du cadre géométrique de la représentation, les études en cours illustreront davantage l'utilité de la base quaternionique discutée avec les applications.



3 Les temps d'un temps nouveau

Le temps fascine vraiment. En tant que physicien, j'essaie de soulager la tension mentale en m'amusant avec de bons films de science-fiction, en particulier ceux dont les scripts traitent des pièges du temps. En effet, ils peuvent souvent provoquer perspectives intéressantes. Récemment, ma série préférée, Star Trek Discovery, m'a réaffirmé cette vérité. Extrapolations fictives à part, l'épisode 12 de la saison 2 montre un monastère Klingon sur la planète Boreth; un moine gardien des cristaux du temps a exprimé une pensée remarquable: "quand l'avenir deviendra le passé, le présent sera libéré". Si le sujet du film était l'enchevêtrement quantique, aucune construction verbale ne pourrait être meilleure pour synthétiser l'essence du phénomène.

Liés à un temps linéaire et à une manière de penser les choses séparées, on ne peut guère déchiffrer les énigmes les plus profondes de la nature. L'idée d'un temps tridimensionnel à partir de la symétrie parfaite entre l'espace et le temps nous permet de penser à différentes manières d'organiser et de décrire les relations entre objets et ensembles d'objets; il n'y a pas de vitesses superluminares impliquées, juste des relations différentes entre les objets du contexte quantique. Si nous acceptons cette possibilité, nous serons mieux à même de comprendre l'enchevêtrement quantique et d'autres phénomènes pas encore entièrement élucidés.

References

- [1] Bohmn, D. (2008). *Totalidade e a ordem implícita*. Madras Editora, São Paulo, 222p.
- [2] Brissenden, S. (2019). It's time to stop talking about 'time'. Available at *RESEARCHERS.ONE*, <https://www.researchers.one/article/2019-02-2>.
- [3] Eco, U. (1979). I problemi della semiotica visiva. *Lectures presented at Santa Úrsula University*, Rio de Janeiro.
- [4] Hegel, G. (1801). *Dissertatio philosophica de orbitis planetarum*. (Translated to French language by François de Gandt, 1979), Vrin, Paris.
- [5] Locke, J. (1690). *An essay concerning human understanding*. (ed. Pringle-Pattison, 1924), Clarendon Press, Oxford.
- [6] Merleau-Ponty, M. (2018). *O visível e o invisível*. Perspectiva, São Paulo, 273p.
- [7] Nieuwenhuizen, P. van, Waldron, A. (1996). A continuous Wick rotation for spinor fields and supersymmetry in Euclidian space. In *Proceedings of the String Conference held at Imperial College*, London.
- [8] Popper, K. (1962). *La lógica de la investigación científica*. Editorial Tecnos, Madrid, 451p.
- [9] Russell, B. (2018). *Conhecimento humano*. Editora Unesp, São Paulo, 809p.
- [10] Serpa, N. (2017). *Théorie quantique de l'espace-temps: Principes physiques et philosophiques*. CALIBRE 2(3), 22-27.
- [11] Serpa, N. (2017). *Thesaurus theoris circa gravitatis et cetera*. CALIBRE 2(supplement), 78p.
- [12] Serpa, N. (2018). *Sobre a natureza do tempo e outras conjecturas*. CALIBRE 3(1), 1-16.
- [13] Serpa, N. (2019). *Prospects on clouds of quantum machines*. CALIBRE 4(supplement), 25p.
- [14] Synge, j. (1972). *Quaternions, Lorentz transformations, and the Conway-Dirac-Eddington matrices*. Dublin Institute for Advanced Studies, Dublin, 67p.
- [15] Visser, M. (2017). How to Wick rotate generic curved spacetime. *arXiv:1702.05572v2*, 11p.
- [16] Weil, H. (1952). *Space, time, matter*. Dover, New York, USA.
- [17] Weinberg, S. (1978). *Los tres primeros minutos del universo*. Alianza Editorial, Madrid, 156p.