

*DEVELOPING A THEORY OF EVERYTHING*

BIBLIOTHÈQUE DES ANNALES DE LA FONDATION LOUIS DE BROGLIE  
OUVRAGE À PARAÎTRE

**Developing a Theory of Everything** – CLAUDE DAVIAU, JACQUES BERTRAND, THIERRY SOCROUN, DOMINIQUE GIRARDOT, Fondation Louis de Broglie, Paris, 2020 – 292 pages, ISBN: 978-2-910458-04-1.

Disponible à la Fondation Louis de Broglie, 23 rue Marsoulan, F-75012 Paris 12e, email: [inst.louisdebrogli@free.fr](mailto:inst.louisdebrogli@free.fr); 40 € port inclus.

Depuis la découverte des ondes de matière par de Broglie, grâce à la relativité restreinte, la mécanique quantique s'est construite à partir de la mécanique des matrices d'Heisenberg et de la notion d'état quantique, fonction des coordonnées des particules et du temps, à valeur complexe. Les objets de la physique quantique actuelle se partagent en deux catégories, les fermions comme l'électron, le muon, les neutrinos et les quarks, et les bosons de jauge (dont les photons de la lumière).

Contrairement à toutes les synthèses étudiées précédemment, qui comportent un hamiltonien et une équation du type Schrödinger faisant jouer un rôle particulier au temps, le présent travail part d'une équation d'onde vraiment relativiste. Celle-ci reprend deux des trois parties d'une équation de Dirac, celle contenant le terme différentiel (où les coordonnées d'espace et le temps jouent le même rôle), le terme de jauge électrique (lié par le théorème de Noether à la conservation du courant de probabilité) et emprunte le terme de masse à la théorie du monopôle magnétique de Lochak, dans le cas particulier où l'équation de Dirac est l'approximation linéaire de la nôtre. Avec cette équation modifiée la con-

jugaison de charge est simplement, comme l'avait compris Feynman, la symétrie PT (le positron "voit l'espace-temps à l'envers" de l'électron).

L'onde relativiste de l'électron étant une fonction de l'espace-temps à valeur dans  $\mathbb{C}^4$ , espace vectoriel de même dimension que l'algèbre des matrices de Pauli, nous avons tout d'abord simplifié la physique de l'électron en utilisant uniquement cette algèbre, qui est aussi l'algèbre de Clifford  $Cl_3$  de l'espace de dimension 3 (le lecteur non familier avec ces algèbres trouvera des explications détaillées dans les chapitres annexes A et B). Les mathématiques utilisées sont donc un peu plus simples que dans la théorie initiale de l'équation de Dirac, les matrices  $2 \times 2$  étant plus commodes que les matrices  $4 \times 4$ . Il reste quand même une grosse difficulté, la non-commutativité de la multiplication, incontournable parce que liée à la même propriété pour les rotations de l'espace de dimension trois, ou pour le produit vectoriel. L'utilisation des matrices de Pauli permet notamment d'obtenir beaucoup plus simplement toutes les densités tensorielles construites à partir de la fonction d'onde de l'électron, dans le premier chapitre (36 densités au lieu de 16), ou des deux fonctions d'onde de l'électron et du monopôle magnétique au chapitre 2, ou des six fonctions d'onde des quarks colorés au chapitre 3.

Cette simplification permet d'apercevoir qu'on peut élargir le groupe d'invariance relativiste à  $Cl_3^*$ , groupe des éléments inversibles de l'algèbre  $Cl_3$  (groupe de Lie de dimension huit). Ce groupe d'invariance respecte à la fois l'orientation de l'espace et celle du temps (compatibilité avec le temps thermodynamique). Plus important que la simplification du cadre mathématique, le remplacement du terme de masse de l'équation linéaire de Dirac par le terme de masse non linéaire de l'équation d'onde du monopôle magnétique, rend l'électron compatible à la fois avec la jauge électrique et avec la jauge chirale. A la suite de Lochak, nous considérons les deux parties chirales gauche et droite de l'onde comme étant les champs fondamentaux pour l'électron (et ensuite pour tous les fermions). L'origine de la nécessaire distinction entre gauche et droite vient de la transformation des spineurs sous le groupe d'invariance relativiste. Dans les transformations de jauge électrique les spineurs gauches et droits tournent de la même manière, alors que dans les transformations de jauge chirale ils tournent du même angle, mais en sens opposé. Toutes les densités tensorielles sont constituées à partir de ces ondes droites et gauches, y compris le tenseur d'impulsion-énergie qui se dédouble en deux tenseurs, lui aussi. La forme complètement invariante relativiste de l'équation d'onde (chacun des trois termes est alors invariant)

a très exactement pour partie réelle l'équation : densité lagrangienne=0. L'équivalence logique entre la forme complètement invariante et la forme usuelle de l'équation d'onde prend tout aussi exactement la forme des équations de Lagrange. Sous forme complètement invariante, l'équation d'onde est équivalente à un système de huit équations numériques (tout comme une équation entre nombres complexes équivaut à un système de deux équations entre nombres réels). L'une de ces équations est celle de la densité lagrangienne, une autre est la loi de conservation du courant de probabilité et une troisième est la loi de conservation du courant chirale. Le principe extrémal dit de "moindre action" qui régit la mécanique classique puis la mécanique quantique est donc une conséquence automatique de la structure géométrique de l'onde quantique. Tout ce que la physique quantique a su obtenir à partir du théorème de Noether fait donc aussi partie des conséquences automatiques (conservation des courants chiraux, conservation des tenseurs d'impulsion-énergie et de moment cinétique, etc.).

La théorie quantique des champs a remplacé l'onde à valeur dans  $\mathbb{C}^4$  de l'électron de Dirac par une onde à valeur dans un espace vectoriel d'opérateurs agissant sur l'onde. De même, nous élargissons le cadre mathématique précédent en substituant à l'onde à valeur dans  $Cl_3^*$  une onde à valeur dans  $\text{End}(Cl_3)$ , le groupe des applications linéaires de  $Cl_3$  dans lui-même. Cet élargissement ne se fait pas n'importe comment, mais de façon à ce que  $Cl_3^*$  soit lui-même inclus dans  $\text{End}(Cl_3)$ . C'est nécessaire pour que l'électron de la seconde quantification puisse hériter de tous les résultats de l'onde de première quantification, comme les niveaux d'énergie des atomes. Cette inclusion est très contraignante et c'est elle qui est à l'origine de la préférence pour les ondes gauches (violation maximale de la parité dans les interactions faibles).

Le groupe des endomorphismes de  $Cl_3$  a pour algèbre de Lie  $Cl_{3,3}$ . Il en résulte une séparation de cette algèbre de dimension 64 en huit parties correspondant respectivement à l'électron, au neutrino-monopôle magnétique et à deux quarks u et d possédant chacun trois états de couleur. Plus précisément la séparation met d'un côté la partie leptonique comportant l'électron et son neutrino (neutrino complet, avec onde gauche et droite, que nous identifions au monopôle magnétique de Lochak), et pour le reste trois parties de "couleur" contenant pour chacune un quark u de charge 2/3 du positron, et un quark d de charge 1/3 de la charge négative de l'électron. Donc nous obtenons non seulement tous les fermions d'une génération, mais nous avons une séparation na-

turelle entre quarks et leptons qui justifie une unification sans possibilité de désintégration du proton (conservation du nombre baryonique). La partie leptonique, étudiée dans le chapitre 2 a pour groupe de jauge le groupe  $U(1) \times SU(2)$  des interactions électro-faibles, avec le terme de masse de l'électron (la théorie de Weinberg-Salam ne sait pas obtenir l'invariance de jauge sans supprimer le terme de masse). L'onde globale admet une densité lagrangienne, qui est là aussi la partie réelle de l'onde invariante, et le passage à la forme usuelle des équations d'onde des différentes parties de l'onde globale prend la forme d'équations de Lagrange. Cela justifie l'universalité du mécanisme lagrangien, pour les fermions et eux seuls (donc pas de symétrie entre fermions et bosons). Il en résulte l'universalité de l'impulsion-énergie sous la forme du tenseur de Tétrode, somme d'une partie gauche et d'une partie droite, ainsi que d'un autre tenseur repéré par O. Costa de Beauregard, différence entre partie droite et partie gauche. L'onde globale est invariante relativiste sous le groupe élargi, et invariante de jauge sous le groupe  $U(1) \times SU(2) \times SU(3)$  du modèle standard, d'une manière qui rend automatique l'insensibilité des leptons aux interactions fortes. Ce groupe de jauge apparaît comme le plus vaste groupe possible (d'où la non-désintégration du proton). Ce groupe n'a pas à être postulé, il arrive automatiquement, avec les propriétés attendues, à la seule condition de remplacer l'onde de première quantification par l'onde à valeur dans  $\text{End}(Cl_3)$ .

Le plus important résultat découlant de ces hypothèses simples est la quantification elle-même, plus précisément la quantification du moment cinétique avec la valeur  $\hbar/2$ . Celle-ci résulte de la normalisation de l'onde, conséquence elle-même du principe d'équivalence (égalité entre masse gravitationnelle et masse d'inertie), et de l'invariance du tenseur d'énergie de Costa de Beauregard sous le groupe d'invariance relativiste élargi. De Broglie a expliqué dans "les incertitudes d'Heisenberg et l'interprétation probabiliste de la mécanique ondulatoire" (Gauthier-villars, Paris 1982, page 80) comment la borne inférieure des quatre inégalités d'Heisenberg est cette valeur  $\hbar/2$  du moment cinétique de l'électron. En ce qui concerne les quarks, la quantification du moment cinétique n'intervient que pour le proton entier, avec ses trois quarks, ou pour le neutron entier avec ses trois quarks. Un quark seul n'est pas doté des propriétés du proton ou du neutron avec leurs trois quarks, ce qui justifie qu'on ne puisse jamais extraire un quark isolé d'un proton ou d'un neutron : tous les projectiles possibles sont nécessairement dotés d'un spin multiple entier de  $\hbar/2$ .

La suppression du terme de masse de l'équation de Dirac effectuée pour obtenir le groupe de jauge de l'unification électro-faible a nécessité l'utilisation d'un processus de symétrie spontanément brisée. Maintenant que le boson de Higgs réalisant cette brisure de symétrie est observé, la théorie n'est pas vraiment plus avancée pour l'unification des interactions de jauge avec l'interaction gravitationnelle. On en a déduit qu'il fallait trouver une théorie complètement nouvelle, au-delà du modèle standard, avant de pouvoir envisager une théorie de toutes les interactions. Or l'équation d'onde améliorée est parfaitement compatible avec la masse, tant gravitationnelle que d'inertie : l'équation d'onde de l'électron permet d'obtenir la force de Lorentz agissant sur le fluide chargé électriquement. Il en est de même pour le monopôle avec sa charge magnétique, pour les quarks avec charge électrique et couleur. Donc l'unification avec la gravitation est possible et prend la forme d'une égalité entre deux connexions. L'une de ces connexions vient du repère orthogonal mobile lié à l'onde quantique, l'autre connexion résulte de l'invariance locale généralisant l'invariance globale sous  $Cl_3^*$ . Dans le cas d'une onde plane la connexion est complètement calculable, elle est dotée d'une torsion liée au terme de masse. L'interaction gravitationnelle et les interactions faibles sont liées par le fait que le potentiel lié à la partie  $U(1)$  du groupe de jauge  $U(1) \times SU(2)$  agit aussi dans l'interaction gravitationnelle, le  $i$  générateur de ce groupe  $U(1)$  faisant partie du centre de  $Cl_3$ . Il en résulte, dans le cas des quarks, une simplification des interactions faibles quand on ne néglige pas l'interaction gravitationnelle.

Globalement, nos équations et les résultats qu'elles impliquent s'inscrivent complètement dans le cadre du modèle standard de la physique, dans sa version expérimentale. Mais nous débordons le cadre étroit (amplitude – phase) de l'électrodynamique quantique, pour la simple raison que le temps  $y$  joue un rôle trop différent de celui de l'espace, tandis que c'est l'espace-temps tout entier qui intervient avec  $Cl_3$ . In fine (chapitre 5), le plus important, d'un point de vue plus philosophique, est ceci : les grands principes qui organisent les lois physiques, comme le principe de moindre action, le principe d'équivalence, le principe d'antisymétrisation pour les fermions, nous pouvons les obtenir comme des conséquences des propriétés des ondes matérielles.