

LE VIDE, LA MASSE ET L'ÉNERGIE

Voyage au coeur de la matière, de Pascal au champ de Higgs



Richard Dujon

Richard Dujon

LE VIDE, LA MASSE ET L'ÉNERGIE

**Voyage au cœur de la matière, de Pascal au
champ de Higgs**

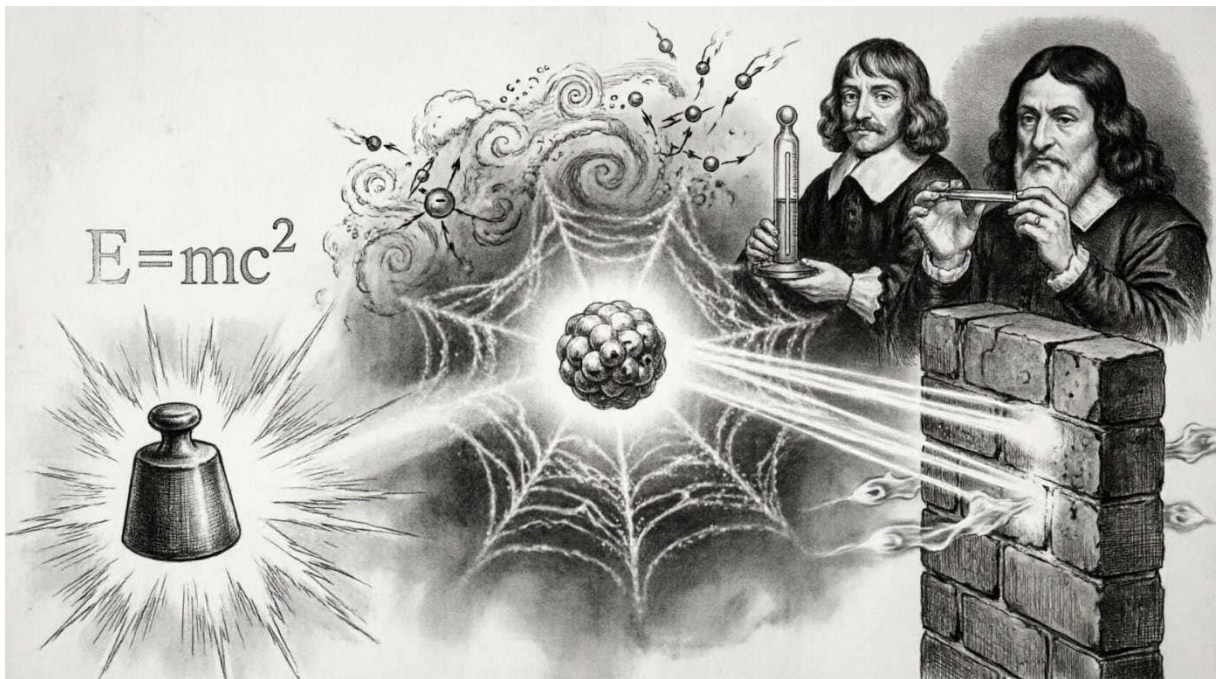
L'analyse automatique du travail, pour obtenir des informations, notamment sur les motifs, les tendances et les corrélations ("data and text mining") est interdite.

© 2026 Richard Dujon

Édition et impression :
BoD · [Books on Demand GmbH](#), Überseering 33,
22297 Hambourg, Allemagne

ISBN: 978-2-3227-1354-7

Dépôt légal : Juillet 2026



PRÉFACE

Comment un kilo de plomb m'a fait perdre le sommeil

Tout a commencé par une question anodine, posée un soir, presque par hasard, au détour d'une conversation.

Quelqu'un m'a demandé : « Si la matière, c'est de l'énergie, comme le dit Einstein, alors combien d'énergie y a-t-il dans un kilo de plomb ? »

J'ai souri. Je connaissais la formule, bien sûr. Tout le monde connaît $E=mc^2$. C'est l'équation la plus célèbre du monde, imprimée sur des t-shirts, des tasses à café et des posters de chambres d'adolescents. Mais connaître une formule et comprendre ce qu'elle signifie sont deux choses très différentes.

Alors j'ai fait le calcul. Et le résultat m'a laissé sans voix.

Un kilo de plomb. Un objet banal, grisâtre, lourd et inerte, que vous pourriez trouver dans n'importe quelle cave ou salle de sport. Ce kilo de plomb, si l'on pouvait le convertir intégralement en énergie, libérerait l'équivalent de plus de mille bombes d'Hiroshima. Dans un objet qui tient dans la paume de la main dort une puissance capable de raser une métropole.

Cette nuit-là, je n'ai pas dormi. Je tournais et retournais dans ma tête cette idée vertigineuse : le monde qui m'entoure, la table sur laquelle je pose mon café, le mur contre lequel je m'adosse, mon propre corps, tout cela est un réservoir d'énergie inimaginable. Et pourtant, rien ne bouge. Rien n'explose. Tout est calme, stable, silencieux.

Comment est-ce possible ?

Cette question en a entraîné une autre, puis une autre encore. Si la masse est de l'énergie, d'où vient la masse ? Pourquoi un électron pèse-t-il quelque chose, alors qu'un photon ne pèse rien ? Et si le photon ne pèse rien, comment peut-il transporter de l'énergie, chauffer ma peau au soleil, faire pousser les plantes ?

Et puis, la question la plus folle de toutes : que se passe-t-il quand on enlève tout ? Quand on retire toute la matière, toute la lumière, toute la chaleur ? Qu'y a-t-il dans le vide ? Est-ce le néant ? Ou est-ce quelque chose d'autre, quelque chose de plus profond, de plus mystérieux ?

Un voyage de trois siècles

En creusant ces questions, j'ai découvert qu'elles n'étaient pas nouvelles. Elles hantent l'humanité depuis des siècles. J'ai découvert que deux génies du XVII^e siècle, Blaise

Pascal et Baruch Spinoza, s'étaient déjà déchirés sur la question du vide. L'un, armé de tubes de mercure et d'une montagne, avait prouvé que le vide existe. L'autre, armé de la seule puissance de sa raison, avait affirmé que le néant est une impossibilité logique.

J'ai découvert que trois cents ans plus tard, la physique quantique et la découverte du champ de Higgs au CERN étaient venues donner raison aux deux, de la manière la plus inattendue qui soit.

J'ai découvert que la réalité est bien plus étrange, bien plus belle, bien plus profonde que ce que notre intuition nous laisse croire. Que le « rien » est en fait un « quelque chose » d'extraordinairement complexe. Que des particules fantômes traversent notre corps par milliards chaque seconde sans que nous le sachions. Que le Soleil perd quatre millions de tonnes de sa masse chaque seconde pour nous envoyer sa lumière. Que même le feu de votre cheminée convertit de la matière en énergie, à une échelle si infime qu'elle en devient presque philosophique.

Et j'ai eu envie de partager tout cela.

Pour qui est ce livre ?

Ce livre n'est pas un manuel de physique. Vous n'y trouverez pas de démonstrations mathématiques complexes, ni de jargon technique inutile. Ce n'est pas non plus un livre pour spécialistes. Si vous avez un doctorat en physique des particules, vous n'apprendrez probablement rien de nouveau ici (et je vous prie de pardonner les simplifications que j'ai parfois dû faire pour rendre les concepts accessibles).

Ce livre est écrit pour vous, lecteur curieux, qui avez un jour levé les yeux vers le ciel étoilé en vous demandant de quoi tout cela est fait. Pour vous qui avez entendu parler du boson de Higgs aux informations sans vraiment comprendre ce que c'était. Pour vous qui savez qu'Einstein a dit que la masse et l'énergie sont la même chose, mais qui n'avez jamais vraiment saisi ce que cela signifiait concrètement.

Ce livre est écrit pour tous ceux qui pensent que la science n'est pas réservée à une élite, que les grandes questions de l'Univers appartiennent à tout le monde, et que comprendre le monde dans lequel nous vivons est l'une des aventures les plus passionnantes qui soient.

Je n'ai qu'une seule exigence envers vous : votre curiosité. Si vous l'avez, je m'occupe du reste.

L'ambition de ce livre

Mon ambition est simple : que vous refermiez ce livre en ne regardant plus jamais le monde de la même manière.

Que lorsque vous tiendrez un objet dans votre main, vous pensiez à l'énergie colossale qui dort en lui. Que lorsque vous vous exposerez au soleil, vous sentiez les photons sans masse qui frappent votre peau et vous transfèrent leur énergie. Que lorsque vous traverserez un mur du regard, vous pensiez aux neutrinos qui, eux, le traversent vraiment, par milliards, à chaque seconde. Et que lorsque vous contemplerez le vide de l'espace entre les étoiles, vous sachiez que ce vide n'est pas vide, qu'il est rempli de champs invisibles, de fluctuations quantiques, et d'une énergie mystérieuse qui constitue 95 % de l'Univers.

Je veux que vous compreniez que la physique n'est pas une collection de formules abstraites réservées à des savants en blouse blanche. C'est une aventure humaine, faite de génie, d'erreurs, de coups de chance et de persévérance. C'est l'histoire de Pascal gravissant le Puy de Dôme avec son baromètre, d'Einstein griffonnant des équations dans un bureau des brevets, de Peter Higgs attendant cinquante ans que l'on confirme son intuition, et de milliers de chercheurs du CERN traquant une particule fantôme dans un tunnel de 27 kilomètres enfoui sous la frontière franco-suisse.

Un mot de prudence

Je dois être honnête avec vous. La physique moderne est difficile. Elle contredit notre intuition à presque chaque étape. Le temps qui ralentit, l'espace qui se contracte, la masse qui est de l'énergie, le vide qui est plein : tout cela semble absurde au premier abord. Et c'est normal. Notre cerveau a évolué pour survivre dans la savane africaine, pas pour comprendre la mécanique quantique. Notre intuition est un outil merveilleux pour la vie quotidienne, mais un piège redoutable pour comprendre la réalité fondamentale.

Je ne vous demanderai pas de « croire » ce que je vous raconte. La science n'est pas une affaire de croyance, mais de preuves. À chaque étape, je vous montrerai les expériences, les mesures, les observations qui valident ces idées apparemment folles. Et si, à la fin, vous trouvez que la réalité est plus étrange que la fiction, alors j'aurai atteint mon but.

Remerciements

Ce livre n'aurait pas existé sans les conversations passionnées qui l'ont fait naître, question après question, chapitre après chapitre. Il est le fruit d'un dialogue, d'une curiosité partagée, d'un émerveillement commun devant la beauté de l'Univers.

Je remercie tous ceux qui, par leurs questions, m'ont poussé à creuser plus profondément, à chercher des analogies plus claires, à ne jamais me contenter de réponses superficielles.

Et je vous remercie, vous, lecteur, d'avoir ouvert ce livre. Votre curiosité est le plus beau compliment que vous puissiez me faire.

Bon voyage au cœur de la matière.

AVANT-PROPOS

Trois questions, un voyage

Ce livre est organisé autour de trois questions fondamentales, trois énigmes qui, prises ensemble, dessinent les contours de notre compréhension moderne de la réalité. Chacune de ces questions a occupé les plus grands esprits de l'humanité pendant des siècles, et chacune trouve aujourd'hui des réponses qui défient l'imagination.

Première question : La masse est-elle ce que nous croyons ?

Quand vous tenez un objet dans votre main, vous avez l'impression de tenir quelque chose de simple, de stable, d'évident. Un kilo, c'est un kilo. Point final.

C'est du moins ce que pensait Isaac Newton au XVII^e siècle. Pour lui, la masse était une propriété absolue, immuable, indépendante de tout observateur ou de tout mouvement. Un kilogramme de plomb sur Terre était exactement le même kilogramme de plomb dans l'espace.

Puis vint Albert Einstein. En 1905, dans un bureau des brevets de Berne, il publia une équation de cinq caractères qui allait changer le monde : $E = mc^2$. Cette équation révèle que la masse et l'énergie ne sont pas deux choses séparées, mais deux formes d'une même réalité. La masse est de l'énergie condensée ; l'énergie est de la masse libérée.

Les conséquences sont vertigineuses. Un simple kilo de plomb contient l'équivalent énergétique de plus de mille bombes atomiques. Mais cette énergie est verrouillée, piégée par la stabilité extraordinaire de la matière ordinaire.

La première partie de ce livre explore cette révolution conceptuelle. Nous verrons comment Einstein a transformé notre compréhension de la masse, pourquoi un kilo de plomb est une bombe dormante, et comment l'humanité a appris à libérer des fragments de cette énergie colossale, que ce soit dans les centrales nucléaires, au cœur du Soleil, ou même dans une simple cheminée.

Deuxième question : Peut-on avoir de l'énergie sans avoir de masse ?

Si la masse est une forme d'énergie, alors a-t-on besoin de masse pour avoir de l'énergie ? La réponse, contre-intuitive, est non.

Prenez la lumière. Un photon, la particule élémentaire de lumière, n'a pas de masse. Strictement zéro. Et pourtant, il transporte de l'énergie. C'est cette énergie qui chauffe votre peau au soleil, qui alimente les panneaux solaires, qui fait pousser les plantes par photosynthèse.

Comment est-ce possible ? Comment quelque chose sans masse peut-il avoir de l'énergie et exercer une influence sur le monde ? La réponse se cache dans une version plus complète de l'équation d'Einstein, une version que presque personne ne connaît, et qui révèle que l'énergie peut venir du mouvement, pas seulement de la masse.

Le photon n'est pas seul. Dans l'Univers, il existe d'autres particules sans masse : le gluon, qui maintient les noyaux atomiques ensemble, et peut-être le graviton, messenger hypothétique de la gravité. Et il y a aussi le neutrino, cette particule fantôme qui traverse la Terre entière sans s'arrêter, et dont on a cru pendant des décennies qu'elle n'avait pas de masse, avant de découvrir qu'elle en avait une, mais si faible qu'elle reste aujourd'hui encore un mystère.

La deuxième partie de ce livre explore ce bestiaire fascinant des particules sans masse. Nous verrons pourquoi le photon n'a pas de masse, comment il transporte pourtant de l'énergie, et pourquoi certaines particules traversent des murs, des planètes entières, voire l'Univers lui-même, comme si de rien n'était.

Troisième question : D'où vient la masse ?

Si la masse est de l'énergie condensée, d'où vient-elle ? Pourquoi un électron a-t-il une masse précise ? Pourquoi les quarks, qui composent les protons et les neutrons, ont-ils une masse ? Et surtout, pourquoi le photon, lui, n'en a-t-il strictement aucune ?

Pendant des décennies, la physique a fonctionné sans répondre à cette question. On mesurait la masse, on l'utilisait dans les équations, mais on ignorait son origine profonde. C'était comme si nous savions comment dépenser l'argent d'un compte en banque, sans savoir comment le salaire y était déposé.

La réponse, quand elle est venue, a bouleversé notre compréhension de l'Univers. Elle tient en un nom : le **champ de Higgs**. Contrairement à une idée reçue, ce champ n'est pas le vide lui-même, mais il est partout dans le vide. C'est la seule entité fondamentale qui imprègne l'espace de façon permanente et non nulle.

Les particules acquièrent leur masse en interagissant avec ce "sirop invisible" qui remplit tout l'Univers. Plus l'interaction est forte, plus la masse est grande. Le photon, qui n'interagit pas du tout avec ce champ, reste sans masse et file à la vitesse de la lumière.

La troisième partie de ce livre retrace l'histoire de cette découverte, de la crise théorique des années 1960 qui a rendu le champ de Higgs nécessaire, jusqu'à sa confirmation expérimentale fracassante au CERN en 2012, après près de cinquante ans de traque.

La question ultime : Le vide existe-t-il ?

Toutes ces questions nous ramènent à une interrogation plus fondamentale encore, celle qui a hanté les philosophes et les physiciens depuis l'Antiquité : que reste-t-il quand on retire toute la matière ?

Au XVII^e siècle, cette question a divisé deux génies contemporains. **Blaise Pascal**, armé de tubes de mercure et d'une montagne (le Puy de Dôme), a prouvé que le vide existe, tuant le mythe millénaire de l'"horreur du vide". **Baruch Spinoza**, armé de la seule puissance de sa raison, a affirmé que le néant absolu est une impossibilité logique, que l'Univers est une Substance continue et infinie.

Qui avait raison ? La physique quantique du XX^e et XXI^e siècles est venue apporter une réponse stupéfiante : **les deux**.

Oui, le vide classique existe (Pascal avait raison à l'échelle macroscopique). Nous pouvons pomper l'air, créer des chambres à vide, et traiter cet espace comme "vide" de matière ordinaire.

Non, le vide absolu n'existe pas (Spinoza avait raison fondamentalement). Dès que vous retirez toute la matière et toute l'énergie, il reste la structure de l'espace-temps lui-même, imprégnée de champs quantiques, bouillonnant de fluctuations, possédant une énergie irréductible.

La quatrième et dernière partie de ce livre explore cette réconciliation spectaculaire entre Pascal et Spinoza, entre l'expérience et la métaphysique, entre le vide classique et le vide quantique. Nous verrons comment le champ de Higgs, les particules virtuelles et l'effet Casimir transforment le "rien" en un "quelque chose" d'extraordinairement complexe.

Une méthode : la vulgarisation sans simplification excessive

Tout au long de ce livre, j'ai suivi une règle simple : être accessible sans être simplificateur. La physique moderne est difficile, elle contredit notre intuition à presque chaque étape, mais elle n'est pas incompréhensible. Elle nécessite simplement des explications claires, des analogies parlantes, et une progression logique.

J'ai évité le jargon technique inutile, mais je n'ai pas sacrifié la rigueur scientifique. Quand une formule est nécessaire (comme $E=mc^2$), je l'explique pas à pas. Quand un concept est complexe (comme la brisure spontanée de symétrie), je le présente à travers des analogies concrètes (le crayon en équilibre sur sa pointe, le sirop invisible, la fête où Einstein entre dans la salle).

J'ai aussi choisi de raconter l'histoire de ces découvertes, car la science n'est pas une collection de faits abstraits. C'est une aventure humaine, faite de génie, d'erreurs, de

coups de chance et de persévérance. Derrière chaque équation, il y a des hommes et des femmes qui ont douté, qui ont cherché, qui ont parfois échoué avant de triompher.

Un fil conducteur : l'unité de la réalité

Si ce livre a un message central, c'est celui-ci : **la réalité est unifiée.**

La masse et l'énergie ne font qu'un. Le vide et le plein ne s'opposent pas, ils se complètent. Les particules avec masse et sans masse obéissent aux mêmes lois fondamentales. Pascal et Spinoza, malgré leurs méthodes opposées, ont chacun saisi une facette de la vérité.

Cette unité profonde de la réalité est peut-être la plus grande leçon de la physique moderne. Elle nous enseigne que nos catégories habituelles (matière/énergie, vide/plein, visible/invisible) sont des constructions de notre esprit, utiles pour la vie quotidienne, mais inadéquates pour comprendre la réalité fondamentale.

L'Univers est plus simple que nous ne le croyons (quelques lois fondamentales suffisent à le décrire), mais aussi plus étrange que nous ne pouvons l'imaginer (ces lois contredisent notre intuition à chaque instant).

Comment lire ce livre

Ce livre peut se lire de plusieurs manières :

- **De manière linéaire**, du premier au dernier chapitre. C'est la lecture que je recommande pour une première approche, car chaque partie s'appuie sur la précédente. La masse mène à l'énergie, l'énergie mène aux particules sans masse, les particules sans masse mènent au champ de Higgs, et le champ de Higgs mène au vide.
- **Par thèmes**, en sautant directement aux chapitres qui vous intéressent le plus. Chaque chapitre est conçu pour être relativement autonome, même si certains concepts sont repris et approfondis au fil du livre.
- **Par niveaux de lecture**. Si vous êtes pressé, vous pouvez vous concentrer sur les encadrés "Ce qu'il faut retenir" à la fin de chaque chapitre. Si vous êtes curieux, vous pouvez explorer les détails historiques et les calculs. Si vous êtes passionné, vous pouvez approfondir les annexes.

Quoi qu'il en soit, je vous demande une seule chose : gardez votre esprit ouvert. La physique moderne est contre-intuitive, mais elle est vérifiée expérimentalement avec une précision extraordinaire. Si ce que vous lisez vous semble absurde, c'est probablement que votre intuition doit être mise à jour, pas que la physique est fausse.

Un dernier mot

Ce livre est le fruit d'une longue conversation, d'une curiosité partagée, d'un émerveillement commun devant la beauté de l'Univers. Il ne prétend pas épuiser son sujet — il faudrait des bibliothèques entières pour couvrir en profondeur tout ce qui est abordé ici. Mais il espère vous donner les clés pour comprendre les grandes questions de la physique moderne, et peut-être, qui sait, vous donner envie d'aller plus loin.

Car la plus grande aventure qui soit, c'est celle de la connaissance. Et cette aventure est ouverte à tous.

Bonne lecture.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La réalité n'est pas ce que vous croyez

Regardez autour de vous. La table sur laquelle repose ce livre. Le mur qui vous fait face. Votre propre main qui tourne la page. Tout cela vous semble solide, stable, évident. Vous avez appris depuis l'enfance à faire confiance à vos sens : la matière est là, elle pèse, elle résiste, elle dure. Le vide, lui, c'est l'absence de matière — un espace vide, rien de plus. La masse, c'est ce qui fait qu'un objet est lourd. L'énergie, c'est ce qui permet de produire un travail, de chauffer, d'éclairer.

Ces catégories sont utiles. Elles nous permettent de naviguer dans le monde quotidien, de construire des maisons, de cuire nos aliments, de prévoir le temps qu'il fera demain. Mais elles sont, au sens le plus profond du terme, des **illusions**.

La physique moderne — celle qui a commencé avec Einstein et qui s'est épanouie dans les accélérateurs de particules du XXe et XXIe siècles — nous révèle une réalité radicalement différente de celle que nos sens nous laissent entrevoir. Une réalité où la matière et l'énergie ne font qu'un, où le vide est plein, où des particules sans masse transportent l'énergie qui fait briller les étoiles, et où l'espace lui-même est une entité physique active, tissée de champs invisibles.

Cette réalité n'est pas une spéculation philosophique. Elle est vérifiée expérimentalement avec une précision qui défie l'imagination. Les équations qui la décrivent ont été testées des milliards de fois, dans des laboratoires du monde entier, et elles ont toujours raison. Parfois jusqu'à la dixième décimale.

Le problème, c'est que cette réalité contredit frontalement notre intuition. Et notre intuition, si précieuse pour la vie de tous les jours, est un piège redoutable pour comprendre l'Univers.

Une révolution silencieuse

Cette révolution scientifique n'a pas eu lieu en un jour. Elle s'est déployée sur plus de trois siècles, depuis les premières interrogations sur la nature de la matière jusqu'aux découvertes les plus récentes du CERN.

Au XVIIe siècle, Isaac Newton pose les fondations de la mécanique classique. Pour lui, la masse est une propriété absolue, immuable, indépendante de tout observateur. Un kilogramme est un kilogramme, partout et toujours. Cette vision va connaître un succès extraordinaire pendant plus de deux siècles. Elle permet de comprendre les trajectoires des planètes, de concevoir des machines, de prédire les éclipses. Elle est si efficace qu'à la fin du XIXe siècle, certains physiciens pensent que la physique est presque terminée.

Puis, en 1905, un modeste employé du bureau des brevets de Berne nommé Albert Einstein publie quatre articles qui vont littéralement refonder la physique. Le plus célèbre d'entre eux contient une équation de cinq caractères : $E = mc^2$. Cette équation établit l'équivalence fondamentale entre la masse et l'énergie. La masse n'est plus une propriété absolue ; c'est une forme condensée d'énergie. L'énergie n'est plus une capacité abstraite à produire du travail ; c'est de la masse libérée.

Cette révolution conceptuelle allait avoir des conséquences immenses. Elle explique pourquoi le Soleil brille depuis des milliards d'années. Elle permet de comprendre la radioactivité. Elle fonde l'énergie nucléaire, qu'elle soit utilisée pour éclairer des villes ou pour détruire des civilisations.

Mais Einstein ne s'est pas arrêté là. Sa théorie de la relativité générale, publiée en 1915, a révolutionné notre compréhension de la gravité, de l'espace et du temps. Et ses implications continuent de se déployer aujourd'hui, des satellites GPS aux trous noirs en passant par les ondes gravitationnelles.

Le mystère de la masse

Pourtant, même après Einstein, une question fondamentale restait sans réponse : **d'où vient la masse elle-même ?**

Pourquoi un électron a-t-il une masse précise ? Pourquoi les quarks, qui composent les protons et les neutrons, ont-ils une masse ? Et surtout, pourquoi le photon, la particule de lumière, n'a-t-il strictement aucune masse ?

Pendant des décennies, la physique a fonctionné sans répondre à cette question. On mesurait la masse, on l'utilisait dans les équations, mais on ignorait son origine profonde. C'était comme si nous savions comment dépenser l'argent d'un compte en banque, sans savoir comment le salaire y était déposé.

La réponse, quand elle est venue, a bouleversé notre compréhension de l'Univers. Elle tient en un nom : le **champ de Higgs**. Prédit théoriquement en 1964 par Peter Higgs, François Englert et d'autres, ce champ a été confirmé expérimentalement en 2012 au CERN, après près de cinquante ans de traque. Cette découverte, qui a valu le prix Nobel de physique en 2013, achève le Modèle Standard de la physique des particules.

Le champ de Higgs est une entité fascinante. Contrairement à tous les autres champs quantiques, qui s'annulent dans le vide, le champ de Higgs conserve une valeur non nulle partout dans l'Univers, même dans le vide le plus parfait. C'est ce "sirop invisible" qui imprègne tout l'espace qui donne leur masse aux particules élémentaires, en les freinant dans leur mouvement.