

**François Vannucci**

# **Le vrai roman des particules élémentaires**

*Préface de Georges Charpak*



**DUNOD**

**LA Recherche**

# TABLE DES MATIÈRES

Préface .....	1
Préambule .....	3
Chapitre 1 Une histoire bien particulière.....	5
Chapitre 2 Le jeu de construction de la matière.....	11
Chapitre 3 Le décor se monte .....	17
Chapitre 4 Deux points délicats.....	29
Chapitre 5 Et voici la relativité.....	37
Chapitre 6 Un rayonnement venu d'ailleurs.....	43
Chapitre 7 Le premier visiteur fantôme .....	57
Chapitre 8 Les accélérateurs montent en puissance .....	65
Chapitre 9 Encore un fantôme!.....	79
Chapitre 10 Le miroir brisé .....	85
Chapitre 11 De plus en plus fort.....	95
Chapitre 12 Le CERN s'éveille .....	101
Chapitre 13 La révolution de novembre 1974.....	113
Chapitre 14 Les neutrinos visitent l'Europe .....	127
Chapitre 15 Le couronnement du CERN .....	137
Chapitre 16 Le compte est bon.....	145
Chapitre 17 L'invité de la onzième heure .....	155
Chapitre 18 Et maintenant? .....	167
Chapitre 19 L'autre frontière .....	177
Chapitre 20 L'horizon des connaissances .....	187

Appendice 1	
Science et art : les deux côtés de la connaissance.....	199
Appendice 2	
Découvertes et prix Nobel en physique des particules .....	203
Glossaire .....	207
Liste des figures .....	211
Index.....	213

## PRÉFACE

J'aime la physique, j'apprécie le parcours de François Vannucci. Dans sa carrière de physicien, il eut le privilège de vivre des moments très forts. Il les relate dans ce livre; c'est une véritable épopée des temps modernes qu'il nous conte avec ses enjeux, ses succès et ses interrogations.

La physique des particules a vécu ses « trente glorieuses » au cours de la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle. Avec la montée en puissance des accélérateurs, les découvertes se multiplièrent révélant la structure intime de la matière. Des concepts nouveaux se sont imposés et le lien entre infiniment petit et infiniment grand se fit de plus en plus prometteur. Ce fut une grande joie pour les chercheurs de voir se clore des domaines d'une complexité extrême grâce à l'exploitation des capacités techniques permises par des instruments nouveaux.

Dans les années 1960, les chemins de la connaissance n'étaient pas clairement identifiés, et les expérimentateurs allaient à la pêche en bombardant des cibles avec des particules de plus en plus énergiques. Petit à petit, la théorie a mis de l'ordre dans les découvertes. Idée après idée, elle s'est fermement construite pour indiquer la marche à suivre. Mais rapidement, elle s'est émancipée et elle arrive au point d'imaginer des phénomènes de plus en plus difficiles à vérifier expérimentalement. Aujourd'hui le futur n'est plus balisé avec assurance et l'on attend avec une certaine anxiété les résultats d'un dispositif gigantesque mis en service récemment au CERN pour savoir quelles directions restent à explorer.

François Vannucci nous fait un récit de cette quête toujours renouvelée, il ne se prive pas d'agrémenter le texte avec des témoignages personnels. Utilisant sa grande culture en physique des particules, il brosse

l'évolution historique de la discipline qui mena de l'étude artisanale des rayons cosmiques aux mesures programmées des appareillages géants construits auprès des derniers collisionneurs.

Aujourd'hui des milliards d'euros permettent à des milliers de physiciens d'attaquer de front des problèmes posés dans leur champ de recherche qui s'apparente parfois à une quête ésotérique. Des groupes puissants au budget de plus en plus élevés deviennent nécessaires pour aller de l'avant. La sociologie du milieu a peu à voir avec celle régnant dans les petits laboratoires universitaires d'antan.

Physicien de la génération qui suit la mienne, j'ai rencontré François Vannucci au CERN il y a bien des années. J'ai été frappé par son goût pour les sujets difficiles. Il eut la chance de participer à des expériences dirigées par des chefs de file prestigieux. Il s'est enivré du plaisir de chasser le gibier rare, et, quand il se mit à son compte, il choisit de se consacrer aux neutrinos. Ces particules mythiques offraient un défi de choix. À peu près indétectables bien que leur existence soit avérée, les neutrinos aiguisent les esprits imaginatifs. Au cours de cette recherche, il a su être l'inspirateur d'aventures exaltantes.

Le domaine des particules élémentaires est d'une énorme richesse; il touche à la réalité du monde environnant, mais va bien au-delà. Avec les dernières découvertes, il explore l'origine même de notre Univers en simulant sur des dimensions minuscules les conditions qui régnaient aux infimes instants succédant au Big Bang.

Dans cet ouvrage, François Vannucci divulgue au grand public les secrets fascinants débusqués par la physique de l'infiniment petit. Il sait transmettre la synthèse des idées les plus complexes et j'espère que ce livre illuminera les esprits des plus jeunes en leur dévoilant la beauté de la recherche pure.

GEORGES CHARPAK

# PRÉAMBULE

« L'histoire a été dans tous les siècles une étude si recommandée, qu'on croirait perdre son temps d'en recueillir les suffrages. »

Louis de Saint-Simon

*Mémoires*

De quoi l'Univers est-il fait ? Comment a-t-il débuté et quel est son avenir ? Et subsidiairement, pourquoi existons-nous ? Et où allons-nous ? Voilà quelques questions que l'homme s'est toujours posées. Pour donner certains éléments de réponse, la physique des particules a étudié de plus en plus profondément la constitution ultime de la matière ainsi que les lois qui dictent les interactions entre objets fondamentaux. Or cette recherche est à la croisée des chemins.

L'empire de la science s'étend aujourd'hui entre les limites extrêmes de  $10^{27}$  m, taille de l'Univers actuel tel que nous pouvons l'analyser, et  $10^{-18}$  m, dimensions maximales des constituants élémentaires mis en évidence par l'expérience. Quelque part entre ces extrêmes, il y a l'homme, avec sa dimension caractéristique de l'ordre du mètre. Il semble, selon la percutante formule de Pascal : « ...un néant à l'égard de l'infini, un tout à l'égard du néant, un milieu entre rien et tout. » Le philosophe physicien ajoute : « Je ne vois que des infinités de toutes parts, qui m'enferment comme un atome et comme une ombre qui ne dure qu'un instant sans retour. »

Dans l'échelle des dimensions croissantes, l'homme a exploré tour à tour le relief terrestre puis la Terre dans sa globalité, le système solaire, notre galaxie et aujourd'hui l'Univers tout entier.

Dans la direction de l'infiniment petit, les progrès ont franchi les étapes successives des molécules, des atomes, des noyaux atomiques

pour aujourd'hui comprendre les constituants élémentaires. Sur ce front de l'infiniment petit, la quête a toujours tenté de répondre à la question : qu'y a-t-il encore plus profondément ?

C'est cette dernière aventure que ce livre veut raconter. Le niveau de l'exposé restera volontairement descriptif, la physique est une science d'abord expérimentale, mais on soulignera aussi les efforts constants de la théorie qui cherche à comprendre ce que la mesure met au jour et à canaliser les directions d'investigation. Sans cesse, l'idée de simplicité reste sous-jacente dans la complexité apparente, et si le rêve d'Einstein d'une description unifiée de tous les phénomènes n'est pas encore réalisé, les chercheurs poursuivent cette quête.

L'idée d'unification est depuis longtemps l'un des objectifs de la physique. Isaac Newton unifia le mouvement de la chute des corps avec celui des planètes en expliquant les deux phénomènes grâce à sa loi de gravitation universelle. Au XIX<sup>e</sup> siècle, James C. Maxwell continua dans cette voie en unifiant électricité et magnétisme au sein de la théorie électromagnétique. Plus près de nous, l'électromagnétisme et l'interaction faible se sont fondus dans l'interaction électrofaible. Il reste à arrimer l'interaction forte dans un moule commun, c'est le but de la « grande unification », et plus tard à associer peut-être la gravitation, c'est la tentative des théories de cordes.

L'homme est un roseau pensant, et s'il semble bien chétif devant l'Univers, il reprend la main grâce à sa compréhension des phénomènes. C'est encore Pascal qui parle : « Par l'espace, l'Univers me comprend et m'engloutit comme un point ; par la pensée, je le comprends. » Il nous dit aussi : « ... cependant il ne faut pas moins de capacité pour aller jusqu'au néant que jusqu'au tout ; il la faut infinie pour l'un et l'autre, et il me semble que qui aurait compris les derniers principes des choses pourrait aussi arriver jusqu'à connaître l'infini. L'un dépend de l'autre, et l'un conduit à l'autre. Ces extrémités se touchent et se réunissent à force de s'être éloignées. »

Merveilleuse prémonition, la pensée de Pascal se réalise aujourd'hui. Effectivement, la physique moderne démontre que les deux infinis ont partie liée. Les progrès réalisés sur le front de l'infiniment petit servent à encadrer les évolutions de l'Univers dans sa totalité, car il s'avère que la connaissance des particules est nécessaire pour expliquer les étapes du Big Bang. Entre les deux extrêmes, il y a résonance, et l'on verra qu'aujourd'hui les programmes de recherche menés dans les grands accélérateurs de particules sont en partie guidés par les grandes énigmes de l'infiniment grand.

# 1

## UNE HISTOIRE BIEN PARTICULAIRE

Au tournant du siècle dernier, en cette période de l'histoire qu'on appelle « la Belle Époque », précisément en l'an 1892, Lord Kelvin ose déclarer :

« Il n'y a plus rien à découvrir en physique. Il ne reste à faire que des mesures de plus en plus précises ». Il développe sa pensée en ajoutant :

« La physique est définitivement constituée dans ses concepts fondamentaux ; tout ce qu'elle peut désormais apporter, c'est la détermination précise de quelques décimales supplémentaires. Il y a bien deux petits problèmes : celui du résultat négatif de l'expérience de Michelson et celui du corps noir, mais ils seront rapidement résolus et n'altèrent en rien notre confiance ».

### Lord Kelvin

William Thomson (1824-1907) est plus connu sous le nom de Lord Kelvin. Il est surtout fameux pour ses contributions à la thermodynamique. Remarquant que la température d'un gaz est liée à son agitation thermique, il introduisit la notion de zéro absolu quand tous les atomes sont au repos. Le kelvin est aujourd'hui l'unité absolue des températures.

William Thomson fut anobli pour son travail sur le premier câble transatlantique. Il aimait proclamer des oracles. Un florilège de ses déclarations inclut : « Les rayons X se révéleront une mystification », ou encore : « La radio n'a pas d'avenir ».



Pour les savants en place à l'époque, les jeux étaient donc faits, la Nature obéissait à une mécanique certes très fine, mais totalement classique et calculable, qui n'avait plus de secret pour les initiés. De fait, on peut en partie comprendre cette attitude conquérante qu'exprime Kelvin. C'est le sentiment d'autosatisfaction qu'a le travailleur arrivé à la fin d'une tâche bien accomplie. Le XIX<sup>e</sup> siècle vécut en effet des réussites majeures dans l'approfondissement des connaissances. La mécanique newtonienne expliquait avec précision le mouvement des objets célestes (à l'exception du périhélie de Mercure). L'astronome Urbain Le Verrier pouvait mesurer l'invisible en postulant l'existence d'une planète inconnue, qu'il déduisait à partir d'une petite anomalie dans la trajectoire d'Uranus. C'est ainsi que fut découvert Neptune. La loi de la gravitation était un pilier sur lequel on pouvait s'appuyer sans états d'âme. De son côté, James C. Maxwell paracheva le couronnement de l'électromagnétisme en unifiant magnétisme et électricité, qui semblaient deux phénomènes totalement différents, en une théorie très élégante incluant la lumière qu'on expliquera comme une onde électromagnétique, une vibration de champs dont la fréquence caractérise la couleur.

Il restait pourtant à élucider quelques points obscurs : pourquoi, au contraire de tous les phénomènes connus, la vitesse de la lumière est-elle indépendante de tout mouvement relatif des repères dans lesquels elle se propage ? Quelle est l'origine des spectres d'émission lumineuse des éléments ? Mais pour Lord Kelvin, cela relevait du détail, celui derrière lequel on sait que le diable se cache. D'autant que ces anomalies dérangent le bon ordre des idées seulement dans des domaines très éloignés de la vie quotidienne. Elles affectaient les mondes extrêmes de l'infiniment petit et de l'infiniment grand qui laissent beaucoup de monde indifférent. Alors, pour les personnes pragmatiques, ces énigmes n'avaient guère de poids. Pourtant, on peut dire aujourd'hui que Lord Kelvin se trompait lourdement. Il n'interprétait pas correctement les signes troublants de son temps. Son aveuglement fut complet.

La Belle Époque était forte de la certitude que tôt ou tard toute la connaissance serait à portée des mesures et que la Nature serait entièrement apprivoisée. Les scientifiques avaient effectivement peaufiné la méthode expérimentale si fructueuse pour expliquer le monde, du moins à l'échelle de l'expérience humaine. Mais malgré ce point de vue

triumphaliste, un certain désenchantement flottait dans l'air du temps si l'on en juge par cet extrait littéraire datant de 1913 :

« En ces trente années, mon existence à moi s'est chargée d'événements...  
Eh bien, pendant ce temps, la science, qu'a-t-elle fait? Je ne vois guère qu'elle a progressé. La faillite de la science résulte tout simplement de la disproportion qui existe entre la brièveté de notre vie d'hommes, et la lente évolution des connaissances. »

Roger Martin du Gard

*Jean Barois*

Examiné un siècle plus tard, ce sentiment de frustration vis-à-vis du progrès est infiniment surprenant, tant il est clairement erroné. La période en question fut l'une des plus fructueuses de l'histoire des sciences. En seulement une dizaine d'années les savants découvrent tour à tour les rayons X, la radioactivité, l'électron, le noyau atomique, et initient les deux révolutions parallèles qui guident encore toute la physique d'aujourd'hui : la relativité d'un côté, la mécanique quantique de l'autre. Merveilleux tableau de chasse! Martin du Gard ne semble pas très au fait des avancées scientifiques de son temps. La relativité, qui explique la constance de la vitesse de la lumière, règne sur l'infiniment grand de l'évolution de l'Univers et nous donne les clés de la cosmologie. La mécanique quantique explique le subtil comportement des constituants élémentaires de la matière, et en particulier elle rend compte des spectres lumineux des éléments. Mais il fallait sans doute plus de recul que n'avait Martin du Gard, et plus d'imagination que Lord Kelvin pour deviner les perspectives totalement inédites que promettaient ces approfondissements.

Au cours du XX<sup>e</sup> siècle que nous allons parcourir, la recherche s'est énormément développée, particulièrement dans les domaines extrêmes de la connaissance. On a parlé à juste titre du siècle de la physique, et la branche qui s'intéresse aux particules et dont il sera essentiellement question ici, a connu pendant cette période une évolution phénoménale. Cette spécialité, qui explore la constitution intime de la matière, est relativement récente, mais elle a progressé de manière si fulgurante qu'on distingue aujourd'hui des détails cent millions de fois plus fins qu'il y a cent ans. En quelques décennies, la frontière de l'infiniment petit a été repoussée de huit ordres de grandeur.

À vrai dire, la question de la constitution ultime de la matière faisait réfléchir les hommes dès l'Antiquité. De quoi le monde qui nous entoure est-il fait ? Les Anciens avaient trouvé leur recette. Ils bâtissaient le monde terrestre à partir de quatre éléments bien identifiés : l'eau, la terre, le feu et l'air. Ces éléments étaient périssables ce qui expliquait la décrépitude et la mort de tout objet de notre environnement, et de nous-mêmes par la même occasion. Le cosmos, qui apparaissait comme le domaine du permanent, avait droit à un élément constitutif particulier, l'éther immuable.

Cette dichotomie dans la vision du monde fut remise en question dès le XVI<sup>e</sup> siècle. À la suite de l'observation de la supernova de 1572, on s'aperçut que l'évolution du cosmos ne se limite pas au continuel ballet toujours répété de la voûte céleste. L'apparition d'une supernova signe la mort d'une étoile : l'immutabilité du ciel se trouvait soudain remise en question. On sait aujourd'hui que les étoiles naissent, vivent et meurent à l'image de tous les objets matériels, quoique sur des échelles de temps évidemment sans commune mesure avec notre propre espérance de vie puisqu'on compte ici en milliards d'années. Autre preuve d'une origine commune entre objets terrestres et célestes : Galilée pointant sa lunette vers la Lune y détecte une surface aussi tourmentée que celle de la Terre. La Lune n'est pas une sphère parfaite : sa nature irrégulière la rétrograde au rang des objets simplement matériels.

Avec nos connaissances actuelles, cette constatation ne surprend guère. Les mêmes constituants élémentaires sont à la base de la construction de tous les objets existant dans l'Univers. Une preuve directe se trouve dans la lumière qui nous arrive des galaxies les plus lointaines et où se reconnaissent les marques caractéristiques des éléments qui constituent notre environnement proche. Il n'y a pas lieu de différencier conceptuellement le monde terrestre et le cosmos, ils sont composés des mêmes particules, et c'est pourquoi, grâce à la physique nucléaire et des particules étudiées sur terre, on comprend mieux l'évolution de l'Univers dans son ensemble.

L'infiniment petit explique l'infiniment grand. Toute la matière visible est un assemblage des mêmes particules élémentaires, qu'elles forment les objets de la vie quotidienne ou les monstres qui peuplent les espaces intersidéraux, quasars et autres trous noirs. Il y a une harmonieuse beauté dans cette unification, même si elle ôte au cosmos une partie de son mystère.

« Qui donc connaît les flux et les reflux de l'infiniment grand et de l'infiniment petit? »

Victor Hugo  
*Les Misérables*

Les briques élémentaires à la base de toute la matière sont aujourd'hui bien étudiées. Elles définissent les dimensions de l'infiniment petit. Encore faut-il comprendre l'architecture qui les assemble en objets macroscopiques très complexes. Ici aussi la question s'est posée depuis l'Antiquité. Peut-on diviser sans cesse la matière en grains de plus en plus fins, ou existe-t-il une taille minimale infranchissable, un ultime niveau de poussières insécables?

Dès le V<sup>e</sup> siècle avant Jésus-Christ, Démocrite disait : « Rien n'existe que l'atome et l'espace vide, et tout le reste est commentaire. » Dans cette vision des choses, l'atome, du grec « atomos » signifiant indivisible, désigne le grain de matière le plus petit qu'on puisse isoler. Son caractère élémentaire exclut toute propriété interne. Un tel grain ultime n'est pas nécessairement un point sans dimensions, mais même si ce minuscule point est étendu, comme le postulent les théories des cordes aujourd'hui à la mode, on ne pourra envisager une analyse interne de sa structure.

C'est seulement récemment que des moyens technologiques sans précédent ont permis de mettre au jour les unes après les autres les briques élémentaires qui constituent la matière ordinaire, et en parallèle, de comprendre leurs associations et leurs comportements. En passant, il est amusant de noter que si les Anciens conféraient au cosmos la propriété d'éternité que la science moderne lui a ôtée, le proton et l'électron à la base de la constitution de l'Univers semblent bien être éternels. Ils ne subissent pas les assauts du temps, un proton peut nous provenir de sources distantes de milliards d'années-lumière sans avoir pris une seule ride. L'éternité se cache donc, non dans les profondeurs extrêmes du cosmos, mais au contraire dans l'intimité de la matière. On peut alors se poser la question : comment engendrer du périssable avec de l'éternel?

Les particules élémentaires ont un rapport assez particulier au temps, et nous verrons que la différence de nature qui existe dans l'Univers ne met pas en opposition le terrestre d'un côté et le céleste de l'autre, mais le macroscopique et le microscopique. Le monde de l'infiniment petit demandera une remise en question complète de nos modes de pensées, habitués que nous sommes au monde macroscopique.

## 2

# LE JEU DE CONSTRUCTION DE LA MATIÈRE

Les objets qu'on appelle aujourd'hui atomes furent identifiés à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle à partir des lois de composition trouvées dans les appariements chimiques. La table périodique de Mendeleïev recense une centaine d'éléments naturels allant du plus léger, l'hydrogène, aux plus lourds tels que l'uranium. On imaginait avoir ainsi atteint les dimensions ultimes de la matière. Avec une centaine d'éléments, on reconstruisait tout l'Univers depuis les insectes les plus minuscules jusqu'aux étoiles. C'était une recette relativement économique pour la compréhension de la Nature, quoiqu'une centaine de « saveurs » différentes, cela fasse beaucoup. Les dimensions caractéristiques de l'atome sont de l'ordre de  $10^{-10}$  m, soit un dixième de nanomètre. Les nanotechnologies dont on parle abondamment aujourd'hui se cantonnent à ce niveau.

Mais rapidement, les physiciens démontrèrent que l'atome présente une structure complexe. Il ne peut être considéré comme un point sans dimensions. Il n'est plus « atomique » au sens grec du terme, même si l'appellation reste néanmoins ancrée dans le vocabulaire. Ainsi, dans certaines conditions expérimentales, on peut distinguer au cœur des atomes un noyau dur concentrant presque toute la masse avec des électrons beaucoup plus légers tournant autour. Les dimensions du noyau sont nettement plus réduites puisqu'elles se mesurent en  $10^{-15}$  m. Le rapport entre la taille d'un atome et celle de son noyau est celui existant entre la tour Eiffel et un petit pois !

Mais, alors que l'électron reste sans structure mesurable, le noyau lui-même n'est pas un objet simple. Il se révèle composé d'un assemblage de particules plus élémentaires, qu'on appellera globalement nucléons (composants du noyau), apparaissant sous deux types différents, les protons et les neutrons. À leur tour, ces nucléons sont eux-mêmes composites. Ils sont constitués de quarks. La taille atteinte est maintenant de  $10^{-18}$  m ; encore un facteur 1 000 de réduction par rapport au niveau du noyau. On a ainsi mis au jour le « nanomonde du nanomonde ». En fait, cette taille n'est pas une mesure du diamètre des constituants, c'est une limite supérieure à leur dimension qui reste inconnue. Les quarks peuvent être beaucoup plus petits, et s'ils se présentent comme ponctuels aujourd'hui, c'est parce que nos techniques actuelles d'investigation sont encore trop grossières pour découvrir une structure sous-jacente. Les électrons quant à eux sont élémentaires à la même échelle.

Le développement de la physique des particules s'est très vigoureusement accéléré au cours des cinquante dernières années. Cette discipline poursuit sa quête en posant inlassablement la question : « Qu'y a-t-il à l'intérieur ? ». En effet, un peu comme les poupées russes qui s'emboîtent les unes dans les autres en une suite continue d'objets de dimensions de plus en plus réduites, la connaissance de la structure de la matière a progressé en franchissant tour à tour les étapes de l'atome puis du noyau atomique puis des nucléons pour aboutir à l'identification des constituants élémentaires.

Il existe pourtant une différence de nature entre les divers niveaux entrevus. Les électrons peuvent être isolés des atomes, de même les protons et les neutrons peuvent être arrachés aux noyaux, mais pas les quarks. Les quarks sont bien des constituants élémentaires, ce ne sont plus des particules élémentaires au sens où on ne peut pas en former des faisceaux. Ils ne peuvent exister isolés, ce qu'on justifie de manière théorique par l'introduction d'un nouveau paramètre caractéristique qui les oblige à rester liés à l'intérieur des particules.

### La physique nucléaire

La physique des particules est héritière de la physique nucléaire, la branche étudiant les propriétés du noyau. Nous ne développerons pas les axes de recherche existant dans ce domaine voisin qui reste très actif pour répondre à ses propres interrogations. La physique nucléaire

continue à préciser la dynamique de formation des noyaux atomiques en complétant la table de Mendeleïev grâce à la découverte toujours actuelle d'éléments rares et instables; elle cherche par ailleurs à expliquer l'état très particulier de la matière à l'intérieur des noyaux. Elle continue son propre chemin, en parallèle avec celui exploré par la physique des particules.

Les chercheurs ont donc réussi à craquer la structure de la matière et à pénétrer très profondément dans sa constitution. L'une des questions évidentes que l'on peut se poser est la suivante : quarks et électrons resteront-ils ponctuels? Ou bien, se révéleront-ils un jour eux aussi composés? Si oui, de quoi? Et encore, s'ils demeurent élémentaires, c'est-à-dire indivisibles, possèdent-ils malgré tout des dimensions très réduites comme le suggèrent les théories les plus récentes des cordes?

En un siècle de progrès continus, la taille des plus petits grains de matière mis au jour par l'expérimentation a donc été réduite de huit ordres de grandeur. C'est un magnifique exploit, le résultat d'une aventure exemplaire de la recherche qui a repoussé très efficacement les frontières de l'inconnu. Il ne reste qu'un maillon manquant pour « boucler » la théorie actuelle, le boson de Higgs, dont la découverte est d'ores et déjà programmée. Mais la suite demeure très incertaine. La recherche sans cesse plus fine de la structure matérielle semble aujourd'hui avoir atteint une cohérence interne remarquable mais qui ressemble à un palier dans la connaissance. La prochaine étape n'est pas rigoureusement prédite et elle demandera pour son exploration des moyens considérables. Une période de stagnation est à craindre dans la marche du progrès mais, avec l'avènement récent d'un nouveau collisionneur, ne gâchons pas notre plaisir et tournons les pages de cette épopée de la connaissance.

Ce livre raconte les découvertes qui ponctuèrent cette irrésistible marche en avant. Certaines ont paru, sur le coup, surprenantes. Elles ne semblaient provenir que d'une pêche miraculeuse. D'autres avaient été anticipées et la théorie balisait avec assurance le chemin à suivre. Nous égrènerons, comme au cours d'une journée, le passage des heures carillonnant les diverses étapes de cette avancée. Pour bien marquer l'évolution des savoirs, on privilégiera le point de vue historique, insistant sur les aspects techniques de cette recherche qui nécessita la mise

en œuvre de dispositifs de plus en plus ambitieux. Nous relaterons les débats théoriques qui s'échangèrent autour des résultats. Mais sans confirmation expérimentale, les hypothèses théoriques les plus élégantes resteraient de pures spéculations, en physique comme ailleurs, et donc nous insisterons sur les mesures qui justifient les idées.

« Christophe Colomb : Ma conjecture, quoique fondée sur des arguments très probables, non seulement personnels, mais de nombreux géographes, astronomes et navigateurs excellents, pourrait faillir.

Ceci signifie que beaucoup de conclusions tirées de discours parfaits, ne survivent pas à l'expérience.

Pierre Gutierrez : Ainsi, tu paries ta propre vie et celle de tes compagnons sur la base d'une simple opinion spéculative ?

C. C. : Je ne peux le nier... Mais si nous n'étions pas sur ce navire, ne serions-nous pas dans un tourment majeur... ou plein d'ennui ? Que veut dire un état libre d'incertitude et de danger ? Cette navigation nous est très profitable, au moins parce qu'elle nous tient libre d'ennui et nous rend la vie chère... Et si la cime d'un mont se découvre au loin, il nous semblera vivre des jours bienheureux. »

Giacomo Leopardi

*Operette morali*

L'évolution des idées racontées ici sera donc ancrée dans le concret des résultats expérimentaux. Nous nous appuyerons sur la description des grands dispositifs qui ont marqué les phases majeures de cette conquête. Les appareillages les plus représentatifs qui amenèrent aux découvertes phares illustreront le parcours. Le point de vue adopté ici sera résolument descriptif et pragmatique.

L'exploration des profondeurs de la matière a été marquée par une suite de moments forts, à l'image des heures inscrites sur le cadran de l'horloge. Ce moyen d'exposition chronologique de l'évolution des progrès n'est pas sans rappeler les livres d'heures en usage au Moyen Âge.

### Les livres d'heures

On nommait ainsi des ouvrages de prières à l'usage des laïcs. La diffusion en fut importante dès le XIII<sup>e</sup> siècle. Objets coûteux, ils figuraient dans les testaments. Ils contenaient diverses lectures pieuses, mêlant des fragments d'évangile, des vies de saints et d'autres extraits



édifiants. Ils proposaient des dévotions variées, adaptées à chaque temps de la journée. Ces livres étaient extrêmement populaires au XV<sup>e</sup> siècle et leurs pages s'enrichissaient d'images peintes à la main qui devaient favoriser la contemplation et la méditation.

Le plus célèbre livre d'heures est celui commandité par le duc de Berry. Ce personnage reste fameux dans l'histoire pour ses initiatives artistiques au travers desquelles il démontra des goûts fastueux. Le livre, exposé au musée Condé de Chantilly, s'orne d'illustrations somptueuses peintes par les trois frères Limbourg. Dans le projet initial, chaque heure commençait par une miniature aux vives couleurs. Au total, il nous est parvenu 206 feuillets comportant 66 grandes miniatures et 65 plus petites. Le livre fut en fait écrit et décoré au cours de plusieurs décennies, ce qui nous rapproche des durées caractérisant l'histoire racontée ici.

Le livre d'heures résume en quelque sorte la pensée du Moyen Âge finissant. Il constitue une somme tant de l'esprit que de l'art du moment. Sur ce modèle, le présent ouvrage veut résumer, par une série de tableaux successifs, les grandes étapes de la physique des particules élémentaires. Cet axe de recherche peut être qualifié, comme le livre d'heures du duc de Berry, de très riche ou du moins très dispendieux, car dans la palette des interrogations humaines, c'est l'une des quêtes qui demande l'investissement majeur pour aller de l'avant. Les détecteurs que nous allons exposer constituent des chefs-d'œuvre d'imagination et de minutie mais aussi de gigantisme. Comme autant d'enluminures parsemant le texte, nous les décrirons, en appelant à la rescousse, en une sorte de litanie invoquant les grandes figures de la spécialité, les prix Nobel, et ils sont nombreux, qui ont illustré la marche de cette branche de la physique.

La discipline a connu ses trente glorieuses au cours de la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle. Ce fut une véritable épopée menée par une communauté de physiciens passionnés qui exploraient à marche forcée les terrains vierges dans l'exploration de la matière. Cet ouvrage se veut un témoignage sur la magnifique aventure vécue durant les décennies passées. Il reste à savoir si la physique des particules approche du terme de ses exploits, ou bien si des surprises récoltées au nouveau collisionneur récemment mis en opération au centre européen, le CERN, lui donneront un nouveau souffle.

*François Vannucci*

*Préface de Georges Charpak*

# Le vrai roman des particules élémentaires

De quoi l'Univers est-il fait ? Comment a-t-il débuté et quel est son avenir ? Pourquoi existons-nous ?

Voilà quelques questions que l'Homme s'est toujours posées. Pour tenter de répondre à ces questions, la physique des particules étudie la constitution ultime de la matière et les lois qui la régissent.

Les progrès dans l'exploration de l'infiniment petit ont franchi les étapes successives de la molécule, de l'atome, du noyau, pour aboutir finalement aux constituants élémentaires.

C'est ainsi qu'on distingue aujourd'hui des détails cent millions de fois plus fins qu'il y a cent ans. Cette enquête passionnante a été menée tambour battant par des hommes et des femmes de par le monde au sein de laboratoires extrêmement sophistiqués dont les équipes étaient toutes tendues vers un même but : faire reculer les limites du savoir.

Un vrai roman d'aventures, retracé ici avec verve par François Vannucci.



**FRANÇOIS VANNUCCI**

est professeur  
à l'université Paris 7  
Denis Diderot  
et chercheur à l'IN2P3  
du CNRS.



9 782100 154789 0

6687420

ISBN 978-2-10-054789-0

**LA Recherche**

18 € Prix France TTC



**DUNOD**

[www.dunod.com](http://www.dunod.com)