

*Projet tutoré. Année universitaire 2003-2004*

*Etudiants : PEVERELLI Thomas*

*SCHOTT Jonathan*

*Professeur : Marie-Paule BASSEZ-MUGUET*

# L'INTUITION

# ET LA SCIENCE

## Introduction

L'idée de l'atome est née il y a 2500 ans. Le philosophe grec Démocrite associe réflexion et intuition. Il est le premier à suggérer que la matière est composée de particules infimes et invisibles à l'œil nu. Cette idée apparaît d'une simple observation : si on regarde une plage du haut d'une falaise, il est impossible de voir de quoi elle est composée. C'est seulement en s'approchant de plus près que l'on aperçoit les petits grains. Le philosophe effectue donc le même raisonnement pour la matière.

D'autres réflexions encore plus philosophiques renforcent leurs idées: si on brise un objet en fraction de plus en plus petite, il y aura forcément un moment où on atteint le plus petit morceau de matière impossible à casser. Si ce n'est pas le cas, il est forcé d'admettre que n'importe quel corps est divisible à l'infini. Aucune différence ne serait donc possible entre le vaste Univers et un grain de sable, puisqu'ils contiennent tous les deux un monde infini.

Aujourd'hui nous savons que cette idée est partiellement exacte, cependant Empédocle d'Agrigente fut le premier à affirmer que la matière est composée de 4 éléments : l'eau, la terre, l'air et le feu. Grâce ou à cause de son influence dans les sphères scientifiques de l'époque, cette idée perdure jusqu'au début du XIX<sup>ème</sup> siècle, date à laquelle débute réellement l'histoire de la découverte de la structure de l'atome. A ce moment-là, l'intuition dirige les scientifiques vers des expériences plus ou moins décisives. Par exemple, Rutherford lorsqu'il réalisa son expérience de la feuille d'or ou d'aluminium, avait déjà une idée du modèle de l'atome. L'expérience ne fait donc que confirmer ses pressentis. C'est d'ailleurs ainsi pour les théoriciens, qui sont forcés d'émettre des hypothèses pour lesquelles l'intuition est indispensable.

Ces découvertes ne s'accompagnent pas seulement d'une révolution des connaissances scientifiques, mais aussi d'une révolution de la pensée humaine et de la vision que celle-ci entretient avec son monde. L'intuition des chercheurs s'est souvent heurtée au rationalisme ou aux croyances religieuses du peuple et de ses dirigeants. Ces révolutions scientifiques permettent l'apparition d'une nouvelle génération de scientifiques non plus isolés, mais regroupés en équipes de recherches et les orientant vers un monde de plus en plus complexe et défiant parfois les idées que l'homme se fait de son monde ; nouvelles dimensions, relativité de l'existence de la matière comparée à une onde, particules élémentaires composées de particules encore « plus » élémentaires.

L'élaboration du modèle de l'atome montre combien l'enthousiasme, l'audace et parfois même la concurrence apportent aux chercheurs. A travers nos recherches, nous tenterons de mettre en évidence ce lien entre intuition et science, inspiration et rationnel...

### I) La découverte de la structure de l'atome

## Les Grecs avaient raison

La première découverte significative dans le domaine de la chimie remonte donc au début du XIX<sup>ème</sup> siècle. Celle-ci est apportée par un chimiste anglais, Joseph Dalton.

Il démontre par l'expérience que deux gaz quelconques se combinent toujours dans des proportions de poids simples. Par exemple, 1g de dihydrogène réagit avec 8g de dioxygène pour former 9g d'eau.

Selon ce chimiste, ces résultats s'expliquent si l'on suppose que la matière est constituée des petites particules « invisibles » imaginées par Démocrite. Ainsi selon Dalton, à chaque élément chimique correspond un et un seul type d'atome avec un poids bien défini. Les gaz réagissent selon des rapports de poids simples, affirme-t-il, car les atomes se mélangent selon des proportions simples et entières.

À peine un an plus tard, un français du nom de Joseph Gay Lussac, renforce l'affirmation du britannique en réalisant la même affirmation que celui-ci en basant son expérience sur l'analyse des volumes gazeux au lieu des masses des gaz.

Ainsi une réflexion au départ philosophique émise il y a des siècles s'impose comme la première découverte scientifique majeure dans la chimie et ce grâce à l'efficacité des expériences mises en place : La matière est composée de particules ayant un poids défini ne correspondant qu'à un seul élément chimique.

Mais à peine cette idée admise, que de nouvelles questions jaillissent naturellement, dont la plus déterminante sera : comment les éléments parviennent-ils à se lier pour former de nouveaux composés ?

Un autre britannique peut nous apporter la réponse.

## La découverte de l'électron

### Faraday et l'électricité

En 1832, le britannique Faraday réalise une expérience décisive.

Dans une cuve remplie d'eau, il fait passer de l'électricité, et constate que du dihydrogène se dégage à la cathode et du dioxygène à l'anode. En réalisant plusieurs fois l'expérience, il s'aperçoit que ces deux quantités dépendent de la quantité d'électricité qui a circulé dans la cuve.

Apparemment, le courant couperait l'eau en ses deux éléments chimiques de base.

La simplicité de cette expérience permet à Faraday de tirer cette conclusion :

L'électricité doit être, d'une façon encore peu claire, la force qui relie les atomes entre eux.

Au passage, Faraday venait d'inventer l'électrolyse.

Après avoir étudié ce phénomène, il s'intéresse aussi à savoir si les gaz conduisent eux aussi l'électricité.

Pour cela, il réalise l'expérience suivante :

*Il construit des tubes avec une anode et une cathode reliée l'une et l'autre aux bornes d'une pile volta. Le vide est fait dans le tube, et en branchant le courant il observe une lueur qui s'étend de l'anode à la cathode : cette lueur s'appelle rayon cathodique.*

*Par contre Faraday ne parvient pas à expliquer la nature de cette lueur et ses successeurs allaient d'ailleurs beaucoup s'interroger.*

*Pour Crookes par exemple, il s'agirait de particules qui en se frottant au vide créeraient la lueur.*

*Pour l'allemand Lenard, il s'agirait d'ondes (Lenard est un élève de Hertz, le découvreur des ondes).*

*Ainsi de part et d'autre on se risque à des affirmations et à une argumentation rarement convaincante en faveur de ce phénomène, si bien que la dispute prend des allures de rivalité germano-anglaises.*

*Pourtant c'est encore une fois l'imagination et l'efficacité d'une expérience qui éclaircira ce point de discorde.*

*En effet, un jeune français du nom de Perrin réalise un complément à l'expérience des rayons cathodiques.*

*Avec un aimant, il dévie le rayon cathodique et le recueille dans une cage de Faraday dans laquelle il obtient un courant électrique qu'il mesure.*

*La conclusion à tirer est évidente. Ces rayons sont constitués par un flux de particules électriques chargées.*

*Maintenant, reste à savoir d'où proviennent ces particules chargées.*

### Thomson découvre l'électron

*La réponse définitive vient de Thomson.*

*Celui-ci reprend l'expérience de Perrin, mais cette fois il dévie les électrons à l'aide d'un champ magnétique et d'un champ électrique. On pense donc que les rayons cathodiques sont des sortes d'ions. Les décharges électriques dans les tubes à vide seraient la manifestation d'une électrolyse gazeuse.*

*À l'aide des formules mathématiques de l'électro-magnétisme, Thomson calcule alors le rapport entre charge électrique et la masse de ces particules, en mesurant les déviations des rayons en fonction de l'intensité des champs magnétiques et électriques appliqués.*

*Thomson ajoute une hypothèse de travail déterminante. Si l'on prend comme valeur de la charge électrique la charge élémentaire d'électricité déterminée par Faraday lors de ses expériences d'électrolyse, la masse obtenue pour la particule chargée est très faible : 1800 fois plus faible que celle de l'atome le plus léger, l'hydrogène. Ces particules ne sont donc ni des atomes, ni des ions comme dans l'électrolyse.*

*Alors que sont-elles ?*

*Thomson ne le sait pas bien, mais les nomme corpuscules avant de les nommer électrons.*

*Ainsi l'existence des électrons a été prouvée par l'expérience, mais nous ne savons toujours pas d'où ils proviennent. En y réfléchissant, ils ne peuvent venir que de la cathode. Le courant électrique a donc arraché des électrons à la cathode. La cathode, solide et métallique, contient donc des électrons capables de se détacher d'elle.*

Pour résumer, les électrons sont donc des particules chargées négativement, et des constituants essentiels de la matière. Les rayons cathodiques sont donc des particules en mouvement.

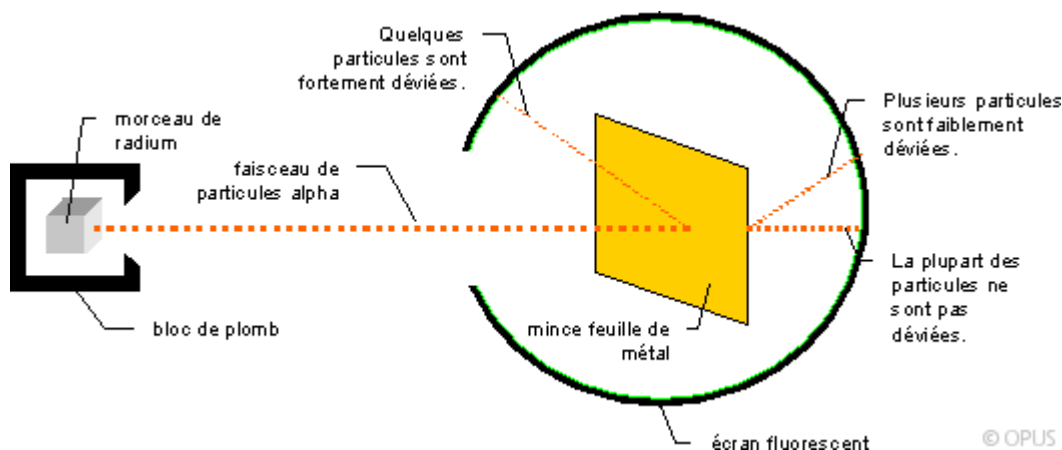
Cette découverte permet de proposer un premier modèle de l'atome.

Il s'agirait d'un assemblage d'électrons qui se déplacent à l'intérieur d'une sphère de diamètre limité qui porterait une charge électrique positive.

Pourtant ce modèle possède un gros problème. On sait calculer la masse d'un atome depuis Avogadro, mais comment expliquer cette masse avec des électrons si légers ?

## La découverte du noyau atomique

Ernest Rutherford (vers 1910), cherche, en tant que professeur à comprendre les rayonnements radioactifs. Il réalise l'expérience suivante :



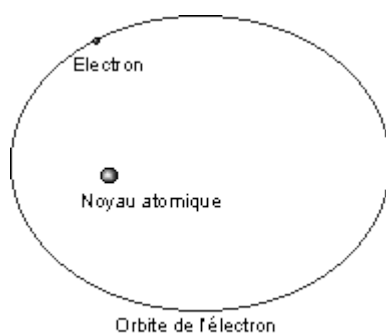
Rutherford observe que les particules alpha, c'est-à-dire les atomes d'hélium chargés positivement, sont déviés par des feuilles métalliques d'or et d'aluminium. Il en conclut qu'une charge positive située au centre des atomes d'or et d'aluminium repousse ces particules alpha. Observant également que de nombreuses particules ne sont pas déviées, Rutherford déduit que cette charge positive est concentrée dans un espace extrêmement petit qu'il appelle noyau de l'atome. La matière est faite de vide ! Les électrons, qui portent la charge négative de l'atome, évoluent autour du noyau. Il conclut également que ces noyaux sont lourds, en raison de leur capacité à repousser les noyaux d'hélium. C'est ainsi que le modèle de Thomson fut détrôné et

remplacé par celui de Rutherford. Ce modèle explique la masse d'un atome par celle du noyau, évitant ainsi de considérer un trop grand nombre d'électrons. Mais ce modèle comporte des lacunes et soulève certaines interrogations. Tout d'abord, comment les protons, chargés positivement, peuvent-ils rester confinés dans le noyau alors que des charges électriques de même signe se repoussent? Ensuite, pourquoi les électrons ne tombent-ils pas sur le noyau, attirés par sa charge positive? Rutherford pense également que si des noyaux éclatent en émettant des particules, c'est parce qu'ils contiennent ces particules. Il imagine ainsi une structure de l'atome plus complexe. C'est d'ailleurs le principe des nouvelles méthodes visant à étudier la structure de la matière, comme au CERN (Centre Européen de Recherche Nucléaire) de Genève où l'on casse la matière dans de gigantesques accélérateurs de particules afin d'en étudier les différents constituants (cf. deuxième partie).

### La théorie prend le relais

Parallèlement aux expériences de Rutherford, un danois, Niels Bohr, étudie le rôle des électrons dans la conductivité des solides. Afin de confronter ses idées avec Thomson, il se rend en Angleterre. C'est là-bas, en 1911, qu'il rencontre Rutherford, qui l'invite à travailler avec lui afin de confronter leurs idées et d'améliorer ainsi le modèle de l'atome. Les deux hommes travaillent de concert bien que leurs méthodes soient différentes. Bohr travaille la théorie, tandis que Rutherford cherche à prouver ses lois par l'expérience. Bohr a pour but alors de consolider le modèle de l'atome édifié auparavant par Rutherford.

Le modèle de l'atome édifié selon Rutherford peut être représenté comme suit, dans le cas de l'hydrogène, avec un seul électron :



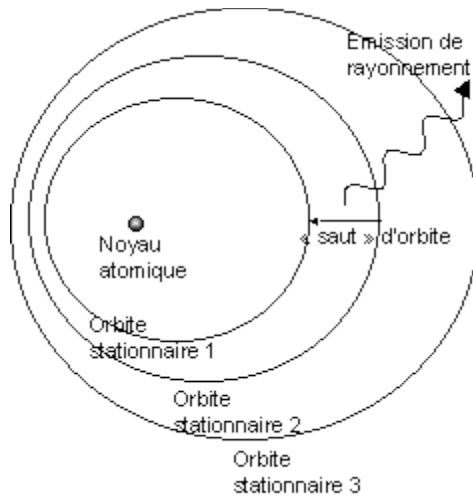
Rutherford propose un modèle de type planétaire où les charges positives sont regroupées dans un très petit volume appelé noyau atomique. Ces charges occupent une position centrale et les électrons, tels des planètes autour du Soleil, tournent autour du noyau sur des orbites circulaires ou elliptiques. Une analogie entre le modèle de l'atome et celui du système solaire peut être trouvée dans les forces d'attraction : gravitation pour la Terre, électrique pour l'atome.

Rutherford propose un modèle de l'atome avec un noyau positif et des électrons négatifs qui gravitent autour.

Bohr développe à partir des idées de Rutherford et des lois de la physique ordinaire sa propre théorie.

### Une recherche de l'unification des théories

Il cherche à unifier les lois de la physique (voir deuxième partie) en rapprochant les théories de Newton et celles de Maxwell. La différence réside dans le fait que l'électron, contrairement à la planète, est électriquement chargé. De plus, le rapport entre les deux forces est important :  $F(\text{élec.})/F(\text{grav.})=2.3 \cdot 10^{39}$ . En 1913, Bohr utilise la quantification introduite par Planck. Vers 1900, pour expliquer les expériences sur le rayonnement émis par le corps noir, Max Planck avait imaginé un modèle de quantification en précisant que « seules certaines valeurs de l'énergie sont permises dans les échanges matière- rayonnement ». Plus tard, Einstein proposa pour expliquer l'effet photoélectrique, que c'est l'énergie du rayonnement qui est quantifiée, pas seulement les échanges. Niels Bohr utilise ce modèle de quantification pour expliquer la stabilité de l'atome au moyen des « orbites stationnaires ». C'est en faisant preuve d'audace en affirmant que les lois qui régissent l'infiniment petit sont particulières, qu'il explique l'équilibre entre vitesse de révolution et attraction du noyau. La particularité de ces lois est qu'elles décomposent l'énergie à l'échelle microscopique en quanta. Bohr quantifie les caractéristiques des orbites des électrons. L'éloignement du noyau, l'ellipticité ou encore l'énergie potentielle des orbites ne peuvent qu'être des multiples de nombres entiers. Les électrons n'émettent pas d'ondes électromagnétiques sur ces orbites. Il n'y a variation d'énergie que lorsqu'il y a passage pour un électron d'une orbite stable à une autre. Bohr a en même temps expliqué l'origine de l'émission de la lumière car c'est par ce passage d'une orbite à l'autre que l'électron produit des radiations :



*La longueur d'onde de ces radiations, synonyme de couleur possède une valeur proportionnelle à la différence d'énergie des deux orbites où a lieu le déplacement de l'électron. La constante reliant longueur d'onde et différence d'énergie est celle déterminée par Planck lors de son étude du rayonnement du corps noir. Rappelons qu'un corps noir absorbe entièrement le rayonnement incident constitué de photons d'énergie. Compte tenu de la conservation de l'énergie, le corps noir émet pareillement.*

*Bohr réussit donc à calculer précisément la position des raies où se trouvent les électrons mais Zeeman, un hollandais, met en évidence l'influence d'un champ magnétique sur les spectres d'émission du sodium. Ensuite, c'est un allemand nommé Stark qui montre que l'action d'un champ magnétique ou électrique autour de la flamme d'émission complique le phénomène. Pour expliquer toutes ces interrogations par le mouvement de l'électron qui, en tournant, crée un courant, donc un champ magnétique, il suffit de modifier l'échelle des niveaux d'énergie pour savoir à nouveau où se trouvent les électrons.*

*Les effets des déplacements des électrons se soumettent chaque jour à notre vue. Pour bouger les électrons, il faut une source d'énergie. Il passe ainsi d'une orbite stable à une autre moins stable et c'est en retombant de celle-ci, en voulant retourner vers son orbite la plus stable qu'il émet les photons, sources de lumière. La source d'énergie qui déplace l'électron a deux origines. Elle est soit thermique (comme pour une bougie), soit électrique (simple lampe). En effet, c'est en retombant que les électrons émettent de l'énergie sous forme de longueur d'onde électromagnétique. Surtout, suivant la différence entre les niveaux d'énergie atomique, les couleurs sont différentes, comme dans le feu où l'on peut facilement distinguer jaune, orange, rouge et même bleu.*

*C'est une fois de plus par l'expérience que les théories de Bohr ont trouvé un écho. Cette fois, ce sont deux allemands, James Franck et Gustav Hertz qui apportent la preuve que la théorie des quanta régit le « petit » monde des atomes. Leur expérience était la suivante :*

*Il s'agit d'un filament chauffé émettant des électrons en étant placé dans un tube sous vide. Le filament fait face à une grille de tension positive de telle sorte que les électrons soient attirés par celle-ci. En introduisant du mercure dans l'ampoule, Franck et Hertz observent que le courant mesuré est nul pour une*



certaine tension qui correspond à l'interaction entre les électrons et les atomes de mercure. L'expérience montre que l'interaction n'a lieu que pour une certaine énergie appliquée (apportée ici par le courant). Les deux physiciens apportent ainsi une preuve de la quantification de l'énergie dans un atome, en constatant qu'il n'y a pas d'états intermédiaires.

Pour chaque élément du tableau périodique, l'énergie à fournir pour l'annihilation du courant par l'interaction atomes – électrons est spécifique. Cette valeur est donc l'empreinte digitale de l'atome, sa signature (échelle d'énergie et spectres lumineux sont donc uniques).

Et c'est à partir de ces découvertes que Bohr explique le tableau périodique établi par Mendeleïev à l'aide du numéro atomique,  $Z$ , qui correspond au nombre d'électron(s) gravitant autour du noyau de chaque élément.

En 1913, comme pour Bohr, l'Australien Henry G. Moseley, alors jeune étudiant de Rutherford, établit la structure fine des atomes, c'est à dire les distances qui séparent les orbites de même que les énergies qui leur correspondent. Il s'en assure en mesurant les spectres d'émission et d'absorption optique des éléments un à un, l'émission de rayon X par les éléments bombardés d'électrons de forte énergie.

A travers Bohr, l'expérience est devenue prédictive ! C'est par les expériences que les physiciens tels que Moseley vérifient la théorie. Le premier apporte la méthode pour étudier les atomes, le second réalise l'expérience, il établit la structure de chaque atome à partir des spectres optiques. Bohr a donc établi le lien entre la lumière et la chimie, le spectre et l'atome.

En envisageant la mise en commun d'électrons, la même année, Bohr imagine l'assemblage des noyaux pour former non plus un atome mais une molécule.

Et c'est une fois de plus des travaux de Bohr que partent les travaux sur la mécanique quantique et le principe d'incertitude d'Heisenberg.

### L'histoire de l'atome se poursuit grâce à la collaboration

En 1927, C.J. Davisson et L.H. Germer réalisèrent une expérience en projetant des électrons sur un cristal de nickel. Ils observèrent des pics de diffraction qui prouvèrent la nature ondulatoire des particules.

En 1932, la preuve de l'existence du neutron est apportée, en même tant que l'utilité d'une collaboration entre chercheurs par le chercheur anglais James Chadwick. Il fut l'assistant de Rutherford et l'un de ses plus brillants disciples. Le 3 juin 1920, il entend Rutherford, dans le cercle des habitués des Bakerian Lectures de la Royal Society, formuler l'idée d'une sorte d'atome de masse 1 et de charge 0 qui n'était pas l'hydrogène : cet objet, n'étant pas sujet aux répulsions électriques que subissent les protons et les particules alpha, doit pouvoir s'approcher des noyaux et y pénétrer facilement. Chadwick se souvint 12 ans plus tard de cette communication, quand il a à interpréter les résultats de ses expériences.

La découverte du neutron a résulté de trois séries d'expériences, faites dans trois pays différents, l'une entraînant l'autre. En ce sens elle est exemplaire de la recherche de la connaissance.

*En 1930, en Allemagne, W. Bothe et H. Becker, spécialistes du rayonnement cosmique observent que des éléments légers, bombardés par des particules alpha (comme celles faisant action dans l'expérience de la feuille d'or de Rutherford vers 1910), émettent des rayons « ultra pénétrants » qu'ils supposent être des rayons gamma beaucoup plus énergétiques que ceux émis par des noyaux radioactifs.*

*En 1931, en France, Irène et Frédéric Joliot-Curie intrigués par ces résultats cherchent à comprendre la nature de ce rayonnement et découvrent qu'il a la propriété de mettre en mouvement des noyaux atomiques et en particulier des protons... En 1932, en Angleterre, aussitôt ces résultats parus, J. Chadwick fait un test confirmant les résultats et va plus loin et mesurant avec précision l'énergie des noyaux projetés, il peut affirmer que le rayonnement « ultra pénétrant » ne peut être un rayonnement gamma, d'énergie très élevée, mais doit être composé de particules de masse 1 et de charge électrique 0 : c'est le neutron.*

*Chacune des trois équipes avait travaillé avec les appareils dont elle disposait, mais aussi avec ses connaissances et avait baigné dans la tradition de son laboratoire.*

*En conclusion, on se rend compte que Thomson découvre l'électron, Rutherford le proton et émis le premier modèle de l'atome correct, bien que simplifié, Chadwick prouva l'existence des neutrons et enfin Bohr apporta tout son savoir et son instinct pour développer la théorie des quanta. Mais si l'histoire ne retient souvent que ces noms et faits, en étudiant le cheminement de la structure de l'atome, on s'aperçoit que nombre de savants apportent leur « patte » et que l'aboutissement que constitue au moins en partie l'édification du modèle atomique ne s'est pas faite d'un trait, mais plutôt par essais infructueux, collaboration entre grands esprits et une intuition souvent présente jusque dans les esprits les plus rationnels.*

### *L'infiniment petit se révèle un peu plus*

*Jusqu'en 1964, on croyait qu'il n'existait que trois particules élémentaires constitutives de l'atome: l'électron, le proton et le neutron.*

*Cependant, de nombreuses particules instables (de durée de vie de l'ordre de  $10^{-23}$  secondes) sont détectées soit dans le rayonnement cosmique, soit dans les chocs de haute énergie créés dans les accélérateurs de particules construits après la deuxième guerre mondiale.*

*Ces accélérateurs, encore nommés collisionneurs, sont d'énormes machines très onéreuses qui peuvent atteindre plusieurs dizaines de kilomètres de longueur. Le but est d'y accélérer des particules chargées (électrons, protons, ions) à des vitesses frôlant celles de la lumière.*

*L'énergie atteinte par ces particules est énorme (étant donné leur vitesse) et des particules - sondes sont ainsi projetés sur des particules - cibles: cela permet d'étudier les conséquences des chocs ainsi provoqués. Plus l'énergie de collision est élevée, plus les nouvelles particules créées seront massives et renseigneront les physiciens sur les constituants ultimes de la matière.*

Les accélérateurs peuvent être actuellement de deux types: soit circulaires comme le LEP (Large Electron Positron ring) possédé par le CERN de Genève, soit linéaire comme l'accélérateur Californien.

Énoncée pour la première fois en 1964 par Murray Gell-Mann et indépendamment par George Zweig, la théorie des quarks acquit ses lettres de noblesse au fur et à mesure qu'elle fut corroborée par les expériences; Ce n'est qu'en 1975 que les quarks furent détectés expérimentalement.

Le nom bizarre de Quark provient d'une phrase du roman de James Joyce "Finnegan's Wake": Three Quarks for Muster Mark!

Les quarks sont les composants des nucléons. Il en existe deux types dans la matière ordinaire. : les quark up de symbole u et de charge électrique  $Q=+2/3$  et les quark down, d, de charge électrique  $-1/3$ .

Pourquoi des charges Q ainsi fractionnaires? Car les nucléons sont toujours formés de 3 quarks:

NUCLÉON:	QUARKS:	CHARGE Q:
proton	$u + u + d$	$+2/3+2/3 -1/3 = +1$
neutron	$u + d + d$	$+2/3 -1/3 -1/3 = 0$

La taille des quarks est théoriquement ponctuelle, mais en réalité elle est inférieure à  $10^{-18}$  m; soit au moins mille fois plus petite que la taille d'un nucléon qui est de  $10^{-15}$  m.

Les quarks, comme les nucléons, sont des fermions de spin  $J = 1/2$  et sont liés entre eux par une force appelée interaction forte (la même qui lie les nucléons entre eux).

Il est absolument impossible d'observer un quark isolé; les quarks ne peuvent s'agréger que de deux manières différentes et ne donner ainsi que deux familles de particules composites.

Les baryons qui sont toujours formés d'un triplet de quarks. Les nucléons sont les baryons les plus courants. Il existe d'autres triplets formés de quarks plus lourds; d'où l'origine du mot baryon (du grec "barus" = lourd). Ces baryons plus lourds que les nucléons sont désignés par des lettres grecques (particules lambda, sigma, delta etc..) et sont regroupés dans la famille des hyperons.

Les mésons qui sont des paires de quarks et d'antiquarks. Ces particules très instables sont également désignées par des lettres grecques (pions, kaons, Éta...).

Mais il manque une autre particule de matière (ou fermion) fondamentale à notre jeu de briques, le neutrino.

Le neutrino, cette particule fondamentale fut "inventée" en 1930 par Wolfgang Pauli pour expliquer le mécanisme de la radioactivité Bêta. Un neutron se transforme en un proton en émettant un électron (rayon bêta) et une autre particule mystérieuse que le physicien italien Enrico Fermi baptisa en 1933 "neutrino"; ce qui signifie en italien "petit neutron".

Ce n'est qu'en 1956, après une expérience concluante que Frederick Reines et Clydes Cowan mettent en évidence le neutrino. Les deux scientifiques ont installé un détecteur de neutrinos à proximité du réacteur nucléaire de Savannah River, en Caroline du Sud.

Le neutrino a une charge  $Q$  nulle et il est 50.000 fois plus petit qu'un électron.

Sa masse extrêmement faible n'a été détectée que le 5 Juin 1998 au Japon! La mesure de cette masse pourrait avoir une importance capitale pour le destin de l'Univers: Selon le modèle cosmologique actuel, l'Univers est né d'une gigantesque explosion, le Big Bang. Il va ainsi continuer à se diluer indéfiniment à moins qu'il n'ait suffisamment de masse pour pouvoir se recontracter en ce que l'on nomme un Big Crunch. Cette masse manquante de l'Univers pourrait se trouver dans les neutrinos très nombreux du Cosmos (voir deuxième partie).

Le neutrino et l'électron, particules légères, sont regroupés dans la famille des leptons (du grec "leptos" = léger).

L'ensemble des deux leptons et des deux quarks  $u$  et  $d$  sont donc les constituants de notre monde habituel.

Actuellement, la matière est considérée comme constituée de 12 fermions (sortes de « briques » qui composent la matière) élémentaires dont seulement 4 sont stables (1<sup>ère</sup> ligne), les 8 autres n'apparaissent que dans les accélérateurs de particules. Quatre forces assurent la cohésion générale (le « ciment »): électromagnétique (via le photon), gravitationnelle (le graviton), électro forte (gluon et électro faible ( $W^+$ ,  $W^-$ ,  $Z^0$ )).

Les 4 particules de la première ligne (quarks  $u$  et  $d$ , électron, neutrino) sont stables et composent la totalité de la matière de l'Univers. Les 8 autres (quarks  $s$ ,  $c$ ,  $b$ ,  $t$ , muon, tau et neutrinos mu et tau) sont instables.

Quarks +	Quarks -	Leptons -	Leptons neutres
$u$	$d$	$e^-$	$\nu_e$
$s$	$c$	$\mu^-$	$\nu_\mu$
$b$	$t$	$\tau^-$	$\nu_\tau$

C'est en assemblant ces particules qu'on réalise les modèles du méson, baryon, pentaquark ou encore  $X(3872)$  dont les structures sont décrites dans la deuxième partie.

Ce tableau peut être qualifié de récapitulatif car il restitue l'essentiel des certitudes actuelles des chercheurs.

Mais, comme nous allons le voir dans la deuxième partie, ce ne sont pas les pistes qui manquent aux chercheurs afin de révéler les derniers secrets de l'atome...

## II) Les nouvelles théories et les découvertes récentes

Depuis le siècle dernier, la science évolue très rapidement. L'évolution de la technologie permet de faire subir à la matière des conditions extrêmes, comme par exemple dans l'accélérateur de particules du CERN, et permet de découvrir de nouvelles particules élémentaires défiant parfois l'univers à trois dimensions dans lequel nous sommes cantonnés. À l'état actuel des connaissances, la chimie a rejoint de très près l'astrophysique, surtout dans le domaine de la recherche, car c'est principalement dans des conditions extrêmes comme on les retrouve dans l'espace, que les atomes révèlent des propriétés et des structures insoupçonnées.

De grandes découvertes et théories, comme la relativité et la mécanique quantique ont d'ailleurs permis aux scientifiques une prodigieuse avancée, même si aujourd'hui la recherche ne permet plus de laisser une grande place à l'expérience et privilégie la théorie. Ainsi, comme expliqué précédemment, les savants tentent soit de trouver les preuves à leur théorie dans l'espace, soit d'en recréer les conditions le plus fidèlement possible sur Terre.

La science d'aujourd'hui attache aussi une grande importance à vouloir expliquer l'univers dans son entier. Cette volonté est guidée par la recherche d'une théorie unique. Cette dernière permettrait l'unification de la mécanique quantique et de la relativité générale, décrivant chacun des phénomènes similaires mais à des échelles de tailles différentes.

L'antimatière et les quarks soulèvent une panoplie de questions et de travaux scientifiques. Même si ces découvertes datent d'un certain temps, elles sont actuellement l'objet d'études rigoureuses afin de les comprendre et d'exploiter leur utilité pour combler les vides de nos connaissances.

### A) De nouvelles particules

#### La découverte de l'antimatière

L'histoire de l'antimatière, est le parfait exemple de l'efficacité des mathématiques à percer les secrets du monde réel.

Tout se passe dans les années vingt. Deux grandes étapes de la physique viennent d'être franchies. Depuis Galilée et Newton, les orbites des planètes et des satellites n'ont plus de secret pour les scientifiques. En 1905, Einstein énonce la théorie de la relativité dite restreinte décrivant le comportement des objets à des vitesses proches de celles de la lumière. En même temps les lois de la physique quantique sont découvertes.

Un physicien anglais, Paul Adrien Maurice Dirac note que les deux chapitres de la physique, la théorie quantique et la relativité générale, semblent s'ignorer. Les mêmes lois devraient régir aussi bien les électrons que les planètes.

Pour corriger cette situation, Dirac en 1928, formule une équation mathématique qui combine à la fois le principe de la relativité et ceux de la physique quantique de Bohr. Le résultat paraît horriblement compliqué

et rébarbatif, mais Dirac entreprend d'explorer les conséquences de son équation. Bien des surprises l'attendent. Son équation est une mine de renseignements. Dirac dira d'ailleurs : « Elle est bien plus intelligente que moi. »

A cette époque, l'existence des électrons est connue depuis trente ans. L'équation de Dirac lui propose un « frère jumeau » : l'anti-électron ou le positron. Elle stipule qu'au moment d'une rencontre, tous deux peuvent s'annihiler en lumière.

En 1932 un américain, Carl Anderson détecte en provenance de l'espace, une paire de particules qui présente toutes les caractéristiques attendues. On y reconnaît un électron et un positron. Encore une expérience qui vérifie une prédiction pas facile à admettre pour des êtres humains bloqués par leurs capacités sensorielles.

L'équation de Dirac suggère aussi l'existence d'autres couples de particules- antiparticules, et effectivement vers 1956 des antiprotons sont détectés. Une conséquence de l'équation est vérifiée par les accélérateurs capables de créer de l'antimatière: chaque fois qu'est créée une antiparticule, une particule est aussi formée. Ceci amène à penser que lors de la création de l'Univers, autant de particules que d'antiparticules ont été créées. Or, en dehors des laboratoires, la matière prédomine de façon écrasante. Alors où est passée notre antimatière ? Ce mystère n'est aujourd'hui que partiellement résolu et doit trouver sa réponse dans les tous premiers instants de notre Univers. Mais ceci est une autre théorie, celle de la cosmologie récente qui ne sera pas abordée ici.

## Les quarks et leur histoire

### Introduction aux quarks

Cette histoire se place dans la plus grande des traditions scientifiques motivée par la quête de la simplicité, idée déjà présente chez les Grecs et exprimée de la manière suivante : Sous la complexité apparente de l'Univers se cache l'invisible simple.

Malgré l'efficacité du tableau de Mendeleïev pour expliquer la chimie actuelle, la simplicité n'est pas au rendez-vous. Le nombre de variétés d'atomes croît rapidement et il existe plusieurs variétés d'isotopes. De plus, comme expliqué précédemment, les atomes ne sont pas incassables et ont le sait depuis moins longtemps, les protons et les neutrons recèlent également des particules encore plus infimes, les quarks (voir première partie).

Grâce à une bonne compréhension de ces deux nouveaux mystères de la physique, nous pourrions résoudre une multitude de questions fondamentales. Les quarks révèlent l'infiniment petit et l'antimatière pourrait nous permettre de visiter l'infiniment grand. En effet la colossale quantité d'énergie libérée lors de la rencontre particules- antiparticules est tentée d'être canalisée par la NASA en tant qu'énergie combustible pour les futures sondes et expéditions spatiales. Pour un ordre d'idée, il faudrait 1mg d'antimatière (quantité encore impossible à produire) pour propulser une navette à 150 000 km/s.

## B) Unification de la physique et théorie des cordes

### Une volonté d'unification

*Le but ultime de la science est de fournir une théorie permettant de décrire l'Univers dans son ensemble. Cette théorie serait l'aboutissement de l'unification de la mécanique quantique, qui décrit les phénomènes à des échelles réduites, et de la relativité générale qui décrit la force de gravité et la structure à grande échelle de l'Univers.*

*Ces théories sont suffisantes pour décrire l'Univers et faire des prédictions dans des situations de base, mais pas dans les situations les plus extrêmes.*

*En effet, jusqu'à aujourd'hui ces deux théories ne semblent pas être conciliables.*

*Voici résumé de manière succincte le pourquoi de la controverse.*

*Einstein fait connaître un bond énorme à la physique en supplantant la théorie de Newton concernant la gravitation par la théorie de la relativité générale. Celle-ci introduit le concept d'un espace-temps courbe à 4 dimensions permettant d'expliquer le mouvement des planètes et le phénomène d'attraction à grande échelle. Même si cette théorie a été maintes fois vérifiée en observant l'Univers, elle ne semble pas s'accorder avec les lois de la physique quantique, et en particulier avec le principe d'incertitude. Celui-ci énonce que, plus l'échelle d'observation est réduite, plus les fluctuations des champs, y compris ceux de gravitation, sont importantes. Ainsi aux échelles microscopiques, la violence des fluctuations du monde quantique invalide l'hypothèse de la relativité car la géométrie de l'espace à 4 dimensions n'est plus conforme à une courbe.*

*Après de nombreuses tentatives d'unification de ces deux lois, tous les savants, dont Einstein lui-même, échouèrent. Cependant l'apparition d'une nouvelle théorie connue sous le nom de théorie des cordes, semble ouvrir de nouveaux horizons.*

### La théorie des cordes

*Il existe plusieurs théories des cordes dont 5 sortent du lot, mais elles reposent globalement sur la même idée.*

*Il s'agit de ne pas considérer les objets fondamentaux comme des particules ponctuelles, sans dimension, mais des entités à une dimension de très petite longueur. Les différentes particules élémentaires que nous connaissons, tels les quarks, l'électron, apparaîtraient comme les différents modes de vibration d'une corde.*

*Cependant, la théorie des cordes ne semble être valable que si l'espace temps possède 10 ou 26 dimensions au lieu de nos 4 habituelles. Alors si elles existent, pourquoi n'en voyons-nous que 3 ?*

*En réalité on suppose que les autres dimensions sont courbées dans un espace très petit ou alors infini.*

*Fait intéressant, ces dimensions ne sont ni des dimensions d'espace ni des dimensions de temps car les particules, aussi bien de lumière que de matière, ne sont pas autorisées à y voyager. Ces dimensions de la théorie des cordes sont donc très spéciales. Seule la force de gravitation ou plutôt les gravitons (les particules*

portant la force de gravitation, donc formés eux aussi de cordes) ont le droit d'emprunter ces nouveaux espaces. De plus comme expliqué plus haut, elles sont enroulées sur elle-même et sont, soit de taille infime, soit de taille infinie. Donc dans ce cas, un mètre n'est pas identique selon l'endroit où on se trouve.

Toute la difficulté réside dans le fait de trouver la preuve expérimentale de cette théorie. En effet, comment prouver l'existence de dimensions supplémentaires alors que nous ne sommes capables d'en percevoir que trois ? L'espoir réside dans le fait de trouver une conséquence à cette théorie observable dans notre espace à 3 dimensions tout comme l'avait permis la relativité d'Einstein pour introduire le concept d'espace-temps à 4 dimensions.

Voyons maintenant les propriétés supposées de ces cordes.

Deux types de cordes sont envisageables : ouverte et fermée. Alors que le chemin d'une particule normale dans l'espace-temps est une ligne, le chemin d'une corde sera une surface bidimensionnelle, une bande ou un cylindre selon le type de corde.

Plusieurs morceaux de cordes peuvent s'ajouter pour former une seule corde et de même, une corde peut se diviser en deux cordes. Ainsi l'émission ou l'absorption d'une particule par une autre peut s'expliquer en terme de corde par la division ou la jonction de celles-ci.

Ainsi, dans un modèle proposé en 1988, les particules de lumière, décrites par des cordes ouvertes, peuvent se propager dans les trois dimensions de notre espace visible, alors que les gravitons, représentés par des cordes fermées ne peuvent se propager que dans les dimensions parallèles envisagées par la théorie. Expérimentalement, l'idéal serait de voir s'échapper des gravitons de cette dimension inaccessible à nos sens afin de valider la théorie.

L'implication de la théorie des cordes est très prometteuse. Non seulement elle permet de donner une explication du comportement des particules comme les électrons, mais surtout elle permet de donner une description de la gravitation en termes de cordes vibrantes ayant la forme de boucles présentes au cœur même de la matière, mais dans une dimension inabordable. Ainsi, en ayant réussi à intégrer la force de gravitation au sein même de la matière, la théorie des cordes semblent être le meilleur espoir de pouvoir réconcilier la relativité générale avec la mécanique quantique.

Dimensions parallèles, espace courbe, particules « vivant » dans des univers impénétrables, nous oblige totalement à revoir notre conception du réel. Einstein déjà souleva cette question : Pouvons nous réellement donner un sens au réel, alors que l'image que nous nous en faisons s'arrête là où s'arrête nos capacités sensorielles ?

Cette question oblige également les scientifiques à revoir leur approche du monde et des méthodes scientifiques mises en place pour l'expliquer. L'observation est-elle encore le meilleur moyen de comprendre l'univers alors que les outils que nous déployons à cet effet sont eux-mêmes conditionnés par nos limites sensorielles ?

C'est ce que nous allons essayer de comprendre dans la troisième partie.



## C) Des découvertes prometteuses

### De nouvelles particules authentifiées (I. Cuchet)

Au cours de la seule année 2003, deux nouvelles espèces subatomiques ont été détectées avec certitude : le pentaquark en début d'année dans un laboratoire japonais près d'Osaka, puis la particule  $X(3872)$  en Corée. Dès lors que de nouvelles particules telles que celles-ci sont découvertes, les chercheurs se posent la question à savoir si oui ou non, le modèle standard est encore cohérent. Car le modèle standard est en quelque sorte la base du savoir des physiciens. Il s'agit de la théorie physique la plus complète jamais conçue pour décrire le monde des particules élémentaires, bien qu'elle ne soit pas complète. En effet, il faut encore aux physiciens intégrer les particules découvertes au fil du temps, de même que le phénomène de gravitation.

Afin de découvrir de nouvelles particules, les physiciens, comme au CERN de Genève par exemple accélèrent les particules et ainsi les brisent en plusieurs particules, elles-mêmes analysées par les chercheurs. C'est par cette méthode que les particules pentaquark et  $X(3872)$  ont été confirmées et que la « boule de glu » et  $\pi_1(1400)$  sont en attente d'être confirmées. Les particules composées de pentaquark sont de différents types. Elles sont, soit composées d'un quark et d'un antiquark (la particule fait alors partie de la famille des mésons), soit de trois quarks (baryon). Il y a également les associations de quatre quarks et un antiquark (pentaquark) et enfin de deux quarks et deux antiquarks ( $X(3872)$ ).

Ces découvertes ouvrent de nouveaux horizons aux chercheurs qui conçoivent à présent différentes associations de quarks et d'antiquarks et qui comportent plus de deux constituants élémentaires.

### On ne voit que 1% de l'univers ! (C. Bonneau)

Les physiciens sont parvenus à confirmer la division de l'univers en trois catégories : la partie visible, la matière noire connue et la matière noire inconnue. Ils sont même arrivés à estimer leur part en pourcentage : le premier pour cent constitue la matière visible, c'est à dire les étoiles, neuf pour cent de notre Univers est composé de gaz, étoiles ratées, trous noirs ou encore neutrinos et sont dénommés par le terme de matière noire. Celle-ci est connue, contrairement aux 90% restant de matière noire inconnue !

En pratique, c'est une série d'observations troublantes de physiciens et de cosmologistes qui a conduit à la supposition d'une présence de matière invisible. L'incompréhension du mouvement de certaines galaxies, l'attraction de matière sans raison apparente, toutes ces visions ont conduit les scientifiques à montrer l'existence d'une matière noire. Reste à déterminer sa nature...

L'expérience finale est une simulation réalisée par des chercheurs français de l'Observatoire de Paris mettant en scène deux galaxies entrant en collision. Par cette collision, une nouvelle galaxie, dite « naine » se forme, mais, et c'est là que se porte notre intérêt, il faut pour cela mettre beaucoup de matière noire en jeu.

Originellement, l'idée qu'une masse invisible nous entoure provient des années 1930, par un astronome suisse nommé Fritz Zwicky étudiant le mouvement des galaxies. Cet astronome espère calculer, en passant par les lois de Newton, la masse d'un certain amas de galaxies. Pour cela, il lui faut mesurer les mouvements des planètes et en déduire les forces gravitationnelles.

Mais il rencontre un problème : les forces gravitationnelles sont trop fortes, supposant un surplus de matière qu'il ne voit pas. Son problème est en quelque sorte « enterré », oublié et surtout ignoré des autres chercheurs jusque dans les années 1970. A ce moment-là, une autre astronome, Vera Rubin, américaine, observe elle aussi des vitesses trop élevées pour des étoiles qui semblent être très loin de toute matière, source de gravitation.

Enfin, c'est en 1986 que la découverte de déviations anormalement importantes permet par les estimations de trajectoires des rayons lumineux, de soupçonner la présence d'un amas invisible de galaxies. En effet, celles-ci contenant de la matière noire, attirent les rayons lumineux et permettent de les voir depuis notre Terre.

Reste une grande question : de quoi est-elle faite, cette matière noire et invisible ? Tant sur sa forme, gazeuse, solide que sur sa structure. Contient-elle d'autres particules ? Les astronomes sont persuadés qu'elle n'est pas faite de neutrons ni protons comme la matière ordinaire, car les abondances naturelles en ces particules ont toutes pu être « recensées » et l'Univers n'en cache donc nulle part. Ils émettent donc l'hypothèse nouvelle qu'il existe des particules « exotiques » pour faire correspondre les calculs de la masse de l'Univers avec la quantité de matière.

Mais cette masse dont on perçoit le mouvement et l'action au sein de notre Univers génère encore une autre activité : celle de nombreux chercheurs qui ont pour but de la piéger et de ce fait en prouver l'existence.

Les physiciens des particules, cherchant toujours à étoffer le modèle de l'atome au moyen de leurs accélérateurs de particules, se doivent de travailler de concert avec les astrophysiciens qui eux, disposent de leurs microscopes géants que sont les télescopes.

Cette matière manquante, les physiciens la cherche justement, car dans leur modèle standard de l'atome, il leur manque un boson, ces médiateurs de forces, responsables des interactions ( par exemple le gluon, particule intermédiaire pour le champ de la force forte et qui assure la cohésion entre quarks, formant ainsi protons et neutrons). Le boson manquant, appelé boson de Higgs, est prévu par la théorie et est donc compris par le modèle l'atome. Le problème est qu'on n'a jamais pu l'observer. Il pourrait très bien être à l'origine de toute cette masse manquante de par son interaction avec les bosons intermédiaires  $W$  et  $Z$ . Si les particules de Higgs n'existaient pas, les  $W$  et  $Z$  seraient de masse nulle.

L'excitation que provoque la découverte d'une telle particule n'est pas la seule source de motivation des chercheurs. Il y a également la concurrence. Actuellement, trois importantes équipes sont au premier plan.

Une équipe américaine, une italienne et une française. Leurs théories se discutent, et leur méthodes différent, si bien que leurs travaux les rapprochent de plus en plus de la particule cachée...

### III) Approche du réel et méthodes scientifiques

#### A) Le réel semble s'enfuir

-

#### Que signifie « exister » en physique ?

La question de l'existence des particules de la physique est loin d'être simple, tout simplement parce que personne n'a jamais « vu » un électron. Les détecteurs nous présentent les effets secondaires souvent très amplifiés de leur passage, le courant mesuré par Faraday lors de ses expériences ou la trace qu'il laisse lors d'une émulsion photographique. Rien de plus. Après par interprétations et presque certaines fois par prédiction, on déduit sa présence.

« Un exemple fort simple permet d'illustrer ce problème. Quand on regarde un ciel, il arrive qu'un trait blanc s'allonge dans le ciel. On ne voit pas l'avion lui-même, mais la longue traînée de gouttelettes qu'il laisse derrière lui. Pourtant je suis convaincu de son existence et des jumelles me suffisent à vérifier cette conclusion.

Bien sûr, tel n'est pas tout à fait le cas pour l'électron car il nous faut renoncer à le voir au sens où l'on peut voir l'avion. Et pourtant, on croit à leur existence.

Pourquoi ? car en science on jauge les notions à leur fertilité. On adopte celles qui nous permettent de comprendre ce qui semblait échapper à l'intelligibilité. Comprendre c'est aussi pouvoir calculer et prévoir numériquement le résultat d'une expérimentation. Les concepts sont donc admis à l'échelle de leur rentabilité. » (H. Reeves)

L'hypothèse de l'existence de l'électron rend compréhensible de larges pans de la réalité. Le comportement des atomes, des molécules et des solides peut être prédit correctement. Pour cette raison donc, le physicien admet l'existence de l'électron.

Les électrons ne sont évidemment pas les seuls concernés par cette approche de la science, toutes les particules sont passées par cette constatation.

Et les quarks ? Faut-il croire à leur existence ? Leur crédibilité est loin d'être aussi impressionnante que celle des électrons. La science nucléaire n'a pas atteint le degré de précision de la physique atomique. Ses succès pourtant sont réels et les progrès encourageants. Pour cette raison, les physiciens admettent leur existence, même s'ils ont perdu l'espoir de les isoler et de les comptabiliser individuellement.

#### Quand la théorie attend une réponse de l'expérience et de la philosophie

Comme nous avons pu le vérifier au fil des pages précédentes, les découvertes ont toujours eu la même trame générale. D'abord une théorie établie par un scientifique permettant d'expliquer une nouvelle approche d'un sujet ou de combler les lacunes d'un autre. Cette théorie s'accompagne souvent de prédiction établie soit par calcul, soit par pure réflexion.

Puis une fois la théorie établie, les savants cherchent à la démontrer de manière expérimentale, à en chercher les conséquences observables sur notre monde et à les interpréter. Il en a été comme ça de la découverte de l'antimatière par exemple et on tente de procéder de la même manière pour admettre la théorie des cordes.

Malheureusement cette méthode semble être compromise pour expliquer les nouvelles théories.

« En effet, alors que jusqu'au XVIII<sup>e</sup> siècle les philosophes ne cessaient de s'interroger sur la nature du réel, les physiciens, confrontés à une réalité empirique dure, solide et maîtrisable, se contentaient de l'enregistrer sans se poser des questions métaphysiques quant à sa nature en soi, comme le faisaient les philosophes, tel Leibniz ou Kant.

Mais avec la relativité et la mécanique quantique, les physiciens se trouvent en une vingtaine d'années confrontés à une réalité empirique qui, de dure et maîtrisable, devient fuyante et diffuse. Le désarçonnement de la science est complet, et l'on comprend bien le désarroi d'Einstein, ses interrogations sur les intentions de Dieu et sur son rejet de la mécanique qui donne l'impression que le bel âge de l'explication objective et vraie est bien fini. »(N. Farouki)

Jamais la physique n'eut à vivre une pareille expérience. Aussi alors que la philosophie avait depuis Kant transféré dans le domaine métaphysique le problème de la connaissance de la réalité, la physique du XX<sup>e</sup> siècle venait rouvrir le dossier, le rendant d'autant plus complexe qu'elle ne put s'empêcher, par sa propre nature, d'y inclure des questions de méthode dont la philosophie ne se préoccupait guère.

Un nouveau malentendu devait alors apparaître. En effet, la philosophie de la physique tentait de répondre à plusieurs questions à la fois, négligeant la méthode analytique, qui comme le préconisait Descartes, lui aurait permis de bien cerner les problèmes avant de s'attaquer à leur résolution.

La lecture des débats sur la nature du réel décrit plus bas est assez édifiante : on y parle de dogmatisme, d'empirisme, d'objectivité, de méthode. Chacune de ces notions possède un sens précis et, mêlées aux autres, peut donner naissance à des malentendus infinis. Que signifie être réaliste ? Quel rapport entre réalisme et mathématiques ? Que signifie objectivité ?

Ces multiples questions montrent que, lorsque les philosophes de la science réfléchissent à la question de la réalité, ils doivent tenir compte d'un plus grand nombre de facteurs que les philosophes classiques.

Aussi pour comprendre la complexité de la question de la réalité vue par la physique, convient-il de mettre de l'ordre dans les idées, avant de poser les bonnes questions et de tenter d'y répondre.

Nous nous attarderons donc un moment sur les méthodes scientifiques employées pour comprendre le réel et sur les débats qu'entraîne la nature du réel.

## B) Méthodes scientifiques

### Explication générale sur la méthode scientifique (A. Einstein)

*Il a souvent été dit, que l'homme de science est un mauvais philosophe. Ne serait-il pas alors tout naturel que le physicien laisse au philosophe le soin de philosopher ? Ceci aurait été en effet tout naturel à une époque où le physicien croyait disposer d'un système stable de lois et de concepts fondamentaux, que personne ne mettait en doute ; mais ce n'est plus naturel à une époque comme la nôtre, où les fondements même de la physique sont devenus problématiques. À l'heure actuelle, par conséquent, où l'expérience nous force à chercher une base plus neuve et plus solide, le physicien ne peut plus abandonner tout simplement au philosophe l'examen critique des fondements théoriques. En cherchant une nouvelle base, il doit s'efforcer de se rendre compte jusqu'à quel point les concepts dont il se sert sont justifiés et nécessaires.*

*En opposition avec la psychologie, la physique ne traite que des expériences des sens et de la compréhension de leurs rapports mutuels. Et le concept de monde extérieur réel de la pensée de tous les jours repose exclusivement sur les impressions sensibles.*

*Ainsi le premier pas pour poser un monde extérieur réel est la formation du concept d'objet matériel. De la multitude d'expériences sensibles nous prenons, mentalement et arbitrairement, certains complexes d'impressions sensibles qui se répètent souvent, et nous leur associons un concept, celui d'objet corporel. Ce concept doit sa signification et même son existence à la totalité des impressions que nous associons à lui.*

*Le second pas consiste à attribuer à ce concept une signification permettant de lui conférer une existence réelle.*

*Mais depuis quelque temps, cette méthode d'approche de la compréhension de notre monde semble s'affaiblir. En effet ce mode réflexion montrait toute son efficacité lorsqu'il s'agissait de comprendre un monde situé à une échelle où l'esprit humain possédait quelques repères sensoriels. Mais depuis l'avènement de théories telles que la relativité nous sommes quelque peu contraints d'accepter certains concepts non accessibles par une représentation, mais dont les conséquences sont visibles à notre échelle. Citons comme exemple Einstein qui prédisait qu'un objet massif déformait l'espace-temps et que même les rayons lumineux étaient capables d'être entraînés dans cette courbure. Cette idée pouvant être considérée comme insensée a cependant été vérifiée lors d'une éclipse solaire en 1919 où l'on pouvait voir des étoiles qui de jours sont normalement invisibles. L'observation et la mesure de cette déviation confirmèrent la théorie du scientifique.*

*Ainsi une théorie scientifique ne peut plus simplement donner une vision simple et esthétique pour qu'on puisse croire en elle, elle doit pouvoir rendre compte de manière efficace de ce qui se passe dans la nature. Et les scientifiques capables de ne pas tomber dans l'interprétation « simpliste » du monde qu'ils observent sont relativement peu nombreux.*

*Il est donc intéressant de s'attarder sur un scientifique à part, dans sa manière d'aborder le réel : Einstein.*

*Einstein est sans doute l'un des derniers grands savants qui ont réussi à changer la face de la connaissance par la puissance de leur intellect, sans passer par le travail des laboratoires, sans être aidés par une équipe de chercheurs, et sans avoir le financement nécessaire à la recherche contemporaine. De l'encre et du papier, une craie et un tableau noir, de solides aptitudes mathématiques, une aspiration philosophique certaine, et la lumière jaillit.*

*Si ceux qui ont accompli une œuvre scientifique sont si peu nombreux, c'est parce que la découverte scientifique n'est pas un acte créateur du même ordre que l'art ou la littérature. Une œuvre scientifique doit, outre son originalité et son élégance, pouvoir rendre compte d'une manière efficace et convaincante de ce qui se passe dans la nature. Il suffit que cette dernière dise « non » pour que la théorie, jusque là considérée comme vraie, soit définitivement rejetée comme fausse.*

*Newton et Einstein font partie de cette catégorie de privilégiés de la science à qui la nature, autorise un « peut-être » encourageant.*

*La théorie de la relativité dont tout le monde connaît l'auteur reste cependant peu familière au public non scientifique. Néanmoins, en raison de son élégance et de son efficacité, elle fut à l'origine d'un immense enthousiasme et d'une foi nouvelle dans la science et ses résultats futurs.*

*Mais ce succès ne signifiait pas que la réalité tant recherchée était à porte de main. Einstein, au cours de sa carrière allait au contraire vivre très mal l'éloignement de cette réalité, en raison des problèmes nouveaux que posait l'étude des particules élémentaires. De vifs débats furent engagés, dès la première moitié du siècle dernier, auxquels participèrent les plus grands savants de l'époque. Einstein et quelques autres soutenaient que la science devait nous renseigner sur le monde tel qu'il est réellement. D'autres affirmaient que, la science étant fondée sur l'observation, ce qui se trouvait au-delà de nos capacités sensorielles resterait à tout jamais de l'ordre de l'hypothèse.*

*Une théorie scientifique peut-elle être la description de la réalité ? Doit-elle au contraire être considérée comme une simple hypothèse temporairement valide ? La réponse n'est pas aisée, même si le dogmatisme le laisse parfois à penser.*

### C) A la recherche du réel

#### Débats sur la nature du réel au début du XX<sup>e</sup> siècle

*Le sort s'acharne contre le réalisme absolu dont rêvait Einstein. En effet, dans les années vingt, la mécanique quantique se développe. Pour comprendre l'attitude de certains scientifiques à son égard, il convient de revenir sur certaines conclusions de cette théorie.*

L'atome à peine entré dans les mœurs, fut vite « cassé ». Les particules composant cet atome semblent se comporter comme des ondes et manifestent des phénomènes d'interférences et, dans d'autres expériences, elles réagissent comme des objets, de petits projectiles « palpables ».

Le problème est que ces projectiles ne sont pas repérables dans l'espace comme n'importe quel autre objet. L'observation de la localisation d'une particule entraîne inévitablement une réaction de sa part. Contrairement aux autres objets, il est impossible de mesurer à la fois la position et la trajectoire d'une telle particule. Les relations rendant compte de cette impossibilité sont recensées dans les lois d'incertitudes déjà citées plus haut.

La transformation des ondes en particules et des particules en ondes a bouleversé les scientifiques qui l'ont observée. Beaucoup d'hypothèses sont avancées pour expliquer cette dualité. Mais d'hypothèse en hypothèse, cette dualité s'est confirmée comme étant une propriété inévitable de la matière, définie comme le principe de complémentarité par Bohr. Ce principe énonce que c'est la nature de l'observation qui détermine l'objet -onde ou particule, observé.

Le fonctionnement de ce principe remet en cause toute l'objectivité de l'observation et de la connaissance scientifique.

Évidemment beaucoup de scientifiques considèrent qu'on ne peut fonder une théorie que sur des faits observables et non sur des hypothèses fondées à priori sur la nature du sujet observé. Ces critiques peuvent être compréhensibles, car le principe d'incertitude et de complémentarité affirment que l'expérience et l'observation atteignent une limite.

Ces principes représenteraient alors la limite et le stade ultime de toute connaissances ; impossibles d'aller plus loin en terme de découvertes.

Cette conclusion est bien entendu inacceptable pour des scientifiques de l'envergure d'Einstein qui prône le réalisme et le déterminisme pour expliquer la nature du monde et qui sont réduites à néant par ces nouvelles théories.

S'en suit un débat entre Bohr et Einstein révélateur de l'attitude des scientifiques pendant la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle.

Les scientifiques se trouvent maintenant placés devant l'immense problème de définir la nature de l'objet qu'ils sont supposés étudier. Quel genre de monde avons-nous devant les yeux ? S'agit-il d'une réalité absolue ou bien d'un mélange entre réalité inconnue et nos capacités sensorielles ? Pouvons nous connaître la réalité ou devons-nous nous contenter ce que nous percevons ?

Les savants qu'Einstein côtoyait étaient partagés entre deux attitudes. La première, à laquelle il appartient, considère que nous observons un monde réel, qui existe indépendamment de nous. Ce monde est accessible à notre connaissance.

La seconde attitude adopte une orientation différente. Ceux qui y participent admettent qu'il est impossible de connaître la réalité en soi. Ils affirment que nos connaissances concernant un monde extérieur proviennent de nos sens. Sur le plan scientifique cela signifie que la seule vérité admissible est celle provenant de l'expérience et de l'observation. En dehors de ces dernières, toutes affirmations sont considérées comme hypothèse métaphysique dont il faut se méfier et qui ne correspond à rien de concret.

*Cette attitude est le positivisme qui donc se contente de décrire le monde tel qu'il est, sans avancer aucune hypothèse.*

*Mais ces deux approches de la réalité peuvent s'avérer tout aussi infructueuses l'une que l'autre. Car ce n'est pas la croyance en une réalité quelconque qui est déterminante, mais l'attitude méthodologique que l'on adopte face à l'évolution des connaissances et au maintien des postulats de base. Le vrai débat se situe donc entre une méthodologie qui tient compte de la créativité et de l'originalité d'une théorie et le dogmatisme.*

*Avec la révolution actuelle des connaissances menée par la théorie des cordes ce débat est plus que jamais d'actualité. Car la « beauté » de cette théorie réside non seulement dans son originalité, mais aussi dans son efficacité à retranscrire des connaissances déjà admises et à les intégrer dans des dimensions encore inconnues. Il n'est donc aucune théorie plus représentative pour expliquer la nature du réel. Car selon elle, il existerait une réalité inaccessible à nos sens qui produirait des effets visibles et accessibles par nos moyens de détections ?*

*Il s'agit bien là d'une remise en question de la réalité absolue. Sommes-nous en présence d'un monde à deux réalités ? Une absolue, régissant le monde dans son ensemble et inaccessible à nos sens et une réalité qui n'est qu'autre que les effets que la réalité absolue daignent bien nous laisser entrevoir ? Cette question nous n'allons bien sûr pas y répondre mais il est important de la retenir pour les découvertes à venir.*

#### *D) La perpétuelle remise en question des chercheurs*

*Une fois qu'une loi est énoncée, elle n'est pas « figée ». C'est à dire que chaque scientifique, s'il rencontre des difficultés à utiliser une formule ou s'il observe des incohérences, cherche à améliorer cette loi.*

*C'est ce qui se passe dans le cas de la découverte de la matière noire, l'invisible matière qui représenterait 90% de notre univers. Une remise en cause a été émise, d'abord en 1983, par le physicien Mordehai Milgrom, chercheur au sein de l'institut Weizmann, et aujourd'hui par deux italiens, l'un établi en tant que physicien théoricien à l'université de Milan, Federico Piazza, et le second, Christian Marinoni, cosmologiste au laboratoire d'astrophysique du CNRS à Marseille. Elle concerne la loi de l'attraction universelle selon Newton. Rappelons qu'elle concerne la force d'attraction de deux corps en fonction de leur masse :  $F = (M_a * M_b * G) / R^2$ .*

*Selon ces deux chercheurs italiens, les particules de matière sombre obéissent à la loi de Newton, mais entre matière classique et matière sombre, la loi se trouve modifiée. Cette découverte permettrait d'éviter de faire appel à la matière noire pour expliquer les mouvements des galaxies (voir fin de deuxième partie) en se contentant de modifier la loi de Newton sur certaines particules.*

*Ce qui est intéressant, c'est que derrière ces conclusions se cache tout un cheminement du raisonnement scientifique. Marinoni et Piazza comparent leur démarche à celle de Newton. Ce dernier, pour aboutir à sa fameuse loi en «  $1/R^2$  » a tout simplement observé le mouvement de la Lune. Ils nomment cela une approche phénoménologique. Pour ces deux chercheurs actuels, ils ont tiré de l'observation des anomalies du modèle en ce qui concerne la matière noire, une loi qui soit en accord avec ces anomalies.*



L'objectif premier d'une loi est de rendre compte mathématiquement des phénomènes et ainsi de relier expériences et théories. Comme le modèle de Bohr montre le succès de la théorie par l'efficacité de ses lois sur le modèle de l'atome, il en montre aussi la durée de vie limitée de par l'apport continu de nouvelles observations, permettant ainsi de s'approcher toujours plus près de la « vérité mathématique ».

C'est le cas de cette nouvelle théorie énoncée par Marinoni et Piazza qui cherchent encore à prouver leur théorie par l'expérience. Pour cela, leur idéal serait de pouvoir faire tomber de la tour de Pise une pomme de matière ordinaire et une pomme de matière noire, rendant en même temps hommage à Galilée et à Newton.

Et voilà le souci continu du physicien illustré : s'il possède les observations, il lui faut pouvoir les traduire par la théorie et s'il énonce une théorie, il lui faut la démontrer par des expériences.

## Conclusion

En commençant par l'histoire de l'édification du modèle de l'atome, et en poursuivant par les ouvertures qu'offrent les récentes découvertes, nous avons en quelque sorte illustré une phrase du Tao de la physique : « La part rationnelle serait, de fait, vaine si elle n'était pas complétée par l'intuition, qui donne aux scientifiques de nouveaux aperçus et les rend créatifs. » A travers ce projet, nous sommes parvenus à démontrer avec plus ou moins de succès que ce qui fait progresser la science, ce qui donne naissance aux expériences et donc aux découvertes, c'est l'intuition. Le scientifique observe, et l'idée germe. Mais cette idée, d'où lui vient-elle ? Pas uniquement de l'observation, ce serait trop facile. Cette touche de génie qui atteint les plus grands scientifiques provient de l'intuition avant tout. Celle qui mène aux expériences, à la persévérance, et enfin à la conclusion. La persévérance, les chercheurs la possède car ils ont l'intuition d'être sur la bonne voie.

Les découvreurs relient ainsi leur domaine, la science, à quelque chose de bien plus abstrait, bien moins concret, leur intuition.

## Bibliographie

- Allègre Claude, *Un Peu de science pour tout le monde*, Fayard, (09.2003)
- Bonneau Cécile et Monnier Emmanuel, *Matière noire*, Science&Vie, 1038, p.36 (03.2004)
- Capra Frijtof, *Le Tao de la physique*, Paris, Sand, (1975)
- Cuchet Isabelle, *Matière*, Science&Vie, 1037, p.92 (02.2004)

- *Einstein Albert, Conceptions scientifiques, Flammarion, (1990)*
- *Farouki Nayla, La Relativité, Flammarion, (1993)*
- *Reeves Hubert, La Première seconde, Editions du Seuil, (1995)*
- *David Larousserie, Entrez dans la cinquième dimension, Sciences et Avenir, 648 , p.42-49 (02.2001)*
- *Greene Brian, L'Univers élégant, Robert Laffont, (2000)*
- [http://perso.club-internet.fr/jac\\_leon/IdeesPhy/Atome/atome4.htm](http://perso.club-internet.fr/jac_leon/IdeesPhy/Atome/atome4.htm) ; site présentant le modèle de l'atome selon Rutherford.
- <http://perso.club-internet.fr/molaire1/quark.html> ; présentation des quarks, Wollbrett Cybéric, docteur ès Odontostomatologie
- [http://vulgum.org/libre/article.php3?id\\_article=70](http://vulgum.org/libre/article.php3?id_article=70) ; explications sur le corps noir (travaux menés par Planck essentiellement), 13.03.2002
- <http://www.fsg.ulaval.ca/opus/scphys4/resumes/14d.shtml> ; site expliquant les expériences menées par Rutherford pour aboutir à ses conclusions sur le modèle de l'atome, université de Laval, 01.2004
- <http://www.geocities.com/crousset.geo/cordes.html>  
unification de la physique et théorie des cordes
- <http://phys.free.fr/decatomer.html>  
chronologie sur la découverte de l'atome, des grecs jusqu'aux Curie