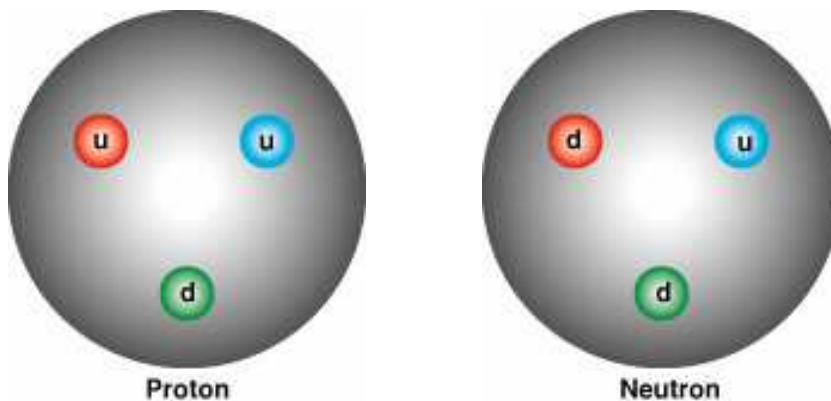


# Les particules élémentaires et les interactions

(Isabelle DESIT-RICARD)

Dès les années 1960, le nombre de particules répertoriées et découvertes grâce aux accélérateurs de particules est colossal et cette abondance gêne beaucoup les physiciens. Ils entreprennent alors de simplifier le panorama du monde microscopique : il s'agit d'en faire apparaître l'unité et d'identifier les particules élémentaires, objets pour lesquels on ne connaît pas de structure interne et qu'il est impossible de décrire comme un assemblage de particules plus petites.

Les particules élémentaires peuvent ainsi être comparées à des « briques » à partir desquelles on peut construire tout l'univers.



## 18 QUARKS ET 6 LEPTONS : 24 BRIQUES DIFFÉRENTES POUR CONSTRUIRE L'UNIVERS

Les travaux de la physique des particules élémentaires ont conduit à classer ces « briques » en deux catégories : les leptons et les quarks.

Les leptons sont des particules qui peuvent s'observer individuellement et se déplacer librement. On en dénombre six. L'électron, découvert en 1895, est un lepton de même que le neutrino électronique dont l'existence avait été prédite par Pauli en 1934 et qui fut observé expérimentalement en 1953 dans les désintégrations radioactives artificielles. Plus lourd que l'électron, le muon possède un neutrino  $\nu_\mu$  (appelé neutrino muonique) qui fut découvert en 1962. Encore plus lourd, le tauon appelé aussi lepton lourd, de masse 3500 fois supérieure à celle de l'électron fut découvert en 1977 et est associé au neutrino  $\nu_\tau$ .

.

Les particules qui ne sont pas des Leptons sont des Hadrons.

Le nombre de Hadrons créés dans les accélérateurs au cours des années soixante est impressionnant. En 1964, George S. Zweig s'aperçoit, non sans surprise, que ses calculs décrivent ces derniers comme l'association de deux ou trois éléments qu'il baptise « as ». La communauté scientifique ne le prend pas au sérieux. Indépendamment et à la même époque, Murray Gell-Mann, déjà connu pour ses travaux de mécanique quantique propose une théorie semblable qui, elle, retient l'attention du public : les particules qui ne sont pas des leptons, les hadrons, sont composées d'entités qu'il baptise « quarks ». Le terme de quark est un néologisme créé par l'écrivain James Joyce dans son livre *Finnegans Wake*. Au cours des années 1970, aucune des expériences entreprises ne permet d'isoler ces entités, et certains se demandent si les quarks ne sont pas seulement des outils mathématiques.

On sait aujourd'hui que ce sont bien des particules. Les difficultés observées pour isoler les quarks viennent de l'intensité colossale de la force qui les lie les uns aux autres à l'intérieur des Hadrons. Cette interaction, appelée interaction forte.

Les quarks se divisent en trois catégories (cf. tableau). Le quark « haut » et le quark « bas » entrent dans la constitution des neutrons et des protons. Ainsi, un neutron est-il l'association d'un quark « haut » et de deux quarks « bas », alors qu'un proton est l'association d'un quark « bas » et de deux quarks « haut ». Plus lourds que ces deux premiers quarks, le quark « étrange » et le quark « charme » ont été détectés dans les rayons cosmiques et les accélérateurs de particules, de même que le quark « beauté » et le quark « top » (découvert en 1995) qui sont encore plus lourds. Chacun de ces quarks est caractérisé par sa charge et une valeur donnée de certains nombres quantiques (spin, isospin, étrangeté, nombre baryonique).

Les quarks sont des fermions. Pour expliquer leur comportement sans contredire le principe d'exclusion de Pauli, il est nécessaire de leur attribuer un nombre quantique supplémentaire que, dans un langage imagé, on a baptisé « couleur ».

## CHROMODYNAMIQUE QUANTIQUE ET INTERACTION FORTE

Ainsi, les quarks sont des particules dites « colorées » contrairement aux leptons qui n'ont pas de couleur et qui peuvent être qualifiés d'« incolores ». Il existe donc des quarks qualifiés de rouges, verts ou bleus. Par conséquent, il y a au total dix-huit quarks

La couleur d'une particule traduit l'action qu'a sur elle l'interaction forte. En effet, de même que l'interaction électromagnétique n'agit que sur les particules qui portent une charge électrique, l'interaction forte n'agit que sur les particules ayant une couleur. Seules les particules incolores sont

donc susceptibles d'exister de manière individuelle, tandis que les particules colorées sont systématiquement attirées par les autres particules colorées qu'elles côtoient.

De même que les couleurs des faisceaux lumineux peuvent s'annuler en se composant, l'association de quarks de couleurs différentes donne naissance à des particules sans couleurs. Ainsi, dans un proton, les trois quarks ne sont pas assortis, et, de même que la lumière issue de trois spots colorés peut être blanche, le proton, qui est formé de trois quarks colorés est lui-même ... incolore !

Le proton peut donc exister tout seul, de manière autonome et indépendante.

## QUATRE INTERACTIONS ET DES BOSONS ASSOCIES

Si les quarks et les leptons sont les briques à partir desquelles il est possible de construire notre monde, alors on peut présenter les bosons intermédiaires comme le ciment qui sert à les lier les un aux autres. Ces particules fondamentales assurent en effet la transmission des forces et toute interaction peut se décrire comme un échange de bosons.

Il existe quatre interactions dans notre monde : l'interaction gravitationnelle, l'interaction électromagnétique, l'interaction forte et l'interaction faible.

Le premier boson connu fut le photon et, depuis les travaux d'Einstein, on sait que ce grain de lumière sans masse est associé à l'interaction électromagnétique.

L'interaction forte, quant à elle, est portée par les gluons qui collent les quarks entre eux à l'intérieur des hadrons. Son influence cesse de se manifester à une distance supérieure à  $10^{-6}$  nanomètres. Contrairement à l'interaction électromagnétique, dont la portée est infinie, elle n'agit pas à notre échelle ou à l'échelle des molécules : son domaine d'action se limite au niveau du noyau atomique et ne concerne que les quarks qu'elle distingue des leptons sur lesquels elle n'agit pas. On connaît actuellement huit gluons, observés pour la première fois en 1979.

L'interaction faible, enfin, peut être attractive ou répulsive. Elle est entre autres responsable de la radioactivité  $\beta$ . Cette interaction est en effet capable d'agir sur la saveur d'un quark (par exemple, sous l'effet de celle-ci un quark bas peut devenir un quark haut, autrement dit un neutron d'un noyau peut se transformer en proton). Sa portée est encore plus faible que celle de l'interaction forte : A  $10^{-7}$  mètres elle cesse d'agir. Les bosons échangés lorsque l'interaction faible entre en jeu sont les bosons  $W^+$ ,  $W^-$  et  $Z$ . Ils ont été détectés au CERN par le chercheur Carlo Rubbia et l'ingénieur Simon Van Meer.

A ce jour, le boson échangé lors de l'interaction gravitationnelle n'a toujours pas été mis en évidence. On a baptisé graviton cette particule hypothétique que plusieurs équipes dans le monde recherchent actuellement.

### UNE SEULE INTERACTION ?

De nombreux physiciens pensent pouvoir affirmer qu'aux tout premiers instants (moins de  $10^{-44}$  secondes après le Big- Bang), les quatre interactions qui existent dans notre monde n'étaient pas différenciées. Cette théorie dite de la « grande unification » a déjà été partiellement prouvée puisque dès 1967, Steven Weinberg, Sheldon Lee Glashow et Abdus Salam ont montré que l'interaction faible et l'interaction électromagnétique étaient de même nature (on parle de la théorie électrofaible).

La théorie de la « grande unification » cherche encore sa voie. Les énergies pour lesquelles les quatre interactions se confondraient étaient celles qui se rencontraient dans l'univers à ses débuts. Mais ces énergies sont inaccessibles techniquement Et cette théorie suppose en outre l'existence d'un nouveau boson, baptisé boson de Higgs, que tous les physiciens des particules rêvent de déceler.

« Lepton » est un mot d'origine grecque. En Grec, « λεπτο » (lepto) signifie « petit ». Ce mot se retrouve d'ailleurs sur les petites pièces (les centimes d'Euros) qui sont frappées en Grèce ...

### Les 24 briques à partir desquelles est construit l'univers

	Quarks		Leptons	
Constituants de la matière	Bas (down) Bas (down) Bas (down)	Haut (up) Haut (up) Haut (up)	Electron	Neutrino électronique
Rayons cosmiques Accélérateurs	Etrange (strange) Etrange (strange) Etrange (strange)	Charme(charm) Charme (charm) Charme (charm)	Muon	Neutrino muonique
Rayons cosmiques Accélérateurs	Beauté (beauty) Beauté (beauty) Beauté (beauty)	Top Top Top	Tau	Neutrino tauonique

## Les 4 interactions et les bosons associés

Interaction Electro – faible			
Interaction électromagnétique	Interaction faible	Interaction forte	Interaction gravitationnelle
Agit sur les particules chargées		Agit sur les particules colorées	Agit sur les particules de masse non nulle
Photons (quanta de champ électromagnétique)	$W^+$ , $W^-$ , $Z^0$ (quanta de champ faibles)	Gluons	Graviton ?