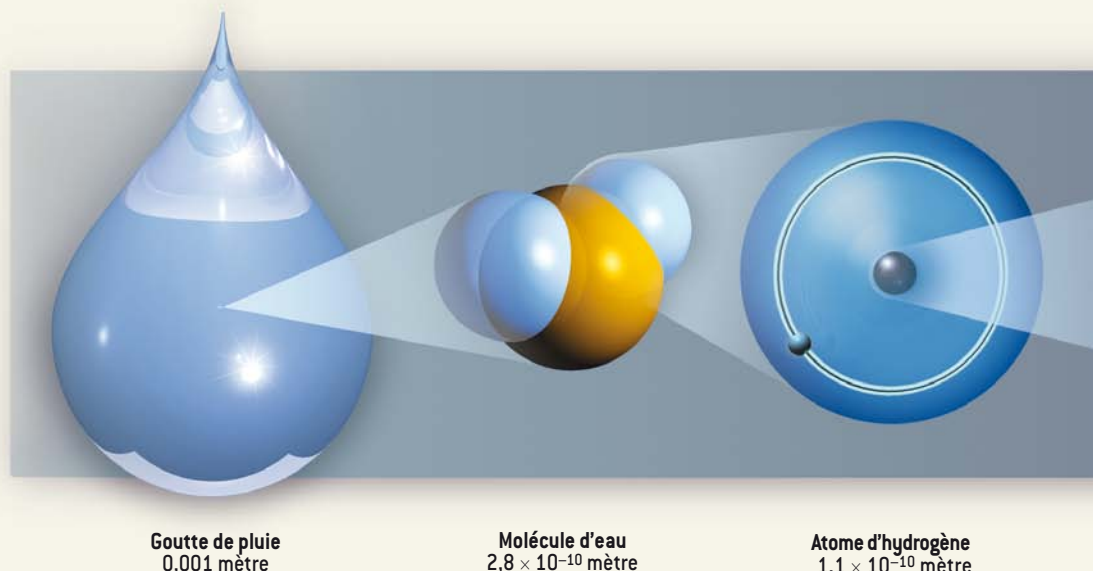


AUX PLUS PETITES ÉCHELLES DE LA MATIÈRE

Si les préons existent, ils sont minuscules. Ils devraient tenir dans un quark, qui lui-même doit être assez petit pour tenir dans le proton. En fait, toutes les expériences sont, pour l'heure, compatibles avec un quark de taille nulle, ce qui exclurait toute sous-structure. Mais de futures expériences vont sonder des échelles encore plus petites. Une taille non nulle du quark renforcerait sérieusement l'hypothèse des préons.



la fois sur les quarks et les leptons, a trois préons de charge $+1/3$ et trois de charge 0 .

Avec une série d'hypothèses judicieuses, H. Harari et M. Shupe ont postulé le contenu en préons de toutes les particules de la première génération et des bosons vecteurs d'interactions.

Une théorie de la structure interne des quarks, des leptons et des bosons doit rendre compte des nombreuses propriétés et interactions des particules que le modèle standard décrit déjà avec succès. Les modèles de préons parviennent à décrire les processus subatomiques de façon satisfaisante. Prenons par exemple l'interaction d'un quark u et d'un antiquark $\bar{d}$, qui donne un boson W^+ , lequel se désintègre ensuite en un positron et un neutrino électronique. Dans le modèle de Harari-Shupe, les deux quarks incidents, qui ont trois préons chacun, se combinent pour engendrer un boson W , qui regroupe les trois charges $+1/3$ et les trois charges nulles. Puis le boson W se désintègre, restituant les six mêmes préons dans une configuration différente : un positron (trois préons de charge $+1/3$), et un neutrino électronique (trois préons de charge nulle).

Jusqu'ici, la physique des préons ressemble à de la numérologie des quarks et des leptons. L'exercice s'apparente à celui consistant à équilibrer une réaction chimique ou une équation mathématique. Or pour être valable, un modèle de préons doit expliquer les quarks et les leptons à l'aide d'un nombre limité d'éléments et de règles. Après tout,

l'objectif est de trouver un ordre sous-jacent qui unifie des particules, différentes en apparence, et non un système de définitions *ad hoc* qui rend compte des propriétés au cas par cas. Les préons y parviennent, à la fois dans le modèle de Harari-Shupe et dans des versions concurrentes plus abouties.

Un assemblage de préons

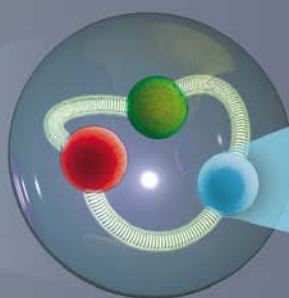
La présentation ci-dessus du modèle de Harari-Shupe s'est pourtant limitée à la première génération et ne répond pas à la question de la répétition des propriétés entre les générations. La situation se complique quand nous portons notre attention sur les deuxième et troisième générations. Dans ce modèle, on fait l'hypothèse que les générations deux et trois sont des états excités des configurations de la première génération, de même que les atomes excités sont des atomes où des électrons ont sauté d'un état à un autre, d'énergie supérieure. En outre, on pense qu'un mécanisme inconnu assure la cohésion des préons au sein des quarks et des autres particules.

Si cette explication semble un peu vague, c'est parce que beaucoup de détails n'ont pas été déterminés. De façon similaire, les premiers travaux théoriques qui ont introduit la notion de quark avaient un niveau comparable de complexité. C'est seulement plus tard que l'interaction forte, qui confine les quarks en protons et en neutrons, a été

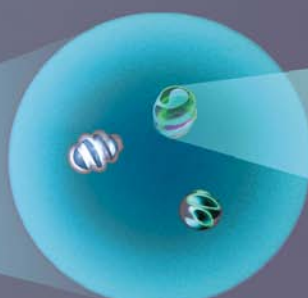
décrite précisément. Néanmoins, la question des générations reste ouverte et plusieurs physiciens ont proposé des modèles concurrents à celui de Harari-Shupe. Selon une version, l'un des préons porte le numéro de génération ainsi qu'une nouvelle charge nommée hypercouleur, qui confine les préons en quarks ou leptons.

Il existe de nombreuses variantes du modèle des préons. Certaines supposent des préons de charge $1/6$, au lieu de $1/3$ dans le modèle de Harari-Shupe. Dans d'autres, les quarks et les leptons sont formés de cinq préons, et non trois. D'autres variantes encore proposent des contenus en préons différents pour les bosons ou introduisent des préons fermioniques et bosoniques. Les possibilités sont nombreuses, et davantage de données expérimentales sont nécessaires pour départager les diverses pistes.

Au-delà de l'idée que les plus petits constituants connus de l'Univers puissent receler des constituants plus petits encore, nous sommes nombreux à être intéressés par les préons pour une autre raison. S'ils existent, ils pourraient révéler de précieuses informations sur l'origine de la masse des particules. Dans le modèle standard, cette masse est engendrée par l'interaction des particules avec le « champ de Higgs ». Les particules qui subissent une sorte de traînée lorsqu'elles traversent ce champ omniprésent sont dotées d'une masse, tandis que les particules de masse nulle, le photon notamment, glissent sans encombre. Si les préons



Proton
 $1,7 \times 10^{-15}$ mètre



Quark
Moins de 10^{-18} mètre



Préon (hypothétique)
Ponctuel, ou formé de constituants plus petits encore

Malcolm Gordon

qui constituent les particules des deuxième et troisième générations sont les mêmes que pour la première, il y a certainement quelque chose chez les préons qui permet aux particules d'interagir plus ou moins avec le champ de Higgs. Cela expliquerait pourquoi les particules des générations deux et trois sont plus lourdes.

Le mécanisme de Higgs permet d'expliquer comment les particules acquièrent une masse, mais il ne précise pas les valeurs de ces masses. En l'absence d'une théorie plus fondamentale, les masses des particules subatomiques ne peuvent être déterminées qu'en les mesurant une par une. Il est vraisemblable qu'en comprenant la structure des quarks et des leptons, et pourquoi les générations diffèrent, nous en apprendrons beaucoup plus sur le mécanisme de Higgs.

Un problème de masses

La théorie des préons n'est cependant pas sans problèmes. Tout d'abord, tous les efforts expérimentaux déployés pour mettre en évidence les préons ont été sans résultat. Cet échec est décevant, mais il pourrait simplement être dû aux limites des expériences actuelles, qui ne parviennent pas à sonder de si petites échelles (voir l'encadré ci-dessus).

Hormis les questions expérimentales, la théorie des préons présente quelques difficultés intrinsèques. La masse des quarks en est un exemple. Les préons sont confinés en

quarks et leptons. Or la physique quantique indique que les masses pertinentes sont inversement proportionnelles à la taille du volume de confinement. En effet, d'après les relations d'incertitude, formulées par le physicien allemand Werner Heisenberg, la quantité de mouvement des préons, confinés dans le petit volume d'un quark, serait, exprimée en unités d'énergie, de l'ordre du téraélectronvolt (10^{12} électronvolts) au moins. En conséquence, la masse du quark (exprimée aussi en unités d'énergie) devrait être de cet ordre de grandeur. Mais la masse du proton, constitué de deux quarks u et d'un quark d , est de seulement un gigaélectronvolt (10^9 électronvolts), soit de l'ordre de 1 000 fois moins que la somme des masses de ses composants ! En outre, la masse des quarks a été mesurée et correspond à une gamme comprise entre quelques mégaélectronvolts et 173 gigaélectronvolts, bien moins que le téraélectronvolt.

Face au paradoxe d'une entité plus légère que ses composants, des arguments théoriques, fondés sur la conservation de certaines symétries, pourraient expliquer une compensation des quantités de mouvement des préons, et ainsi éviter le problème de masse. Cependant, aucune observation n'a jusqu'ici étayé ces hypothèses.

Les modèles de préons restent à compléter, mais ils constituent une piste intéressante pour résoudre le problème des générations. Ce n'est pas la seule piste. Une alternative qui se distingue est l'idée des

supercordes, selon laquelle les éléments ultimes de la matière ne sont pas des particules subatomiques, mais de minuscules cordes qui vibrent. Grossièrement, on peut se représenter chaque type de particules du modèle standard comme une corde vibrant à une fréquence bien définie. En outre, les préons et les supercordes peuvent coexister, les dimensions des supercordes se situant à une échelle beaucoup plus petite que celle des quarks et des leptons.

Supercordes et préons ?

Si les supercordes existent, elles pourraient bien constituer non pas les quarks et les leptons, mais plutôt les préons ou même les pré-préons, voire les pré-pré-préons, selon le nombre de niveaux d'emboîtement que recèle la matière.

Une autre alternative, s'inspirant des préons, est celle qu'a proposée en 2005 Sundance Bilson-Thompson, de l'Université d'Adélaïde en Australie. Dans son modèle, les préons seraient des tresses torsadées d'espace-temps, des objets constitués du tissu de l'espace-temps, et non des particules ponctuelles. Ce modèle en est encore à ses débuts, mais on en explore les implications, en particulier parce qu'il propose d'intégrer au modèle standard une théorie quantique de la gravitation, objectif sur lequel les physiciens travaillent depuis longtemps.

La physique est avant tout une science expérimentale. Une théorie a beau être