



## Les nouvelles théories des cordes

Michael Duff - professeur de physique à l'Université du Texas. mai 1997.

Les physiciens qui cherchent à décrire tous les types de forces par un même formalisme ont amalgamé la théorie des cordes à une théorie des membranes et à une théorie des trous noirs.

La science serait un édifice achevé? Toutes les découvertes importantes auraient déjà été faites? C'est douteux : les deux principaux piliers de la physique du xxe siècle, la mécanique quantique et la théorie de la relativité générale, restent incompatibles : la relativité générale ne se plie pas aux lois quantiques, qui décrivent le comportement des particules élémentaires, tandis que les trous noirs ne sont pas décrits par la mécanique quantique. Cette difficulté est la promesse d'une révolution scientifique à venir.

Encore récemment, on espérait que la théorie des cordes unifierait la gravitation et la mécanique quantique, et décrirait tous les phénomènes physiques à l'aide du même formalisme : les cordes sont des objets à une dimension dont on utilise les modes de vibration pour représenter les particules élémentaires. Puis, au cours des deux dernières années, la théorie des cordes a été détrônée par la théorie M, ou théorie des membranes, que nous examinerons plus loin. Chaque jour, cette théorie semble de plus en plus assurée : depuis l'apparition de la théorie des cordes, jamais la physique théorique ne s'est sentie aussi près du but.

Comme la théorie des cordes, la théorie M est fondée sur l'idée essentielle de supersymétrie. Les physiciens distinguent deux types de particules, selon leur moment cinétique de «spin» (le spin est un moment cinétique de rotation intrinsèque, comme si les particules tournaient sur elles-mêmes, à la façon de toupies). La supersymétrie stipule que, pour chaque particule connue dont le spin est un multiple entier de la constante de Planck (0, 1, 2, 3), il existe une particule de même masse ayant un spin demi-entier (1/2, 3/2, 5/2...), et vice versa.

Pourquoi les physiciens n'ont-ils découvert aucun de ces superpartenaires? Ils supposent que la symétrie existe, mais qu'elle est «brisée» : les particules postulées seraient trop massives pour être observées dans les accélérateurs actuels. Malgré l'absence de confirmations de la supersymétrie, les théoriciens ont conservé leur foi en l'hypothèse, parce qu'elle permet d'unifier les interactions faible, électromagnétique et forte à la force de gravitation.

La supersymétrie transforme les coordonnées d'espace et de temps, de sorte que les lois de la physique soient les mêmes pour tous les observateurs. Comme la théorie de la relativité générale découle de cette condition, la supersymétrie peut décrire la gravitation. La supersymétrie prédit même la «supergravité», où une particule de spin égal à 2 - le graviton - transmet les interactions gravitationnelles et possède le gravitino comme partenaire supersymétrique de spin égal à 3/2.

Cependant la relativité générale peut être généralisée à n'importe quel nombre de dimensions d'espace-temps (notre Univers a trois dimensions d'espace et une dimension de temps) : en principe, ses équations peuvent être écrites dans un espace à plus de quatre dimensions. En revanche, la supergravité limite le nombre de dimensions d'espace-temps à 11.

Au début des années 1920, le physicien polonais Theodore Kaluza et le physicien suédois Oskar Klein ont proposé que l'espace-temps ait une cinquième dimension cachée. Cette dimension supplémentaire ne serait pas infinie, contrairement aux autres ; elle se refermerait sur elle-même en un cercle où se propageraient des ondes quantiques de longueur d'onde appropriée. Selon la mécanique quantique, seules les ondes dont la longueur d'onde est un sous-multiple exact de la longueur du cercle s'y propageraient ; chacune correspondrait à une particule d'énergie particulière, de sorte que l'énergie des particules serait quantifiée.

Un observateur vivant dans les quatre autres dimensions verrait un ensemble de particules dont les charges, plutôt que les énergies, sont discontinues. Le quantum de charge, ou unité de charge, dépendrait du rayon du cercle. Voilà qui nous rapprocherait du monde que nous connaissons, où la charge électrique est quantifiée : elle est toujours un multiple de la charge  $e$  de l'électron. Pour que la théorie décrive la valeur correcte de  $e$ , on doit supposer que le cercle de la cinquième dimension est minuscule, avec un rayon de l'ordre de 10-33 centimètre seulement. La petite taille de la dimension invisible explique pourquoi nous ne percevons pas cette dimension et pourquoi les atomes n'y sont pas sensibles. Pourtant l'électromagnétisme en découlerait, et la gravitation serait alors unifié avec ce dernier.

En 1978, à l'École normale supérieure de Paris, Eugène Cremmer, Bernard Julia et Joël Scherk ont compris que la supergravité autorise jusqu'à sept dimensions supplémentaires et gagne en élégance dans un espace-temps à onze dimensions (dix dimensions d'espace et une dimension de temps). Le monde réel que la théorie décrit finalement dépend de la façon dont les dimensions complémentaires bouclent, telle la cinquième dimension de la théorie de Kaluza et de Klein. Comme les dimensions supplémentaires pouvaient expliquer à la fois l'électromagnétisme et les interactions nucléaires fortes et faibles, de nombreux physiciens étudièrent la supergravité à onze dimensions, dans l'espoir qu'elle serait la théorie unificatrice dont ils rêvaient.

Cependant la supergravité à onze dimensions fut abattue en 1984, quand on lui découvrit une grave insuffisance. Dans le monde réel, la gauche et la droite ont une importance : les lois qui décrivent l'interaction nucléaire faible se modifient quand on les examine dans un miroir ; les neutrinos, par exemple, ont toujours un spin gauche. Or Edward Witten (lauréat de la médaille Fields, en 1990) et d'autres physiciens observèrent que cette «hélicité» ne s'expliquait pas par une réduction du nombre de dimensions de onze à quatre...