

gravitation de Newton est une conséquence directe des trois dimensions de notre espace ; dans un espace à quatre dimensions, l'attraction gravitationnelle serait proportionnelle au cube de la distance.

Dans un article publié en 1917, le physicien autrichien Paul Ehrenfest s'est intéressé au mouvement gravitationnel des astres dans un espace à n dimensions. Il a montré que le problème ne possède des solutions stables et bornées qu'à deux ou trois dimensions. Et si l'on impose à l'énergie d'interaction des deux corps

de tendre vers zéro quand leur distance tend vers l'infini (ce qui est raisonnable, car deux corps infiniment distants interagissent infiniment peu), il ne reste plus que le cas tridimensionnel. Ainsi, c'est dans ce cas, et dans ce cas seulement, que les planètes peuvent avoir des orbites stables durant plusieurs centaines de millions d'années, une condition *a priori* nécessaire à l'apparition de la vie.

La dimensionnalité de l'espace a aussi des conséquences sur le monde des atomes. Nous constatons quotidiennement que la matière est

UN MONDE À DIX DIMENSIONS !

Un des plus grands défis des physiciens est de réussir à unifier la relativité générale et la mécanique quantique, deux théories réputées incompatibles. Albert Einstein a développé la première en 1915. Elle décrit comment l'énergie et la matière déforment la toile de l'espace-temps à quatre dimensions (une de temps et trois d'espace) et, à l'inverse, elle indique comment la courbure de l'espace-temps détermine la trajectoire de la matière qui s'y déplace en « chute libre ». En d'autres termes, la force gravitationnelle résulte de la courbure de l'espace-temps. À peu près à la même époque, de nombreux physiciens ont découvert les lois qui régissent le monde microscopique. La mécanique quantique et ses développements ultérieurs décrivent les particules fondamentales et leurs interactions.

Certaines situations, tels les premiers instants du Big Bang ou les régions proches de la singularité d'un trou noir, nécessitent une formulation quantique de la gravitation, car les effets quantiques y sont *a priori* importants. Mais les tentatives de quantification directe de la relativité générale, suivant une procédure utilisée avec succès pour l'interaction électromagnétique, ont échoué. Les calculs dans ce cadre conduisent à des grandeurs infinies, non physiques, signes d'une défaillance de cette approche.

À partir de la fin des années 1960, des chercheurs ont découvert par hasard une piste prometteuse pour concilier ces deux théories. En remplaçant des particules ponctuelles par des petites cordes vibrantes, il était possible d'éliminer les infinis précédemment rencontrés. Le formalisme mathématique de cette théorie est très complexe et repose sur de nombreuses notions comme des symétries dites « conformes », où les transformations conservent les angles mais pas les distances. Les physiciens ont rapidement compris que pour avoir une théorie des cordes cohérente et préservant ces symétries, il fallait

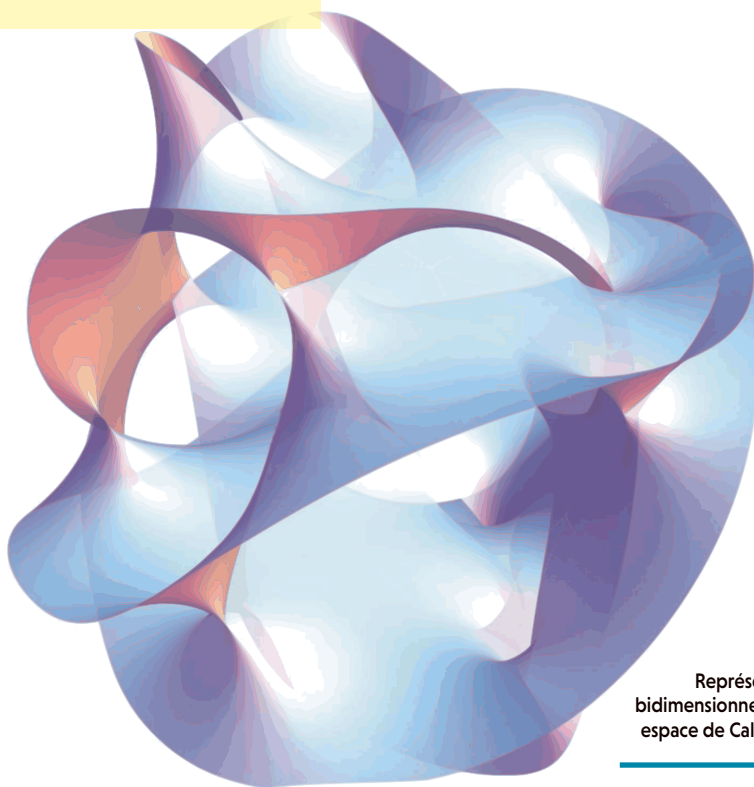
supposer que l'espace-temps contienne vingt-six dimensions !

Cette première version de la théorie des cordes était limitée, car elle ne permettait pas de décrire les particules présentant un spin demi-entier, tel l'électron. En 1971, Pierre Ramond, de l'université de Floride, puis André Neveu, alors au Laboratoire de physique théorique, à Orsay, et John Schwarz, de l'université de Princeton, ont modifié la théorie pour y introduire une nouvelle symétrie, la « supersymétrie », qui relie les particules de spin entier et celles de spin demi-entier. C'est la théorie des supercordes. La contrainte de cohérence imposait dans ce cas d'avoir un espace-temps à dix dimensions.

Comment passer d'une théorie à dix dimensions à une théorie à quatre dimensions (trois d'espace et une de temps) ? Que faire des six autres

dimensions, où sont-elles ? La réponse consiste à les compacter. En chaque point de l'espace, les six dimensions supplémentaires sont enroulées sur elles-mêmes. Comme elles ne sont pas étendues, nous ne pouvons les percevoir directement. Ces six dimensions forment un objet mathématique nommé « espace de Calabi-Yau ». Chacun de ces espaces de Calabi-Yau conduit à un modèle d'univers avec ses propres propriétés. L'estimation du nombre de configurations possibles la plus souvent avancée est 10^{900} , mais cela pourrait être beaucoup plus. Comment alors savoir quelle est la configuration qui correspond à l'univers réel ? Pour l'instant, les physiciens n'ont pas la réponse.

SEAN BAILLY
journaliste à *Pour la Science*



Représentation
bidimensionnelle d'un
espace de Calabi-Yau.