

montré que les modifications éventuelles de la loi de Newton, aux distances submillimétriques, ne réduisent pas la cohésion des étoiles. En effet, même si la gravité est renforcée à petite distance, son intensité n'égale celle des autres forces qu'aux distances inférieures à 10^{-19} mètre ; aux grandes distances, elle demeure très faible.

L'étude des gravitons semble être un meilleur test de la théorie. D'après la théorie des dimensions cachées, ces particules interagiraient plus avec les autres particules qu'on ne le suppose aujourd'hui (cela revient à dire que l'interaction gravitationnelle est plus intense à petite distance), de sorte que les gravitons devraient être produits en nombre supérieur lors des collisions de particules. En outre, la très grande majorité d'entre eux s'échapperait dans les dimensions cachées...

Les supernovae sont des phénomènes qui devraient libérer beaucoup de gravitons, qui quitteraient la membrane où nous sommes confinés. Les supernovae s'observent quand toute la matière des étoiles a fusionné, par des réactions nucléaires : l'énergie ne vainc alors plus la pression gravitationnelle, et les étoiles s'effondrent, à la manière d'un soufflé que l'on ne chauffe plus. L'effondrement est suivi d'un rebond, qui éjecte une partie de la matière stellaire dans l'espace. Au cours de ces supernovae, des températures considérables sont atteintes, et des gravitons devraient s'évaporer vers les dimensions supplémentaires (voir la figure 6). Cependant, depuis l'analyse d'une supernova importante, en 1987 (la supernova SN1987A), nous savons que l'essentiel de l'énergie est libéré sous forme de neutrinos ; les «fuites» d'énergie par gravitons sont mineures. En outre, nous connaissons une limite supérieure à l'interaction graviton-matière : les physiciens craignaient une réfutation de la théorie par l'analyse des supernovae, mais les calculs n'ont pas entamé la théorie. Le cas le plus défavorable est celui de l'Univers à deux dimensions supplémentaires, où les gravitons

refroidiraient trop les supernovae si l'échelle de Planck est inférieure à 50 téraélectronvolts. Avec trois dimensions supplémentaires ou plus, cette échelle peut ne valoir que quelques téraélectronvolts sans que pour autant les supernovae ne fassent long feu.

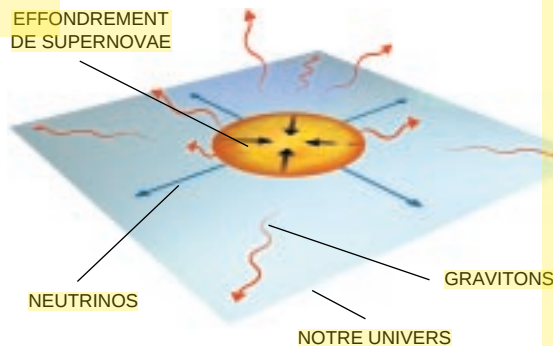
Les théoriciens ont examiné de nombreuses autres objections possibles : ils ont cherché les conséquences des nouvelles dimensions sur le comportement de systèmes variés, de l'univers primordial à l'atmosphère heurtée par des rayons cosmiques d'ultra haute énergie. La théorie passe tous les tests, et plus on postule de dimensions supplémentaires, mieux elle passe les tests. Le cas d'un univers à quatre dimensions d'espace est exclu : les effets de la dimension supplémentaire s'exerceraient à l'échelle du Système solaire.

Les micro-trous noirs de Genève

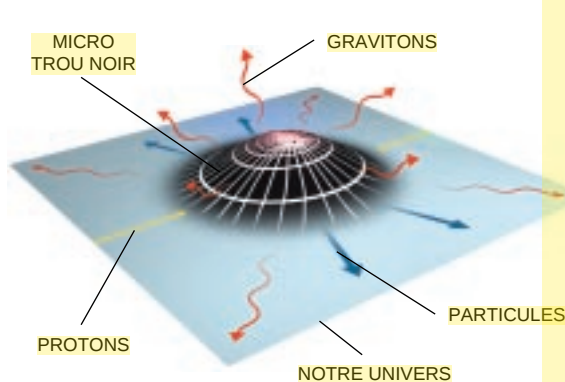
Nous l'avons vu, la théorie des dimensions cachées résout le problème hiérarchique en renforçant la gravitation aux limites du domaine expérimental actuel, c'est-à-dire vers 1 000 gigaélectronvolts. À partir de 2005, le Grand Collisionneur de hadrons du CERN, le LHC devrait donner de telles énergies aux particules qu'il accélérera : des couplages gravitons-matière devraient être alors observables, et les théoriciens auront des informations inédites pour comprendre quelle théorie quantique décrit la gravitation. Si c'est la théorie des cordes, les particules seraient alors comparables à de minuscules boucles de corde, tendues comme des cordes de violon, mais sans vibrer. Alors que

les particules fondamentales correspondraient aux cordes au repos, leurs modes vibratoires (les «notes») correspondraient à des particules exotiques. Dans la théorie classique des cordes, celles-ci sont supposées avoir l'échelle de Planck (10^{-35} mètre). Leurs masses sont donc de l'ordre de l'énergie de Planck, ce qui implique qu'elles vibrent à des fréquences bien trop élevées pour que nous les «entendions» en utilisant un accélérateur. En revanche, dans une théorie des cordes enrichie de dimensions d'espace supplémentaires, les cordes sont beaucoup grandes (10^{-19} mètre), ce qui place leurs masses aux environs des 1 000 gigaélectronvolts qu'elles doivent avoir pour être observables au LHC.

Des micro-trous noirs devraient alors, également, apparaître lors des expériences. Les calculs prédisent que le LHC devrait avoir une énergie suffisante pour en produire lors des collisions de hadrons (voir la figure 7). D'un diamètre égal à 10^{-19} mètre environ, de tels trous noirs seraient trop petits pour être dangereux, car ils s'évaporerait en moins de 10^{-27} seconde, en perdant leur énergie par un «rayonnement de Hawking». S'ils ont la chance d'observer de tels micro-trous noirs au LHC, les physiciens pourront alors sonder les mystères de la physique quantique



6. UNE SUPERNOVA a lieu quand l'énergie due à la fusion nucléaire, dans les étoiles, n'équilibre plus les forces de gravitation dans l'étoile. Cette dernière s'effondre sur elle-même, mais la matière ainsi comprimée rebondit sur le cœur comprimé et est éjectée dans l'espace. La majeure partie de l'énergie est émise sous forme de neutrinos (en bleu). S'il existe des dimensions supplémentaires, les gravitons rayonnés (en rouge) emporteraient plus d'énergie que s'il n'y avait que trois dimensions. Les théoriciens étudient les éventuelles dimensions supplémentaires de l'espace en excluant les cas où les fuites d'énergie par gravitons interposés seraient si importantes qu'elles empêcheraient la formation des supernovae.



7. DES MICRO-TRous NOIRS pourraient être créés lors de collisions de protons de haute énergie (en jaune) dans des accélérateurs de particules tels que le Grand Collisionneur de hadrons (le LHC), en construction à Genève. Les trous noirs s'évaporerait rapidement par émission d'un «rayonnement Hawking» (émission de particules du Modèle standard, en bleu) et de gravitons (en rouge).