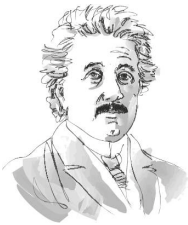


LA GRAVITATION QUANTIQUE

Les effets de la mécanique quantique sont totalement négligeables dans le monde de l'infiniment grand. À l'inverse, les masses des objets qui peuplent le monde de l'infiniment petit sont si faibles que les effets gravitationnels n'y jouent aucun rôle. Comment relier gravitation et mécanique quantique ?

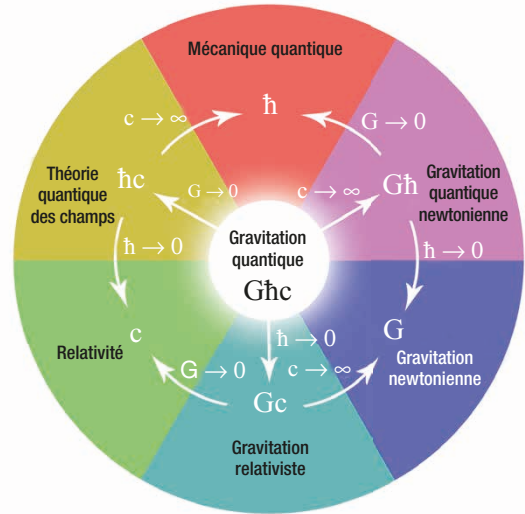
Albert Einstein
(1879-1955)



La loi de la gravitation universelle proposée par Isaac Newton à la fin du XVII^e siècle explique la chute des corps, le mouvement des astres, des galaxies, etc. La formulation de la relativité restreinte par Albert Einstein en 1905 rend caduque la notion d'interaction instantanée à distance, socle de la théorie newtonienne. Dix ans plus tard, Einstein propose la relativité générale, une théorie de la gravitation qui fournit un cadre cohérent pour une description relativiste de l'Univers dans son ensemble. La gravitation est si faible qu'il faut, pour qu'elle se fasse sentir, des masses colossales, comme celles de planètes, d'étoiles ou de galaxies : elle domine le monde de l'infiniment grand.

La mécanique quantique, quant à elle, régit le monde microscopique des particules élémentaires. Elle dut être profondément modifiée pour prendre en compte la relativité restreinte. Ainsi naquit la théorie quantique des champs, un cadre mathématique permettant de décrire aussi bien les effets quantiques que relativistes, comme la création ou l'annihilation de particules, qui sont des phénomènes propres au monde de l'infiniment petit.

Comment la gravitation peut-elle donc intervenir à ces échelles ? La relativité générale nous enseigne que la véritable source du champ gravitationnel — responsable de la force du même nom — n'est pas la masse d'un objet, mais plutôt son énergie : c'est l'équivalence entre masse et énergie, que traduit la formule d'Einstein $E=Mc^2$. Plus précisément, il faut regarder sa densité d'énergie : pour avoir des effets gravitationnels intenses, il faut concentrer beaucoup



d'énergie dans un volume donné, ou une énergie donnée dans un volume très petit. Nous voilà aux portes du monde de l'infiniment petit, où rien n'échappe aux lois de la mécanique quantique.

Enfin, « aux portes », c'est vite dit !

En effet, pour pénétrer le monde où les deux infinis et, avec eux, gravitation et mécanique quantique se rejoignent, il faudrait enfermer l'énergie de masse d'un milliard de galaxies telles que la nôtre dans le volume d'un proton. Pas facile ! On pense néanmoins que de telles densités d'énergie ont pu exister à une époque très reculée de l'histoire de l'Univers.

Du mariage de la relativité restreinte et de la théorie newtonienne de la gravitation est née la relativité générale. L'union de la même relativité restreinte avec la mécanique quantique a donné naissance à la théorie quantique des champs. Mais à ce jour relativité générale et théorie quantique des champs restent deux sœurs ennemies, deux théories qui semblent inconciliables. Ce champ de recherche a connu de nombreux développements durant les dernières décennies mais, à ce jour, aucune théorie n'a reçu l'assentiment de la communauté scientifique.

De plus, beaucoup de choses inattendues peuvent se produire sur le long chemin qui nous sépare de ce « monde des deux infinis ». Les échelles d'énergie et de distance y sont si éloignées de tout ce que nous connaissons à l'heure actuelle, que cela pose une autre question fondamentale : pourra-t-on jamais soumettre à la nécessaire vérification expérimentale une théorie quantique de la gravitation ?

Comment unifier les 4 interactions ?

Pour réunir la gravitation et les trois autres interactions, il faut tenir compte de trois paramètres : la constante de Planck \hbar (mécanique quantique), la vitesse de la lumière c (relativité) et la constante de Newton G (gravitation). À l'heure actuelle, on sait bâtir des théories satisfaisantes tenant compte de deux de ces paramètres, le troisième prenant alors une valeur particulière, zéro ou l'infini selon les cas... Mais une théorie quantique de la gravitation nous échappe encore.