

12 Septembre 2007

## Particules d'espace

Laurent Nottale

La notion de "particules d'espace", que l'on trouve dans les textes bouddhiques les plus anciens [1], et tout particulièrement dans le tantra de Kalachakra [2], renvoie à deux des quêtes les plus fondamentales de la physique, celle de l'élémentarité et celle de la compréhension de la nature de l'espace (et du temps). Dans la physique moderne, la première a culminé avec la théorie quantique des particules élémentaires, et la seconde avec la théorie de la relativité générale d'Einstein, qui décrit la gravitation comme manifestation de la géométrie d'un espace-temps courbe [3]. Aujourd'hui une théorie nouvelle, la relativité d'échelle, permet de donner corps à cette intuition étonnante, en identifiant les particules élémentaires et leurs propriétés quantiques aux manifestations purement géométriques d'un espace-temps encore plus général (non-différentiable et fractal).

En ce qui concerne l'élémentarité, le mode de description ancien de la matière en terme d'éléments terre, eau, air et feu, n'a plus rien de fondamental aujourd'hui [4]. On peut les identifier aux états de la matière décrits par la thermodynamique, états solide ("terre"), liquide ("eau") et gazeux ("air") -- en rajoutant la chaleur ("feu") -- dont on sait maintenant qu'ils peuvent être manifestés par un même élément physique en fonction des conditions de température et de pression.

Au début du XX<sup>e</sup> siècle, la découverte des atomes a constitué une nouvelle étape, avant qu'ils ne se révèlent eux-mêmes composés, car formés d'un noyau entouré d'électrons. Le noyau a par la suite été décomposé en nucléons (protons et neutrons), et ces nucléons en quarks u et d. La physique actuelle en est là, considérant comme particules élémentaires (quanta) de matière les leptons (électrons, muons et tauons et les trois neutrinos associés) et les quarks (au nombre de six, chacun en trois "couleurs"), et comme particules élémentaires de rayonnement les photons (électromagnétisme), les trois bosons  $W_{\pm}$  et Z (interaction faible) et les huit gluons (interaction forte).

Ces particules sont décrites par la théorie quantique sous forme d'une fonction d'onde à partir de laquelle on peut établir leur probabilité de présence (dans un état ou en une position donnée). Ces fonctions d'ondes remplissent tout l'espace, même si les probabilités peuvent présenter des pics dans des zones définies (par exemple la probabilité pour un électron dans un atome d'être très loin du noyau, bien que non nulle, est extrêmement petite). De plus, quand on calcule l'énergie d'un ensemble de particules, on trouve que, même quand toutes les particules ont été enlevées, il reste une énergie de point zéro ou "énergie du vide", dont la contribution totale est ...infinie.

Ces succès de la théorie quantique actuelle, qui a unifié dans un même formalisme "lumière" (champs) et matière, et les a décrits et observés au niveau de leurs constituants élémentaires mêmes, ne doivent pas masquer une difficulté résiduelle fondamentale: ces quanta de rayonnement et de matière semble posséder de manière intrinsèque, pour certains d'entre eux, une masse, une charge ou un spin (moment angulaire propre), en contradiction avec les théories de la relativité-vacuité. De plus elles restent décrites, dans le cadre quantique, comme "objets" dans l'espace, mais pas comme espace elles-mêmes.

Pourtant, des pans entiers des diverses propriétés physiques existantes ont été incorporées dans une description relativiste, où elle n'apparaissent plus comme existant de manière absolue, mais uniquement comme simple manifestation des changements de repère possibles.

En Occident, l'histoire de la relativité commence avec Galilée [5], qui pose le premier le principe de la relativité du mouvement: "Posons donc comme principe que, quel que soit le mouvement que l'on attribue à la terre, il est nécessaire que, pour nous qui sommes les habitants d'icelle et par conséquent participants de celui là, il reste parfaitement imperceptible et comme n'étant pas". Le mouvement (ou le repos) en tant que propriété appartenant en propre aux objets n'a aucun sens, ce n'est qu'une propriété relative d'un couple d'objet. Un corps peut être en même temps en mouvement relativement à un objet et au repos par rapport à un autre... Mais en Orient, Nagarjuna écrivait plus de 1500 ans plus tôt: "l'agent de mouvement, le mouvement et le lieu de mouvement n'existent pas

[selon leur nature propre]" [D].

Aussi bien Nagarjuna que Galilée mettent en évidence les deux aspects de relativité et de vacuité de ce principe. Relativité, car la valeur de la vitesse dépend du système de référence, et vacuité, car il n'y a pas de mouvement en soi, ce qui se manifeste par le fait que, dans le système entraîné, propre à l'objet considéré, tout mouvement disparaît: "le mouvement est comme rien".

Avec le mouvement inertiel, d'autres propriétés physiques essentielles qui en dépendent, comme l'énergie cinétique et l'impulsion, deviennent également identifiées comme propriétés relatives. Les théories de la relativité (Galiléenne ou relativité restreinte de Poincaré et Einstein) comprennent également la relativité de la position et de l'instant, et celle de l'orientation.

Avec la relativité généralisée (du mouvement) d'Einstein, les théories de la relativité changent de niveau. En plus du mouvement accéléré, c'est une entité physique considérée comme universelle, le champ de gravitation lui-même, qui perd son statut d'existence propre. L'existence du champ est validée par l'accélération du mouvement qu'il produit. Mais c'est par rapport à la Terre que cette accélération est observée, alors que dans un repère en chute libre, toute accélération disparaît (c'est l'"apesanteur"). Ainsi la gravitation elle-même n'a pas d'existence propre, elle existe dans un certain repère et pas dans un autre ! Il en est de même de la géométrie, donc de la forme: la trajectoire d'un corps lancé en l'air apparaît comme ayant une forme par rapport au sol (une parabole), alors que la même trajectoire vue dans un repère accéléré est une droite (sans forme). Pour la première fois l'énoncé révolutionnaire du Bouddha, "la forme est vide, le vide est forme", prend corps en physique avec la théorie d'Einstein: d'une part ce qui nous apparaît comme forme n'a pas de forme en soi (ainsi le cycliste sur un anneau de vitesse est vu par nous comme décrivant une courbe, alors que dans son expérience il va tout droit); et d'autre part l'origine des formes est la relativité-vacuité elle-même: c'est ainsi que les équations de la gravitation d'Einstein peuvent être construites comme conséquence du principe de relativité de la gravitation (sous la forme du principe d'équivalence locale entre un champ de gravitation et un champ d'accélération).

L'évolution des théories de la relativité est accompagnée d'une évolution parallèle du concept d'espace. La raison en est simple: depuis Leibniz, il est clair que l'espace ( le "contenant") ne peut être défini indépendamment des objets qu'il contient (ceci est en accord avec la conception des particules d'espace du tantra de Kalachakra [6]). Avec la théorie d'Einstein, son statut de mode de description inter-relationnel devient évident: c'est une relation métrique (généralisation de la relation de Pythagore) qui le caractérise, si bien que la géométrie spatio-temporelle est l'outil mathématique naturel des théories de la relativité. Dans la théorie d'Einstein, les concepts ordinaires de la théorie des champs, ceux de potentiel, de champ et de force n'existent plus que comme manifestation de l'espace-temps: là encore, l'accord avec la conception bouddhiste de l'espace est frappante [6,7].

Cependant, de même que la théorie quantique actuelle s'est révélée incomplète par son absence de fondation sur des principes premiers (ses fondements actuels sont purement axiomatiques et algébriques) et par sa conception de l'existence de propriétés intrinsèques des particules, de même la relativité générale est restée, aux dires même d'Einstein, une théorie provisoire, dans laquelle les sources de la gravitation (les masses gravitationnelles actives) sont introduites de manière arbitraire sans avoir d'interprétation géométrique en ce qui les concerne.

La théorie de la relativité d'échelle [E] a été construite précisément dans le but de répondre à ces questions: fonder la mécanique quantique sur une description géométrique de l'espace-temps soumise au principe de relativité et comprendre les propriétés apparemment intrinsèques des particules comme en fait sans existence propre et émergeant des différences d'états entre référentiels (entre l'objet et l'appareil de mesure). Mais pour cela, aux états de position, d'orientation et de mouvement qui caractérisent un système de coordonnées par rapport à un autre, il a fallu rajouter l'état d'échelle, lequel ne peut être défini, comme les autres, que de manière relative: seul un rapport d'échelle a un sens, jamais une échelle absolue.

En correspondance avec cette extension des théories de la relativité, on y généralise aussi le concept d'espace-temps qui, tout en restant un continuum, peut être non-différentiable et donc fractal (explicitement dépendant de l'échelle). Dans un tel cadre, une "particule" (identifiées en mécanique quantique à un ensemble de quantités conservatives, éventuellement quantifiées, décrite par une fonction d'onde) n'a alors plus à être introduite comme objet d'un tel espace: on l'identifie à ses géodésiques (les lignes les plus courtes qui optimisent le temps propre), qui sont elle-même fractales et remplissent l'espace comme un fluide. La fonction d'onde est une manifestation du champ de

vitesse de ces géodésiques, et la localisation éventuelle de la particule dans une zone limitée correspond à une simple augmentation de leur densité. Mais rien ne suit ces chemins, pures lignes géométriques, car ce sont les chemins eux-mêmes qui définissent la "particule", dont les propriétés, masse, charge, spin, peuvent se déduire des structures géométriques fractales de ces géodésiques (lesquelles n'ont rien d'absolu). Ainsi, dans cette théorie, les particules sont elles-mêmes espace. Quand à l'énergie du vide, elle se comprend aisément comme manifestation des géodésiques de l'espace vide, qui existent en tant que lignes géométriques, même en l'absence de leurs structures additionnelles identifiées aux "particules" [8].

Cette convergence entre les deux concepts, auparavant apparemment antinomiques, de particule et d'espace, semble ainsi mettre en oeuvre les intuitions anciennes du tantra de Kalachakra et celles plus récentes de SS le Dalaï Lama [9]. Non seulement les diverses propriétés des particules y apparaissent comme vides d'existence intrinsèque et relatives au choix du système de référence, mais inversement c'est de la vacuité même que ces propriétés apparaissent: l'équation des géodésiques s'écrit comme équation du vide dépourvu de toute force (celle du mouvement uniforme galiléen, qui énonce que, localement, on va tout droit et à vitesse constante), et fait spontanément apparaître les différentes propriétés quantiques des particules comme manifestation du changement de repère et de la géométrie fractale.

[1] "Selon Asanga, ces éléments de base, qu'il décrit comme les "quatre grands éléments" [sortes de potentialités], ne doivent pas être compris en terme de matérialité au sens strict. [...] La création des quatre éléments se fait du niveau subtil en allant vers le niveau grossier, à partir des particules vides. Ils se dissolvent en partant du niveau grossier pour aller vers le niveau subtil et réintègrent les particules d'espace vides. L'espace, avec ses particules vides, est la base de l'ensemble du processus. Le terme *particule* n'est peut-être pas approprié lorsqu'il est question de ces phénomènes, en ce qu'il implique des réalités matérielles déjà formées." [A, p. 104-105].

[2] "Les particules de terre, eau, feu et air, sont produites dans l'élément espace qui a, comme le Bouddha l'a enseigné, la nature des atomes". [B, p. 71]

"Quand les quatre autres éléments [...] se sont concrétisés dans la matière de l'univers, les particules d'espace constituent l'espace qui sépare les diverses composantes des corps. Après la désintégration d'un monde, lors de la période intermédiaire de latence avant la création d'un nouvel univers, les particules d'espace sont seules présentes. Elles retiennent la mémoire des autres particules élémentaires, à l'état de trace subtile. [B, p.204-205, présentation du chap.4]

[3] "Aucune interprétation crédible du monde naturel ou de notre existence humaine [...] ne peut ignorer les idées de base de théories aussi essentielles que l'évolution, la relativité et la mécanique quantique. [...] Pour ce qui est de la pensée bouddhique, certains de ses aspects -- comme ses anciennes théories cosmologiques et sa physique rudimentaire -- devront sûrement être modifiés à la lumière des nouvelles connaissances scientifiques." [A, p.14]

[4] "La science, tout comme le bouddhisme, cherche à comprendre la nature de la réalité au moyen d'une investigation critique: si l'analyse scientifique devait démontrer que certaines affirmations du bouddhisme sont fausses, il nous faudrait alors accepter les conclusions de la première et abandonner les affirmations du second." [A, p.11]

[5] "Le mouvement est mouvement et agit comme mouvement pour autant qu'il est en rapport avec des choses qui en sont dépourvues. Pour toutes les choses qui y participent, [...] le mouvement est comme s'il n'était pas. [...] Le mouvement est comme rien." [C]

[6] "Selon les textes de Kalachakra, tout Univers particulier, avant sa formation, demeure dans un état de vide, où tous ses éléments matériels existent sous forme d'une **potentialité** en tant que particules d'espace. [...] Le cinquième élément, l'"espace", est supposé **pénétrer** dans tous les autres éléments **comme une immense force** et ne possède donc **pas d'existence distincte**." [A, p.109]

[7] "C'est grâce au **potentiel** spécifique de ces particules que la structure de l'Univers et tout ce qui s'y trouve -- planètes, étoiles, êtres sensibles [...] -- sont apparus. Si nous retournons à la **cause ultime** des objets matériels du monde, nous arrivons finalement aux **particules d'espace**." [A, p. 105]

"Selon les textes de Kalachakra, tout Univers particulier, avant sa formation, demeure dans un état de vide, où tous ses éléments matériels existent sous forme d'une **potentialité** en tant que particules d'espace. [...] Le cinquième élément, l'"espace", est supposé **pénétrer** dans tous les autres éléments **comme une immense force** et ne possède donc **pas d'existence distincte**." [A, p.109]

[8] Certains cosmologistes penchent pour l'idée que notre Univers a émergé de ce que l'on appelle le *vide quantique* en tant que fluctuation. Pour moi cette idée trouve son écho dans la théorie de Kalachakra des particules d'espace." [A, p. 106].

[9] "La cosmologie bouddhique établit ainsi le cycle de l'Univers: [...] au cours de la quatrième période, celle du vide, les particules d'espace subsistent, et c'est à partir de ces particules que toute la matière du nouvel Univers est formée. C'est dans ces particules d'espace que nous trouvons la cause fondamentale de l'ensemble du monde physique. Si nous voulons décrire la formation de l'Univers et des corps physiques des êtres, nous devons analyser la manière dont les différents éléments constituant cet Univers ont pu **prendre forme à partir de ces particules d'espace.**" [A, p.105]

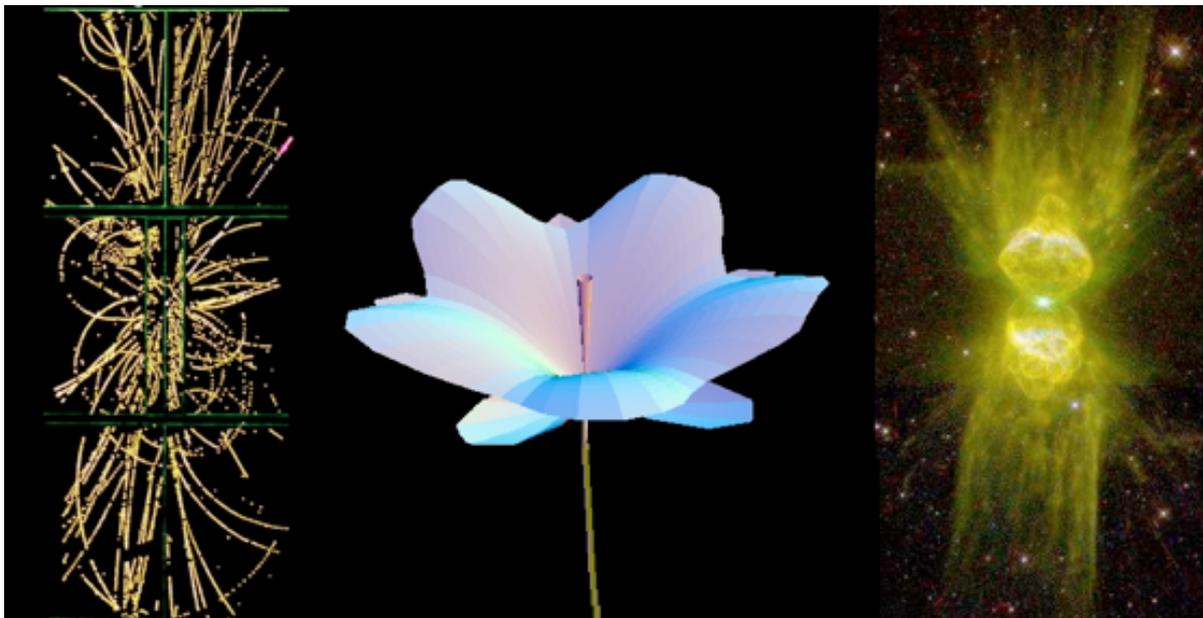
[A] SS le Dalaï Lama, Tout l'Univers dans un atome, Laffont 2006

[B] Tantra de Kalachakra, Le Livre du Corps Subtil, Texte intégral traduit du sanskrit par Sofia Stril-Rever, Desclée de Brouwer 2000

[C] Galileo Galilei, Dialogue sur les deux grands systèmes du monde, 1632 (Seuil, 1992)

[D] Nagarjuna, Traité du Milieu, Seuil 1995

[E] voir L.N., La relativité dans tous ses états, Hachette 1998



**Figure:** La forme est vide, le vide est forme. L'équation de la dynamique en relativité d'échelle s'écrit comme pure équation du vide,  $DV/dt=0$ , et se transforme spontanément, du fait de la fractalité de l'espace-temps, en équation de type quantique. Appliquée à des processus de croissance à partir d'un centre, sous des conditions spécifiques différentes, ses solutions (onde de probabilité sphérique sortante) décrivent avec précision aussi bien des collisions de particules aux échelles microscopiques (gauche), des formes florales à notre échelle (milieu), que des nébuleuses "planétaires" (enveloppes éjectées par des étoiles) aux échelles astronomiques (droite).