

Les physiciens pensent toutefois connaître les grandes étapes d'une des futures collisions au RHIC. Au moment de l'impact, les deux noyaux se traverseront, et les quarks et les gluons d'un noyau se lieront à ceux de l'autre noyau par des lassos de «glu». À la séparation des noyaux, ces ficelles énergétiques casseront, se noueront ou fusionneront, créant, on l'espère, le plasma. Ce dernier se refroidira rapidement, émettant des électrons, des positons (des particules de même masse que les électrons, mais de charge électrique opposée) et leurs cousins plus lourds, les muons et les antimuons. La plupart des quarks et des gluons s'associeront et formeront des «hadrons», particules composées de deux ou trois quarks ou antiquarks. Certains de ces hadrons se casseront en d'autres particules, dont certaines se désintégreront à leur tour. Ces débris contiendront les éventuelles preuves de l'existence du plasma.

Des preuves indirectes

Quelles seront ces preuves? Les théoriciens ont fourni une longue liste de caractéristiques qui révéleraient la présence transitoire du plasma. Malheureusement, la plupart de ces caractéristiques pourraient aussi être le fruit d'autres phénomènes nucléaires.

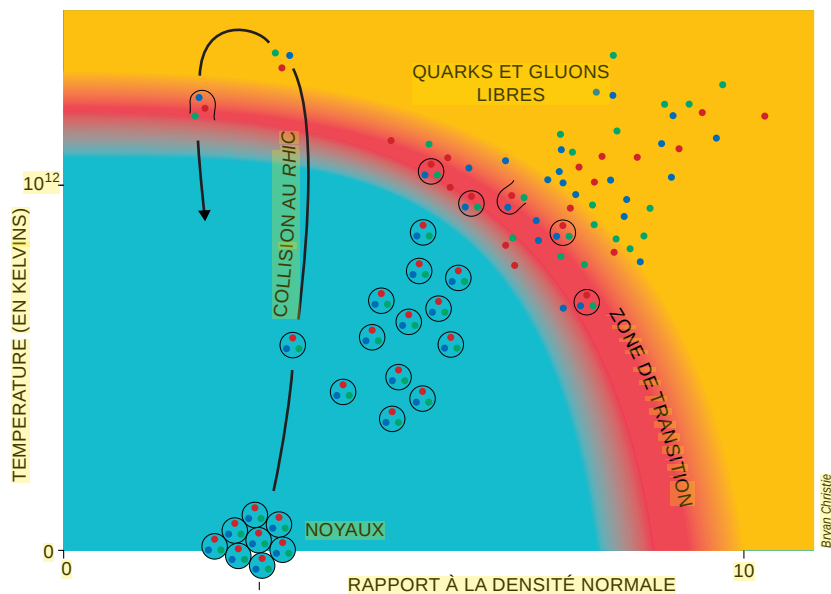
On examinera d'abord les particules éjectées perpendiculairement au faisceau : elles viennent majoritairement de la région de la collision, et leur énergie indiquera si les conditions ont été remplies pour l'existence du plasma. Cette analyse montrera également si la température (calculée à partir de la répartition du moment cinétique entre les particules) est restée constante un bref instant, ce qui pourrait indiquer une transition de phase correspondant à la disparition du plasma, comme l'ébullition de l'eau peut être détectée par le maintien de sa température à 100 °C. Toutefois, selon Miklos Gyulassy, de l'Université de Columbia, l'effet serait trop faible pour être décelable.

Une étude fine des pions (des mésons comprenant des quarks et des antiquarks haut et bas) et de leurs relations fournira la taille du plasma, par un calcul de mécanique quantique mis au point pour la détermination de la taille des étoiles. Cette analyse pourrait même aussi indiquer la vitesse de croissance du plasma : en assimilant

la substance nucléaire à un fluide, M. Gyulassy et d'autres ont calculé que l'expansion du plasma devrait être lente, car la vitesse du son deviendra anormalement petite lors de la désintégration du plasma en hadrons : toute onde de type sonore circulant dans le milieu sera absorbée, son énergie contribuant à la transformation du plasma. Ce ralentissement serait

certainement une preuve déterminante de l'existence du plasma, mais la collecte des données devra se poursuivre pendant plusieurs années avant qu'on ne le mette en évidence.

Enfin, les particules insensibles à l'interaction forte, tels les électrons, les muons et leurs antiparticules, donneront leur lot d'informations sur la collision initiale. Les caractéristiques



4. CE DIAGRAMME DE PHASE NUCLÉAIRE montre comment des noyaux classiques pourraient engendrer un plasma où les quarks et les gluons seraient libres. À très haute température ou à forte densité, les protons et les neutrons du noyau se désintègrent, libérant des quarks et des gluons. Les collisions de noyaux du RHIC devraient, quoique brièvement, produire cet état.



5. LE DÉTECTEUR PHENIX, ici avant son assemblage, comporte des «ailes» coniques conçues pour capturer les muons provenant d'un impact nucléaire. Certaines des plaques d'acier de ces ailes, expédiées de Saint-Petersbourg, sont parmi les plus grandes jamais fondues.

énergétiques et cinétiques de ces particules indiquent si une paire muon-antimuon ou électron-positon est issue de la désintégration d'un méson spécifique tel qu'un ϕ (phi) ou un ρ (rho). Ces mésons, s'ils se sont formés lors

d'une phase de la matière où la symétrie chirale était rétablie, pourraient avoir une masse inférieure à leur masse normale : la masse est due à l'interaction entre les quarks contenus dans les mésons, interaction dont

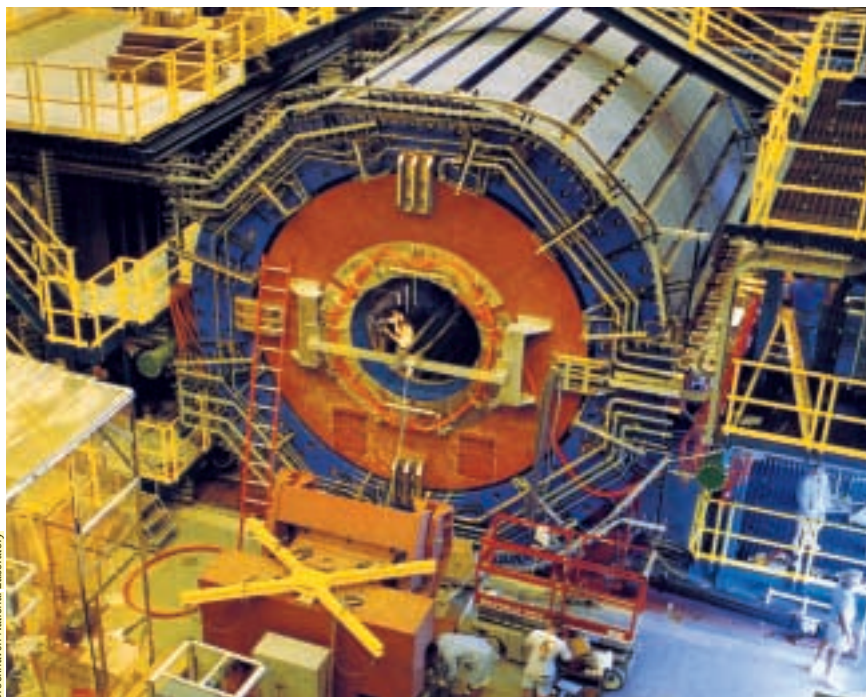
l'intensité diminue lorsque la symétrie chirale est rétablie et qu'il n'y a plus de condensat.

Une autre «signature» probable du plasma de quarks et de gluons est la raréfaction de la création d'un autre méson, nommé J/ψ . Ce méson, composé d'un quark charmé lié à un quark anticharmé, sera très peu produit dans la collision nucléaire. De plus, selon certains, un plasma de quarks et de gluons ne peut pas engendrer ce J/ψ , car le bombardement par les particules environnantes le détruirait. Ainsi la fréquence d'observation de ce méson (à partir de ses produits de désintégration) devrait être inférieure à une limite, que l'on peut calculer. La raréfaction des mésons J/ψ semble avoir été observée au Laboratoire européen de physique des particules de Genève, lors de collisions de noyaux de plomb avec une énergie efficace de 17 gigaelectronvolts par impact nucléon-nucléon. Sa reproduction à Brookhaven sera intéressante, même si divers phénomènes autres que la formation d'un plasma de quarks et de gluons puissent en être la cause.

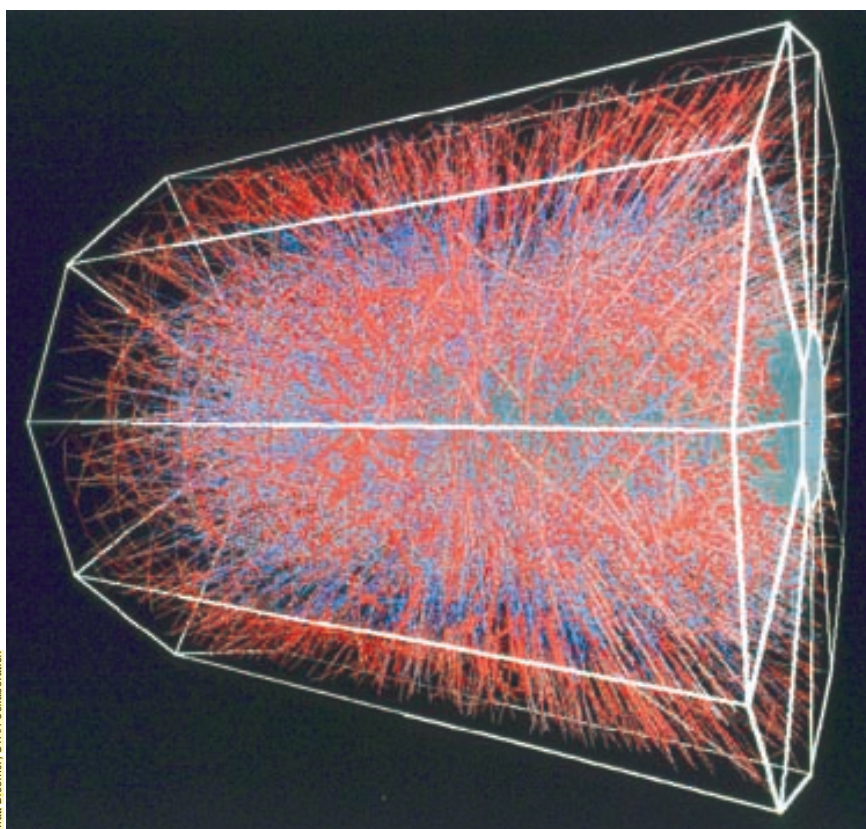
On peut aussi imaginer que le plasma forme un strangelet, c'est-à-dire une gouttelette de quarks «étranges» : les quarks étranges, qui devraient être nombreux dans le plasma de quarks et de gluons, et pourraient s'associer avec des quarks hauts et bas. La détection d'un strangelet est très attendue, mais ces objets subsisteront-ils assez longtemps pour atteindre les détecteurs?

La liste n'est pas close... Les théoriciens incitent les expérimentateurs à chercher des condensats chiraux désorientés (les isospins de tels condensats seraient des vecteurs d'orientations diverses, au lieu d'être simplement des nombres), des violations de conjugaison de charge (une symétrie que devrait présenter l'interaction forte), et d'innombrables autres phénomènes. Certains, même, soutiennent que le plasma de quarks et de gluons n'est pas un gaz du type de ceux que nous connaissons, mais un système où des interactions complexes détermineraient des propriétés analogues à celles de la phase hadronique qui lui succède.

Les expérimentateurs ne se découragent toutefois pas. «Je laisse aux théoriciens les questions qui commencent à ressembler à "Combien d'anges pourraient danser sur une tête d'épingle?"», dit en haussant les épaules Barbara



Brookhaven National Laboratory



Matt Bloomer, STAR Collaboration

6. LE DÉTECTEUR STAR (en haut) localisera les trajectoires de milliers de particules résultant des collisions entre noyaux et enregistrera leur énergie et leur quantité de mouvement. Une simulation (en bas) des traces laissées dans la chambre centrale de «projection temporelle» illustre la complexité du problème.