

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

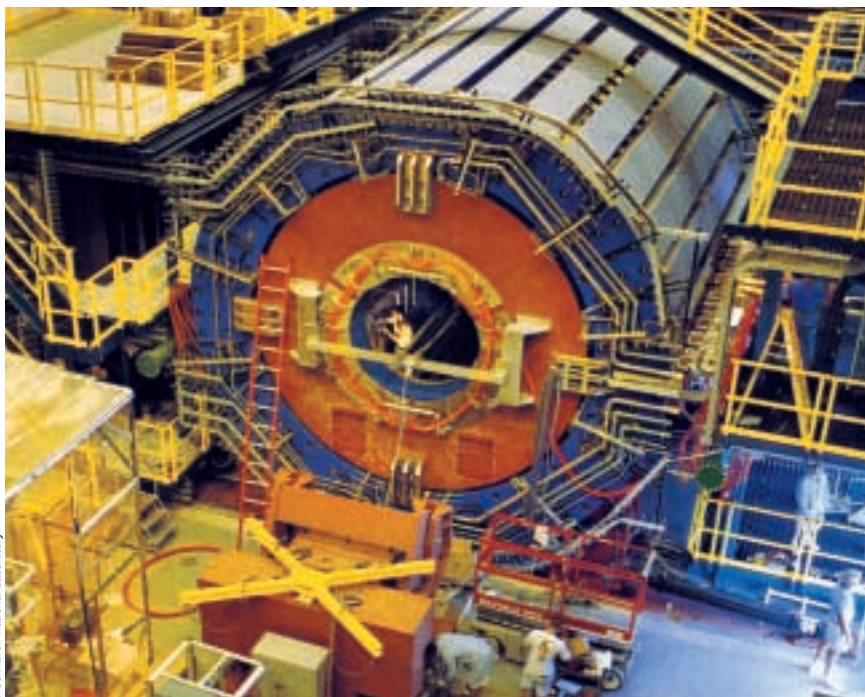
l'intensité diminue lorsque la symétrie chirale est rétablie et qu'il n'y a plus de condensat.

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.

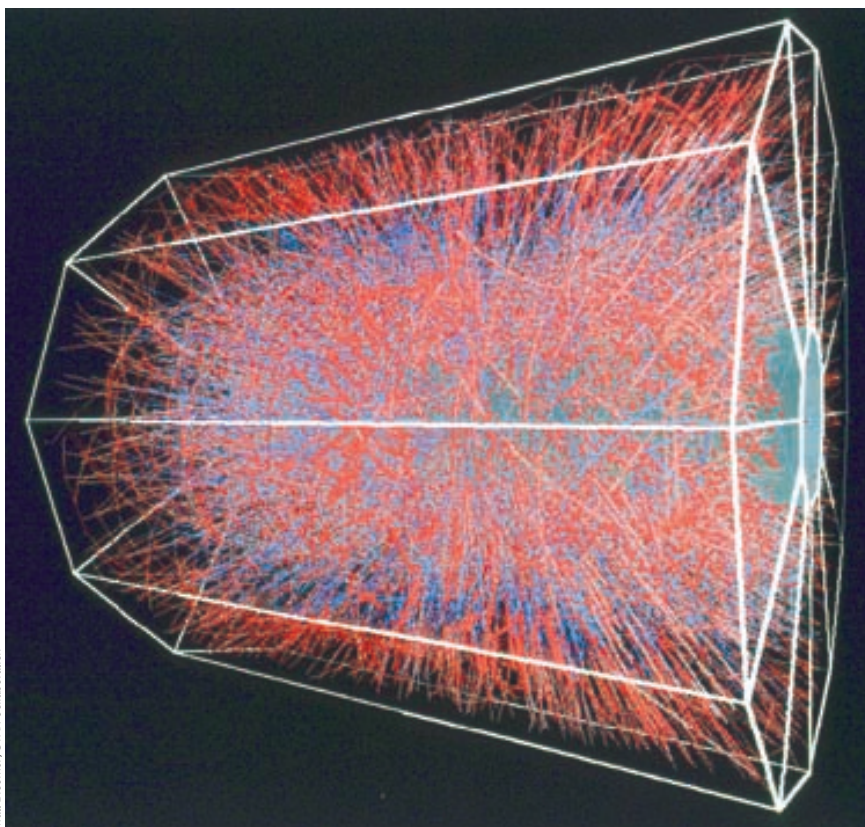
On peut aussi imaginer que le plasma forme un strangelet, c'est-à-dire une gouttelette de quarks «étranges» : les quarks étranges, qui devraient être nombreux dans le plasma de quarks et de gluons, et pourraient s'associer avec des quarks hauts et bas. La détection d'un strangelet est très attendue,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

Jacak, de l'Université de Stony Brook. Bientôt les détecteurs qui commenceront le comptage des particules feront le tri parmi les hypothèses.

Rien n'échappe à STAR

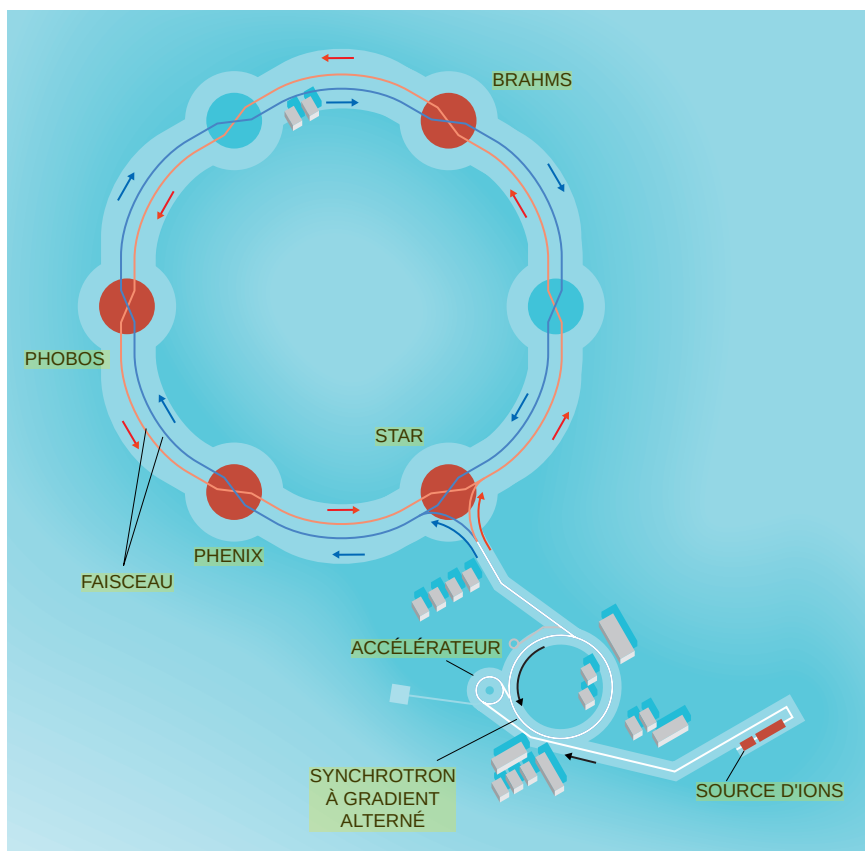
Le tunnel plonge sous plusieurs faisceaux de câbles avant d'arriver à l'énorme détecteur *STAR*, un ensemble de cylindres concentriques, de même axe que le faisceau. L'instrument principal, un dispositif massif aux reflets argentés, couvert de fils métalliques, localisera la trajectoire de chaque particule chargée qui y entrera, et il l'enregistrera assez vite pour suivre 1 000 collisions par seconde. Ce cylindre est entouré de plusieurs autres instruments, dont un calorimètre, qui mesurera l'énergie de chaque particule.

STAR est remarquablement puissant : il mesurera la quantité de mouvement, l'énergie et d'autres caractéristiques pour environ 6 000 des 10 000 particules (surtout des pions) issues de chaque collision qui se propageront dans des directions trop proches de l'axe du faisceau. Ainsi le détecteur donnera accès à des quantités globales, telles la température et la densité d'énergie du plasma.

PHENIX est un autre détecteur, encore plus gros, ainsi nommé parce qu'il est né des cendres de trois autres projets qui n'ont jamais été réalisés, faute d'argent et de personnel. Il s'élève à plus de 12 mètres et il déploie ses ailes le long des lignes de faisceaux afin d'attraper les muons.

La taille de *PHENIX* découle de sa mission : la capture et l'identification des particules légères. La quantité de mouvement d'un électron, par exemple, sera déterminée par la courbure de sa trajectoire dans un champ magnétique intense, et son identité sera déterminée par la pluie de photons caractéristiques qu'il émettra. Plus la distance de propagation est grande, plus la mesure de ces deux paramètres est précise. À terme, *PHENIX* devrait discerner si les électrons et les muons produits trahissent la présence de mésons dont la masse est inférieure à la masse normale, et qui se seraient donc formés dans des conditions où la symétrie chirale était rétablie.

Le collisionneur est équipé de deux autres détecteurs, plus petits. Le détecteur *BRAHMS* comptera la proportion de nucléons qui ne sont que faiblement perturbés par l'impact, et le détecteur



7. LE COLLISIONNEUR D'IONS LOURDS RELATIVISTES RHIC permettra aux expérimentateurs de fusionner, par des collisions, des noyaux se déplaçant à des vitesses proches de celle de la lumière, afin d'observer le comportement de la matière à haute température et à forte densité. Les atomes, auxquels on aura enlevé une partie des électrons dans l'ionisateur, entreront dans un petit anneau d'accélération, où ils seront modérément accélérés. Ils seront complètement ionisés à la sortie, puis encore accélérés jusqu'à 10,8 milliards d'électronvolts par proton ou par neutron dans le Synchrotron à gradient alterné, et ils seront ensuite injectés dans le collisionneur. Des paquets de noyaux circuleront en sens contraire dans les deux lignes de faisceau, et ils seront accélérés jusqu'à un maximum de 100 milliards d'électronvolts par proton ou neutron, jusqu'à leur collision dans les détecteurs *PHENIX*, *PHOBOS*, *BRAHMS* et *STAR*.

PHOBOS piégera les particules émises dans toutes les directions, particulièrement celles dont l'énergie est trop faible pour qu'elles atteignent les gros détecteurs. Des emplacements restent libres pour l'installation de deux détecteurs supplémentaires.

Après le démarrage initial du RHIC en juin 1999, les opérateurs arrêteront la machine pour régler finement les détecteurs et résoudre tous les petits problèmes qui seraient survenus. C'est en novembre que les expériences commenceront pour de bon. La polyvalence du RHIC laisse espérer qu'il permettra d'élucider de nombreux aspects de la collision. Par exemple, on pourra augmenter l'énergie d'un faisceau de noyaux d'or et guetter un changement : une brusque augmentation du nombre de particules émises à partir d'une certaine énergie signalerait un changement du comportement des quarks et des gluons. Dans le

meilleur des cas, le plasma de quarks et de gluons se manifestera par plusieurs phénomènes simultanés.

En outre, on pourra créer des faisceaux de divers noyaux atomiques, tels l'or et le soufre. Si le seuil observé était absent lors des collisions de noyaux de soufre, ce serait une indication supplémentaire que des phénomènes physiques nouveaux se déroulent dans les collisions d'or : le soufre ne serait pas assez lourd pour produire le plasma. Des collisions décentrées donneront aussi d'autres informations que les collisions frontales.

On pourra ainsi étudier des collisions très variées, et pas seulement celles qui devraient engendrer un plasma de quarks et de gluons. Selon H. Stöcker, une multitude de phénomènes fascinants pourraient apparaître. Quelques-uns nous feront-ils mieux comprendre la naissance brûlante de l'Univers ?