

Vers 1930, six lacs alimentent encore Potosi qui compte 35 000 habitants, soit environ le cinquième de la population de la ville, à son apogée. Néanmoins, on décide de restaurer les barrages, parce que les besoins en eau de la population du XX^e siècle sont supérieurs à ceux de la population coloniale. De plus, les sociétés qui exploitent l'étain veulent disposer d'eau durant toute l'année.

La restauration

La restauration des barrages est œuvre difficile. À Potosi, toutes les vannes d'évacuation (à l'exception de deux d'entre elles) sont en très mauvais état. Taillées à l'origine dans un tronc d'arbre, puis fondues en bronze, les vannes sont l'élément fragile de l'ingénierie coloniale. De surcroît, les remblais des barrages ont subi des infiltrations : lorsqu'il est plein, le lac Chalviri perd 80 litres par seconde.

Pour améliorer l'alimentation en eau de Potosi, on construit de nouveaux barrages, qui s'appuient sur les anciennes digues ; les fondations sont enterrées de un mètre dans la roche saine. Le lac Chalviri pose une difficulté particulière, parce qu'il ne peut pas être vidangé : on édifie un nouveau barrage légèrement à l'aval de celui de la colonie, et l'espace entre les deux est comblé par du béton, l'ensemble formant une seule digue de cinq mètres de large. Enfin, les barrages ne sont généralement pas assez élevés pour retenir toute l'eau en cas de fortes pluies : l'eau déborde et s'écoule en cascades qui dégradent les ouvrages. Aussi la crête des barrages sans réservoir est-elle relevée, et les tunnels d'évacuation sont-ils reconstruits.

Toutefois, tout ne peut être restauré et nombre de lacs de la colonie disparaissent à jamais. De plus, la forte sédimentation de certains lacs posait un problème insoluble : le lac San Sebastian, remblayé sur une épaisseur de 95 centimètres, avait perdu 80 000 mètres cubes de capacité de stockage. Les lacs coloniaux, n'ont pas été restaurés depuis 1936 ; ils continuent à alimenter la population et les industries de Potosi. Une trentaine d'usines fonctionnent encore, produisant zinc, plomb, argent et étain.

Aujourd'hui, les machines hydrauliques en bois de Potosi fonctionnent à nouveau, moyennant la substitution des pièces usées et le remplacement de quelques composants par des éléments en fer. Essentiellement conçues à la fin du XVI^e siècle, elles ne sont devenues

L'argent de Potosi et l'économie française

L'argent de Potosi était soit frappé sur place (à partir de 1575), soit expédié en Europe (dès 1545, en passant par Lima). Il apparaît massivement dans les émissions monétaires françaises de 1575, date de la réforme monétaire d'Henri III, et surtout du début du deuxième boom des mines de Potosi, après les améliorations apportées à l'exploitation de l'argent par le vice-roi Toledo. Toutefois, les guerres de religion nuisent à la production de monnaie.

En revanche, au cours de la décennie 1580, grâce à l'afflux d'argent de Potosi quasi pur, la production des pièces frappées dans les hôtes de monnaie de la façade atlantique double.

Comme en Espagne, le métal précieux en provenance de Potosi s'ajoute au métal circulant et augmente la masse monétaire.

À la fin du XVI^e et au début du XVII^e siècles, l'arrivée massive d'argent de Potosi en Europe a eu une influence notable sur l'économie : les émissions monétaires espagnoles décuplent.

En France, l'émission monétaire des ateliers atlantiques baisse à partir de 1590, notamment en raison des guerres de la Ligue. La banqueroute de l'Espagne, en 1596–1597, empêche l'importation d'argent espagnol, ce qui provoque une pénurie dans le Sud de la France et une augmentation du prix du métal. L'avènement d'Henri IV amène une décennie (1600–1610) de paix : les frappes monétaires reprennent.

Pourtant, c'est la fin de la « phase Potosi » en France, et la décrue de la frappe de monnaie avec le métal issu des hautes Andes péruviennes.



obsolètes qu'en 1872, au début de la modernisation de l'industrie minière. Leur grande robustesse et leur réparation aisée furent un obstacle au changement technique, et elles favorisèrent indirectement la décadence de Potosi.

Néanmoins, Potosi reste, dans le cœur de ses habitants et des Espagnols, ainsi qu'aux yeux des historiens, la fabuleuse cité impériale du Nouveau Monde, celle où les chevaux des nobles avaient caparaçon d'argent et harnais couverts d'émeraudes, celle qui fit rêver Cervantès. En 1590, ce dernier rédigea une demande pour être nommé gouverneur de la cité de La Paz, voisine de Potosi. Dans *Don Quichotte*, il cite les mines de Potosi comme le symbole de

la richesse absolue. Au contraire, après l'indépendance des États Sud-américains, Potosi devint pour les Boliviens et pour les Péruviens le symbole de l'exploitation des Indiens, de l'humiliation des colonisés et du pillage des ressources minières par les étrangers. Le travail forcé de générations d'indigènes, de 1573 à 1812, dans les mines et les usines d'argent, reste le noir visage de Potosi. D'ailleurs, les Indiens célébraient leur départ vers la montagne d'argent comme une offrande à la déesse de la Terre, comme un voyage sacrificiel et sans retour. Olympe généreuse pour les colonisateurs, Potosi fut aussi l'enfer, dans les entrailles de la Terre, pour nombre d'Indiens.

Alain GIODA étudie l'histoire du climat des Andes, dans le cadre du programme Neiges et glaciers tropicaux, à l'IRD (Institut de recherche pour le développement) et au SENAMHI (Service national bolivien de météorologie et d'hydrologie), à Cochabamba. Carlos SERRANO, professeur à l'Université autonome Tomas Frias de Potosí, a dirigé le Laboratoire de concentration des minéraux jusqu'en 1998.

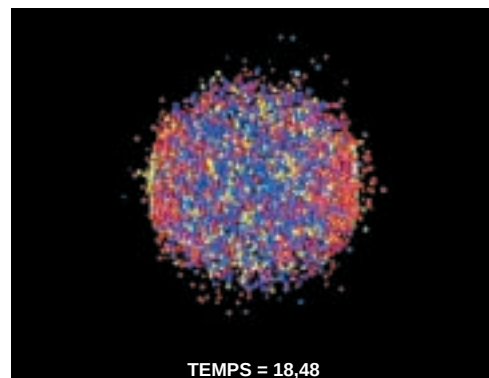
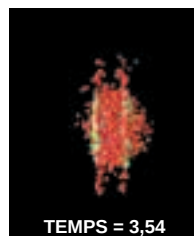
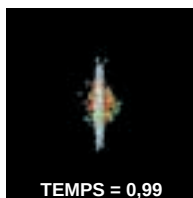
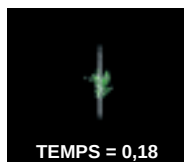
Pedro V. CAÑETE (1787), *Guía histórica, geográfica, física, civil y legal del gobierno e intendencia de la provincia de Potosí*, sous la direction de A. Alba, Editorial Potosí, 1952.

Luis CAPOCHE (1583), *Relación general de la villa imperial de Potosí*, sous la direction de L. Hanke, tome 122, Atlas, Madrid, 1959.

Bartolomé ARZÁNS (1705–1737), *Historia de la villa imperial de Potosí*, sous la direction de L. Hanke et G. Mendoza, Brown University, Providence, 1965.

Emmanuel LE ROY LADURIE et al., *Sur les traces de l'argent de Potosi*, in *Annales ESC*, n° 2, pp. 483–505, Librairie Armand Colin, mars-avril 1990.

Carlos SERRANO, Julio PELÁEZ, *Potosí y sus lagunas*, in *Revista de Investigaciones Históricas (Potosí)*, pp. 14–130, 1995–1997.



Un Big Bang miniature

MADHUSREE MUKERJEE

Des collisions de noyaux atomiques pourraient créer de la matière aussi dense et chaude que dans l'Univers primordial.

Nous sommes dans le tunnel, là où il se divise en deux branches ; les deux tubes étroits qui contiennent le faisceau s'incurvent, de sorte qu'ils sont bientôt cachés à notre vue. La lumière douce se réfléchit sur le gris du béton, de l'acier et des matériaux d'isolation brillants. Une odeur d'atelier flotte dans l'air frais, et l'on perçoit le cliquetis étouffé d'une machine qui vérifie l'étanchéité au vide des tubes. Nous continuons à marcher. Le tunnel devient rectiligne, et les tubes se rejoignent en un seul, plus large. Nous escaladons un ensemble de tuyaux entrecroisés, et nous débouchons dans un vaste hall, baigné par la lumière jaune de projecteurs au sodium. Sur le sol est peint un cercle noir où est écrit «Point de collision».

Juste au-dessus de ce point, les physiciens créeront, au mois de juin 1999, de la matière aussi chaude et aussi dense qu'à la première microseconde après le Big Bang, l'explosion primordiale qui aurait donné naissance à l'Univers. Le Collisionneur d'ions lourds relativistes (le RHIC), dont la construction vient de s'achever au laboratoire américain de Brookhaven, à Long Island, accélérera des noyaux atomiques dont la masse est comprise entre celle de l'hydrogène (un seul proton), et celle de l'or (197 protons et neutrons). Au repos, un nucléon (un proton ou un neutron) a une énergie d'environ un

gigaélectronvolt (un milliard d'électronvolts). Le RHIC accélérera ces noyaux jusqu'à ce que chaque nucléon ait une énergie 10 à 100 fois supérieure.

Des paquets de noyaux atomiques accélérés circuleront dans des directions opposées, dans les deux tubes, et ils se rencontreront dans les quatre détecteurs répartis sur les 3,8 kilomètres de la circonférence du tunnel. Lorsque deux noyaux lourds entreront en collision, chaque paire de nucléons libérera une énergie de 200 gigaélectronvolts, élevant la température à plus de 10^{12} kelvins (mille milliards de kelvins), soit 100 millions de fois la température de la surface du Soleil.

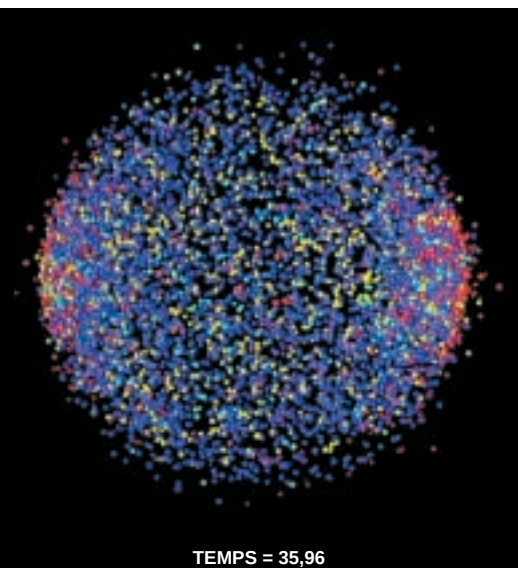
Les physiciens pensent qu'à ces températures les protons et les neutrons devraient se désintégrer et libérer les particules qui les composent : des quarks et des gluons. Un proton est constitué de deux quarks de type «haut» et d'un quark de type «bas», collés par des gluons ; un neutron contient deux quarks bas et un quark haut. Lors de la désintégration, un plasma de quarks et de gluons se formerait dans un volume de 10^{-15} mètre de côté. Ce plasma subsisterait pendant 10^{-23} seconde environ (le temps nécessaire à la lumière pour traverser un noyau atomique) ; il se désintégrerait ensuite en une multitude de particules, qui parcourraient encore mille milliards de fois cette distance avant

d'atteindre les détecteurs. Les physiciens de Brookhaven rechercheront la preuve de l'existence de ce plasma éphémère dans les traces enregistrées par ces détecteurs. Ce sera plus difficile encore que la recherche d'une aiguille dans une botte de foin ; ils devront se contenter de contempler la botte de foin, afin d'en déduire si elle contient ou non une aiguille.

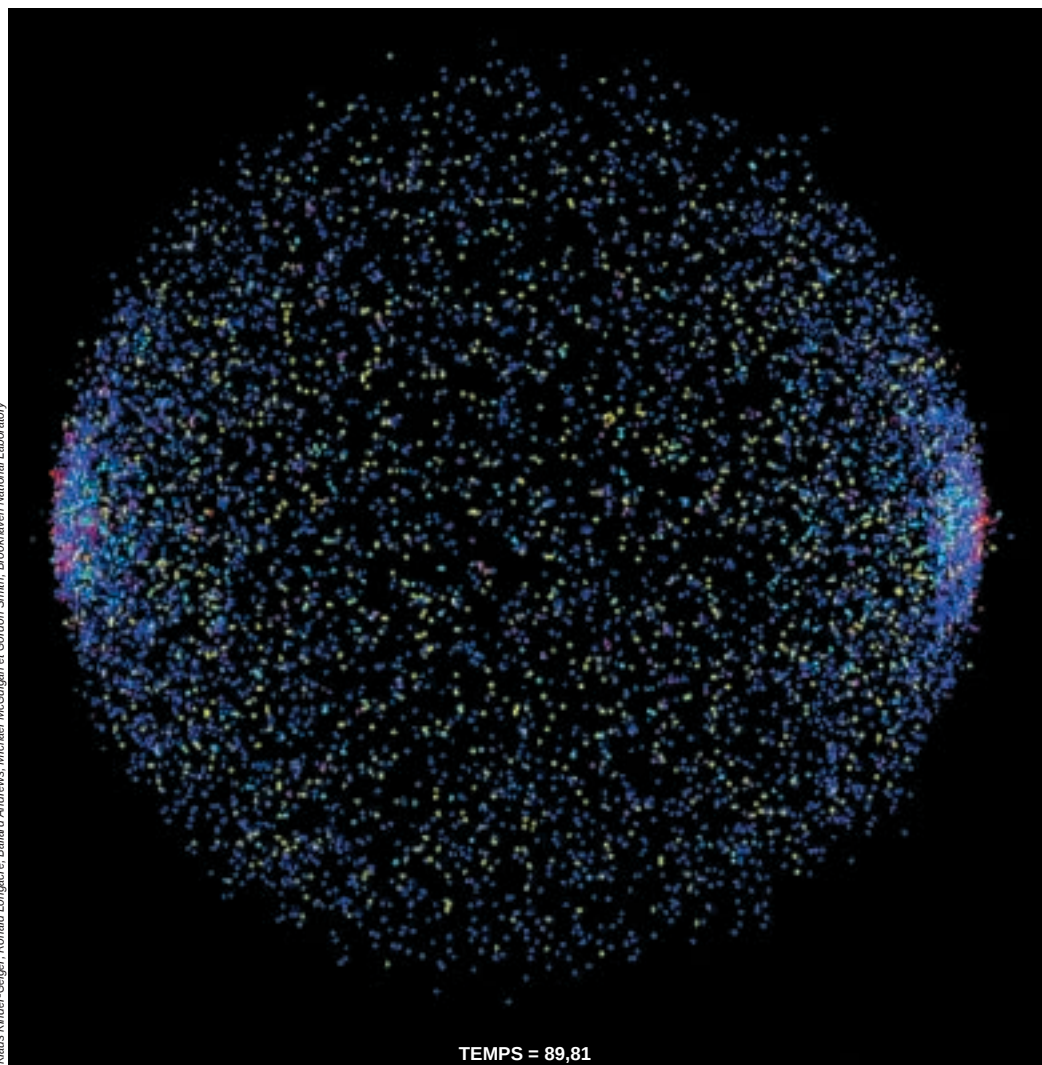
Un problème de couleur

Pis encore, ils ne connaissent même pas la forme de l'aiguille. Comment la matière se comporte-t-elle à ces énergies, où la force dominante est l'interaction forte «de couleur», transportée par les gluons, qui assure la cohésion des nucléons ? La très grande intensité de cette force et les interactions des gluons compliquent considérablement les calculs de la chromodynamique quantique, la théorie de l'interaction forte de couleur.

Aujourd'hui, les physiciens ne savent décrire l'interaction forte que dans quelques cas particuliers, par exemple quand elle est de faible intensité. Paradoxalement, l'interaction forte s'affaiblit quand les quarks et les gluons sont très proches. Tout se passe comme si les gluons, qui lient les quarks entre eux et avec les antiquarks (des particules de même masse, mais dont le nombre baryonique, paramètre



1. LA COLLISION NUCLÉAIRE simulée ici est fondée sur le modèle de la «cascade de partons» : c'est celle de deux noyaux d'or, d'abord aplatis comme des crêpes en raison de la contraction des distances pour un observateur fixe, décrites par la théorie de la relativité. Leur collision provoque la dispersion de quelques quarks (*en gris*) et de quelques gluons (*en vert*), mais les noyaux passent l'un au travers de l'autre, laissant derrière eux des quarks et des gluons très énergétiques qui s'associent rapidement en grappes (*en rouge*). Celles-ci se désintègrent ensuite en pions (*en bleu*), en kaons (*en jaune*) et en d'autres particules, qui interagissent et se désintègrent. La boule de feu grossira encore mille milliards de fois avant d'atteindre les détecteurs. L'unité du temps noté en bas à droite des images est le temps que met la lumière pour parcourir 10^{-13} centimètre.



caractéristique, vaut $-1/3$ au lieu de $1/3$, étaient des élastiques : quand une paire quark-antiquark (un méson) est dissociée, l'«élastique» qui les lie (l'interaction forte) exerce une force de rappel constante, et il faudrait une énergie infinie pour séparer la paire (c'est pourquoi l'on n'observe jamais de quark libre). Cependant, lorsque le quark et l'antiquark sont très proches, l'élastique se relâche, et chaque particule se comporte comme si elle était seule. C'est ce cas que l'on espère observer, brièvement, dans les plasmas de quarks et de gluons.

En outre, dans la chromodynamique quantique de basse énergie, le «vide» est mal nommé, parce qu'il n'est vide qu'en apparence : il serait plein de paires quark-antiquark, nommées condensats, qui ne se manifesteraient qu'indirectement. Dans le vide ordinaire, ces condensats respectent la symétrie du vide, et ils associent un quark d'isospin droit à un antiquark

d'isospin gauche, et réciproquement (l'isospin d'une particule est une caractéristique quantique, formellement analogue au spin, ou moment cinétique intrinsèque des particules, mais qui n'a pas d'équivalent en physique classique). Cet appariement est toutefois contraire à une règle mathématique, la symétrie chirale, qui stipule que les quarks et les antiquarks d'isospin gauche sont indépendants des quarks et des antiquarks d'isospin droit. En revanche, à une température ou à une densité assez grandes, les condensats emplissant le vide devraient disparaître, et la symétrie chirale devrait être rétablie.

Le meilleur moyen d'explorer l'interaction forte est de réaliser de gros calculs. À l'aide d'un superordinateur, les théoriciens simulent l'espace-temps par une grille de points sur lesquels ils placent les quarks et les antiquarks, reliés par les gluons. Ces calculs de chromodynamique quantique sur

réseau prévoient que les quarks et les gluons se séparent pour la même valeur de la densité d'énergie que celle qui rétablit la symétrie chirale. Autrement dit, les collisions au RHIC devraient produire un plasma de quarks et de gluons présentant une parfaite symétrie chirale.

Malheureusement, la chromodynamique quantique sur réseau ne révèle pas directement ce qui se passe lors des impacts nucléaires énergétiques. Elle ne décrit que des situations statiques, qui ne s'appliquent qu'aux systèmes à l'équilibre, et non des situations dynamiques. On ne peut pas non plus l'utiliser pour la description de zones où le nombre de quarks est supérieur au nombre d'antiquarks, alors que, les protons et les neutrons contenant des quarks et pas des antiquarks, on s'attend à un excès de quarks quand deux noyaux entrent en collision. Selon Horst Stöcker, de l'Université de Francfort, une théorie n'est réaliste que si

elle combine «la relativité, qui est ardue, à la théorie des champs, qui est ardue, à la dynamique hors équilibre, qui est ardue, à la physique à n corps, qui est ardue». Les théoriciens sont contraints de faire beaucoup d'approximations.

L'un des modèles proposés assimile les quarks à des boules de billard

qui rebondissent les unes sur les autres ; ses règles sont celles de la mécanique quantique, et il utilise la probabilité de créer des particules composées, mesurée expérimentalement. Un autre modèle assimile les noyaux à de petites gouttes liquides et leur applique les lois de l'hydrodynamique,

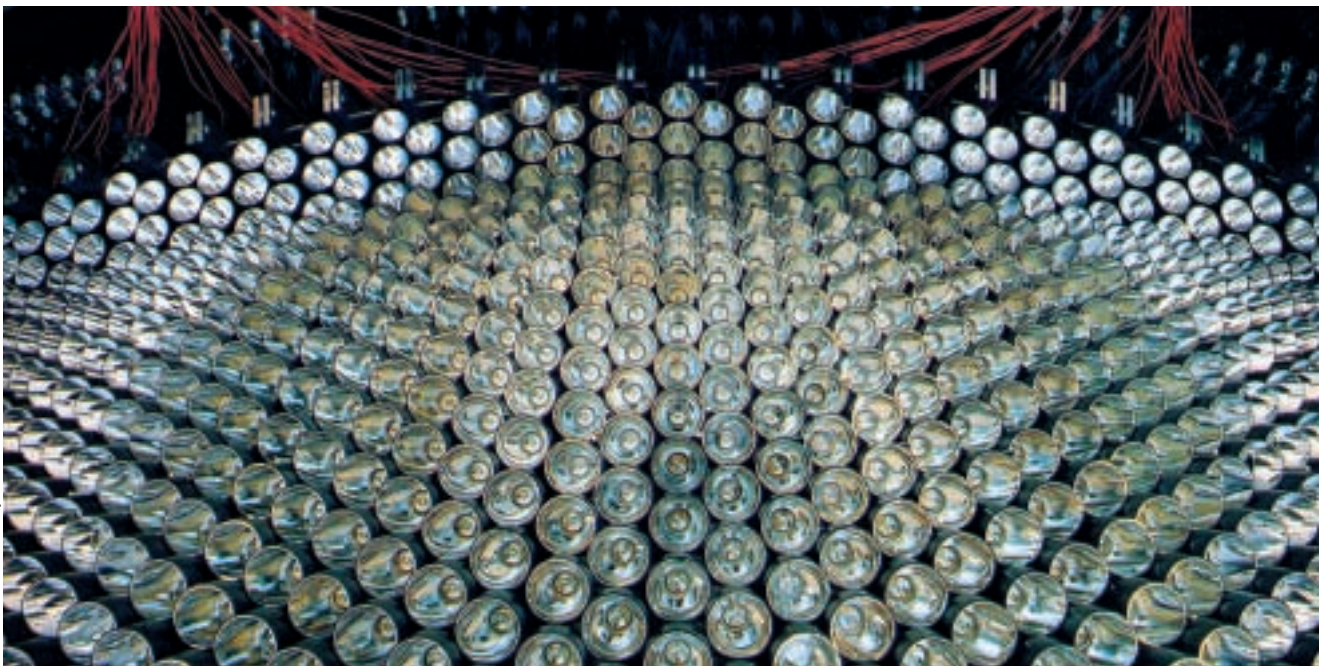
avec des paramètres calculés à l'aide de la chromodynamique quantique sur réseau. De nombreuses combinaisons et améliorations de ces modèles décrivent bien, chacune, l'un des aspects de la collision, mais aucune ne décrit correctement le phénomène dans son ensemble.



Brookhaven National Laboratory

2. LES LIGNES DE FAISCEAU du Collisionneur d'ions lourds relativistes *RHIC* de Brookhaven courberont la trajectoire des noyaux atomiques au moyen de champs magnétiques créés par des aimants supraconducteurs. La périphérie des tubes contient des cryostats,

à l'intérieur desquels circule de l'hélium comprimé froid. Les deux lignes de faisceau accéléreront des grappes de noyaux dans des directions opposées, jusqu'à leur rencontre dans les détecteurs.



Brookhaven National Laboratory

3. CE RÉSEAU DE PHOTOMULTIPLIEURS servira à identifier les électrons qui émettront un rayonnement de Cerenkov (rayonnement électromagnétique émis par des particules chargées qui se

déplacent plus vite que la lumière dans le milieu). Cet instrument s'intégrera au détecteur *PHENIX*, qui mesurera surtout les caractéristiques des particules légères issues de la collision.

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.

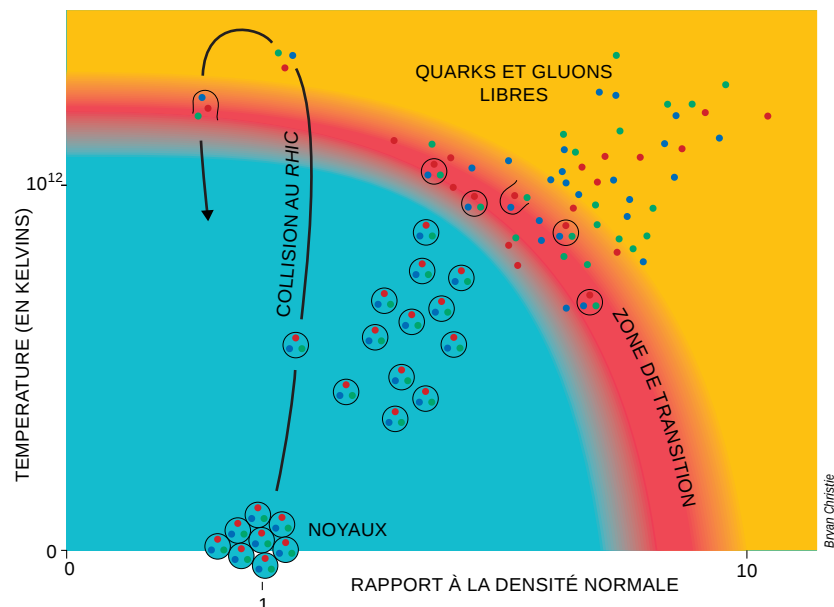
On examinera d'abord les particules éjectées perpendiculairement au faisceau : elles viennent majoritairement de la région de la collision, et leur énergie indiquera si les conditions ont été remplies pour l'existence du plasma. Cette analyse montrera également si la température (calculée à partir de 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 deviendrait 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

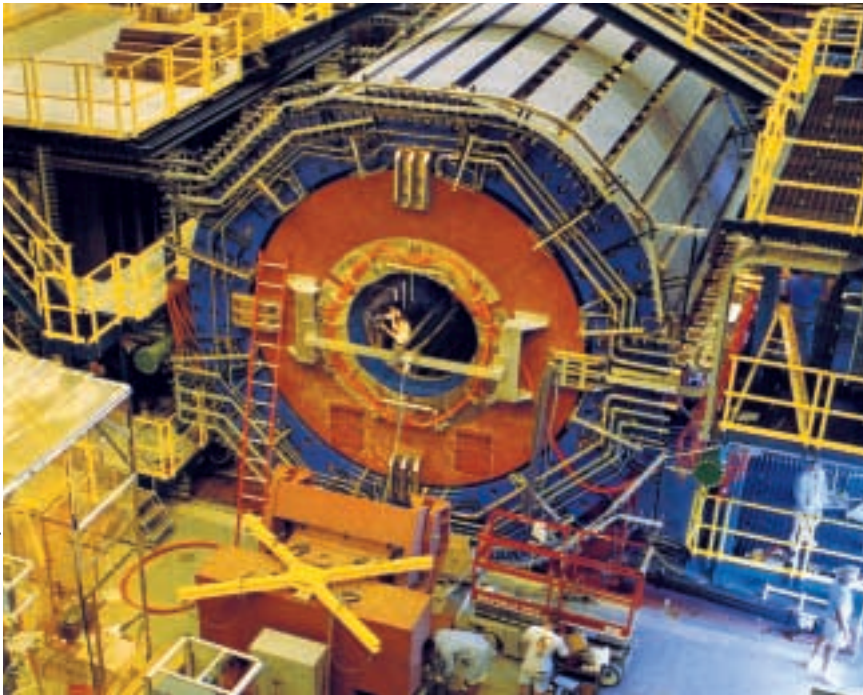
l'intensité diminue lorsque la symétrie chirale est rétablie et qu'il n'y a plus de condensat.

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 gigaélectronvolts 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.

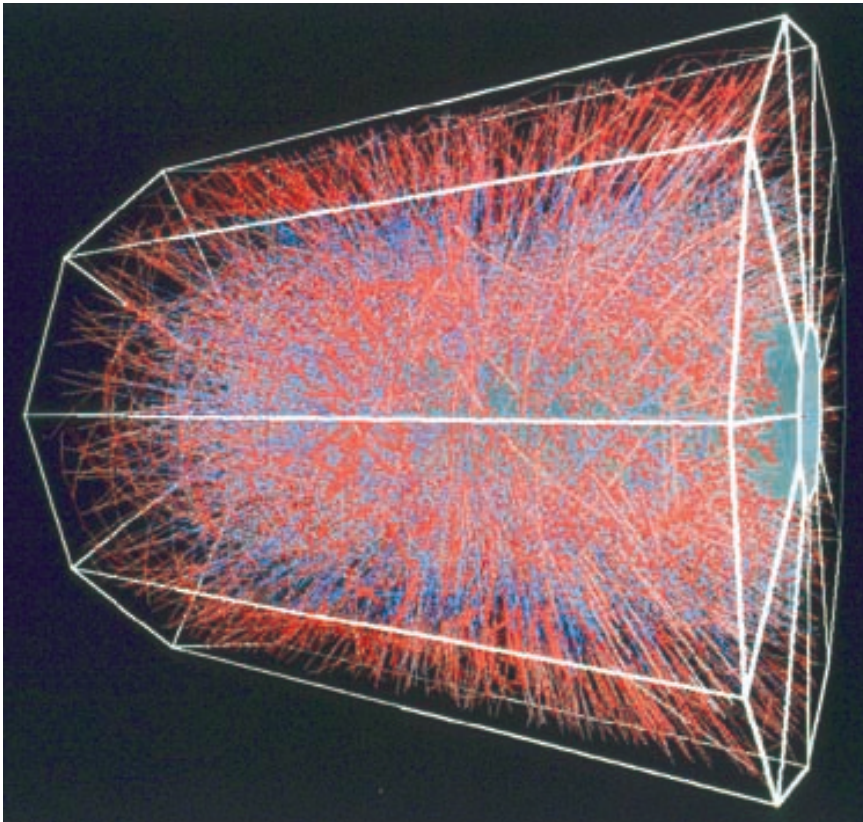
On peut aussi imaginer que le plasma forme un strangelet, c'est-à-dire une gouttelette de quarks «étranges» : les quarks étranges, qui devraient être nombreux dans le plasma de quarks et de gluons, et pourraient s'associer avec des quarks hauts et bas. La détection d'un strangelet est très attendue,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

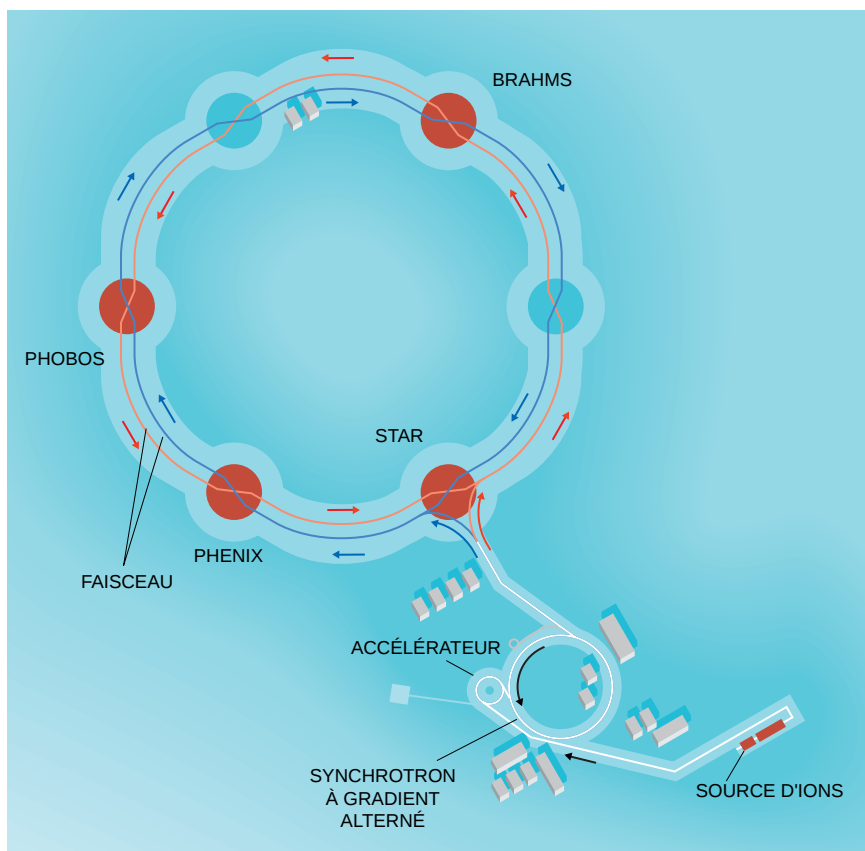
Le tunnel plonge sous plusieurs faisceaux de câbles avant d'arriver à l'énorme détecteur *STAR*, un ensemble de cylindres concentriques, de même axe que le faisceau. L'instrument principal, un dispositif massif aux reflets argentés, couverte de fils métalliques, localisera la trajectoire de chaque particule 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 ?

Le déclenchement de l'accouchement

ROGER SMITH

Le placenta humain sécrète une hormone qui participe au déclenchement de l'accouchement. Les endocrinologues cherchent s'ils pourraient l'utiliser pour éviter les naissances prématurées.

Au cours des 30 dernières années, les pédiatres ont appris à sauver de plus en plus de prématurés, ces bébés qui naissent avant la 37^e semaine de gestation, au lieu des 40 enregistrées en moyenne (aux États-Unis, on considère comme prématurés les bébés nés avant la 38^e semaine de gestation). Quelle que soit la limite admise, ce sont surtout les grands prématurés qui risquent d'avoir des difficultés respiratoires, des troubles du langage ou de la motricité, voire des retards mentaux.

Six à huit pour cent des enfants naissent avant terme, la moitié d'entre eux en raison d'un déclenchement spontané prématuré du travail (l'autre moitié par suite d'un déclenchement volontaire du travail, pour raisons médicales). Si l'on savait bloquer ce travail spontané précoce, on épargnerait un grand nombre de vies et l'on éviterait beaucoup d'invalidités.

Jusqu'à présent, toutes les méthodes préventives ont échoué, notamment parce que les biologistes connaissent mal les mécanismes qui commandent l'accouchement. Grâce aux avancées des dernières années, nous commençons à savoir comment on pourrait éviter un travail prématuré et retarder l'accouchement jusqu'à ce que l'enfant soit assez développé pour naître.

Nous pensons que le mécanisme découvert récemment ne détermine pas seulement le moment de la naissance ; il commanderait aussi les modifications de l'utérus et du col, qui déclenchent le travail. On sait aujourd'hui que, si le travail atteint son paroxysme au moment de

l'accouchement, il commence plusieurs semaines avant.

Si l'on comprend mieux aujourd'hui comment se déclenche l'accouchement, c'est que les connaissances sur la grossesse elle-même ont également progressé. On sait qu'au cours de la majeure partie de la grossesse, l'utérus est une sorte de sac relâché, constitué de cellules de muscle lisse indépendantes les unes des autres ; ce sac est scellé, à son extrémité inférieure, par un anneau hermétiquement fermé (le col) que de solides fibres de collagène rigidifient. Ces caractéristiques structurales sont dues à la progestérone, une hormone de la famille des stéroïdes que le placenta sécrète dans le sang de la mère, au début de la grossesse. Simultanément, le placenta sécrète des estrogènes, des hormones stéroïdes antagonistes de la progestérone, dont on admet qu'elles facilitent la contraction musculaire.

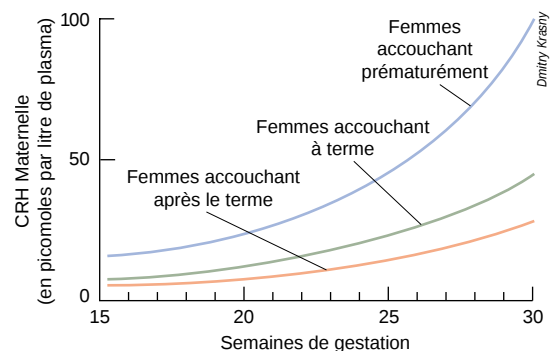
Les concentrations en estrogènes maternels, d'abord assez faibles, augmentent progressivement. Le travail commence quand les estrogènes et les autres forces qui favorisent les contractions de l'utérus l'emportent sur celles qui les inhibent.

Quand les concentrations en estrogènes maternels augmentent au cours de la grossesse, les cellules du muscle utérin (le myomètre) synthétisent une protéine, la connexine. Les molécules de connexine se propagent jusqu'à

la membrane cellulaire et forment des jonctions qui relient (électriquement et chimiquement) les cellules musculaires.

Ainsi reliées, les cellules musculaires peuvent se contracter en phase. Simultanément, sous l'action des estrogènes, les cellules du myomètre produisent de nombreux récepteurs de l'ocytocine, une hormone synthétisée dans le cerveau, qui augmente les contractions utérines.

Tandis que l'utérus se prépare au travail, les membranes fœtales recouvrant le col se mettent à fabriquer des prostaglandines, qui déclenchent la production d'enzymes digérant les fibres de collagène du col ; ce dernier devient une structure malléable, qui se dilate progressivement et finit par s'ouvrir lorsque la tête de l'enfant appuie dessus, pendant le travail.



1. LE MOMENT DE L'ACCOUCHEMENT semble fonction, chez la femme, de la vitesse à laquelle le placenta libère l'hormone CRH dans le sang de la mère et dans celui du fœtus. On a découvert cette «horloge placentaire» en mesurant les concentrations sanguines en CRH chez 500 femmes environ, tout au long de leur grossesse : la plupart des femmes qui avaient des concentrations en CRH élevées vers la seizième semaine de grossesse avaient les horloges les plus rapides et, souvent, elles accouchaient prématurément.