

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 déversoir 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 hôpitaux 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.

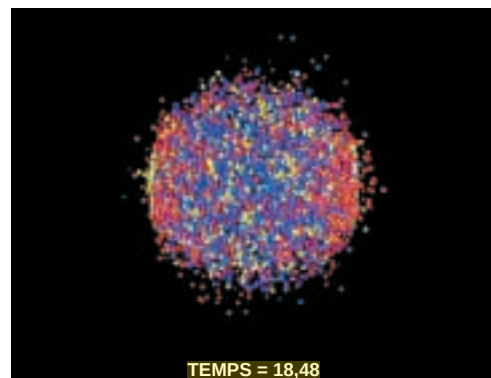
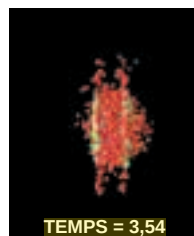
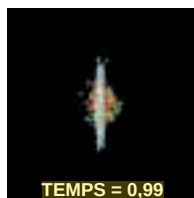
Pedro V. CAÑETE (1787), *Guía histórica, geográfica, física, civil y legal del gobierno e intendencia de la provincia de Potosí*, sous la direction de A. Alba, Editorial Potosí, 1952.

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.

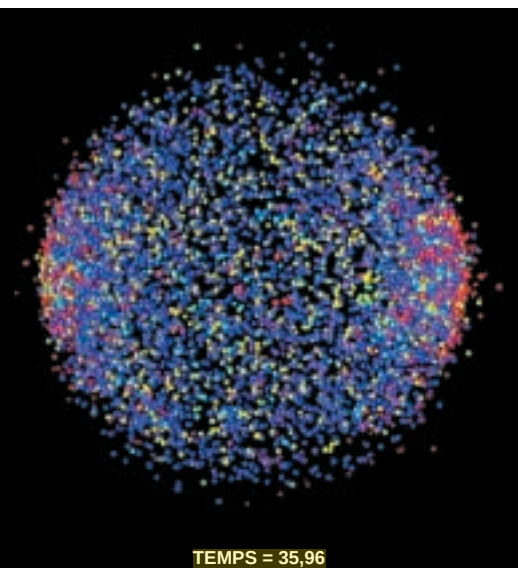
Les physiciens pensent qu'à ces températures les protons et les neutrons devraient se désintégrer et libérer les particules qui les composent : des quarks et des gluons. Un proton est constitué de deux quarks de type «haut» et d'un quark de type «bas», collés par des gluons ; un neutron contient deux 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

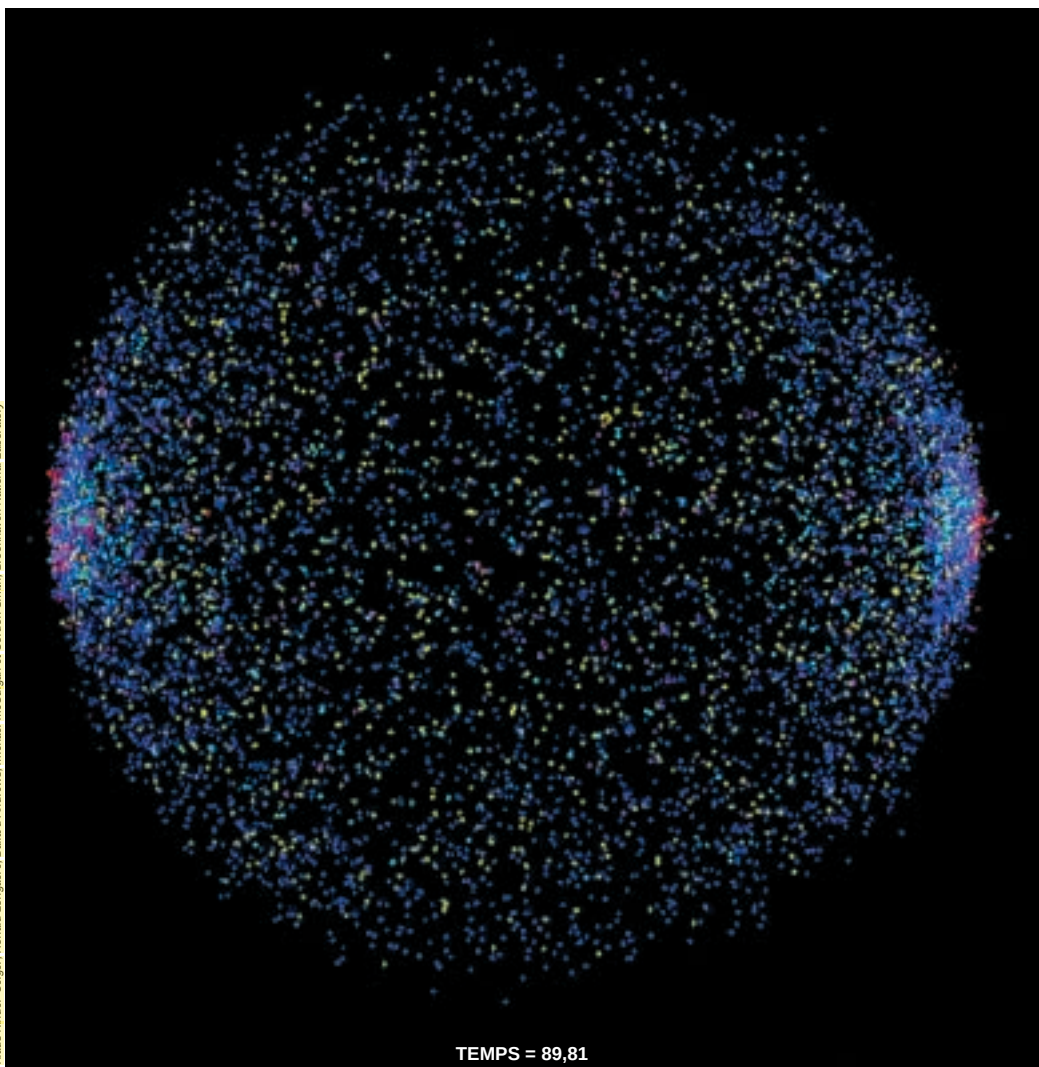
Pis encore, ils ne connaissent même pas la forme de l'aiguille. Comment la matière se comporte-t-elle à ces énergies, où la force dominante est l'interaction forte «de couleur», transportée par les gluons, qui assure la cohésion des nucléons ? La très grande intensité de cette force et les interactions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

Klaus Kinder-Geiger, Ronald Longacre, Ballard Andrews, Michael McGuigan et Gordon Smith, Brookhaven National Laboratory



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