

La traque du plasma

YVES SCHUTZ • HUGUES DELAGRANGE

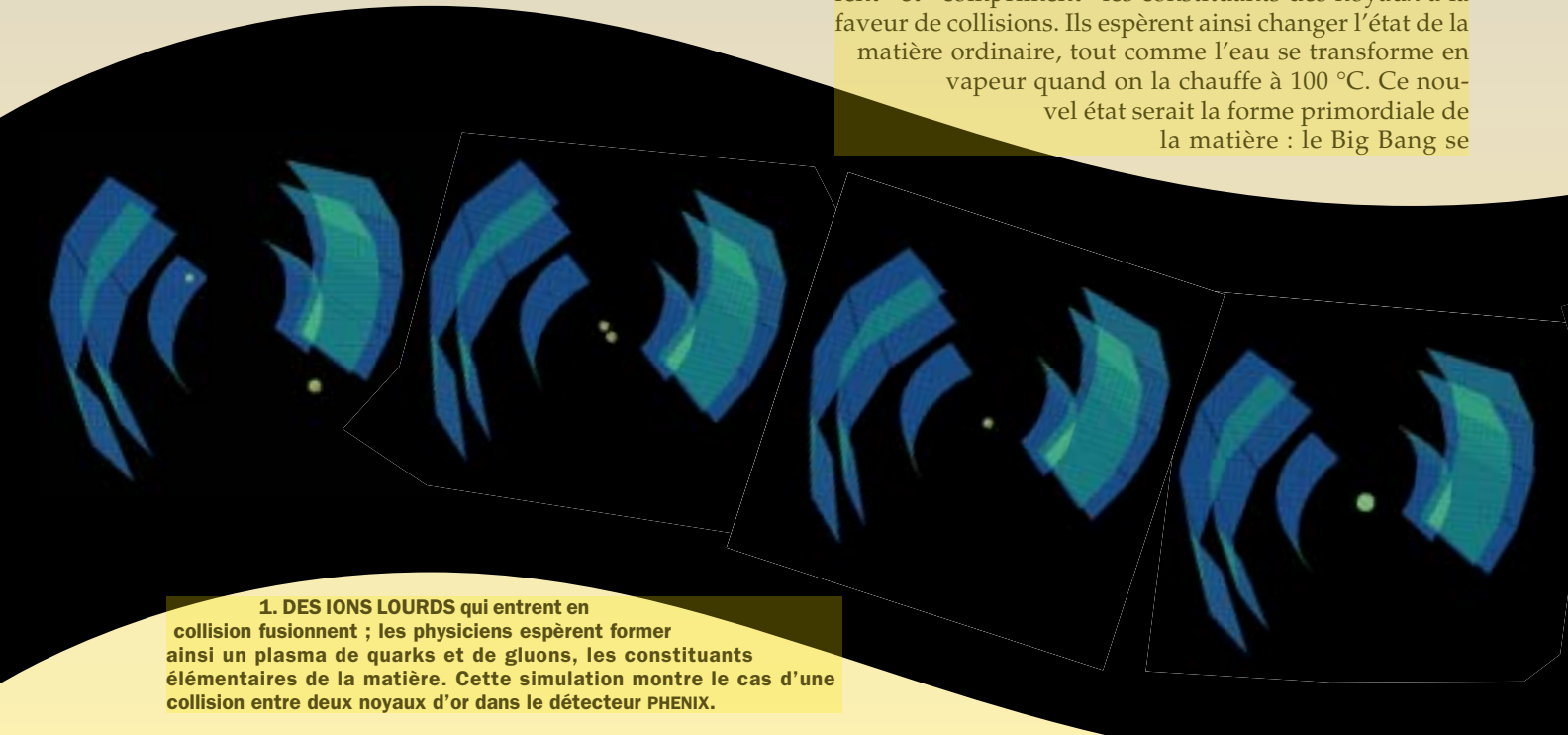
Les constituants des noyaux se désagrègent-ils à très haute température? Après en avoir obtenu des indices à l'accélérateur de Genève, les physiciens ont commencé de nouvelles expériences sur l'accélérateur de particules de Brookhaven pour prouver la réalité de ce phénomène, dit de déconfinement.

Au mois de juillet 1999, la presse annonçait qu'une machine allait reproduire le Big Bang... au risque de détruire la Terre. Les physiciens du Laboratoire de Brookhaven, près de New York, jouaient-ils aux apprentis sorciers? Avec un accélérateur où des noyaux atomiques devaient se heurter avec des énergies considérables, allait-on recréer les conditions infernales qui régnaient à la naissance de l'Univers? Ne risquait-on pas de déclencher une «explosion» aussi gigantesque que celle qui fut à l'origine de l'Univers, il y a 15 milliards d'années? Tout comme Enrico Fermi dut s'employer à démontrer que l'explosion d'une bombe atomique ne risquait pas d'enflammer l'atmosphère, les physiciens réfutèrent les arguments catastrophistes. Ils avancèrent, notamment, que certaines particules cosmiques sont

beaucoup plus énergétiques que celles qui circulent au sein du collisionneur de Brookhaven. Or, elles n'ont jamais déclenché de catastrophes cosmiques. Les premières expériences confirmèrent bientôt que ces collisions de noyaux atomiques se déroulent sans perturber le cours de l'histoire universelle.

Un phénomène violent et éphémère

Les physiciens veulent prouver l'existence du «plasma de quarks et de gluons» ou encore de la «matière de quarks». C'est ainsi qu'ils désignent le plasma qu'ils pensent créer en libérant les quarks et les gluons, les constituants des nucléons (protons et neutrons). Pour ce faire, ils «chauffent» et «compriment» les constituants des noyaux à la faveur de collisions. Ils espèrent ainsi changer l'état de la matière ordinaire, tout comme l'eau se transforme en vapeur quand on la chauffe à 100 °C. Ce nouvel état serait la forme primordiale de la matière : le Big Bang se



1. DES IONS LOURDS qui entrent en collision fusionnent ; les physiciens espèrent former ainsi un plasma de quarks et de gluons, les constituants élémentaires de la matière. Cette simulation montre le cas d'une collision entre deux noyaux d'or dans le détecteur PHENIX.

de quarks et de gluons

développa à partir d'un état d'une densité d'énergie extrême pour aboutir à l'Univers actuel froid et dilué. La matière primordiale exista quelques microsecondes après le Big Bang. Comment les quarks et les gluons se sont-ils ensuite «condensés» pour former la matière telle que nous la connaissons? Pour le savoir, une méthode consiste à parcourir le «chemin inverse» de celui qui fut celui de l'Univers : on tente de créer un plasma de quarks et de gluons à partir de la matière ordinaire.

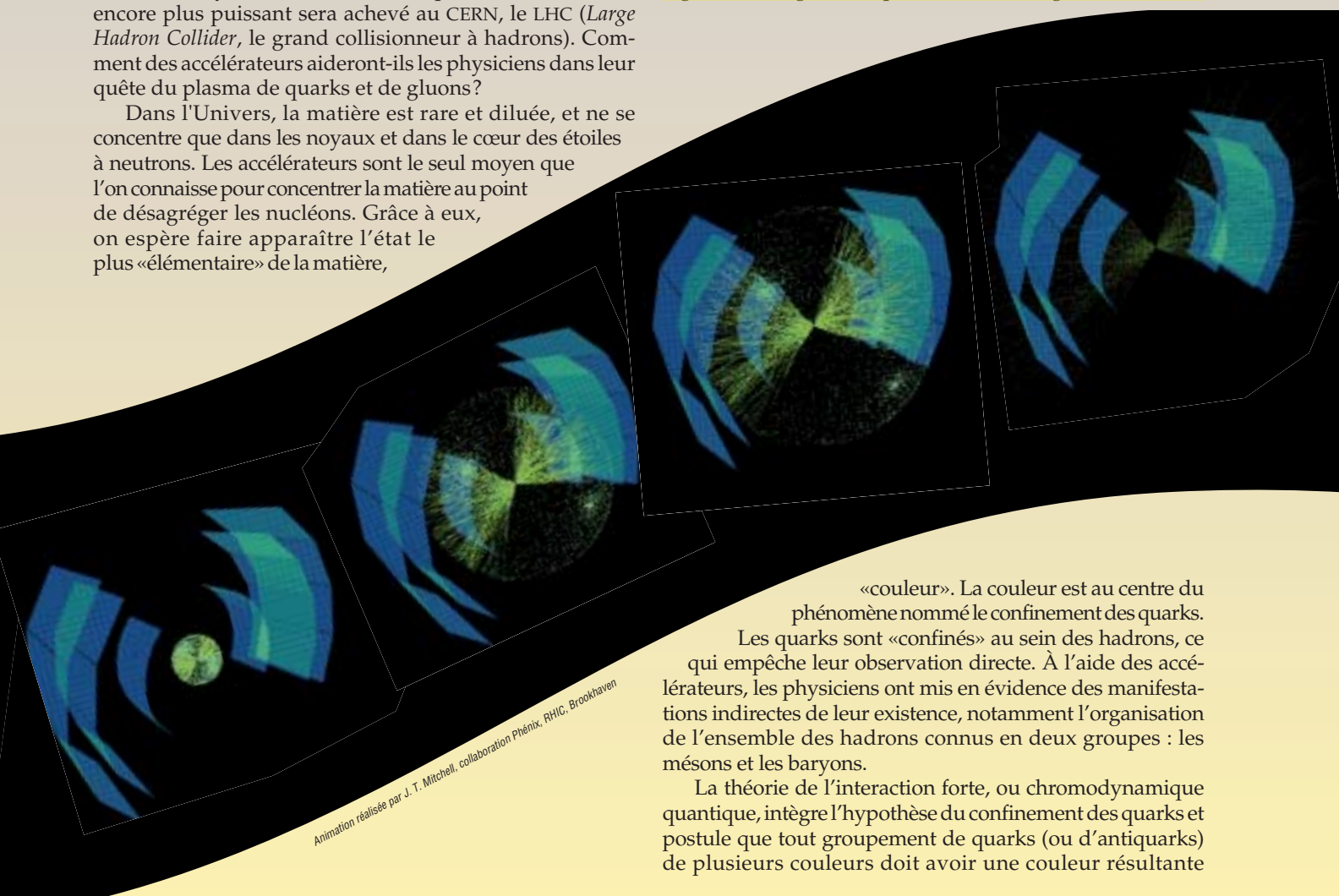
Expériences pionnières

Les premières expériences de ce type ont eu lieu à Genève, au CERN (*Organisation européenne pour la recherche nucléaire*). Comme elles n'ont pas fourni de résultats concluants, les physiciens poursuivent leurs expériences au RHIC, *Relativistic Heavy Ion Collider*, c'est-à-dire le collisionneur relativiste à ions lourds, au Laboratoire de Brookhaven. Cet accélérateur d'ions, le plus puissant du monde, est entré en activité il y a deux ans. Dans cinq ans, un accélérateur encore plus puissant sera achevé au CERN, le LHC (*Large Hadron Collider*, le grand collisionneur à hadrons). Comment des accélérateurs aideront-ils les physiciens dans leur quête du plasma de quarks et de gluons?

Dans l'Univers, la matière est rare et diluée, et ne se concentre que dans les noyaux et dans le cœur des étoiles à neutrons. Les accélérateurs sont le seul moyen que l'on connaisse pour concentrer la matière au point de désagréger les nucléons. Grâce à eux, on espère faire apparaître l'état le plus «élémentaire» de la matière,

celui qu'elle adopte quand ses constituants ultimes sont libérés. Nous savons aujourd'hui que les nucléons ne sont pas des particules élémentaires, mais qu'ils sont constitués de trois quarks. Ces briques de la matière interagissent suivant un mode particulier, nommé l'interaction forte. Les quarks s'associent soit par deux (un quark et un antiquark) pour former les mésons (pions, kaons, ρ , etc.), soit par trois ou plus, pour former les baryons (protons, neutrons, etc.). L'ensemble des mésons et des baryons constitue le groupe des hadrons, l'essentiel de la masse visible de l'Univers.

Avec l'interaction forte, l'interaction faible, l'interaction électromagnétique et la gravitation constituent les quatre interactions fondamentales de la matière (ou types de forces). Deux particules en interaction échangent une particule messagère. Ainsi, une interaction forte se traduit par l'échange d'un quantum nommé gluon, tandis qu'une interaction électromagnétique se traduit par l'échange d'un photon. Les quarks, les antiquarks et les gluons sont dits «colorés», car ils sont caractérisés par une grandeur physique analogue à la charge électrique, nommée charge de couleur ou



Animation réalisée par J. T. Mitchell, collaboration PHENIX, RHIC, Brookhaven

«couleur». La couleur est au centre du phénomène nommé le confinement des quarks.

Les quarks sont «confinés» au sein des hadrons, ce qui empêche leur observation directe. À l'aide des accélérateurs, les physiciens ont mis en évidence des manifestations indirectes de leur existence, notamment l'organisation de l'ensemble des hadrons connus en deux groupes : les mésons et les baryons.

La théorie de l'interaction forte, ou chromodynamique quantique, intègre l'hypothèse du confinement des quarks et postule que tout groupement de quarks (ou d'antiquarks) de plusieurs couleurs doit avoir une couleur résultante