

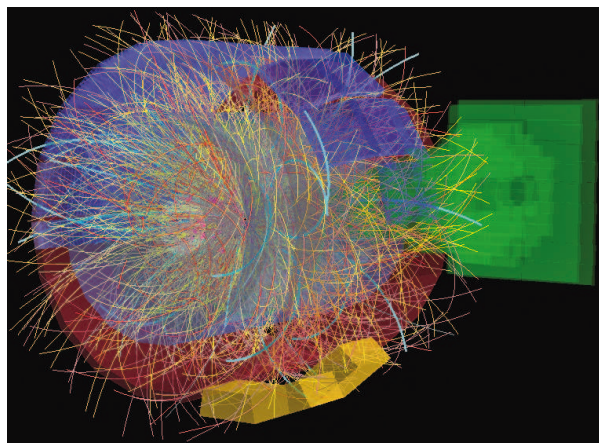
# LA SOUPE PRIMORDIALE DE L'UNIVERS

Des expériences cherchent à mettre en évidence un nouvel état de la matière, le plasma de quarks et gluons, qui aurait existé dans la première microseconde après le Big-bang.

On tente de le recréer en laboratoire grâce à des collisions d'ions lourds à haute énergie pour atteindre des conditions extrêmes de température et de densité.

Une collision Pb-Pb enregistrée par ALICE au LHC

Cette collision enregistrée en novembre 2011 donne une idée du nombre de particules créées lors de ces événements : chaque trait coloré représente la trace laissée par une particule chargée dans le détecteur. La conversion d'une partie de l'énergie de la collision (très élevée) en masse explique la profusion de particules issues du choc entre des ions de plomb.



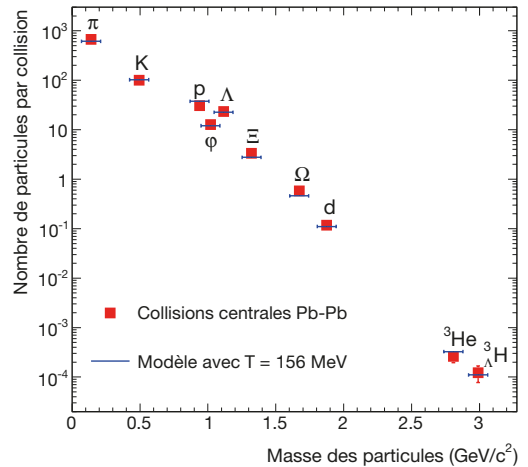
De grandes questions se posent concernant la naissance de l'Univers. Actuellement, la matière ordinaire est composée d'atomes, constitués d'un noyau (fait de protons et de neutrons) entouré d'un nuage d'électrons. Les protons et les neutrons sont eux-mêmes constitués de quarks, les briques les plus élémentaires de la matière. Juste après le Big-bang, quarks et gluons évoluaient librement et constituaient un plasma appelé « plasma de quarks et de gluons » (QGP) où ils n'étaient plus confinés à l'intérieur des nucléons, comme dans la matière ordinaire. Pour recréer ces conditions extrêmes de température et de densité de la matière nucléaire, on provoque des collisions frontales entre des ions lourds, comme des noyaux de plomb (126 neutrons et 82 protons) ou d'or (118 neutrons et 79 protons), à l'aide d'accélérateurs. À chaque événement, des milliers de par-

ticules sont produites et suivies par un détecteur construit afin d'étudier les propriétés de la matière créée pendant la collision. Plus elle est violente et plus la matière nucléaire est portée à haute température.

Des expériences sont ainsi conduites au laboratoire national de Brookhaven (États-Unis) sur le collisionneur RHIC (*Relativistic Heavy Ion Collider*) ; elles utilisent des collisions impliquant différents ions (cuivre, or, uranium...) et les noyaux les plus légers (proton et deutérium). Au LHC, des collisions plomb-plomb (Pb-Pb) ont lieu un mois par an, en plus des collisions proton-proton (p-p). Les plus frontales d'entre elles concentrent jusqu'à 574 TeV d'énergie dans un volume de la taille d'un noyau, une densité 15 fois supérieure à celle obtenue au RHIC. La matière ainsi créée est à très haute température, propice à la formation d'un QGP. Une fois créé, celui-ci se refroidit jusqu'à la température de transition où les quarks et les gluons s'associent sous l'effet de l'interaction forte pour former des hadrons. Ces derniers, et les particules issues de leurs désintégrations, sont ensuite détectés ; les collisions Pb-Pb sont analysées par trois expériences : ALICE, ATLAS et CMS.

Les expériences ATLAS et CMS conçues avant tout pour analyser les collisions p-p sont néanmoins très bien adaptées pour étudier les processus les plus violents entre quarks et gluons, lesquels se produisent dans les premiers instants des collisions Pb-Pb. En étudiant la manière dont les quarks et les gluons produits lors de la collision perdent de l'énergie en traversant le QGP, on peut en apprendre plus sur la composition de ce plasma, en particulier sur sa richesse en gluons.

De son côté, la collaboration ALICE a conçu un détecteur capable d'analyser finement la profusion de particules produites : plusieurs milliers par collision, comme illustré page précédente. Avec ces données, on peut déduire la température qui régnait au moment de la formation de ces particules. Les résultats montrent qu'un QGP a été formé pour les collisions les plus frontales et qu'il se comporte comme un fluide presque parfait dont la viscosité commence à être évaluée.



Estimer la température de formation des hadrons et des noyaux dans les collisions plomb-plomb

Les comptages des différents types de particules (hadrons ou noyaux) produites dans les collisions frontales plomb-plomb au LHC sont comparés aux prédictions théoriques. On peut en déduire la température  $T$  au moment de la formation des hadrons :  $T = 1800$  milliards de degrés (une température équivalente à une énergie de 156 MeV). Cette température correspond à la température attendue théoriquement pour la transition entre le plasma quarks-gluons et le gaz de hadrons.