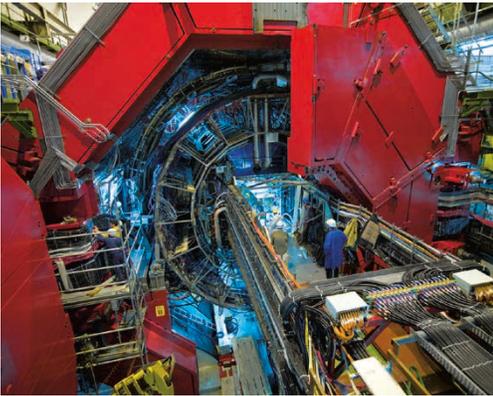


# LE PLASMA DE QUARKS ET DE GLUONS

Chauffez un noyau atomique. Si vous parvenez à atteindre des températures dignes des débuts de l'Univers, vous risquez d'aboutir à un nouvel état de la matière : le plasma de quarks et de gluons.



Le noyau atomique est un assemblage de protons et de neutrons dénommés dans leur ensemble nucléons. Ceux-ci contiennent des quarks qui se caractérisent par une charge de couleur : rouge, vert ou bleu – cette dénomination purement conventionnelle n'a rien à voir avec la couleur des objets ordinaires. L'interaction nucléaire dite forte entre les charges de couleur se fait par échange de gluons. Le résultat est que dans un nucléon, les quarks se trouvent toujours liés par trois ; on dit qu'ils sont confinés.

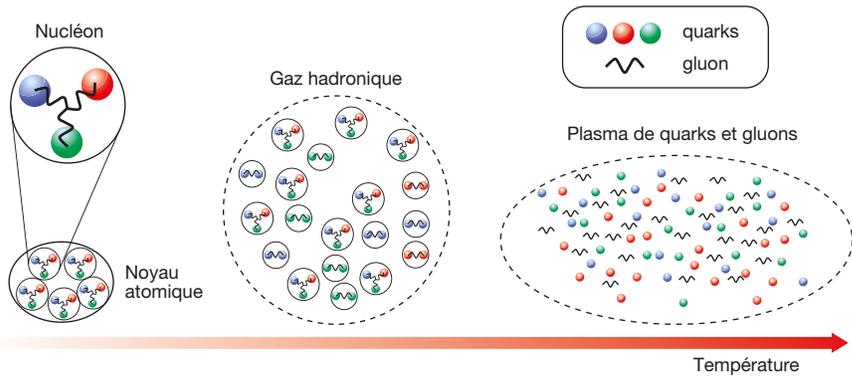
C'est la matière nucléaire dite normale.

## Détecteur ALICE

L'expérience ALICE du LHC a pour objet l'étude du plasma de quarks et de gluons grâce à des collisions d'ions lourds. Cette photographie montre les lourdes portes du détecteur qui, une fois fermées, protègent l'appareillage des projections parasites de particules qui pourraient l'endommager et permettent d'obtenir le champ magnétique intense souhaité.

Or la cosmologie nous apprend que plus on remonte dans le temps, plus l'Univers était chaud. On peut alors se poser la question suivante : que devient la matière nucléaire dans les conditions extrêmes de température et de densité qui régnaient au début de l'Univers ? La théorie de l'interaction forte prédit que lorsque la température augmente suffisamment, le noyau se vaporise pour donner un gaz de hadrons (c'est-à-dire un gaz de protons, de neutrons et d'autres particules constituées de quarks et/ou d'antiquarks). En effet, l'agitation thermique prend alors le pas sur les forces de cohésion du noyau. Si la température continue à s'élever, au-dessus de mille milliards de degrés (soit cent mille fois la température qui règne au centre du Soleil) les hadrons eux-mêmes se disloquent.

Il en résulte un nouvel état de la matière nucléaire que l'on appelle plasma ou soupe de quarks et de gluons (QGP en anglais pour *Quark-Gluon Plasma*). Pourquoi plasma ? On rencontre des plasmas électriques à proximité d'une étin-

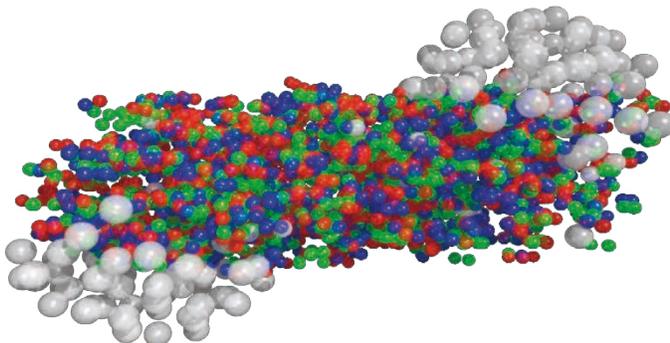


celle ou d'un éclair, car ces phénomènes arrachent des électrons aux atomes et aux molécules (électriquement neutres) du milieu environnant, l'air par exemple. Ce dernier est alors ionisé et cet ensemble d'ions et d'électrons est sensible à l'interaction électromagnétique. Le QGP est en quelque sorte l'équivalent pour l'interaction forte d'un tel plasma électrique.

Contrairement à ce qui se passe dans un noyau atomique, les quarks et les gluons sont quasi-libres dans le QGP : on dit qu'ils sont déconfinés. La transition de l'état confiné à l'état déconfiné peut être soit brutale soit progressive, selon les conditions de température et de densité. En comprenant mieux cette transition, nous saurons de quelle manière les premiers protons et les premiers neutrons sont apparus au début de l'histoire de l'Univers. En effet, la transition du QGP vers le gaz de hadrons se serait produite seulement 10 microsecondes après le Big-bang ! Étudier le QGP en laboratoire est donc une façon de sonder l'Univers à cette époque reculée. Ces études se font par le biais de collisions entre noyaux très lourds ; au LHC on utilise des ions plomb (Pb).

### Évolution de la matière nucléaire

Quand la température augmente, les particules élémentaires formant la matière nucléaire (quarks et gluons) acquièrent de l'énergie qui leur permet peu à peu de s'affranchir des contraintes imposées par l'interaction forte. À une température intermédiaire, les noyaux se brisent et les hadrons évoluent librement. Si l'énergie augmente encore, les hadrons finissent par se rompre : quarks et gluons se séparent, c'est le plasma quark-gluon.



### Simulation de collision de deux noyaux de plomb au LHC

Les quarks libres sont colorés en rouge, bleu et vert tandis que les hadrons apparaissent gris. L'image montre le développement de la réaction  $6 \cdot 10^{-23}$  seconde après l'impact.