



EN PARTENARIAT AVEC L'ACADÉMIE DES SCIENCES



INSTITUT DE FRANCE  
Académie des sciences

# Idées débats, tribunes

## Jean Iliopoulos

PHYSICIEN THÉORICIEN  
DES HAUTES ÉNERGIES, MEMBRE  
DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

### Le Cern, ou comment scruter la matière à l'échelle microscopique

Dans le cadre de notre partenariat avec l'Académie des sciences, des académiciens expliquent les nouvelles dimensions de l'observation scientifique en ce XXI<sup>e</sup> siècle. Une série pour comprendre comment, grâce aux progrès scientifiques et technologiques, se révèle un monde nouveau.

Qu'est-ce qui compose la matière ?

Quelle en est la plus petite partie ? La traque de ce ou ces composants élémentaires a prodigieusement évolué en un siècle. Microscopes optique, électronique à balayage, à transmission mais aussi accélérateurs de particules, dont le LHC (Large Hadron Collider). Sonder la matière et vérifier les prédictions théoriques, comme cela fut le cas avec la découverte du fameux boson de Brout-Englert-Higgs. C'est cette aventure loin d'être achevée que nous expose le physicien Jean Iliopoulos.

On attribue à Démocrite d'Abdère, philosophe grec qui vécut vers la fin du V<sup>e</sup> siècle av. J.-C., l'introduction du concept d'atomes en tant que constituants élémentaires de la matière. Pour Démocrite, la matière se composerait d'atomes et de vide, qui remplit l'espace entre les atomes. Aujourd'hui, la question de la composition de la matière n'est plus une question philosophique, mais un domaine de recherche expérimentale très actif grâce à la construction de microscopes de plus en plus puissants.

chose, il faut l'éclairer, et c'est la longueur d'onde de la lumière que nous utilisons qui donne la limite du pouvoir de résolution de notre microscope.

Une révolution fut apportée en 1911 par Ernest Rutherford, qui a eu l'idée de bombarder une mince feuille d'or avec des « particules », qui sont en fait des noyaux d'hélium. Les résultats furent surprenants : la plupart des particules passaient à travers la feuille sans subir de déviation mais, de temps à autre, certaines étaient déviées à grand angle. Rutherford en conclut

der la structure de la matière. Aujourd'hui, toutes nos connaissances sur ce sujet viennent de ces accélérateurs de particules, qui produisent des faisceaux de haute énergie. À l'aide de ces instruments, nous avons découvert des couches successives de cette structure qui forment la suite : molécules → atomes → noyaux + électrons → protons + neutrons + électrons → quarks + électrons → ?

À l'heure actuelle, les quarks, qui sont les constituants des protons et des neutrons, eux-mêmes constituants des noyaux, sont, avec les électrons, les particules les plus « élémentaires » que nous connaissons, mais, en fait, nous ne savons pas si cette série doit se terminer quelque part et, encore moins, si nous avons déjà atteint l'étape finale.

Le Cern, l'organisation européenne de recherche nucléaire, est aujourd'hui le centre mondial pour la recherche en physique microscopique. Fondé en 1954, il est situé de part et d'autre de la frontière franco-suisse, près de Genève. Il a été une des premières organisations à l'échelle européenne et compte aujourd'hui 22 États membres. Il a pour vocation la découverte et l'étude des constituants élémentaires et des lois de l'Univers. Il se consacre à la recherche scientifique

### *Les quarks sont, avec les électrons, les particules les plus « élémentaires » que nous connaissons. L'étape finale ?*

Cette puissance est exprimée par le pouvoir de résolution, qui donne les dimensions du plus petit objet que ce que le microscope nous permet de voir. L'œil humain a un pouvoir de résolution qui peut atteindre le centième de millimètre et un microscope optique peut faire cent fois mieux. Pour voir un atome, il nous faudra encore un facteur mille. Peut-on « améliorer » ces performances ? Pas vraiment, si nous restons avec les microscopes optiques. La raison en est simple : pour « voir » quelque

que l'espace occupé par les atomes est essentiellement vide, mais avec quelques grains durs à l'intérieur. Il propose une structure atomique classique : un noyau massif avec une charge électrique positive au centre et des électrons, de masse très faible et de charge négative, qui tournent autour. En introduisant ainsi le concept de noyau atomique, il devint le fondateur de la physique nucléaire, mais aussi le père d'une nouvelle génération de « microscopes », qui utilisent des particules énergétiques pour son-



B. EYMANN

## *L'instrument phare du Cern, le LHC, est mille milliards de fois plus précis qu'un microscope optique.*

fondamentale. Dans sa convention constitutive, on peut lire: « L'organisation assure la collaboration entre les États européens pour les recherches nucléaires de caractère purement scientifique et fondamental. (...) L'organisation s'abstient de toute activité à fins militaires et les résultats de ses travaux expérimentaux et théoriques sont publiés ou de toute autre façon rendus généralement accessibles. » Aujourd'hui l'instrument phare du Cern est le LHC (Large Hadron Collider), qui est le microscope le plus puissant jamais construit par l'homme. Son pouvoir de résolution est ahurissant: il est – notez bien – mille milliards de fois plus puissant qu'un microscope optique. Cette énorme puissance est atteinte grâce à une architecture de collisionneur. Il

s'agit en fait de deux faisceaux de protons de très haute énergie qui circulent en sens inverse dans un anneau d'aimants supraconducteurs et qui sont amenés à une collision frontale. Quelques chiffres: l'anneau est logé dans un tunnel souterrain de 27 km de circonférence. L'énergie totale des deux faisceaux est de l'ordre de l'énergie cinétique d'une rame de TGV lancée à 300 km/h. Les collisions produisent en moyenne 200 particules dans l'état final. Les expériences consistent à les détecter et en mesurer les paramètres importants. C'est la fonction des énormes détecteurs qui entourent les points d'interaction et qui sont de véritables cathédrales de la technologie moderne. La densité d'informations qu'elles doivent affronter équivaut celle de 50 mil-

liards d'appels téléphoniques simultanés. Les expériences mobilisent plusieurs milliers de chercheurs répartis dans environ 600 universités et centres de recherche de 70 pays. En effet, le Cern fournit le microscope, mais le planning des expériences, la prise des données et l'analyse des résultats sont de la responsabilité de la communauté scientifique. Excellent exemple de coopération internationale.

La dernière découverte faite à l'aide de cet instrument est le fameux boson de Brout-Englert-Higgs. Il ne s'agit pas seulement d'une nouvelle particule mais de la trace d'un phénomène très étrange qui eut lieu durant les toutes premières fractions de seconde après le big-bang et qui permit aux constituants de la matière d'acquiescer une masse.

Même si le but du Cern est la recherche fondamentale, la construction des accélérateurs et des détecteurs, tout comme les méthodes mises au point pour l'analyse des résultats, nécessitent des avancées technologiques importantes qui ont souvent irrigué le tissu économique et social. Pour ne citer que quelques exemples, le développement des puissants électroaimants pour les accélérateurs de particules a permis la mise au point d'appareils destinés aux techniques de diagnostic médical. Dans les hôpitaux; on utilise des accélérateurs de particules dédiés au traitement de certains types de cancer. Le fameux World Wide Web a été inventé pour faciliter l'échange d'informations entre les groupes des scientifiques travaillant au Cern. Aujourd'hui, il a révolutionné la communication au niveau mondial.

Le LHC continue ses recherches sur les particules élémentaires et les lois qui régissent leurs interactions. Pour les prochaines années, son programme prévoit une augmentation de ses capacités avec l'espoir de nouvelles découvertes. Pour le plus long terme, il y a des projets de nouveaux accélérateurs qui, à l'horizon 2030, seront des microscopes jusqu'à quinze fois plus puissants que le LHC. ★

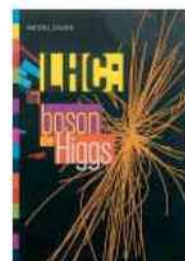
### POUR EN SAVOIR PLUS

LE SITE DE L'ACADÉMIE  
DES SCIENCES:  
[ACADEMIE-SCIENCES.FR](http://ACADEMIE-SCIENCES.FR)

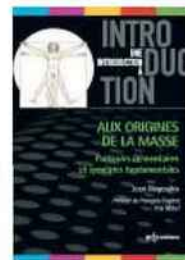
LE SITE DU CERN:  
[HOME.CERN.FR](http://HOME.CERN.FR)



« L'Aventure du grand collisionneur LHC », de D. Denegri, C. Guyot, A. Hoecker et L. Roos, EDP Sciences, coll. « Une introduction à... », 2014.



« LHC: le boson de Higgs », de M. Davier, Ed. le Pommier, 2013.



« Aux origines de la masse. Particules élémentaires et symétries fondamentales », par J. Iliopoulos, EDP Sciences, coll. « Une introduction à... », 2014.