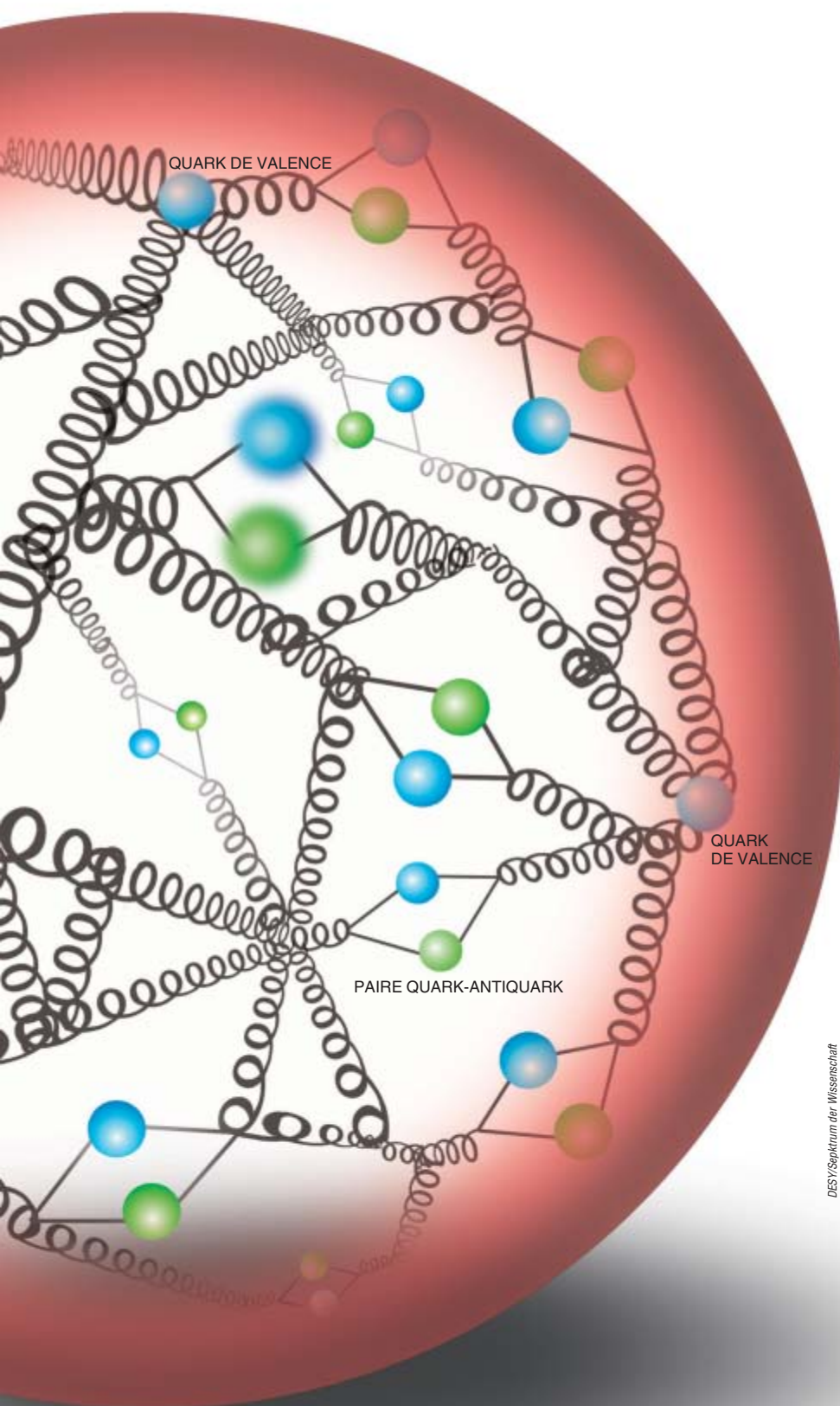


1. À L'INTÉRIEUR D'UN PROTON : les trois «quarks de valence» constitutifs du proton, échangent sans cesse des gluons (représentés par les ressorts) qui les lient. L'espace d'un instant, un gluon peut se transformer, en une paire constituée d'un quark et d'un antiquark. Un proton contient donc en permanence une «mer» bouillonnante de gluons et de paires virtuelles de quarks-antiquarks.



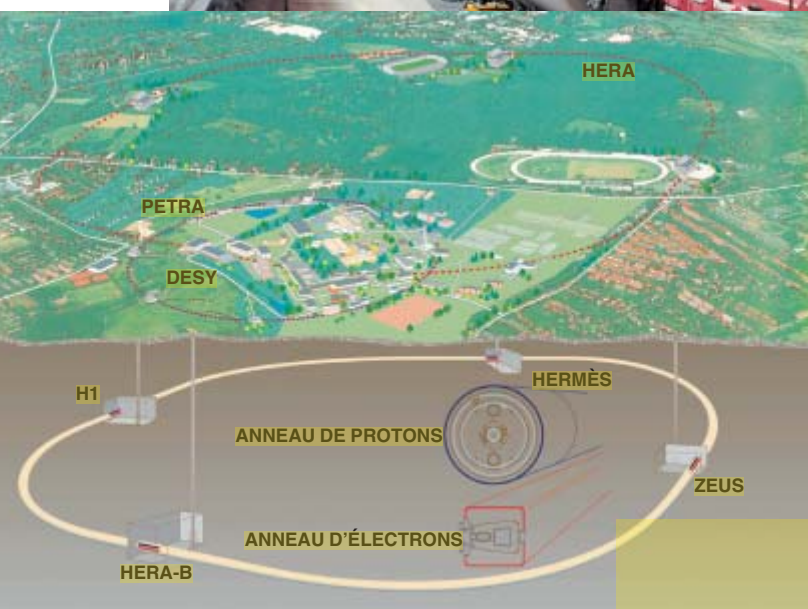
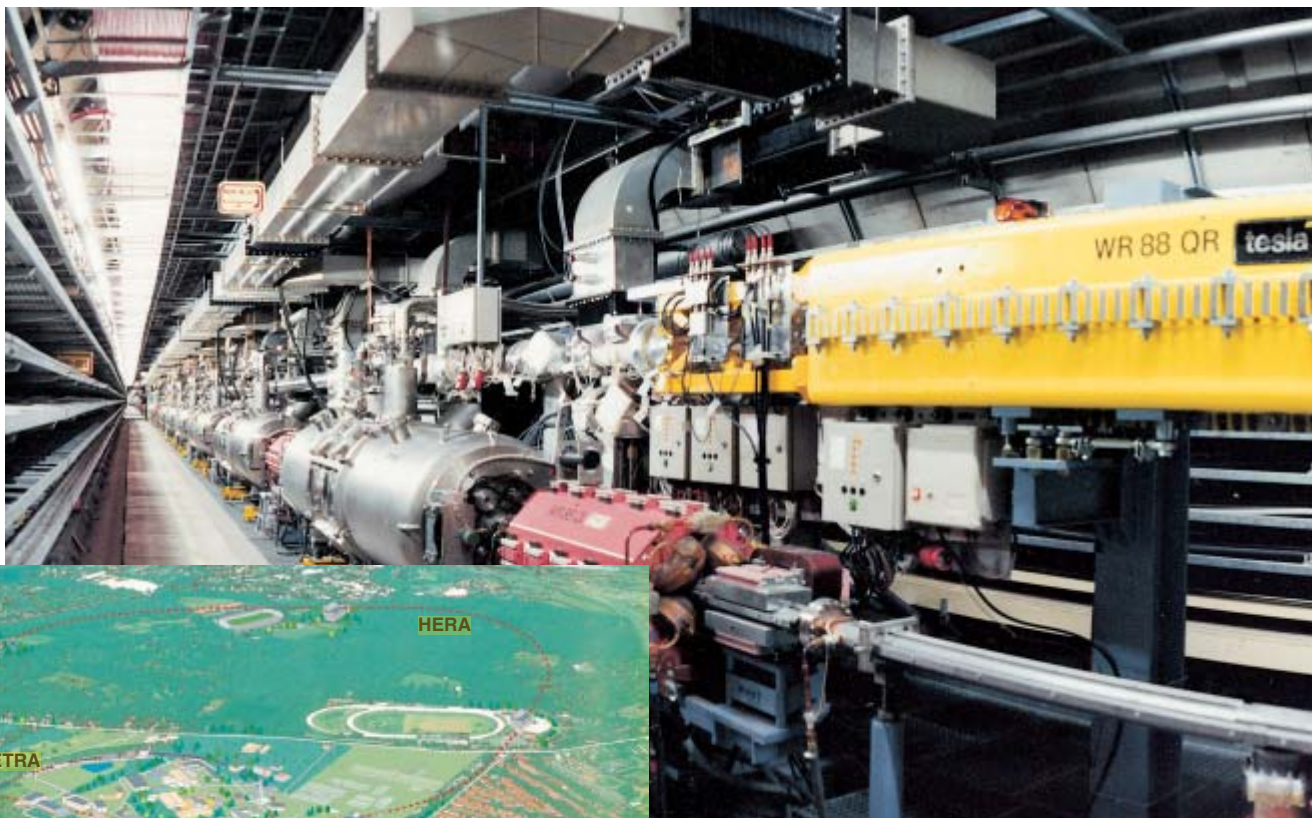
lepton. Ce type de particule participe aux interactions électromagnétiques et aux interactions faibles. Les hadrons sont des particules massives constituées de groupes de trois ou de deux quarks. Il existe en tout six quarks différents, qui participent à toutes les interactions.

L'accélérateur HERA est le plus grand de ceux qui équipent le centre de recherches DESY, à Hambourg. L'ensemble est constitué de deux anneaux où les particules sont accélérées. D'une circonférence de 6 336 mètres, chacun d'eux est enfoui à 30 mètres sous la ville. Le premier anneau accélère des électrons jusqu'à ce que leur énergie cinétique atteigne 27,5 giga-électronvolts, soit 27,5 milliards d'électronvolts (un électronvolt est l'énergie acquise par un électron accéléré par une différence de potentiel égale à un volt). Le second anneau confère aux protons une énergie cinétique de 920 giga-électronvolts. Ainsi accélérés, les électrons et les protons des deux anneaux circulent en sens inverses pendant des heures. Ils finissent par atteindre une vitesse proche de la vitesse de la lumière, et tournoient à 47 000 tours par seconde juste avant d'être précipités les uns contre les autres ! Les collisions ont lieu dans les grandes salles d'expérience où se trouvent les détecteurs H1 et Zeus. Pesant plusieurs milliers de tonnes, hauts comme une maison, ils ont été conçus pour enregistrer les collisions et toutes les traces des particules qui en sont issues. Des milliers de tels «événements» sont traités par ces détecteurs. Seuls les plus intéressants sont sélectionnés et conservés pour un examen approfondi.

HERA fonctionne depuis 1992. Près de 400 physiciens de 12 pays participent en permanence aux expériences en cours. Chaque collision produit d'abondantes données, et les physiciens qui analysent les résultats doivent passer au crible des centaines de milliards d'octets. Ils n'auraient aucune chance d'y parvenir s'ils ne disposaient de procédures automatiques. Cela sera encore plus nécessaire à l'avenir, puisque les travaux en cours sur l'accélérateur multiplieront le nombre d'événements enregistrés par cinq. La reprise des expériences est prévue pour l'automne 2001.

HERA est le premier et le seul collisionneur conçu pour que des particules aussi différentes que des protons et

DESY/Spektrum der Wissenschaft



2. LE SYNCHROTRON DESY est localisé au Nord-Ouest de Hambourg. Long de plus de six kilomètres, le tunnel de l'accélérateur HERA, passe sous plusieurs quartiers résidentiels, sous des zones industrielles et sous un grand jardin public. Plus ancien que celui d'HERA, l'anneau collisionneur de PETRA encercle les bâtiments du Centre de recherches DESY. Le collisionneur HERA est le seul collisionneur où des électrons et des protons entrent en collision à haute énergie.

des électrons y entrent en collision à une énergie aussi importante. Un électron est une particule «élémentaire», ce qui signifie qu'on ne lui connaît pas de constituants plus petits que lui. Ses interactions sont parfaitement connues, et son caractère ponctuel en fait une sonde idéale pour explorer les structures de particules plus grosses que lui. En comparaison avec lui, le proton est un «immense» assemblage de 10^{-15} mètre de diamètre. Les expériences faites à Hambourg pour l'étude des forces responsables de la cohésion du proton complètent celles qui sont menées dans les deux autres grands accélérateurs : le LEP, le grand collisionneur pour électrons et positons du CERN, à Genève, et le TEVATRON, l'accélérateur à protons et anti-protons du Fermilab, près de Chicago.

Les électrons accélérés à HERA ont environ dix fois plus d'énergie que les

électrons et les muons (des cousins massifs de l'électron) utilisés dans le passé pour explorer la structure du proton. Ainsi HERA est une sorte de «supermicroscope électronique» capable de révéler en détail l'intérieur du proton. On y découvre des structures quelque 2 000 fois plus petites que le proton lui-même, c'est-à-dire de l'ordre de 0,000 000 000 000 000 5 mètre ! Sans une telle précision, on ne pourrait étudier les interactions entre électrons et quarks, ou encore celles que subissent les quarks constitutifs du proton. Cette «résolution» du microscope électronique HERA est un inestimable atout pour l'étude des forces fondamentales, car plus les distances explorées sont petites, plus les physiciens ont de chances de découvrir un jour la nature de la force à l'origine de la formation de l'Univers.

Le modèle standard décrit l'ensemble des connaissances avérées sur le monde subatomique. Il est fondé

sur les briques élémentaires de la matière – six quarks et six leptons – et définit les règles auxquelles elles sont soumises. Toutes ces particules élémentaires sont ponctuelles, c'est-à-dire qu'aucune expérience n'a pu mettre en évidence un effet dû à leur volume. Le modèle standard contient aussi des particules intermédiaires, qui «véhiculent» les interactions. Ainsi, aucune interaction électromagnétique ne se déroule sans qu'un photon intermédiaire soit mis en jeu. De même, l'interaction faible est véhiculée par les bosons W et Z, deux particules massives qui, du point de vue des physiciens, ne forment qu'un seul et même «boson vectoriel». Au nombre de huit, les gluons véhiculent l'interaction forte. Notons finalement, qu'il est aussi possible d'inclure la gravitation dans le modèle standard. Si l'on adopte ce point de vue, alors une quatrième particule intermédiaire, le graviton, s'ajoute au trois autres. Elle véhicule l'interaction gravitationnelle.