

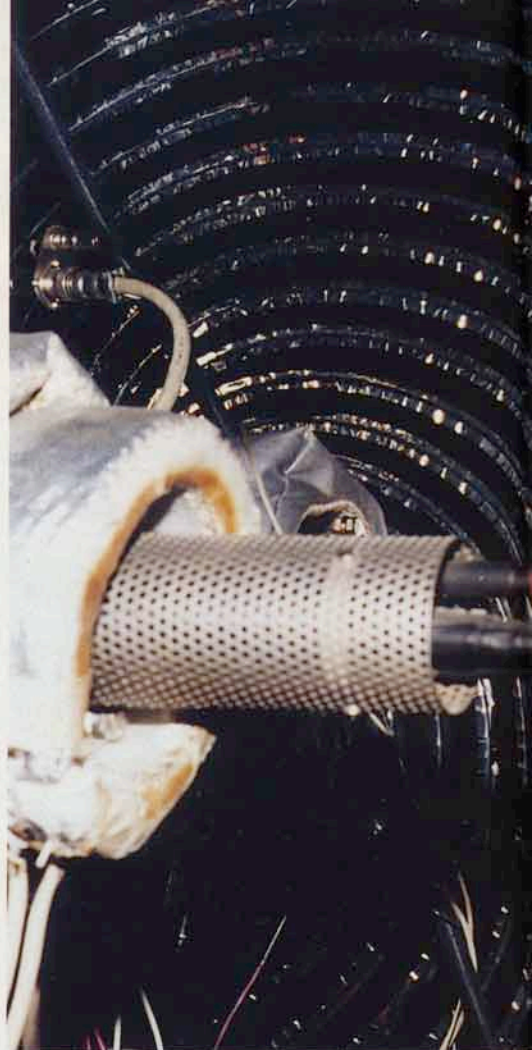
## Antichambre

**Q**UARANTE milliardièmes de seconde de bonheur : c'est le temps qu'ont eu les physiciens du Laboratoire européen pour la physique des particules (Cern) à Genève pour contempler, venus de l'antimonde, les tout premiers atomes d'antimatière jamais produits au laboratoire, ni même entrevus dans l'Univers. Car, contrairement à ce que l'on pourrait penser, l'antimatière n'est pas une invention de la science-fiction. Même si les vaisseaux de *Star trek* l'utilisent couramment comme combustible grâce à la "Trektechnologie avancée", c'est avant tout une réalité physique bien tangible à laquelle se frottent les physiciens depuis sa découverte en laboratoire, à partir de 1933. Et à laquelle se heurtent les cosmologistes depuis que le modèle du big bang a assis sa domination sur ses concurrents.

La physique moderne nous enseigne en effet que, dans la nature, chaque particule a son antiparticule, un double exactement symétrique mais de charge opposée. Les particules qui ne portent aucune charge sont leur propre antiparticule — c'est le cas notamment de celle de lumière, le photon. Une particule et son alter ego entretiennent d'étranges relations. Mises en présence l'une de l'autre, elles s'annihilent mutuelle-

*Dans une infime déchirure du temps, les physiciens du Cern viennent de réussir à créer un monde qui leur était interdit : celui de l'antimatière. Un tout petit Univers, fait de seulement neuf atomes d'anti-hydrogène mais qui constitue le premier espoir sérieux de voir élucidée la question essentielle laissée en suspens par le modèle actuel du big bang : où est passée toute l'antimatière créée aux débuts de l'Univers ?*

Jean-Marc Bonnet-Bidaud  
astrophysicien au CEA



# Les premiers atomes de l'antimonde

ment pour disparaître sous forme d'énergie pure. Encore bien plus étrange : à l'inverse, si on concentre en n'importe quel point de l'espace une énergie suffisante, on verra alors apparaître comme par magie de la matière et toujours par paire, une particule et son antiparticule associée. Matière et antimatière sont donc deux sœurs jumelles, condamnées à disparaître dès qu'elles s'aperçoivent, comme Eurydice aux yeux d'Orphée. Mais condamnées aussi à apparaître : même si l'antimatière est apparemment absente de notre monde matériel, elle reste ainsi tapie dans un monde virtuel toujours présent.

Toutes ces propriétés ont été vérifiées et étudiées en détail par les physiciens dans ces immenses laboratoires que sont les grands accélérateurs comme le Cern, où l'antimatière a été patiemment approvoisée

depuis plusieurs décennies. En revanche pour les cosmologistes, elle reste une véritable bête noire. En effet, selon le big bang, le modèle actuellement dominant, l'Univers a traversé, dans un passé tout proche de ses "débuts", une phase très chaude où était justement disponible une énergie pure, d'origine non élucidée. Une énergie suffisamment concentrée pour permettre l'apparition par paires de particules et d'antiparticules. C'est ainsi que la matière est apparue avec, dans le même temps, l'antimatière en quantité strictement égale. Mais hormis son existence éphémère en très petite quantité dans nos accélérateurs et autour de certains astres très exotiques de notre galaxie, cette antimatière manque à l'appel dans notre environnement proche et probablement dans de très larges régions de l'Univers. Cette absence constitue

même actuellement la faiblesse conceptuelle la plus grave du modèle du big bang, qui empêche de pouvoir considérer celui-ci comme une théorie de l'Univers. Comment sortir de ce cercle vicieux ? Pourquoi la matière est-elle devenue orpheline de sa sœur jumelle ?

Tous les espoirs se sont portés depuis plusieurs dizaines d'années sur une éventuelle faille dans la symétrie parfaite entre matière et antimatière. On a invoqué une infime brisure de symétrie qui, à l'issue d'un subtil bras de fer fait de destructions mutuelles, aurait donné à la matière dont nous sommes constitués un léger avantage sur l'antimatière. Les cosmologistes ont pu calculer, à partir de la quantité de matière et du rayonnement présents aujourd'hui, que cet avantage n'aurait été que d'une partie sur un milliard. D'un



C'est là que la percée de l'équipe du Cern prend tout son sens. Fabriquer des particules d'antimatière comme antiprotons ou antiélectrons est désormais une routine dans les accélérateurs. Celui baptisé Lear<sup>(1)</sup>, qu'a utilisé l'équipe du Pr Walter Oelert, en produit quelque 500 000 par seconde. En revanche, réussir à venir greffer délicatement un antiélectron autour d'un antiproton relève d'un prodigieux tour de force, d'une débauche d'énergie et d'un iota de chance !

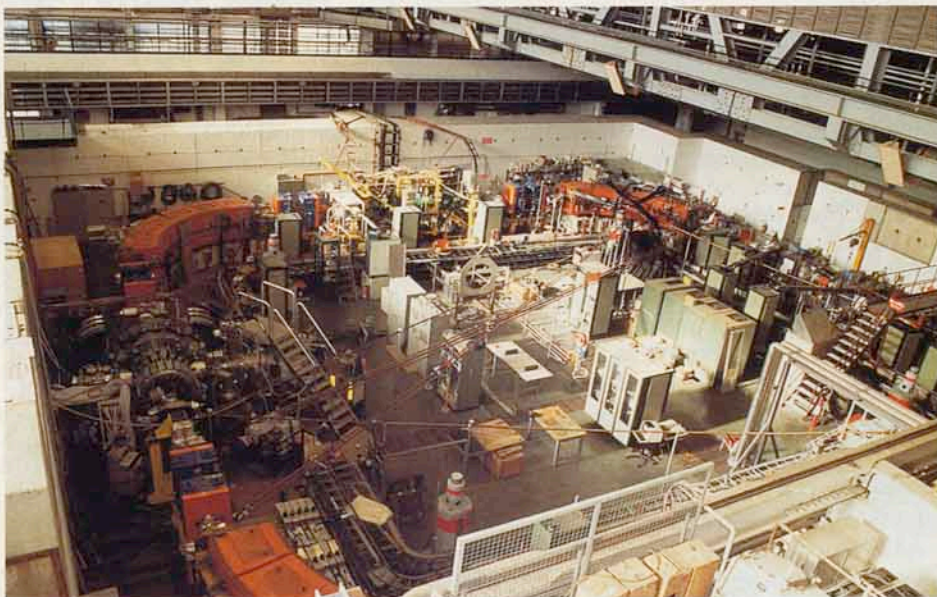
Trois accélérateurs différents, dont l'un de plus de 100 m de diamètre, et une succession d'opérations délicates ont été nécessaires. Des protons ont d'abord été accélérés qui, en venant bombarder une cible de cuivre, ont produit

**Victoire historique sur l'antimatière : l'équipe du Cern dirigée par Walter Oelert (ci-contre) a réussi pour la première fois à accoler les habituels antiprotons et anti-électrons qui surgissent à la pelle dans les accélérateurs (ci-dessous, Lear) en neuf véritables atomes d'anti-hydrogène.**

Photos Cern

défaut aussi infime serait né le monde. Le big bang rejoint ainsi la belle histoire de la création du monde racontée par les astronomes chinois de la cour du prince mécène Huai Nan vers 140 av. J.-C. Selon eux en effet, "il y a très longtemps, Gong Gong disputait le trône à Zhuan Xu. Dans sa colère, il frôla le mont Bu Zhou qui soutenait le monde. Les piliers du Ciel se rompirent et les liens avec la Terre furent brisés. C'est ainsi que le Ciel pencha vers le nord-ouest et le Soleil, la Lune et la Terre se mirent en mouvement."

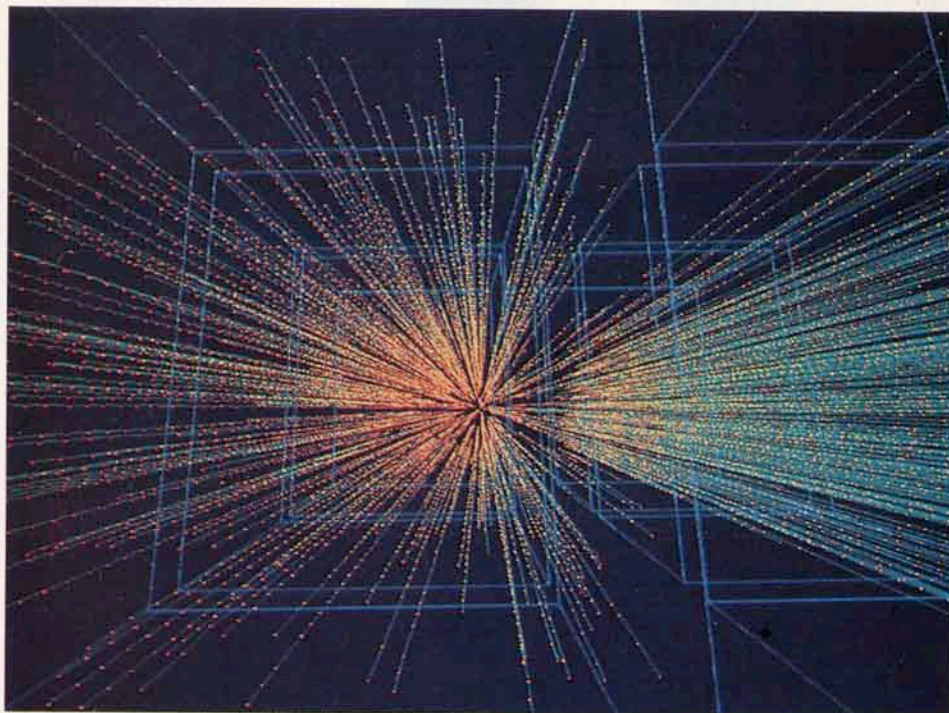
Ce petit défaut de l'antimatière est traqué depuis près de trente ans dans les accélérateurs mais toujours sans succès. Un vent d'espoir avait soufflé en 1964, lorsque deux chercheurs Val Fitch et James Cronin, auxquels fut décerné le prix Nobel en 1980, découvrirent qu'une particule au moins, le méson Ko ou kaon, possédait une antiparticule qui ne lui était pas rigoureusement symétrique. Malheureusement, la différence était environ dix milliards de fois trop faible pour avoir eu une influence lors du big bang ! Le physicien soviétique Andreï Sakharov imagina néanmoins dans la foulée qu'il pouvait en être de même pour le proton et que, à condition d'accepter une propriété de transmutation prédite par certaines théories d'unification des forces, on tenait



là la solution. Le proton devait alors être lui-même très légèrement instable. D'énormes équipes se mirent au travail pour vérifier cette hypothèse et, en 1992, la réponse tomba : le proton est désespérément stable. Échec sur toute la ligne et retour à la case départ.

La priorité essentielle est désormais de fabriquer suffisamment d'antimatière pour pouvoir l'étudier en détail directement.

des antiprotons. Ces derniers ont été collectés puis ralentis et enfin injectés dans un anneau où on les a condamnés à traverser une petite région emplies de xénon, plus de trois millions de fois par seconde. La collision des antiprotons et des atomes de gaz conduisant parfois à la création d'une paire électron/anti-électron, les scientifiques ont sagement attendu que le miracle s'opère. Dans des cas rarissimes, il s'est



trouvé que l'anti-électron était presque immobile par rapport à l'antiproton et qu'il s'est mis sagement en orbite. L'atome d'anti-hydrogène était formé... Dans ce loto atomique, neuf réussites sur des milliers d'essais, c'est un résultat honorable ! "Il s'agit davantage d'une démonstration que d'une véritable expérience, nuance cependant G. Chardin du Service de physique des particules du CEA de Saclay. Cette réussite élégante ouvre des horizons fantastiques, mais ne peut servir directement à l'étude de l'antimatière."

Ces collisions sont en effet comme la collecte de l'eau dans un seau percé. Les anti-atomes ont, dans les accélérateurs, des vitesses si élevées et une durée de vie si courte qu'il est impossible de les arrêter pour leur demander leurs caractéristiques.

Or les physiciens traquent précisément ici de minuscules différences. La voie qu'ils ont choisie jusqu'alors était de ralentir les antiparticules jusqu'à les immobiliser au centre de "bouteilles magnétiques" où la conjugaison d'un vide quasi parfait, d'une température de seulement quelques millidegrés au-dessus du zéro absolu et d'une superposition de champs magnétique et électrique les maintient sans contact avec la matière. Alors seulement peuvent s'opérer les mesures de précision requises<sup>(2)</sup>.

Arriver à emprisonner, dans les mêmes conditions, de véritables anti-atomes plutôt que des antiparticules isolées est désormais le but à atteindre. C'est de cette étape ultérieure que les scientifiques attendent les progrès les plus spectaculaires. Bond en avant, d'abord, dans la "simplification"

### Alpha à la recherche d'antimatière

EXISTE-T-IL OUI OU NON des îlots d'antimatière dans l'Univers ? Le détecteur AMS (Alpha Magnetic Spectrometer), passager de la future station spatiale internationale Alpha, pourrait bien mettre fin à la controverse d'ici une dizaine d'années. Prévu pour voler à bord de la navette en 1998 puis, si tout va bien, pour être installé en 2001 à l'extérieur de la station Alpha, le détecteur devrait faire en trois ans le plein de rayons cosmiques. L'intense champ magnétique produit par un aimant permanent de deux tonnes dévia les fameux rayons provenant des amas de galaxies lointains — les scientifiques ont maintenant la certitude, via la connaissance du rayonnement gamma, que la matière n'est qu'ordinaire dans un rayon de 30 millions d'années-lumière. Que l'un de ces rayons cosmiques soit dévié dans la direction opposée à tous ses pairs, et il s'agira alors d'un antiproton, trahissant une antigalaxie aux confins de l'Univers... Les physiciens n'y croient guère, mais justement : pour exclure cette théorie, il leur faudra capturer au moins un million de rayons cosmiques. **B. G.**

*Prochain objectif : immobiliser les très fugaces anti-atomes, et leur faire livrer leurs secrets. Étape déterminante où la théorie du big bang — bien en peine pour l'instant d'expliquer la prédominance de la matière sur l'antimatière constatée dans l'Univers — jouera sa crédibilité...*

des expériences : au contraire des particules électriquement chargées, les atomes neutres sont insensibles aux irrégularités parasites des champs électriques, ce qui diminue considérablement les sources d'erreur. Mais surtout percée dans la précision même des mesures : l'atome d'hydrogène est un petit système solaire en miniature où sont définies de façon très précise les orbites possibles de l'électron autour du proton. Chacune de ces orbites peut être mesurée par la spectroscopie avec une précision qui atteint la onzième décimale ! Ces mesures ont été réalisées avec l'hydrogène, mais jamais avec l'anti-hydrogène. À ce niveau de précision, si elle existe, l'infime dissymétrie tant recherchée par les cosmologistes devrait apparaître enfin. Le big bang serait ainsi réconcilié avec l'antimatière.

En revanche, si l'antimatière devait persister à nous révéler une symétrie parfaite, il faudrait se résoudre à considérer que, si elle a bien été créée avec la matière, elle s'en est ensuite définitivement séparée en formant des antimondes d'antigalaxies et d'anti-étoiles qui existent réellement mais dont nous ne pouvons pas discerner la nature exacte car ils émettent des anti-photons qui sont en fait des... photons. Cette idée, largement débattue dans les années 70 notamment par le prix Nobel H. Alfvén, qui vient de disparaître, et également par Roland Omnes de l'université d'Orsay, n'a pour l'instant pas convaincu les astrophysiciens.

Si cette antimatière était proche de nous et intimement mêlée à la matière, elle devrait en effet, en s'annihilant avec la matière, se manifester sous forme d'un intense flux de rayons gamma qui n'est pas observé. Mais l'argument est beaucoup moins convaincant si l'antimatière est nettement séparée de son double. De plus, si elle est rejetée à de grandes distances dans l'Univers, la radiation gamma émise serait décalée vers des énergies plus basses par l'expansion et deviendrait indiscernable de celle émise par d'autres sources. Il reste donc bien la possibilité que le big bang ait accouché de jumeaux, un Univers et un anti-Univers qui s'ignorent aujourd'hui royalement. ■

(1) Pour Low Energy Antiproton Ring : anneau d'antiprotons de basse énergie.

(2) Voir Ciel et Espace de février 1993, n° 277.