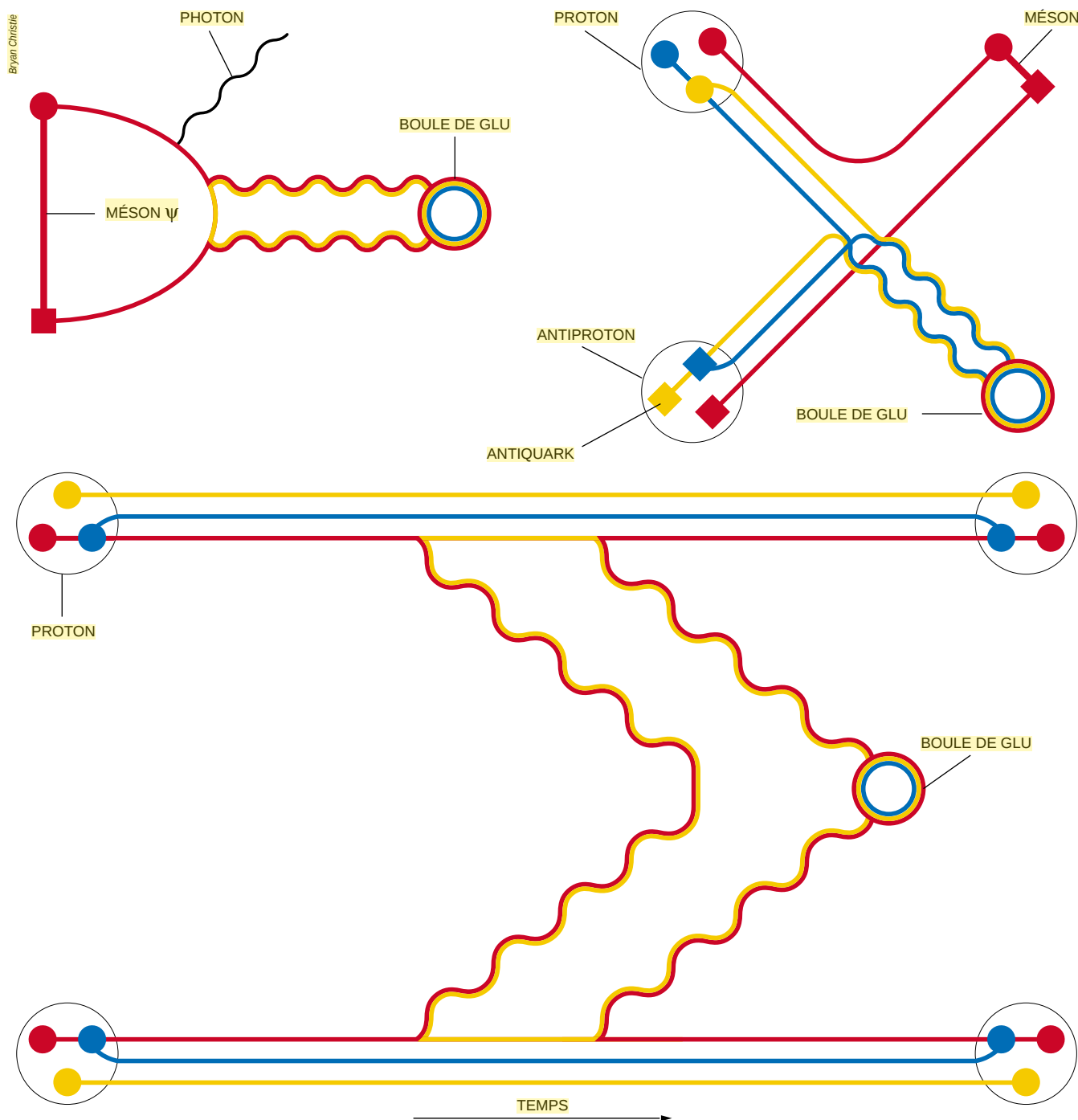


indique si une particule et son antiparticule ont les mêmes propriétés). Les hybrides exotiques sont caractérisés par des combinaisons rares de ces trois nombres quantiques. Les nombres C et P du méson standard, dont le moment cinétique J est égal à 1, sont égaux à -1 . L'hybride exotique le plus simple correspond à $J = 1$, $P = -1$ et $C = +1$.

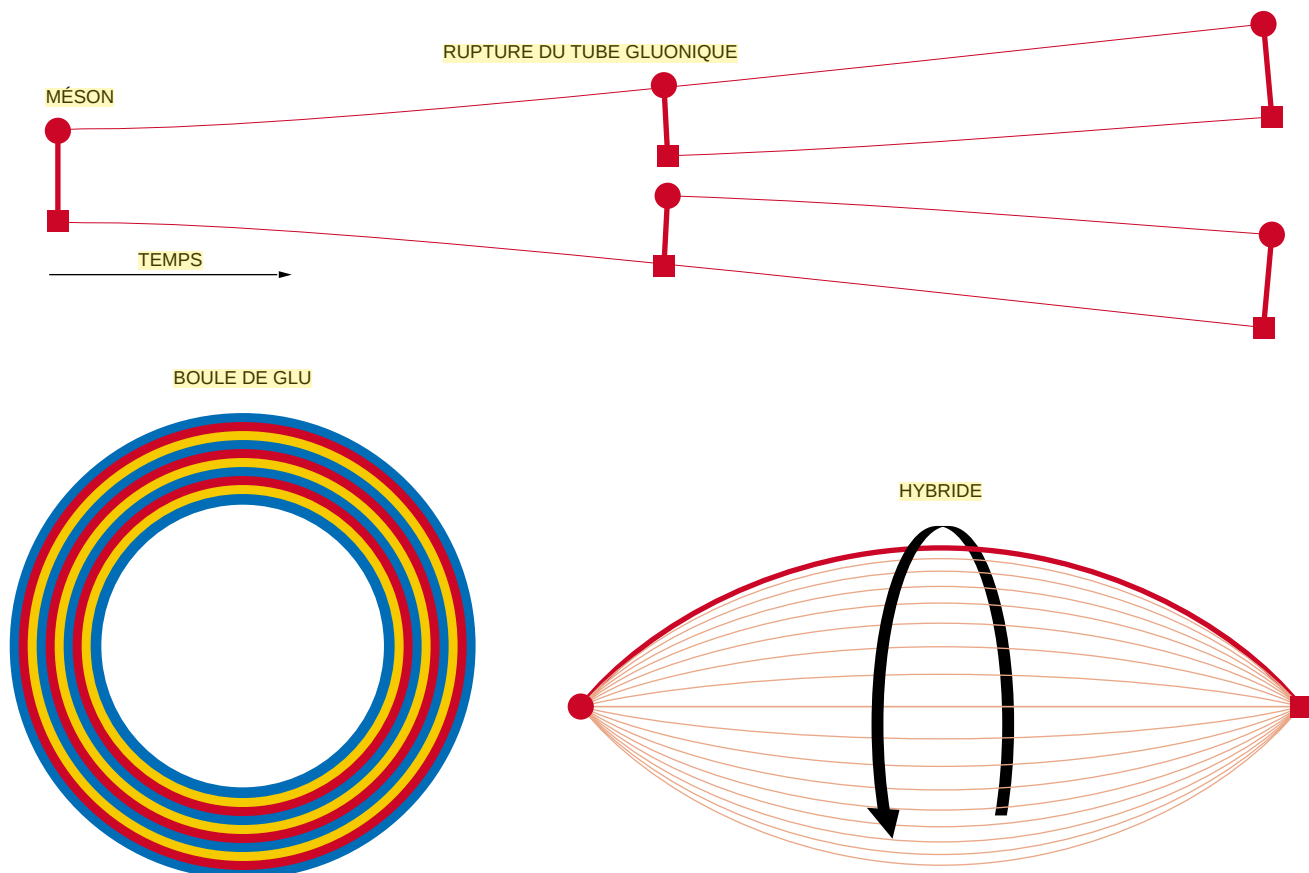
En 1997, des expérimentateurs du Laboratoire de Brookhaven, travaillant également avec des faisceaux de pions et des cibles de protons, ont trouvé cet hybride exotique. Peu après, le groupe Crystal Barrel (en français, tonneau de cristal) du CERN, à Genève, a détecté des traces de cette même particule. Les expérimentateurs cherchaient seu-

lement deux mésons d'énergie minimale, le η (méson éta) et le π (méson pi ou pion), qui ne sont pas les produits les plus abondants d'une désintégration d'hybride exotique, mais ceux qui sont détectables le plus facilement. À l'époque, l'un de nous (F. Close) préconisait d'orienter les recherches sur les boules de glu de masses comprises entre



4. LA PRÉSENCE DES BOULES DE GLU est probable dans les réactions auxquelles participent des gluons. Par exemple, un méson ψ (psi) se désintègre en libérant un photon et deux gluons. Ces derniers s'associent pour former une boule de glu (a). Les quarks d'un proton interagissent avec les antiquarks d'un antiproton contre lequel le proton s'écrase (b) : deux gluons

et un méson sont émis. Les gluons peuvent alors se combiner en une boule de glu. En outre, lorsque deux protons se heurtent, leurs quarks constitutifs échangent des gluons (c). Deux de ces gluons peuvent également fusionner en une boule de glu qui se désintégrerait alors de diverses manières, par exemple en deux pions ou en d'autres mésons (*non représentés ici*).



5. LE MÉSON, LA BOULE DE GLU ET L'HYBRIDE sont trois particules composées dont les constituants sont liés par un tube de gluons. Un méson est constitué d'un quark et d'un antiquark reliés par un tube de gluons. On considère que la couleur prend sa source dans le quark et «s'écoule» vers l'antiquark. Quand le tube se rompt, ses extrémités colorées se comportent de la même manière qu'un quark et un antiquark : deux mésons sont créés. Selon la chromodynamique quan-

tique sur réseau, une boule de glu est un anneau de glu, c'est-à-dire un tube de glu refermé sur lui-même et qui ne contient ni quark ni antiquark. La neutralisation des couleurs des gluons stabilise les boules de glu. Un hybride, autre particule hypothétique, est essentiellement un méson où le tube de gluons tourne autour de la droite reliant le quark et l'antiquark. On peut le considérer comme un méson formé d'un quark et d'un antiquark auquel est ajouté un gluon.

1 500 et 1 800 millions d'électronvolts – sans savoir que le groupe Crystal Barrel découvrait une particule de courte durée de vie baptisée $f_0(1500)$, dont le moment cinétique est nul, comme l'indique l'indice, tandis que sa masse se situe dans l'intervalle prévu. Cette particule est probablement la plus légère des boules de glu existantes.

En 1993, utilisant la théorie sur réseau, une équipe de l'Université d'Édimbourg a attribué aux boules de glu une masse de 1 550 millions d'électronvolts. Peu après, D. Weingarten et ses collaborateurs du Centre de recherches Thomas Watson ont calculé une masse de 1 740 millions d'électronvolts. Par la suite, ils ont prédit une durée de vie des boules de glu égale à 10^{-24} seconde (un milliardième de milliardième de seconde). Néanmoins, cet infime laps de temps est suffisant pour que la boule de glu soit détectable.

Depuis la fin des années 1980, les expérimentateurs soupçonnent

également l'existence d'un objet qui a été nommé $f_J(1710)$, dont le moment cinétique J reste inconnu. Si J est nul, cette particule sera une autre candidate au statut de boule de glu.

La théorie quantique complique encore tout, car elle prévoit le mélange de deux objets qui ont des nombres quantiques identiques et des masses peu différentes. Or, les calculs prédisent l'existence de deux mésons de nombres quantiques et de masses voisins de ceux de la boule de glu : la boule de glu devrait donc se mélanger à ces mésons pour donner trois objets plus compliqués, partiellement composés de glu. Le $f_0(1500)$ et le $f_J(1710)$ ont des caractéristiques telles que semblent en avoir des demi-boules de glu. On cherche à confirmer cette présomption.

Dans quelques semaines, au Japon et aux États-Unis, de nouveaux accélérateurs produiront en abondance des mésons B (voir *L'asymétrie de la matière*, par Helen Quinn et Michael Witherell, *Pour la Science*, janvier 1999).

On utilisera ces mésons pour étudier les boules de glu et les hybrides.

Ultérieurement, à l'Accélérateur Thomas Jefferson, en Virginie, on cherchera des boules de glu et des hybrides. En 2001, le CERN s'associera à ces recherches. Une de ces expériences fournira-t-elle des preuves définitives de l'existence des boules de glu ?

Frank CLOSE travaille au Laboratoire Rutherford Appleton de Cambridge. Philip PAGE travaille au Laboratoire national de Los Alamos.

Frank CLOSE, *The Quark Structure of Matter*, in *The New Physics*, sous la direction de Paul Davies, Cambridge University Press, 1989.

F.E. CLOSE, *Glueballs and Hybrids: New States of Matter*, in *Contemporary Physics*, vol. 38, n° 1, pp. 1-12, janvier 1997.

F.E. CLOSE, *Particle Physics: Exotic Meson Plays Hard-to-Get*, in *Nature*, vol. 389, pp. 230-231, 18 septembre 1997.