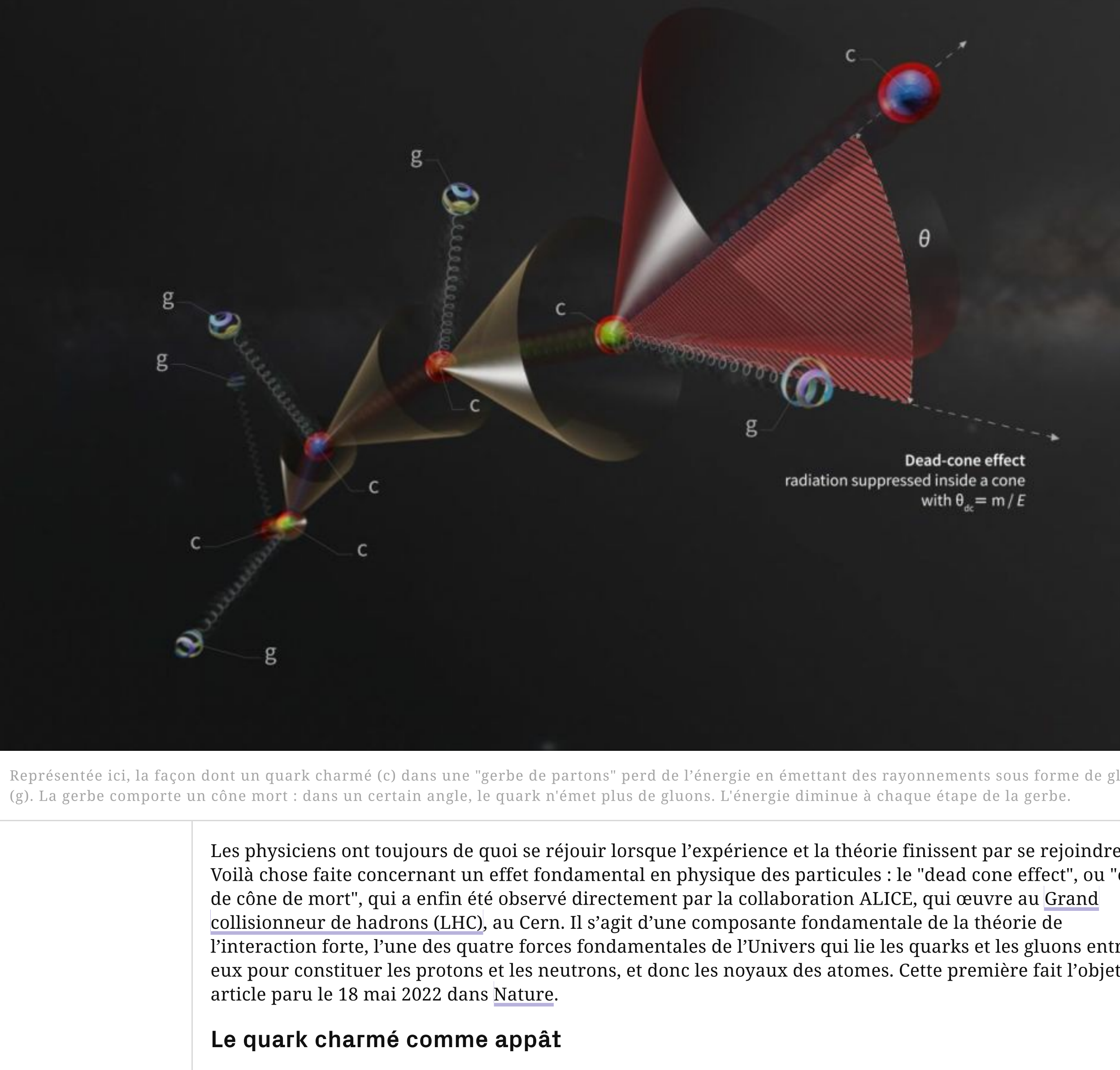


## Première observation de l'effet de "cône mort", fondamental en physique des particules

Par **Marine Benoit** le 20.05.2022 à 17h44

🕒 Lecture 5 min.

Trente ans qu'il est théorisé, presque tout autant qu'il est traqué. Le "dead cone effect" a pu être observé pour la première fois dans des données issues de collisions de particules au LHC. En tant que jalon de l'interaction forte, son observation était très attendue. Cette dernière donne surtout un accès expérimental direct à la masse d'une particule élémentaire appelée quark charmé.



Représentée ici, la façon dont un quark charmé (c) dans une "gerbe de partons" perd de l'énergie en émettant des rayonnements sous forme de gluons (g). La gerbe comporte un cône mort : dans un certain angle, le quark n'émet plus de gluons. L'énergie diminue à chaque étape de la gerbe.

Les physiciens ont toujours de quoi se réjouir lorsque l'expérience et la théorie finissent par se rejoindre. Voilà chose faite concernant un effet fondamental en physique des particules : le "dead cone effect", ou "effet de cône de mort", qui a enfin été observé directement par la collaboration ALICE, qui œuvre au **Grand collisionneur de hadrons (LHC)**, au Cern. Il s'agit d'une composante fondamentale de la théorie de l'interaction forte, l'une des quatre forces fondamentales de l'Univers qui lie les quarks et les gluons entre eux pour constituer les protons et les neutrons, et donc les noyaux des atomes. Cette première fait l'objet d'un article paru le 18 mai 2022 dans **Nature**.

### Le quark charmé comme appât

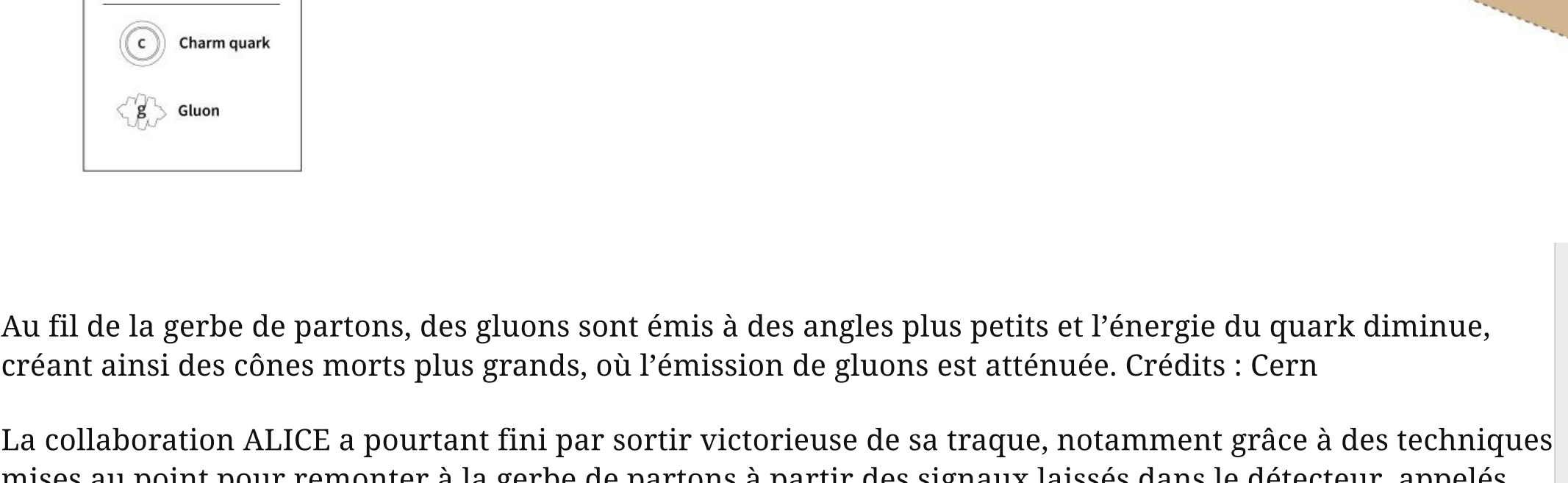
Pour comprendre ce qu'est l'effet de cône mort, il est nécessaire de rappeler quelques bases. Le modèle standard établit qu'il existe trois familles de quarks, ces particules élémentaires liées entre elles par d'autres particules, les gluons. Il en existe six sortes différentes, appelées "saveurs" : up (u) et down (d), strange (s) et charm (c), et bottom (b) et top (t). Up et down, qui forment la première famille, constitue la matière ordinaire telle que nous la connaissons. Les quarks strange, charm, bottom et top, appartenant respectivement à la deuxième et troisième famille, n'existent plus sur Terre mais sont présents dans les rayons cosmiques (on les retrouvait également aux âges plus reculés de l'Univers, juste après le Big Bang). On peut néanmoins les "fabriquer" dans les collisionneurs de particules, comme dans celui du LHC. Ils ont l'avantage d'être plus massifs que les quarks de la première famille, et donc de mieux se prêter aux expériences. Dans le cadre de l'expérience ALICE, on scrute entre autres ce que l'on appelle des partons, soit des combinaisons de quarks et de gluons (la particule qui permet de "coller" les quarks entre eux).

Dans un infime laps de temps après une collision proton-proton, un quark charmé (c) libre est produit. Avant de se retrouver à son tour confiné dans un hadron (sous forme de parton), ce quark charmé se met à "rayonner", c'est-à-dire à perdre de l'énergie en émettant lui-même des gluons. Cette transformation fertile, appelée "gerbe de partons", occasionne à son tour tout un tas d'autres événements, puisque les nouvelles particules produites subissent aussi dans la foulée des transformations en cascade.

L'effet de cône mort est ainsi l'un des aspects de la configuration du rayonnement du quark : il correspond à une région autour de lui dans laquelle les nouvelles particules émises sont peu nombreuses. En somme, un angle ou cône "mort" où l'émission de gluons est atténuée. "C'est un peu comme si vous donniez au quark une lampe de poche mais qu'il n'avait pas le droit de diriger son faisceau dans une certaine direction", compare auprès de Sciences et Avenir Andreas Morsch, physicien des particules et membre de la collaboration ALICE. "À la différence que les photons émis par la lampe de poche sont des gluons."

### Comparaison

Prédit il y a trente ans par les physiciens-théoriciens étudiant l'interaction forte, cet effet de cône mort n'avait jusqu'à présent été observé que de façon indirecte dans les collisionneurs. Et pour cause : le cerner dans une masse de données à partir du profil de rayonnement de la gerbe de partons constitue un véritable défi, principalement parce que le cône mort n'est pas forcément vide (il peut être rempli par les particules émises précédemment).



Au fil de la gerbe de partons, des gluons sont émis à des angles plus petits et l'énergie du quark diminue, créant ainsi des cônes morts plus grands, où l'émission de gluons est atténuée. Crédits : Cern

La collaboration ALICE a pourtant fini par sortir victorieuse de sa traque, notamment grâce à des techniques mises au point pour remonter à la gerbe de partons à partir des signaux laissés dans le détecteur, appelés "jets" de particules. L'idée était de se concentrer sur les jets incluant un quark charmé, et d'observer les processus de transformation que ce dernier avait subi. Un peu comme s'agissait de retracer son parcours, remonter dans son historique. Dans un second temps, les chercheurs ont pu comparer cet historique d'émissions de gluons avec celui d'autres types de quarks plus légers. "L'effet de cône mort étant proportionnel à la masse du quark, l'angle est plus grand pour les quarks lourds que pour les quarks légers", explique Andreas Morsch. "C'est donc par comparaison avec d'autres jets de particules plus légères que nous avons pu le piéger, dans le profil du quark charmé."

### Une brèche vers la masse

Outre le fait qu'il harmonise enfin théorie et expérience, ce résultat a un intérêt majeur : il permet de donner un accès direct à la masse d'un quark charmé isolé, puisque la théorie prédit que les particules de masse nulle ne présentent pas de cône mort correspondant. "Les masses des quarks sont des quantités fondamentales en physique des particules, mais il n'est pas possible de les observer et de les mesurer directement lors des expériences car, à l'exception du quark top, les quarks sont confinés à l'intérieur de particules composites", détaille Andrea Dainese, coordinateur de la physique d'ALICE, dans un **communiqué**. "Notre technique nous a permis d'observer directement le cône mort d'une gerbe de partons ; elle pourrait nous donner un moyen de mesurer la masse des quarks."