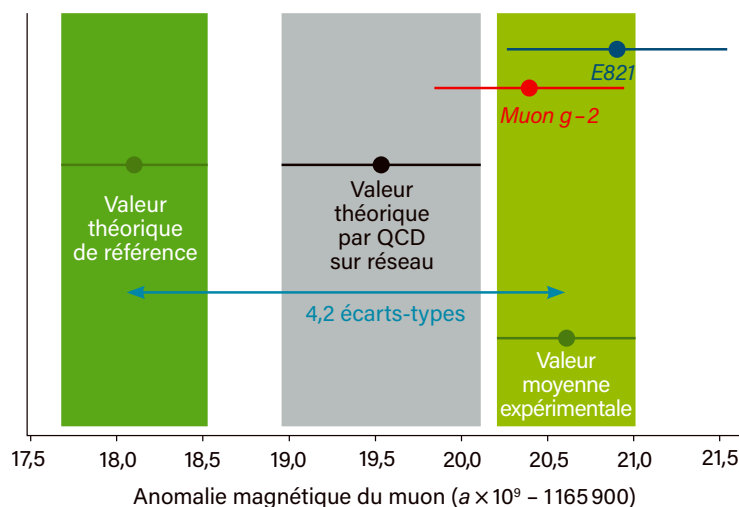




← Le calcul théorique de référence donne une valeur de l'anomalie magnétique du muon plus basse que la valeur moyenne des deux expériences (E821 et Muon g-2). En calculant par une méthode différente, la QCD sur réseau, la collaboration BMW a obtenu un résultat plus proche de la valeur expérimentale.

reposant sur le même principe, il sera intéressant de confirmer cette tension avec le modèle standard en mesurant le moment magnétique anomal du muon d'une autre façon. Des physiciens de J-Parc, un centre de recherche au Japon, préparent actuellement une telle expérience, nommée E34.

La balle semble donc encore dans le camp des expérimentateurs. Pourtant, une autre équipe de théoriciens, la collaboration «Budapest-Marseille-Wuppertal» (BMW), vient d'annoncer un résultat qui sème le trouble. Pour calculer la contribution hadronique dominante, elle a mis en œuvre une approche distincte grâce à une méthode nommée «chromodynamique quantique sur réseau». Cette technique est dite *ab initio*, car elle n'utilise que les équations du modèle sans paramètres supplémentaires et sans faire intervenir des données d'autres expériences (voir l'entretien avec L. Lellouch, page 68). En combinant leur résultat avec les autres contributions du modèle standard, les chercheurs ont ainsi obtenu la valeur $a_{\text{BMW}} = 116591954(57) \times 10^{-11}$.

Cette valeur est plus proche de la mesure expérimentale que la valeur théorique de 2020 (voir la figure ci-dessus). Elle pourrait même rendre caduque la tension entre l'expérience et la théorie ! Mais avant d'en tirer des conclusions définitives, il faudra que le résultat de ce calcul soit confirmé par d'autres équipes et il restera à comprendre pourquoi les deux approches théoriques conduisent à des valeurs différentes.

Si la divergence entre la mesure expérimentale et les prédictions théoriques persistait, ce serait probablement le signe de l'existence d'une

«nouvelle physique». Il faudra alors comprendre comment avancer au-delà du modèle standard. Quelle théorie explique le moment magnétique anomal mesuré tout en étant compatible avec toutes les autres expériences de physique des particules ? Il sera difficile d'y voir vraiment clair avec une seule mesure indiquant un accroc dans le modèle standard. L'espoir se trouve peut-être du côté du LHC. De récentes mesures dans l'expérience *LHCb* laissent entrevoir des signes de faiblesse du modèle standard. Mais la robustesse de ce modèle a déjà surpris les physiciens, et risque de le faire encore !

— L'auteur —

> **Sean Bailly**
est journaliste à *Pour la Science*
et docteur en physique.

— À lire —

> **B. Abi et al.** (Collaboration *Muon g-2*), Measurement of the positive muon anomalous magnetic moment to 0.46 ppm, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 126, article 141801, 2021.

> **S. Borsanyi et al.**, Leading hadronic contribution to the muon magnetic moment from lattice QCD, *Nature*, en ligne le 8 avril 2021.

> **R. Aaji et al.** (Collaboration *LHCb*), Test of lepton universality in beauty-quark decays, prépublication en ligne sur arXiv, 22 mars 2021. <https://arxiv.org/abs/2103.11769>



AcademiaNet offre un service unique aux instituts de recherche, aux journalistes et aux organisateurs de conférences qui recherchent des femmes d'exception dont l'expérience et les capacités de management complètent les compétences et la culture scientifique.

AcademiaNet, base de données regroupant toutes les femmes scientifiques d'exception, offre:

- Le profil de plus des 2.300 femmes scientifiques les plus qualifiées dans chaque discipline – et distinguées par des organisations de scientifiques ou des associations d'industriels renommées
- Des moteurs de recherche adaptés à des requêtes par discipline ou par domaine d'expertise
- Des reportages réguliers sur le thème »Women in Science«

Partenaires

Robert Bosch Stiftung

Spektrum
der Wissenschaft

nature

Pour la Science

“L'anomalie magnétique du muon, un défi théorique!”

68

Laurent Lellouch

→ Laurent Lellouch est directeur de recherche au CNRS et responsable de l'équipe de physique des particules au Centre de physique théorique (CNRS/Aix-Marseille Université/université de Toulon), à Marseille.



À ce niveau de précision, il faut inclure dans les calculs toutes les forces et presque toutes les particules du modèle standard. Théoriciens et supercalculateurs sont à la manœuvre, explique Laurent Lellouch.

Pourquoi les théoriciens s'intéressent-ils à l'anomalie magnétique du muon ?

Dès le milieu des années 1950, les physiciens se sont rendu compte que l'anomalie du moment magnétique du muon était environ 40 000 fois plus sensible que ne l'est celui de l'électron aux effets de particules virtuelles lourdes qui l'entourent, du fait de sa masse plus élevée. Cela en fait une sonde très sensible pour explorer les propriétés du vide quantique. Depuis cette époque, l'expérience et la théorie ont évolué en tandem autour de ce problème, chacune poussant l'autre à progresser. Cette dynamique est devenue d'autant plus importante en 2004 quand les résultats de l'expérience de Brookhaven n'étaient plus en accord avec le calcul théorique. La mesure de μ_{g-2} , à Fermilab, a renforcé cette tension.

Comment interpréter cette tension ?

Elle pourrait être le signe d'une faille dans le modèle standard. Mais avant de pouvoir conclure, il faut s'assurer qu'il n'y a pas de problèmes dans l'expérience, d'une part, et dans le calcul théorique, d'autre part. Ce dernier fait appel à des techniques de théorie quantique des champs très poussées. Comme évoqué précédemment, à cause de fluctuations quantiques, le muon est entouré d'une sorte de nuage de particules dites « virtuelles » qui contribuent à ses propriétés, et cela se traduit par des termes correctifs.

Au niveau de précision atteint par l'expérience, il faut inclure toutes les forces et presque toutes les particules décrites par le modèle standard dans le calcul de ces corrections. Par exemple, le muon peut émettre un photon virtuel et le réabsorber. Ce processus et le calcul correspondant peuvent être représentés par un diagramme de Feynman simple, dit « du premier ordre » (voir la figure page suivante). Mais on peut imaginer que le photon virtuel se transforme en une paire électron-positron qui, très vite, s'annihile et donne un photon. C'est un diagramme du deuxième ordre. La contribution des leptons et des photons est calculée grâce à une théorie développée dans les années 1940, l'électrodynamique quantique (QED). Les physiciens savent calculer cette contribution jusqu'au cinquième ordre, ce qui représente près de 13 000 diagrammes de Feynman. On calcule aussi la contribution des bosons W et Z jusqu'au deuxième ordre. Reste le secteur hadronique, avec les quarks et les gluons.

Ce dernier pose-t-il un problème ?

Ses corrections contribuent à une faible partie de l'anomalie magnétique du muon. Mais, parce que les équations de la théorie qui décrivent les interactions des quarks et des gluons sont hautement non linéaires, les calculs sont complexes, les incertitudes associées sont difficiles à contrôler et sont importantes. La composante dominante de cette correction correspond à une situation dans laquelle le muon émet un photon qui disparaît