Aux Pays-Bas, des physiciens réussissent une expérience jugée impossible sur un atome de titane et ouvrent une piste pour les futurs ordinateurs quantiques

Par **Eric Garletti**
21 novembre 2026 à 13 h 54 7 min de lecture

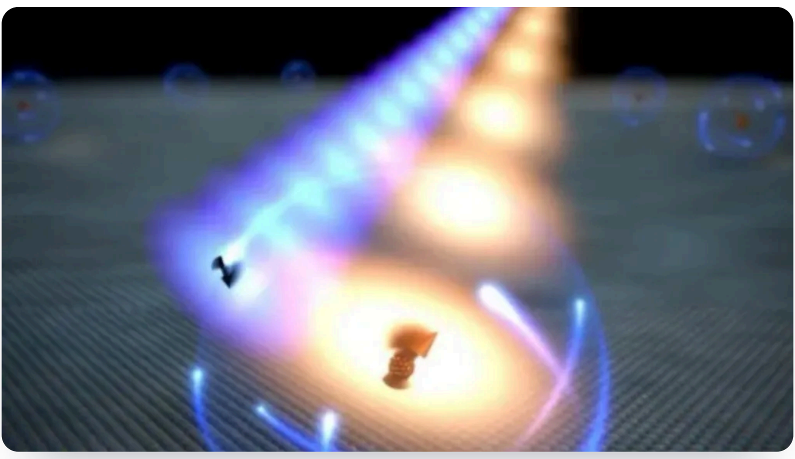

Illustration de l'expérience où les spins de l'électron (bleu) et du noyau (orange) au sein d'un même atome sont contrôlés indépendamment par des signaux d'ondes provenant de la pointe de la sonde d'un microscope à effet tunnel. Crédits : Scixel

Suivez Média24 sur Google
Ne ratez plus nos actus
Ajouter

Encore un mystère de plus à résoudre pour la physique quantique.

À la Delft University of Technology, aux Pays-Bas, une équipe du Kavli Institute of Nanoscience vient de réussir une manipulation que ses propres calculs n'avaient pas anticipée : piloter directement, par ondes radio, la minuscule boussole qui niche au cœur d'un atome unique. L'expérience a fonctionné de façon répétable… mais personne ne comprend encore pourquoi ?

Le résultat a été publié le 24 octobre 2026 dans Nature Communications par Hester Vennema, Cristina Mier, Evert Stolte, Leonard Edens, Jinwon Lee et Sander Otte et ouvre la porte à une foule de questions.

LIRE AUSSI :

- → **Le prix Nobel de physique ira sans doute un jour aux scientifiques qui ont découvert ce « diamant poreux » : la diamondiyne**
- → **Un record mondial et un bond de géant pour la science quantique grâce à ce diamant qui a lévité par la seule force du spin de ses électrons**

Des physiciens ont fait basculer le spin nucléaire d'un seul atome de titane : leurs modèles n'expliquent pas encore comment

L'instrument au cœur de l'histoire s'appelle un microscope à effet tunnel, ou STM pour *scanning tunneling microscope*.

Imaginez une pointe en métal affinée jusqu'à se terminer par un seul atome, que l'on promène à quelques dixièmes de nanomètre au-dessus d'une surface. Des électrons traversent alors, par effet tunnel quantique, l'espace infime séparant la pointe de la surface. Le courant électrique obtenu permet alors de cartographier cette dernière à l'échelle atomique. Pour cette expérience, le STM a été refroidi à 0,4 kelvin (-272,75 °C), soit à peine quatre dixièmes de degré au-dessus du zéro absolu.

Dans l'équipe de Sander Otte, on a modifié ce microscope pour en faire bien plus qu'un appareil d'imagerie. Il envoie désormais des ondes radio à travers sa pointe, directement sur un atome choisi. Cette configuration permet de jouer avec une propriété quantique fondamentale : le spin.

Des physiciens battent un record d'énergie laser dans les rayons X en dépassant la limite théorique du Nobel 2023

Le spin, c'est une sorte de moment magnétique interne aux particules. Chaque électron en possède un, et c'est l'alignement collectif de ces petits aimants qui produit le magnétisme d'un aimant de réfrigérateur. Un noyau atomique en possède un aussi, mais mille fois plus faible. Ce noyau magnétique minuscule est protégé par sa coquille d'électrons comme une bougie protégée par ses mains au milieu d'une tempête.

Le titane-47, un noyau choisi avec soin

Les chercheurs ont posé des atomes de titane sur une fine couche d'oxyde de magnésium, elle-même déposée sur de l'argent. Pas n'importe quel titane : l'isotope 47, qui compte 25 neutrons, soit un de moins que le titane-48, l'isotope naturel le plus abondant. Cette particularité lui donne un noyau faiblement magnétique, propriété rare et précieuse pour les expériences de physique quantique.

Pour sonder ce noyau, l'équipe a utilisé une technique appelée ENDOR, pour *electron-nuclear double resonance*. Le principe : envoyer deux ondes radio simultanément sur l'atome. L'une, à fréquence élevée (plusieurs gigahertz), vise à faire osciller le spin de l'électron. L'autre, à fréquence basse (quelques dizaines de mégahertz), vise à faire osciller le spin du noyau. En observant comment les deux signaux interagissent, on peut lire l'état du noyau par l'intermédiaire de l'électron, qui sert de messager.

Vennema a comparé cette finesse d'ajustement à la pratique d'un musicien : « Chaque rotation possible du spin est comme une corde avec sa propre note. Il faut jouer précisément la bonne note pour faire vibrer une corde donnée. Les notes d'un spin nucléaire sont cent à mille fois plus basses que celles d'un spin électronique. »

Deux cousins magnétiques très différents

Ce qui n'était pas censé se produire

En balayant la bande 50-85 mégahertz à la recherche de la fréquence qui ferait réagir le noyau de titane-47, l'équipe a vu le spin basculer exactement là où elle l'attendait, à deux pics précis. Jusque-là, rien d'anormal. L'anomalie est arrivée ensuite.

Pour préparer l'expérience, les chercheurs avaient volontairement réduit au minimum le couplage entre l'électron et le noyau, cette fameuse *interaction hyperfine* qui sert normalement de pont entre les deux. L'idée était de garder le noyau le plus isolé possible, dans le régime où il reste stable le plus longtemps. Logiquement, dans cette configuration, les ondes radio du STM ne devaient plus pouvoir agir sur lui. L'électron, débranché du noyau, cessait de servir de messager.

Pourtant le noyau a continué à basculer. L'équipe a réduit le couplage d'un facteur dix supplémentaire. Le signal s'est maintenu. Les deux pics à 50 et 85 mégahertz sont restés là, imperturbables.

« Selon notre compréhension simple, cela ne devrait vraiment pas se produire », a reconnu Sander Otte, qui dirige l'équipe. « Le spin nucléaire ne devrait absolument pas être sensible aux signaux électriques d'un microscope à effet tunnel. »

Une piste, pas une explication

Les positions des deux pics observés, elles, sont bien expliquées par les calculs des auteurs, qui tiennent compte des interactions hyperfine et quadrupolaire du titane-47. Ce qui résiste à l'analyse, c'est l'efficacité du pilotage : le fait que ces transitions continuent d'être excitées alors que le lien électron-noyau est presque éteint. L'hypothèse avancée dans le papier, avec beaucoup de prudence, est qu'un champ magnétique oscillant pourrait s'engendrer à proximité de l'atome, induit par le champ électrique radiofréquence que la pointe envoie. Un champ magnétique, lui, agirait directement sur le noyau sans avoir besoin de passer par l'électron. Mais c'est une piste, pas une démonstration.

Cette zone d'ombre, paradoxalement, ne dévalue pas la découverte. Elle la rend intéressante. Les chercheurs disposent désormais d'une méthode qui marche en pratique, dont le mécanisme de pilotage reste à élucider, et qui leur ouvre une voie sur un objet physique très convoité.

L'Allemagne est en quête du « moteur parfait » qui pourra débarrasser l'Europe de sa dépendance au cuivre et aux terres rares

Pourquoi ce noyau intéresse tant les ingénieurs quantiques ?

Un ordinateur quantique a besoin de ce qu'on appelle des qubits, l'équivalent quantique des bits binaires classiques. Et un bon qubit doit tenir son état le plus longtemps possible avant que le bruit environnant ne vienne tout effacer. Une durée de vie de l'ordre de la seconde, à l'échelle du monde quantique, c'est confortable. Suivant les plateformes, les qubits concurrents à base de spins électroniques restent en général beaucoup moins stables. Cette longévité ne se traduit pas automatiquement en durée de cohérence quantique exploitable pour un calcul, mais elle est un point de départ favorable.

Un noyau atomique bien isolé coche donc une case que peu d'autres candidats arrivent à cocher. Le problème, jusqu'à présent, c'est qu'il était si bien isolé qu'on ne savait pas le manipuler sans d'abord le sortir de sa coquille protectrice, au prix de sa stabilité. L'expérience de Delft suggère qu'il existerait un moyen d'écrire dans ce noyau tout en le laissant dans son état de repos isolé. Un qubit à la fois pilotable et abrité.

De quoi faire de ce titane-47 un candidat sérieux pour des registres de mémoire quantique à l'échelle atomique, où chaque bit ne ferait qu'un atome d'épaisseur.

Retour à la planche à dessin

L'équipe de Delft ne prétend pas avoir bouclé le dossier. Elle a produit un résultat répétable dont le mécanisme de pilotage reste à élucider, deux ingrédients qui garantissent des années de travail à venir. Sander Otte le formule sans détour : « Retour à la planche à dessin, donc. C'est vraiment comme ça que fonctionne la science. Il y a toujours quelque chose de nouveau à découvrir. »

Cette étude s'inscrit dans une série de trois publications successives du groupe Otte, chacune repoussant un peu plus la frontière. En 2024, Veldman et ses collègues avaient démontré la dynamique cohérente entre l'électron et le noyau au sein d'un même atome de titane-47. En 2025, Stolte, Lee et l'équipe avaient réussi la lecture single-shot du spin nucléaire du titane-49, en mesurant sa durée de vie d'environ cinq secondes. En 2026, c'est la manipulation directe du titane-47 par ondes radio qui est acquise. La prochaine étape, logiquement, consistera à comprendre.

Sources

Nature Communications
Nuclear magnetic resonance on a single atom with a local probe (24 octobre 2026)
https://www.nature.com/articles/s41467-026-78801-5
Étude originale de Hester Vennema, Cristina Mier, Evert Stolte, Leonard Edens, Jinwon Lee et Sander Otte, DOI 10.1038/s41467-026-78801-5. Démonstration de la résonance magnétique nucléaire directe sur un atome unique de titane-47 par la technique ENDOR.

arXiv
Nuclear magnetic resonance on a single atom with a local probe (preprint v1, décembre 2025)
https://arxiv.org/abs/2512.11652v1
Version preprint de l'étude publiée dans Nature Communications, en accès libre complet.

Otte Lab, Kavli Institute of Nanoscience, TU Delft
News – 24 October 2026
https://www.ottelab.tudelft.nl/allnews/
Annonce de la publication par le groupe de recherche néerlandais lui-même, avec contexte sur ses travaux antérieurs.

Nature Communications
Single-shot readout of the nuclear spin of an on-surface atom (21 août 2025)
https://www.nature.com/articles/s41467-025-63232-5
Étude antérieure du même laboratoire sur la lecture single-shot du spin nucléaire du titane-49, DOI 10.1038/s41467-025-63232-5. C'est dans cette publication qu'est mesurée la durée de vie d'environ cinq secondes citée dans l'article.

Nature Communications
Coherent spin dynamics between electron and nucleus within a single atom (11 septembre 2024)
https://www.nature.com/articles/s41467-024-52270-0
Étude pionnière du groupe Otte sur la dynamique cohérente électron-noyau dans un atome de titane-47, DOI 10.1038/s41467-024-52270-0.

SUJETS Quantique Science

Partager cet article

Suivre Média24 Google Actualités

ÉCRIT PAR
Eric Garletti
Je suis curieux, défenseur de l'environnement et assez geek au quotidien. De formation scientifique, j'ai complété ma formation par un master en marketing digital qui me permet d'aborder de très nombreux sujets. Depuis 2025 Ambassadeur du Spatial pour le CNES
Tous ses articles → eric-garletti.fr LinkedIn

← ARTICLE PRÉCÉDENT
Un potentiel « Nvidia européen » commence à prendre forme avec cette nouvelle alliance franco-espagnole...

Commentaires

Laisser un commentaire

Votre adresse e-mail ne sera pas publiée. Les champs obligatoires sont indiqués avec *

Commentaire *

Nom * **E-mail** * **Site web**

☐ Enregistrer mon nom, mon e-mail et mon site dans le navigateur pour mon prochain commentaire.

Publier le commentaire

À lire aussi

Dans la rubrique Informatique.

Toute la rubrique →

INFORMATIQUE
21 nov. 2026 6 min de lecture
Un potentiel « Nvidia européen » commence à prendre forme avec cette nouvelle alliance franco-espagnole...
Lire l'article →

INFORMATIQUE
10 nov. 2026 6 min de lecture
Ceux nés avant 2000 connaissent bien cette technologie qui revient en force pour sa capacité à stocker sans...
Lire l'article →

INFORMATIQUE

INFORMATIQUE

© 2026 Média24. Tous droits réservés.