

Matière noire, la fin du mystère ? "Si le signal s'avère juste, il s'agit d'une découverte révolutionnaire"

Grand entretien. Katherine Freese, célèbre physicienne théoricienne et pionnière de la recherche sur la matière noire, revient sur le signal intrigant repéré par l'expérience LZ, dans le Dakota du Sud, et qui pourrait être la trace d'une particule attendue depuis près d'un siècle.

Propos recueillis par **Yohan Blavignat** | Lecture 15 Min | Publié le 14/09/2026 à 6:00

Offrir l'article



"On pourrait avoir découvert la supersymétrie", assure la célèbre physicienne américaine Katherine Freese dans un entretien exclusif. N. Bissau/Unplash - Pixabay - D. Woodcock/Pexels - L'Express

Les plus lus

- "Le recul français en matière de recherche n'a pas d'équivalent" : le constat alarmant de la présidente du Hcéres
- Des Etats-Unis à l'Europe, des attaques contre la science toujours plus inquiétantes : la mise en garde du Pr Alain Fischer
- Albert Einstein contre la machine : ce que l'IA ne sait toujours pas faire
- "Professeur Raulot vs. le gang des cerises", sur HBO : comment L'Express a participé à sa chute
- Emmanuel Mignot, prix Lasker : "Un médicament contre la fatigue ? Le marché potentiel serait énorme"

Les scientifiques sont d'accord sur un point : plus de 80 % de la matière de l'univers est composée d'une substance que nous ne connaissons pas encore. La détecter représenterait un progrès considérable. Une révolution aussi importante que la découverte de la théorie de la relativité ou de la [mécanique quantique](#). Rechercher la matière noire revient à chercher une aiguille dans une immense forêt sombre dans laquelle on avance à tâtons. Il s'agit là de percer l'un des plus grands mystères de l'univers. Le 1er septembre, l'expérience "Lux-Zeplin" (LZ), installée dans une mine du Dakota du Sud, a rapporté un signal statistique de 2,6 sigma — insuffisant pour parler de découverte, mais suffisamment intrigant pour relancer l'espoir car il ne correspond au profil d'aucune autre particule connue. La preuve qu'on attendait tant ?

Professeure à l'université du Michigan, Katherine Freese est l'une des figures les plus reconnues de la cosmologie théorique. Elle a participé, il y a quarante ans, aux tout premiers calculs ayant conduit à la construction des détecteurs souterrains de matière noire. Avec l'un de ses doctorants, elle a proposé quelques heures à peine après cette annonce spectaculaire une explication : et si ce signal était la trace d'un "higgsino", partenaire supersymétrique du [boson de Higgs](#) ? Une hypothèse vertigineuse car cela prouverait que la supersymétrie existe bel et bien. Par ailleurs, si cette découverte se confirmait par l'observation d'autres événements similaires, prévient-elle, les conséquences pour la physique des particules et notre compréhension de l'univers seraient considérables.

L'Express : Commencons par l'essentiel : qu'a réellement observé LZ le 1er septembre, et que pouvons-nous raisonnablement en conclure aujourd'hui ?

Katherine Freese : Tout cela est fascinant. La majeure partie de la masse de l'univers, environ 85 %, n'est pas constituée de matière ordinaire mais de ce que l'on appelle de la "matière noire". Prenez une galaxie : les objets situés loin du centre se déplacent trop rapidement, au point qu'ils devraient simplement s'échapper. La matière constituée par les étoiles ne suffit pas à les maintenir dans la galaxie. Il faut donc une matière supplémentaire, qui n'émet pas de lumière : c'est la matière noire, qui maintient notre galaxie ensemble. Nous en avons donc besoin. Et la question est : qu'est-ce que c'est ?

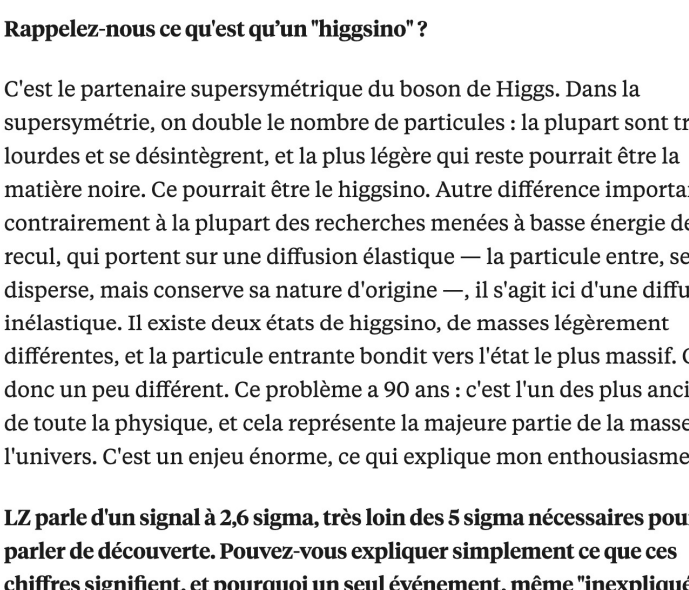
LIRE AUSSI : Albert Einstein contre la machine : ce que l'IA ne sait toujours pas faire

Nous savons avec certitude qu'il ne s'agit pas de matière ordinaire. Il faut donc quelque chose au-delà du modèle standard de la physique des particules, quelque chose d'exotique. Il y a quarante ans, j'ai écrit des articles — je n'aime pas trop l'avouer ! — qui ont contribué à lancer ces expériences : aller sous terre et construire des détecteurs. Je suis théoricienne, donc j'ai fait les calculs qui ont contribué à lancer tout cela. Et quatre ans plus tard, on commence enfin à voir quelque chose... Peut-être.

Comment a-t-on procédé pour détecter ce... quelque chose ?

Ces expériences utilisent d'immenses cuves de xénon liquide. Lorsqu'une particule de matière noire arrive et percute l'un des noyaux de xénon, elle déclenche une cascade de phénomènes qui produit des photons. Nous pouvons alors détecter ces signaux. Pour vous donner une idée : si la matière noire est constituée d'un nouveau type de particule fondamentale, on s'attend à ce que des milliards de ces particules traversent votre corps chaque seconde. Et peut-être qu'une seule d'entre elles percute l'un de vos noyaux au cours d'un mois. Et vous survivez pour raconter l'histoire !

Les candidats dont je parle sont les "Wimp" (Weakly interacting massive particles), c'est-à-dire les particules massives interagissant faiblement. Cela signifie que, parmi les quatre forces, en plus de la gravitation, la seule autre force qu'elles ressentiraient serait l'interaction faible. C'est celle qui est responsable de certains types de radioactivité. Mais elle est très, très faible. C'est pour cela qu'elles interagissent peu avec votre corps. Et elles interagissent également très peu avec les détecteurs. Cela rend les expériences très difficiles. Elles doivent être menées profondément sous terre, parfois à un kilomètre de profondeur, sinon les signaux concurrents présents à la surface dominerait complètement : c'est la matière-là n'atteint pas ces profondeurs, contrairement à la matière noire. C'est le principe de base de ces détecteurs.



Le détecteur principal de l'expérience sur la matière noire Lux-Zeplin, photographié en surface avant son installation souterraine au Sanford Underground Research Facility à Lead (Dakota du Sud, États-Unis). © J. van RUITERS

En quoi cette expérience est-elle différente des précédentes ?

Elle accède à des noyaux de plus haute énergie de recul. Autrement dit, quand la particule de matière noire frappe le xénon, on peut désormais observer les événements les plus énergétiques, ceux produits par les particules les plus rapides, presque en train de s'échapper de la galaxie. Personne n'avait exploré ce régime auparavant. Ces expériences sont conçues pour n'avoir presque aucun bruit de fond : seuls quelques événements positifs devraient apparaître. Or, ils n'en ont trouvé qu'un seul. Il en faut davantage, donc il faut du temps. Mais si ce n'est pas du bruit de fond, cela pourrait être une particule de matière noire. En vingt-quatre heures, avec mon doctorant Dionysius Theodosopoulos, nous avons écrit un article suggérant que cela pourrait être un "higgsino".

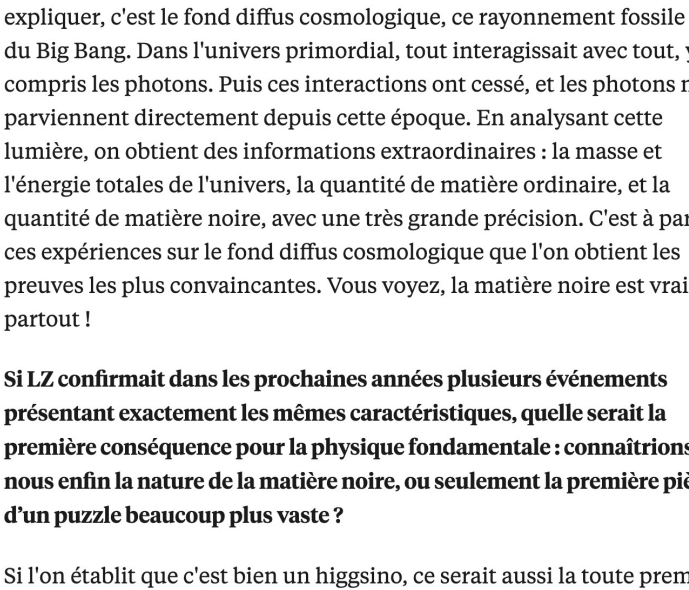
LIRE AUSSI : Et si les extraterrestres s'étaient lassés de tenter de nous contacter : la théorie choc de Robin Corbet (Nasa)

Rappelez-nous ce qu'est qu'un "higgsino" ?

C'est le partenaire supersymétrique du boson de Higgs. Dans la supersymétrie, on double le nombre de particules : la plupart sont très lourdes et se désintègrent, et la plus légère qui reste pourrait être la matière noire. Ce pourrait être le higgsino. Autre différence importante : contrairement à la plupart des recherches menées à basse énergie de recul, qui portent sur une diffusion élastique — la particule entre, se disperse, mais conserve sa nature d'origine —, il s'agit ici d'une diffusion inélastique. Il existe deux états de higgsino, de masses légèrement différentes, et la particule entrante bondit vers l'état le plus massif. C'est donc un peu différent. Ce problème a 90 ans : c'est l'un des plus anciens de toute la physique, et cela représente la majeure partie de la masse de l'univers. C'est un enjeu énorme, ce qui explique mon enthousiasme.

LZ parle d'un signal à 2,6 sigma, très loin des 5 sigma nécessaires pour parler de découverte. Pouvez-vous expliquer simplement ce que ces chiffres signifient, et pourquoi un seul événement, même "inexpliqué", ne suffit pas à convaincre la communauté ?

Pour que l'on commence à en parler sérieusement, il faut atteindre environ 3 sigma. C'est une distribution de probabilité : on compare le résultat à l'hypothèse selon laquelle il ne se passe rien, et on regarde de combien il s'en écarte. Mais pour parler de découverte, il faut 5 sigma, ce qui correspond à un niveau de confiance de 99,9999 %. Ici, les auteurs présentent des bandes de confiance à 90 % : c'est une autre façon de présenter le résultat, et l'hypothèse d'une absence totale de détection se situe en dessous de ce seuil de 90 %. Cela veut donc dire quelque chose. Ils ont étudié deux cas : en diffusion élastique, ils ont testé vingt lagrangiens différents — les briques fondamentales des interactions — et certains offrent un bon ajustement. En diffusion inélastique, ils ont testé des particules de 1 TeV, soit mille fois la masse du proton, et là, l'ajustement est excellent. Et devinez quoi : le higgsino en tant que matière noire, avec une masse de 1,1 TeV, colle parfaitement.



Pouvez-vous nous rappeler pourquoi les astrophysiciens sont convaincus depuis des décennies que la matière noire existe, alors que personne ne l'a jamais détectée directement ?

Il existe de très nombreuses preuves. Je commencerai par celle de 1930. Il y a eu deux pionniers : le Suédois Knut Lundmark et le physicien suisse Fritz Zwicky, qui travaillaient alors près de Caltech, à Pasadena. Ce ne sont pas des théoriciens, ce sont des observateurs. Zwicky a remarqué que dans l'amas de la Chevelure de Bérénice, qui contient de nombreuses galaxies, certaines, très loin du centre, suivent des orbites très rapides. Qu'est-ce qui les empêche de s'échapper ? Les autres galaxies visibles n'apportent pas assez de masse : il faut une masse sombre supplémentaire, qu'il a appelée "matière noire", pour les retenir. Ce sont là les toutes premières observations. Mais c'est vraiment le travail mené dans les années 1970 par Vera Rubin qui a changé la donne. Elle a observé le même comportement dans absolument toutes les galaxies : ce sont les fameuses "courbes de rotation". On s'attendait à ce que la vitesse diminue en s'éloignant du centre, mais non : elle reste très élevée. La seule explication, c'est la présence de matière noire. C'est vraiment à partir de ces courbes de rotation que le consensus scientifique s'est formé : il fallait prendre la matière noire très au sérieux.

Depuis, je pourrais citer cinq autres preuves. La plus célèbre, sans doute, est celle de l'amas du Boulet (Bullet Cluster). On y observe deux amas de galaxies en collision. Une partie de la masse — les atomes ordinaires — reste "coincée" lors de l'impact et émet des rayons X, que l'on peut observer directement. Mais une autre partie de la masse continue son chemin, comme le révèle l'effet de lentille gravitationnelle. Il y a donc bien deux types de masse : celle qui reste coincée, et celle qui n'a rien de naturel. Ce qui s'explique par le fait que ces particules n'ont pas d'interaction électromagnétique ni forte — elles peuvent tout au plus ressentir l'interaction faible. On observe donc très clairement cette différence de comportement entre les deux types de masse. L'amas du Boulet a aussi enterré la théorie concurrente selon laquelle ces courbes de rotation pourraient s'expliquer par une modification des lois de la gravité : cette approche, appelée Mond.

LIRE AUSSI : "Si nous décidons d'étendre la vie à Mars, voici ce qu'il faut faire..." : l'entretien futuriste d'Edwin Kite

Une autre preuve vient des lentilles gravitationnelles : la matière noire n'émet pas de lumière, mais elle la courbe. Si un objet lumineux se trouve derrière une concentration de matière noire, sa lumière est déviée sur le chemin jusqu'à nous. On observe alors des images multiples et identiques d'un même objet, déformées, cisallées, ce qui n'a rien de naturel. En analysant ces images, on peut mesurer la quantité de matière noire sur le trajet. C'est ce qu'on appelle l'effet de lentille gravitationnelle, une prédiction d'Einstein confirmée quelques années après sa formulation par la relativité générale.

Et la preuve la plus convaincante de toutes, sans doute la plus difficile à expliquer, c'est le fond diffus cosmologique, ce rayonnement fossile issu du Big Bang. Dans l'univers primordial, tout interagissait avec tout, y compris les photons. Puis ces interactions ont cessé, et les photons nous parviennent directement depuis cette époque. En analysant cette lumière, on obtient des informations extraordinaires : la masse et l'énergie totale des l'univers, la quantité de matière ordinaire, et la quantité de matière noire, avec une très grande précision. C'est à partir de ces expériences sur le fond diffus cosmologique que l'on obtient les preuves les plus convaincantes. Vous voyez, la matière noire est vraiment partout !

SI LZ confirmait dans les prochaines années plusieurs événements présentant exactement les mêmes caractéristiques, quelle serait la première conséquence pour la physique fondamentale : connaîtrions-nous enfin la nature de la matière noire, ou seulement la première pièce d'un puzzle beaucoup plus vaste ?

Si l'on établit que c'est bien un higgsino, ce serait aussi la toute première découverte de la supersymétrie. Ce serait un événement considérable pour la physique des particules, car la supersymétrie sert à tenter de résoudre le "problème de hiérarchie", et elle permet de construire des théories unifiées. Cela aurait des conséquences bien au-delà de la seule question de la matière noire.

Et si l'anomalie disparaissait avec davantage de données — autrement dit, si elle s'avérait être un bruit de fond encore mal compris — que nous apprendrait malgré tout cet épisode sur la manière de chercher la matière noire ?

On en tirerait des contraintes : on saurait qu'il s'agit d'une chose de plus qui ne fonctionne pas, et cela restreindrait les modèles de supersymétrie. On apprendrait ce que la matière noire ne peut pas être. C'est déjà intéressant en soi.

La communauté scientifique a déjà connu plusieurs "faux espoirs" de détection de matière noire ces vingt dernières années. Comment expliquer-vous que chaque nouvelle anomalie suscite malgré tout un tel emballement médiatique ?

Il n'y en a pas eu tant que ça, en réalité : quelques-unes, mais elles n'ont pas duré très longtemps. Mais si le signal s'avère juste, c'est une découverte tellement énorme... On sait tous ce que signifie 2,6 sigma, on connaît les attentes pour l'avoir, mais c'est un résultat tellement important qu'il faut le prendre au sérieux dès maintenant, et voir ce qu'il en advient. Et si l'on attend que ce soit absolument prouvé, tout le monde aura déjà publié ses articles avant vous.

LIRE AUSSI : Nick Bostrom, le philosophe des transhumanistes : "La superintelligence sera la dernière invention dont nous aurons besoin"

Pourquoi la matière noire exerce-t-elle une telle fascination sur les physiciens ? Est-ce simplement parce qu'elle constitue la plus grande énigme expérimentale de la cosmologie, ou parce que sa découverte pourrait remettre en cause notre vision de ce qu'est la matière ?

Comprendre ce que sont ces 85 % de la masse de l'univers, c'est déjà une raison suffisante de s'enthousiasmer. Et si, en plus, cela permet de prouver la supersymétrie, alors c'est encore plus passionnant. Mais je pense que résoudre le problème de la matière noire est en soi la raison pour laquelle les gens s'y intéressent tant : nous voulons savoir ce que c'est, pour enfin pouvoir agir en conséquence. Selon la nature de la particule, cela influence la façon dont les galaxies se forment, et touche à toutes les grandes questions de l'astrophysique. Au lieu de spéculer — est-ce de la matière noire froide, de la matière noire auto-interactive, etc. —, on saura enfin. Et on pourra alors mener de bien meilleurs calculs, en physique des particules comme en astrophysique. Une fois que l'on sait ce que c'est, cela aide les deux disciplines.

Pensez-vous que l'équipe qui identifiera une particule de matière noire est assurée de remporter le prix Nobel ?

Bonne question. Il y a de nombreux candidats possibles : les responsables du groupe LZ, je pense à Rick Gaitskell, son porte-parole, ou à Dana Akerib, premier auteur de l'article. Mais on pourrait aussi penser à Ellen Arjona, qui a été la première à lancer les détecteurs au xénon. Et certains d'entre nous, théoriciens, ont été les premiers à initier ces expériences par nos calculs théoriques. Je ne sais vraiment pas qui serait le plus légitime. En général, le comité Nobel cherche à désigner trois personnes, mais ce n'est pas une règle absolue : comme pour d'autres prix, ils pourraient aussi choisir de récompenser l'expérience elle-même.

LIRE AUSSI : Hannah Ritchie (Oxford) : "J'étais pessimiste sur l'avenir de notre planète... J'avais tort"

L'intelligence artificielle, dont on parle tant aujourd'hui, peut-elle aider les physiciens à trouver cette particule de matière noire ?

Pour des événements aussi rares que celui-ci, je ne pense pas qu'on en ait besoin. En revanche, au LHC, où les jeux de données sont énormes et où il faut extraire un signal d'un bruit de fond considérable, avec un très grand nombre de détecteurs à traiger, l'IA est bel et bien utilisée. Certains l'utilisent aussi pour rédiger des articles. En revanche, dans l'espace des paramètres théoriques, on peut utiliser l'IA pour explorer, pas seulement les données, mais aussi la théorie elle-même. Et oui, nous l'utilisons pour cela.

Imaginons que vous ayez enfin la preuve irréfutable, demain matin, qu'une particule de matière noire vient d'être détectée : quelle serait la première question que vous voudriez poser ensuite ?

Quelle est la nature exacte de la particule ? On aurait beau avoir davantage d'événements, il faudrait encore prouver que c'est celle-là précisément, et pas une autre. Je ne pense pas que cela ira très vite : il faudra imaginer comment démontrer qu'il s'agit d'une particule plutôt que d'une autre, penser à d'autres expériences, et ainsi de suite — ou va bien s'amuser avec ça. Mais une fois qu'on aura confirmé qu'il s'agit bien d'un higgsino, il faudra se demander quelles conséquences cela a pour la théorie des particules, et pour la formation des galaxies. Ce seraient, je pense, les prochaines étapes. Nous travaillons d'ailleurs sur un autre projet, l'étude des courants d'étoiles dans la Voie lactée : leur taille et leur largeur, l'issue de la fragmentation de sous-halos, nous renseignent sur la nature de la matière noire. Mais ce projet deviendrait bien moins passionnant si l'on avait déjà identifié la particule. ✨

 Yohan Blavignat
Rédacteur en chef Sciences et santé
[Voir tous ses articles](#)

EXPLORER LA RUBRIQUE SCIENCES

 "Votre code postal conditionne votre guérison" : les écarts de qualité entre hôpitaux dénoncés par le Pr Alain Bernard
Le Pr Alain Bernard, ex-chef de pôle de chirurgie thoracique et expert auprès de diverses institutions, publie "Le scandale tranquille", un plaidoyer pour une évaluation des résultats des interventions médicales.
13 Min | Publié le 13-09-2026 à 18:00

 Des Etats-Unis à l'Europe, des attaques contre la science toujours plus inquiétantes : la mise en garde du Pr Alain Fischer
Aux Etats-Unis comme en Europe, les projets des dirigeants et des partis populistes font peser une menace de plus en plus importante contre la liberté académique.
5 Min | Publié le 13-09-2026 à 09:30

 "Le recul français en matière de recherche n'a pas d'équivalent" : le constat alarmant de la présidente du Hcéres
La présidente du Haut conseil pour l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur livre son analyse sur les causes des difficultés de la science hexagonale.
7 Min | Publié le 10-09-2026 à 18:00

 Emmanuel Mignot, prix Lasker : "Un médicament contre la fatigue ? Le marché potentiel serait énorme"
Quelques heures avant de recevoir l'une des plus prestigieuses récompenses scientifiques, le chercheur français qui a découvert une des principales molécules impliquée dans la régulation du sommeil confie à L'Express les coulisses de ses travaux, et détaille les révolutions à venir dans le domaine.
13 Min | Publié le 09-09-2026 à 14:00

 Cet article vous a plu ?
Il vous reste 5 articles à offrir ce mois-ci

Générer le lien de partage