

Je pense que cet objectif est atteignable. Un tel scénario envisageable en Haïti, par exemple, serait de tuer les espèces qui transmettent le paludisme grâce à la technique des mâles stériles, tout en protégeant la population des autres moustiques vecteurs de maladies à l'aide de pièges placés dans les ouvertures d'aération ou des appâts sucrés. Il faudrait aussi suivre les patients humains et les populations de moustiques de façon préventive afin de détecter les signes de flambées épidémiques et de prendre immédiatement les mesures qui s'imposent pour les contrecarrer. Grâce à un éventail de stratégies de ce type, il n'est pas unimaginable d'assister à la disparition du parasite responsable du paludisme de l'île entière en l'espace de cinq ans.

Même dans un tel scénario, il resterait le danger d'une réintroduction. L'histoire l'a montré: si un bateau rempli de personnes ou de moustiques infectés par le parasite accoste dans

G. Duvallet et al. (dir.),
**Entomologie médicale
et vétérinaire,**
Quæ-IRD Éditions, 2017.

B. G. J. Knols et al., Eave tubes for malaria control in Africa : An introduction, *Malaria Journal*, vol. 15, article 404, 2016.

D. O. Carvalho, Suppression of a field population of *Aedes aegypti* in Brazil by sustained release of transgenic male mosquitoes, *PLoS Neglected Tropical Diseases*, vol. 9(7), article e0003864. 2015.

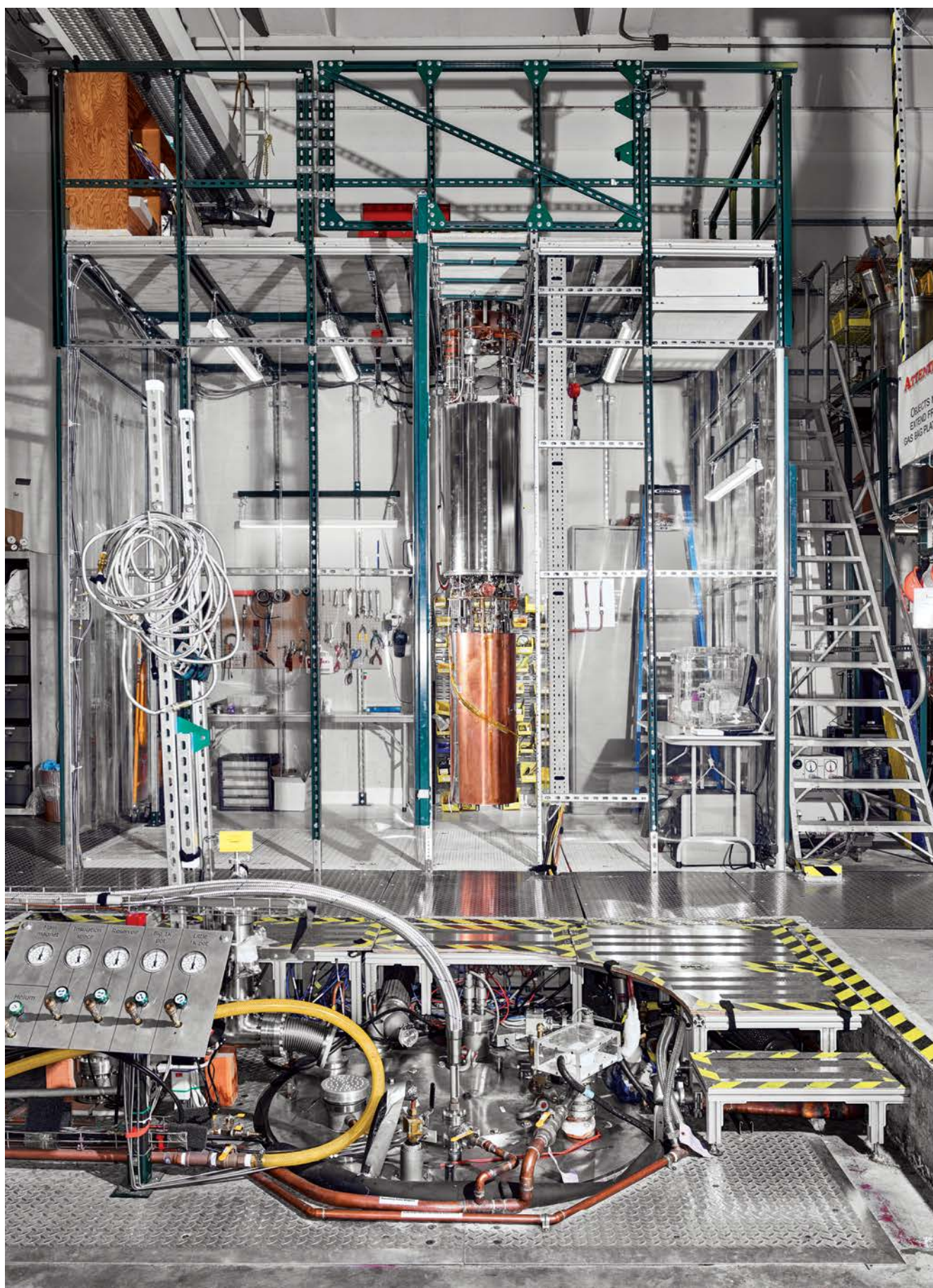
Jamais autant de moyens qu'aujourd'hui n'avaient été investis dans la lutte contre les moustiques. Au total, les fondations privées telles que la nôtre, les agences gouvernementales et l'OMS dépensent environ 500 millions d'euros chaque année pour des recherches sur le paludisme. En 2002, les dépenses annuelles ne dépassaient pas 20% de ce montant. Cependant, même si nous sommes aujourd'hui mieux armés pour combattre les moustiques, nous ne résoudrons jamais définitivement les problèmes. Comme pour d'autres risques de santé publique, le contrôle des populations de moustiques continuera d'exiger une vigilance de tous les instants. ■

À retourner accompagné de votre règlement à :
Pour la Science – Service VPC
19 rue de l'Industrie – BP 90053 – 67402 Illkirch Cedex
e-mail : pourlascience@abopress.fr

☐ 1 reliure *Pour la Science* au prix unitaire de 18,90 €*
☐ 2 reliures *Pour la Science* au prix de 37,80 €*
☐ 3 reliures *Pour la Science* au prix de 56,70 €*

**Les prix affichés incluent les frais de port.*

POUR LA SCIENCE N° 490 / Août 2018 / 55



L'ESSENTIEL

> L'Univers contiendrait une grande part de particules invisibles, la « matière noire ». Celle-ci ne se manifesterait que par ses effets gravitationnels. Mais on ignore quelle est sa nature précise.

> L'axion désigne une particule hypothétique qui expliquerait la matière noire, et à laquelle

les physiciens s'intéressent de plus en plus. Son existence résoudrait aussi un problème lié à l'interaction forte, qui assure la cohésion des noyaux atomiques.

> L'expérience ADMX a récemment atteint un niveau de sensibilité suffisant pour tester les versions les plus plausibles des axions.

L'AUTEUR



LESLIE ROSENBERG
professeur de physique
à l'université de
Washington, à Seattle,
aux États-Unis

Matière noire

La cote de l'axion monte

Alors que le candidat favori pour expliquer la masse cachée de l'Univers est en perte de vitesse, celui qui porte le nom d'axion gagne en popularité. Dédiée à sa recherche, l'expérience ADMX a franchi une étape décisive : sa sensibilité lui permet désormais de traquer cette particule invisible.

Le cosmos est constitué en majeure partie de quelque chose que nous ne pouvons pas voir. Telle est la conclusion qui s'est peu à peu imposée aux astronomes à partir des années 1930. Les premiers indices sont venus de l'observation des amas de galaxies, dont la cohésion ne pouvait être assurée que par un supplément de matière qui échappait à la détection. Les scientifiques ont vraiment pris au sérieux l'idée de « matière noire » à partir des années 1970, quand les astronomes qui étudiaient la rotation des galaxies sont parvenus à la même conclusion. Les chercheurs ont rapidement compris que la matière noire n'est probablement pas constituée de matière ordinaire. Désormais, il est quasiment certain que plus de 90% de la matière qui s'aggrave sous l'effet de la gravité est un matériau exotique, probablement des particules vestiges du Big Bang et dont la nature reste à préciser.

Pendant longtemps, les physiciens avaient un candidat favori pour la matière noire : le wimp (acronyme de *Weakly Interacting Massive Particle*, particule massive interagissant faiblement), qui s'inscrit dans une théorie populaire mais spéculative, celle de la supersymétrie. Cependant, malgré une sensibilité toujours accrue, les expériences qui visaient à détecter les wimps n'en ont trouvé aucune trace au terme de plusieurs décennies de recherches. Il est trop tôt pour enterrer les wimps, mais ces résultats négatifs ont incité les physiciens à considérer d'autres candidats au titre de la matière noire.

L'un de ces candidats est l'axion, une particule hypothétique beaucoup moins massive que le wimp, mais qui interagirait aussi peu avec la matière ordinaire. Si la matière noire est effectivement constituée d'axions, il s'en trouverait partout en abondance : autour de vous, chaque centimètre cube en contiendrait des dizaines, voire des centaines de milliards. >

Le cœur de l'expérience ADMX est à l'abri dans une salle blanche (en arrière-plan), pour le protéger des poussières. Lors d'une prise de données, le dispositif est descendu dans un trou (ici recouvert et au premier plan) pour le protéger des perturbations extérieures.

> Leur seul effet sur le reste de l'Univers serait gravitationnel – leur masse cumulée serait assez importante pour expliquer le mouvement des étoiles dans les galaxies ainsi que celui des galaxies dans les amas.

Depuis plus de vingt ans, je participe à la recherche de ces particules dans le cadre de l'expérience ADMX (*Axion Dark Matter eXperiment*). Et même si nous ne les avons pas encore trouvées, nous continuons d'améliorer notre détecteur. En 2016, ADMX a amorcé une nouvelle phase. Le dispositif est maintenant assez sensible pour être en mesure, d'ici cinq à dix ans, de détecter des axions ou d'exclure les scénarios d'axions les plus plausibles. Nous avons franchi un seuil important, et nous devrions avoir bientôt des nouvelles passionnantes, qu'elles aillent dans un sens ou dans l'autre.

DES AXIONS POUR RÉSOUDRE UN PROBLÈME DE LA QCD

Dans les années 1980, peu de temps avant le début de ma thèse, l'idée des axions avait été émise pour répondre à un problème soulevé par la QCD, la chromodynamique quantique. La QCD est la théorie de l'interaction forte, qui assure la cohésion des composants du noyau atomique et du noyau lui-même. Les expériences de physique des particules présentent un accord remarquable avec les prédictions de cette théorie, sauf en ce qui concerne ce que l'on nomme le « problème de la violation de CP pour l'interaction forte » (CP signifiant « charge-parité »).

La QCD suggère que si vous inversez la charge et la parité d'une particule (c'est-à-dire si vous inversez sa charge électrique et si vous la regardez dans un miroir), elle ne suivrait plus exactement les mêmes lois physiques. Pourtant, rien dans les résultats expérimentaux n'indique que c'est le cas. Ce conflit entre la théorie et les expériences constitue une énigme sérieuse, une fissure dans le bel édifice du modèle standard, notre meilleur modèle de la physique des particules. Cette fissure constitue le « problème CP fort ».

En 1977, alors qu'ils étaient tous deux à l'université Stanford, Helen Quinn et Roberto Peccei se sont rendu compte qu'ils pouvaient aborder le problème CP fort de façon simple et élégante en utilisant l'idée des symétries brisées. Ce concept, l'une des idées récurrentes de la physique, se résume simplement ainsi : parfois les lois de la nature ne sont pas invariantes lorsqu'on applique certaines opérations de symétrie, alors qu'on pense qu'elles devraient l'être. Par exemple, si vous posez un crayon verticalement sur sa pointe, la symétrie de rotation fait qu'il a autant de chances de tomber dans une direction que dans une autre. Mais le crayon finit par tomber dans une direction particulière, et la symétrie est donc

« brisée ». Quand une telle brisure se produit dans le contexte de la physique des particules, elle implique l'existence d'une particule qui préserve d'une certaine façon la symétrie sous-jacente, même si elle semble, en surface, avoir été brisée. La symétrie n'est pas nécessairement évidente ; il peut s'agir d'une symétrie mathématique abstraite.

Avec une intuition que je qualifierais de brillante, Helen Quinn et Roberto Peccei ont appliqué cette idée à l'interaction forte. Ils ont supposé qu'une symétrie cachée liée à cette force a été brisée. Si tel était le cas, cela annulerait les effets de la symétrie CP attendus par la théorie et que l'on n'observait pas dans les expériences. Problème résolu. Peu après, grâce à une autre intuition brillante, Steven Weinberg, à l'université du Texas à Austin, et Frank Wilczek, au MIT (l'institut de technologie du Massachusetts), ont remarqué que le mécanisme de Peccei-Quinn implique l'existence d'une nouvelle particule : l'axion. (D'après le folklore de la physique, ce nom reprend celui d'une marque de lessive parce que la particule fait disparaître la tache que constitue le problème CP fort.) Dès le milieu des années 1980, les physiciens ont suggéré que des axions auraient été produits en grande quantité durant le Big Bang et rendraient compte de la matière noire.

La théorie ne nous renseigne pas sur la masse des axions, ni sur leur probabilité d'interagir avec la matière ordinaire. Mais nous



Produits en nombre durant le Big Bang, les axions formeraient la matière noire



savons qu'ils doivent très peu interagir avec la matière ordinaire, parce que les collisionneurs de particules et d'autres expériences n'en ont encore jamais mis en évidence. S'ils sont extrêmement inertes, la théorie indique qu'ils sont aussi extrêmement légers.

En 1987, un événement cosmique majeur a fourni aux physiciens des contraintes sur la masse de l'axion : la supernova qui a explosé dans le Grand Nuage de Magellan, une galaxie naine voisine de la nôtre. Presque toute l'énergie de l'effondrement gravitationnel de l'étoile