

> Les premières tentatives de mise en application de l'idée de Pierre Sikivie, comme l'expérience Rochester-Brookhaven-Fermilab et un projet à l'université de Floride, étaient vouées à l'échec du fait d'une sensibilité insuffisante. Elles ont néanmoins permis de développer le matériel utilisé depuis dans toutes les expériences portant sur les axions.

NAISSANCE D'UN PROGRAMME

À Chicago, avec Karl von Bibber, alors au laboratoire Lawrence Livermore, et avec David Tanner, de l'université de Floride, nous avons imaginé pousser plus loin ces premières expériences. Nous voulions d'abord construire une grande cavité où règne un champ magnétique intense pour augmenter la sensibilité. Il nous fallait ensuite de meilleurs amplificateurs de microondes : ils seraient la clé pour détecter le signal microonde extrêmement faible attendu des axions. Mais ceux disponibles à l'époque produisaient beaucoup trop de bruit. Nous rêvions d'amplificateurs limités uniquement par le bruit inévitable d'origine quantique. Mais ils n'existaient pas encore dans la gamme de fréquences qui nous intéressait.

C'est ainsi que le programme ADMX a vu le jour : nous commencerions avec un gros aimant, les meilleurs amplificateurs microondes disponibles et de l'hélium pour refroidir le dispositif à 4,2 kelvins afin de réduire le bruit. À moyen terme, nous nous concentrerions sur le développement d'amplificateurs microondes à limitation quantique. À long terme, nous ajouterions un «réfrigérateur à dilution», afin de refroidir la cavité et les amplificateurs à des températures d'environ 100 millikelvins, réduisant encore plus le bruit. C'était un programme ambitieux, dont chaque phase durerait une dizaine d'années.

En 1993, alors au MIT, nous avons mis sur pied une collaboration pour démarrer officiellement l'expérience. Le laboratoire Lawrence Livermore a fourni un gros aimant supraconducteur et le site de l'expérience. Notre collègue Wolfgang Stoeffl s'est chargé de la conception du système cryogénique initial, un dispositif que nous utilisons en grande partie encore aujourd'hui. David Tanner a conçu et développé les entrailles de l'expérience en s'inspirant du projet initial de l'université de Floride, et notre groupe du MIT a construit un détecteur de microondes ultrasensible. En 1998, nous avons publié les résultats initiaux de cette «phase zéro» d'ADMX, la première expérience sensible aux axions ayant une masse compatible avec le scénario de la matière noire. Nous n'avions pas trouvé ces particules si fugaces, mais nous partions sur de bonnes bases.

Pendant ce temps, nous avons continué à avancer dans la quête d'un amplificateur qui serait sensible au minuscule signal attendu des

axions. C'est à cette époque que j'ai assisté à une présentation de John Clarke, un spécialiste des dispositifs quantiques à l'université de Californie à Berkeley. Il travaillait sur des magnétomètres ultrasensibles, les squids (acronyme de *superconducting quantum-interference devices*), qui utilisent l'effet tunnel (un phénomène quantique par lequel une particule peut franchir une barrière de potentiel) et la supraconductivité (dans un matériau supraconducteur, la résistance électrique est nulle et le courant circule sans pertes). Si un photon passe à proximité d'un squid, son faible champ magnétique perturbe l'effet tunnel du détecteur de façon mesurable. Ces dispositifs sont extrêmement sensibles, mais ils n'existaient pas encore pour les signaux microondes. Grâce à une géométrie astucieuse, John Clarke a résolu le problème.

AVEC L'EXPÉRIENCE ADMX, NOUS SONDEONS DÉSORMAIS LES MASSES LES PLUS PLAUSIBLES POUR L'AXION

C'était prometteur, mais il restait des obstacles. Les minuscules champs magnétiques du squid allaient être perdus dans le champ plus intense régnant au sein de la cavité. Le département américain de l'Énergie, lors d'une évaluation de notre expérience, a souligné que l'utilisation des squids était «à haut risque». Nous avons décidé de diviser ADMX en deux phases : la «phase 1a» démontrerait que les squids fonctionnent correctement dans le fort champ magnétique de l'expérience. Une «phase 1b» ultérieure ajouterait alors le réfrigérateur à dilution dont nous avions besoin pour atteindre les basses températures requises.

Nous avons lancé la phase 1a en développant un système qui protège le squid du champ énorme régnant dans la cavité. Pour ce faire, nous avons utilisé une série de boucliers gigognes et d'aimants entourant le squid, destinée à annuler (ou «compenser») le champ magnétique principal. Au milieu des années 2000, nous avons démontré que le système fonctionnait, et nous avons commencé à travailler sur le réfrigérateur à dilution, le cœur de la phase 1b.

Le département américain de l'Énergie et la Fondation américaine pour la science (NSF) ont mené une vaste réflexion sur le développement de détecteurs de matière noire dits de deuxième génération et notés «Gen 2» ayant des sensibilités améliorées par rapport à celles