

Christian Bordé

1943-2023

Le 30 Août 2023 au soir, nous avons perdu un ami cher et un confrère, Christian Bordé. Entouré de sa famille proche, il s'est éteint paisiblement à l'hôpital Ambroise Paré.

Christian Bordé a apporté des contributions expérimentales et théoriques majeures en physique quantique. Ses travaux, véritablement fondateurs, ont couvert un vaste domaine qui s'étend de la spectroscopie atomique et moléculaire à haute résolution, à l'interférométrie atomique et à la métrologie. Il a été un pionnier dans l'étude de l'interaction lumière quantifiée-matière et un promoteur internationalement reconnu d'un système d'unités fondé sur les constantes fondamentales de la physique.

Sorti major de promo de l'Ecole de chimie de Nancy en 1965, et issu d'une famille d'opticiens, Christian Bordé s'est intéressé très tôt à l'optique et la physique. Il fait sa thèse à l'université Paris 6 entre 1966 et 1972 comme assistant à l'université puis au CNRS dans le labo de spectroscopie moléculaire de Gilbert Amat. C'est l'époque des premiers lasers avec en ligne de mire une pléthore d'applications potentielles. Avec Lucien Henry, Christian développe l'un des premiers lasers à CO₂ de puissance dans la gamme des 10 microns pour la dissociation moléculaire par laser et la séparation isotopique, un sujet de grande importance.

Christian Bordé rentre au CNRS en 1968 gravissant tous les échelons jusqu'à l'éméritat en 2008. A la fin des années 1960, Christian comprend tout l'intérêt des lasers pour la spectroscopie atomique et moléculaire. Il est l'un des tous premiers à observer en 1967 le « Lamb dip » dans un laser à CO₂, ce creux dans le profil d'émission du laser, exactement à résonance. Il comprend que cette résonance est affranchie de l'effet Doppler, et permet un gain de plusieurs ordres de grandeur sur le pouvoir de résolution en spectroscopie laser. Ces travaux ouvrent l'âge d'or de la spectroscopie atomique et moléculaire à très haute résolution. Christian Bordé stabilise un laser en fréquence sur cette résonance étroite appelée aujourd'hui raie d'absorption saturée, une technique de base utilisée dans tous les laboratoires de physique atomique et moléculaire du monde.

En 1972, Christian Bordé est l'un des membres fondateurs du Laboratoire de Physique des Lasers à Villetaneuse, avec Bernard Decomps et Michel Dumont qui viennent du Laboratoire de Spectroscopie Hertzienne de l'ENS dirigé alors par Jean Brossel. Christian fait à cette époque plusieurs séjours de longue durée au JILA à l'Université du Colorado (USA) où il démarre une longue et très fructueuse collaboration avec John Hall qui obtiendra le prix Nobel de Physique en 2005.

Christian Bordé et John Hall font ensemble la première observation directe de l'effet de recul en absorption saturée sur la molécule de méthane, conséquence de la conservation de l'énergie et de l'impulsion dans l'interaction lumière-matière. Ce concept sera l'un des fils conducteurs de beaucoup de ses contributions ultérieures à la physique.

Durant les années 1970, Christian Bordé développe la théorie complète de l'absorption saturée aussi bien pour les molécules que les atomes. Il montre qu'une limite fondamentale à la largeur de la résonance est imposée par le temps de transit des molécules à travers le faisceau laser et la courbure des fronts d'ondes des faisceaux gaussiens. Il faut des faisceaux en ondes planes avec un diamètre excédant la dizaine de centimètres pour atteindre le kilohertz de résolution. Qu'à cela ne tienne, Christian lance la construction d'une très grande cuve d'absorption saturée de 18 mètres de long et 1 mètre de diamètre dans le nouveau Laboratoire de Physique des lasers à l'Université Paris 13 à Villetaneuse. Ce dispositif, unique au monde, a permis à l'équipe d'obtenir un pouvoir de résolution de $3 \cdot 10^{10}$, un record à l'époque avec des résonances vibrationnelles de largeur sub-kiloHertz.

En physique moléculaire infrarouge, toute une série de symétries et de brisures de symétrie ont été observées, avec de très belles structures fines et hyperfines de raies ro-vibrationnelles de molécules comme l'ammoniac, l'hexafluorure de soufre, ou encore le tétr oxyde d'osmium, dans la région de 10 microns. Christian s'intéresse également à la violation de parité dans les molécules et à la spectroscopie d'énantiomères droits ou gauches, un programme de recherche à long terme toujours en cours au Laboratoire de Physique des Lasers.

Christian Bordé montre ensuite théoriquement que la méthode de spectroscopie à deux champs séparés de Norman Ramsey, lauréat Nobel 1989, qui fonctionne avec deux zones dans le domaine micro-onde doit être étendue à trois ou quatre zones pour s'affranchir de l'effet Doppler dans le domaine infra-rouge ou visible. L'expérience sera réalisée au JILA par Jim Bergquist et John Hall et à Villetaneuse en 1983. Cette méthode est aujourd'hui à la base du fonctionnement de nombreuses horloges optiques.

En 1989, Christian montre alors théoriquement que ce dispositif est intrinsèquement un interféromètre à ondes de matière et celui-ci porte désormais le nom d'interféromètre de Ramsey-Bordé. Il est sensible aux propriétés de l'espace-temps, en particulier aux effets gravitationnels (accélération, rotation) dans le domaine classique ou relativiste. Son article à Physics Letters de 1989 et ses cours à l'École de Physique des Houches en 1990 ouvrent véritablement un nouveau domaine, celui des mesures de précision par interférométrie atomique. Aujourd'hui plusieurs dizaines de groupes dans le monde (voir centaines) font avancer rapidement ce sujet de recherche avec des capteurs inertiels au sol et pour l'espace. Des gravimètres commerciaux sont même désormais disponibles pour la géodésie, développés par la société MuQuans, devenue récemment Exail.

Christian Bordé développe ensuite une théorie très générale des interféromètres à ondes de matière et des horloges optiques, avec un calcul des déphasages relativistes pour les particules avec spin. Il introduit une nouvelle optique atomique relativiste dans un espace à 5 dimensions fondée sur le traitement quantique du temps propre des atomes, qui conduit à un principe de Fermat généralisé dans un espace à cinq dimensions. Tous ces travaux contribuent aux avancées de la métrologie et Christian s'investit fortement dans les études sur la redéfinition du système d'unités à partir des constantes fondamentales. Il initie en particulier une nouvelle méthode de mesure de la constante de Boltzmann par spectroscopie des profils d'absorption Doppler.

Mais ce n'est pas tout. Outre ses nombreuses contributions scientifiques pionnières, travailleur infatigable, Christian Bordé joue en même temps un rôle central au service de la communauté scientifique nationale et internationale. Tout d'abord, il a dirigé le Laboratoire de Physique des Lasers de 1981 à 1982. De 1979 à 2006, il est conseiller scientifique à la direction des recherches études et techniques de la délégation générale de l'armement (DGA), puis à la direction des systèmes de forces et de la prospective de la DGA. Infatigable défenseur de la science fondamentale, Christian Bordé y a soutenu beaucoup de projets « amont » tels que le projet de détection optique des ondes gravitationnelles, VIRGO.

De 1996 à 2003, Christian est président du groupe de travail sur la physique fondamentale au Centre National d'Etudes Spatiales (CNES). A ce titre, il a apporté un soutien fort au projet Microscope de test du principe d'équivalence dans l'espace. Cette mission, couronnée de succès, constitue à ce jour le test du principe d'équivalence le plus sensible jamais réalisé avec une précision relative au niveau de 10^{-15} . Christian Bordé soutient également le projet d'horloge à atomes froids PHARAO et la mission ACES qui va finalement être lancée vers la station spatiale internationale à la fin de 2024.

Christian Bordé a joué également un rôle moteur au sein de la métrologie française : conseiller scientifique du Bureau national de métrologie (1999-2003) et membre du Comité de la métrologie du LNE de 2005 à 2021.

Elu membre correspondant de l'Académie des sciences en 1997 puis membre en 2008, Christian Bordé a été un ardent promoteur des mesures de précision et de la métrologie nationale et internationale. A ce titre, Christian Bordé a représenté le Président de l'Académie des Sciences aux conférences générales des poids et mesures en 1999, 2003 et 2007. Avec Jean Kovalevsky, Christian Bordé crée le comité Sciences et Métrologie au sein de l'Académie des Sciences pour conduire une réflexion sur les unités de base du système international d'unités. Ce comité a joué un rôle important pour la préparation de la grande conférence générale de 2018 à Versailles où les unités ont été redéfinies à partir d'effets quantiques. Enfin, Christian Bordé a édité de nombreux numéros thématiques des Comptes-Rendus de l'Académie des sciences sur les mesures de précision et la physique fondamentale.

On le voit, Christian Bordé a développé un parcours scientifique hors norme. Chercheur visionnaire, il a inspiré toute une génération de chercheurs plus jeunes qui se sont nourris de ses idées pionnières. Ardent promoteur de la science en France et au niveau international, Christian Bordé était également un homme chaleureux et très profond.

Terminant sur une note plus personnelle, c'est en 1978 que j'ai rejoint l'équipe de Christian pour ma thèse de 3^{ième} cycle puis thèse d'Etat pour le montage de la grande cuve d'absorption saturée décrite ci-dessus. Le groupe comportait alors Michel Ouhayoun, Alain Vanlerberghe, Sigrid Avrillier et Christian Bréant. Découvrir la spectroscopie laser à haute résolution aux côtés de Christian Bordé, toujours disponible et enthousiaste, fut une grande joie et un privilège pour moi. J'ai ensuite énormément apprécié nos nombreuses discussions sur l'interférométrie atomique, la gravitation, les horloges micro-ondes et optiques, la métrologie, et ce, pendant ces 45 dernières années. Beaucoup de ces discussions ont influencé

ma propre carrière. Nous regretterons longtemps la culture scientifique et le talent visionnaire de Christian Bordé, un ami très cher pour beaucoup d'entre nous.

Christophe Salomon, le 02/09/2023