

## **Biographie de Christian BORDÉ**

*Membre de l'Institut (Académie des sciences)*

*Membre fondateur de l'Académie des technologies*

*Chevalier de la Légion d'honneur (2011)*

*Chevalier de l'Ordre National du mérite (1998)*

### ***Formation et carrière :***

Né le 15 mars 1943 à Neuilly-sur-Seine (92). Élève ingénieur à l'École nationale supérieure des industries chimiques de Nancy (major de la promotion 1962-65), licencié ès sciences physiques (1965), diplômé d'études supérieures (1966), docteur ès sciences (1972), assistant à la faculté des sciences de Paris (1965-68), attaché de recherche (1968-73), chargé de recherche (1973-75), maître de recherche (1975-83), directeur de recherche (1983-96), directeur de recherche de classe exceptionnelle (1996-2008) et depuis 2008, directeur de recherche émérite au CNRS.

Recherches de thèse poursuivies au laboratoire de spectroscopie moléculaire de l'université Paris VI (1965-72), cofondateur du laboratoire de physique des lasers à l'université Paris-Nord (1972), chercheur invité au *Joint Institute for Laboratory Astrophysics* à Boulder, Colorado (1972-73), recherche à temps partagé entre le laboratoire de physique des lasers et le laboratoire de gravitation et cosmologie relativistes (1985-2004) puis le SYRTE (Systèmes de référence temps espace) de l'Observatoire de Paris (depuis 2004). Professeur à l'École supérieure d'optique (1974-77), conseiller scientifique à la direction des recherches études et techniques puis à la direction des systèmes de forces et de la prospective de la délégation générale de l'armement (1979-2006), directeur du laboratoire de physique des lasers (1981-82), président du groupe de travail sur la physique fondamentale au Centre national d'études spatiales (1996-2003), conseiller scientifique du Bureau national de métrologie (1999-2003), membre du Comité de la métrologie (2005), président de la conférence générale des poids et mesures en 1999, 2003 et 2007.

### ***Oeuvre scientifique :***

À ses débuts, le parcours de recherche de C. Bordé a été celui d'un expérimentateur en physique des lasers. Il s'est poursuivi surtout en spectroscopie et physique moléculaires pour évoluer finalement vers des contributions plus théoriques concernant l'interférométrie atomique et la métrologie fondamentale. Sa recherche a commencé en 1965 par le développement des premiers lasers à gaz carbonique de puissance. Au moyen de ces sources, il a effectué les toutes premières expériences de dissociation infrarouge de molécules. Elles ont ouvert le champ de la photochimie laser, qui a conduit plus tard à la séparation isotopique par laser.

Ensuite, l'essentiel de son travail a consisté à élaborer des méthodes de spectroscopie non linéaire, qui ont permis de gagner, en une vingtaine d'années, six ordres de grandeur sur le pouvoir de résolution en spectroscopie d'absorption. En particulier, C. Bordé a inventé la spectroscopie de saturation. Ces méthodes ont été longuement appliquées à la recherche et à la mise en évidence de nombreux effets nouveaux en physique moléculaire. Les travaux de C. Bordé ont porté sur la spectroscopie infrarouge des molécules simples (premières mises en évidence des interactions hyperfines et de brisures de symétrie en spectroscopie de vibration-rotation), sur le rôle des symétries fondamentales en physique moléculaire (tests de violation de la parité par les interactions faibles dans les molécules chirales et tests du principe de Pauli), sur la spectroscopie à ultra-haute résolution dans le visible (spectroscopies Raman et de saturation) et sur la réalisation d'étalons optiques de fréquence. Sa contribution la plus spectaculaire est la résolution du doublet de recul en spectroscopie d'absorption saturée, première démonstration quantitative de la conservation de l'impulsion entre un système atomique et la lumière laser. Parmi les retombées des nombreuses études qu'il a effectuées sur l'interaction entre faisceaux laser et systèmes atomiques, la transposition en optique de la méthode des champs séparés de Ramsey l'a conduit à la conception d'un interféromètre atomique fondé sur cet effet de recul et destiné à sonder les propriétés de l'espace-temps. Celui-ci permet de réaliser des horloges optiques et de mesurer les masses atomiques ainsi que la constante de structure fine. Il permet aussi la mesure très précise des champs d'inertie (première démonstration de l'effet Sagnac pour les ondes atomiques). Cet interféromètre, dit de Bordé-Ramsey, est un système quantique macroscopique, sensible aux phénomènes de décohérence et aussi aux ondes de gravitation, ce qui jette un pont concret entre physique quantique et relativité générale. Au cours des dernières années, l'apport de Christian Bordé à l'optique atomique a consisté, d'une part, à concevoir et modéliser des expériences de physique

fondamentale sur terre et dans l'espace: horloges interférométriques à atomes ou à molécules, gyromètres et accéléromètres à atomes froids, et d'autre part, en un travail d'approfondissement de la théorie des interféromètres à ondes de matière, un calcul des déphasages relativistes pour les particules à spin et des recherches sur l'amplification des ondes atomiques (il a été l'un des tout premiers à introduire le concept de laser à atomes). Aujourd'hui, pour mieux comprendre les propriétés de ces interféromètres atomiques, C. Bordé développe une nouvelle optique atomique relativiste fondée sur le traitement quantique du temps propre des atomes, qui conduit à un principe de Fermat généralisé dans un espace à cinq dimensions.

Il a dirigé une vingtaine de thèses d'état et est l'auteur de 175 publications. Avec plus de 130 conférences invitées et de nombreux cours et séminaires en France et à l'étranger, Christian Bordé a beaucoup contribué au développement et au rayonnement de sa discipline au cours de bientôt 47 années de carrière.

Il a par ailleurs servi la communauté scientifique avec plusieurs responsabilités de conseiller d'organismes d'état dans les domaines de la métrologie, de la recherche liée à la défense et de la physique fondamentale dans l'espace. Il a toujours été passionné par les liens entre la métrologie moderne et la physique la plus avancée et une grande partie de sa recherche personnelle s'inscrit dans ce dialogue. Ses différentes fonctions dans le domaine de la métrologie fondamentale l'ont amené à une réflexion de fond sur le système d'unités de base. Il a ainsi pu définir un cadre pour réformer ce système afin de lui redonner une cohérence avec la physique moderne en rattachant chaque unité de base à une constante fondamentale de la physique. Ceci l'a amené à proposer, entre autres, une nouvelle méthode de détermination directe de la constante de Boltzmann par spectroscopie optique, récemment mise en oeuvre avec succès dans son laboratoire de Villetaneuse.

#### **Activité récente :**

Dans le cadre de son éméritat au C.N.R.S., Christian Bordé poursuit ses recherches personnelles et l'encadrement de jeunes chercheurs dans chacun de ses deux laboratoires : 1- sur les formes de raies d'absorption et la structure hyperfine des molécules pour la détermination de la constante de Boltzmann au Laboratoire de physique des lasers (Université Paris 13); 2- sur la théorie de l'interférométrie atomique relativiste, en particulier pour la détection des ondes gravitationnelles, au SYRTE (Observatoire de Paris).

Dans le cadre de son activité académique, il exerce la présidence du Comité Science et métrologie de l'Académie des Sciences avec Jean Kovalevsky et celle de la Conférence Générale des Poids et Mesures, avec la perspective de la redéfinition du système d'unités de base. Il est délégué aux prix de la section de physique et membre de plusieurs autres comités de l'Académie (Science et sécurité, recherche spatiale) ainsi que du Comité de la métrologie française. Il édite tous les ans un dossier complet des Comptes Rendus sur la métrologie fondamentale.

#### **Fonctions et distinctions :**

Membre de la Société française de physique, *fellow of the Institute of Physics*. Il est également membre fondateur de l'Académie des technologies (2000) et membre de l'Académie européenne des sciences (2002).

#### **Prix**

1973 - Aimé Cotton de la Société française de physique

1981 - Doistau-Blutet de l'Académie des sciences

1994 - Mesucora de l'Académie des sciences

2003 - Gay-Lussac - von Humboldt

#### **Principales publications**

<http://christian.j.borde.free.fr/Borde-pub2007.html>

1970 - *Spectroscopie d'absorption saturée de diverses molécules au moyen des lasers à gaz carbonique et à protoxyde d'azote*, C.R. Acad. Sc. Paris, 271B, 371.

1976 - *Direct optical resolution of the recoil effect using saturated absorption spectroscopy*, Phys. Rev. Lett. 37, 1339.

1989 - *Atomic interferometry with internal state labelling*, Phys. Lett. A140, 10.

2002 - *Atomic clocks and inertial sensors*, Metrologia, 39, 435.

2005 - *Base units of the SI, fundamental constants and modern quantum physics*, Phil.Trans.Roy.Soc.A363, 2177.

#### **Principaux chapitres de livres**

<http://christian.j.borde.free.fr/Ouvrages.html>

1983 - *Density matrix equations and diagrams for high resolution non-linear laser spectroscopy*, Plenum Press.

- 1983 - *Développements récents en spectroscopie infrarouge à ultra-haute résolution*, Gauthier-Villars.
- 1992 - *Propagation of laser beams and of atomic systems*, North Holland.
- 1997 - *Matter-wave interferometers: a synthetic approach*, Academic Press.
- 1999 - *Parity violation test in chiral molecules by laser spectroscopy*, World Scientific.
- 2000 - *Relativistic phase shift for Dirac particles interacting with weak gravitational fields in matter-wave interferometers*, Springer.
- 2000 - *The Pauli principle and ultrahigh resolution spectroscopy of polyatomic molecules*, Am. Inst. of Physics.
- 2002 - *Atomic clocks and atom interferometry*, Kluwer Academic Publishers.
- 2006 - *Atom interferometric inertial sensors for space applications*, Springer.