

MÉTHODES OPTIQUES DE DÉTECTION DES ONDES GRAVITATIONNELLES

PRÉFACE

L'ensemble des exposés qui suivent, correspond à la Journée d'études du 14 novembre 1983, organisée par la Direction Scientifique et le Groupe 3 du Service des Recherches de la D.R.E.T. (*), et qui a rassemblé une centaine de participants sur le thème « Méthodes optiques de détection des ondes gravitationnelles ». Cette journée constituait elle-même un aboutissement des travaux menés par un groupe d'études du CETHEDec (**) fondé par le Professeur Bouix (voir l'exposé historique de F. Teissier du Cros). L'un des objectifs, que s'était fixé ce groupe d'études, était l'élaboration d'un projet français de détecteur d'ondes gravitationnelles. L'étude des sources possibles de rayonnement gravitationnel, qu'on trouvera brièvement esquissée dans ce volume, exclut toute réalisation de source artificielle dans l'état actuel de la technologie, et situe le niveau de l'amplitude des ondes en provenance des sources astrophysiques assez fréquentes (par exemple dans l'amas de la Vierge) vers $h < 10^{-21}$. Or après l'analyse des limites quantiques à la sensibilité des barres de Weber, que l'on ne pourra peut-être dépasser un jour que grâce aux idées nouvelles introduites par la Q.N.D. (***), il est apparu que seules les méthodes interférométriques et plus généralement optiques pouvaient concrétiser à court terme l'espoir de réaliser un détecteur correspondant à ce niveau d'amplitude. Il fallait donc réunir les compétences de deux communautés, celle des experts en Relativité Générale et en Astrophysique, d'une part, et celle des spécialistes ès laser d'autre part. L'occasion d'une première rencontre a été fournie, en 1981, par l'école d'été de Bad Windsheim sur le thème « Optique Quantique et Gravitation » [1]. Le Groupe d'Etudes du CETHEDec, ainsi enrichi, devait se réunir de nombreuses fois, en petits groupes de travail, afin de passer au crible les différentes idées susceptibles de conduire à un détecteur optique d'ondes de gravitation et de dégager la meilleure voie possible. C'est ainsi qu'ont été retenues la voie interférométrique (cf. exposé de A. Brillat), la voie dite spectroscopique [2, 3] et l'utilisation de fibres optiques (cf. exposé de J.-Y. Vinet). Dans le dialogue nécessaire entre « relativistes » et « opticiens », il fallait que soient bien dégagées les idées simples qui permettent d'appréhender, dans le langage quotidien de l'opticien spectroscopiste, l'action des ondes de gravitation sur un système optique quelconque constitué par des lasers, des miroirs, des détecteurs ou même des atomes isolés. C'est le défi pédagogique qu'ont relevé Th. Damour et Ph. Tourrenc dans le premier exposé. La distinction, qui y est très clairement rappelée entre systèmes de coordonnées d'Einstein et systèmes de coordonnées de Fermi, est essentielle pour bien comprendre la double description qu'on peut faire de l'action des ondes de gravitation sur un système optique, soit en termes de modification de l'indice du vide et des chemins optiques, soit en termes de forces appliquées sur les miroirs, les lasers et les atomes isolés (approche quasi-Newtonienne). L'équivalence de ces descriptions, ainsi que celle entre systèmes de Fermi, sera aussi à la base des approches théoriques des méthodes fondées sur les techniques de spectroscopie à ultra-haute résolution.

(*) Direction des Etudes Recherches et Techniques de la Délégation Générale pour l'Armement.

(**) Centre d'Etudes Théoriques de la Détection et des Communications.

(***) Quantum Non Demolition (voir le texte de A. BRILLET, Th. DAMOUR et Ph. TOURRENC).

Celles-ci feront l'objet d'une suite à ce recueil, consacrée entièrement à l'optique non-linéaire en présence de gravitation, et dont le lecteur pourra trouver une version concise dans la référence [3]. Cette nouvelle voie qui promet une sensibilité comparable à celle des grands interféromètres a encore besoin d'un important travail de réflexion pour parvenir au même degré de maturité et passer du stade spéculatif à celui de projet concret. A plus court terme, il semble bien, en effet, que la méthode la plus prometteuse soit celle qui met en œuvre de grands interféromètres de Michelson ou de Fabry-Pérot. C'est pourquoi, le projet français, que nous décrit A. Brillat, est actuellement parti sur la base de l'interférométrie pure. Mais, même pour cette voie, de nombreuses variantes et perfectionnements essentiels restent à explorer, tels que le recyclage de la lumière, la mise en phase de multiples sources laser de puissance... Il devenait alors très important de dégager des limites réelles voire réalistes (c'est-à-dire réalisables) de cette méthode interférométrique : limites liées au bruit de photons, aux fluctuations de la pression de radiation sur les miroirs, aux possibilités de chaos optique... L'exposé de S. Reynaud et de A. Heidman précise les limites qu'on peut attendre dans la réduction du bruit de photons grâce aux états comprimés du champ lumineux et celui de Ph. Tourrenc et de N. Deruelle analyse la stabilité des grands interféromètres lorsqu'on prend en compte les retards optiques.

Il est bien difficile de statuer aujourd'hui sur les chances de détection des ondes de gravitation par voie optique (à moins d'un événement majeur dans notre galaxie) mais il est certain que c'est l'un des défis les plus passionnants, auquel se trouvent confrontés les opticiens (rappelons qu'il s'agit de détecter une variation de longueur de l'ordre de 10^{-10} frange sur un bras d'interféromètre dont la longueur dépliée est de l'ordre de plusieurs centaines de kilomètres), et comme souvent dans toute recherche de ce type, les retombées sont parfois tout à fait inattendues, et tout aussi importantes que le but peut-être inaccessible qui sert de carotte. Citons d'ores et déjà la Q.N.D., les nombreuses recherches sur la génération d'états comprimés du champ lumineux, la stabilisation en fréquence des lasers de puissance dans le visible au niveau du Hertz, les optiques (miroirs, séparatrices, modulateurs...) de très haute qualité optique et capables de tenir de hauts flux lumineux, les procédés d'isolement séismique ou au contraire la détection des micro-séismes et de façon générale la métrologie des longueurs et des fréquences. Enfin un enrichissement mutuel et une clarification des concepts surgit toujours de la confrontation de plusieurs disciplines aussi éloignées que l'Optique Quantique et la Relativité Générale.

- [1] *Quantum Optics, Experimental Gravitation, and Measurement Theory*, édité par P. MEYSTRE et M. O. SCULLY, NATO ASI Series, Vol. B94 (Plenum Press) 1983.
- [2] NESTERIKHIN, Yu. E., RAUTIAN, S. G. and SMIRNOV, G. I., *Laser detector of gravitational waves*, *Sov. Phys. JETP* **48** (1978) 1.
- [3] BORDÉ, Ch. J., SHARMA, J., TOURRENC, Ph. et DAMOUR, Th., *Theoretical approaches to laser spectroscopy in the presence of gravitational fields*, *J. Physique Lett.* **44** (1983) L-983.