

Réalisation d'un gyromètre à atomes froids
D. Holleville, J. Fils, P. Petit, N. Dimarcq
A. Clairon⁽¹⁾, P. Bouyer⁽²⁾, Ch. Bordé⁽³⁾, Ch. Salomon⁽⁴⁾

Holleville@ief.u-psud.fr

Laboratoire de l'Horloge Atomique
Bât 221 Université Paris Sud
91405 Orsay Cedex

1 . Introduction

Depuis les récents développements en technique de manipulation d'atomes par laser [1], un nouveau domaine d'application est apparu : l'interférométrie atomique [2]. Cette discipline consiste à séparer un paquet d'ondes atomiques, faire propager chaque partie du paquet d'ondes suivant un chemin différent, puis à les recombinaison pour les faire interférer. Ainsi les géométries de ces interféromètres ressemblent beaucoup à celles des interféromètres optiques.

Le domaine des capteurs inertiels de haute précision (gravimètre, gyromètre, accéléromètre, ...) utilise très largement des interféromètres optiques (Michelson à coin de cube tombant, interféromètre de Mach-Zehnder,...)[3], et il était naturel d'essayer de transposer ces dispositifs à l'interférométrie atomique. Ceci a été commencé il y a quelques années, notamment en Europe [4] puis aux Etats-Unis [5],[6], et les résultats obtenus sont très encourageant car les capteurs à atomes sont maintenant aussi (voire plus) performants que les capteurs optiques.

2. Intérêts des gyromètres atomiques

On peut montrer que la sensibilité d'un gyromètre optique ou atomique est proportionnelle à l'aire physique de l'interféromètre comprise entre les chemins des deux ondes qui interfèrent. Bien que l'aire typique d'un gyromètre optique ($\sim 10 \text{ m}^2$) soit beaucoup plus importante que celle d'un gyromètre atomique ($\sim 10 \text{ mm}^2$), l'utilisation d'atomes massifs (Césium $M = 133$) au lieu de photons augmente la sensibilité intrinsèque des gyromètres atomiques d'un facteur 10^{11} par rapport aux gyromètres optiques. On comprend donc que les gyromètres atomiques soient les meilleurs candidats pour atteindre des très hautes sensibilités. Ainsi, le gyromètre le plus performant à l'heure actuelle est celui de M. Kasevich à Yale (USA) qui fonctionne avec un jet thermique de Césium.

3. Conception du gyromètre

Au laboratoire de l'Horloge Atomique (Orsay), nous développons actuellement, en collaboration avec le LPTF (Paris), l'IOTA (Orsay), le LKB (Paris) et le LPL (Villetaneuse), un gyromètre à ondes atomiques utilisant comme source une boule d'atomes de Césium refroidis par laser. La séparation et la recombinaison des paquets d'ondes atomiques sont réalisées par transitions Raman stimulées, et la géométrie de l'interféromètre atomique est de type Mach-Zehnder. On réalise donc une séquence d'impulsions Raman ($\pi/2, \pi, \pi/2$).

⁽¹⁾ Laboratoire Primaire des temps et des Fréquences
Observatoire de Paris
61 avenue de l'Observatoire
75014 Paris

⁽²⁾ Laboratoire Charles Fabry
Institut d'Optique Théorique et Appliquée
Bât 503 Université Paris Sud Orsay
91405 Orsay Cedex

Laboratoire de Physique des Laser
Université de Paris-Nord
F93430 Villetaneuse

⁽⁴⁾ Laboratoire Kastler Brossel
Ecole Normale Supérieure
24 rue Lhomond
75005 Paris

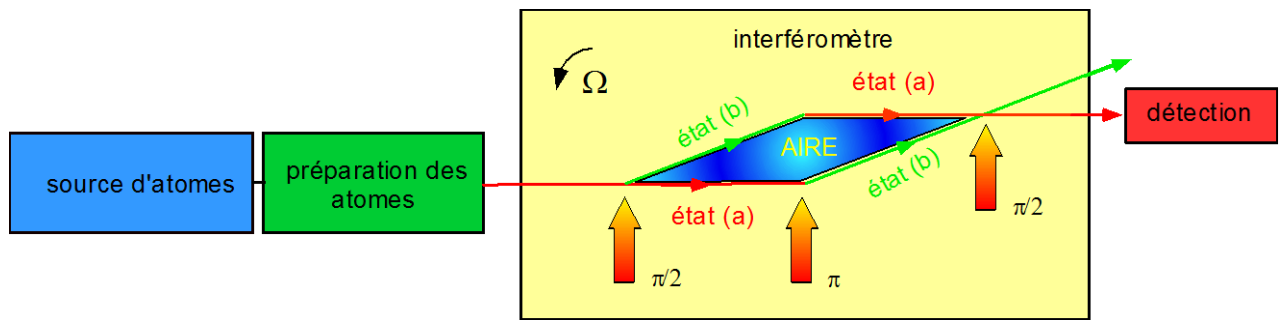


figure 1 : schéma de principe d'un gyromètre à ondes atomiques. La source peut-être un jet thermique ou un piège magnéto-optique. La phase de préparation sert à éjecter de l'expérience tous les atomes qui ne sont pas dans l'état (a). La partie interféromètre est le cœur du gyromètre, c'est là que l'on sépare les ondes atomiques et qu'on les fait interférer. La phase de détection permet de déterminer la probabilité de transition des atomes de l'état (a) vers l'état (b). Cette probabilité de transition est fonction de la vitesse de rotation du dispositif.

Afin de s'affranchir de certains effets parasites (notamment des accélérations suivant l'axe des faisceaux Raman), nous avons élaboré une géométrie en double jets atomiques contra-propageants. Notre gyromètre dispose donc de deux sources d'atomes froids.

L'utilisation d'atomes froids comme source permet de réaliser un appareil compact (cube de 50 cm de côté) avec une sensibilité à peu près équivalente au gyromètre de M. Kasevich ($\sim 1 \text{ nrad/s}^{-1}$) dont la taille est d'environ 3 mètres de long.

La conception de notre gyromètre s'est inspirée des efforts de miniaturisation réalisés pour le projet d'horloge spatiale PHARAO. Plusieurs solutions techniques originales ont été apportées aux différents points critiques du montage.

Ainsi pour induire des transitions Raman stimulées nous avons besoin de deux faisceaux laser cohérents en phase et décalés de 9,2 GHz l'un par rapport à l'autre. Ces faisceaux sont obtenus grâce à la modulation directe du courant d'une diode laser à 4,6 GHz. Le spectre de fréquence de cette diode présente alors deux bandes latérales espacées de 9,2 GHz. Une diode de puissance et un MOPA sont alors injectées sur ces bandes latérales.

La réalisation des pièges magnéto-optiques et du lancement des atomes par mélasse mouvante nécessite d'amener douze faisceaux laser jusqu'à l'enceinte à vide. Un acheminement par fibres optiques a été prévu pour améliorer la compacité et la transportabilité du dispositif. Afin d'éviter d'avoir à injecter douze fibres optiques indépendantes, nous utilisons deux coupleurs de fibres 2 entrées / 8 sorties réalisé en fibre à maintien de polarisation.

La première frange de notre gyromètre est attendue pour le printemps 2000, et suivra ensuite une étude métrologique complète de notre appareil.

[1] C. S. Adams, *Contemp. Phys.*, 35, 1-19 (1994)

[2] «Atom Interferometry », edited by Paul R. Berman, *Academic Press* (1997)

[3] W. W. Chow, J. Gea-Banacloche, L. M. Pedrotti ; *Rev. Mod. Phys.* , 57, 1, **61** (1985)

[4] F. Riehle, Th. Kister, A. Witte, J. Helmcke, Ch. Bordé, *Phys. Rev. Lett.* 67, 2 ,**177** (1991)

[5] M. Kasevich, S. Chu, *Appl. Phys. B* 54, **321** (1992)

[6] T. L. Gustavson, P. Bouyer, M. A. Kasevich, *Phys. Rev. Lett.*, 78, **2046** (1997)