

## Longueur de cohérence d'un condensat de Bose Einstein dans un piège très anisotrope

M. Hugbart, J. Retter, F. Gerbier, S. Richard, J. H. Thywissen, A. Varon, P. Bouyer et A. Aspect

*Groupe d'Optique Atomique, Laboratoire Charles Fabry de l'Institut d'Optique, UMRA 8501 du CNRS, Bât. 503, BP. 147, 91403 Orsay, France*  
e-mail: mathilde.hugbart@iota.u-psud.fr

**Abstract.** Nous mesurons la longueur de cohérence axiale d'un condensat de Bose Einstein ayant un rapport d'aspect entre 60 et 100. Nous utilisons pour cela un interféromètre atomique qui permet d'obtenir directement la fonction de corrélation du condensat. Les premières courbes obtenues montrent une dépendance de la longueur de cohérence avec la température et témoignent de la présence de quasicondensats.

### 1. INTRODUCTION

La condensation de Bose-Einstein [1] est un phénomène physique mettant en jeu des atomes tous décrits par la même fonction d'onde. C'est en optique atomique l'équivalent d'une cavité laser en optique photonique, dans la mesure où tous les atomes sont dans le même mode du piège. De la même façon que les lasers peuvent être couplés aux fibres optiques, les lasers à atomes peuvent être couplés à des guides d'ondes atomiques et des expériences d'interférométrie atomique guidée pourraient être réalisées en particulier pour des applications métrologiques de haute précision. Ces guides atomiques opéreraient très probablement dans un régime de fort confinement transverse. Or, des problèmes de cohérence dans ce genre de régimes peuvent apparaître. Il est donc crucial d'étudier en détail les propriétés de cohérence d'un condensat de Bose Einstein placé dans des structures confinantes très anisotropes.

### 2. LES QUASICONDENSATS

De nombreux travaux expérimentaux sur les gaz d'atomes dilués ont démontré que la phase d'un condensat piégé en trois dimensions est uniforme [2, 3], même à température finie [4]. Sa longueur de cohérence est alors égale à sa taille. En revanche, en dimension inférieure à trois, on s'attend à ce que la phase ne soit bien définie que sur une longueur réduite. Ce phénomène apparaît aussi pour des condensats 3D avec un rapport d'aspect longueur/largeur suffisamment important. La cohérence suivant l'axe long s'établit uniquement à une température inférieure à ce que l'on appelle  $T_\phi$ , qui peut être bien plus basse que la température critique  $T_c$  à laquelle le condensat commence à se former [5]. Dans la gamme de température  $T_\phi < T < T_c$  la longueur de cohérence du condensat est plus petite que sa taille. On dit alors que l'on a un « quasicondensat ».

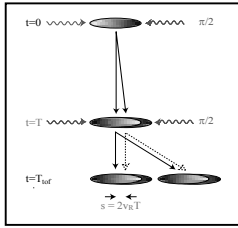
### 3. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET PRINCIPE DE LA MESURE DE LA LONGUEUR DE COHÉRENCE

Nous utilisons un dispositif standard pour la production du condensat de  $^{87}\text{Rb}$  dans l'état  $5S_{1/2} |F = 1, m_F = -1\rangle$  [6]. Notre électroaimant nous permet de baisser le biais du piège Ioffe-Pritchard pour obtenir un confinement radial fort. Ainsi, le rapport d'aspect du condensat peut varier entre 50 et 160.

Pour mesurer la longueur de cohérence suivant l'axe long, deux méthodes sont possibles avec notre dispositif. Une première méthode est la spectroscopie de Bragg : on mesure la distribution en impulsion du condensat par diffraction de Bragg sélective en vitesse. La largeur de cette distribution est inversement proportionnelle à la longueur de cohérence [7, 8]. Cette méthode est particulièrement adaptée au cas où l'on a de fortes fluctuations de phase. En revanche, pour mesurer des longueurs de cohérence proche de la taille du condensat, les vibrations de notre système ne nous permettent pas d'obtenir une résolution suffisante. On utilise alors une méthode complémentaire d'interférométrie.

Comme le montre la figure 1, nous utilisons après coupure du piège magnétique un premier pulse  $\pi/2$  qui sépare le condensat en une superposition cohérente de deux états d'impulsion  $\mathbf{0}$  et  $2\hbar\mathbf{k}_L$ , où  $\mathbf{k}_L$  est le vecteur d'onde des

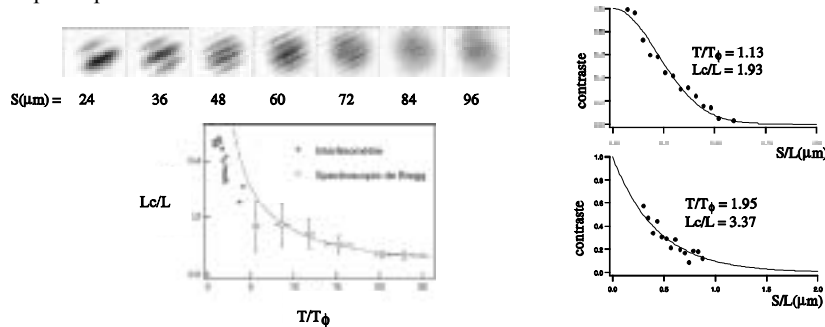
lasers utilisés. Ces deux copies se séparent l'une de l'autre à une vitesse  $2v_R = \hbar k_I/M = 1.2$  cm/s, où  $M$  est la masse de l'atome. Après un certain temps d'attente  $T$  compris entre 2 ms et 10 ms, elles sont distantes de  $S = 2v_R T$ . Enfin ces deux copies sont recombinées à l'aide d'un autre pulse  $\pi/2$ . L'expansion du condensat crée un profil de phase quadratique et on observe sur les deux voies de l'interféromètre les franges d'interférence correspondantes. La mesure du contraste des franges en fonction de la séparation  $S$  nous donne directement la fonction de corrélation du condensat et sa longueur de cohérence.



**Figure 1.** Interféromètre atomique utilisé pour la mesure de la longueur de cohérence du condensat. Après la coupure du piège magnétique, deux pulses  $\pi/2$  permettent de superposer deux copies cohérentes d'un même condensat séparées d'une distance  $S$ .

#### 4. MÉTHODE D'ANALYSE ET PREMIERS RÉSULTATS

Pour des conditions expérimentales fixées, nous faisons l'acquisition par imagerie par absorption d'images d'interférences dont les transformées de Fourier sont moyennées (Fig. 2). On observe alors un pic à la fréquence correspondante à l'interfrange. La hauteur de ce pic par rapport au nombre total d'atomes dans le condensat donne la valeur du contraste des franges. Nous faisons ensuite varier le temps d'attente  $T$  de manière à obtenir la courbe de la fonction de corrélation en fonction de la séparation  $S$  entre condensats. On définit alors la longueur de cohérence  $L_c$  par la position à  $1/e$  de cette courbe.



**Figure 2.** En haut à gauche : images par absorption pour différentes séparations entre les deux condensats. L'interfrange et le contraste varient avec  $S$ . A droite : contraste pour deux températures différentes. La longueur de cohérence  $L_c$  est plus petite que la taille  $L$  du condensat dans ces conditions expérimentales. En bas à gauche : longueur de cohérence du condensat, mesurée par interférométrie et spectroscopie de Bragg, pour différents  $T/T_\phi$ . La courbe en pointillé et la courbe attendue théoriquement.

Les premières mesures obtenues montrent que la longueur de cohérence  $L_c$  du condensat est plus petite que sa taille ce qui prouve la présence d'un quasicondensat. D'autre part, nous observons une augmentation de  $L_c$  lorsque les fluctuations de phase augmentent, c'est-à-dire lorsque  $T/T_\phi$  diminue, que ce soit par interférométrie ou par spectroscopie de Bragg [8].

#### Références

- [1] M. H. Anderson *et al.*, Science **269**, 198 (1995)
- [2] E. W. Hagley *et al.*, Phys. Rev. Lett. **83**, 3112 (1999)
- [3] J. Stenger *et al.*, Phys. Rev. Lett. **82**, 4569 (1999)
- [4] I. Bloch, T. W. Hänsch, T. Esslinger, Nature **403**, 166 (2000)
- [5] D. S. Petrov *et al.*, Phys. Rev. Lett. **87**, 050404 (2001)
- [6] B. Desruelle *et al.*, Phys. Rev. A **60**, R1759 (1999)
- [7] F. Gerbier *et al.*, Phys. Rev. A **67**, 051602 (2003)
- [8] S. Richard *et al.*, Phys. Rev. Lett. **91**, 010405 (2003)