

Interactions dipolaires dans un condensat de Bose-Einstein de Chrome

A. de Paz (PhD), A. Chotia, A. Sharma,
B. Laburthe-Tolra, E. Maréchal, L. Vernac,
P. Pedri (Theory),
O. Gorceix (Group leader)

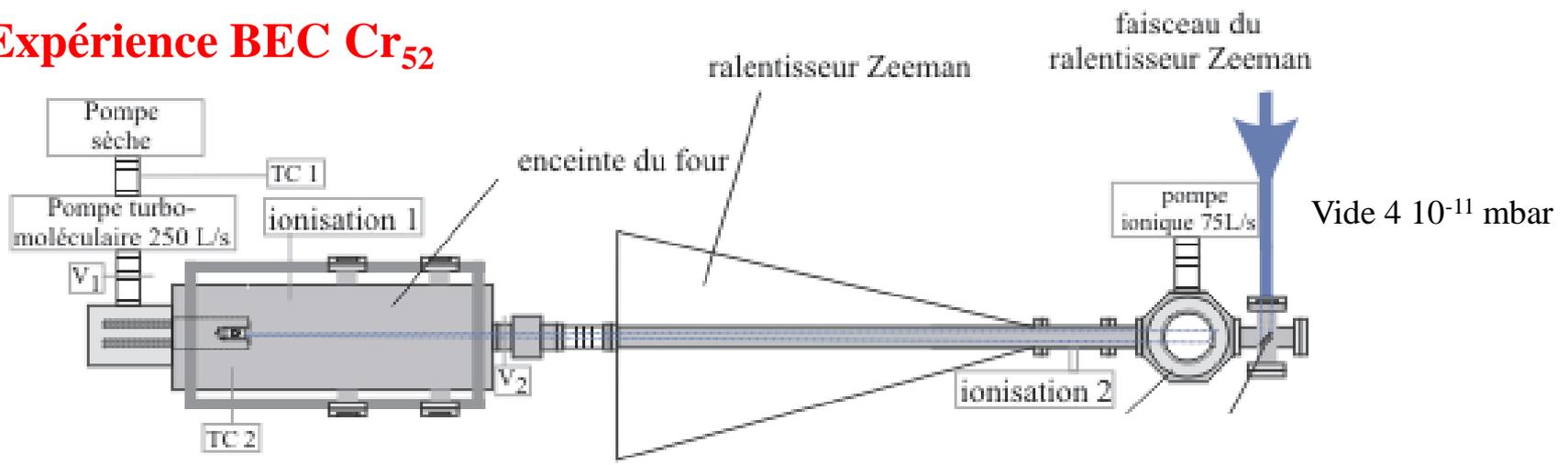


Have left: B. Pasquiou (PhD), G. Bismut (PhD), M. Efremov, Q. Beaufils, J. C. Keller, T. Zanon, R. Barbé, A. Pouderos, R. Chicireanu

Collaborator: Anne Crubellier (Laboratoire Aimé Cotton)



Expérience BEC Cr₅₂

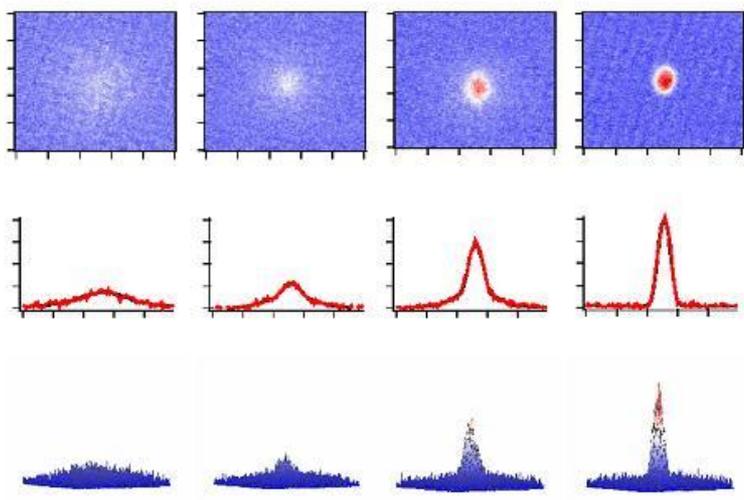


Four à 1500 °C

Ralentisseur

MOT
100 μK
10⁶ atomes

Refroidissement évaporatif
100 nK
10⁴ atomes



Petits condensats (10⁴ atomes)

Four à 1500 °C
Des lasers !
Champ magnétique contrôlé à 100 μG

Interactions « de contact », longueur de diffusion, potentiel d'interaction

$$V(R) = -\frac{C_6}{R^6}$$



$$V(R) = \frac{4\pi\hbar^2}{m} a\delta(R)$$

Revient à ne considérer que l'effet des interactions à des distances grandes

Potentiel effectif :

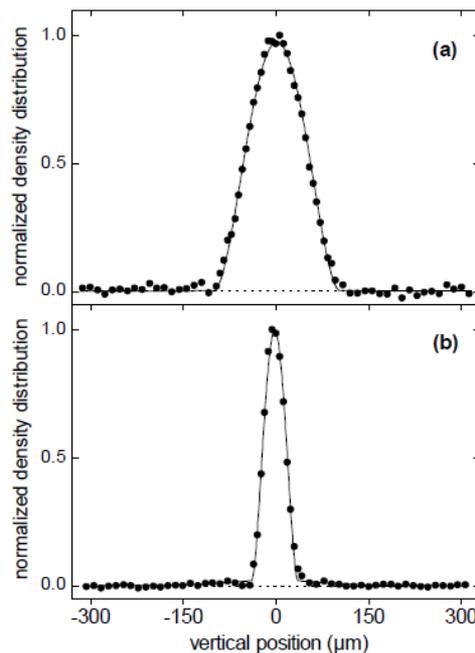
$$V_{eff}(\vec{r}) = \frac{4\pi\hbar^2 a n(\vec{r})}{m}$$

$$na^3 \ll 1$$

Le nuage gonfle pour réduire son énergie

$a \sim 200 a_0$

$a \sim 0 a_0$



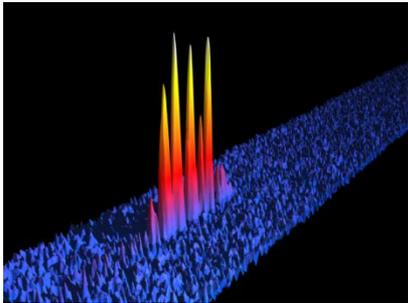
Comportement hydrodynamique

Cs BEC with tunable interactions
(from Innsbruck))

Effet des interactions sur les condensats

Interactions attractives

Effondrement du condensat
pour un grand nombre
d'atomes

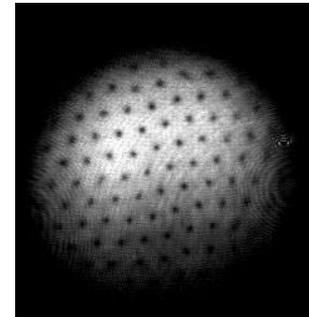


Petits solitons

Rice...

Interactions répulsives

Condensat stable
Spectre d'excitation phononique



Superfluidité

ENS, JILA...

Interactions dépendant du spin



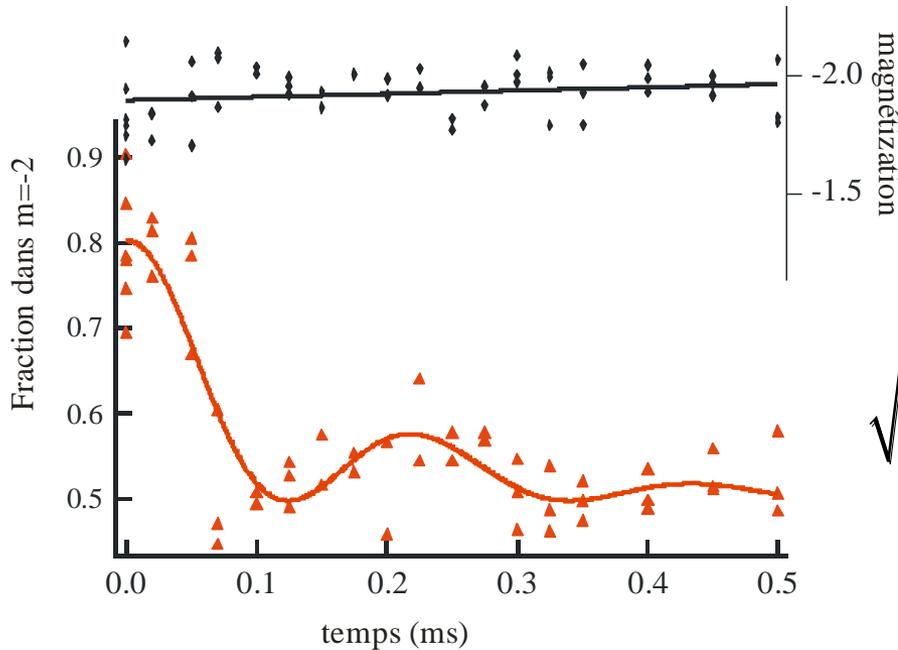
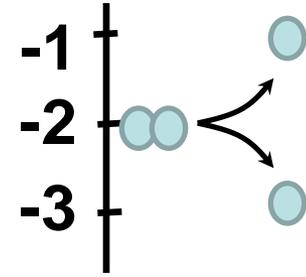
Berkeley

Magnétisme

Magnétisme... à magnétisation constante !

Oscillations de spin

(interactions centrales)



$$|-2, -2\rangle \leftrightarrow \frac{1}{\sqrt{2}} (|-3, -1\rangle + |-1, -3\rangle)$$

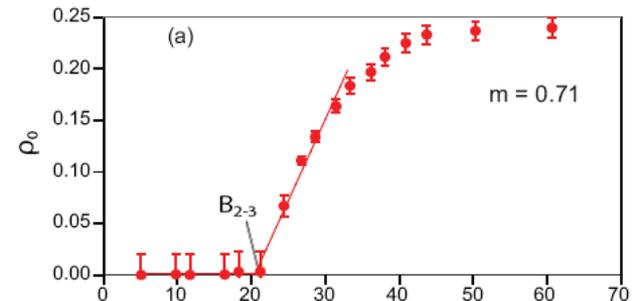
$$|m_S = -2, m_S = -2\rangle =$$

$$\sqrt{\frac{6}{11}} |S = 6, m_{tot} = -4\rangle - \sqrt{\frac{5}{11}} |S = 4, m_{tot} = -4\rangle$$

$$\Gamma = \frac{4\pi\hbar^2}{m} n(a_6 - a_4)$$

Transitions de phase quantiques

cf : Chapman, Sengstock,
Klempt, Stamper-Kurn, Lett...



Gaz quantique avec interactions de contact

BEC polarisé (« scalaire »)

Hydrodynamique

excitations collectives, son, superfluidité...

BEC à plusieurs composantes (« spinor »)

Magnétisme

Phases, textures de spin...

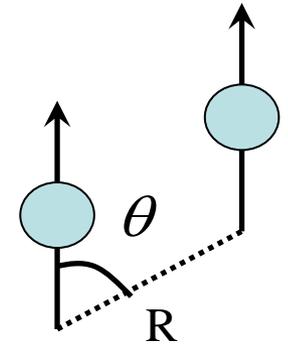
Chrome (S=3): présence d'interactions dipôle-dipôle

Interactions dipôle-dipôle

$$V_{dd} = \frac{\mu_0}{4\pi} S^2 (g_J \mu_B)^2 (1 - 3 \cos^2(\theta)) \frac{1}{R^3}$$

Longue portée

Anisotrope



Hydrodynamique :

Présence d'un champ non-local

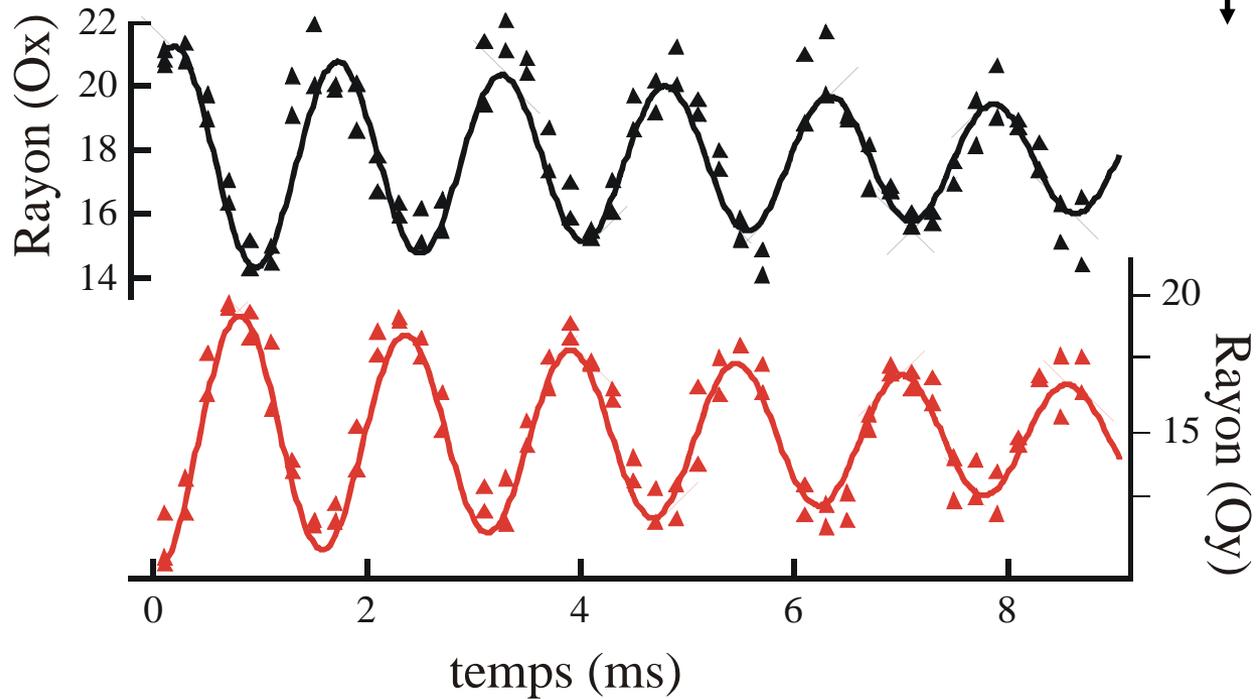
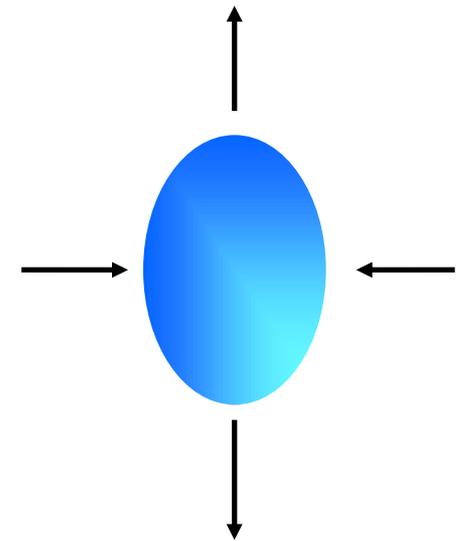
Magnétisme :

Les atomes *sont* de petits aimants

1 - Hydrodynamique :

Présence d'un champ non-local dû à l'interaction dipolaire

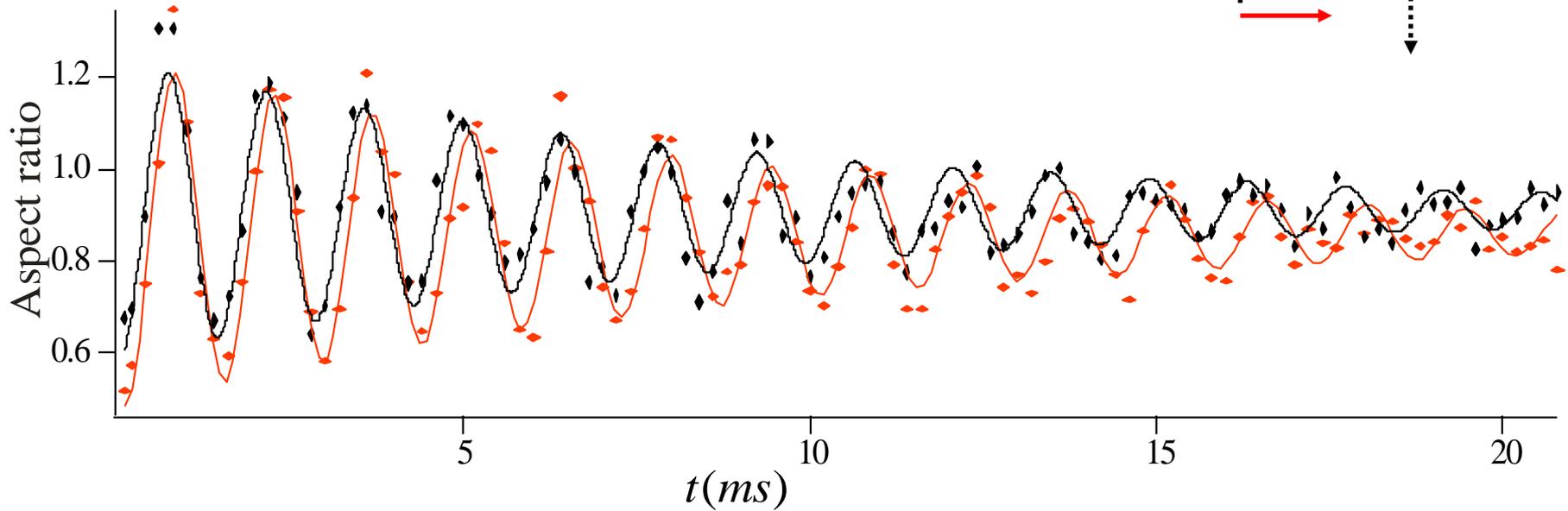
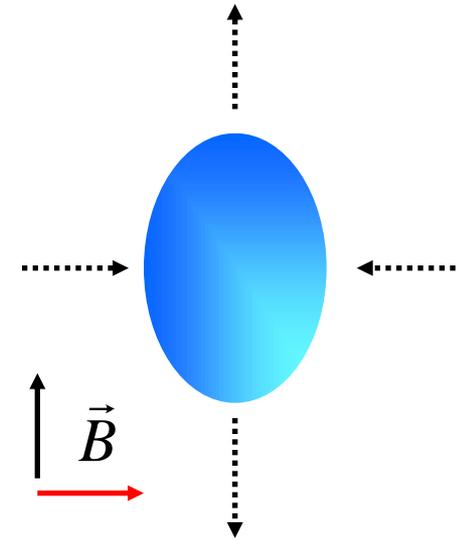
Un effet des interactions :
Modes propres d'oscillation collective



(excitation paramétrique)

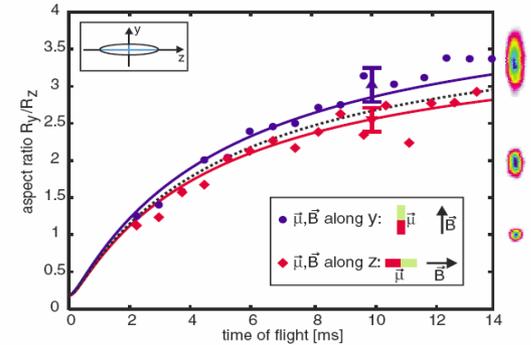
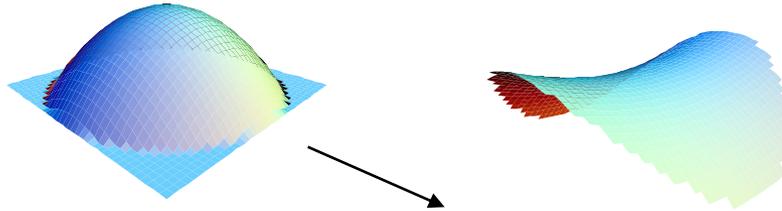
Effet des interactions dipolaires sur les modes propres

Du fait de leur anisotropie, les interactions dipolaires ont un effet sur les modes propres qui dépend de l'axe de polarisation



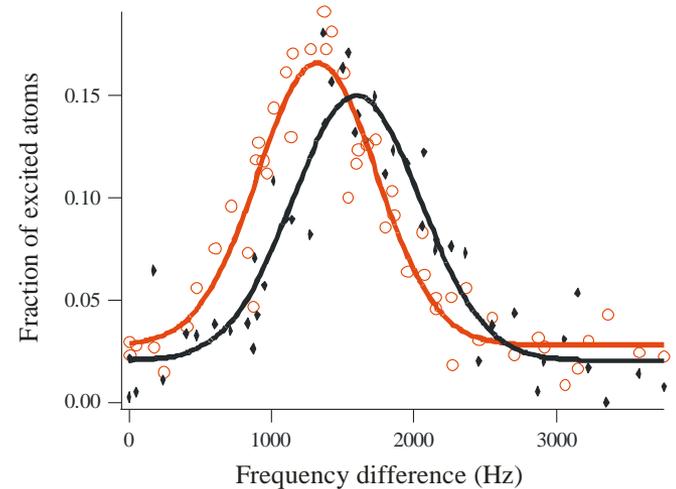
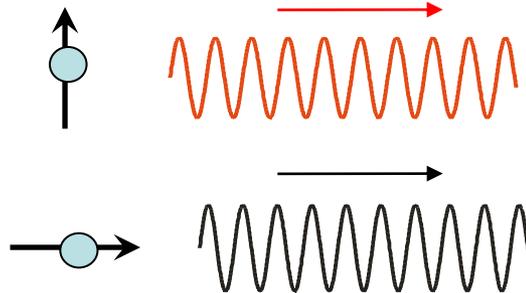
Autres effets de l'interaction dipolaire sur les propriétés hydrodynamiques du condensat

Magnéto-Striction



Stuttgart, PRL **95**, 150406 (2005)

Une vitesse du son anisotrope (spectroscopie de Bragg)

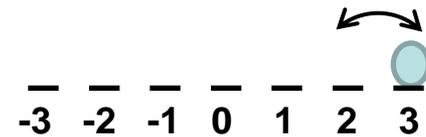
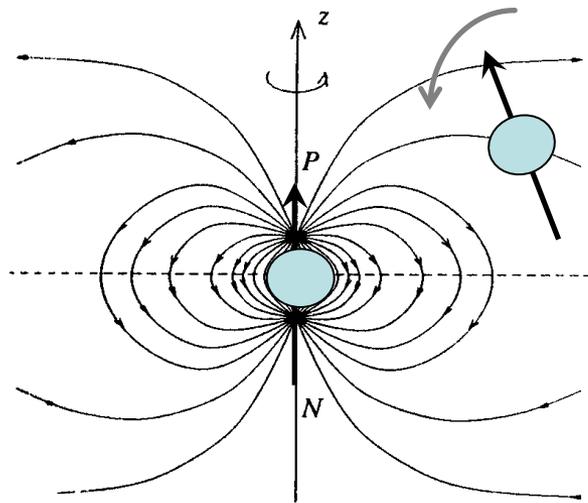


Villetaneuse, arXiv: 1205.6305 (2012)

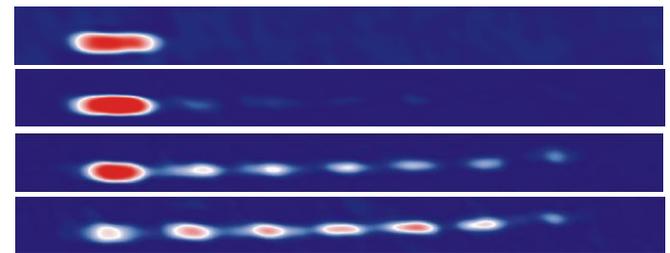
Des effets intéressants, mais petits...

2 – Magnétisme :

L'interaction dipolaire libre la magnétisation

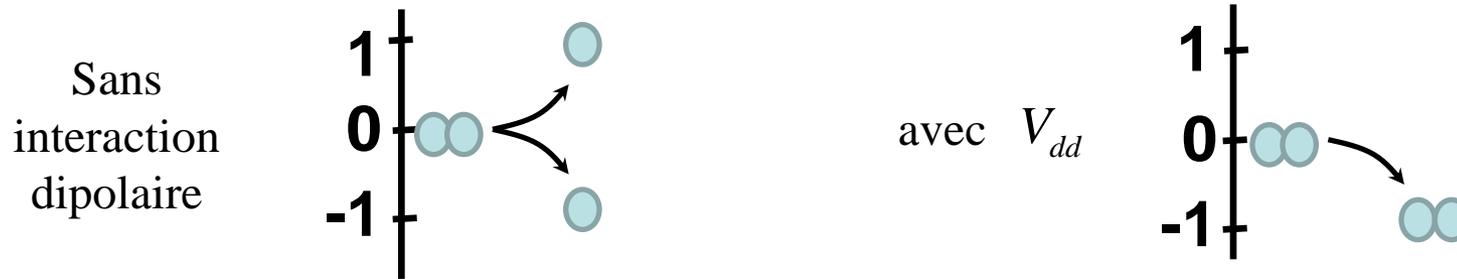


$$\hbar\Gamma \approx V_{dd}$$

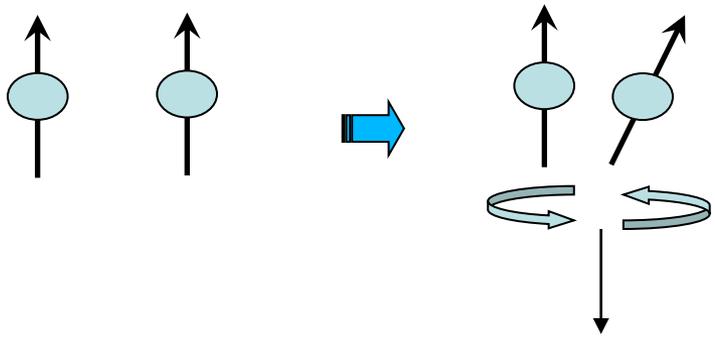


-3 -2 -1 0 1 2 3

Physique des spinors à magnétisation libre



Couplage spin-rotation (conservation du moment angulaire total)



$$\Delta E = \Delta m_S g \mu_B B$$

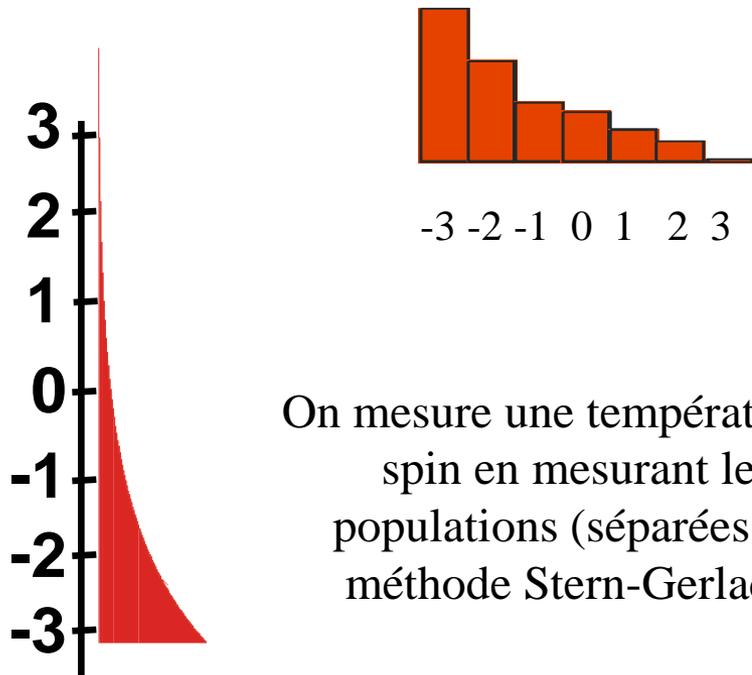
Rotation du BEC ?
Vortex ?
Effet Einstein-de-Haas

Il faut bien contrôler B
(100 μG)

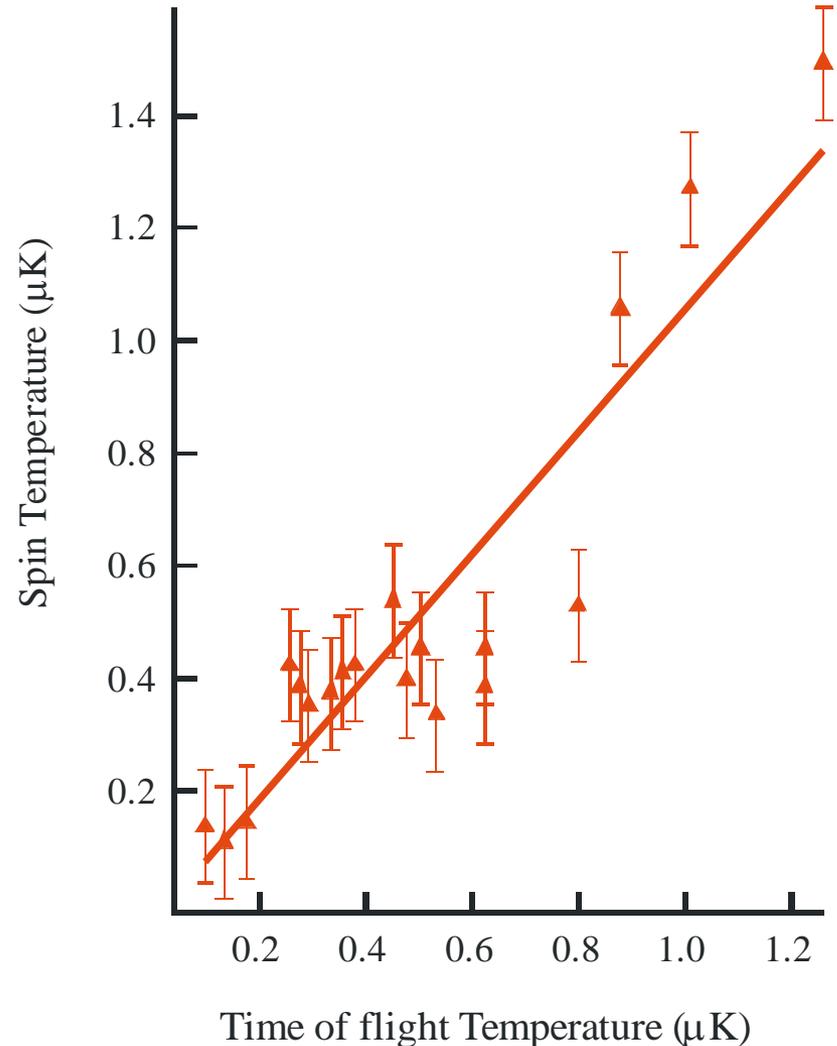
Magnétisation libre : température de spin et température « mécanique »

A bas champs : degré de liberté de spin activé

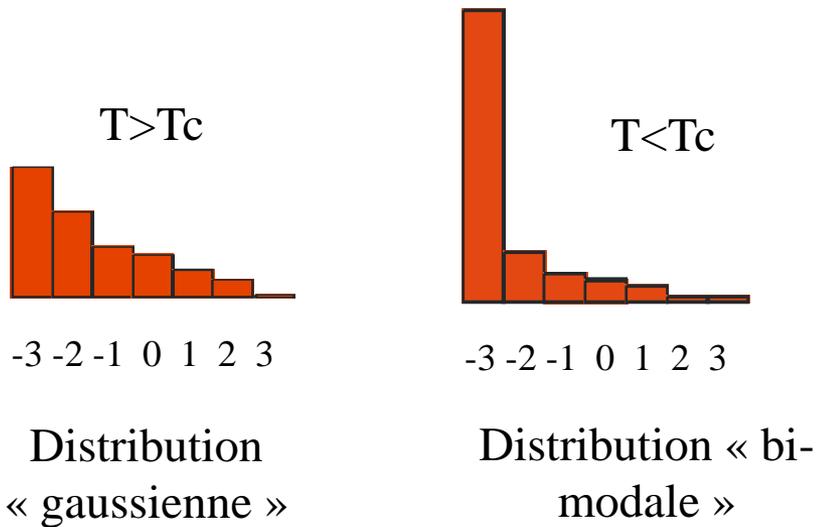
$$g\mu_B B \approx k_B T$$



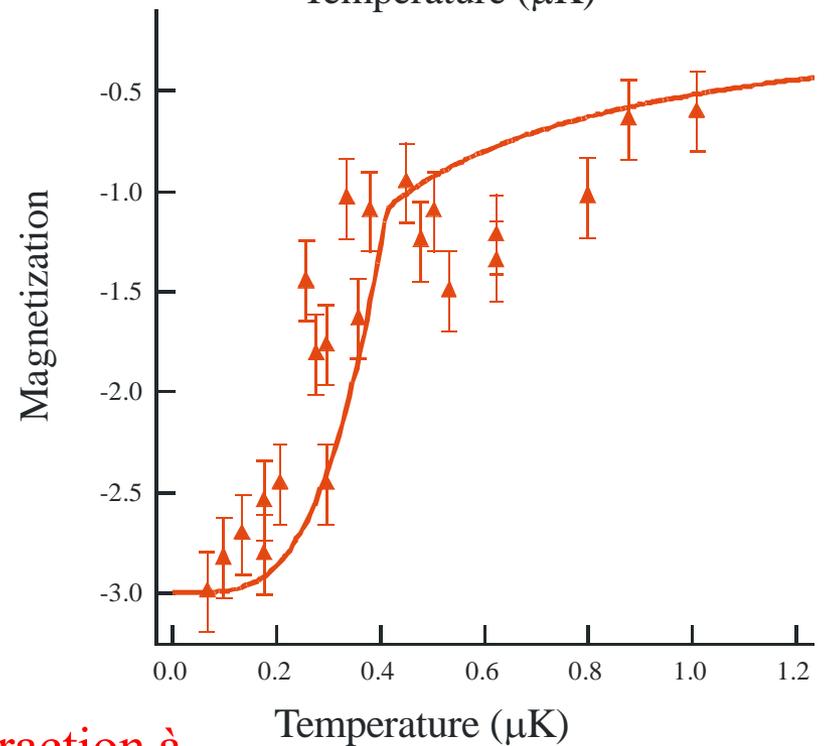
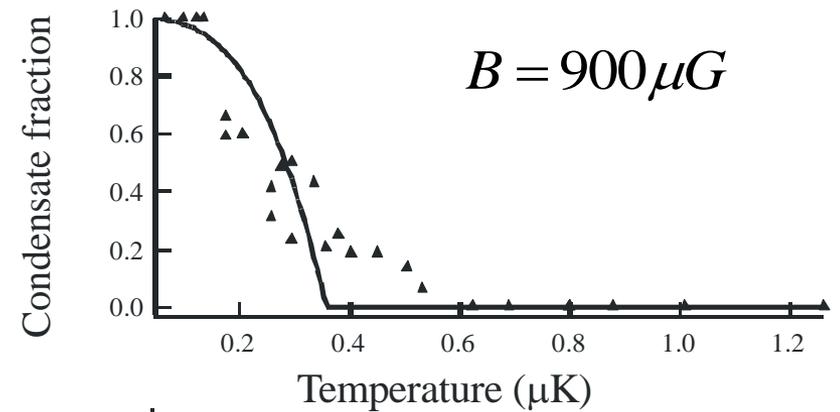
On mesure une température de spin en mesurant les populations (séparées par méthode Stern-Gerlach)



Une magnétisation spontanée due à la condensation

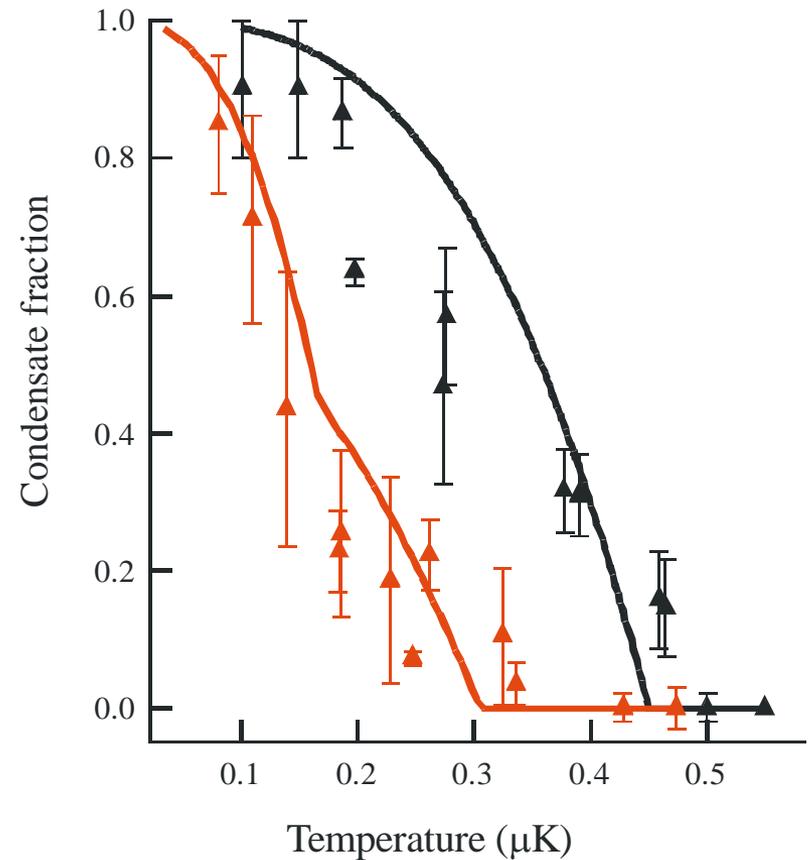
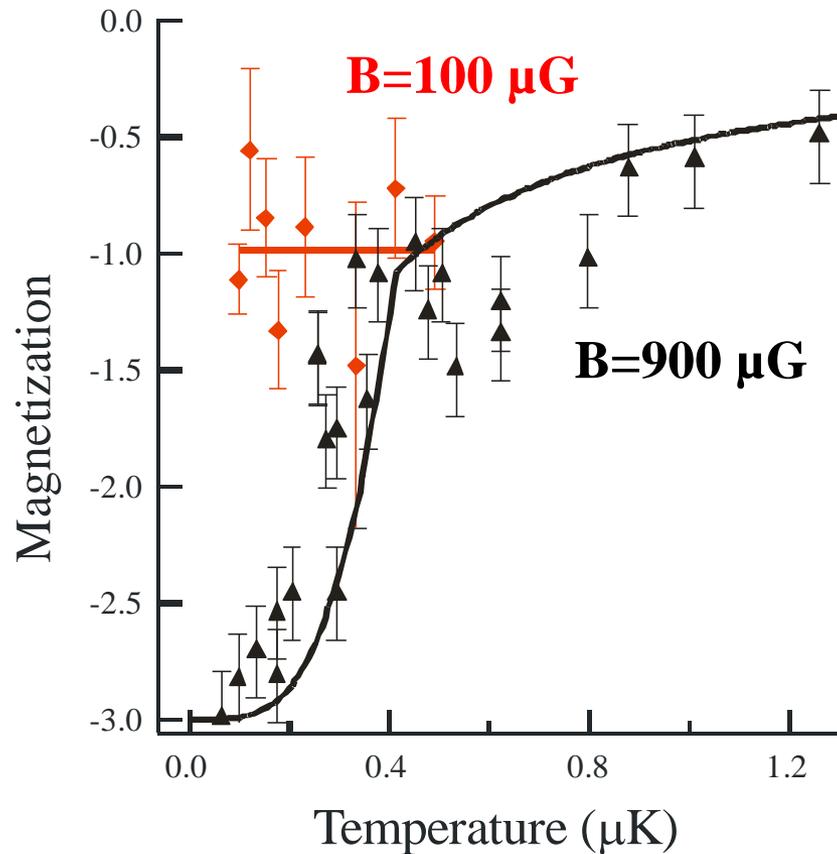


**BEC dans $m_s = -3$
(état de plus basse énergie)**



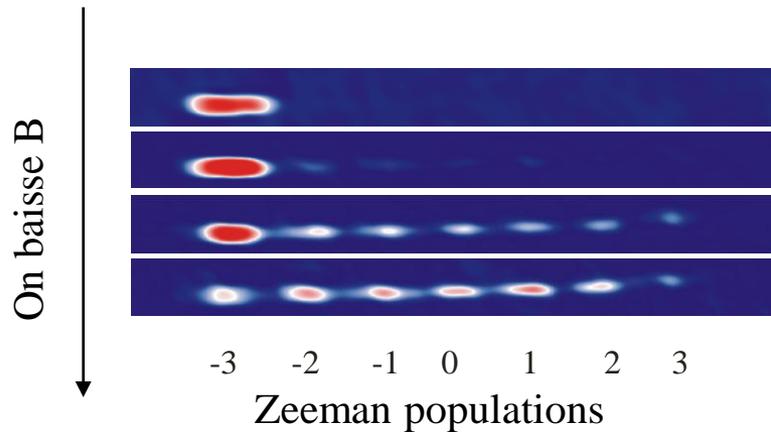
Thermodynamique d'un gaz de Bose sans interaction à plusieurs composantes : un **BEC** est ferromagnétique
Nouveau magnétisme

Sous un champ critique, le BEC n'est plus ferromagnétique !



**On observe un condensat
dépolarisé :
Nécessairement un effet des
interactions entre atomes**

Démagnétisation spontanée d'un condensat due aux interactions dipolaires



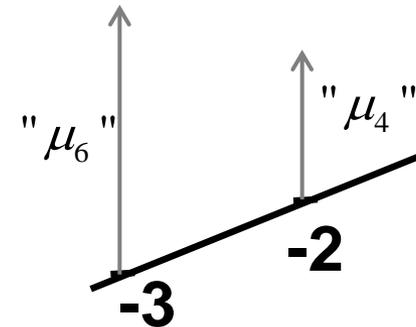
Dépolarisation sous

$$B < B_c \propto \frac{4\pi\hbar^2}{m} n(a_6 - a_4)$$

(= l'énergie Zeeman est plus petite que l'énergie d'interaction)
(100 μG)

Echelle de temps de dépolarisation :

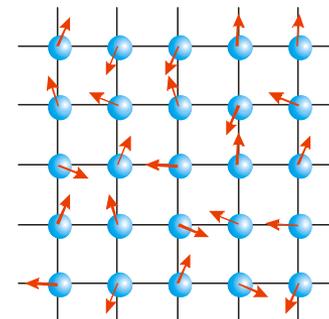
$$V_{dd}(r = n^{-1/3}) \propto \frac{\mu_0}{4\pi} S^2 (g_J \mu_B)^2 n$$



Dynamique : interaction dipolaire

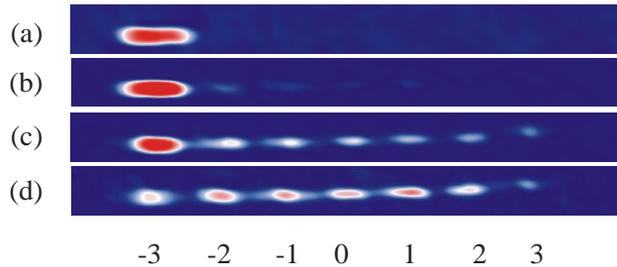
Phases magnétique : interaction de contact

On revisite le magnétisme ; dans des réseaux optiques
→ Magnétisme quantique

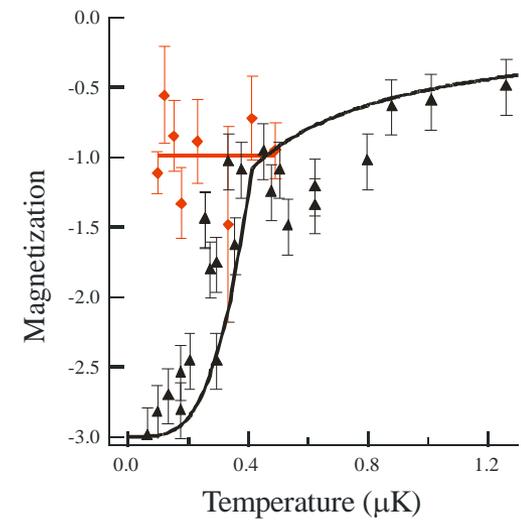
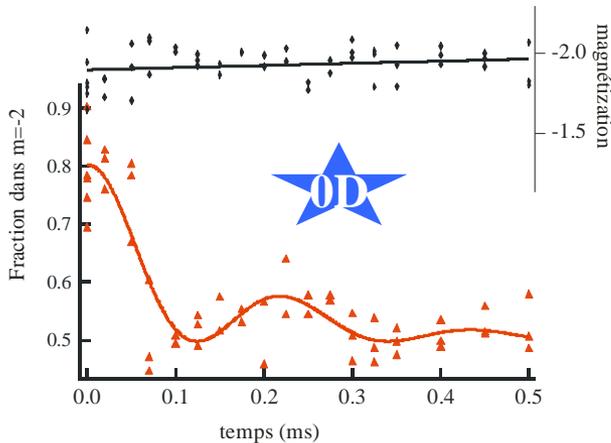


Conclusions, perspectives...

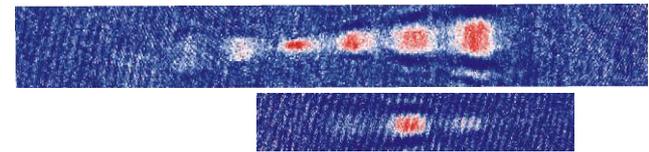
Les interactions dipolaires libèrent la magnétisation



L'effet de déplacement lumineux permet de contrôler les phases obtenues



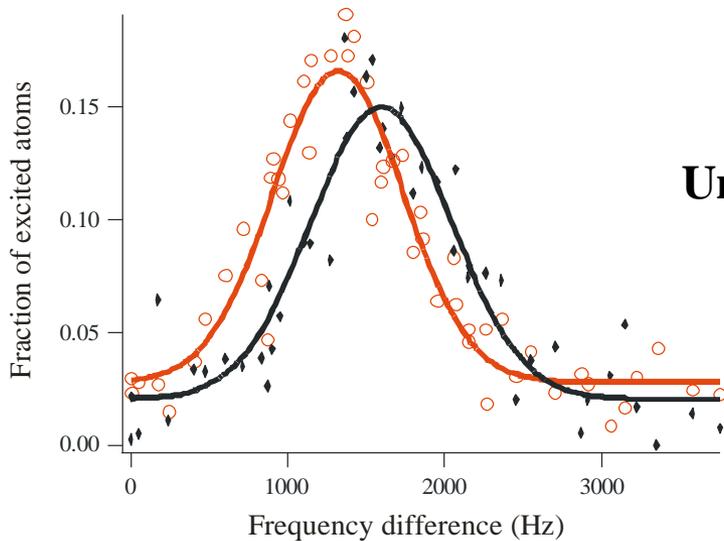
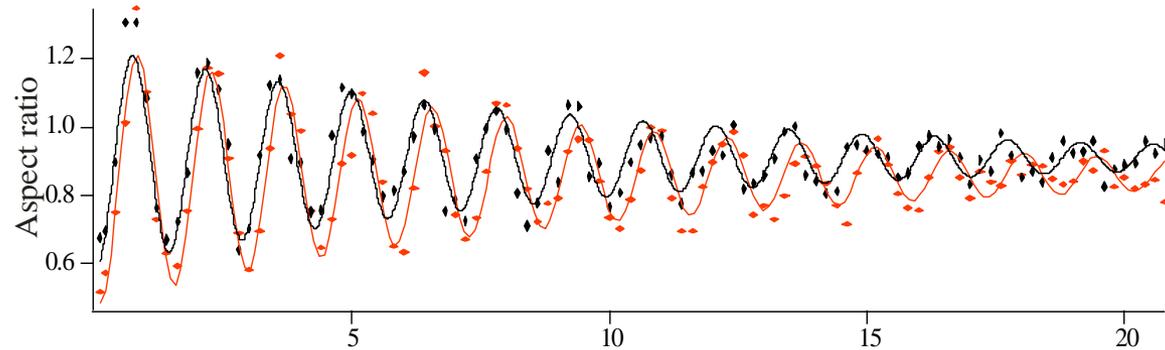
Nouvelles phases quantiques



On peut étudier le magnétisme en réseau
étude de la dynamique de magnétisation
couplage résonant entre bandes
oscillations de spin
couplage entre rotation et spin
(effet Einstein-de-Haas)

Perspectives / hydrodynamique

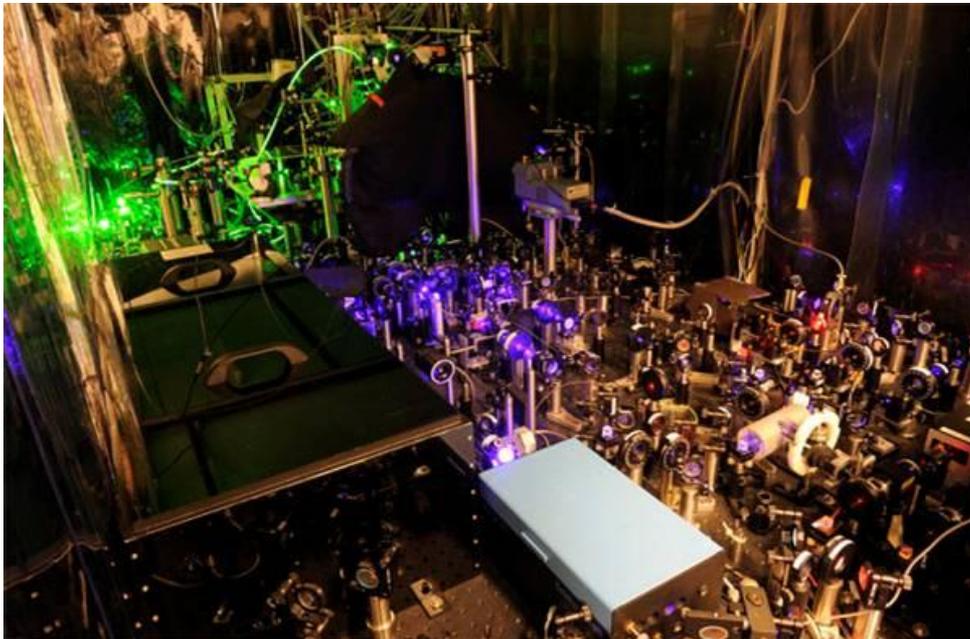
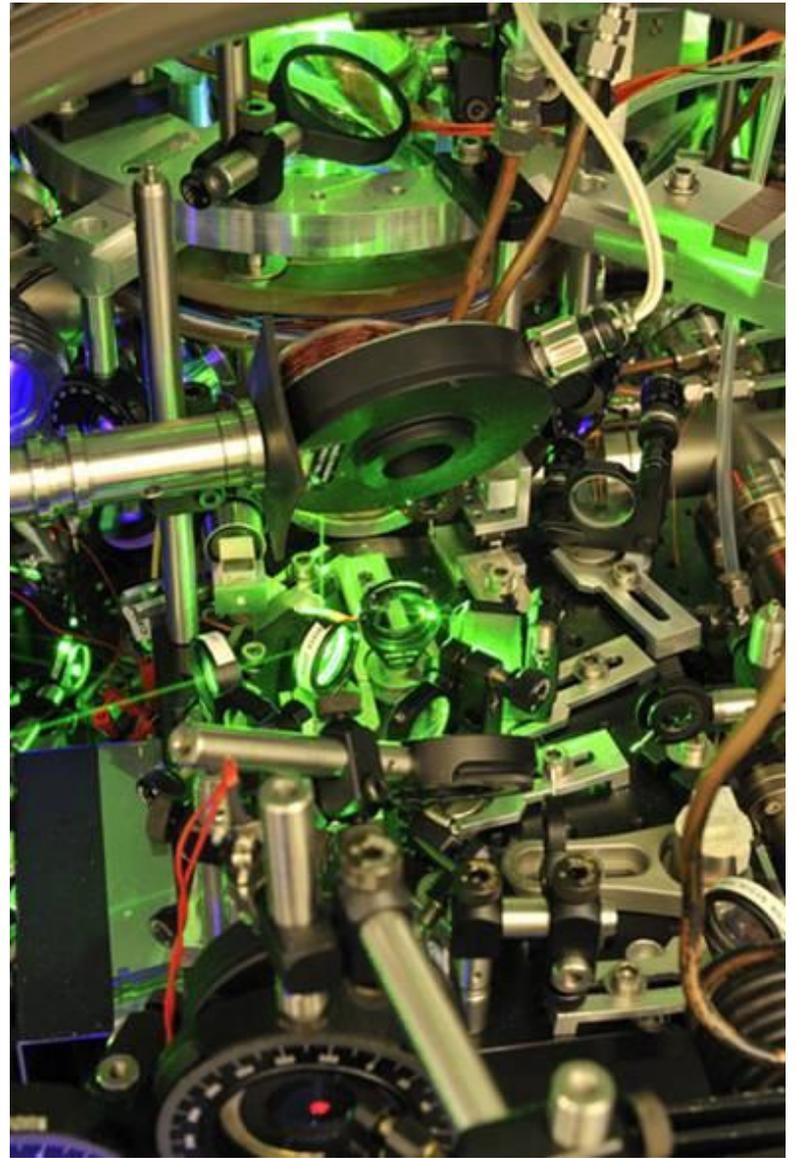
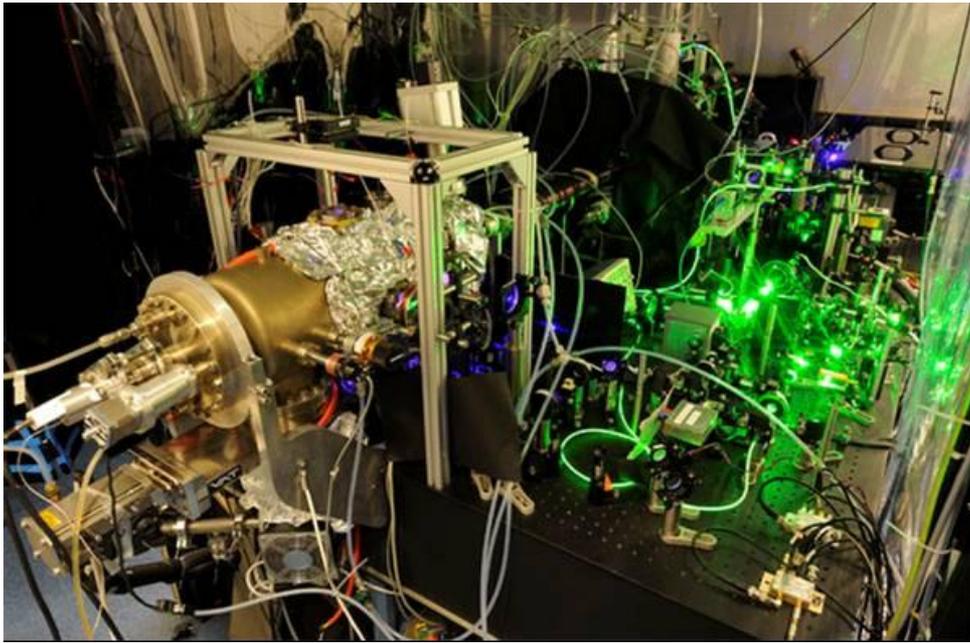
Les interactions dipolaires modifient les excitations collectives



Une vitesse anisotrope = superfluidité anisotrope ?

Exciter des modes collectifs de spin ?

**Peut-on explorer les liens entre
magnétisme et superfluidité ?**



Merci !