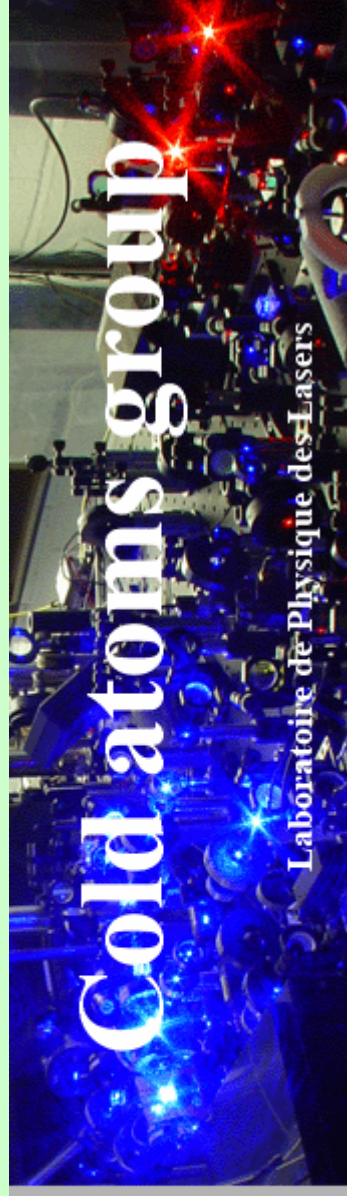
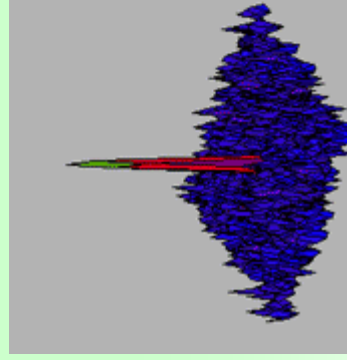


Laboratoire de Physique des Lasers  
Université Paris Nord  
Villetaneuse - France





# Réalisation expérimentale de la Condensation de Bose du chrome



Laurent Vernac le 26-02-08

# Présentation

- ENS Cachan 1993-1997
- DEA Physique Quantique
- Thèse Optique Quantique – LKB Jussieu  
"Fluctuations quantiques de champs et d'atomes couplés en cavité "
- Post Doc (Physique Atomique) – Groupe de Lene Hau à Harvard  
Réalisation d'une source d'atomes froids de Rb intense 
- Maître de Conférence Université Paris 13 (Villetaneuse)  
Septembre 2003 - présent 

# Plan de l'exposé

## ➤ Les condensats de Bose Einstein

- Qu'est ce qu'un condensat gazeux ?
- A quoi ça sert ?
- Pourquoi faire un condensat de chrome ?

## ➤ Comment obtenir un condensat ?

- Le ralentissement des atomes d'un jet
- Le piège magnéto optique
- Le processus d'évaporation dans un piège de profondeur finie



# Qu'est ce qu'un condensat gazeux ?

- BEC historique (Bose et Einstein 1925)

Statistique de BE 
$$N(E) = \frac{1}{e^{\frac{E-\mu}{k_B T}} - 1}$$

$\mu$  = potentiel chimique

Atomes libres "dans" une boîte :

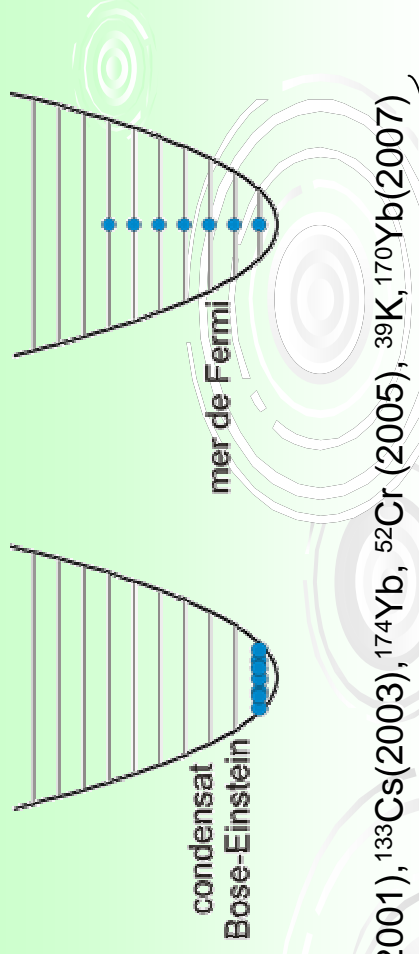
accumulation favorable dans l'état + de basse énergie si  $n \lambda_{DB}^3 > 2,612$

avec 
$$\lambda_{DB} = \frac{h}{\sqrt{3mk_B T}}$$

- BEC expérimentaux (depuis 1995)

Atomes piégés, le piège est de profondeur fini

Les atomes interagissent entre eux



Historique des atomes condensés:

$^{87}\text{Rb}$ ,  $^{23}\text{Na}$ ,  $^7\text{Li}$  (1995),  $^1\text{H}$  (1998),  $^{85}\text{Rb}$  (2000),  $^4\text{He}^*$ ,  $^{41}\text{K}$  (2001),  $^{133}\text{Cs}$  (2003),  $^{174}\text{Yb}$ ,  $^{52}\text{Cr}$  (2005),  $^{39}\text{K}$ ,  $^{170}\text{Yb}$  (2007)

bosons car  $S_{\text{tot}}$  entier : nombre de neutrons pair

→  $S_n = S_p = S_e = 1/2$

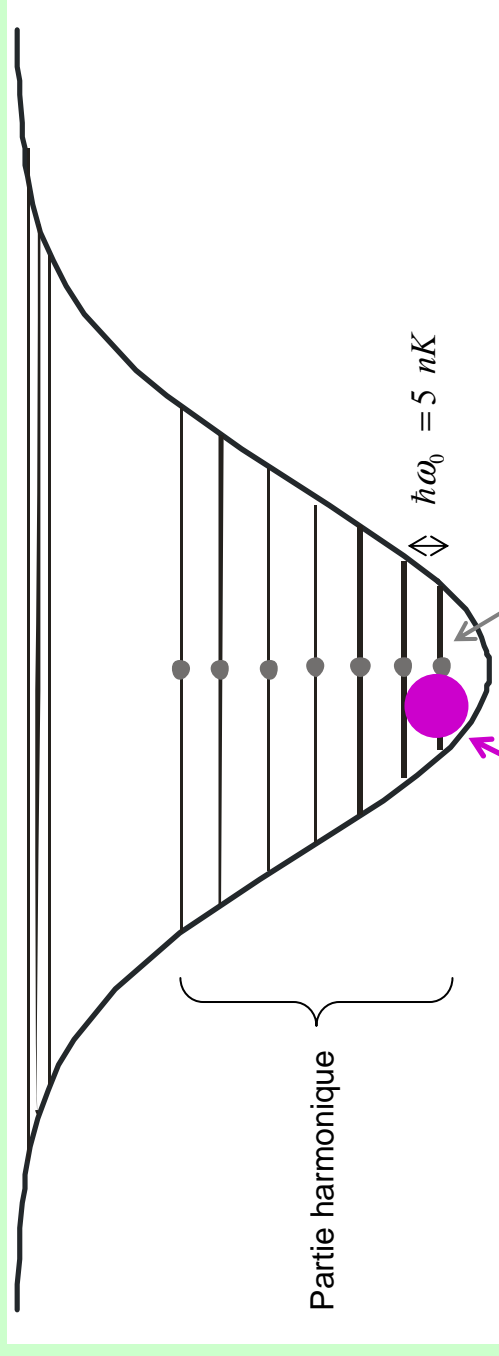
# Qu'est ce qu'un condensat gazeux ?

Illustration sur notre expérience

$N_{\text{at}} = 20000$ , dans un piège gaussien 3 D

1D  $\approx 200$  niveaux

3D  $\approx 10^7$  niveaux



profondeur  
 $\approx 1 \mu\text{K}$

Si on néglige les interactions :

Température de la transition de BE :

$$k_B T_c = 0,94 \hbar \omega_0 N^{1/3} \longrightarrow 150 \text{ nK}$$

**La température de transition est très supérieure à l'écartement des niveaux !!**

$$k_B T_c \gg \hbar \omega_0$$

Phénomène pas trivial !

Par contre  $N_0 = N_{\text{at}}$  **seulement à  $T = 0 \text{ K}$**

Partie condensée ie dans le niveau fondamental décrite par :  $\varphi(\vec{r}) = \prod_{i=1}^{N_0} \psi_{h_0}(\vec{r})$

# Les interactions « ordinaires » = les interactions de contact

## Origine des interactions de contact

Interactions de Van der Waals à très courte portée, attractive ou répulsive  
 Caractérisées par un seul paramètre, la **longueur de diffusion**

Equation de Gross Pitaïevski :

Fonction d'onde du condensat

$$\left( \frac{-\hbar^2}{2m} \Delta_r + V_{\text{piège}}(\vec{r}) + g_{\text{int}} |\varphi(\vec{r})|^2 \right) \varphi(\vec{r}) = \mu \varphi(\vec{r})$$

$E_c$     $E_p$     $E_{\text{int}}$

$$g_{\text{int}} = \frac{4\pi\hbar^2 a}{m} \quad a > 0 \quad \text{int. répulsives}$$

$$a < 0 \quad \text{int. attractives}$$

Valide si gaz **dilué** ie  $na^3 \ll 1$

Cas de l'approximation de Thomas Fermi :

$E_c \ll E_{\text{int}}$  ie  $Na \gg a_{\text{ho}}$  ou  $\mu \gg \hbar\omega_0$

**BEC = gaz dilué pas si dilué !**

$N \hbar\omega_0$     $N n$     $g_{\text{int}}$    fonction d'onde :  $|\varphi(\vec{r})|^2 = \frac{\mu - V_{\text{piège}}(\vec{r})}{g_{\text{int}}} = n(\vec{r})$

$T_c$  peu changée

Forme du condensat très différente, taille modifiée (plus grande)

## Bilan

**Parabole inversée à 3D**  
 dans un piège harmonique



# Preuve expérimentale de la condensation

Expansion libre = coupure du piège → Chute libre + explosion

Gaz thermique: expansion isotrope selon  $R_i(t) = \sqrt{R_{i0}^2 + V_{th}^2 t^2}$  avec  $V_{th} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}}$

BEC sans interaction : expansion **anisotrope** selon  $R_i(t) = \sqrt{R_{i0}^2 + V_{ioh}^2 t^2}$   
avec  $V_{ioh} = \sqrt{\frac{\hbar \omega_{ioh}}{m}} \ll V_{th}$

BEC avec interaction : expansion **anisotrope** plus compliquée

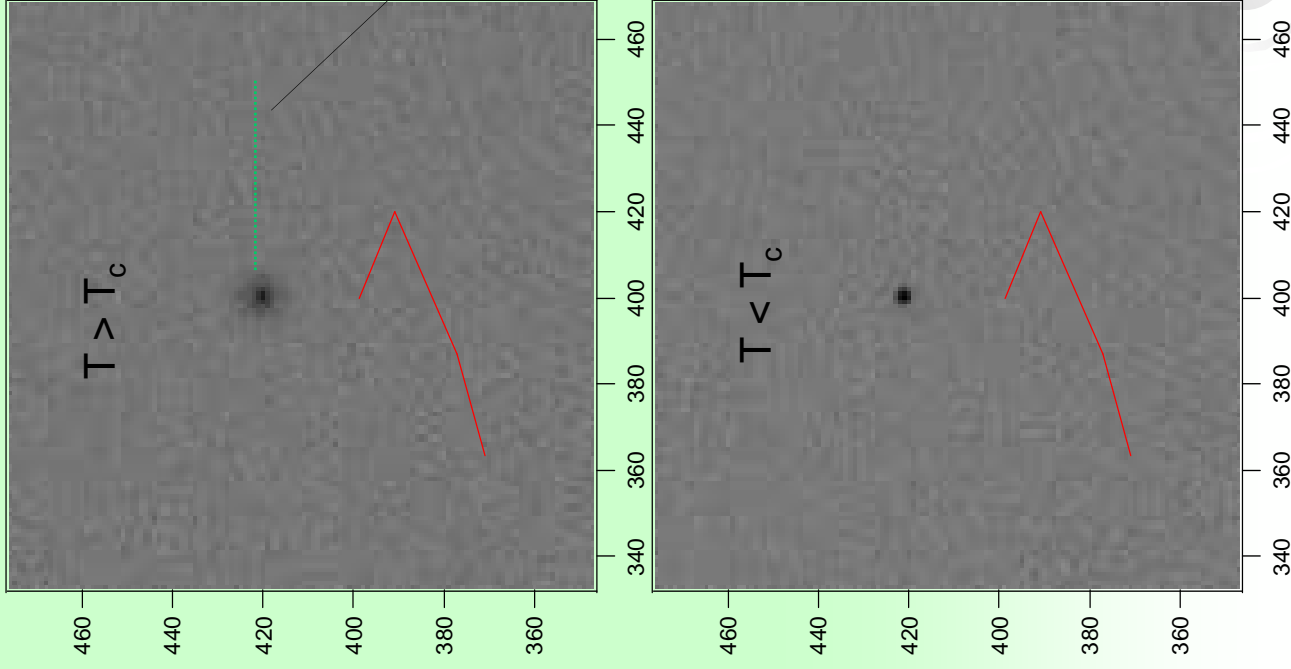
Vitesse intermédiaire :  $V_{th} \gg V_{iTF} \gg V_{ioh}$

L'observation de la transition se fait en analysant l'expansion du gaz

→ Changement **brutal** de comportement



# Preuve expérimentale de la condensation



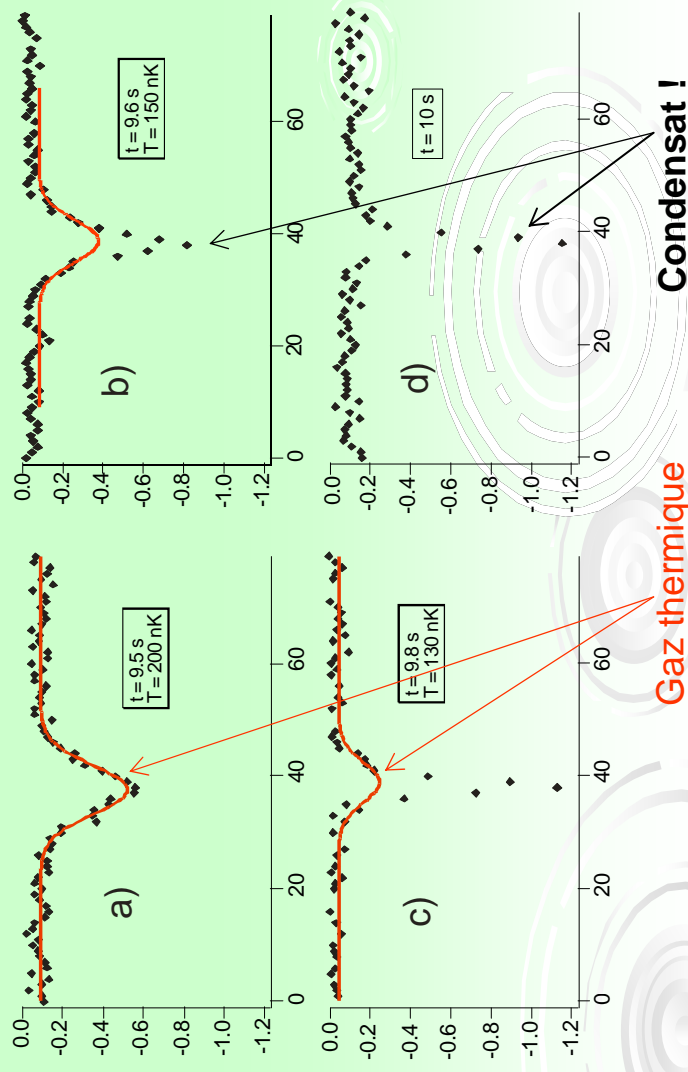
Imagerie d'absorption :

on regarde comment le nuage a absorbé les photons le long de leur direction de propagation

$$dI = -\sigma_{opt} n(x, y, z) I dz \quad \text{si } I \ll I_{sat} \quad \text{avec} \quad \sigma_{opt} = \frac{3\lambda^2}{2\pi}$$

Section efficace d'absorption    densité d'absorption    Intensité laser

$$\Rightarrow -Ln\left(\frac{I_t}{I_{in}}\right) = \int \sigma_{opt} n(x, y, z) dz$$



Gaz thermique

Condensat !



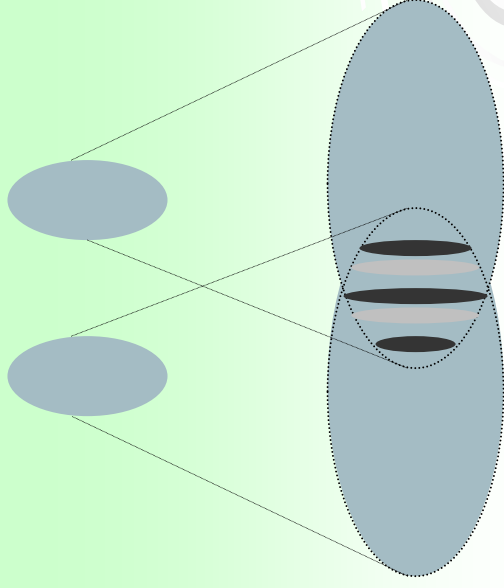
# Les propriétés fascinantes d'un condensat

"Tous" les atomes sont dans le même état quantique :

Longueur de cohérence à  $T > T_c$  :  $\lambda_{DB}$  ; à  $T < T_c$  :  $L_{nuage}$  !

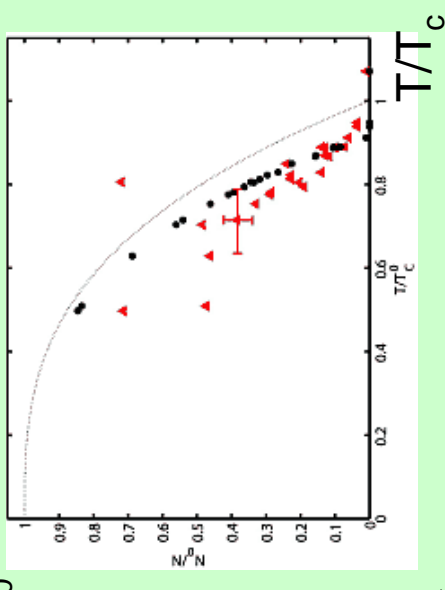
→ Cohérence **sur toute la longueur du nuage** de la partie condensée

Donc, 2 condensats peuvent interférer !

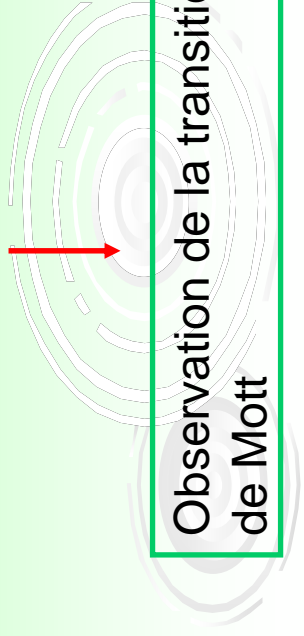


matière + matière = rien ...

$N_0/N$



BEC dans un **réseau optique**  
= modèle de physique solide



Observation de la transition  
de Mott

# Pourquoi faire un condensat de chrome ?

Le chrome a un fort moment magnétique permanent (dipôle)

Structure électronique  $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^1, 3d^5$

Caractéristique de l'état fondamental :  ${}^7S_3$   $L=0, S=3$  → Moment magnétique permanent

$$\vec{m} = \frac{-g}{2m} \vec{\ell} \quad \text{mais} \quad \vec{m} = \frac{-g}{2m} \vec{S} \quad \text{Magnéton de Bohr} \quad \mu_B = \frac{e}{2m_e} \hbar \quad m_{Cr} = 6 \mu_B$$

Pour les autres atomes condensés : interactions dipôle-dipôle " faible " (alcalins:  $s = 1/2$ )

- Seule interaction : interaction de contact
- 'courte portée' ( $1/r^6$ )
- isotrope

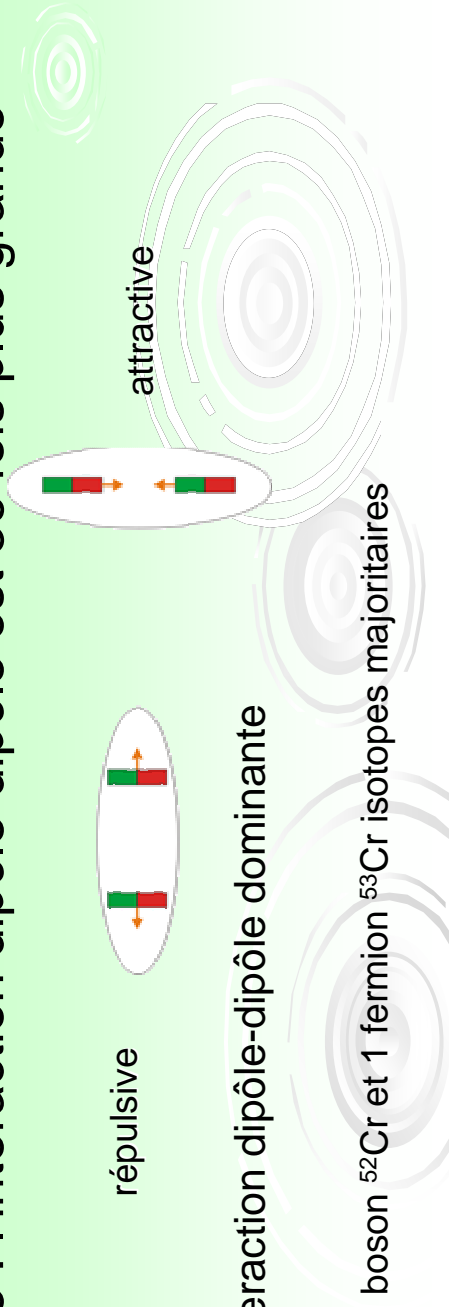
Pour l'atome de chrome : l'interaction dipôle-dipôle est 36 fois plus grande

- 'longue portée' ( $1/r^3$ )
- anisotrope

répulsive



attractive



Possibilité d'avoir l'interaction dipôle-dipôle dominante

- **Autre intérêt du chrome** : 1 boson  ${}^{52}\text{Cr}$  et 1 fermion  ${}^{53}\text{Cr}$  isotopes majoritaires

# Motivations de notre expérience

Chrome: condensé dans l'équipe de T. Pfau (Stuttgart 2005)

- Création d'un ferrofluide quantique, dont les interactions dipôle-dipôle sont (au moins) du même ordre de grandeur que les interactions de contact

[Nature. 448, 672 \(2007\)](#)

→ Système modèle pour l'étude du magnétisme

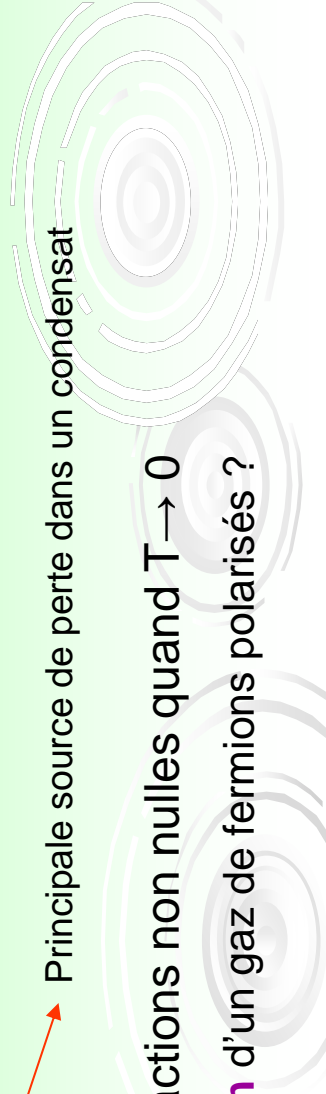
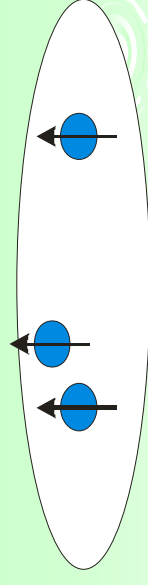
## Quelques idées :

- Bosons dipolaires dans des réseaux optiques :

Réseaux 1D, interactions répulsives :  
réduction du **taux de recombinaison**  
**à 3 corps** ?

→ Principale source de perte dans un condensat

- Fermions dipolaires : interactions non nulles quand  $T \rightarrow 0$   
**Thermalisation** d'un gaz de fermions polarisés ?



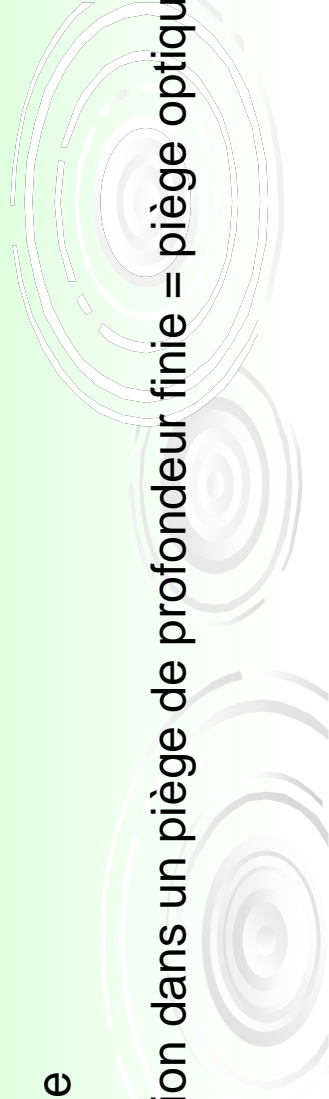
# Plan de l'exposé

## ➤ Les condensats de Bose Einstein

- Qu'est ce qu'un condensat gazeux ?
- A quoi ça sert ?
- Pourquoi faire un condensat de chrome ?

## ➤ Comment obtenir un condensat ?

- Le ralentissement des atomes d'un jet
- Le piège magnéto optique
- Le processus d'évaporation dans un piège de profondeur finie = piège optique



# Production d'un BEC de chrome : le chemin à parcourir

## Comment obtenir du chrome gazeux ?

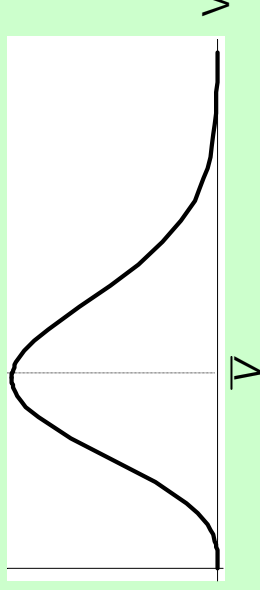
$T_f = 1820^\circ$  → Il faut atteindre une température élevée pour avoir une pression de vapeur intéressante

filament W  
creuset Ta  
insert Zi

En pratique : on utilise un four UHT (1500°!) → **technologie difficile** :

flux effusif

$$f(V) \propto V^3 \exp(-mV^2 / 2k_B T)$$



$$T_{four} = 1500^\circ \Rightarrow \bar{V}_{jet} = \sqrt{\frac{3k_B T}{2m}} = 700 \text{ m.s}^{-1}$$

Ce qu'il faut obtenir :

$$v = 8 \text{ mm.s}^{-1} \text{ à } T_c$$

Il faut procéder à une **énorme décélération**, suivie d'un **piégeage très visqueux**, puis d'un processus de **refroidissement ultra efficace**

**Ralentissement avec l'absorption de photons**

**Évaporation dans le piège optique**

**Piège magnéto optique**

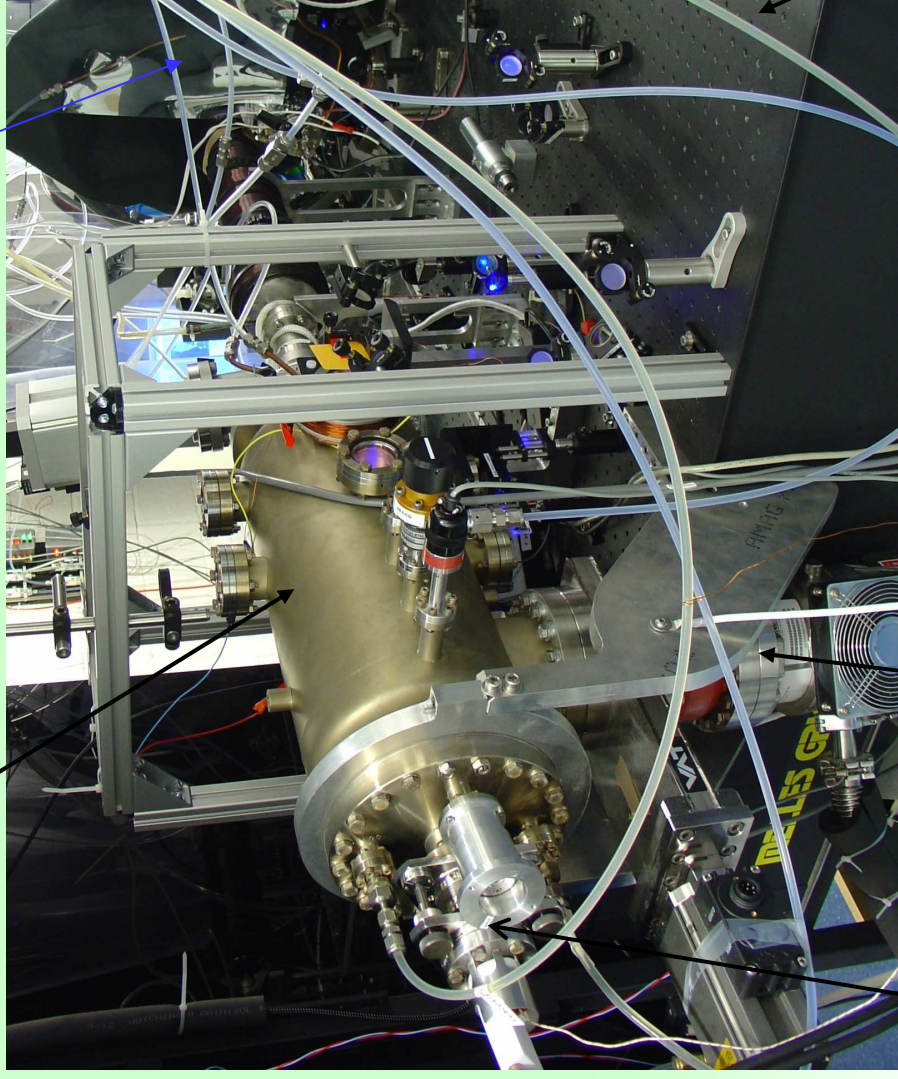




# La manip en photos : partie four

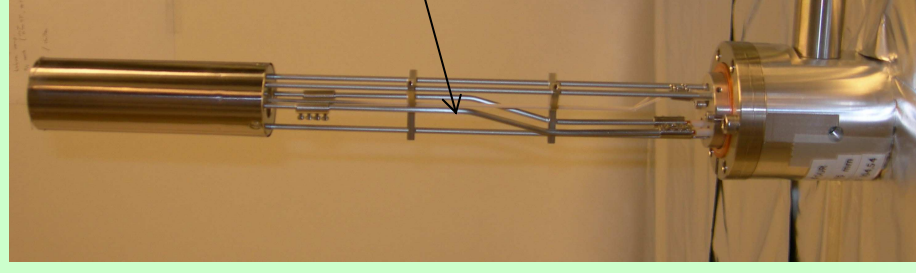
Vers la chambre expérimentale

Chambre à vide du four



Bride du four

Pompe turbo moléculaire → Pression  $\sim 10^{-10}$  mBarr



Fils d'amenée  
du courant

creuset

trou de sortie

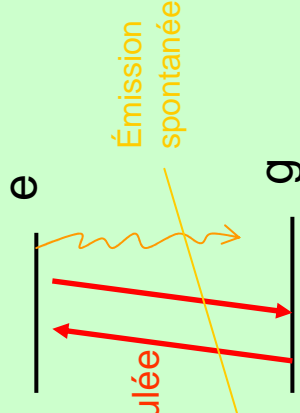


Four

Table optique

# Interaction d'un atome à 2 niveaux avec un laser

Les processus d'émission et d'absorption de photons :



Proba d'être dans e

$$\text{Mise en équation : } \frac{d\Pi_e}{dt} = B (\Pi_g - \Pi_e) - \Gamma \Pi_e \quad \Pi_{e_{st}} = \frac{B}{2B + \Gamma} < \frac{1}{2}$$

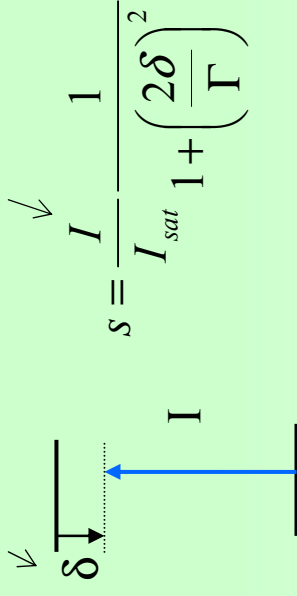
Résultat avec les paramètres laser :

$$\Pi_{e_{st}} = \frac{s}{2(s+1)} \quad B = \Gamma \frac{s}{2}$$

paramètre de saturation

désaccord du laser

Intensité du laser



$$\Gamma = \text{taux d'émission spontanée} \longrightarrow \Gamma_{Cr} = 2\pi \times 5\text{MHz}$$

$$I_{sat} = \text{Intensité de saturation} \longrightarrow I_{sat} = 8,5 \text{ mW/cm}^2$$

Taux d'émission spontanée ou d'absorption stationnaire :

$$\gamma_{diff} = \frac{\Gamma s}{2(s+1)} < \frac{\Gamma}{2}$$

Le photon a une quantité de mouvement non nulle :

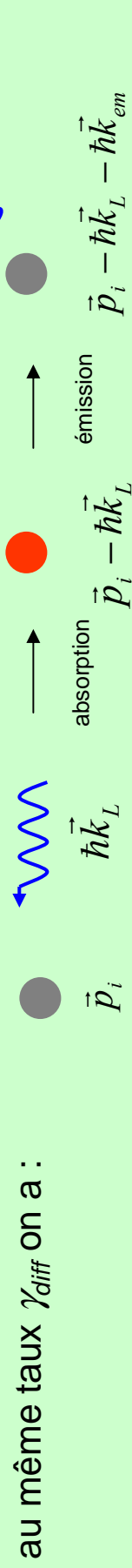
$$\vec{p} = \hbar \vec{k}$$

Effet mécanique



# Ralentisseur Zeeman : principe

## Ralentissement d'atomes pas un faisceau laser :



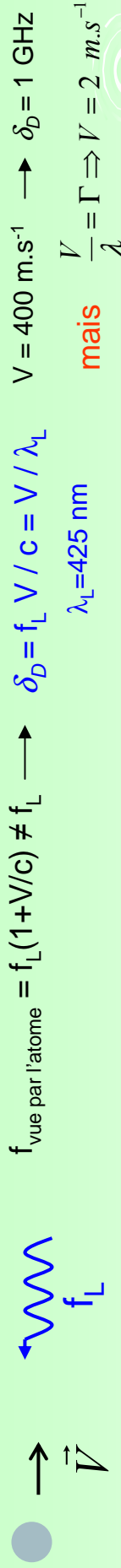
bilan après N cycles :  $\vec{p}_f = \vec{p}_i - N \hbar \vec{k}_L$

application : ralentir des atomes de **Cr** de  $V_i=400 \text{ m.s}^{-1}$  jusqu'à 0 :  $N = \frac{m_{s2Cr} V_i \lambda}{h} = 20000$

$$\tau_{\text{rad}} = \frac{2N}{\Gamma} = 1 \text{ ms}$$

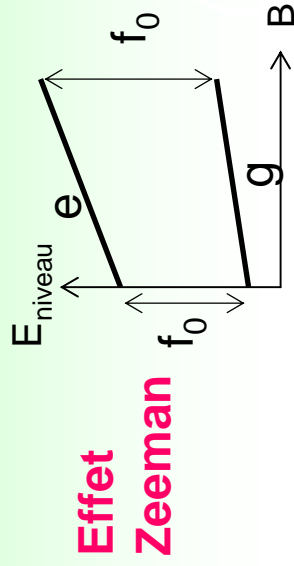
$$a = \frac{V_i}{\tau_{\text{rad}}} = 4 \times 10^4 \text{ g !!!}$$

## Problème de l'effet Doppler :



désaccord Doppler

Solution pour corriger l'effet Doppler au fur et à mesure que le ralentissement se produit :



fréquence atomique

fréquence vue par les atomes

Laser résonant si :  $f_0 + \delta_Z = f_0 + \delta_D + \delta_L$  désaccord laser

hyp décélération uniforme  $V(t) = V_0 - at \Rightarrow V(z)^2 = V_0^2 - 2 a z$

$$B(z) = \frac{h}{\mu_B} (\delta_L + \sqrt{V_0^2 - 2 a z}) = B_L + B_0 \sqrt{1 - \frac{z}{z_0}}$$

$V_0$  = vitesse de capture

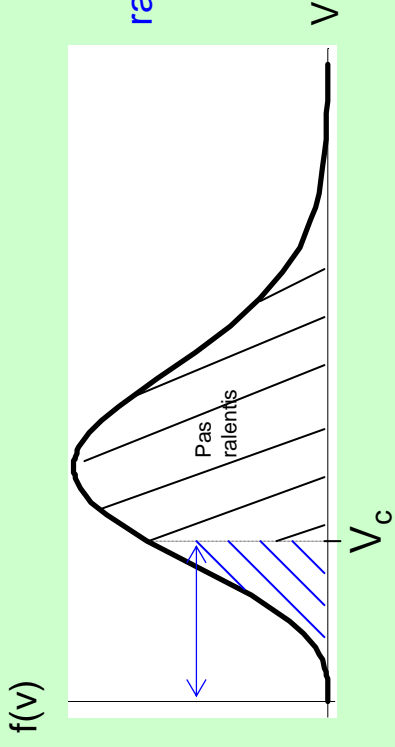
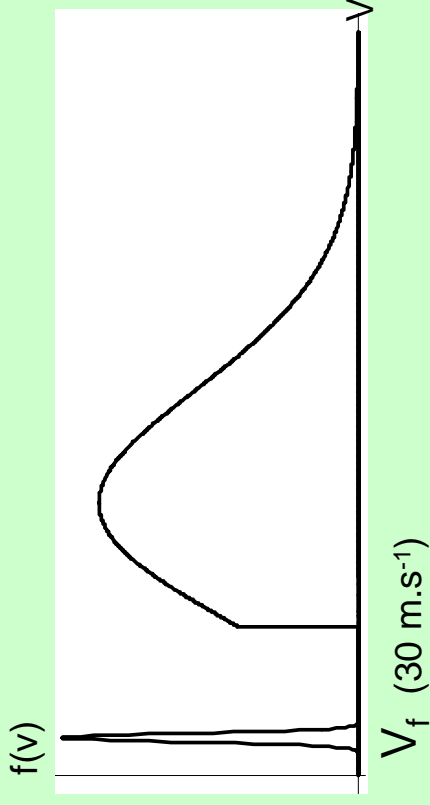
$z_0$  = longueur du ralentisseur

# Ralentisseur Zeeman : mise en oeuvre

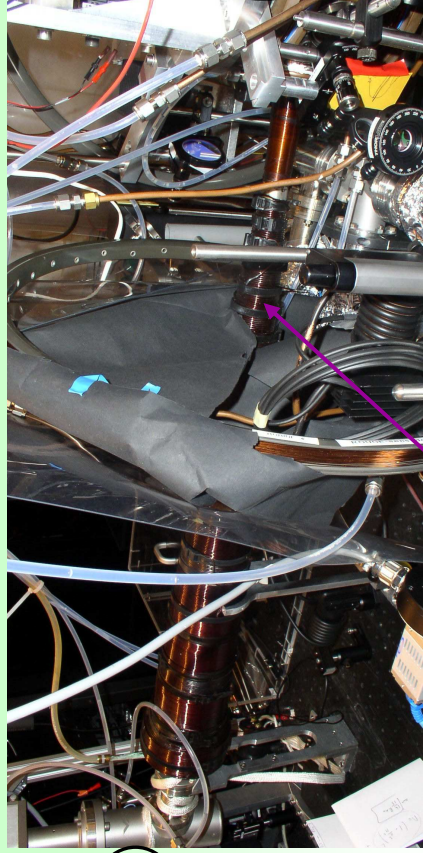
## Paramètres choisis

Longueur  $L = 0,8 \text{ m} \rightarrow V_{\text{capture}} = 400 \text{ m.s}^{-1}$

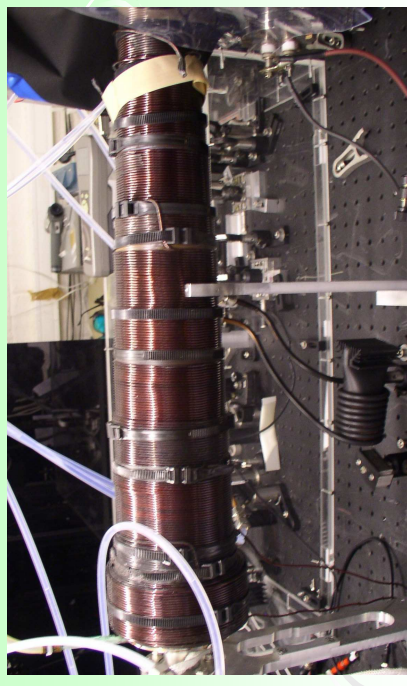
Compromis dans le choix de  $L / V_c$



Profil de champ magnétique : avec 3 bobinages très " lisses "



Four



Chambre expérimentale MOT

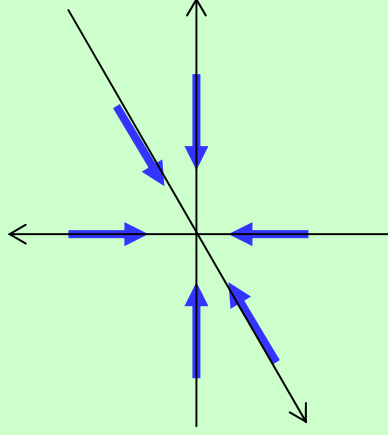
Tube 1 mètre

R<sub>g</sub> Couplage d'un faisceau sous vide

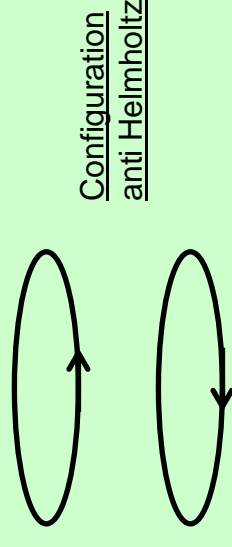
# Principe du piège magnéto-optique

## Description

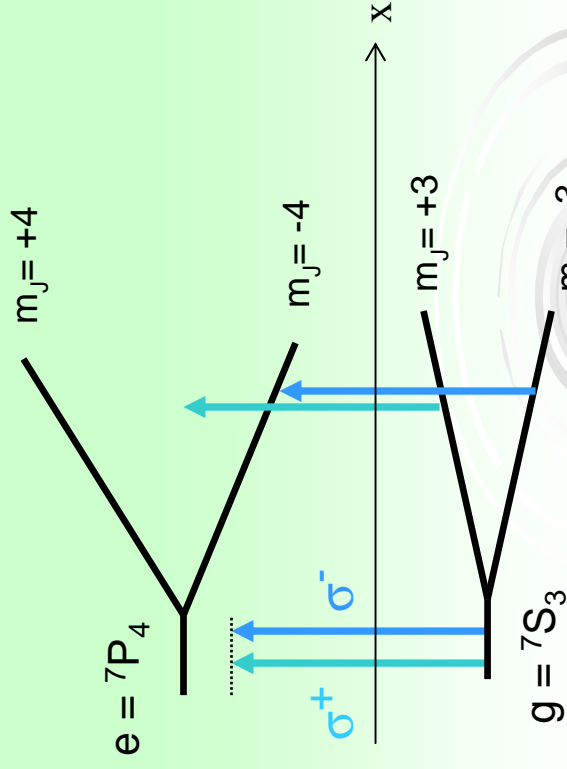
Pour réaliser un piège, il faut une force de rappel, pas seulement un processus de freinage -friction



Il faut rajouter un ingrédient :  
**champ magnétique inhomogène**



Configuration anti Helmholtz



Les faisceaux  
contra propageant  
sont polarisés  
circulairement  
et décalés vers  
le rouge



Si les atomes se déplacent vers les  $x > 0$ , ils interagissent plus avec le faisceau qui vient des  $x > 0$

Température limite :

$$k_B T_D = \frac{\hbar \Gamma}{2} \Rightarrow T_D \approx 100 \mu K$$

# Piège magnéto-optique de $^{52}\text{Cr}$

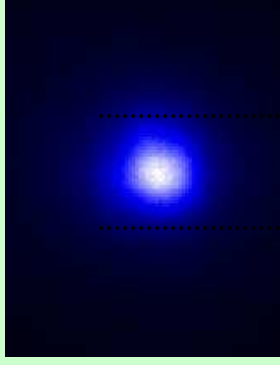


Image de la fluo du MOT

100  $\mu\text{m}$

$N = 4 \cdot 10^6$  bosons

$T = 120 \mu\text{K}$

densité =  $1,1 \cdot 10^{11}$  atomes /  $\text{cm}^3$

Taux de chargement =  $3,5 \cdot 10^8$  atomes/s  $\leftarrow \Gamma_{\text{MOT}}$

Temps de chargement très court (20 ms) et nombre faible d'atomes

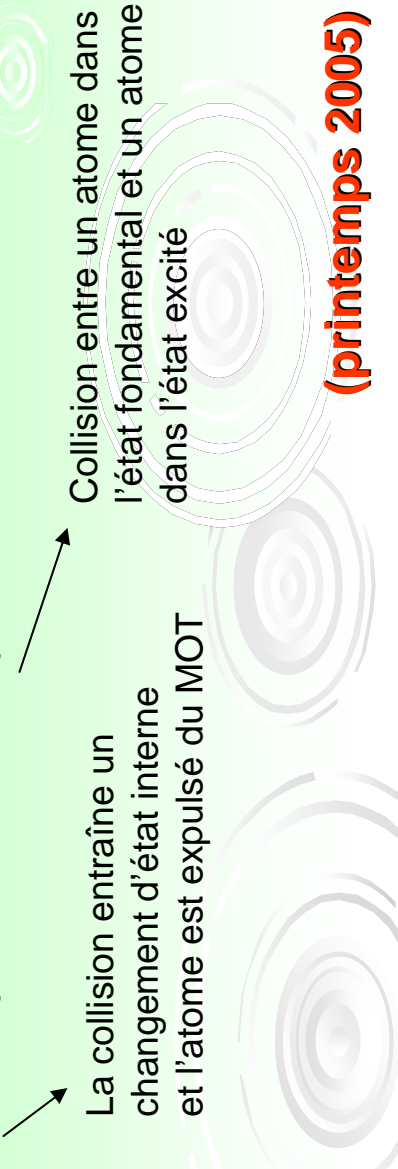
Habituellement : des secondes  $10^8$  à  $10^9$

Processus limitant : collisions inélastiques, "assistées par la lumière "

$$\frac{dN}{dt} = \Gamma_{\text{MOT}} \frac{N}{\tau} - \beta_{\text{in}} N^2$$

Pertes linéaires (vide pas parfait)

Pertes inélastiques



Collision entre un atome dans l'état fondamental et un atome dans l'état excité

La collision entraîne un changement d'état interne et l'atome est expulsé du MOT

(printemps 2005)

# Comment aller plus bas en température ?

Il faut continuer à piéger, mais dans un autre type de piège

→ plus d'absorption de photons, qui limitent la température du MOT (100μK)

dans toutes  
les expériences

On procède alors au refroidissement évaporatif dans ce piège

→ on sacrifie les atomes les + chauds

Piégeage standard : piège magnétique

Principe : créer un profil de champ magnétique présentant un **minimum** pour la norme de **B**

Les atomes ayant un spin **antiparallèle** au champ sont alors piégés  $|m_j=+3,+2,+1,0\rangle$

Rq: ce minimum doit être non nul

$$E_m = -\vec{m} \cdot \vec{B}$$

**Mais** cette stratégie ne peut pas marcher avec le chrome : les **collisions inélastiques** sont trop nombreuses.



Stratégie adaptée pour le chrome : **le piégeage optique**

Tous les sous niveaux Zeeman sont piégés, y compris  $|m_j = -3\rangle$  qui est le niveau de plus basse énergie

# Principe des pièges optiques

On envoie un faisceau très intense et très désaccordé sur les atomes

$$\begin{array}{c} \downarrow \\ I \gg I_{sat} \end{array} \quad \begin{array}{c} \downarrow \\ \delta_L \gg \Gamma \end{array}$$

L'effet de la lumière sur les atomes **n'est pas** dû à de l'absorption

Le champ électrique du laser engendre un dipôle électrique de l'atome :  $\vec{d} = \alpha \vec{E}$

A cause du dipôle induit il y a une énergie d'interaction :  $U = -\alpha \frac{\vec{E}^2}{2} \propto I_L$

Pour que les atomes ressentent une force il faut **un gradient d'intensité**

Ce gradient est fourni « naturellement » par le profil d'intensité d'un faisceau laser : **profil Gaussien**

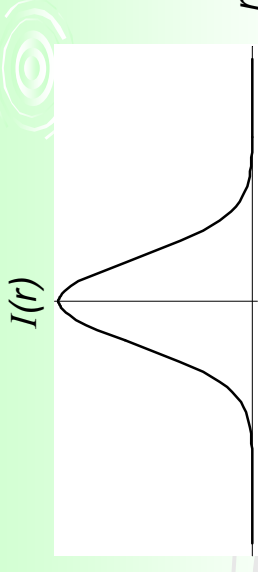
$$I(r, z) = I_0 \exp\left(-\frac{r^2}{2w(z)^2}\right)$$

avec

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 + \frac{z^2}{z_R^2}}$$

rayon à  $1/e^2$

Longueur de Rayleigh



Les atomes sont attirés vers les zones où l'intensité est élevée

Avec un faisceau : bon confinement selon la **direction transverse** →  $w$  petit



# Comment charger le piège optique (1D)?

Charger directement les atomes du MOT : est ce possible ?

**Le chargement direct dans l'état fondamental est inefficace**

→ Collisions inélastiques « assistées par la lumière »

**Mais** possibilité de charger des atomes ayant atterri dans d'autres états

Un atome n'est jamais à 2 niveaux

Le chrome possède des niveaux **métastables**

Ces niveaux métastables sont peuplés dans le MOT (à partir de l'état excité)

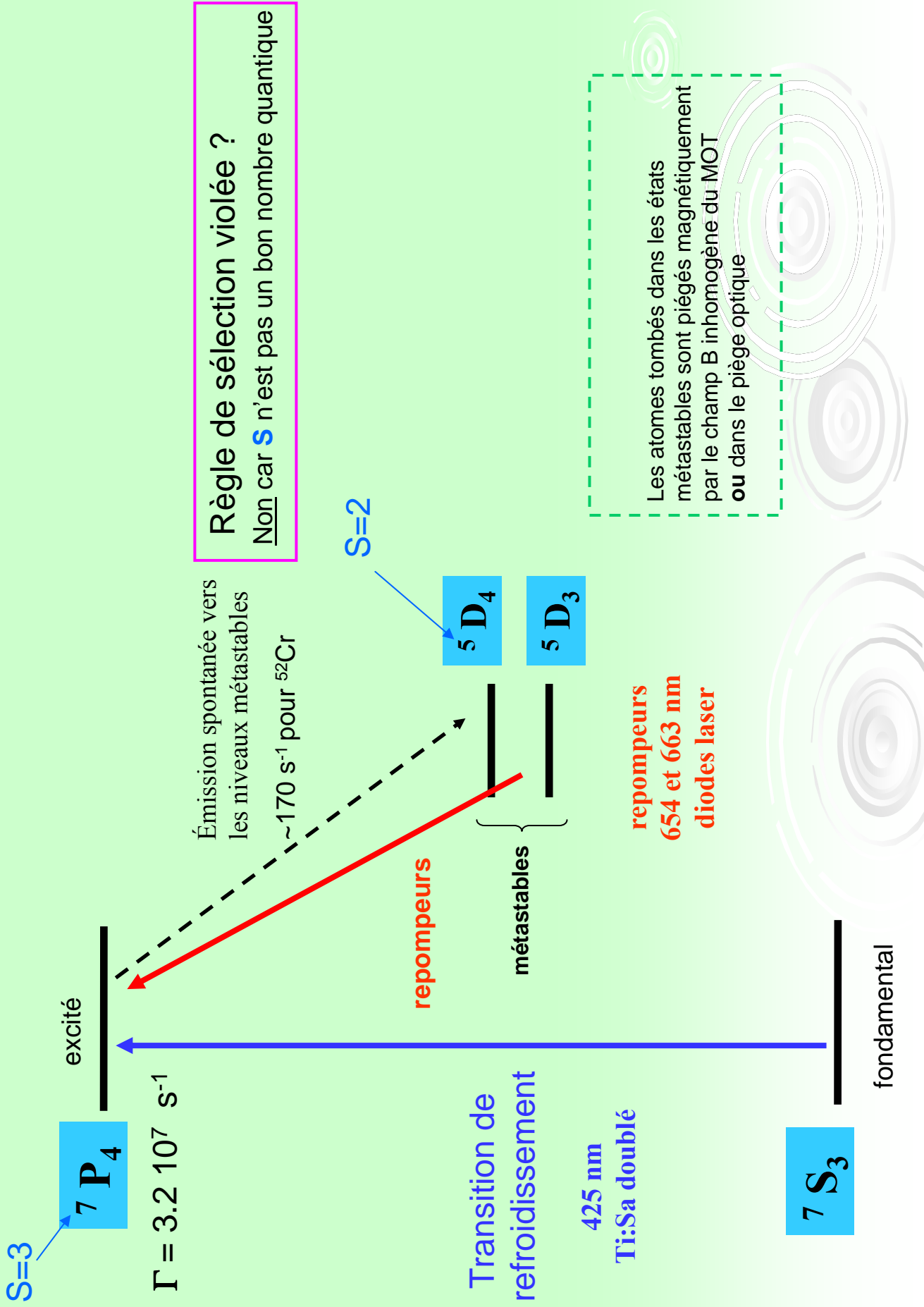
Ces niveaux métastables n'absorbent pas la lumière du MOT

Ces niveaux sont piégés optiquement

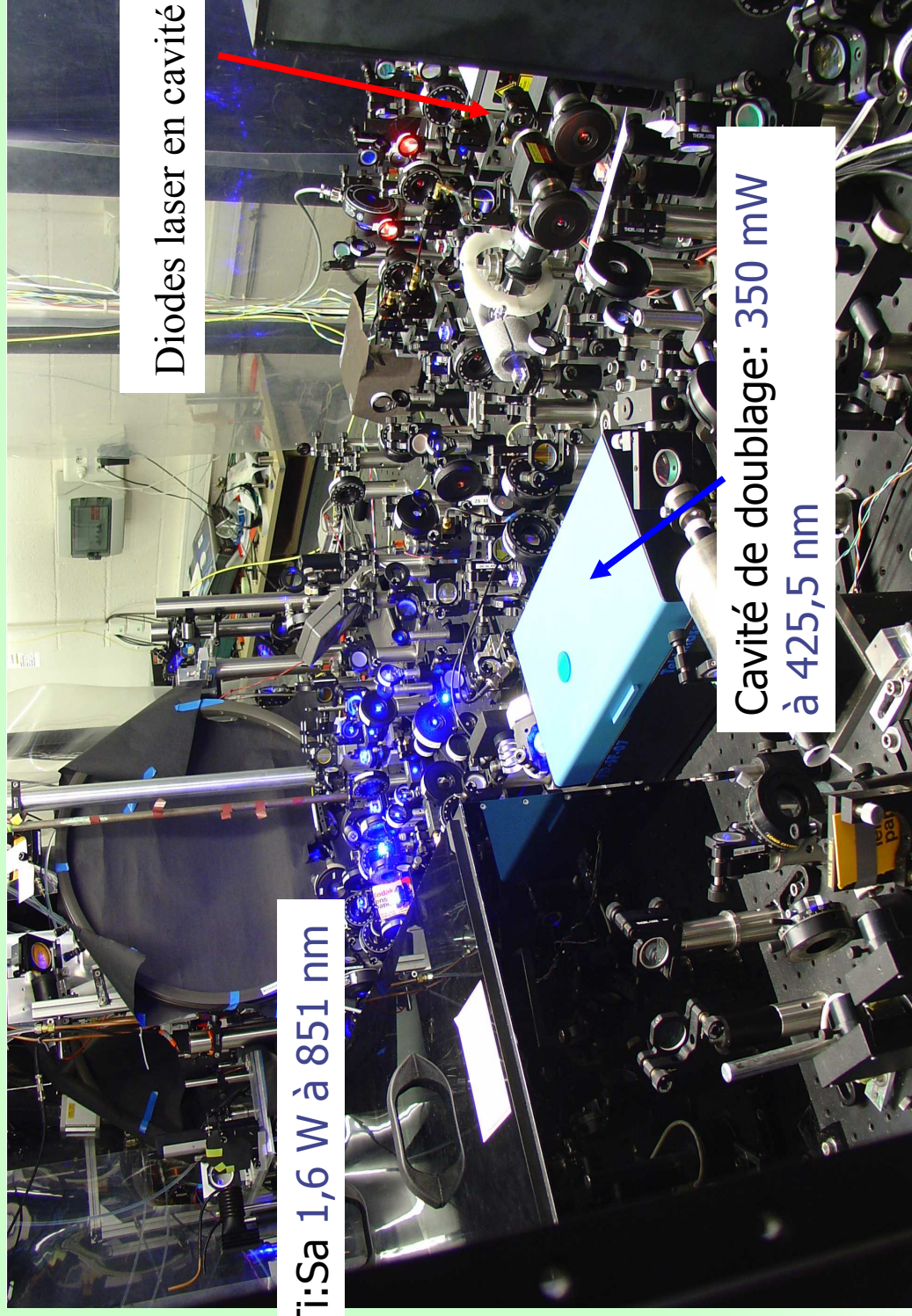




# Structure atomique du chrome : niveaux métastables



# La manip en photos : les lasers de ralentissement



Diodes laser en cavité étendue

Laser Ti:Sa 1,6 W à 851 nm

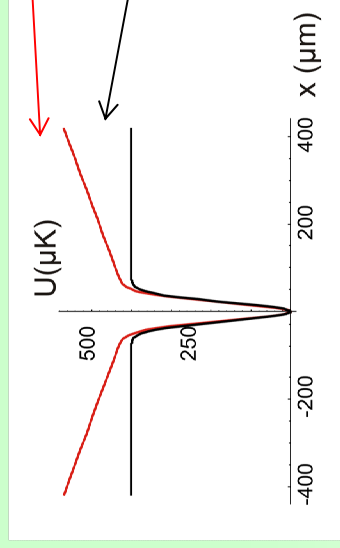
Cavité de doublage: 350 mW  
à 425,5 nm

# Piégeage optique 1D d'atomes métastables de $^{52}\text{Cr}$ en présence du MOT

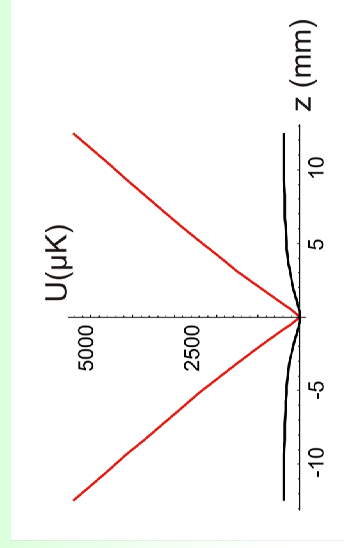
- Faisceau de piégeage :
  - laser fibré 50 W à 1075 nm
  - faisceau horizontal, focalisé sur  $\sim 40 \mu\text{m}$
  - 2 x 35 W utiles (rétro-réfléchi)

Profondeur du piège optique:  $\sim 500 \mu\text{K}$

- Potentiel de piégeage :



Potentiel transverse



Potentiel longitudinal

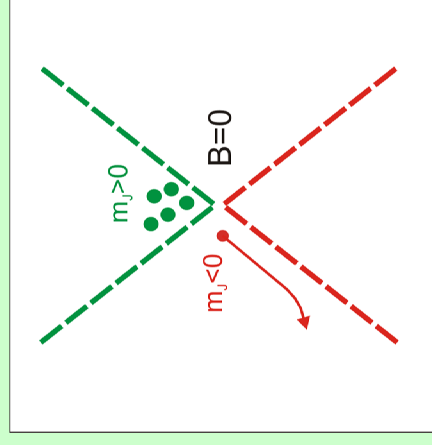
## Résultats :

- jusqu'à  $1,2 \cdot 10^6$  atomes à  $100 \mu\text{K}$
- accumulation très rapide  $\sim$  qq. 100 ms

# Piégeage optique d'atomes métastables de $^{52}\text{Cr}$

## ➤ Quels sont les facteurs limitants ?

- Pertes de Majorana :  
dues au basculement des spins au voisinage de  $B = 0$



## • Collisions inélastiques entre atomes dans les états D :

densités élevées dans le piège mixte :  $10^{12}$  atomes/cm<sup>3</sup>

peut on augmenter le volume de piégeage ?

## • Taux de chargement :

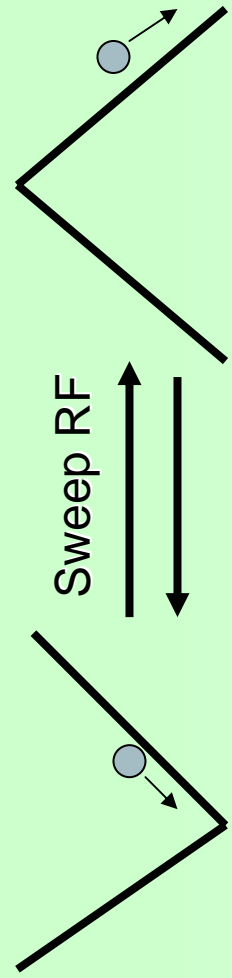
$10^7$  atomes/s ; peut-on l'augmenter ?



# (i) Annuler l'effet des forces magnétiques avec un champ RF

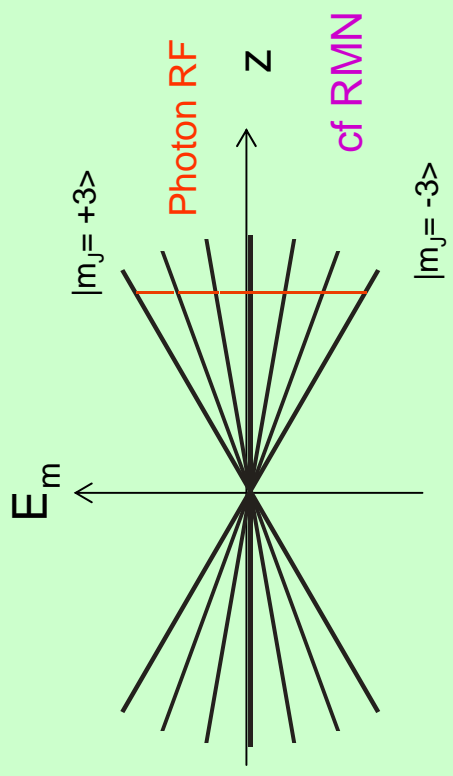
➤ Intérêt : charger tous les sous-niveaux magnétiques et limiter les collisions inélastiques en diminuant la densité au centre.

➤ Principe : pendant le chargement, on moyenne les forces magnétiques à zéro en basculant rapidement le spin des atomes avec un champ RF résonnant

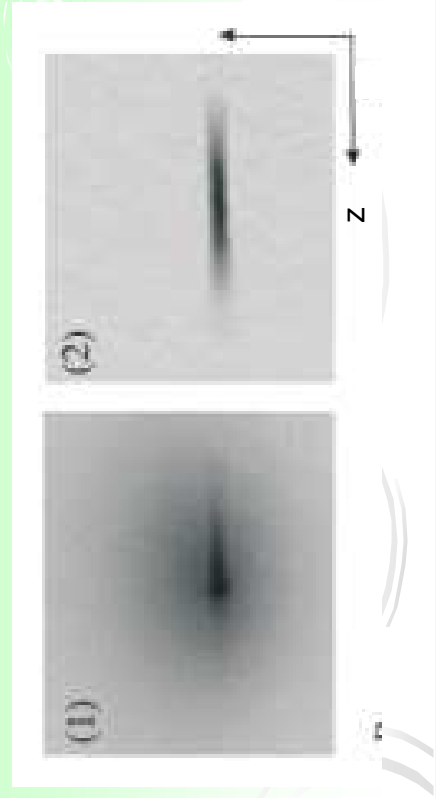


$m < 0$

$m > 0$



Résultat :



Rampes de fréquence à quelle cadence?

Les spins doivent basculer de nombreuses fois dans le temps d'oscillation d'un atome dans le piège magnétique  $T_{MT}$

Rampes de quelle amplitude ?

Il faut exciter tous les atomes selon Oz



## (ii) Charger un autre métastable : l'état $5S_2$

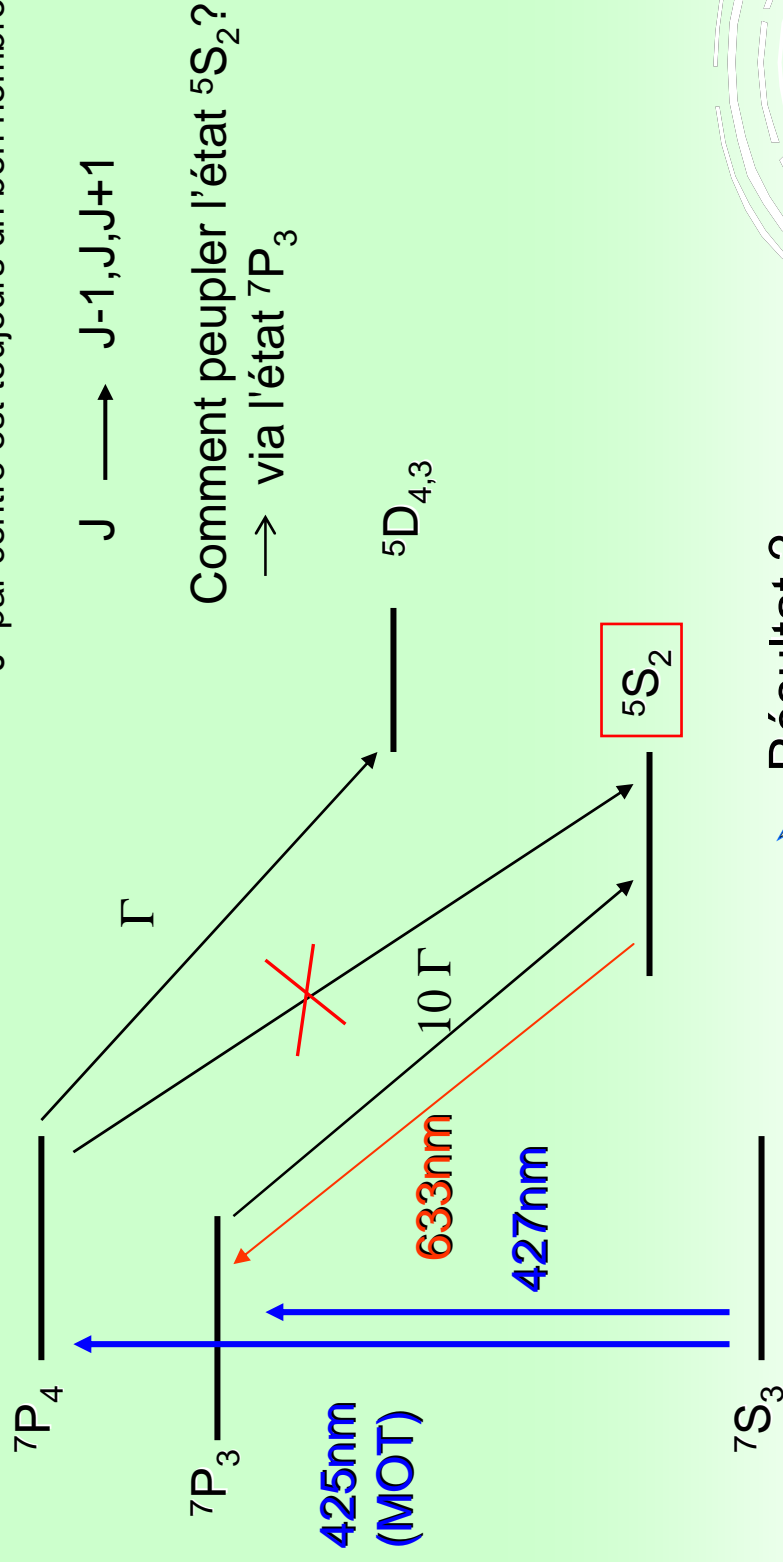
### Intérêts :

Un taux de collisions inélastiques (sûrement) plus faible

Un taux de chargement plus élevé

"S" pas un bon nombre quantique

"J" par contre est toujours un bon nombre quantique



### ➤ Résultat ?

Plus de 5 millions d'atomes, en 50 ms

Taux de chargement =  $\frac{1}{4}$  taux de chargement du MOT !

Nombre d'atomes dans piège  $> N_{\text{MOT}}$  !

## Chargement du piège dipolaire: bilan

- Chargement des états  $^5D_4$  et  $^5D_3$  :  
→ 1,2 millions d'atomes (**printemps 2007**)
- (i) Sweeps RF :  
→ 2 millions d'atomes (**juillet 2007**)
- (i)\*(ii) Chargement des états  $^5D_4$  et  $^5S_2$  avec sweeps RF  
→ 5 à 6 millions d'atomes (**octobre 2007**)

Gain décisif pour l'évaporation

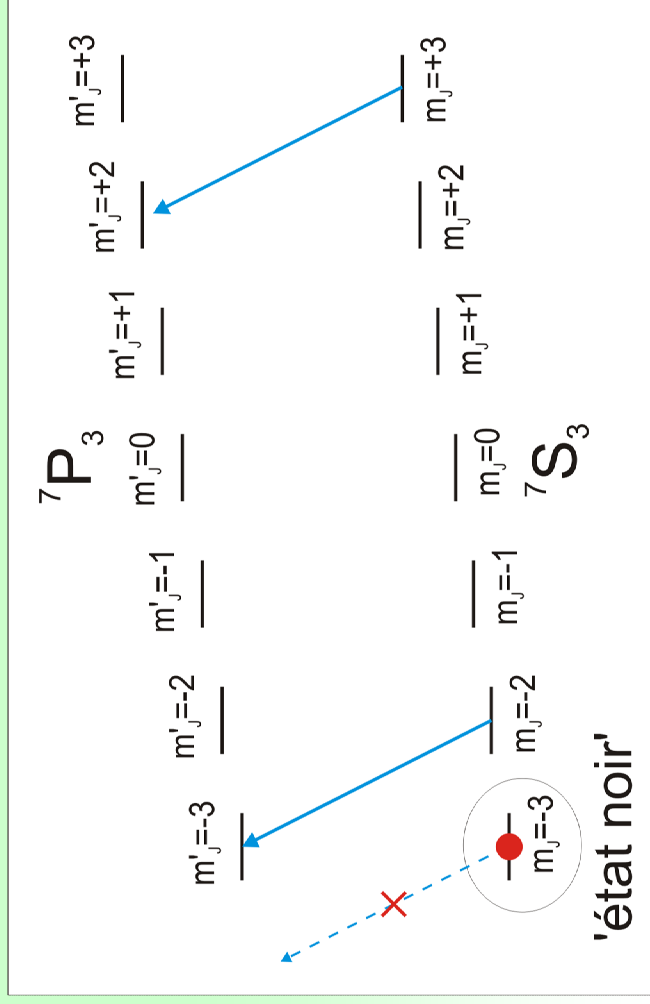




# Polarisation des atomes

- Suppression des collisions inélastiques :
  - repompage des atomes dans l'état fondamental ( ${}^7S_3$ )
  - polarisation dans le sous état Zeeman de plus basse énergie (utilisant la transition  ${}^7S_3 \rightarrow {}^7P_3$  à 427 nm)

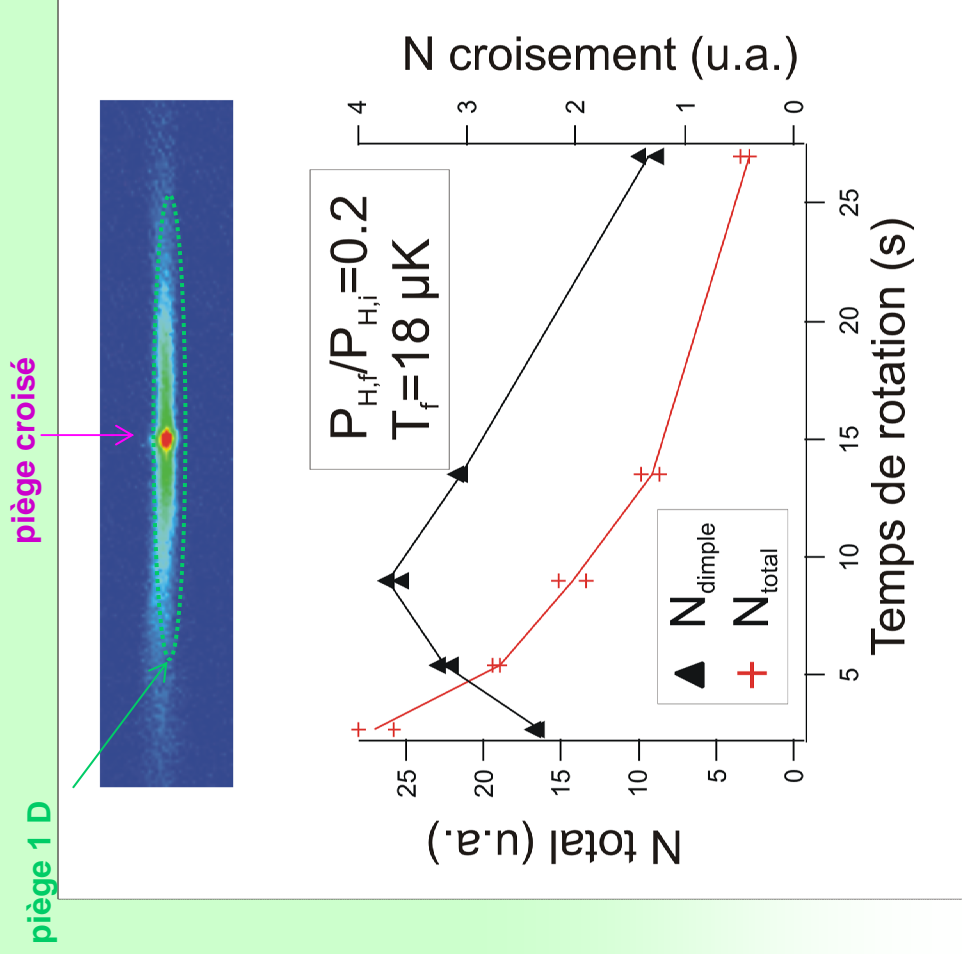
Laser polarisé  $\sigma^-$   $\longrightarrow$  Transfert de moment cinétique **pompage optique**



Diode laser doublée  
427 nm

# Chargement du piège optique croisé

- charger d'abord le piège 1D
- former 'dynamiquement' un piège croisé : transfert de la puissance IR du bras horizontal vers le bras vertical (**en utilisant une lame  $\lambda/2$  motorisée**)



## Alignement délicat !!!

Faisceau horizontal  $w=42\mu\text{m}$   
 Faisceau vertical  $w=56\mu\text{m}$

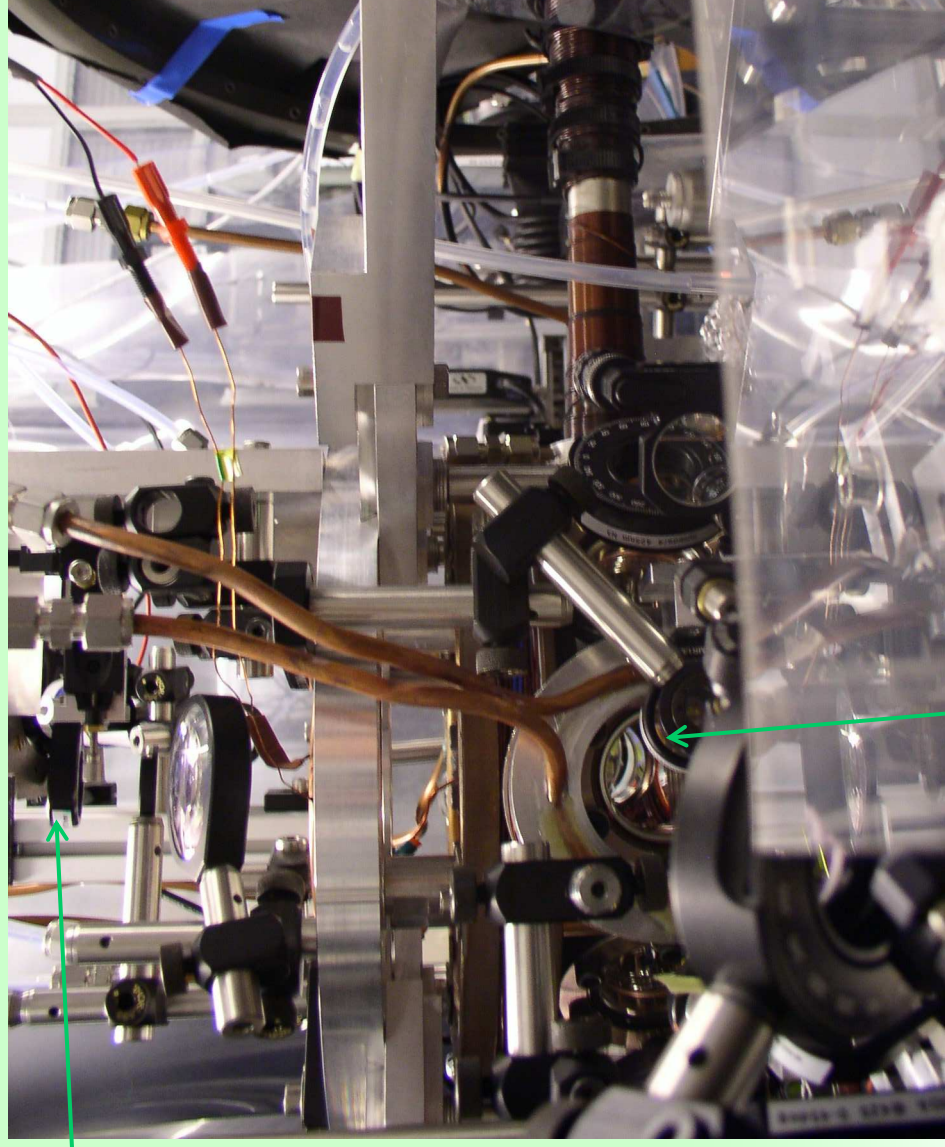
**Croisement** : augmentation **x20** de la densité dans l'espace des phases

$$(\rho_{\text{ph}} = n_0 \Lambda^3_{\text{dB}})$$

On réalise ainsi un **piège 3D** bien confinant

Pour augmenter la densité dans l'espace des phases il faut alors **évaporer** dans ce piège ie diminuer  $I_L$

# La manip en photos : chambre d'expérience et couplage des faisceaux du piège optique



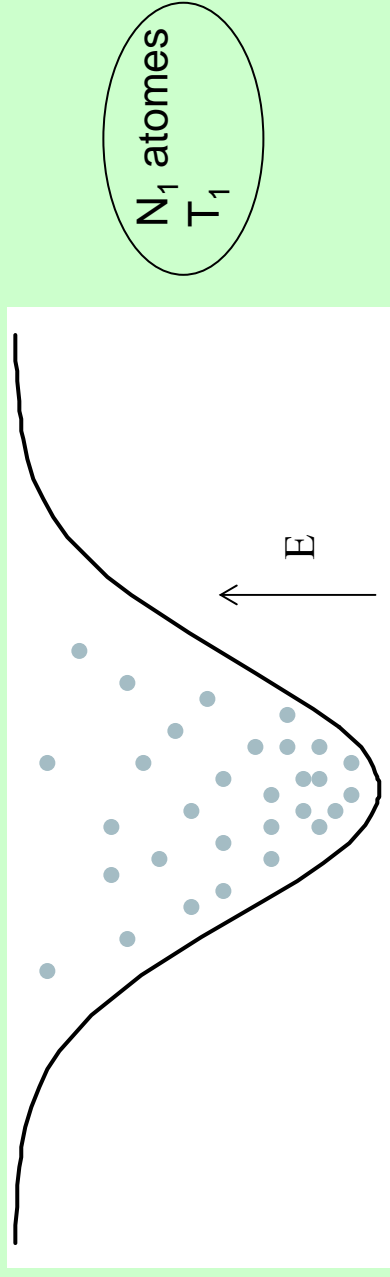
Lentille de focalisation  
du faisceau vertical

Lentille de focalisation  
du faisceau horizontal

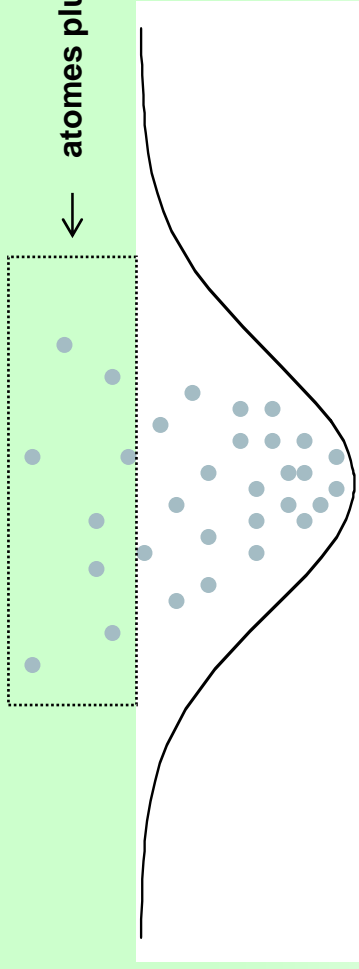
Pompe  
ionique

$P = qq \ 10^{-11} \text{ mBarr}$

# Le processus d'évaporation dans le piège optique



Profondeur  
du piège  
 $\propto I_L$



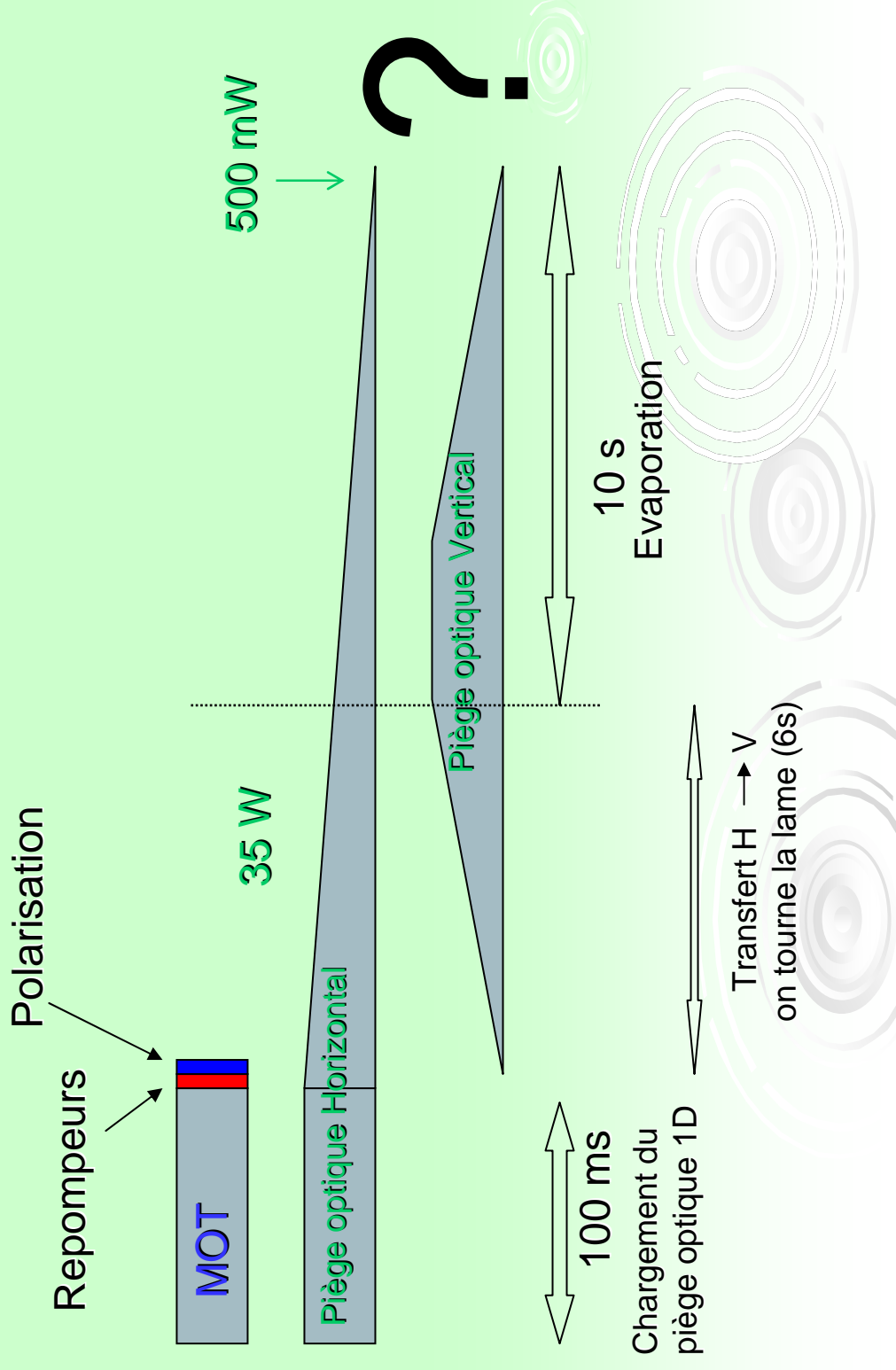
Profondeur  
abaissée



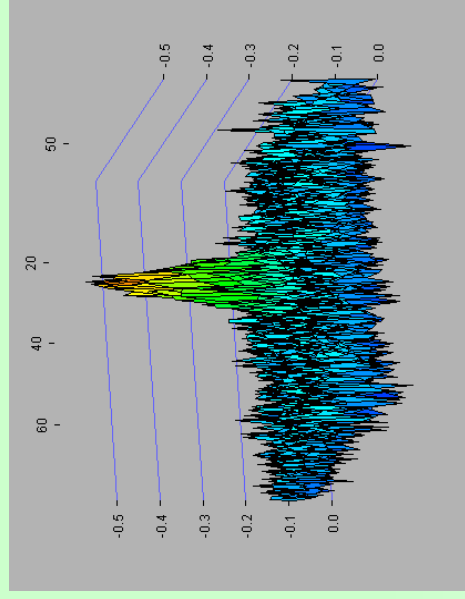
Gain possible dans  
l'espace des phases  
**si** la rampe d'intensité  
est bien choisie

# Résumé de la séquence

- Après avoir croisé les faisceaux, on diminue la puissance du piège de 35 W à 500 mW en 10 secondes pour l'évaporation.

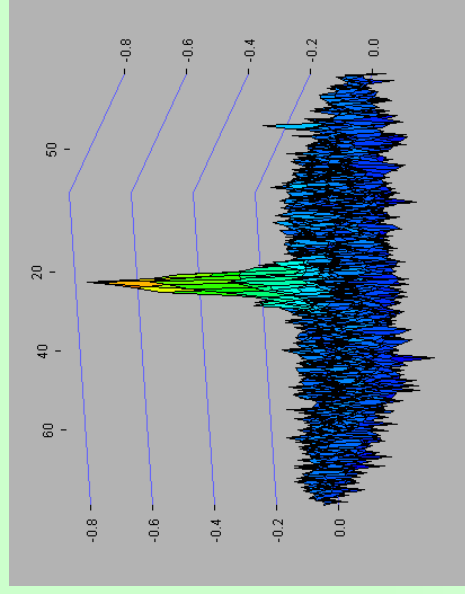


# Nos premiers condensats de Chrome



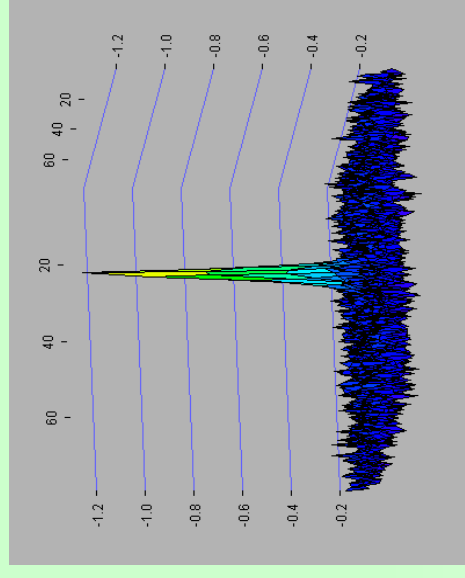
$t = 9,2\text{s}$

28 000 atoms  
à  $T = 200\text{ nK}$



$t = 9,6\text{s}$

17 000 atoms  
à  $T = 80\text{ nK}$



$t = 10\text{s}$

10 000 atoms  
condensés

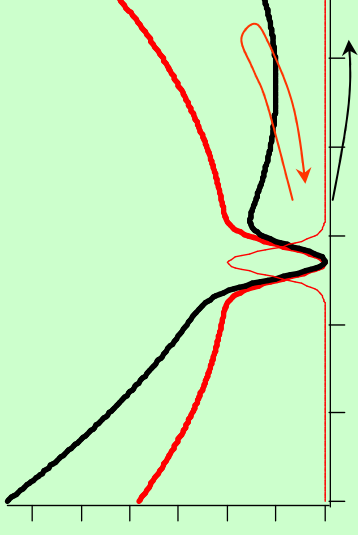
**(17 novembre 2007)**

$(T_c = 120\text{ nK})$



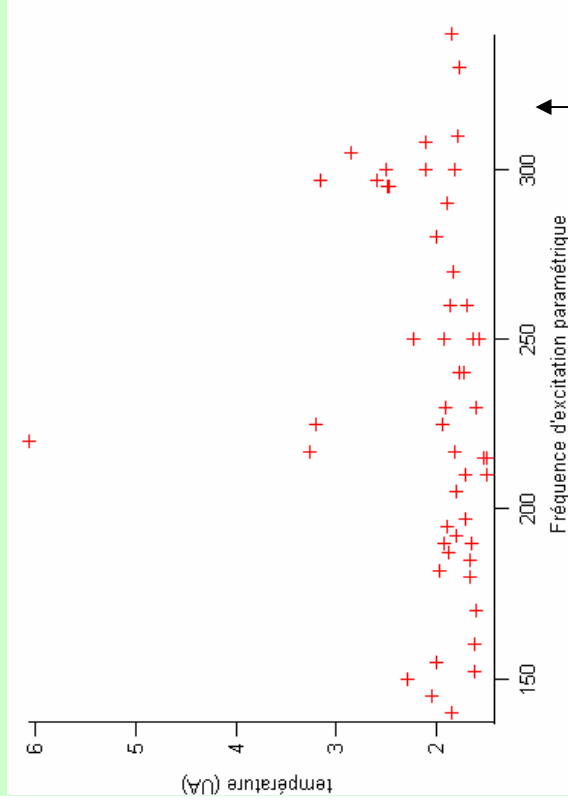
# Optimisation de l'évaporation

De l'importance de **ne pas** compenser la gravité !



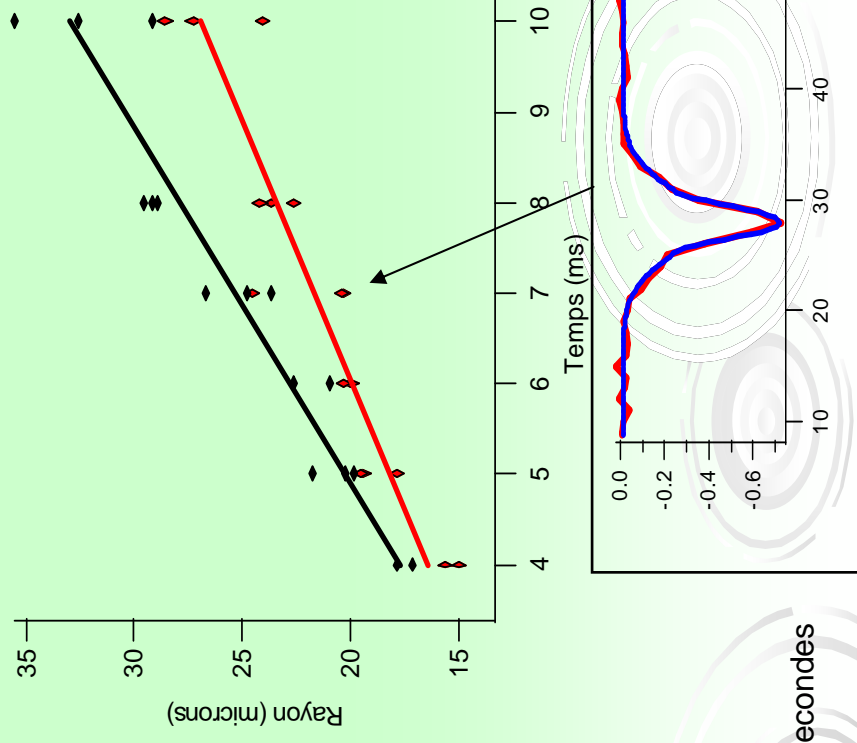
# Caractérisation du condensat

## Fréquences du piège



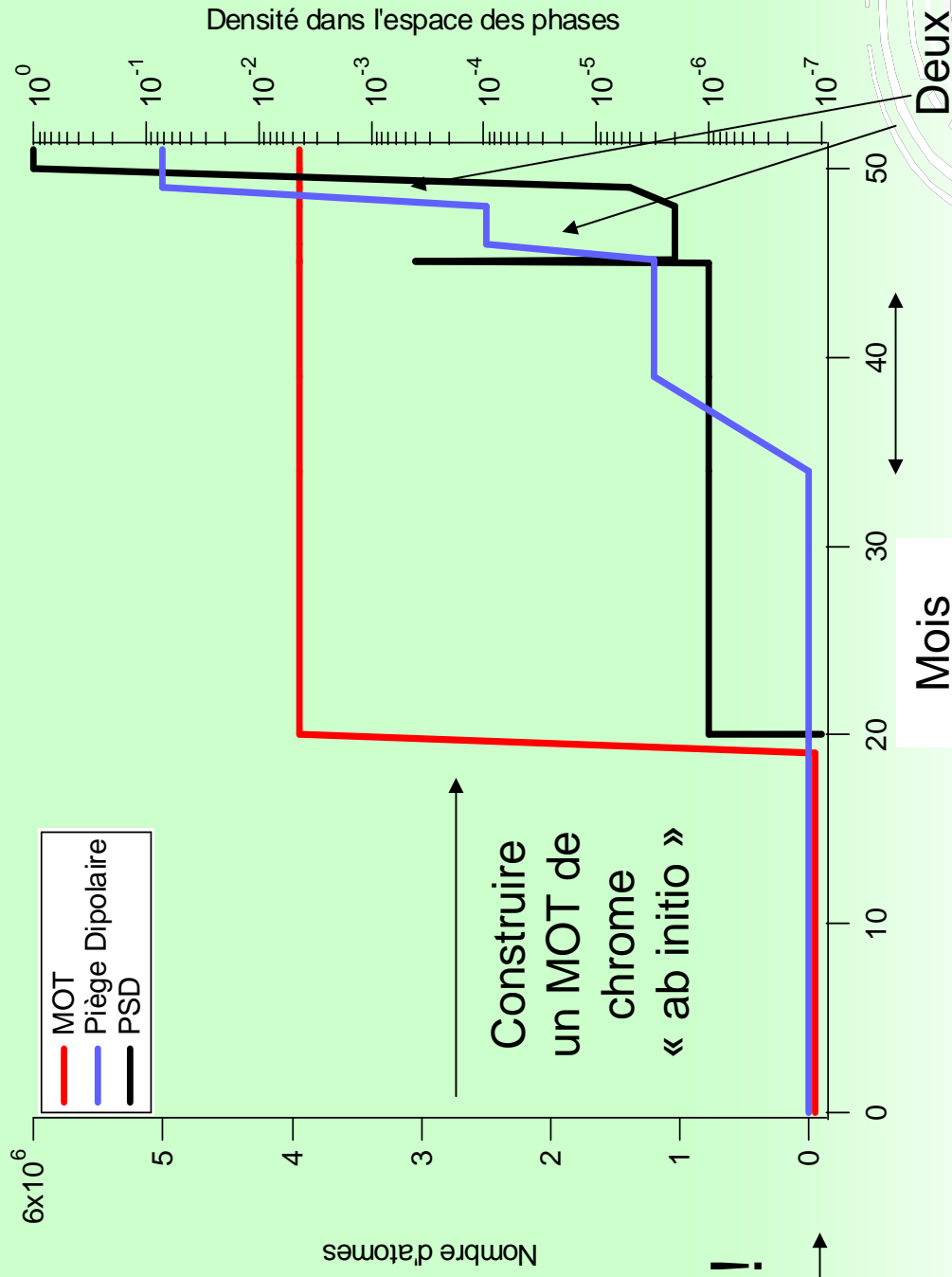
Rayons TF in situ 4 et 5 microns  
Densité :  $7 \cdot 10^{13}$  at/cm<sup>3</sup>  
20 000 atomes dans le condensat pur  
Durée de vie du condensat : plusieurs secondes

## Expansion anisotrope





# Combien de temps avons-nous mis ?



€€€ !!

Deux idées décisives

Optimiser le chargement du piège dipolaire

# LPL



Laboratoire de  
physique des lasers

## Merci!

Laboratoire de Physique des Lasers  
Université Paris Nord, Villetaneuse, France



### Ex-Thésards:

A. Pouderos  
R. Chicireanu

### Thésard:

Q. Beaufile (2<sup>ème</sup> année)

### ATER:

T. Zanon

### Permanents:

B. Laburthe-Tolra, E. Maréchal,  
L. Vernac, (R. Barbé), J.C. Keller  
O. Gorceix

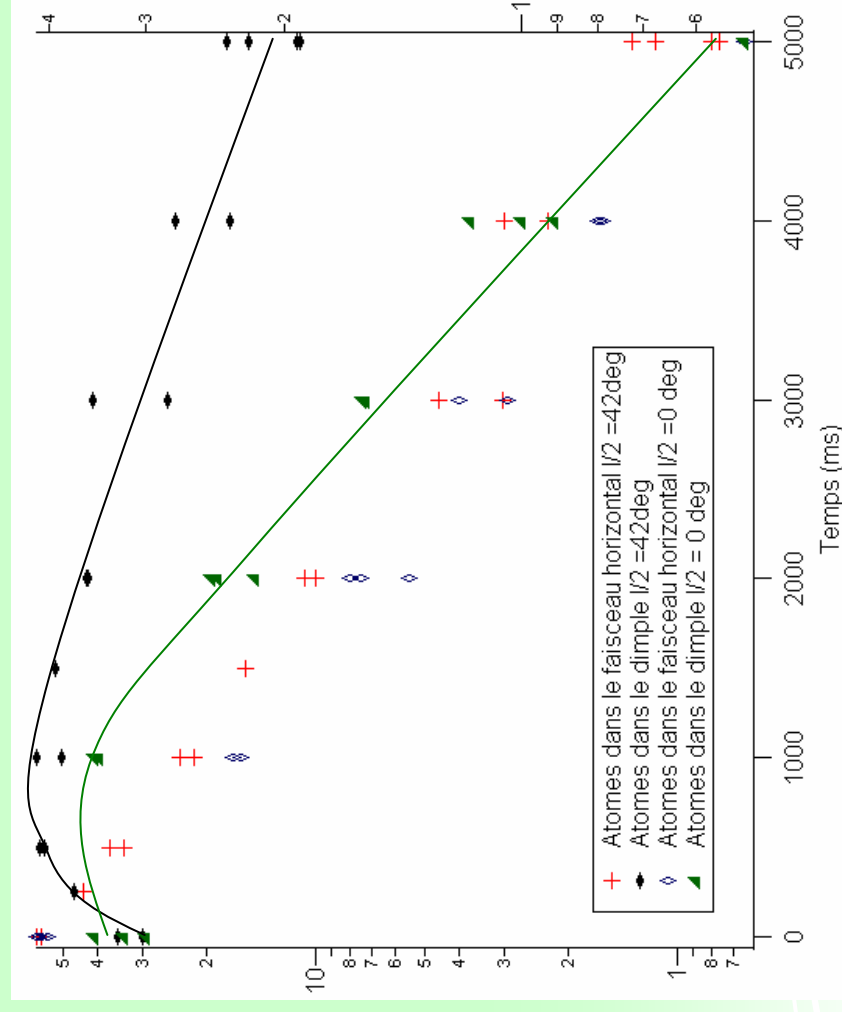
### Support financier:

Conseil Régional d'Ile de France (Contrat Sésame)  
Ministère de l'Education, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
European Union (FEDER – Objectif 2)  
IFRAF (Institut Francilien de Recherche sur les Atomes Froids)

# Chargement du dimple

## ➤ Importance de la polarisation des faisceaux pièges :

Les polarisations des faisceaux croisés doivent être perpendiculaires.



(15 novembre 2007)