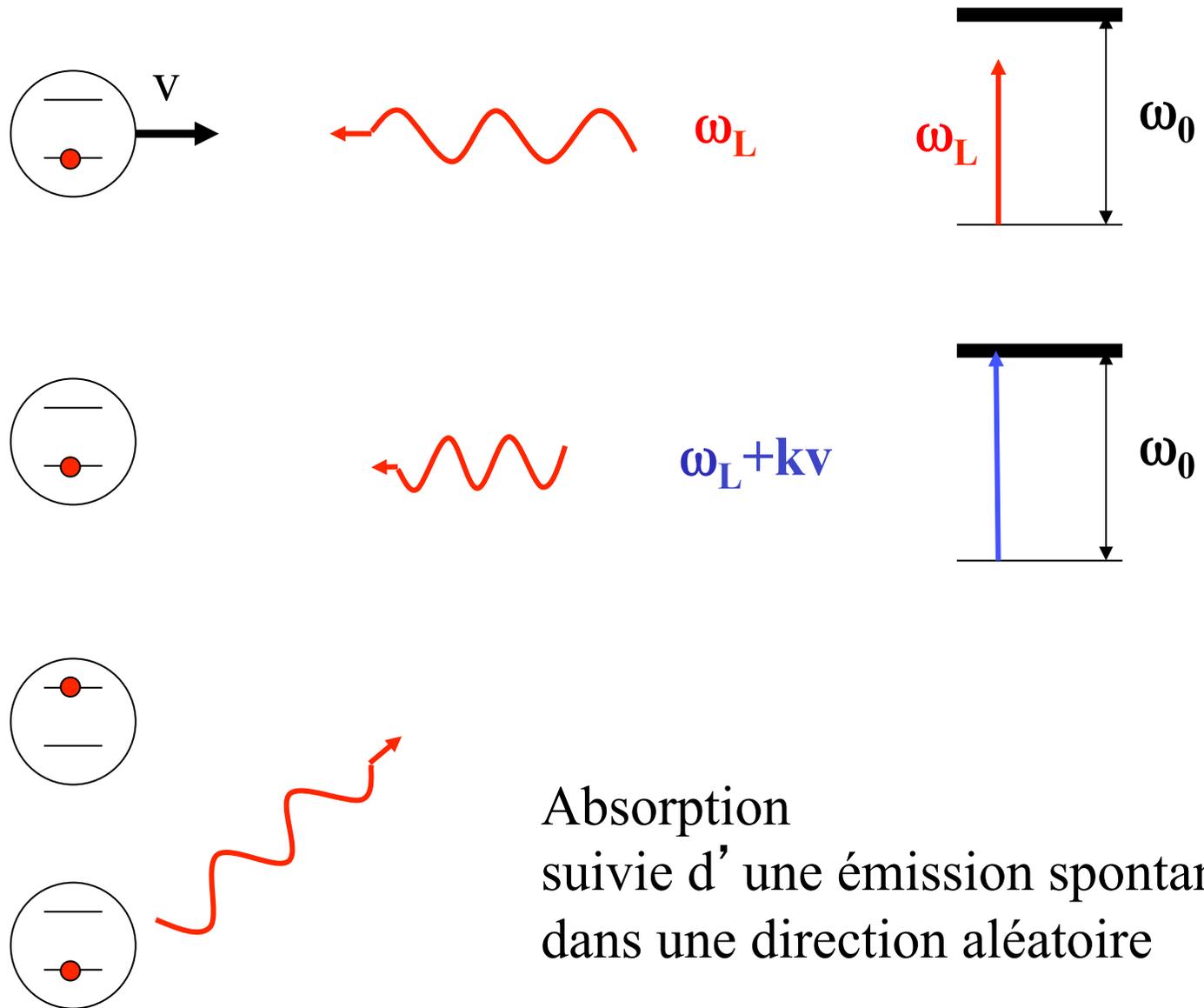


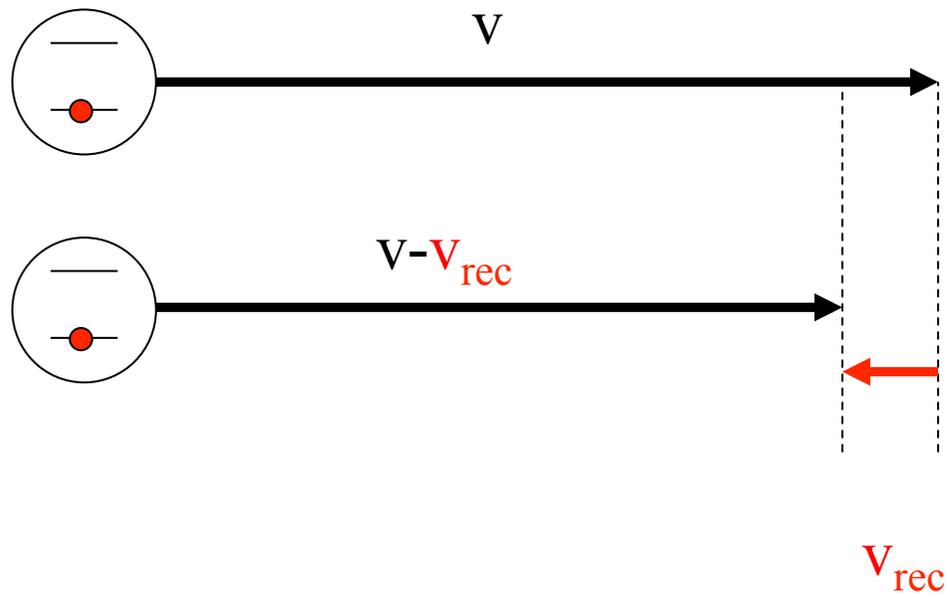
# Un atome immobile en présence de lumière laser



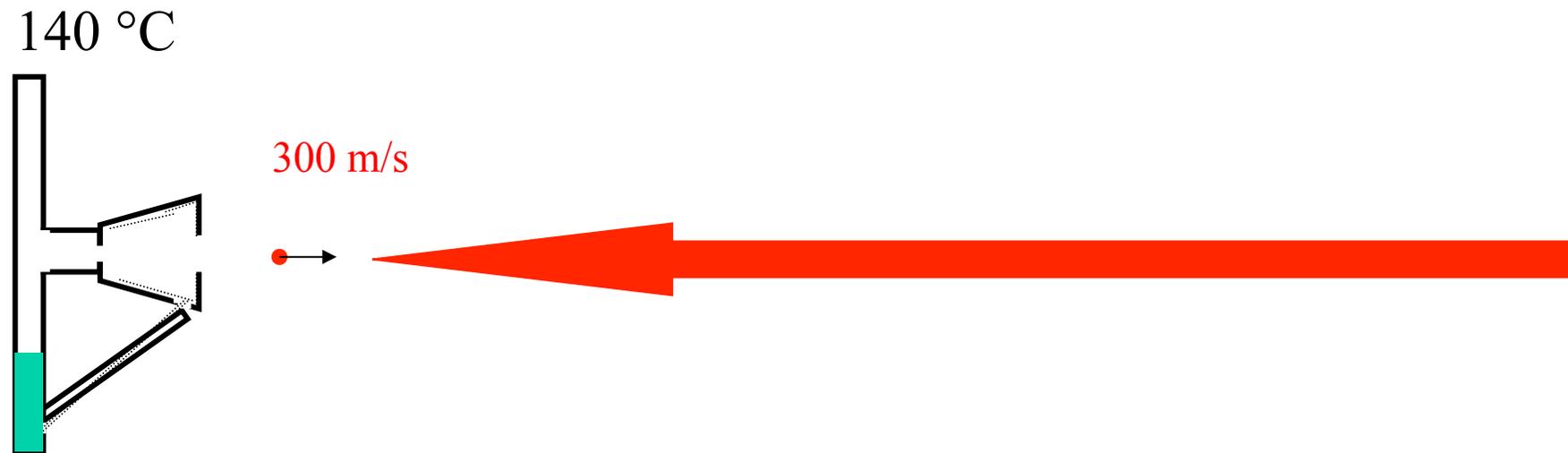
# Un atome en présence de lumière laser



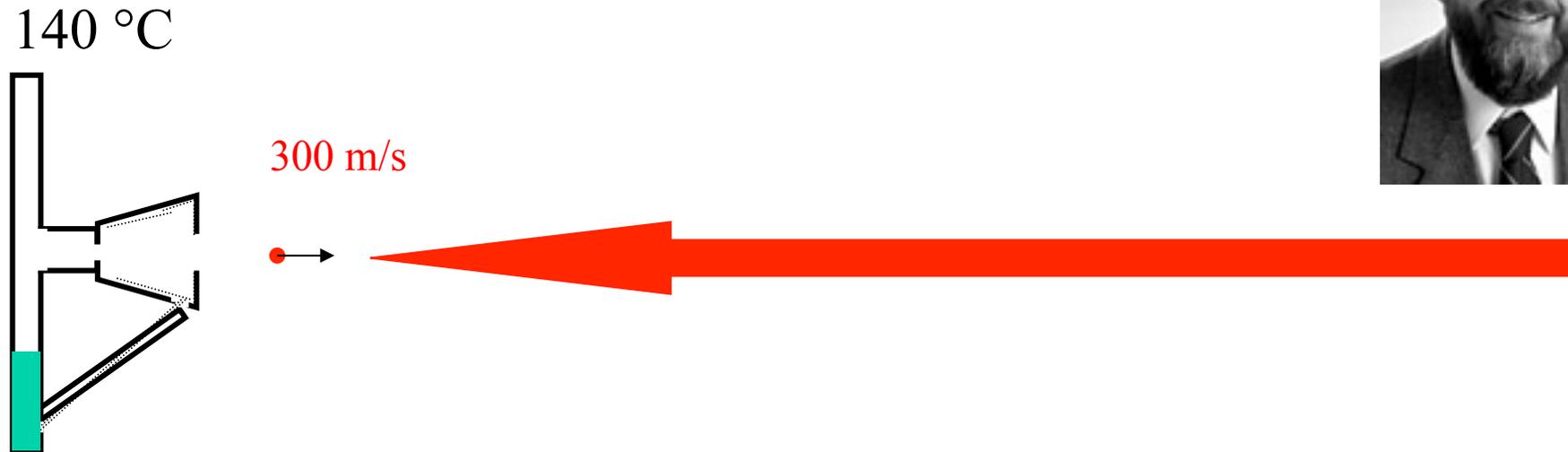
# Bilan sur la vitesse de l'atome D' un cycle absorption – émission spontanée



## Le principe du ralentisseur à effet Zeeman

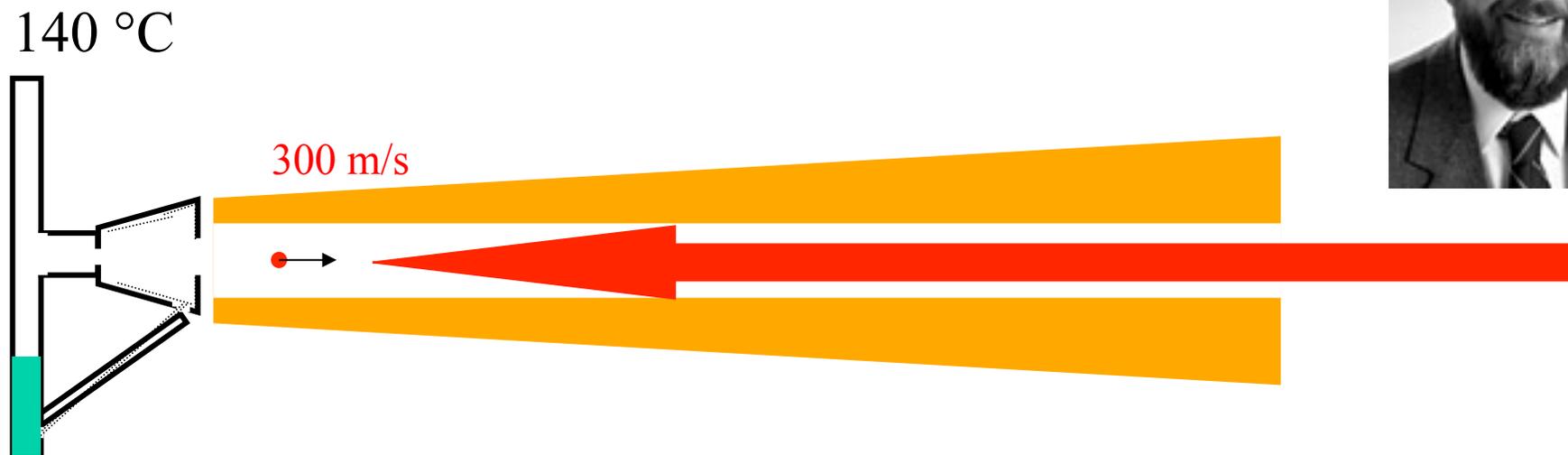


## Le principe du ralentisseur à effet Zeeman (idée : W. Phillips)



Effet Doppler compensé par des champs magnétiques

## Le principe du ralentisseur à effet Zeeman (idée : W. Phillips)

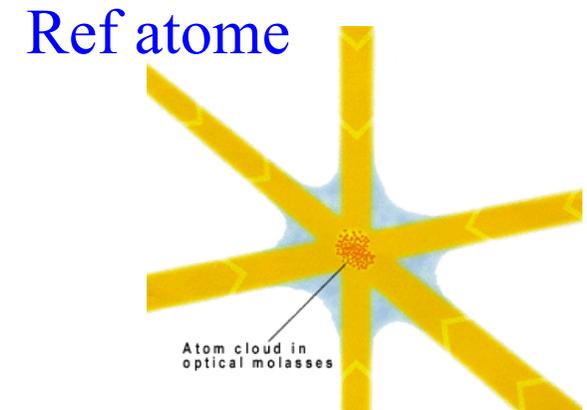
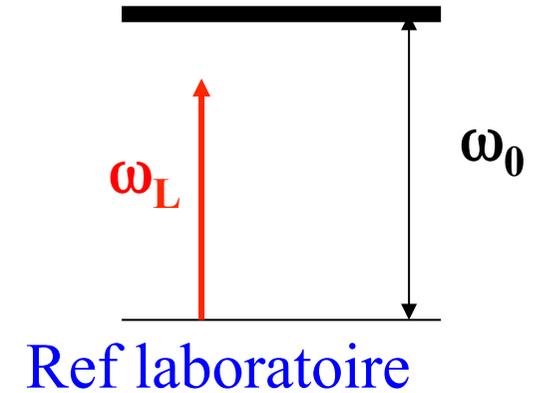
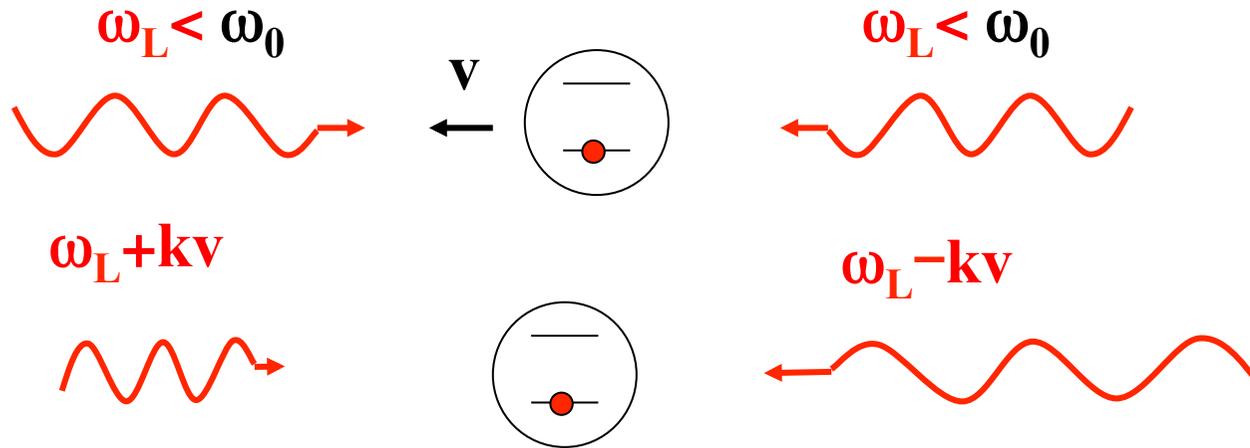


$$300 \text{ m/s} = 50000 \times 6 \text{ mm/s}$$

Les atomes sont arrêtés après 1 mètre d'interaction avec le laser  
(décélérations de l'ordre de  $10^5 \text{ g}$ )

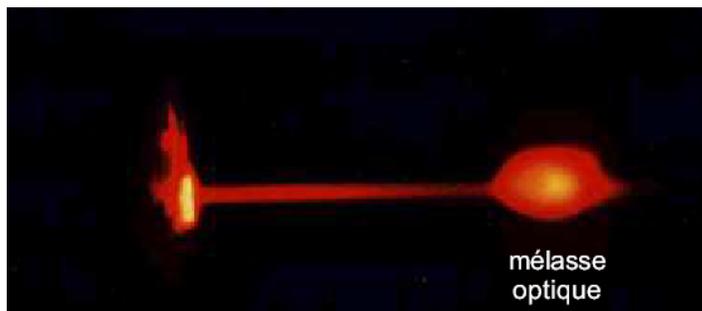
Effet Doppler compensé par des champs magnétiques

# Principe du refroidissement laser



Absorption du photon  $\omega_L + kv$ , et réémission équiprobable dans deux directions opposées.

**Bilan : force de friction**



S. Chu

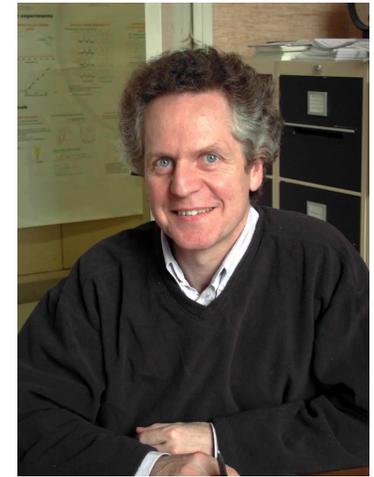
Explication des températures « anormalement basses » observées

C. Cohen-Tannoudji

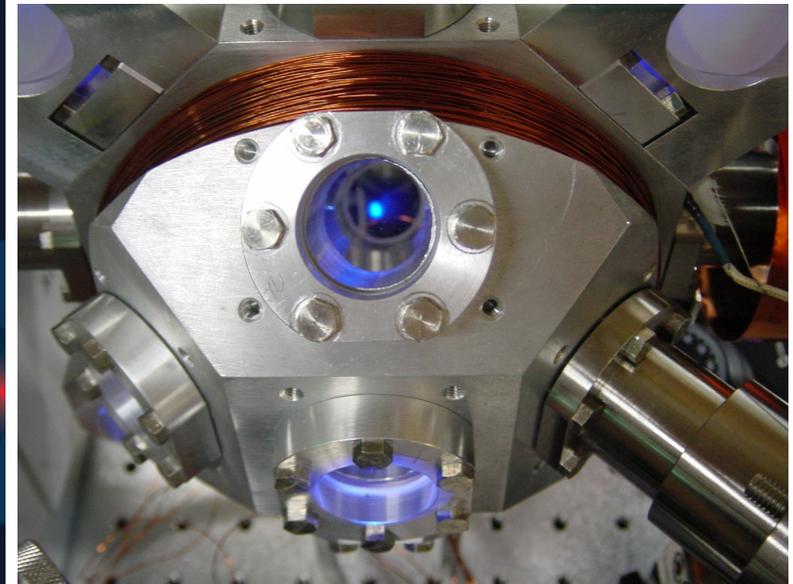
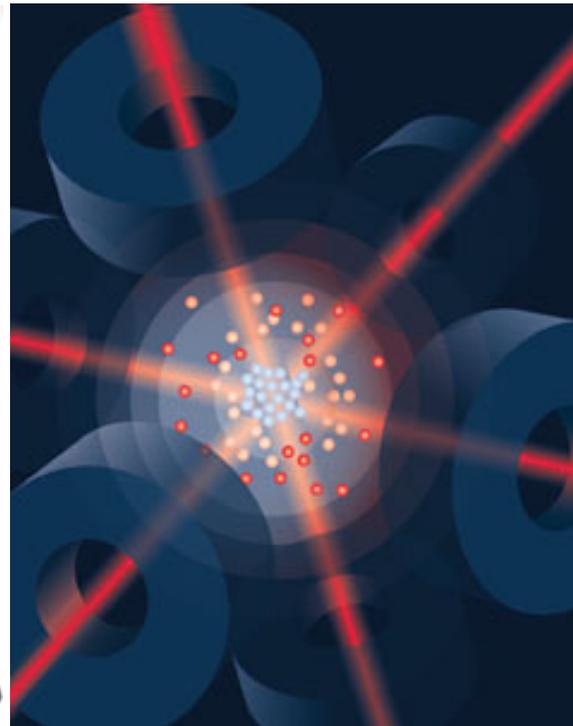


# Piégeage avec en plus des champs magnétiques

## Le piège magnéto-optique



J. Dalibard



Expériences réalisées dans des cellules sous ultravide.

# Refroidissement d'atomes par laser



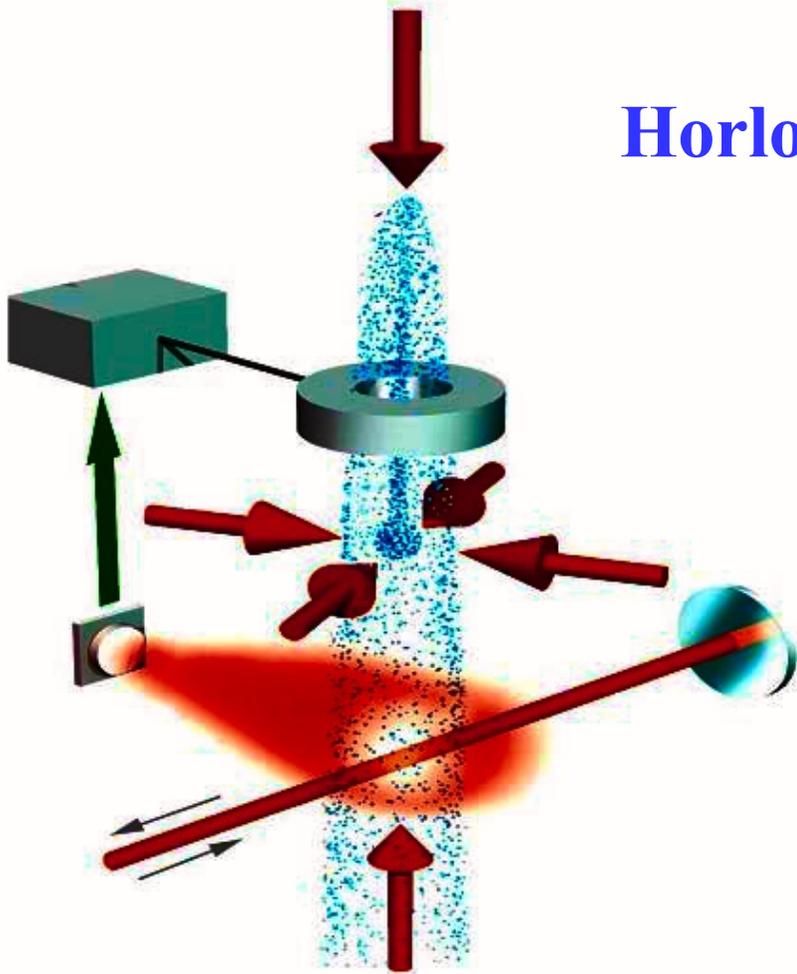
**Prix Nobel de physique 1997 attribué à  
W. Phillips, S. Chu et C. Cohen-Tannoudji**



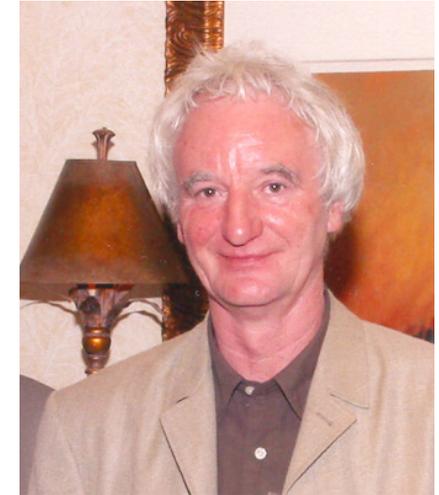
"for development of methods to cool and trap atoms  
with laser light"

**Application :**  
**Les horloges atomiques**

# Horloges atomiques



Christophe  
Salomon



André  
Clairon

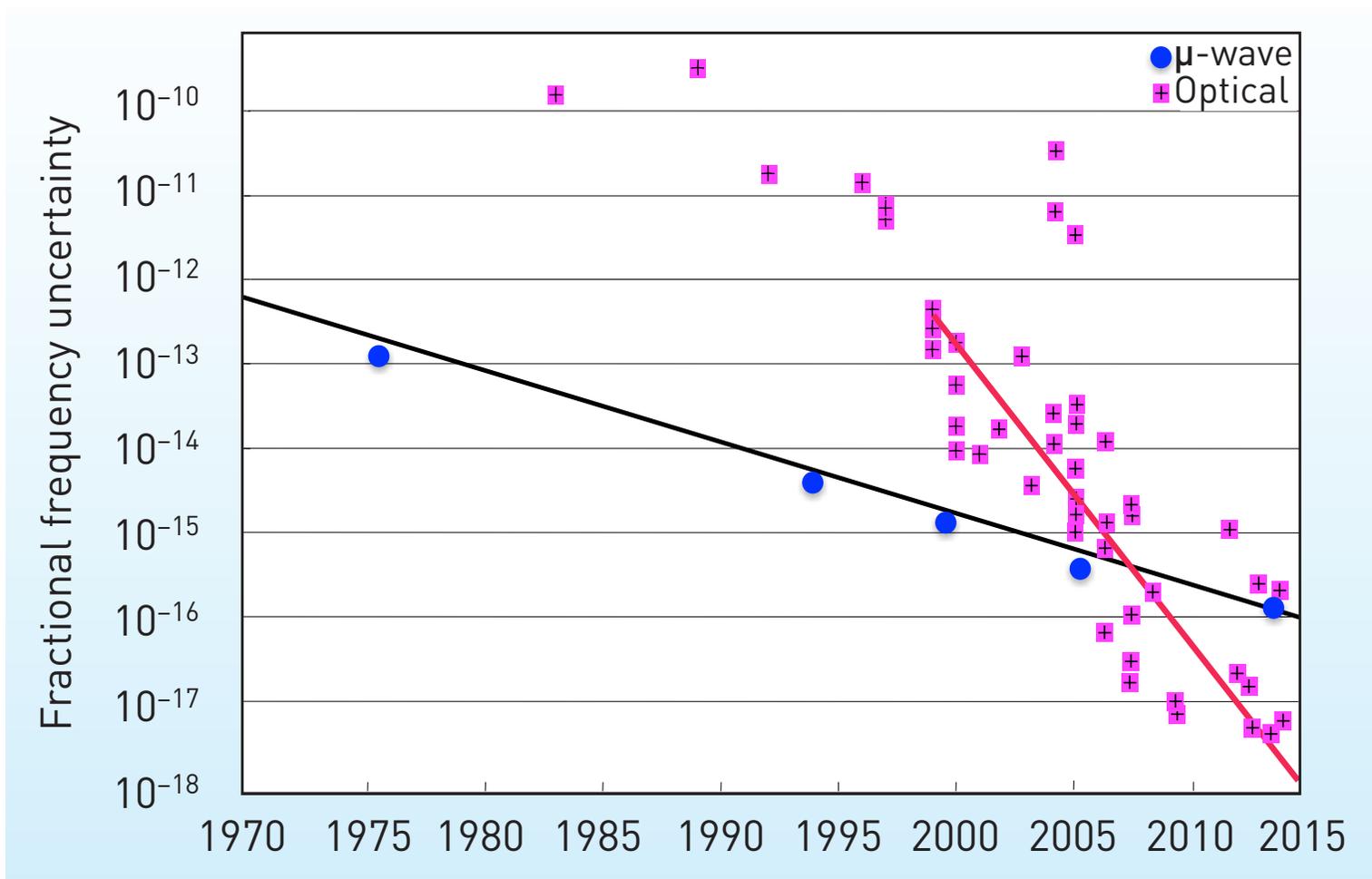
Stabilité de  $10^{-16}$  : erreur inférieure à 1 seconde après 300 millions d'années

Recherche d'une variation éventuelle des constantes fondamentales

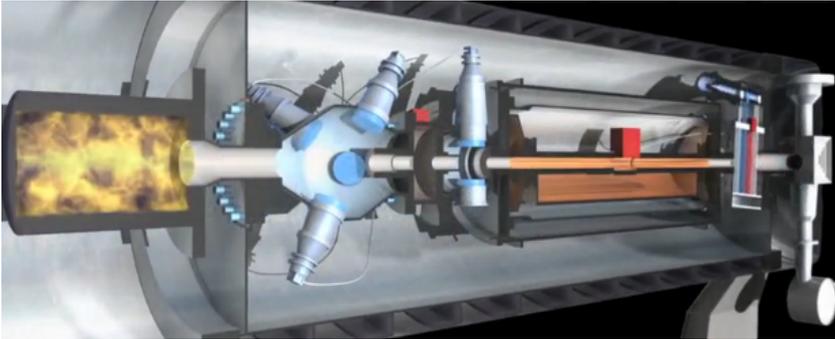
$$\nu_{Al^+} / \nu_{Hg^+} = 1.052871833148990438(55)$$

$$\dot{\alpha} / \alpha = (-1.6 \pm 2.3) \times 10^{-17} / \text{year}$$

# Horloges atomiques

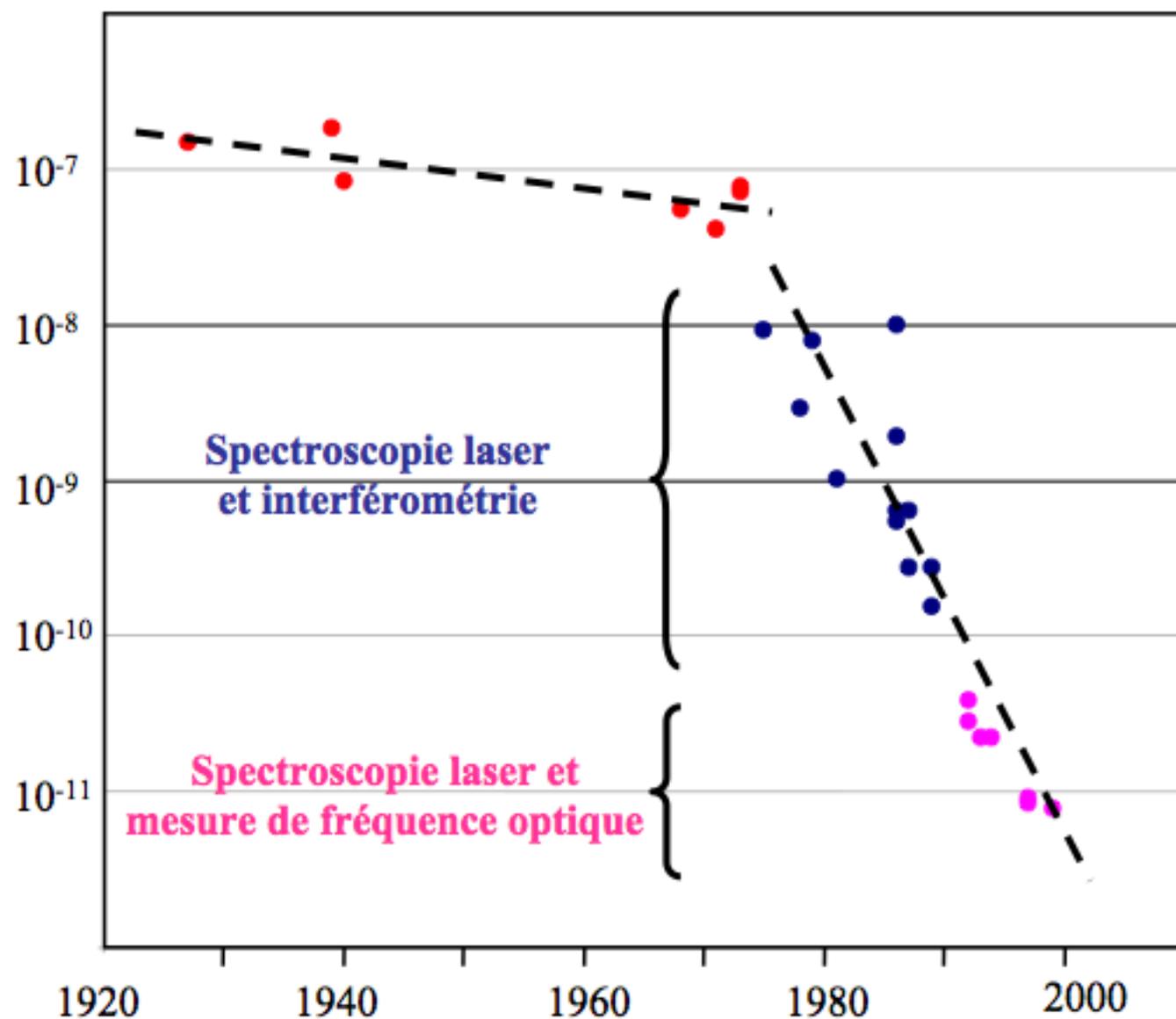


# Horloge atomique : PHARAO AU CNES (Station spatiale internationale en 2016(?))



Servir de référence aux horloges terrestres  
Tests de relativité générale (Effet Lens-Thiring ...)

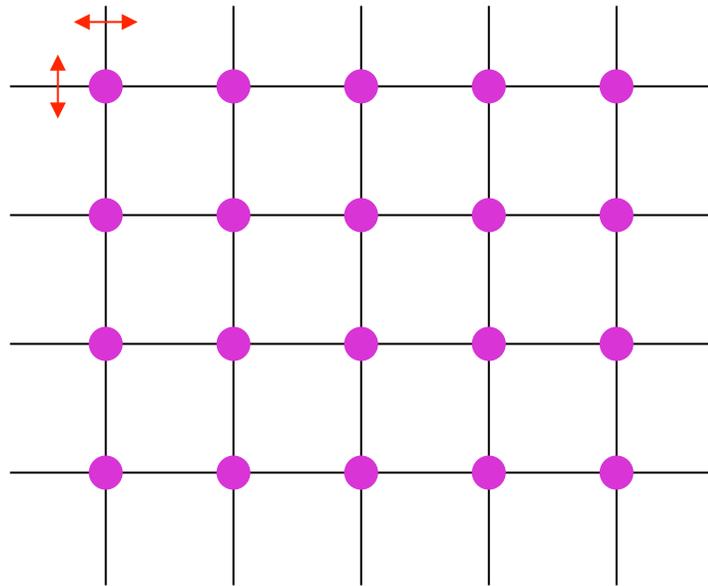
## Incertitude sur la constante de Rydberg



**Des ondes lumineuses  
aux  
ondes de matières**

# Température : point de vue microscopique

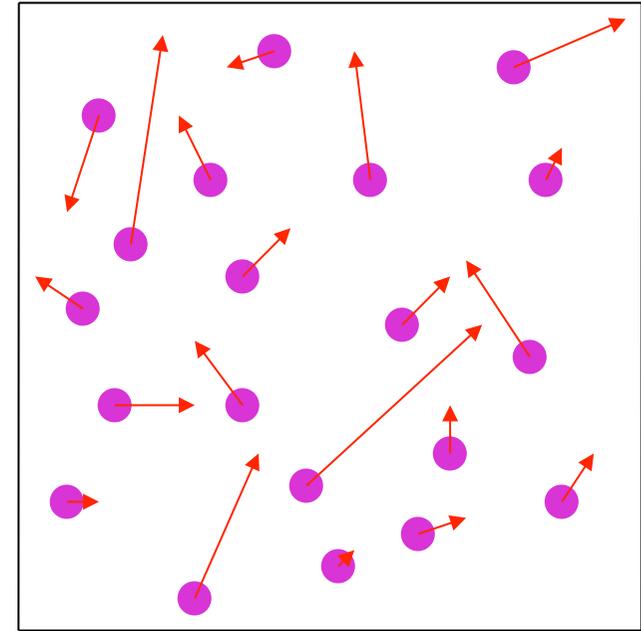
## Solide



- atomes sur un réseau 3D

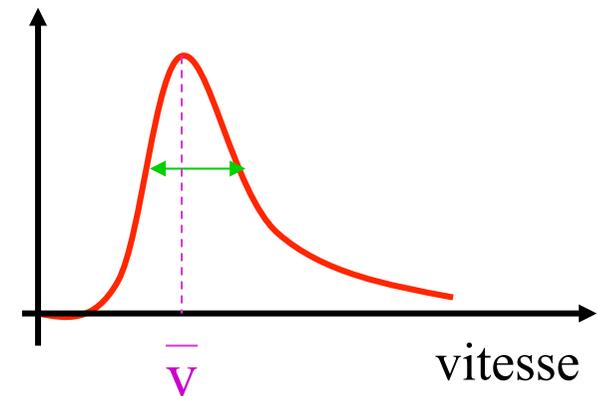
Température reliée à l'agitation autour des positions moyennes

## Gaz

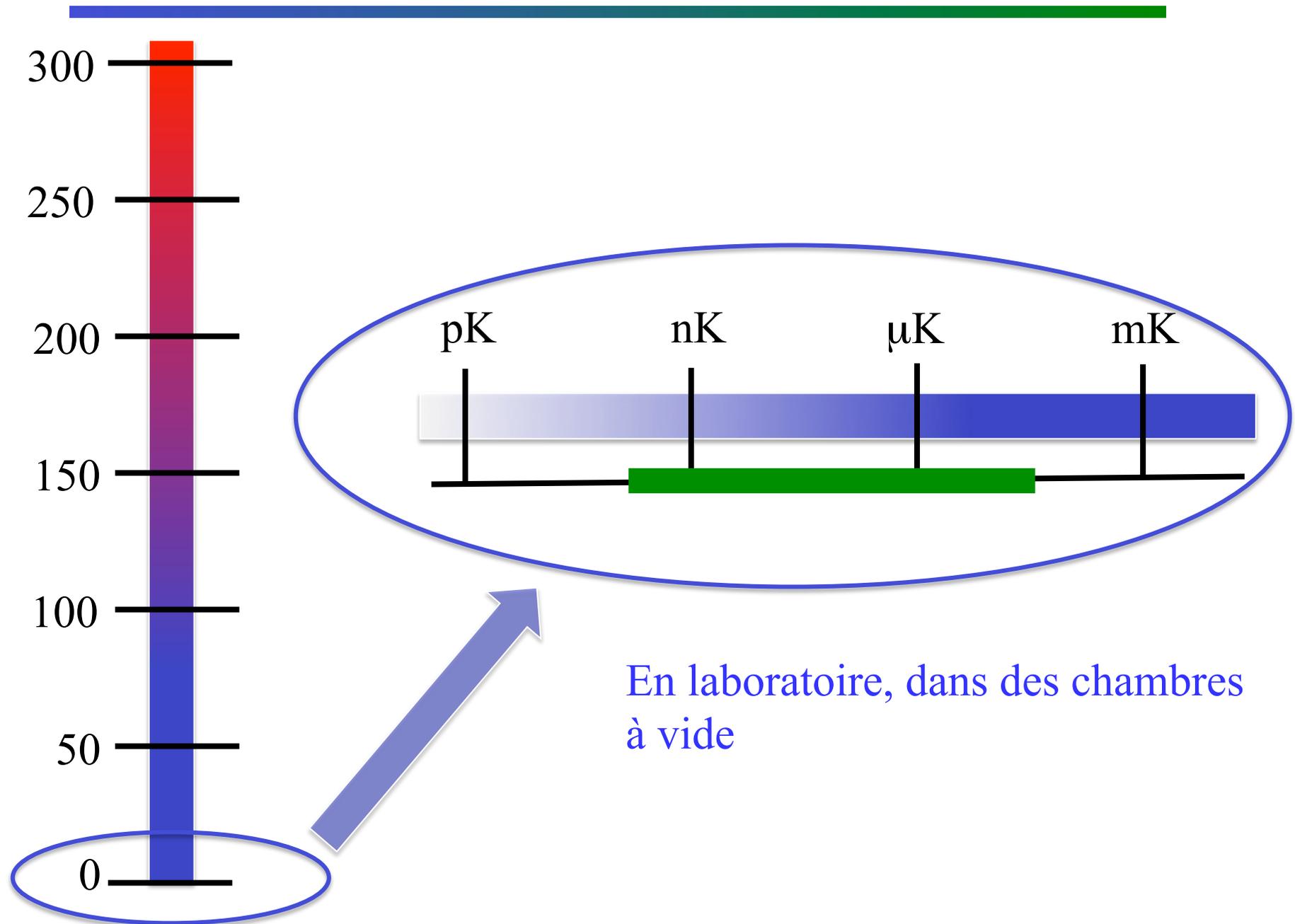


Température reliée à la dispersion des vitesses

Nombre d'atomes

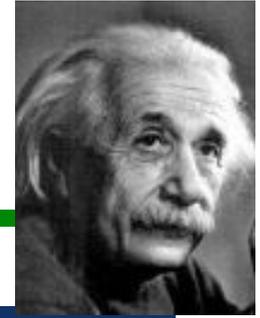


## Domaine étudié depuis les années 80





## La prévision étonnante d' Einstein inspirée par les travaux de S. Bose



Dans un gaz il y a deux échelles de longueur :  
la distance entre particules  $d$   
la longueur d' onde de de Broglie  $\lambda$

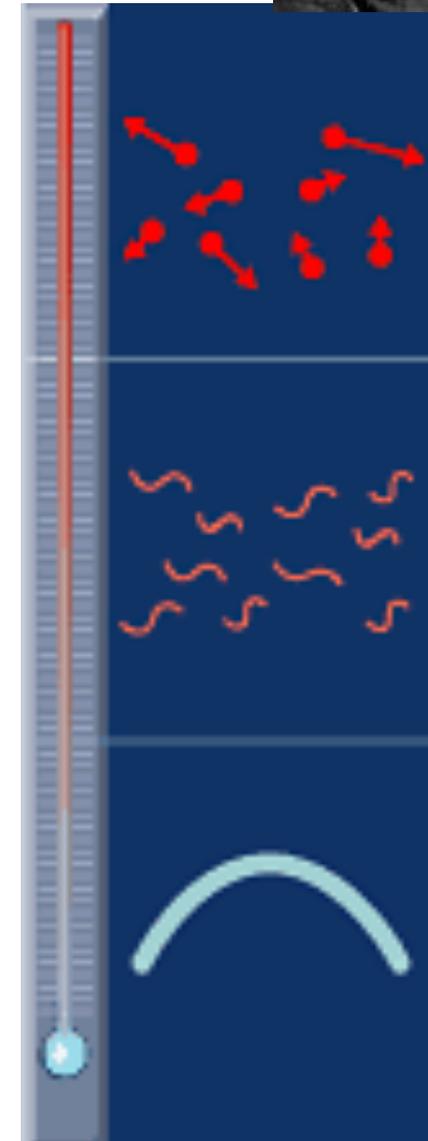
A température ordinaire :  $\lambda \ll d$  i.e. comportement  
« corpusculaire ».

Si  $T$  diminue,  $\lambda$  augmente

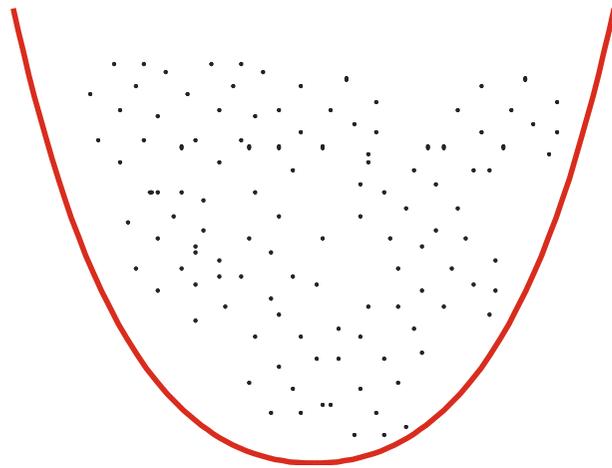
Einstein (1924) prévoit une transition de phase :  
condensation de Bose Einstein quand  $\lambda = d$

Einstein à Ehrenfest:

*"C'est une belle théorie, mais contient-elle une vérité ?"*

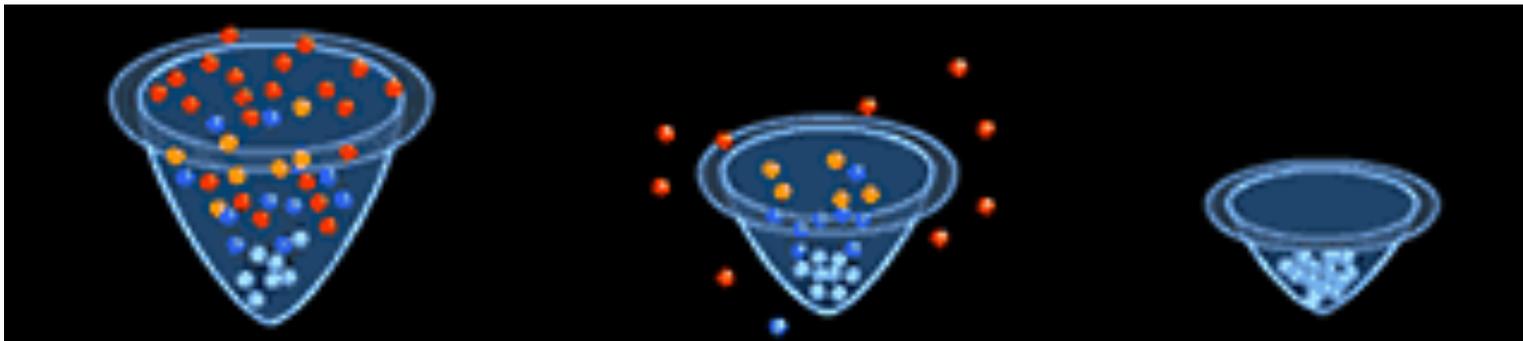
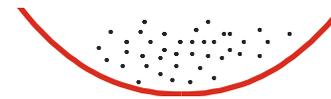


# Refroidissement par évaporation



$$N \longrightarrow N / 100$$

$$T \longrightarrow T / 1000$$



$$d \sim 100 \lambda$$

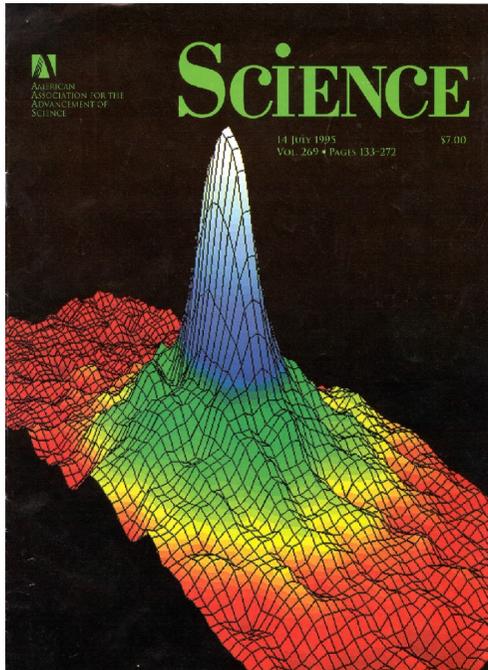
$$d \sim \lambda$$

Durée : 1 à 100 secondes,  $N_f = 10^5$  à  $10^7$  atomes,  $T_f = 0.2$  à  $2 \mu\text{K}$

# Condensation de Bose Einstein

## Un nouvel état de la matière

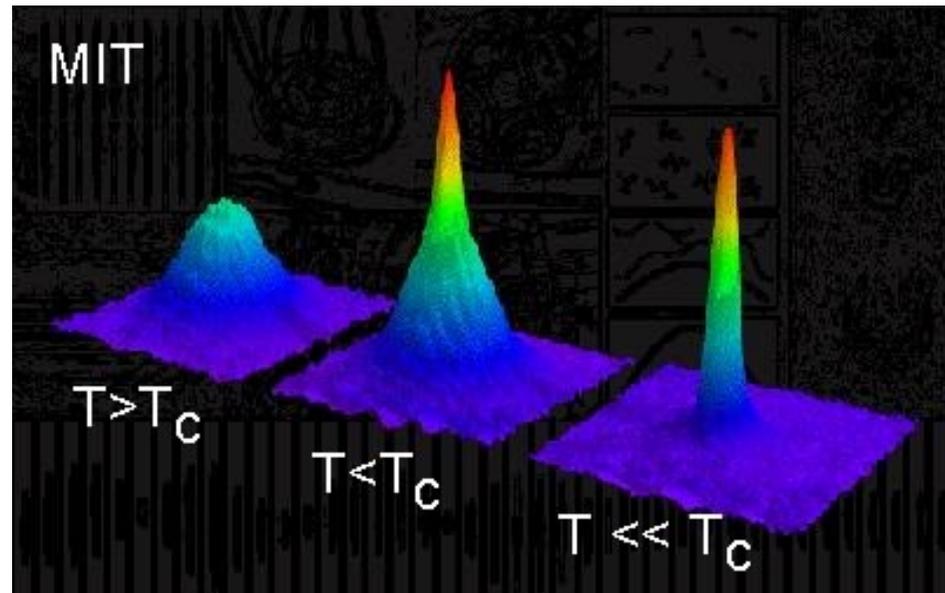
Taille  $\sim 100 \mu\text{m}$  !



Rubidium

**C. Wieman et E. Cornell**

Boulder, Colorado



Sodium

**W. Ketterle**

MIT

# Condensation de Bose Einstein

---



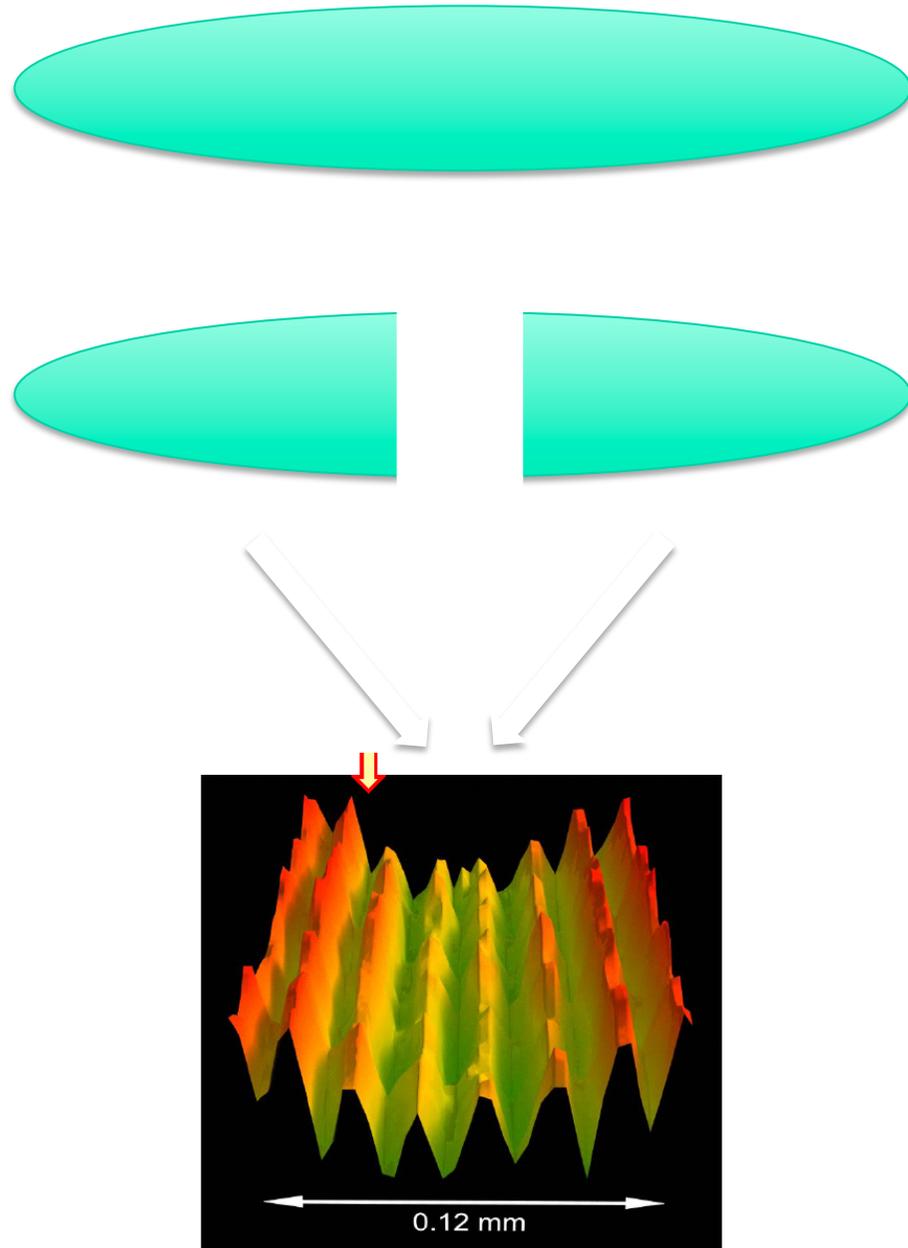
**Prix Nobel de physique 2001 attribué à  
E. Cornell, W. Ketterle et C. Wieman**



"for the achievement of Bose-Einstein condensation **in dilute gases of alkali atoms**, and for early fundamental studies of the properties of the condensates"

# Faire interférer deux échantillons gazeux macroscopiques

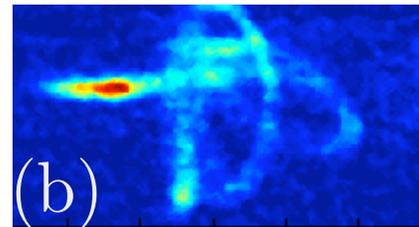
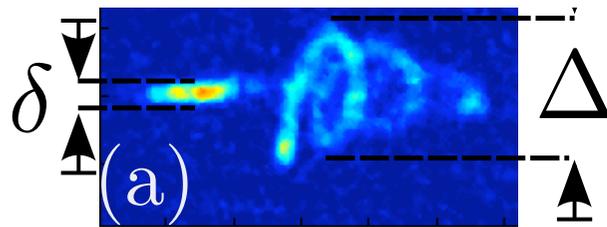
---



# Laser à atomes

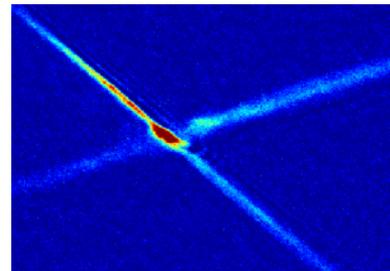


**Guide optique pour ondes de matière**  
(Guides de matières pour ondes optiques)

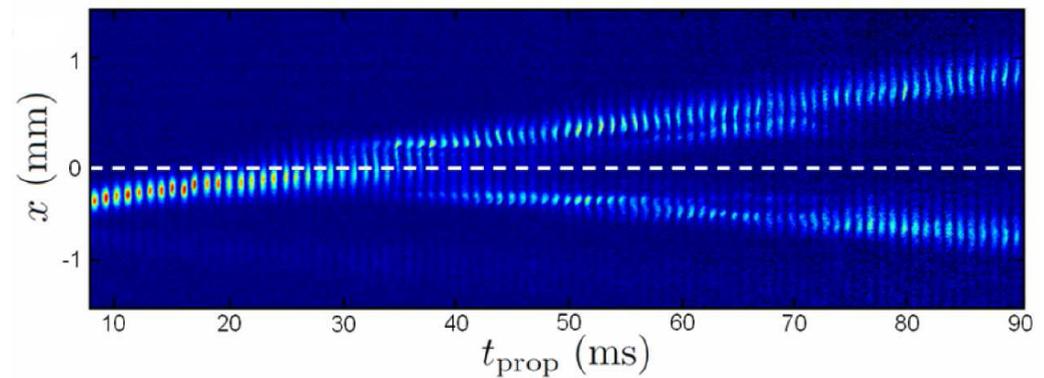
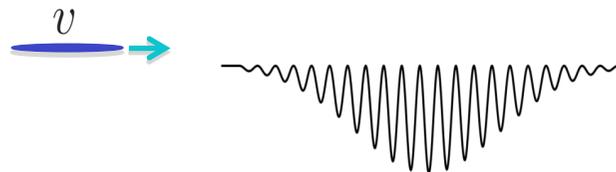


**Systeme pour étudier le chaos classique et quantique**

**Séparatrice à ondes de matière**



**Miroir de Bragg**



**Développement de l'atometronique**

**FIN**