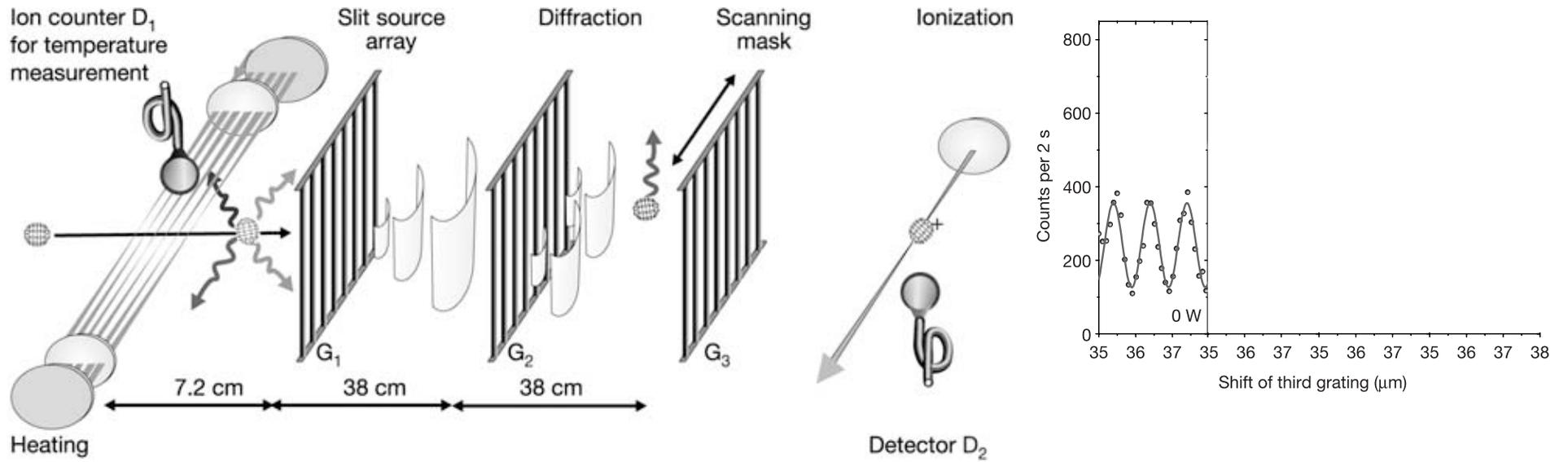
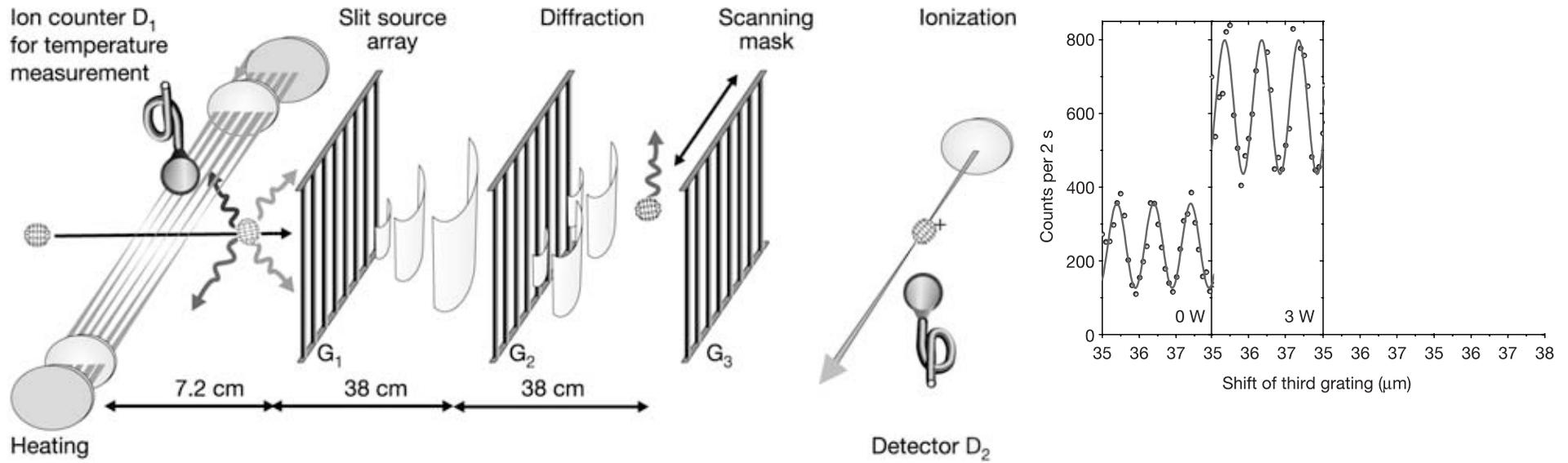


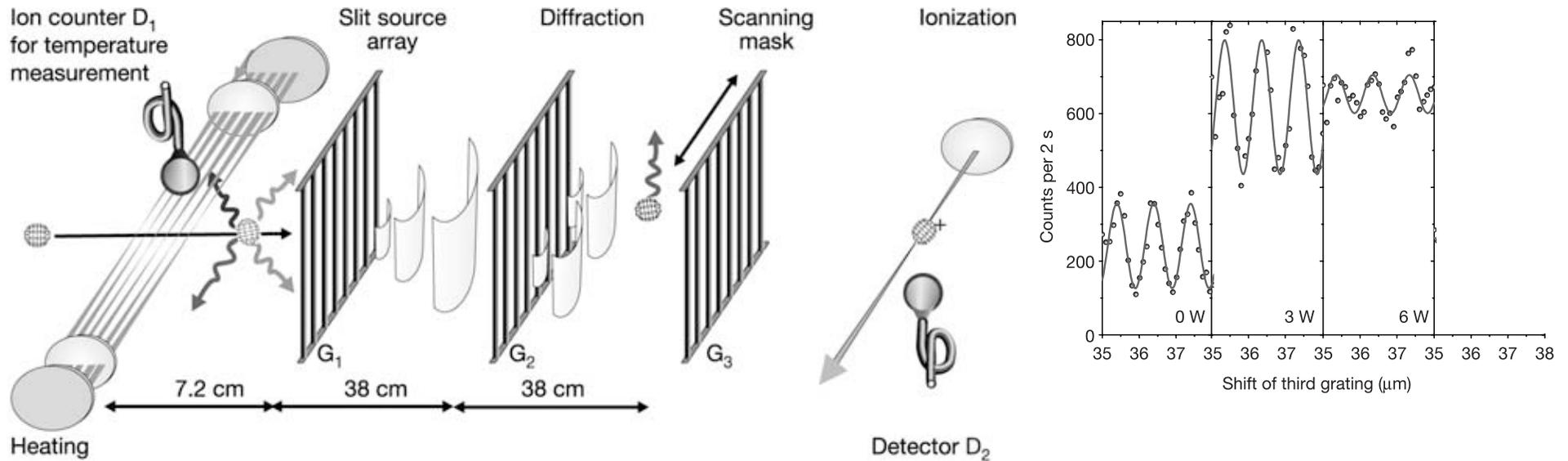
# Décohérence : vers le monde macroscopique



# Décohérence : vers le monde macroscopique

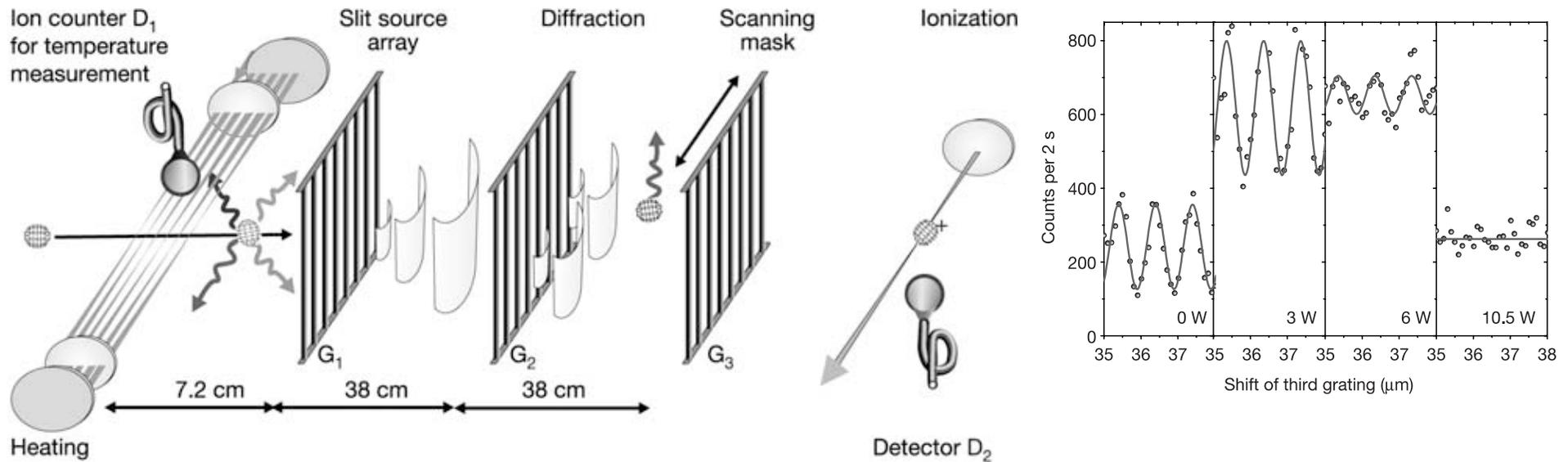


# Décohérence : vers le monde macroscopique



La possibilité de localiser le chemin suivi par le biais des photons émis supprime le caractère ondulatoire de la distribution des atomes sur l'écran

# Décohérence : vers le monde macroscopique

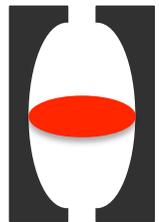
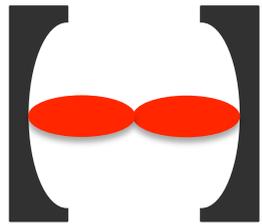
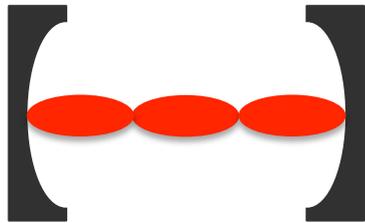


La possibilité de localiser le chemin suivi par le biais des photons émis supprime le caractère ondulatoire de la distribution des atomes sur l'écran

**Spectre d'émission atomique :  
un révélateur de la nature  
ondulatoire des électrons**

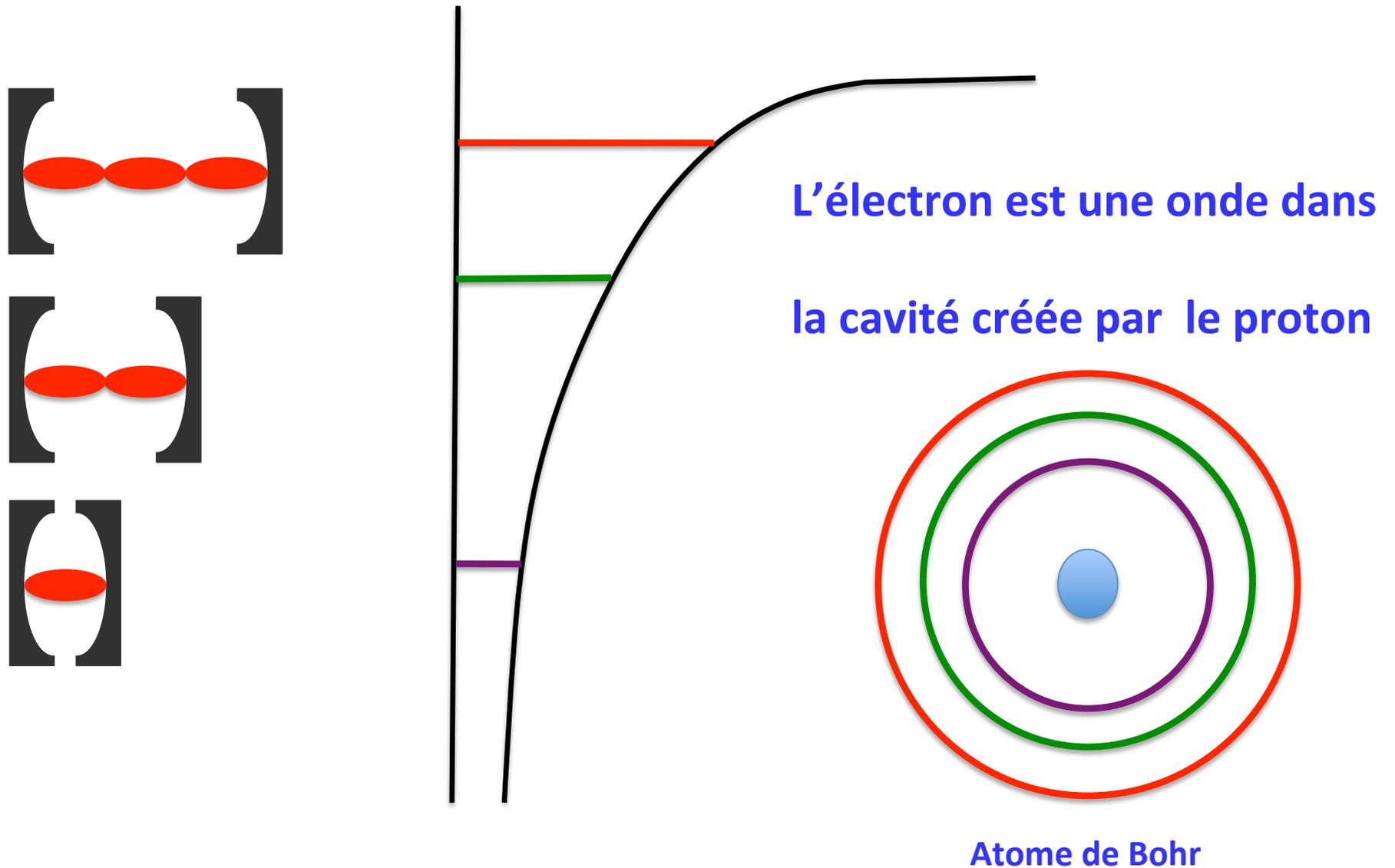
# Interprétation ondulatoire des orbites de Bohr (1913)

---



# Interprétation ondulatoire des orbites de Bohr (1913)

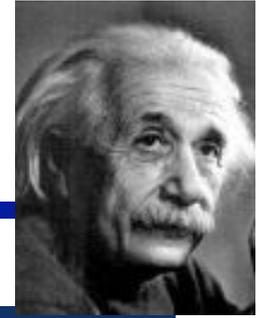
---



**Un gaz entier peut-il avoir un comportement ondulatoire ?**



# La prévision étonnante d' A. 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  $\lambda$

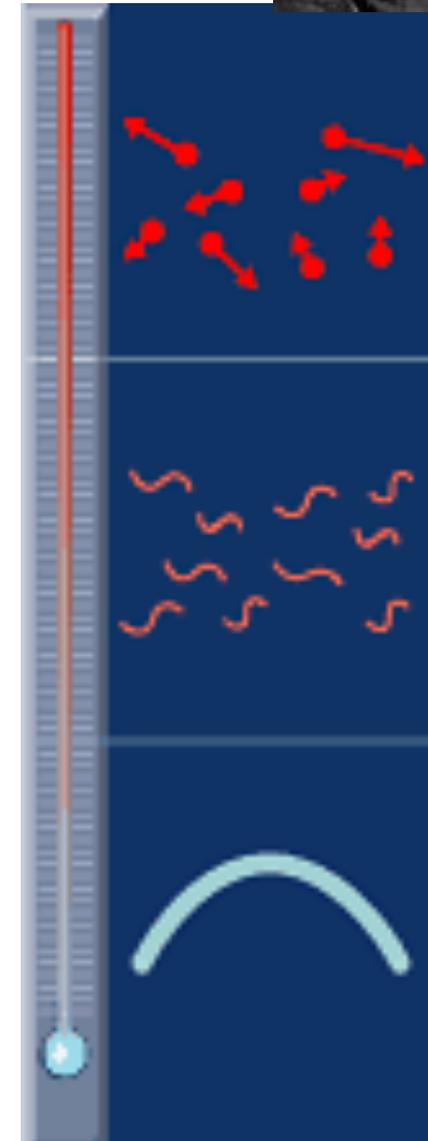
A température ordinaire :  $\lambda \ll d$  i.e. comportement  
« corpusculaire ».

Si  $T$  diminue,  $\lambda$  augmente

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

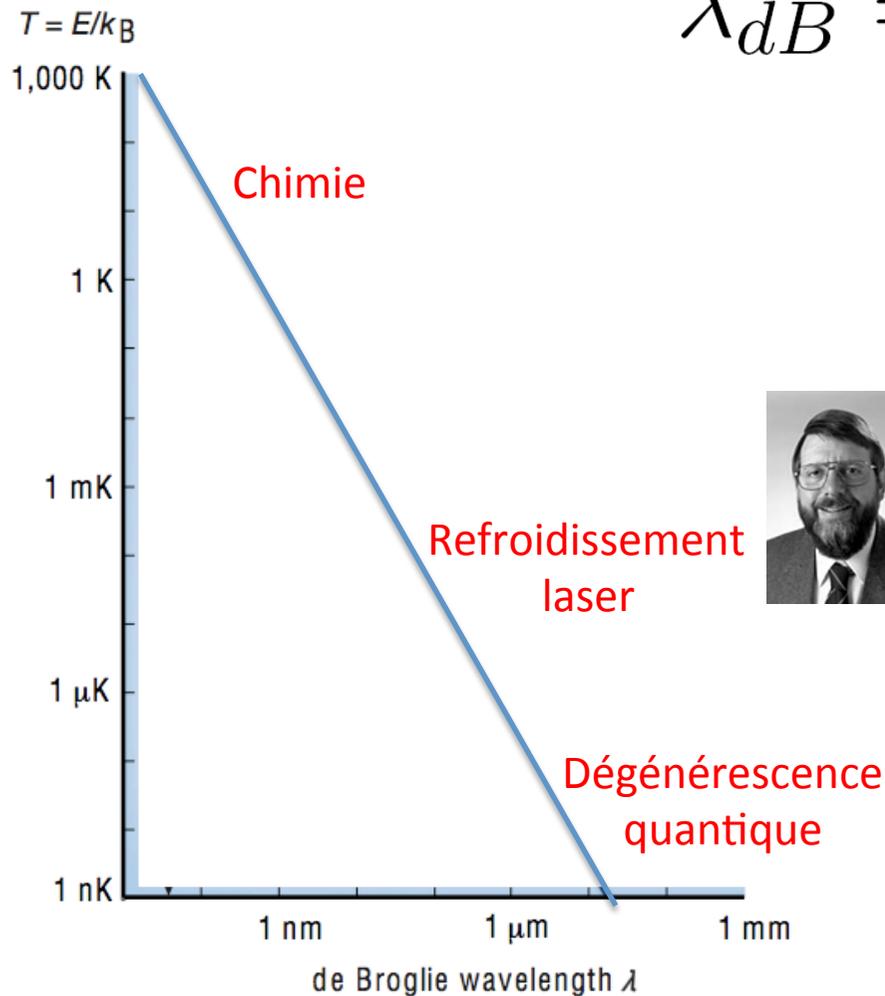
Einstein à Ehrenfest:

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



# Basses températures et grande longueur d'onde de de Broglie

$$\lambda_{dB} = \frac{h}{\sqrt{2\pi m k_B T}}$$



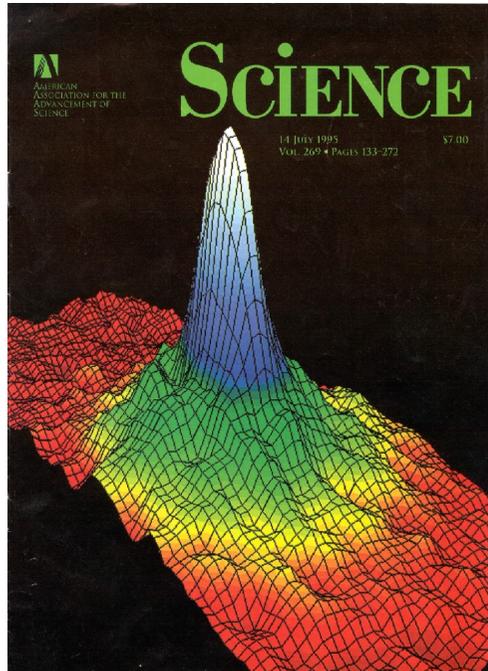
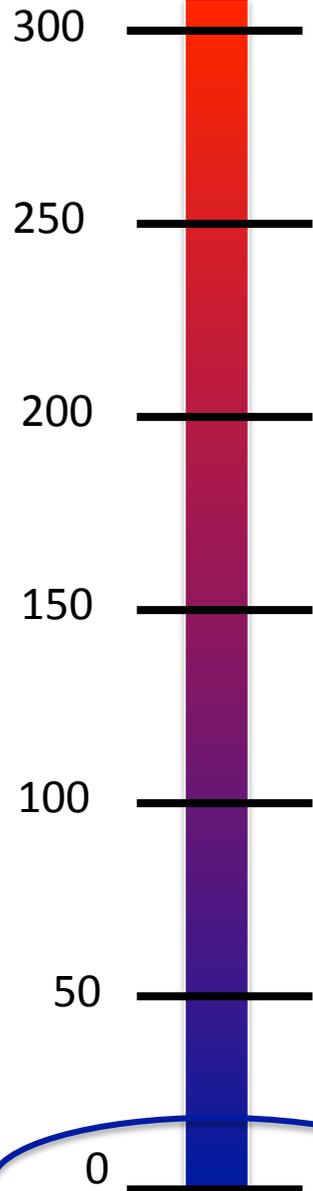
Prix Nobel de physique 1997  
W. Phillips, S. Chu, C. Cohen-Tannoudji



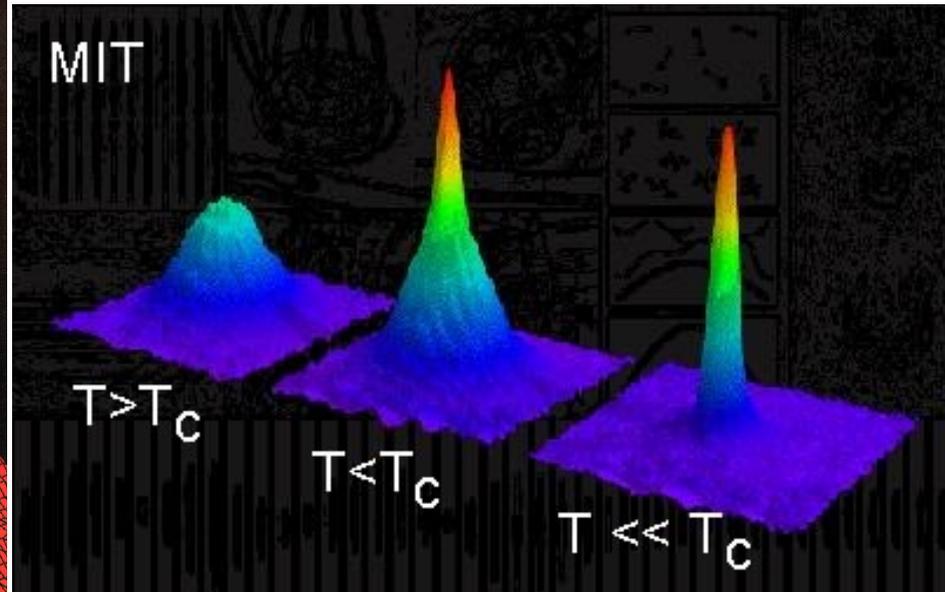
Prix Nobel de physique 2001  
E. Cornell, C. Wieman, W. Ketterle

# Condensation de Bose-Einstein

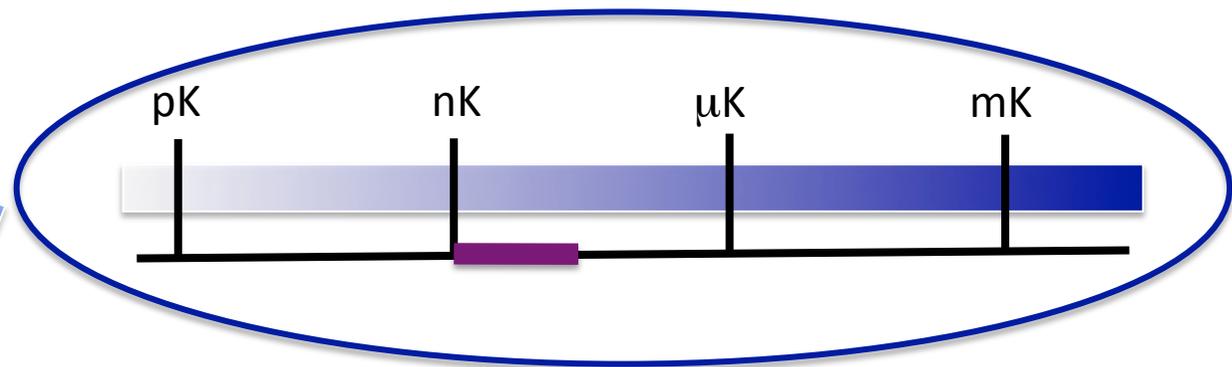
Taille  $\sim 100 \mu\text{m}$  !    Température de condensation 200 nK



Boulder, Colorado  
E. Cornell et C. Wieman

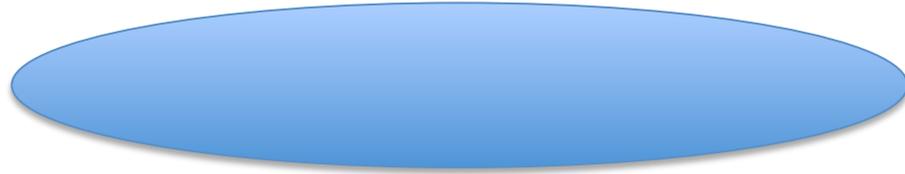


MIT  
W. Ketterle



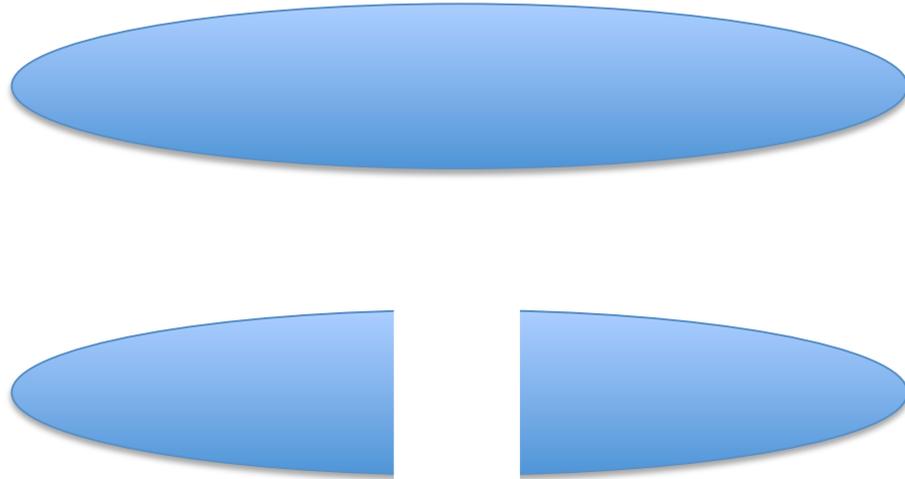
# Faire interférer deux échantillons gazeux macroscopiques

---



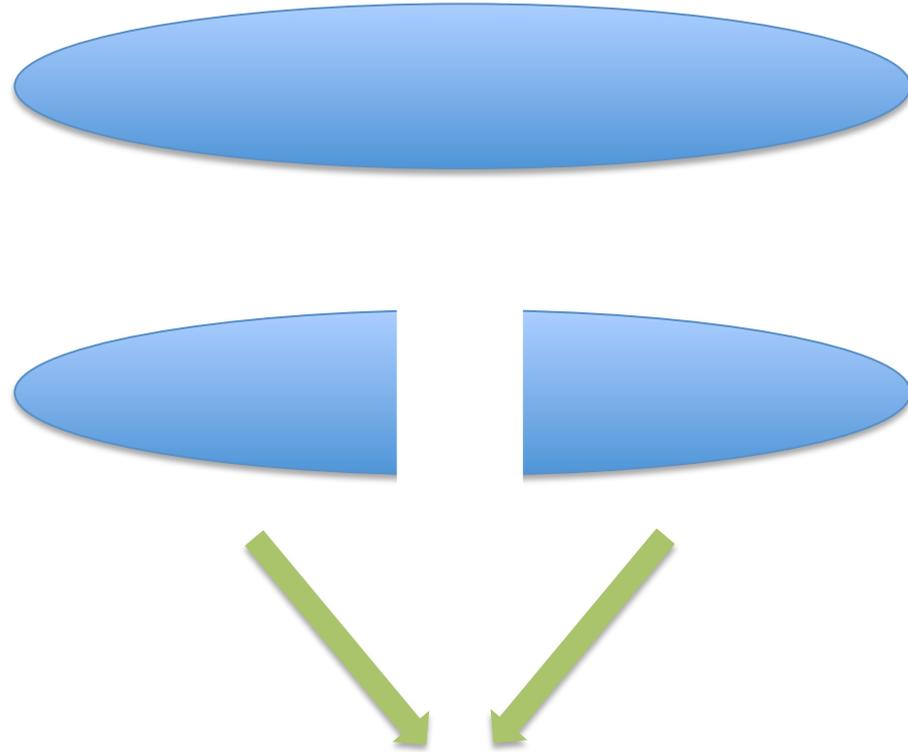
# Faire interférer deux échantillons gazeux macroscopiques

---



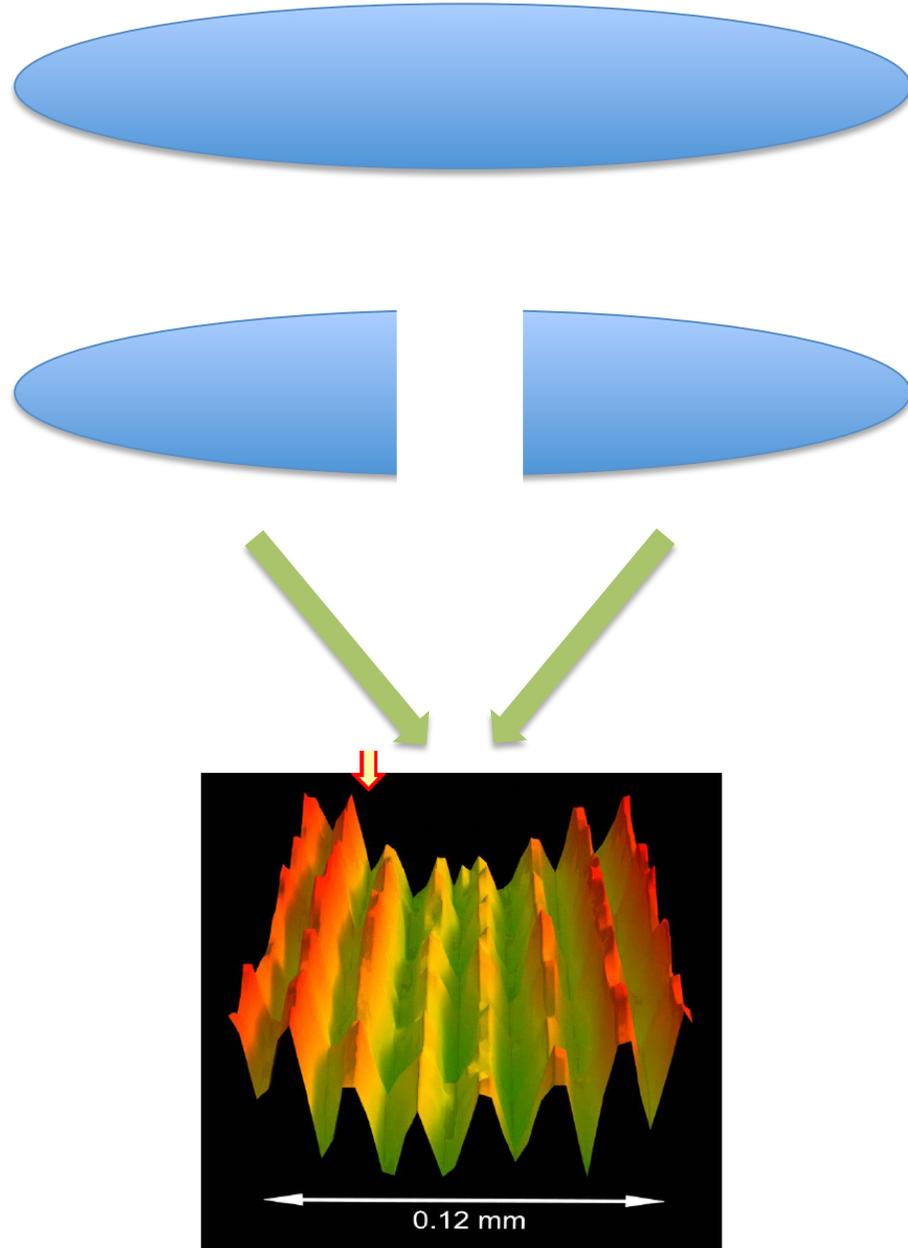
# Faire interférer deux échantillons gazeux macroscopiques

---

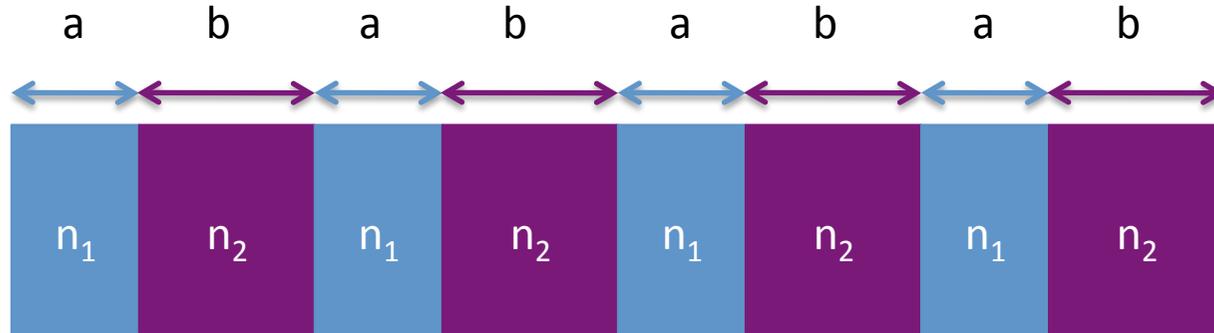


# Faire interférer deux échantillons gazeux macroscopiques

---



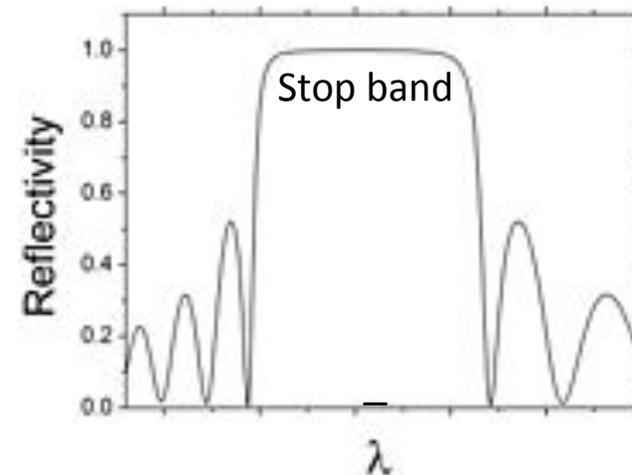
# Bragg mirror in optics



Bragg interference condition

$$\bar{k}n_1a = \bar{k}n_2b = \frac{\pi}{2} \quad [\pi]$$

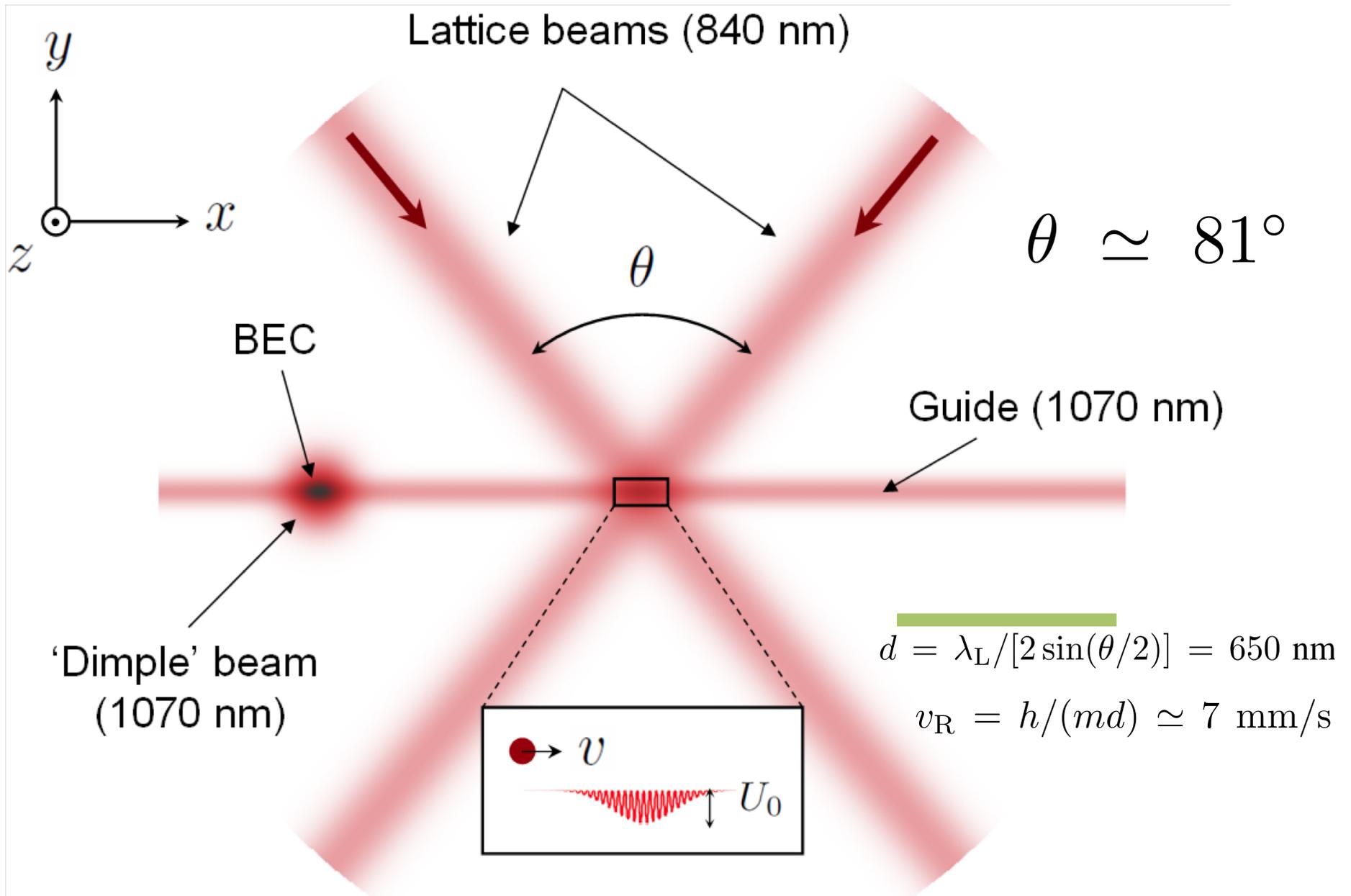
Reflection > 99,99 %



Is it possible to develop « dielectric » atom optics elements?

Iacopo Carusotto – Luis Santos (1998- 2002)

# Experimental setup

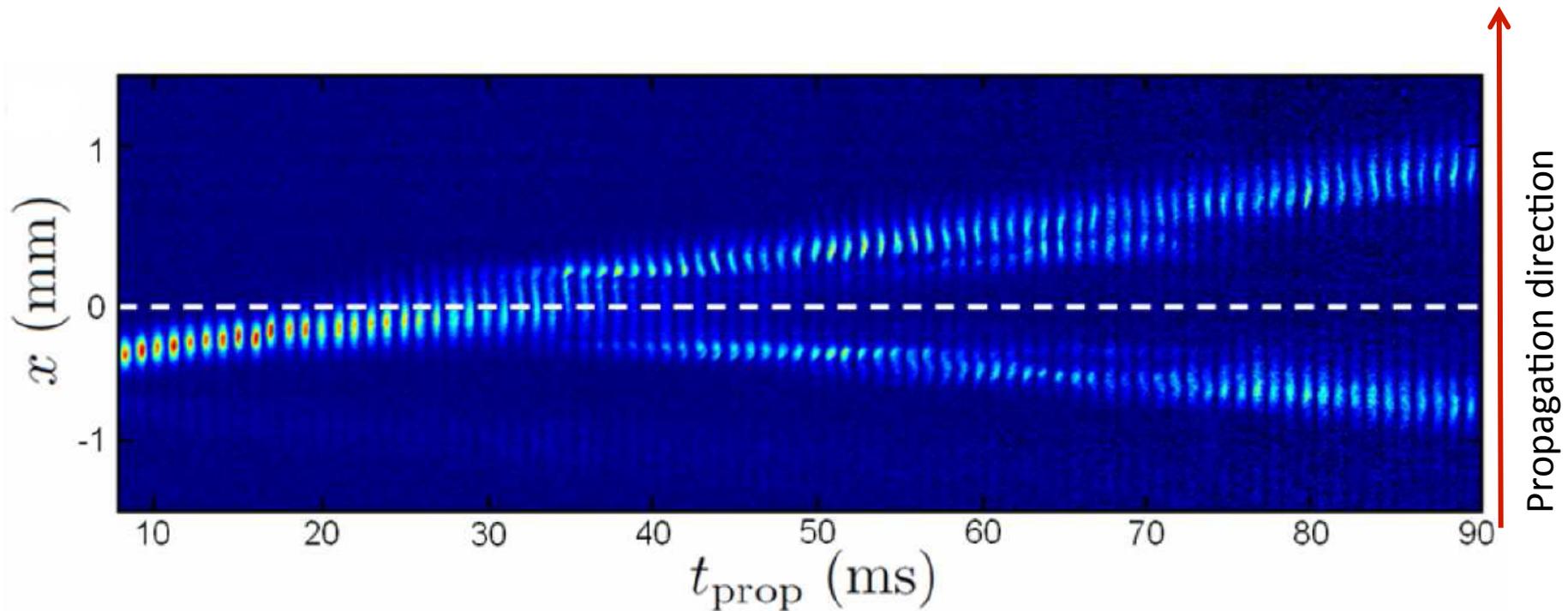


# Probing an optical lattice (the real system)

---

$$U_0 \simeq 11E_R$$

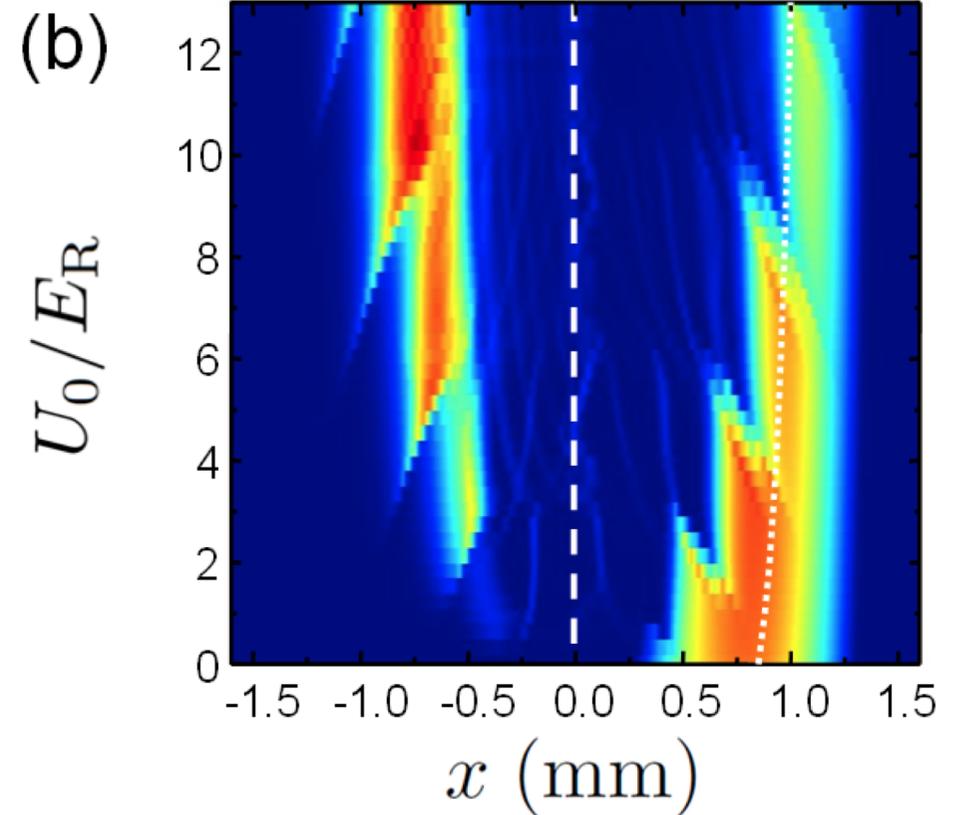
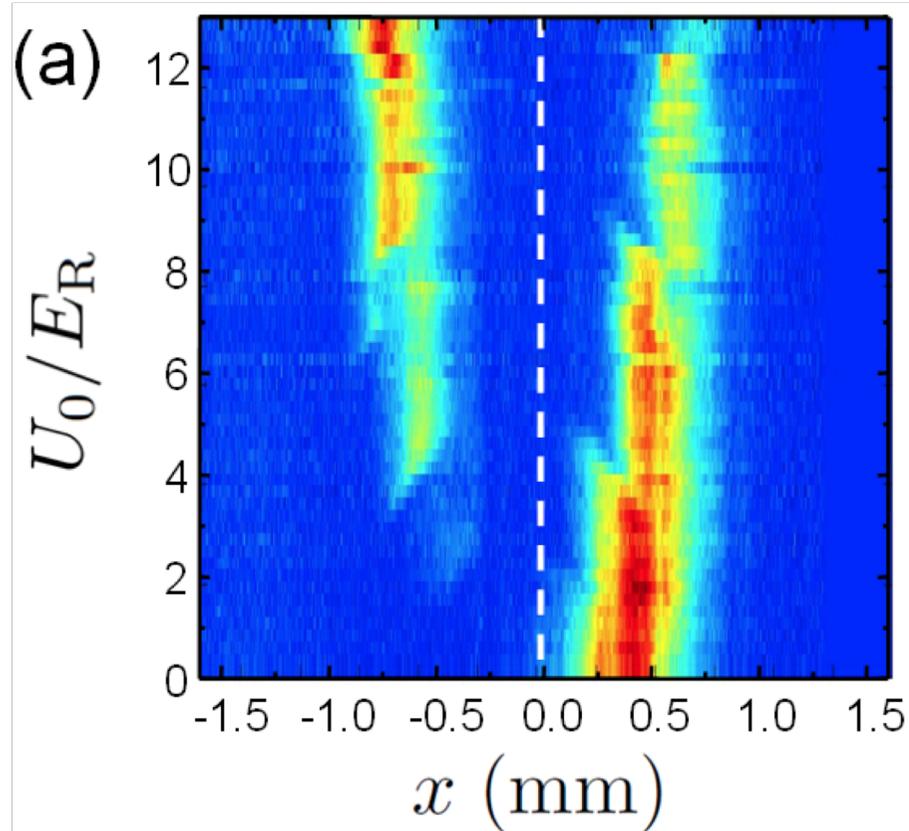
Experiment: example of result



# Bragg mirror results

Experiment

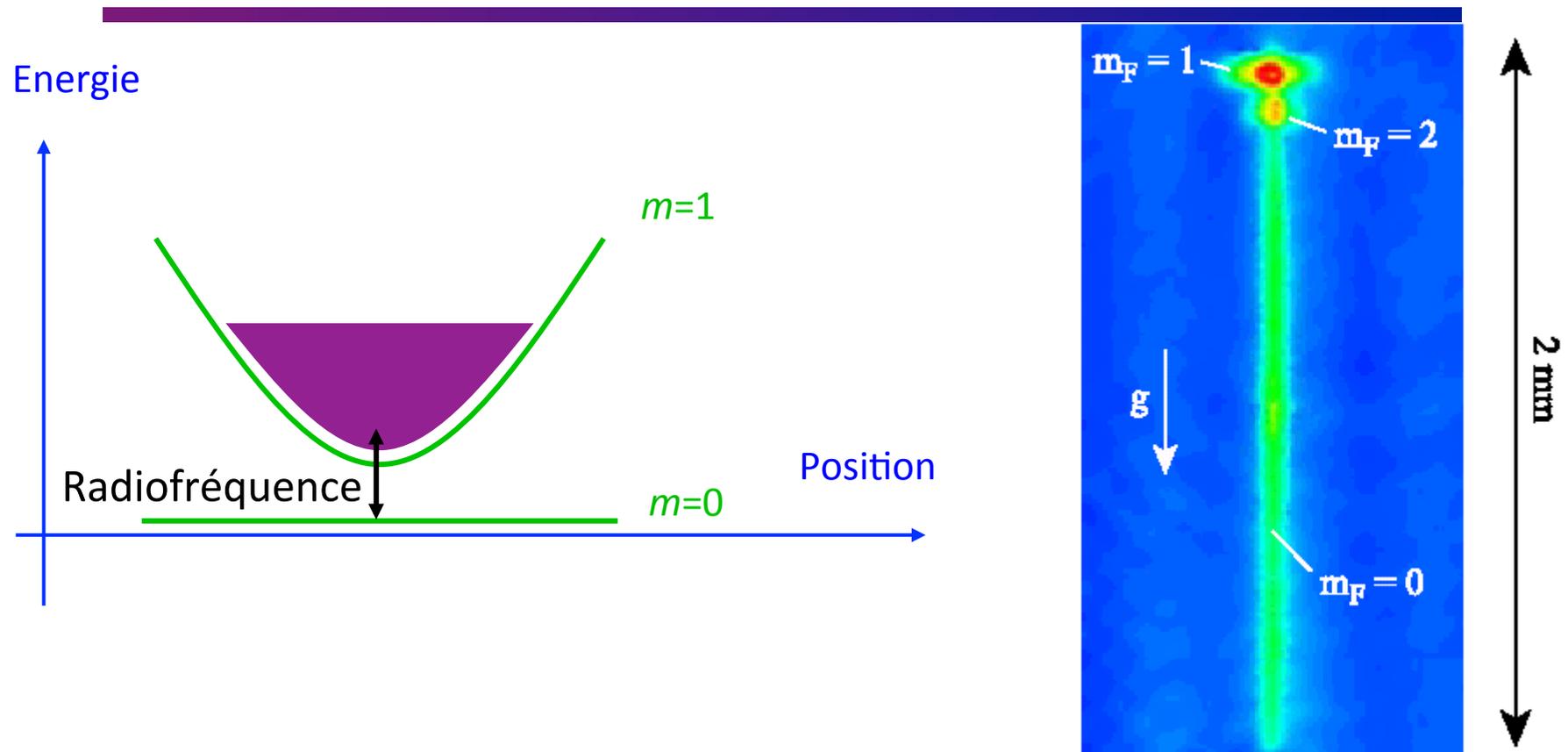
Numerical simulation



Scattering experiment enables to probe directly the band structure

Tunable velocity filter: low pass / high pass / notch / band pass filter

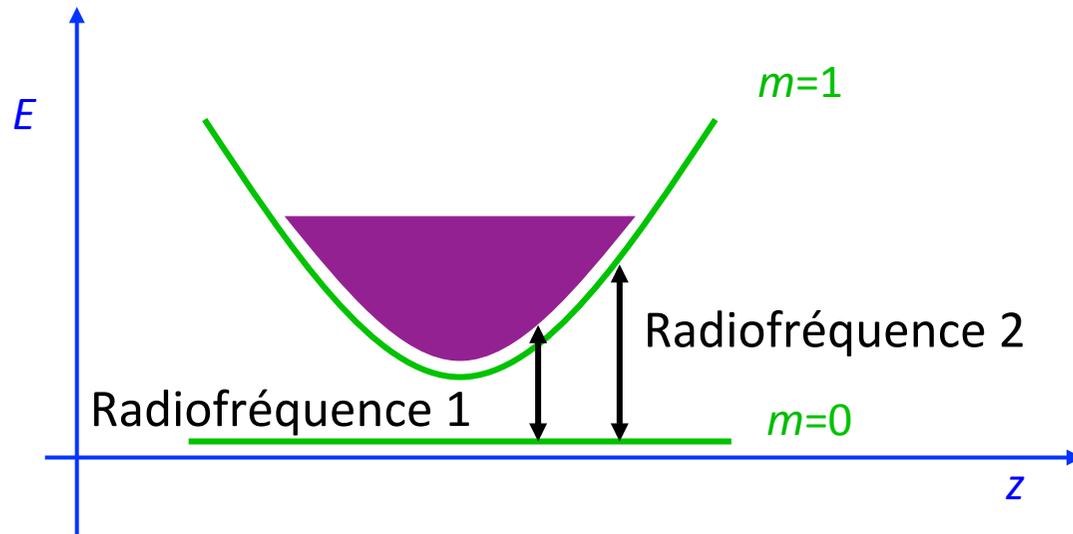
# Extraction d'une onde de matière



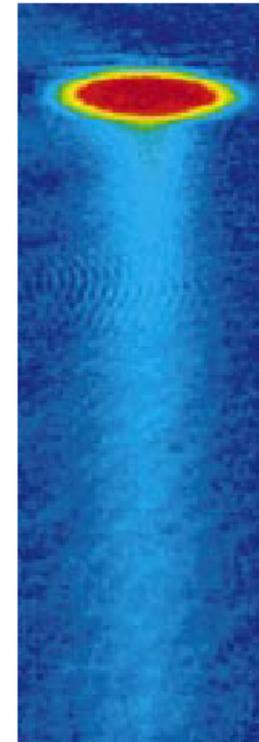
L'onde radio-fréquence fait basculer le moment magnétique des atomes situés au centre du piège magnétique, **elle est équivalente à une fente**

# Expérience de type fentes d'Young

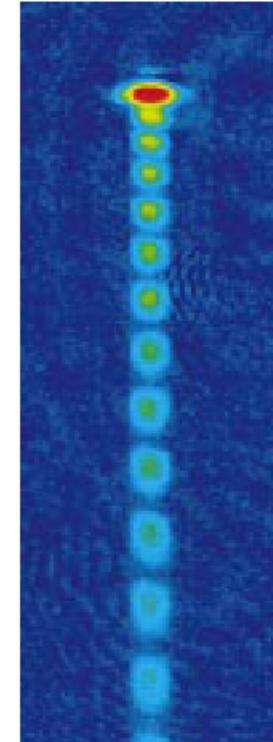
Expérience de type "fentes d'Young" = deux fentes



$T > T_c$



$T < T_c$

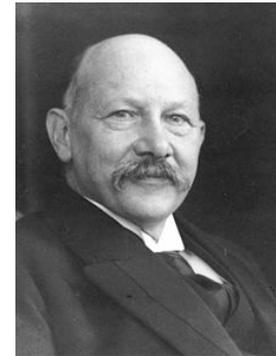


# **Quelques réflexions autour de l'histoire des basses températures**

# Les basses températures: une histoire émaillée de surprises

---

**1908** (Leiden): H. K. Onnes liquéfie  
le gaz  $^4\text{He}$  en dessous de 4.2 K.



**1912** par le même groupe:  
*"On peut obtenir des conducteurs électriques de résistance nulle"*

**1927** W. H. Keesom découvre que l'hélium  
liquide existe sous deux formes différentes



**1927-1938** : en dessous de 2.17 K comportement  
étrange disparition de la viscosité ?!!!, le liquide  
ne bout plus ??!!!

J. F. Allen, A. D. Misener and P. Kapitza



# Les basses températures: une histoire émaillée de surprises

---

**1908** (Leiden): H. K. Onnes liquéfie  
le gaz  $^4\text{He}$  en dessous de 4.2 K.



**1912** par le même groupe:

*"On peut obtenir des conducteurs électriques de résistance nulle"*

**SUPRACONDUCTIVITE**

**1927** W. H. Keesom découvre que l'hélium  
liquide existe sous deux formes différentes



**SUPERFLUIDITE**

**1927-1938** : en dessous de 2.17 K comportement  
étrange disparition de la viscosité ?!!!, le liquide  
ne bout plus ??!!!

J. F. Allen, A. D. Misener and P. Kapitza



# Emergence de la mécanique quantique à l'échelle macroscopique

---

La **supraconductivité** et la **superfluidité** sont des manifestations spectaculaires de la mécanique quantique qui émergent à une échelle macroscopique

**Etoiles à neutrons :  $10^{39}$  neutrons/cm<sup>3</sup>**

**Hélium liquide :  $10^{22}$  atomes/cm<sup>3</sup>**

**Gaz d'alcalins dilués :  $10^{14}$  atomes/cm<sup>3</sup>**

...

# Peut-on relier ces différents domaines ?

**Notion de simulateur quantique (Feynman, 1982):**

Le physicien sait souvent mettre en équation mais ne sait pas résoudre ces équations ...

reproduire les ingrédients physique d'un problème donné avec un contrôle de tous les paramètres

## Exploring the thermodynamics of a universal Fermi gas

S. Nascimbène<sup>1</sup>, N. Navon<sup>1</sup>, K. J. Jiang<sup>1</sup>, F. Chevy<sup>1</sup> & C. Salomon<sup>1</sup>

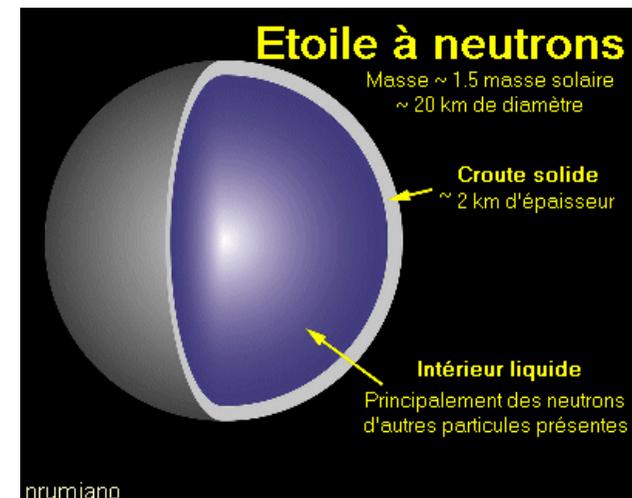
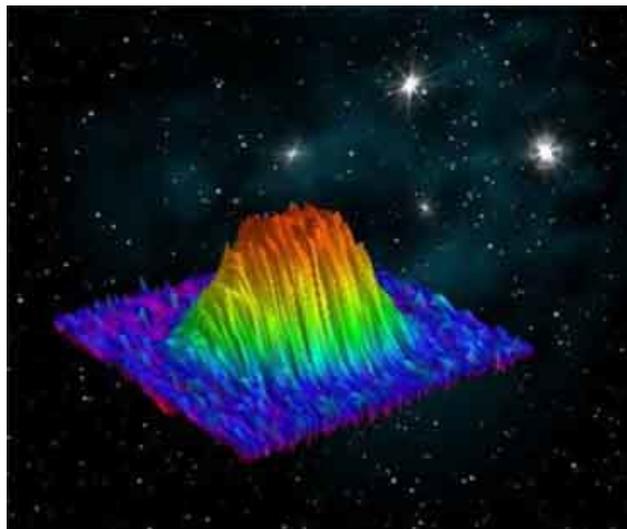
Nature **463**, 1057 (2010)

Gaz de fermions ultrafroids



gaz de neutrons (couche externe)

régime fortement corrélés



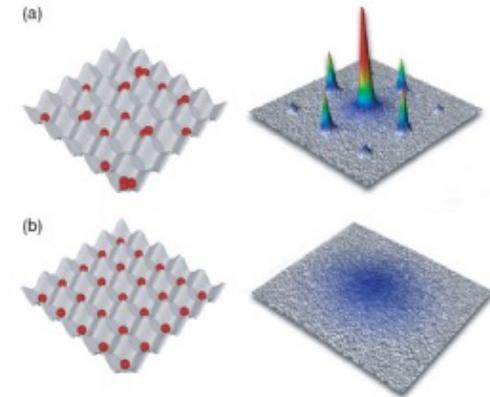
# Autres exemples de simulateur quantique

## Matière condensée : Transition métal-isolant

*Nature* **419**, 51 (2002)

Phase superfluide : délocalisation des atomes sur tout le réseau.

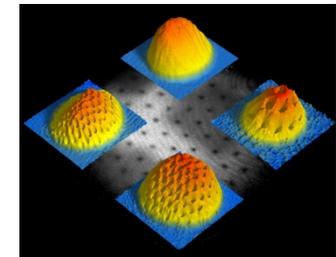
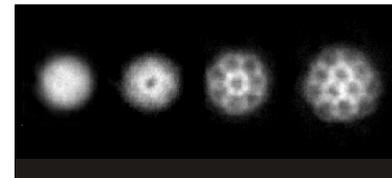
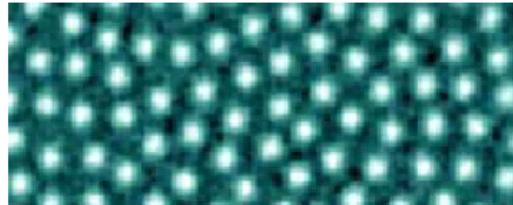
Phase isolante : les atomes sont localisés sur les sites du réseau.



## Matière condensée : Transition BEC-BCS

### Gaz quantique en rotation

Les tourbillons quantiques  
analogues à ceux des  
milieux supraconducteurs



## Simuler des équations de la physique : l'exemple de l'équation de Dirac

**Equation de Dirac** (1928) = unifie la mécanique quantique et la relativité restreinte (particule de spin demi-entier)

Cette équation a prédit l'existence d'anti-particule. Observation en 1932 du positron

Mouvement Zitterbewegung simulée avec des ions piégés : *Nature* **463**, 68 (2010)

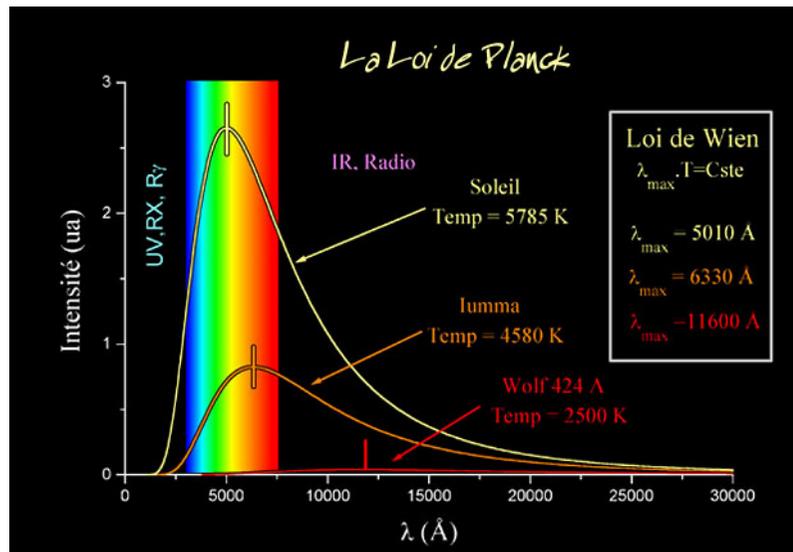
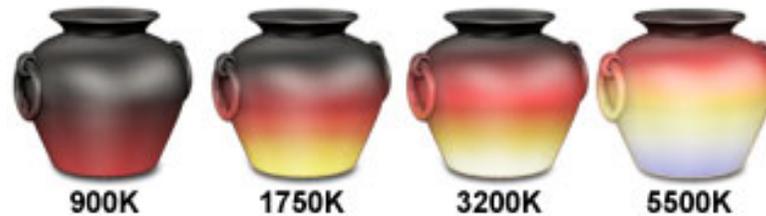
Paradoxe de Klein, même groupe *Physical Review Letters*, **106**, 060503 (2011)

Equation de Dirac modifiée (fermions de Majorana) ...

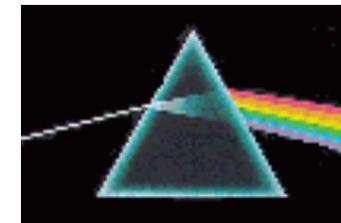
# Emergence de la mécanique quantique à l'échelle macroscopique : un exemple de la vie courante

## Température et émission de lumière

La matière massive à température finie émet de la lumière



Soleil : spectre continu



Seule la mécanique quantique permet de comprendre quantitativement cette émission (Planck 1900).