

## Quelques applications des atomes froids

### Horloge atomique

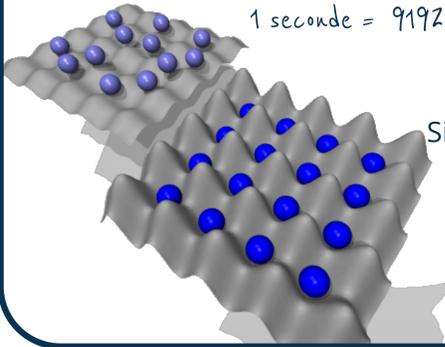
Des lasers interrogent un jet d'atomes de sodium pour définir le temps et la seconde.

$$1 \text{ seconde} = 9192\,631\,770 / \Delta\nu_{Cs}$$



### Simulateur quantique

Des atomes piégés dans un réseau optique (laser) simulent des électrons qui sautent de site en site dans un cristal.



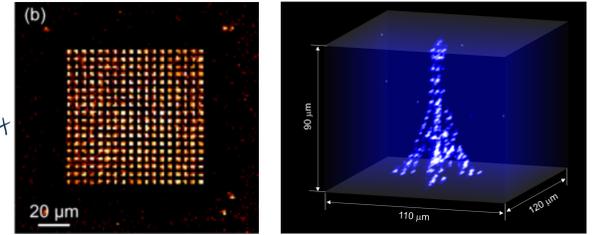
### Gravimètre quantiques

Laisser tomber des atomes froids permet de mesurer la gravité avec une précision de  $10^{-9}g$  (9 chiffres après la virgule).



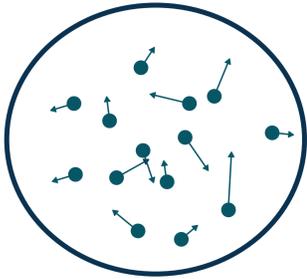
### Calculateur quantique

Un atome avec deux états possibles équivaut à un bit d'ordinateur (0 ou 1).



© Muquans, Gaz sur réseaux & Optique Quantique : atomes

## Refroidir ou ralentir ?



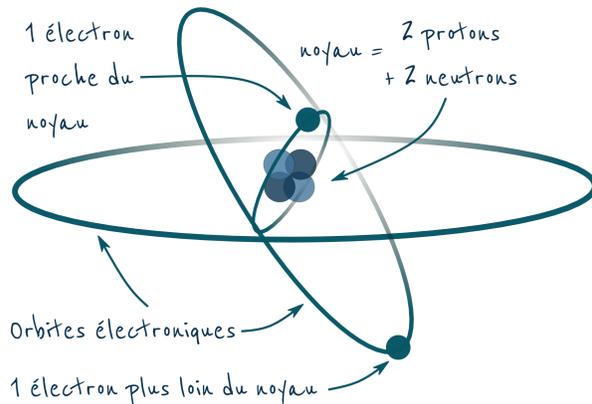
Plus la température d'un gaz est grande, plus il y a d'agitation thermique, plus la vitesse des particules est grande.

$$\frac{1}{2}mv^2 \propto k_B T$$

masse  $m$ , vitesse moyenne  $v$ , température  $T$ , constante de Boltzmann  $k_B$ .

Pour diminuer la température d'un gaz, il suffit de ralentir toutes les particules !

## L'atome d'hélium 4 métastable

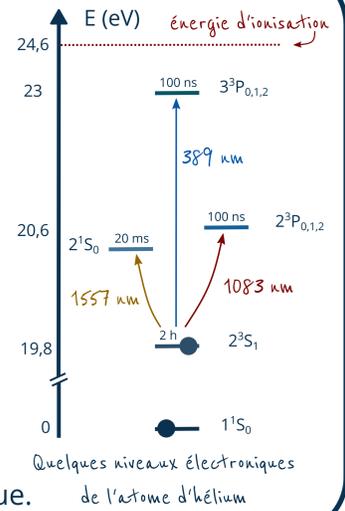


1 électron proche du noyau

noyau = 2 protons + 2 neutrons

Orbites électroniques

1 électron plus loin du noyau



En apportant de l'énergie à un atome, l'électron change d'orbite : c'est une transition électronique.

## Ralentir à coups de photons

Conservation de la quantité de mouvement :

$$mv - \frac{h}{\lambda} = mv'$$

masse de l'atome  $m$ , vitesse de l'atome avant absorption  $v$ , vitesse de l'atome après absorption  $v'$ .

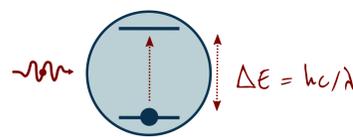
$$\Delta v = \frac{h}{\lambda m} \sim 0,1 \text{ m/s en moyenne pour chaque photon absorbé (He)}$$

À chaque photon émis, la vitesse de l'atome change aussi mais comme les photons sont émis dans toutes les directions, la vitesse moyenne est nulle.

La décélération de l'atome est alors de 100 000 fois la pesanteur soit  $10^6 \text{ m/s}^2$ .

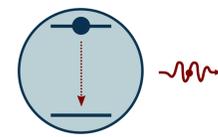
## Absorption & émission

Absorption



Longueur d'onde :  $\lambda$   
Énergie :  $hc/\lambda$

Émission spontanée



Fréquence :  $\nu = c/\lambda$   
Quantité de mouvement :  $h/\lambda$

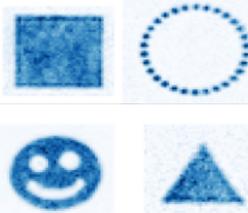
La durée de vie de l'état excité est le temps moyen que reste l'atome dans cet état.

$h$  : Constante de Planck  
 $c$  : vitesse de la lumière

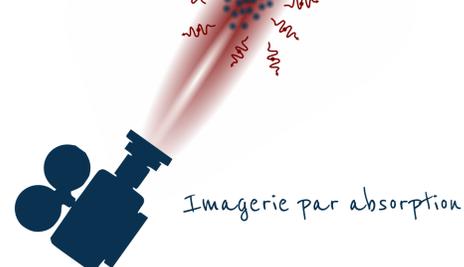
## "Voir" les atomes

Imagerie par émission

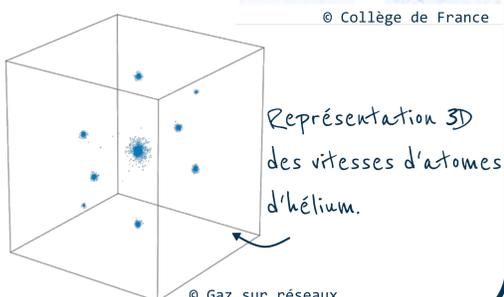
Atomes de rubidium dans des pièges originaux



© Collège de France



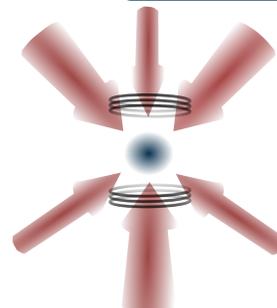
Imagerie par absorption



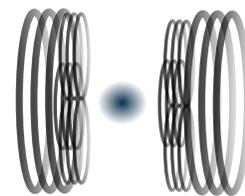
Représentation 3D des vitesses d'atomes d'hélium.

© Gaz sur réseaux

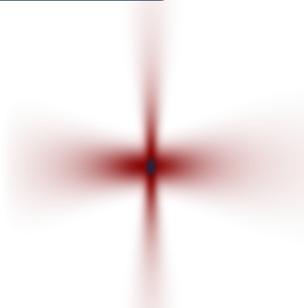
## Piéger des atomes



Piège magnéto-optique



Piège magnétique



Piège optique

## Pour aller plus loin...

Les atomes ultra froids, *Pour la science*, Octobre 2002

Le refroidissement d'atomes par laser, *La Recherche*, Janvier 1994

Condensat de Bose Einstein : le gaz parfait ? *La méthode scientifique*, 28 novembre 2017

<https://toutestquantique.fr/>

<http://www.atomelumierematiere.fr/>