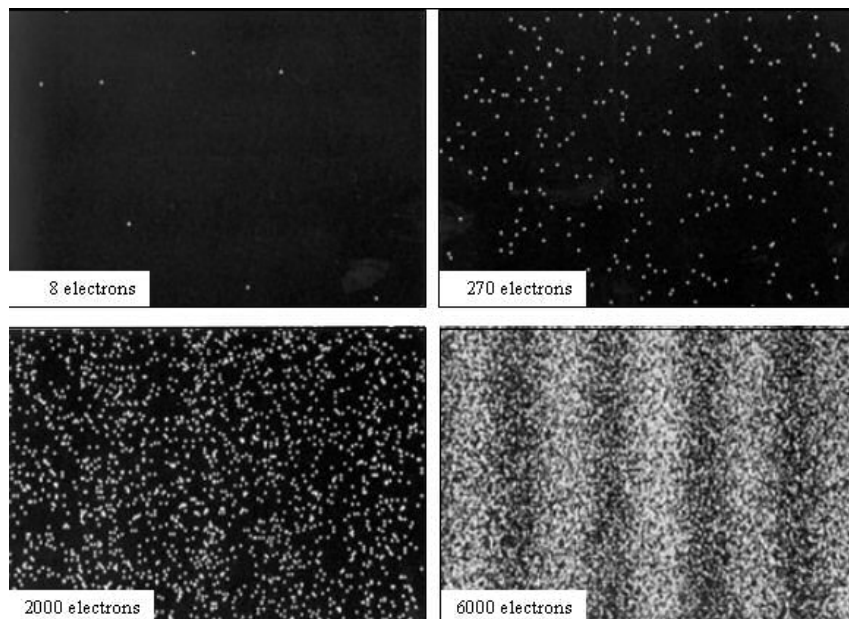


# La mécanique quantique en quelques images

## Dualité ondes-corpuscules



Expérience des fentes d'Young avec des électrons envoyés un à un.  
(Image du groupe Hitachi, Ltd, Japon, 1989)

Plusieurs remarques :

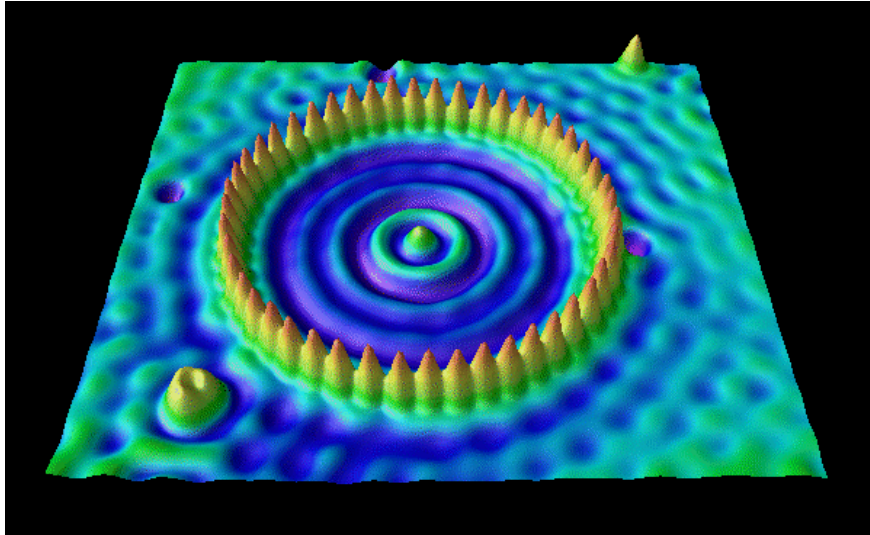
- les électrons arrivent un à un sur l'écran (nature corpusculaire des électrons)
- on observe des franges d'interférences quand les électrons s'accumulent (nature ondulatoire des électrons).

⇒ Les électrons sont à la fois des corpuscules et des ondes.

- les impacts sont aléatoires : on ne peut prévoir où l'électron va frapper l'écran mais on peut prédire la probabilité que l'électron frappe l'écran en un point particulier. Ici, l'électron a une probabilité plus grande de frapper l'écran sur les régions claires des franges d'interférences.

⇒ La méca Q est une théorie probabiliste.

## Le corail quantique

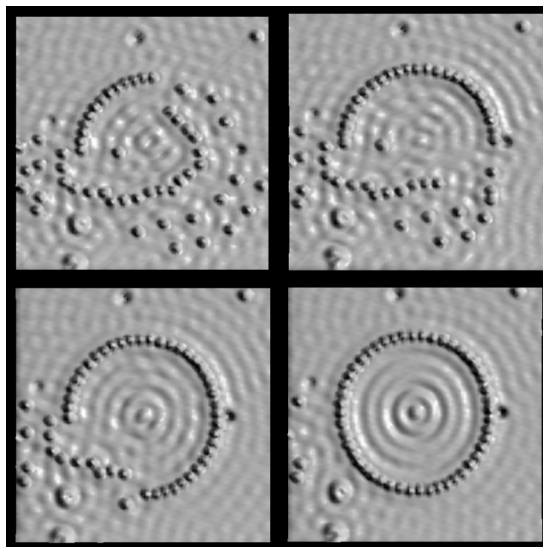


Corail quantique vu au microscope à effet tunnel (STM) :  
48 atomes de fer forment un cercle d'un rayon de 7 nm sur une surface métallique de cuivre.  
(image IBM - Almaden, USA, 1993)

La détection du courant tunnel permet de remonter à la densité électronique. Les pics orange-jaunes représentent les atomes de fer et les vagues visualisent la fonction d'onde des électrons presque libres du cuivre réfléchis par les atomes de fer.

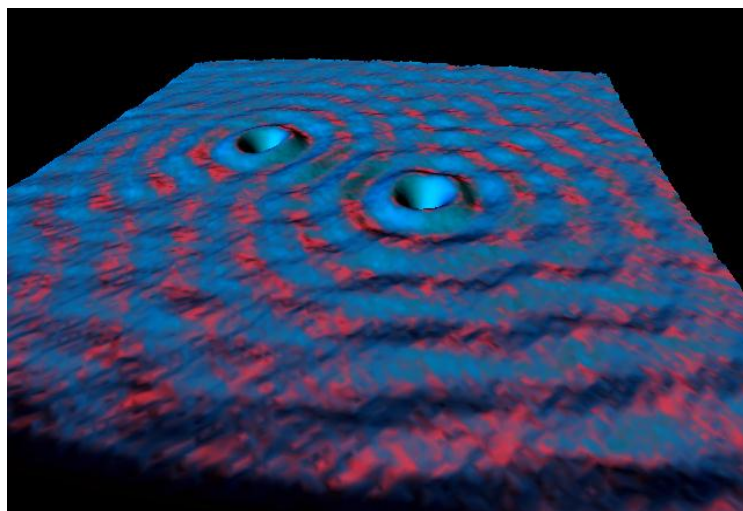
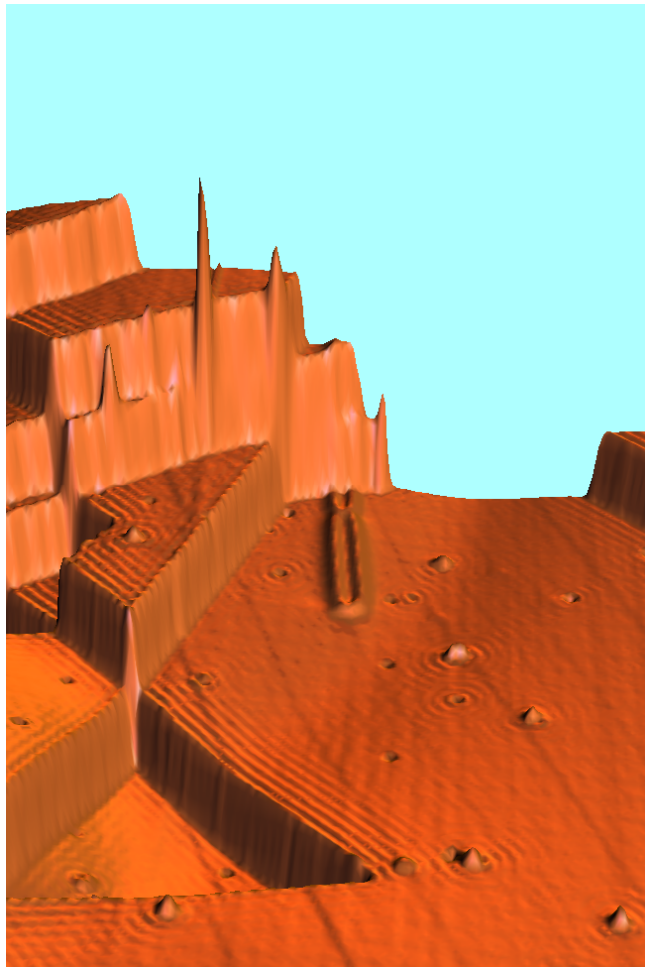
Ici, les atomes de fer confinent les électrons du métal à l'intérieur du corail, comme un puits infini 2d : on voit bien sur cette image l'onde électronique stationnaire à l'intérieur du cercle.

Le corail a été préparé à très basse température (environ 4K) pour éviter que les atomes de fer ne se déplacent sous l'influence de leur agitation thermique.



Différentes étapes de la réalisation du corail quantique de l'image précédente  
(Image IBM - Almaden)

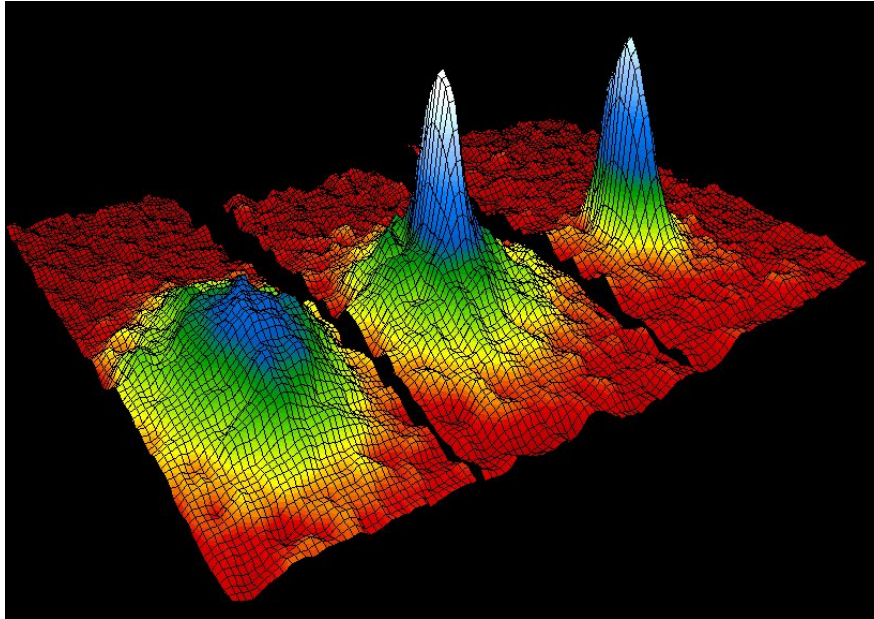
Les atomes de fer sont déplacés un à un à l'aide de la pointe d'un microscope à effet tunnel. L'onde électronique stationnaire se forme au centre lorsque le cercle de fer est complet.



Encore des images STM sur une surface de cuivre.  
(Images IBM - Almaden)

On voit bien les ondes électroniques se former au voisinage des obstacles (marches, défauts) : les électrons à la surface sont partiellement réfléchis par les obstacles, qui se comportent comme une marche de potentiel.

## Le condensat de Bose-Einstein



Evolution de la distribution des vitesses d'un gaz dilué de bosons (atomes de rubidium) quand on le refroidit sous la température de condensation  $T_{BE} \approx 200$  nK.  
(image NIST-JILA, Boulder, 1995)

De gauche à droite :

- à 400 nK ( $T > T_{BE}$ ) : la phase n'est pas condensée, la distribution des vitesses est large, proche d'une distribution classique de Maxwell-Boltzmann (gaz dilué donc presque parfait).
- à 200 nK ( $T \leq T_{BE}$ ) : le condensat apparaît, une fraction notable des atomes s'accumule dans l'état fondamental (état de vitesse nulle correspondant au pic central étroit), les atomes non condensés correspondant à la bosse jaune-vert au pied du pic.
- à 50 nK ( $T \ll T_{BE}$ ) : quasi tous les atomes occupent l'état fondamental, on a un condensat de Bose-Einstein presque pur - les atomes du condensat forment une onde macroscopique de matière.

Les images ont été observées de la façon suivante. Après avoir coupé le piège magnétique utilisé pour confiner les atomes du gaz, on laisse le gaz se dilater. On mesure alors sa forme et sa taille en détectant l'ombre projetée par le gaz éclairé par un faisceau laser stroboscopique. Les atomes avec une grande vitesse s'éloignent du centre de l'image, tandis que les atomes avec une vitesse plus faible restent près du centre. La distribution des positions des atomes reproduit la distribution des vitesses des atomes au moment où le gaz a été libéré, car le gaz étant dilué (gaz presque parfait), les atomes n'interagissent pratiquement pas entre eux.

Remarque : le pic central est plus étroit dans une direction que dans l'autre car le potentiel de piègeage du dispositif expérimental est plus fort dans une direction que dans l'autre.

### Références

- Image du groupe d'Hitachi : <http://www.hitachi.com/rd/research/em/doubleslit.html>
- Images de la galerie STM d'IBM : <http://www.almaden.ibm.com/vis/stm/>
- Image de la galerie du NIST : <http://patapsco.nist.gov/imagegallery/details.cfm?imageid=193>