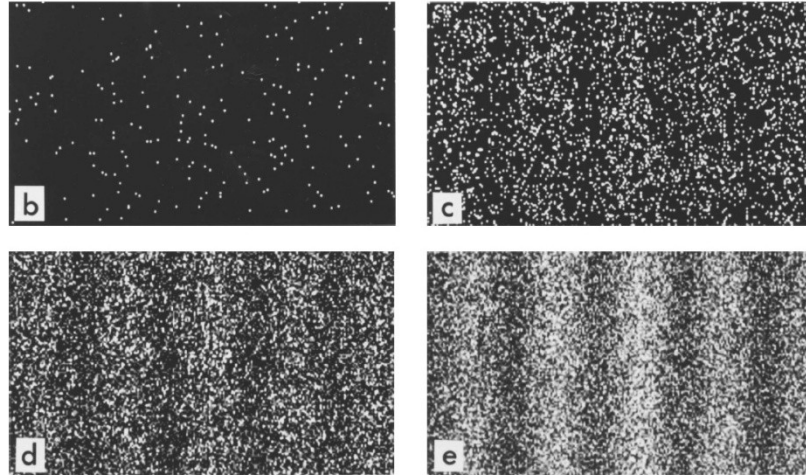


## II-2) Approche documentaire : Franges d'interférences et ondes de matière

### a) Interférences d'électrons

La figure suivante montre le résultat d'une expérience d'interférences d'électrons réalisée en 1989 par les chercheurs japonais A. Tonomura, J. Endo, T. Matsuda, T. Kawasaki et H. Ezawa.

Il s'agit d'une expérience analogue à l'expérience des fentes de Young. Les électrons, après leurs passages à travers les « fentes », tombent sur un film fluorescent jouant le rôle d'« écran ». Chaque électron arrivant sur le film provoque l'émission d'environ 500 photons, collectés par un dispositif d'imagerie.



Construction progressive d'un figure d'interférences d'électrons. Chaque point lumineux correspond à l'arrivée d'un électron. Nombres d'électrons respectifs sur les images (b), (c), (d) et (e) : 100, 3000, 20000 et 70000.

Sur le document présenté sur la figure 6.9 chaque point lumineux témoigne de l'arrivée d'un électron. Dans cette expérience les électrons arrivent un à un sur le détecteur. En effet, le flux d'électrons à travers l'appareil est maintenu à une valeur très faible, de l'ordre de  $10^3$  électrons par seconde.

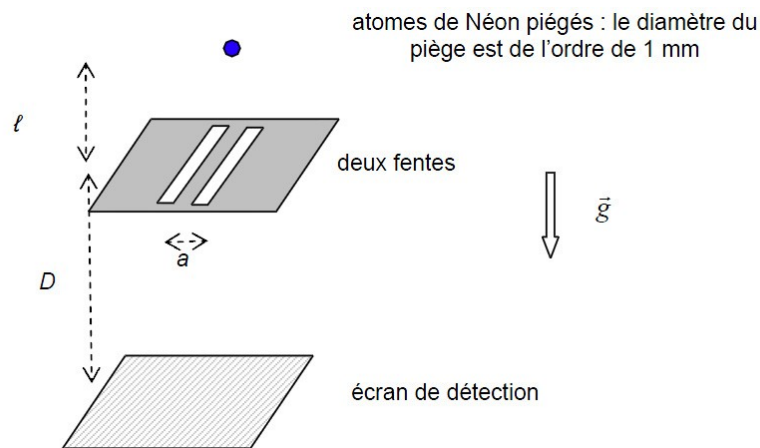
L'observation du document appelle les remarques suivantes :

- Les électrons ne se comportent pas comme on s'y attendrait d'après les lois de la mécanique classique : pour des conditions initiales données on trouve une trajectoire bien définie. Dans ce cas on devrait avoir en théorie un point d'impact sur l'écran et en pratique des points regroupés. Au lieu de cela, on observe, notamment sur la photo (b), une répartition aléatoire des points d'impacts. Ainsi : chaque électron est détecté en un point aléatoire.
- De la photographie b à la photographie e, au fur et à mesure que le nombre d'électrons détectés croît, apparaît une modulation régulière du nombre d'impacts enregistrés. Des franges d'interférences tout à fait analogues à celles que l'on obtient avec des photons se dessinent peu à peu.

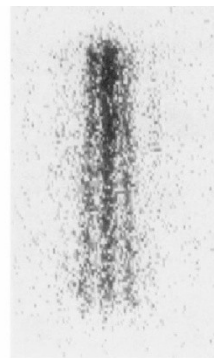
### b) Interférences atomiques

En 1992, une équipe japonaise (F.Shimizu...) a réalisé une expérience d'interférences atomiques. On utilise le dispositif décrit sommairement sur la figure ci-dessous, soulignons qu'il est en réalité très complexe. Il utilise des atomes de Néon piégés et refroidis à une température de 2,5mK de manière à minimiser leur agitation thermique moyenne. Ils sont portés dans un état métastable grâce à un laser à 598 nm, ils peuvent alors quitter le piège et tombent dans le champ de pesanteur : ces atomes sont alors en chute libre. L'utilisation d'atomes légers et refroidis permet de disposer de valeurs de longueur d'onde de De Broglie plus élevées.

Le piège est situé à une hauteur  $\ell = 76$  mm au dessus de deux fentes séparées d'une distance  $a = 6$   $\mu\text{m}$ . La largeur d'une fente est de 2  $\mu\text{m}$ . Un écran MPC (microchannel plate detector) est placé à une distance  $D = 113$ mm de la double fente et détecte les atomes de Néon avec une résolution de l'ordre de 20  $\mu\text{m}$ . L'ensemble du dispositif est disposé verticalement.



La figure d'interférence obtenue en libérant les atomes du piège, est constituée d'environ 6000 impacts atomiques. Chaque impact est clairement identifié attestant du caractère corpusculaire des entités détectées mais l'ensemble des impacts dessine des franges d'interférences dont la période est égale à 0,23 mm. On a donc une preuve éclatante de la subtilité de la prédiction en physique quantique.



**1 mm**  
interférences obtenue avec des atomes  
de vitesse initiale approximativement nulle

On remarque donc :

- Que les atomes de Néon ont un impact bien défini au niveau du détecteur et donc qu'ils ne se « scindent » pas.
- Que la prédiction du lieu de l'impact est de nature probabiliste celle-ci fait intervenir la longueur d'onde de de Broglie associée à l'atome ainsi que les paramètres géométrique du dispositif.

Quelques questions qui en découlent :

- a) Si l'on bouche l'un des deux trous, que devient la figure d'interférences cette situation est déjà connue dans le cas de la lumière.
- b) Si on cherche à savoir par quel trou est passée la particule en mettant un détecteur optique (un faisceau laser situé devant l'une des deux fentes par exemple). Que devient la figure d'interférences ?
- c) Calculer la longueur d'onde de De Broglie associé au système. Comparer l'ordre de grandeur à l'espace entre les fentes  $a$ . Conclure.
- d) Faites un calcul simplifié de l'interfrange à partir de la formule des ondes lumineuses :  $i = \frac{\lambda D}{a}$ . Conclure