

tout comme se propageait l'onde lumineuse dans la lentille. Mais cette onde électronique qui se propage, c'est aussi une probabilité de présence des électrons qui se propage dans l'électrode B et qui s'étend de plus en plus loin : autrement dit, des électrons venus de A auront traversé la mince couche isolante qui séparait les deux électrodes et un *flot d'électrons* s'écoulera dans B.

Or un flot d'électrons n'est rien d'autre qu'un *courant électrique* qui s'est ainsi établi entre les deux électrodes et qui aura donc *traversé une couche isolante*, certes mince, mais en principe interdite, comme si les électrons y avaient creusé un tunnel, d'où le nom imagé d'*effet tunnel*. En réalité ce sont les propriétés ondulatoires qui sont à l'origine du phénomène et, de ce fait, les électrons, comme toutes les particules microscopiques, ne sont pas des corpuscules ordinaires.

R. Oppenheimer, R.H. Fowler et L. Nordheim ont imaginé dès 1928 ce phénomène, qui inspira à Gamow, Gunney et Condon la théorie de la radioactivité  $\alpha$ . Mais il fallut plusieurs décennies avant qu'on trouve des applications techniques de l'effet tunnel. La plus récente et peut-être la plus remarquable est le *microscope à effet tunnel*.

#### Un microscope "de poche" plus puissant que les plus grands.

Prenons maintenant, en guise d'électrode A, un échantillon matériel dont nous chercherons à étudier la surface. L'électrode B sera une fine aiguille.

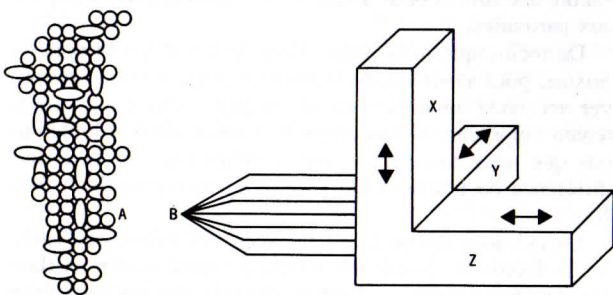


Figure 6. Pointe asservie devant une surface.

Sur la figure, nous avons symbolisé par des granulations la structure atomique de l'échantillon (électrode A) et de l'aiguille (électrode B), dont la pointe peut réellement être "affûtée" jusqu'à la réduire à quelques atomes. Les trois prismes X, Y, et Z qui sont attachés à B représentent trois petits quartz piézo-électriques (c'est-à-dire des cristaux qui peuvent se contracter ou se dilater sous l'effet des variations d'une tension électrique qui leur est appliquée). Leur objet est le suivant :

- X et Y seront commandés par des courants alternatifs, de façon telle que l'aiguille *balaye* point par point toute la surface de l'échantillon.
- Z sera commandé par le *courant tunnel* lui-même, c'est-à-dire par l'intensité du flot d'électrons qui traverse le petit intervalle vide qui sépare l'échantillon A de l'aiguille B.

Or ce courant tunnel n'existe, nous l'avons vu, que pour un très petit écart entre A et B et surtout, il varie très rapidement en fonction de cet écart et s'éteint dès que l'écart augmente un tant soit peu.

Il suffira donc d'asservir le quartz Z de façon telle que le courant tunnel reste constant, pour que *la distance entre l'échantillon et l'aiguille reste constante*, avec une très grande précision. Donc en balayant la surface de l'échantillon, l'aiguille suivra toutes ses aspérités comme un minuscule pantographe. Elle est ainsi capable de suivre des aspérités d'*ordre atomique*.

En amplifiant le courant tunnel qui traverse l'aiguille, nous obtiendrons des images, donc un microscope qui travaille au niveau atomique. Sa résolution en profondeur sur l'échantillon (dans la direction Z sur la figure) est meilleure que le dixième d'angström, c'est-à-dire le *cent millionième de millimètre*. Latéralement (donc parallèlement à la surface) la résolution est de quelques angströms. Rappelons que le plus petit des rayons atomiques, ce qu'on appelle le rayon de Bohr, qui est le rayon de l'atome d'hydrogène dans son état fondamental, est environ de 1 angström.

Ceci veut dire que le nouveau microscope, dont les dimensions ne dépassent pas 10 cm et qui met en jeu des tensions de quelques volts, l'emporte en résolution sur les grands monstres de la microscopie électronique habituelle qui sont d'une prodigieuse complexité, ont plusieurs mètres de haut et travaillent sous des tensions allant jusqu'à des