**LE MICROSCOPE A EFFET TUNNEL**

 Le microscope a effet tunnel fonctionne sur le principe de la mesure de l’intensité du courant tunnel passant entre une pointe très fine, montée sur un moteur piézoélectrique, et la surface `a analyser, lorsqu’une tension est appliquée entre ces deux ´éléments (voir figure 1). La pointe est placée `a quelques nanomètres de la surface, donc sans contact. L’intensité du courant tunnel dépend fortement de la distance entre la pointe et la surface. Il suffit d’enregistrer les variations de ce courant en fonction de la position de la pointe sur la surface, pour tracer une représentation de la topographie de la surface. La précision du moteur est subnanometrique puisque le déplacements est assure par un moteur piézoélectrique. L’objet est de montrer comment `a partir de la notion de fonction d’onde et de barri`ere de potentiel, on peut comprendre la haute résolution d’un tel appareil.

 L'**effet tunnel** désigne la propriété que possède un objet [quantique](https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9canique_quantique) de franchir une [barrière de potentiel](https://fr.wikipedia.org/wiki/Barri%C3%A8re_de_potentiel) même si son énergie est inférieure à l'énergie minimale requise pour franchir cette barrière. C'est un effet purement quantique, qui ne peut pas s'expliquer par la [mécanique classique](https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9canique_classique). Pour une telle particule, la [fonction d'onde](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fonction_d%27onde), dont le carré du module représente la densité de probabilité de présence, ne s'annule pas au niveau de la barrière, mais s'atténue à l'intérieur de la barrière (pratiquement [exponentiellement](https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9croissance_exponentielle) pour une barrière assez large). Si, à la sortie de la barrière de potentiel, la particule possède une probabilité de présence non nulle, cela signifie qu'elle peut traverser cette barrière. Cette probabilité dépend des [états accessibles](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89tat_quantique) de part et d'autre de la barrière ainsi que de l'extension spatiale de la barrière.

Au niveau théorique le comportement tunnel n'est pas fondamentalement différent du comportement classique de la particule quantique face à la barrière de potentiel ; elle satisfait à l'[équation de Schrödinger](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quation_de_Schr%C3%B6dinger), équation différentielle impliquant la continuité de la fonction d'onde et de sa dérivée première dans tout l'espace. De même que l'équation des ondes électromagnétiques mène au phénomène des [ondes évanescentes](https://fr.wikipedia.org/wiki/Onde_%C3%A9vanescente), de même la fonction d'onde rencontre des cas où l'amplitude de probabilité de présence est non nulle dans des endroits où l'énergie potentielle est supérieure à l'énergie totale.

Si, au niveau mathématique l'évaluation de l'effet tunnel peut parfois être simple, l'interprétation que l'on cherche à donner aux solutions révèle le fossé qui sépare la mécanique classique, domaine du point matériel suivant une trajectoire définie dans l'espace-temps, de la mécanique quantique où la notion de trajectoire simple disparaît au profit de tout un ensemble de trajectoires possibles.

La [durée de traversée tunnel](https://fr.wikibooks.org/wiki/Temps_de_travers%C3%A9e_tunnel) d'une particule à travers une barrière quantique a été, et est encore, le sujet d'âpres discussions. Des études assez nombreuses dans le domaine électromagnétique ou photonique ont révélé l'apparition de ce que l'on peut interpréter comme des [vitesses supraluminiques](https://fr.wikipedia.org/wiki/Vitesse_supraluminique), respectant toutefois la relativité restreinte : il s'agit du phénomène connu sous le nom d'[effet Hartman](https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_Hartman).

## Démonstration

En 1978 le thermodynamicien Hubert Juillet réalise des jonctions thermoélectriques bithermes dont une distance pointe-échantillon de quelques nanomètres permet le passage d'un courant électrique par effet tunnel et cela même avec des tensions extrêmement basse : <0,0001 V.

Ces travaux aboutirent bien plus tard à des dépôts de brevets d'inventions et sont considérés comme étant les ancêtres du microscope à effet tunnel et du chapelet conducteur d'électricité (electrically conductive string).

## Applications

L'effet tunnel est à l'œuvre dans :

* les molécules : [NH3](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ammoniac), par exemple,
* les modélisations des désintégrations ([fission](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fission), [radioactivité alpha](https://fr.wikipedia.org/wiki/Radioactivit%C3%A9_alpha)
* certaines [diodes](https://fr.wikipedia.org/wiki/Diode),
* la mémoire [RAM](https://fr.wikipedia.org/wiki/MRAM),
* les [microscopes à effet tunnel](https://fr.wikipedia.org/wiki/Microscope_%C3%A0_effet_tunnel),
* l'[effet Josephson](https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_Josephson).

## Exemples



Une onde plane correspondant à une particule d'une [masse effective](https://fr.wikipedia.org/wiki/Masse_effective) de 0,067 fois la masse de l'électron, d'énergie 0,08 [eV](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89lectron-volt) est incidente sur une barrière de potentiel rectangulaire simple, de 0,1 eV. Le schéma révèle la densité de probabilité de présence associée à cet état [stationnaire](https://fr.wikipedia.org/wiki/Onde_stationnaire). Le côté gauche révèle le phénomène d'[interférence](https://fr.wikipedia.org/wiki/Interf%C3%A9rence) entre l'onde incidente et l'onde réfléchie. La partie tunnel (dans la barrière) provient de la combinaison de deux exponentielles, respectivement décroissantes de gauche à droite, et de droite à gauche. À droite, l'onde plane transmise se révèle par une densité de probabilité de présence constante.