

## COMMENT PEUT-ON VISUALISER DES ATOMES ET DES MOLECULES ?

### Microscope à effet tunnel

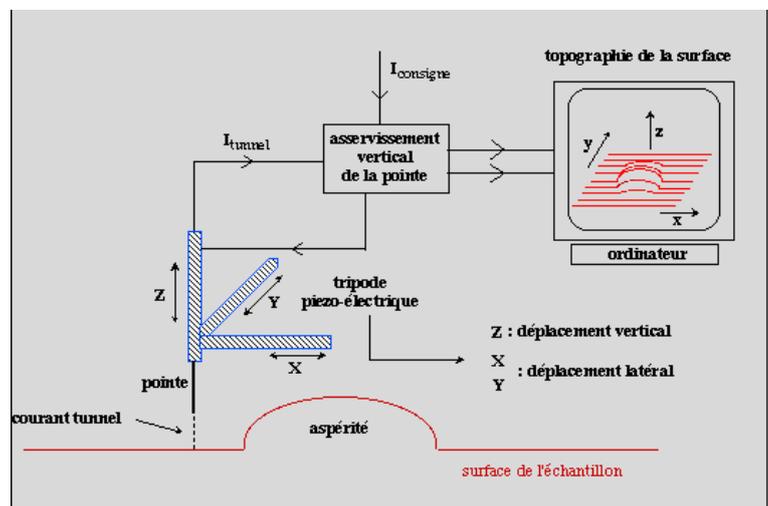
Le document ci-dessous provient du site du Commissariat à l'Énergie Atomique.  
[http://iramis.cea.fr/Phocea/Vie\\_des\\_labos/Ast/ast\\_sstechnique.php?id\\_ast=225](http://iramis.cea.fr/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast_sstechnique.php?id_ast=225)

La microscopie à effet tunnel (Scanning Tunneling Microscopy ou STM en anglais) est une technique développée dans les laboratoires d'IBM à Zurich par Gerd Binnig et Heinrich Rohrer (Prix Nobel de Physique en 1986). Cette technique est basée sur un phénomène physique connu depuis les origines de la mécanique quantique, l'effet tunnel.

Un microscope à effet tunnel est constitué de deux électrodes de conductivité raisonnable dont l'une a la forme d'une pointe (en tungstène, platine, or, ...) et l'autre est la surface du film à étudier. La distance pointe-échantillon est de l'ordre de quelques angströms. Si une tension de polarisation est appliquée entre la pointe et la surface, les électrons ont une probabilité non nulle de passer d'une électrode à l'autre et un courant tunnel va donc naître.

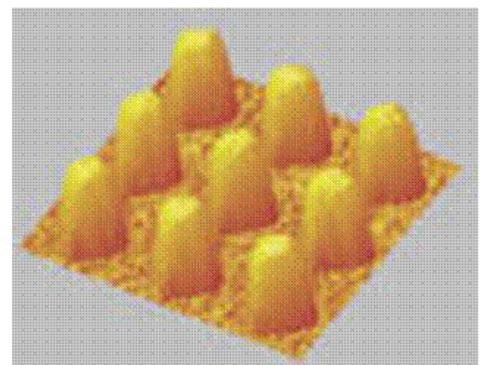
Le principe de l'expérience consiste à déplacer la pointe au-dessus de la surface du film (à l'aide de céramiques piézoélectriques) en maintenant le courant tunnel constant par un dispositif d'asservissement. Ainsi la distance pointe-échantillon reste constante et l'enregistrement des déplacements verticaux de la pointe reproduit alors fidèlement la topographie de la surface. Si la pointe est suffisamment fine (micro-pointe de quelques angströms), le relief observé peut avoir la résolution atomique.

Les mesures STM sont le plus souvent réalisées dans une enceinte ultra-vide afin de s'affranchir d'une éventuelle contamination de la surface par l'atmosphère résiduelle. Le schéma de principe d'un microscope à effet tunnel est représenté ci-dessous.



Les déplacements de la pointe dans les trois directions de l'espace (X, Y, Z) sont contrôlés par des quartz piézo-électriques. Une tension est appliquée sur chaque céramique piézo-électrique provoquant ainsi une contraction ou une dilatation de celle-ci suivant la polarité. Le déplacement dans les directions X et Y permet de balayer la surface de l'échantillon alors que suivant la direction Z, une boucle d'asservissement oblige la pointe à se déplacer normalement à la surface pour maintenir un courant tunnel constant. Les déplacements se font avec une précision pouvant aller d'une fraction d'angström à quelques micromètres.

1. Pourquoi cette technique ne permet-elle pas de voir, au sens strict du terme, les atomes ?
2. Quelle est la grandeur mesurée qui permet de cartographier l'objet étudié ?
3. Qu'est-ce que représente un angström ?
4. Quels sont les éléments essentiels qui constituent un STM ?
5. Quelle est la condition, sur le montage, qui permet d'obtenir une résolution suffisante pour repérer des atomes.



## Le microscope à force atomique

Le texte ci-dessous est issu du site de l'INSA de Lyon :

[http://eurserveur.insa-](http://eurserveur.insa-lyon.fr/approphys/9Math&Phys/AFM/site/Microscope%20C3%A0%20force%20atomique.htm)

[lyon.fr/approphys/9Math&Phys/AFM/site/Microscope%20C3%A0%20force%20atomique.htm](http://eurserveur.insa-lyon.fr/approphys/9Math&Phys/AFM/site/Microscope%20C3%A0%20force%20atomique.htm)

Le microscope à force atomique (ou AFM pour *atomic force microscope*) est un dérivé du microscope à effet tunnel, qui peut servir à visualiser la topologie de la surface d'un échantillon ne conduisant pas l'électricité.

Le principe sur lequel se base le fonctionnement de l'AFM sont les forces inter atomiques qui ont lieu entre la pointe et la surface.

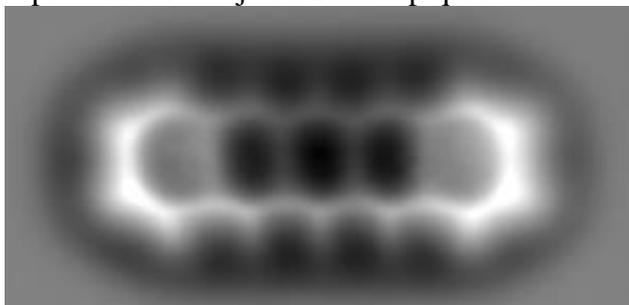
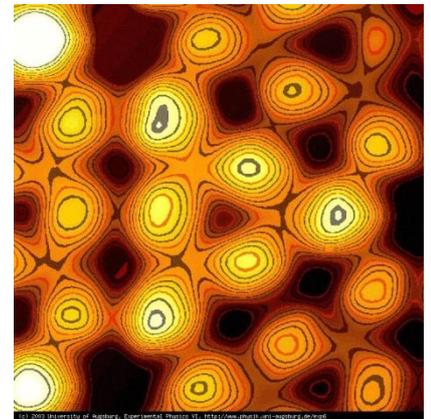
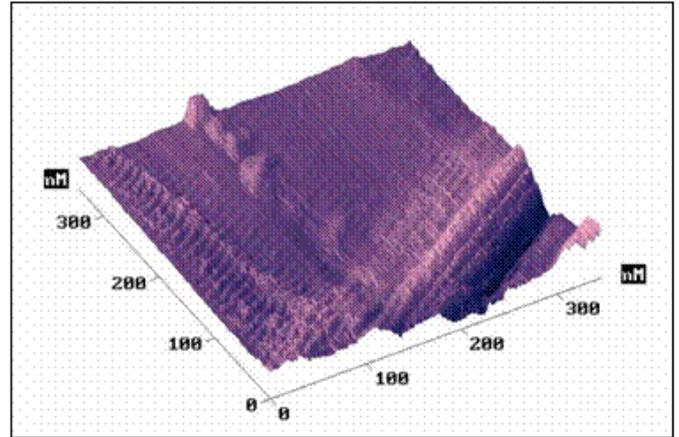
Lorsque la pointe est très proche de la surface il y a des forces de répulsion qui apparaissent entre la surface et la pointe, et lorsque on s'éloigne un peu il y a des forces d'attraction qui ont lieu entre l'apex (le sommet) de la pointe et la surface.

La pointe est montée sur un levier flexible et réfléchissant. Un rayon laser se réfléchit sur le levier, si le rayon laser est dévié, c'est que le levier s'est infléchi, donc que la pointe s'est approchée ou éloignée de la surface de l'objet. Ainsi, on fait bouger l'échantillon sous la pointe avec un mouvement de balayage, et on ajuste la hauteur de la pointe pour garder une déviation constante du rayon laser. Ceci permet de suivre le relief de la matière sans la toucher. En enregistrant la hauteur de la pointe en fonction de la position de l'échantillon, on peut reconstituer le relief par ordinateur. Cette technique nous permet de réaliser des topographies surfaciques avec une résolution approchant le nanomètre. L'image obtenue est de très petite dimension de l'ordre de quelques  $\mu\text{m}$  à  $150 \mu\text{m}$  maximum.

La résolution de l'appareil est d'autant meilleure que la pointe est plus fine, la résolution du microscope est liée à la taille de la pointe. L'inconvénient que l'on rencontre lors des microscopes de très haute résolution est que les pointes ont tendance à casser facilement lorsqu'elles sont petites.

Ci-contre, un cristal de silicium : l'image a pour dimension  $3,3 \text{ nm}$  sur  $3,3 \text{ nm}$ .

Il faut en effet relever la valeur d'un courant ou mesurer pour chaque position de la pointe la force au-dessus de la surface. L'image est obtenue en moins d'une seconde. Si un phénomène relativement lent se produit sur la surface examinée, il pourra donc être pratiquement filmé en prenant des images successives toutes les secondes par exemple. On peut ainsi filmer les déplacements d'objets microscopiques sur les surfaces.



Par exemple, avec un microscope à force atomique, on a pu filmer l'entrée d'un virus dans une cellule. Avec un microscope tunnel, on a pu filmer le mouvement de grosses molécules déposées sur la surface de graphite, etc. Ci-contre, une molécule de pentacène,  $\text{C}_{22}\text{H}_{14}$ .

1. Quelle est la grandeur mesurée qui servira à représenter les atomes ?
2. Pourquoi peut-on « visualiser » et non « voir » des atomes ?
3. La portion de cristal de silicium ci-dessus mesure  $3,3 \text{ nm}$  sur  $3,3 \text{ nm}$  : estimer la taille d'un atome de silicium.
4. Combien d'atomes de silicium trouve-t-on sur une surface de  $1 \text{ cm}^2$  ?