A la découverte des falaises atomiques

Autor(en): **[s.n.]**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Horizons : le magazine suisse de la recherche scientifique**

Band (Jahr): **- (1990)**

Heft 8

PDF erstellt am: **27.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-971555

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

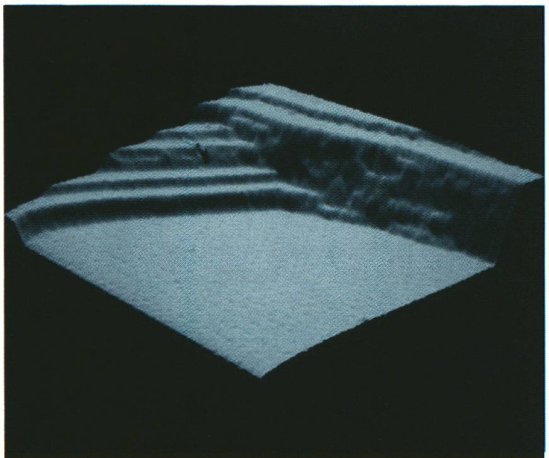
http://www.e-periodica.ch

A la découverte des falaises atomiques

A l'aide de microscopes "à effet tunnel" et "à force atomique", des physiciens de l'Université de Bâle explorent la surface des matériaux, atome après atome. Ils sont les premiers à avoir cartographié des falaises hautes de quatre à dix atomes.

Il y a neuf ans, dans les laboratoires IBM à Rüschlikon, était mis au point le *microscope à effet tunnel* qui devait valoir à ses auteurs, G. Binnig et H. Rohrer, le Prix Nobel de physique 1986.

Rapidement connu dans les milieux scientifiques sous le nom de "STM" (de l'anglais *Scanning Tunnelling Microscope*), cet appareil pas plus grand qu'un pamplemousse permit enfin de visualiser — un à un — les atomes de la surface d'un échantillon. Un exploit impossible auparavant, même avec les meilleurs microscopes électroniques. Le principe de fonctionnement du STM était pourtant très simple : une fine aiguille qui se promène au-dessus de la surface à analyser, effleurant à peine la matière pour caresser les nuages d'électrons qui entourent les noyaux des atomes (voir ci-contre).



Surface d'un cristal de silicium vue au STM. A cette échelle, on ne distingue pas les atomes individuels, mais uniquement le relief général.

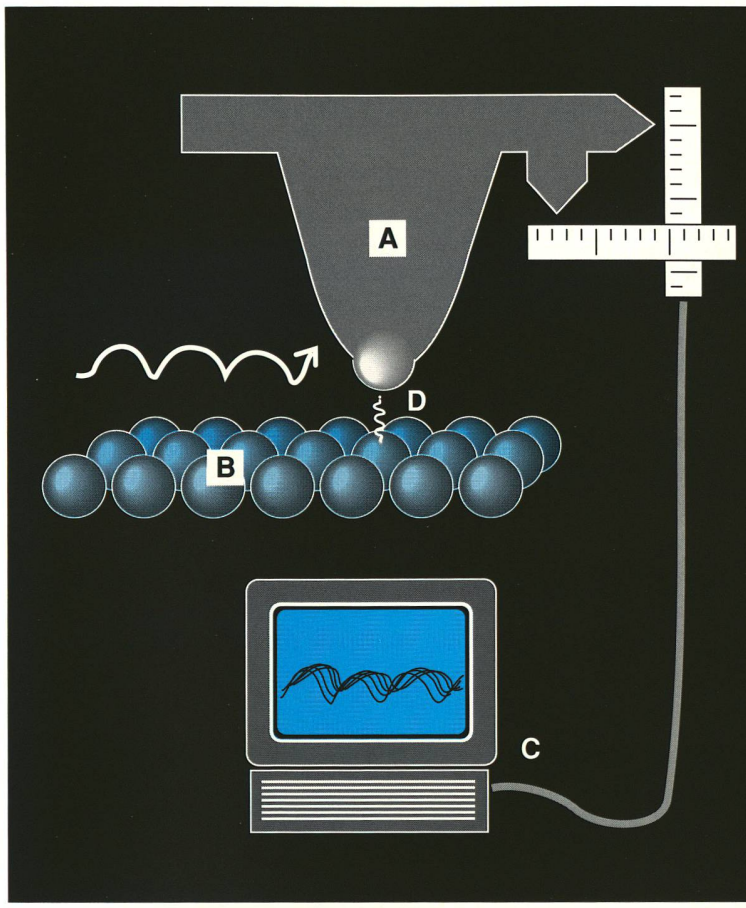
A l'Institut de physique de l'Université de Bâle, des chercheurs menés par les Professeurs Hans-Joachim Güntherodt et Hermann Rudin s'intéressèrent à ce nouvel instrument dès son apparition. Ils espéraient pouvoir observer de tout près les étonnants "verres métalliques" qu'ils étudiaient depuis les années 70.

Contrairement aux métaux ordinaires, ces verres métalliques présentent une structure désorganisée semblable à celle du verre avec lequel ont fait les vitres : leurs atomes s'empilent apparemment au hasard, au lieu de former des arrangements géométriques. Peu cassants, peu rugueux, et facilement magnétisables, ils offrent un potentiel industriel considérable. Ils pourraient par exemple être utilisés pour fabriquer d'excellentes têtes de lecture pour les disques durs d'ordinateur. Cependant, avant d'élaborer de bons alliages de verre métallique, il faut pouvoir comprendre leur "désorganisation", et donc observer leur aspect à l'échelle atomique.

Malheureusement, l'exploration de la surface de ces verres s'avéra problématique. Comme c'est le cas dans tous les métaux, les électrons se déplacent facilement dans le matériau, qui a ainsi tendance à apparaître au STM comme une "mer" plate. Et étant donné que la surface des verres métalliques est désordonnée, sans l'ombre d'une structure géométrique répétitive, il est particulièrement difficile de savoir si l'on observe les atomes de l'échantillon, ou des impuretés qui polluent soit la surface soit la pointe de l'aiguille.

Les chercheurs de Bâle devaient donc améliorer le pouvoir de résolution du super-microscope, ainsi que sa capacité de travailler en terrain irrégulier. Pour commencer, ils s'attaquèrent à des matériaux à la structure bien connue du STM, comme le silicium cristallin qui possède une géométrie parfaite et qui peut être extrêmement lisse. Puis ils ont progressivement passé à des surfaces de silicium de moins en moins régulières, en affinant à chaque fois la technologie de leurs instruments.

Les irrégularités sur le silicium peuvent, par exemple, résulter tout simplement de la coupe de



A LA POINTE DE L'AIGUILLE

L'élément essentiel du *microscope à effet tunnel (STM)* est une aiguille qui se déplace au-dessus de l'échantillon à examiner. La pointe de l'aiguille (A) est si fine — son extrémité est formée d'un seul atome — et elle frôle de si près la surface — à la hauteur d'un atome — que même les surfaces les plus lisses lui apparaissent comme un champ de bosses (B). Un ordinateur (C) pilote les mouvements de l'aiguille, et enregistre les montées et les descentes de la pointe, afin de produire une carte du relief atomique de la surface de l'échantillon.

Mais comment la pointe de l'aiguille est-elle maintenue à une distance constante de l'échantillon? C'est justement là qu'intervient l' "effet tunnel". Lorsque la pointe de l'aiguille et la surface sont très proches, leurs différents atomes sont si voisins que quelques électrons peuvent passer de l'une à l'autre — comme si les électrons disposaient d'un tunnel pour traverser la barrière que le vide représente pour eux (D).

Afin de favoriser le passage des électrons par effet tunnel, on applique entre l'échantillon à observer et la pointe de l'aiguille une faible tension électrique. L'ordinateur qui pilote l'aiguille s'arrange alors pour maintenir constant l'infime courant électrique qui en résulte; il doit pour cela abaisser ou lever l'aiguille, la gardant ainsi toujours à la même distance de la surface.

l'échantillon. Elles se présentent alors sous la forme de véritables marches d'escaliers à la surface du matériau. Dans ce domaine, les physiciens suisses ont réussi à cartographier des "falaises" d'une hauteur allant jusqu'à dix atomes, alors que, jusqu'à présent, les sauts les plus hauts accessibles au STM ne dépassaient pas trois atomes (voir couverture et page 14).

Pour aller plus loin dans la difficulté, les chercheurs ont aussi utilisé l'énergie du laser afin de "ravager" le silicium. Et, à ce jour, ils ont obtenu les meilleures images du genre, en parvenant à distinguer des atomes individuels malgré un important désordre (voir page 14).

Pour éviter l'oxydation de la couche extérieure du silicium par l'air ambiant, toutes ces images ont été prises sous un vide très poussé. L'appareillage nécessaire à ces analyses ressemble d'ailleurs à un petit sous-marin, à l'intérieur duquel se trouve le STM. Les chercheurs opèrent à l'aide de commandes situées à l'extérieur, en regardant par des hublots. La prise de vue d'une minuscule surface carrée de silicium de 150 atomes de côté demande à peine une minute. Mais la préparation de l'échantillon exige des jours de soins minutieux.

Un autre résultat, un peu inattendu, de ces recherches concerne le magnétisme au niveau atomique. Les atomes possèdent en effet un champ magnétique (appelé *spin*), dirigé soit vers le haut soit vers le bas. En équipant un STM d'une pointe aimantée, les chercheurs de Bâle ont pu déterminer l'orientation de ce champ sur une couche de chrome irrégulièrement magnétisée. Pour l'instant les images portent sur des "paquets" de vingt à trente atomes. Mais, en améliorant la résolution, les chercheurs espèrent bientôt pouvoir détecter le champ magnétique de chaque atome, l'un après l'autre.

Les milieux informatiques s'intéressent de près à ces recherches, car on espère un jour développer un système de stockage d'information sur support magnétique dont chaque "bit" sera mémorisé par un seul atome ! Suivant la valeur du bit — 0 ou 1 — son champ magnétique sera alors orienté vers le bas ou vers le haut. La tête de lecture fonctionnera sur un principe comparable à celui du STM. *(suite page 14)*

Un autre super-microscope

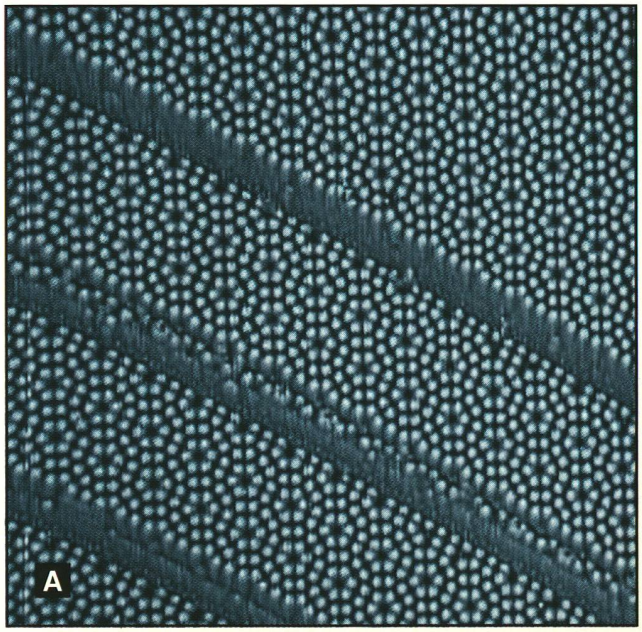
(Suite de la page 13) Le microscope à effet tunnel ne peut observer que la surface de matériaux qui laissent passer un courant électrique, c'est-à-dire les métaux et les semi-conducteurs. Mais il existe un autre instrument, développé en 1986 par un groupe de physiciens de l'Université de Stanford (USA), qui peut analyser sans distinction les conducteurs et les isolants : le *microscope à force atomique (AFM, de l'anglais Atomic Force Microscope)*. L'élément clé de l'AFM est aussi une aiguille. Mais dans ce cas, sa pointe s'appuie directement sur l'échantillon.

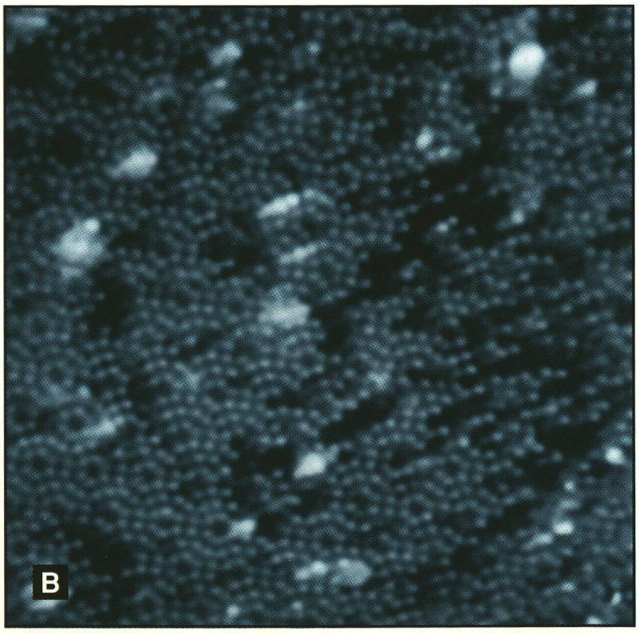
Toutefois, lors de sa conception, cet instrument ne s'adaptait qu'aux réseaux cristallins "souples", capables de ployer sous la pression de l'aiguille comme un filet de trapéziste. Sinon la pointe risquait de se casser. Toute une série de matériaux durs échappaient donc à son analyse, et en particulier les cristaux dits "ioniques" — une catégorie à laquelle appartient le sel de cuisine.

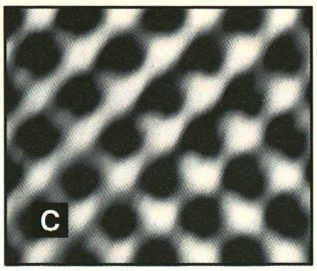
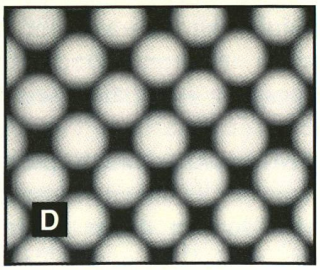
Les physiciens se sont penchés sur ce problème, et, après trois ans d'efforts visant à affiner le pilotage de l'aiguille, ils viennent de réussir à cartographier, pour la première fois, un cristal ionique particulièrement rigide : du fluorure de lithium (voir photos ci-dessous).

Désormais, les chercheurs de l'Université de Bâle se sont mis à comparer systématiquement, pour un même échantillon, les observations de l'AFM avec celles du STM. Car, une fois confrontés, les deux types d'image permettent de préciser le contour exact des atomes, en éliminant les sources d'erreur de chacun des microscopes. En effet, le STM ne fait qu'interpréter un courant électrique ; il ne "voit" pas directement les atomes, mais plutôt la densité de leurs nuages d'électrons. Et l'AFM, quant à lui, déforme légèrement le réseau atomique qu'il étudie, puisqu'il appuie son aiguille sur l'échantillon.

Et les verres métalliques, dans tout cela ? Les physiciens ne les ont bien sûr pas oubliés. Mais il leur faudra encore franchir de nombreux obstacles techniques avant de voir clair dans le désordre atomique qui règne à la surface de ces étranges, mais prometteurs, alliages... □





A. Vue particulièrement nette d'une surface de silicium présentant des "marches d'escaliers" hautes de quatre atomes (pour la vue perspective, voir couverture).
B. Surface de silicium bouleversée par le laser. Malgré le chaos, le STM a réussi à distinguer des atomes individuels.

C. Vue par l'AFM, la surface du fluorure de lithium, un cristal non conducteur invisible au STM. **D**. Un modèle théorique de la même surface, calculé par ordinateur.
(Photos: G. Tarrach et R. Wiesendanger, Uni. de Bâle)