Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 112 (1986)
Heft: 3

Sonstiges

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

nification et utilisés comme cadre de référence lors des discussions avec les divers mandataires, ne furent introduits précisément qu'en fin d'analyse détaillée des diverses zones: dans notre exemple, ce travail de synthèse incomba principalement au service de coordination générale de l'Etat. L'analyse de la solution globale dut bien sûr remettre en cause quelques solutions partielles. Certaines variantes d'organisation des tunnels, liées aux *divers procédés de creusement présentés* par les consortiums lors de l'appel d'offres, furent analysées de cette manière.

Le Bureau RN5 du canton créa donc un poste de planificateur pour la gestion des délais, des budgets annuels et des plans à plus long terme. Les représentations graphiques élaborées par cette instance, sur ordinateur, furent et sont toujours largement utilisées en tant *qu'instruments de négociation et de référence.* On peut y suivre régulièrement l'évolution des travaux, y déceler les retards et leurs conséquences, intervenir au bon endroit, au bon moment. Ces documents font partie des éléments principaux du tableau de bord du responsable de la N5. L'information courante est recueillie systématiquement dans les divers secteurs en chantier, analysée et introduite périodiquement sur terminal. Tous les états de sortie sont créés par l'utilisateur même, selon ses vœux.

La planification de la traversée de Neuchâtel en tunnels présente surtout deux aspects significatifs, par rapport à d'autres projets semblables, qui méritent d'être relevés ici:

- *le chemin critique*, définissant la durée totale du chantier sur quelque dix années, voyage alternativement d'un secteur à l'autre au cours de déroulement des travaux, tout en se glissant longuement, la plupart du temps, dans le creusement même des tunnels routiers. Dans le planning, la présence de «liaisons logiques» entre zones géographiques, matérialisées concrètement par la construction des deux grands tunnels et du raccordement à la T20, se traduit finalement par un ensemble de contraintes venant des secteurs adjacents, qui agissent parfois impérativement sur chacune des directions locales: *les chantiers sont en effet assez interdépendants*, ce qui nécessite précisément une bonne coordination d'ensemble. D'autres parties du planning, par contre, situées hors des chemins critiques, réservent heureusement des marges importantes à l'exécution des travaux et une plus grande souplesse au maître de l'ouvrage;
- quoique exercé en tenant compte des vœux d'organismes extérieurs (CFF, PTT, Services industriels, etc.), *le management est entre les mains d'un seul maître d'ouvrage* qui a bien sûr délégué une part des tâches à ses mandataires. Cette situation très centralisée (courante dans le cas des routes nationales, mais particulièrement délicate pour la réalisation de tunnels à faible profondeur en milieu urbain) n'est surtout pas à considérer comme privilégiée par rapport à celle d'autres projets où les désirs de plusieurs maîtres d'ouvrage se trouvent confrontés l'un à l'autre. L'absence d'un processus de négociation progrssive rend souvent la tâche du dirigeant plus complexe. On entrevoit donc ici une occasion unique qui s'offre au planificateur de tester, d'imaginer et de comparer entre elles les diverses conséquences liées au choix des solutions à retenir.

(à suivre)

Adresse de l'auteur:
Marcel Bourquin
Ing. dipl. EPFZ/SIA
et dipl. MBA/HEC
Rue J.-J.-Lallemand 1
2000 Neuchâtel

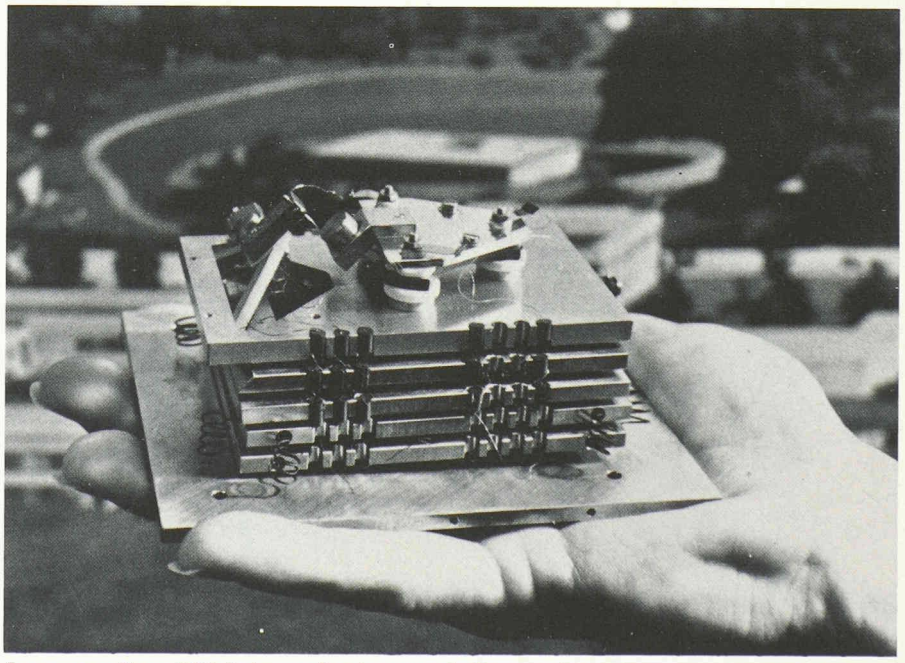
Industrie et technique

Nouveau microscope pour l'obtention d'images d'atomes

Le Laboratoire suisse de recherche fondamentale d'IBM construit un nouvel instrument. Des scientifiques travaillant au Laboratoire de recherche IBM de Rüschlikon, près de Zurich, ont construit un nouveau microscope à effet-tunnel dont le dispositif de balayage est suffisamment petit pour tenir dans la main. Grâce à sa taille réduite, ce nouvel instrument innovateur peut être utilisé avec d'autres microscopes pour faire un «zoom» sur des structures atomiques superficielles et en produire des images. Il s'agit là du dernier développement en date d'une technique scientifique, la microscopie à effet-tunnel, inventée et utilisée pour la première fois par le Laboratoire IBM de Rüschlikon en 1981. Le dispositif de balayage du premier microscope à effet-tunnel était beaucoup plus grand. Les deux instruments sont toutefois basés sur le même principe physique et utilisent une électronique similaire.

Le microscope à effet-tunnel sert à montrer l'arrangement des différents atomes sur une grande variété de surfaces. Il produit notamment des images des atomes tels qu'ils apparaissent réellement à la surface de matériaux comme l'or, le silicium et le graphite. IBM l'utilise pour ses recherches sur les propriétés et le comportement de plusieurs matériaux au niveau atomique et notamment pour l'étude de surfaces et d'interfaces qui joueront un grand rôle dans les futurs circuits d'ordinateur.

La microscopie à effet-tunnel «voit» les atomes par balayage horizontal bidirectionnel d'un petit crayon émetteur positionné à quelques diamètres atomiques au-dessus du matériau que l'on veut étudier. Bien que leurs atomes ne se touchent pas, un courant électrique circule entre la pointe du crayon et la surface du matériau, croissant et décroissant de manière extrêmement sensible lorsque la pointe s'en rapproche ou s'en éloigne. Quand la pointe se déplace latéralement, la position verticale est asservie pour garder un courant constant. Cela signifie que sa distance par rapport à la surface est maintenue constante elle aussi et que le crayon émetteur trace un profil de la sur-



Le nouveau dispositif de balayage du microscope à effet-tunnel tient dans une seule main. Il est pourtant suffisamment élaboré pour permettre aux scientifiques de voir les atomes à la surface de certains matériaux.

face qu'il parcourt. Il ne faut que quelques secondes pour tracer un grand nombre de ces profils parallèles et obtenir ainsi une carte tridimensionnelle des atomes de la surface.

Observation en deux étapes

Selon la résolution requise, la nouvelle version du microscope à effet-tunnel peut être employée ou à pression atmosphérique, ou dans un environnement sous vide tel que celui qui est utilisé dans les microscopes électroniques. La plus haute résolution est atteinte dans l'ultravide.

Grâce à sa petite taille, le nouveau microscope à effet-tunnel peut être logé dans un autre microscope, de type classique. Comme il ne peut analyser que des surfaces d'une douzaine d'atomes de côté, c'est-à-dire bien trop petites pour être localisées à l'œil nu, il est avantageux de rechercher les zones d'intérêt à l'aide d'un microscope classique, puis de révéler leur structure atomique en les agrandissant avec le microscope à effet-tunnel.

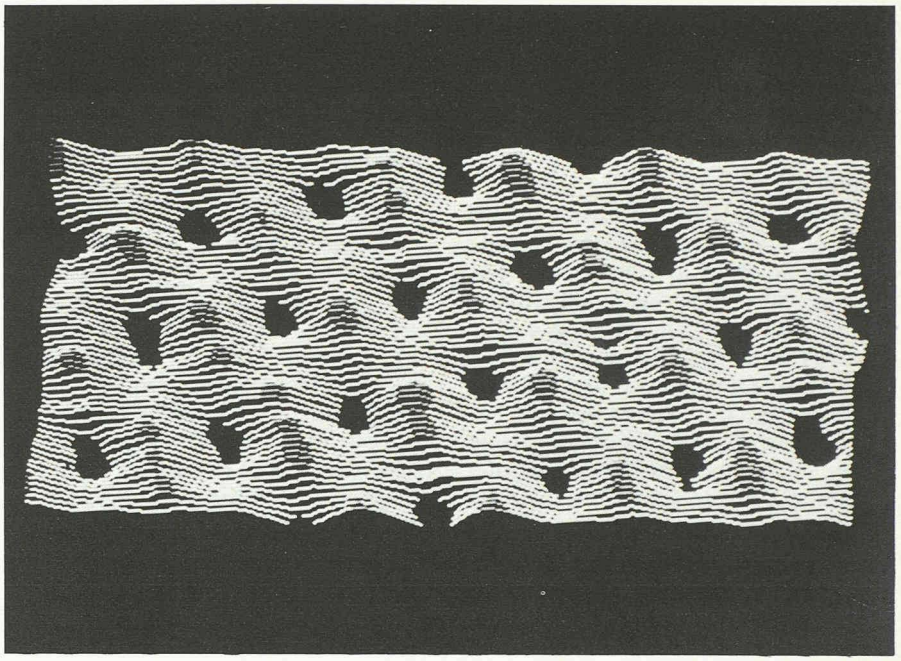
Les scientifiques d'IBM pensent qu'étant plus petit, leur nouveau dispositif permettra une recherche très poussée sur la nature des couches minces, sur la structure atomique superficielle de matériaux tels que le silicium et l'arséniure de gallium, ainsi que sur les jonctions entre les matériaux qui composent les circuits à semi-conducteurs. Pour eux, la connaissance de ces domaines sera essentielle à la réalisation des circuits très petits et très rapides que requerront les ordinateurs du futur.

Tout en poursuivant de ses propres études, IBM travaille avec des laboratoires universitaires des Etats-Unis et d'Europe, où des équipes de chercheurs utilisent cette nouvelle technique dans des domaines aussi divers que la science des surfaces, la biologie moléculaire, la métallurgie, l'électronique et la physique des basses températures.

L'utilisation du microscope à effet-tunnel

Dans les ordinateurs futurs, certains éléments pourraient n'avoir que quelques centaines, voire quelques dizaines d'atomes de large. Lorsque de tels éléments approchent de ces dimensions, leur surface devient de plus en plus importante par rapport à leur volume. Cela signifie que la structure de leur surface pourrait déterminer la conductivité, ou d'autres de leurs propriétés.

La surface d'un solide diffère de sa structure interne car, étant entourés de toutes parts d'autres atomes, ceux qui se trouvent sous la surface s'arrangent, par rapport aux autres, dans la position la plus stable. Par ailleurs, quand une surface se forme, les atomes exposés doivent se réarranger de manière à optimiser leur stabilité.



Cette image de graphite a été obtenue avec la version réduite du microscope à effet-tunnel construit par des scientifiques du Laboratoire de recherche IBM de Rüschlikon. Les zones grises au sommet des «collines» marquent les emplacements des différents atomes de cette tranche de graphite. Si ceux-ci étaient de la taille d'une bille, une sphère qui en serait composée serait à peu près de la dimension de la Terre.

Les scientifiques qui s'intéressent aux phénomèmes de surface étudient ces arrangements atomiques et la manière dont ils se forment. Cette connaissance est, en effet, importante dans de nombreux domaines fondamentaux de la technique, tels que la catalyse, les réactions chimiques, la croissance des cristaux et la performance de nombreux composants électriques.

Le microscope de Rüschlikon se sert d'un phénomène connu sous le nom d'effet de tunnel, qui comprend le passage d'électrons entre deux matériaux séparés par un espace non conducteur, isolant ou vide, très mince. Ce phénomène relève de la mécanique quantique, théorie selon laquelle les électrons se comportent comme des nuages qui débordent légèrement les surfaces des matériaux auxquels ils appartiennent. Si deux matériaux sont rapprochés au point que leurs nuages se mêlent et si une tension est appliquée entre eux, apparaît alors un courant, créé par le mouvement de ces électrons.

Bien que ce phénomène ait été démontré à travers des barrières isolantes solides dès 1957, il a fallu attendre 1981 pour que les premières images par effet de tunnel contrôlé sous vide soient obtenues, en Suisse, par IBM.

Le fonctionnement du microscope

Le microscope d'IBM fonctionne en tirant parti du fait que le courant dû à l'effet de tunnel change très fortement lorsque la distance entre les deux matériaux croît ou décroît.

Protégé de toute vibration par un système unique de double amortissement, il déplace un crayon émetteur, muni d'une pointe très fine, à moins d'un nanomètre (10 angströms) de la surface du matériau examiné (les diamètres atomiques sont de l'ordre de 0,3 nanomètre). A ce degré de rapprochement, un changement de la distance entre la pointe et la surface d'un seul diamètre atomique multiplie ou divise par mille le courant induit par l'effet de tunnel.

Si la position verticale de la pointe restait inchangée lorsqu'elle parcourt la surface, le courant fluctuerait en fonction directe des dénivellations des atomes de celle-ci. Il faut donc, pour assurer un courant constant, que l'aiguille se déplace aussi verticalement au-dessus de la surface.

Les images s'obtiennent en balayant parallèlement de nombreuses fois une section bidimensionnelle des atomes de la surface à l'aide du crayon émetteur du microscope et en combinant ces balayages de façon à avoir une représentation tridimensionnelle de la surface, sur laquelle les atomes apparaissent alors comme des «bosses» ou «collines».

Ces mouvements verticaux et latéraux s'effectuent à l'aide de trois éléments piézo-électriques qui positionnent la pointe avec une précision supérieure à un diamètre atomique, les substances piézo-électriques se contractant ou se dilatant sous l'action d'une tension électrique.

Le microscope à effet-tunnel atteint une résolution verticale maximale supérieure à 0,01 nanomètre (1 milliardième de centimètre) et une résolution horizontale supérieure à 0,2 nanomètre (20 milliardièmes de centimètre), ce qui est suffisant pour résoudre le nuage électronique qui forme la frontière extérieure de chaque atome.

Auparavant, aucun autre microscope n'avait jamais atteint simultanément une telle résolution verticale et horizontale. On lui doit donc la première possibilité

de jeter un coup d'œil direct sur la structure atomique superficielle effective, c'est-à-dire telle qu'elle existe vraiment à la surface des matériaux.

L'étude des surfaces

Le microscope à effet-tunnel a permis d'obtenir des images d'atomes d'or, de silicium, de nickel, d'oxygène et de carbone qui ont mis en évidence des structures inconnues ou contestées jusque-là. Certains des atomes observés, d'oxygène et de carbone notamment, sont des contaminants ou des dopants reposant sur un substrat; d'autres, de silicium et de nickel notamment, constituent la structure cristalline de base d'une surface métallique ou semi-conductrice.

Un tel pouvoir de résolution pourrait améliorer radicalement la compréhension scientifique de la physique et de la chimie des surfaces et affecter des domaines aussi divers que la métallurgie, l'étude du magnétisme, la technique des semi-conducteurs et le génie biologique. La structure de la surface du silicium, ce semi-conducteur si important en électronique, est un bon exemple des problèmes qui ont intrigué les scientifiques pendant des années et qui les ont amenés à proposer plusieurs modèles contradictoires. Or, selon les scientifiques d'IBM, la plupart de ceux-ci furent éliminés dès que leur microscope à effet-tunnel eut résolu des éléments de la surface de ce matériau éloignés les uns des autres de moins de 0,6 nanomètre.

La structure superficielle de l'or est un autre exemple des informations nouvelles apportées par le microscope à effet-tunnel. Plusieurs modèles théoriques avaient été proposés pour expliquer les résultats, parfois contradictoires, de diverses expériences. La représentation de la surface de ce métal par ce microscope a permis de confirmer l'exactitude de l'un de ces modèles, qui semblait pouvoir expliquer toutes les observations effectuées en fonction d'un mécanisme sous-jacent commun, à savoir la formation spontanée de facettes en forme de rubans.

IBM Suisse
General Guisan-Quai 26
8002 Zurich

Actualité

Cent ans de travail en forêt

La forêt est l'un des éléments constituants de notre existence. Depuis le milieu du siècle passé, chacun en est intimement convaincu. La forte nécessité de gagner du terrain cultivable avait à l'époque fait disparaître de grandes surfaces forestières. Les besoins importants en bois avaient encore provoqué un véritable pillage des peuplements restants. Les inondations catastrophiques qui suivirent vont causer un changement fondamental d'attitude. C'est alors que la première loi forestière voit le jour, sur la base de laquelle va se profiler toute la politique forestière de reconstitution et de conservation encore en vigueur aujourd'hui: réafforestation des forêts protectrices, interdiction de défricher et augmentation du matériel sur pied en sont les principaux fondements.

Les succès d'un siècle de travail dans ce sens sont probants. La forêt protège directement de nombreux villages et voies de communication contre les avalanches, les chutes de pierres et les glissements de terrain, et indirectement contre les inondations. La forêt offre des espaces de délassement, marque le paysage de notre pays et dispense à l'industrie du bois un potentiel élevé de matière première. Nous pouvons être fiers des résultats de ce travail. Mais, dans le même temps, force est de reconnaître que malgré la réputation internationale de notre sylviculture, malgré nos matériels sur pied élevés (300 m^3/ha), tous les problèmes ne sont pas résolus.

La forêt est en danger

La forêt est un écosystème complexe et fragile. De son équilibre dépendent toutes les fonctions de production, de protection et de récréation. Des modifications sur une seule partie du système, sol, monde végétal et animal, air ou lumière, peuvent se répercuter en bien ou en mal sur l'ensemble.

La sylviculture moderne postule que l'économie n'est pas concevable sans l'écologie. Ainsi, les exploitations commencent dès le stade des jeunes peuplements, sous la forme d'éclaircies, afin de garantir leur stabilité d'une part et de concentrer l'accroissement sur les tiges de qualité d'autre part. La phase finale de l'exploitation prend la forme de coupes concentrées sur des petites surfaces, destinées à introduire le rajeunissement. Partout où les conditions le permettent, le rajeunissement naturel est encouragé. Les soins culturaux permettent ensuite de sélectionner et de doser le mélange des essences adaptées aux conditions de la station. L'ensemble de ces interventions réparties sur tous les stades de développement garantit à long terme la pérennité de la forêt et le maintien de ses fonctions productives, protectrices et récréatives. Malheureusement, ces dernières années, la baisse constante des recettes sur la vente des bois et l'augmentation rapide des coûts d'exploitation provoquent des difficultés financières croissantes pour les propriétaires forestiers. Les surfaces forestières difficilement accessibles par manque de desserte souffrent plus particulièrement du retard apporté aux soins culturaux.

Le propriétaire forestier est pourtant habitué aux nombreux dangers qui menacent son bien. Les dégâts classiques tels que coups de vent, bris de neige, insectes destructeurs et maladies ont depuis toujours accompagné son travail. Aujourd'hui, des nuisances supplémentaires viennent encore changer l'écosystème forestier, elles sont en grande partie imputables à l'activité humaine: récréation exagérée, cheptel gibier trop élevé et enfin dépérissement.

Les pertes de vitalité observées ces derniers temps sur la forêt sont uniques, surtout si l'on tient compte de leur intensité et de leur répartition géographique. L'inquiétude des milieux spécialisés est légitime. Les dégâts ont fortement progressé au cours des trois dernières années. Les observations faites en Allemagne fédérale, en Tchécoslovaquie ou en Suisse s'étendent maintenant à la France, à la Belgique, à l'Italie ou à la Yougoslavie. Les émissions nocives sont importantes et dépassent souvent les seuils de tolérance. D'autres secteurs professionnels observent également ces effets: médecine, agriculture, hydrologie. Autant de signes qui montrent que l'écosystème forestier est fortement menacé par les nuisances de la civilisation.

L'énorme travail consenti pendant près de cent ans pour la reconstitution de nos boisés est remis en question. La forêt pourrait ne plus pouvoir remplir ses fonctions essentielles. Il s'agit des bases même de notre existence, tout particulièrement là où les risques d'avalanches, de chutes de pierres, de glissements de terrain et d'inondations sont les plus élevés. De plus, il n'est pas réaliste de penser que la forêt puisse être remplacée par des ouvrages de protection. A titre d'exemple, le coût d'un hectare d'ouvrages paravalanches s'élève au minimum à 1 million de francs, ce qui est un non-sens économique. La technique a ses limites. Il faut encore se rappeler que près de 90 000 places de travail sont directement liées au sort de la forêt.

Les forestiers prennent leurs responsabilités

Les forestiers n'en restent pas à constater les dommages, ils sont également conscients de leurs responsabilités. Ils informent l'opinion publique et le monde politique de l'état sanitaire des boisés et de son évolution, ils tentent de bien mesurer les risques que leur intervention sylvicole suppose, ils recherchent constamment à améliorer la gestion des entreprises forestières. Ils s'efforcent en même temps d'aménager les accès aux forêts de montagne, afin d'intensifier leur entretien. Ils saluent et soutiennent toutes les mesures destinées à réduire la pollution atmosphérique. Enfin, ils assurent à l'ensemble du pays son approvisionnement en bois.

La recherche pratiquée à l'Institut de recherches sur la forêt et le bois de l'EPFZ et à l'Institut fédéral de recherches forestières de Birmensdorf se concentre actuellement sur l'amélioration des méthodes de détermination des dommages. Il s'agit en premier lieu de mieux reconnaître les causes du mal, dans toute leur complexité, en même temps que d'en mesurer les incidences écologiques, économiques, techniques et sociales. Dans un deuxième temps, la recherche doit mettre à disposition de la pratique des instructions de sylviculture et de planification forestière découlant de ces nouvelles conditions.

Tous ensemble

Il faut tout mettre en œuvre pour que la forêt se rétablisse. La situation est sérieuse, mais notre forêt a son avenir. Les derniers rapports semblent d'ailleurs indiquer qu'il reste plus de temps que prévu. Les efforts déjà consentis sont importants. Ils sont pourtant encore insuffisants. Il faut avant tout retrouver une attitude responsable envers les bases mêmes de notre existence, en améliorant notamment la qualité de l'air. Sur ce point, les services et propriétaires forestiers n'ont que peu de prise. Ils sont pourtant solidaires de toutes les mesures visant cet objectif. De leur côté, en collaboration avec les milieux de l'économie du bois, ils prendront toutes les mesures susceptibles d'améliorer la situation générale.

Rodolphe Schlaepfer,
professeur EPFZ