

MENS :
une vision incisive
et éducative sur
l'environnement

Approche
didactique
et scientifique

27

1^{er} trimestre 2003

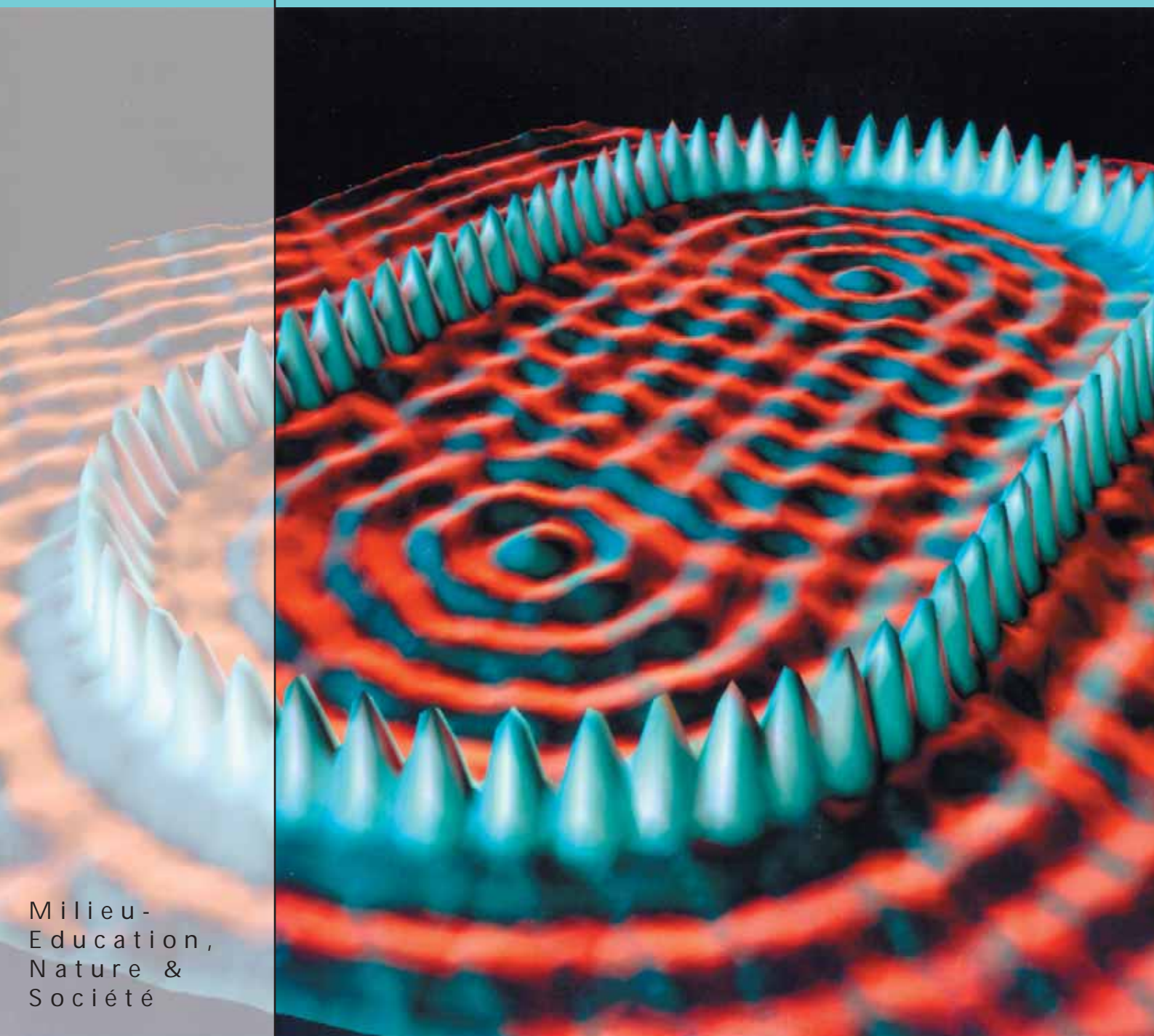
MENS

Dossier sur l'environnement '*mens sana in terra sana*'

Jouer avec les atomes

La nanotechnologie acquiert ses lettres de noblesse

UITGIFTEKANTOOR 2800 MECHELEN 1



Milieu-
Education,
Nature &
Société

Sommaire

I. Le tout début	3
II. Avec de grands yeux	6
III. Les nanomatériaux.	9
Du catalyseur et du colorant à la pièce de machine	9
Une nouvelle famille de carbone	9
De grands espoirs	10
IV. La nanoélectronique	11
Les limites de la loi de Moore	11
L'ordinateur à nanotubes	11
Les points quantiques	12
V. Les nanomachines	13
VI. La nanomédecine et la biologie	13
Epilogue	15
La nano : 'une grande affaire'	15
Les nanobelges	15

Préface

Les nanotechnologies se situent aux confins de la physique, de l'ingénierie, de la chimie et de la biologie. Elles s'appuient sur un ensemble de théories et de techniques révolutionnaires qui visent à manipuler ou à fabriquer des objets de taille comparable à celle des atomes et des molécules, c'est-à-dire de l'ordre du millionième de millimètre ou nanomètre.

Les experts en la matière estiment que, dans les années à venir, les nanotechnologies transformeront radicalement les sciences, la technologie, l'économie et la société et constitueront la prochaine révolution scientifique et industrielle. Cette révolution est déjà en marche comme en témoignent l'engouement des chercheurs, l'appui marqué des organismes de financement ou encore les investissements massifs de grands acteurs industriels.

Les recherches sur les nanostructures sont porteuses d'avenir pour de nouvelles applications qui découleront de leur utilisation dans de nombreux secteurs comme, par exemple, les télécommunications, l'électronique, l'informatique, la pharmacie, la chimie, le secteur médical, l'environnement, la mécanique, l'aéronautique,

De vastes programmes de recherche sur les nanotechnologies sont menés en Europe, aux Etats-Unis et au Japon. L'Europe à elle seule compte déjà plus de deux cents réseaux en nanotechnologie concernant diverses applications. Avec la mise en œuvre du *Sixième Programme-Cadre pour la Recherche, le Développement Technologique et les activités de Démonstration*, l'Union européenne accorde une importance particulière aux initiatives dans ce domaine en leur attribuant la troisième place pour ses thématiques prioritaires (avec un budget de plus de 1,3 milliards d'euros).

La Belgique a pris le train de la révolution des nanotechnologies comme le montrent le nombre de publications scientifiques (douzième rang mondial) et le nombre de brevets déposés (quatrième rang mondial). Le gouvernement fédéral y a contribué de manière significative via son programme "Pôles d'attraction interuniversitaires" (PAI). Ce programme de recherche fondamentale vise à renforcer le potentiel scientifique de haut niveau des universités en y intégrant la notion de réseaux. Preuve de l'effort soutenu accordé au secteur des nanotechnologies, la nouvelle phase du programme PAI, entamée pour cinq ans le 1er janvier 2002, consacre quelque 15 millions d'euros de son budget global (environ 112 millions d'euros) à deux réseaux qui rassemblent plusieurs centres d'excellence belges et qui contribuent donc à consolider les réseaux européens sur les nanosciences.

Les compétences scientifiques sont présentes sur le terrain et des moyens financiers importants ont été dégagés. Tous les ingrédients sont donc réunis pour soutenir en Belgique un secteur stratégique au vu de ses retombées potentielles.

Ir. Eric Beka,
Secrétaire général
des Services fédéraux des affaires scientifiques, techniques et culturelles.

**Milieu, Education,
Nature & Société**

'Mens sana in terra sana'

© Tous droits réservés MENS 2003

www.2mens.com

Avec nos remerciements pour les photos
et les illustrations :
V.H. Crespi
Cees Dekker, TUDelft
IBM
NASA
EMAT-UAntwerpen
KULeuven
ULiège
CNF-Cornell University
Sandia National Laboratories

Abonnement annuel par versement
au nom de :
Corry De Buysscher
corry.db@belgacom.net
"revue MENS"
Belgique : 18 EUR sur 777-59271345-56
Tarif éducatif : 10 EUR

Relations externes :
Inge Van Herck
0475 97 35 27
invahe@ruca.ua.ac.be

Topic and fund raising :
Dr. Sonja De Nollin
denollin@uia.ua.ac.be

Couverture : Arène d'atomes de fer sur une
plaque en cuivre, voir pag. 8 (photo IBM)

NANOTECH IS MEGASUPER

Ce numéro de Mens a été composé par Herman Lemmens et Peter Raeymaekers avec la collaboration des personnes suivantes :

Prof. Y. Bruynseraede et Dr K. Temst, Katholieke Universiteit Leuven

Prof. F. De Schryver, Katholieke Universiteit Leuven

Prof. J. Jérôme et Dr C. Jérôme, Université de Liège

Prof. P. Lambin, Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix

Prof. D. Van Dyck, Universiteit Antwerpen

Mme V. Feys et Mme C. Lejour, Services fédéraux des affaires scientifiques, techniques et culturelles

Les magazines scientifiques utilisent des titres ronflants pour présenter la nanotechnologie : « La révolution des Nanos », « De nanorevolutie is begonnen », « Nanotech, the science of small gets down to business », « The next big thing will be small » ne sont que quelques exemples. Mais qu'est-ce que la nanotechnologie exactement ?

La nanotechnologie correspond à la manipulation des matières à l'échelle des atomes eux-mêmes. Le terme provient du mot « nanos », ce qui signifie « nain » en grec ancien. « Nano » veut donc dire petit/très petit. Le « nanomètre » équivaut à un milliardième de mètre. Certains scientifiques affirment que la nanotechnologie annonce un renversement radical de tout le processus industriel. La nanotechnologie trouvera sa voie dans de nombreuses applications de la vie quotidienne : des lunettes de soleil aux ordinateurs quantiques et aux nanoparticules qui attaquent les cellules cancéreuses de notre corps.

Dans ce numéro de Mens, nous présentons les techniques disponibles à l'heure actuelle pour examiner et composer des nanostructures. Nous exposons aussi brièvement les potentialités de la technologie.

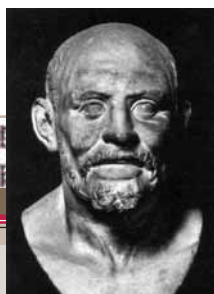
I. Le tout début

Pour trouver le véritable début de la nanotechnologie, nous devons sans doute remonter à l'époque d'Albert Einstein. Dans sa thèse de doctorat, celui-ci calcula la dimension d'une molécule de sucre. Il estima qu'elle était d'environ un nanomètre (nm) de diamètre. Entre-temps, le nanomètre est devenu l'essence

du « petit ». Un nanomètre correspond à dix atomes d'hydrogène alignés, à un millième de la longueur d'une bactérie commune, à un cinquante millième de l'épaisseur d'un cheveu, à un millionième du diamètre d'une tête d'épingle et à un milliardième et demi d'un être humain adulte.

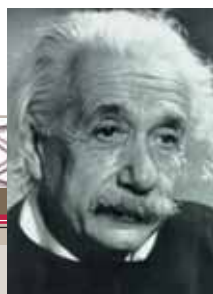
Environ 100 ans après le calcul d'Einstein, le nanomètre constitue l'une des priorités de la recherche. Après la recherche

biomédicale et la défense, la nanotechnologie s'élève à la troisième place. Le champ de recherche est toutefois difficile à définir car la nanotechnologie est exercée par un groupe hétéroclite de personnes issues de différentes disciplines : des physiciens, des ingénieurs, des chimistes, des électroniciens, des informaticiens et des biologistes moléculaires. Toutes ces personnes poursuivent toutefois un objectif commun : construire des



400 v.C.

400 av. J.-C. Démocrite, philosophe grec de la nature, imagine que tout est composé d'éléments minuscules et invisibles qui sont indestructibles et inaltérables. Il nomme ces petites particules « atomes » (atomos), ce qui signifie « indivisible » en grec.



1905

Albert Einstein calcule le diamètre d'une molécule de sucre.



1931

Ernst Ruska et Max Knoll conçoivent le microscope électronique.

Le petit mesuré



« La nanotechnologie est un nouveau terrain de recherche et de développement consacré à la maîtrise des structures matérielles présentant une taille nanométrique (de 0,1 à 100 nm) dans au moins une de ses dimensions (longueur, largeur ou hauteur). En outre, lors de la composition de ces structures, les propriétés physiques et chimiques à l'échelle nanométrique sont contrôlées en permanence. »

objets dont au moins une dimension mesure moins de 100 nm (longueur, largeur ou hauteur). Pour ce faire, ils veulent pouvoir manipuler chaque atome individuellement. C'est précisément la manipulation « ponctuelle » qui distingue la nanotechnologie de la macrotechnologie. En effet, la manipulation de molécules en soi, et même d'atomes, n'est pas une nouveauté. Elle existe depuis des siècles. En fait, faire bouillir de l'eau constitue un processus moléculaire par lequel des molécules d'eau passent de l'état liquide à l'état gazeux. La découverte du code génétique nous mène jusqu'au niveau moléculaire. Cependant, ces deux exemples ne correspondent pas vraiment à la définition de la nanotechnologie. La particularité du travail à l'échelle nanométrique est la manipulation des atomes un à un. Nous imposons, pour ainsi dire, notre volonté sur le processus de composition au niveau atomique.

Naturellement, certains restent sceptiques face à la nanotechnologie. Selon eux, la nanotechnologie n'est guère plus qu'un grand battage. Et ces sceptiques

n'ont pas tout à fait tort : les scientifiques des matériaux, les chimistes organiques et les biologistes moléculaires d'hier s'appellent aujourd'hui des nanotechnologues. Si Einstein devait passer son doctorat en 2003, son directeur l'encouragerait certainement par ces mots : « La nanotechnologie, Albert. Ton avenir est dans la nanotechnologie ! »

Tout ce qui est petit deviendra grand

Le véritable père de la nanotechnologie est Richard Feynman, physicien et lauréat du prix Nobel. Lors de la conférence légendaire qu'il donna en 1959 pour la « Physical Society » américaine, il rêva tout haut de nouvelles techniques qui allaient utiliser des éléments de plus en plus petits, et ce, jusqu'aux atomes individuels. Cette conférence, intitulée « There is plenty of room at the bottom », est considérée comme le point de départ de la nanotechnologie.

En 1981, les spéculations théoriques de Feynman se sont concrétisées un peu plus. Pour la première fois, Heinrich Rohrer et Gerd Binnig ont vu le contour d'atomes individuels à l'écran du microscope à effet tunnel (ou STM pour « Scanning Tunnel Microscope ») qu'ils venaient de créer. Cela s'est passé dans le laboratoire d'IBM à Zürich. Le STM balaie la surface de la matière à l'aide d'une aiguille métallique très fine et détecte les atomes individuels comme des inégalités (voir le chapitre « Avec de grands yeux »).

Le fait que le STM puisse permettre d'observer des atomes individuels est déjà unique en soi. Toutefois, l'appareil doit sa véritable renommée à une imperfection des premiers modèles. L'aiguille du STM s'enfonçait de temps en temps



1959

Richard Feynman donne une conférence intitulée « There's plenty of room at the bottom ».



1981

Gerd Binnig et Heinrich Rohrer créent le microscope à effet tunnel.



1985

Richard E. Smalley et ses collègues découvrent les « buckyballs ».

Aujourd'hui, un steak frites, demain le WTC

L'américain Eric Drexler est, sans aucun doute, le prophète le plus radical de la nanotechnologie. Drexler a introduit « l'assembleur », concept purement théorique pour le moment qui serait une sorte de main de robot ultrapetite capable de déplacer des atomes et de les combiner avec une rapidité fulgurante. L'assembleur pourrait faire n'importe quoi : un morceau d'ADN, une assiette de steak frites, une voiture de course ou une nouvelle tour pour le WTC à New York. L'assembleur pourrait construire tout cela, atome par atome, à partir d'un plan de construction qu'il aurait en mémoire.

Selon Drexler, un assembleur présente d'énormes avantages car, grâce à la technique de construction atomique, on ne perd rien. Il n'y a donc pas de gaspillage et tout peut être recyclé complètement. C'est ainsi que la famine disparaîtra du monde et que nous vivrons éternellement (voir la nanomédecine). En outre, il s'agira d'une vie merveilleuse car, avec les nanomachines, le travail des hommes est superflu. Nous pourrions donc être en vacances en permanence et pour toujours. N'est-ce pas là une perspective agréable ?

Toutefois, les assembleurs comportent également des inconvénients. Si un assembleur s'emballe et fait un nombre infini de copies de lui-même, il est impossible de l'arrêter selon Drexler. Un tel assembleur signifie la fin du monde.

Les nanosonges sont, eux aussi, des mensonges

Pour la majorité des nanospécialistes, les rêveries de Drexler sont une folie. Selon le professeur hollandais David Reinhoudt, Drexler nuit beaucoup à la nanoscience avec ses visions futuristes. Pour Reinhoudt, les théories de Drexler se composent de « quelques éléments tirés de manuels auxquels on a ajouté une grosse dose de fantaisie ». Richard Smalley, lauréat du prix Nobel, estime également que Drexler raconte des inepties sans réfléchir. Selon Smalley, les assembleurs atomiques sont tout simplement impossibles sur le plan physique. George Whitesides, professeur à Harvard, n'est pas non plus enthousiaste à l'égard des théories de Drexler : « Je pense que l'on pourra construire des systèmes d'autoréplication à l'avenir, mais je parle de certaines bactéries ou cellules, peut-être même d'une autre forme de vie. Ou mieux : un système qui a une conscience avec un certain degré d'intelligence. Il pourrait même s'agir d'une forme d'intelligence « à base de silicium » telle que le Web ». Yvan Bruynseraede, physicien et professeur louvaniste, estime que l'exagération des possibilités techniques, comme le fait Drexler, est extrêmement dangereuse pour la nanotechnologie en tant que science. « C'est précisément ce qui s'est passé en 1987 avec la supraconduction. Les journaux en parlaient abondamment et on créa partout des fonds de recherche. Mais cinq ans plus tard, alors que les chercheurs ne présentaient pas encore de grille-pain supraconducteur, les fonds disparurent tout aussi vite. Cela ne peut pas arriver avec la nanotechnologie. »

dans la surface à tâter. Rorher et Binnig ont alors constaté, avec surprise, que l'aiguille avait piqué un ou deux atomes et les avait relâchés plus loin. Les deux chercheurs avaient construit, par accident, le premier appareil capable de manipuler des atomes individuels.

A l'aide de l'aiguille du STM, Don Eigler, chercheur d'IBM à San Jose (États-Unis), manipula 35 atomes de xénon sur une surface de nickel jusqu'à ce qu'ils forment les lettres « I B M ». Chaque lettre faisait à peine 5 nm. A titre de comparaison, cette « écriture atomique » d'Eigler permettrait d'imprimer toute l'Encyclopédie Britannica, soit environ 40 000 pages, sur un petit carré de 0,1 millimètre de côté.

Naturellement, le panneau publicitaire

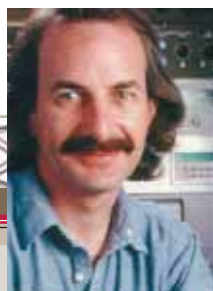


d'Eigler n'est qu'une forme très primitive de nanotechnologie. Si la véritable construction à l'aide d'atomes veut avoir le vent en poupe, nous devons pouvoir fabriquer des nanostructures en grandes quantités. Pour cela, il faut de véritables nano-usines. Ces usines, que l'on appelle parfois « assembleurs », ne sont peut-être pas pour demain, aussi fous que soient les rêves de personnes telles qu'Eric Drexler (voir l'encadré « Aujourd'hui, un steak frites, demain le WTC »)



1986

Eric Drexler publie le livre « Engines of Creation ».



1989

Donald M. Eigler d'IBM écrit le sigle de l'entreprise à l'aide d'atomes.



1991

Sumio Iijima, de la firme japonaise NEC, découvre les nanotubes.

La nanotechnologie n'en est certainement qu'à ses balbutiements. Pour qu'elle devienne une technologie clé du XXI^e siècle, d'immenses efforts de recherche sont encore nécessaires. Pour certains, l'impact de la nanotechnologie sur la société va même dépasser celui de la technologie biomédicale et pharmaceutique d'aujourd'hui. Selon une étude de la fondation hollandaise « Stichting Toekomstbeeld der Techniek », la maîtrise croissante de l'agencement des atomes va donner lieu à de toutes nouvelles applications dans tous les domaines (des produits durables aux applications militaires). D'ici 20 ans, un grand nombre de nanomatériaux, d'applications médicales et de systèmes électroniques nouveaux vont apparaître sur le marché. Parmi ceux-ci, il y aura peut-être des produits spectaculaires tels que du textile autonettoyant, des cellules solaires superefficientes ou des lampes à diodes ultra-économiques pour éclairer les habitations.

Il est toutefois peu probable que ces nanomachines d'autoréplication soient un jour réalisées.

Plus loin dans ce numéro de Mens, nous énumérons un certain nombre d'applications pour lesquelles la nanotechnologie joue déjà un rôle aujourd'hui. Mais nous allons également nous attarder sur le futur. Nous ne manquerons pas non plus de vous proposer un bref aperçu des instruments utilisés par le nanotechnologue. Enfin, nous vous entraînons dans le monde étonnant des minuscules boules de carbone, des tubes en treillis, des arènes atomiques et des « fata Morgana quantiques ».

II Avec de grands yeux

Nos yeux sont incapables de voir les microstructures et les nanostructures. Ce n'est qu'au XVII^e siècle que des scientifiques, tels qu'Antoni Van Leeuwenhoek, ont apporté un changement à ce niveau. Van Leeuwenhoek a construit des microscopes et les a utilisés pour étudier des êtres unicellulaires. Aussi talentueux que fût ce pionnier hollandais pour ce qui est du polissage des verres, il ne put observer des objets plus petits qu'un micromètre.

Voir à l'aide d'électrons

Pour étudier des structures à l'échelle nanométrique, il fallait des microscopes avec une meilleure résolution tels que le microscope électronique. Celui-ci n'examine pas les objets à l'aide de la lumière mais envoie des électrons rapides à travers l'objet à examiner. De plus, si les chercheurs observent les images de ces microscopes au moyen de programmes informatiques, ils peuvent même voir les atomes individuels.

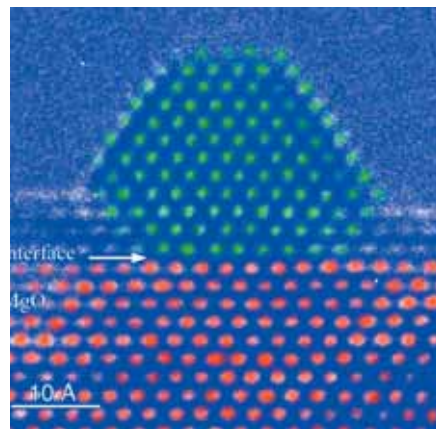


En outre, à l'aide d'un microscope électronique moderne, il est également possible d'examiner localement la structure chimique et les propriétés électromagnétiques d'un matériau. Vous trouverez une présentation détaillée de la microscopie dans le numéro 23 de Mens (« Au-delà les limites de la VUE »).

Sentir les atomes

La plupart des nanotechnologues considèrent que le microscope à effet tunnel (STM) est l'appareil le plus important pour la pratique de la nanotechnologie. Les constructeurs du premier STM, Rohrer et Binnig, ont d'ailleurs reçu le prix Nobel pour celui-ci, en 1986, avec Ernst Ruska, inventeur du microscope électronique précité.

Dans le cas du STM, une fine aiguille conductrice balaie la surface de l'objet et une petite tension électrique est appliquée entre l'objet et l'aiguille. Si cette aiguille approche tout près des atomes de la préparation, il y a un saut d'électrons. Cette « transmission tunnel » d'électrons se produit si la pointe se



Des atomes individuels d'une pépite d'or (points verts) sur une base d'oxyde de magnésium (points rouges) rendus visibles grâce à un microscope électronique (à gauche).



1998

A Delft, le groupe de recherche de Cees Dekker conçoit le premier transistor composé de nanotubes de carbone.



1999

D'après Mark Reed, les molécules simples peuvent se comporter comme des connexions moléculaires.



2000

Aux États-Unis, le Président Clinton lance la « National Nanotechnology Initiative ».

situé à un peu moins d'un nanomètre de la surface. Si l'on relie l'aiguille à un équipement électronique sophistiqué, un ordinateur peut établir une image atomique de toute la surface de l'objet pendant le balayage.

Toutefois, le STM n'est pas qu'un instrument particulièrement utile pour analyser des structures de surface dans le détail. Comme nous l'avons déjà mentionné, l'appareil peut également déplacer des atomes individuels à la surface. Il est possible d'approcher encore plus l'aiguille de l'objet et de créer une telle tension électrique que l'atome reste collé à l'aiguille. L'atome accompagne tout simplement l'aiguille et ne reste sur place que si l'on enlève la tension. Ce déplacement d'atomes doit toutefois avoir lieu à très basse température

(-100°C), sinon, les atomes se déplacent spontanément sur la surface. [Insertion de la figure « Jouer avec les atomes »

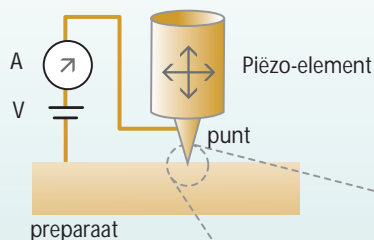
La force atomique

Le microscope à force atomique (ou AFM pour « atomic force microscope ») utilise également une pointe fine pour balayer la surface. Toutefois, aucune tension n'est appliquée entre l'aiguille et la surface. Pour pouvoir suivre les contours de la surface, le bras sur lequel est montée l'aiguille va monter et descendre. Un laser peut noter ces mouvements ultrapetits, ce qui permet d'obtenir une image des atomes à la surface d'un matériau, tout comme avec le STM.

En outre, l'ordinateur peut également mesurer la distorsion (torsion) du bras.

Cette distorsion est due aux forces parallèles à la surface.

Il existe de nombreuses variantes de l'AFM et du STM. Ces appareils brillent par leur polyvalence. De plus, leur coût est relativement faible. Dès lors, petit à petit, ces appareils trouvent une place dans tous les laboratoires de recherche sur les matériaux. Le microscope électronique est beaucoup plus cher et la préparation est un peu plus difficile à réaliser. Par conséquent, la plus grande partie des recherches effectuées avec ce type de microscope reste limitée aux laboratoires spécialisés. Par ailleurs, le STM permet uniquement de balayer la surface tandis qu'un microscope électronique examine également l'intérieur de l'objet.



Principe du microscope à effet tunnel (STM). L'aiguille du STM peut être déplacée sur plusieurs nanomètres car il est monté sur un élément piézo-électrique. Sous l'impulsion d'une tension électrique, ce dernier change de forme, ce qui fait glisser l'aiguille de quelques nanomètres.

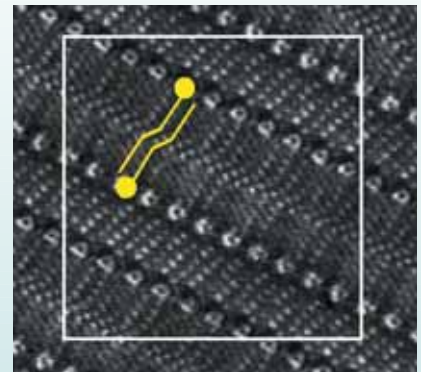


Image STM de molécules de diacétylène



Dans le cas du microscope à force atomique (AFM), un rayon laser mesure les moindres mouvements verticaux de l'aiguille.

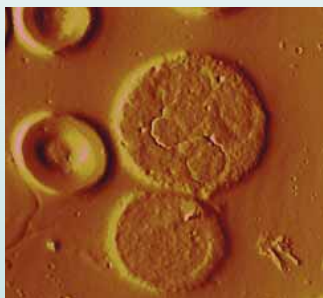
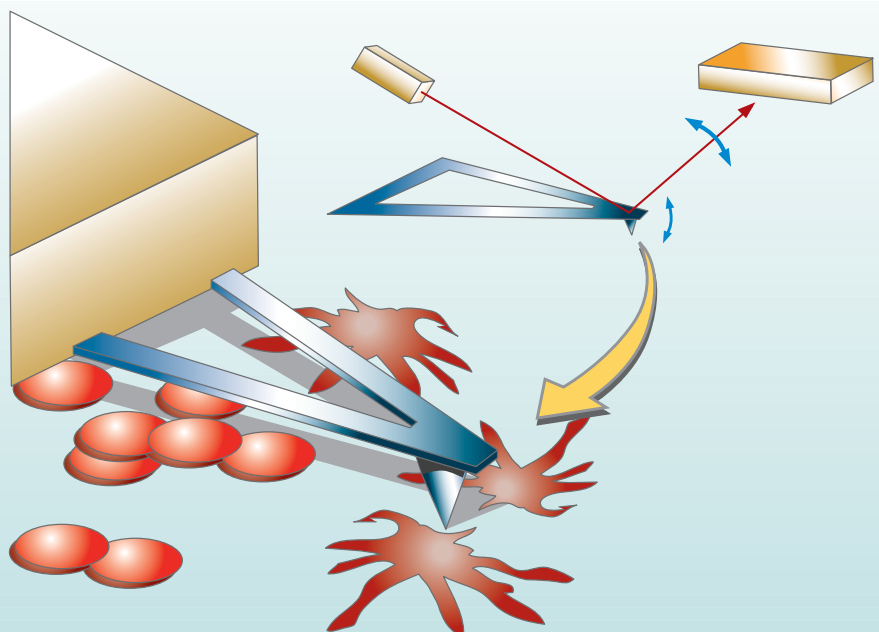


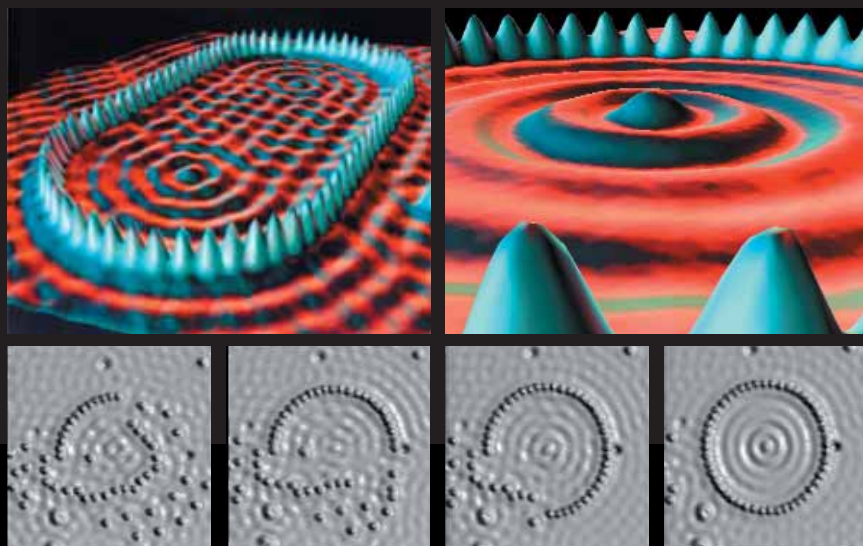
Image AFM d'un globule rouge



La physique mise à l'essai : l'arène atomique et la « fata morgana »

A l'aide d'un microscope à effet tunnel (STM), des physiciens d'IBM ont placé 48 atomes de fer dans une ellipse sur une surface de cuivre. Normalement, les électrons peuvent bouger librement sur une surface de cuivre mais ils étaient emprisonnés dans l'arène elliptique des atomes de fer. Les chercheurs ont constitué des arènes semblables sous forme de carré, de triangle et d'hexagone.

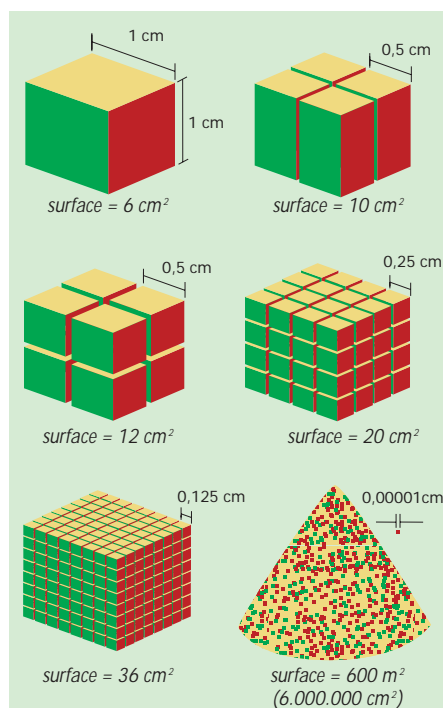
Ensuite, ils sont encore allés plus loin : sur une surface de cuivre, ils ont réalisé une arène elliptique d'atomes de cobalt et ont placé un atome de cobalt supplémentaire dans l'un des deux foyers de l'ellipse. A leur étonnement, ils ont pu mesurer dans le foyer vide les propriétés magnétiques de l'atome de cobalt de l'autre foyer. Comme une antenne parabolique, l'ellipse projetait les propriétés électromagnétiques de la particule de cobalt d'un foyer à l'autre. Les chercheurs ont donné le nom de « mirage quantique » ou « fata Morgana quantique » à ce phénomène de téléportation digne de Star Trek.



III Les nanomatériaux

Du catalyseur et du colorant à la pièce de machine

Les amas de matière composés de moins de 10 000 atomes ou molécules sont appelés des « agrégats » ou nanoparticules. L'industrie chimique s'intéresse notamment beaucoup à ces nanoparticules. Elles constituent des catalyseurs particulièrement appropriés pour guider et accélérer toutes sortes de réactions chimiques. Ces dernières se déroulent en effet à la surface d'un catalyseur et les nanoparticules se caractérisent précisément par leur surface relativement grande (voir l'encadré « Un nanovolume



Un nanovolume avec une macrosurface

Un cube de 1 cm de côté a une surface totale de 6 cm². À mesure que le cube est divisé en blocs de plus en plus petits, sa surface augmente. Si tous les blocs ont 100 nm de côté, ils couvrent ensemble la superficie d'un terrain de volley.

avec une macrosurface »).

Les nanoparticules présentent encore d'autres caractéristiques intéressantes. Ainsi, les propriétés magnétiques d'un matériau peuvent varier fortement lorsqu'il se présente dans un nanofomat. Un carré macroscopique de palladium, de sodium ou de potassium n'est pas du tout magnétique mais lorsqu'il se présente sous forme d'agrégat, il possède des propriétés magnétiques. Cette particularité peut s'avérer très intéressante pour stocker des données sur un support magnétique tel qu'un disque dur ou une disquette.

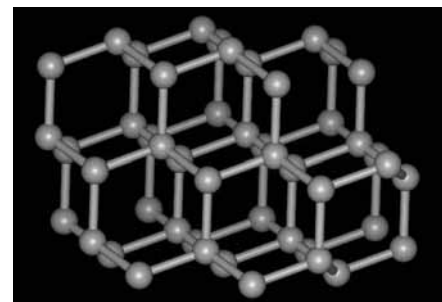
D'autres nanomatériaux absorbent la lumière à une certaine longueur d'onde. De ce fait, ils apportent de la couleur à une solution liquide ou une matière solide. L'utilisation de nanopoudres comme pigment, notamment dans les peintures et les châssis, est en fait une pratique déjà séculaire. Cependant, les physiciens ne savent que depuis peu que la longueur d'onde absorbée dépend en partie de la grandeur des particules. Ainsi, le sélénure de cadmium (CdSe) est normalement un pigment rouge mais il devient jaune si les particules sont réduites à des nanodimensions.

De tels nanomatériaux vont peut-être aboutir à toutes sortes de nouvelles applications, trop nombreuses que pour les énumérer. Par conséquent, la liste « Les nanomatériaux d'aujourd'hui et de demain » est loin d'être complète.

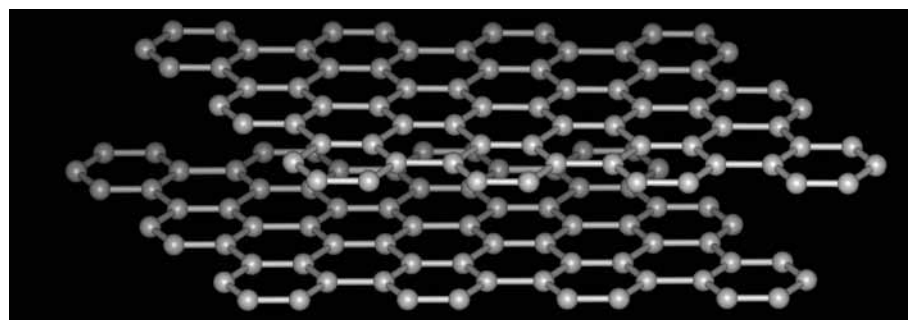
Une nouvelle famille de carbone

Le fullerène est un nanomatériau qui attire constamment l'attention. Il se compose exclusivement de carbone. Normalement, le carbone pur se présente sous deux formes dans la nature : le diamant ou le graphite. Ces deux formes sont dotées de propriétés physiques assez différentes. Le diamant est très dur et cher alors que le graphite est mou et est utilisé dans les crayons ou comme lubrifiant.

La différence entre le diamant et le graphite se situe au niveau de l'empilement des atomes de carbone. Le diamant présente un empilement compact au niveau des trois dimensions. Par contre, le graphite est constitué d'un empilement de plans dans lesquels les atomes de carbone sont agencés selon des hexagones réguliers, un peu comme un treillis. Dans ce « treillis », les atomes sont fortement liés mais entre les différentes couches empilées, il n'y a que des liaisons faibles. En raison de cette faible force d'attraction entre les couches successives de graphite, les plans glissent facilement, ce



diamant



graphite

LES NANOMATERIAUX D'AUJOURD'HUI ET DE DEMAIN

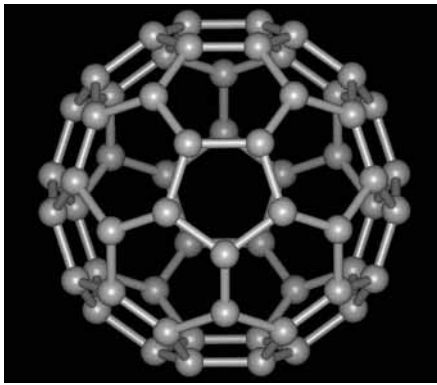


Génie énergétique

- Piles solaires à haut rendement
- Piles à grande capacité énergétique
- Fenêtres « intelligentes » qui, par temps chaud, empêchent la chaleur du soleil d'entrer
- Meilleurs matériaux isolants
- Matériel de stockage nanocristallin pour l'hydrogène

Industrie automobile

- Protection contre la corrosion de la carrosserie des voitures
- Suppression des polluants dans les pots catalytiques
- Voitures électriques ou hybrides fonctionnant à l'aide d'accumulateurs composés de nanomatériaux



buckyball

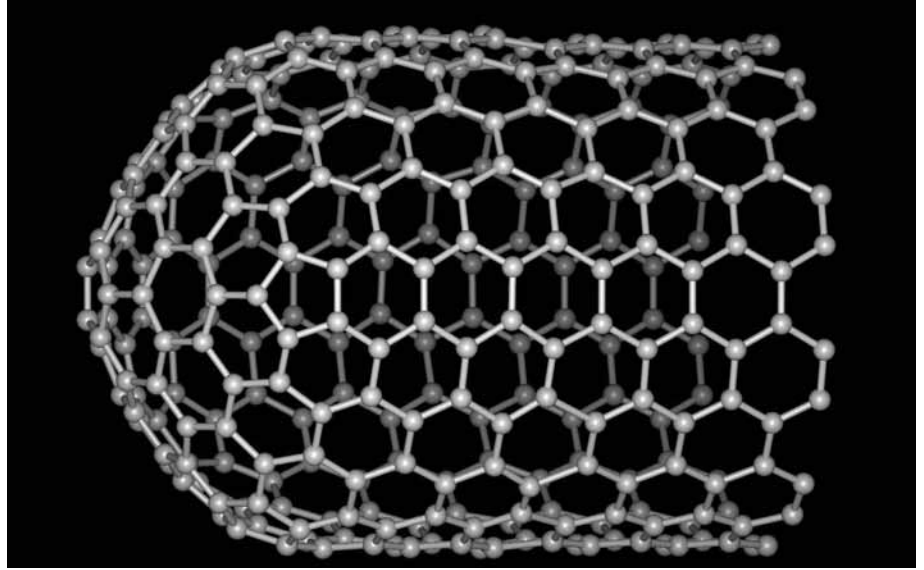
qui explique son rôle dans les crayons et comme lubrifiant. Dans les années 80, les scientifiques ont toutefois découvert une toute nouvelle famille de carbone : les fullerènes, auxquels appartiennent les nanotubes et les buckyballs.

Pour comprendre la structure des nanotubes, revenons brièvement à la forme de treillis du graphite. Pour obtenir un nanotube, vous enroulez une couche de graphite afin de former une gaine d'un diamètre de quelques nanomètres seulement. Vous pouvez en outre fermer les tubes en remplaçant quelques hexagones des couches de graphite par des pentagones : la couche de graphite plate frise et se ferme.

Toutefois, si vous placez 60 atomes de carbone dans 12 pentagones réguliers et 20 hexagones (comme pour un ballon de football en cuir), vous obtenez une autre molécule de carbone particulièrement intéressante : la molécule C₆₀ ou buckyball. Le nom de cette molécule tire son origine de l'architecte américain Buckminster Fuller, qui avait utilisé un assemblage analogue pour construire des dômes. La dénomination commune « fullerènes » utilisée pour ces nouvelles formes de carbone est tirée du patronyme de cet architecte.

De grands espoirs

Ces buckyballs forment des cristaux cubiques avec, chaque fois, une molécule C₆₀ aux huit sommets du cube et une molécule C₆₀ supplémentaire au centre.



nanotube de carbone

De grands espoirs technologiques sont placés dans ces cristaux. On a déjà pu mesurer une supraconduction dans ces cristaux et dans des tresses de nanotubes, ce qui fait battre le cœur de plus d'un physicien.

Un matériau est supraconducteur s'il n'a pas de résistance électrique. Par conséquent, il ne chauffe pas si du courant passe au travers. De plus, les matériaux supraconducteurs présentent certaines propriétés magnétiques particulières : par exemple, ils flottent au-dessus d'un aimant et inversement. C'est ainsi que les Japonais ont conçu un train qui flotte au-dessus des rails. Vu l'absence de frottement, ce train atteint des vitesses de plus de 400 km/h.

Toutefois, les fullerènes sont uniquement supraconducteurs à de très basses températures. Les nanotubes de carbone sont supraconducteurs en dessous de 0,55K (-272,6°C) et les buckyballs, à une température légèrement plus élevée de 9K (-264,15°C). Le record de chaleur pour la supraconduction est à présent détenu par un matériau céramique complexe qui est « déjà » supraconducteur à 164K (-109°C), ce qui reste un froid supersibérien.

Les fullerènes présentent bien d'autres propriétés intéressantes qui sont, heureusement, plus aisément exploitables. En raison de la faible liaison entre les molécules C₆₀ dans le cristal cubique, ces matériaux constituent d'excellents lubrifiants. Par ailleurs, la structure creuse de la molécule C₆₀ permet d'y

introduire d'autres molécules. Les concepteurs de médicaments espèrent ainsi dissimuler dans cet espace des molécules médicamenteuses qui ne seraient libérées dans le corps qu'au moment et à l'endroit voulus.

Outre leur grande résistance à la traction, les nanotubes s'avèrent très malléables et constituent dès lors des fibres de carbone de premier choix pour une utilisation dans des matériaux composites. La plupart de ces composites sont aujourd'hui fabriqués à l'aide de résines synthétiques, telles que le polyester ou la résine époxyde, auxquelles sont ajoutées des fibres de carbone ou de verre ou des fibres naturelles. Certains composites sont non seulement aussi solides que le métal mais sont en outre plus légers. En utilisant les nanotubes comme fibres, il est possible de créer des nanocomposites pour des vélos de course ultralégers ou pour remplacer la carrosserie rouillée des autos et des camions.

Les nanotubes ont également des perspectives d'avenir dans l'électronique. En fonction du diamètre et de l'orientation des hexagones par rapport à l'axe du tube, les nanotubes se comportent comme des conducteurs ou des semi-conducteurs. Cette caractéristique est extrêmement intéressante pour les applications électroniques, surtout lorsque l'on sait que les électrons peuvent se déplacer dans le tube sans perte de chaleur grâce à sa structure sans défaut. Toutefois, pour proposer à la société

LES NANOMATERIAUX D'AUJOURD'HUI ET DE DEMAIN

- Revêtement thermorésistant des cylindres
- Capteurs qui optimisent la consommation de carburant
- Capteurs dans les airbags et les systèmes de freinage automatique

Optique

- Lentilles spéciales avec indice de réfraction variable
- Lunettes en plastique, lentilles, pare-soleil, phares et fenêtres de voiture antirayure
- Verre coloré

- Couches de finition pour lunettes et fenêtres de voiture permettant d'éviter la buée

Catalyse

- Purificateurs d'air et d'eau
- Lessives en poudre plus efficaces
- Fenêtres autonettoyantes

toutes ces applications du laboratoire expérimental, il convient de développer de nouvelles méthodes de production qui fabriquent, à faible coût, une grande quantité de fullerènes présentant les caractéristiques voulues.

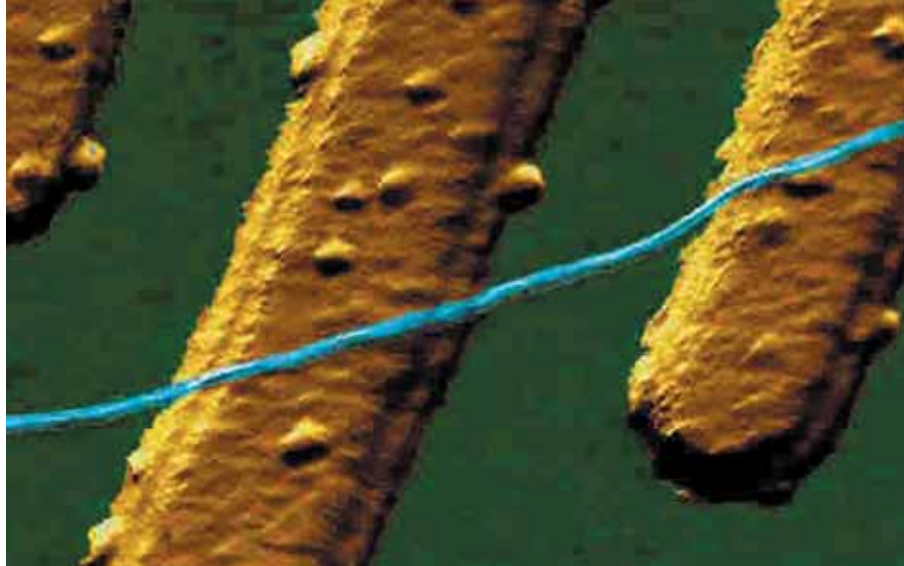
IV La nanoélectronique

Les limites de la loi de Moore

Ces cinquante dernières années, les progrès réalisés au niveau de la vitesse des ordinateurs ont suivi la loi de Moore. Selon cette loi, la technologie évolue si vite que la densité des transistors sur une puce double tous les 18 mois et que la RAM (mémoire vive) disponible quadruple tous les trois ans. C'est ainsi que l'ordinateur portable et léger d'aujourd'hui est plus rapide et plus efficace que le gros ordinateur de bureau d'il y a quelques années.

Cependant, la loi de Moore ne tiendra bientôt plus debout. Le passage de la microélectronique à la nanoélectronique est jonché de toutes sortes d'obstacles. Tout d'abord, la gravure (moyen utilisé actuellement pour produire des micro-transistors) ne permet pas de fabriquer des structures « nanofines ». En outre, la nanoélectronique entre dans le domaine de la mécanique quantique où s'appliquent d'autres lois que dans la physique classique.

Outre des dizaines de centres de recherche universitaires, des entreprises telles qu'IBM, Hewlett Packard, les laboratoires de Lucent Bell et Siemens réfléchissent également à la meilleure façon d'emprunter la voie de la nanoélectronique. Toutefois, il est impossible, pour le moment, de prévoir quelles techniques vont changer l'industrie informatique d'ici dix ans. Ci-dessous, nous vous proposons dès lors un aperçu de quelques événements importants survenus dans le domaine de l'électronique ces dernières années.



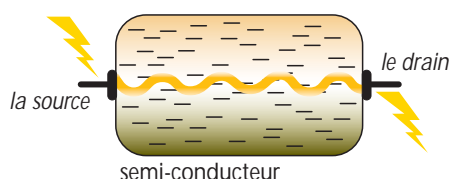
Un nanotube (en bleu) relie deux électrodes d'or.

L'ordinateur à nanotubes

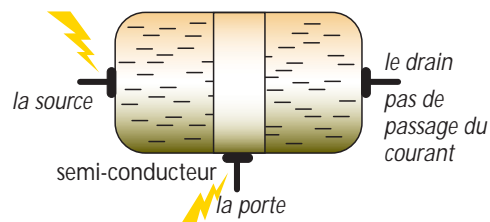
En raison de la miniaturisation des composants sur les puces d'ordinateur, les circuits présents sur ces puces (le câblage) doivent également devenir plus petits. Mais comment fabriquer des fils d'épaisseur nanométrique qui conduisent du courant, ne présentent aucun défaut, ne chauffent pas et ne se cassent pas après un certain temps ? Il se peut que les nanotubes de carbone apportent une solution à ce problème. Comme nous l'avons déjà mentionné, en fonction de leur structure, les nanotubes sont des conducteurs ou des semi-conducteurs. De plus, en raison de la liaison forte entre les atomes de carbone, ces tubes sont très stables sur le plan thermique, mécanique et chimique. Les nanotubes ne constituent toutefois pas seulement un « câblage » idéal. Vous

pouvez également les utiliser pour fabriquer des circuits électriques ou des transistors. Les « transistors à effet de champ » (TEC) sont une sorte de circuit où un morceau de matière semi-conductrice relie deux électrodes, la source et le drain. Le courant qui passe entre ces deux points de contact est déterminé par une troisième électrode, la porte (« gate »). En appliquant une tension sur la porte, l'état du semi-conducteur peut passer d'isolateur à conducteur et inversement. De cette façon, on ferme ou on ouvre le transistor, soit les deux états sur lesquels se fonde toute l'informatique binaire. Dans les TEC courants actuels, le semi-conducteur est composé de silicium. Dans les TEC de demain, il pourrait s'agir d'un nanotube. Le processeur, le cœur de l'ordinateur, se composerait dès lors de dizaines de millions de ces TEC sur une surface plus petite qu'un timbre-poste.

Le transistor conducteur



Le transistor isolant



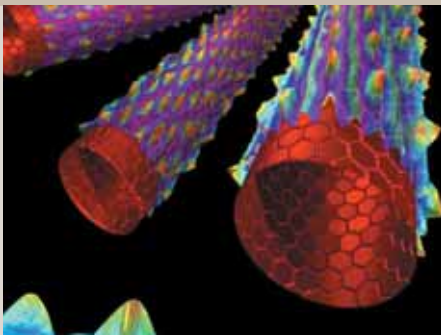
De conducteur à isolant

Les transistors se composent d'un matériau semi-conducteur sur lequel sont fixées trois électrodes : la source, le drain et la porte. En situation normale, le courant est amené par la source et transporté vers le drain. Le transistor est alors conducteur et est « ouvert ». Si nous appliquons une tension négative sur la porte, la continuité électrique s'interrompt et le transistor devient isolant ou est « fermé ».

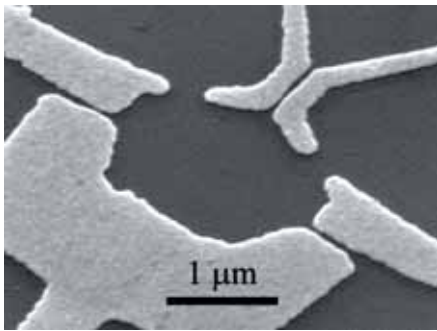
LE NANOFUTUR AUQUELS'INTERESSENT LES FANAS DE L'ELECTRONIQUE

Électronique

- Transistors à effet tunnel à un électron utilisant des nanoparticules comme points quantiques
- Matériaux nanocéramiques conducteurs électroniques
- Électrodes conductrices pour photo-conducteurs et piles solaires
- Matériaux capacitifs pour la RAM



- Mémoires magnétiques
- Isolants magnétiques
- Résistances
- Matériaux supraconducteurs
- Joints toriques magnétiques fluides pour la fermeture des lecteurs de disquette d'ordinateur



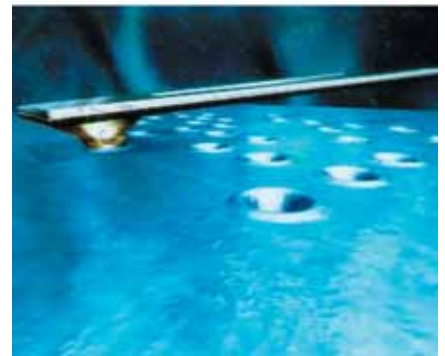
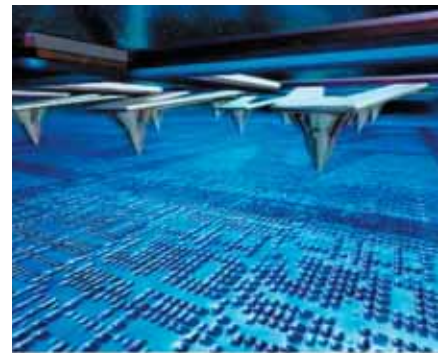
Le point quantique : une boîte à électrons

Les points quantiques

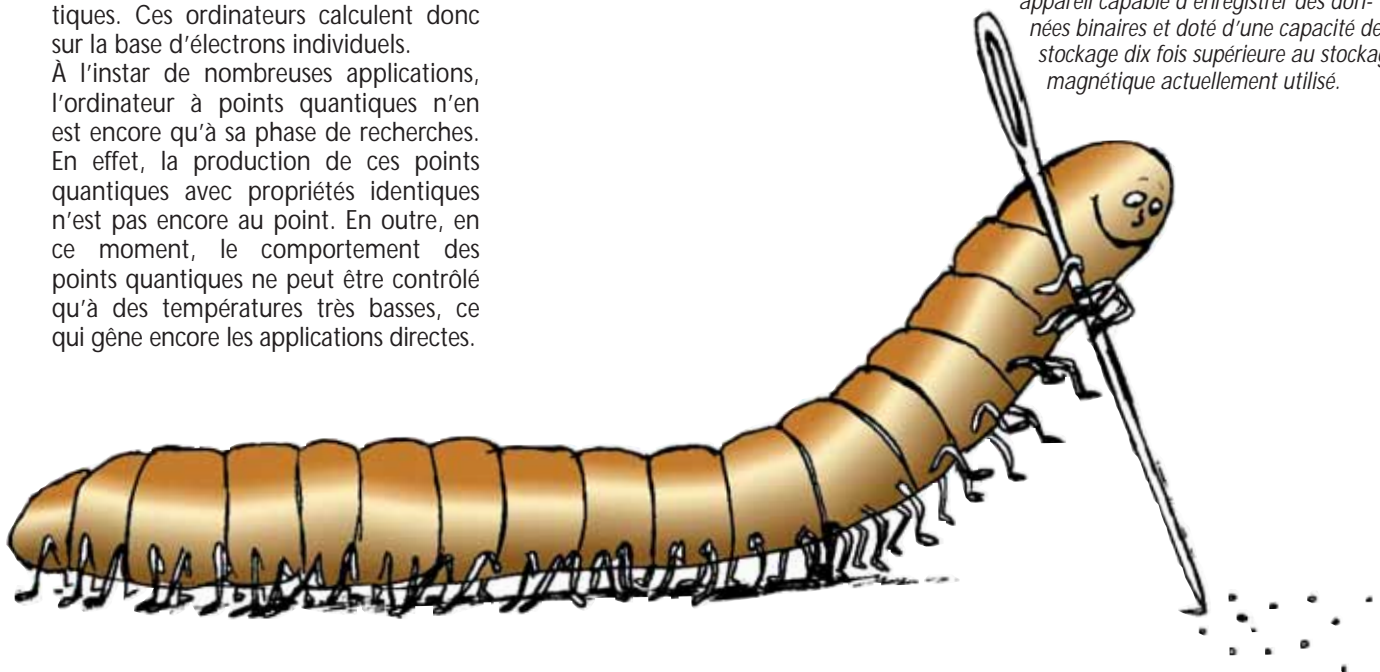
Le point quantique correspond à une zone très petite (un point ou « dot ») dans un matériau semi-conducteur, où il est possible d'appliquer un « petit bassin » d'électrons. Le nombre d'électrons dans un tel point quantique varie d'un électron à quelques milliers alors que les dimensions d'un tel point peuvent être de quelques nanomètres à quelques micromètres. En d'autres termes, le point quantique est un peu comme une petite boîte dans laquelle on peut cacher un électron ou un nombre limité de ceux-ci. Les physiciens espèrent construire un jour des ordinateurs dont le cœur sera constitué de ces points quantiques. Ces ordinateurs calculent donc sur la base d'électrons individuels. À l'instar de nombreuses applications, l'ordinateur à points quantiques n'en est encore qu'à sa phase de recherches. En effet, la production de ces points quantiques avec propriétés identiques n'est pas encore au point. En outre, en ce moment, le comportement des points quantiques ne peut être contrôlé qu'à des températures très basses, ce qui gêne encore les applications directes.

La carte « mille-pattes »

Des chercheurs du laboratoire d'IBM à Zürich travaillent sur un mode de sauvegarde des données qui leur est propre. Au lieu d'enregistrer les données binaires de l'ordinateur magnétiquement, ils utilisent une aiguille fine, comme celle d'un microscope à force atomique (AFM), pour piquer des nanotrous dans une plaque synthétique. Un trou correspond à un « 1 » et l'endroit où aucun trou n'est piqué équivaut à un « 0 ». Cependant, les chercheurs ne s'en tiennent pas à une seule aiguille ; ils ont conçu des appareils comprenant 4 096 aiguilles de ce type. Celles-ci piquent leur code binaire en parallèle dans une plaque synthétique. Par la suite, un lecteur comprenant 4 096 aiguilles peut à nouveau balayer et lire le type de trous. Ce projet porte le nom de « Millipede » ou « mille-pattes ». Les chercheurs prévoient déjà de lancer sur le marché, aux environs de 2005, une toute nouvelle carte mémoire fonctionnant avec la technologie Millipede. La carte est de la taille d'un timbre-poste et présente une capacité de stockage de plusieurs gigaoctets, ce qui est assez pour toute une collection de CD ou même de DVD.



Une aiguille du « millipede » ou mille-pattes perce un trou dans un morceau de plastique (ci-dessous). Un trou correspond au code binaire « 1 » et l'endroit où aucun trou n'est percé équivaut à un « 0 ». En montant plusieurs milliers d'aiguilles minuscules les unes à côté des autres (ci-dessus), nous obtenons un appareil capable d'enregistrer des données binaires et doté d'une capacité de stockage dix fois supérieure au stockage magnétique actuellement utilisé.

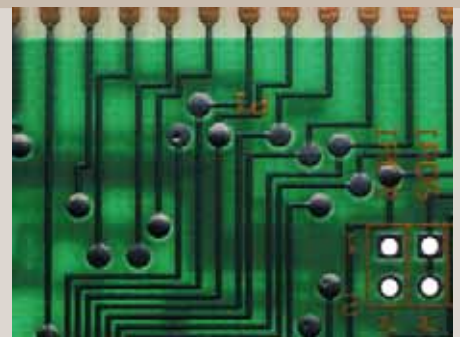


LE NANOFUTUR AUQUELS'INTERESSENT LES FANAS DE L'ELECTRONIQUE

Optoélectronique

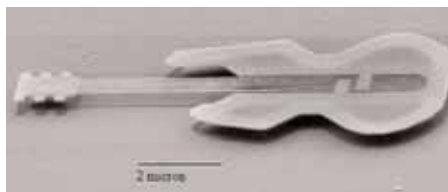
- Nanophosphore pour des écrans plats et des télévisions à haute définition
- Silicium nanocristallin à électroluminescence pour des puces optoélectroniques et de nouveaux types de télévision en couleurs

- Diodes lumineuses efficaces
- Lasers utilisant des nanoparticules comme milieu diffusant actif
- Commutateurs optiques
- Couches conductrices transparentes
- Mémoires optiques tridimensionnelles



V Les nanomachines

À l'heure actuelle, nous ne disposons pas encore de véritables nanomachines mais nous n'en sommes peut-être plus loin. Il est déjà possible de faire tourner une chaîne et des roues dentées à micro-échelle. Il est même possible de jouer de la guitare : cette guitare fait 10 micromètres de long et compte six cordes d'environ 50 nanomètres de large. Les cordes sont effleurées à l'aide de l'aiguille d'un microscope à effet tunnel. Toutefois, les sons produits par les cordes sont trop aigus pour notre oreille. Cette guitare est composée de silicium – matière semi-conductrice également utilisée pour constituer les puces d'ordinateur – et constitue une application ludique d'une nouvelle technique qui fabrique des structures à l'échelle nanométrique en « écrivant » dans la surface d'une matière à l'aide d'un fin faisceau d'électrons. [Insérer la figure « Des mécanos en miniature » et « La plus petite guitare au monde »] Toutefois, il faudra encore des années de recherches pour produire des nanomachines à grande échelle.

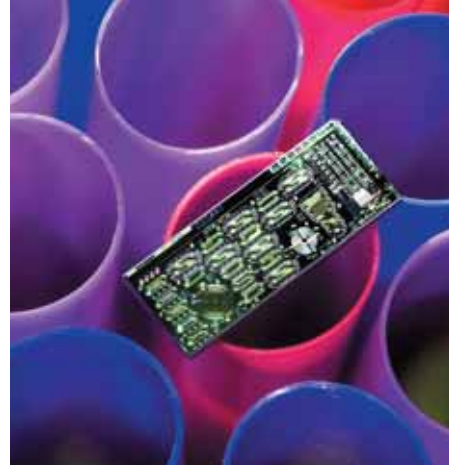


VI La nanomédecine et la biologie

Dans le monde imaginé par Eric Drexler, la nanomédecine apporte de nouveaux outils au monde médical. La chirurgie à l'échelle cellulaire, et même moléculaire, devient possible. Des robots effectueront des réparations à l'intérieur des cellules à l'aide d'un ensemble de bras et de doigts minuscules. Ils entreront dans la cellule, identifieront les parties endommagées, les répareront, quitteront la cellule et ausculteront le « patient cellulaire » suivant. Ces robots vont réparer l'ADN, détruire les cellules cancéreuses, les virus et les produits chimiques toxiques et lutteront même contre le vieillissement. En d'autres termes, la nanotechnologie imaginée par Drexler nous donne la vie éternelle.

Le diagnostic

Ces rêves de Drexler sont peut-être également des illusions mais la nanotechnologie représente quand même un pilier important des soins de santé de demain. Pour commencer, la miniaturisation et l'accélération de nombreux tests biochimiques sont deux points importants. La technologie du laboratoire sur puce (lab-on-a-chip), par exemple, a déjà beaucoup progressé. Il s'agit de petits appareils qui permettent d'effectuer



Un « laboratoire sur puce » sur un brin de paille. Ce petit dispositif est capable d'effectuer une analyse sanguine.

un test biochimique de façon rapide et sensible. Grâce à cela, le médecin réalisera, d'ici peu, un grand nombre d'analyses de sang dans son cabinet, en quelques minutes, pour un coût de quelques euros seulement. En outre, une seule goutte de sang suffit. Actuellement, le médecin doit envoyer un tube complet à un laboratoire qui effectue une analyse onéreuse, prenant beaucoup de temps et nécessitant une main-d'œuvre importante.

Par exemple, le centre de recherche belge IMEC développe des laboratoires sur puce qui vont permettre au médecin généraliste de déterminer en une demi-heure si un patient a le cancer de la prostate. La puce détecte si le sang du patient comprend des protéines « indiquant » que le patient est en train de développer un cancer de la prostate. D'autres capteurs examinent les types de molécules d'ARN qui s'expriment dans une cellule ou vérifient même si un patient présente des erreurs génétiques dans son ADN. Ces puces à ADN sont déjà commercialisées actuellement.

Des médicaments intelligents

En fait, ces laboratoires sur puce et ces puces à ADN appartiennent toujours à la microtechnologie. Certes, il ne s'agit pas de nanomachines mais de nombreux chercheurs sont persuadés que la fusion de la biotechnologie et de la nanoélectronique donnera lieu à de nouvelles applications presque miraculeuses. Pour

LES NANOMATERIAUX D'AUJOURD'HUI ET DE DEMAIN



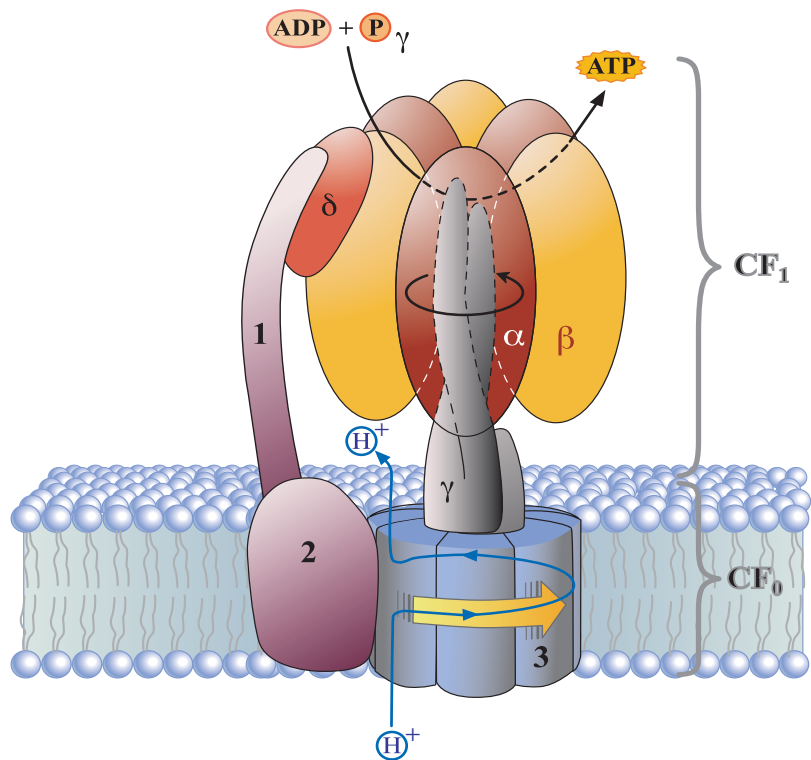
Secteur médical

- Crème solaire
- Implants médicaux avec une longue durée de vie et sans rejet par le corps
- Couches de finition pour applications médicales

ces chercheurs, les microappareils d'aujourd'hui annoncent de véritables nanocapteurs. Ces derniers composent des médicaments intelligents qui circulent dans le corps et délivrent la bonne dose de médicament au bon moment. Prenons l'exemple d'une pilule intelligente pour le diabète pourvue d'un nanocapteur. Ce capteur mesure continuellement la quantité de glucose dans le sang. Lorsque la concentration de glucose est trop élevée, la pilule libère automatiquement une certaine quantité d'insuline. Pour le diabétique, cette solution est beaucoup plus confortable que l'injection journalière d'une dose d'insuline.

Un tel médicament constitue le rêve ultime de toute entreprise pharmaceutique. Cependant, les médicaments intelligents dotés d'un nanocapteur ne sont pas encore pour demain. D'autres médicaments sont plus proches de nous : il s'agit des médicaments emballés dans des nanoparticules ou des microvésicules (gouttelettes entourées d'une couche de graisse). Le corps décompose lentement les particules ou les vésicules, ce qui permet de libérer continuellement une quantité constante de médicament. Certaines de ces particules peuvent rester « actives » pendant des mois. Il est notamment question d'administrer des vaccins de cette façon. Le système immunitaire de notre corps serait stimulé pendant longtemps (des mois ou même des années) par la libération progressive du vaccin. De ce fait, l'administration régulière d'un vaccin (le « rappel ») ne serait plus nécessaire.

Par ailleurs, les chercheurs pensent de plus en plus à l'utilisation de nanomatériaux comme supports pour la thérapie génique et protéique. On enfermerait des morceaux de gène ou des protéines entières dans de petites structures présentant des nanopores. Les biomolécules pourraient s'échapper à travers les pores mais les cellules du système immunitaire (lymphocytes et macrophages), qui détruisent normalement les protéines étrangères, ne toucheraient pas au dépôt de biomolécules thérapeutiques.



L'ATP synthétase fonctionne comme un moteur rotatif qui transforme l'ADP en ATP. Le moteur est actionné par une circulation d'ions d'hydrogène.

La biologie comme source d'inspiration

Naturellement, tout ce qui se passe dans la cellule constitue, en soi, une source d'inspiration inestimable pour le nanotechnologue. À partir de molécules de base très simples, qui ne font que quelques atomes, une cellule assemble des nanostructures très complexes telles que des molécules d'ADN et d'ARN, des protéines, des lipides et des hydrocarbures. En outre, la cellule dispose ces nanostructures de façon si précise qu'elle ne maîtrise pas uniquement sa propre survie mais peut également fabriquer une copie exacte d'elle-même. En d'autres termes, la cellule et ses composants forment le modèle parfait de « l'assembleur ».

Les protéines individuelles sont également des exemples uniques de nanomachines pures. Dans la cellule, les protéines remplissent des fonctions très spécifiques : elles se chargent de la catalyse, du transport et du stockage de l'énergie, du mouvement coordonné, de la protection immunitaire, du support mécanique, de la communication à l'intérieur des cellules et entre celles-ci et de bien d'autres choses encore. Autant

de propriétés que les nanotechnologues veulent donner à leurs nanomachines.

Prenons l'exemple d'un complexe de protéines relativement simple tel que l'ATP synthétase. Cette enzyme convertit une molécule à « faible énergie chimique », l'ADP, en une molécule à haute énergie, l'ATP. [Insérer la figure (nous devons encore en recevoir une nouvelle) – voir le fichier .ppt] L'enzyme agit comme une sorte de moteur moléculaire : la sous-unité gamma de la protéine fonctionne comme un arbre coudé dans les autres sous-unités. Dans le mouvement giratoire, un groupe phosphate est ajouté à l'ADP et l'ATP apparaît. La rotation est mise en marche par une circulation d'ions d'hydrogène ou d'ions sodium.

Les nanotechnologues peuvent tout aussi bien apprendre par la nature comment les cellules font, à l'échelle moléculaire, pour émettre et recevoir des signaux de communication électriques et chimiques, pour absorber la lumière du soleil et la convertir en énergie chimique, pour permettre aux protéines de se chevaucher (ce qui crée un mouvement à macroéchelle), etc. En conclusion, la nature est une source d'inspiration fantastique pour la nanotechnologie.

LES NANOMATERIAUX D'AUJOURD'HUI ET DE DEMAIN

Divers

- Coupairs plus durs et plus puissants
- Pièces légères avec une solidité et une élasticité exceptionnelles pour l'aviation, l'astronautique et la construction
- Matériaux étanches au gaz



- Revêtements ignifuges
- Feuille fine de 20 nm d'épaisseur pour l'emballage des aliments
- Matériaux thermoélectriques
- Filtres-membranes céramiques pour des méthodes de séparation écoénergétiques des produits laitiers et des bières notamment

Épilogue

Tout bien considéré, le défi du XXI^e siècle consistera à poursuivre le développement du nanomonde et relier celui-ci au macromonde dans lequel nous vivons. La recherche fondamentale fait également partie de ce développement. En effet, nous n'obtiendrons de véritables surprises que si nous comprenons et maîtrisons les propriétés fondamentales des nouveaux nanomatériaux et composants. Ce n'est qu'à ce moment-là que les applications de la nanotechnologie entreront à grande échelle dans notre vie quotidienne.

La nano : une grande affaire

Bien que la plupart des applications de la nanotechnologie ne soient pas encore pour aujourd'hui, la nanotechnologie devient progressivement un véritable secteur industriel. L'année dernière, Tim Harper, président de la « European NanoBusiness Association », a dénombré 240 entreprises aux États-Unis qui se consacrent exclusivement à la nanotechnologie. En Europe, on recense 125 entreprises de ce type et en Asie, principalement au Japon, on en dénombre 70. De plus, Tim Harper n'a pas compté les grandes multinationales, telles qu'IBM, NEC, Lucent, Hitachi et Siemens, qui déploient d'importants efforts de recherche dans le domaine de la nanotechnologie. Ces chiffres indiquent en tous points que plusieurs milliers de personnes gagnent déjà leur vie grâce à cette nouvelle technologie. Par ailleurs, Harper estime qu'à travers le monde, environ quatre milliards d'euros ont été consacrés à la recherche dans le domaine de la nanotechnologie en 2002. La « National Nanotechnology Initiative », fondée par Bill Clinton aux États-Unis en 2000, a déboursé une grande partie de cette somme, environ un demi-milliard de dollars. En outre, les États-Unis consacrent également beaucoup d'argent à la nanorecherche en vue d'applications militaires étant donné que les militaires découvrent eux aussi la nanotechnologie.

Les nanobelges

Le nombre d'euros consacrés à la nanotechnologie en Belgique est relativement modeste. Toutefois, les pouvoirs publics stimulent la recherche dans ce domaine au moyen d'initiatives à différents niveaux. Ainsi, dans la partie francophone du pays, la « Direction générale des Technologies, de la Recherche et de l'Énergie » (DGTRE) a consacré 4,4 millions d'euros à la recherche dans le domaine de la nanotechnologie ces trois dernières années. Dès le milieu de l'année dernière, le ministre wallon de l'Économie, des PME, de la Recherche et des Technologies nouvelles, Serge Kubla, a démarré un nouveau programme de recherche exclusivement axé sur la nanotechnologie. Le ministre Kubla a affecté à ce programme un budget de 13,2 millions d'euros répartis sur 4 à 5 ans.

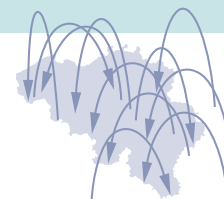
Du côté flamand, le ministre Dirk Van Mechelen, responsable des Finances et du Budget, de l'Innovation, des Médias et de l'Aménagement du Territoire, et la ministre Marleen Vanderpoorten, chargée de l'Enseignement et de la Formation, ont également songé à démarrer un programme de recherche équivalent pour la nanotechnologie. Cependant, le plan est jusqu'à présent resté dans le tiroir car ils ont développé simultanément un canal de financement de grande envergure pour la « recherche fondamentale stratégique » (« Strategisch basisonderzoek »). Une grande plate-forme consacrée à la nanotechnologie peut s'y insérer.

Au niveau fédéral, les SSTC (Services fédéraux des affaires scientifiques, techniques et culturelles) soutiennent la recherche dans le domaine de la nanotechnologie (voir l'avant-propos). Via le financement du programme « Pôles d'attraction interuniversitaires (PAI) », deux grands réseaux de recherche ont été mis sur pied en 2002 sous la coordination des professeurs Bruynseraede et De Schryver de Louvain. Ces réseaux réunissent la fine fleur des nanotechnologues universitaires belges. Les principales activités de ces deux réseaux se situent notamment dans les domaines des points quantiques semi-conducteurs, des agrégats métalliques, des hétérostructures, des nano-systèmes supraconducteurs et magnétiques, des nanostructures de carbone et de la chimie supramoléculaire.

Le physicien Yvan Bruynseraede, père de la nanotechnologie belge, reste toutefois très formel : « En Belgique, la nanoscience est encore à l'état embryonnaire. Si nous voulons occuper une position clé dans cette technologie du futur, il faut agir. Les initiatives actuelles vont uniquement permettre de jeter les bases d'un réseau de la nanoscience. »



FEDERALE DIENSTEN VOOR WETENSCHAPPELIJKE,
TECHNISCHE EN CULTURELE AANGELEGENHEDEN
SERVICES FÉDÉRAUX DES AFFAIRES SCIENTIFIQUES,
TECHNIQUES ET CULTURELLES
<http://www.belspo.be>



Pour en savoir plus :

"Nanotech, the science of the small gets down to business", *Scientific American*, Édition spéciale, septembre 2001.
"National Nanotech Initiative", <http://www.nano.gov/>

"The Institute of Nanotechnology", <http://www.nano.org.uk/>
"Nanotechnologie", Stichting Toekomstbeeld der Techniek, <http://www.stt.nl/stt2/projecten/nano/nano.htm>

- Revêtements autolubrifiants
- Surfaces faciles à nettoyer telles que des revêtements antigraffiti pour les trains, les murs de verre et de briques
- Sols synthétiques renforcés
- Gilets pare-balles



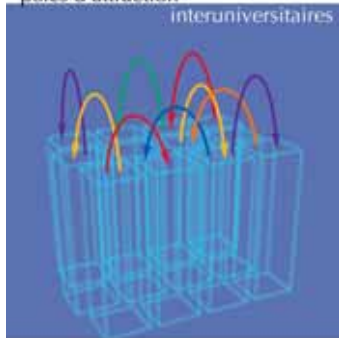


FEDERALE DIENSTEN VOOR WETENSCHAPPELIJKE,
TECHNISCHE EN CULTURELE AANGELEGENHEDEN
SERVICES FEDERAUX DES AFFAIRES SCIENTIFIQUES,
TECHNIQUES ET CULTURELLES

<http://www.belspo.be>

pôles d'attraction

interuniversitaires



Pôles d'attraction interuniversitaires

Le programme Pôles d'attraction interuniversitaires (PAI) est constitué de réseaux d'excellence en recherche fondamentale. Il a pour but de promouvoir une collaboration durable et structurée entre des équipes de recherche de pointe appartenant aux universités des deux communautés. Le rôle des PAI est de conforter des équipes qui sont d'ores et déjà reconnues dans la communauté scientifique internationale, mais il est aussi de permettre à des jeunes équipes de profiter de l'environnement d'excellence constitué par un réseau et son rayonnement international.

La première phase du programme PAI a été lancée en 1987. La cinquième phase a débuté le 1er janvier 2002 et s'achèvera le 31 décembre 2006. Celle-ci comprend 36 réseaux et implique 262 équipes. Elle couvre une large gamme de domaines de recherche comme par exemple: les nouveaux matériaux, la photonique, la robotique, les traitements contre le cancer ou le diabète, l'ingénierie des protéines, la génétique humaine, l'astrophysique, les droits des enfants, la macro-économie, l'histoire médiévale, l'archéologie... Tout réseau PAI est constitué d'au moins trois équipes d'institutions différentes (universités ou établissements scientifiques fédéraux). Chaque réseau comporte au moins une équipe appartenant à chacune des deux grandes communautés linguistiques du pays.

Le programme PAI-V bénéficie d'un budget d'environ 112.000.000 EUR pour les 5 ans. Environ 2,5% de cette enveloppe ont été réservés pour la participation d'équipes d'une université ou d'une institution publique de recherche non belge appartenant à l'Union européenne. L'ouverture du programme PAI à une collaboration avec des institutions d'autres pays européens est une avancée dans l'intégration du potentiel scientifique belge à l'Espace européen de la recherche.

Non seulement par l'engagement financier important, mais aussi par l'accent sur la collaboration inter-universitaire, les PAI sont un des incitants les plus significatifs à la recherche fondamentale en Belgique.

Africa TERVUREN

KONINKLIJK MUSEUM
VOOR MIDDEN-AFRIKA
MUSÉE ROYAL
DE L'AFRIQUE CENTRALE



Mama Casset 1955. Dakar, Senegal

Après un siècle d'existence, le Musée royal de l'Afrique centrale est devenu l'un des musées d'Afrique les plus prestigieux au niveau mondial. Il n'est dès lors pas étonnant que des milliers d'intéressés poussent chaque année la porte de ce somptueux bâtiment, implanté en bordure de la forêt de Soignes.

L'Afrique par elle-même Un siècle de photographie africaine

Une exposition itinérante fait étape au Musée royal de l'Afrique centrale. Les photographies exposées révèlent la vision des photographes africains sur leur continent, depuis le début du XXe siècle jusqu'à nos jours.

Du 7 mai au 28 septembre 2003

Chéri Samba

L'artiste congolais Chéri Samba a créé une toile pour le MRAC. Une petite exposition d'une quinzaine d'œuvres de l'artiste accompagnera la présentation officielle de la toile en mai 2003.

Du 7 mai au 28 septembre 2003

Week-end événement Africa<>Tervuren

Première édition d'un événement culturel annuel, Africa<>Tervuren, qui se propose comme un forum sur l'Afrique d'aujourd'hui. Le projet est conçu et réalisé en collaboration avec la communauté africaine de Belgique. Ateliers, cirque, débats, théâtre, films, musique et danse insuffleront une nouvelle vie aux collections du Musée.

Les 10 et 11 mai 2003



circus baobab

Dossier en préparation :



Eau



28

"MENS" en rétrospective

- 1 "L'emballage est-il superflu?"
- 2 "Le chat et le chien dans l'environnement"
- 3 "Soyez bons pour les animaux"
- 4 "Le chlore: comment y voir clair?" (épuisé)
- 5 "Faut-il encore du fumier?"
- 6 "Sources d'énergie"
- 7 "La collecte des déchets: un art"
- 8 "L'être humain et la toxicomanie"
- 9 "Apprenons à recycler"
- 10 "La Chimie: source de la vie"
- 11 "La viande, un problème?" (épuisé)
- 12 "Mieux vaut prévenir que guérir"
- 13 "Biocides, une malédiction ou une bénédiction?"
- 14 "Manger et bouger pour rester en pleine forme"
- 15 "Pseudo-hormones: la fertilité en danger"
- 16 "Développement durable: de la parole aux actes"
- 17 "La montée en puissance de l'allergie"
- 18 "Les femmes et la science"
- 19 "Viande labellisée, viande sûre!?"
- 20 "Le recyclage des plastiques"
- 21 "La sécurité alimentaire, une histoire complexe."
- 22 "Le climat dans l'embarras"
- 23 "Au-delà des limites de la VUE"
- 24 "Biodiversité, l'homme fauteur de troubles"
- 25 "La biomasse: L'or vert du 21ème siècle"
- 26 "La nourriture des dieux: le chocolat"

