

# **ETAT DE L'ART DES NANOSCIENCES**

## **AVANCEES ET RISQUES**

**PHILIPPE HOUDY  
EVE / PSEVS / STCS**

**Professeur  
Université d'Evry Val d'Essonne  
Pôle Scientifique d'Evry Val de Seine  
PRES IDFS Sciences, Techniques, Cultures, Sociétés**

**PHILIPPE.HOUDY@UNIV-EVRY.FR**

# AVANCEES DES NANOSCIENCES

- NANOPHYSIQUE
- NANOCHIMIE
- NANOBIOLOGIE
  
- DERNIERES AVANCEES 2007

# NANOPHYSIQUE

- **CROISSANCE DE NANO OBJETS  
SUR DES SURFACES PRE-STRUCTUREES**

Margrit Hanbrucken CRMC2 Marseille

- **TECHNIQUES CHAMPS PROCHES  
STM, AFM, SNOM, IRSNOM**

Didier Stievenard IEMN Lille  
Christian Frétigny ESPCI Paris  
Claude Boccara ESPCI Paris

- **AGREGATS**

Alain Perez LPMCN Lyon

- **FULLERENES, NANOTUBES, NANOFILS**

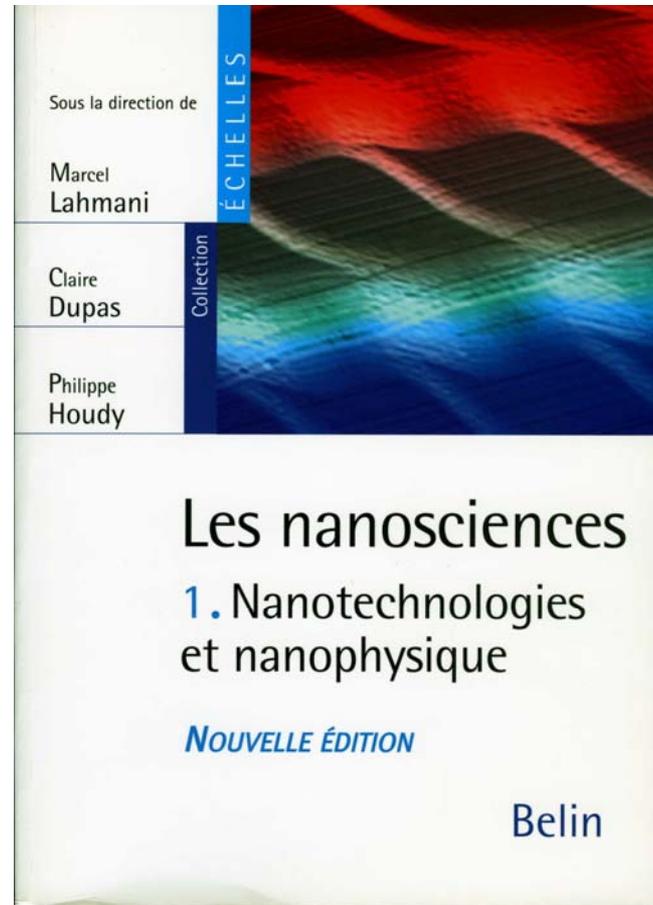
Jean-Philippe Bourgoin LEM CEA Saclay  
Annick Loiseau ONERA Châtenay  
Jean-François Nirengarten LCC Toulouse  
Jean-Claude Labrune CREST/FEMTO-ST Besançon

- **ELECTRONIQUES ULTIME, ALTERNATIVE,  
MOLECULAIRE**

Sylvie Gadin-Retailleau IEF Orsay  
Jean-Noël Patillon Motorola Paris  
Jean-Philippe Bourgoin LEM CEA Saclay

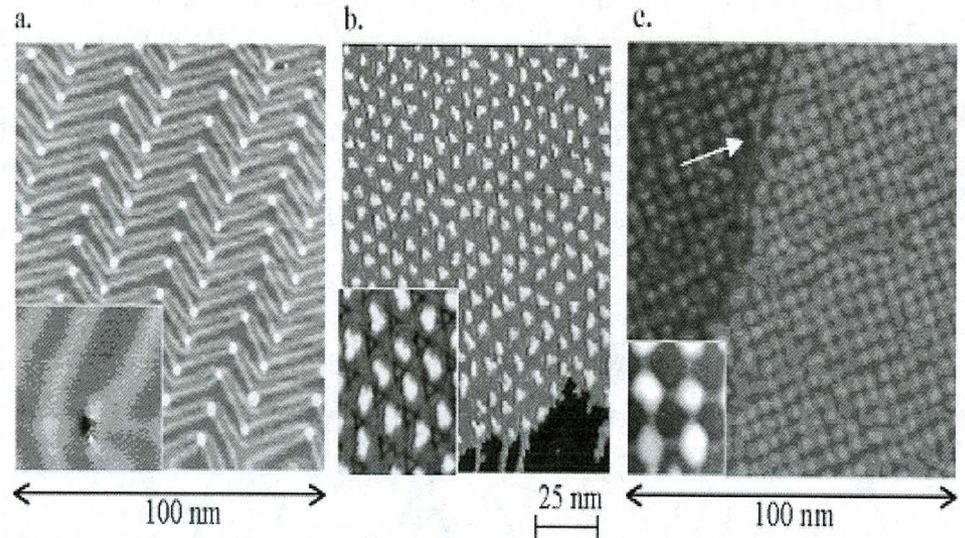
- **NANOMAGNETISME, ELECTRONIQUE DE SPIN**

Claude Chappert IEF Orsay



# CROISSANCE DE NANO OBJETS SUR DES SURFACES PRÉ-STRUCTURÉES

D'autres systèmes permettent également de répliquer la périodicité du substrat lors de la croissance. Sur la surface de platine recouverte d'argent [30], c'est le phénomène de diffusion des atomes qui est modifié par rapport à une surface homogène car les lignes de fautes d'empilement agissent comme des barrières de potentiel pour la diffusion des atomes (voir la figure suivante). En dessous d'une certaine température (environ 110 K), les atomes d'argent sont piégés à l'intérieur d'une cellule triangulaire et forment un agrégat au centre de celle-ci. Les atomes déposés sur ce substrat forment ainsi un réseau hexagonal d'îlots (cf. FIG. 2.6.b).

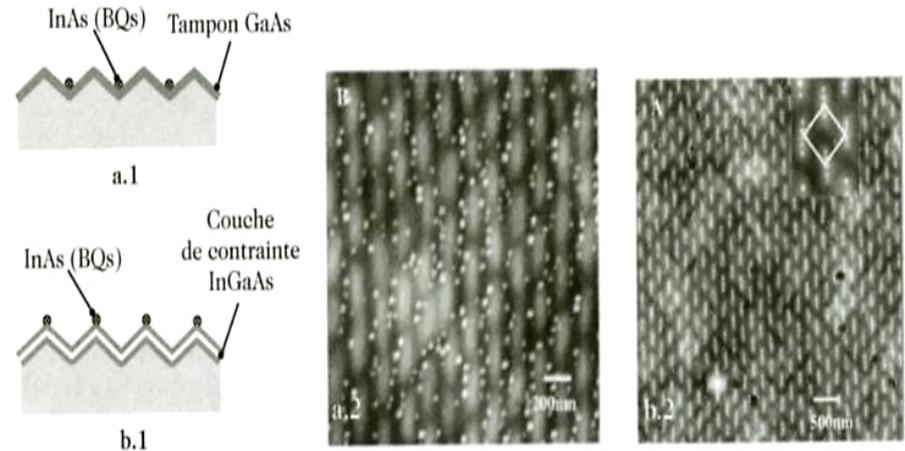


**Figure 2.6.** (a) Dépôt de cobalt submonocouche sur la surface d'or (111), les îlots de cobalt en blanc s'organisent en rangées parallèles. L'encadré montre la nucléation d'un germe de cobalt (en noir) sur un site préférentiel par échange des atomes de cobalt avec les atomes d'or [31]. (b) Croissance d'îlots d'argents sur la surface de platine couverte d'une bicouche d'argent, l'encadré montre que les îlots sont positionnés au centre des zones délimitées par les fautes d'empilement plus sombres (avec l'autorisation de H. Brune). (c) Dépôt d'or sur la surface de cuivre Cu(100) recouverte d'azote chimisorbé, l'encadré fait un zoom sur quatre îlots d'or, la flèche montre les défauts en bord de marche [32].

# CROISSANCE DE NANO OBJETS SUR DES SURFACES PRÉ-STRUCTURÉES (2)

Dans ce paragraphe, nous décrivons une méthode de structuration de surface qui utilise à la fois la morphologie de surface et l'influence des contraintes élastiques locales. En sélectionnant les matériaux épitaxiés, il est possible de développer une ingénierie des contraintes élastiques.

Cette méthode est illustrée par le système InAs / GaAs ( $a_{\text{InAs}} = 6,058 \text{ \AA}$ ;  $a_{\text{GaAs}} = 5,653 \text{ \AA}$ ) qui présente une croissance de type Stranski-Krastanov. La structuration en « dents de scie » du substrat de GaAs, représentée sur la figure suivante, est obtenue par des techniques d'interférométrie optique et de gravure. La croissance cohérente (c'est-à-dire monocristalline et sans défaut) d'îlots InAs sur la surface de GaAs standard (cas a de la figure 2.8) a lieu au fond des parties concaves. Ce positionnement des boîtes tend à indiquer une prédominance des effets de courbure, si l'on considère le potentiel chimique décrit dans les paragraphes précédents.



**Figure 2.8. a.** Dépôt de boîtes quantiques d'InAs sur une surface gravée de GaAs (001). (1) Vue de face montrant le motif. La couche tampon de GaAs est déposée sur la surface gravée initiale pour améliorer les premiers stades de croissance des boîtes d'InAs. (2) Image de microscopie à force atomique de boîtes quantiques déposées sur cette surface montrant que les boîtes sont disposées d'une façon désordonnée au fond des morphologies concaves [33].  
**b.** Dépôt de boîtes quantiques d'InAs sur une surface gravée de GaAs (001) sur laquelle on a préalablement déposé une couche intermédiaire contrainte en compression d'InGaAs. (1) Vue de face montrant le motif. Deux couches tampon de GaAs sont déposées pour améliorer les propriétés structurales. (2) Image de microscopie à force atomique. Les boîtes d'InAs sont disposées d'une façon ordonnée au sommet des morphologies convexes [33].

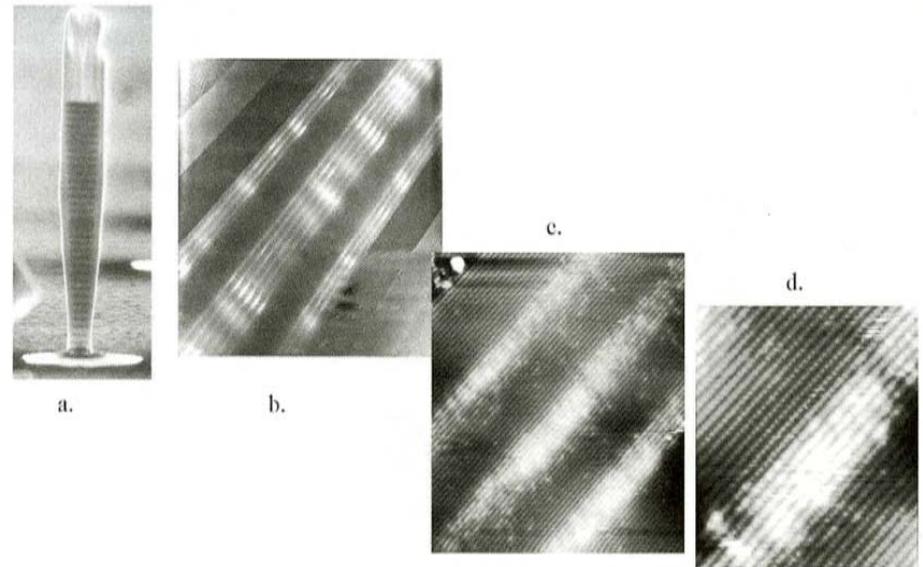
# TECHNIQUES CHAMPS PROCHES

## STM, AFM, SNOM, IRSNOM

L'échantillon est observé grâce au STM sur la face clivée (110) parallèle à la direction de croissance [001]. Il contient 12 plans de BQs répartis en trois groupes de trois, six et trois plans respectivement (FIG. 3.5b). La distance entre les plans est de 13 nm, et les groupes de plans sont séparés par une couche de 70 nm de GaAs. Chaque plan de BQs est obtenu en déposant 0,55 nm d'InAs (1,8 monocouche) en une seconde à une température 520 °C. Immédiatement après le dépôt, le plan de BQs est enterré par une couche de GaAs. Afin de repérer facilement la structure, des couches successives de GaAs et AlAs sont utilisées comme marqueurs de part et d'autre des plans de BQs. Les FIG. 5c et 5d montrent les BQs à la résolution

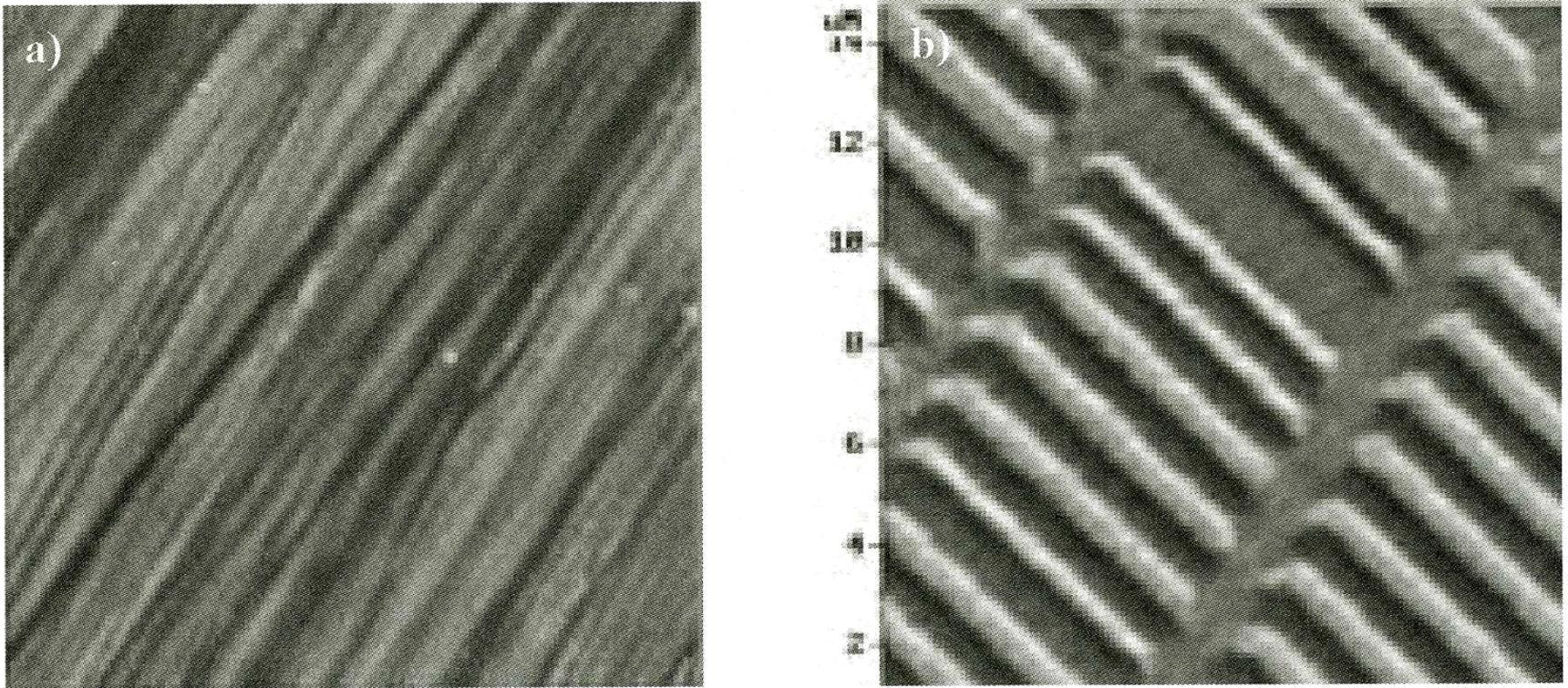
atomique. On peut ainsi étudier la taille de la BQ (largeur de 15 à 30 nm, hauteur de 3 à 6 nm) et ses rugosités d'interface. L'apparence brillante des BQs correspond ici à un bombement de la surface dû à sa relaxation suite au clivage.

atomique. On peut ainsi étudier la taille de la BQ (largeur de 15 à 30 nm, hauteur de 3 à 6 nm) et ses rugosités d'interface. L'apparence brillante des BQs correspond ici à un bombement de la surface dû à sa relaxation suite au clivage.



**Figure 3.5.** Images STM de plans de boîtes quantiques InAs dans GaAs.

# TECHNIQUES CHAMPS PROCHES STM, AFM, SNOM, IRSNOM (2)

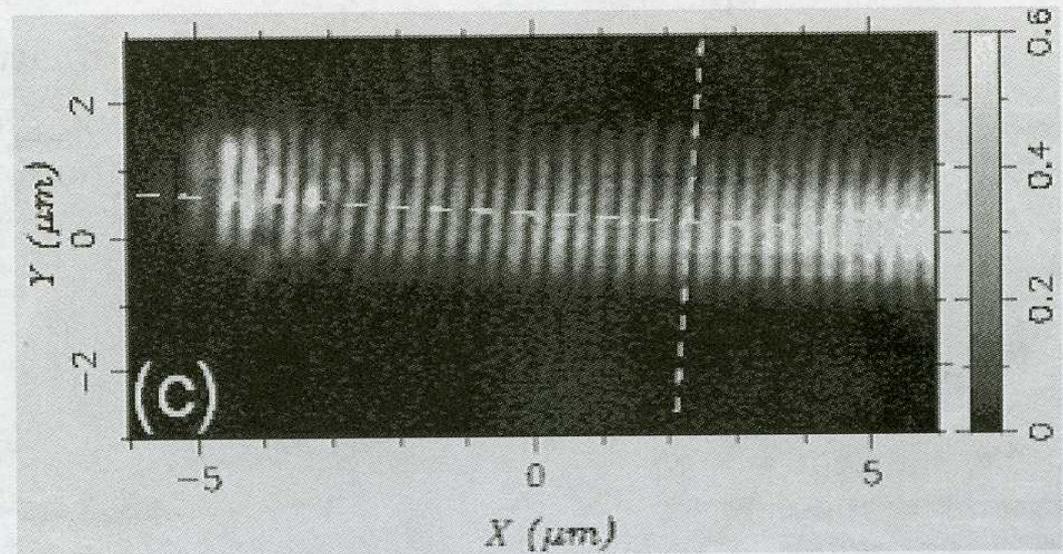


**Figure 4.16.** Images  $14 \times 14 \mu\text{m}^2$  d'un disque dur acquises simultanément. a) : topographie, b) : image magnétique obtenue en mesurant le décalage en phase de l'oscillation, quand la pointe est à une hauteur moyenne de 50 nm au-dessus de la surface. (<http://www.ntmdt.ru/applicationnotes/MFM>)

# TECHNIQUES CHAMPS PROCHES

## STM, AFM, SNOM, IRSNOM (3)

Plus récemment on a vu apparaître de nouvelles structures guidant la lumière à base de plots métalliques de taille très largement inférieure à la longueur d'onde (guides plasmoniques). Le PSTM, qui par nature perturbe peu la propagation, devrait s'imposer comme un outil de choix pour le contrôle de la distribution des champs dans ces guides. La figure 5.4 illustre un effet de guidage sondé par le PSTM [12].



**Figure 5.4.** Image obtenue par PSTM d'un guide ( $2,5 \mu\text{m}$  de large) excité par un plasmon de surface [12].

# TECHNIQUES CHAMPS PROCHES

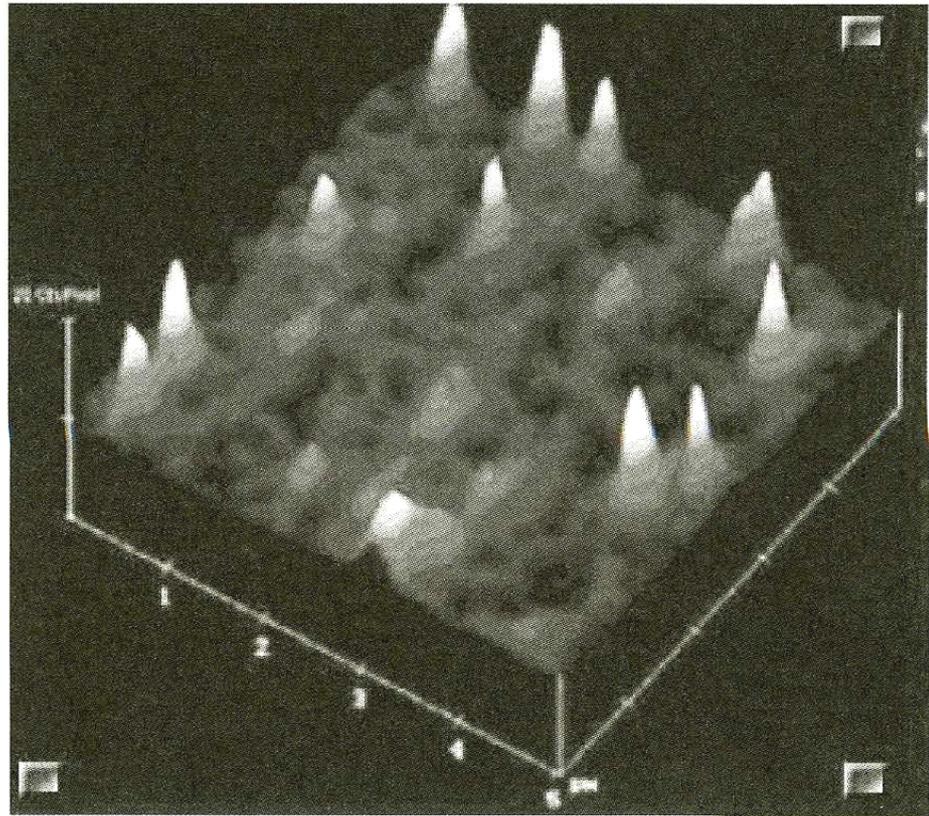
## STM, AFM, SNOM, IRSNOM (4)

APERTURELESS SNOM, PSTM etc., les exemples sont très nombreux et les champs d'application de plus en plus vastes.

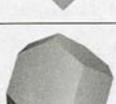
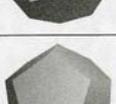
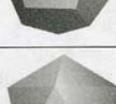
Même si nous avons cherché à quantifier certains des phénomènes que nous avons couverts nous sommes restés assez qualitatifs en ce qui concerne la description des champs.

La seconde partie de ce chapitre palliera ces limites en fournissant les outils nécessaires à une bonne maîtrise des concepts de base du champ proche optique.

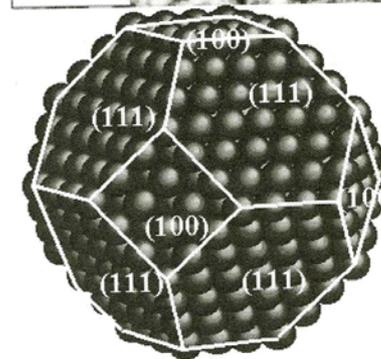
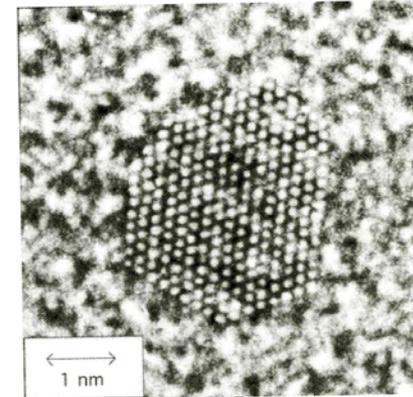
**Figure 5.14.** Image de la fluorescence de molécules uniques par SNOM à ouverture. La taille du champ,  $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$ , permet d'estimer la résolution de ce microscope ( $\sim 50 \text{ nm}$ ) [11].



# AGRÉGATS

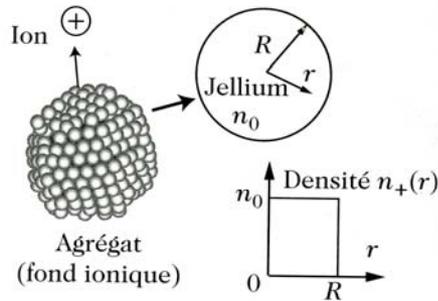
Polyèdre	Forme	Symétrie	Critère de compacité	Type de face
tétraèdre			1.351	(111)
cube		m 3 m	1.083	(100)
octaèdre		m 3 m	1.073	(111)
octaèdre tronqué		m 3 m	1.020	(111) (100)
dodécaèdre		5 3 m	1.015	non compatible
icosaèdre			1.011	non compatible

**Figure 7.2.** Polyèdres réguliers et cubo octaèdre à faces hexagonales. Le groupe de symétrie et la compacité sont indiquées. le second moment qui caractérise la compacité est normalisée par rapport à la sphère. Un second moment proche de 1 indique un polyèdre compact. Les formules utilisées pour calculer le second moment proviennent du livre de J.H.Conway et N.J.A.Sloane « Sphere Packings, Lattices and Groups » A series of Comprehensive Studies in Mathematics Springer Verlag (1991) page 450.

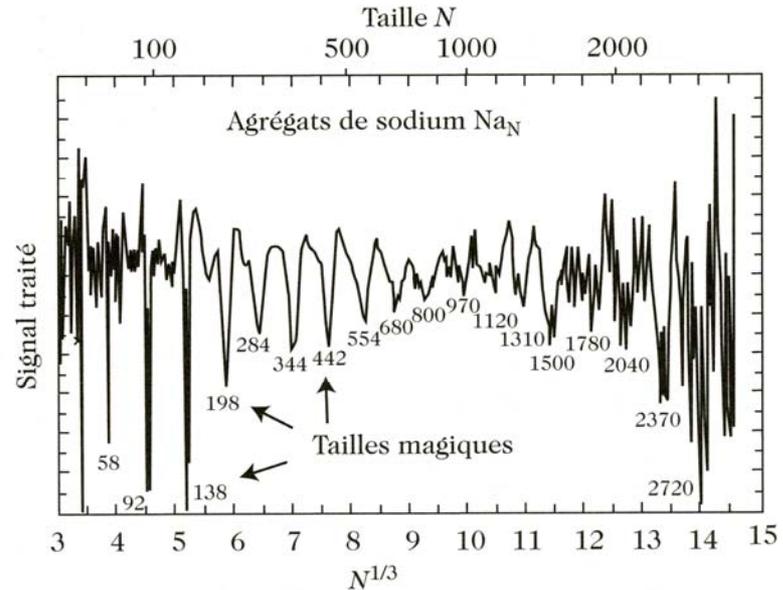


**Figure 7.1.** Image de microscopie électronique à haute résolution d'un cubo octaèdre à **faces hexagonales** d'un agrégat de cobalt comportant environ 1 000 atomes et représentation de ce polyèdre (en dessous). Le cliché de microscopie provient de la publication de Jamet et collaborateurs dans Physical Review letters, volume 86, page 4676 (2001).

# AGRÉGATS (2)

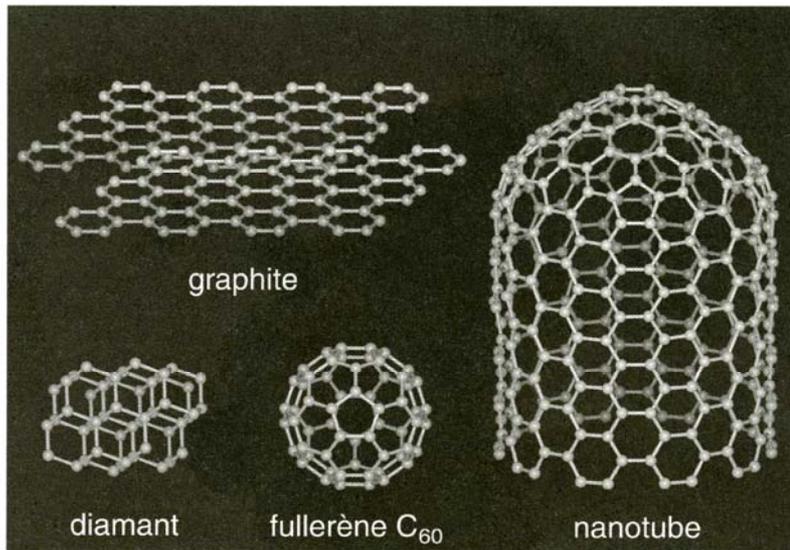


**Figure 7.13. Modèle du jellium (gelée).** L'agrégat métallique  $M_N$  est assimilable à un empilement d'ions positifs ( $N$  ions), de forme globalement sphérique, et d'un gaz d'électrons de conduction délocalisés ( $N_e$  électrons). La prise en compte de la structure ionique discrète n'est pas possible dans les calculs, excepté pour les très petits agrégats. Le modèle du jellium consiste à remplacer la structure ionique granulaire par une distribution de charge positive  $n_+(r)$  homogène de forme sphérique (densité de charge  $n_0$  pour  $r < R$ ).  $n_0 = Q/(4\pi R^3/3)$  où  $R$  est le rayon de la sphère et  $Q$  la charge positive totale.  $Q = Nwq = N_e q$  où  $w$  est la valence de l'élément ( $w$  : nombre d'électrons de conduction fourni par chaque atome;  $w=1$  pour les alcalins,  $w=3$  pour l'aluminium, le gallium, etc...).

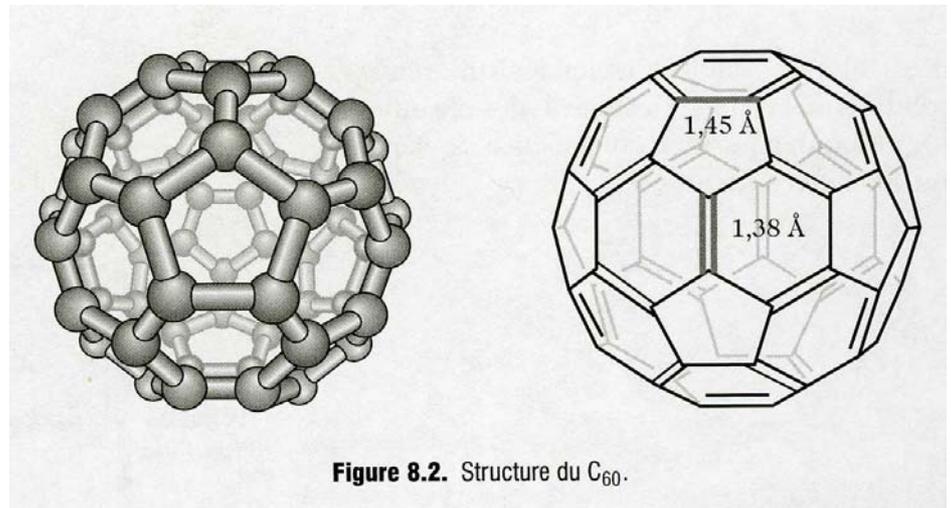


**Figure 7.19.** Signal obtenu après traitement numérique d'un spectre de masse d'agrégats de sodium, pour tenir compte des effets de température et de taille, révélant la structure en **supercouches électroniques** (Référence : J. Pedersen et col., Nature, Volume 353, page 733, année 1991). Les tailles magiques sont les minima du spectre. L'amplitude des effets de couches passe par un minimum aux alentours de  $N = 1000$  (cette zone est appelée nœud de la structure en supercouches électroniques). Un décalage égal à  $\Delta N^{1/3} \approx 0,3$  dans la séquence périodique des tailles magiques successives est également observé au nœud du battement.

# FULLERÈNES, NANOTUBES, NANOFILS

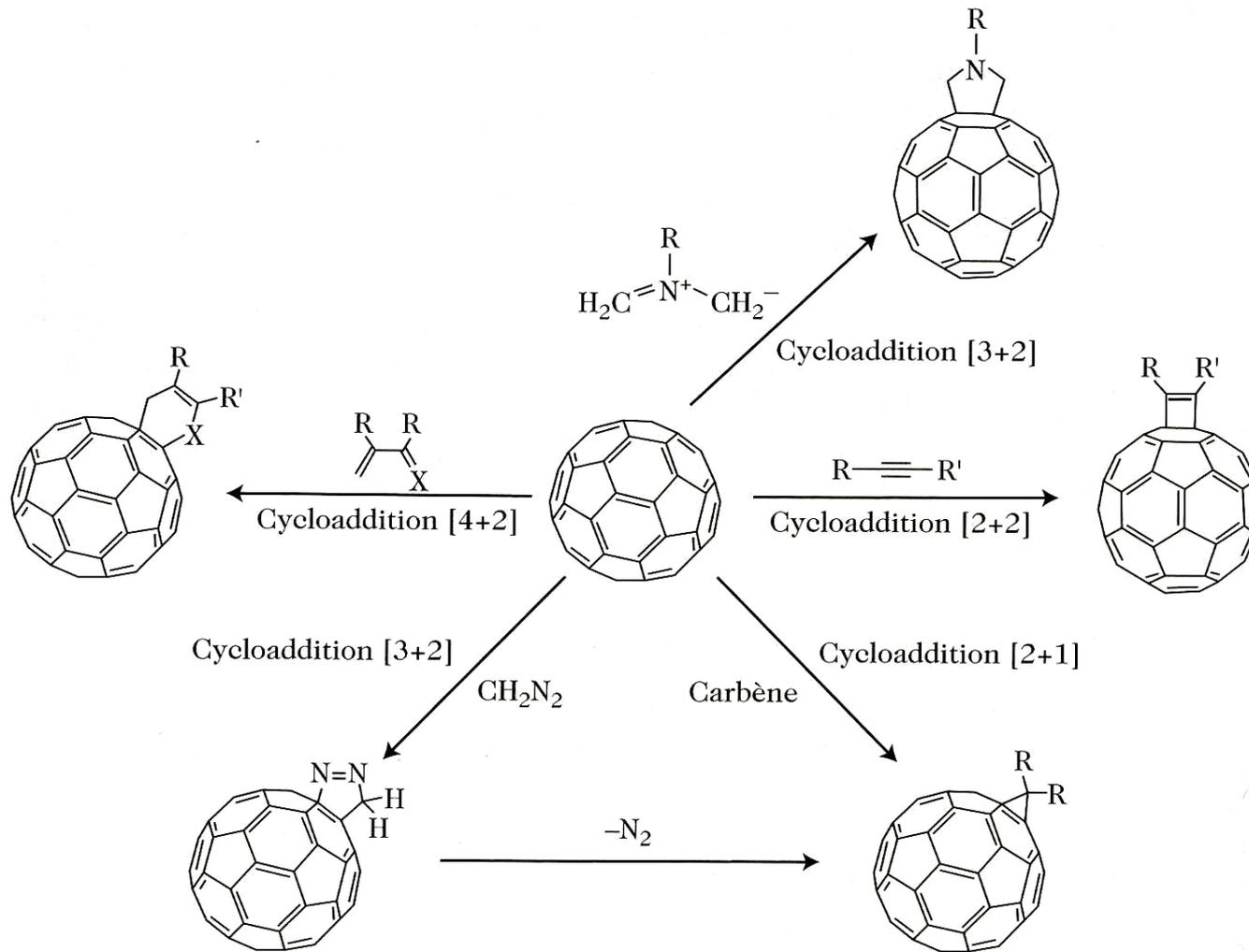


**Figure 8.1.** Structures du graphite, du diamant, de la molécule C<sub>60</sub> et d'un nanotube de carbone. Les atomes de carbone sont figurés par des boules grises et les traits indiquent les liaisons chimiques entre atomes voisins (Adapté à partir de la référence [4]).



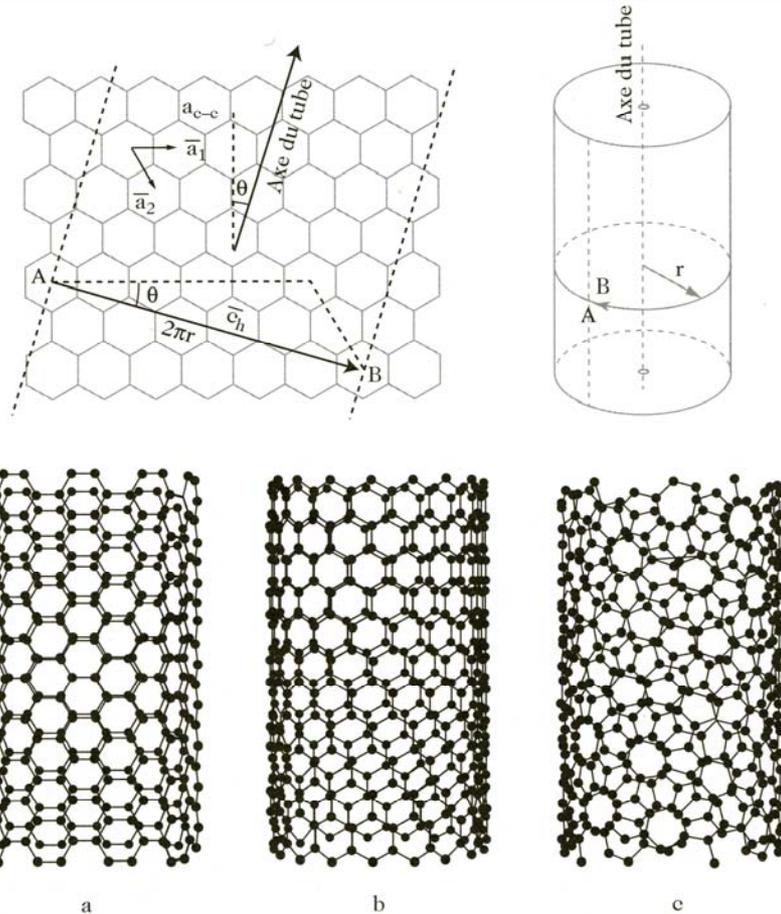
**Figure 8.2.** Structure du C<sub>60</sub>.

# FULLERÈNES, NANOTUBES, NANOFILS (2)

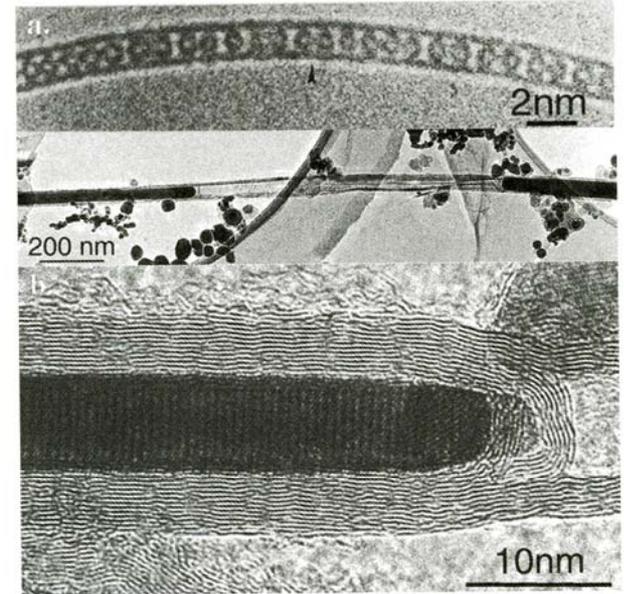


**Figure 8.9.** Différentes réactions de cycloaddition impliquant le  $C_{60}$ .

# FULLERÈNES, NANOTUBES, NANOFILS (3)

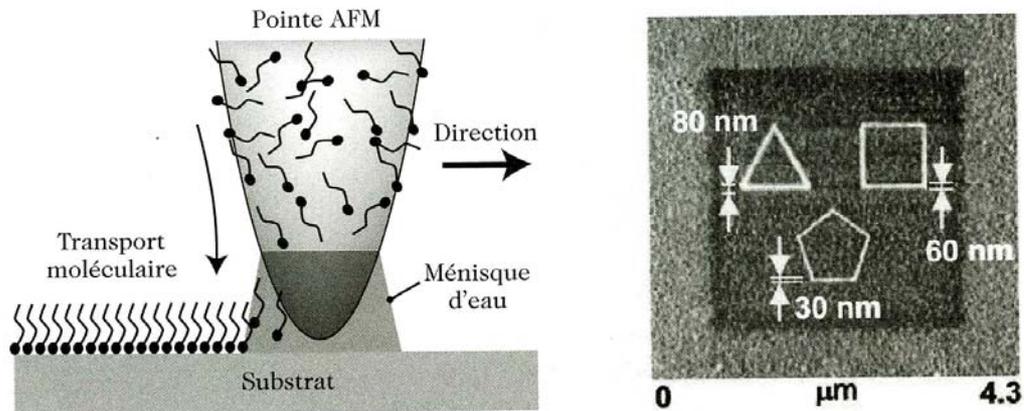


**Figure 8.10.** Construction d'un nanotube à partir de l'enroulement d'une feuille de graphène. Les tubes **a**, **b** et **c** correspondent à différents angles d'enroulement,  $\theta$ , et définissent respectivement des configurations chaise ( $\theta = 30^\circ$ ), zigzag ( $\theta = 0^\circ$ ) et chirale ( $\theta \neq 0^\circ, 30^\circ$ ).

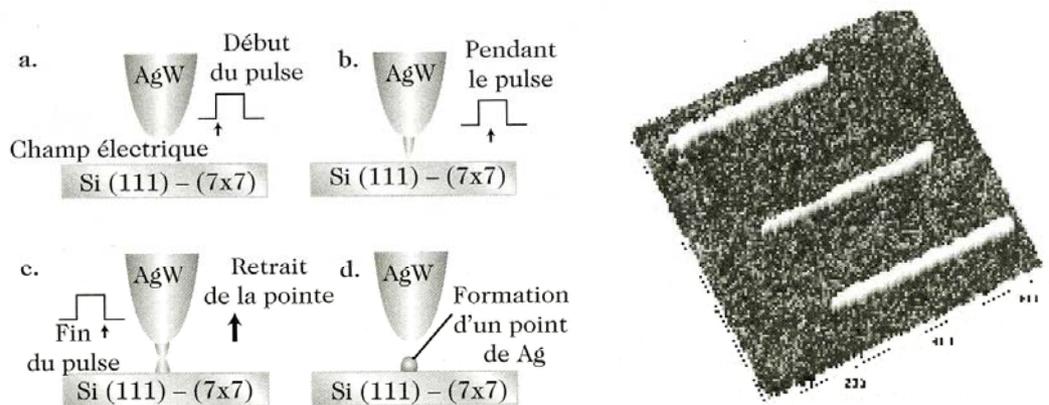


**Figure 8.28.** Micrographies en TEM de tubes remplis : **a.** nanotube monofeuillet rempli de molécules  $C_{60}$  (adapté de [39]) : le tube a été ouvert par oxydation et exposé à  $400^\circ C$  à un gaz de molécules  $C_{60}$  qui ont pénétré dans le tubes sous l'effet de forces capillaires. **b.** tube multifeuillet rempli par des cristaux de sulfure de chrome dont un agrandissement est visible en c) (clichés de l'auteur) : le tube et son remplissage ont été obtenus par synthèse directe par la méthode de l'arc électrique en utilisant une anode à base de C, S et Cr [40].

# FULLERÈNES, NANOTUBES, NANOFILS (4)

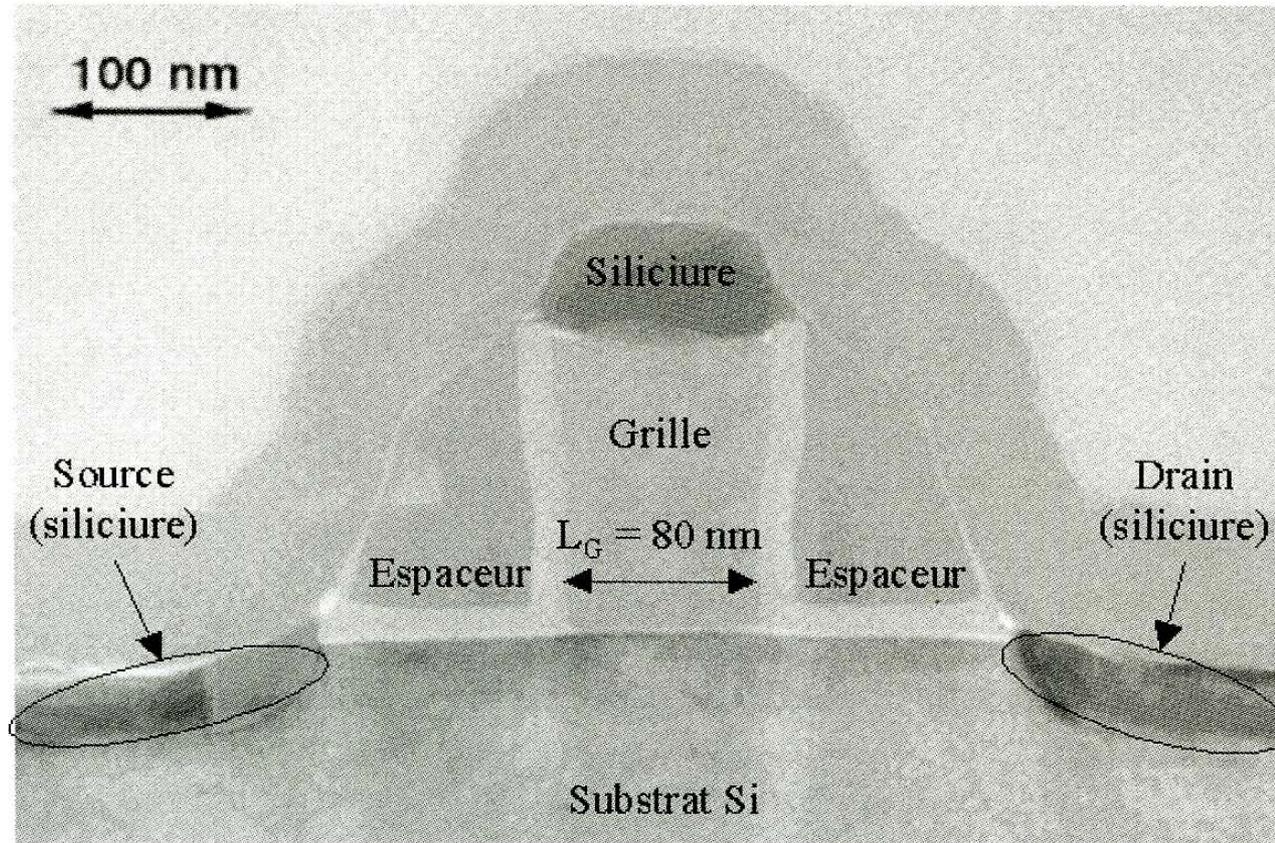


**Figure 9.2.** À gauche) Transfert de thiols sur la surface ; à droite) Image AFM de nanofils de thiols (d'après [13])



**Figure 9.3.** À gauche) Les différentes étapes du transfert de matière entre la pointe et l'échantillon - à droite) Image STM de nanofils de platine réalisés par émission de champ en STM - d'après Houel et al. [15]

# ELECTRONIQUES ULTIME, ALTERNATIVE, MOLÉCULAIRE



**Figure 11.17.** Vue en microscopie électronique à transmission d'un transistor MOS de 80 nm de longueur de grille (d'après [4]). Les différents types de dopage ne peuvent pas être distingués sur une telle image.

# ELECTRONIQUES

## ULTIME, ALTERNATIVE, MOLÉCULAIRE(2)

### 2.2. Transport par blocage de Coulomb

#### 2.2.1. Effet tunnel et jonction tunnel

L'effet tunnel est un phénomène prédit par la mécanique quantique qui attribue aux particules (et en particulier aux électrons) une probabilité non nulle de traverser une barrière de potentiel avec un comportement décrit par une fonction d'onde obéissant à l'équation de Schrödinger (voir chapitre 3).

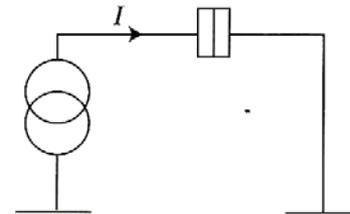
Il est donc possible de traverser une barrière de potentiel même avec une énergie inférieure à la hauteur de cette barrière. La transparence de celle-ci peut être calculée à partir de l'équation de Schrödinger et est caractérisée par son coefficient de transmission  $T$  exprimé par :

$$T = \frac{(2k\kappa)^2}{(k^2 + \kappa^2)^2 \sinh^2(2a\kappa) + (2k\kappa)^2} \quad (12.6)$$

où  $k = \sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}}$ ,  $\kappa = \sqrt{\frac{2m(V_0 - E)}{\hbar^2}}$  et  $2a$  représente la largeur de la barrière de potentiel.

L'introduction d'une barrière de potentiel dont la forme géométrique permet le passage d'un électron par effet tunnel entre deux conducteurs constitue l'élément de base de toute l'électronique à un électron. Un tel ensemble est usuellement appelé **jonction tunnel**.

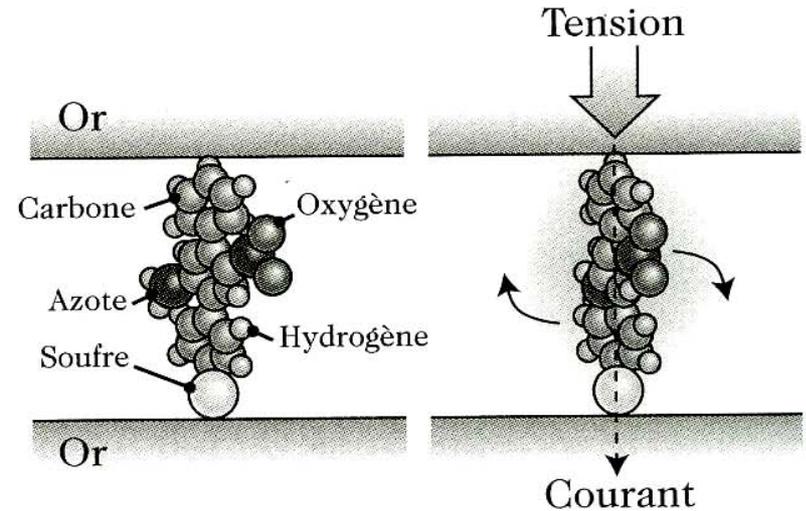
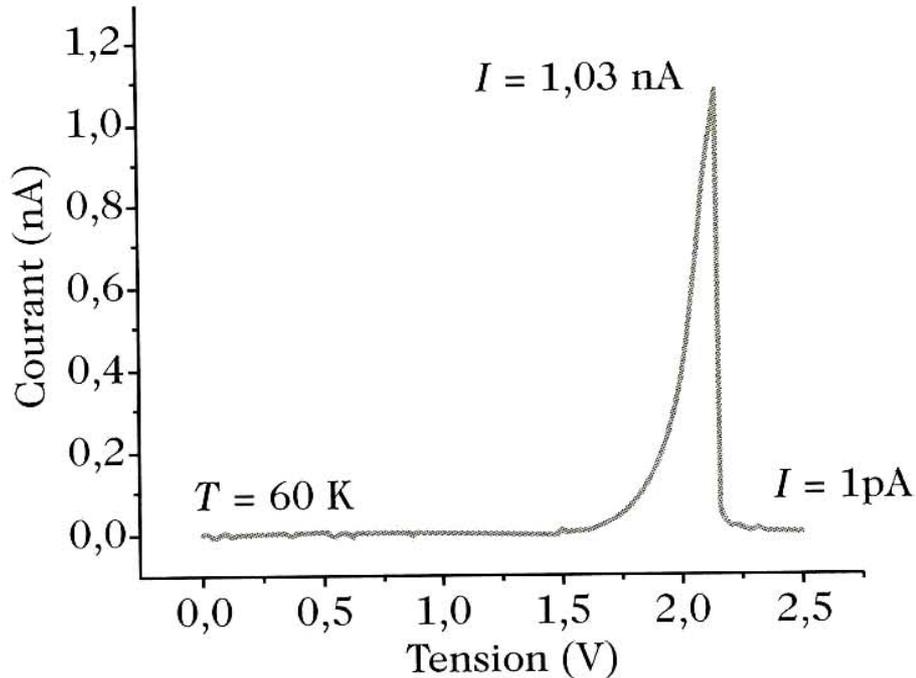
On peut caractériser cette jonction par des éléments classiques de la théorie des circuits, soit une capacité  $C$  et une résistance  $R$ .  $R$  est liée à l'opacité de la barrière et  $C$  représente la capacité de l'isolant (la barrière) entre deux éléments (semi-) conducteurs. Cette capacité représente le fait que des charges peuvent venir s'accumuler contre la barrière.



**Figure 12.2.** Schéma d'une jonction tunnel.

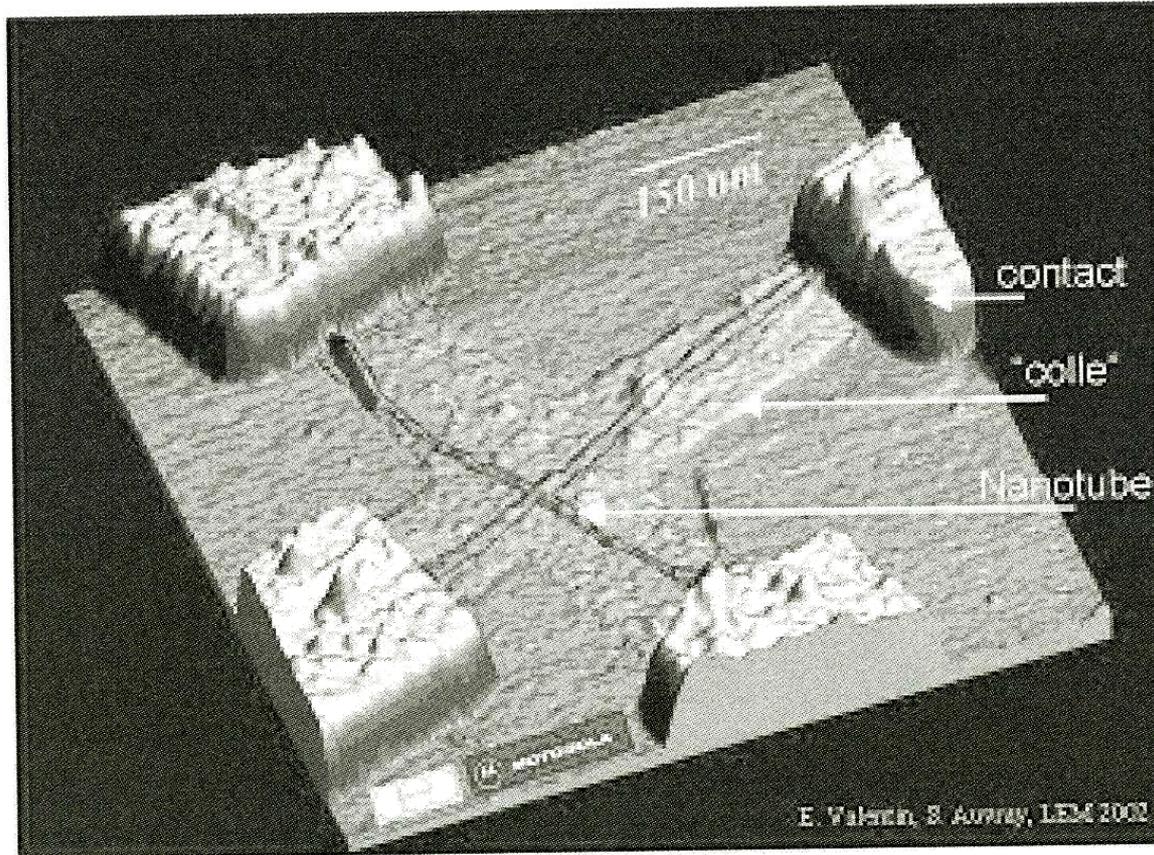
# ELECTRONIQUES

## ULTIME, ALTERNATIVE, MOLÉCULAIRE(3)



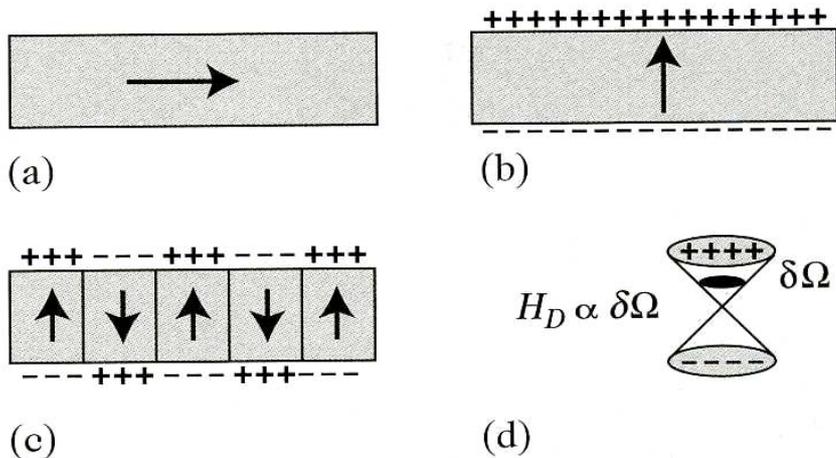
**Figure 13.17.** Courbe  $I(V)$  (à 60 K) d'une monocouche d'amino-di(ethynylphenyle)-nitro-benzenethiol (configuration nanopore pour les contacts, cf. 3.1.2) et représentation schématique des conformations supposées pour l'état conducteur et isolant de la molécule (d'après [32]).

# ELECTRONIQUES ULTIME, ALTERNATIVE, MOLÉCULAIRE(4)

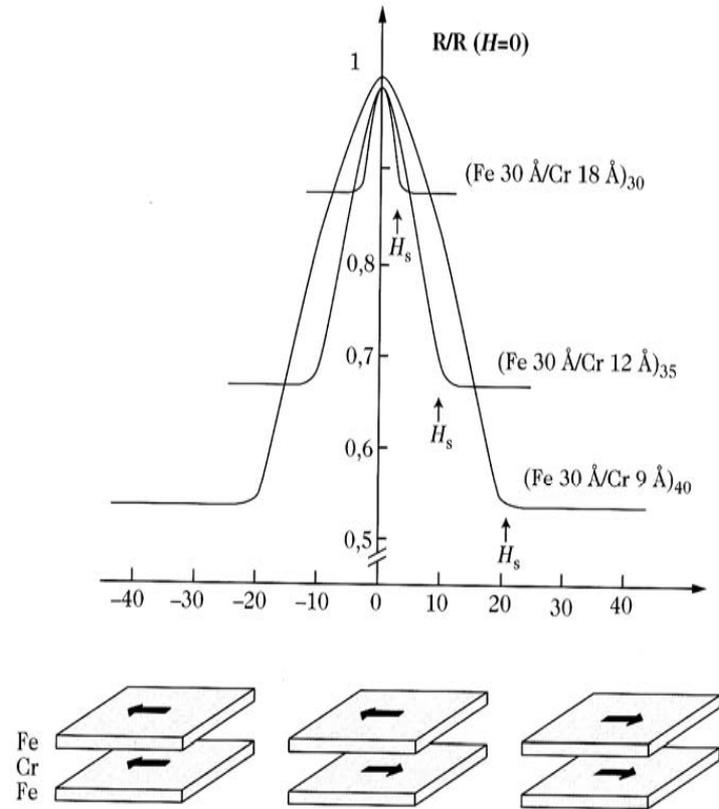


**Figure 13.43.** Nanotubes de carbone déposés sélectivement depuis une solution de NMP sur un substrat de silice fonctionnalisé localement par une couche monomoléculaire faisant office de « colle ». Les contacts métalliques sont fabriqués a posteriori par lithographie.[113]

# NANOMAGNÉTISME, ÉLECTRONIQUE DE SPIN

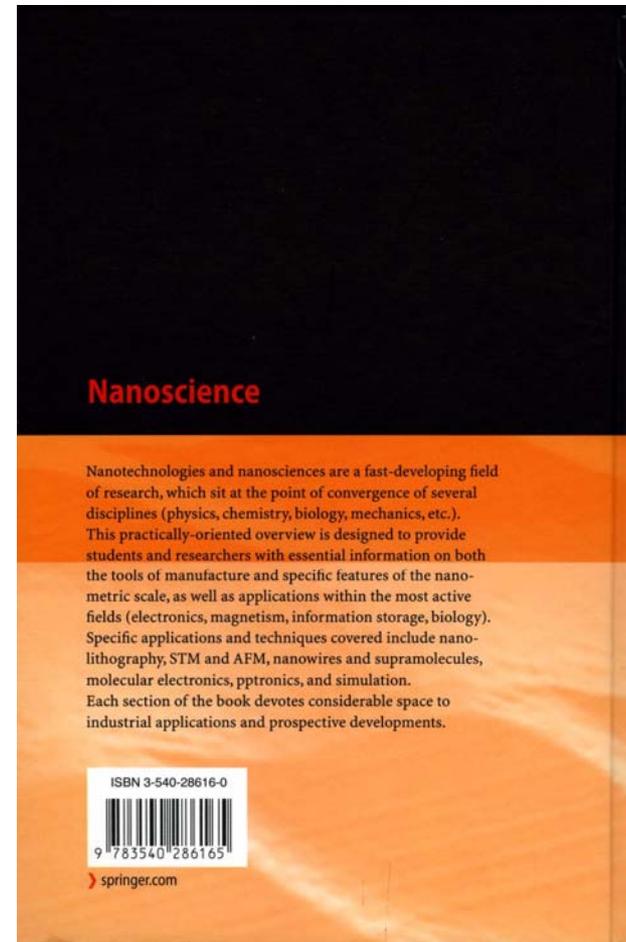
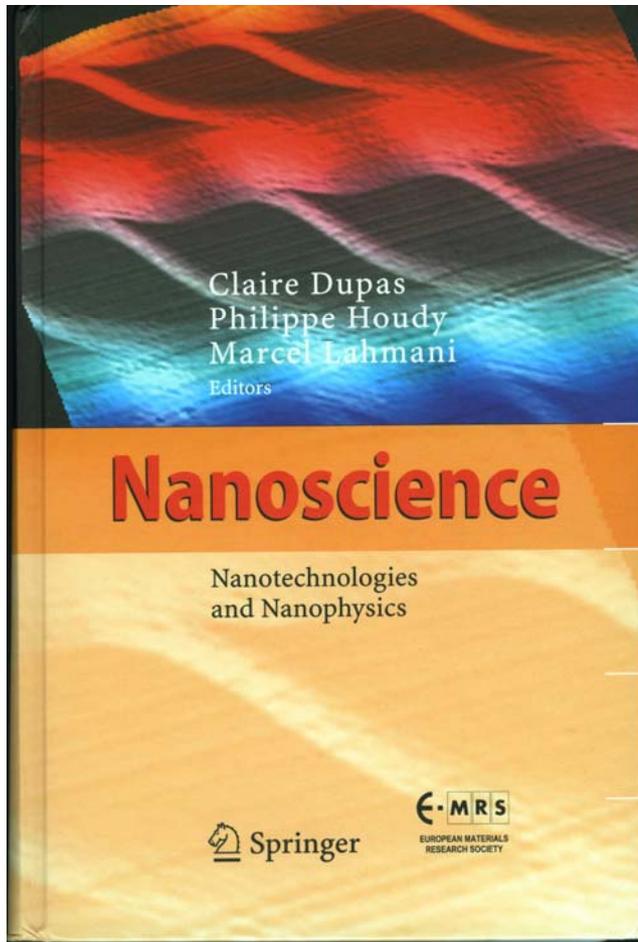


**Figure 14.4.** Configurations magnétiques dans un film mince d'anisotropie magnétocristalline uniaxe dont l'axe facile est perpendiculaire au film. Les flèches symbolisent l'orientation de l'aimantation, les signes + et - rappellent les pseudo-charges magnétiques de surface. **(a)** Aimantation uniforme dans le plan du film. **(b)** Aimantation uniforme perpendiculaire au film. **(c)** Domaines magnétiques. **(d)** Au centre d'un domaine, le champ dipolaire est proportionnel à l'angle solide sous lequel sont vues les pseudo-charges magnétiques.



**Figure 14.26.** Courbes de résistance en fonction du champ magnétique appliqué mesurées sur des multicouches Fe/Cr [95]. Lorsque le champ appliqué surpasse le champ lié au couplage d'échange indirect antiferromagnétique entre les couches de Fe adjacentes, la résistance de la multicouche chute fortement, donnant naissance au phénomène de magnétorésistance géante.

# TRADUCTION ANGLAISE DU LIVRE NANO 1 BELIN CHEZ SPRINGER



# NANOCHIMIE

## EFFET DE L'ECHELLE NANOMETRIQUE SUR :

- STRUCTURE, TRANSITION DE PHASES

- TRANSITION D'ETATS

Jean-Claude Nièpce LRRS Dijon

Pierre Labastie CR/IRSAMC Toulouse

- MAGNETISME, STRUCTURE ELECTRONIQUE

- OPTIQUE, MECANIQUE, REACTIVITE, DIFFUSIVITE

Dominique Givord LLN Grenoble

Fernand Spiegelman, LPQ/IRSAMC Marseille

Fabrice Vallée CPMOH Bordeaux/Talence

Tanguy Rouxel LARMAUR/FREE Rennes

Jean Claude Bertolini IRC Lyon/Villeurbanne

Henri Van Damme ESPCI Paris

## APPLICATIONS DES NANOMATERIAUX A :

- ELECTRONIQUE/MAGNETISME

Jean-Claude Nièpce LRRS Dijon

Dominique Givord LLN Grenoble

- OPTIQUE

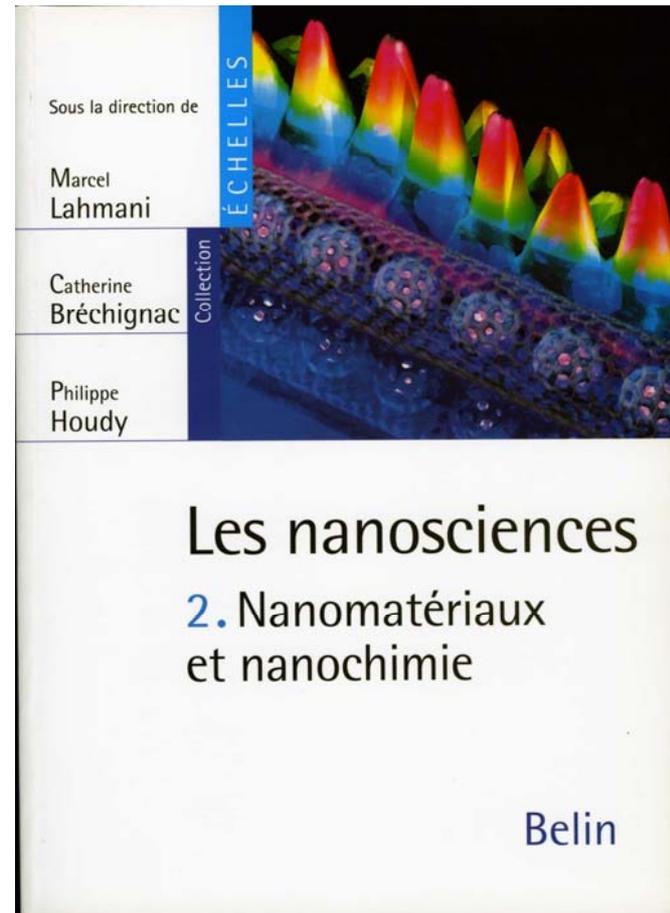
Patrick Maestro Rhodia Paris/Aubervilliers

- MECANIQUE

Patrick Maestro Rhodia Paris/Aubervilliers

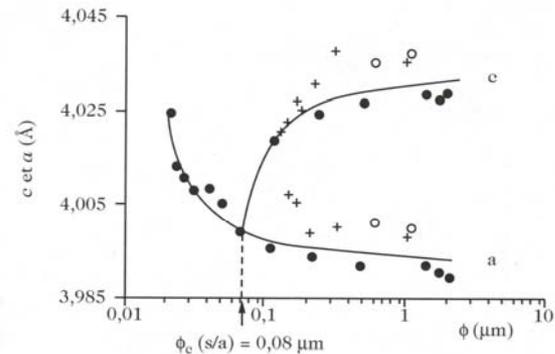
- MEDECINE

Didier Roux Saint-Gobain Paris/La Défense



# EFFET DE L'ECHELLE NANOMETRIQUE SUR : LA STRUCTURE CRISTALLINE

- Si  $\Phi > \Phi_c$ ,  $\text{BaTiO}_3$  cristallise avec une maille pérovskite tétraogonale, une structure cristalline identique à celle du matériau massif. L'aspect tétraogonal, donné par le rapport  $c/a$  est d'autant plus faible que les dimensions des nanocristaux sont petites. Toutefois, il est remarquable que le volume de maille,  $v = a^2 \cdot c$ , reste quant à lui constant [3].
- Si  $\Phi < \Phi_c$ ,  $\text{BaTiO}_3$  cristallise en revanche avec une maille pérovskite cubique (soit  $c = a$ ). Ici, au contraire de l'état tétraogonal, la réduction de la dimension des nanocristaux s'accompagne d'une augmentation de  $a$  et, donc, du volume de maille  $v = a^3$ .



**Figure 2.1.** Évolution des paramètres de maille cristallographique  $a$  et  $c$  de  $\text{BaTiO}_3$ , à  $25^\circ\text{C}$  et sous la pression atmosphérique normale, à l'état de poudres, en fonction du diamètre moyen des nanocristaux [2].

Il est donc clair, à la lumière de cet exemple, que la structure des nanomatériaux dépend de leurs dimensions caractéristiques. On peut observer des transitions de phases ainsi que des variations des paramètres de la maille.

**Les dimensions des nanocristaux semblent donc jouer un rôle sur la structure au sens le plus large :**

- sur la nature de la phase « stable », en provoquant des transitions de phases à  $T$  et  $P$  constantes,
- pour une symétrie cristalline donnée, sur la géométrie de la maille et son volume.

# EFFET DE L'ECHELLE NANOMETRIQUE SUR : LES TRANSITIONS DE PHASE

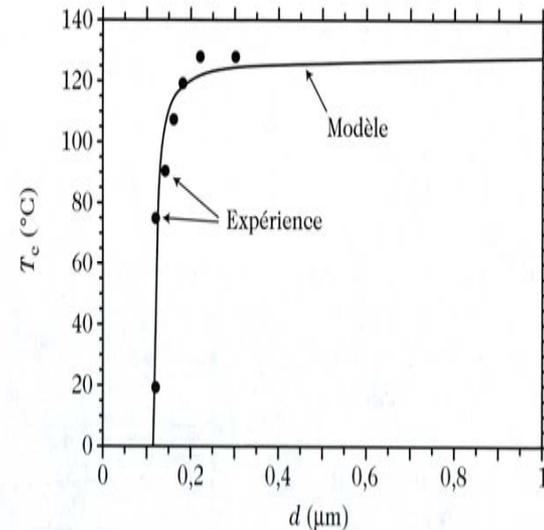
- Ce n'est plus l'enthalpie libre  $G$ , à  $T$  et  $P$  constantes, qui gouverne les états stables du système. Ce rôle est assuré par une fonction enthalpie libre généralisée  $G^*$  :

$$G^* = G - 2\gamma V/R$$

- $G^*$  n'est plus une fonction d'état du système.  $\gamma$  est l'énergie superficielle,  $V$  le volume molaire du matériau considéré et  $R$  le rayon du nanocrystal supposé sphérique.
- L'équilibre d'un système à grains nanométriques n'est plus obtenu si  $dG = 0$  ; il est obtenu si  $dG^* = 0$ .
- Il y a donc équilibre entre la phase  $\alpha$  et la phase  $\beta$  d'un même corps si  $G_\alpha^* = G_\beta^*$ .
- Pour une pression et une température données, il existe un rayon critique  $R_c$  de transition de phase dans les grains nanométriques.
- Il revient au même de dire que la température  $T_c$  de transition de phase est, en particulier, une fonction du rayon  $R$  des nanocristaux :

$$T_c = T(P, R, \gamma_\alpha, \gamma_\beta)$$

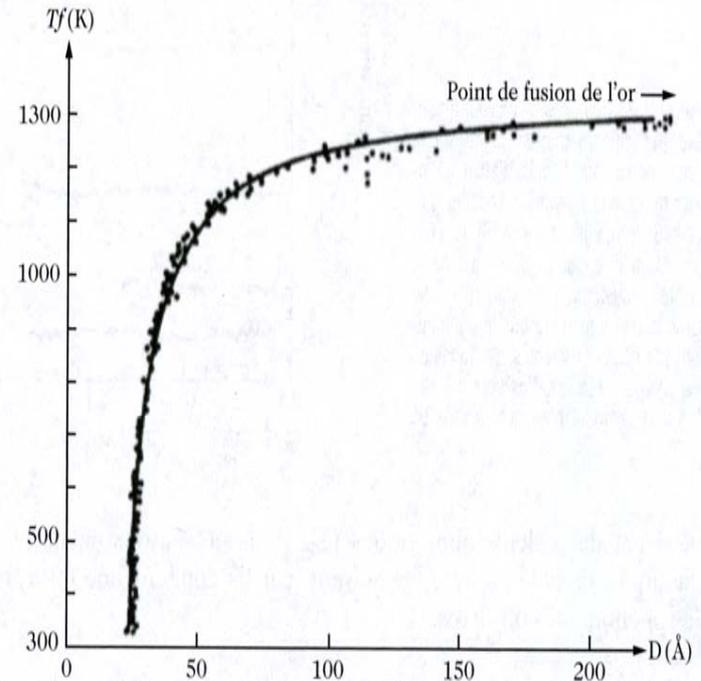
Cette relation a été très bien vérifiée dans le cas de la transition tétragonale-cubique de  $\text{BaTiO}_3$  (figure 2.3).



**Figure 2.3.** Température de transition de phase tétragonale-cubique de  $\text{BaTiO}_3$  en fonction des dimensions des grains ; calculée d'après [10] et expérimentale d'après [11].

# EFFET DE L'ECHELLE NANOMETRIQUE SUR : LES TRANSITIONS D'ETAT

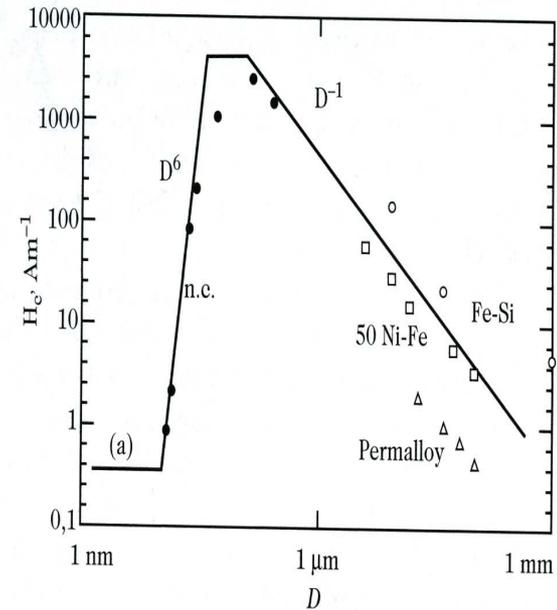
La figure 3.3 présente la variation de la température de transition solide-liquide de particules d'or de 2 à 25 nm de diamètre. L'abaissement du point de fusion est particulièrement impressionnant, de 1336 K (température de fusion de l'or massif) à environ 300 K ! Comme la transition est détectée directement par changement du diagramme de diffraction électronique, il n'est pas possible de mesurer la chaleur latente. Ceci a été fait plus récemment dans le groupe de Lai [5], grâce aux progrès de la nanocalorimétrie.



**Figure 3.3.** Évolution de la température de transition solide-liquide de nanoparticules d'or en fonction du diamètre des particules, tirée de [4]. La transition est détectée par la disparition des pics de Bragg du diagramme de diffraction électronique. Les points représentent les valeurs expérimentales. La courbe continue est un ajustement par la méthode des moindres carrés sur l'expression (3.3).

# EFFET DE L'ECHELLE NANOMETRIQUE SUR : LE MAGNETISME

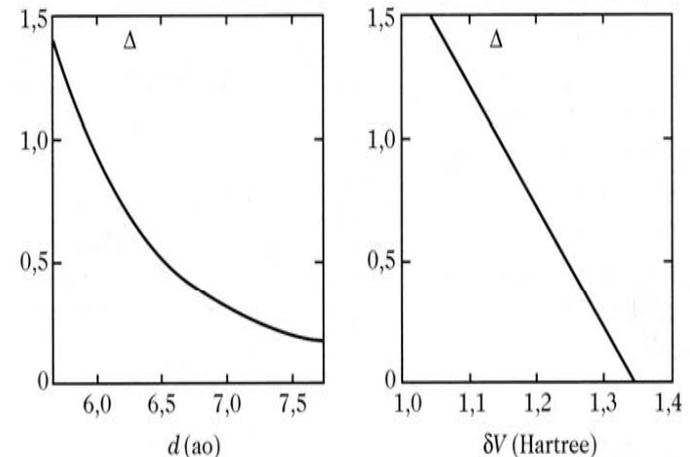
La coercitivité résiduelle de ce type de système est due à un effet que nous avons négligé jusqu'ici, la magnétostriction. Le matériau se déforme pour minimiser les interactions de champ cristallin. Cette déformation est une source d'anisotropie et donc de coercitivité parasite. Les alliages nanocristallisés optimisés (FeSiBNbCu or FeZrB) sont constitués en réalité de nanocristaux magnétiques au sein d'une matrice amorphe elle-même magnétique. La magnétostriction des nanocristaux est positive alors que celle de la phase amorphe est négative. Les deux contributions se compensent l'une l'autre.



**Figure 5.11.** Variation de la coercitivité d'alliages à base de fer, en fonction de la taille des particules constitutives. On note la décroissance très forte de la coercitivité aux plus petites dimensions, qui traduit le fait que les moments magnétiques sont couplés par échange sur des distances bien supérieures à la taille des particules (d'après [18]).

# EFFET DE L'ECHELLE NANOMETRIQUE SUR : LA STRUCTURE ELECTRONIQUE

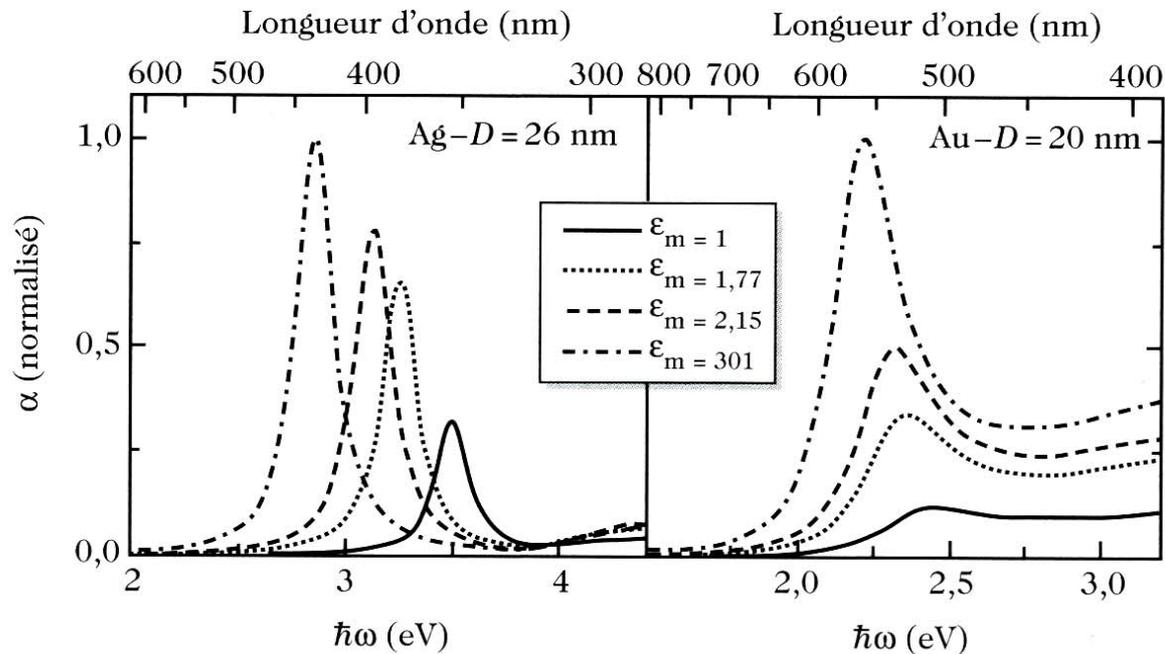
Cela permet de comprendre que dans la mesure où le potentiel électrostatique créé par le champ de Madelung est prépondérant vis-à-vis du terme intra-atomique  $U_{aa}$ , les électrons ont tendance à quitter préférentiellement les sites anioniques de plus basse coordinence, moins stabilisés. De même les propriétés réductrices affecteront surtout les sites cationiques soumis aux potentiels électrostatiques les moins intenses. La figure 6.12 illustre clairement cette corrélation entre coordinence et transferts d'électrons  $\Delta$  par liaison sur les agrégats d'oxyde de titane  $Ti_nO_{2n+p}$  étudiés par Albaret et al. [122, 123, 124]. Un aspect intéressant est également la corrélation entre transferts et longueurs des liaisons. Lorsque la coordinence diminue, la liaison se raccourcit, l'intégrale de saut (proportionnelle au recouvrement interatomique) et le quotient  $|t_{a\mu, cv}/(\epsilon_a - \epsilon_c)|$  augmentent, ainsi donc que le transfert d'électron de l'anion vers le cation. La figure 6.12 montre cette corrélation opposée entre longueurs de liaison et transferts de charge. Cette analyse permet de rationaliser les valeurs des potentiels d'ionisation, des affinités électroniques et des transferts de charge. Les mécanismes de transfert influencent la réactivité et les propriétés acido-basiques. Ils jouent de manière analogue pour les agrégats, les surfaces et les nanostructures.



**Figure 6.12.** Transfert d'électron  $\Delta$  dans des agrégats d'oxyde de titane en fonction des distances Ti-O (*figure de gauche*) et de la différence de potentiel électrostatique  $\delta V$  entre atomes Ti et O voisins (*figure de droite*). Interpolation qualitative des données de Albaret et al. [122, 123, 124].

# EFFET DE L'ECHELLE NANOMETRIQUE SUR : LES PROPRIETES OPTIQUES

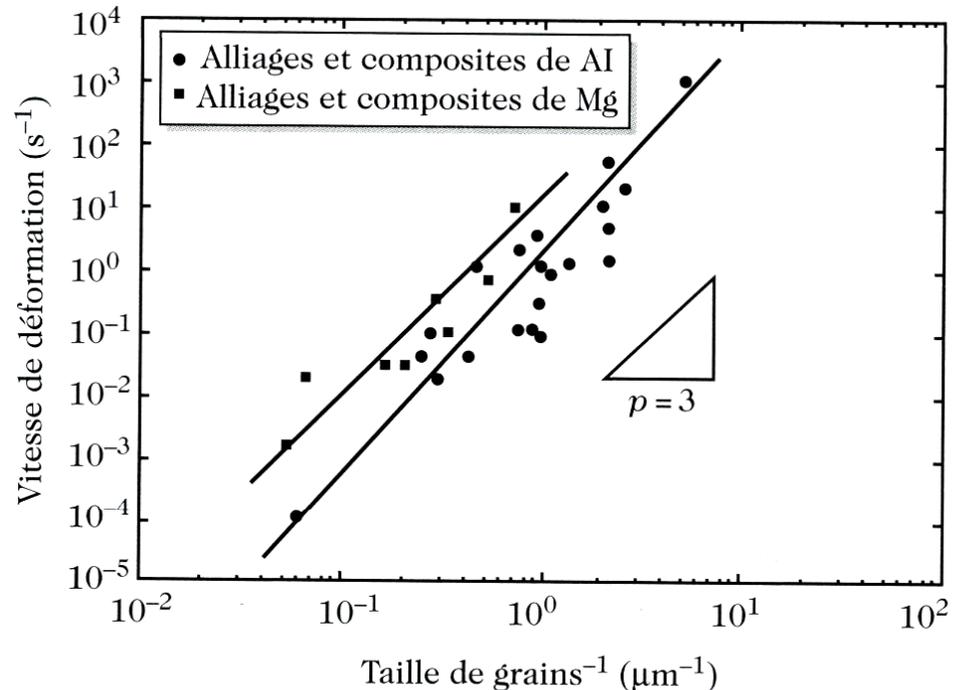
Pour un métal donné, la fréquence de la résonance des nanoparticules est modifiée par leur environnement par l'intermédiaire de sa constante diélectrique  $\epsilon_m$  (7.20). Elle se déplace vers le rouge pour des matrices de  $\epsilon_m$  croissants (figure 7.5).



**Figure 7.5.** Spectres d'absorption calculés dans l'approximation quasi statique pour des nanosphères d'argent et d'or de diamètres respectifs  $D = 26$  et  $20$  nm dans le vide (jet d'agrégats,  $\epsilon_m = 1$ ) et dans différentes matrices : eau ( $\epsilon_m = 1,77$ ), silice ( $\epsilon_m = 2,15$ ) et alumine ( $\epsilon_m = 3,1$ ). La fraction de métal  $p$  est constante. L'élargissement dû aux interactions avec la surface a été inclus avec  $g = 3$  pour Ag et  $g = 1,6$  pour Au (7.16). L'augmentation de l'absorption au-delà de  $3,9$  eV dans l'argent et  $2,5$  eV dans l'or est due aux transitions interbandes.

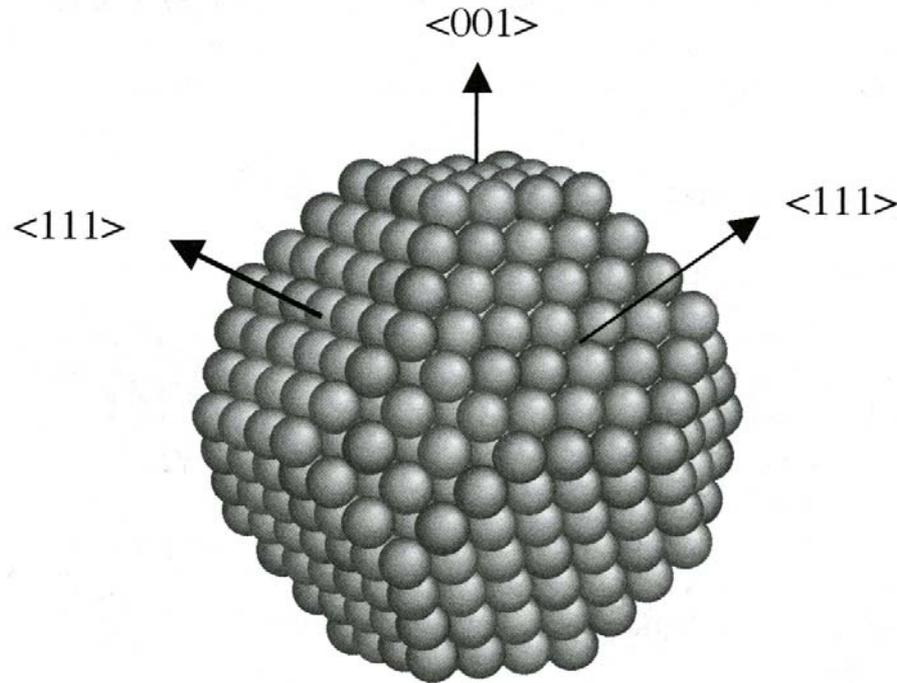
# EFFET DE L'ECHELLE NANOMETRIQUE SUR : LES PROPRIETES MECANIQUES

En régime de déformation superplastique, c'est le glissement aux joints des grains qui est prépondérant et les grains se déplacent sur des distances voisines ou supérieures à la taille des grains, sans grand changement de leur géométrie. La superplasticité est caractérisée par un écoulement non newtonien ( $n \neq 1$ ), généralement rhéofluidifiant ( $n > 1$ ) qui s'accompagne parfois d'un grossissement dynamique (favorisé par la contrainte) des grains. Ainsi la vitesse de déformation varie généralement en  $\sigma^2/d^2$  ( $\sigma$  : contrainte d'écoulement ;  $d$  : taille moyenne des grains), parfois en  $\sigma^2/d^3$  (figure 9.4), tandis qu'une dépendance en  $\sigma/d^2$  ou  $\sigma/d^3$  est plus fréquemment observée en régime de fluage diffusionnel.



**Figure 9.4.** Dépendance de la vitesse de déformation (en régime de fluage stationnaire) avec la taille de grains pour des alliages d'aluminium et de magnésium et leurs composites.

# EFFET DE L'ECHELLE NANOMETRIQUE SUR : LA REACTIVITE CHIMIQUE



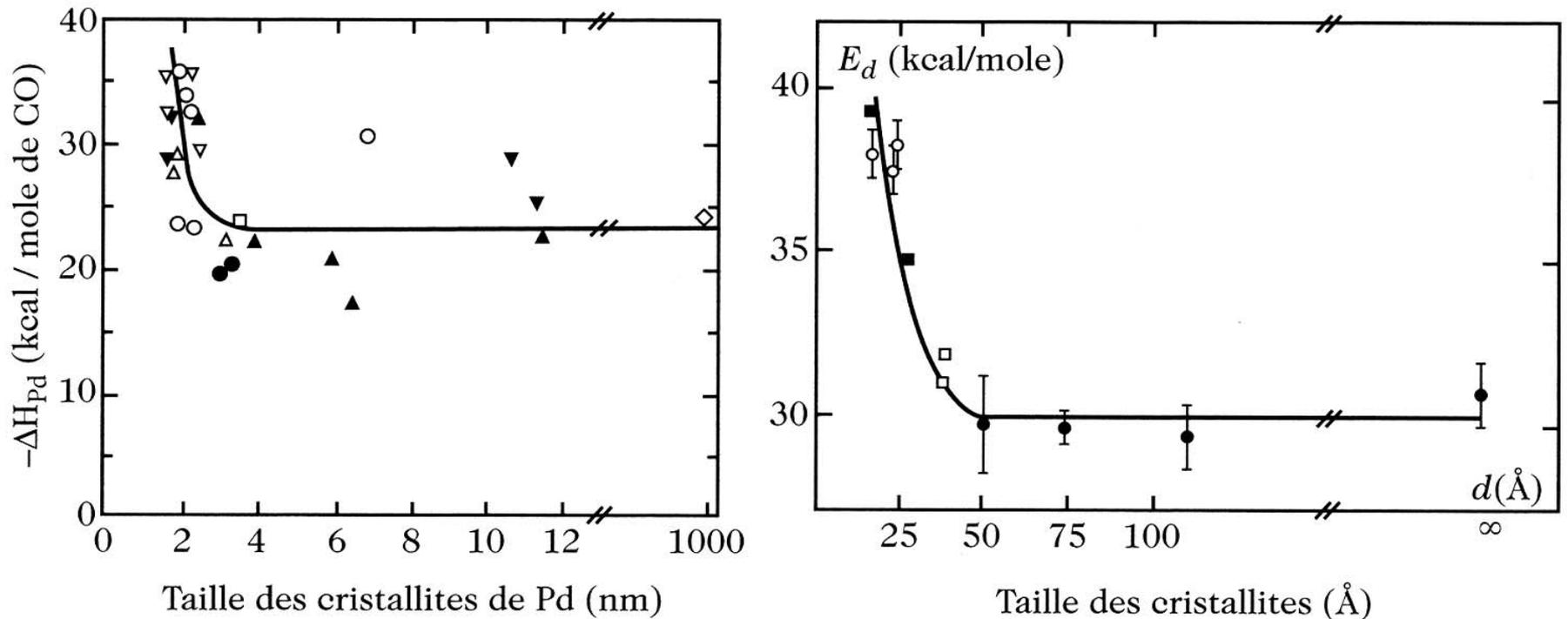
**Figure 10.2.** Représentation d'un cubo-octaèdre (cube tronqué), forme d'équilibre d'un cristal *fcc*, constitué de 586 atomes.

# EFFET DE L'ECHELLE NANOMETRIQUE SUR : LA REACTIVITE CHIMIQUE (2)

**Tableau 10.1.** Variation du nombre d'atomes dans différentes positions dans une particule de forme cubo-octaédrique et en considérant des couches successives pleines, selon Van Hardeveld et Hartog [6].  $Z$  est le nombre de coordination de l'atome considéré.

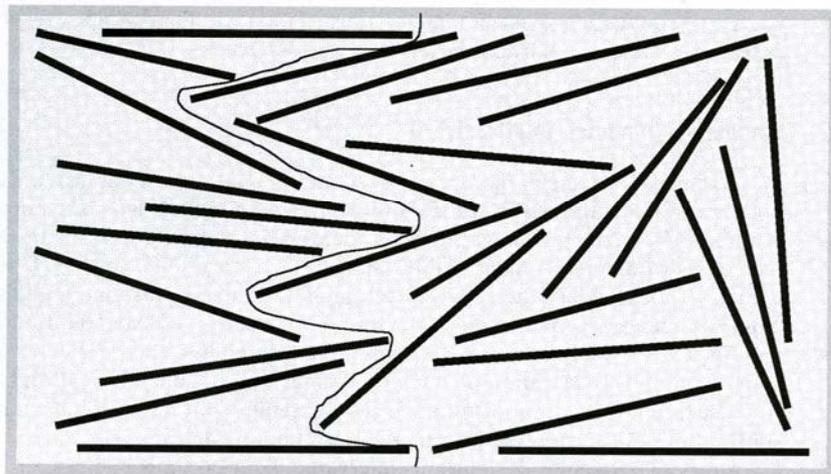
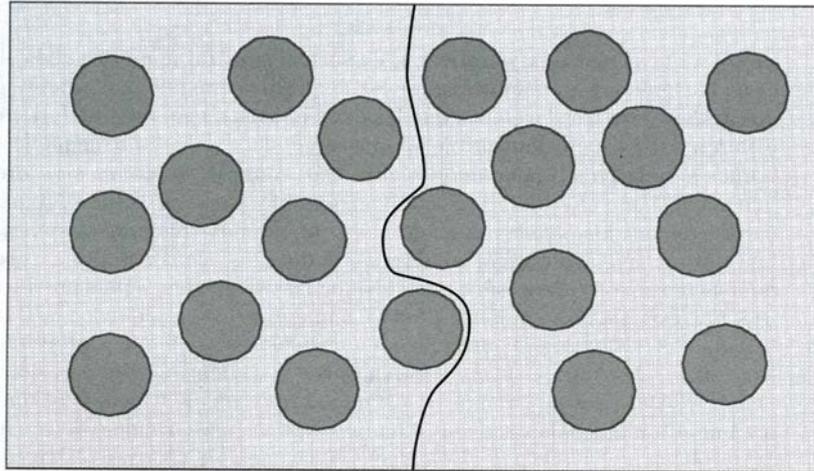
Nombre total d'atomes	Nombre d'atomes de surface	Nombre d'atomes de coins, $Z = 6$	Nombre d'atomes d'arêtes, $Z = 7$	Nombre d'atomes de type (100), $Z = 8$	Nombre d'atomes de type (111), $Z = 9$
38	32	24	0	0	8
201	122	24	36	6	56
586	272	24	72	24	152
1 289	482	24	108	54	296
2 406	752	24	144	96	488
4 033	1 082	24	180	150	728
6 266	1 472	24	216	216	1 016
9 201	1 922	24	252	294	1 352
12 234	2 432	24	288	384	1 736
27 534	3 632	24	360	600	2 648
46 929	5 882	24	468	1 014	4 376

# EFFET DE L'ECHELLE NANOMETRIQUE SUR : LA REACTIVITE CHIMIQUE (3)

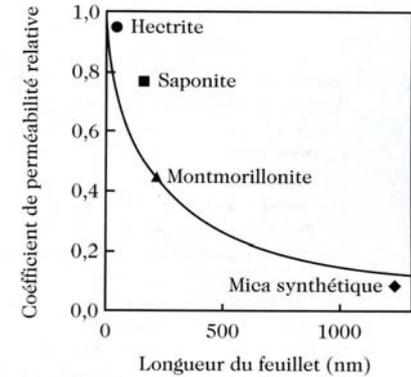


**Figure 10.8.** Variations de l'énergie d'adsorption du CO sur des particules de Pd supportées préparées respectivement par voie chimique sur différents supports oxydes [27] (courbe de gauche) et par jet atomique sur MgO(100) [28] (courbe de droite).

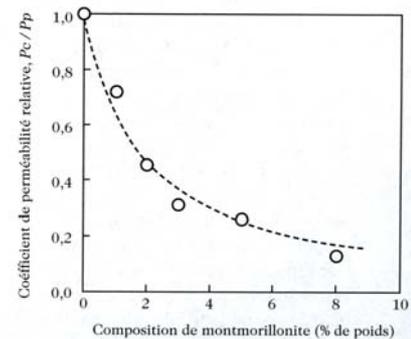
# EFFET DE L'ECHELLE NANOMETRIQUE SUR : LA DIFFUSIVITE



**Figure 14.15.** Illustration de l'augmentation du coefficient de tortuosité résultant du passage de particules sphériques à des plaquettes, à fraction volumique en particules constante.



**Figure 14.20.** Diffusivité relative de la vapeur d'eau dans des nanocomposites argile/polyimide à fraction pondérale en argile de 2% (soit environ 0,8% en fraction volumique), en fonction de l'extension latérale des feuillettes d'argile (d'après K. Yano, A. Usuki et A. Okada, *J. Polym. Sci., Part A, Polym. Chem.*, **35**, 2289, 1997).



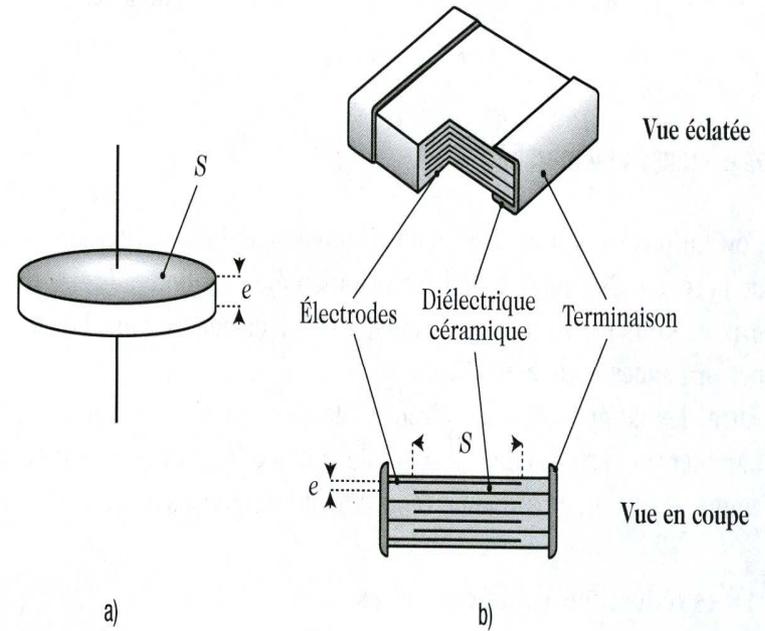
**Figure 14.21.** Évolution de la diffusivité relative de la vapeur d'eau dans des nanocomposites montmorillonite/polyimide en fonction de la fraction pondérale de l'argile (d'après K. Yano, A. Usuki et A. Okada, *J. Polym. Sci., Part A, Polym. Chem.*, **35**, 2289, 1997).

# APPLICATIONS DES NANOMATERIAUX A : L'ELECTRONIQUE

$$C = \epsilon S/e \quad (28.1)$$

Si le diélectrique est un matériau céramique, on parle alors de **condensateur céramique**. Ces matériaux permettent en général d'obtenir des valeurs élevées de  $\epsilon$ . Pour accroître les capacités sans accroître exagérément les surfaces, on a été amené à réduire les épaisseurs de diélectrique et à passer d'une technologie « disque » à une technologie « multicouche ». On réalise ainsi des **condensateurs céramiques multicouches** (ou CCM) ; un tel condensateur constitué de  $n$  couches d'épaisseur  $e$  est équivalent à  $n$  condensateurs identiques d'épaisseur  $e$  montés en parallèle (figure 28.1b).

$$C = n\epsilon S/e \quad (28.2)$$

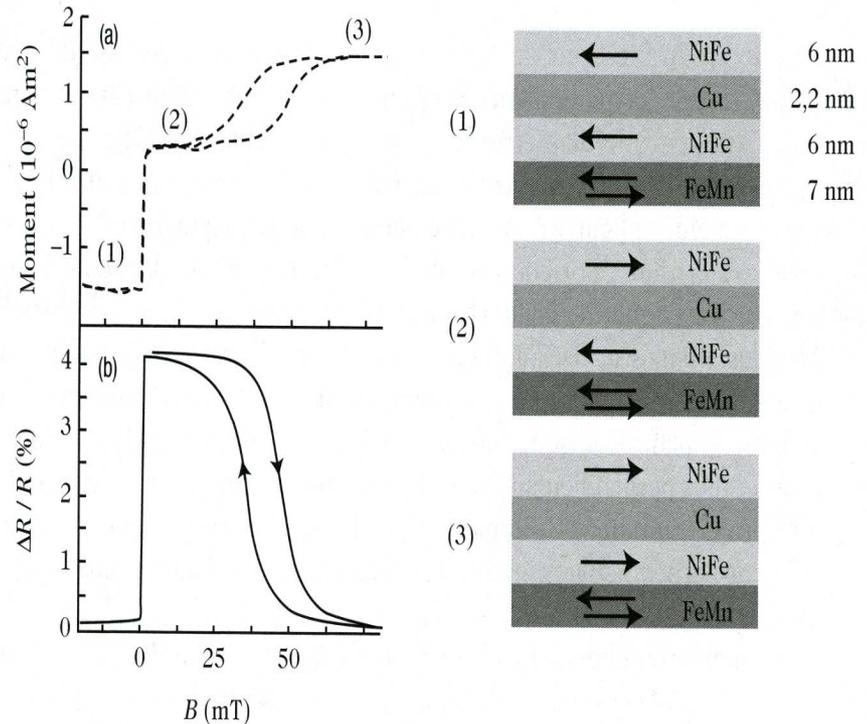


**Figure 28.1.** Condensateurs céramiques : **a)** disque ; **b)** multicouche.

# APPLICATIONS DES NANOMATERIAUX AU : MAGNETISME

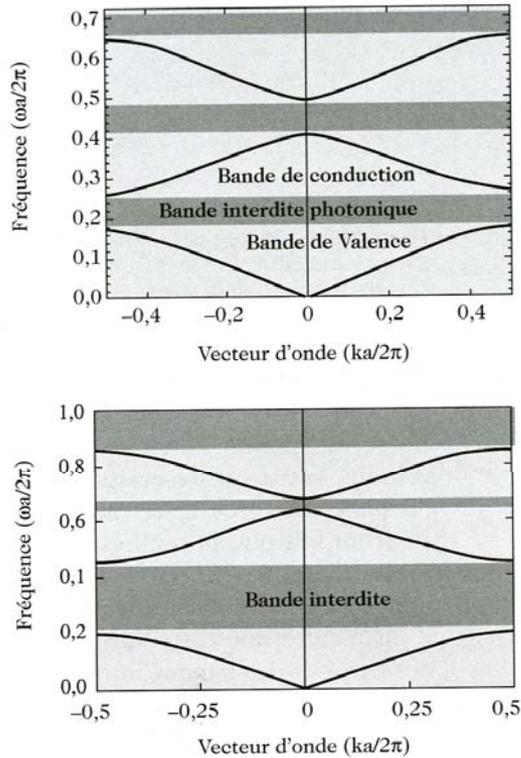
## Tête de lecture

La tête de lecture est un capteur dont le cœur est constitué d'un empilement de deux couches ferromagnétiques douces, FeNi par exemple, séparées par une couche non magnétique, de Cu ou Ag. L'une des couches ferromagnétiques est couplée à une couche antiferromagnétique de FeMn ou MnPt. Son aimantation est gelée dans une direction définie, par le mécanisme de décalage d'échange (voir le chapitre 5, paragraphe 5.3). L'aimantation de l'autre couche ferromagnétique peut tourner facilement sous l'effet d'un champ appliqué ; elle est dite libre. L'ensemble de cet arrangement constitue une valve de spin (figure 28.11).

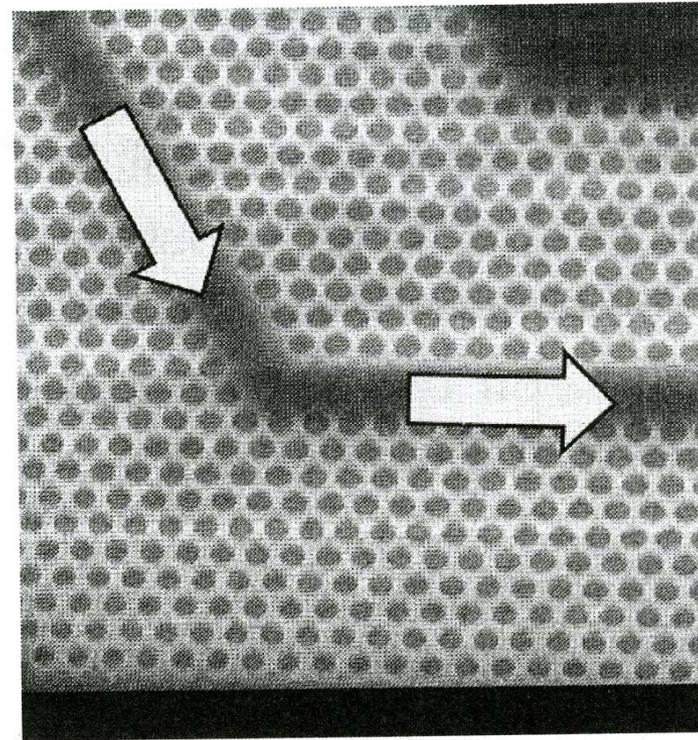


**Figure 28.11.** Structure de type valve de spin utilisée dans les têtes de lecture à magnétorésistance géante. Noter que, dans les conditions normales de fonctionnement du capteur, le champ sur le capteur est inférieur à 10 mT. Le retournement de l'aimantation de la couche NiFe inférieure (situation schématisée en (3)) ne se produit pas.

# APPLICATIONS DES NANOMATERIAUX A : L'OPTIQUE



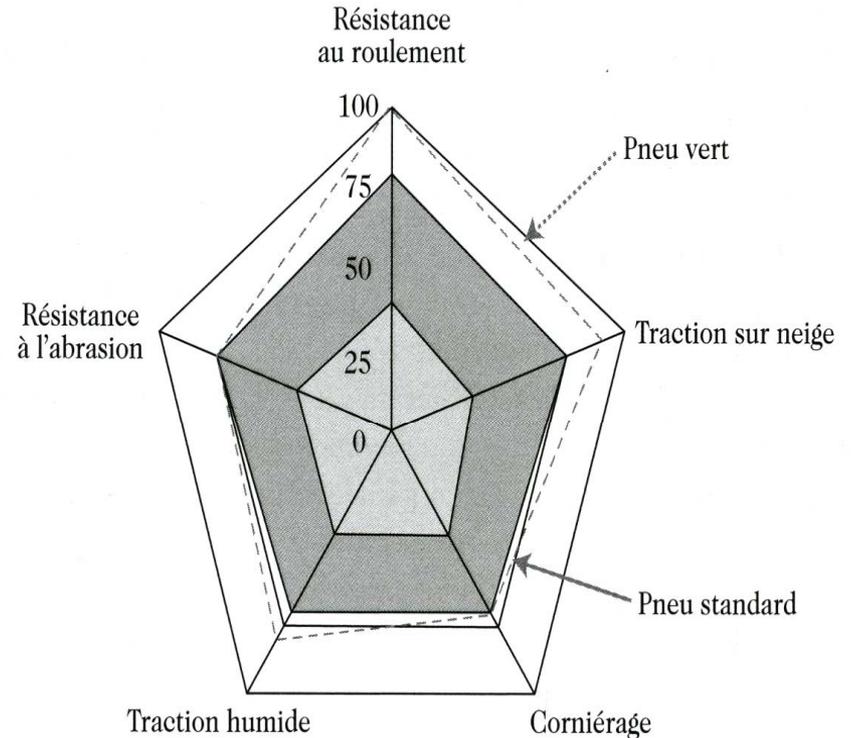
**Figure 29.15.** En haut : structure de bandes d'un cristal 1D qui verrait sa permittivité diélectrique suivre une modulation sinusoïdale. L'amplitude de la modulation est d'un facteur 5 [3]. En bas : structure de bandes d'un cristal 1D constitué de couches alternées de permittivité  $\epsilon_1 = 13$  et  $\epsilon_2 = 1$ , et d'épaisseur  $d_1 = 0,2a$  et  $d_2 = 0,2a$  [4].



**Figure 29.17.** Guide de lumière coudé dans un cristal photonique 2D de bâtonnets [3].

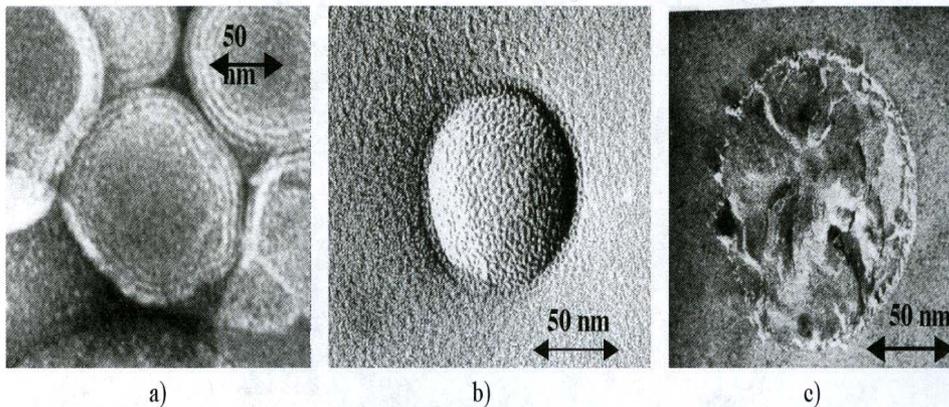
# APPLICATIONS DES NANOMATERIAUX A : LA MECANIQUE

Selon la nature de la matrice, thermoplastique ou élastomère par exemple, ces performances se déclinent différemment : dans les thermoplastiques, elles conduisent en général à une augmentation de la rigidité ou module, mise à profit pour améliorer le comportement du polymère à haute température, augmenter sa dureté. Dans certaines conditions, il est même possible d'améliorer le compromis module/choc. Mais dans tous les cas, le compromis de performances auquel on peut aspirer est dépendant de la qualité de l'état de dispersion des nanoparticules au sein du composite. Il s'agit donc non seulement de maîtriser la synthèse des nanoparticules, mais aussi leur mise en œuvre dans la matériau. C'est en répondant à ce double défi que l'industrie des nanoparticules aidera au développement de nouveaux nanocomposites.

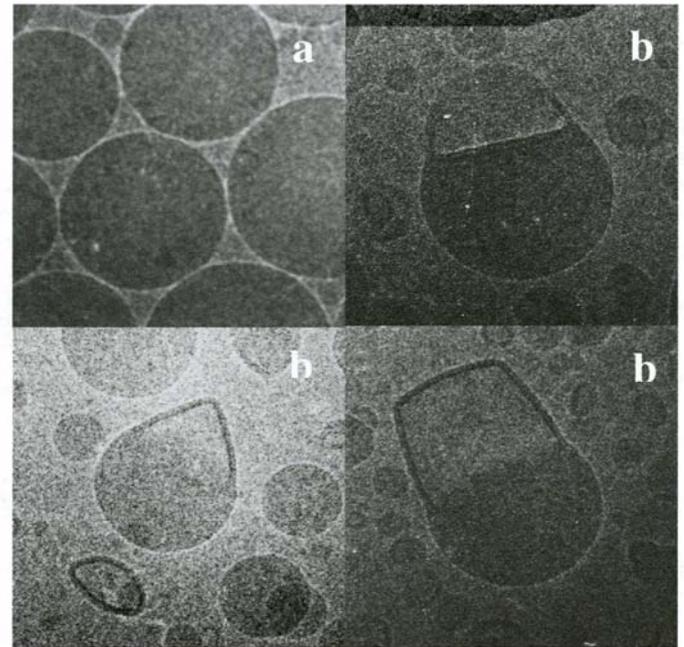


**Figure 30.1.** Amélioration des performances des pneumatiques par les silices dispersibles.

# APPLICATIONS DES NANOMATERIAUX A : LA MEDECINE



**Figure 31.2.** Les liposomes (a) sont des vésicules formées d'une ou de plusieurs bicouches de phospholipides. Les nanosphères (b) sont des particules formées d'une matrice de polymères, tandis que les nanocapsules (c) sont constituées d'un cœur aqueux ou huileux entouré d'une fine membrane polymère.



**Figure 31.4.** Aspect en cryomicroscopie d'un nouveau vecteur de type bi-compartmental. L'émulsification de triglycérides et de phospholipides dans une phase aqueuse engendre une émulsion classique (a) ; l'addition d'un lipide cationique comme la stéarylamine crée des objets bicompartmentaux (b) constitués d'une gouttelette d'huile et d'un compartiment aqueux de forme circulaire, rectangulaire ou triangulaire (d'après la référence [2]).

# NANOBILOGIE

## A PARAITRE EN SEPTEMBRE 2007

**PREFACE** (*Axel Khan*)

**CHAPITRE 1 : INTRODUCTION** (*Jean Rossier*)

### PARTIE A : LES METHODES ET LES OUTILS DE LA NANOBIOTECHNOLOGIE

**CHAPITRE 2 : LES OUTILS OPTIQUES**

- a) Architecture et dynamique des processus (*Corinne Mestais, Bertrand Tavitian*)
- b) Florescence N molécules (*Michel Robert-Nicoud, Catherine Souchier*)
- c) Fluorescence 1 molécule (*Olivier Thoumine, Didier Marguet*)
- d) SNOM (*Serge Huant*)
- e) Pince optique (*Vincent Croquette*)

**CHAPITRE 3 : AFM**

- a) Imagerie cellulaire et moléculaire (*Christian Le Grimellec, Pierre-Emmanuel Milhet*)
- b) Force (*Eric Perez, Jean-Pierre Aimé, Cécile Sykes*)

**CHAPITRE 4 : METHODES DE SURFACE**

- a) Résonance Plasmon de Surface (*Danièle Altschuh, Thierry Livache, Malcom Buckle, Sylvie Ricard-Blum*)  
(*Philippe Lavalle*)
- b) Balance à Quartz (*Pierre Schaaf, Patrick Chaton, Stéphane Getin*)
- c) Ellipsométrie

**CHAPITRE 5 : METHODES ELECTRIQUES**

- a) Patch clamp (*Nathalie Picollet D'Hahan*)
- b) Ampermétrie (*Christian Amatore*)
- c) Transport dans les nanopores (*Loïc Auvray*)

**CHAPITRE 6 : SPECTROMETRIE DE MASSE** (*Joëlle Vinh, Eric Forest*)

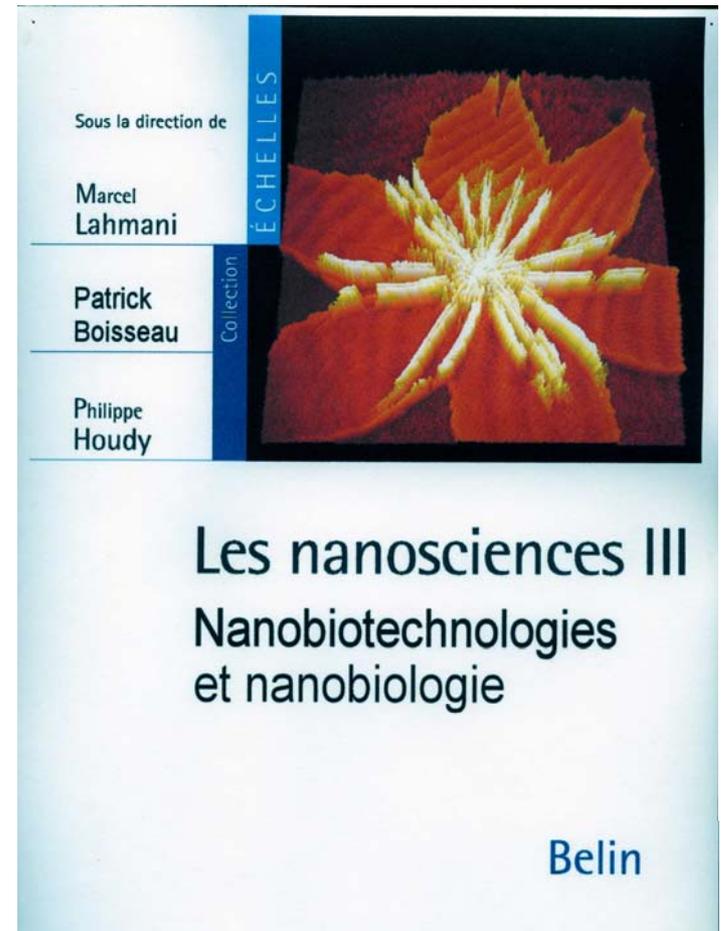
**CHAPITRE 7 : PCR QUANTITATIVE** (*Georges Lutfalla, Alexandre Evrard, Nathalie Boulle, Jean-Marc Costa*)

**CHAPITRE 8 : MICROFLUIDIQUE** (*Yong Chen, Pascal Silberzan*)

**CHAPITRE 9 : PATERNING** (*Marie-Noëlle Semeria, Serge Tedesco*)

**CHAPITRE 10 : MODELISATION**

- a) Approche numérique (*Daniel Borgis*)
- b) Dynamique moléculaire (*Pierre Grangeat*)



# NANOBIOLOGIE LIVRE BELIN

## PARTIE B : LES NANO-OBJETS BIOLOGIQUES

CHAPITRE 11 : NANOMACHINES DE VIVANT (Marie-France Carlier, Dick Wade, Francis Haraux)

CHAPITRE 12 : LES EDIFICES A BASE D'ADN (Christian Auclair)

- a) Motifs
- b) Nanostructuration

CHAPITRE 13 : ASSEMBLAGE 2D ET 3D DE PROTEINES  
(Jean-François Legrand)

CHAPITRE 14 : ASSEMBLAGES LIPIDIQUES

- a) Fabrication (Alain Brisson)
- b) Applications (Loïc Blum, Christophe Marquette)

CHAPITRE 15 : COMPLEXES ADN/POLYMERES (Guy Zuber)

CHAPITRE 16 : NANOPARTICULES FONCTIONNALISEES

- a) QD (Etienne Duguet)
- b) nanoparticules (Etienne Duguet)

## PARTIE C : LES APPLICATIONS DE LA NANOBIOTECHNOLOGIE

CHAPITRE 17 : PUCES A ADN (Catherine N'Guyen, Xavier Gidrol)

CHAPITRE 18 : PUCES A PROTEINES (Sylvie Ricard-Blum)

CHAPITRE 19 : PUCES A CELLULES (François Chatelain, Nathalie Picollet-D'Hahan, Bruno Le Pioufle)

CHAPITRE 20 : BIO-CAPTEURS (Agnès Girard-Egrot, François Chatelain, Claude Vauchier)

CHAPITRE 21 : VECTORISATION (Daniel Scherman)

CHAPITRE 22 : BIOMATERIAUX (Laurence Bordenave, Joëlle Amédée)

CHAPITRE 23 : NANOMULTICOUCHES POLYELECTROLYTES  
(Jean-Claude Voegel, Bernard Senger)

CHAPITRE 24 : MOTEURS MOLECULAIRES (Michel Van der Rest)

CHAPITRE 25 : VERS UNE NANO-MEDECINE  
(François Berger, Jean Hache)

# DERNIERES AVANCEES 2007

- **NANOPHYSIQUE**

- LES EXPLOSIONS NANOMÉTRIQUES
- TITANIA NANOTUBE ARRAYS HARNESS SOLAR ENERGY
- NANOWIRES AS GREAT PHOTODETECTORS
- WATER FLOWS LIKE MOLASSES ON THE NANOSCALE

- **NANOCHIMIE**

- NANO-FILS DE PALLADIUM DÉTECTEURS D'HYDROGÈNE
- WHEN GOLD BECOMES A CATALYST

- **NANOBILOGIE**

- NANOTECHNOLOGY FOR CLEAN WATER
- DEVELOPING ARTIFICIAL RETINA
- BIO-INSPIRED ASSEMBLY OF NANOPARTICLE BUILDING BLOCKS

# LES EXPLOSIONS NANOMÉTRIQUES

En utilisant des techniques d'analyse à l'échelle du nanomètre et des quantités de matériaux très faibles (**400 zeptogrammes de PETN , pentaerythritol tetranitrate,  $C_5H_8N_4O_{12}$**  soit un millième du minimum nécessaire pour provoquer une explosion au sens classique du terme) des chercheurs viennent de réaliser des bombes miniatures expérimentales pour mieux comprendre les phénomènes explosifs. ( $1 \text{ zg} = 10^{-24} \text{ kg}$ )

Le capteur de l'AFM utilisé se trouve être **la source de chaleur contrôlée la plus petite au monde**, capable de provoquer des montées en température sur des zones de seulement quelques nanomètres de diamètre. Fabriqué à base de silicium, le capteur renferme une résistance **pouvant produire 1000 degrés Celsius**.

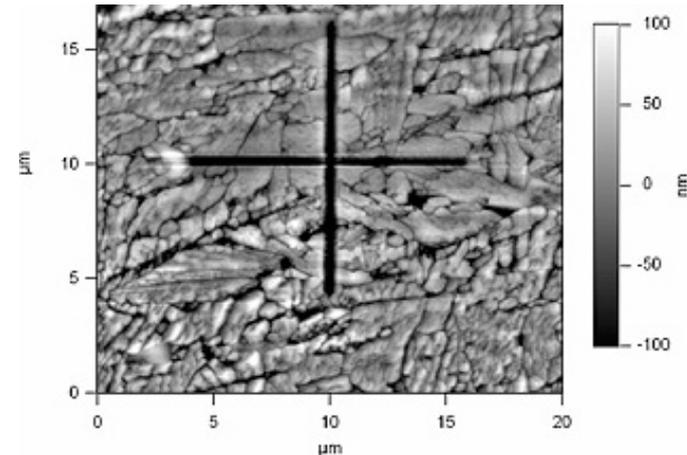
En faisant varier la température lorsque le stylet balaye le film, les scientifiques ont pu **cartographier tous les paramètres du mélange**, de l'évaporation et de la décomposition, et en observer les effets

Si **les vides résidant entre les cristaux** sont soumis à certains stimuli, ils deviennent des zones très chaudes **se comportant comme autant de minuscules détonateurs** montant en température, en taille et en pression pour mener à la détonation de l'ensemble.

*"Nanoscale Thermal Analysis of an Energetic Material"*, William P. King, Shubham Saxena, Brent A. Nelson, Brandon L. Weeks, and Rajasekar Pitchimani, Nano Lett.; 2006; 6(9) pp 2145 – 2149

Dominique Selse

[http://www.futura-sciences.com/news-bombes-miniatures-secret-explosions-nanometriques\\_9666.php](http://www.futura-sciences.com/news-bombes-miniatures-secret-explosions-nanometriques_9666.php)



Echantillon d'explosif PETN

# TITANIA NANOTUBE ARRAYS HARNESS SOLAR ENERGY

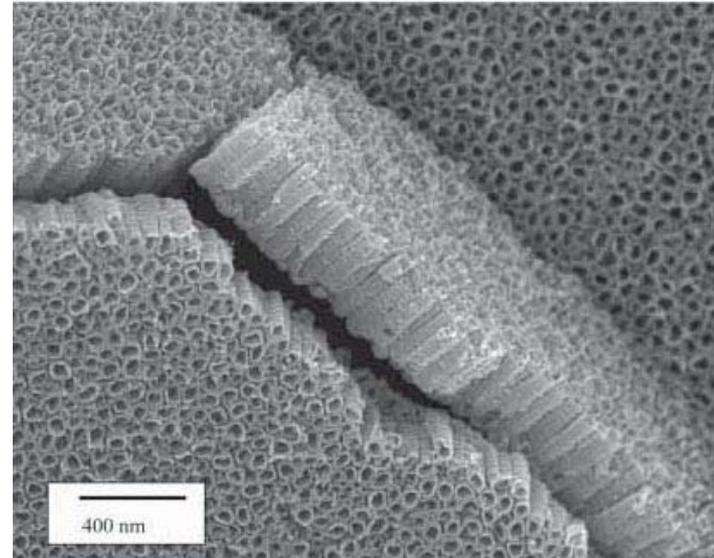
At Penn State University, researchers are finding new ways to **harness the power of the sun** using highly-ordered arrays of titania nanotubes for hydrogen production and increased solar cell efficiency

## WATER PHOTOLYSE

Basically we are talking about taking sunlight and putting water on top of this material, **and the sunlight turns the water into hydrogen and oxygen.**

## SOLAR CELL

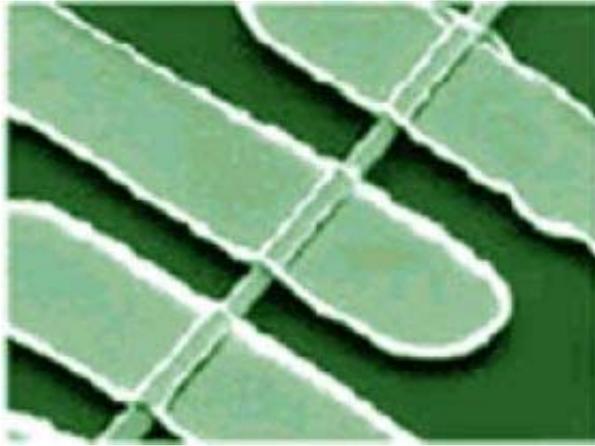
With the highly-ordered titanium nanotube arrays, under UV illumination you have an **increase of the photoconversion efficiency.**



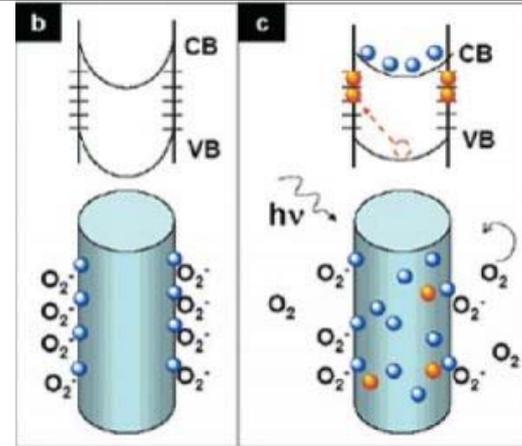
FESEM image of titania nanotube arrays  
(top and lateral views)

<http://www.voyle.net/2006%20Energy/Nano%20Energy%20%202006-0005.htm>

# NANOWIRES AS GREAT PHOTODETECTORS



A single ZnO nanowire held down by metal contacts.  
The nanowire segments between metal contacts serve as super-sensitive photodetectors



In ZnO nanowires (as compared to some other semiconducting nanowires), the lifetime of the unpaired electrons is further increased by oxygen molecules desorption from the surface when holes neutralize the oxygen ions. ('b' represents the situation in darkness and 'c' under UV illumination).

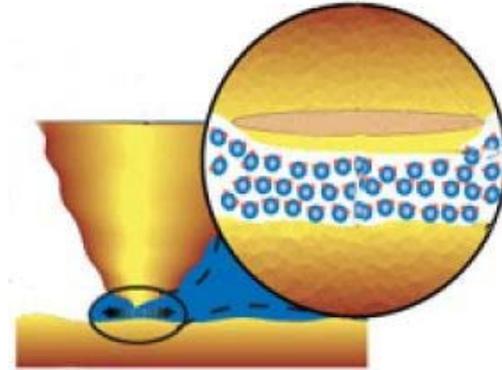
The geometry of semiconducting nanowires makes them uniquely suited for light detection, according to a new UC San Diego study that highlights the possibility of nanowire light detectors with single-photon sensitivity.

Source: University of California - San Diego

<http://www.physorg.com/news96728801.html>

# WATER FLOWS LIKE MOLASSES ON THE NANOSCALE

A Georgia Tech research team has discovered that water exhibits very different properties when it is confined to channels less than two nanometers wide – behaving much like a viscous fluid with a viscosity approaching that of molasses. Determining the properties of water on the nanoscale may prove important for biological and pharmaceutical research as well as nanotechnology.



They found that when water was placed on a hydrophilic surface, the viscosity began to increase dramatically as the thickness of the confined film reached the 1.5 nanometer range. As they continued to compress the water and measure the lateral forces, the viscosity increased by a factor of 1,000 to 10,000.

**At the one nanometer scale, water is a viscous fluid and could be a much better lubricant.**

Georgia Tech physicists have discovered that water behaves differently when its compressed in nano-sized channel. In these small spaces water behaves much like a solid, exhibiting high viscosity and organizing itself into layers.

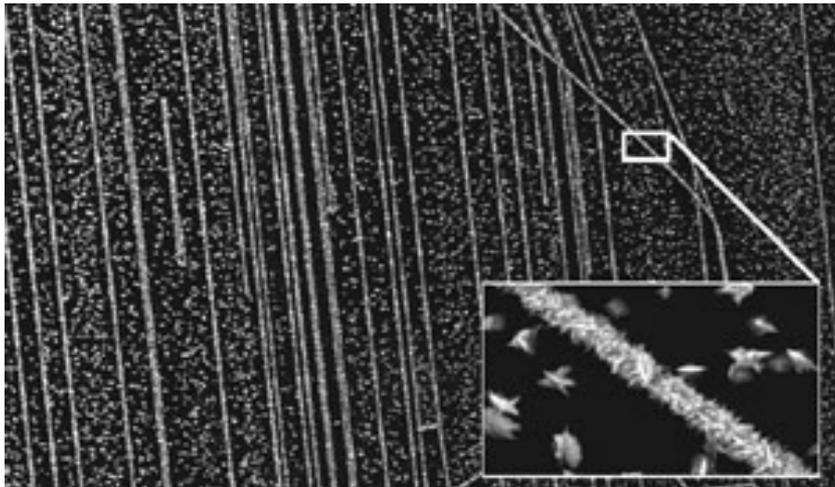
They found that when the distance between the tip and the surface is about one nanometer, we feel a repulsive force by the water that is much stronger than what we would expect."

Source: Georgia Institute of Technology  
<http://www.physorg.com/news96694671.html>

# NANO-FILS DE PALLADIUM DÉTECTEURS D'HYDROGÈNE

Beaucoup voient dans l'hydrogène (H<sub>2</sub>) la source d'énergie qui remplacera le pétrole.

Le palladium est un métal précieux qui se comporte comme une véritable éponge à H<sub>2</sub>.



En présence d'hydrogène, le palladium gonfle légèrement comme une éponge en présence d'eau. Ce gonflement "répare" les cassures, autorisant le passage du courant électrique : ils agissent sous atmosphère d'hydrogène comme autant d'interrupteurs qui se ferment et s'ouvrent lorsque la source d'hydrogène est ouverte puis coupée.

Dans ces capteurs, 10 à 100 nano-fils de palladium sont simultanément connectés au dispositif de mesure ou d'alarme par des contacts métalliques (en gris en haut et en bas sur la photo à la Une) et réagissent avec rapidité et précision à la présence d'hydrogène.  
© CNRS Photo : F. Favier

Ainsi, ces capteurs sont environ dix fois plus rapides que les capteurs commercialisés aujourd'hui. Ces nano-fils sont sensibles exclusivement à l'hydrogène et aucun gaz courant tel que l'oxygène, l'azote, l'argon, l'hélium... mais aussi industriel de type monoxyde de carbone ou méthane ne vient perturber la détection par le capteur.

<http://www.forumlabo.com/2006/actus/actus/cnrs/0102nano.htm>

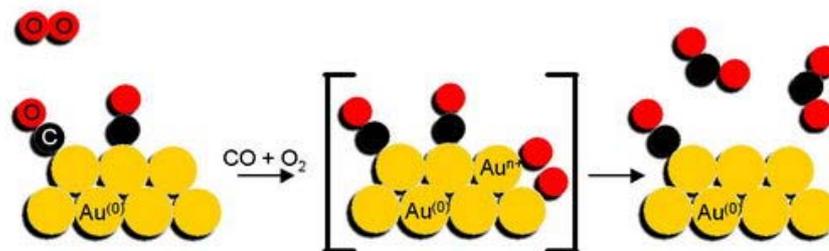
# WHEN GOLD BECOMES A CATALYST

Gold can act as a catalyst and transform carbon monoxide (CO) to carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) when it comes in the form of tiny pieces, called nano-particles.

Gold suddenly enhances desired chemical reactions as a catalyst for example in the removal of odours and toxins or to clean automotive exhaust gases.

The catalyst structure looks as if someone had pulverized a piece of gold and spread the tiny nano-sized pieces over an aluminum oxide support.

Only when the gold atoms are confined to the size of just a few millionth of a millimetre they start showing the desired catalytic behaviour.



**Mechanism for the catalytic reaction  $2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$**

The possible applications of this research could involve pollution control such as air cleaning.

Source: European Synchrotron Radiation Facility

<http://www.physorg.com/news70200836.html>

# NANOTECHNOLOGY FOR CLEAN WATER



## **Nanorust Cleans Arsenic from Drinking Water. (Image courtesy of CBEN/Rice University)**

With the World Health Organization estimating that as many as **35 percent of the deaths worldwide are due to contaminated drinking** water supplies, research focused on various forms of purification and filtration is critically important.

Rice University researchers recently discovered unexpected **magnetic interactions between ultra small specks of rust, which can help to remove arsenic from drinking water.**

***<http://www.nano.gov/>***

# DEVELOPING ARTIFICIAL RETINA

## ELECTRIC LINK BETWEEN NEURONS AND LIGHT-SENSITIVE NANOPARTICLE FILMS CREATED

The world's first direct electrical link between nerve cells and photovoltaic nanoparticle films has been achieved.

The process starts with a glass plate and then builds a layer-by-layer sandwich of two kinds of ultra-thin films, one made of mercury-tellurium nanoparticles and another of a positively charged polymer called PDDA. The scientists then added a layer of ordinary clay and a cell-friendly coating of amino acid, and placed cultured neurons on the very top.

When light shines on them, the mercury-tellurium nanoparticle film layers produce electrons, which then move up into the PDDA film layers and produce an upward-moving electrical current.

When the current reaches the neuron membrane, it depolarizes the cell to the point where it fires, and you get a signal in the nerve.

It should be possible for us to tune the electrical characteristics of these nanoparticle films to get properties like color sensitivity and differential stimulation, the sort of things you want if you're trying to make an artificial retina, which is one of the ultimate goals of this project.

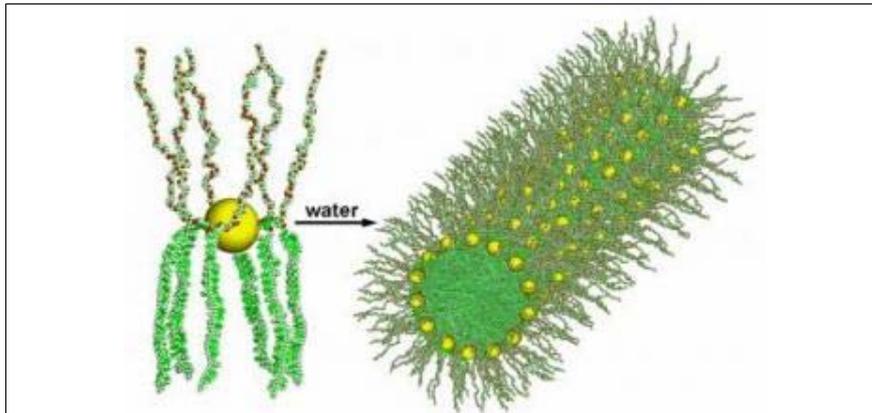
The beauty of this achievement is that these materials can be remotely activated without having to use wires to connect them. All you have to do is deliver light to the material

Source: University of Texas Medical Branch at Galveston

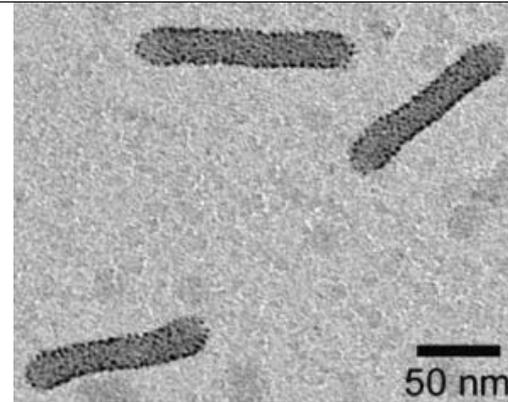
<http://www.physorg.com/news91799138.html>

# BIO-INSPIRED ASSEMBLY OF NANOPARTICLE BUILDING BLOCKS

Chemists at Rice University have discovered how to assemble gold and silver nanoparticle building blocks into larger structures based on a novel method that harkens back to one of nature's oldest known chemical innovations – the self-assembly of lipid membranes that surround every living cell.



**V-shaped amphiphilic molecules containing gold nanoparticles form cylindrical micelles when exposed to water. (G.Zubarev)**



**This electron microscope image clearly shows the tightly packed cylinders of gold nanoparticles. (G.Zubarev)**

Researchers believe the new method will allow them to create a wide variety of useful materials, including extra-potent cancer drugs and more efficient catalysts for the chemical industry.

Zubarev and colleagues synthesized V-shaped amphiphiles of polystyrene-b-poly(ethylene oxide) and attached two-nanometer diameter gold particles at the focal point of the V. Upon adding water and inducing micelle formation, the team found it could create tightly packed cylinders of gold nanoparticles measuring just 18 nanometers in diameter. By varying the length of the polystyrene arm, the solvents used and the size of the gold particles, Zubarev and colleagues were able to form spheres, vesicles and vary the diameter of their cylinders, some of which grew to well-over 1,000 nanometers in length.

<http://www.physorg.com/news83849970.html>

# L'ANALYSE DES RISQUES : LES INSTITUTIONS

## INSTITUTIONS NANO

### **MINISTERE DE LA RECHERCHE**

PROGRAMME NATIONAL NANOSCIENCES

<http://www.nanomicro.recherche.gouv.fr/>

CENTRES DE COMPETENCES NANO

<http://www.recherche.gouv.fr>

<http://www.recherche.gouv.fr/CDRom/C%27Nano%202006/A%20ouvrir.htm>

### **MINISTERE DE LA DEFENSE**

<http://www.defense.gouv.fr/dga/dicodsearch/dicodadvancedsearch>

### **MINISTERE DE L'ECOLOGIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE**

<http://www.ecologie.gouv.fr/>

**ADEME** Environnement Maîtrise Energie

<http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?id=11433&m=3&cid=96>

**INRS** Recherche et Sécurité

<http://www.inrs.fr/>

**CPP** Comité de la Prévention et de la Précaution (MEDD)

### **MINISTERE DU TRAVAIL**

**AFSSET** Sécurité Sanitaire Environnement Travail

<http://www.afsse.fr/>

### **MINISTERE DE L'INDUSTRIE**

[http://www.industrie.gouv.fr/index\\_portail.php](http://www.industrie.gouv.fr/index_portail.php)

**DIGITIP**

Direction générale de l'Industrie, des Technologies de l'Information et des Postes

### **AFNOR (Association française de normalisation)**

<http://www.afnor.org/portail.asp>

### **CEA**

[http://www.cea.fr/technologies/nanosciences\\_et\\_nanotechnologies](http://www.cea.fr/technologies/nanosciences_et_nanotechnologies)

### **CLUB NANOMICROTECHNOLOGIE**

<http://www.clubnano.asso.fr/>

### **CCNE (Comité Nationale d'Ethique)**

### **CNRS**

<http://www.cnrs.fr/dsg/MIPPU/sciences/nanosciences/>

<http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosnano/>

### **ECRIN / Clubs CRIN (CNRS/CEA)**

<http://www.ecrin.asso.fr/>

### **INSTITUT DES NANOSCIENCES DE PARIS**

<http://www.insp.jussieu.fr/>

### **MINATEC (CEA LETI / INPG)**

<http://www.minatec.com/>

### **OMNT (Observatoire des Micro et Nanotechnologies) (CEA/CNRS)**

<http://www.omnt.fr/>

### **VIVAGORA Débats publics Sciences et Société**

<http://www.vivagora.org/>

### **EUROPE**

<http://www.nanosci-era.org/>

*Nanosafe, Nanoderm, Shape Risk, Nano2life*

**CEN (Comité européen de normalisation)**

# L'ANALYSE DES RISQUES (2) : L'INRS

**INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE ET DE LA SÉCURITÉ**  
**[HTTP://WWW.INRS.FR/](http://www.inrs.fr/)**

## **● SOURCES POTENTIELLES D'ÉMISSION DE PUF (PARTICULES ULTRA FINES)**

PROCEDES THERMIQUES, PROCEDES MECANQUES, COMBUSTION

## **● RISQUES POUR LA SANTE**

VOIES DE PENETRATION : RESPIRATOIRE, CUTANEE, DIGESTIVE

Les particules de diamètre de 10 à 100 nm se déposent dans les alvéoles pulmonaires (poumon profond)

Les nano-objets se retrouvent dans le système gastro-intestinal

Les nano-objets sont capables de franchir les barrières biologiques (bronches, intestions, placenta,...) et atteindre d'autres organismes (foie, cœur, rate,...)

## **● FACTEURS RESPONSABLES DES EFFETS TOXICOLOGIQUES**

Composition chimique, taille, surface, nombre, forme, structure, solubilité, agglomération

## **● PRECAUTIONS**

Métrologie, ventilation, filtration, adaptation du lieu de travail, équipement de protection spécifiques, stockage (explosion)

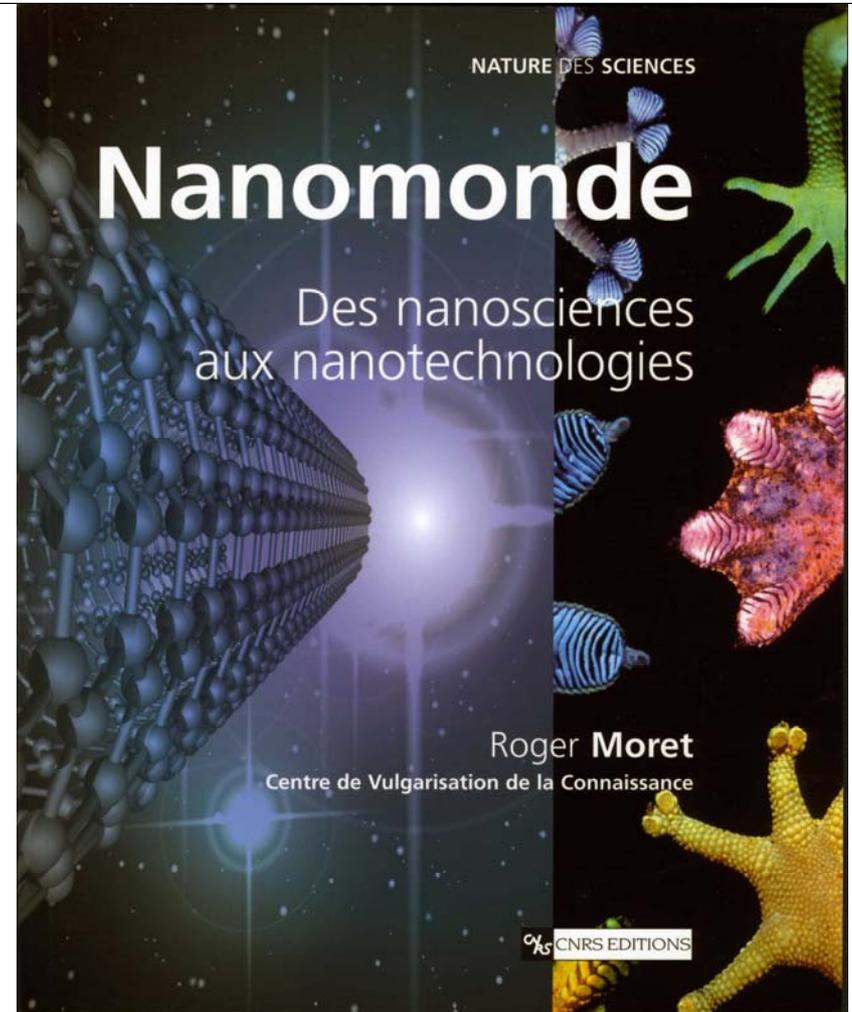
# L'ANALYSE DES RISQUES (3) : LE CNRS

## **LE LIVRE** (Octobre 2006) NANOMONDE

- INCERTITUDES, RISQUES ET CRAINTES  
Usage malveillant, perte de contrôle des applications, transgression des lois naturelles
- TOXICITES ET POLLUTIONS NOUVELLES  
Nanosafe2 : projet européen devant définir une méthode d'évaluation des risques
- INFORMATION, CONTROLE, SURVEILLANCE  
RFID (Radio Frequency Identification)

## **L'ATELIER** (22 Décembre 2006) EMERGENCE DES NANOSCIENCES

- TOXICITE DES NANOPARTICULES
- TRANSFORMATION DE L'HUMAIN
- LIBERTES INDIVIDUELLES/TRACABILITE
- DEVELOPPEMENT EQUITABLE
- UTILISATION PACIFIQUE



# L'ANALYSE DES RISQUES (4) : LE CCNE

## COMITE CONSULTATIF NATIONAL D'ETHIQUE (pour les Sciences de la Vie et de Santé)

<u>NANOSCIENCES</u> <u>REVOLUTION SCIENTIFIQUE</u>	<u>RECOMMANDATIONS</u>
<ul style="list-style-type: none"><li data-bbox="54 386 944 458">● <u>LA TRACABILITE</u> Détection des nanoparticules</li><li data-bbox="54 496 944 568">● <u>EFFETS BIOLOGIQUES ET BIODEGRADABILITE</u> Rupture des barrières biologiques</li><li data-bbox="54 606 944 678">● <u>LES PROPRIETES NOUVELLES</u> Effets secondaires</li><li data-bbox="54 716 944 829">● <u>BUDGET RECHERCHE SUR LES RISQUES FAIBLE</u> 10 B\$ Recherche et développement 40 M\$ Risques (0,4 %)</li><li data-bbox="54 868 944 981">● <u>DECONNEXION DISCOURS REALITE</u> Produire pour comprendre plutôt que pour vendre Manque de recherche fondamentale</li><li data-bbox="54 1019 944 1090">● <u>INFORMATIONS SUR LA PERSONNE</u> Personne/Code barre</li><li data-bbox="54 1129 944 1242">● <u>MODIFICATION NON THERAPEUTIQUE DE LA PERSONNE</u> Sportifs et militaires nano-préparés</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li data-bbox="946 351 1845 386">● <u>INFORMATION SUFFISANTES</u></li><li data-bbox="946 425 1845 461">● <u>DEVELOPPER LA METROLOGIE</u></li><li data-bbox="946 499 1845 535">● <u>DEVELOPPER LA RECHERCHE FONDAMENTALE</u></li><li data-bbox="946 574 1845 758">● <u>DEVELOPPER LA RECHERCHE PLURIDISCIPLINAIRE</u> Environnement Santé Implications biologiques</li><li data-bbox="946 796 1845 909">● <u>DEVELOPPER LA PROTECTION</u> Des travailleurs Des lieux d'étude et de production</li><li data-bbox="946 948 1845 1089">● <u>DEVELOPPER LA DIFFUSION DES INFORMATIONS</u> Des acquis scientifiques Des réseaux d'agences De la culture scientifique</li><li data-bbox="946 1128 1845 1303">● <u>ACCROITRE LA VIGILANCE</u> Liberté individuelle Dignité humaine Respect de la personne ( ≠ Homme-machine, performances, rentabilité)</li></ul>

# L'ANALYSE DES RISQUES (4) : LE CSD

# L'ANALYSE DES RISQUES (5) : EPE/APPA et CPP

## ENTREPRISES POUR L'ENVIRONNEMENT ASSOCIATION POUR LA PREVENTION DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

Consultation citoyenne sur les questions environnementales et sanitaires  
liées au développement des Nanotechnologies  
Octobre 2006

- URGENCE DE LA MISE EN PLACE D'UN DEBAT CITOYEN

- RISQUES ENVIRONNEMENTAUX ET SANITAIRES  
Communication, Traçabilité, Vie privée, Usage militaire

---

### COMITE DE LA PREVENTION ET DE LA PRECAUTION

Rapport  
Nanotechnologies, Nanoparticules  
Mai 2006

- RECENSER LES NANOPARTICULES PRODUITES

- PRODUIRE DE NOUVELLES CONNAISSANCES

- ADOPTER DES MESURES DE PRECAUTION

- REFLEXION SOCIETALE : bénéfiques/risques

# NANOPHILOSOPHIE

- **LE PROBLÈME THÉOLOGICO-SCIENTIFIQUE**
- **ET LA RESPONSABILITÉ DE LA SCIENCE**
  - **par Jean-Pierre Dupuy**

- **1. La prétendue neutralité de la science**
- Le désenchantement ne correspond pas forcément à un savoir et à une maîtrise, et pour la très grande masse des citoyens des sociétés dominées par la science et la technique, il n'y a de fait ni savoir ni maîtrise . Il relève, paradoxalement, de la croyance et de l'acte de foi !
- **Je me propose de réfuter la thèse que la science et la technique ne seraient qu'un moyen inerte au service d'une volonté qui serait politique**
- La question que je voudrais poser est celle de la possibilité d'une science qui serait elle-même pure immanence. Mais aussi la question est de savoir si la science peut et doit viser à n'être que pure opérationnalité, ayant renoncé une fois pour toutes à la tâche, qu'elle laisse à la philosophie, de donner sens au monde.
- **2. Le problème théologico-scientifico-politique**
- Bill Joy, l'inventeur du programme Java (le langage d'Internet) :
- **• L'avenir n'a pas besoin de nous**
- **• Les technologies les plus puissantes du XXIème siècle - la robotique, le génie génétique et les nanotechnologies - menacent de faire de l'humanité une espèce en voie de disparition.**
- La science et la technique ne peuvent se défaire sur la société de leur responsabilité dans ce que la société fait d'elles.
- **3. Pourquoi nous avons besoin de l'avenir**
- Notre problème majeur est d'**éviter la catastrophe suprême.**
- La Terre nous est prêtée par nos enfants.
- Il se peut que l'avenir n'ait pas besoin de nous, mais nous, nous avons besoin de l'avenir, car **c'est l'avenir qui donne sens à tout ce que nous faisons.**
- **4. Quand les technologies convergeront**
- Comment expliquer que la **science** soit devenue une activité si « risquée » que, selon certains scientifiques de premier plan, elle constitue aujourd'hui la **principale menace à la survie de l'humanité ?**
- L'évaluation normative des technologies convergentes doit donner sa juste place à la question des "risques", cela va de soi, mais ni plus ni moins.

# NANOPHILOSOPHIE

- **5. Dépasser la problématique des risques**
- ***Les effets sur le rapport à la nature (effets ontologiques)***
- Le problème n'est plus de savoir jusqu'à quel point on peut ou on doit "transgresser" la nature. Le problème, c'est que la notion même de transgression est sur le point de perdre tout son sens. **L'homme ne rencontrera jamais plus qu'un monde à l'image de ses propres créations artificielles.**
- ***Les effets sur le rapport à la connaissance (effets épistémiques)***
- Ce n'est plus seulement en faisant des expériences sur elle, ce n'est plus seulement en la modélisant, que les hommes désormais connaîtront la nature. C'est en la re-faisant.
- ***Les effets sur la possibilité même de l'éthique (effets éthiques)***
- **Les nanotechnologies ouvrent un continent immense que l'homme va devoir normer s'il veut leur donner sens et finalité.** Il faudra alors que le sujet humain recoure à un surcroît de volonté et de conscience pour déterminer, non pas ce qu'il peut faire, mais bien ce qu'il *doit* faire.
- ***Les effets sur les catégories (effets métaphysiques)***
- L'effet le plus troublant est sans conteste le brouillage des distinctions catégorielles au moyen desquelles l'humanité, depuis qu'elle existe, s'est toujours repérée dans le monde. Le naturel non vivant, le vivant et l'artefact sont en bonne voie de fusionner.
- **6. The Matrix , la science et les transhumanistes**
- M. William Sims Bainbridge (Sociologue spécialisé dans l'étude des sectes religieuses, co-responsable de l'initiative américaine NBIC haut fonctionnaire de la National Science Foundation) est membre actif d'un mouvement international qui se nomme "transhumanisme ».
- **Les transhumanistes se donnent pour tâche d'accélérer grâce aux technologies convergentes NBIC le passage à l'étape prochaine de l'évolution biologique.**
- Non, vraiment, je ne vois aucune contradiction à avouer mon amour pour la science, à dire mon admiration devant les prouesses techniques, à exprimer le besoin que j'éprouve, en tant que philosophe, de m'abreuver aux idées de la science, tout en affirmant que la science, de par son irréflexion foncière, est plus que jamais susceptible d'engendrer des processus aveugles qui peuvent nous mener au désastre.
- **7. La responsabilité de la science**
- A trop vanter les conséquences positives "fabuleuses" de la révolution en cours, on s'expose à ce que des critiques non moins hypertrophiées s'efforcent de la tuer dans l'œuf.
- Lorsqu'il s'agit de vendre son produit, les perspectives les plus grandioses sont agitées à la barbe des décideurs. Lorsque les critiques, alertés par tant de bruit, soulèvent la question des risques, on se rétracte : la science que nous faisons est modeste. Le génome contient l'essence de l'être vivant mais l'ADN n'est qu'une molécule comme une autre.
- **Le mieux que l'on puisse espérer est d'accompagner, à la même vitesse que leur développement et, si possible, en l'anticipant, la marche en avant des nanotechnologies, par des études d'impact et un suivi permanent.**

# NANOPHILOSOPHIE

- **PRINCIPES EXTROPIENS**
  - **MAX MORE**

**Extropie** : le niveau d'intelligence, d'information, d'ordre, de vitalité, et de capacité de progrès d'un système.

**Extropiens** : ceux qui cherchent à augmenter l'extropie.

**Extropianisme** : la philosophie, transhumaniste et en évolution, de l'extropie.

- **Progrès perpétuel** — Viser plus d'intelligence, de sagesse, d'efficacité, une durée de vie indéfinie, la suppression des limites politiques, culturelles, biologiques et psychologiques à la réalisation de soi. Dépasser sans cesse ce qui contraint notre progrès et nos possibilités. S'étendre dans l'univers et avancer sans fin.
- **Transformation de soi** — Affirmer le développement constant sur le plan moral, intellectuel et physique, par la pensée critique et créative, la responsabilité personnelle et l'expérimentation. Rechercher l'augmentation biologique et neurologique ainsi que le raffinement émotionnel et psychologique.
- **Optimisme pratique** — Nourrir l'action par des attentes positives. Adopter un optimisme rationnel, basé sur l'action, par opposition tant à la foi aveugle qu'au pessimisme stagnant.
- **Technologie intelligente** — Appliquer la science et la technologie de façon créative pour transcender les limites « naturelles » que nous imposent notre héritage biologique, notre culture et notre environnement. Voir la technologie non comme une fin en soi, mais comme un moyen d'améliorer la vie.
- **Société ouverte** — Soutenir des organisations sociales qui favorisent la liberté d'expression, la liberté d'action et d'expérimentation. S'opposer au contrôle social autoritaire et préférer l'autorité de la loi et la décentralisation du pouvoir. P 2287 référer la négociation au conflit et l'échange à la contrainte ; choisir l'ouverture à l'amélioration plutôt qu'une utopie statique.
- **Auto-orientation** — Rechercher la pensée indépendante, la liberté individuelle, la responsabilité personnelle, l'auto-orientation, l'estime de soi et le respect des autres.
- **Pensée rationnelle** — Préférer la raison à la foi aveugle, et le questionnement au dogme. Rester ouvert aux remises en question de nos croyances et de nos pratiques, à la recherche d'une amélioration perpétuelle. Accueillir la critique de nos croyances existantes et être ouvert à des idées nouvelles.

- **<http://editions-hache.com/essais/more/more1.html>**

# CONCLUSIONS

## LES AVANCEES

ELLES SONT QUOTIDIENNES

ELLES CONCERNENT TOUS LES DOMAINES

ELLES SONT PLURIDISCIPLINAIRES

## LES RISQUES PHYSIOLOGIQUES

ILS SONT MULTIPLES

ILS DEPASSENT LES RISQUES TRADITIONNELS NOTAMMENT POUR LA SANTE  
(DEPASSEMENT DES BARRIERES BIOLOGIQUES)

## LES CRAINTES SOCIETALES

LE TRANHUMANISME

LA PERTE DE LIBERTE

## LES ACTIONS

ELLES SE METTENT EN PLACE

# PERSPECTIVES

## **DEVELOPPER LE « PERI » NANO**

### **1- RECHERCHE SUR LES RISQUES**

TOXICITE

LABORATOIRES, EQUIPES, BOURSES

### **2- ENQUETE SUR LES TRAVAILLEURS**

FICHE NANOPARTICULES

SUIVI MEDICAL

### **3- DEVELOPPER L'INFORMATION**

SITES INTERNET

ORGANISATION LISIBILITE ET COMPREHENSION

GRAND PUBLIC

### **4- DEVELOPPER LA PEDAGOGIE**

REDACTION D'OUVRAGES

GRAND PUBLIC