

Les nanotechnologies : c 'est quoi ? pour quoi faire ? pour qui ?

Alain Bourret

Ancien chef de service au CEA :
Microstructures et Nanostructures

L' échelle des dimensions

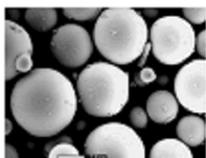
Du naturel.....



Foumi
~ 1 cm



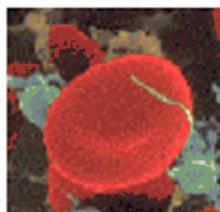
Acarien
200 μm



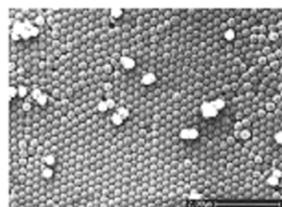
Pollen
~ 10-20 μm



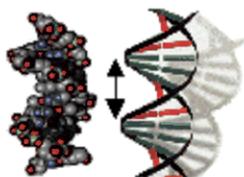
Cheveu humain
~ 10-50 μm



Globule rouge
~ 2-5 μm



Opale naturelle
~ 0.2 μm

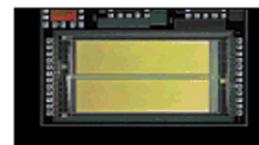
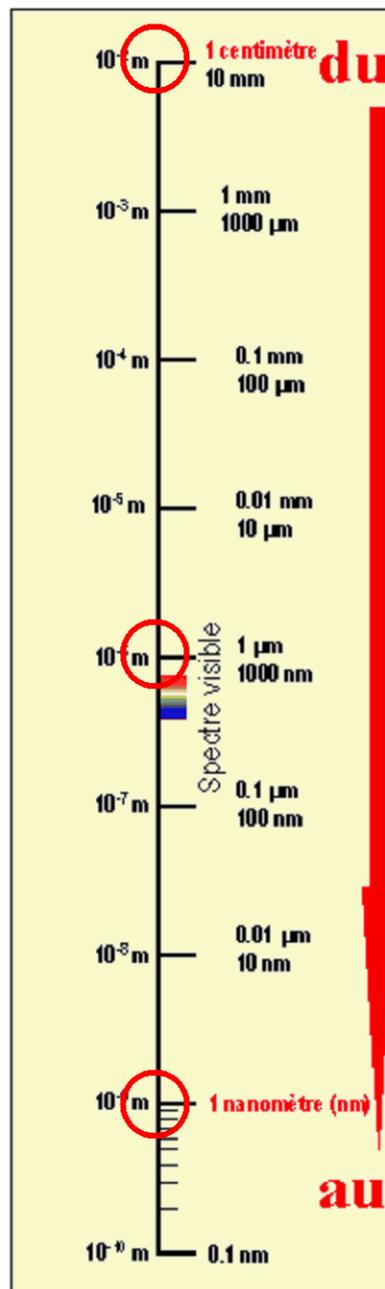


ADN
3.4 nm

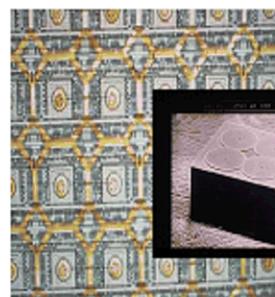


Atomes de silicium
~ 0.3 nm

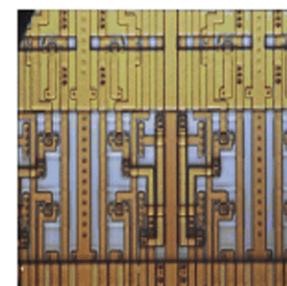
..... à l'artificiel



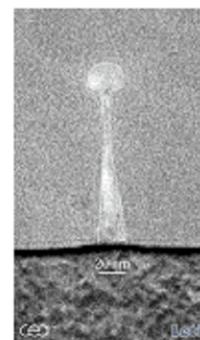
Circuit intégré
1 cm²



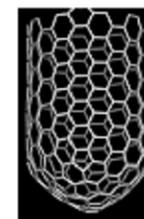
Microsystèmes
10 -100 μm



Interconnexions des circuits intégrés
1-0.1 μm



Le plus petit transistor
~ 20 nm



Nanotube de carbone
diamètre ~ 2 nm

Cliché CEA

Essai de définition des nanotechnologies

- Un terme à la mode et fourre-tout ?
- qui recouvre une réalité très vaste, de la puce à l'implant actif
- dont les frontières sont floues, les OGM ???
- « Nano » flanque maintenant toutes les sciences dures et techniques nanophysique, nanochimie, nanobiotechnologie
- Alors : toute technique qui manipule ou met en œuvre des objets de dimension nanométrique ?

Pas si simple !!!

Sommaire

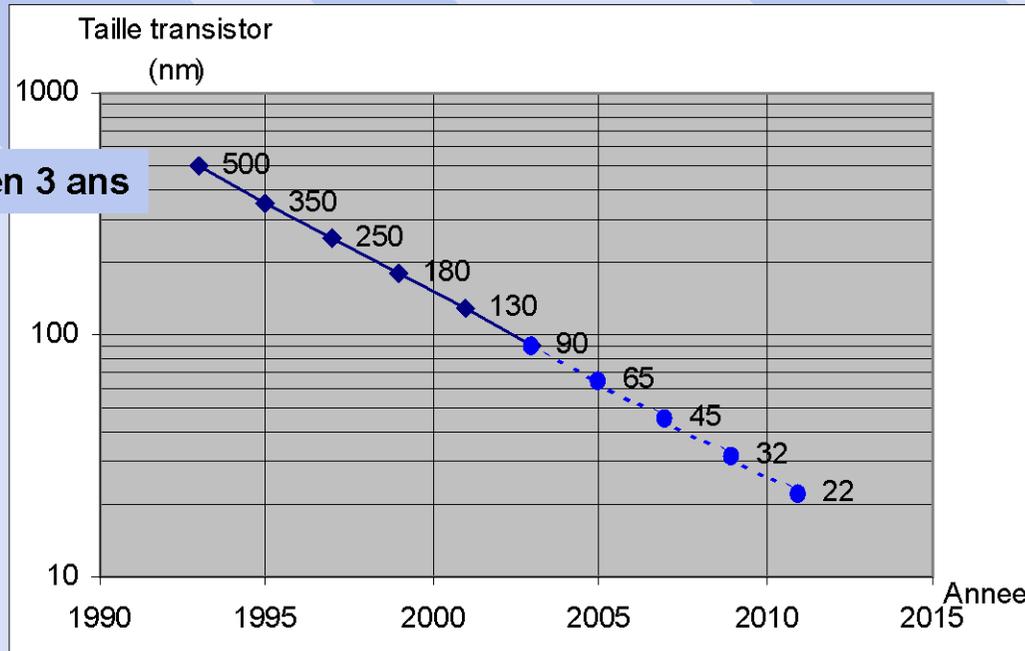
*La mise en place historique des nanotechnologies
et nanosciences ...*

Le point actuel sur les réalisations

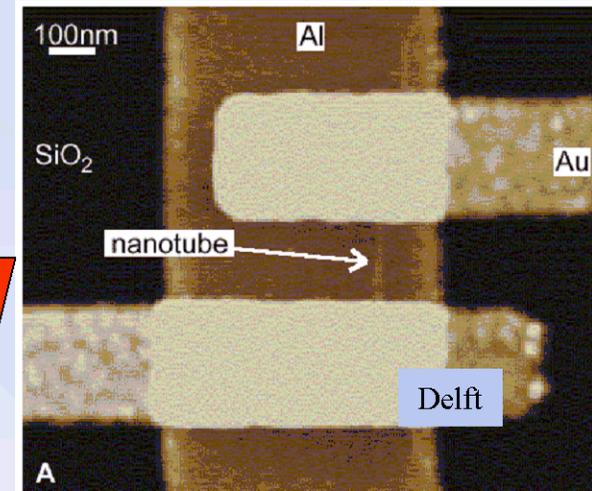
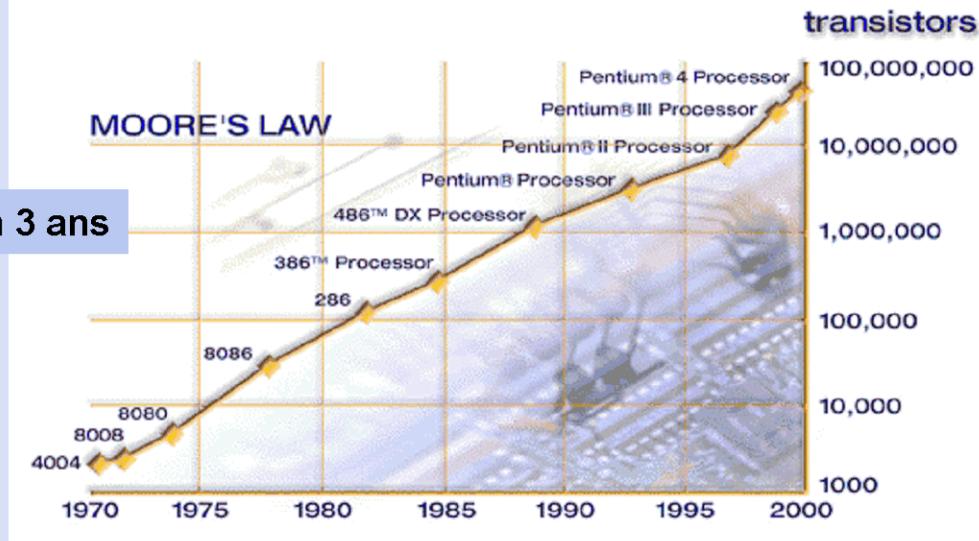
Les dangers avérés et potentiels

Les rêves et la science-fiction

La mise en place historique . Les développements depuis 1990



Microélectronique



les nm en 2002

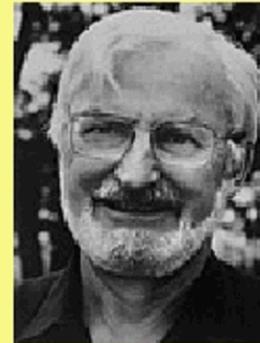
La mise en place historique

Une percée importante: le microscope à effet tunnel

Microscopes tunnels (1981) par H. Rohrer et G. Binig (prix nobel physique 1986)

Permettant:

- de voir (1981)



H. Rohrer



G. Binig

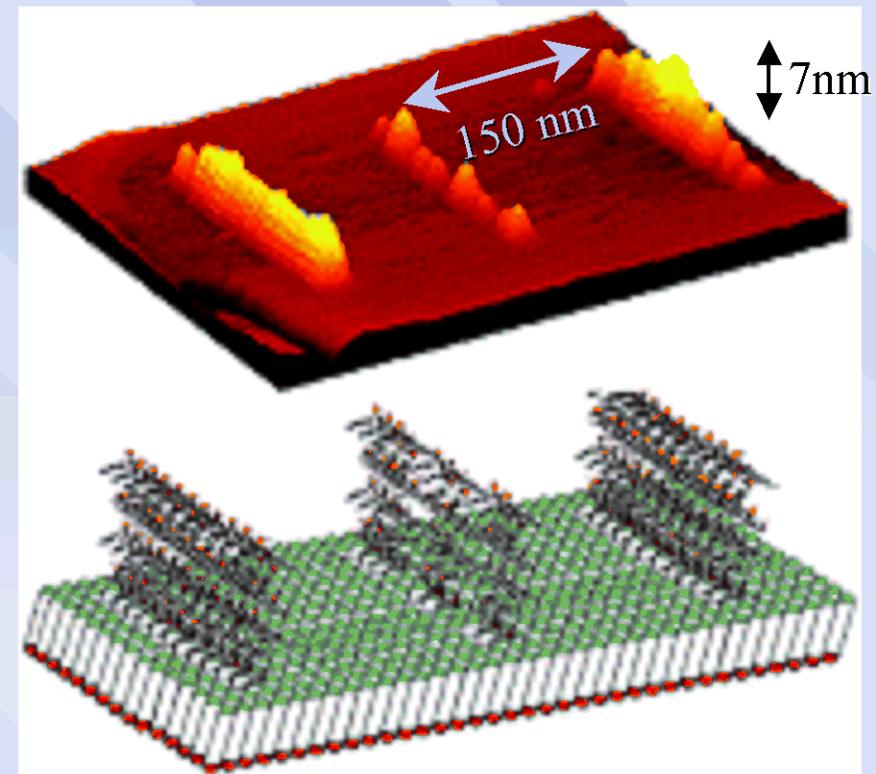
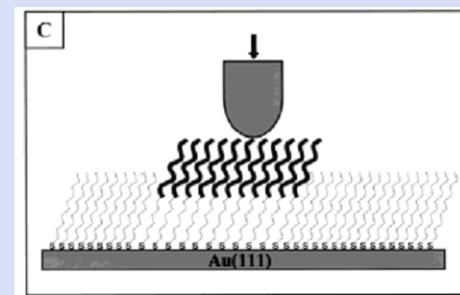
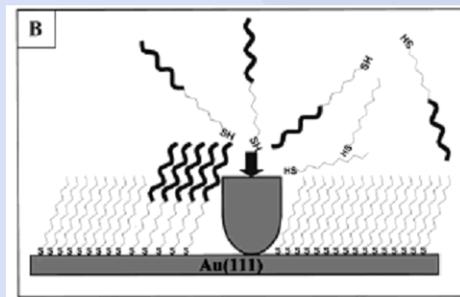
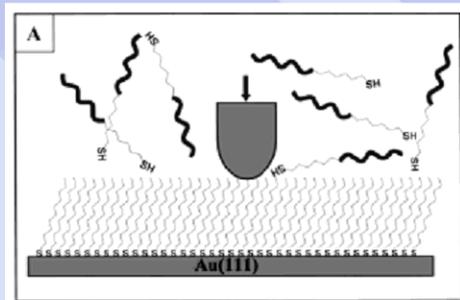
- puis de manipuler (1988)



Nanobonhomme en monoxyde de carbone
Zeppenfeld & Eigler - IBM
Logo avec 135 atomes de xénon

La mise en place historique

- Des éléments nanométriques par réduction de taille
- Un véritable lego moléculaire ou atomique

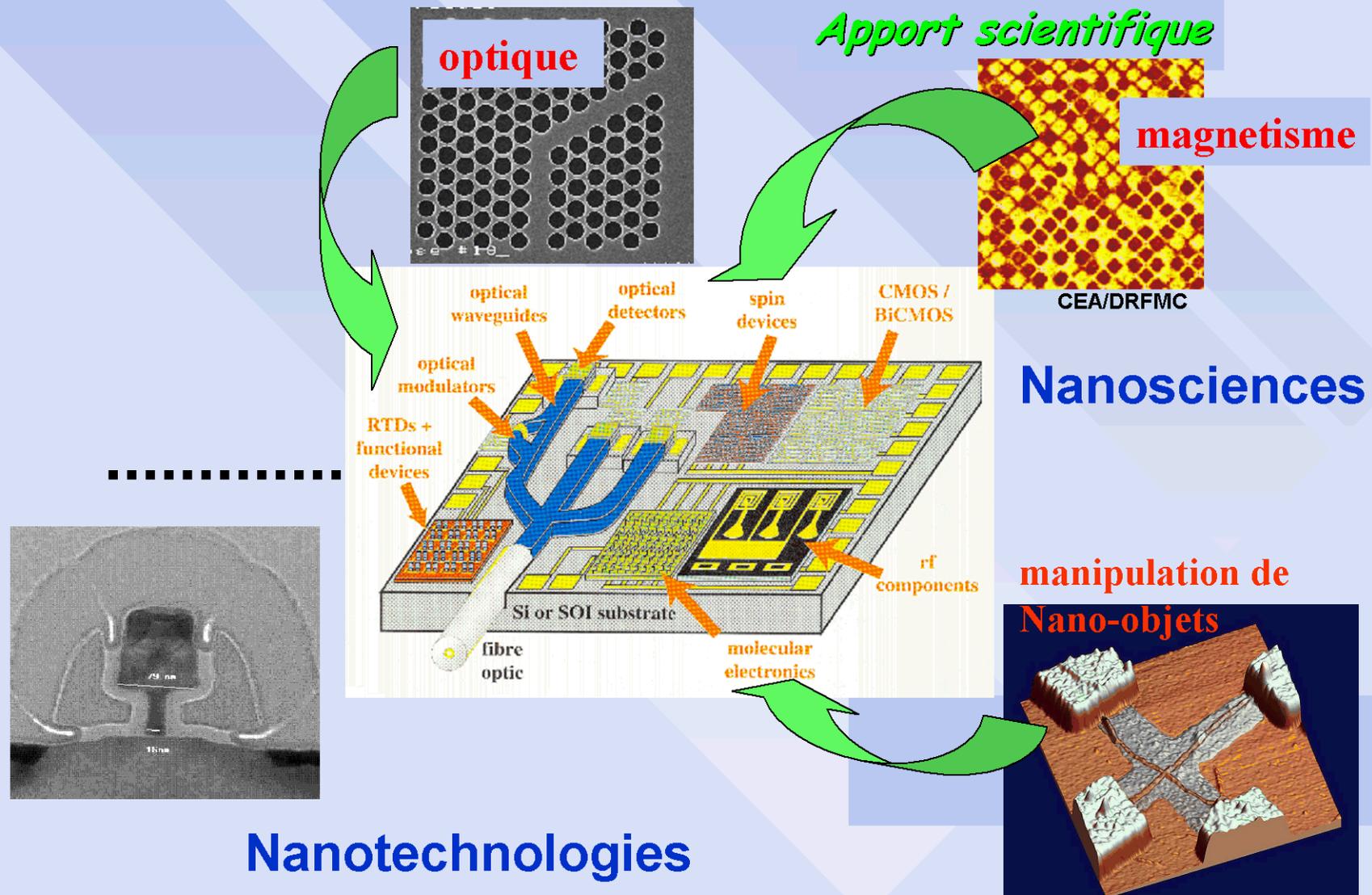


Dépôt de morceaux de DNA en bande

La pointe organise

La mise en place historique

La puce, synthèse de sciences et de technologies :



Quoi de neuf ?

Qu'est ce qui change ?

Poids relatifs des effets physiques

Exemple: un insecte marche sur l'eau pas un éléphant

Rapport surface-volume de plus en plus grand

Mécanique quantique

Aspects ondulatoires du comportement des électrons, états superposés

La taille

Mettre plus de composants dans un volume donné

Le point actuel sur les réalisations

1- Des matériaux nouveaux

2- Des microsystemes pour analyser, capter, voir...

3- Des micro-laboratoires

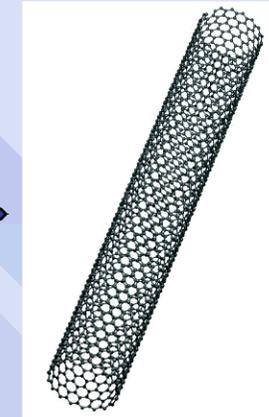
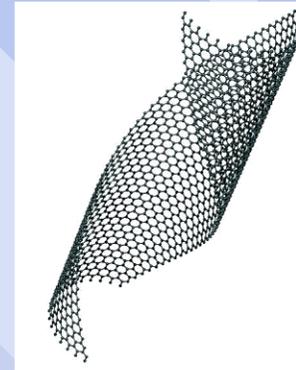
4- Des mémoires gigantesques

5- Des moyens de communication « invisibles »

■ Des nanotubes de carbone

Bons conducteurs de l'électricité, ils peuvent être métalliques ou semi-conducteurs selon le type d'enroulement. Ils pourraient constituer les « câbles de connexion » ou les transistors de l'électronique moléculaire

Prototype déjà réalisé



Structure d'un nanotube de carbone

(Chris ewels, www.ewels.info)

→ **Contact avec la microélectronique**

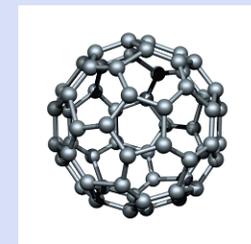
Le nanotube est une structure à la fois solide, légère et souple

- 100 fois plus résistant
- 6 fois plus léger que l'acier

Capable d'amarrer un satellite à la terre ?

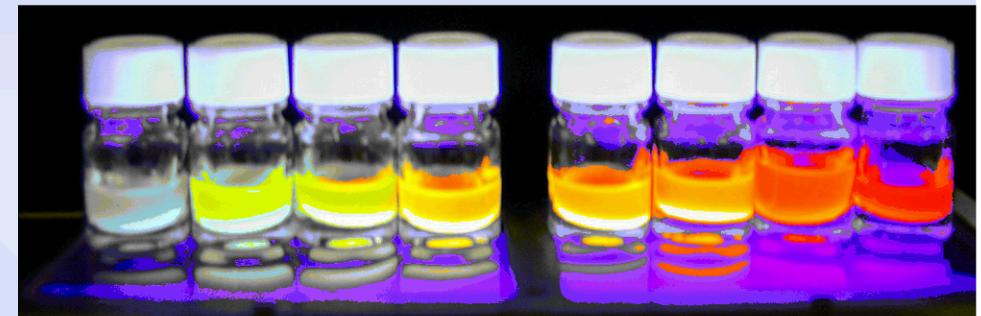
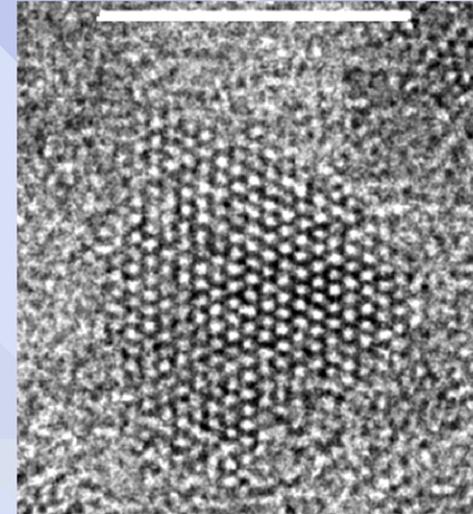
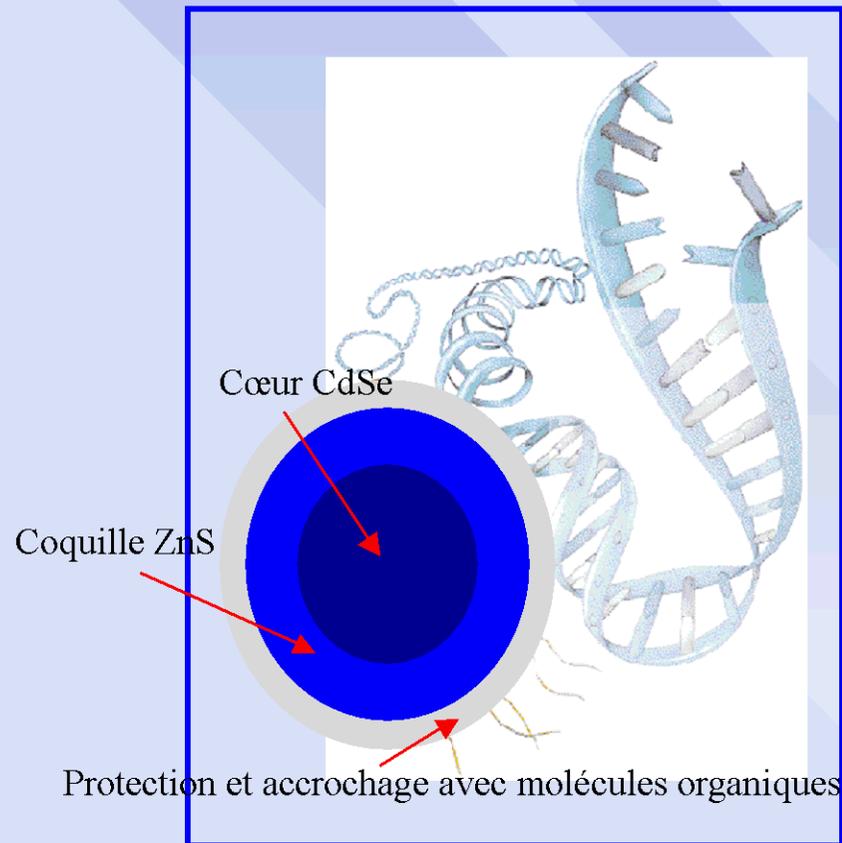


Structure d'un fullérene



→ **Contact avec la métallurgie**

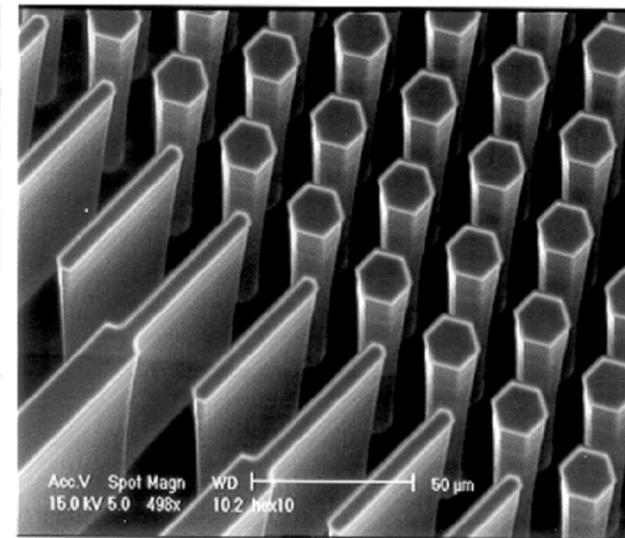
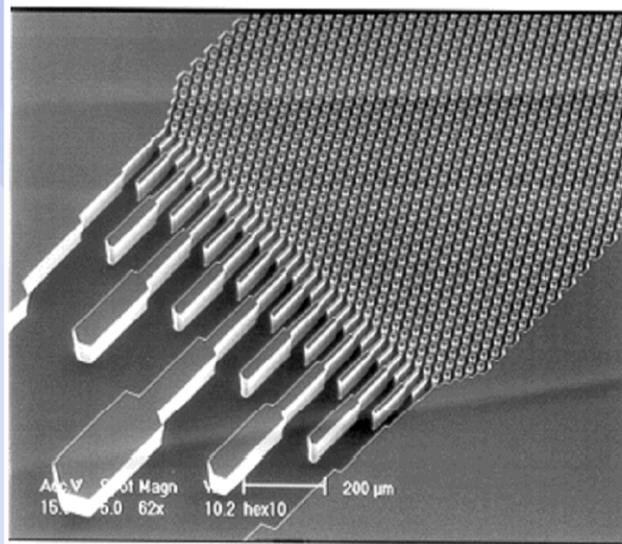
- Des **nanoparticules** fluorescentes pour marquer... molécules, ADN, cellules



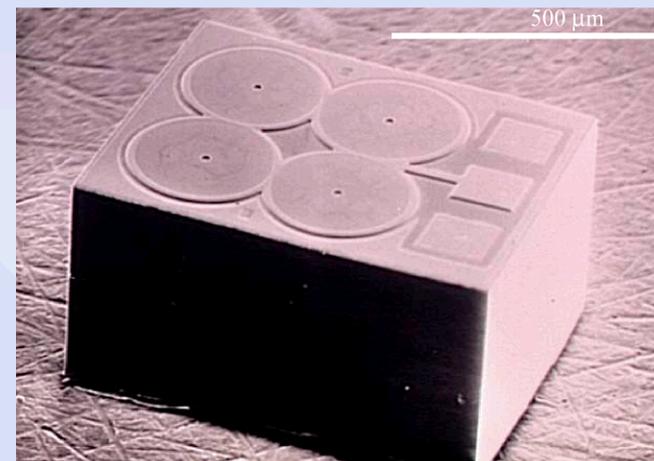
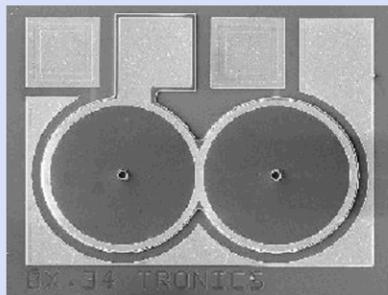
- Dépollution de l'eau, transport de médicaments

→ **Contact avec la biologie**

■ Des microréacteurs à protéines



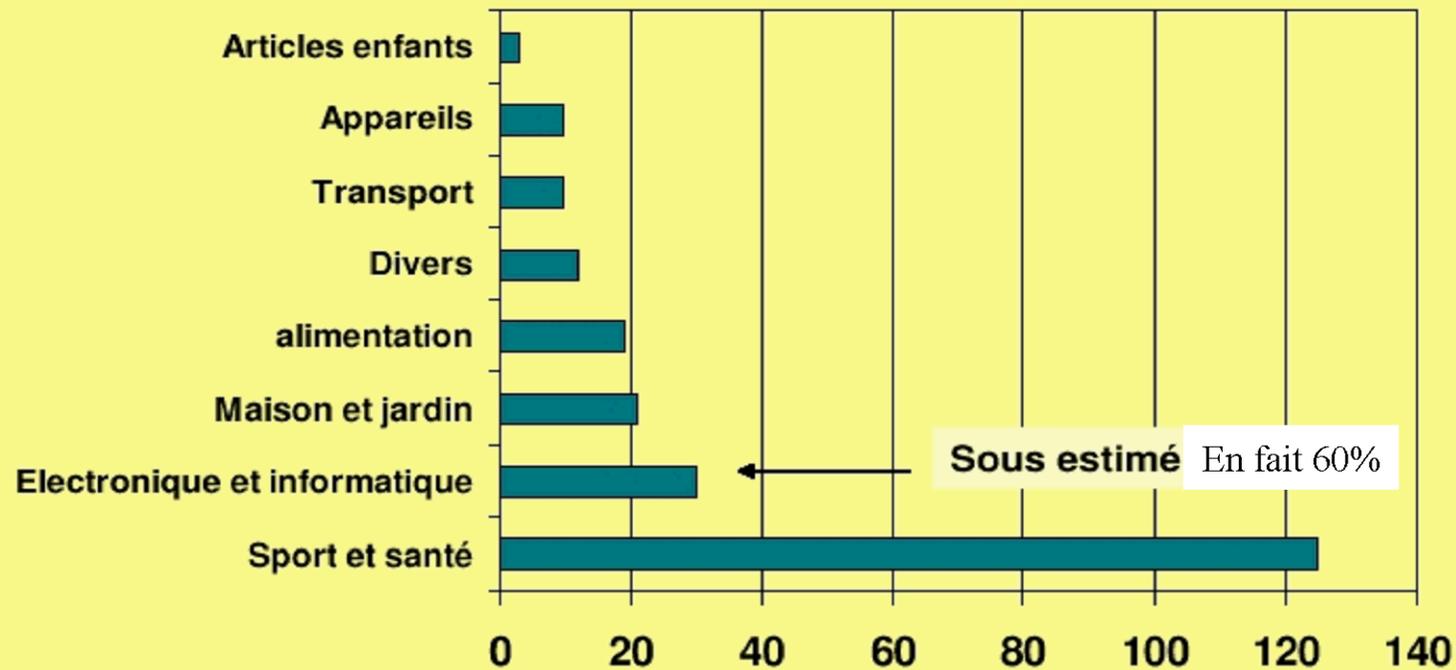
■ Des capteurs de pression



Les applications

Inventaire du centre Woodrow Wilson

Recherche de produits pour lesquels des nanotechnologies, sont explicitement mentionnées



<http://www.nanotechproject.org/>
<http://www.azonano.com/Applications.asp>

13

Matériaux

Babolat VS NCT Power

- Raquette de tennis

Un maximum de puissance généré par les stabilizers renforcés en Nanotube de carbone. Un poids et un équilibre spécialement étudiés pour augmenter la maniabilité.

- Vélo de compétition

La Pro Machine SLC01 BMC

Grâce à l'addition de tubes en carbone microscopiques à la résine qui cimente les fibres de carbonées, des valeurs de matériel jamais vues sont atteintes. Le cadre d'un poids inférieur à un kilo affiche d'excellentes valeurs de rigidité.

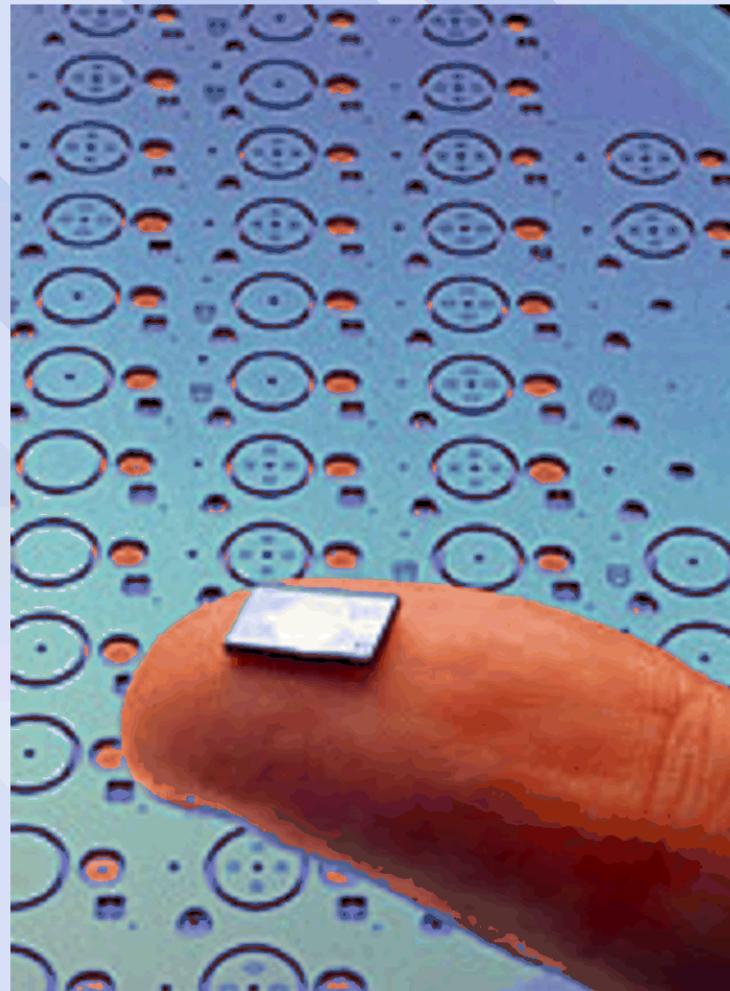
- Peinture automobile

En l'occurrence, ce nouveau type de vernis fait usage des propriétés des nanoparticules de **céramique**. Lors de la phase de séchage en étuve, ces nanoparticules forment un maillage extrêmement solide.

Les applications

- Une révolution en marche puisque plus de 300 produits "nanos" sont déjà sur le marché : textiles insalissables recouverts d'une pellicule de nanoparticules d'argent ; verres autonettoyants, sur lesquels ont été déposés des couches minces d'oxyde de titane ou encore dentifrice aux nanoparticules de phosphate de calcium, qui comblent les minuscules fissures des dents.

- La pompe à insuline



Applications

Des capteurs ou microlaboratoires d'analyse

- Les puces à ADN pour la détection des gènes et des mutations

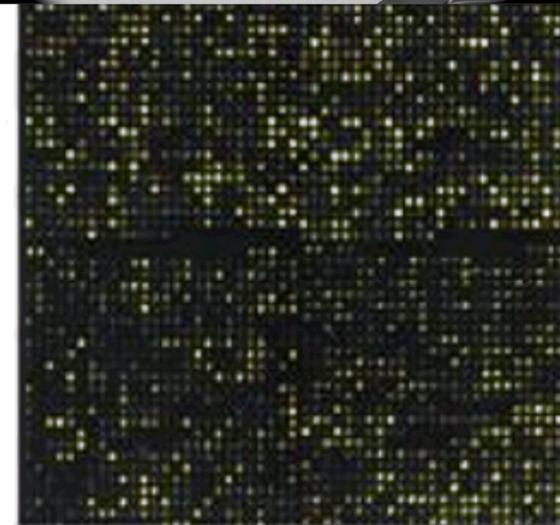
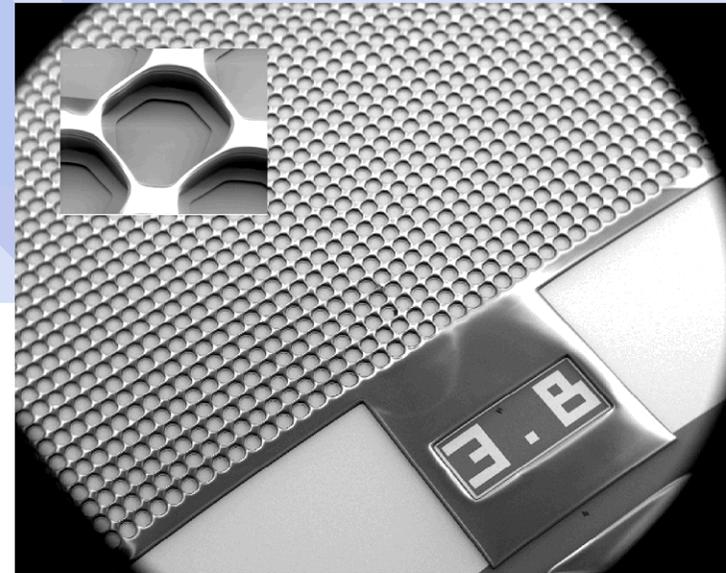
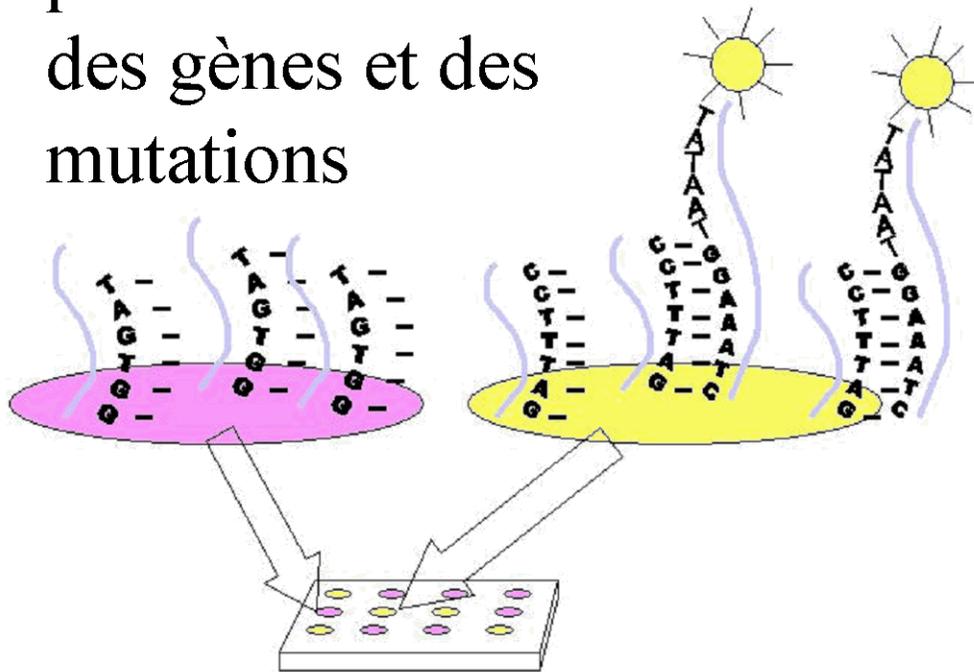


Image de fluorescence

→ **Contact avec la biologie**

Nanomédecine - Santé

- **Instrumentation et analyses**

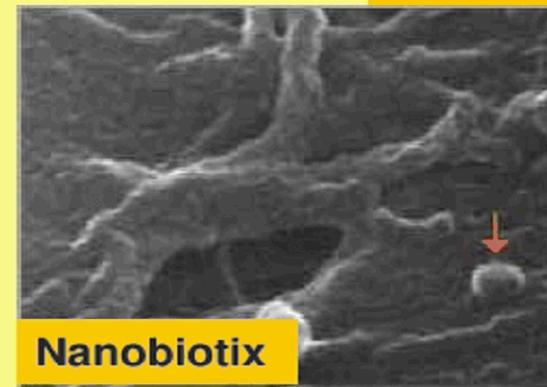
- Reconnaissance moléculaire
- Instrumentation in vivo



Caméra ingérable
Given imaging

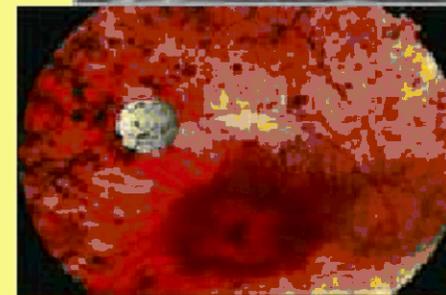
- **Vectorisation de médicaments**

- Encapsulation, furtivité
- Reconnaissance moléculaire



Nanobiotix

- **Tissus artificiels, réparation**



Implant rétinien
optobionics (2000)

Les Applications

Produits cosmétiques



Zelens Fullerene C-60 Face Cream

Zelen Fullerene C-60 Day Cream, as the name implies, incorporates nanoscale Fullerene C-60. It turns out that the material has remarkable antioxidant properties. £150 (\$250)

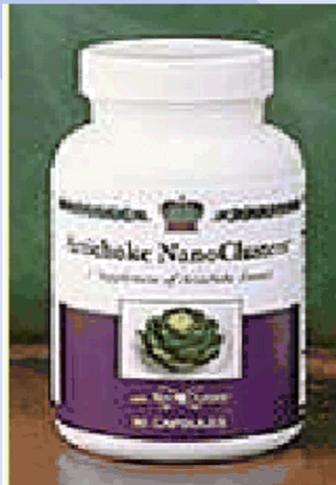


Eternalis™ Night Cream by Beyond Skin Science, LLC™

“Our research team is making significant advances to incorporate Nanostructured systems and ingredients into cosmetic products.

The objective is to develop formulas that optimize the delivery of active ingredients to the skin, significantly increasing the speed and visible results of our products.

29



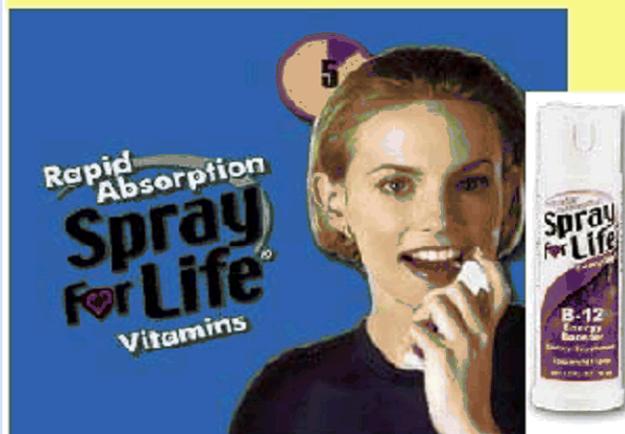
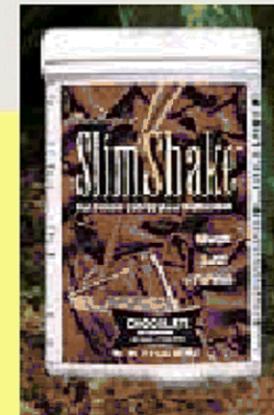
Nanoceutiques

“NanoCeuticals™, with nanoscale ingredients, allow RBC to create products that:

Scavenge more free radicals
Stimulate the source of energy
Increase hydration

.....

During the process of creating NanoClusters, pure Cocoa is added to the “Cluster” formation to enhance the taste and the benefits of this treasured food.”



The superior benefits of our patented N DS technology is to introduce Nanodroplets of pure nutrients into the body in a manner which allows over time, more rapid, uniform and complete absorption than pills,...

28

Les applications Des moyens de communications invisibles

- Les étiquettes et identifications par radio-fréquence (RFID), implantables
- Les réseaux sans fil reliant ordinateurs et « capteurs » embarqués
- La nano-optique et l'imagerie généralisée

- Les surveillances et contrôles de pollution
- La dépollution

- L'impact des nanotechnologies sur l'homme et la société sera profond et multiple
- Trois écoles s'affrontent :
 - Les hyper-optimistes : un avenir radieux pour l'humanité (Eric Drexler, ' engine of creation '-Foresight Institute)
 - Les catastrophistes : l'homme va s'autodétruire. (Bill Joy, JP Dupuy)
 - Comme pour toute nouvelle technologie, c'est son usage qui peut être bon ou mauvais, il faut donc contrôler les « produits » qui sortent des labos (les rapports des académies US, GB, France)
- Des associations de citoyens sont créées, les Etats mettent en place des groupes de réflexion
 - En France en 2007, trois colloques ou forum Cité des Sciences, Conseil Economique et Social, SFP à Mesucora.

- Le danger vient des nano-particules et des nanotubes (par analogie avec l'amiante, la pollution de l'air)
- La toxicité à forte dose est démontrée pour les nanotubes
- Les crèmes solaires ou les cosmétiques (TiO₂ et ZnO) sont ils dangereux ?
- Les futures applications en pharmacie (transport de médicaments) sont à évaluer

- Préconisations -Royal Society-Juillet 2004 puis suivi en 2006 par le CST
 - Recherche toxicologique et mise en place de normes spécifiques de toxicité
 - Principe de précaution dans les usines et les laboratoires de production
 - Interdiction de l'épandage sur le sol de nanoparticules avant évaluation
 - Interdiction de l'utilisation pour les stations de dépollution de l'eau avant évaluation

- Enquête ICON 2006

- Mais que veut dire principe de précaution ?
(mettre en place des procédures : acquérir des expertises sur les risques, évaluer ces risques, ne rien faire d 'irréversible, forums)
- Sur le plan biologique : les barrières biologiques naturelles résistent elles ? La dégradabilité des nanoparticules ?
- Généraliser « l 'autorisation de mise sur le marché » comme pour un médicament

- Plus difficile à cerner tant les applications sont variées
- Se pose à moyen (5/10 ans) ou long terme
- Quelques domaines où il faut se poser des questions :
 - Création d'un nouveau « gap » entre riche et pauvres
 - Les libertés civiles et la collecte d'information personnelle
 - L'amélioration de l'homme
 - Les convergence NBIC
 - Les usages militaires

Les dangers et les risques

Un nouveau « gap »

- Oui, si les applications sont orientées vers les gadgets coûteux et les opportunités du marché
- Non, si l'on tire vers la médecine, la production d'énergie renouvelable, la purification de l'air et de l'eau, des électroniques sur plastique... (D. Parr de GreenPeace)

Qui va contrôler les applications ?

- Le problème le plus urgent à traiter: vigilance !!
- La surveillance, le recoupement d 'information par la généralisation des puces, des RFID ou des moyens d 'information est déjà possible et va encore croître (biométrie, localisation...)
- Le tri des personnes par critère de santé, de consommation, d 'hérédité est faisable

Les gardes fous actuels sont ils suffisants ?

La CNIL pose comme principe : on ne stocke que des informations à finalité définie ...

- Pour guérir, soigner, surveiller, remplacer un organe déficient
- Pour améliorer le fonctionnement de certains organes
- Pour « booster » certaines fonctions ?

Médecine de riche ? Mythe de l 'homme parfait ?

- Renforcement des performances à la fois en défense et en attaque
- Danger de dissémination des nanotechnologies plus grand, car la recherche est essentiellement civile et les produits, des produits de masse
- Terrorisme par armes bio ou chimique plus facile

Ce ne sont pas des problèmes nouveaux, mais un peu plus cruciaux...

- Du très long terme, prévision très incertaine
- On aborde la science-fiction...
- Interfacer l'homme avec des systèmes matériels, implants de toutes sortes...les neurones artificiels

L'identité humaine ? Pourquoi faire ?

Conclusions

- Une révolution technologique est engagée mais ne pas détourner notre attention vers la science-fiction !
- Définir les problèmes réels : santé publique, sociaux, politiques , philosophiques, éthiques
- Mettre en place des groupes de travail interdisciplinaires pour ‘ surveiller ’ en temps réel l ’évolution de chaque domaine des nanotechnologies.
- Former les chercheurs et ingénieurs travaillant dans le domaine à une réflexion sur leur travail

Remerciements

- J.L. Pautrat « demain le nanomonde »
- Le rapport de l 'académie des sciences n° 18 -2004 : surtout technique
- Le rapport de la Royal Society « Nano, opportunities and uncertainties »-2004 puis CNR -2006: remarquable
- Les écrits de L. Laurent, J.P. Dupuy, W.S. Bainbridge
- G. Bidan pour la nanobiochimie
- L. Laurent , conférence 2006