

Vendredi 23 juin 2006

Présentation générale des nanotechnologies

L. Laurent CEA - ANR

Les micro – nanotechnologies

Grain de riz

Les échelles de longueur

Terre

Chat
~ 0.5 m

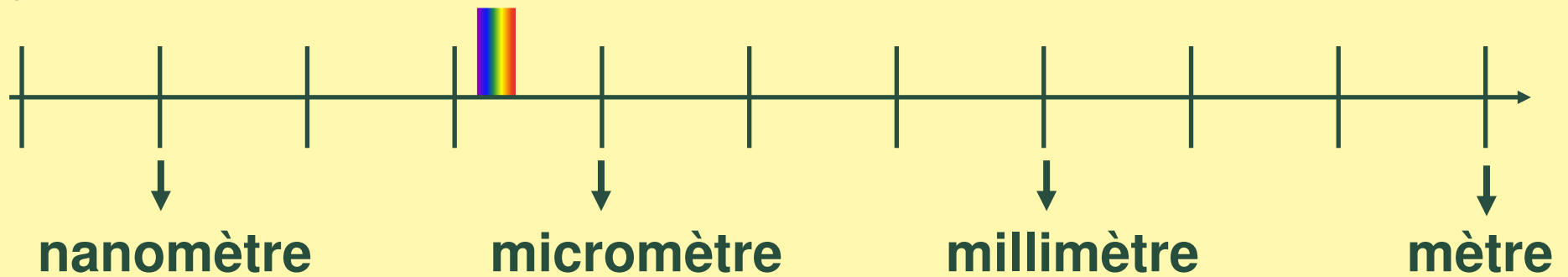
Fourmi
1000 μm

Cheveu
50 μm

Globules
~ 2-5 μm

protéines
20 nm

Atomes
0.1 nm

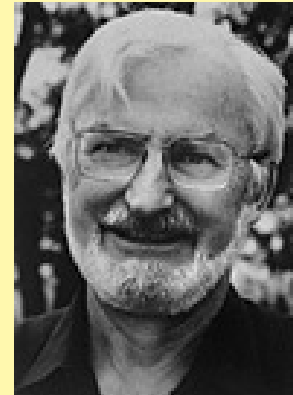


Une percée importante: le microscope à effet tunnel

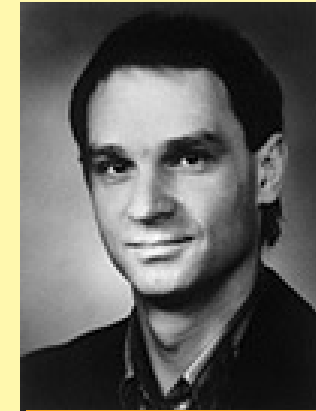
Microscopes tunnels (1981) par H. Rohrer et G. Binig (prix nobel physique 1986)

Permettant:

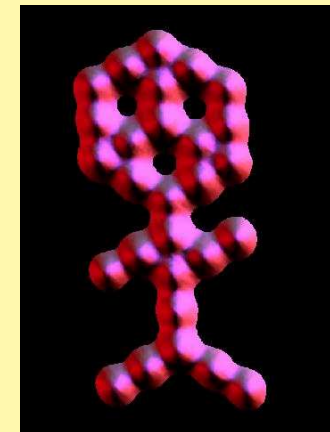
- de voir (1981)
- puis de manipuler (1988)



H. Rohrer



G. Binig



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

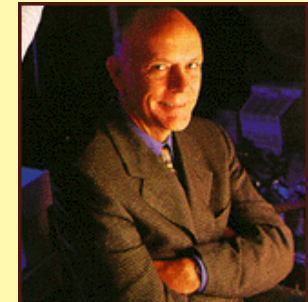
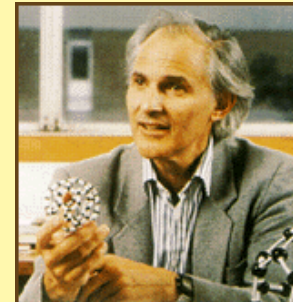
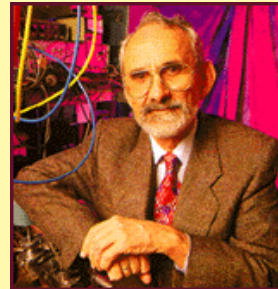
Autres découvertes importantes

1955: Structure de l'ADN



F. Crick, J. Watson, M. Wilkins (Nob. Médecine 1962)

1985: Fullerène (C₆₀)



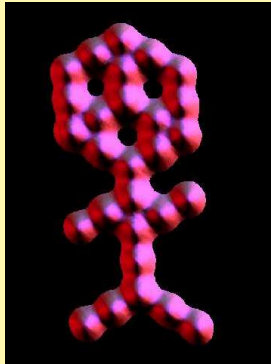
R. Curl, H. Kroto, R. Smalley (Nob. chimie 1996)

1991: Nanotube de carbone

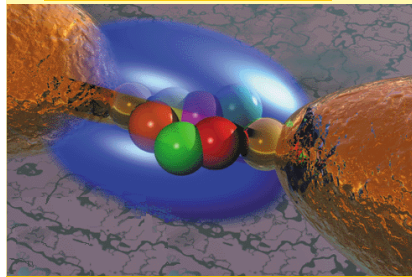


Sumio Iijima

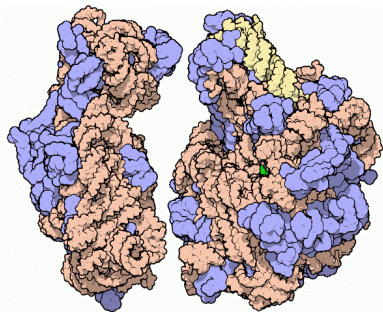
Les micro – nanotechnologies: accélération et unification



IBM

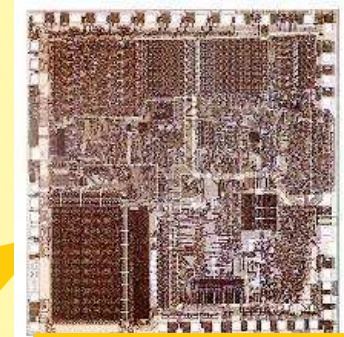


MA. Reed (Yale)

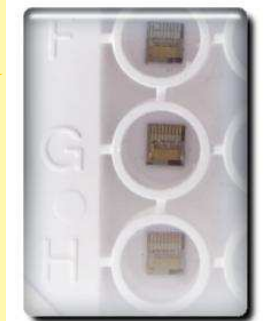


Cate et al. 1999

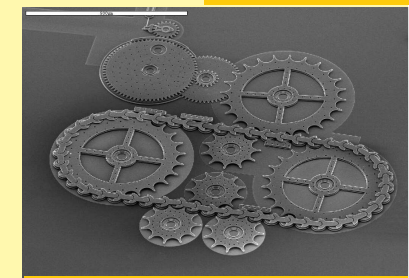
micromètre



Intel



APIBIO



Sandia NL 2002

Convergence « rétroactive »
autour du nm

Physique - chimie - biologie

Informatique- Mems
Fluides- Communications

Qu'est ce qui change ?

Poids relatifs des effets physiques

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

Mécanique quantique

Aspects ondulatoires du comportement des électrons, états superposés

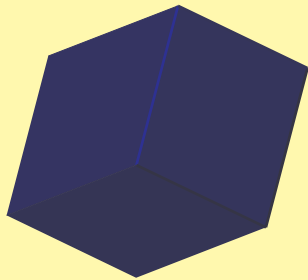
La taille

Mettre plus de composants dans un volume donné

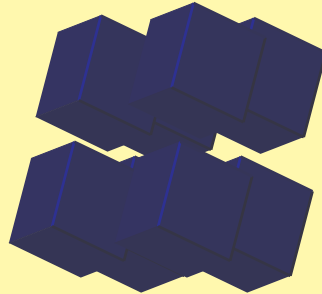
Poids relatifs des effets physiques: exemples importants

- Effets de surface

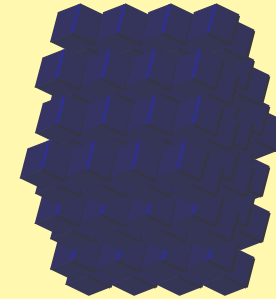
cm \rightarrow 6 cm²/cm³



micron \rightarrow 6 m²/cm³



10 nm \rightarrow 600 m²/cm³



- Energie de liaison, gravitation \rightarrow autoassemblage, mouvement brownien
Energie thermique

Effets quantiques

- Matière = onde, principe d'incertitude
- États quantique (quantification, superposition)

Dispositifs dans lesquels :

- On utilise l'effet tunnel (mémoire flash)
- On joue avec les niveaux quantiques (modules Peltier, cristaux, lasers....)
- On utilise des états superposés, des interférences quantiques

Techniques de fabrication: bilan actuel

Microélectronique

Ensemble de techniques

Concepts du monde « macro »

- Gravure,
- Dépôt
- Dopage,
- Traitements de surface
- **en extension**

→ Systèmes complexes

Autres techniques

Partiel ou « subi »

- Auto organisation
- Dépôt
- Chimie

→ Matériaux

Le vivant (biotechnologies)

Naturellement « nano »

- structures
- énergie
- Information

Nanotechnologies - pour quoi faire ?

1) Procédés existant indépendamment de la démarche «nano»

- Catalyse, traitement de surface, matériaux, cosmétique

2) Industries avec une « roadmap »

- Microélectronique qui devient la nanoélectronique,
- Disques magnétiques

3) Innovations issues des laboratoires

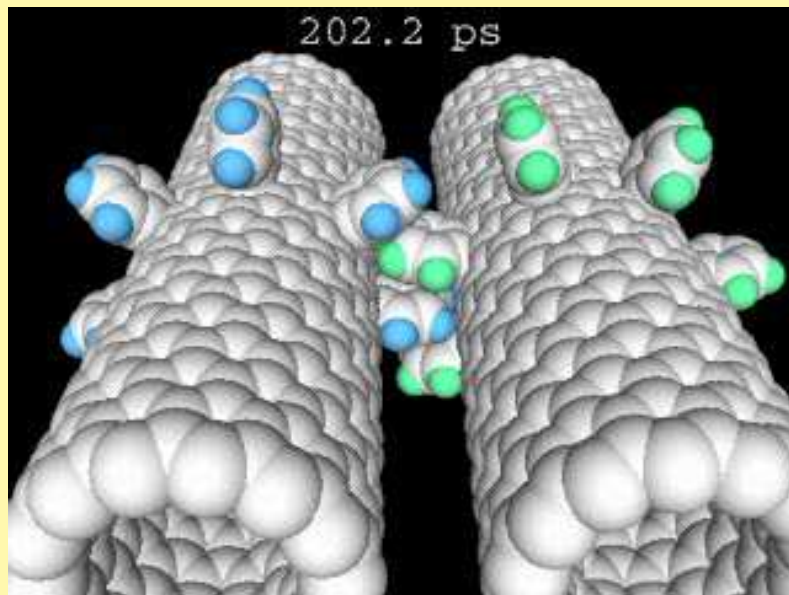
- Nanotubes, boîtes quantiques, électronique moléculaire,...

→ Diffusion dans divers secteurs (électronique, éclairage, matériaux, énergie...)

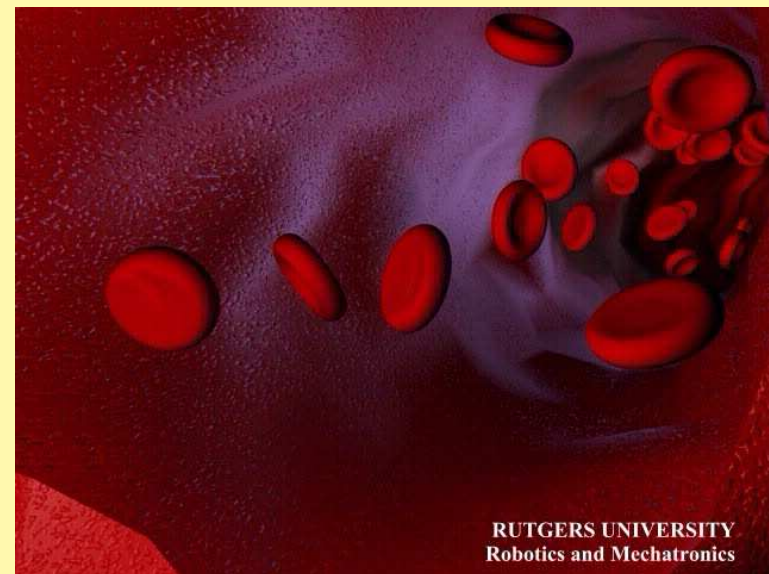
→ Création de nouvelles industries ou à terme des mutations profondes

Le « Hype »

EU - Mai 2004: Parmi les applications des nanotechnologies, on peut citer des "nanorobots" de taille atomique pouvant être injectés dans le corps pour soigner des maladies



Nasa

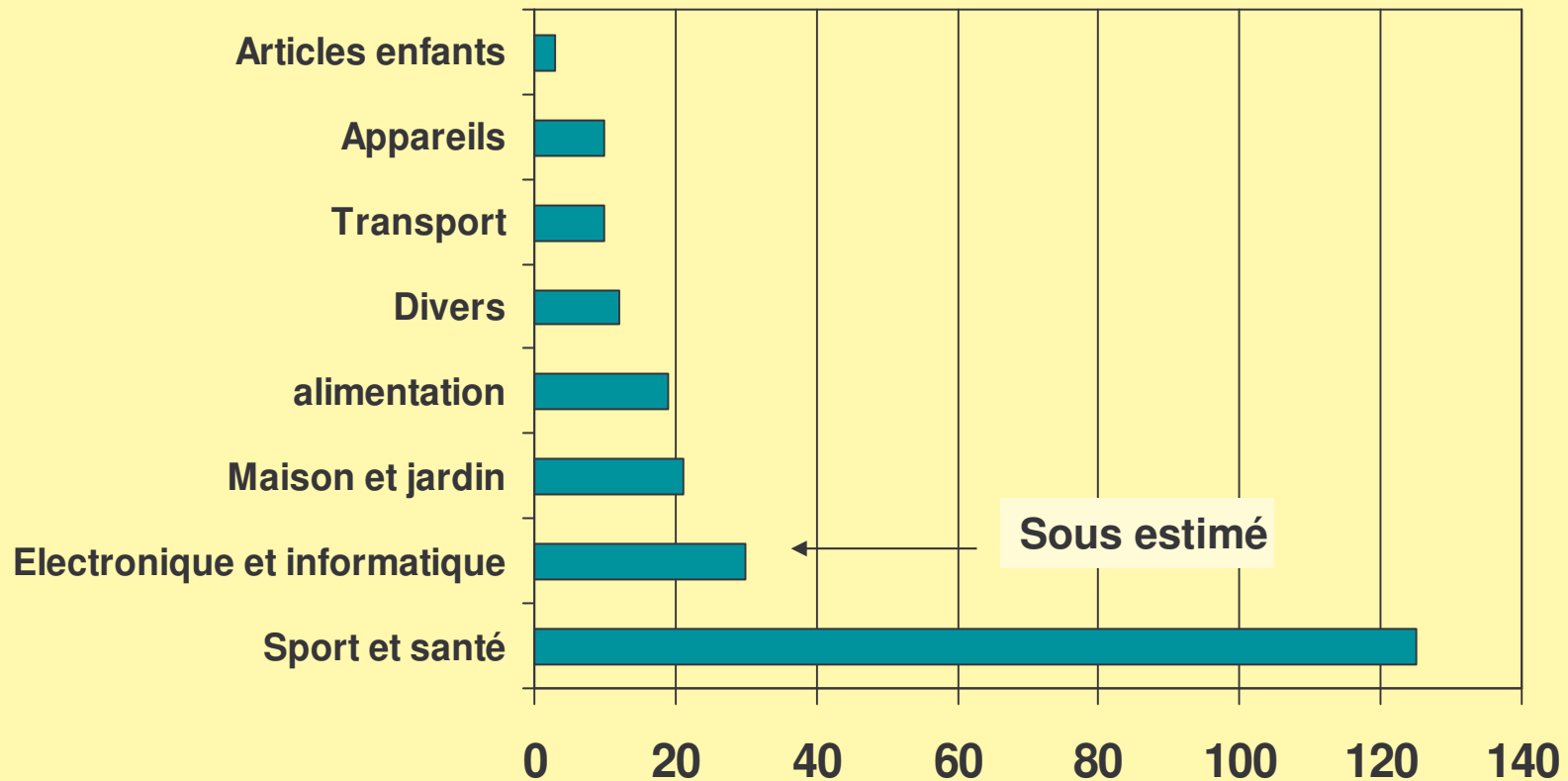


Foresight institute

A l'échelle moléculaire tout est possible

Inventaire du centre Woodrow Wilson

Recherche de produits pour lesquels des nanotechnologies, sont explicitement mentionnées



Les matériaux

Nanomatériaux:

Encoder de l'information dans la structure des matériaux

Assemblage spontané

Information = briques de bases

- Alliages
- Cristaux
- Edifices supramoléculaires
- Polymères

Processus industriel

encodant l'information

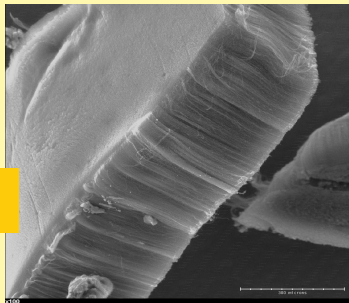
- Lithographie UV
- Nanoimpression
- Multicouches
- Composites

Monde vivant

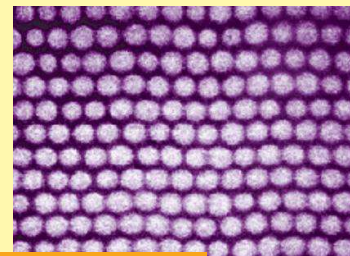
Encodé dans l'ADN

Bois, nacre

CEA



© LPN-CNRS



Matériaux intelligents et systèmes répartis

- **Nanomatériaux anciens ou naturels !**

- **Amélioration des performances**
 - Résistance mécanique
 - Nouvelles propriétés (optiques, électriques..)
 - Ecomatériaux ?

- **Effets de surface**
 - Catalyse
 - Transferts d'énergie

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 carbones, 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.

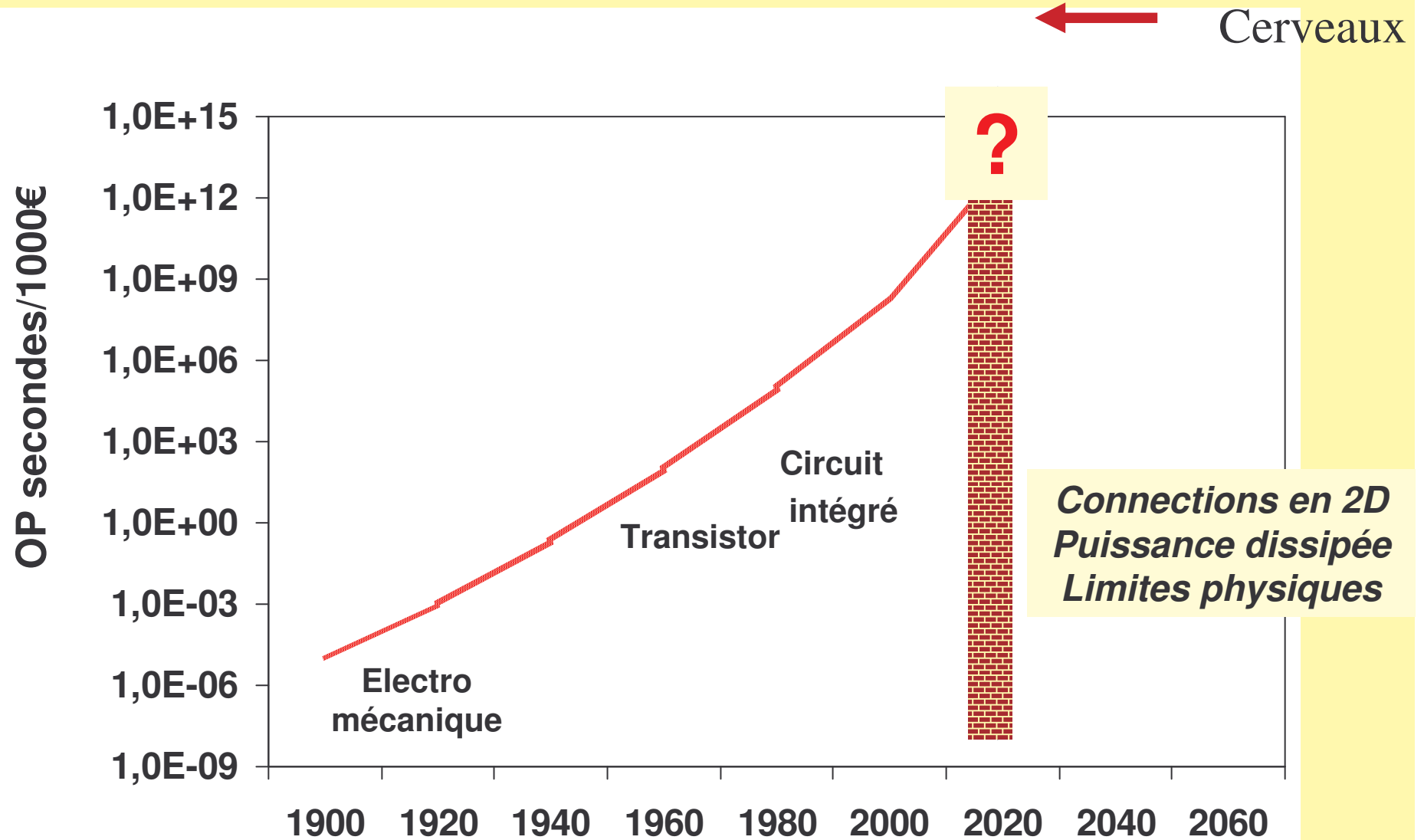
Nano particles were not the cause of health problems triggered by sealing sprays!

Products did not contain any ultrafine particles. According to the findings of the Federal Institute for Risk Assessment (BfR), nano particles are not the cause of the health disorders, in some cases severe, which occurred after using so-called sealing sprays. Based on the information from manufacturers and chemical studies commissioned by BfR, the products do not contain any nano-sized particles. The term “nano” in the product names is intended far more to draw attention to the wafer-thin film that forms on the surface of glass or ceramic after the spray-application of the products.

More than 110 incidents of, in some cases severe, health disorders were notified to the poison control and treatment centres and BfR at the end of March 2006 after consumers had used the products Magic-Nano-Glasversiegeler (glass sealer) and Magic-Nano-Keramikversiegeler (ceramic sealer) in spray cans with a propellant. Initially it was thought that nano particles were involved in the intoxications

Le calcul et les technologies de l'information

Autres méthodes de calcul ?



Evolution de la taille des transistors et nanosciences

Nanotechnologies:

- Accompagner l' évolution (matériaux, concepts, **sources d'énergie**)
- Diversification des fonctions en restant compatible
- Nouveaux procédés de calcul radicalement différent

**Grille 50nm
(Production 2003)**

**Grille 30nm
(Production 2005)**

**Grille 20nm
(Production 2007)**

**Grille 15nm
(Production 2009)**

**Grille 10nm
(production 2013)**

Quelques pistes

Il ne s'agit pas nécessairement de supplanter le silicium (très difficile)

- Enrichissement des circuits pour en faire plus
- Pour faire « autre chose »

1. Poursuivre l'intégration

- Molécules = éléments ultimes
- Photons, magnétisme

2. Nouvelles architectures

- Tolérantes aux défaut
- Auto-organisation

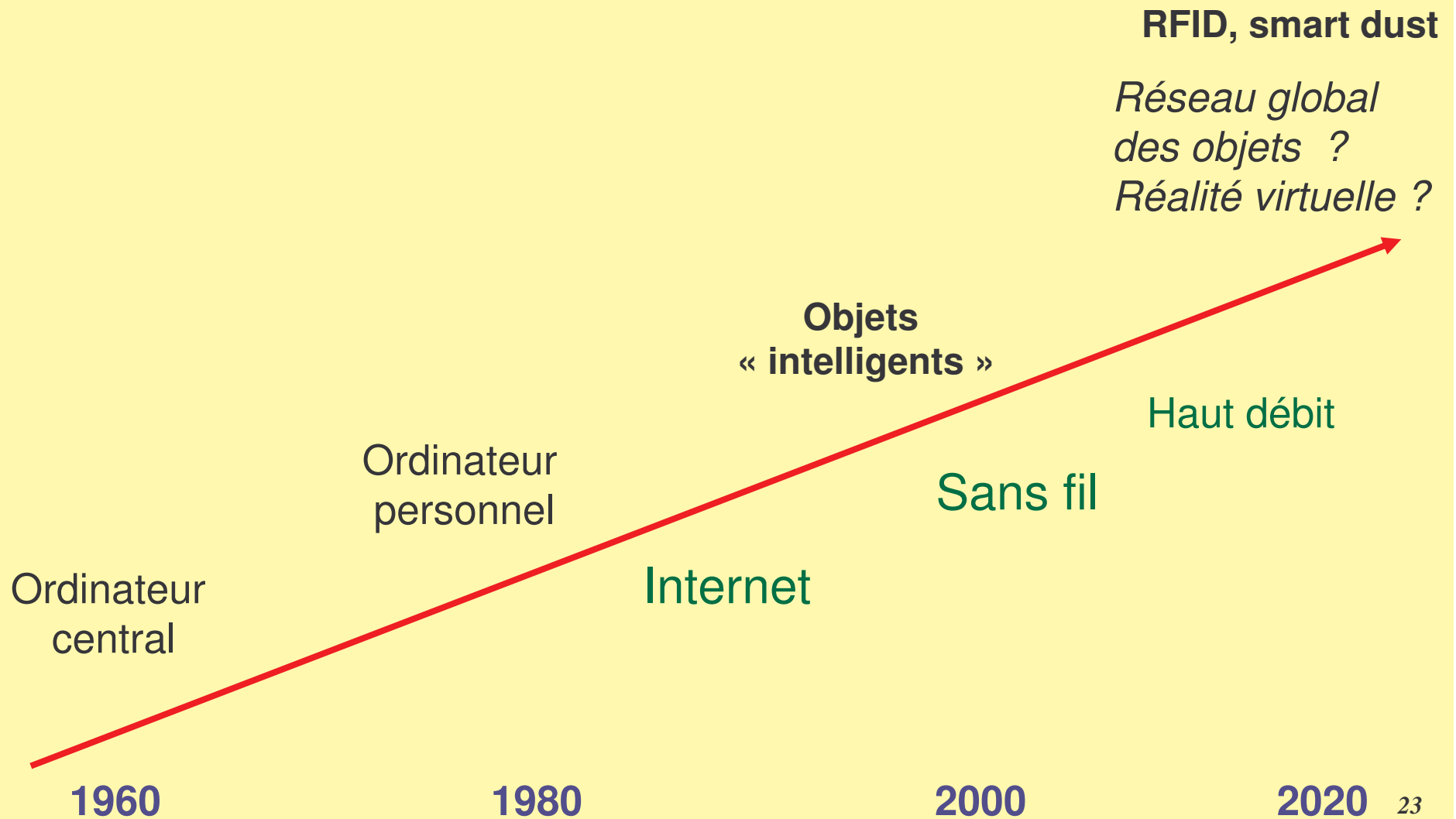
3. Autres voies

- Calcul quantique
- Calcul « biologique », combinatoire

4. Et pourquoi pas

- Imiter le cerveau (100 milliards de neurones - 10000 connections/pièce)
- Architecture en volume, forte connectivité (milliers de milliards de composants/litre),
- Interface rapide avec le cerveau ?

Une évolution forte et non achevée



De nouvelles possibilités

1 mètre de livres
5 mn de vidéo
2 h de son (MP3)
100 photos

1 kilomètre de livres
80 h de vidéo
2,5 mois de son MP3

10 fois l'Internet français
9 ans de vidéo
200 ans de son MP3

100 Mégabytes

100 Gigabytes

100 Térabytes

50 cm² en 1992

50 cm² en 2005

50 cm² en 2020 ?

1 bit = 10x10 atomes

Le vivant

Nanomédecine - Santé

- **Instrumentation et analyses**

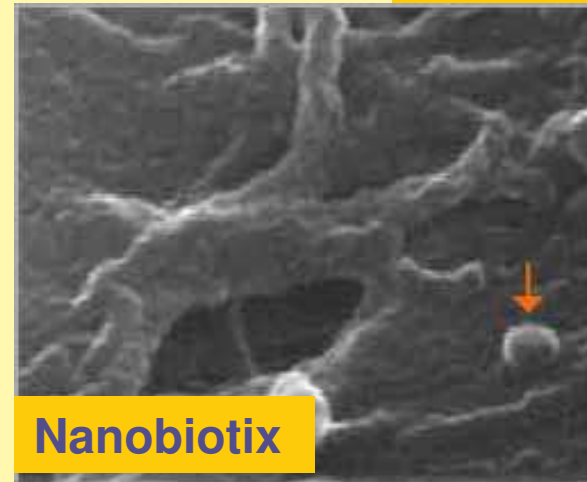
- Reconnaissance moléculaire
- Instrumentation in vivo



Caméra ingérable
Given imaging

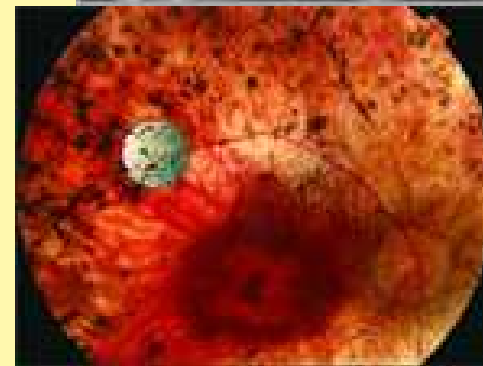
- **Vectorisation de médicaments**

- Encapsulation, furtivité
- Reconnaissance moléculaire



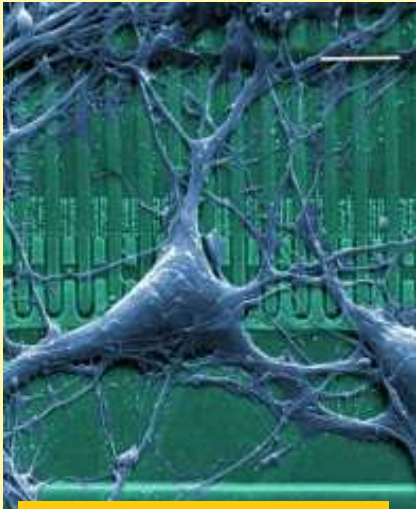
Nanobiotix

- **Tissus artificiels, réparation**



Implant rétinien
optobionics (2000)

La rencontre technologies de l'information - cerveau



MPI für biochemistry
Fromhertz et Zeck



M. Nicolelis



Nanoceutiques

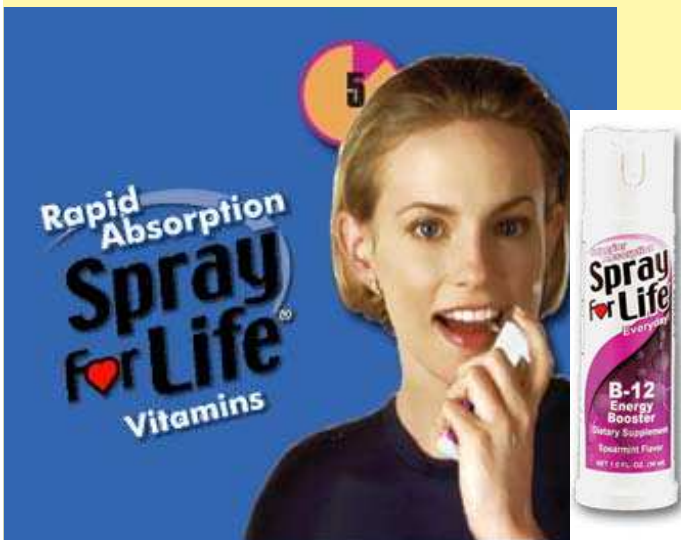
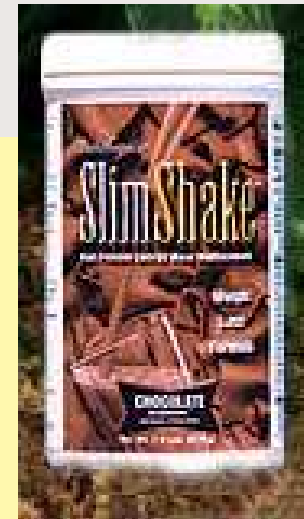


“NanoCeuticals™, with nanoscale ingredients, allow RBC to create products that:

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,...

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.

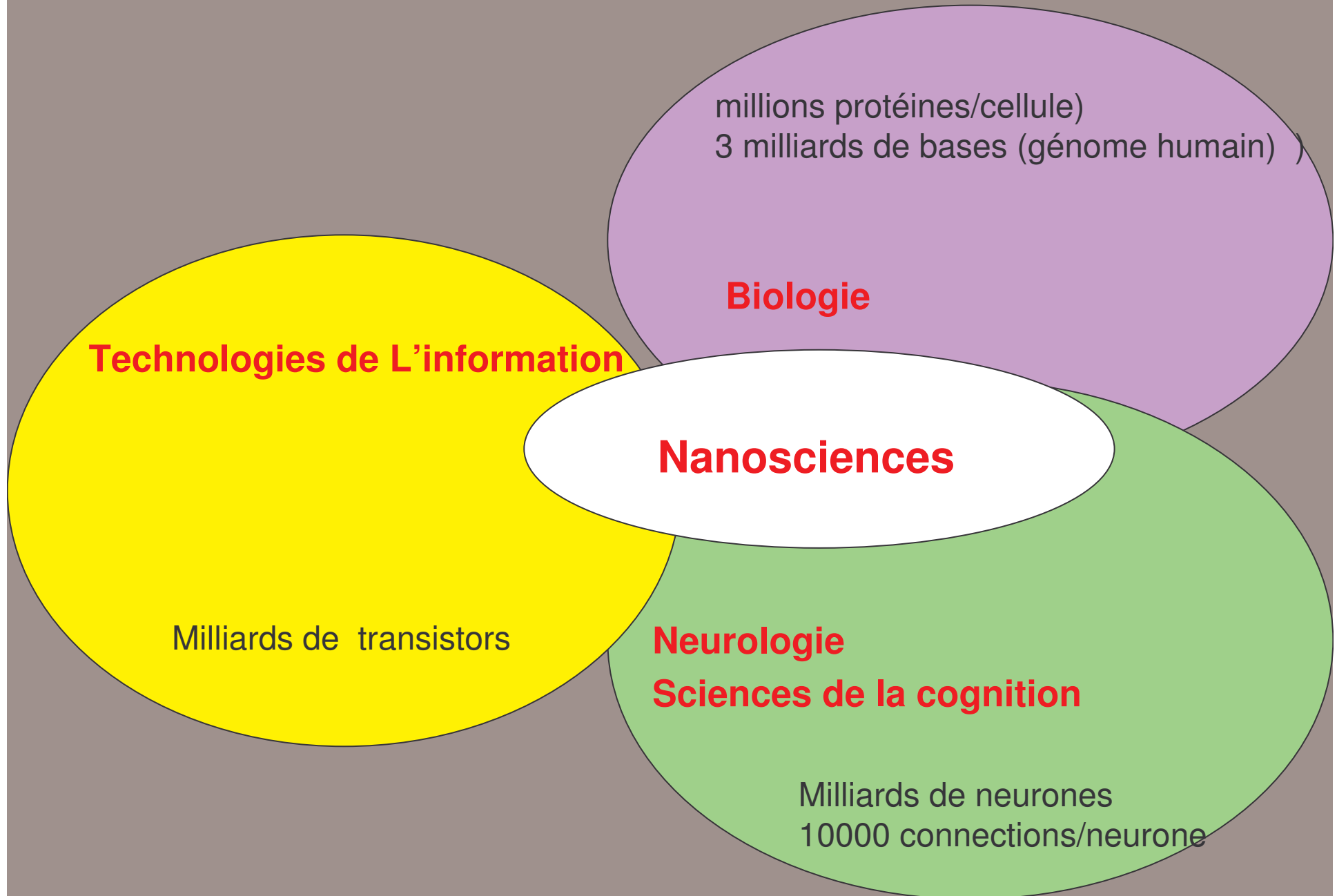
Propriétés bactéricides

NanoHorizons developed a proprietary process that solved this silver-to-polymer bonding problem. Now sold as E47 Polyester Master Compound, it helps to make a comfortable synthetic fiber sock with permanent resistance to odor and fungus.



Conçu en Chine par une société sino-canadienne il n'aurait cependant pas reçu l'agrément des autorités sanitaires chinoises, selon la campagne internationale en faveur des microbicides qui dénonce la prolifération de ce type de produits aux propriétés non démontrées.

La Convergence NBIC Nano – Bio – Info – Cogno



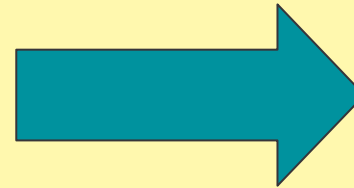
La convergence avec le complexe

Partir du néant

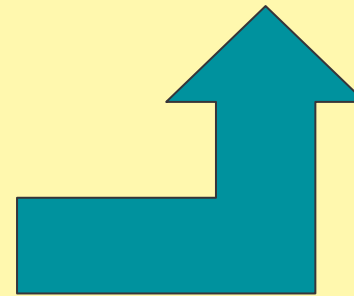
Calcul « ultime »
Nanomachines
Organismes synthétiques
Autoréplication
Machines complexes



E. Drexler R. Kurzweil



Partir du vivant



Biotechnologies
Organismes minimum
Interface neurone - électronique

Très controversés !

- Faisabilité
- Conception, fabrication ?
- Conséquences considérables



C. Venter

La fabrication exponentielle

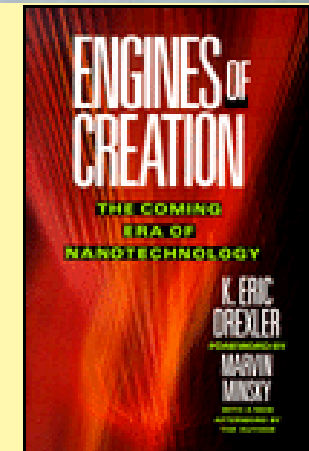
Le vivant le fait et est le seul à pouvoir le faire à l'échelle microscopique

- Exemple insuline (Roger Genet DIEP):
- 1 ribosome fabrique 1 une molécule/5s
- 2000 ribosomes par cellule
- Doublement de la population en 20 mn
- 10^{13} /litre fabriquent 60 microgrammes/litre



Y a-t-il d'autres systèmes possibles (E. Drexler 1986 ?)

- Discussions de principe
 - Y a t-il d' autres façons de faire que ce que fait le vivant (exobiologie) ?
 - Peut-on concevoir et réaliser des systèmes aussi complexes
 - Organismes synthétiques, protocellules



Pourquoi développer les nanotechnologies ?

- **Compétitivité économique**

- Technologies de l'information, matériaux, chimie..,
- Nouvelles idées
- 1 milliard € USA, Europe, Japon + émergence de l'Asie

- **Enjeux de société**

- Développement durable (énergie, eau, matériaux, monitoring)
- Santé (diagnostic, traitement, réparation)
- Société de l'information (savoir, loisirs, démocratie)

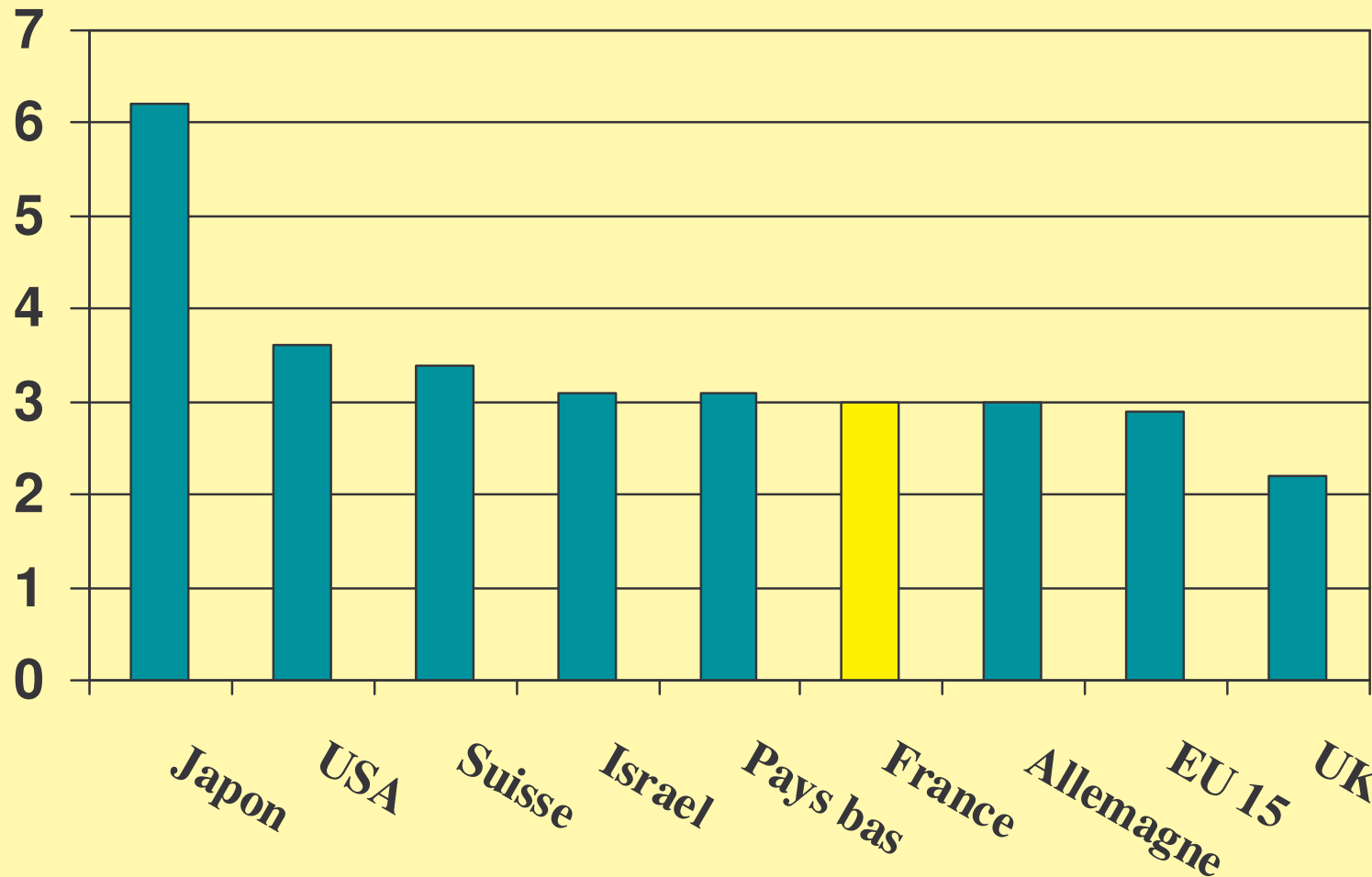
- **Curiosité, défis intellectuels**

- Domaines inexplorés
- Fertilisation croisée entre disciplines

Recherches en France

Budgets de R&D « nanotechnologie » par habitant

€ par habitant



Europe = 1150 millions d'Euros

Vers une stratégie Européenne en faveur des nanotechnologies (2004)

Acteurs et tendances

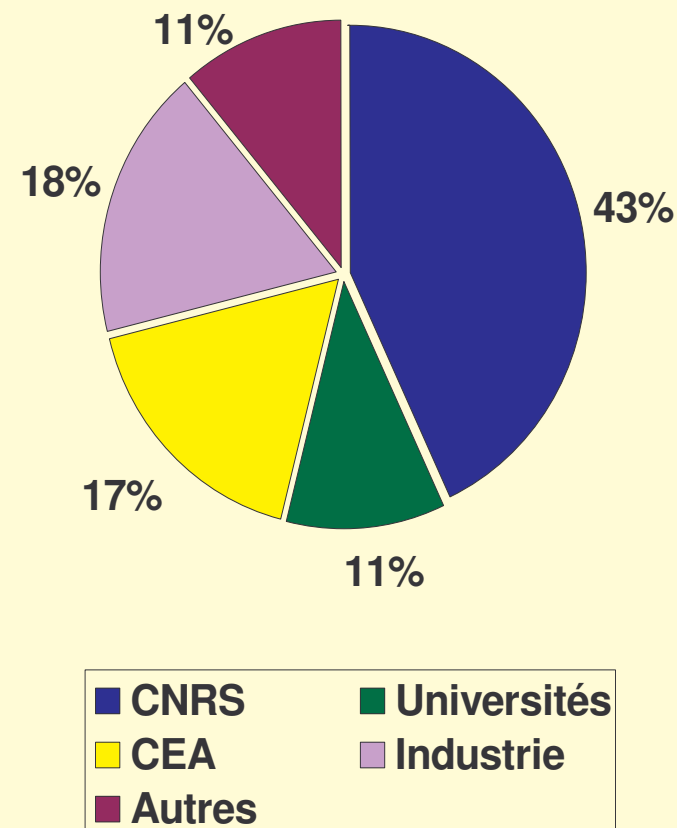
• Acteurs

- Organismes (CNRS, CEA, INSERM,...)
- Universités et établissements d'enseignement supérieurs
- Grands groupes industriels (Rhodia, LVMH, St Gobain, STMicroelectronics...)
- Start up

• Dépenses nationales

- 180 M€ en nanosciences/technologies
- 550 M€ sur l'ensemble micro – nano

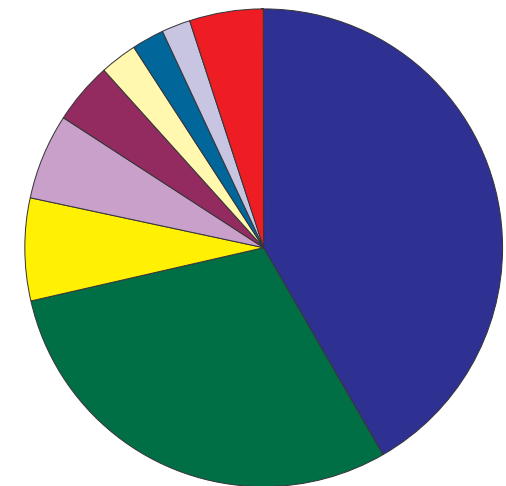
(Rapport IGAENR 2003)



**Acteurs du programme
nano 2005 de l'ANR**

Forte évolution de l'organisation

- **Structuration au niveau Européen 6^{ème} PCRD**
 - ERANET (Réseau de programmes nationaux)
NanoSciERA et MNT, ...
- **Structuration au niveau national**
- Programme PNANO de l'Agence Nationale de la Recherche
- Réseau R3N (industrie et recherche académique)
- Grandes centrales de technologie
- **Structuration au niveau régional**
- Pôles de compétitivité (industrie, recherche)
- Centres C'nano
- Pôle Minatec (Grenoble)



Programmes nationaux de recherche en nanoscience

Réseau Micro Nano technologies

1999 Nanostructures ”: 0,83 M€ (ministère)

2000 Nanostructures ”: 1,6 M€ (ministère)
RMNT: environ 6 M€/an

2001 Nanostructures ” 2001 3,25 M€ (FNS-CNRS)
RMNT: environ 6 M€/an

Coordination Ministère CEA,
CNRS

2002 Appel *ACNN 2002* : 10 M€ (FNS, CNRS, CEA).
RMNT: environ 6 M€/an

Grandes centrales de technologie

2003 Prog. National Nanosciences (12 M€) (FNS, CNRS,
CEA).

RMNT: environ 6 M€/an
Centrales de technologies: 15,8 M€

Réseau R3N

2004 Prog. National Nanosciences : 14 M€ (FNS, CNRS,
CEA).
Centrales de technologies: 10 M€

Agence Nationale de la Recherche

2005 PNANO 35 M€ (ANR)
Centrales de technologies: 22 M€