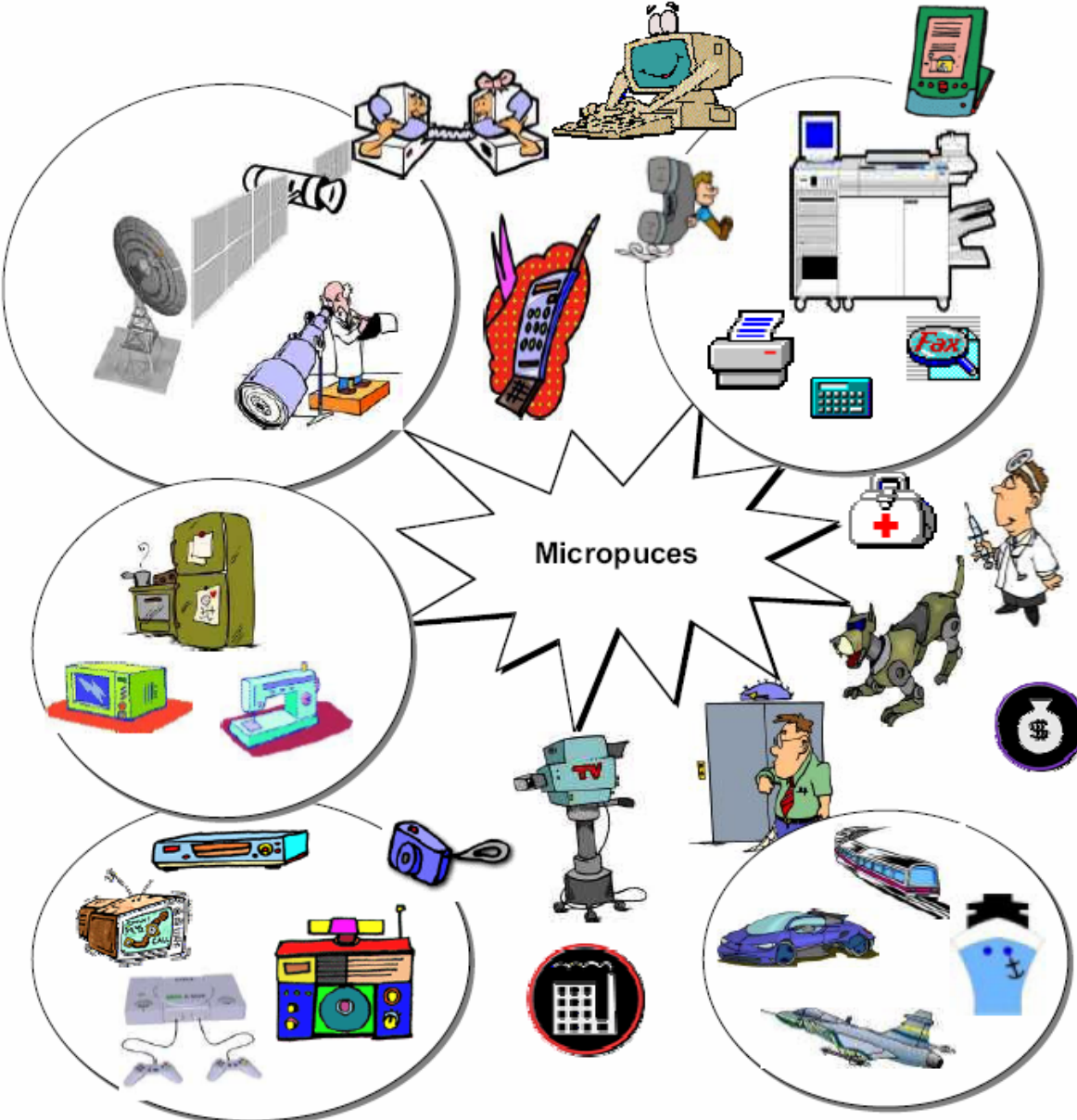
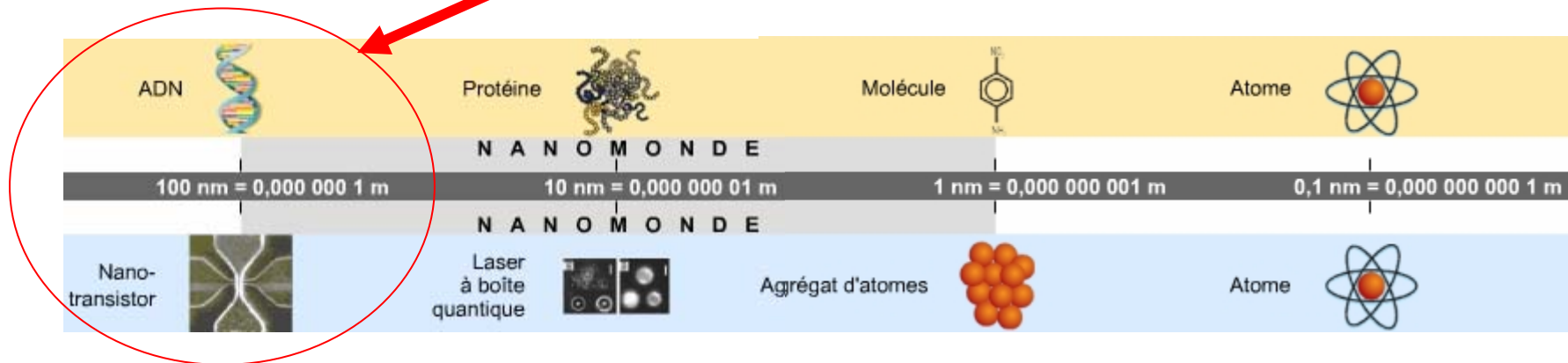
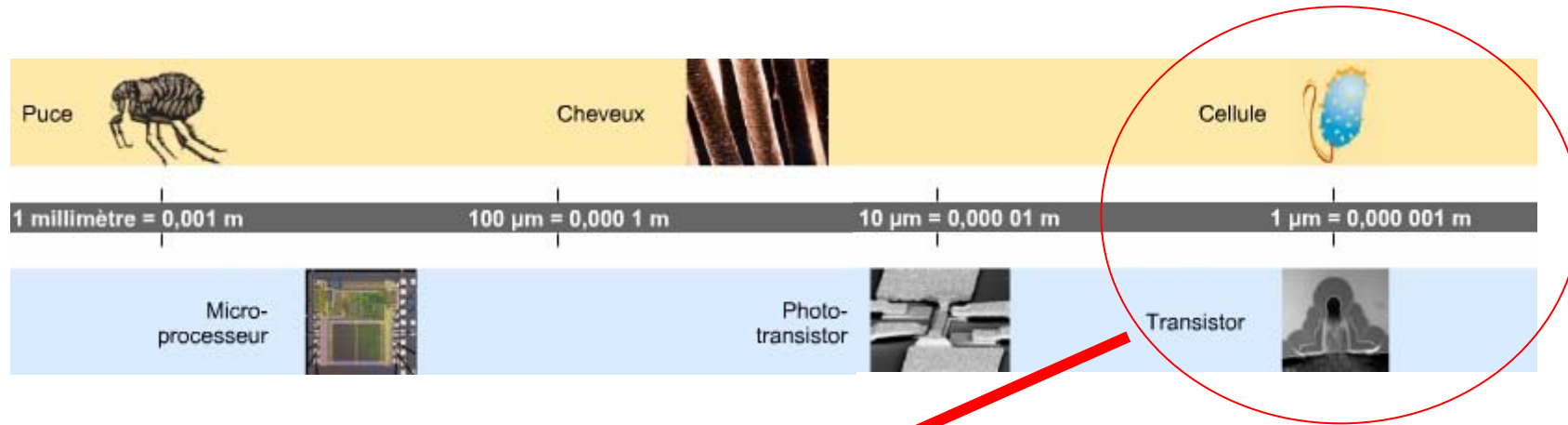


# De la Micro à la Nanoélectronique



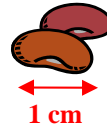
De l'intelligence partout

# De la Micro à la Nanoélectronique



# 1 nm c'est petit comment ?

Un centimètre.



~ la taille d'un haricot.

Maintenant on le divise en 10 parties égales.



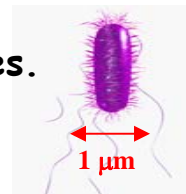
Chaque partie fait un millimètre de long.  
~ la taille d'une puce.

Maintenant on le divise en 10 parties égales.



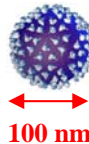
Chaque partie fait 100 micromètres de long.  
~ le diamètre d'un cheveu.

Maintenant on le divise en 100 parties égales.



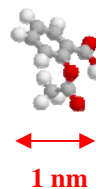
Chaque partie fait un micromètre de long.  
~ la taille d'une bactérie.

Maintenant on le divise en 10 parties égales.



Chaque partie fait 100 nanomètres de long.  
~ la taille d'un virus.

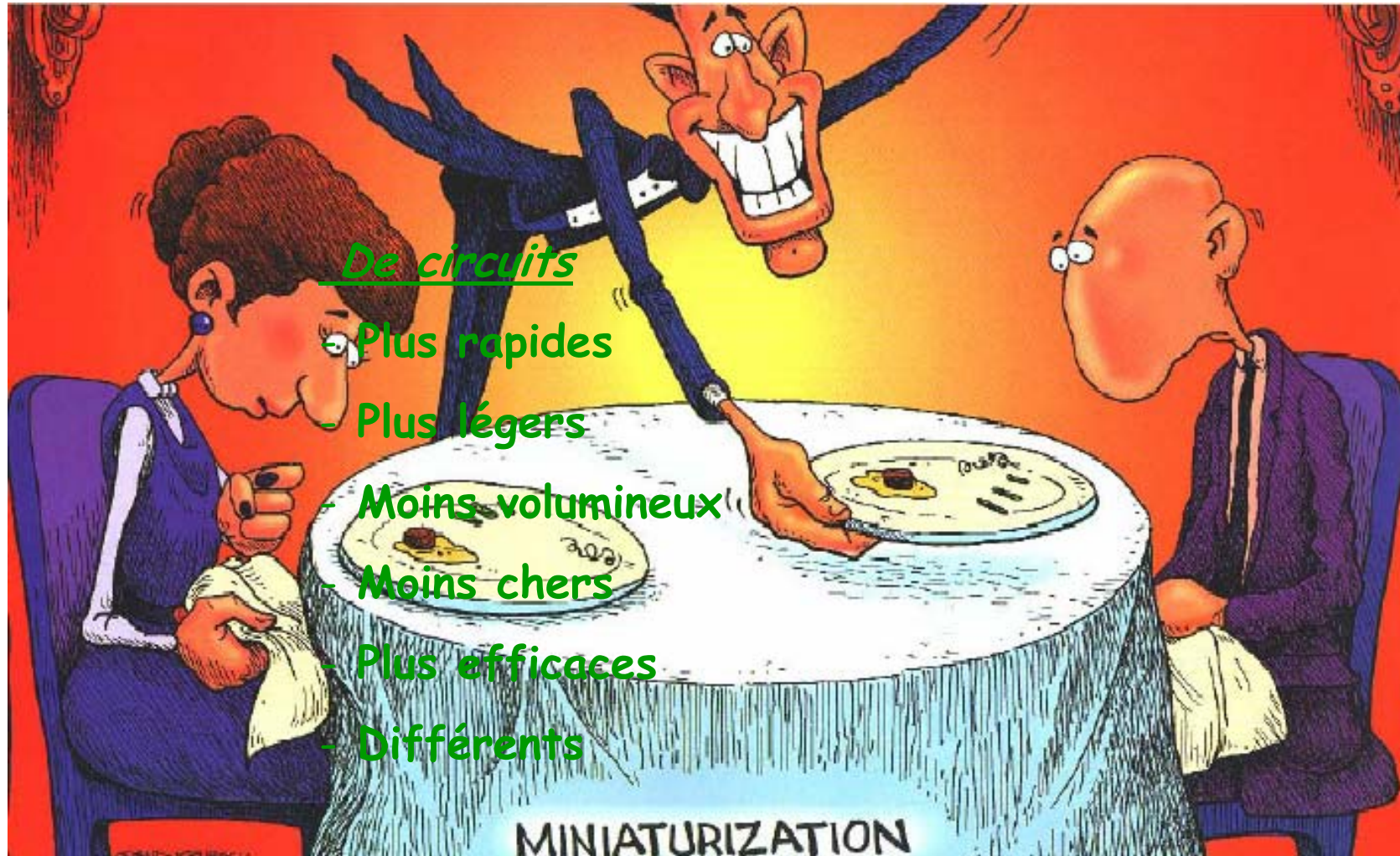
Finalement on le divise en 100 parties égales.



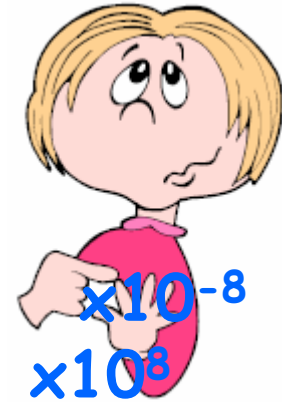
Chaque partie est un nanomètre.  
~ la taille d'une petite molécule.

Ce pixel est 4 millions  
de fois plus grand  
qu'un atome !!!!!

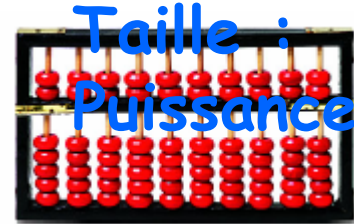
## Le petit plait toujours ?



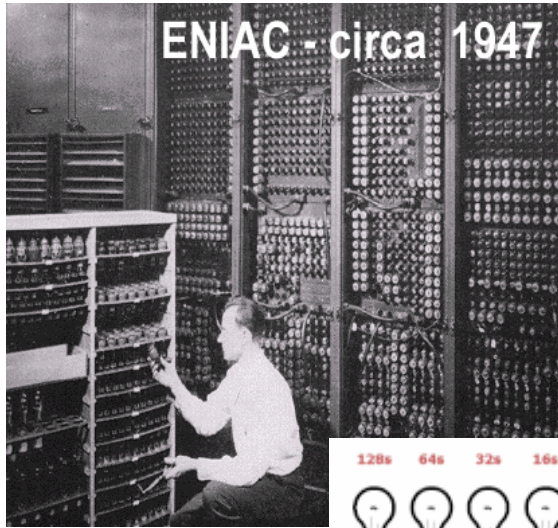
# L'évolution de l'électronique



$\times 10^{-8}$   
 $\times 10^8$

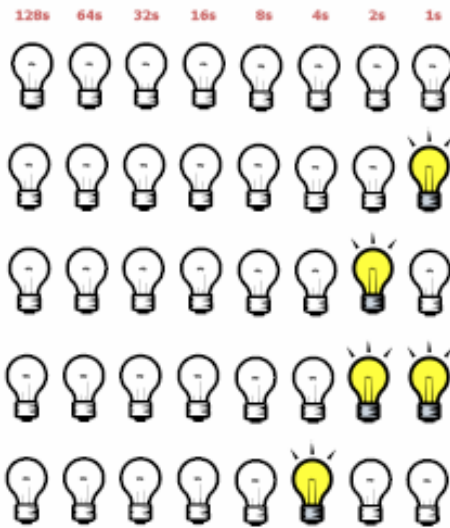


Taille :  
Puissance :



ENIAC - circa 1947

- 30 tonnes
- $18 \times 10^3$  lampes
- $70 \times 10^3$  résistances
- $10^4$  capacités
- $6 \times 10^3$  commutateurs
- 30m x 3m x 1m



??

2005

2002

YM-16-11-07

## Et si c'était une voiture ?

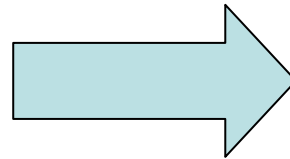
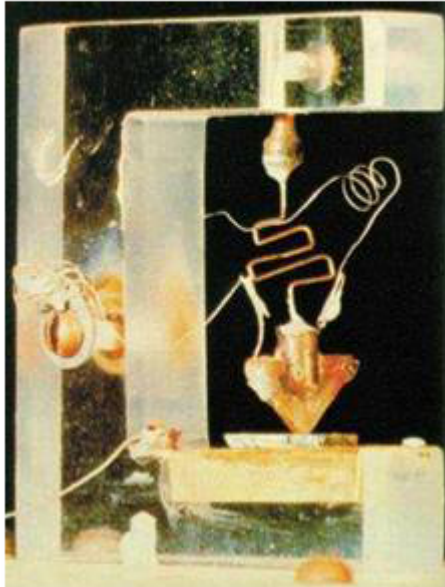
Vitesse	110 km/h	$\xrightarrow{\times 10^5}$	3000 km/h
Consommation	10l/100 km	$\xrightarrow{\times 10^{-4}}$	1l/100000 km
Fiabilité	10 ans	$\xrightarrow{\times 10^3}$	10000 Ans
Poids	1 t	$\xrightarrow{\times 10^{-8}}$	10 mg
Coût	15 000 €	$\xrightarrow{\times 10^{-3}}$	15 €

## Et si c'était un avion ?

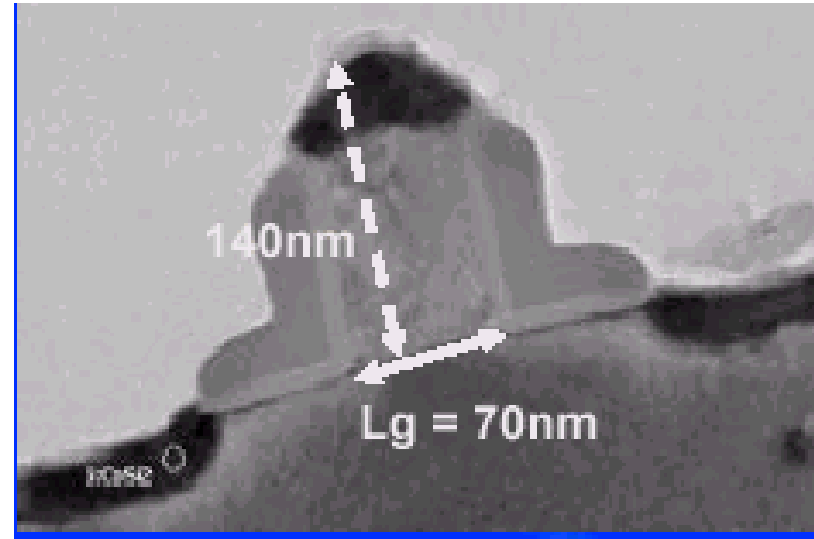
Trajet New-York-Paris	7h	$\xrightarrow{\times 10^{-5}}$	0,25 sec
Trajet New-York-Paris	900€ (en 1980)	$\xrightarrow{\times 10^{-5}}$	1 c

# Évolutions technologiques

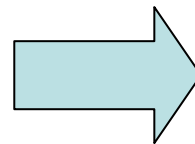
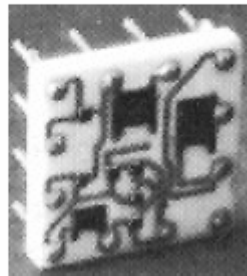
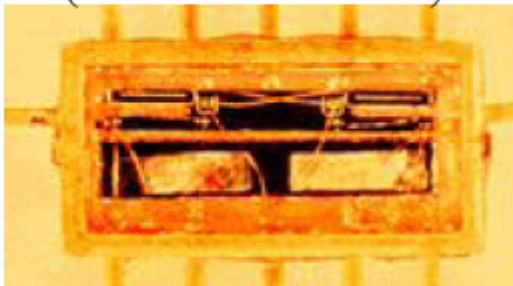
8 mm de diamètre  
1947 – Transistor (Bell)



65 nm CMOS transistor Intel 2006



1958 – Circuit intégré  
(Texas Instruments)



Siliciure Ni

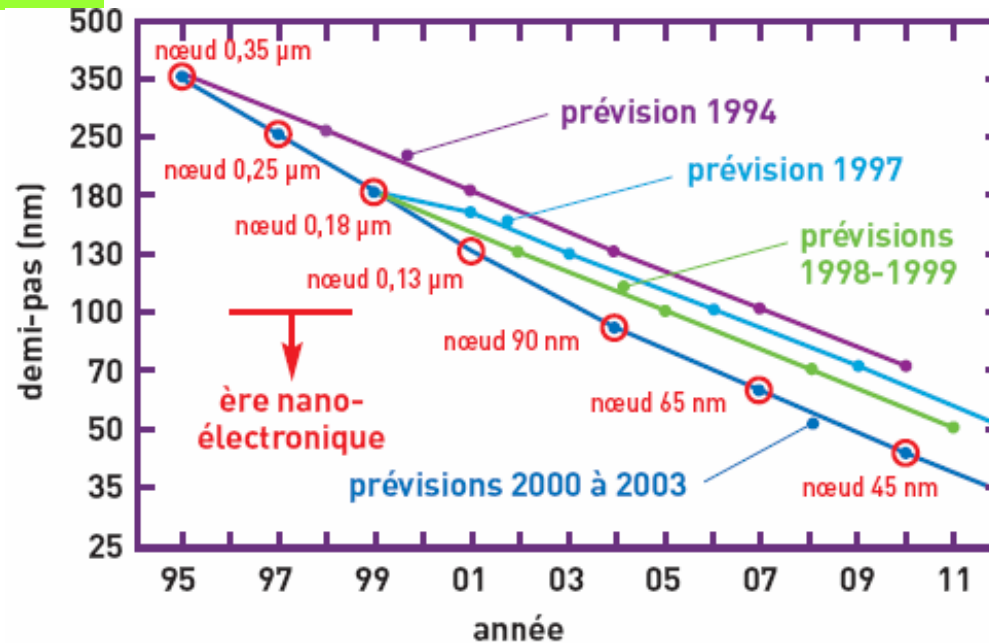


Intel Pentium 4 65 nm (Cedar Mill) 3,3 GHz

# Les deux secrets de la $\mu E$

## Miniaturisation

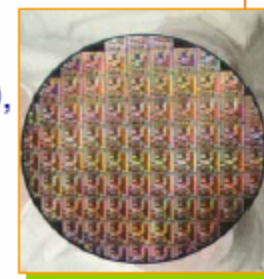
De plus en plus de transistors ensemble



## Réalisation collective

De plus en plus de surface traitée simultanément

Plaques de silicium de 100, 200, puis 300 mm de diamètre





Un taux de croissance de ~ 15 à 20% et qui est essentiellement dû à une augmentation du taux de pénétration des composants dans un équipement électronique :

### Exemple

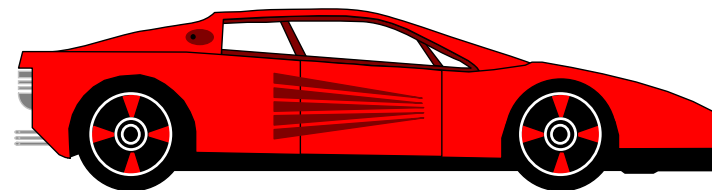
- \* Caméra en 1960, 0% d'électronique
- \* Caméra en 2000, 70% d'électronique



- \* ordinateur en 1960, 0% d'électronique
- \* ordinateur en 2000, 80% d'électronique



- \* véhicule en 1960, 10% d'électronique
- \* véhicule en 2000, 50% d'électronique
- \* **33-40% du prix en 2010**



# CYCLE DE RENOUVELLEMENT DES PRODUITS



**Automobile 5 ans**



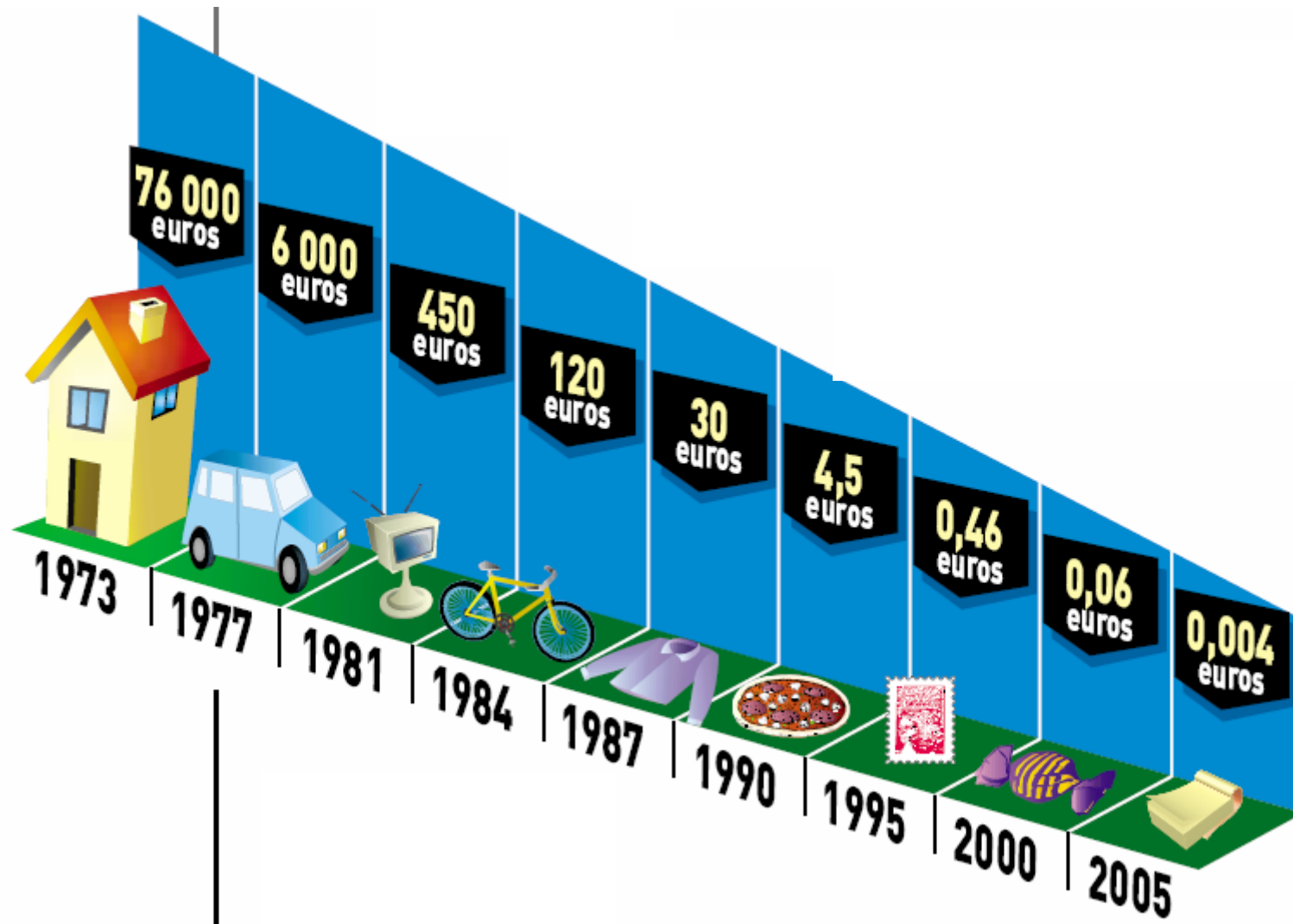
**Télévision, 2 ans**



**Vidéo, Ordinateurs 1an**



**Mobile phone : 6 mois**



Le coût de fabrication des transistors sur une puce a baissé de façon spectaculaire : en 1973, le prix d'un million de transistors intégrés équivalait à celui d'une maison : en 2005, il était celui d'un post-it.



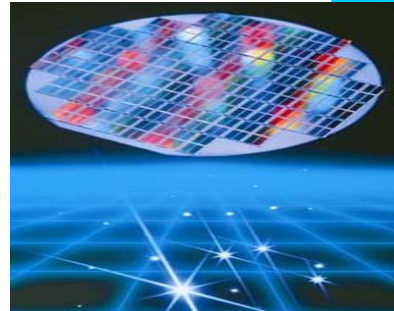
# Électronique

100  $\mu\text{m}$



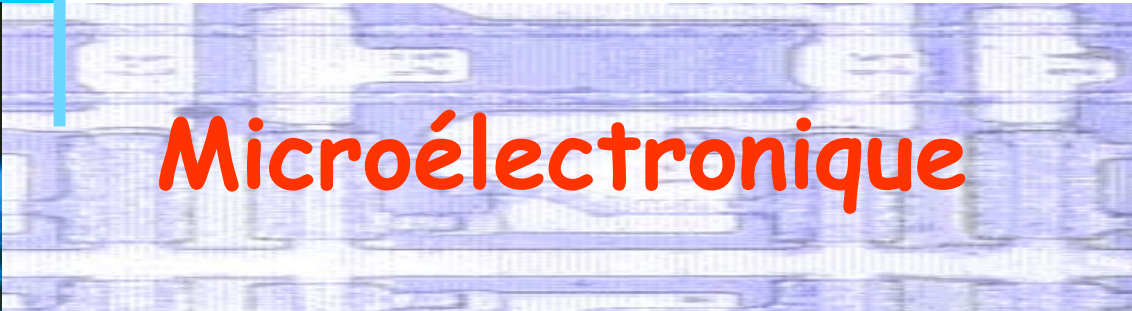
# Microsystèmes

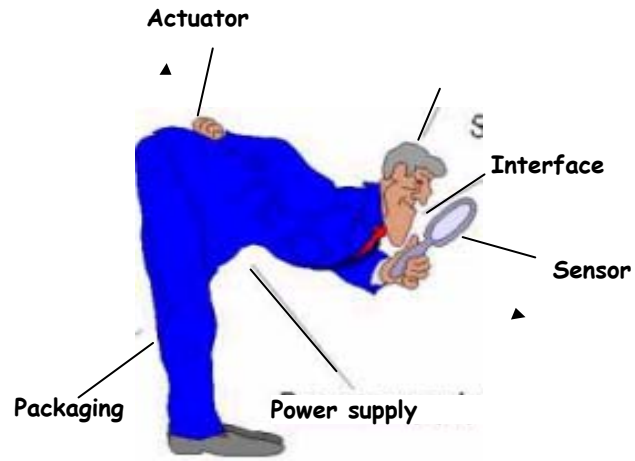
1-10  $\mu\text{m}$



# Microélectronique

100 nm

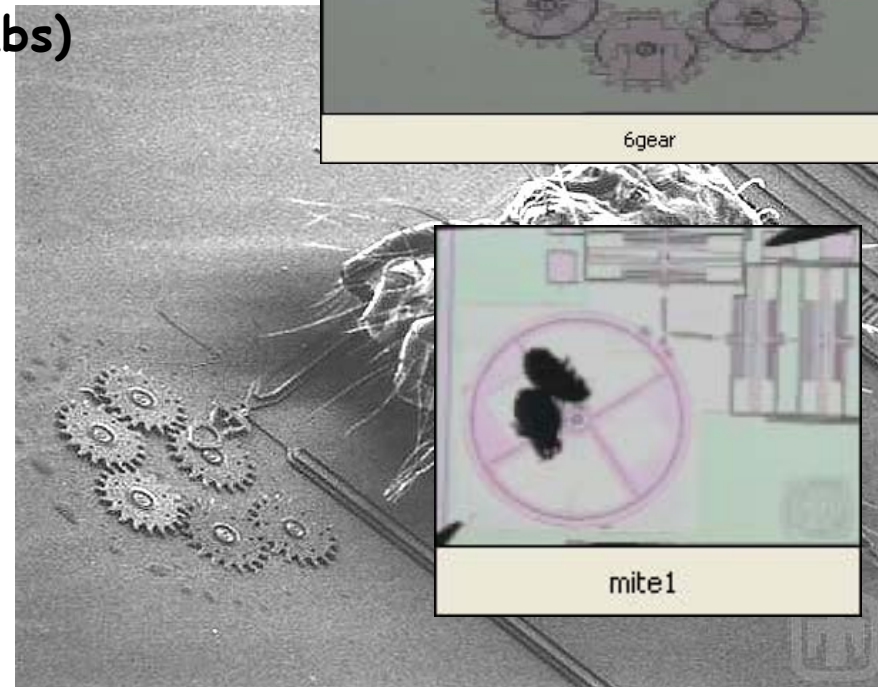
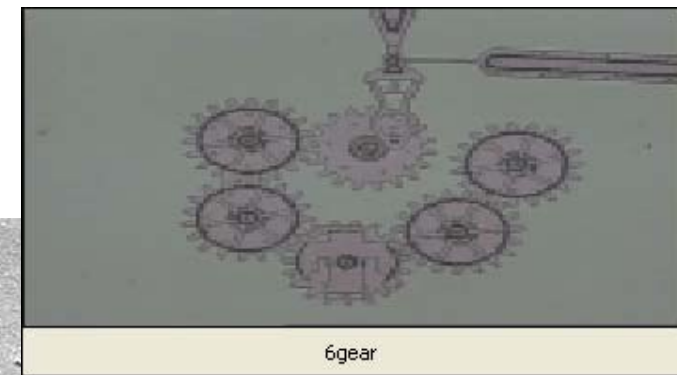
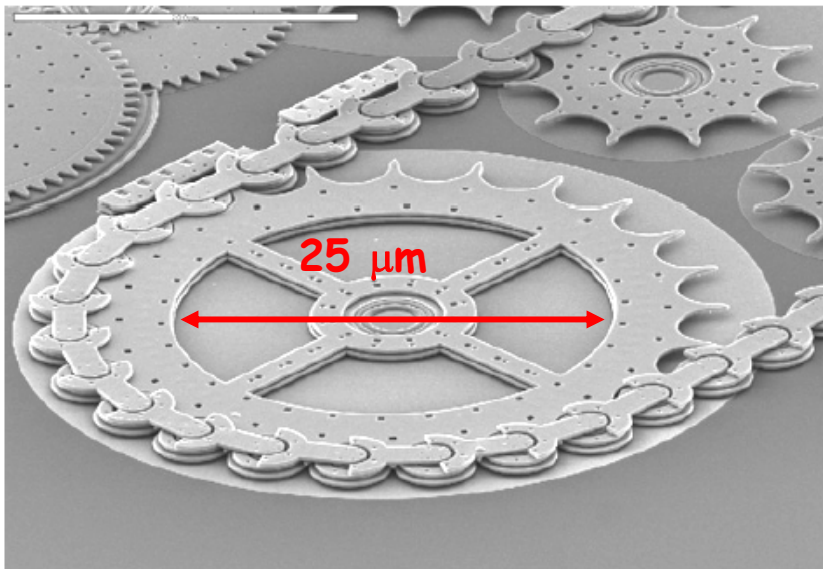




# Microsystèmes



Chaîne façonnée au micron (Sandia Labs)



Une mite qui tourne sur un micromoteur  
(Sandia National Labs)

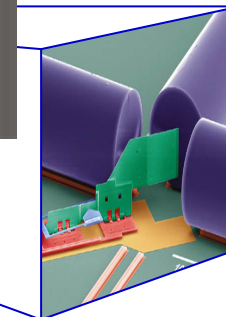
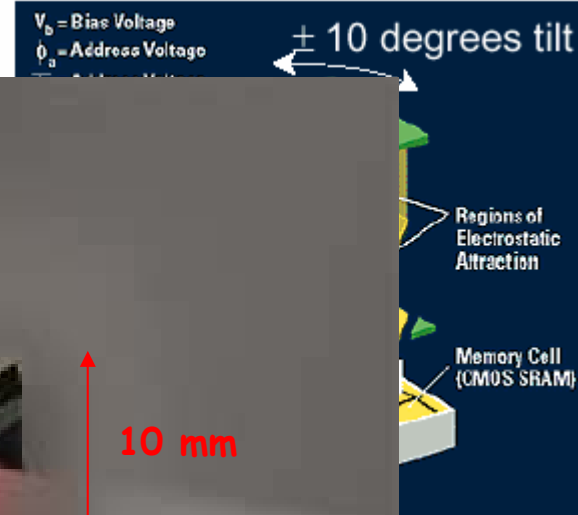
# Exemple de Micro Système

## Projecteur vidéo numérique



**DLP**

*' Digital Light Process*



[http://www.dlp.com/includes/demo\\_flash.aspx](http://www.dlp.com/includes/demo_flash.aspx)

# Exemple de Micro Système

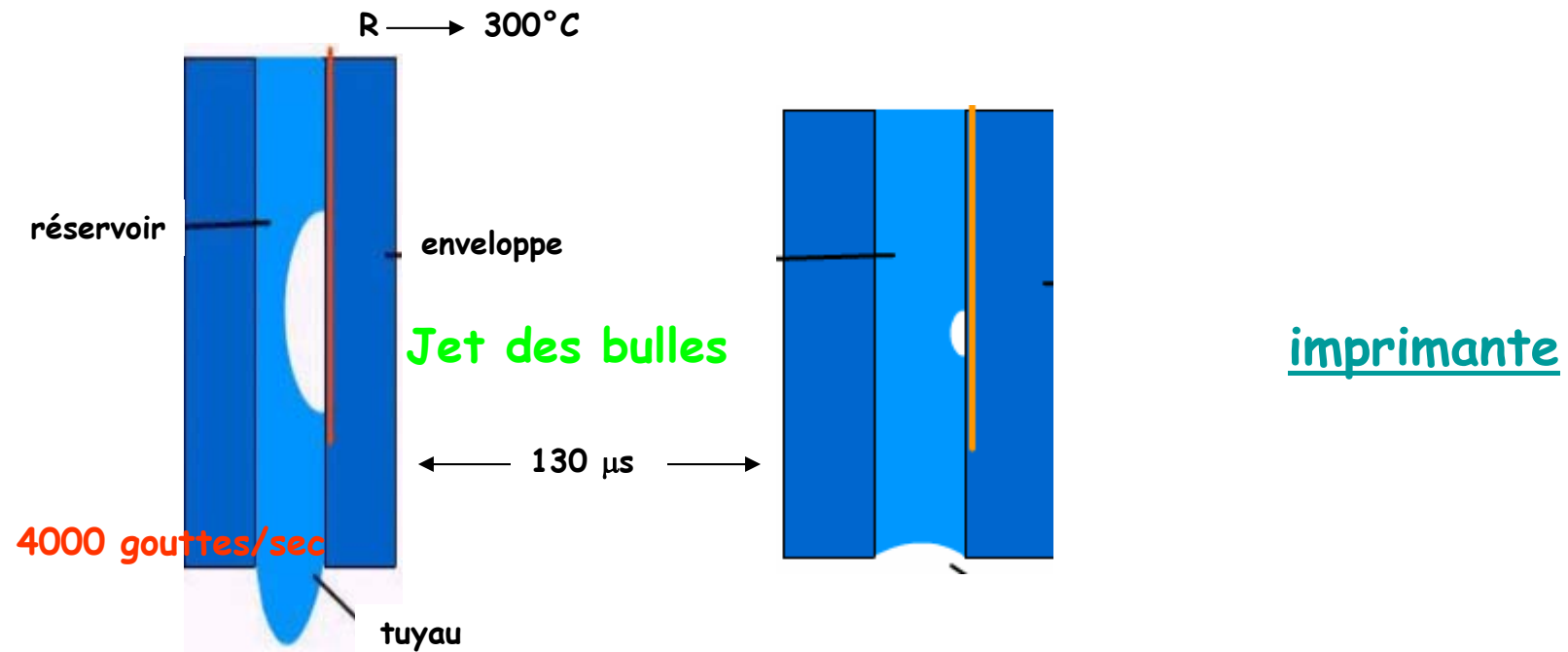
## Micro Station Météorologique



B. Gogoi, 2001, Arizona State University

Surveillance de l'environnement (Température, Pression, Humidité, Vibration)

## Cannon et HP (300 à 600 chambres d'encre)



<http://www.howstuffworks.com/inkjet-printer4.htm>



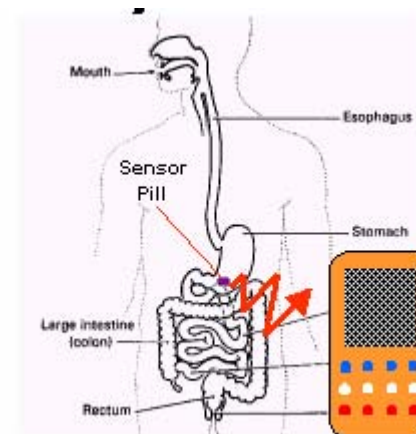
# Des technologies pour mieux vivre

Voyage au centre  
du tube digestif...

...avec la pilule caméra

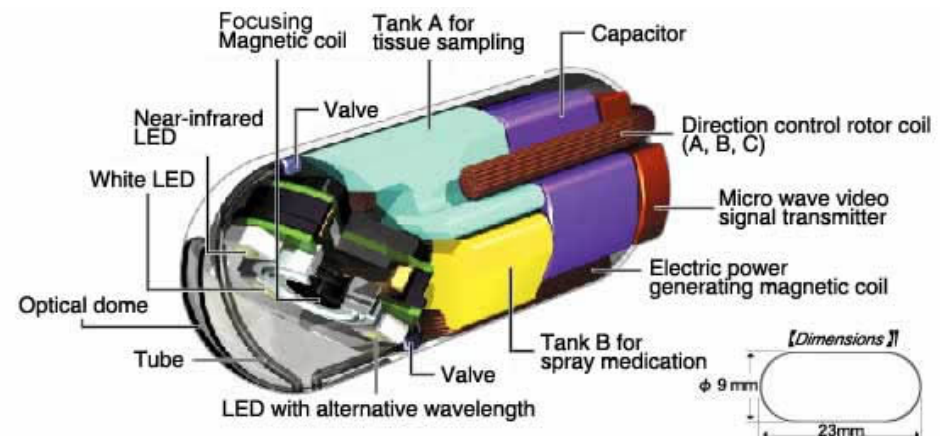


## Instruments Gastro-intestinaux miniatures



RF Norika

11 mm de diamètre, 27 mm de long





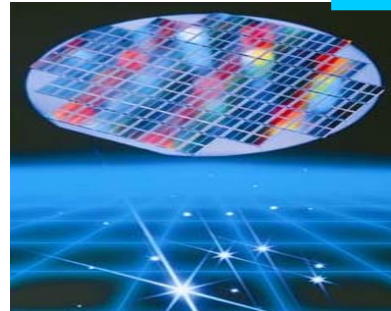
# Électronique

100  $\mu\text{m}$



# Microsystèmes

1-10  $\mu\text{m}$



# Microélectronique

100 nm

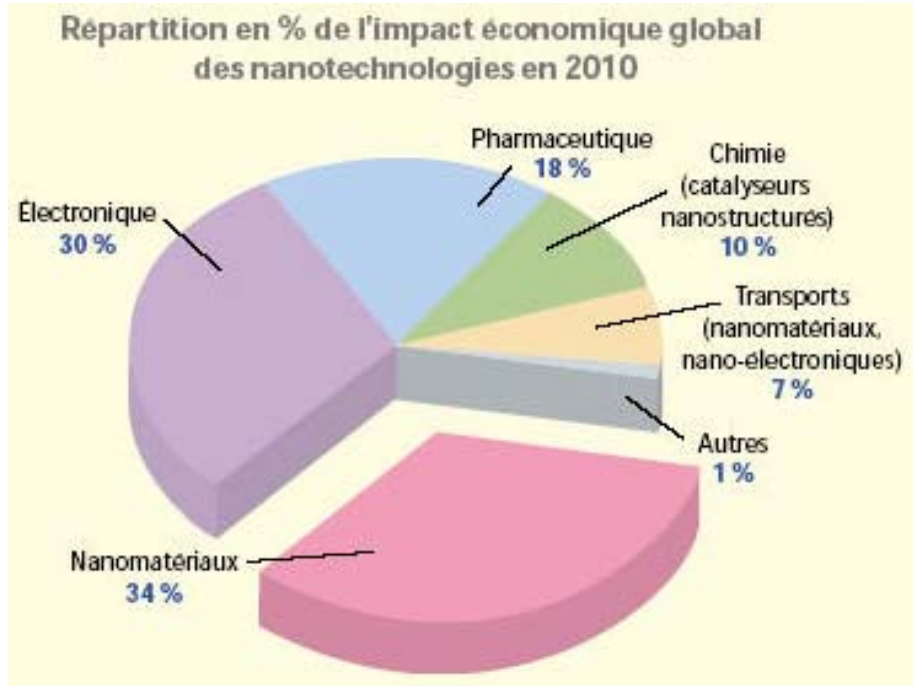
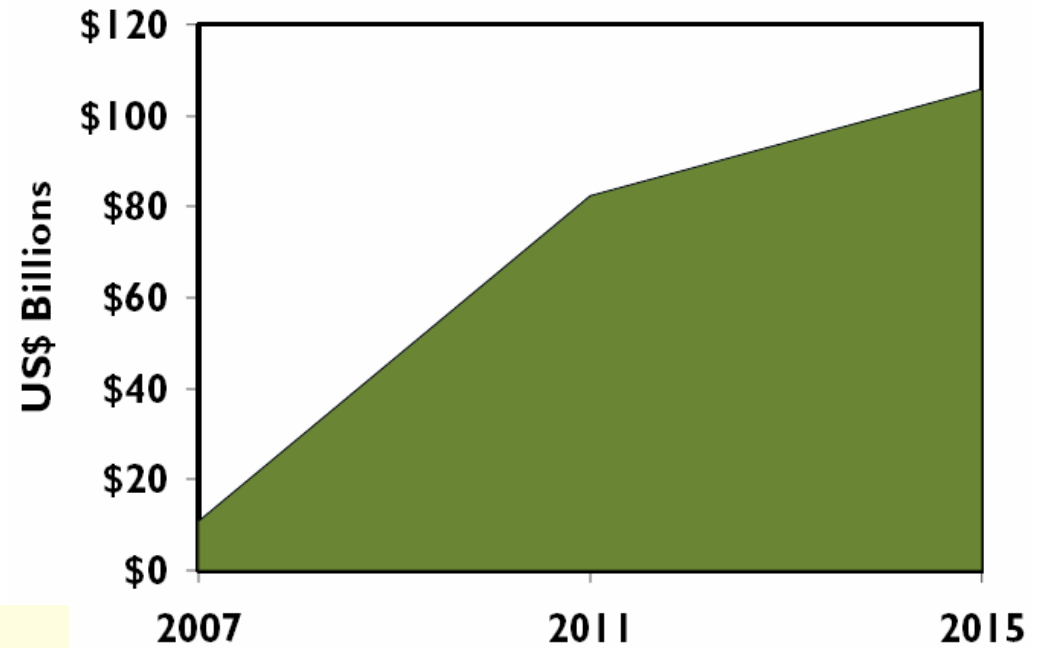


# Nano électronique

1<sup>0</sup> Å

## Prévisions pour le marché de la nanoélectronique

Source : Nano Markets, Mitsubishi Research, FTM Consulting



En 1959 lors d'une présentation durant le meeting annuel de la société américaine de physique, Richard Feynman a dit :

«There 's Plenty of Room at the Bottom »

“There’s plenty of room at the bottom”  
Lecture given by Dr. Richard Feynman in 1959



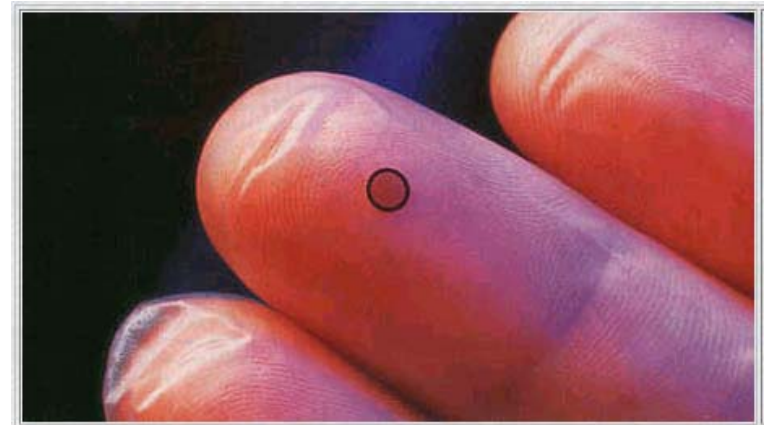
What I want to talk about is the problem of manipulating and controlling things on a small scale.

It is a staggeringly small world that is below. In the year 2000, when they look back at this age, they will wonder why it was not until the year 1960 that anybody began seriously to move in this direction.

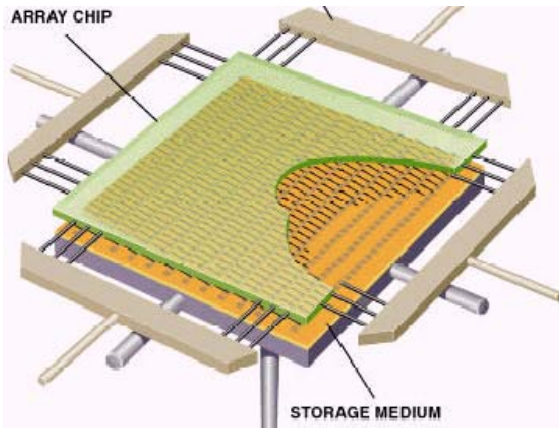
*Why cannot we write the entire 24 volumes of the Encyclopedia Britannica on the head of a pin?*

<http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>

## Aujourd'hui



Toute l'Encyclopédie  
« Britannica » tient sur  
ce composant constitué  
de milliard de nano  
perforations.



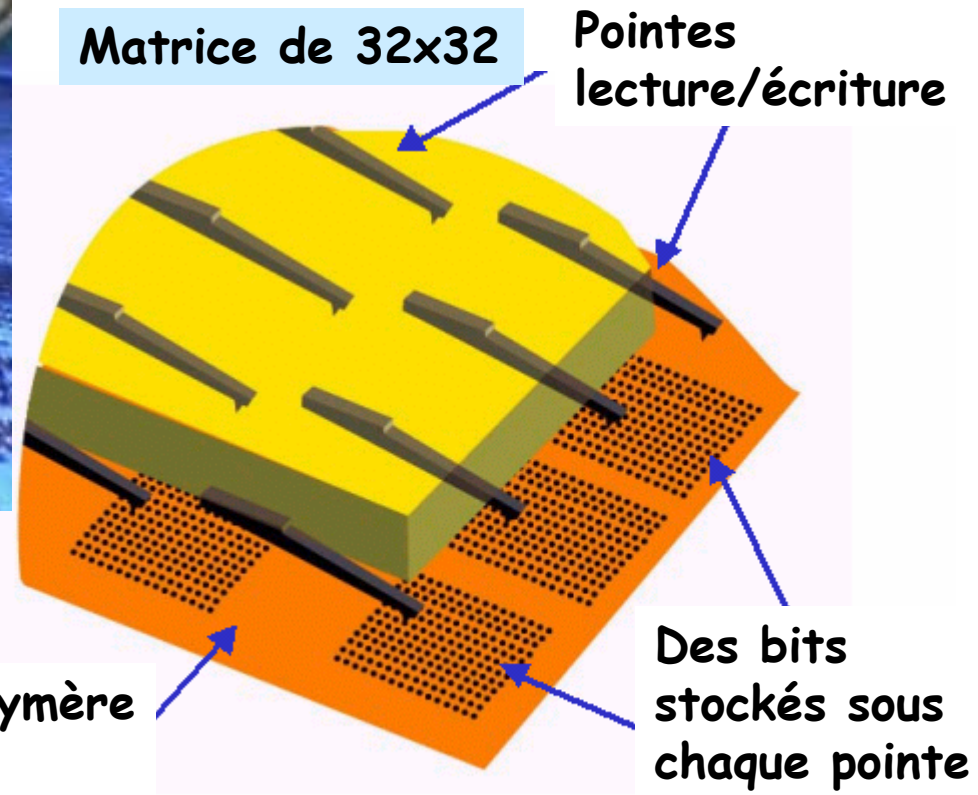
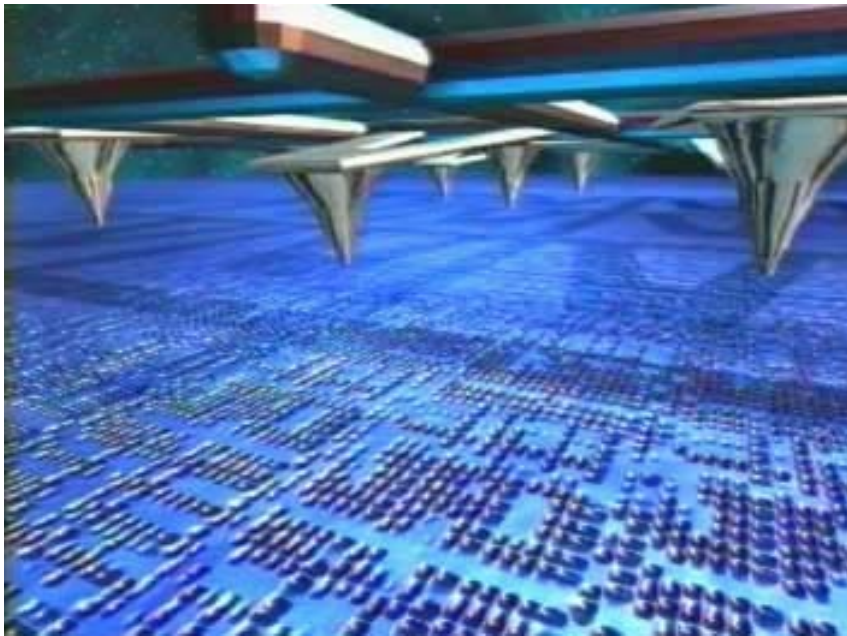
## Démonstrateur

Qq centaines de Gb/in<sup>2</sup>

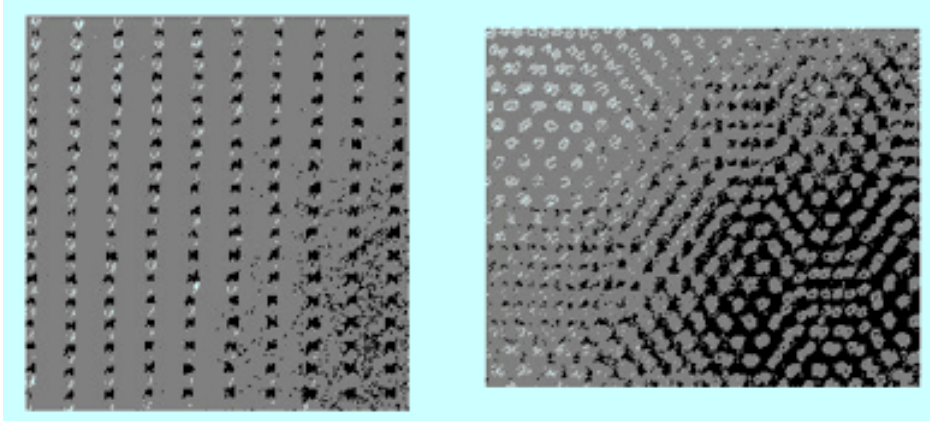
Vitesse de lecture : 10 Mb/sec

**IBM : Millipede  
(2002)**

Pulse électrique : 400°C, trous de 30-50 nm de diamètre (1 bit)



Vue sur le côté



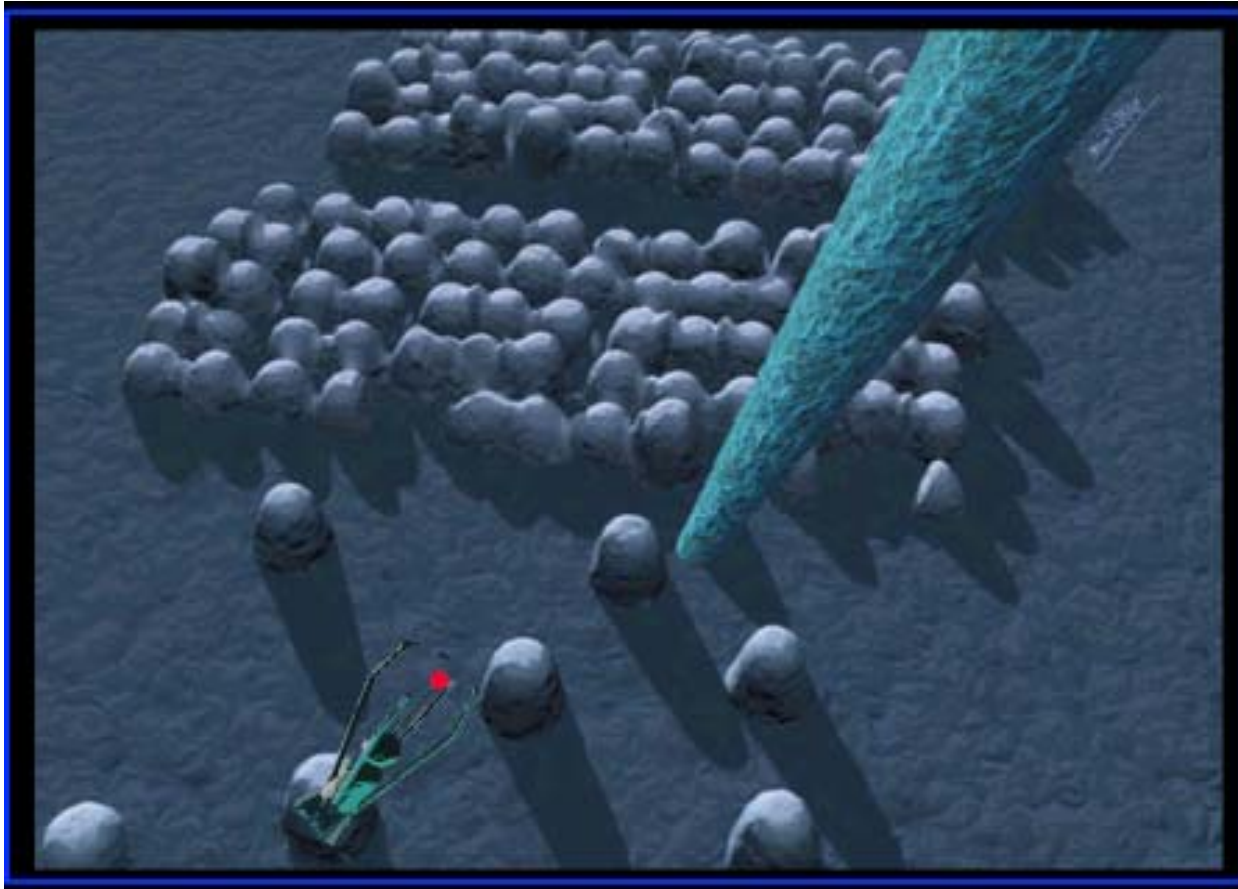
400 Gb/in<sup>2</sup>



Le cycle d'écriture / lecture

<http://www.zurich.ibm.com>

## Surfaces nano structurées



Manipulation des atomes  
avec une pointe AFM (Atomic  
Force Microscopy)

### De nombreux défis scientifiques :

- inventer les instruments d'observation et de fabrication
- comprendre le fonctionnement des systèmes aussi petits (mécanique quantique ...)

# Exemples d'applications en nanotechnologies

De tissus enrichis de nano particules (ZnO) protègent mieux des irradiations UV. Recouverts de nano fibres ne se salissent pas ou forment de barrières contre les bactéries - **Nanotex (USA)**



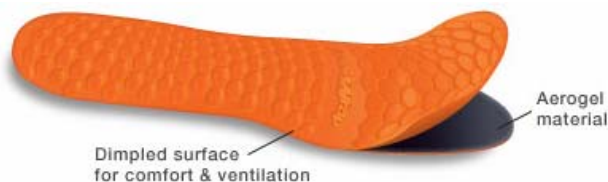
Vernis de protection enrichie de nano particules très résistante aux rayures (**Mercedes équipe les Berlines depuis 2003**).



De nano particules incorporées dans les rouge à lèvres ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ou les **crèmes solaires** ( $\text{ZnO}, \text{TiO}_2$ ) évitent la coloration blanche et offrent une protection UV à large spectre.



**Toasty Feet** commercialise de semelles dans lesquels un nanomatériau (aérogel nanostructuré) est incorporé -barrière thermique très efficace (NASA).

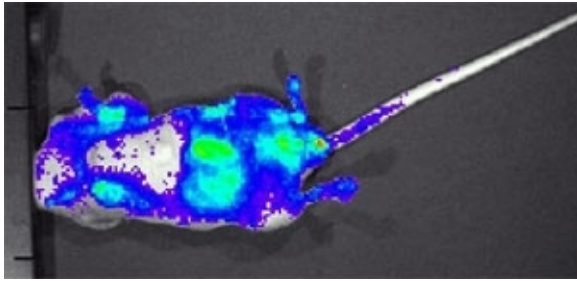


**Pilkington-USA** commercialise de verres nano structurés et autonettoyants (quand les UV chauffent le verre, les nano particules s'activent et font disparaître les molécules organiques = saleté).

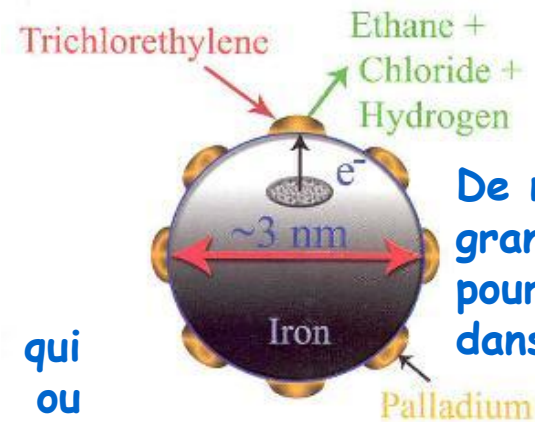




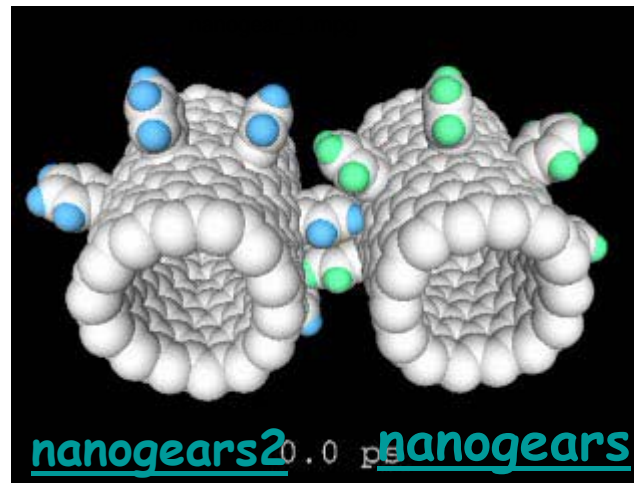
# Exemples d'applications en nanotechnologies



De nanocristaux fluorescentes qui attirent poison, protéines, DNA ou cellules cancéreuses (University of Illinois), ou illuminent les neurones



De nanoparticules de fer (avec un grand rapport surface/volume) pour éliminer de traces de poison dans l'eau (Lehigh University)



Un moteur avec des engrainages moléculaires et de nanotubes ( $f \sim \text{GHz}$ ) (NASA) pour la nanofabrication ou le transport par exemple de protéines à l'intérieur des cellules

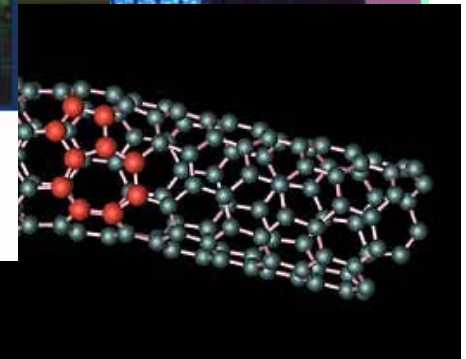
La nouvelle technologie NanotubeElectroluminescentDisplay  
(à base de nanotubes de carbone) de MOTOROLA (2005)  
Un premier dispositif d'écran plat  
à base de nanotubes (1999)

2.4  
mm

200  
µm



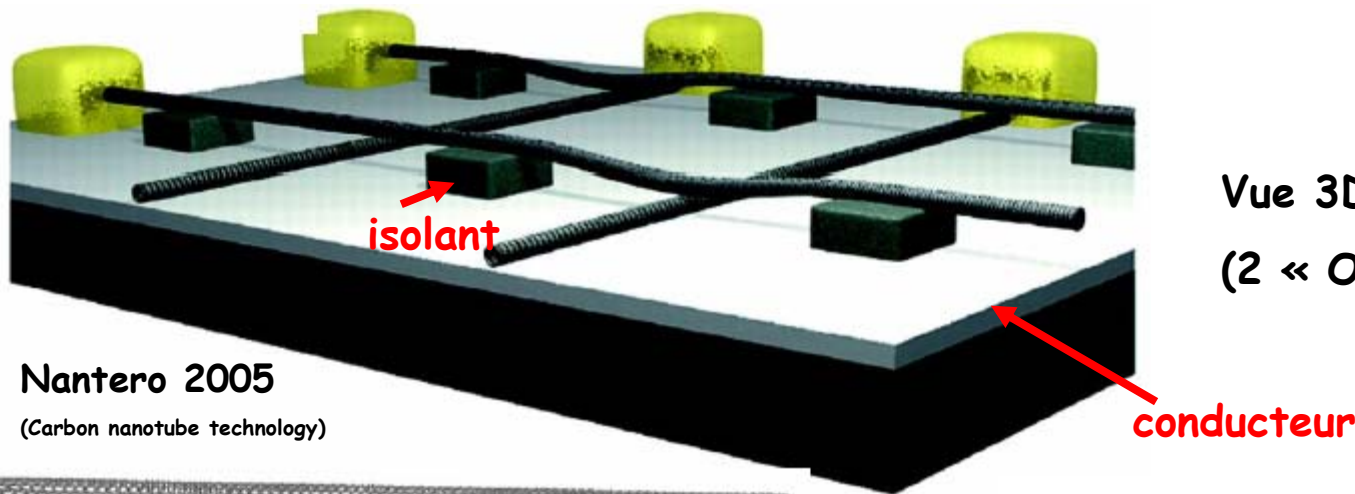
**Image d'un écran à nanotubes  
de 15 cm réalisé au CEA LETI**



**SAMSUNG DIGITAL**  
everyone's invite

# Mémoires Moléculaires

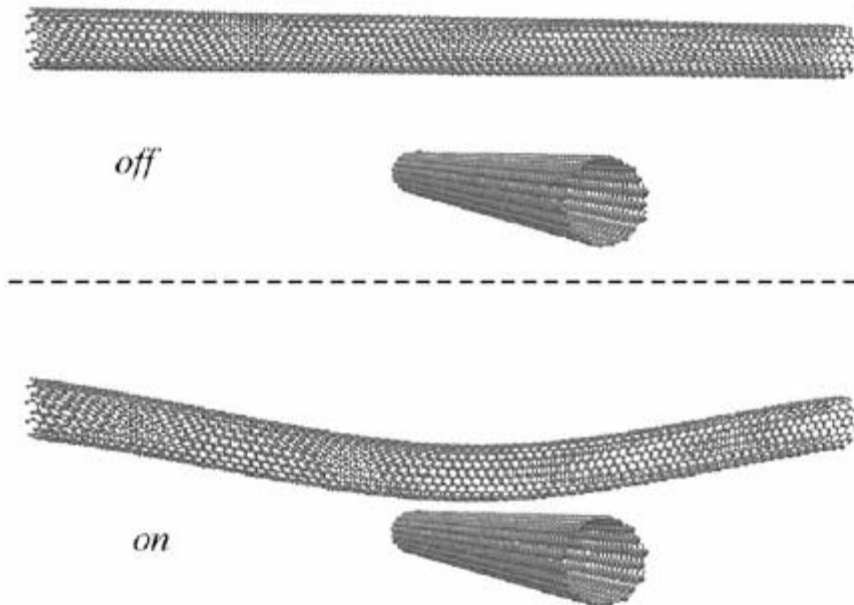
Mémoires ultra denses à base de nano tubes ou de nano fils de platine ou de titane. Le premier prototype déjà fabriqué est constitué de 64 intersections il peut donc stocker 64 bits...



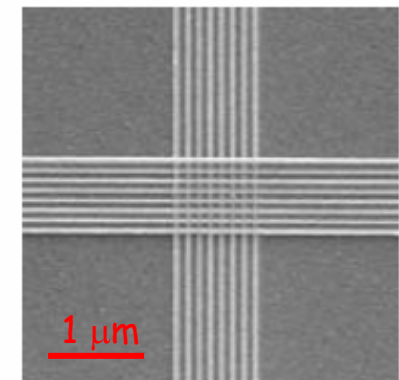
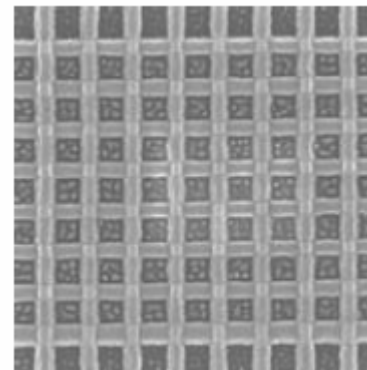
Vue 3D de 4 jonctions  
(2 « ON » et 2 « OFF »)

Nantero 2005

(Carbon nanotube technology)

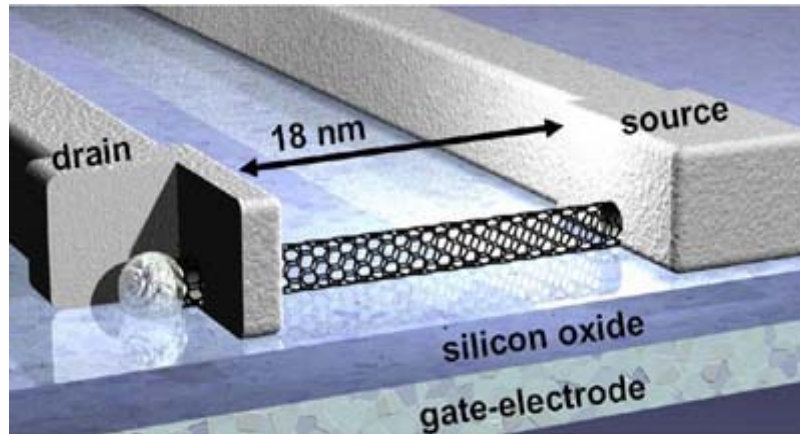


HP 2003



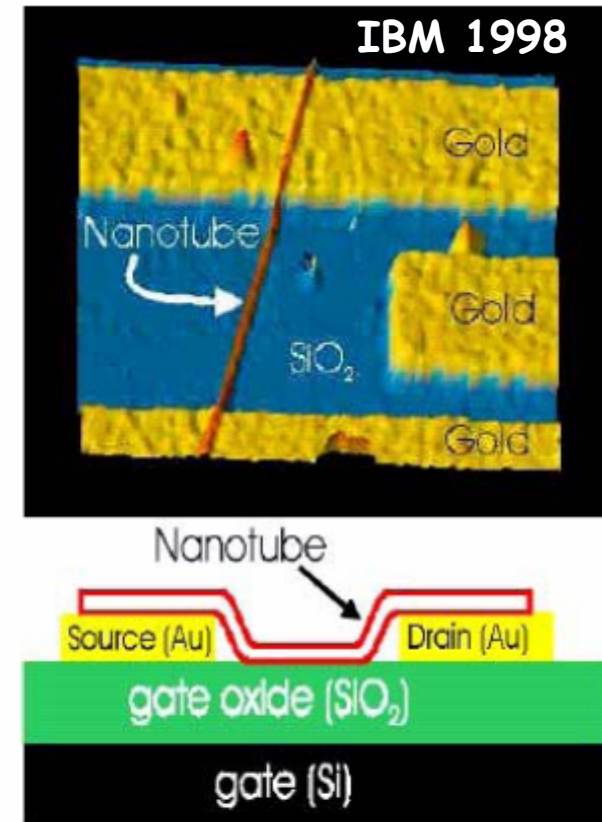
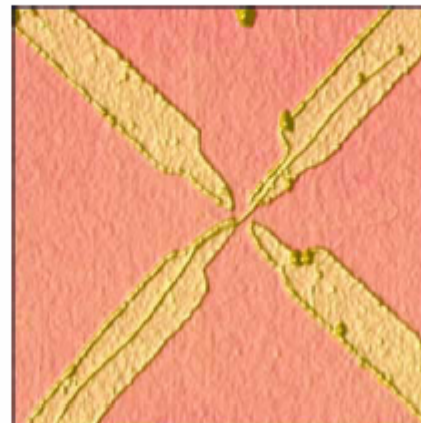
# Transistor Moléculaire

Il est actuellement possible d'assembler la matière atome par atome, pour construire des transistors d'une conception entièrement nouvelle



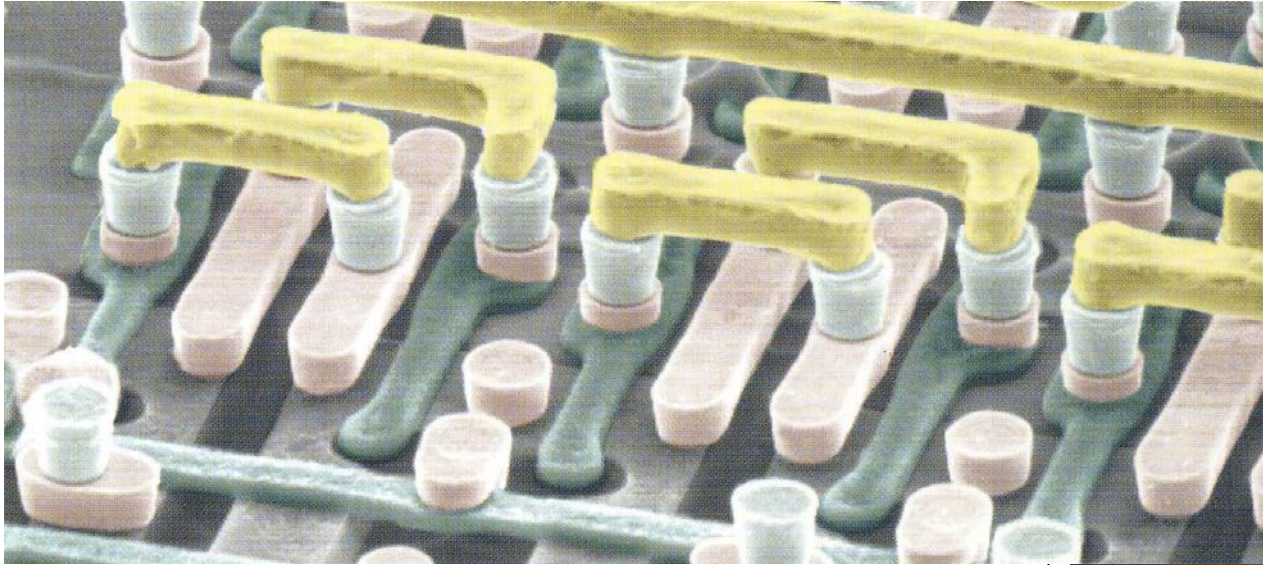
**Molécule = nanotube de carbone**

Image AFM 2D d'un transistor de 100 nm x 100 nm réalisé en technologie planaire par peignage moléculaire. Le canal du transistor est un nanotube de carbone de 3 nm de diamètre pour une longueur active de 100 nm.



**Figure 4:** Représentation (ci-bas) et photo obtenue par microscopie STM (ci-haut) d'un transistor moléculaire fait avec un nanotube de carbone. Gracieuseté d'IBM.

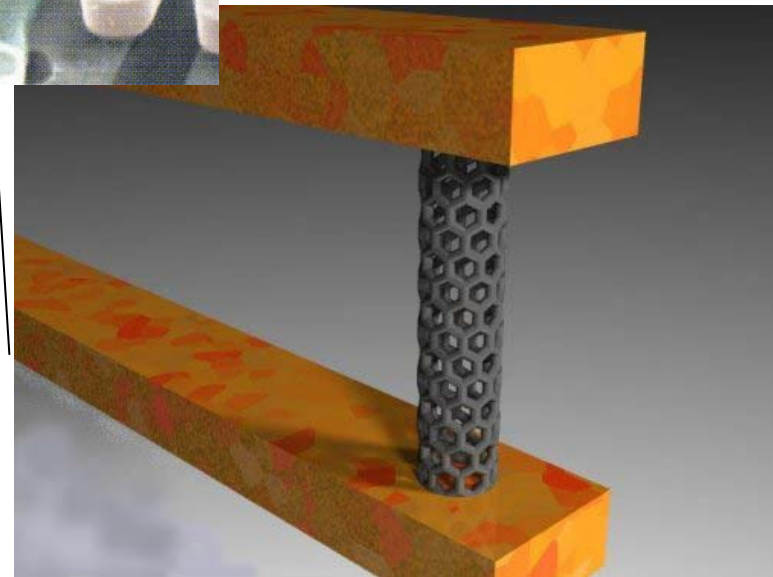
# Interconnections en nano tubes de carbone ?



## Avantages:

- (1) Petit diamètre (nm)
- (2) Rapport de formes élevé
- (3) Haute conductivité le long de l'axe
- (4) Haute tenue mécanique

Question: Comment faire ca ?

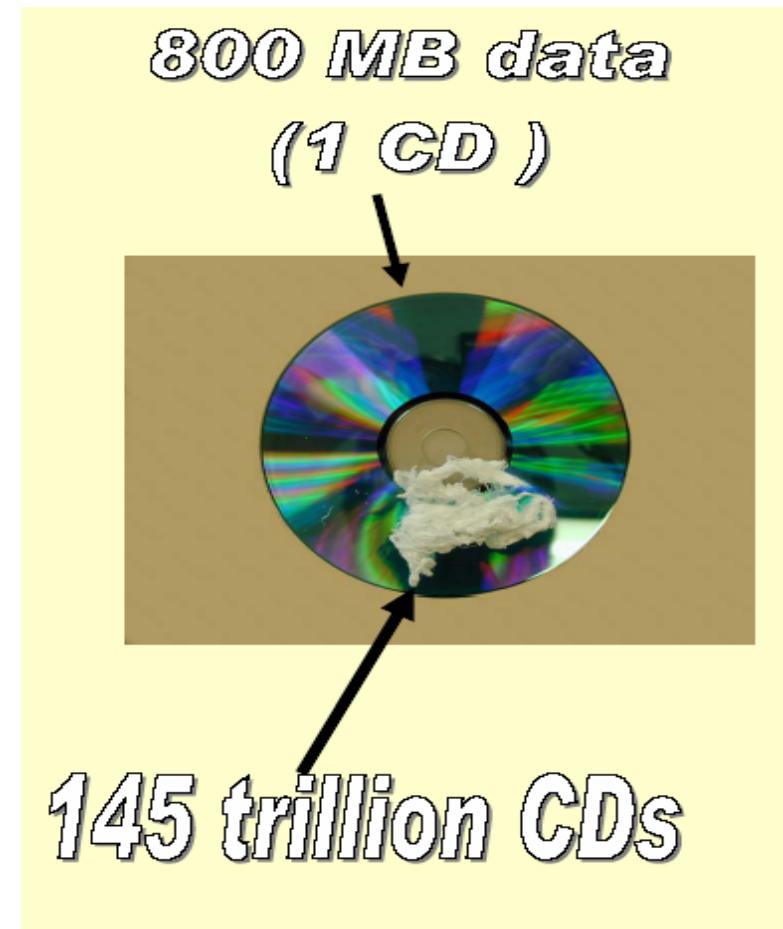


# Stockage d'information hyper dense

✓ Cette image montre 1 gram d'ADN sur un CD. Le CD peut contenir 800 MB de données.

✓ 1 gram d'ADN peut contenir  $1 \times 10^{14}$  MB de données.

✓ Le nombre de CD nécessaires pour contenir cette information, positionnés l'un à côté de l'autre donneraient 375 fois le contour de la terre, et on aurait besoin de 163 000 siècles pour les écouter.



# Ordinateur à base d'ADN

VS. AMD

