



laboratoire pierre aigrain
électronique et photonique quantiques



université
PARIS
DIDEROT
PARIS 7

A la découverte des nanosciences

Christophe Voisin

Université Paris Diderot

Laboratoire Pierre Aigrain, École Normale Supérieure, Paris



Les nano - sciences

Les échelles de longueurs :

1 = échelle humaine

10^9 = échelle astronomique (distance terre-lune)

10^{-9} = échelle nanométrique

Grec « nanos » : petit, nain

Interdisciplinaire :

Physique

Chimie

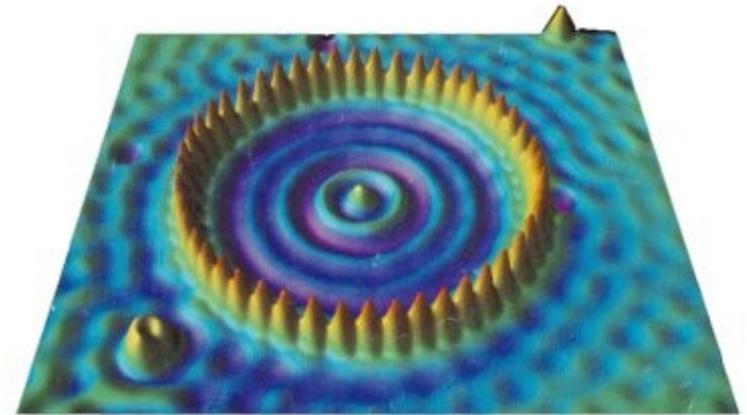
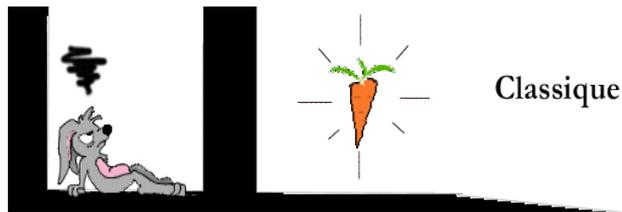
Biologie - médecine

Électronique

Investissements de recherche considérable



La révolution quantique

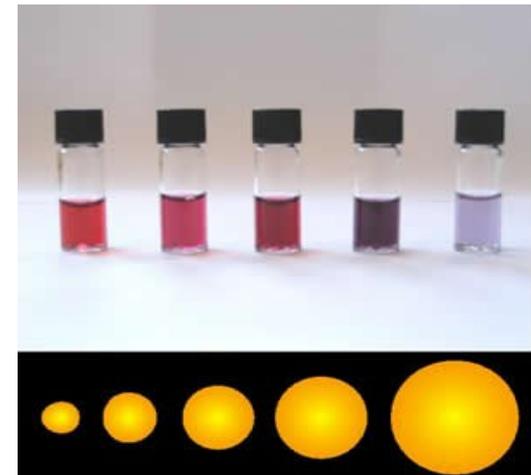


L'Attracteur, Université de Sherbrooke

D.Eigler, IBM Almaden Research Center

La matière a des propriétés ondulatoires, masquées à grande échelle

Les propriétés quantiques se manifestent par des résonances :
On peut les ajuster en jouant sur la taille des objets

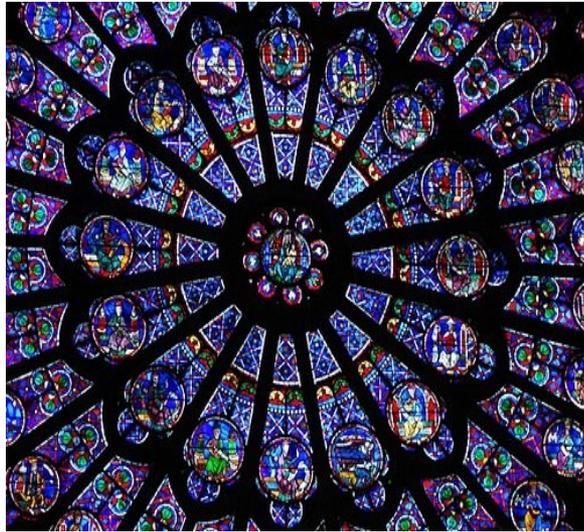


Évolution de la couleur de
nanoparticules d'or avec la taille

Où trouve-t-on des nano-objets ?



Depuis des siècles, l'Homme
fait des nanosciences... sans le savoir



Vitraux



Coupe de Lycurgus, 4ème siècle a.v. JC

Nanoparticules (TiO_2)



Babolat TM



Nanotubes de carbone

Composition

Aqua, dicaprylyl carbonate, caprylic/capric triglyceride, zinc oxide, titanium dioxide, lauryl glucoside and polyglyceryl-2 dipolyhydroxystearate and glycerin, mentha piperita water*, alcool*, glycerin, cocos nucifera, gardenia tahitensis, pongamia galbra seed oil, dehydroacetic acid and sorbic acid and potassium sorbate, citric acid, xanthan gum, tocopherol.

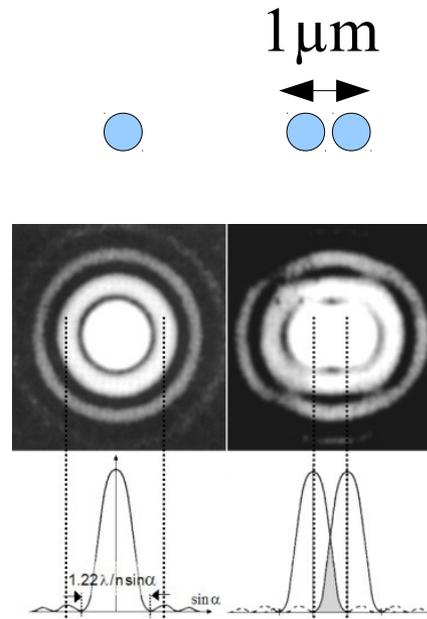


Nano-argent

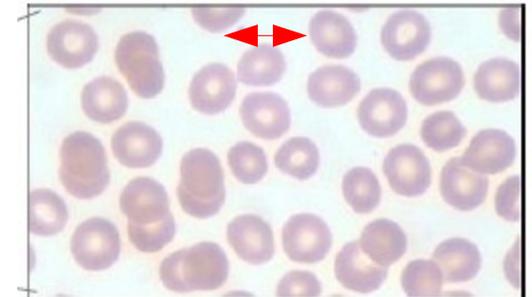
Chaussettes Nanosilver

Peut on voir les nano-objets ?

On ne peut pas « voir » des objets plus petits que $\sim 1\mu\text{m}$ avec de la lumière



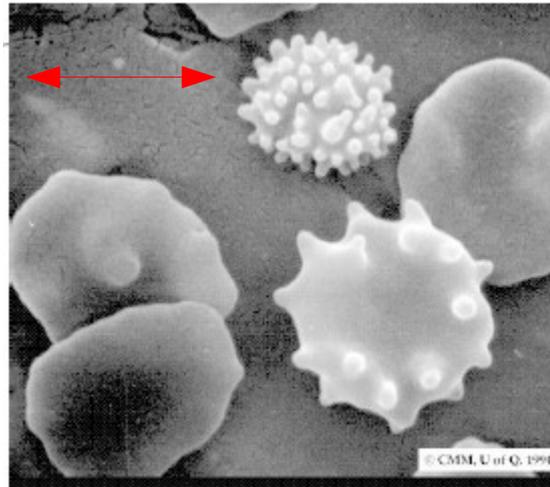
$5\mu\text{m}$



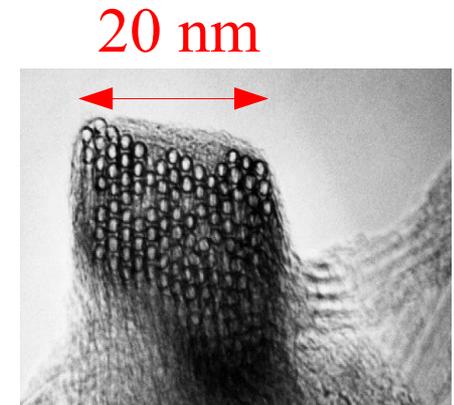
Globules rouges
X 400

La nature ondulatoire des électrons est utilisée pour l'imagerie haute résolution

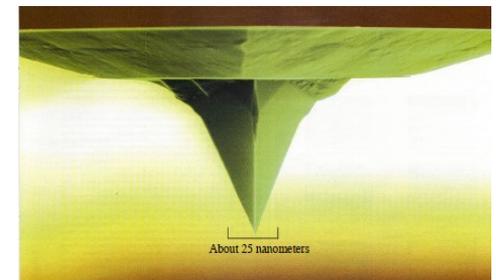
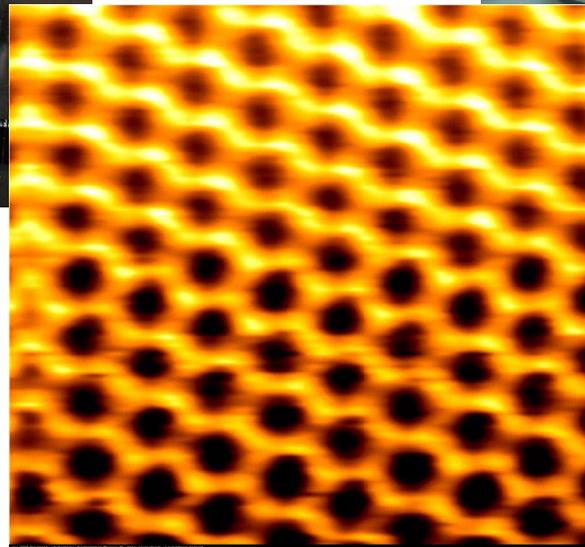
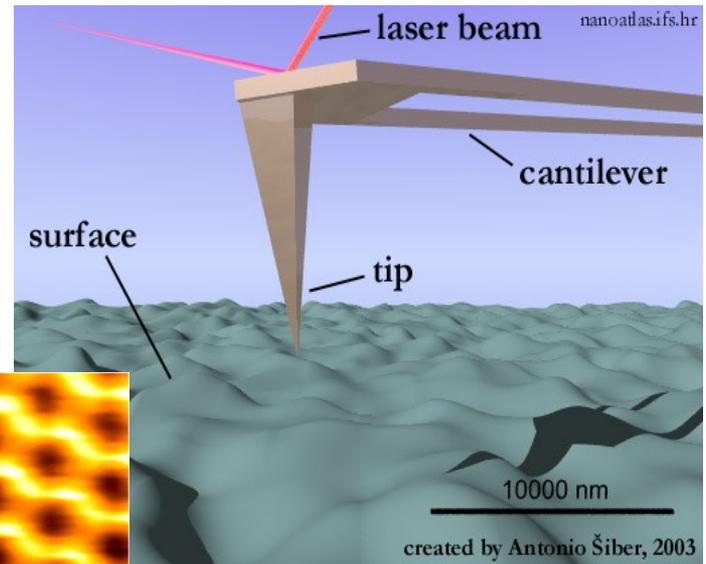
$5 \mu\text{m} = 5000\text{nm}$



Globules rouges
X 4000



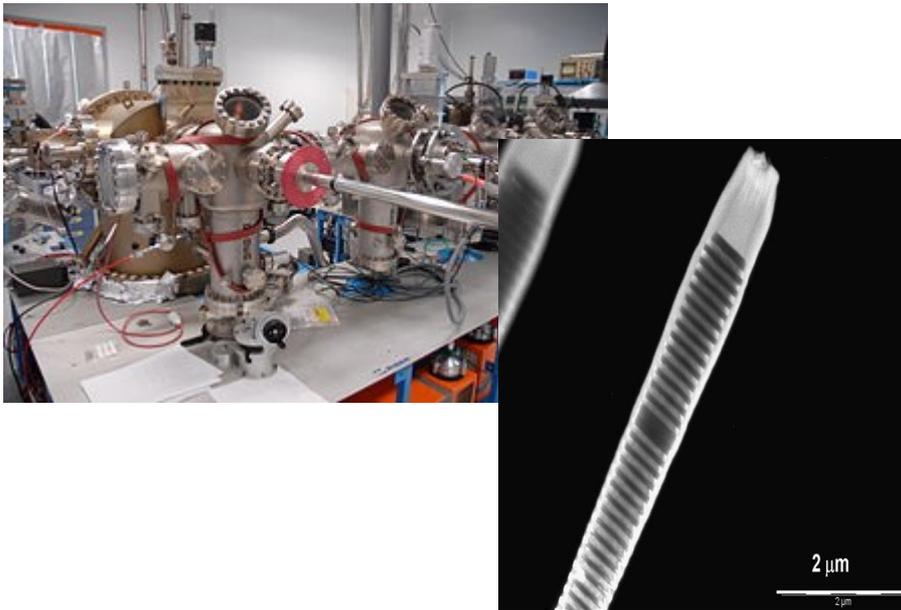
Microscope à Force Atomique (AFM)
 Microscope à Effet Tunnel (STM)



Approche « bottom-up »

On dépose les atomes un par un
suivant des masques

Très précis, mais très long et coûteux

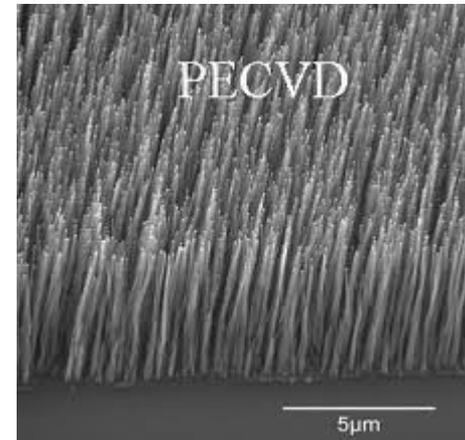


LPN, CNRS

Approche par auto-assemblage

On utilise la stabilité naturelle de certains
édifices atomiques

Beaucoup plus rapide, peu coûteux, mais
moins souple



PMC, École Polytechnique

Forêt de nanotubes de carbone

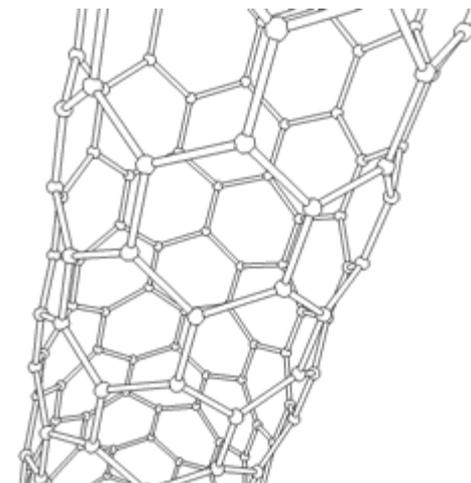
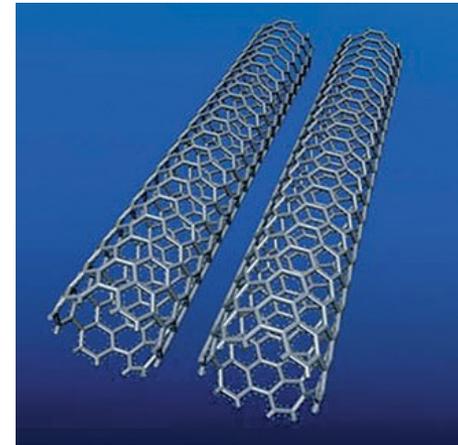


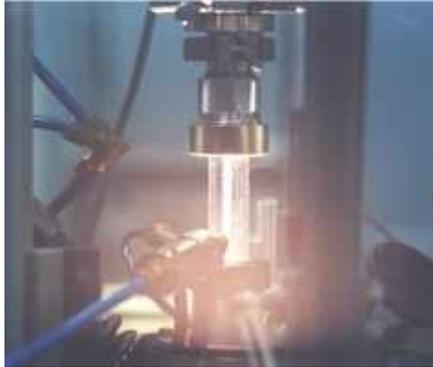
Un exemple symbolique : Les nanotubes de carbone

Les nanotubes de carbone (NT) : un matériau au cœur des nanotechnologies

Objet fascinant pour les scientifiques
Très nombreuses applications envisagées

- Renfort mécanique
- Émission de champ
- Électronique
- Biologie / Médecine





Ablation laser
Arc électrique

ONERA

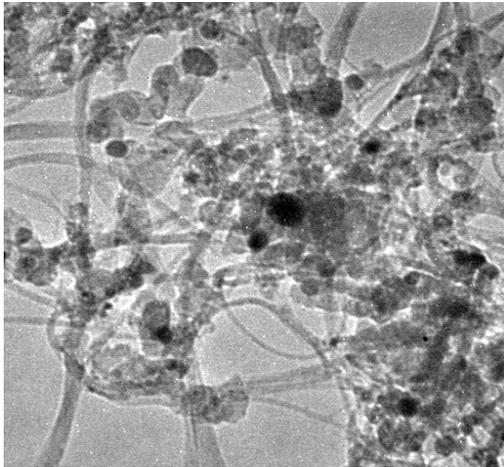


Matériau brut

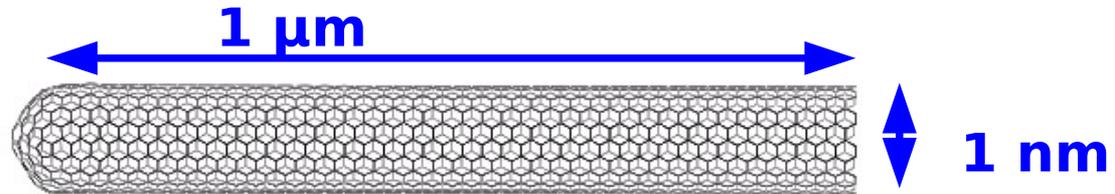
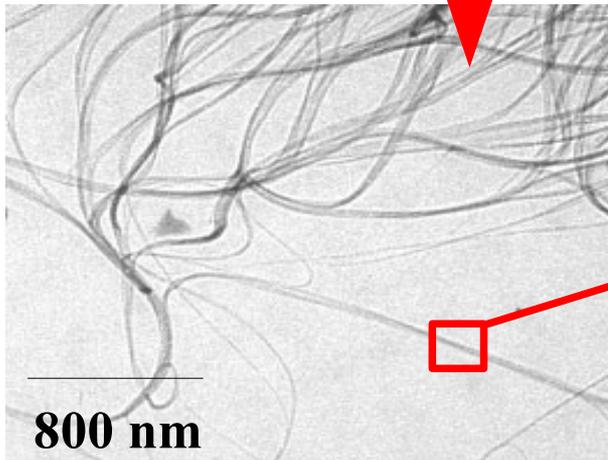


Croissance chimique
(CVD)

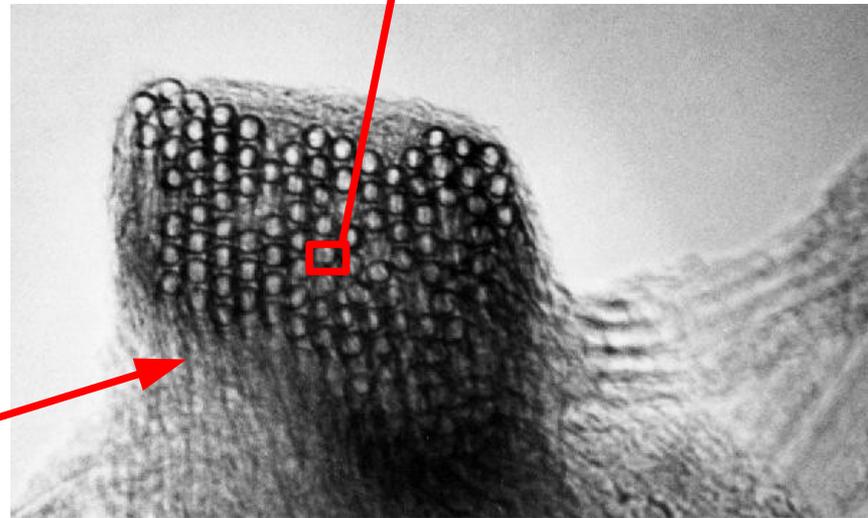
Arkema 400t/an)



Purification



$$E_b \sim 500 \text{ eV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$$



<http://smalley.rice.edu/>

Fort **module d'Young** : 1TPa (10x acier)
 Faible **densité** : 1.2 (1/6 acier)

Renfort de matériaux

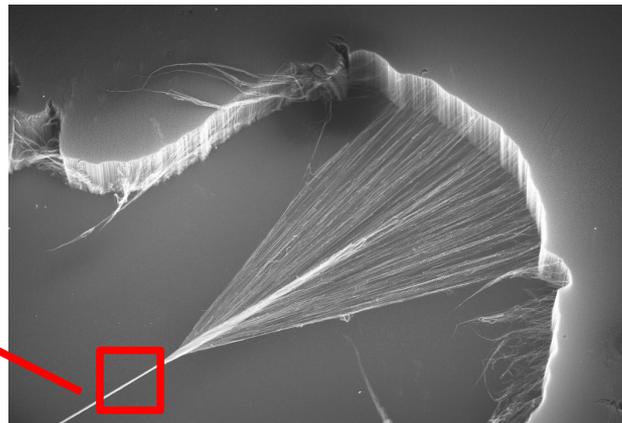
Cordes/tissage : gilets pare-balles



ascenseur spatial, NASA



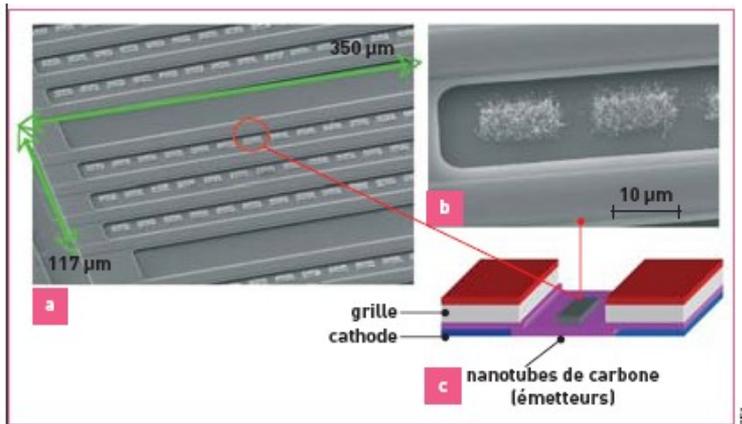
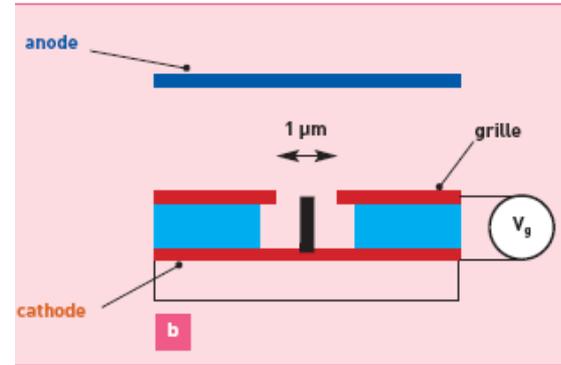
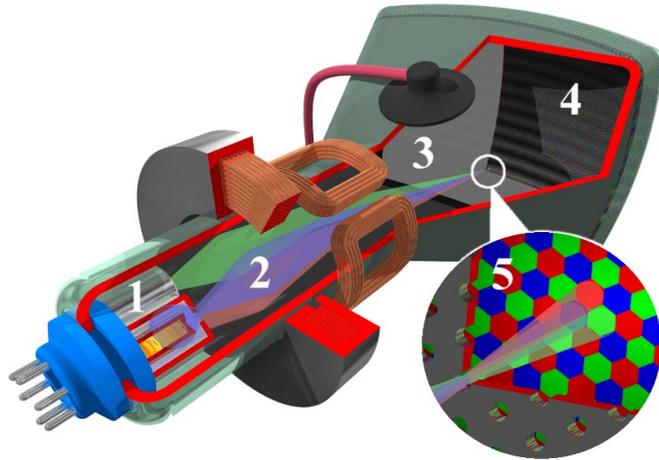
CRPP, Bordeaux



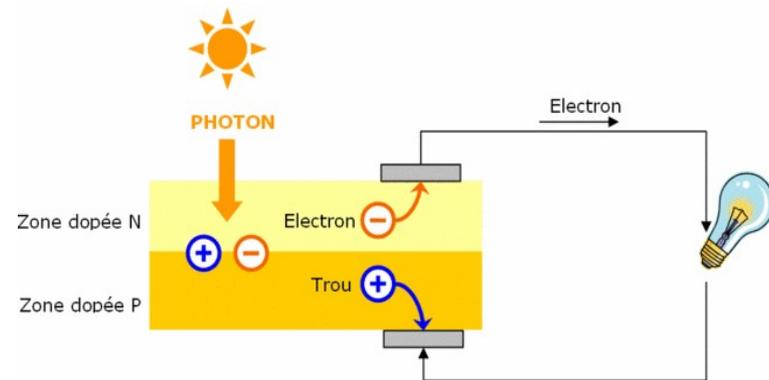
Lawrence Livermore NL, USA

cylindre D=10cm, L=2m : flèche 1mm sous 10 tonnes

Écrans plats à nanotubes



La technologie silicium



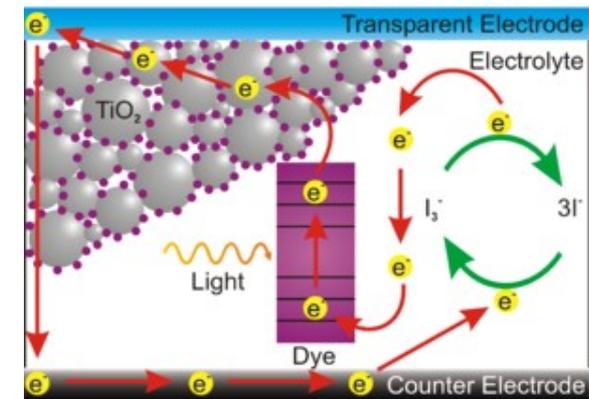
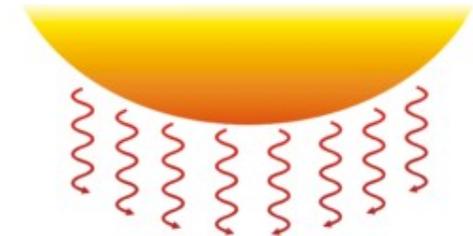
Limitations : rendement $\sim 10\%$; coûts élevés

Cellules photo-voltaïques à colorant (Graetzel)

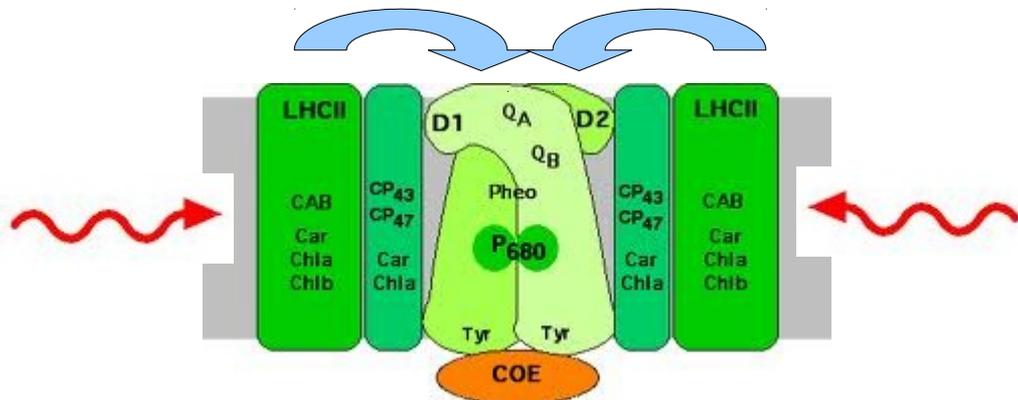
- Versatilité des molécules organiques : large spectre
- Matériau poreux
- Limitations : faible mobilité électroniques
- Recombinaison parasite directe

Photosynthèse

- Antennes optiques
- Transfert d'énergie vers des centres de réaction spécialisés



Courtesy : M. R. Jones

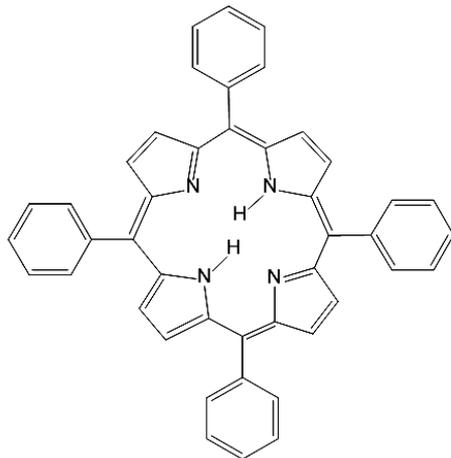


Courtesy : UFR sciences de la vie, UPMC

Rendement théorique : 95 %
Réal : 40%

Porphyrines

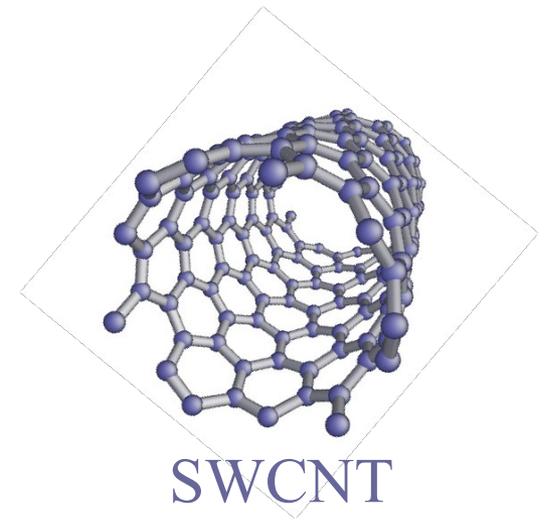
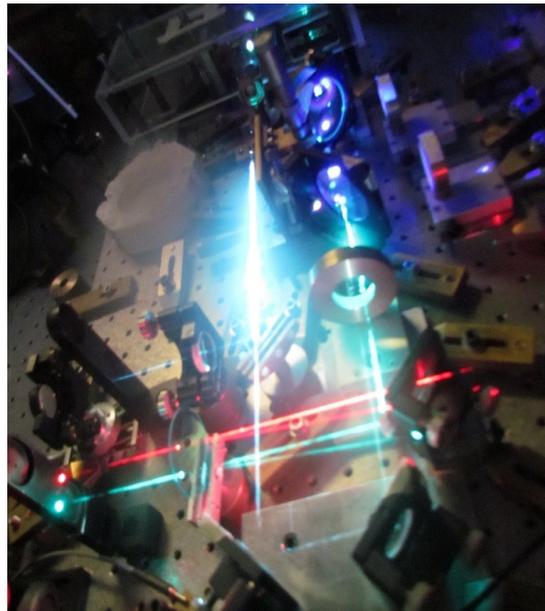
- Précurseur de la chlorophylle et de l'hémoglobine
- Photo-stable

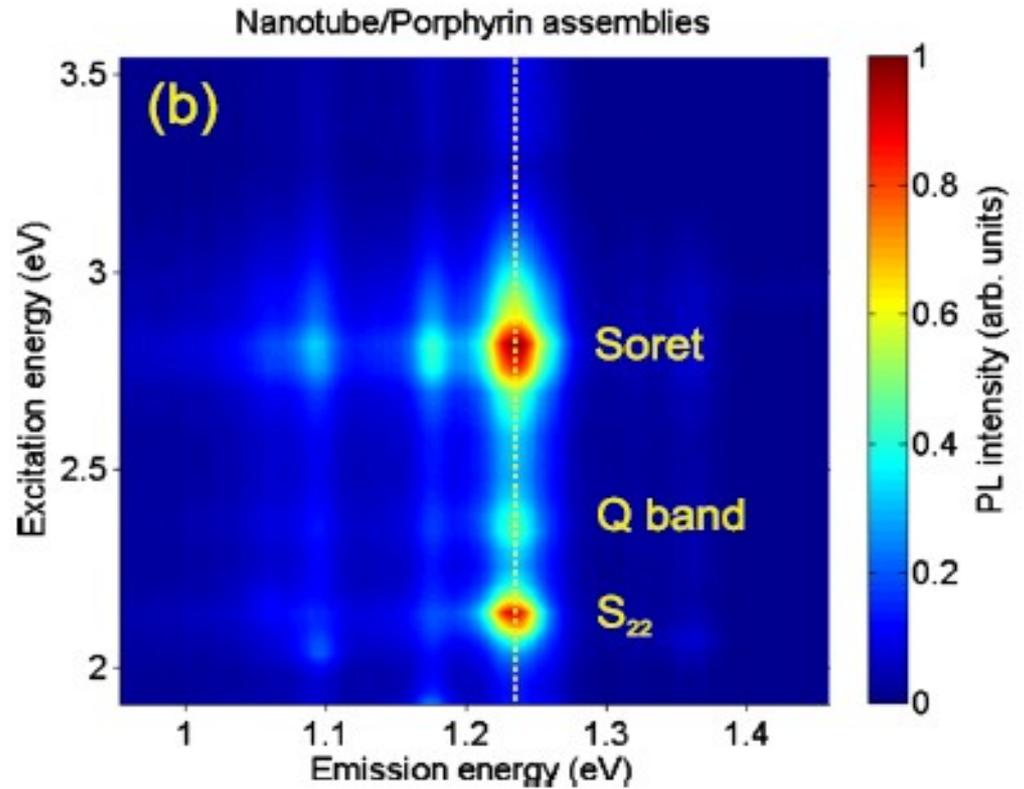
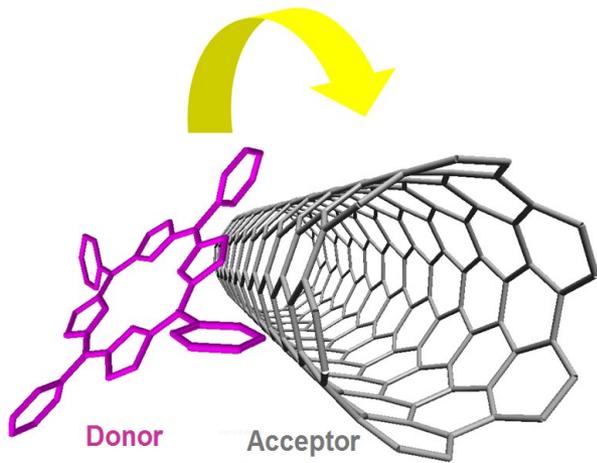


Porphyrin (TPP)

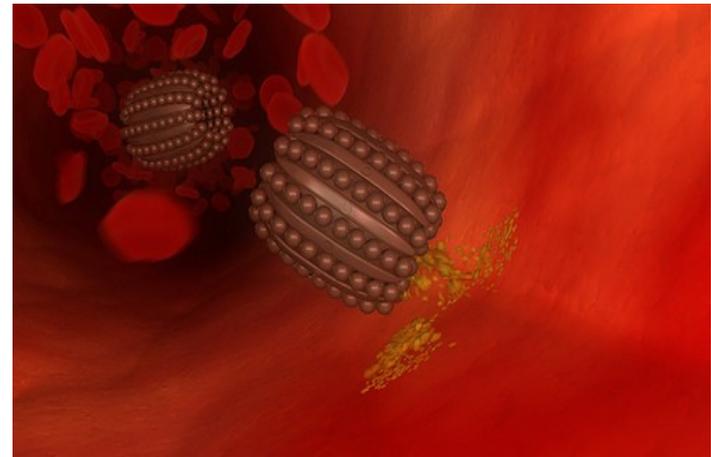
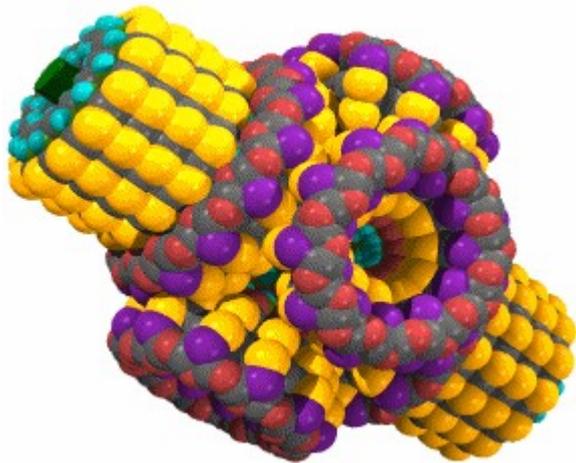
Nanotubes

- 2/3 semi-conducteurs
- Très bonne mobilité électronique
- Grande longueur



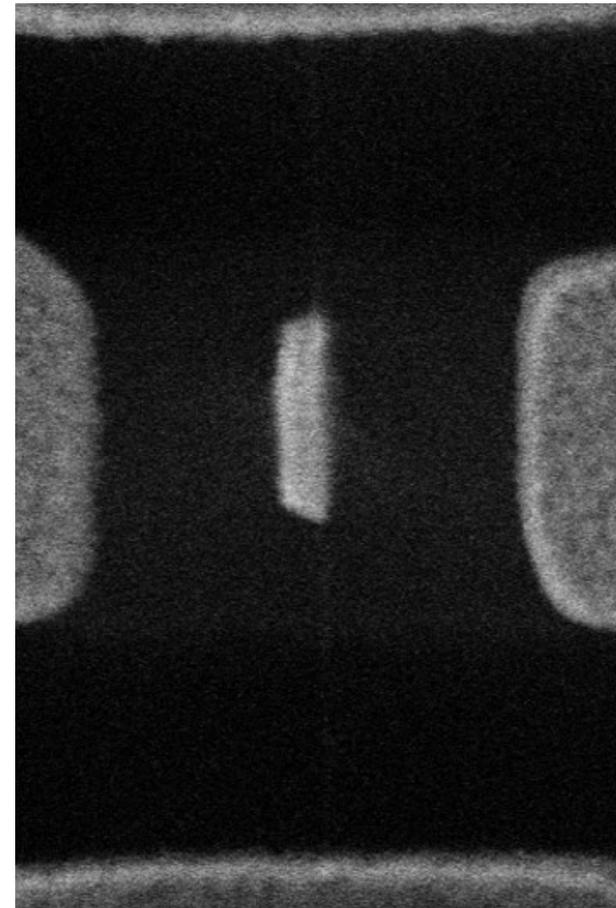
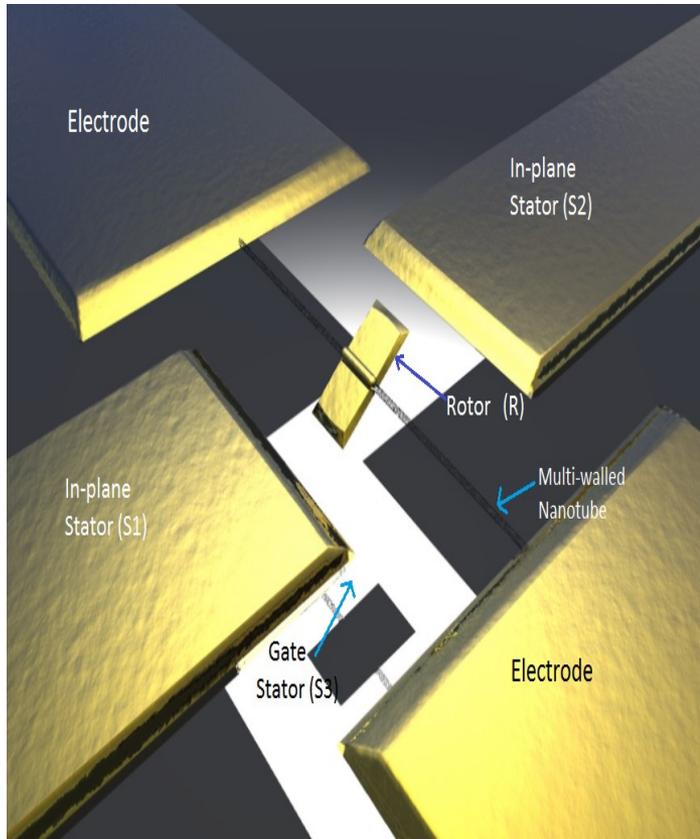


Les nano-moteurs (anticipation)



E-Spaces / CG4TV.com

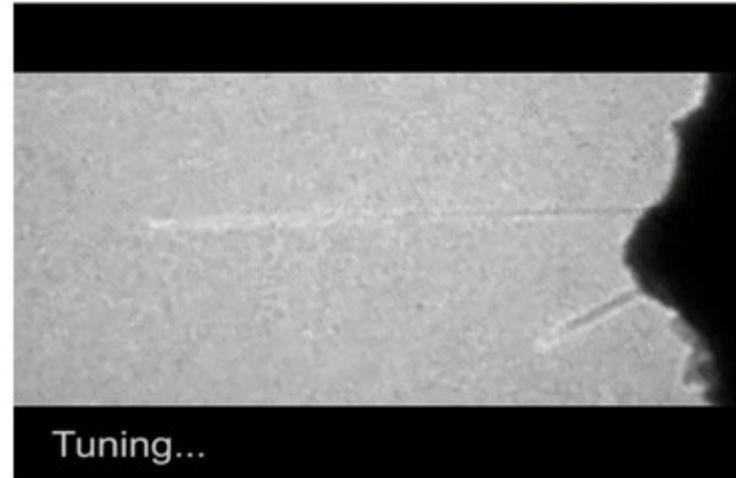
Les nano-moteurs (en 2011)



Zettl group, Berkeley



Carbon Nanotube Radio



Courtesy [Zettl Research Group](#), Lawrence Berkeley National Laboratory and University of California at Berkeley.

Zettl group, Berkeley



X1/100 000 000



Chaque cas est spécifique

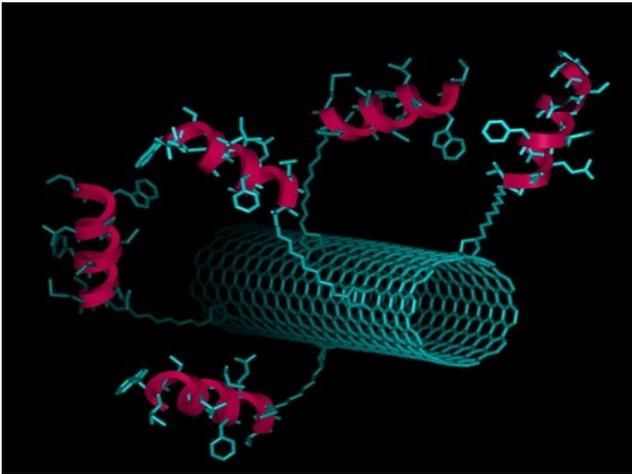
Taille des particules, état de surface, matériau...

Pas de problème pour les matériaux composites

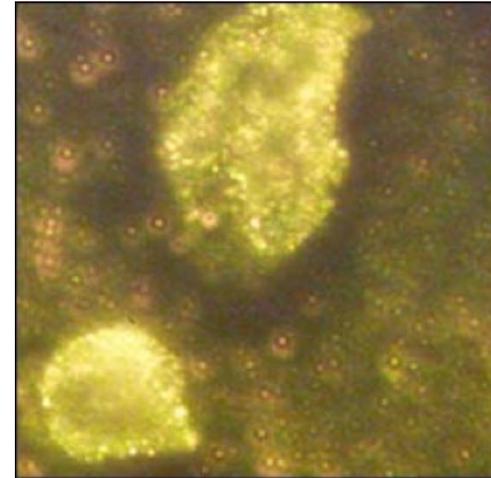
Pas de difficulté pour éliminer les nanomatériaux

Enjeu : la traçabilité

Vers une médecine moins invasive, plus efficace



Délivrance de médicaments
sur les cellules malades



Traitement thermique des cellules malades
après marquage moléculaire

- Un monde **très vaste** à peine entrevu
- Un domaine de convergence des sciences (bio, chimie, physique...)
- Des **applications très nombreuses**, des plus utiles aux plus futiles
- Vers une démultiplication de la « puissance » des objets
- Des risques **environnementaux** à mieux évaluer