



DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

**cea**



**NanoSciences**  
Programme transversal

[www.cea.fr](http://www.cea.fr)

## LES « NANOS » : ENTRE RÉALITÉ ET FICTION

RÉUNION-DÉBAT : LES NANOTECHNOLOGIES  
SFEN – RAL  
<http://www.sfenral.fr/>

Engin Molva  
CEA  
Programme Transversal Nanosciences

22 SEPTEMBRE 2016, LYON



DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

**cea**

## LES « NANOS »



**NanoSciences**  
Programme transversal

- Les « nanos » définitions
- Les « nanos »: de l'histoire ancienne ?...
- La vague « nano» des années 90
- Les « nano »-sciences / -technologies / -matériaux/ -...
- Les « nano » applications et les « giga » promesses
- Discussion

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon

| PAGE 2

DE LA RECHERCHE À L'INNOVATION

**cea** **LES NANOS SONT PARTOUT ?** NanoSciences Programme transversal

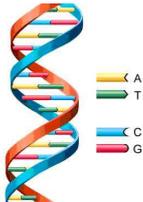
- **Nanomètre**
  - Nanosciences
    - Nanotechnologies
      - Nanomatériaux
      - Nanotoxicologie
        - Nanoélectronique
        - Nanophotonique
        - Nanomagnétisme
          - Nanocapteurs
            - Nanobiotechnologies
            - Nanomédecine
            - ...

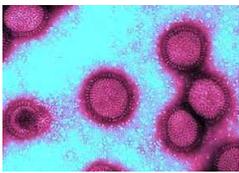
Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 3

DE LA RECHERCHE À L'INNOVATION

**cea** **1 NANOMÈTRE = 1 MILLIARDIÈME DE MÈTRE** NanoSciences Programme transversal

ATOME D'HYDROGENE 0,5 nm 

ADN 2 nm 

VIRUS 20 à 300nm 

CHEVEU 100 000 nm 

TATA NANOCAR 2.10<sup>9</sup>nm 

**Domaine « nano »: en dessous de 100 nm**

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 4

DE LA RECHERCHE À L'INNOVATION

**cea** 1 NANOMÈTRE = 1 MILLIARDIÈME DE MÈTRE

NanoSciences  
Programme transversal

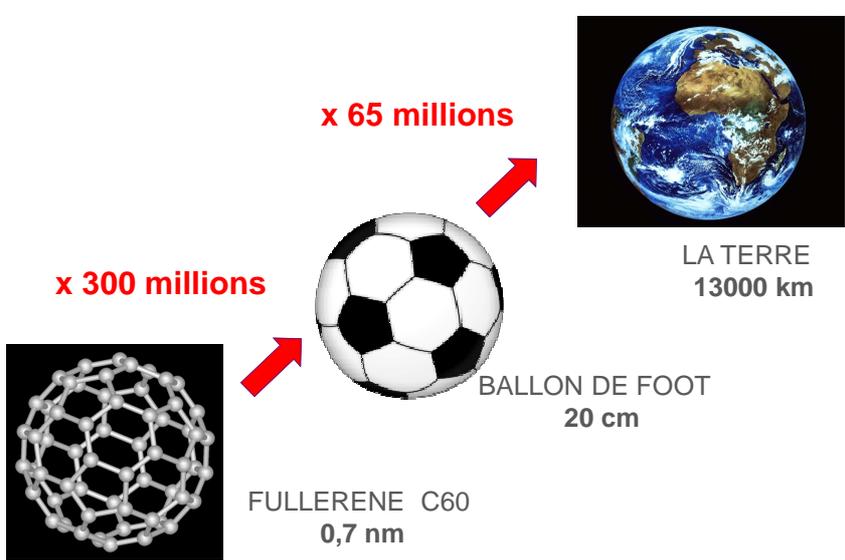
x 300 millions

x 65 millions

FULLERENE C60  
0,7 nm

BALLON DE FOOT  
20 cm

LA TERRE  
13000 km



Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 5

DE LA RECHERCHE À L'INNOVATION

**cea** LES « NANOS » - ÇA SERT À QUOI ?...

NanoSciences  
Programme transversal

LES CONSÉQUENCES  
DES NANOTECHNOLOGIES  
SONT INIMAGINABLES !

ARRÊTE  
ÇA ME GRATTE  
DE PARTOUT

Pessin

Les dossiers de [La Recherche](#), n°26 (2007)

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 6

DE LA RECHERCHE À L'INNOVATION

**cea** **LES PROPRIÉTÉS À L'ECHELLE « NANO »**

NanoSciences  
Programme transversal

**En général à l'échelle nanométrique toutes les propriétés (physique, chimique, optique, mécanique, thermique, etc.) sont « inhabituelles »**

- **Effet de taille**
  - Réactivité accrue des nano-matériaux (*plus d'atomes en surface qu'en volume*)
  - Adhésion mécanique
  - Température de fusion
  - ...
- **Effet d'interaction avec la lumière**
  - Couleur, transparence, ...
- **Effets quantiques:**
  - Effet tunnel
  - Effet de confinement électronique
- ...

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 7

DE LA RECHERCHE À L'INNOVATION

**cea** **EFFETS QUANTIQUES**

NanoSciences  
Programme transversal

**Exemple de nanocristaux semiconducteurs fluorescents (CdSe, ZnSe,...)**

The diagram shows the energy levels (eV) for a bulk crystal and nanocrystals of different sizes. The bulk crystal has a continuous conduction band (CB) and valence band (BV) with a forbidden band (Bande interdite) in between. As the nanocrystal size decreases, the energy levels become discrete and the band gap widens, shifting the fluorescence towards shorter wavelengths (blue shift).

Quand  $\varnothing_{\text{nanocristal}}$  ↓  
 → Espacement des niveaux  
 → Décalage vers le « bleu »

2 nm (P.Reiss, F.Chandezon, J.Bleuse, INAC) 7 nm

Eclairage UV - Fluorescence

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 8

DE LA RECHERCHE À L'INNOVATION

**cea**

**LES « NANOS » : HISTOIRE ANCIENNE ?**

**EFFET GECKO**

NanoSciences  
Programme transversal

### Les Geckos: grimpeurs parfaits !



Les doigts terminés par des millions de poils (sétules ou setae) (14000 par mm<sup>2</sup>) c de kératine et dont le diamètre est de 5 microns.  
Ces poils se scindent eux-mêmes en poils encore plus fins qui se terminent par une structure en spatule (spatulea), de 200 nanomètres de diamètre,

Les propriétés d'adhésion de ces lézards s'expliquent par un mécanisme mettant en jeu des forces d'attraction de type « Van der Waals » (liaison moléculaire très faible)  
Un Gecko adulte de 70 grammes pourrait supporter 133 kg (si toutes les sétules sont en contact avec une surface)

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 9

DE LA RECHERCHE À L'INNOVATION

**cea**

**LES « NANOS » : HISTOIRE ANCIENNE ?**

**EFFET LOTUS**

NanoSciences  
Programme transversal

### Le Lotus « Autonettoyant »

Toujours impeccable et sec!



**Effet LOTUS ou quand la nature a horreur de l'eau !**  
Les gouttes n'adhèrent presque pas aux feuilles et roulent en emportant les poussières présentes sur la surface

Cette capacité de la feuille de lotus à s'auto-nettoyer est le résultat de 2 propriétés :  
son caractère **très hydrophobe** et sa **nanorugosité**

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 10

DE LA RECHERCHE À L'INNOVATION  
cea

**LES « NANOS » : HISTOIRE ANCIENNE ?**  
**EFFET PAPILLON**

NanoSciences  
Programme transversal

Une nanostructuration est à l'origine des propriétés optiques inhabituelles des ailes de papillon

**Greta Oto**  
Transparent, anti-reflet

**Morpho**  
Bleue




Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 11

DE LA RECHERCHE À L'INNOVATION  
cea

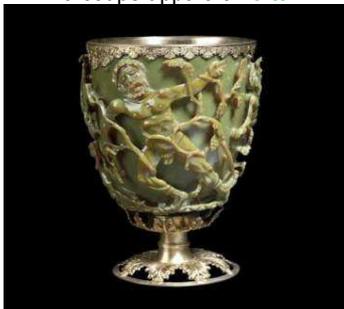
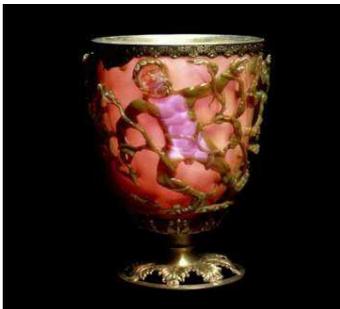
**LES « NANOS » : HISTOIRE ANCIENNE ?**  
**EXEMPLES DE « NANO »-MATÉRIAUX ANCIENS**

NanoSciences  
Programme transversal

**Coupe de Lycurgus** (Rome, IVème siècle après J.C. – British Museum)  
Le plus ancien objet identifié en « rubis doré »  
mélange de verre, d'or, d'argent, avec des traces de cuivre

**Eclairage externe:**  
la coupe apparaît **verte**.

**Eclairage interne:**  
la coupe apparaît **rouge**

© British Museum

L'effet optique (la couleur) est dû aux **nanoparticules** d'or (cuivre ?)  
*Ce phénomène est dû à la résonance des **plasmons de surface***

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 12


**LES « NANOS » : HISTOIRE ANCIENNE ?**  
**EXEMPLES DE « NANO »-MATÉRIAUX ANCIENS**

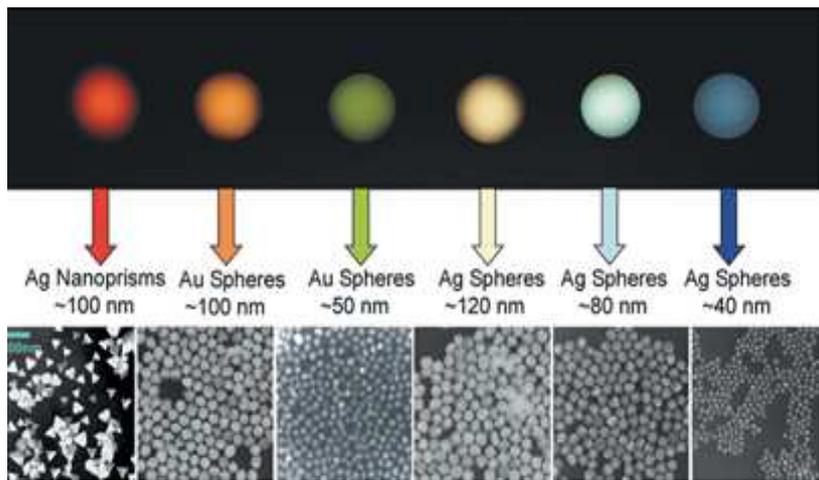

**Vitraux d'église**  
**Cathédrale de Clermont, 13ème**



Le **rouge** et le **bleu** des vitraux d'église peuvent être obtenus avec des **nanoparticules d'or** et d'**argent** dispersés dans le verre

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 13


**EFFETS QUANTIQUES**

Color	Nanoparticle Type	Size (nm)
Red	Ag Nanoprisms	~100 nm
Orange	Au Spheres	~100 nm
Green	Au Spheres	~50 nm
Yellow	Ag Spheres	~120 nm
Light Blue	Ag Spheres	~80 nm
Dark Blue	Ag Spheres	~40 nm

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 14

cea
NanoSciences  
Programme transversal

## LES « NANOS » : HISTOIRE ANCIENNE ? EXEMPLES DE « NANO »-MATÉRIAUX ANCIENS

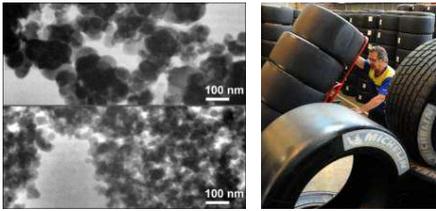
### Matériaux composites « carbonés »

**Acier (Epée) Damassé**  
1<sup>er</sup> – 18<sup>ème</sup> siècle



- Des chercheurs allemands ont découvert des nanotubes de carbone dans un sabre du 17<sup>ème</sup> - publiée dans Nature (2006)
- Cet acier, construit comme un matériau composite, combinait la souplesse des aciers faibles en carbone et la dureté des aciers plus riches en carbone, qui leur permettait de conserver leur tranchant.

**Noir de carbone**



- Une forme amorphe et élémentaire du carbone
- sphères, ou agrégats de dimensions de 10 à 1 000 nm
- Utilisé comme « charge » et pigment dans les pneus (c'est 70 % de son usage)

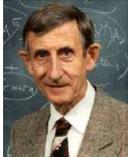
Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon
| PAGE 15

cea
NanoSciences  
Programme transversal

## POURQUOI ON PARLE DES NANOS MAINTENANT ?

La vague « nano » est arrivée dans les années 90

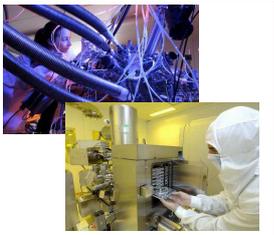
Simple évolution ou rupture majeure ?



**Freeman Dyson** physicien théoricien & mathématicien  
*(Électrodynamique quantique, rôle essentiel de l'échec dans l'innovation,...)*  
«**Les nouvelles directions en sciences sont lancées par des nouveaux outils plus que par des nouveaux concepts théoriques**»

Fin du 20<sup>ème</sup> siècle → Nouvelle **BOITE A OUTILS « NANO »**

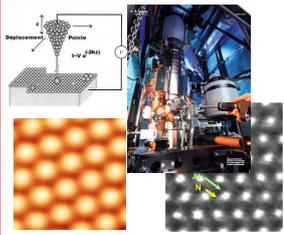
**Fabriquer**



**Simuler & Comprendre & Concevoir**



**Observer & Manipuler**



Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon
| PAGE 16

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE **cea** **FABRICATION DE NANO-OBJETS** NanoSciences Programme transversal

**Années 80-90**  
 Développement des outils performants et accessibles pour la fabrication de nanomatériaux, de nanostructures, et de nanodispositifs



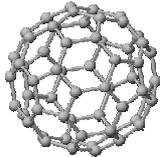
Epitaxie par jets moléculaires  
 Pour la fabrication de nanomatériaux

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 17

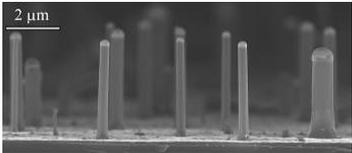
DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE **cea** **QUELQUES BRIQUES DE BASE « NANO »** NanoSciences Programme transversal



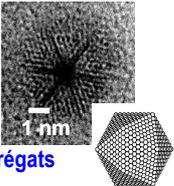
**Nanocristaux colloïdaux**



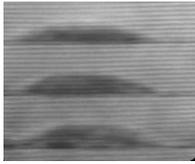
**C60**  
**Buckminsterfullerène**



**Nanofils**



**Agrégats**



**Quantum dots**  
**Nanoparticules en matrice**

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 18

DE LA RECHERCHE À L'INNOVATION

**cea** OBSERVATION & MANIPULATION « NANO »

NanoSciences  
Programme transversal



Fin du 20ème siècle:  
Deux outils majeurs ont permis d'observer les atomes

- Microscopes à « effet tunnel » et à « force atomique »
- Microscope électronique à haute résolution



Early microscopes

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 19

DE LA RECHERCHE À L'INNOVATION

**cea** OBSERVATION À L'ECHELLE ATOMIQUE

NanoSciences  
Programme transversal

Invention du microscope électronique en 1931

**Max Knoll** et **Ernst Ruska** (E. Ruska **prix Nobel de physique en 1986**)




1937  
Le premier microscope électronique plus performant qu'un microscope optique (conservé à Munich)

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 20

cea **INFORMATION CHIMIQUE À L'ECHELLE ATOMIQUE** NanoSciences Programme transversal

**LES PAPARAZZIS DE L'ATOME**

**Résolution ultime**  
**0,05 nanomètre**

MINATEC®

Agence des Nanomatériaux de la PFC au CEA/Grenoble

**La plateforme de nanocaractérisation**

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 21

cea **INFORMATION CHIMIQUE À L'ECHELLE ATOMIQUE** NanoSciences Programme transversal

**Image « brute » (sans traitement) du composé AlN (nitrure d'aluminium) à MINATEC à Grenoble**

Résolution ultime 0,05 nanomètre

Détection des atomes N (azote), très difficile à visualiser avant ce nouveau microscope

MINATEC®

Al  
N

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 22

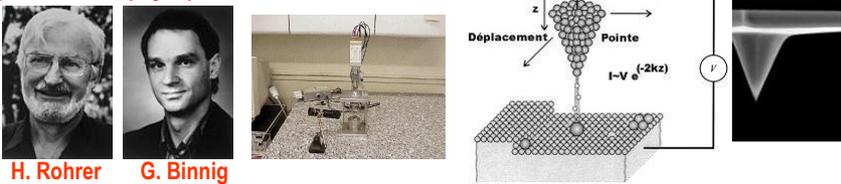
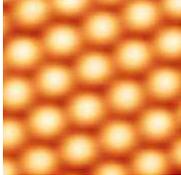
cea OBSERVATION & MANIPULATION « NANO » NanoSciences Programme transversal

## Invention du microscope à effet tunnel en 1981

Permettant de voir (1981) puis de manipuler (1988) les atomes avec un appareillage de laboratoire accessible et assez « simple »

**prix Nobel de physique 1986**

**H. Rohrer** **G. Binnig**


Atomes de silicium à la surface d'un cristal de carbure de silicium

Logo IBM avec 35 atomes de xénon

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 23

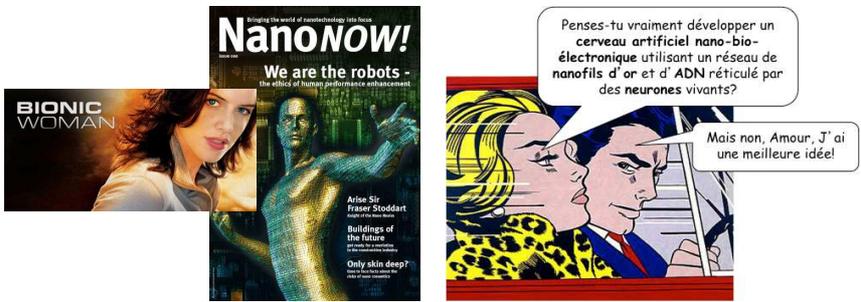
cea « BUZZ » NANO DEPUIS LES ANNÉES 90 NanoSciences Programme transversal

## Grande confusion entre:

Les nanosciences / Les nanotechnologies /  
Les nanomatériaux & les risques associés

\*\*\*\*\*

## Réalité / Science fiction / fantasmes



Penses-tu vraiment développer un cerveau artificiel nano-bio-électronique utilisant un réseau de nanofils d'or et d'ADN réticulé par des neurones vivants?

Mais non, Amour, J'ai une meilleure idée!

→ **Débat dominé exclusivement par les risques des nanomatériaux**

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 24

DE LA RECHERCHE À L'INNOVATION

**cea**

**APPLICATIONS DES NANOS DANS TOUS LES SECTEURS D'ACTIVITÉ**

NanoSciences  
Programme transversal

- **Les nanotechnologies sont « multi-usages »** (« *enabling technologies* ») :  
Elles entrent en jeu dans la fabrication de produits très variés, aux fonctions diverses.
- Il y a très peu de produits nanométriques à proprement parler, mais plutôt des **nanotechnologies qui entrent en jeu dans la fabrication de produits** « classiques » (cosmétique, textile...)
- Les applications « révolutionnaires » sont encore au stade de la recherche
- On trouve des applications potentielles, par exemple, dans les domaines-clés suivants :

<b>Environnement et Energie</b>	Dépollution, production et stockage d'énergie, efficacité énergétique, traitement des surfaces et isolation
<b>Communication</b>	Ordinateurs, smartphones, écrans, vidéosurveillance, interactivité, objets communicants
<b>Santé</b>	Diagnostic, diffusion ciblée de médicaments, prothèses biocompatibles, imagerie
<b>Habitat et vie quotidienne</b>	Eclairage, intelligence ambiante, cosmétique, habillement, transport

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 25

DE LA RECHERCHE À L'INNOVATION

**cea**

**APPLICATIONS DES NANOS AUJOURD'HUI LA NANOELECTRONIQUE**

NanoSciences  
Programme transversal

La microélectronique est dans les « nanos » depuis les années 90 – 2000  
→ La « nano » - électronique

- Technologie **14nm** 2016
- Technologie **10nm** 2017-2018

**DRIVING PERFORMANCE & POWER EFFICIENCY**  
**10X MORE EFFICIENT VS. 1ST GEN**

Relative Performance/Watt

Generation	Processor Model	Power Consumption (W)	Relative Performance/Watt
1st Gen	1st Gen Intel® Core™ Processor	18W	1X
4th Gen	4th Gen Intel® Core™ Processor	11.5W	3.5X
6th Gen	6th Gen Intel® Core™ Processor	4.5W	8X
7th Gen	7th Gen Intel® Core™ Processor	4.5W	10X

Performance ↑  
Consommation ↓

intel  
**CORE™ i7**  
7th Gen

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 26

**cea** LA NANOELECTRONIQUE **NanoSciences**  
Programme transversal

**Prévision faite en 2010** **Technologies de plus en plus complexes!...**

### We Expect Technology Innovation to Continue

65nm 2005	45nm 2007	32nm 2009	22nm 2011*	<b>14nm 2013*</b>	10nm 2015*	7nm 2017*	Beyond 2019+
MANUFACTURING			DEVELOPMENT		RESEARCH		

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 27

**cea** APPLICATIONS DES NANOS AUJOURD'HUI **NanoSciences**  
Programme transversal  
**LA NANOELECTRONIQUE**

### La fin de la « LOI DE MOORE »

1965: « La complexité des circuits intégrés double tous les 18 mois à coût constant »

Croissance exponentielle du nombre de transistors des circuits intégrés  
Lien entre intégration, coût, performances et fiabilité

#### Silicon Technology Reaches Nanoscale

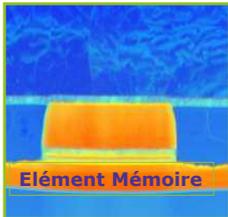
**Gordon E. Moore**  
cofondateur d'INTEL

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 28

DE LA RECHERCHE À L'INNOVATION **cea** **APPLICATIONS POTENTIELLES DES NANOS**  
**LA SPINTRONIQUE (NANOMAGNÉTISME)** NanoSciences  
Programme transversal

**SPINTRONIQUE**  
Utilisation du spin (moment magnétique interne) des électrons

**Mémoires magnétiques**  
(MRAM: Magnetic Random Access Memory)

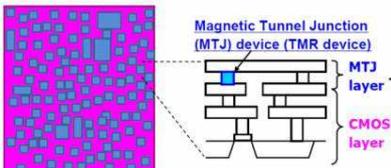


**Élément Mémoire**

- Mémoires non volatiles
- Rapide
- Faible consommation

Les informations sont sauvegardées quand on éteint l'ordinateur (pas d'attente à l'allumage)

**Logique non volatile**  
(MAGNETIC) LOGIC-IN-MEMORY



Magnetic Tunnel Junction (MTJ) device (TMR device)

MTJ layer

CMOS layer

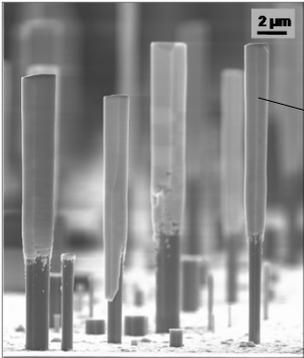
- Fusion du processor et de la mémoire non volatile
- Nouvelle architecture de calcul

Réduction considérable de la consommation électrique, moins de chauffage, plus de performance

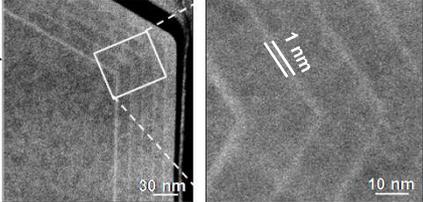
Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 29

DE LA RECHERCHE À L'INNOVATION **cea** **APPLICATIONS POTENTIELLES DES NANOS**  
**LA NANOPHOTONIQUE** NanoSciences  
Programme transversal

**Diodes électroluminescentes (LED) "à bas coût et haut rendement"**  
avec des nanofils de semiconducteurs nitrures



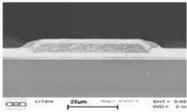
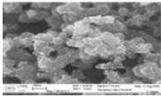
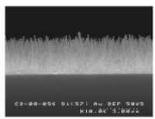
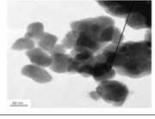
**1 nm InGaN/10 nm GaN**



Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 30

**cea** DE LA RECHERCHE À L'INNOVATION **APPLICATIONS POTENTIELLES DES NANOS DANS LE DOMAINE DE L'ÉNERGIE** NanoSciences Programme transversal

### Nanomatériaux pour l'énergie

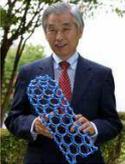
	<b>Thermoélectricité</b> : super réseaux pour séparer les effets conductivité électrique et conductivité thermique - Application : vitre climatique	
	<b>Piles à combustible</b> : catalyseurs à performance identique avec une moindre quantité de platine - Application : réduction d'un facteur 10 de la quantité de platine nécessaire	
	<b>Solaire photovoltaïque</b> : nanofils de silicium pour augmenter le rendement de conversion - Application : réalisation de cellules solaire avec des rendements supérieurs à 30 %	
	<b>Stockage de l'énergie</b> : augmenter la réactivité électrochimique - Applications à des batteries de forte densité d'énergie > 300 Wh/kg	

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 31

**cea** DE LA RECHERCHE À L'INNOVATION **APPLICATIONS POTENTIELLES DES NANOS LES NANOMATERIAUX** NanoSciences Programme transversal

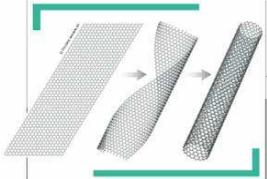
### Les Nanotubes de carbone : tubes de carbone de diamètre entre 1 et 10 nanomètres

découvreur des nanotubes de carbone en 1991: premières publications sur les nanotubes

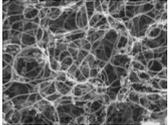
 Sumio Iijima

Les nanotubes existaient déjà dans la suie des foyers depuis la découverte du feu (500 000 ans)

- 200 fois plus résistants que l'acier
- pour un poids 6 fois moindre
- Conductivités électrique & thermique très élevées (> Cu et diamant)



Une feuille de graphène (un plan de graphite) enroulé sur lui-même

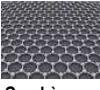
 entrelacs de monotubes

 grande élasticité & flexibilité

 Nanotube mono paroi

 Nanotube multi parois

 **Fullerène** : découverts en 1985 par **H.Kroto**, **R.Curl** et **R.Smalley** **prix Nobel de chimie en 1996**

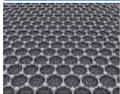
 **Graphène** : découverts en 2004 par **A.Geim** **prix Nobel de physique en 2010** avec **K. Novoselov**

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 32

**cea** **APPLICATIONS POTENTIELLES DES NANOS LES NANOMATERIAUX** **NanoSciences** Programme transversal

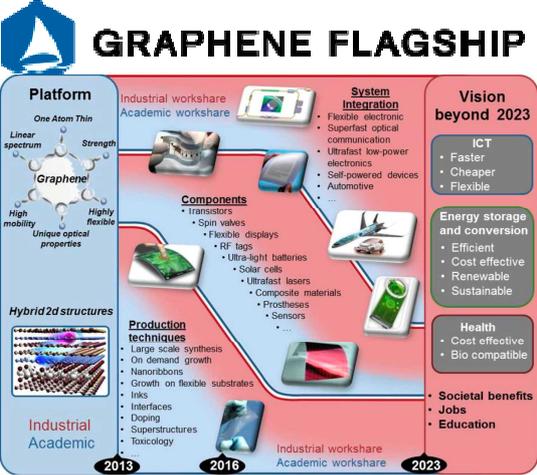
**LE GRAPHENE : une monocouche de carbone**

découvert en 2004 par A.Geim **prix Nobel de physique en 2010** avec K. Novoselov



**GRAPHENE FLAGSHIP**

- Projet Européen FET-Flagship
- 150 partenaires
- 1 Milliard € sur 10 ans
- Applications potentielles dans tous les domaines



Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 33

**cea** **APPLICATIONS POTENTIELLES DES NANOMATERIAUX COMPOSITES « CARBONE »** **NanoSciences** Programme transversal

**Mélange entre réalité et science-fiction**

**Ascenseur spatial !...**



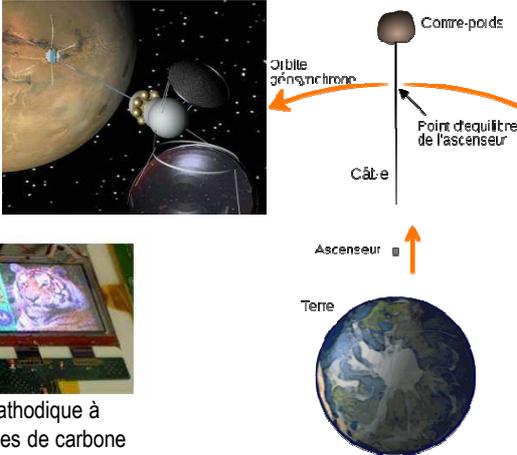
Cadre de Vélo « carbone »



Raquette à fibres « carbone »



Ecran cathodique à nanotubes de carbone



Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 34

cea **APPLICATIONS POTENTIELLES DES NANOS  
DANS LE DOMAINE DE LA SANTÉ** NanoSciences  
Programme transversal

Beaucoup d'espoir mais aussi beaucoup fantasmés, .....

Bringing the world of nanotechnology into focus  
**Nanover**  
Issue one

Penses-tu vraiment développer un **cerveau artificiel nano-bio-électronique** utilisant un réseau de **nanofils d'or** et d'**ADN réticulé** par des **neurones vivants**?

Mais non, Amour, J'ai une meilleure idée!

rected skin with  
ture changeability  
Turbocharged suspension  
flexibility  
primo  
posthuman

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 35

cea **APPLICATIONS POTENTIELLES DES NANOS  
DANS LE DOMAINE DE LA SANTÉ** NanoSciences  
Programme transversal

**Diagnostic**

■ Diagnostic « in vitro »:  
**Puces à ADN, Lab-on-chips, nanobiocapteurs:**  
Connaissance du génome et de son expression,  
mutations virales, identification des prédispositions,  
analyse de cellule unique, adaptation des traitements

⇒ **Médecine personnalisée**

■ Diagnostic « in vivo »  
**Imagerie médicale:**  
les nanoparticules magnétiques et fluorescentes

« Lab-on-chip »

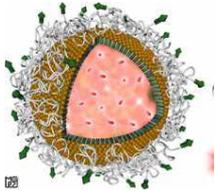
Les cellules cancéreuses de Prostate marquées  
par des nanoparticules fluorescentes (en rouge).

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 36

DE LA RECHERCHE À L'INNOVATION **cea** **APPLICATIONS POTENTIELLES DES NANOS DANS LE DOMAINE DE LA SANTÉ** NanoSciences Programme transversal

**Thérapie**

- **Distribution ciblée de médicaments:** Nanovecteurs (dont particuliers) ⇒ **Traitement du cancer**
- **Traitements de maladie génétiques**
- Chirurgie minimalement invasive par imagerie et nanosystèmes intégrés



**Médecine régénérative**

- **Implants bio-compatibles, nanobiomatériaux, micro-électrodes**
  - ⇒ **Rétine artificielle**
  - ⇒ **Maladie neurodégénérative**



**Technologies convergentes pour les applications de soins**

- **Capteurs à domicile, surveillance**

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 37

DE LA RECHERCHE À L'INNOVATION **cea** **APPLICATIONS DES NANOS: RÉALITÉ, PROMESSES, QUESTIONS** NanoSciences Programme transversal

**Les nanomatériaux sont déjà utilisés dans plus de 1300 produits:**  
(Le Monde 23 févr. 2016) (rapports ANSES, OCDE,...)

- les produits cosmétiques et de soins corporels (crèmes solaires, dentifrices,...)
- les aliments
- les textiles antibactériens, les articles de sport, les matériaux de construction, les peintures,
- Les pneus, les carburants, les appareils électroniques, les panneaux solaires...

- **Questions sur l'utilité ?** → analyse bénéfice / risque
- **Etudes toxicologiques et étude des risques** (CEA, CNRS, INERIS, INRS, ANSES,...)
- **Réglementation** (2013: registre des nanomatériaux en France - rapports Min. de l'environnement)
- **Quelques applications réelles** au niveau industriel (nanoélectronique, nanomatériaux)
- **Beaucoup de promesses réelles** dans tous les domaines (énergie, santé, TIC)
- **Mais** encore dans le domaine de la recherche et dans quelques « startups »

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 38

DE LA RECHERCHE À L'INNOVATION  
cea **CONCLUSIONS** NanoSciences Programme transversal

→ « Nano » : un terme galvaudé au 21<sup>ème</sup> siècle  
On retrouve maintenant la dimension « nano » dans toutes les innovations et dans tous les secteurs d'activité: *Nanomatériaux & Nanostructures, Nanoélectronique, Nanomagnétisme, Nanooptique, Nanochimie, Nanomécanique, Nanobiotechnologies, Nanomédecine, Nanocapteurs, Nanoanalyse, etc.*

→ « Nano » : des applications réelles existent déjà  
La nanoélectronique est partout  
les nanomatériaux → questions sur l'utilité (bénéfice) / les risques

→ « Nano » : un fort potentiel d'innovation  
Le futur: beaucoup d'application potentielles, dans tous les domaines, mais encore dans les laboratoires de recherche et dans quelques start-up

Engin MOLVA, Réunion débat SFEN RAL: les nanotechnologies, le 22 septembre 2016, Lyon | PAGE 39

DE LA RECHERCHE À L'INNOVATION  
cea **MERCI POUR VOTRE ATTENTION !...** NanoSciences Programme transversal

*nano SCIENCES*  
FONDATION

| PAGE 40