



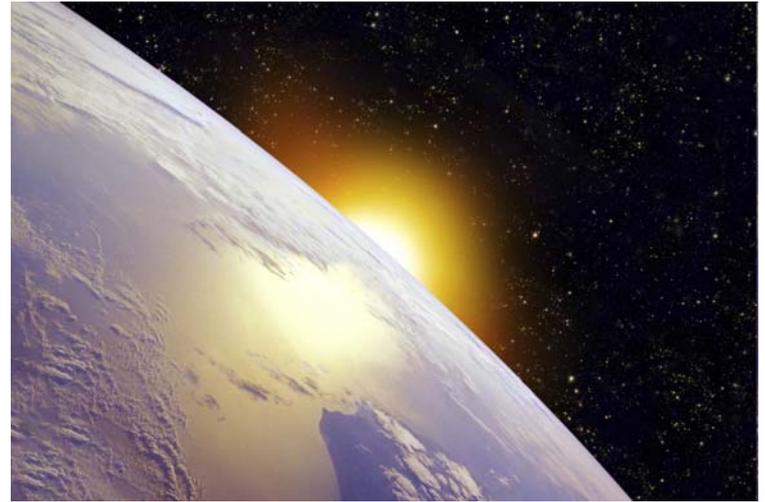
Les nanotechnologies et l'avenir de l'énergie

Alexandre ROJEY



Les nanotechnologies et l'avenir de l'énergie

- **Un nouveau paradigme?**

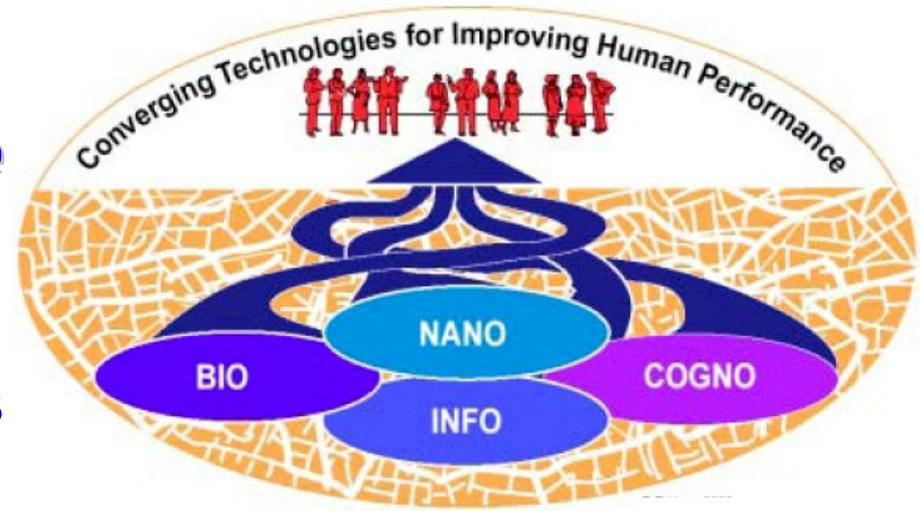


- **Les espoirs de la recherche de base**

- **Les limitations actuelles, économiques et pratiques**

La convergence NBIC et l'énergie

- Rôle des nanotechnologies
- Prédominance de l'information:
it from bit (Wheeler)
- Progrès scientifique illimité
La Singularité (Kurzweil)



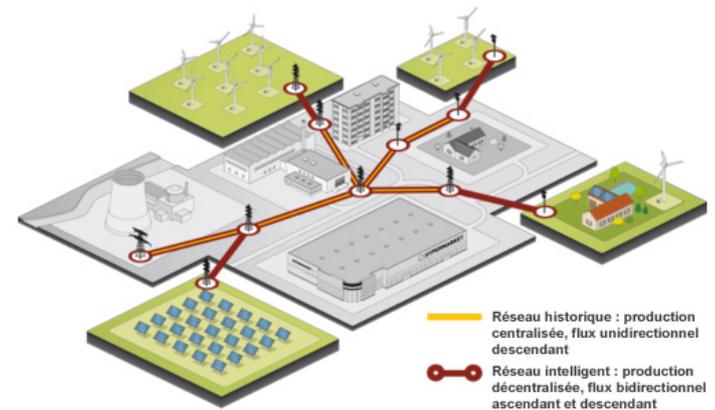
Roco et Bainbridge,
National Science Foundation, 2002



L'Internet de l'énergie

Version J. Rifkin

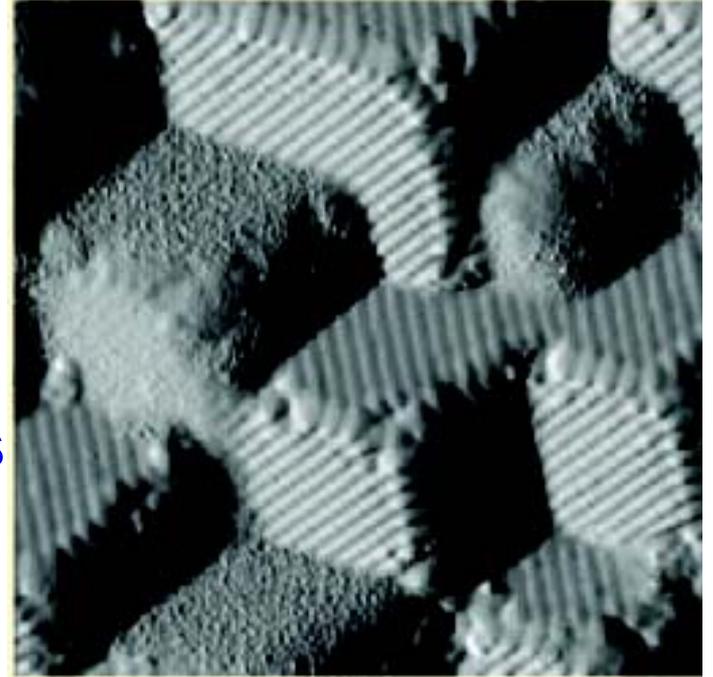
- Production individuelle d'énergie
= microordinateur
- Stockage d'énergie (hydrogène)
= mémoire numérique
- Transfert d'énergie (réseau hydrogène)
= Internet





Les espoirs : recherches de base

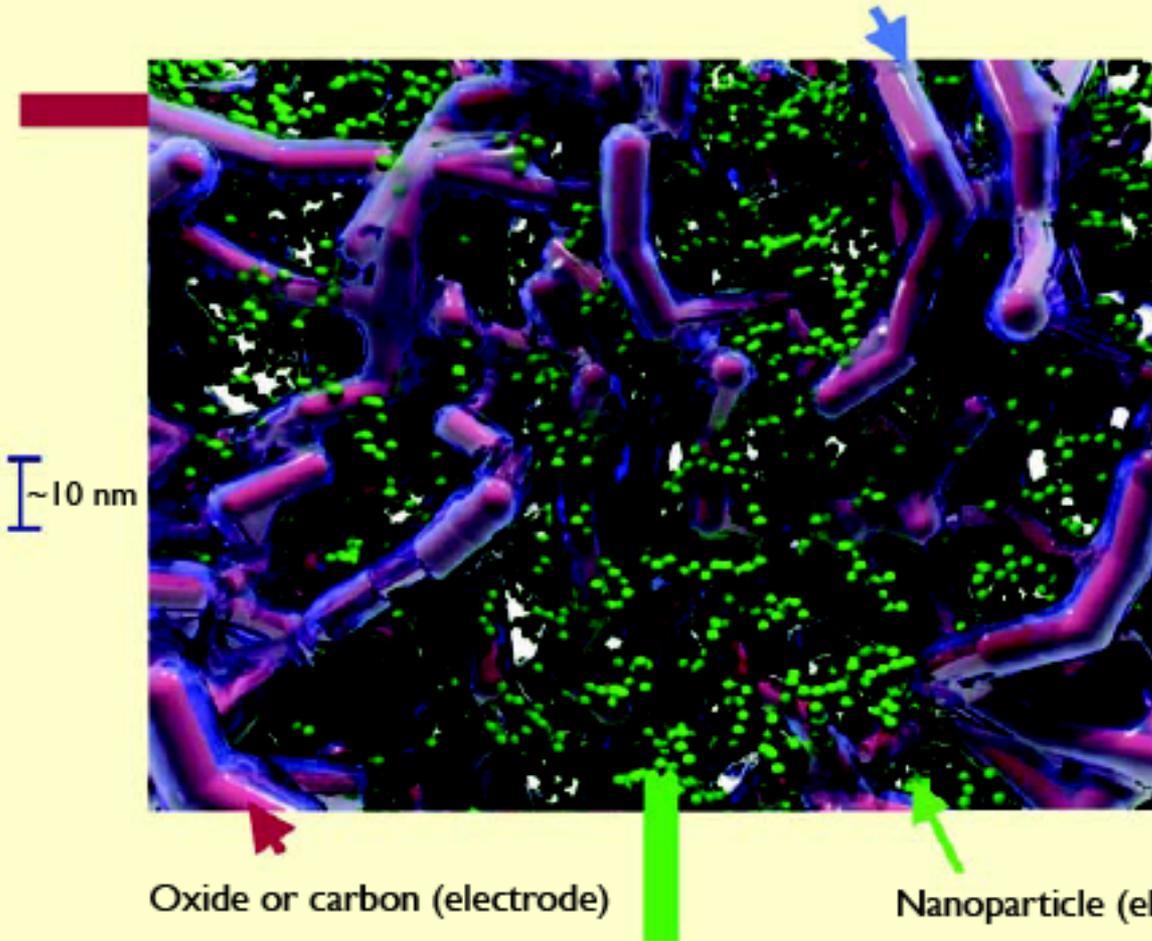
- **Photopiles**
- **Batteries / supercondensateurs**
- **Piles à combustibles**
- **Systemes thermoélectriques**
- **Photolyse de l'eau / Photosynthèse artificielle**



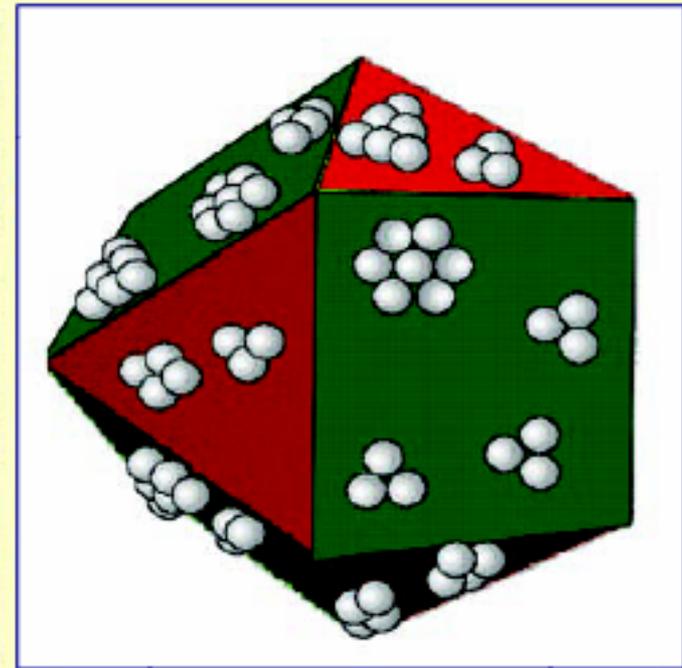


Nanomaterials for electrodes (fuel cells, batteries)

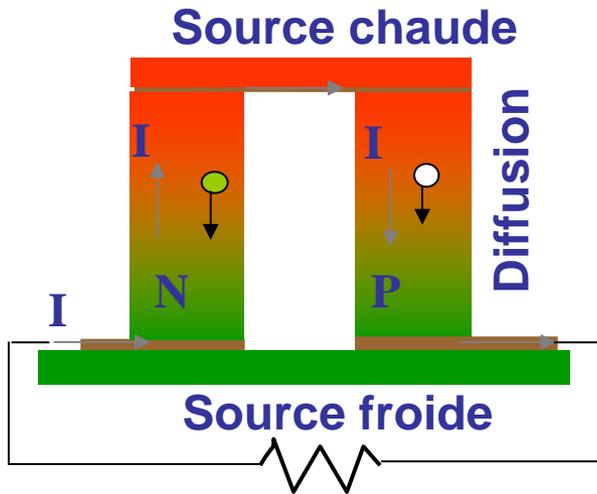
Polymer (separator/electrolyte)



CO tolerant fuel-cell catalyst



Systemes thermoélectriques



Génération d'électricité

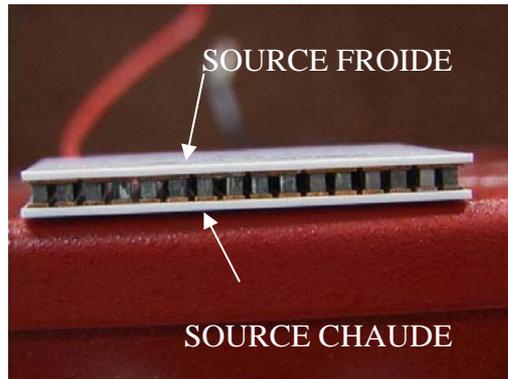
Facteur de mérite:

Conductivité électrique Coefficient de Seebeck

$$ZT = \frac{\sigma S^2 T}{k_e + k_p}$$

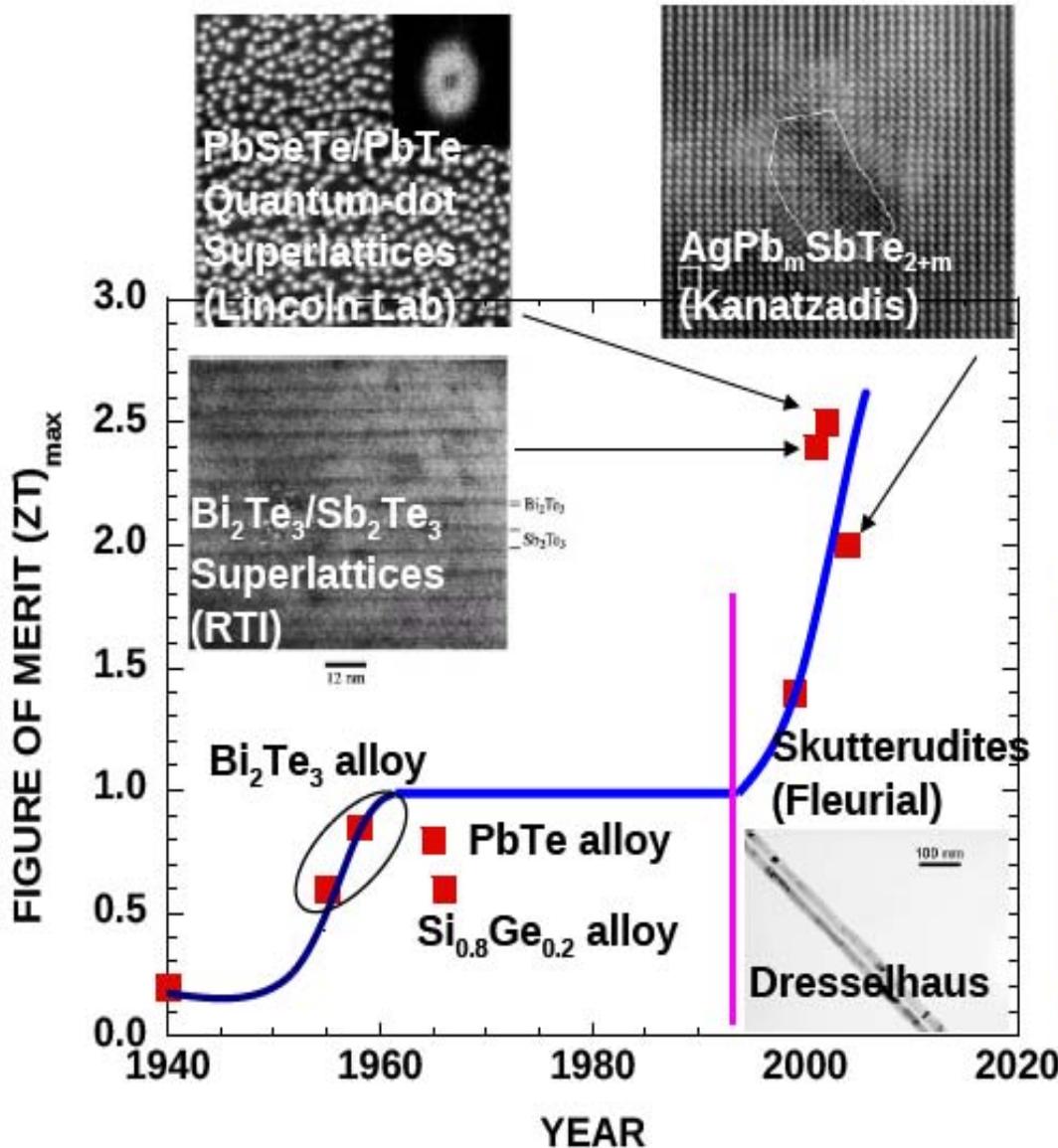
Conductivité électrique

Conductivité thermique



- Réfrigération (Peltier)
- Génération d'électricité (Seebeck):
 $T(\text{chaud})=500^\circ\text{C}$, $T(\text{froid})=50^\circ\text{C}$
 $ZT=1$, Efficacité = 8 %
 $ZT=3$, Efficacité = 17 %
 $ZT=5$, Efficacité = 22 %
- Réduire la conduction des phonons en améliorant le transport des électrons

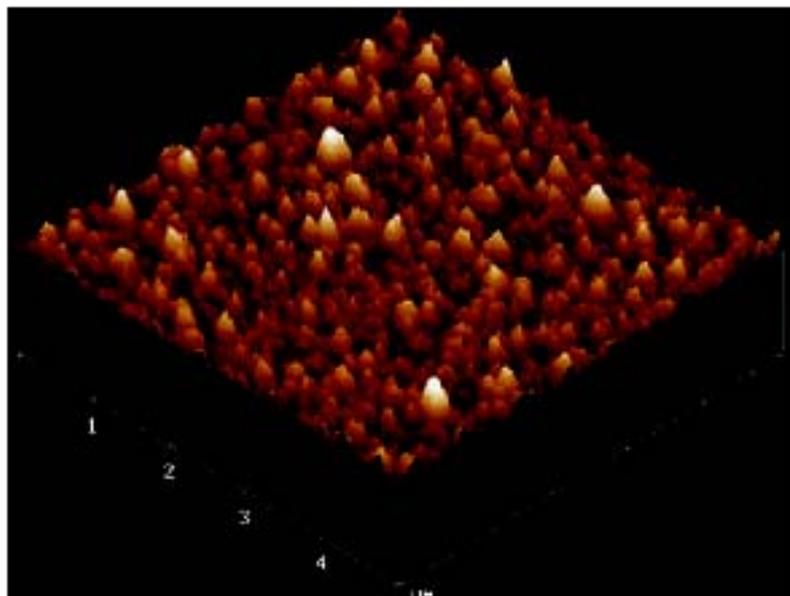
Nanomatériaux pour systèmes thermoélectriques



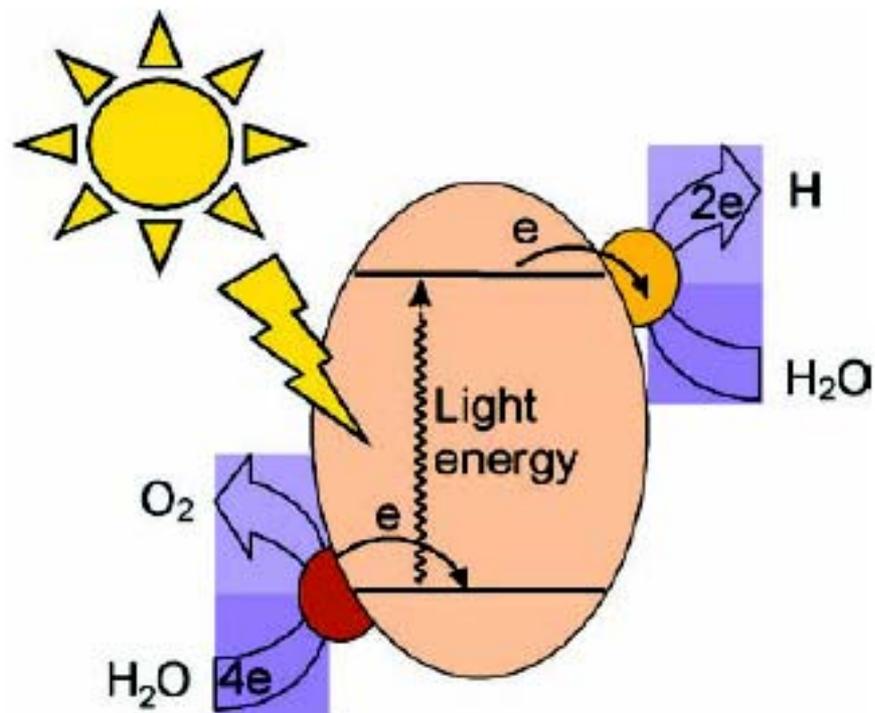
PbTe/PbSeTe	Nano	Bulk
$S^2\sigma$ ($\mu\text{W}/\text{cmK}^2$)	32	28
k (W/mK)	0.6	2.5
ZT (T=300K)	1.6	0.3
	Harman et al., Science (2003)	

Bi ₂ Te ₃ /Sb ₂ Te ₃	Nano	Bulk
$S^2\sigma$ ($\mu\text{W}/\text{cmK}^2$)	40	50.9
k (W/mK)	0.6	1.45
ZT (T=300K)	2.4	1.0
	Venkatasubramanian et al., Nature, 2002.	

Photolyse de l'eau

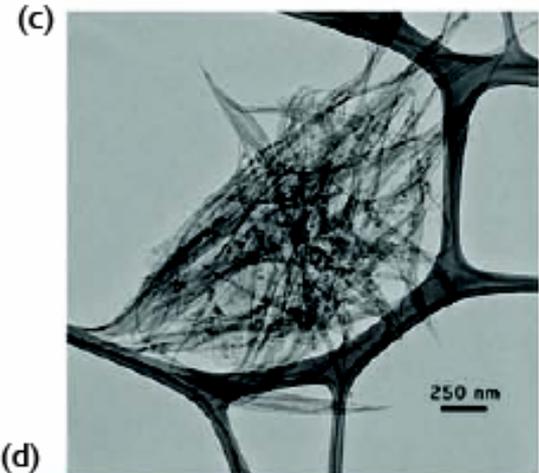


Left: Atomic force microscopy image of titanium dioxide photocatalysts for water splitting. Right: Schematic of the catalytic water splitting process (courtesy of T. Vogt, E. Fujita and J. Muckerman, Brookhaven National Laboratory).

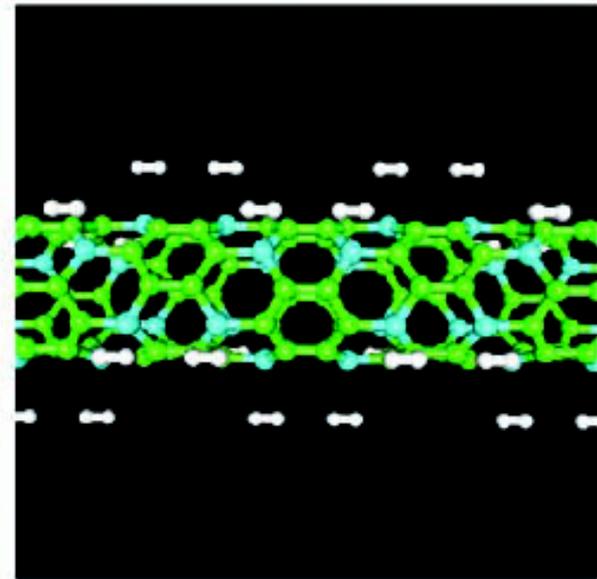


Stockage de l'hydrogène en phase solide

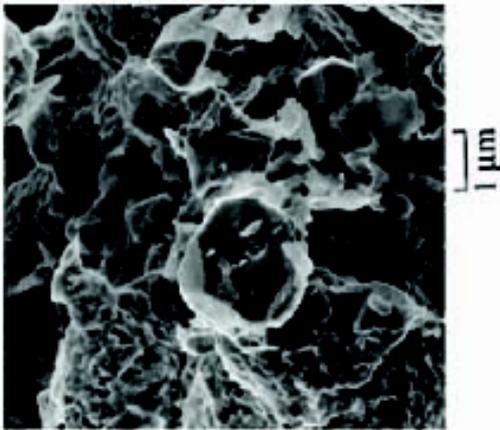
(a) Electron microscope image of Ti doped NaAlH_4 hydrogen storage material (courtesy of R. Stumpf, Sandia National Labs). (b) Crystal structure of the NaAlH_4 hydrogen storage material. Al atoms are red, Na atoms are light blue and H atoms are blue (<http://www.sc.doe.gov/bes/reports/abstracts.html#NHE>). (c) Carbon nanotube storage material with nanoscale Ti clusters for enhanced performance (courtesy of M. J. Heben, A. C. Dillon, K. E. H. Gilbert, P.A. Parilla, T. Gennett, J. L. Alleman, G. L. Hornyak, and K. M. Jones, National Renewable Energy Laboratory). (d) Calculation of H_2 storage on a boron doped carbon nanotube (courtesy of Y. H. Kim, Y. Zhao, M. J. Heben, and S. B. Zhang, National Renewable Energy Laboratory).



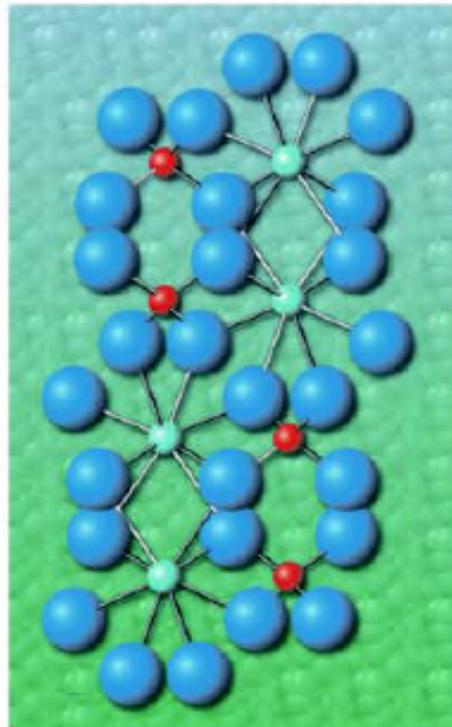
(d)



(a)



(b)





Nanotubes pour transport de l'électricité

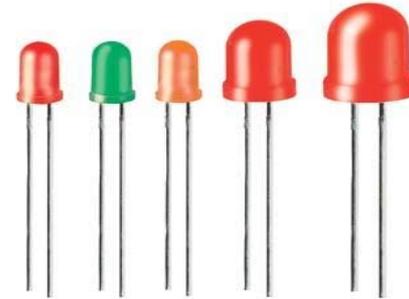




Bilan actuel



- **Technologies numériques pour gestion de l'énergie en temps réel, mécatronique, électronique embarquée**
- **Diodes électroluminescentes**
- **Progrès, mais non ruptures:**



Batteries, piles à combustible, photopiles

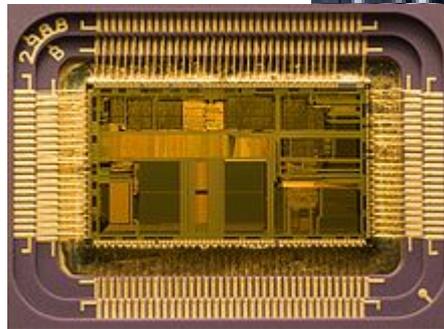


Les limitations

- Les systèmes énergétiques ne se situent pas à l'échelle des nanotechnologies
- Les progrès, notamment économiques, sont relativement lents
- Le stockage d'énergie demeure un verrou majeur



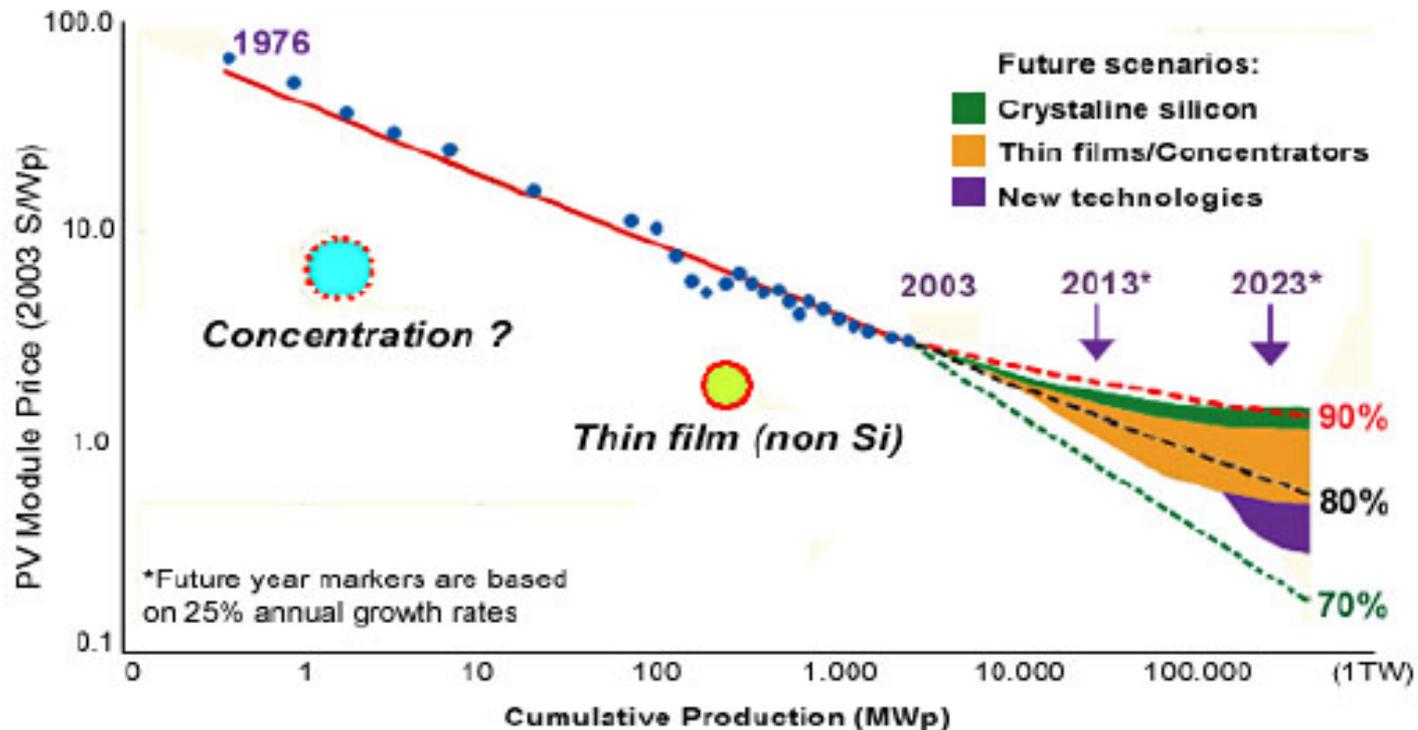
Les systèmes énergétiques ne se situent pas à l'échelle des nanotechnologies



**Puce d'un microprocesseur dans son boîtier
(taille réelle : 12 × 6,75 mm)**

**Panneaux photovoltaïques
Echelle X 1000 à 10 000
Surface X 10⁶ à 10⁸**

Solaire photovoltaïque: l'évolution ne suit pas la loi de Moore



De réelles possibilités de baisse des coûts

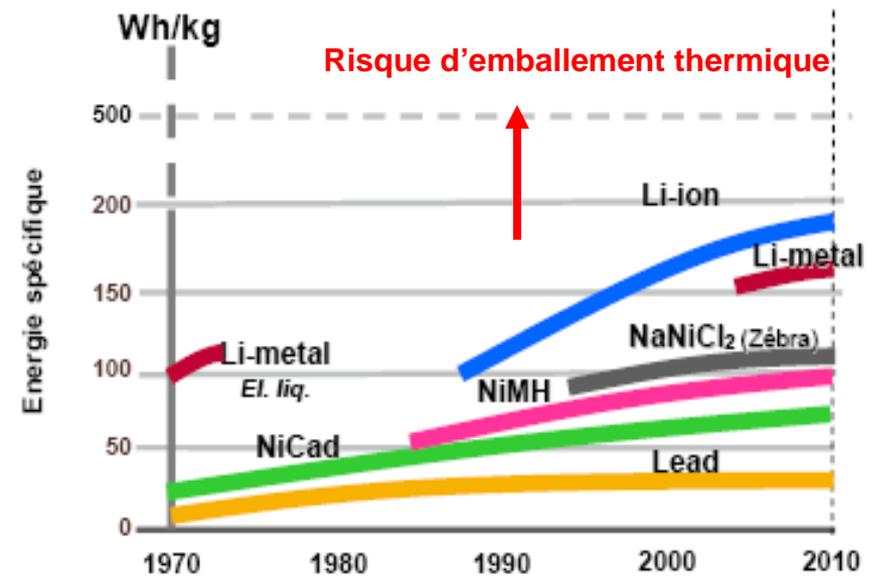
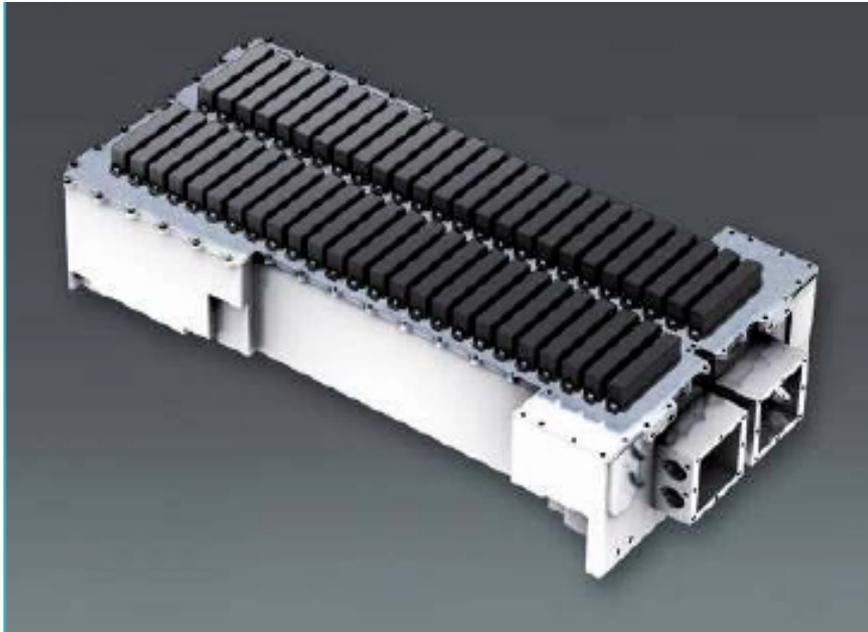
- Le solaire photovoltaïque est une technologie encore émergente, dont les coûts actuels (près de 500 €/MWh en France) devraient baisser jusqu'aux environs de 100 €/MWh en 2020-2030, avec les technologies en développement (silicium cristallin, couches minces).
- Les nouvelles technologies (génération 3) pourraient prolonger cette baisse... et permettre d'atteindre à terme des niveaux proches de 50 €/MWh ? Ces coûts n'incluent pas l'éventuel stockage, ni l'insertion dans le système électrique.
- Les pays plus ensoleillés que la France bénéficient de coûts encore plus bas



Les progrès des batteries restent limités



Batterie lithium ion Boeing 787 « Dreamliner »





Conclusion:

- **Les nanotechnologies ouvrent des perspectives considérables dans le domaine de l'énergie.**
- **Les progrès effectifs restent cependant relativement lents**
- **Des limitations physiques doivent être prises en compte**
- **Il serait illusoire d'imaginer un « changement de paradigme » à court terme**