

JOURNÉES SCIENTIFIQUES DU CNFRS - URSI

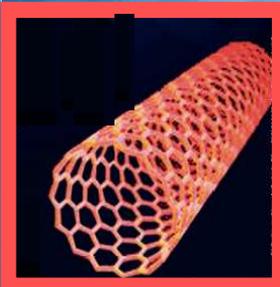
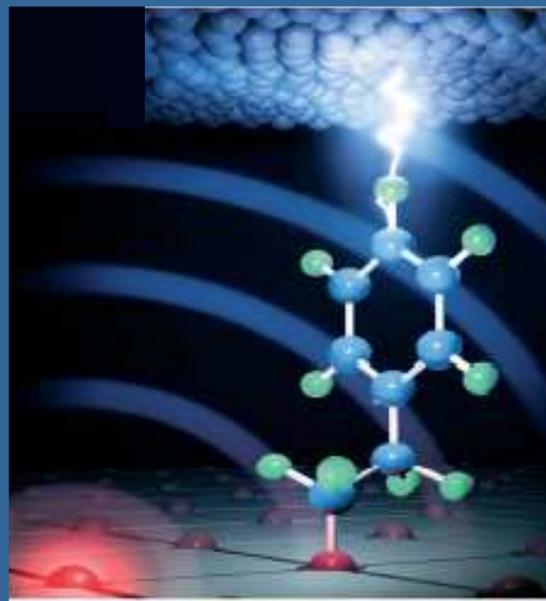
PARIS 20-21 mars 2007

CNAM

292, rue Saint-Martin



NANOSCIENCES ET RADIOÉLECTRICITÉ



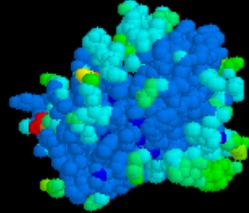
Jean-Pascal Duchemin

de la micro ...

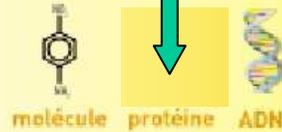
à la nanoélectronique

THALES

VERS LE TRES PETIT



Monde du vivant



molécule protéine ADN

0,1 nm 1 nm 10 nm 100 nm

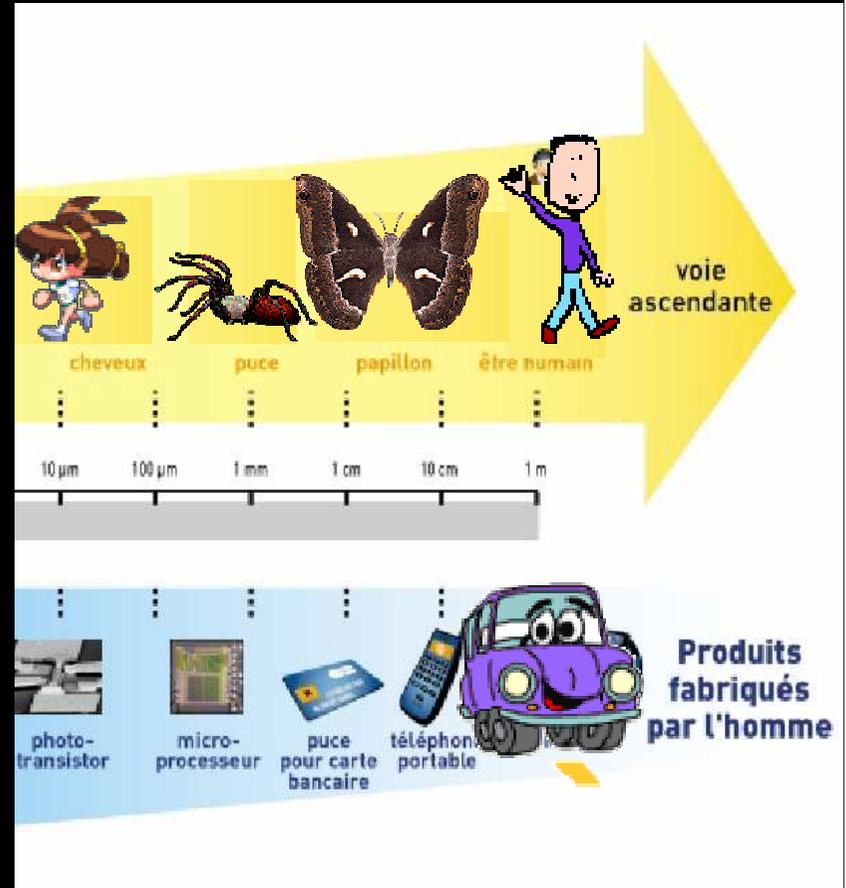
Nanomonde

voie descendante



atome agrégat d'atomes laser à boîte quantique nano-transistor

VERS LE PLUS GRAND



M
I
C
R
O
E
L
E
C
T
R
O
N
I
Q
U
E

Nanomonde

SOMMAIRE



La micro-électronique suit la loi de Moore



Quand la micro devient nano par conventions



**La nano, plus que des conventions, des effets
mésoscopiques**



Nanotechnologies et énergie



Exemples de capteurs - Sensors

QUESTIONS

- ~ **Qu'est que la micro et la nano- électronique ?**
- ~ **Quand passe t-on
de la micro-électronique
à la nano-électronique ?**
- ~ **La nano-électronique n'est-elle
qu'affaire de dimensions?**

QUESTIONS

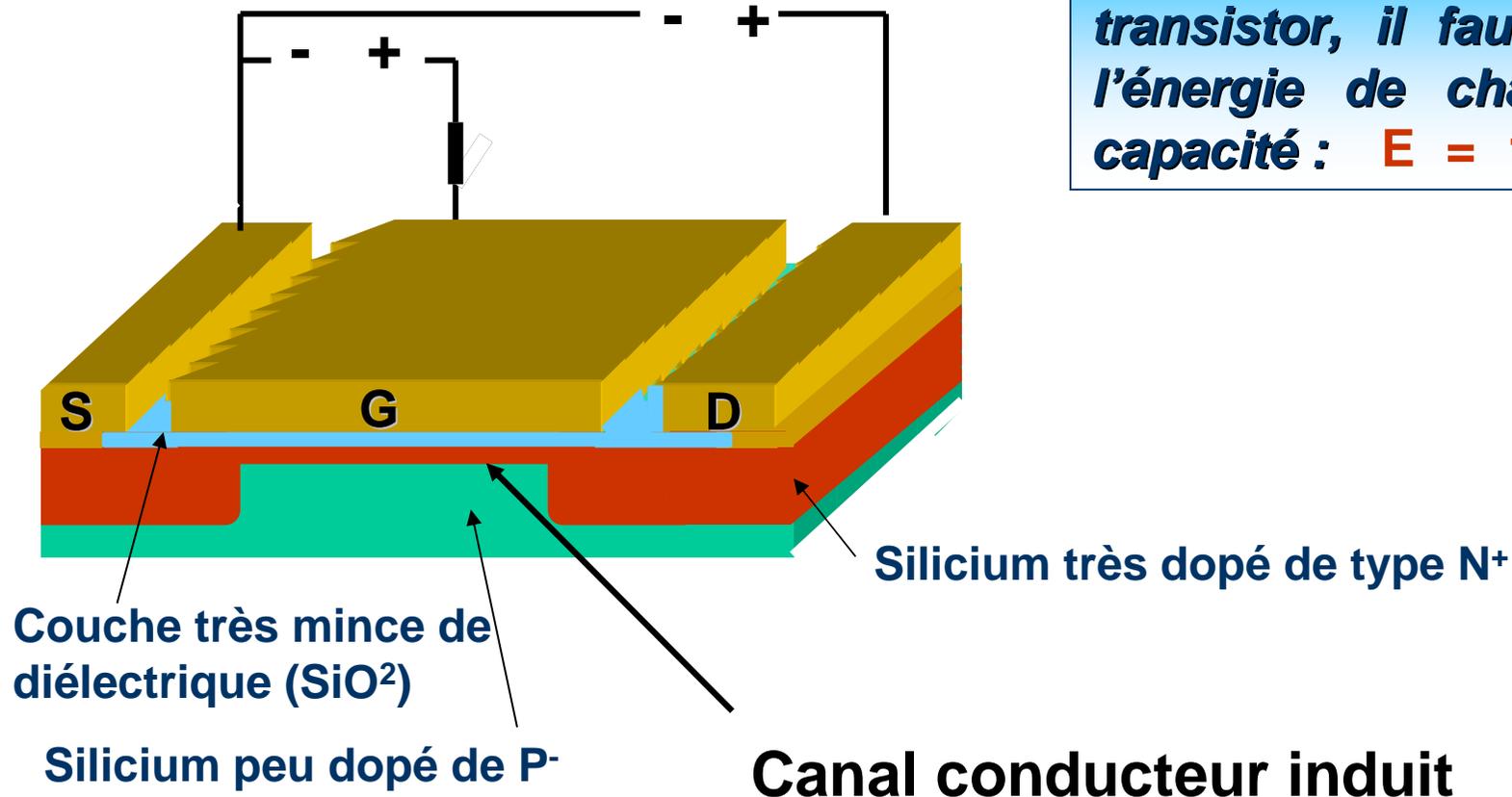
~ Qu'est que la nanoélectronique ?

La vision de la plate-forme européenne ENIAC :
(European Nanoelectronic Interactive Advisory Council)

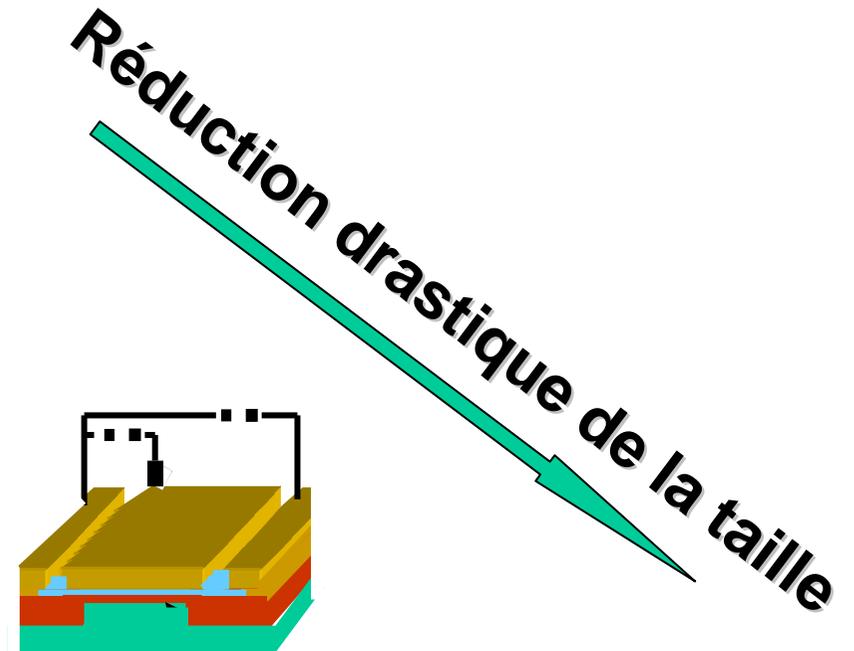
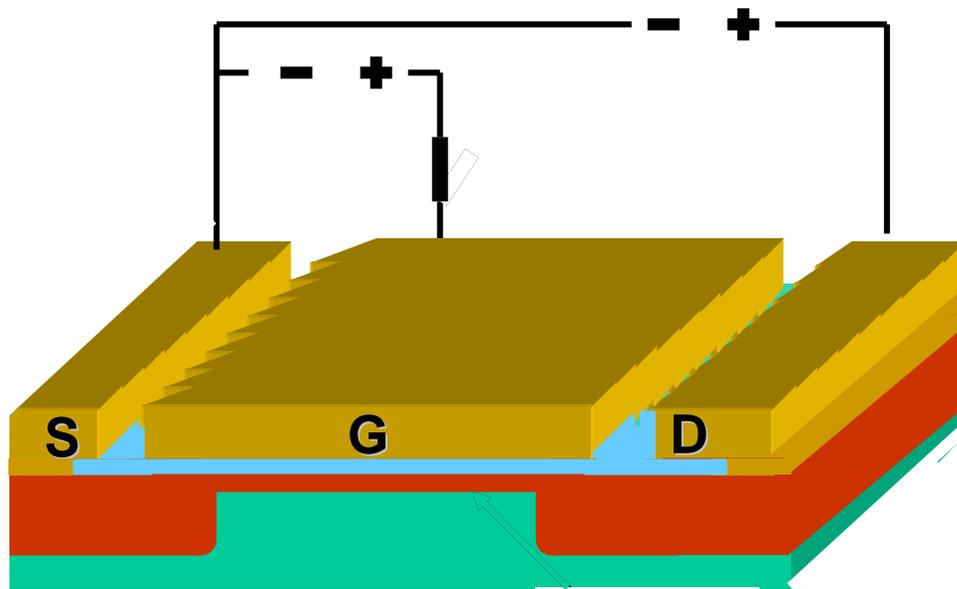
- L'ENIAC a élaboré la road-map de la nano-électronique, sorte de chemin tracé pour les semi-conducteurs jusqu'en 2020.
- L'ENIAC suit en cela la roadmap de l'ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors)

Principe d'un transistor MOS (Metal Oxide semi-conductor)

Pour commuter un transistor, il faut dépenser l'énergie de charge d'une capacité : $E = 1/2 C V^2$

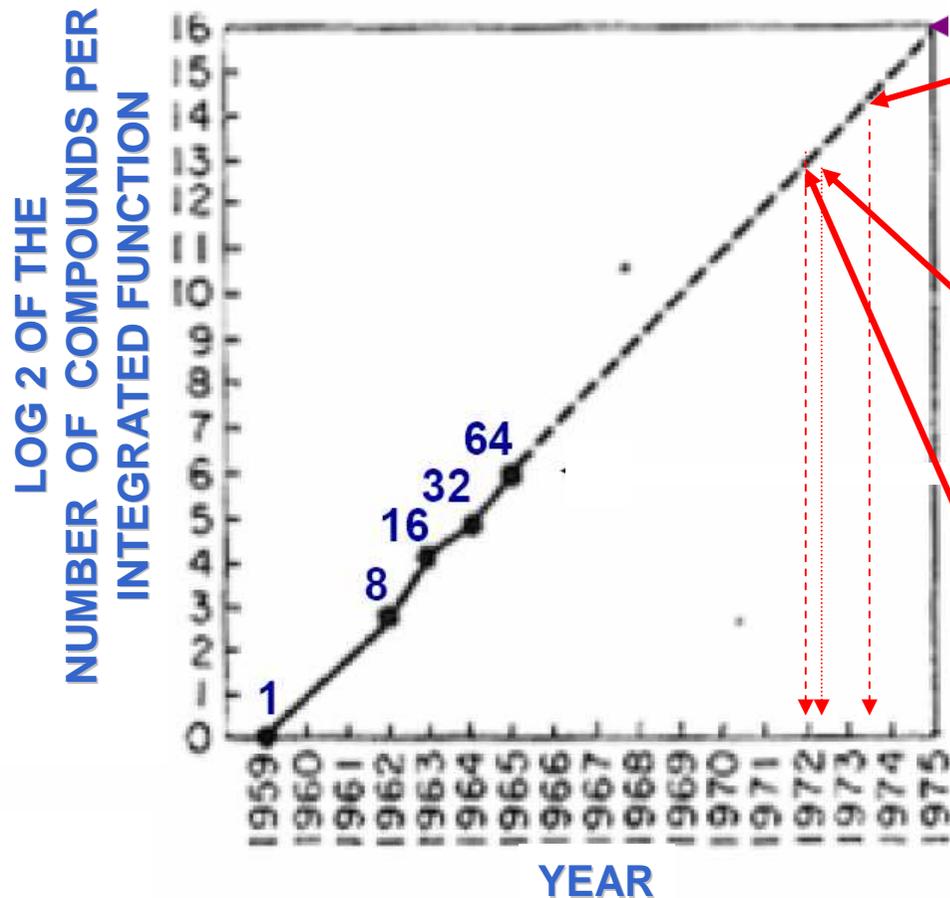


Principe d'un transistor MOS (Metal Oxide semi-conductor)



Année

Gordon Moore a émis en 1965 une règle simple d'évolution de la complexité des Circuits Intégrés



François Gernelle et André Truong de la REE imagine et réalise le premier ordinateur personnel MICRAL 15 à base d'un processeur Intel 8008 composé de 3500 transistors de 10 microns



Intel réalise le premier microprocesseur intégré : « le 4004 »

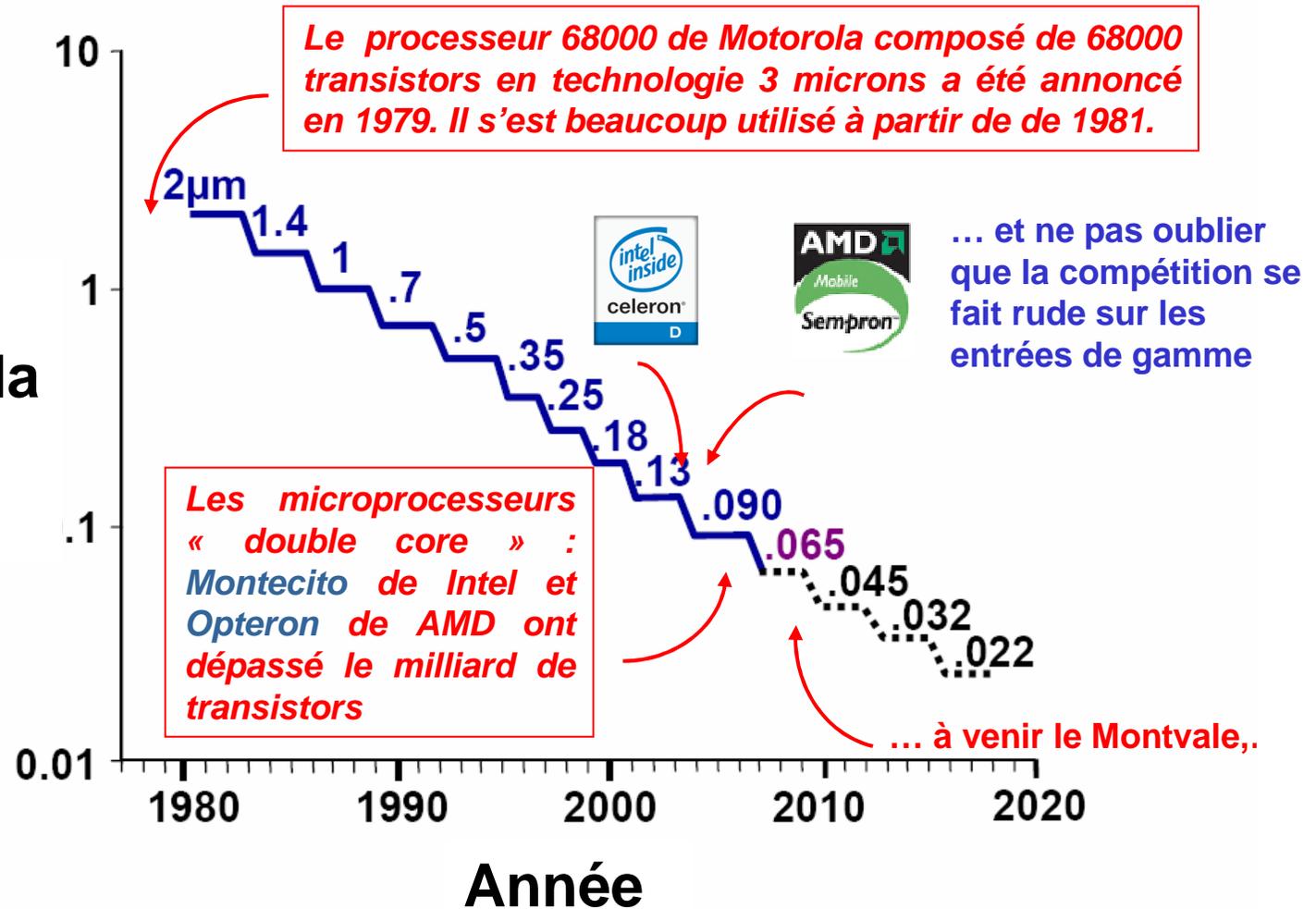


La première calculatrice scientifique : HP 35, composée de 4000 transistors en technologie 10 microns à été commercialisée en 1972



Tous les 2 ou 3 ans, une nouvelle génération : »Node «

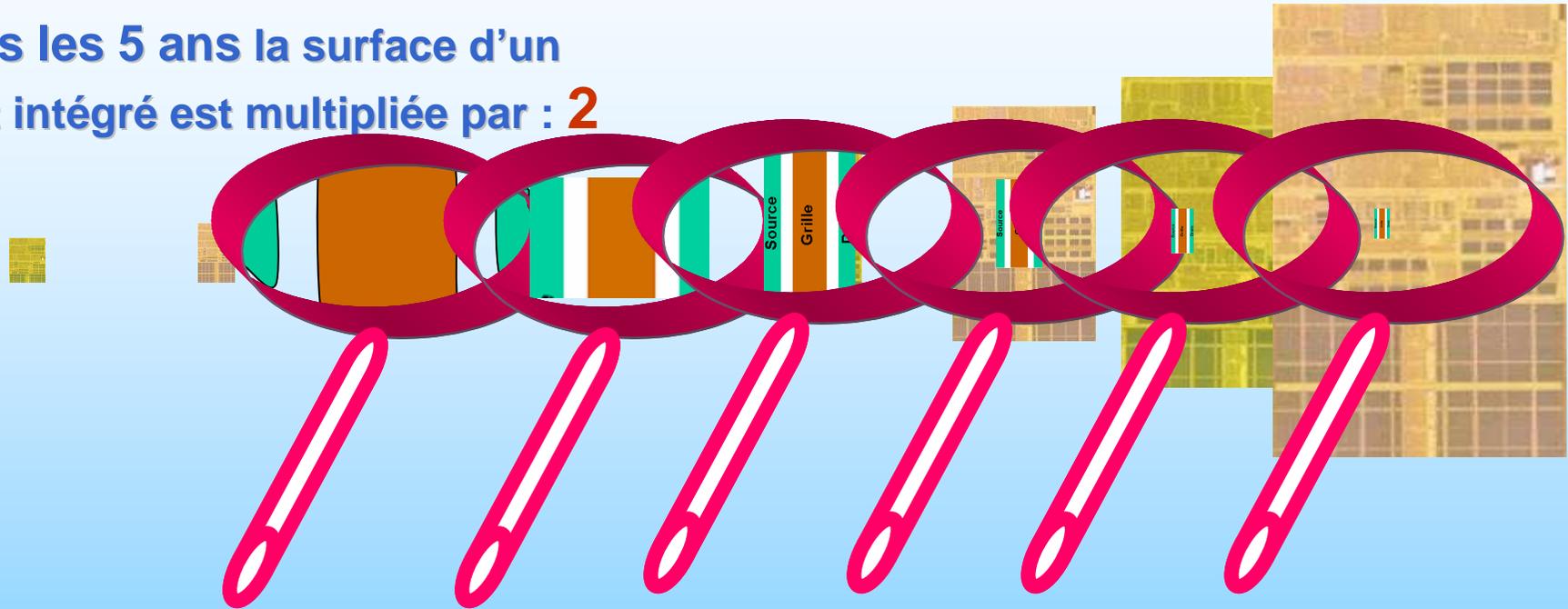
Résolution minimum de la technologie (μm)



Derrière la loi de Moore – Vitesse / consommation

1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005

Tous les 5 ans la surface d'un circuit intégré est multipliée par : **2**



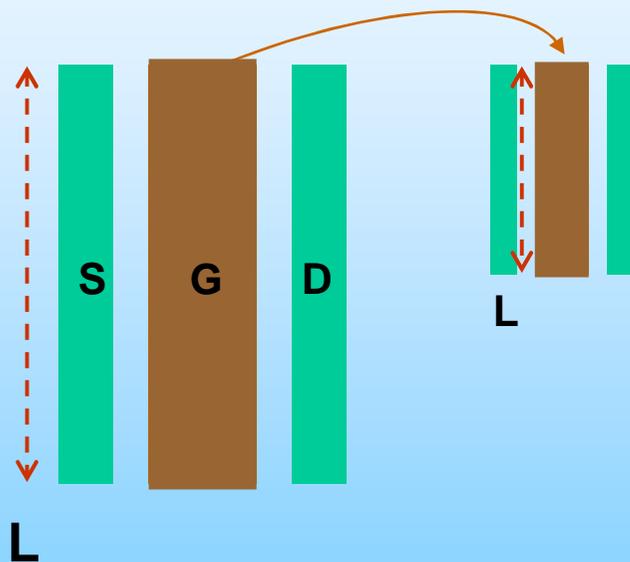
Tous les 5 ans la surface d'un transistor est divisée par : **4**

Tous les 5 ans le nombre de transistors par circuit est multiplié par : **8**

Derrière la loi de Moore – Vitesse / consommation

1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005

Tous les 5 ans la surface d'un transistor est divisée par : **4**



et la capacité de la grille des transistors « C » proportionnelle à la surface de la grille est donc divisée par

4

Pendant ce temps, la résistance d'accès à la grille « R » (inversement proportionnelle à L) est multipliée par

2

En conséquence, tous les 5 ans, la constante de temps « τ » = RC de charge des capacités de grille (ou temps de commutation) de chaque transistor est divisée par $4/2 =$

2

Ainsi, la fréquence de fonctionnement, $F \sim 1/\tau$ d'un microprocesseur double en moyenne tous les 5 ans.

Sa puissance de calcul est multipliée par 16

Derrière la loi de Moore – Vitesse / consommation

1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005

Tous les 5 ans :

N est multiplié par 4
 C est divisé par 4
 F est multiplié par 2
 On cherche alors à
 diviser V est par $\sqrt{2}$

La densité de puissance consommée « P_s » (puissance consommée par unité de surface) est dissipée dans les capacités de grille des transistors qu'il faut charger et décharger à la fréquence « F »

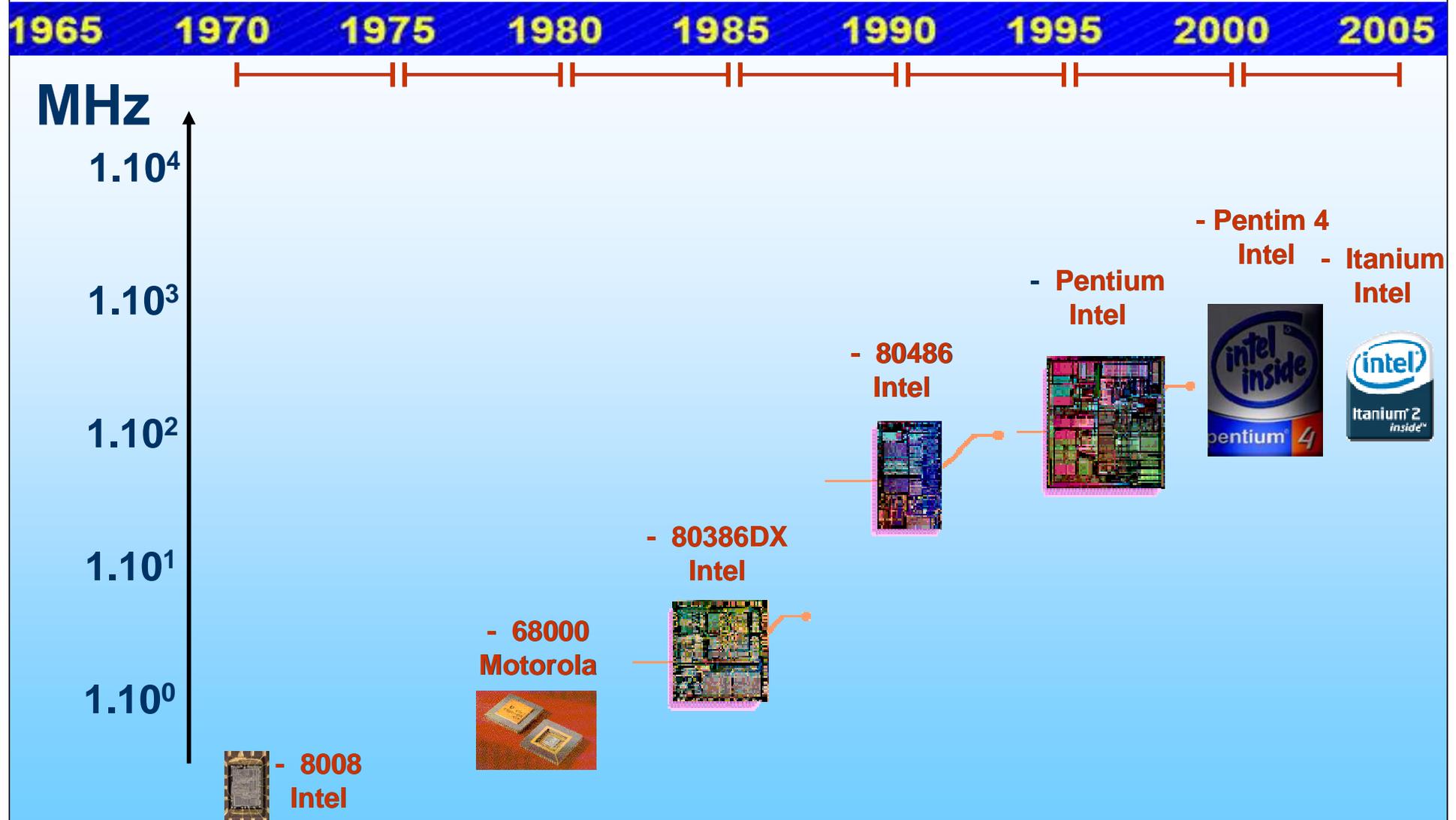
$$P_s \sim \frac{1}{2} CV^2 \times N \times F$$

Capacité de la jonction grille tension nombre de transistors par unité de surface fréquence

En conséquence P_s devrait être maintenu constant en l'absence d'effets parasites

Mais en fait, à cause d'effets parasites, la puissance totale consommée « P_t » devrait doubler tous les 5 ans avec la surface.

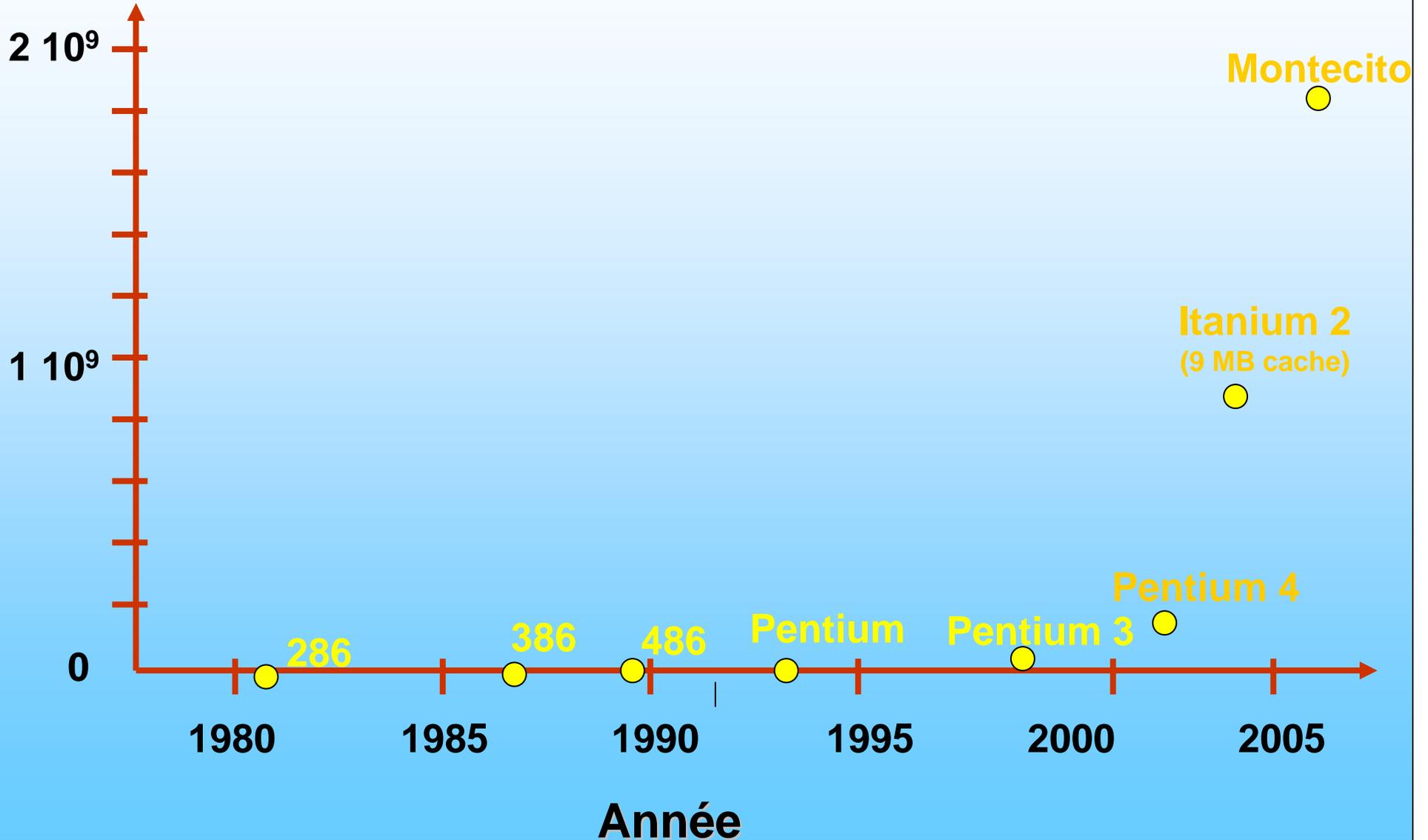
Derrière la loi de Moore – Vitesse / consommation



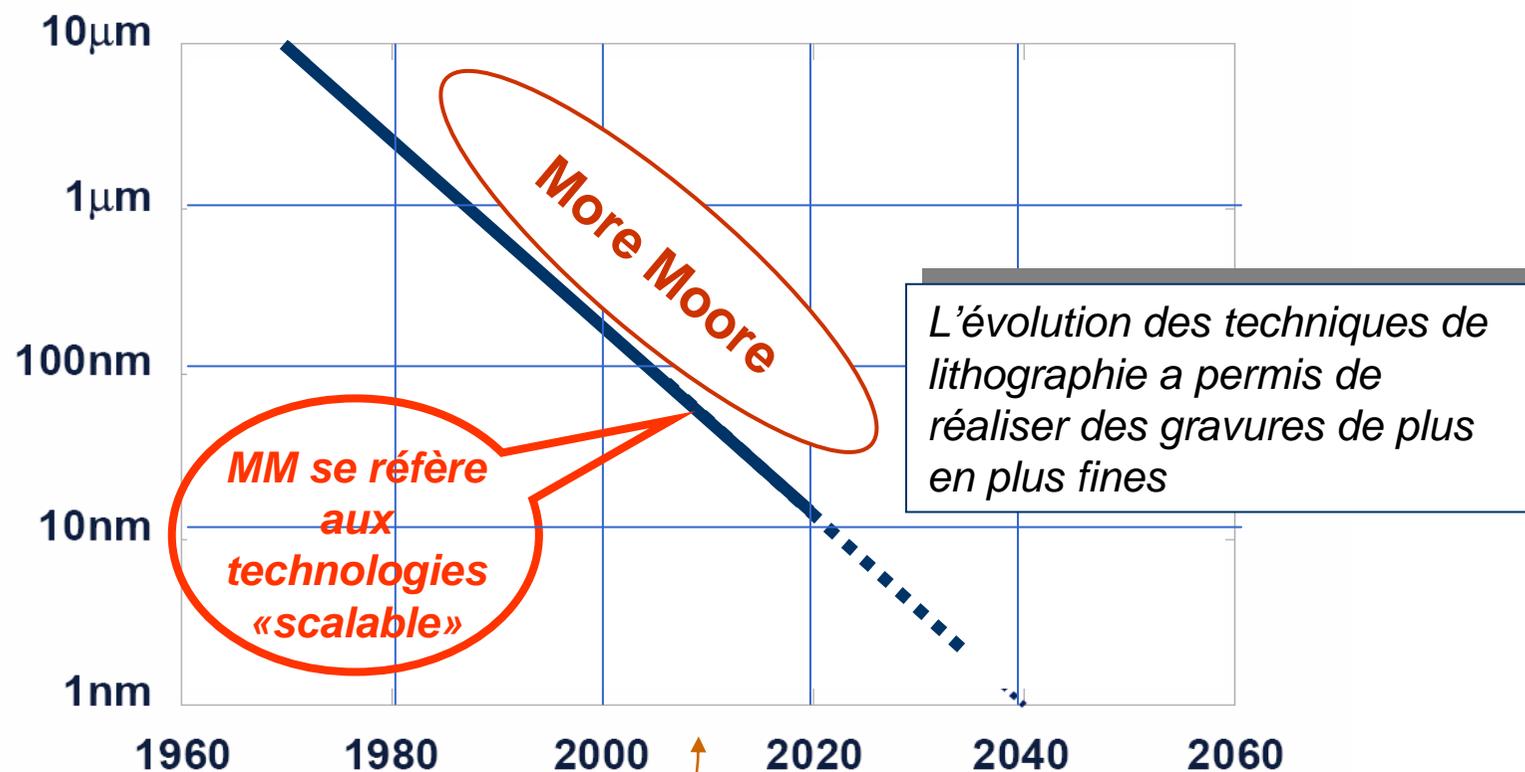
Mais ce n'est plus vrai depuis quelques années

Complexité croissante des microprocesseurs Intel

Transistors
par circuit



Micro & Nanoélectronique – *More Moore*



Strategic Research Agenda – Executive Summary – p 35

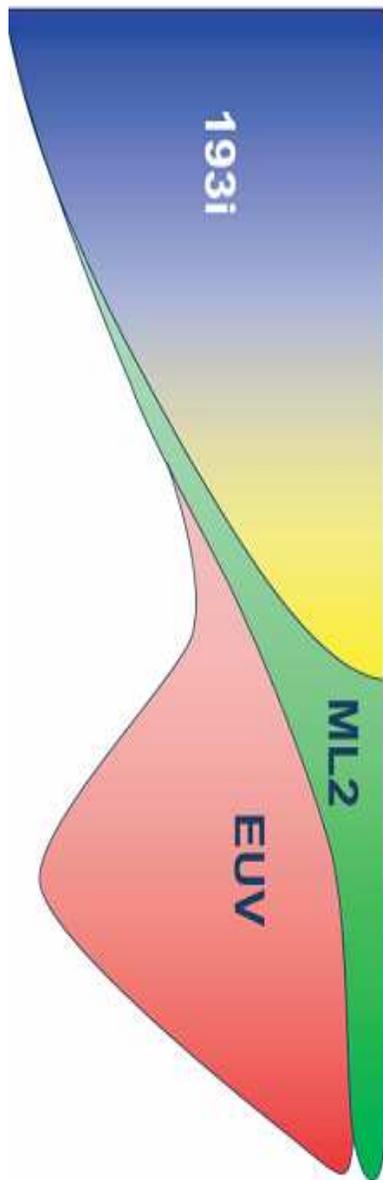


90 nm (2005) 60 nm (2009) 32 nm (2012) 22 nm (2015) 16 nm (2018)



YEAR node

La Lithographie



2005 90 nm

2007 65 nm

2009 45 nm

2012 32 nm

2015 22 nm

2018 16 nm

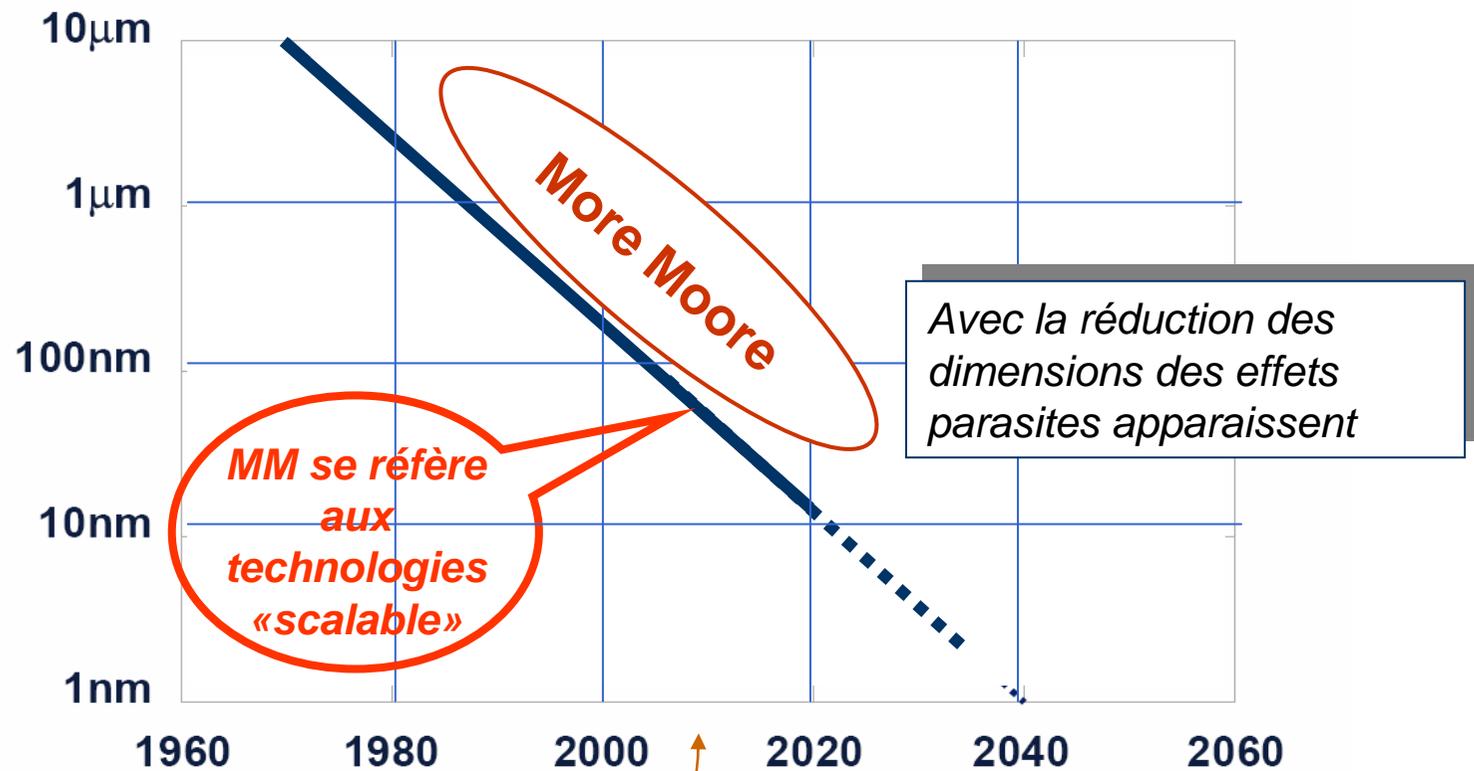
Lithography competence center

- Optical lithography (248, 193, 193i nm)
Multi sites, interferometric bench
- EUV
Reflective mask, resist, experimental exposure tool
- E beam
shaped beam, high resolution, multi beams
- Nanoimprint
full wafer, stamp and repeat
- Resist excellence center
understand resist chemistry limitations, support litho cells, anticipate new resists

leti MN Séméria 6th Leti Annual Review

Beyond CMOS

Micro & Nanoélectronique – *More Moore*

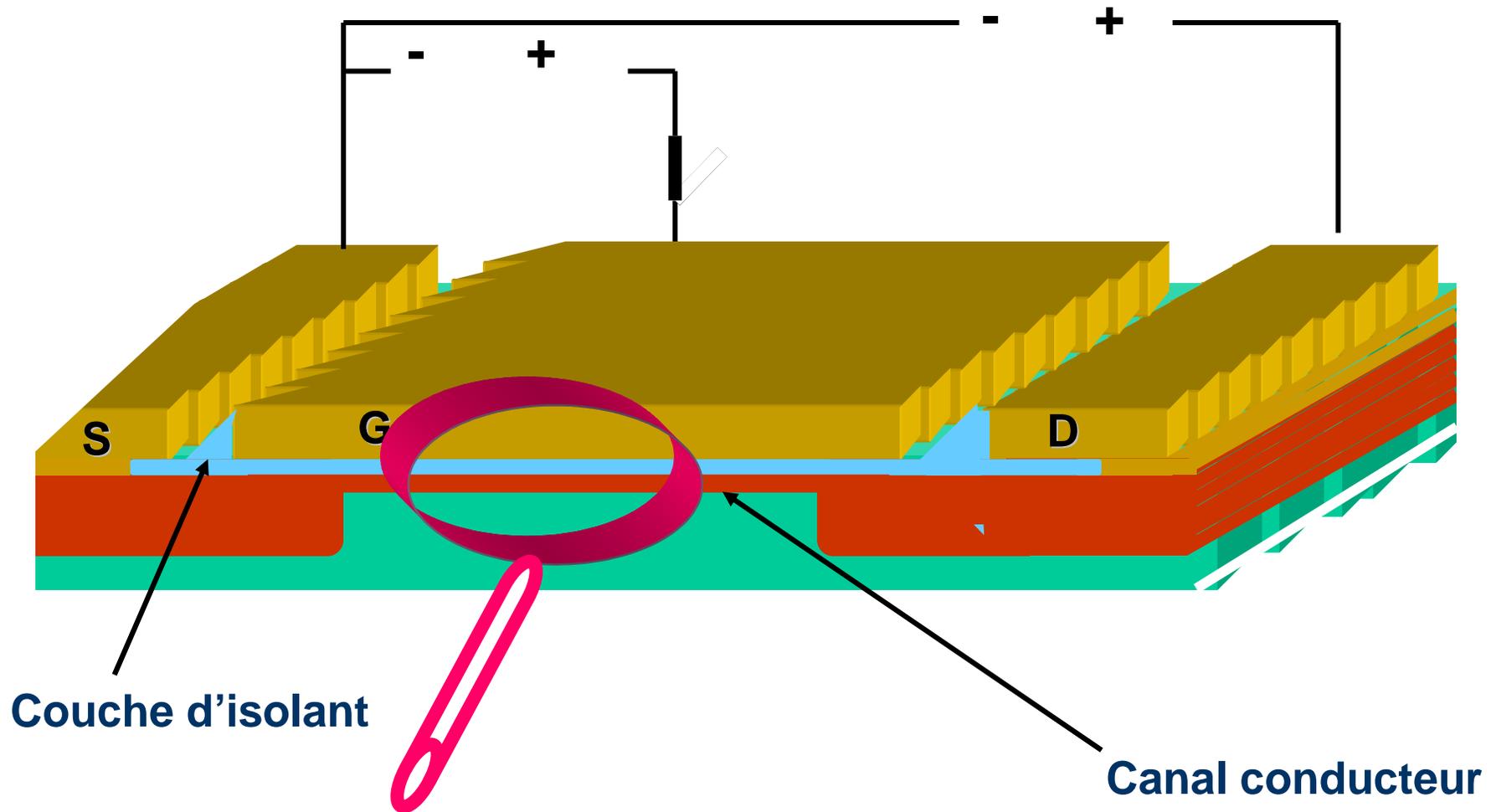


Strategic Research Agenda – Executive Summary – p 35



90 nm (2005) 60 nm (2009) 32 nm (2012) 22 nm (2015) 16 nm (2018)

Principe d'un transistor MOS (Metal Oxide semi-conductor)



Fuite des électrons à travers le diélectrique : effet tunnel



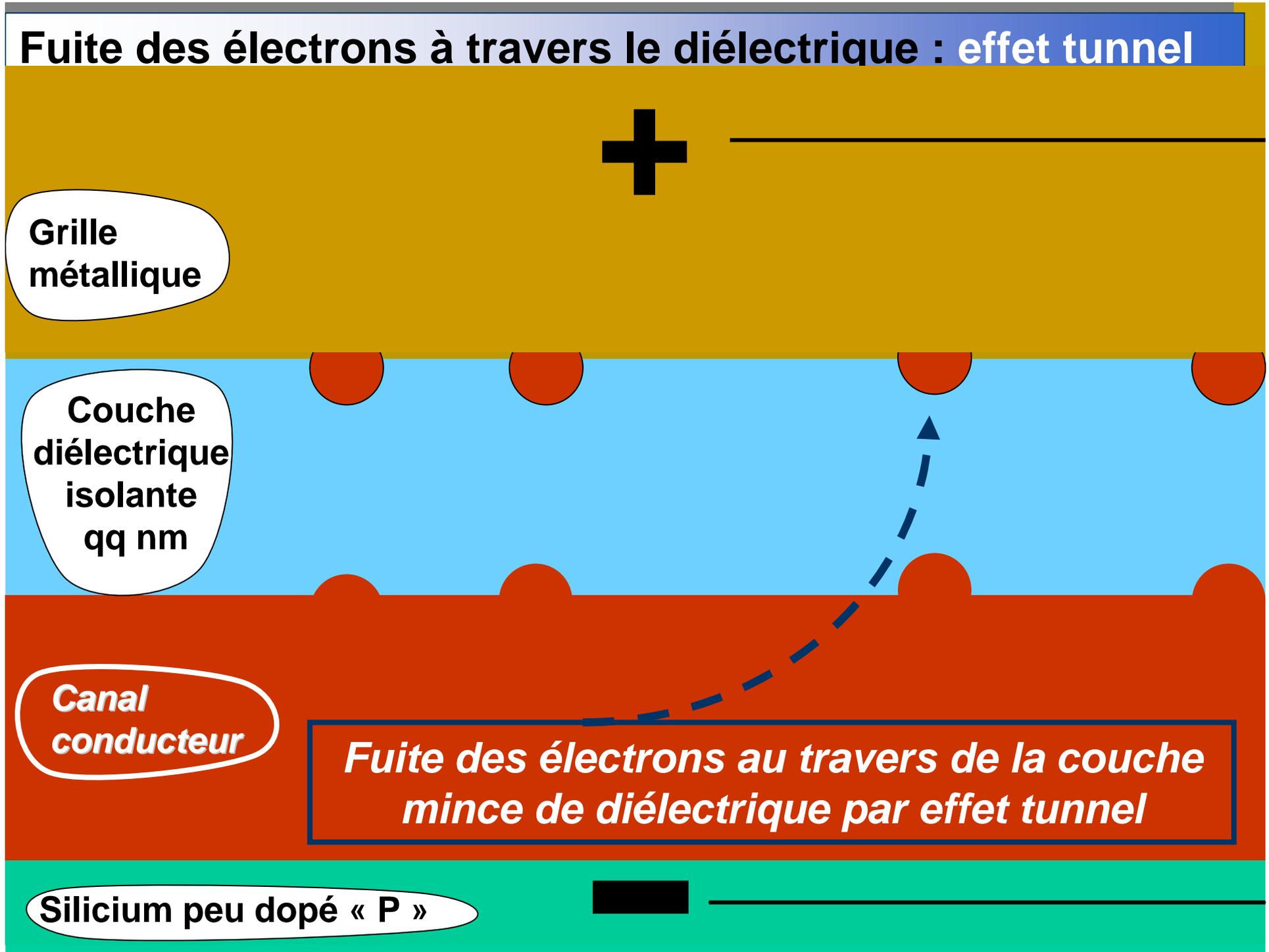
Grille
métallique

Couche
diélectrique
isolante
qq nm

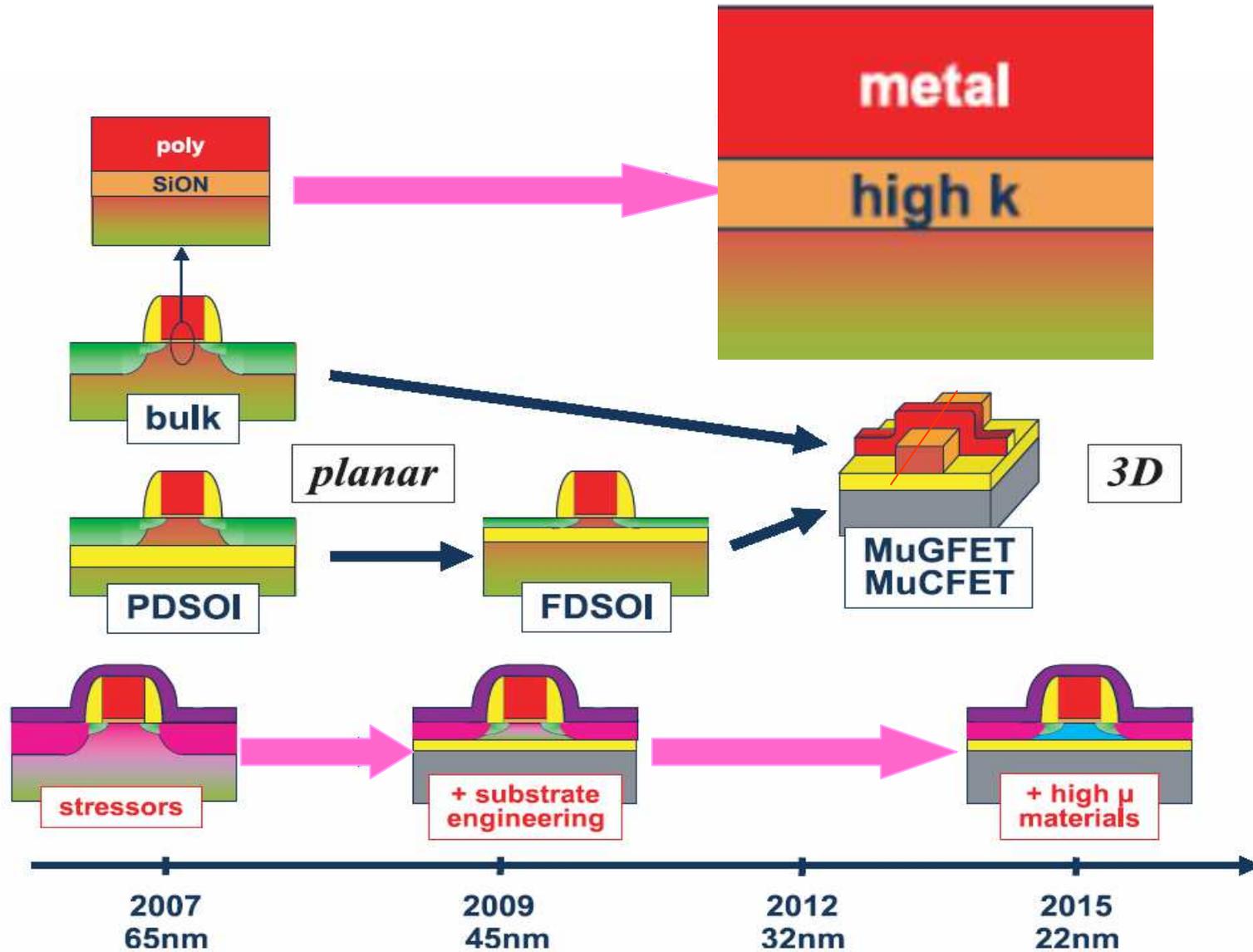
Canal
conducteur

*Fuite des électrons au travers de la couche
mince de diélectrique par effet tunnel*

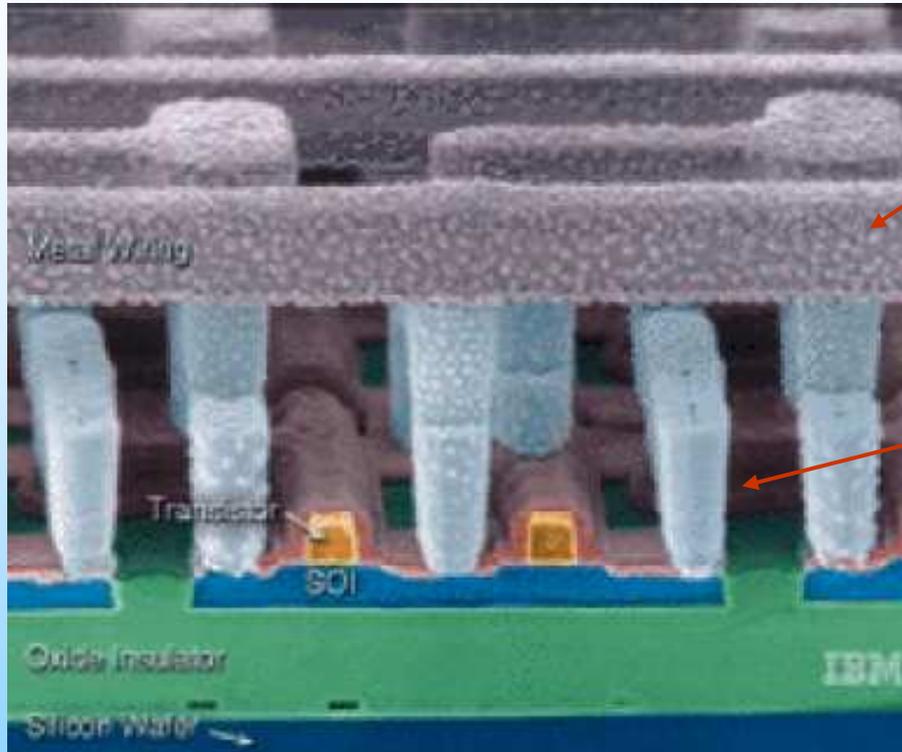
Silicium peu dopé « P »



Limitation de la loi de Moore - vision de l'ENIAC



Limitation de la loi de Moore - vision de l'ENIAC



Le cuivre remplace l'aluminium

Des matériaux « low k »
remplaceront la silice et
le nitrure.

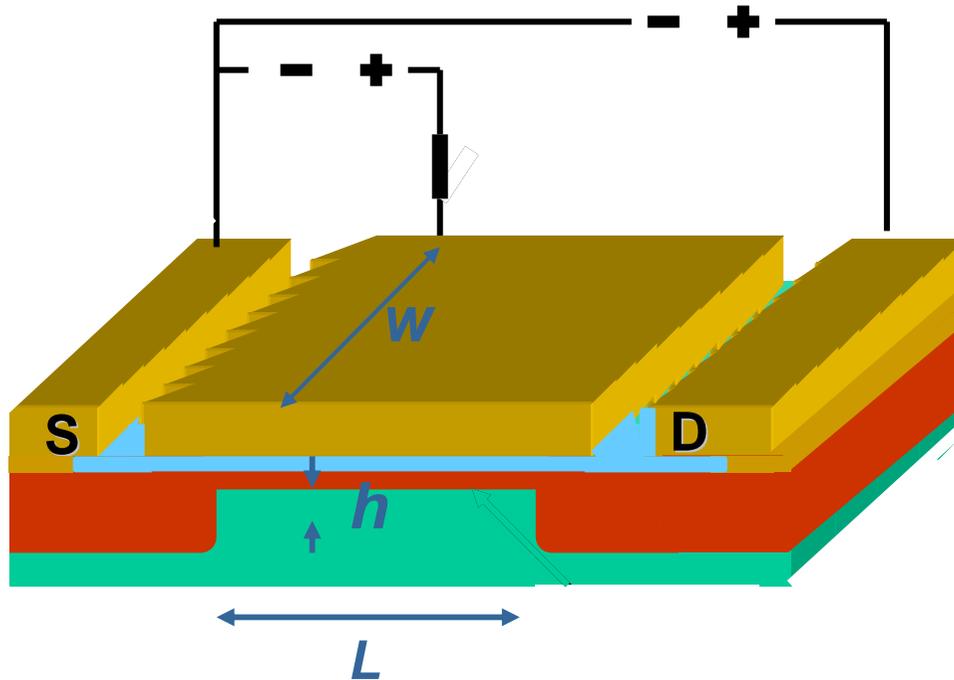
Interconnexions traditionnelles

Tenue aux rayonnement / radiations

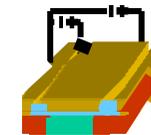
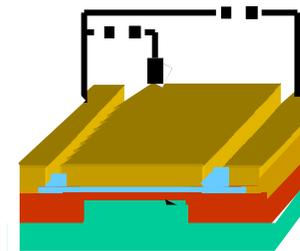
- ~ Décharges électrostatiques
- ~ Radiations

....C'est avant tout une affaire de taille

Tenue aux décharges électrostatiques



L'énergie d'une décharge électrostatique contribue à chauffer le volume du composant impliqué dans son fonctionnement



La température maximum atteinte pendant une impulsion d'énergie « E » est :

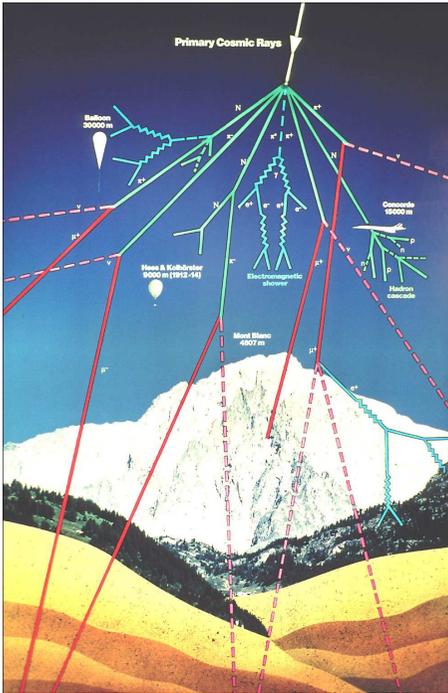
$$T_{\max} = \frac{E_{\text{électr.}}}{C_{\text{calorifique}} \underbrace{W L h}_V}$$

V : Volume affecté par la décharge

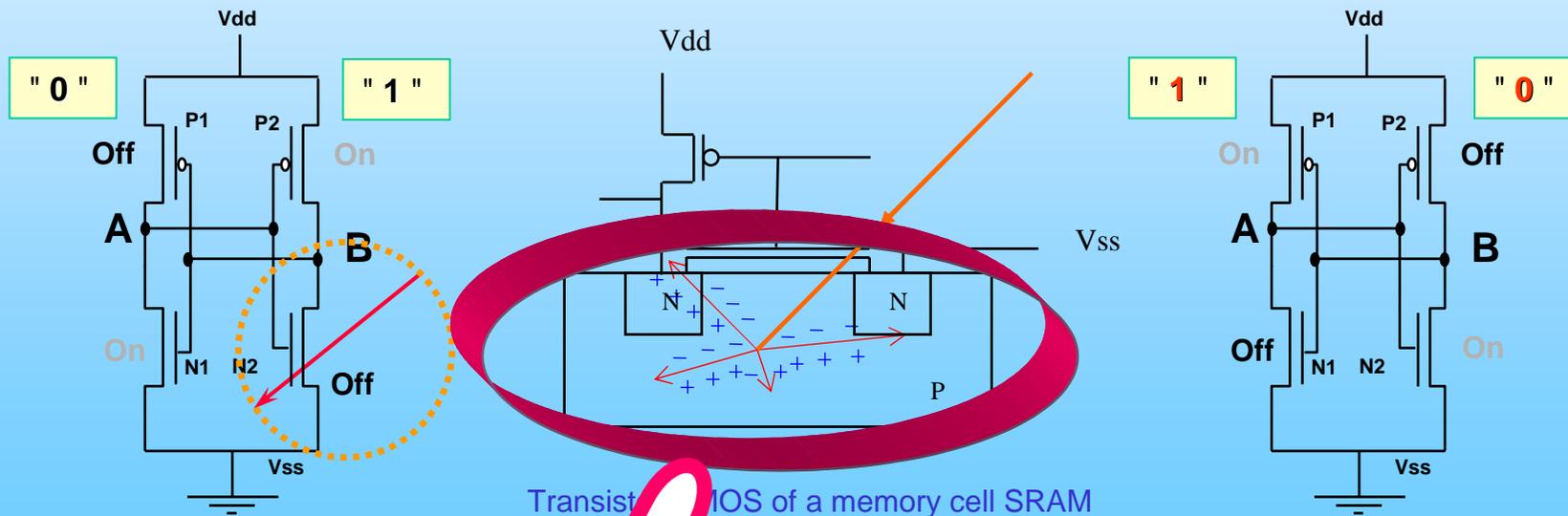
h : profondeur affectée pendant la décharge

En 15 ans, V a été divisé par : 64

Tenue aux radiations



Le problème est encore plus sévère car il faut comparer l'énergie générée par la radiation (E_{rad}) à l'énergie stockée dans la capacité ($1/2 CV_2$)



Transistor MOS of a memory cell SRAM

QUESTIONS

~ Quand passe t-on
de la micro-électronique
à la nano-électronique ?

SOMMAIRE

La micro-électronique suit la loi de Moore



Quand la micro devient nano par conventions

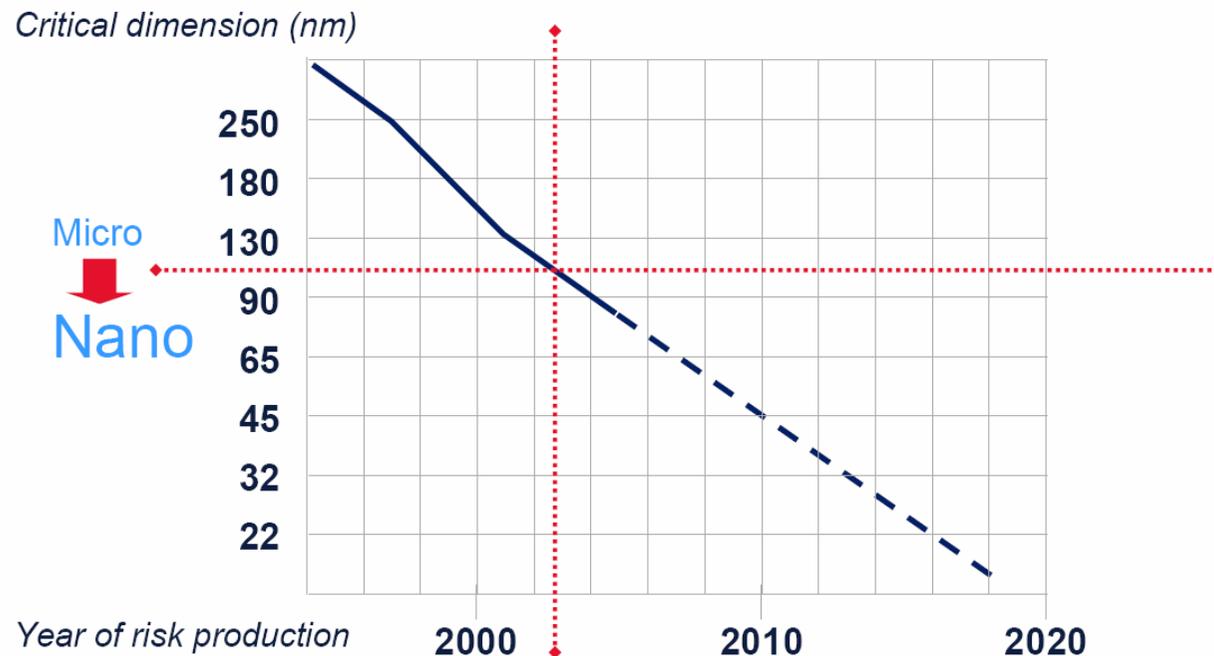
**La nano, plus que des conventions, des effets
mésoscopiques**

Nanotechnologies et énergie

Exemples de capteurs - Sensors

Micro & Nanoélectronique – *More Moore*

More Moore: Baseline CMOS technology roadmap



Strategic Research Agenda – Executive Summary – p 25

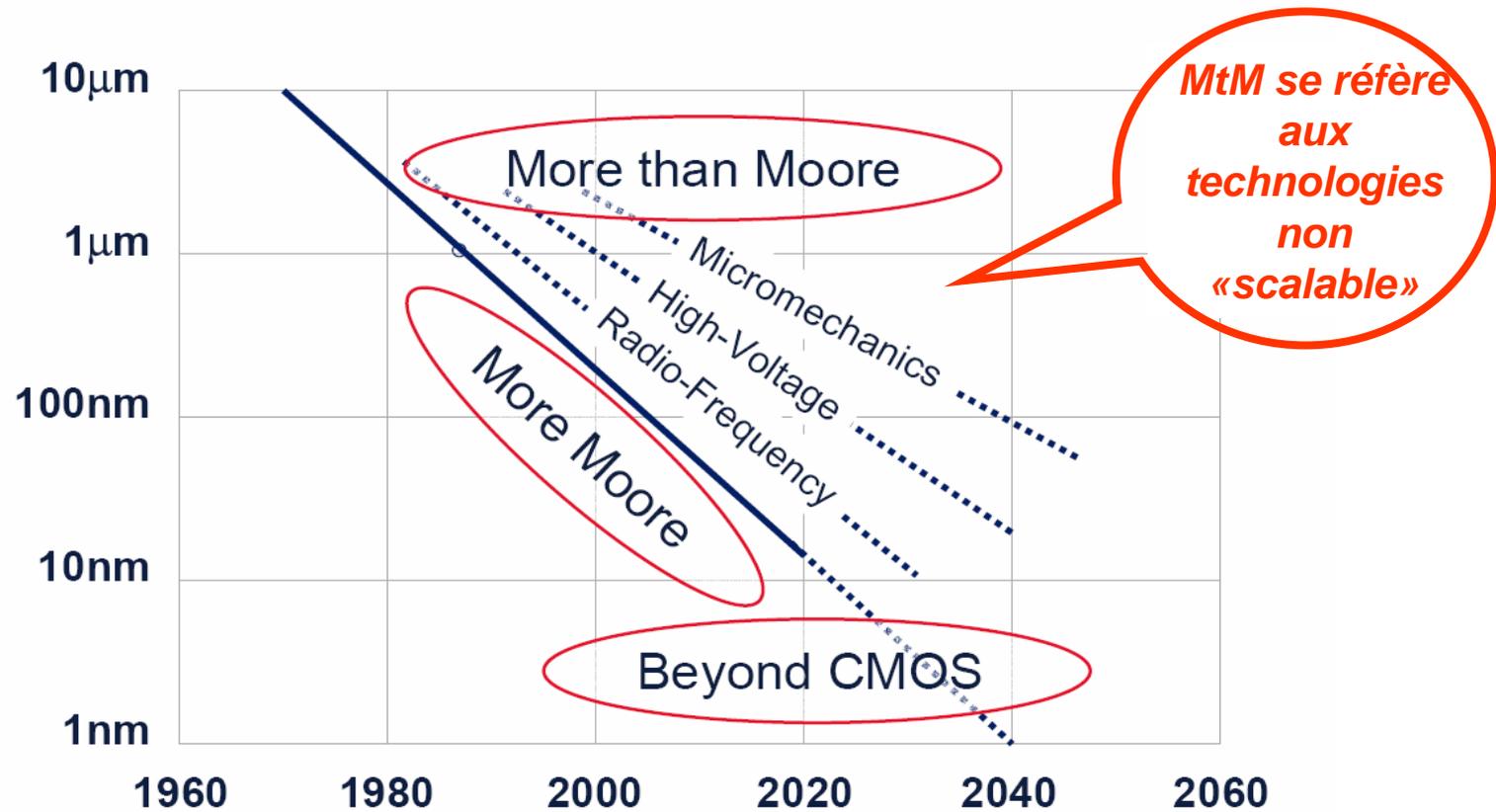


Les industriels européens changent la microélectronique de nom en 2003 pour financer leurs développements

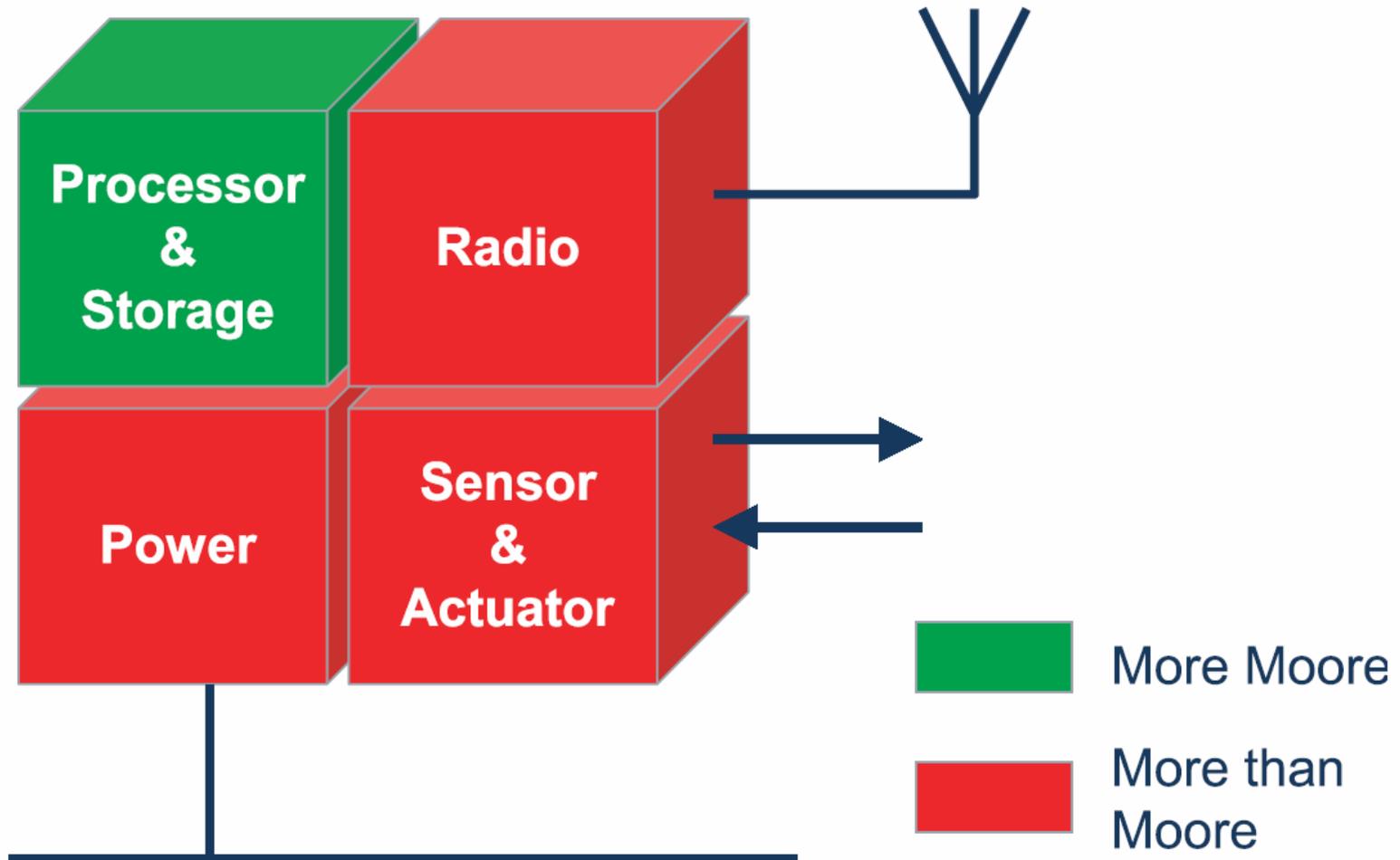
QUESTIONS

~ **La nano-électronique n'est-elle
qu'une affaire de dimensions?**

Micro & Nanoélectronique – *More than Moore*

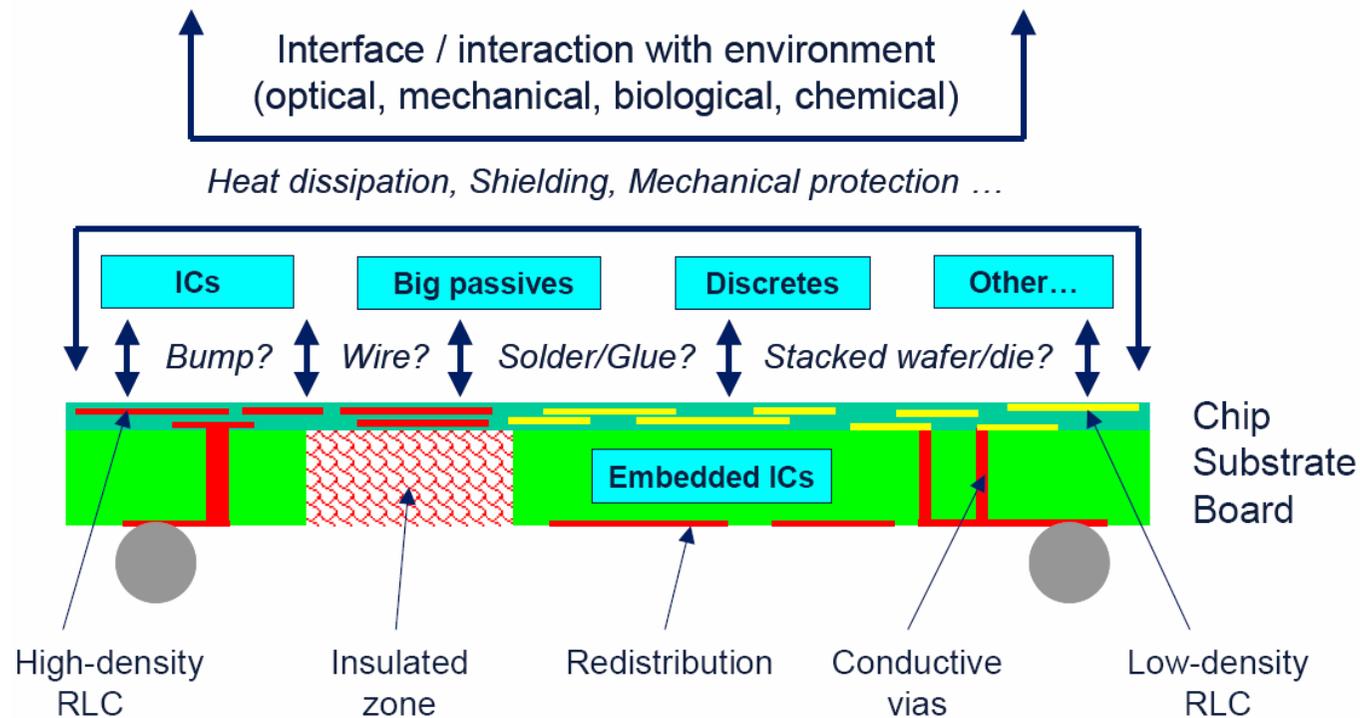


Micro & Nanoélectronique – *More than Moore*



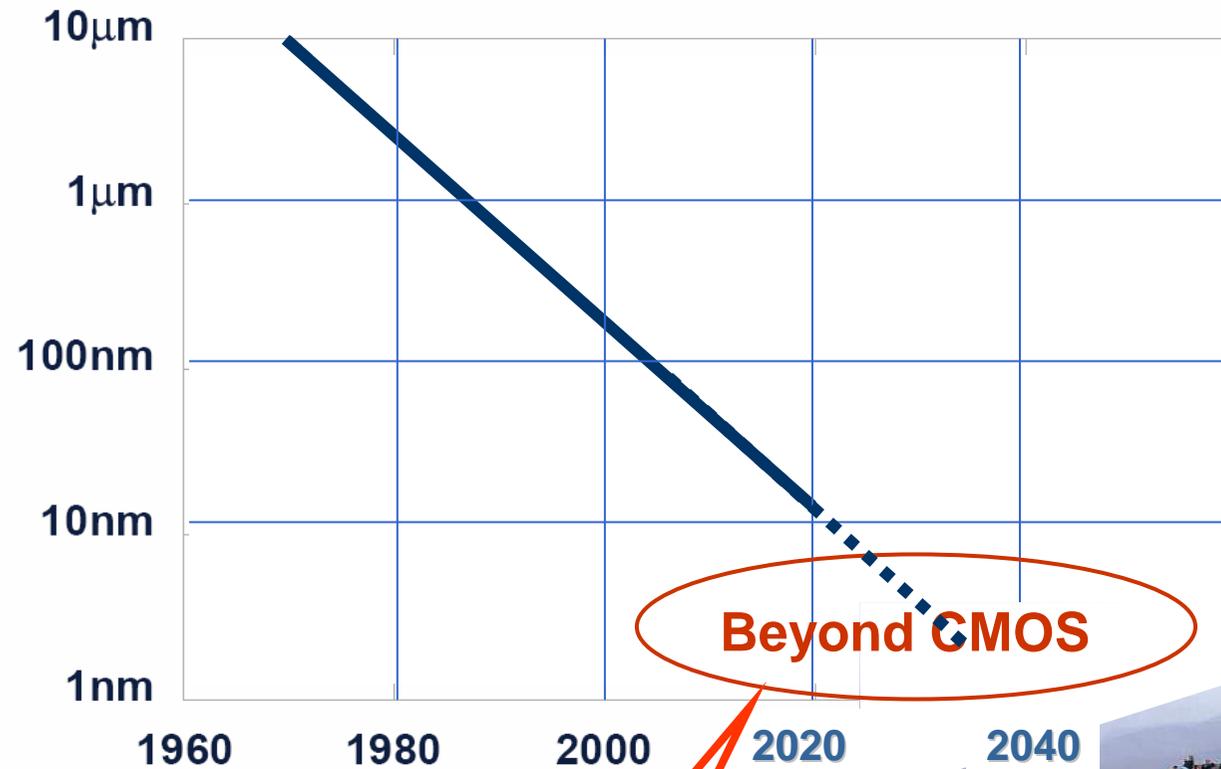
Micro & Nanoélectronique – *More than Moore*

Forte intégration : System on Chip (SoC) et System in Package (SiP)



Heterogeneous integration (SiP) puts multiple technologies into ultra-small packages

Micro & Nanoélectronique – *Beyond CMOS*

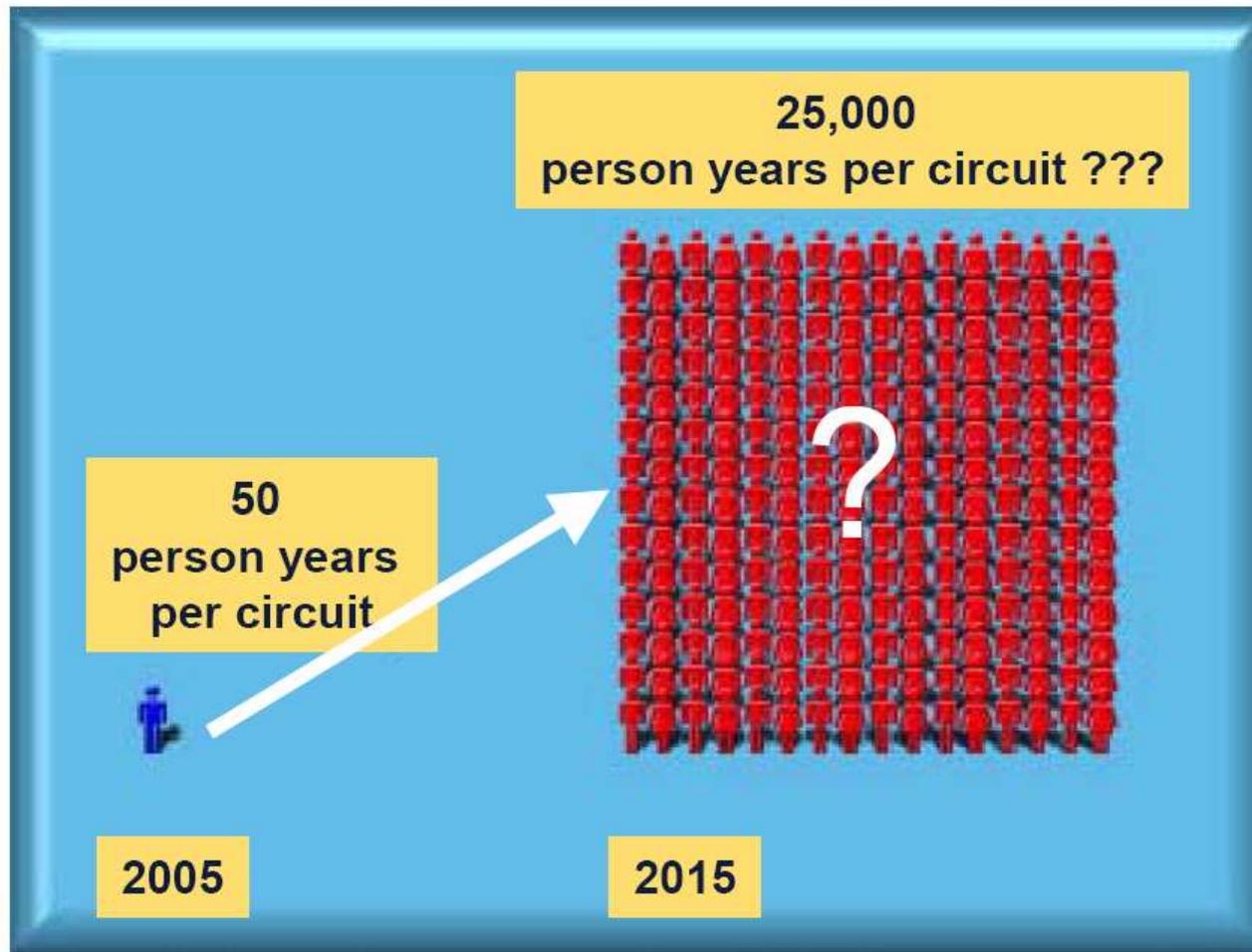


Strategic Research Agenda – Executive Summary – p 35

En 2020, la technologie atteindra ses limites physiques



Micro & Nanoélectronique – *More than Moore*

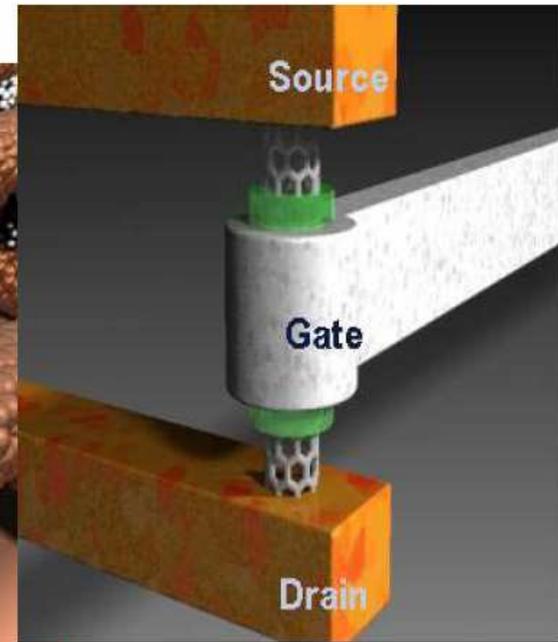
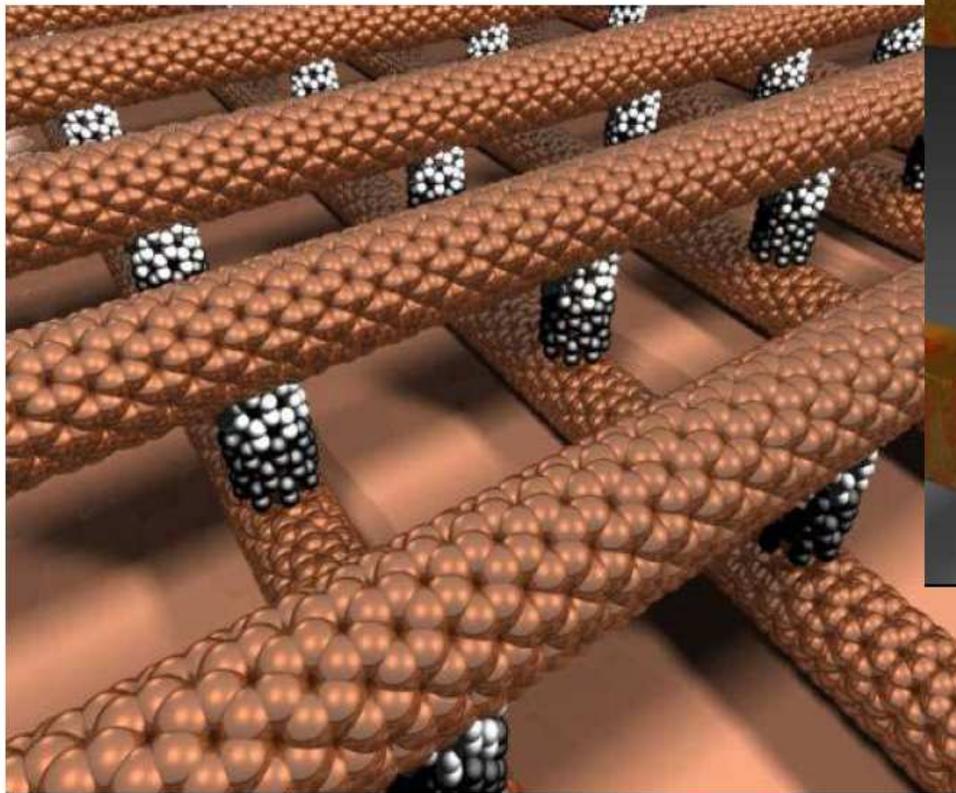


Electronic Design Automation (EDA)

Advanced EDA tools will be needed to maintain short time-to-market for new circuit designs

Micro & Nanoélectronique – *Beyond CMOS*

Beyond CMOS:
This could be nanotube devices

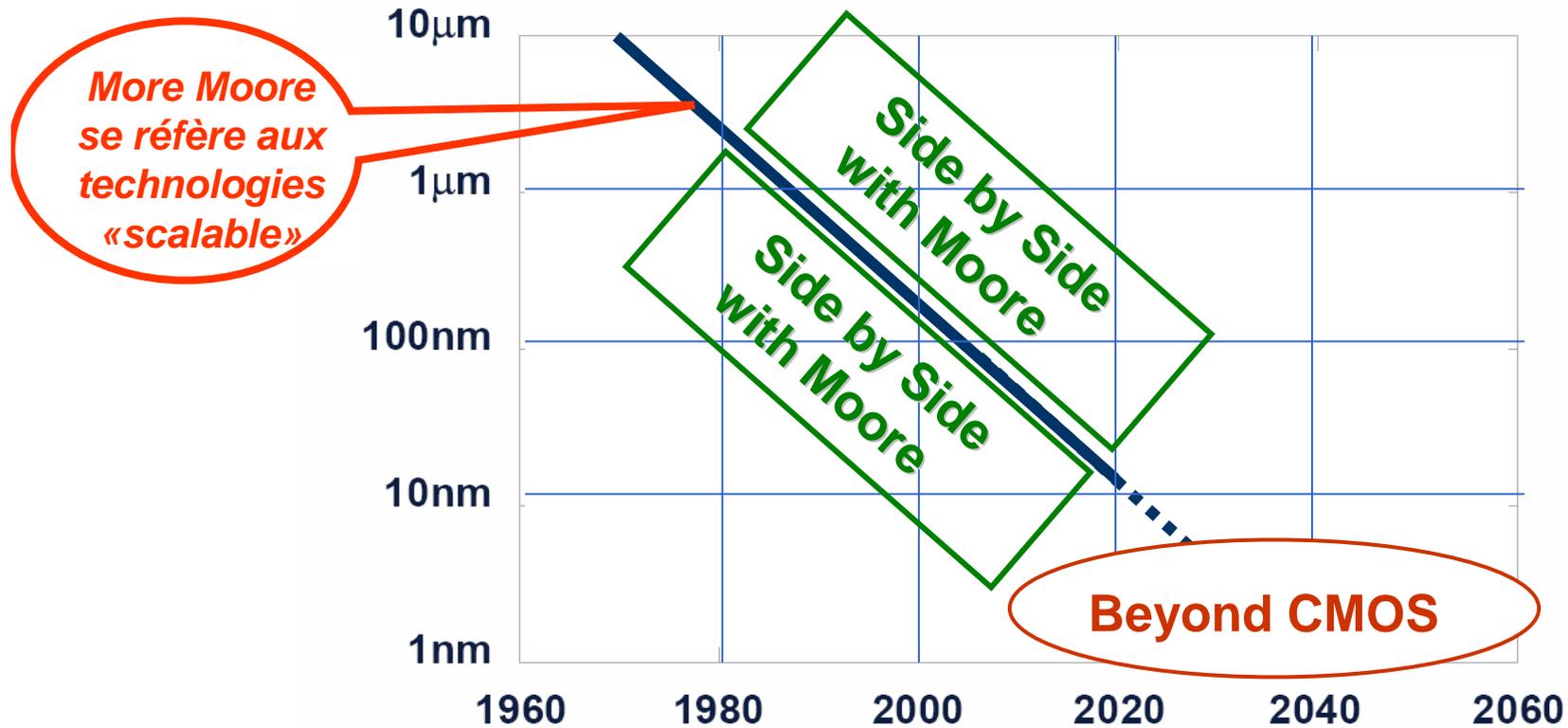


**La rupture attendue au-delà de 2020
est appelée : Beyond CMOS**

Mais avant :

« *Side by side with Moore* »

Micro & Nanoélectronique – *Side by side with Moore*



SOMMAIRE

La micro-électronique suit la loi de Moore

Quand la micro devient nano par conventions



**La nano, plus que des conventions, des effets
mésoscopiques**

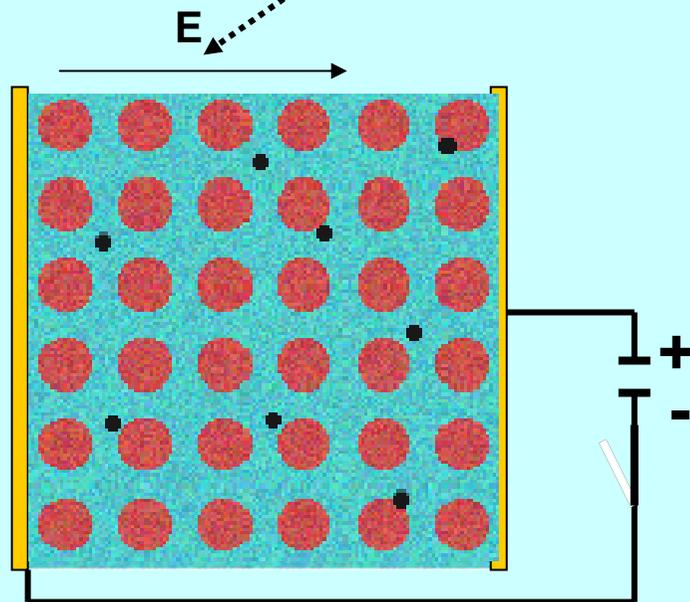
Nanotechnologies et énergie

Exemples de capteurs - Sensors

De la Micro à la Nano – Side by side with Moore

Propriétés
de
l'électron

Charge
 e^-



*En électricité, électrotechnique et ,
électronique, l'électron n'est qu'une
particule chargée.*

Loi d'Ohm

τ : temps entre deux collisions

De la Micro à la Nano – Side by side with Moore

Propriétés
de
l'électron

Charge
 e^-

Spin
↑↓

Onde

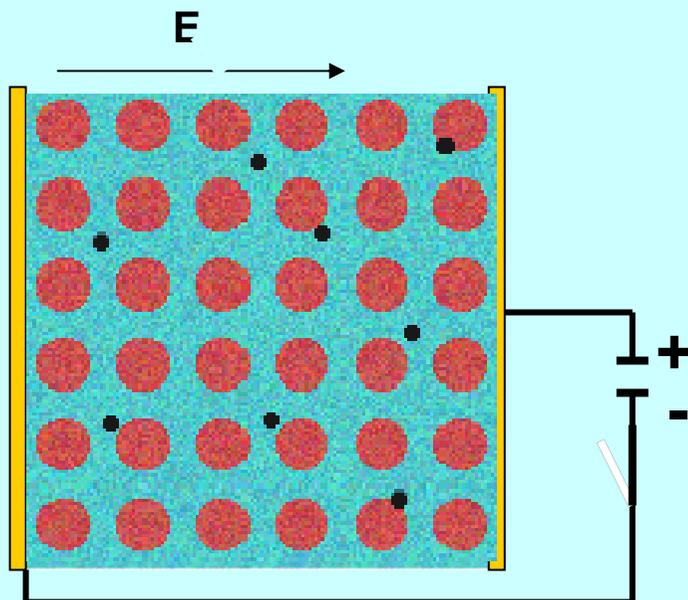
...et

une particule
est aussi une
onde :

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

...mais

les électrons
ont un spin :
+ 1/2 or - 1/2



Loi d'Ohm

τ : temps entre deux collisions

Collision et perte de la phase

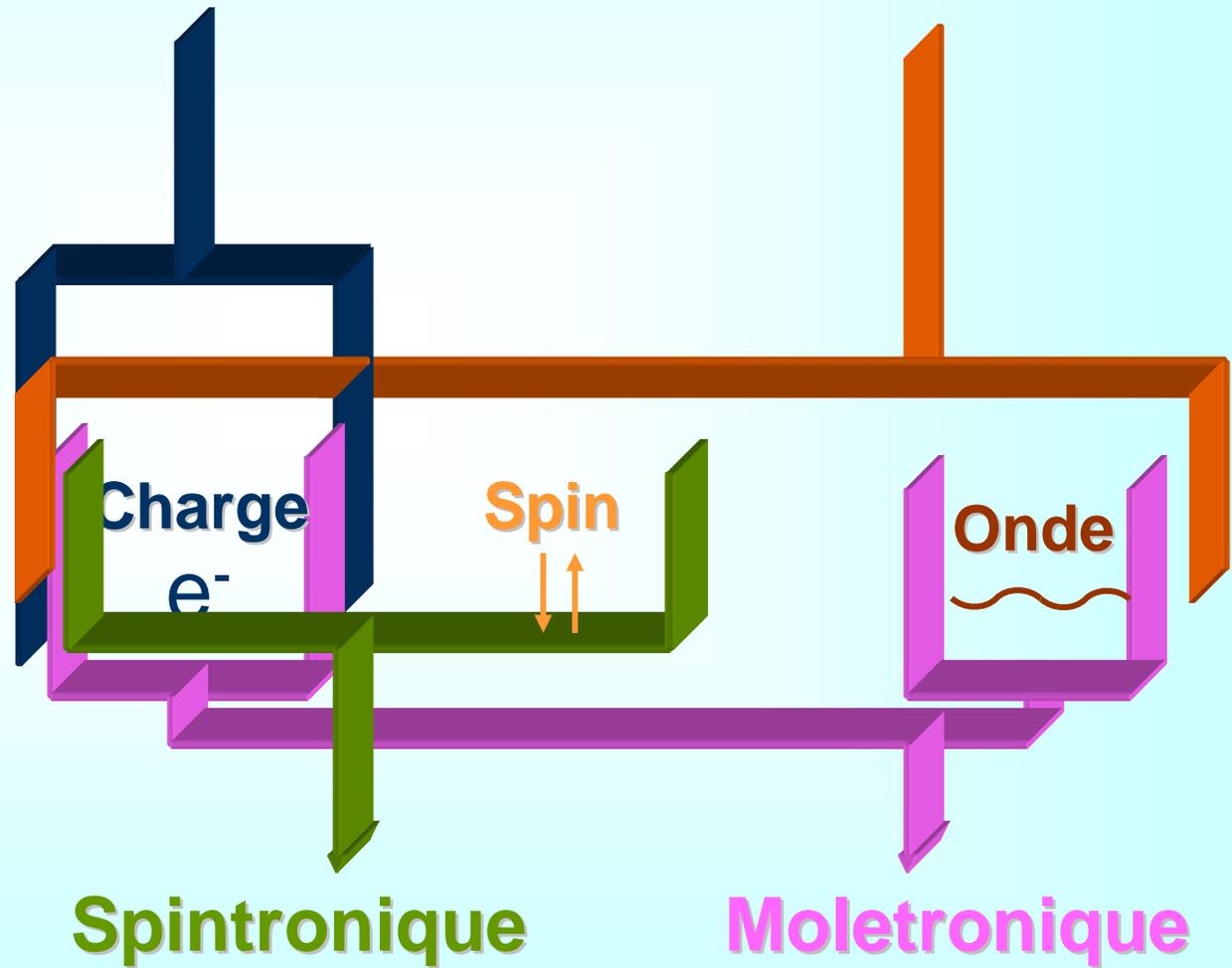
Superposition de deux ondes

De la Micro à la Nano – Side by side with Moore

Micro-électronique

Nano-tronique

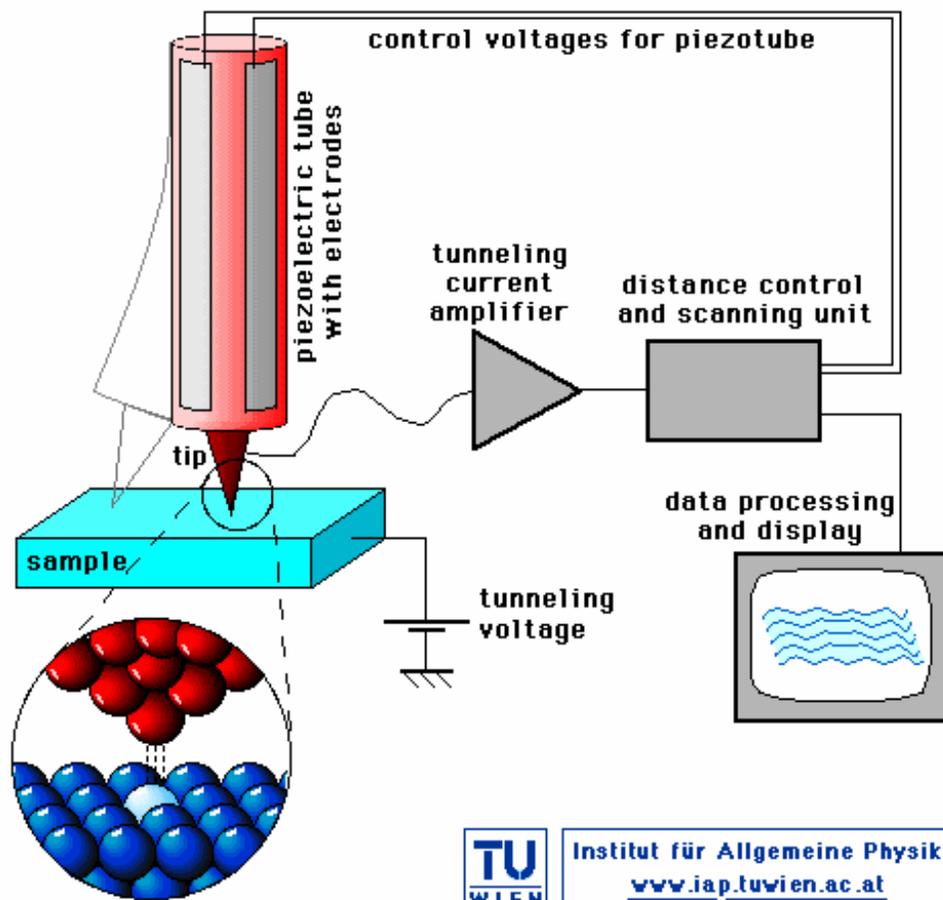
**Propriétés
de
l'électron :**



STM – Side by side with Moore

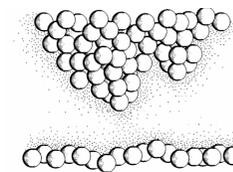
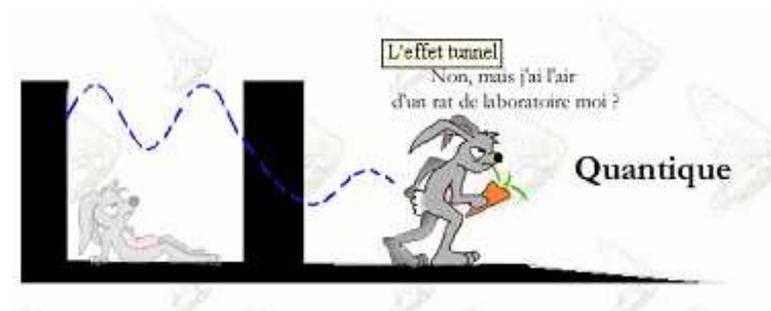
Principe du microscope à effet tunnel à balayage (Scanning tunneling microscope)

This explanation is illustrated by an [animated sequence \(anima](#)



Institut für Allgemeine Physik
www.iap.tuwien.ac.at

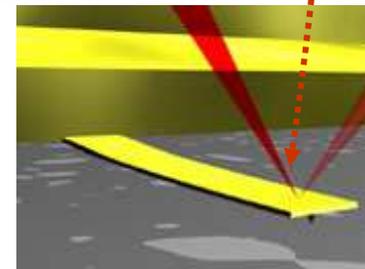
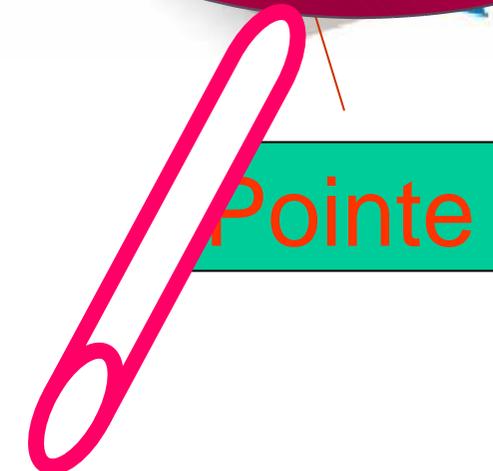
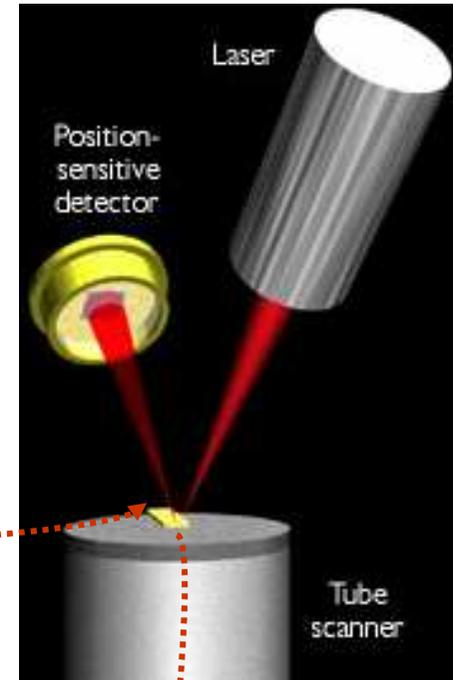
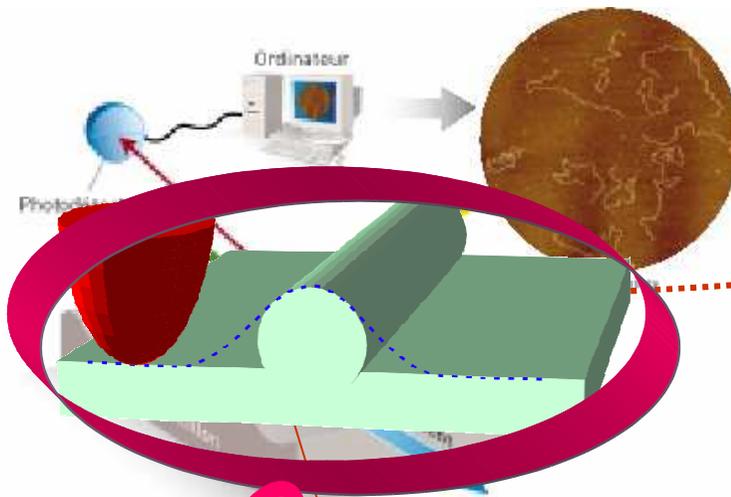
Effet tunnel



AFM – Side by side with Moore

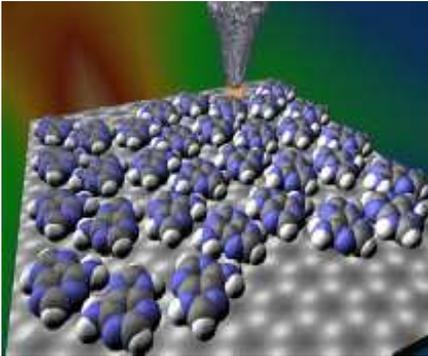
MICROSCOPE A FORCE ATOMIQUE

Dans le microscope à force atomique, une pointe extrêmement fine suit les aspérités de la surface à étudier. Elle transmet ses mouvements à un levier dont les déplacements sont suivis par un laser.

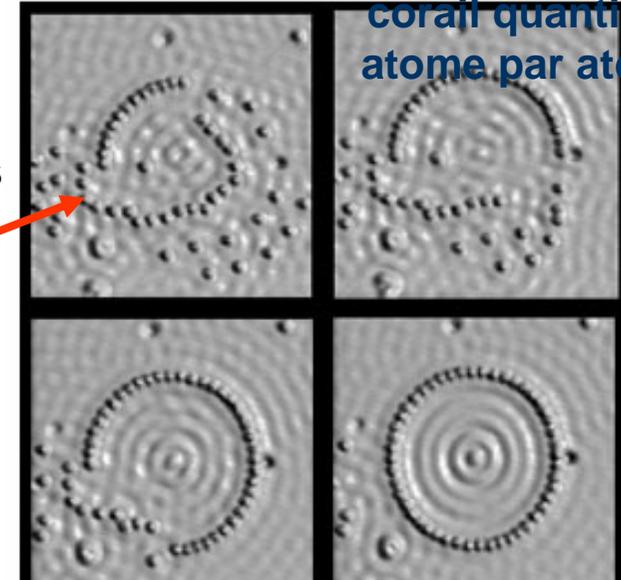


A F M et S T M : Deux usages

A F M

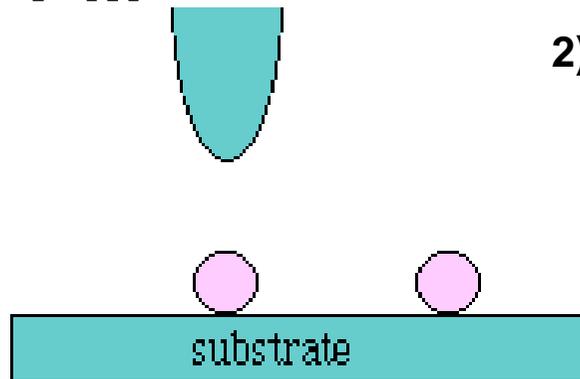


1) Déplacer des atomes (molécules)

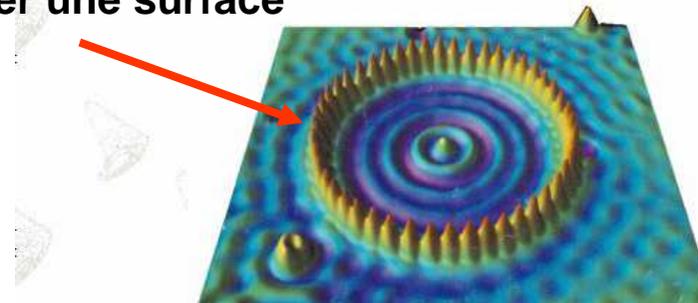


Construction d'un corail quantique atome par atome

S T M



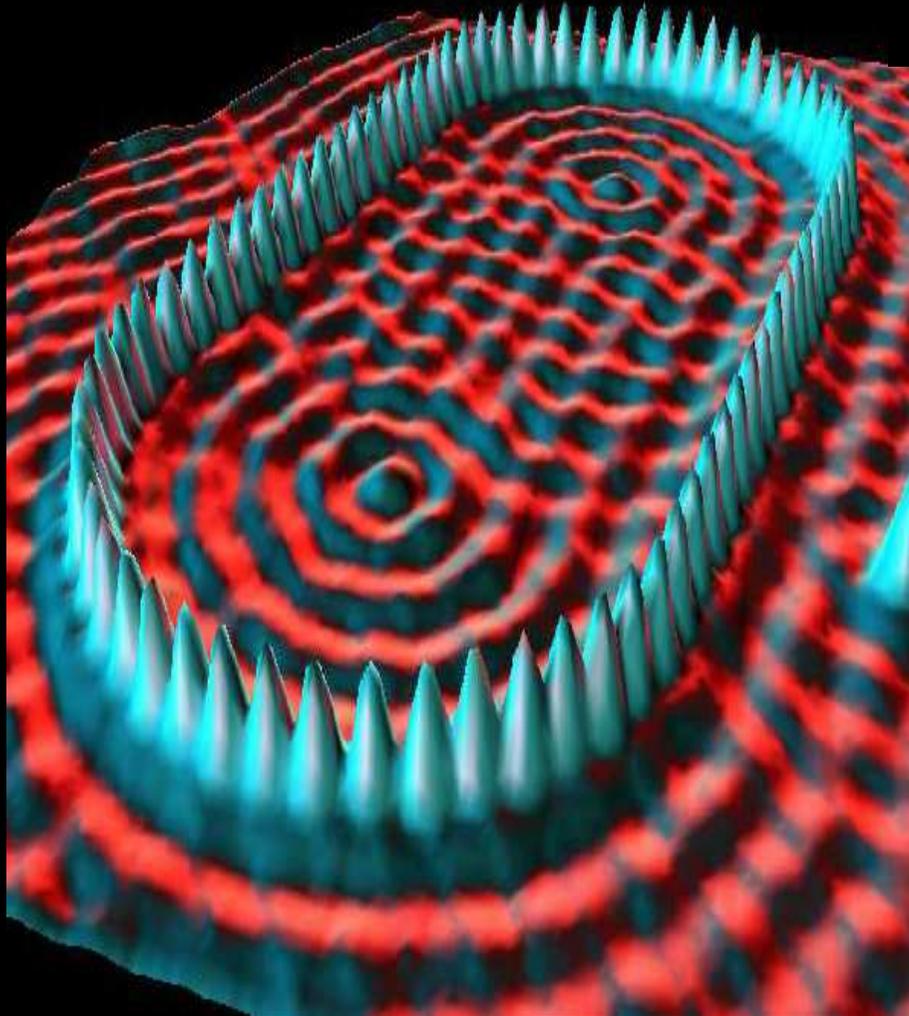
2) Caractériser une surface



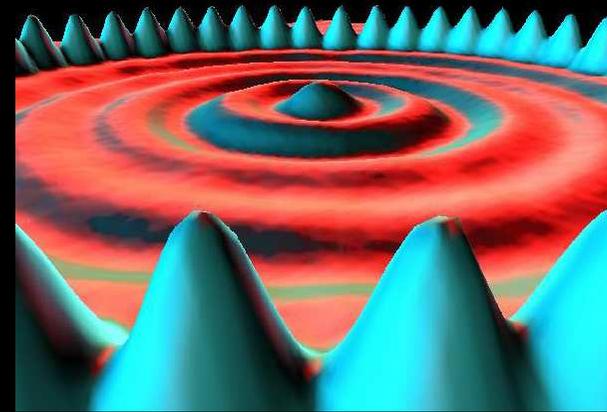
Un corail quantique, constitué de 48 atomes de Fer, repose sur une surface de cuivre. Cette structure, de 143 nm de diamètre, sert à confiner des ondes électroniques.

STM – Side by side with Moore

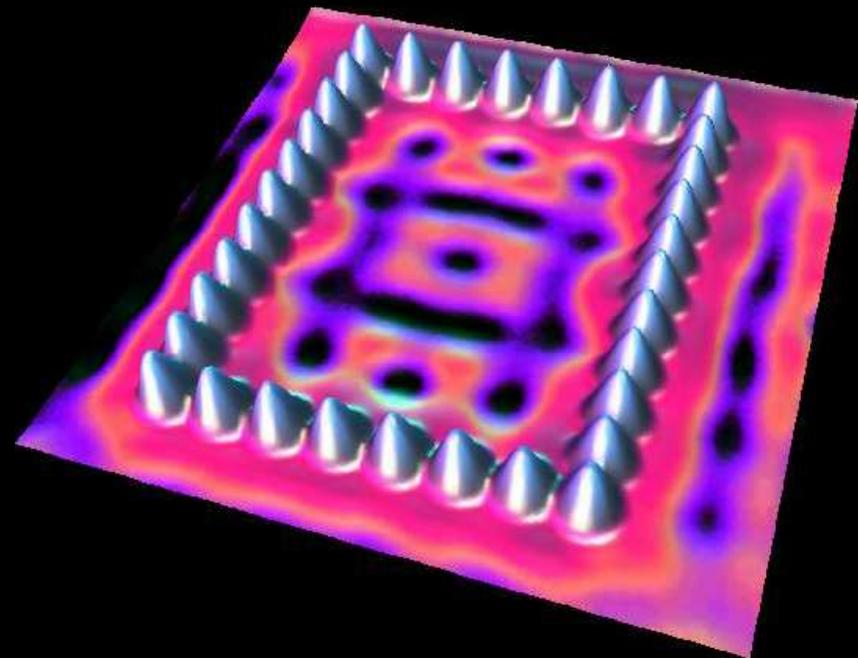
Musée d'images à IBM



Stadium corral (Iron on copper)



Quantum corral (Iron on copper)

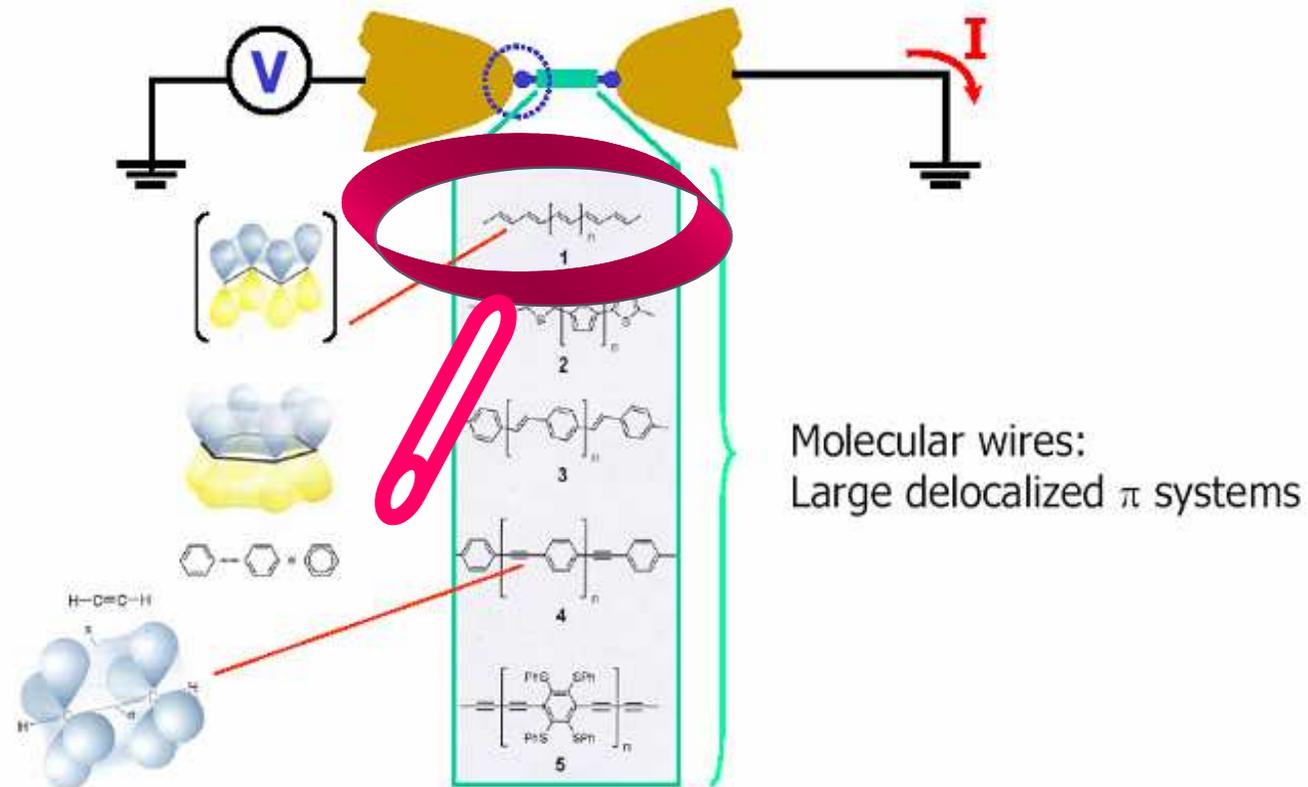


Rectangular corral (Iron on copper)

STM – Side by side with Moore

Electronic Transport through Single Molecules

Jean-Philippe Bourgoin
CEA

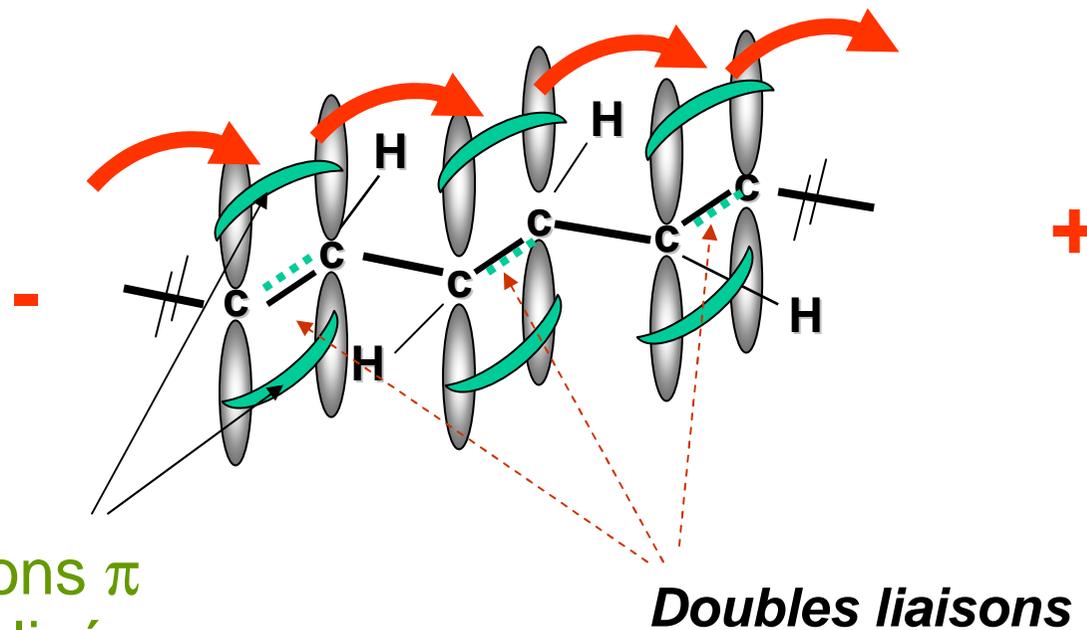


- A) How conductance depends on the binding group of the wire?
- B) How conductance depends on the structure of the wire?

Conductance is a property of the Metal-Molecule-Metal structure

Conduction moléculaire – Side by side with Moore

Déplacement des électrons délocalisés sous l'effet d'un champ électrique



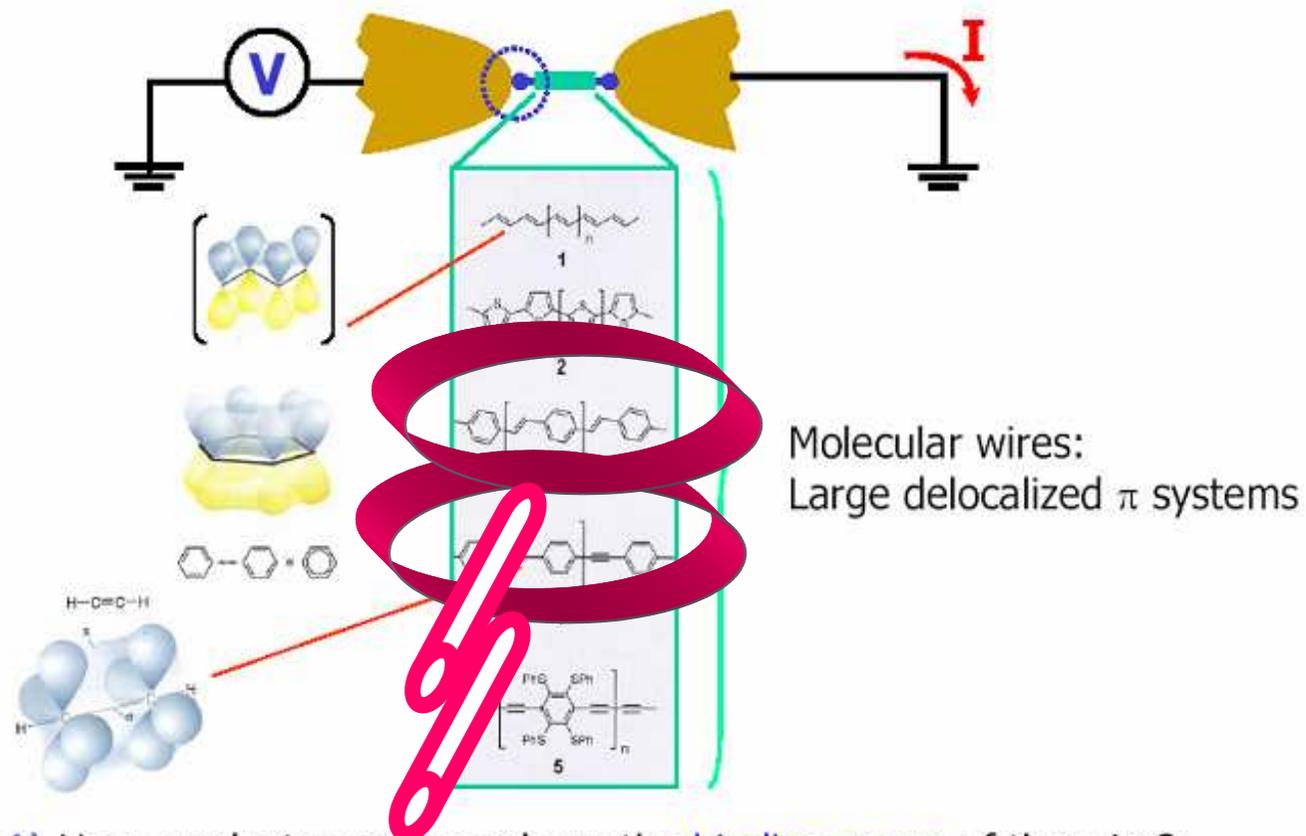
Electrons π
délocalisés

Doubles liaisons

STM – Side by side with Moore

Electronic Transport through Single Molecules

Jean-Philippe Bourgoin
CEA

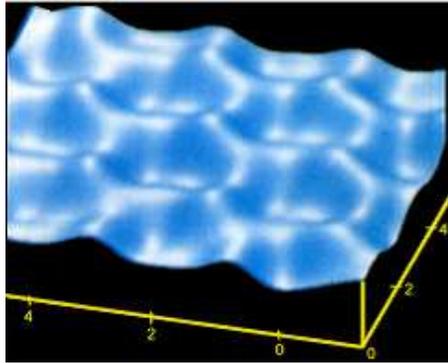


A) How conductance depends on the binding group of the wire?

B) How conductance depends on the structure of the wire?

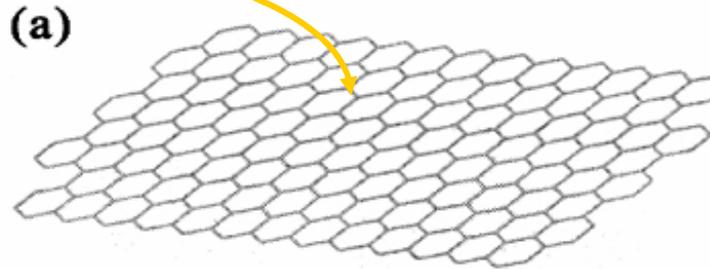
Conductance is a property of the Metal-Molecule-Metal structure

Carbone nanotubes – Side by side with Moore



Surface d'un feuillet de graphite analysée au STM

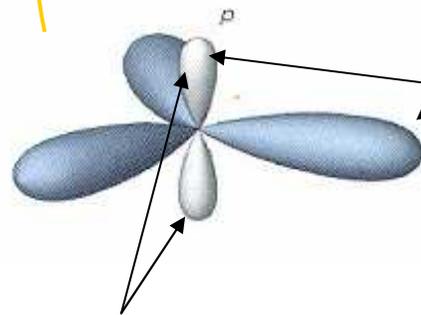
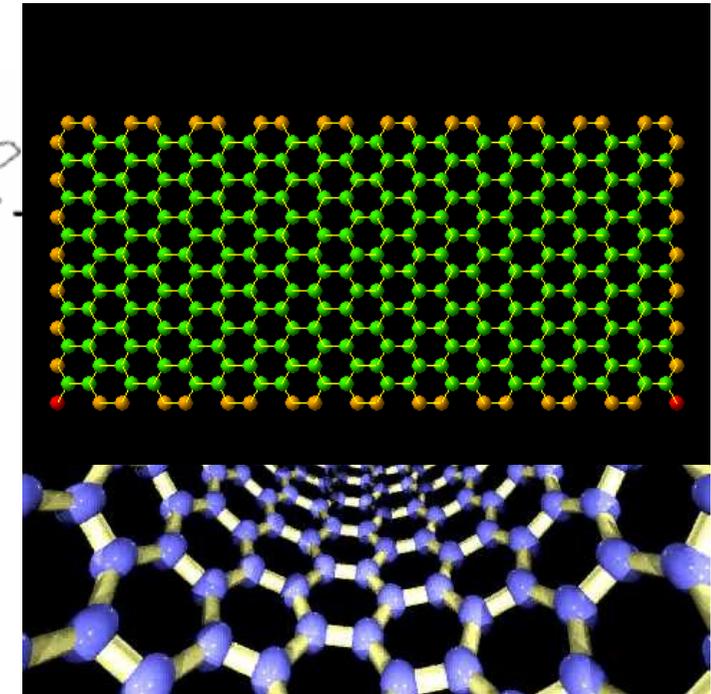
Structure d'un nanotube de carbone mono-parois



graphene sheet

Feuillet de graphène

Enroulement d'un feuillet



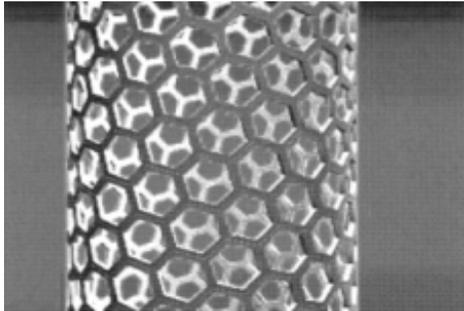
Dans le carbone graphite, la densité électronique se distribue dans trois directions à 120° les unes par rapport aux autres pour assurer la cohésion de chaque plan de graphène (liaisons sigma)

La cohésion entre les différents plans est assurée par le recouvrement des électrons pi situés dans le plan perpendiculaire.

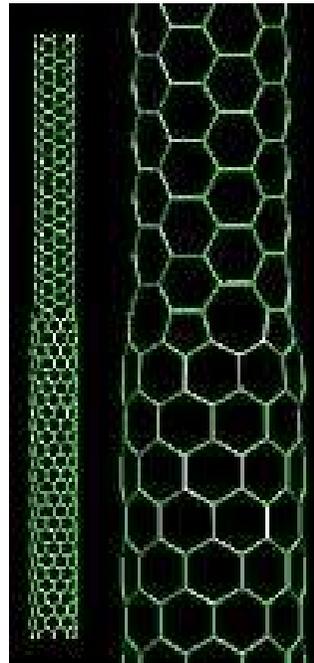
Carbone nanotubes – Side by side with Moore

Monotubes de carbone simple mur et multimur
Single wall (SWNT) and multiwall (MWNT) carbon nanotubes

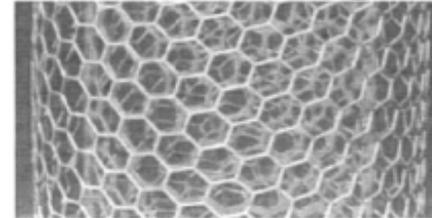
Monotube simple parois



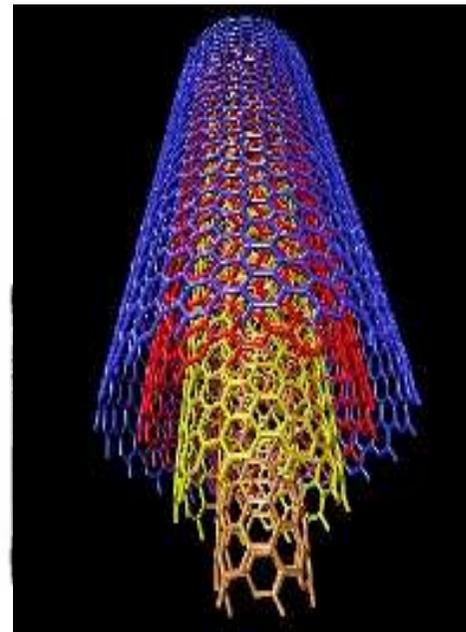
Diamètre : quelques nm



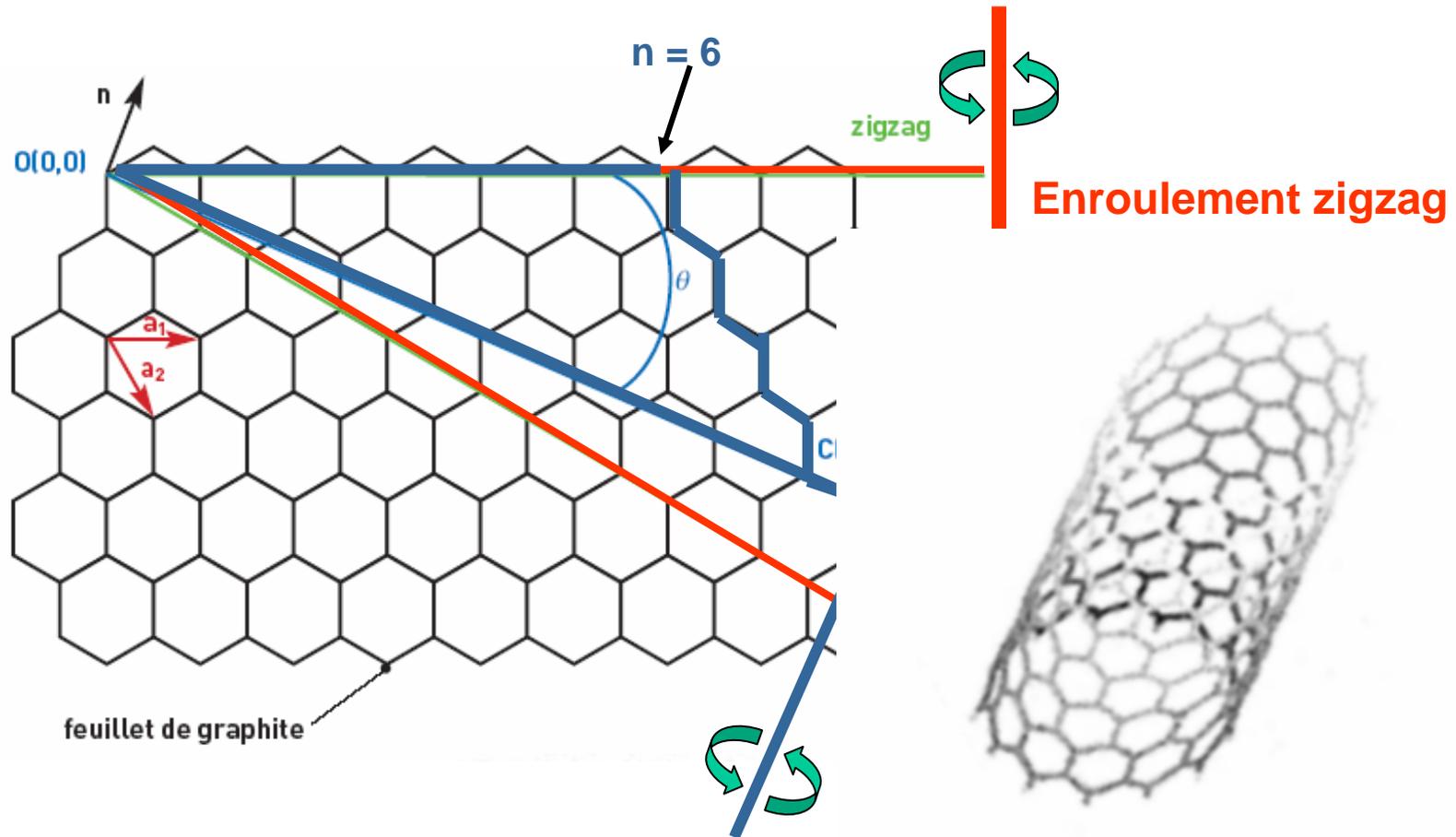
Monotubes multi-parois



Séparation entre parois : 0,34 nm



Chiralité des nanotubes de carbone monoparois



La chiralité de ce nanotube est : $n = 6, m = 4$

Side by side with Moore

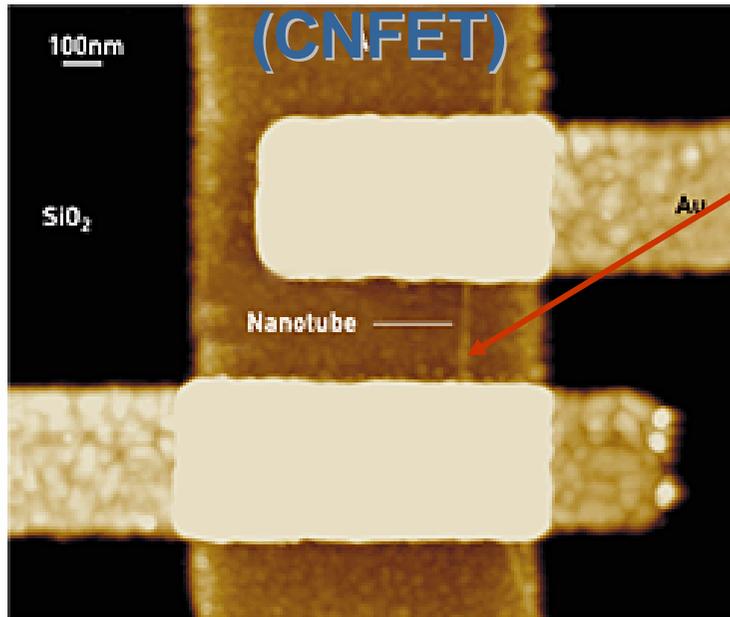
~ Les transistors nanotubes

~ La nano-électronique sous vide

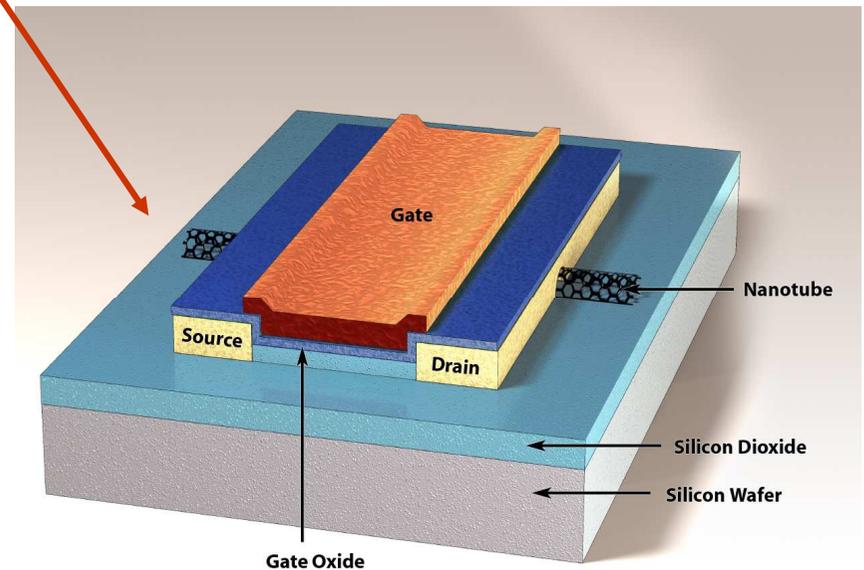
Il ne faudrait surtout pas attendre 2020 pour trouver des applications aux nouvelles technologies. Chercher de nouvelles applications est l'affaire de tous et pas seulement celui des « industriels » qui ont des problèmes difficiles de compétitivité sur leurs marchés déjà existants.

Transistors à un seul CNT – Side by side with Moore

Transistor simple paroi



Nanotube $\phi \sim 1\text{nm}$

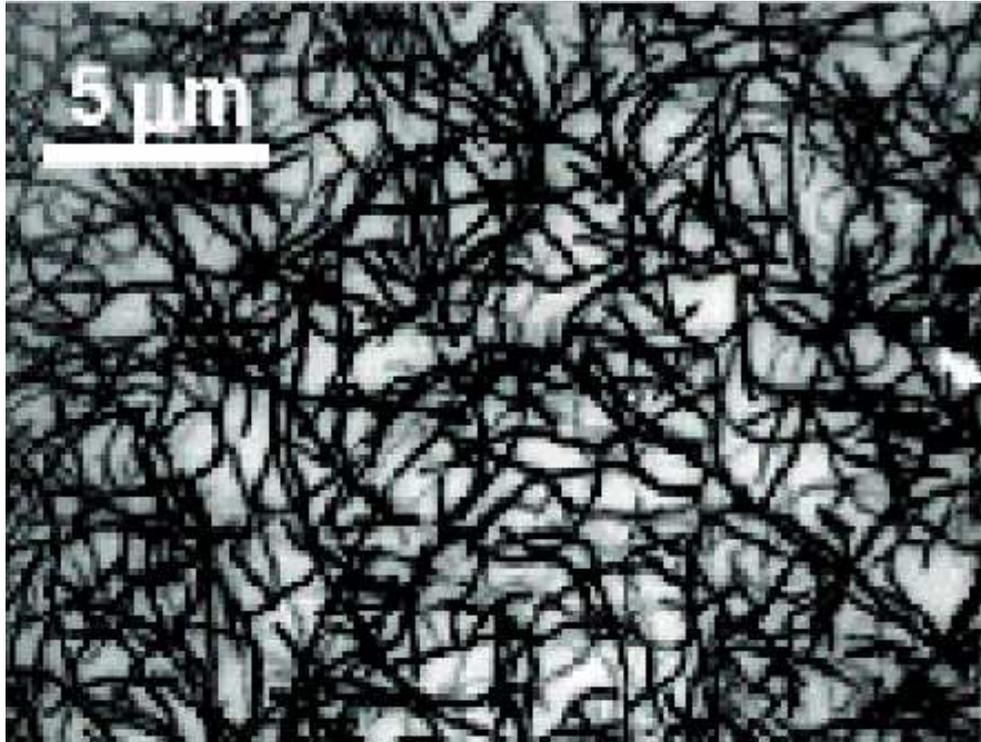


NANOTUBE TRANSISTOR

Dekker's group fabricated individually controllable transistors using carbon nanotubes and metal electrodes.

Ph. Avouris, IBM

Transistors CNT MAT 2D – Side by side with Moore



Lorsque la densité de nanotubes monoparois est de quelques unités par μ^2 , les nanotubes semiconducteurs forment une continuité électrique entre la source et le drain.

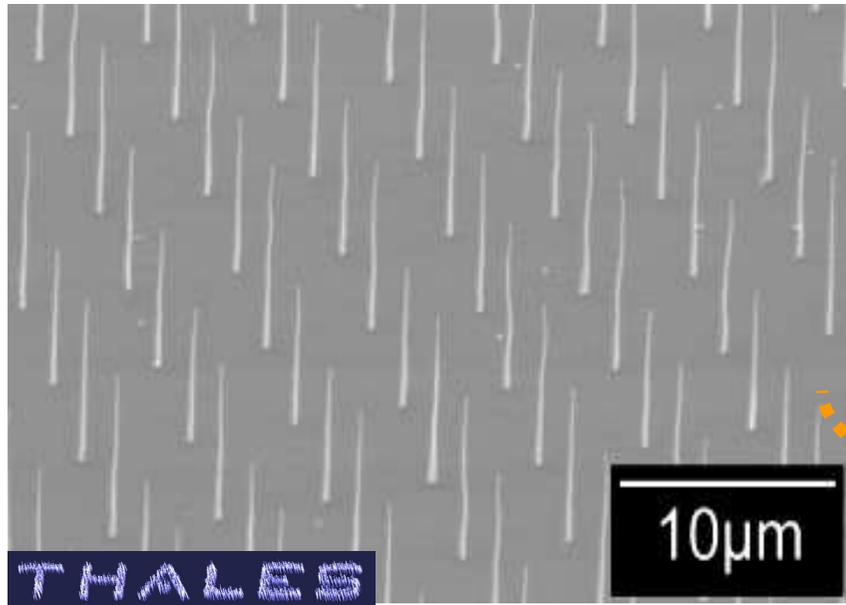
Lorsque la densité de nanotubes monoparois est de quelques dizaines d'unités par μ^2 , les nanotubes métalliques forment une continuité électrique entre la source et le drain.

Ainsi, un transistor peut être réalisé par simplement avec des nanotubes monoparois :

- Le canal étant constitué de nano-tubes peu dense.*
- Les contacts source – drain et la grille étant constitués de nano-tubes très denses*
- une couche mince de diélectrique organique isole la grille du canal*

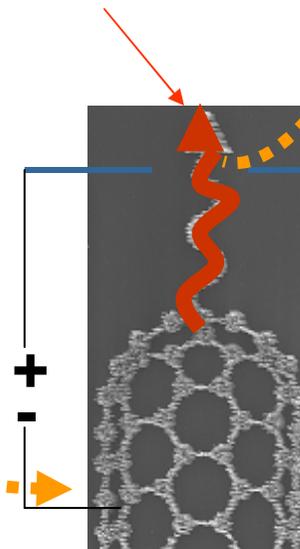
Nano-électronique sous vide

Nanoélectr. sous vide – Side by side with Moore

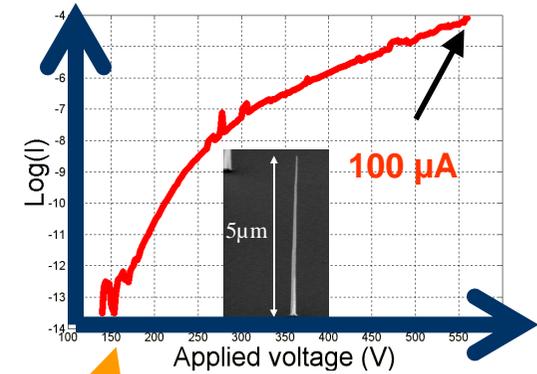


Nanotubes de carbone

Émission d'électrons

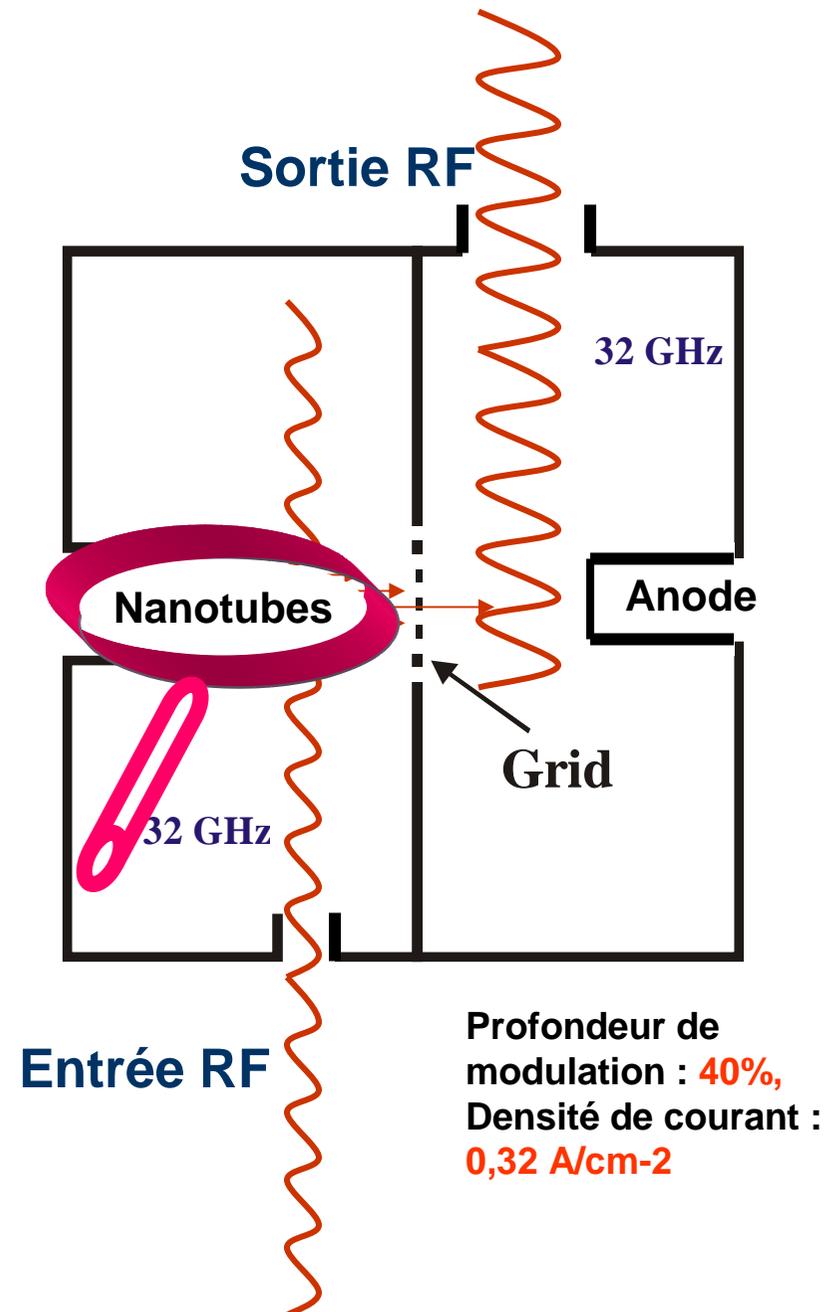
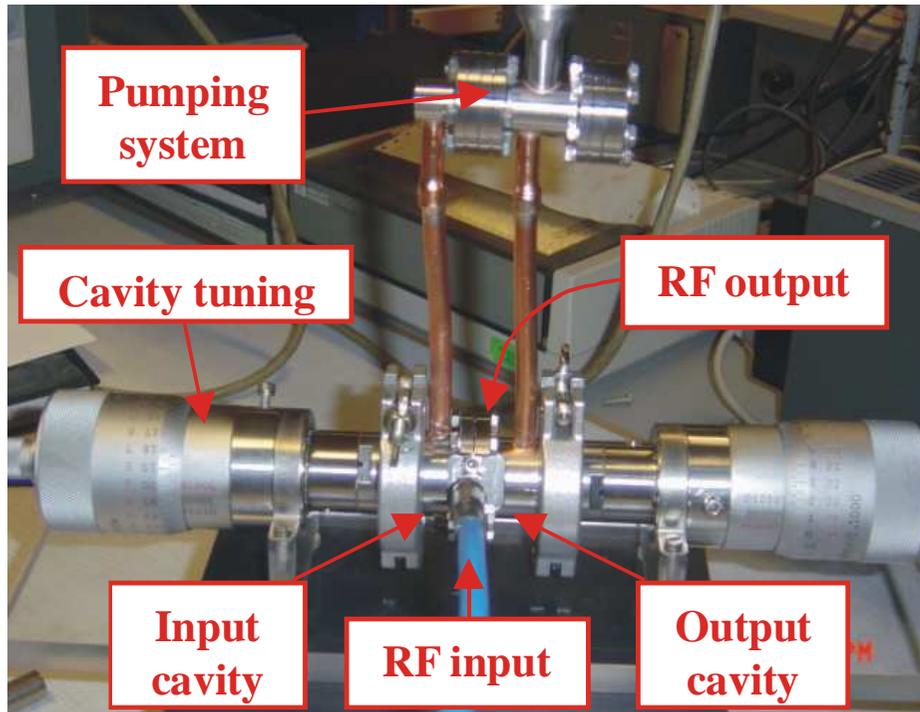


Cathode froide
en nano-tubes
de carbone



Nanoélectr. sous vide – Side by side with Moore

Montage triodes



Teo, E. Minoux, L. Hudanski, F. Peauger, J.-P. Schnell, L. Gangloff, P. Legagneux, D. Dieumegard, G. Amaratunga, and W. 1.K. B. K. I. Milne, "Microwave devices : Carbon Nanotube as Cold Cathodes", Nature 437, 968 (2005)

Ecran plasma nanotube – Side by side with Moore



Copyright © Motorola

Side by side with Moore

~ L'électronique de Spin

Il ne faudrait surtout pas attendre 2020 pour trouver des applications aux nouvelles technologies. Chercher de nouvelles applications est l'affaire de tous et pas seulement celui des « industriels » qui ont des problèmes difficiles de compétitivité sur leurs marchés déjà existants.

Electronique de SPIN

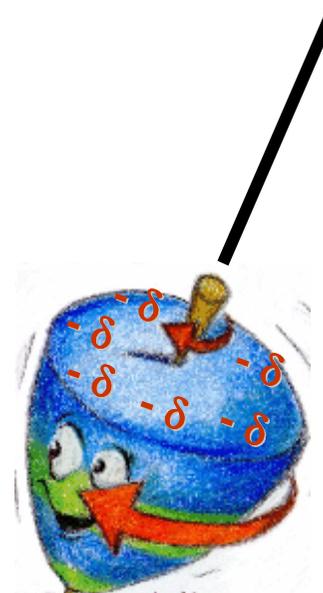
(Spintronics)

Spin des électrons – Side by side with Moore

Le spin des électrons peut s'interpréter en considérant qu'ils sont pourvus d'une charge électrique distribuée sur leur périphérie et qu'ils sont animés d'un mouvement de rotation, dans un sens pour un spin, dans l'autre sens pour l'autre spin.

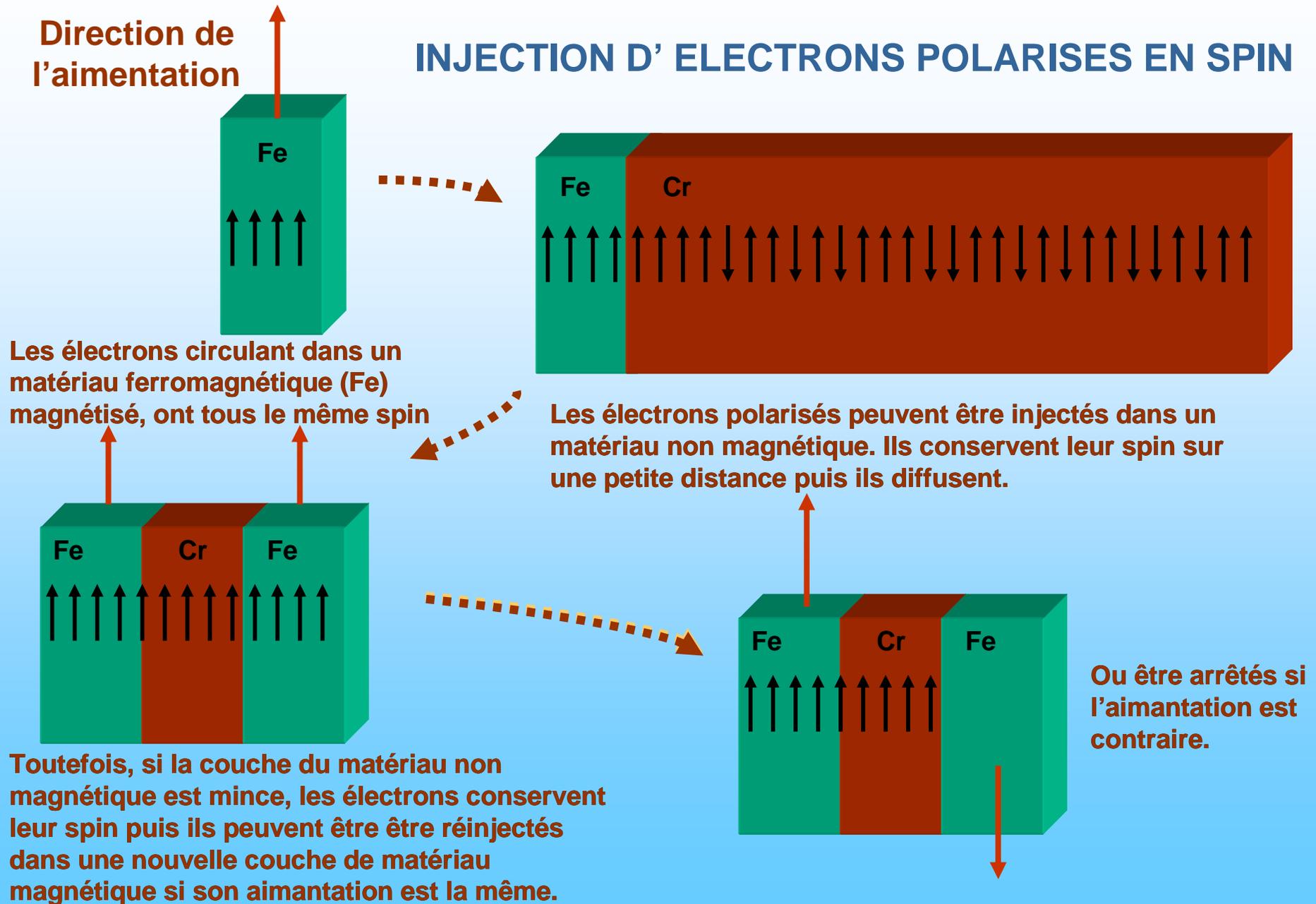


Si on définit
arbitrairement
que cet électron
possède le spin
 $+1/2$



Celui-ci possède
arbitrairement p
le spin $-1/2$

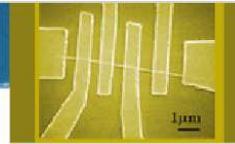
Spin des électrons – Side by side with Moore



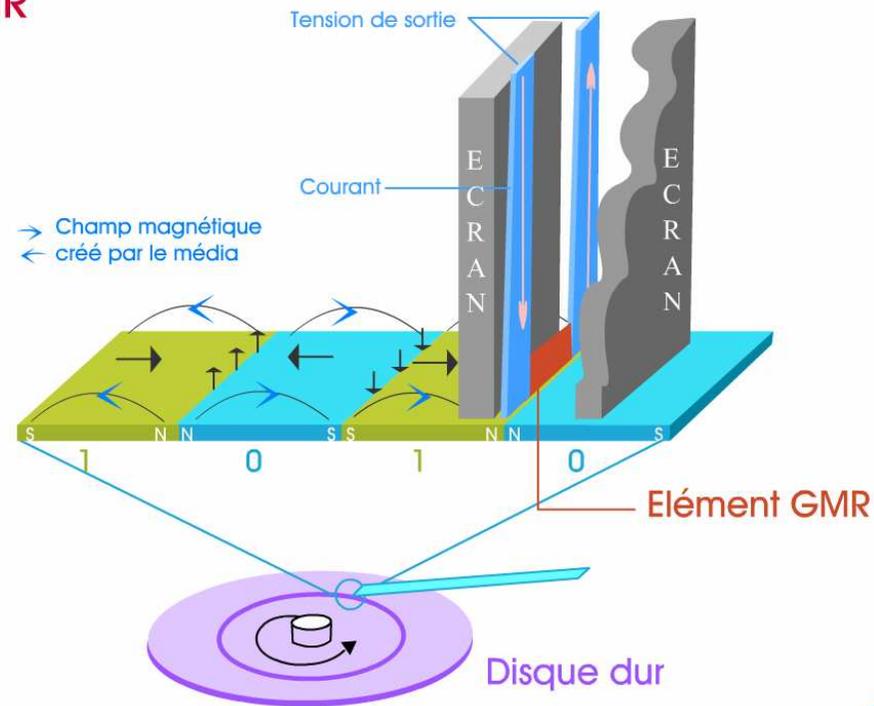
Magnétorésistance géante – Side by side with Moore

application au stockage

■ ■ Tête de lecture
GMR



L'électronique de spin



SOMMAIRE

La micro-électronique suit la loi de Moore

Quand la micro devient nano par conventions

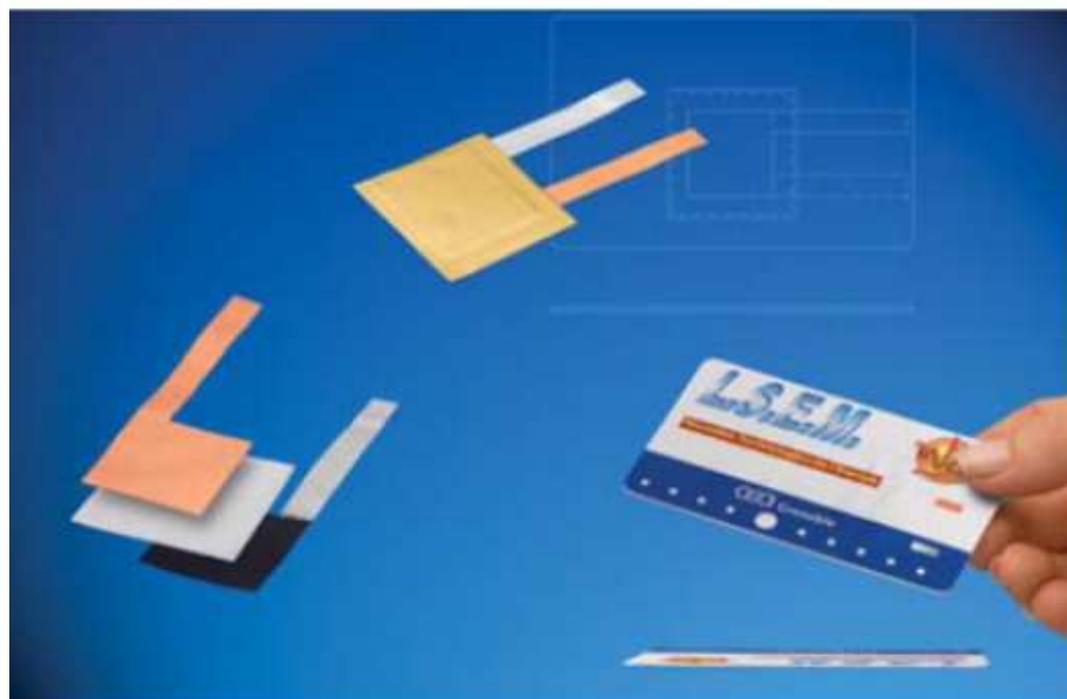
**La nano, plus que des conventions, des effets
mésoscopiques**



Nanotechnologies et énergie

Exemples de capteurs - Sensors

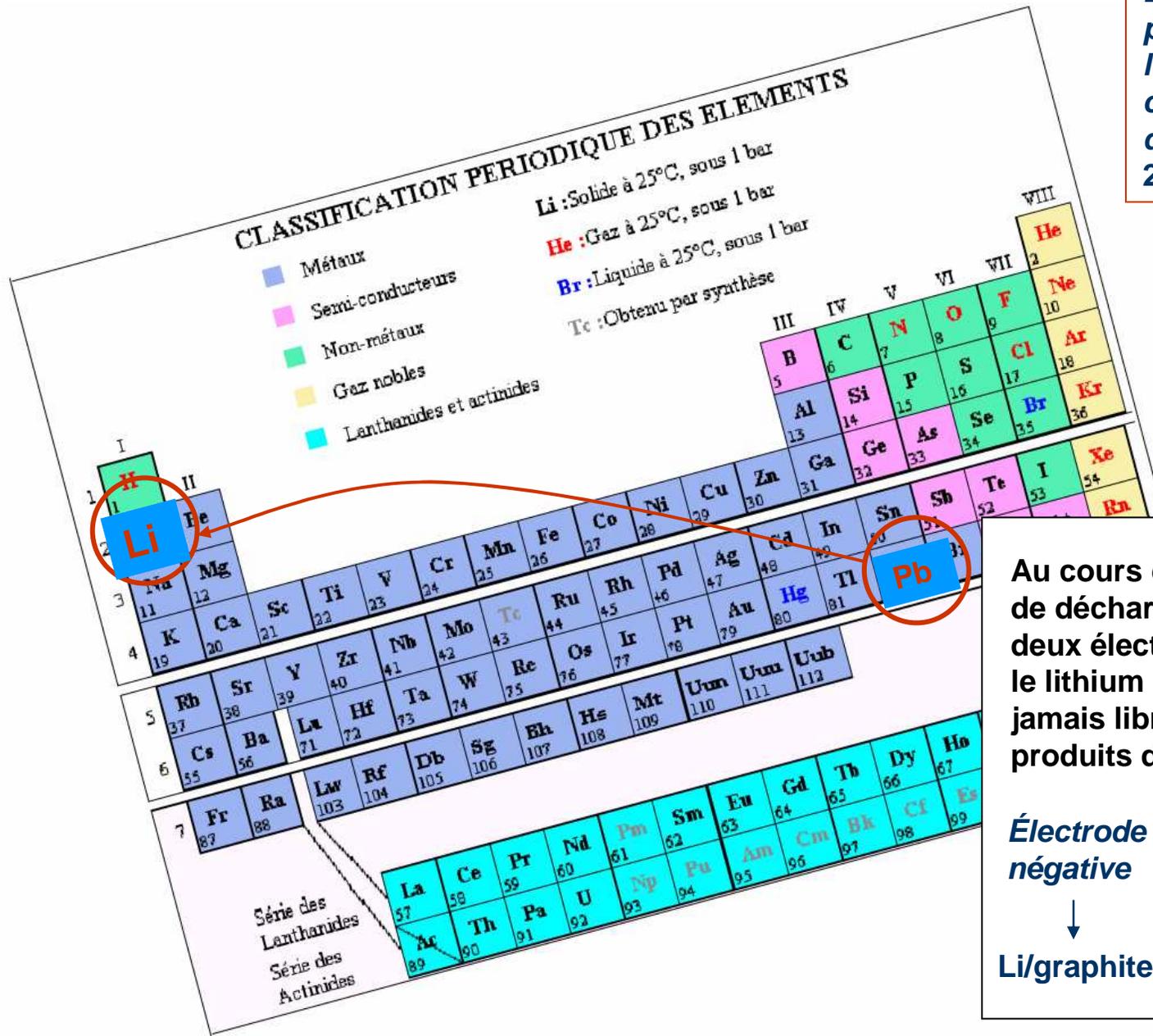
les accumulateurs lithium et les électrolytes de batteries



CEA/Arsc/Inisques

Dans la foulée du développement considérable des accumulateurs au lithium qui a accompagné celui des appareils portables, les chercheurs du CEA développent avec leurs partenaires industriels et universitaires des technologies originales et à bas coût et travaillent sur de nouvelles familles d'électrolytes de batteries.

Energie – Accumulateurs Li-ion



Le remplacement du plomb, Pb^{2+} , ($M=207$) par le Lithium Li^+ , ($M=6,9$) doit conduire à une réduction de poids dans le rapport : $207 / (6,9 \times 2)$

Au cours d'un cycle de charge et de décharge, l'ion Li^+ circule entre deux électrodes où après réduction le lithium métallique n'apparaît jamais libre mais sous la forme de produits d'intercalation :

Électrode négative

↓
 Li/graphite

Électrode positive

↓
 Li/oxyde métallique

Energie – Accumulateurs Li-ion

De nombreux matériaux de remplacement sont étudiés

EELS SPECTROSCOPY OF FEF₂/C and FEF₃/C NANOCOMPOSITES ON POSITIVE ELECTRODES IN LI-ION BATTERIES, Frederic Cosandey, Jafar Al-Sharab and Glenn G. Amatucci. Email: cosandey@rci.rutgers.edu

Journal of The Electrochemical Society

Abstract

[Print abstract](#)

[ISSUE TOC](#)

[PAGE/SECTION INDEX](#)

[SEARCH ALL ISSUES](#)

[VIEW MYARTICLES](#)

[← PREV](#) [NEXT →](#)

Reaction Mechanism of a Ag_{36.4}Sb_{15.6}Sn₄₈ Nanocomposite Electrode for Advanced Li-Ion Batteries

J. Electrochem. Soc., Volume 152, Issue 1, pp. A152-A157 (2005)

Ewa Rönnebro,^a Jintian Yin,^a Akiko Kitano,^b Masahi Wada,^c Shigeo Tanase,^a and Tetsuo Sakai^a

Latest Researches

Electrode Made from Mesoporous Nanocomposite Materials to Upgrade Power Density of Lithium Rechargeable Battery by Two Orders of Magnitude or More
-Lithium Rechargeable Battery with Super-Capacitor Feature Made Available -

(Translation of the AIST press released on January 18, 2005)

Electrochemical and Solid-State Letters

Abstract

[ISSUE TOC](#)

[PAGE/SECTION INDEX](#)

[SEARCH ALL ISSUES](#)

[VIEW MYARTICLES](#)

[Print abstract](#)

[← PREV](#) [NEXT →](#)

Nanostructured Si/TiB₂ Composite Anodes for Li-Ion Batteries

Electrochem. Solid-State Lett., Volume 6, Issue 8, pp. A157-A161 (August 2003)

Il-seok Kim,^a G. E. Blomgren,^{ab} and P. N. Kumta^a

Department of Materials Science and Engineering, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania 15213, USA
Blomgren Consulting Services Limited, Lakewood, Ohio 44107, USA

New Silicon and Titanium Boride Nanocomposite Anodes for Li-Ion Batteries

Il-seok Kim* and Prashant N. Kumta*

*Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania 15213

G. E. Blomgren**

*Blomgren consulting Services Ltd., 1554 Clarence Avenue, Lakewood, Ohio 44107

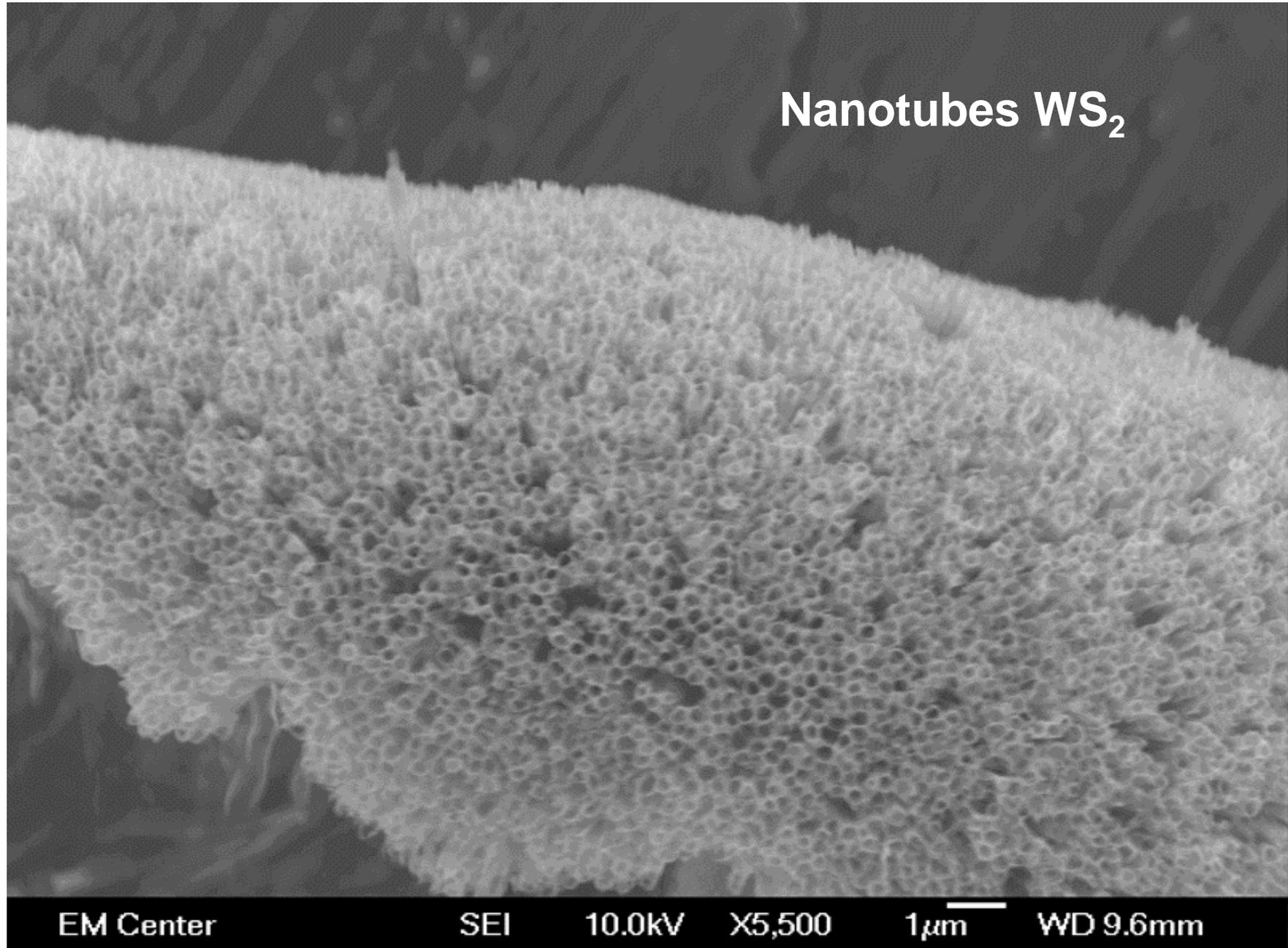
Physical Inorganic Chemistry

Dichalcogenide Nanotube Electrodes for Li-Ion Batteries.

Robert Dominko, Denis Arcon, Ales Mrzel, Andrej Zorko, Pavel Cevc, Peter Venturini, Miran Gaberscek, Maja Ramskar, Dragan Mihailovic

Energie – *Accumulateurs Li-ion*

Nanotubes WS_2



EM Center

SEI

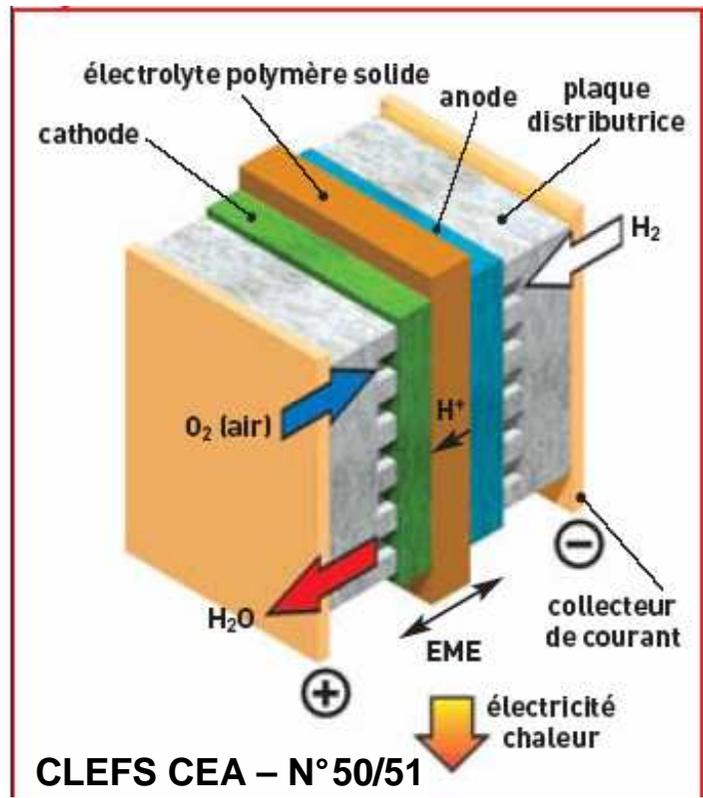
10.0kV

X5,500

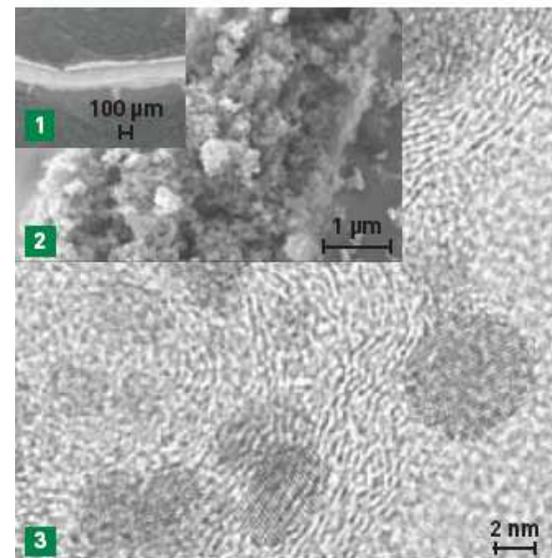
1 μ m

WD 9.6mm

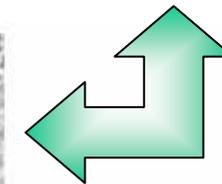
Energie – Piles à combustibles



De nombreux travaux concernent la membrane « électronique polymère » et ses interfaces avec les électrodes.



CLEFS CEA – N° 50/51



Analyses par microscopies électroniques à balayage (MEB) et en transmission (MET) d'un cœur de pile et de ses composants.
1 Ensemble électrodes-membrane observé au MEB.
2 Couche active d'électrode examinée au MEB-FEG-haute résolution.
3 Catalyseur constitué de nanoparticules à base de platine supportées sur de la poudre de carbone vu au MET-HR.

Des études menées au CEA et au CNRS envisagent aussi la catalyse des réactions anodiques et/ou cathodiques par des enzymes élaborées par des bactéries (biocatalyse).



Energie – *Piles à combustibles*

Évolution de la technologie des micropiles à combustible : du disque de silicium vierge, puis avec les piles élaborées par des techniques couches minces... aux piles découpées et intégrées, et enfin associées à un petit réservoir de combustible précurseur d'hydrogène.



D. Michon-Artechnique/CEA

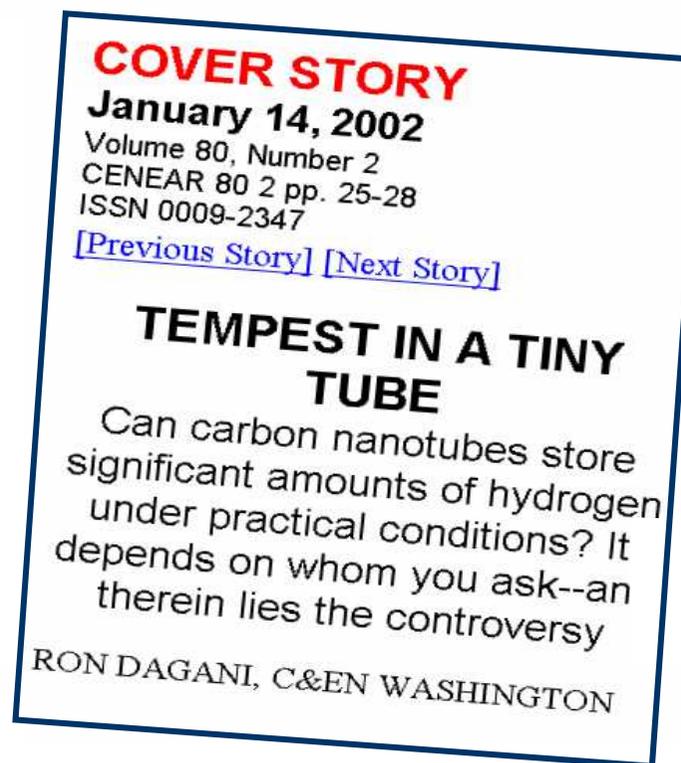
Les nanostructures de carbone

Les nanostructures de carbone, matériaux prometteurs dans nombre d'applications, pourraient constituer une voie des plus innovantes pour stocker l'hydrogène.

Deux catégories de nanomatériaux carbonés se distinguent pour stocker de l'**hydrogène**: les nanotubes⁽¹⁾, qui font l'objet de nombreux travaux et les charbons actifs⁽²⁾, qui paradoxalement n'ont fait l'objet que de très peu d'études, comparativement aux précédents, pour cette application.

Nanotubes : des propriétés à confirmer

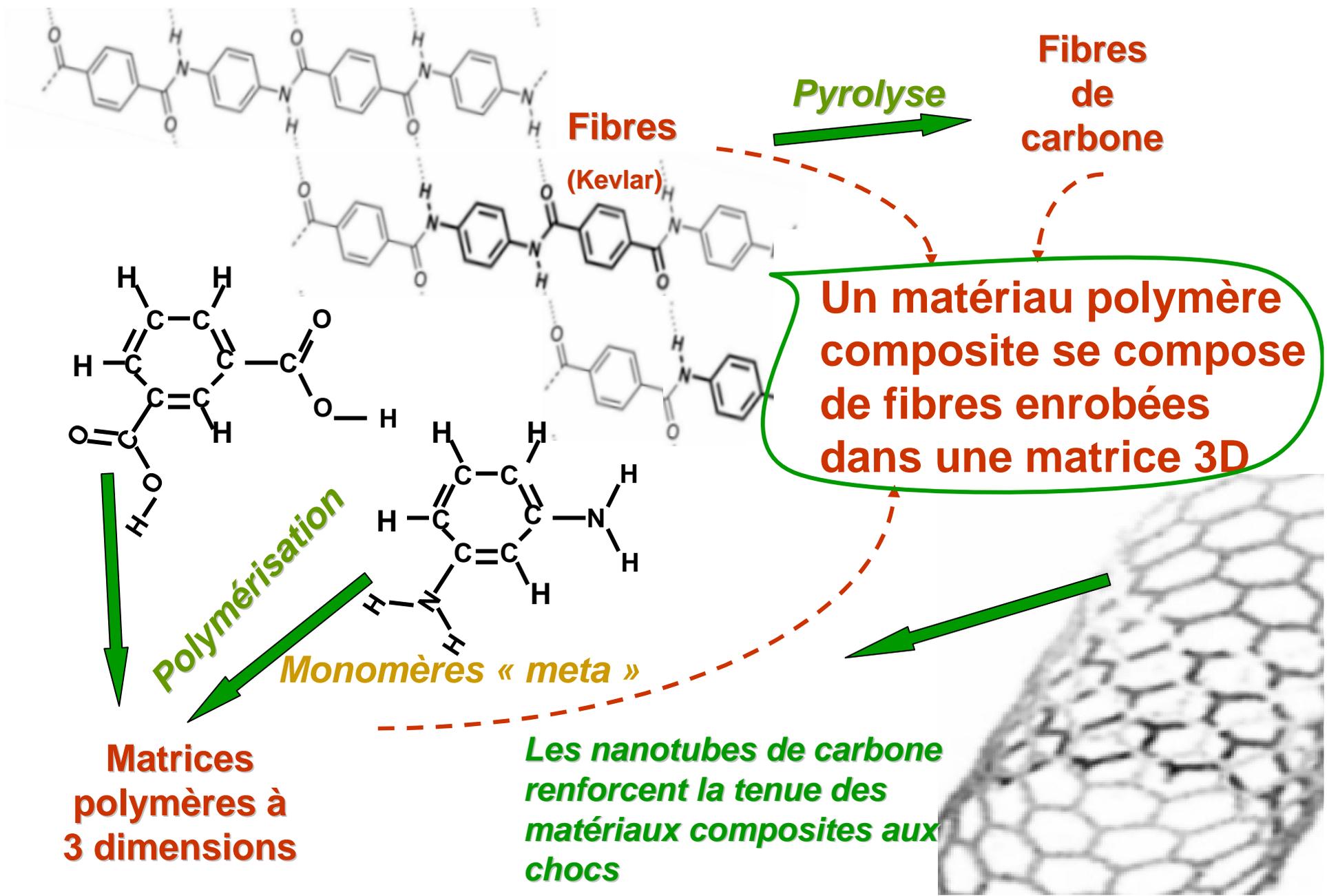
Depuis l'annonce par A. C. Dillon⁽³⁾, en 1997, de la possibilité de stocker de l'hydrogène dans les nanotubes, un grand nombre de travaux ont été menés sur ce sujet. Une vingtaine de communications, ces dernières années, mentionnent des valeurs significatives (> 3 % en masse) dont certaines, très récentes, proviennent de la part de laboratoires renommés (6 % en masse à 2 MPa et 77 K annoncés par Honda et le Lawrence Livermore National Laboratory; 5 % à 10 MPa (100 bars) et température



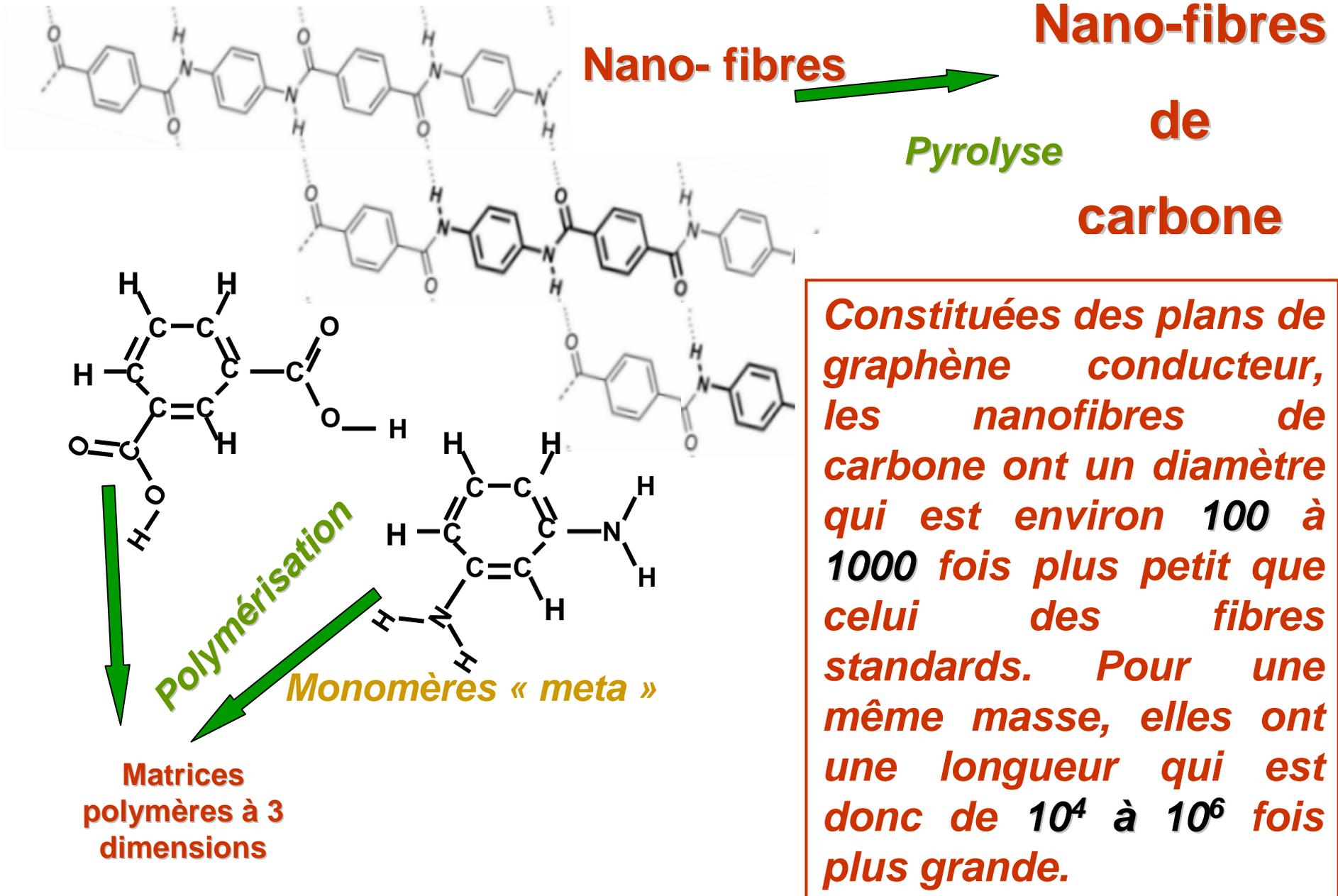
Honda et le Lawrence Livermore National Laboratory ont annoncé pouvoir stocker 6% d'hydrogène en masse dans des nanotubes de carbone à 2 Mpa et 77K.

Blindages *électromagnétiques*

Composite - nanocomposites



Nano-composites - conducteurs



Constituées des plans de graphène conducteur, les nanofibres de carbone ont un diamètre qui est environ 100 à 1000 fois plus petit que celui des fibres standards. Pour une même masse, elles ont une longueur qui est donc de 10^4 à 10^6 fois plus grande.

SOMMAIRE

La micro-électronique suit la loi de Moore

Quand la micro devient nano par conventions

**La nano, plus que des conventions, des effets
mésoscopiques**

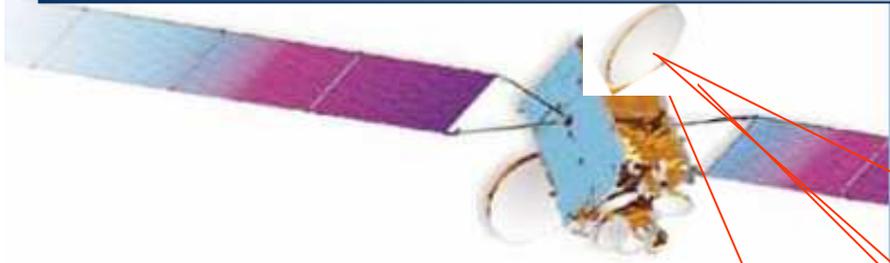
Nanotechnologies et énergie



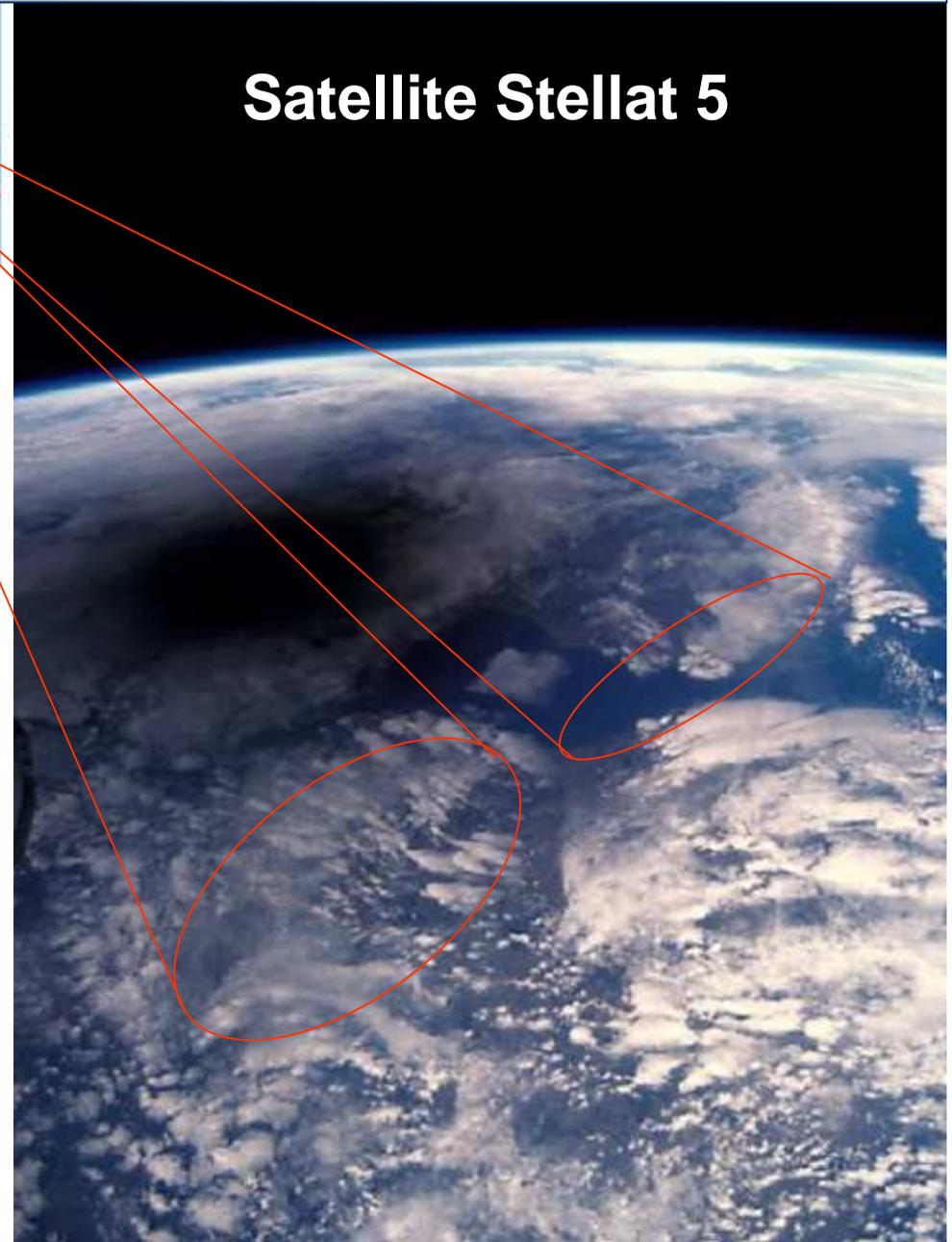
Exemples de capteurs - Sensors

Capteurs - *sensors*

Antenne à modules actifs – *Nitruure de gallium*



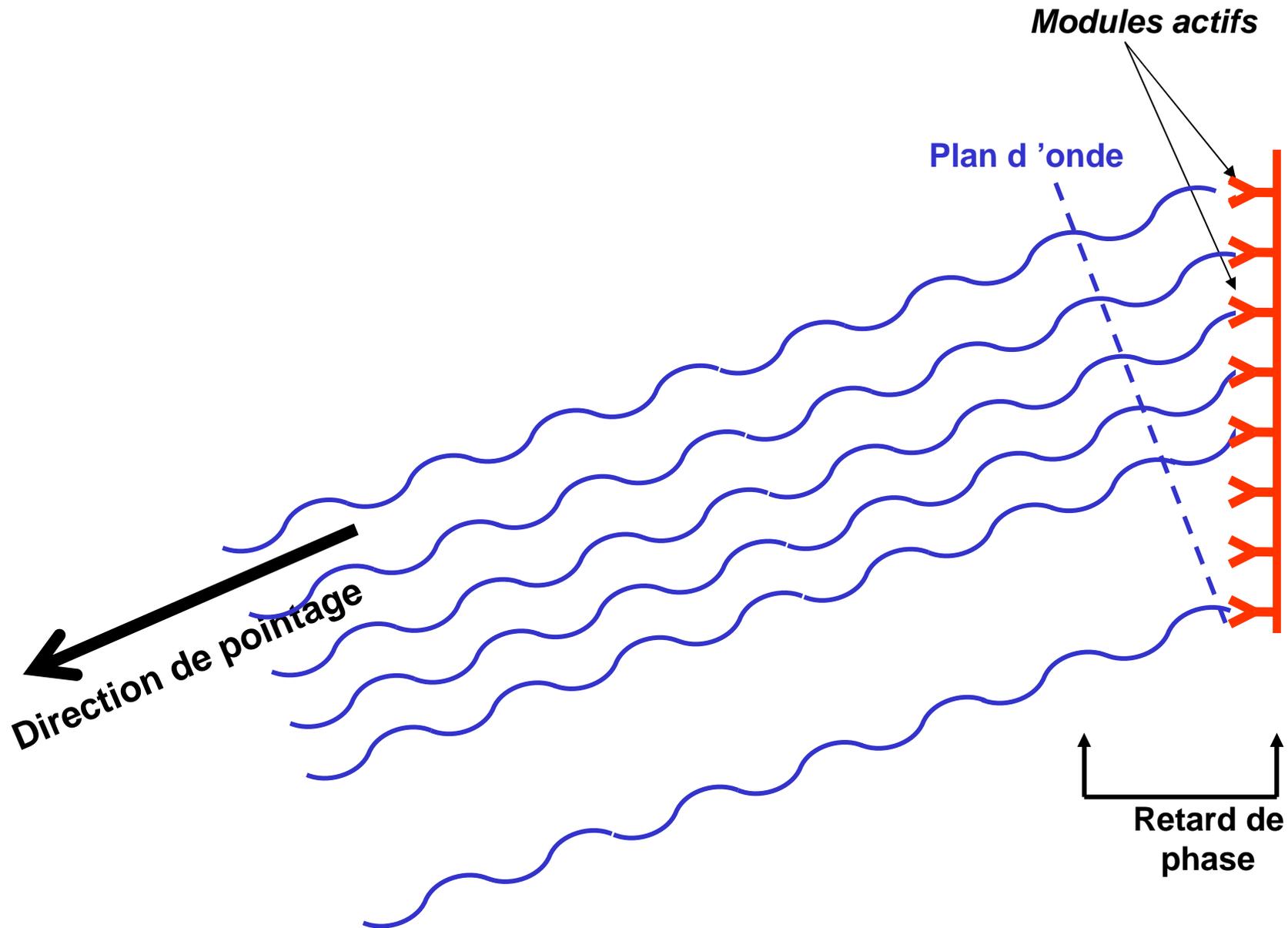
Satellite Stelat 5



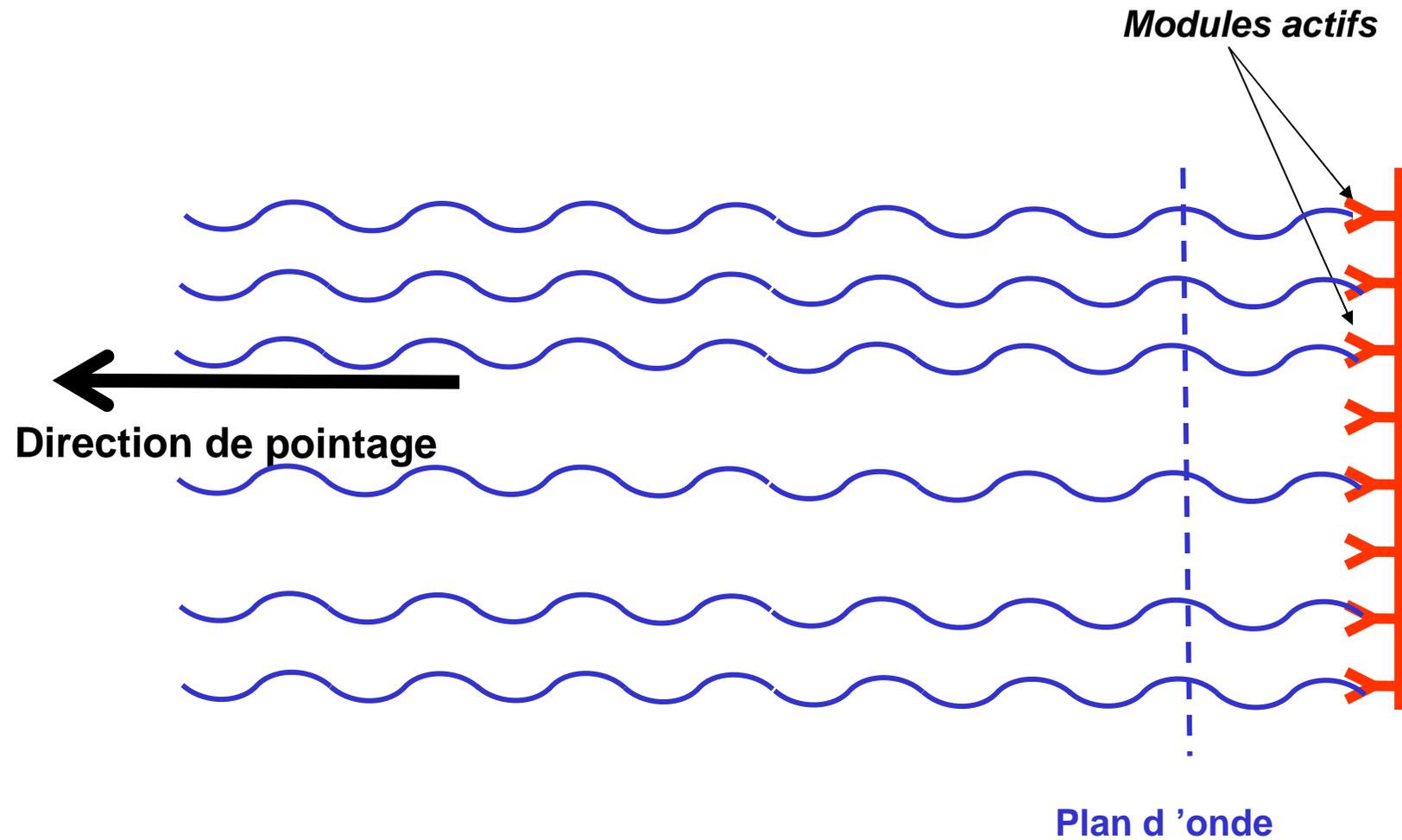
**Liaisons Hyperfréquences
pour
télécommunications spatiale**

***Comme pour les radars,
la solution sera le
balayage électronique***

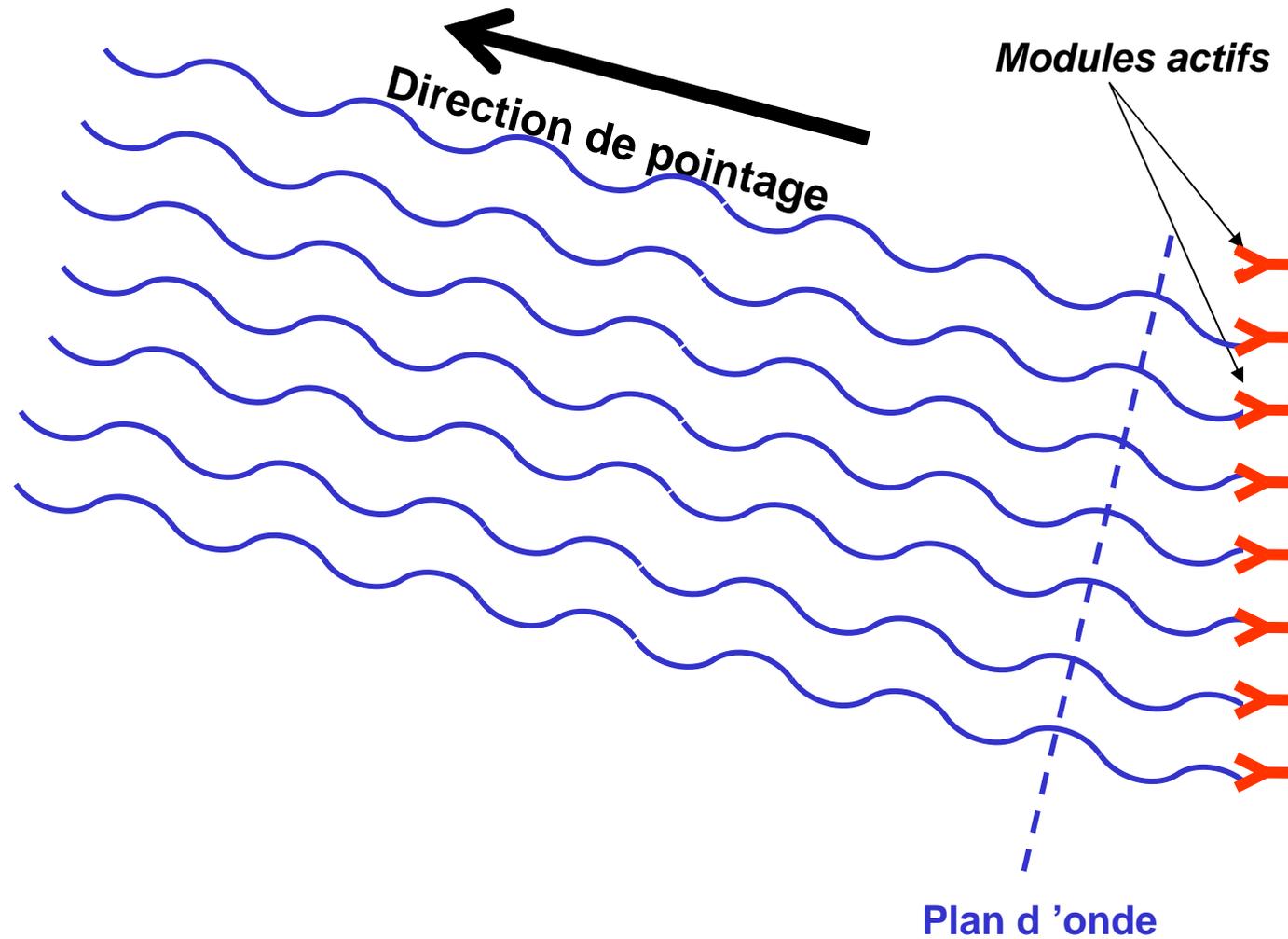
Antenne à modules actifs – *Nitruure de gallium*



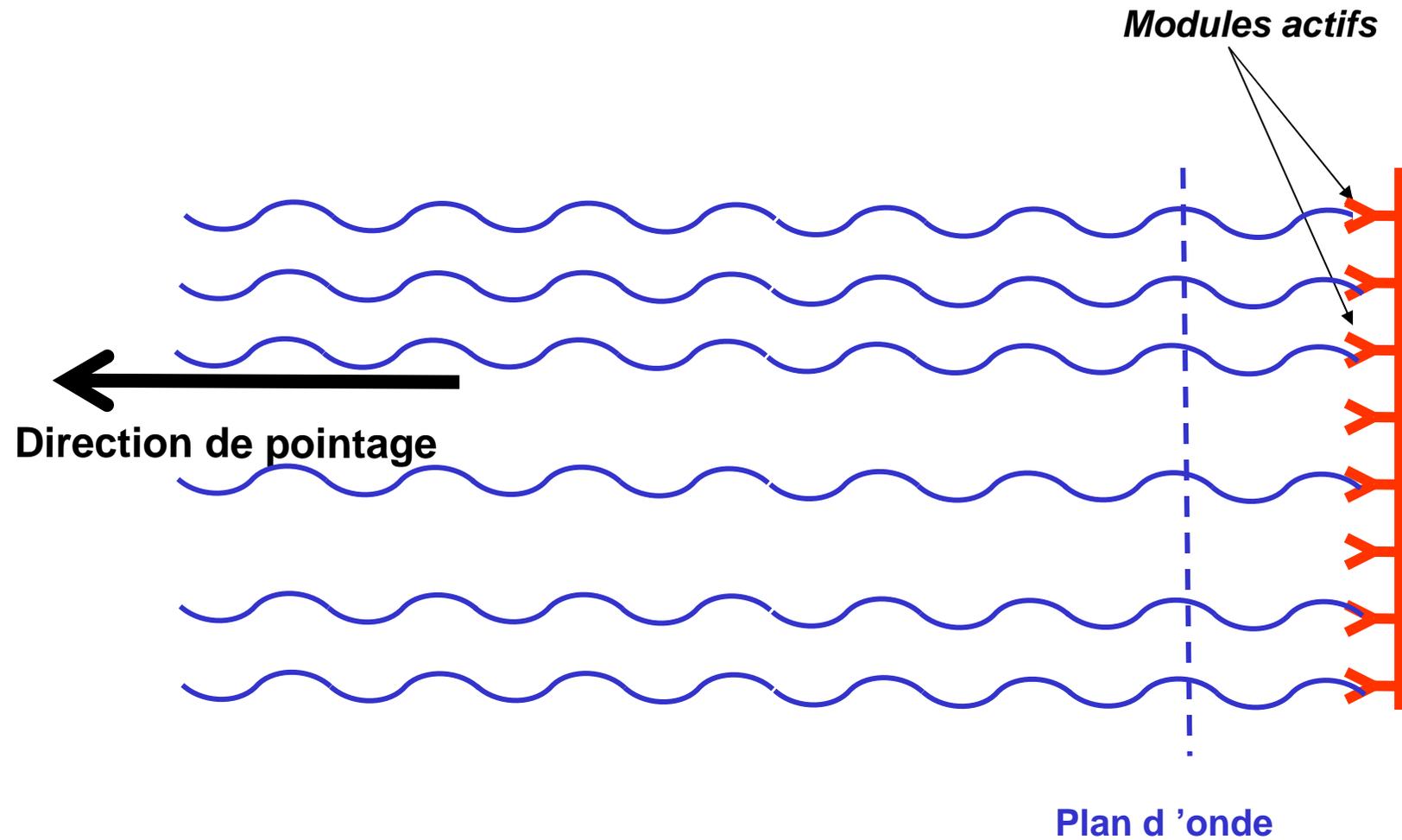
Antenne à modules actifs – *Nitruure de gallium*



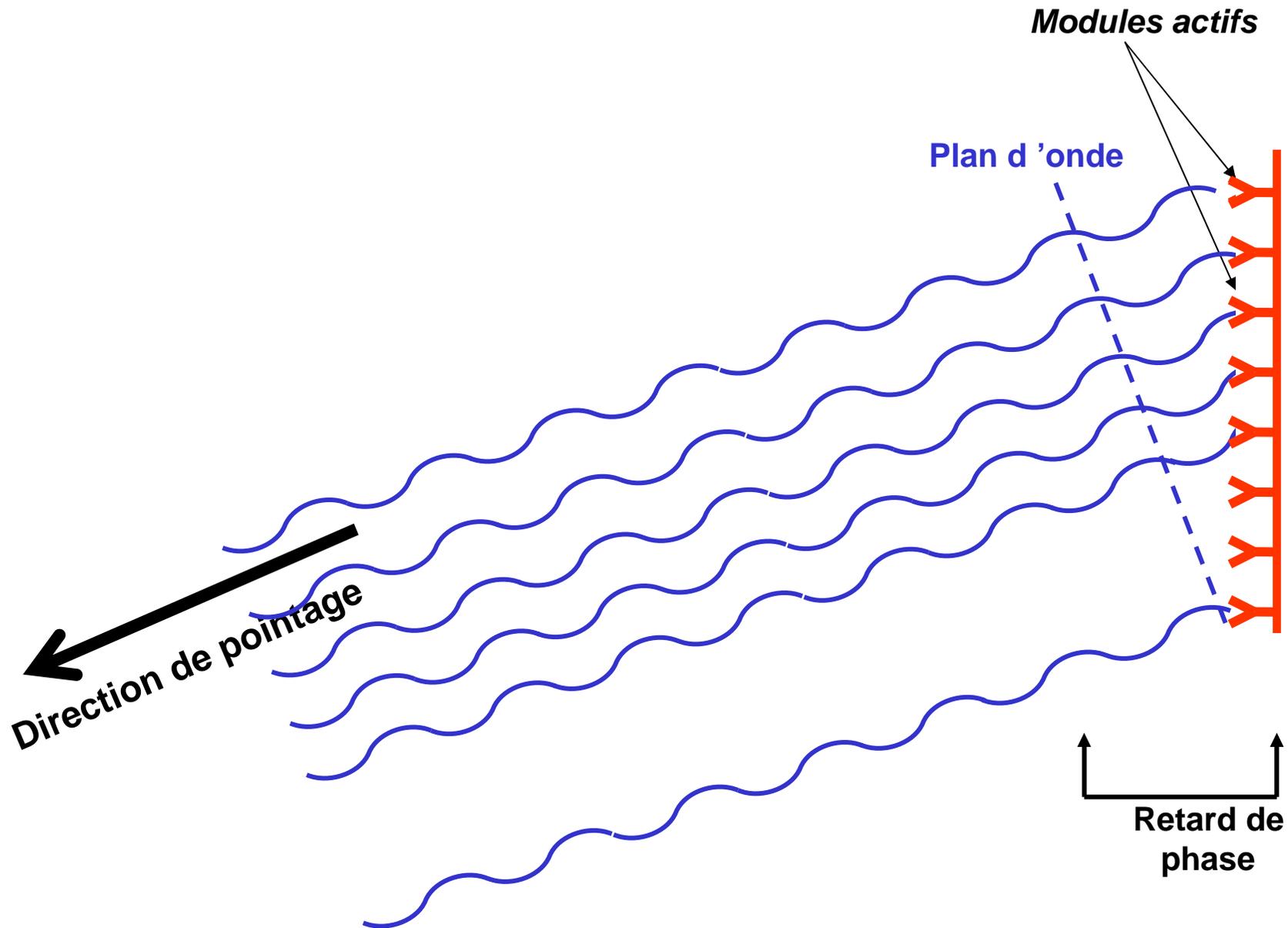
Antenne à modules actifs – *Nitruure de gallium*



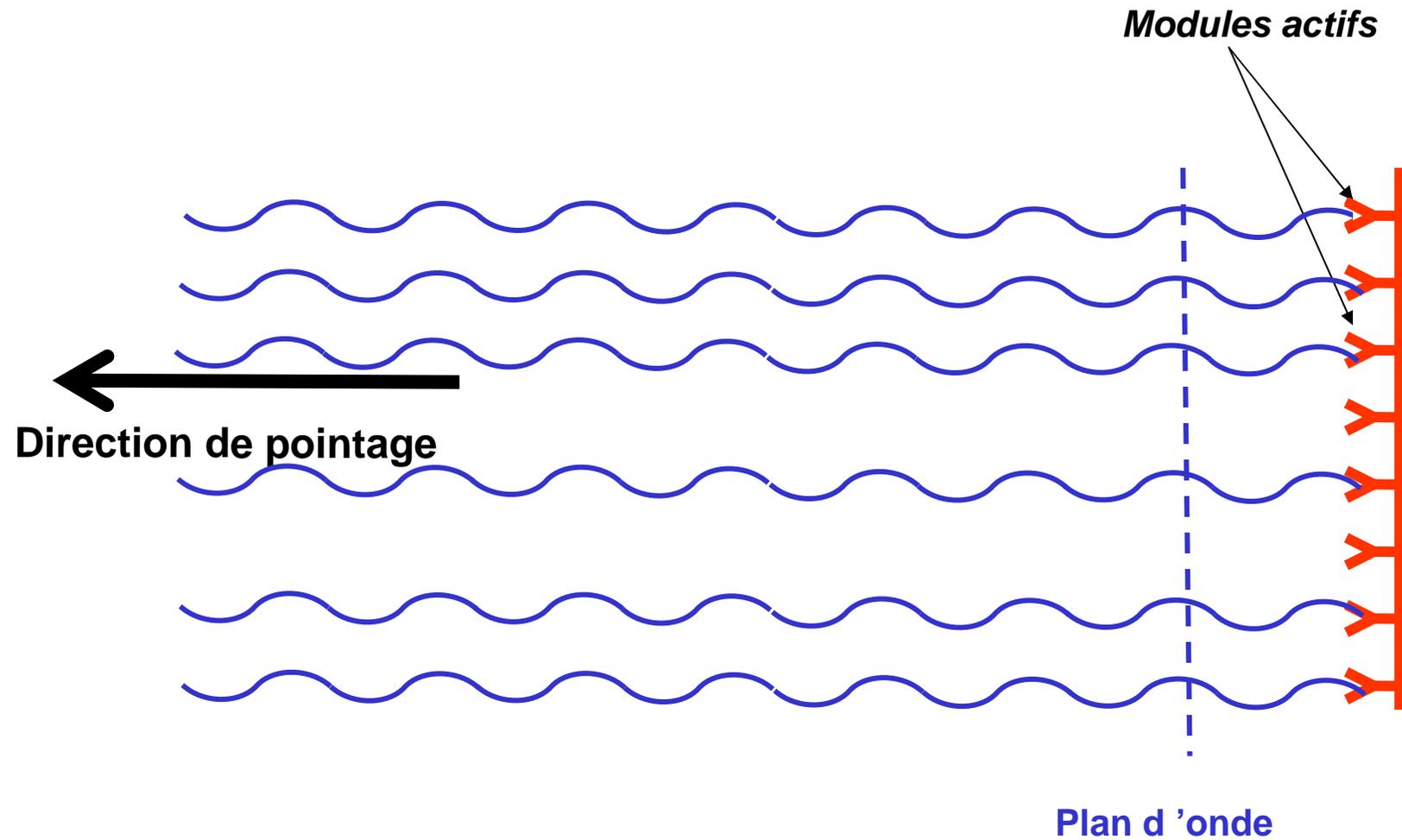
Antenne à modules actifs – *Nitruure de gallium*



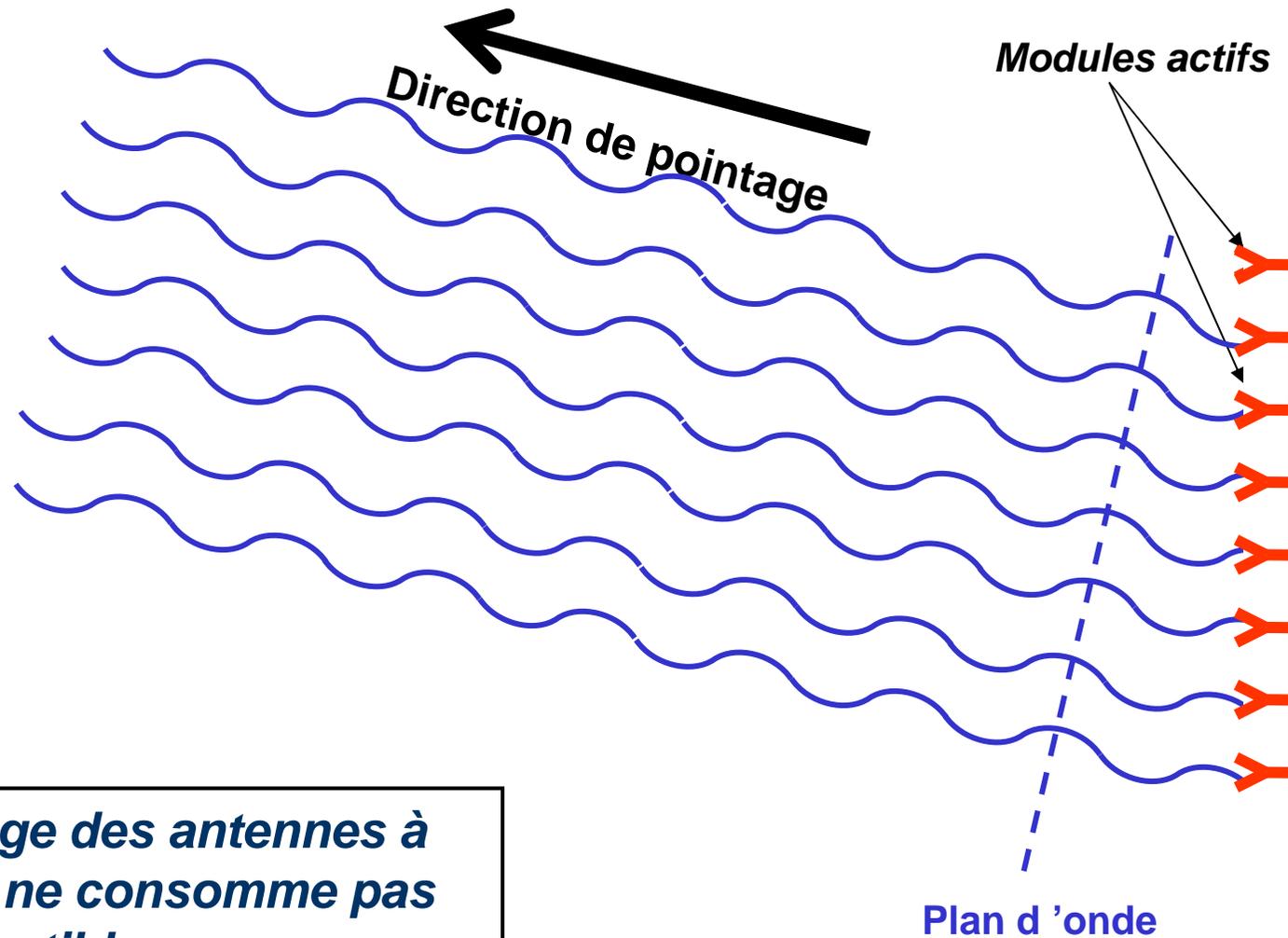
Antenne à modules actifs – *Nitruure de gallium*



Antenne à modules actifs – *Nitruure de gallium*



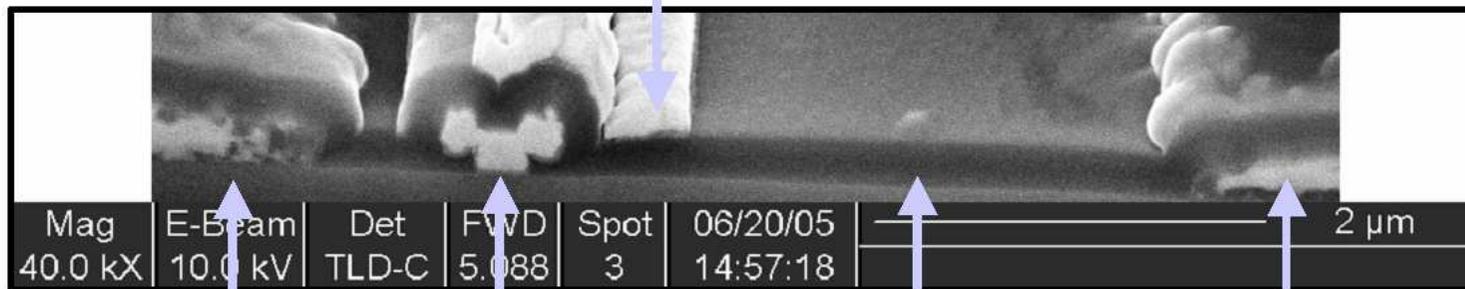
Antenne à modules actifs – *Nitruure de gallium*



Le pointage des antennes à balayage ne consomme pas de combustible

Antenne à modules actifs – *Nitruure de gallium*

Les composants en nitruure de gallium sont moins sensibles aux impulsions hyperfréquences que ceux en AsGa

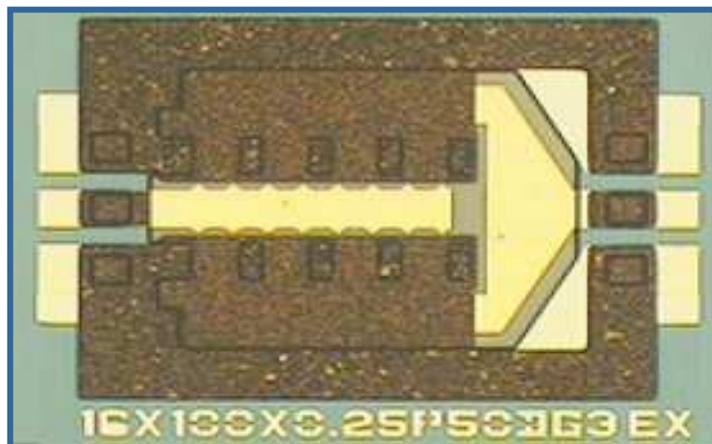


Source Contact

0.25μm Gate

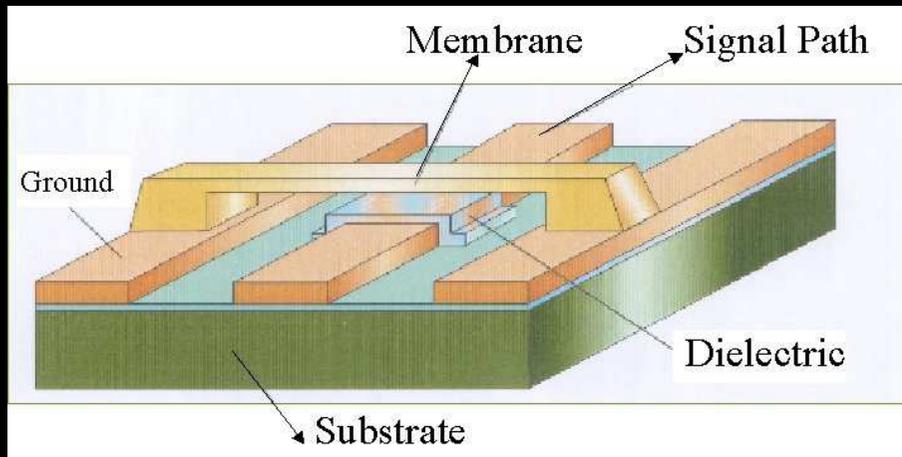
Passivation

Source Contact



SWITCHES Hyperfréquences – MEMS

Activité

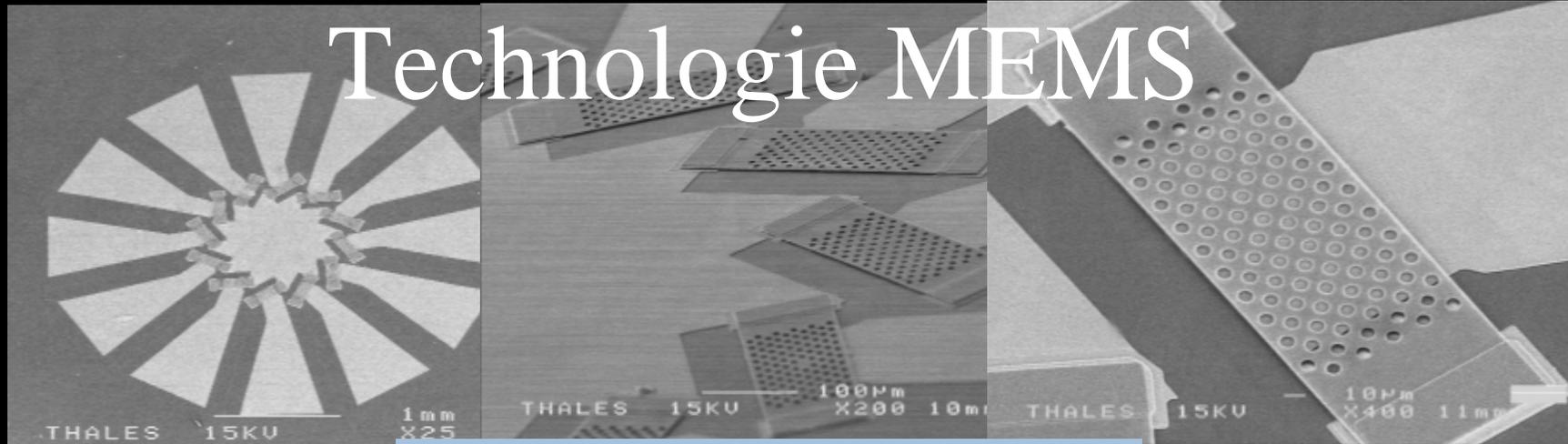


Principe ↑ et application →

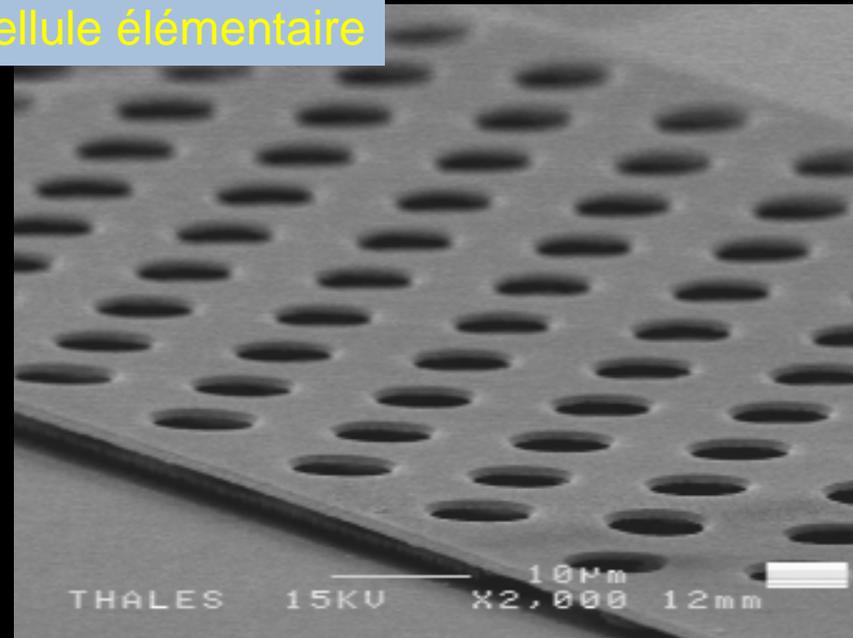
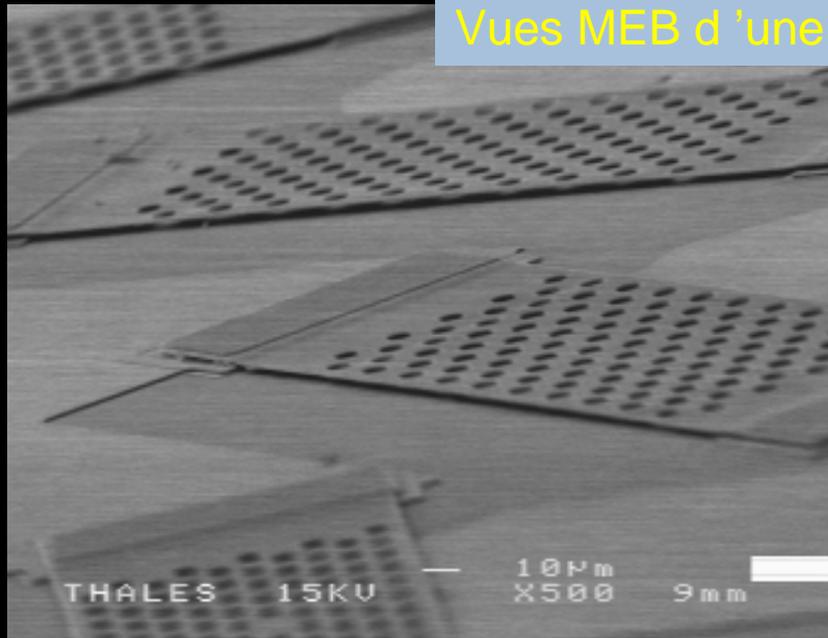


SWITCHES Hyperfréquences – MEMS

Technologie MEMS

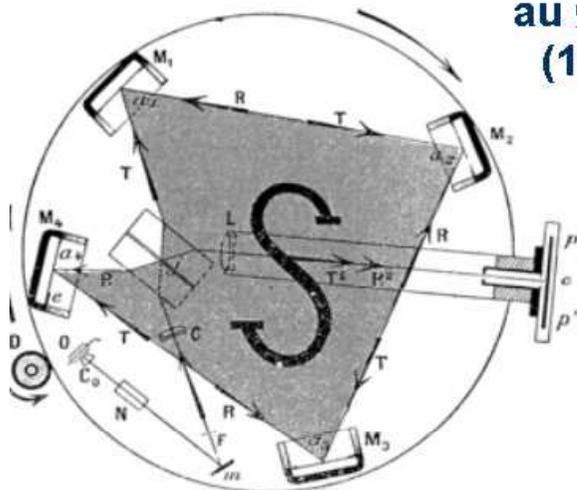


Vues MEB d'une cellule élémentaire

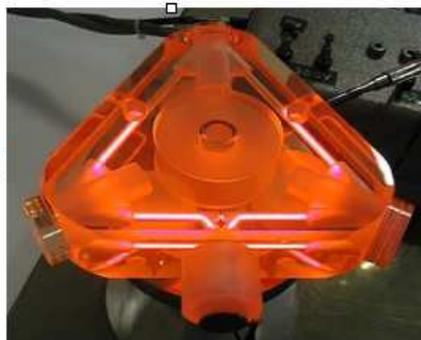


Atomes froids – Gyroscope du futur

De l'effet SAGNAC
(1910 - 1913)



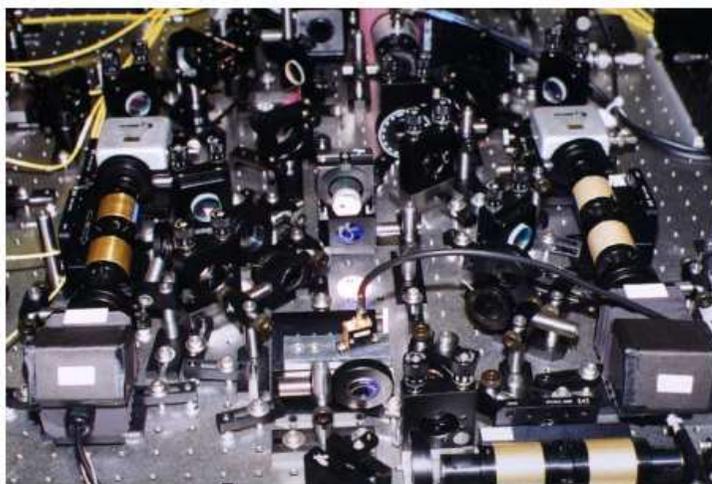
au Gyrolaser
(1963 -)



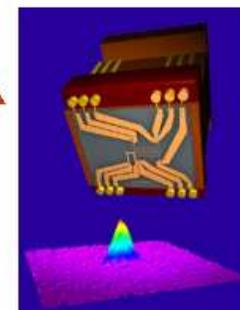
En passant
par le gyro fibre
(1978-...)



Puis à l'interférométrie atomique
(1991 - 1997)



et à la manipulation
d'atomes sur puce



Path finder -Sojourner– *puits quantiques sur Mars*



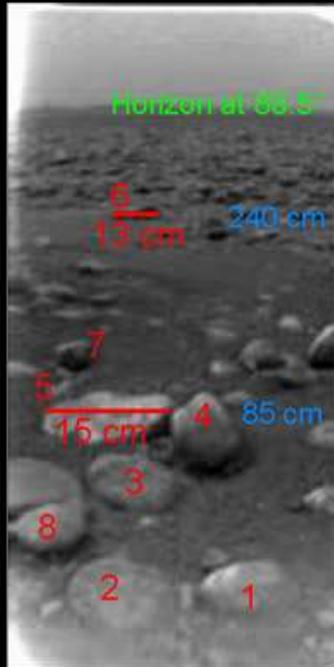
**Panneaux solaires
en
GaAs/GaAlAs**

**Thomson-CSF a
conçu et fabriqué le
réacteur d'épitaxie
qui a réalisé les
cellules solaires**



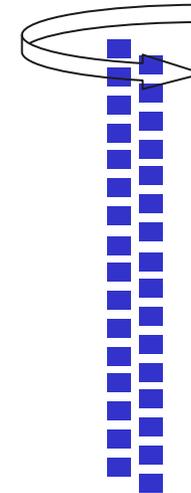
JPL-25888AC

Huyghens – puits quantiques sur Titan (*GaInAs/InP*)



Pendant la descente :

Acquisition d'images en moyen IR dans la bande $0,9 - 1,72 \mu\text{m}$ à l'aide d'une barrette en rotation faite de matériau *GaInAs/InP*



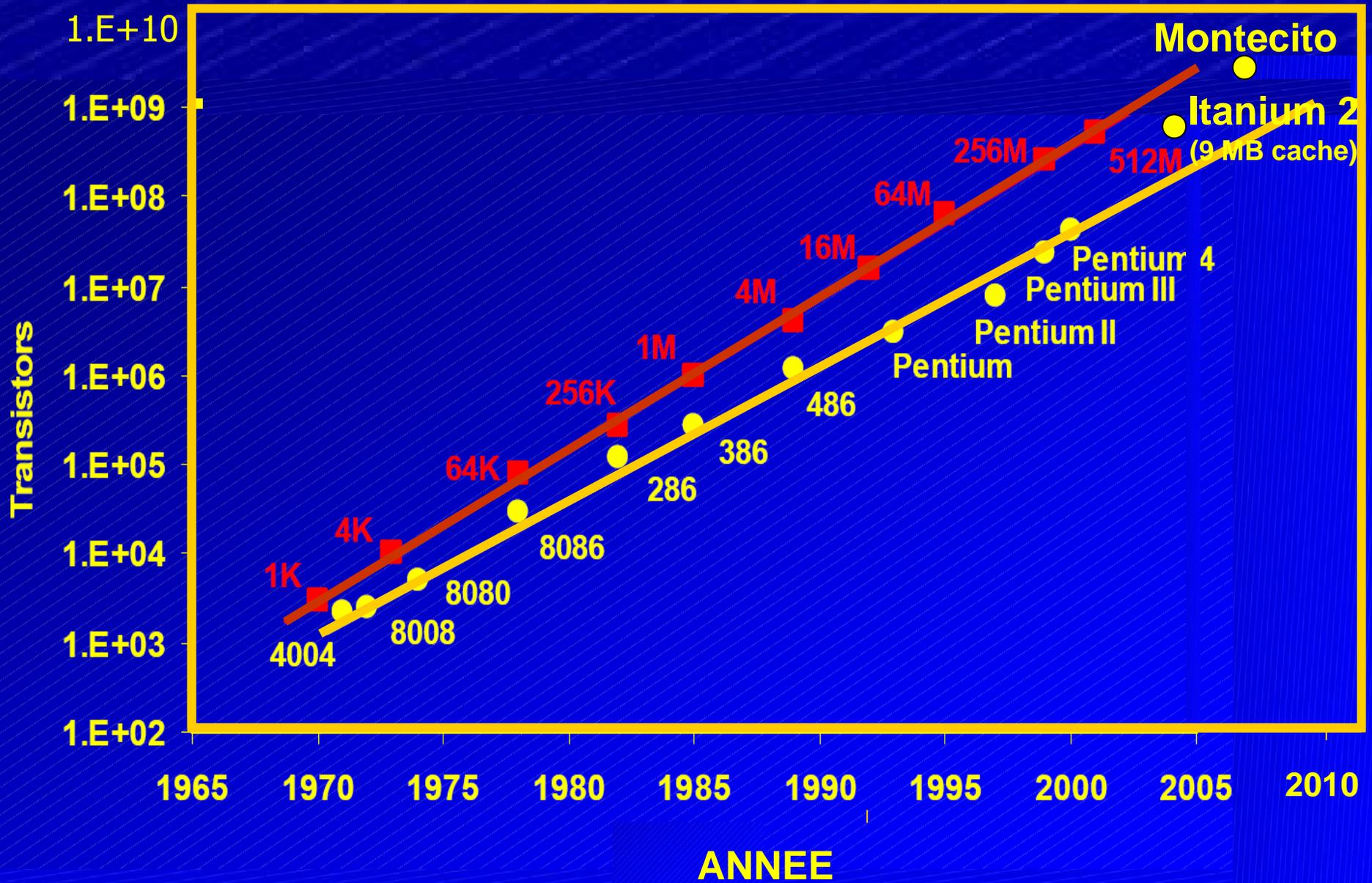
Double barrette :

C'était le parachute en rotation pendant la descente qui assurait l'acquisition des données dans la deuxième dimension

~ Merci de votre attention

Back Up

Micro & Nanoélectronique – *complexité croissante*



NEMS

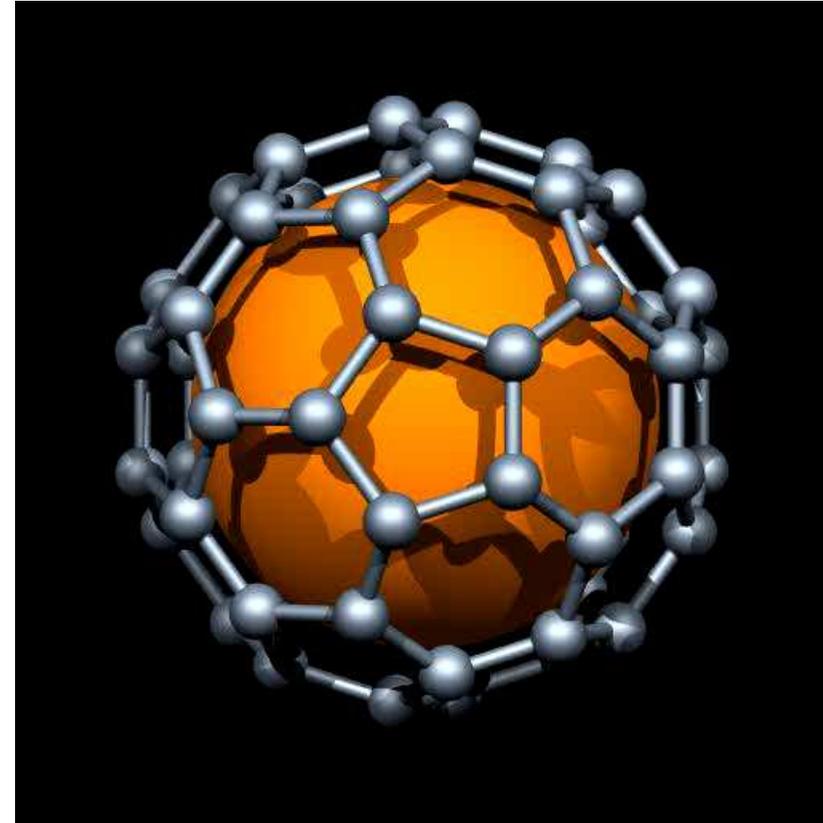
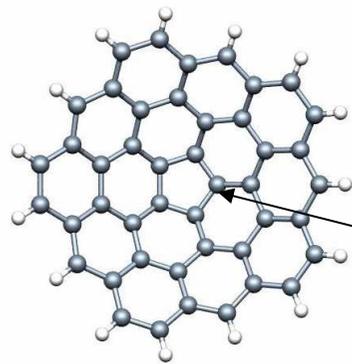
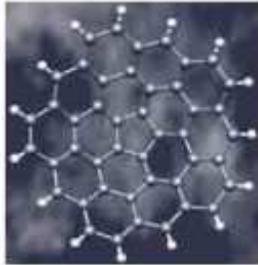
Nano-Electrico-Mechanico-Systems

(Nano-MEMS)

La molécule de fullerene

Pentagons in Graphite

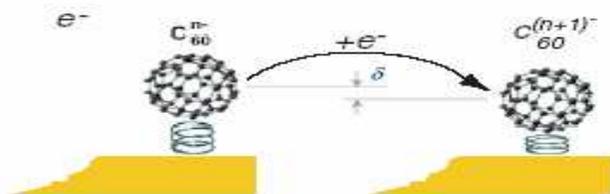
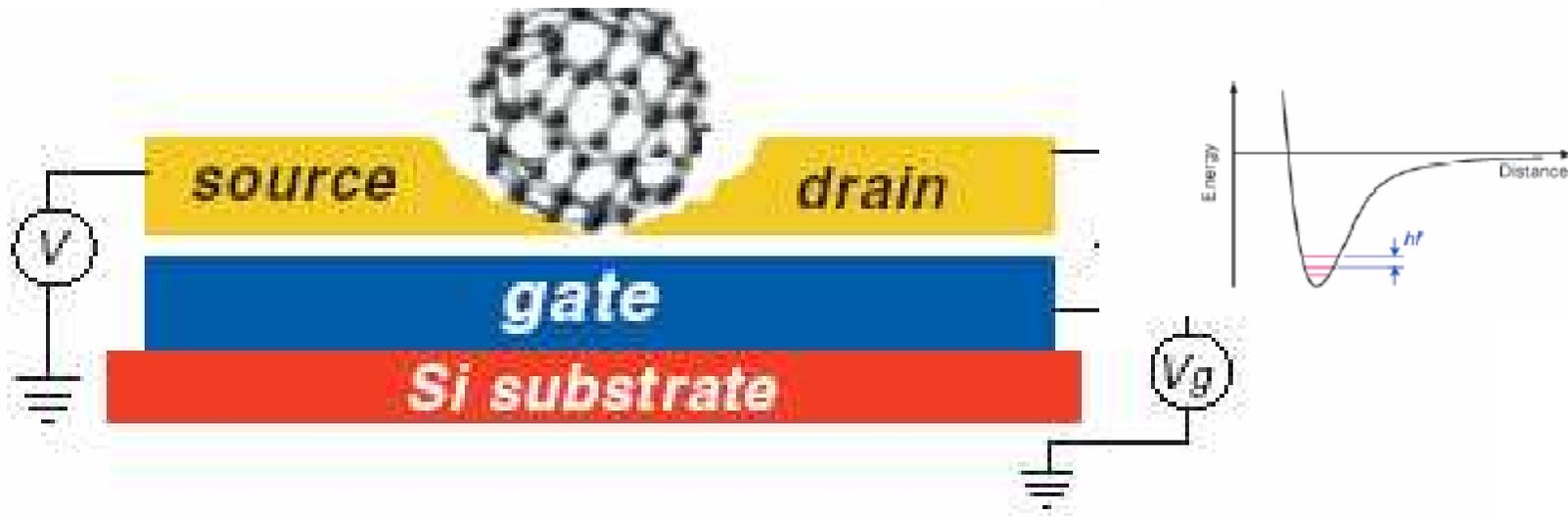
Inserting a 5-sided pentagon into a sheet of 6-sided hexagons in graphite causes it to distort into a cone (12 pentagons cause it to wrap round into a ball - a C_{60} molecule). These images show the same structure from different angles.



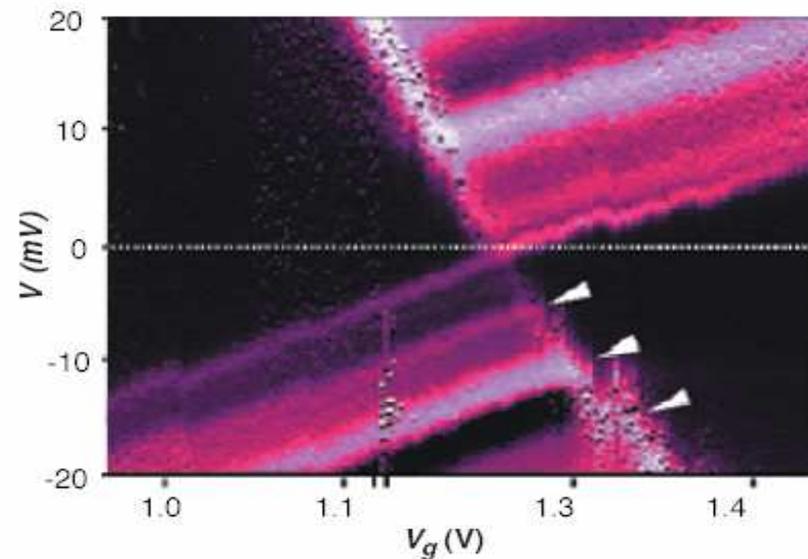
**Le cycle à 5 carbones
Distord le plan de graphène**

NEMS (Nano-MEMS)

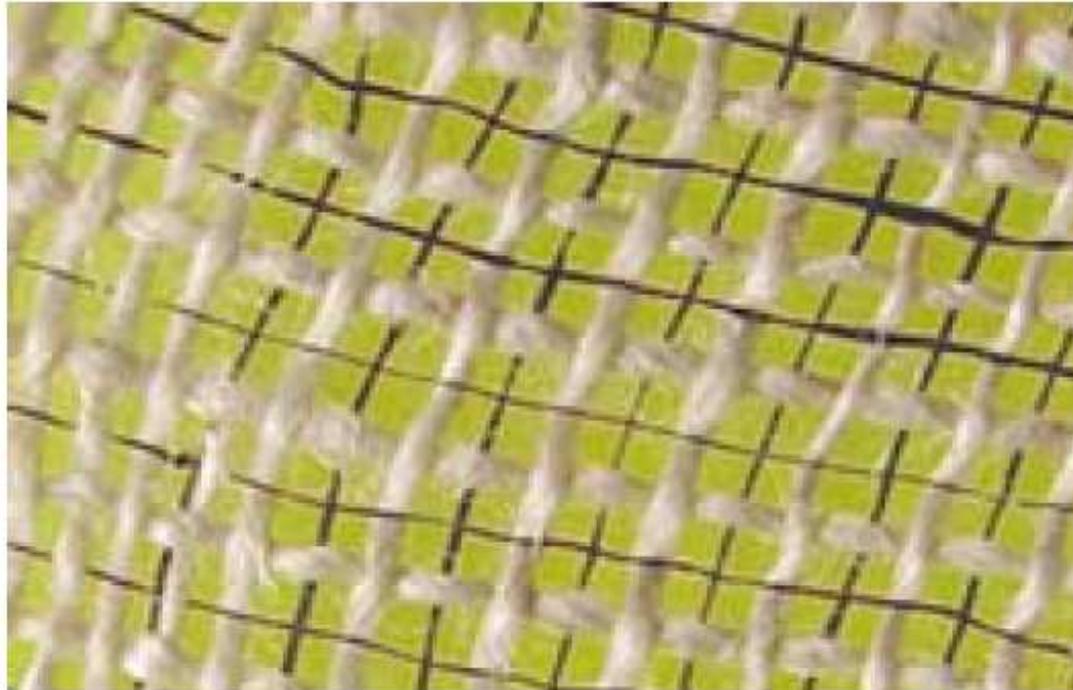
(Nanotechnology electromechanical systems)



Modelling of the motion of a C₆₀ molecule between the transistor contacts as a simple harmonic oscillator (top) yields a predicted vibrational quantum of 5 meV. Coupling of this motion to the motion of single electrons (bottom) leads to the features in the conductance plots shown at left.



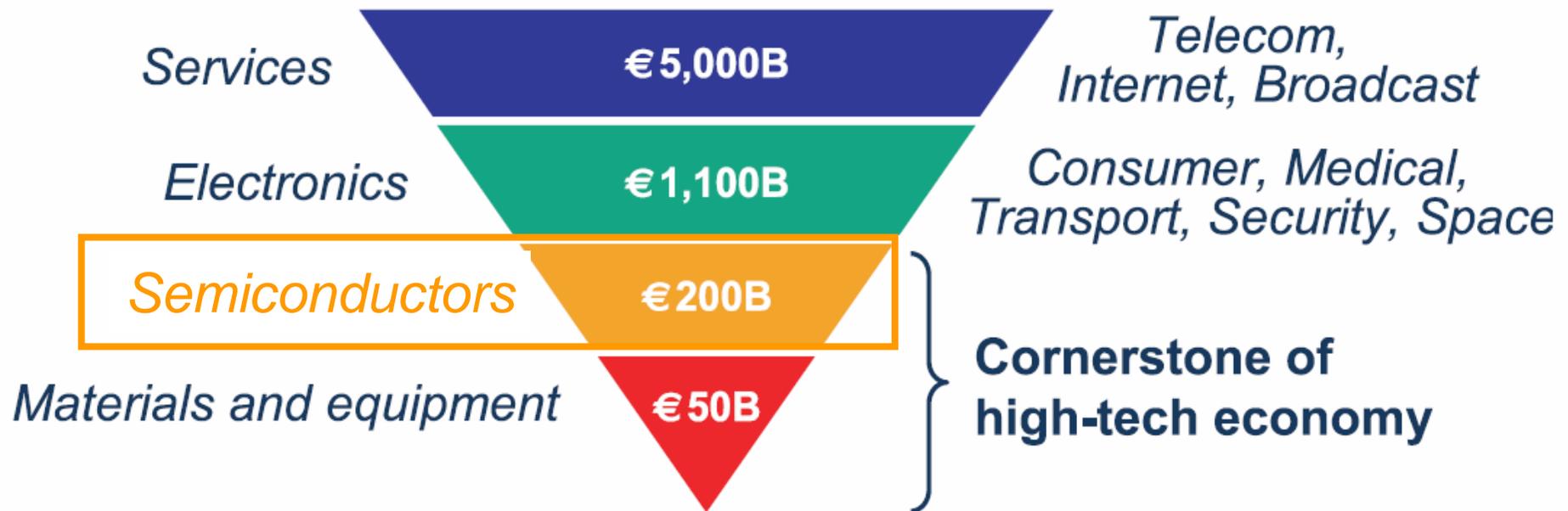
Oscillations mécanique à 1,2 Tera-hertz



**Textile w/ carbon nanotube-fiber
supercapacitors woven orthogonally**

Chm Engr News Vol 81, No 24,
16 June 2003)

Micro & Nanoélectronique – un enjeu économique

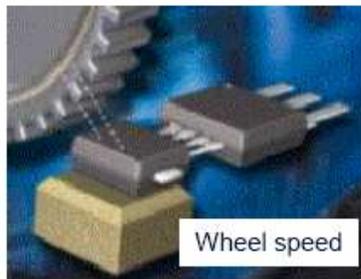
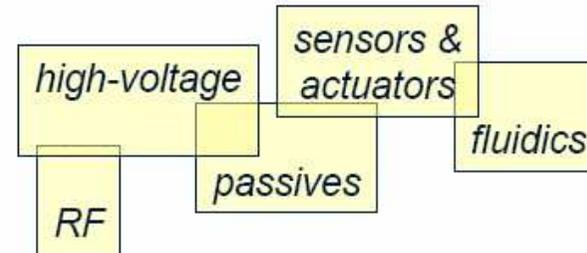
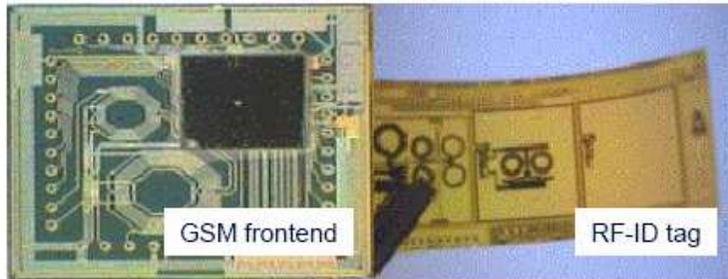


Semiconductors underpin 6 trillion euros worth of electronics and services

Micro & Nanoélectronique – *More than Moore*



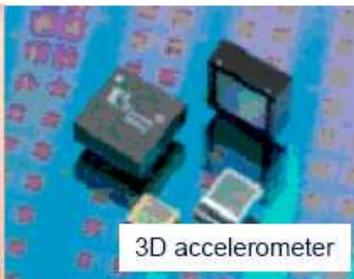
More than Moore examples



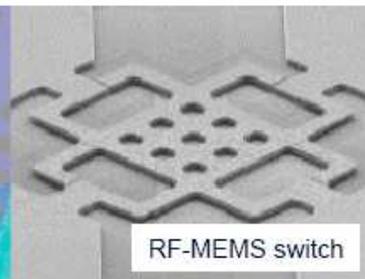
Wheel speed



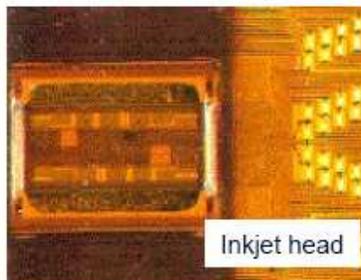
Phone camera



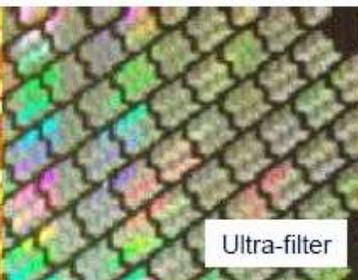
3D accelerometer



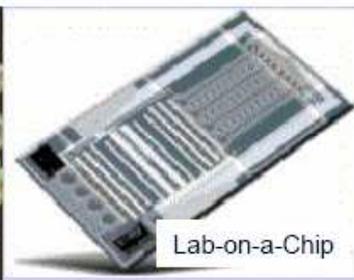
RF-MEMS switch



Inkjet head



Ultra-filter



Lab-on-a-Chip



Nano-syringe

