

Les matériaux critiques en nano-électronique industrielle

Didier Lévy, STMicroelectronics, Adv.R&D Program Manager

François Martin, CEA Léliot, Senior Scientist

Philippe Levavasseur, STMicroelectronics, Sustainability Program Director



Plan

1. Quelques fondamentaux de la micro / nano électronique

- Présentation de STMicroelectronics
- Loi de Moore
- More than Moore

2. Matériaux

- Les matériaux de la loi de Moore
- Les nouveaux matériaux
- Législations, notion de matériaux critiques

Plan

1. Quelques fondamentaux de la micro / nano électronique

- Présentation de STMicroelectronics
- Loi de Moore
- More than Moore

2. Matériaux

- Les matériaux de la loi de Moore
- Les nouveaux matériaux
- Législations, notion de matériaux critiques

STMicroelectronics

- Société franco-italienne cotée en bourse
- N° 14 dans le monde en 2018
- Chiffre d'affaires 2017 = 8.35B\$
- Croissance : 19,7% en 2017
- 45000 employés
- 11 sites de production, dont 3 en France

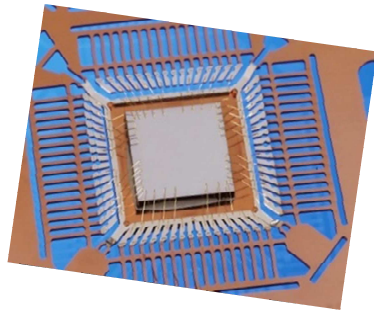
TOP 15 fabricants semiconducteurs 2018

1	Samsung	Corée		Mémoires et logique
2	Intel	US		Logique et mémoires
3	Hynix	Corée		Mémoires
4	TSMC	Taiwan		Fonderie (logique)
5	Micron	US		Mémoires
6	Broadcom	US		Fabless
7	Qualcomm	US		Fabless
8	Toshiba	Japon		Logique et autre
9	Texas Instrument	US		Logique et autre
10	Nvidia	US		Fabless
11	WD/SanDisk	US		Mémoires
12	Infineon	Europe		Logique et autres
13	NXP	Europe		Logique et autres
14	STMicroelectronics	Europe		Logique et autres
15	MediaTek	Taiwan		Fabless

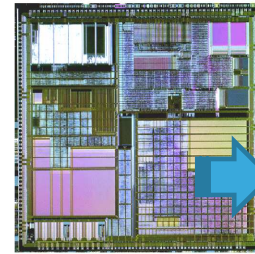
La micro-électronique, de quoi parle-t-on ?



Circuit en
boitier



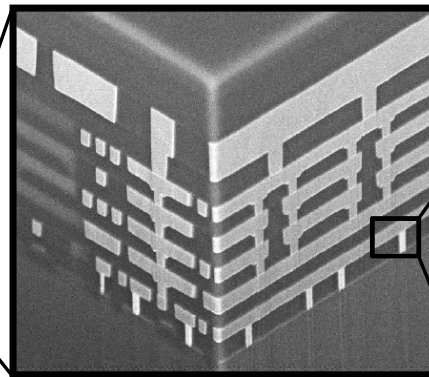
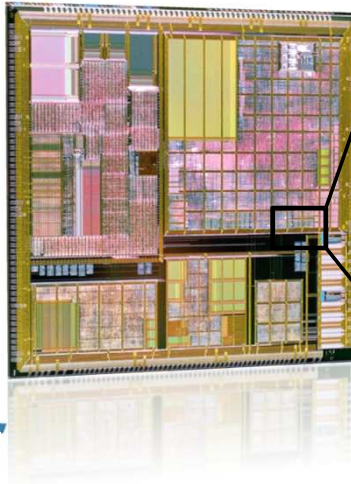
Puce avec
connexions



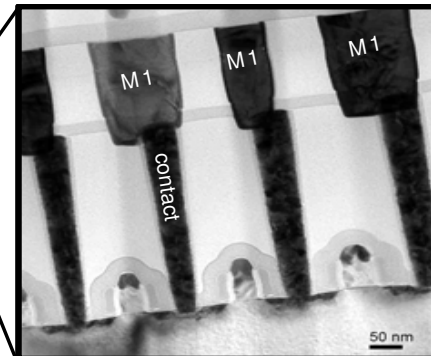
Puce sans
connexions



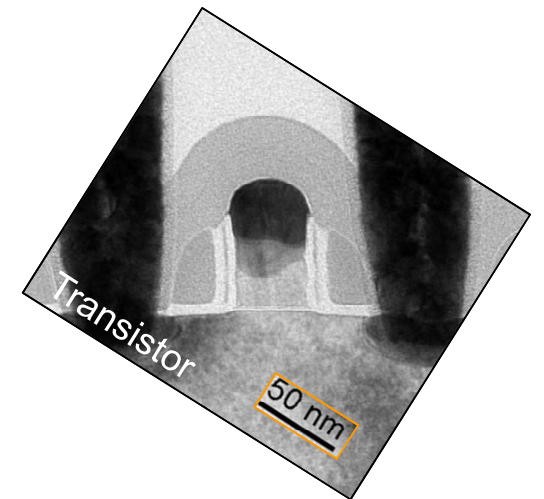
Entre 100 et 1000 puces
par tranche de Si



$4 \times 4 \mu\text{m}^2$



Métallisation $500 \times 500 \text{ nm}^2$



Site de Crolles
15km de Grenoble



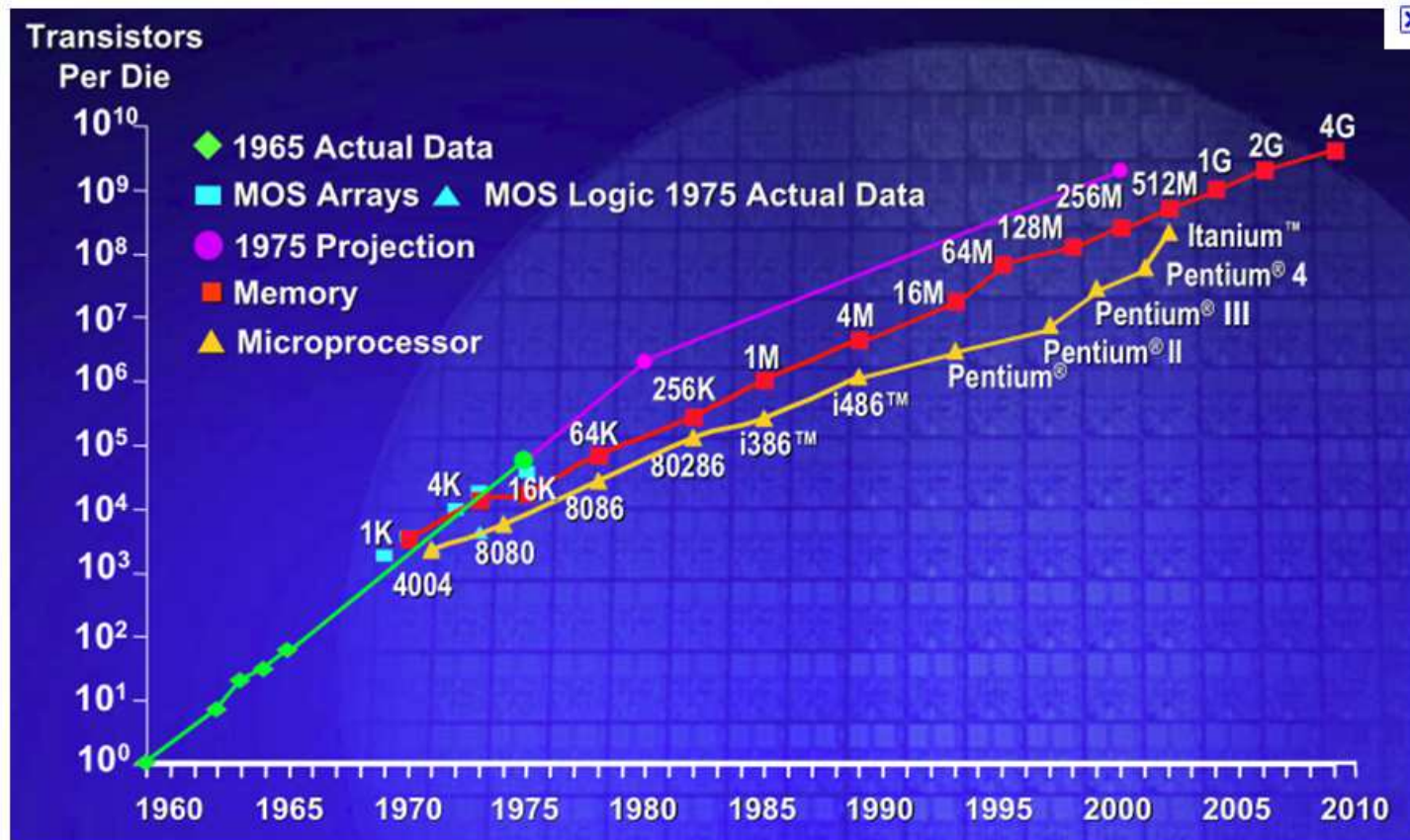
Site de Crolles
15km de Grenoble

Crolles 1 – Tranches de Si de 200mm
Dispositif de 0,5 μ m à 130nm

Crolles 2 – Tranches de 300mm
Dispositif de 130nm à 28nm

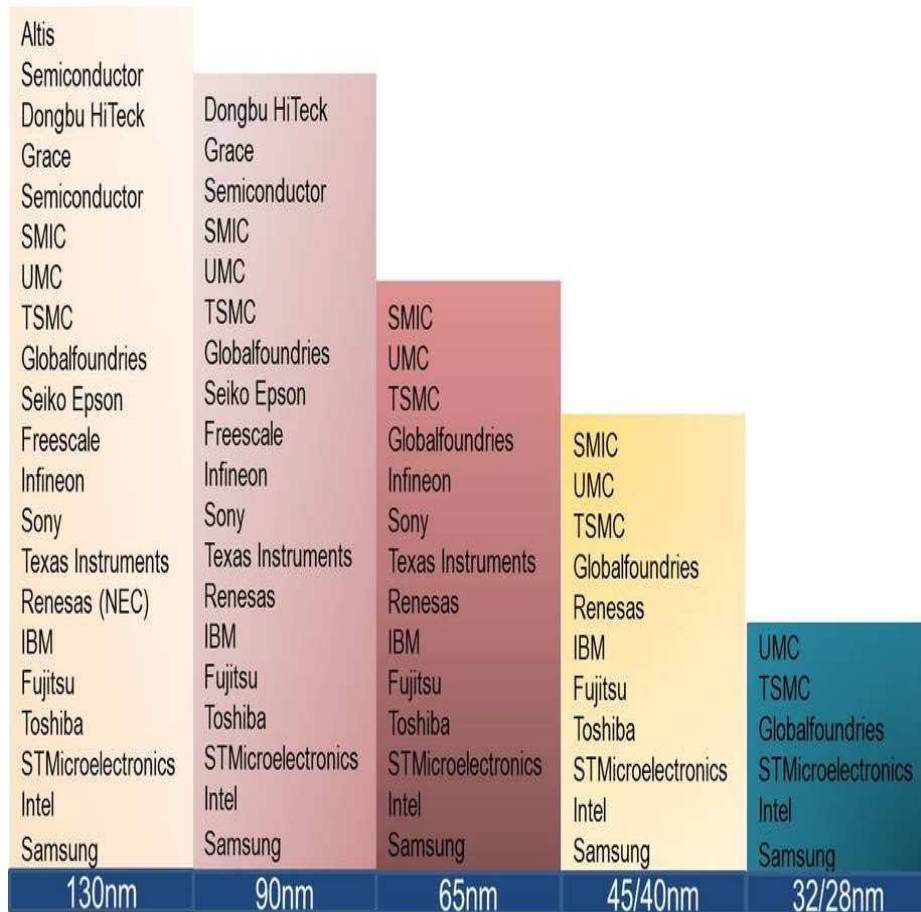
> 4000 employés

La loi de Moore

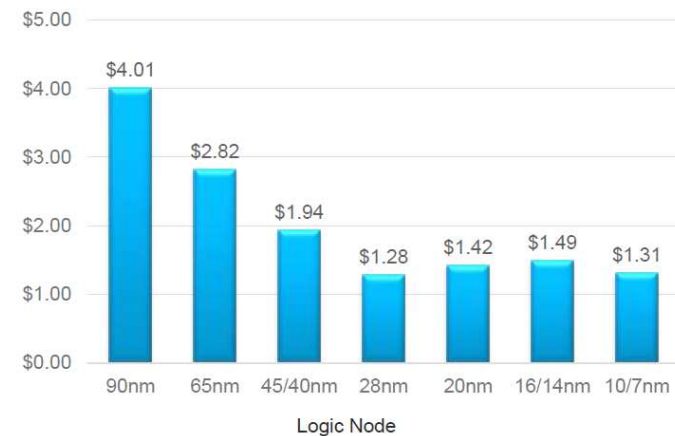


- Depuis plus de 50 ans, la densité de transistors par puce et la performance, doublent tous les 2 ans
- Base du formidable bon en avant dans divers domaines, dont le mobile

La loi de Moore continue ... mais seulement pour un nombre très réduit d'acteurs, sans Européens



■ Cost per 100M gates

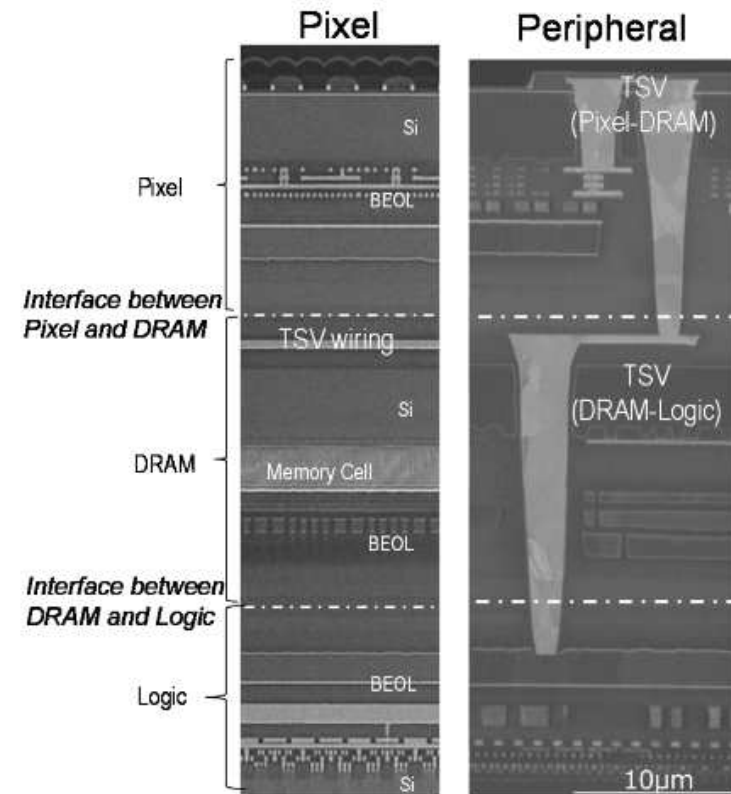
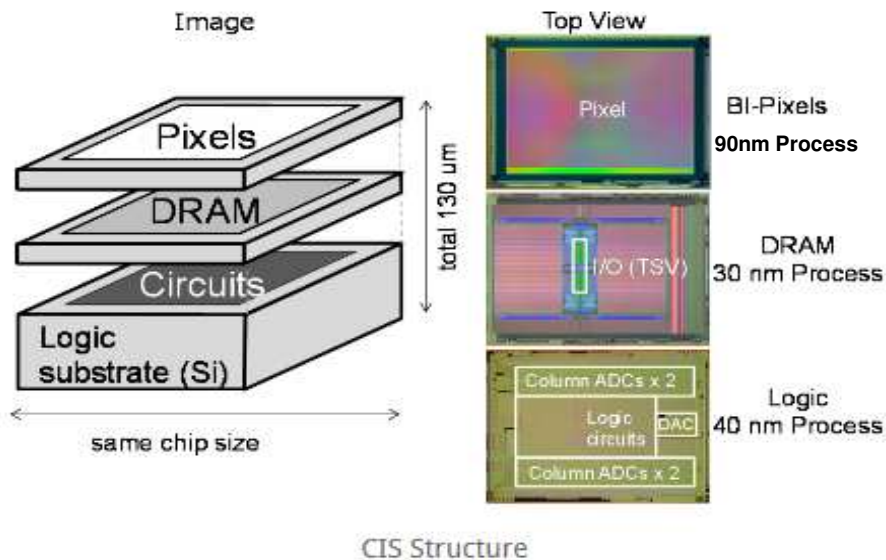


Source: H. Jones, EETimes.com, 6/15/15

Ne restent que 3 acteurs de la loi de Moore en dessous de 20nm : Samsung, Intel et TSMC

Mais l'industrie a des ressources → “more than Moore”

10



TEM cross section

Exemple de Sony : integration en 3 dimensions
→ superposition de 3 puces les unes sur les autres
→ gain en integration sans reduction de dimension

Evolution du marché

Drivers : perf

- micro-processeur pour téléphone portable,
- voiture autonome

More Moore

Mots clés

- Technologie avancée
- Performance
- Densité
- Memoire
- Logique
- Coût
- Gros volumes

Drivers : interactivité

- Communication
- Capteurs : image, distance
- Fonctions Analog/RF, 5G
- MEMS : accéléromètres

Mots clés

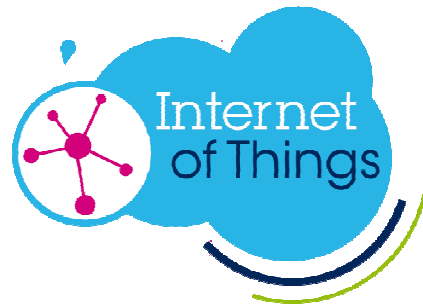
- Produits dédiés
- Proximité clients
- Techno avancée non indispensable
- Volumes modérés

More than Moore

Application Strategic Focus

12

The leading provider of products and solutions
for Smart Driving and the Internet of Things



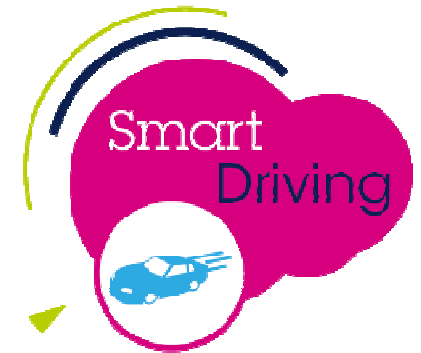
Smart Things



Smart Home & City

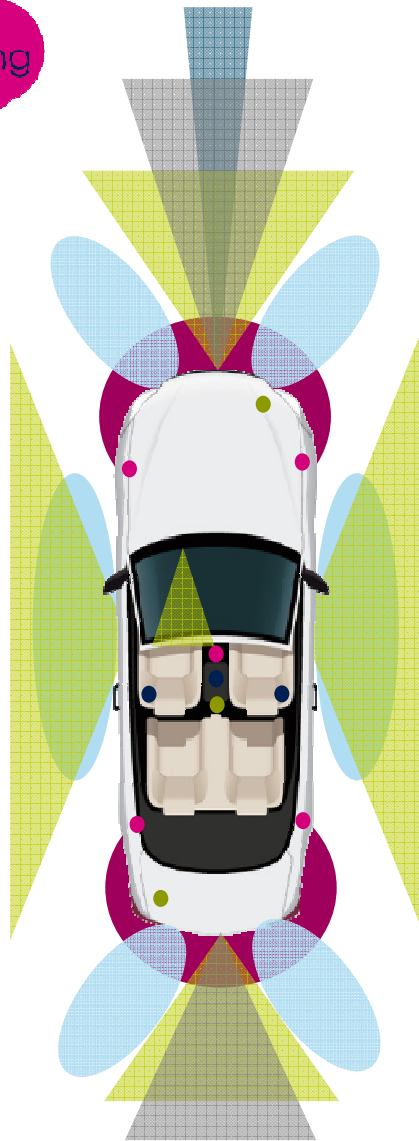
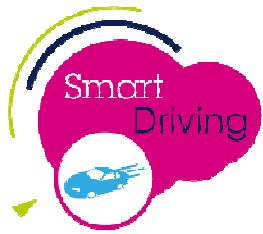


Smart Industry



Smart Driving





Sensors for Smart Driving

Safety & Convenience

Hi-g accelerometers
for airbag applications

Gyroscopes
for vehicle dynamics applications

Sensing & Viewing Camera
Front, Rear & Surround View
eMirror

In-Cabin Optical Sense
Driver Monitor
Gesture Control
Occupancy Detection

LiDAR
Autonomous Driving
through Sensor Fusion

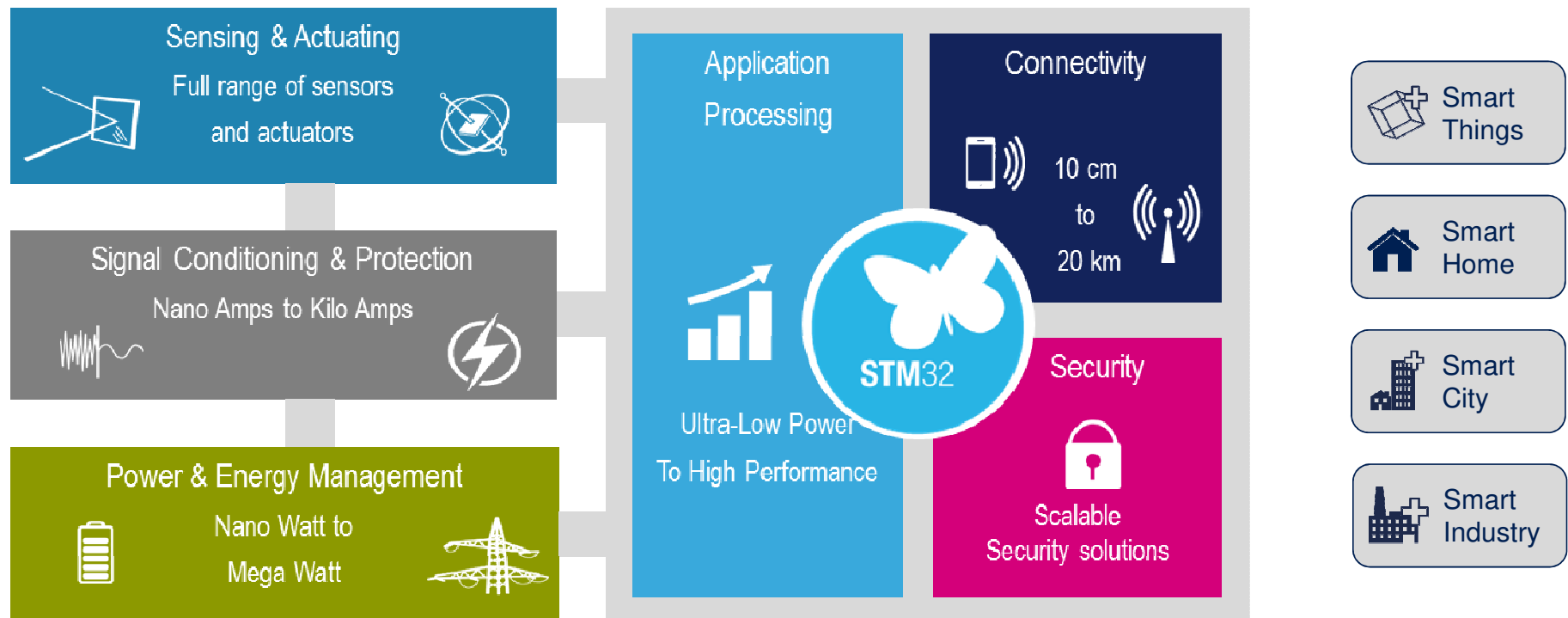
Navigation & Telematics

Medium-g accelerometer
for telematics boxes

6-axis inertial module
for navigation assistance

Everything for the Internet of Things

14



Plan

1. Quelques fondamentaux de la micro / nano électronique

- Présentation de STMicroelectronics
- Loi de Moore
- More than Moore

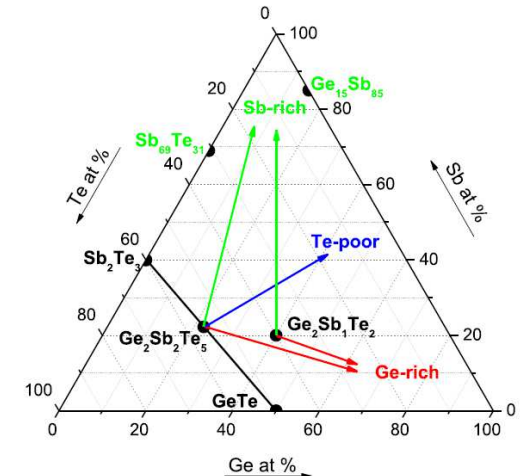
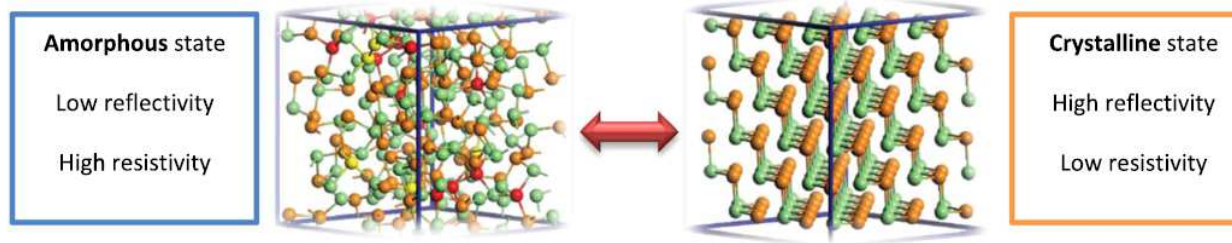
2. Matériaux

- Les matériaux de la loi de Moore
- Les nouveaux matériaux
- Législations, notion de matériaux critiques



Exemple de nouveau matériau en R&D

GST ($\text{Ge}_x\text{Sb}_y\text{Te}_z$), matériau à changement de phase pour mémoire non volatile embarquée



- Défis rencontrés
 - trouver le bon compromis entre les différentes compositions pour atteindre les performances électriques
 - réduire la consommation globale
 - Atteindre les performances de vieillissement : T0, T0+5 ans, T0 + 10 ans
- Boutons à tourner : intégration / “conditions de process”
 - Préparation surface , dépôt, encapsulation, gravure, recuit ...

Autres types de nouveaux matériaux en production ou stade R&D à ST

Matériau	Utilisation	Site ST
PbZrTiO ₃	Tête impression pour imprimante Capacité de découplage	Milan Tours
BaSrTi	Capacité variables pour adaptation d'antennes	Tours
GaN	Composant de puissance pour automobile	Tours
SiC	Composant de puissance pour automobile (600-1200V)	Catane
InP / InGaAs	Source laser pour la photonique (DataCenter)	R&D CEA Légi

Les matériaux critiques

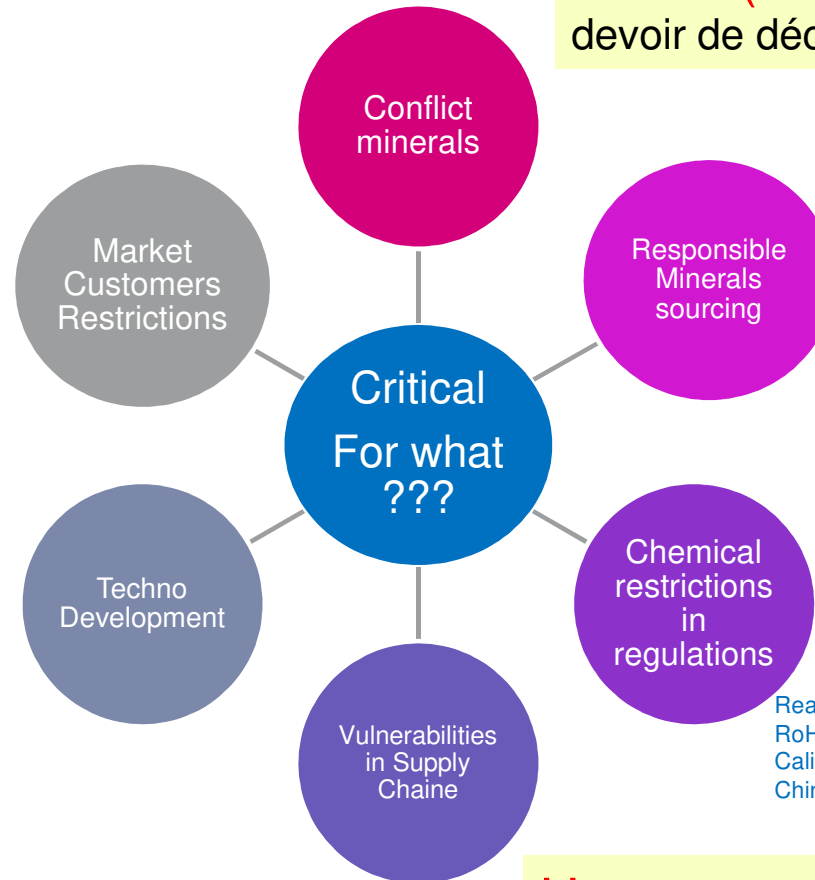
19

Dodd Franck Act in USA
EU CM Directive, 2010

3 TGs (Sn, Ta, W, Au) :

devoir de déclarer et de tracer la chaîne d'appro

- Be, Sb
- Brominated Flame Retardants
- Br Cl in composite materials
- PVC



Co, Mica ...

Risque éthique - Quantité faible en électronique vs batteries

In, Hf, Ge, Ga,
InP, InGaAs, PZT,
GeSn

Pb, Cd, Cr, Hg, PFOS, PFOA,
PBB, PBDE, Phthalates
Conditions d'utilisation appropriées

Reach SVHCs
RoHS, WEEE
California 65
China RoHS

He, Pt, Pd

Crises récentes sur He (2012, 13, 17), alertes 2019/20

Criticality assessment of raw materials for EU

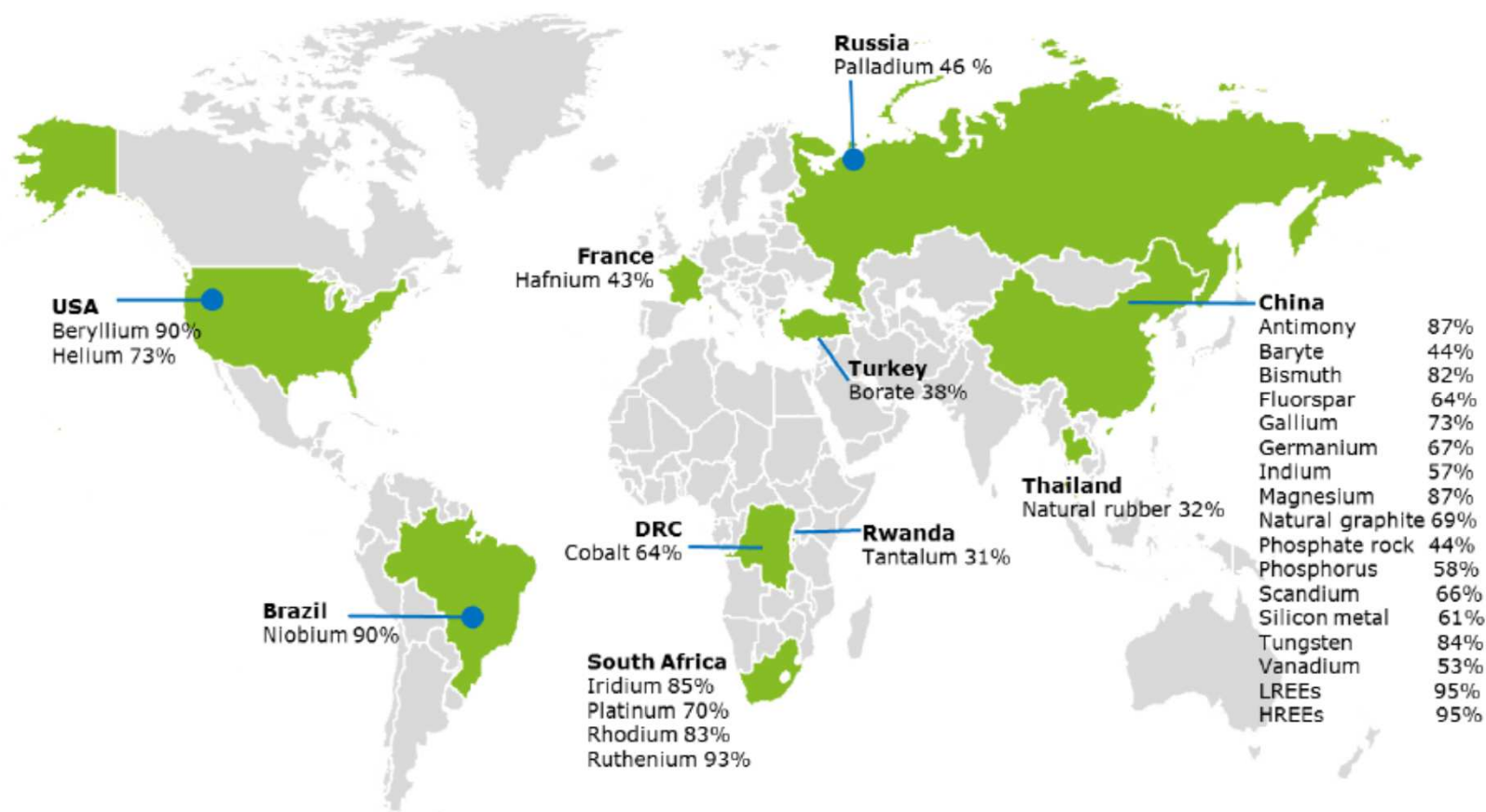
20

Elements (Selection)	Main WW producers (average 2010-2014)	Dependency rate to importation	Substitution rate	Recycling rate for End of Life materials	Usage in Micro-elec ?	Critical for Micro – nano elec
W	China (84%); Russia (4%)	44%	0.94/0.97	42%	Yes – Front End CVD & ALD (WF6; Targets)	Conflict Minerals
Pt	South Africa(83%)	99.6%	0.93/0.98	14%	Yes	
Hf	France (43%); US (41%); Ukraine (8%); Russia (8%)	9%	0.93/0.97	1%	Yes - Front End (ALD : HfCL4)	
Co	DRC (64%); China (5%); Canada (5%)	32%	1.0/1.0	0%	Yes	Responsible sourcing program
Ga	China (85%); Germany (7%) Kazakhstan (5%)	34%	0.95/0.96	0%	Yes – As Ga (RF; IOT); GaN/Si devices	
In	China (57%); South Korea (15%); Japan, (10%)	0%	0.94/0.97	0%	Yes (Materials III/V InP, InGaAs)	
Ta	Rwanda (31%) – DRC (19%); Brazil (14%)	100%	0.94/0.95	1%	Yes – FE Targets	Conflict Minerals
He	US (73%); Qatar (12%); Algeria (10%)	96%	0.94/0.96	1%	Yes FE fabs	Supply critical issue
Ge	China (67%); Finland (11%); Canada (9%); US (9%)	64%	1.0/1.0	2%	Yes – Tech node 7nm	

- 27 elements / Raw Materials are evaluated as Critical by EU (2017)
- Nota : assessed as non critical : Ti, Cu, Li, Au, Ni, Al, Sn, Se, Te, Si

Pays contributeurs de la chaine d'appro des matériaux critiques

21

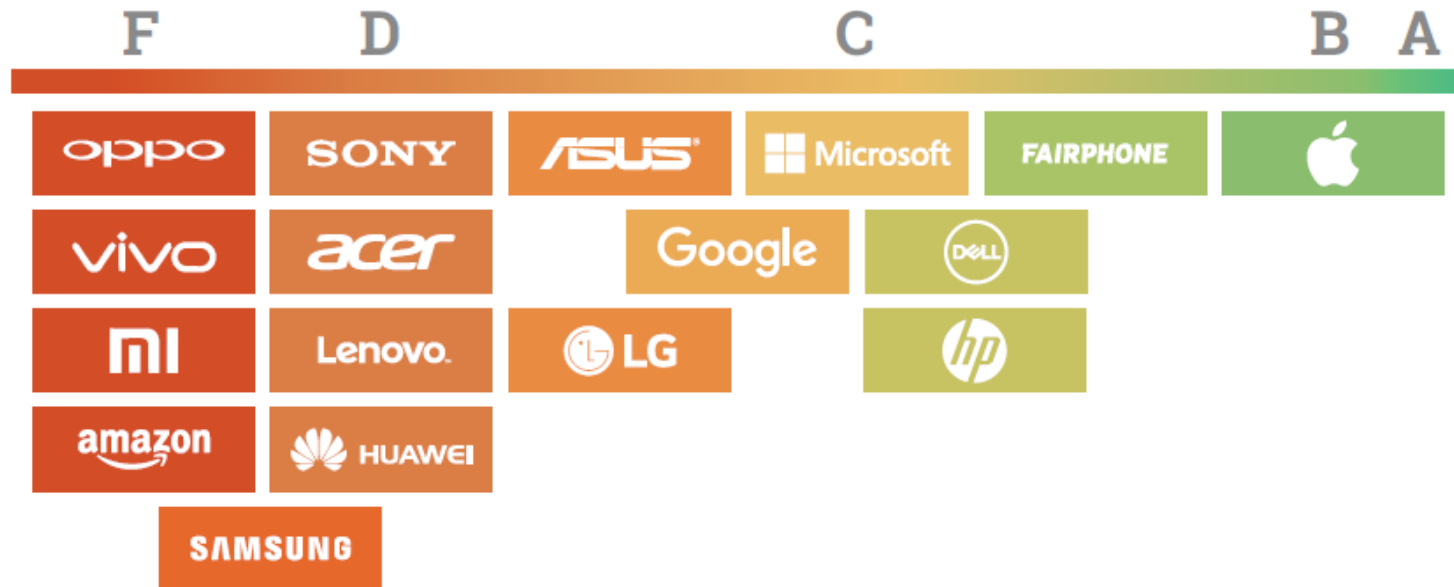


Greenpeace Greener electronics

22

Impact Area: Chemicals

ASSESSING INDUSTRY EFFORTS TO ELIMINATE HAZARDOUS CHEMICALS PRODUCTS AND MANUFACTURING



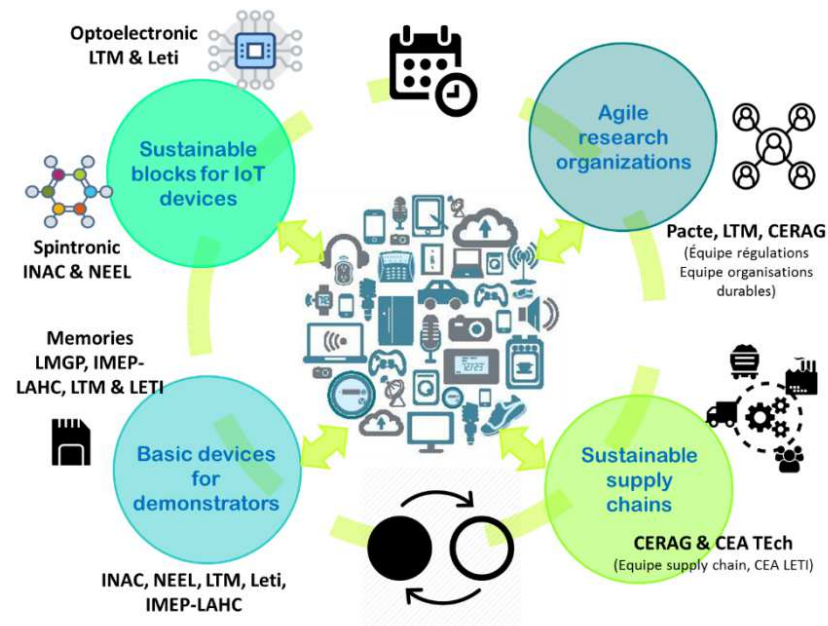
Récente Initiative d'Excellence (IDEX)

23



NEED for IoT
Univ. Grenoble Alpes

Anticipate and support sustainable transition in nanoelectronic industry



The NEED project will meet several challenges in the design field by materials substitution or replacement for IoT applications and in using alternative physical principles to realize already existing functions while using sustainable approaches. In this perspective, the project will serve four main priorities :

- proposing a precise risks identification in the IoT emerging devices supply chain,
- replacing the most critical elements (i.e. noble metals) by more abundant or disruptive ones to execute the same function,
- reducing consumption of critical elements or recovering them during the manufacturing cycle (rare earths, etc.),
- implementing alternative physical principles to realize already existing functions while using sustainable approaches.

Conclusion - Messages clés

24

- Industrie en Europe et en France : ça existe encore 😊
 - L'industrie μ -électronique embauche
 - De plus en plus de difficulté de trouver des candidats pour faire des thèses ☹
- Clés du succès : innovation
 - Mot clé pour innovation : **travail collectif**
 - Circuit court entre le monde de la recherche et de l'industrie
 - ST - CEA – CNRS – Lien Ecoles d'Ingénieurs / Universités
 - Dans l'entreprise, casser les barrières entre organisations / secteurs / départements / spécialités
- Orientation de ST : secteur de Internet des Objets (IoT) et Automobile
- Nouveaux matériaux
 - Nombreux challenges passionnants : mécanismes de base, démonstration, industrialisation
 - Aspects environnementaux et éthiques pris en compte : clients, législation, recherche, industrialisation

**Merci de votre
attention**

Visite de la salle blanche de Crolles sur Youtube

https://www.youtube.com/watch?v=K_VlqU1hPok