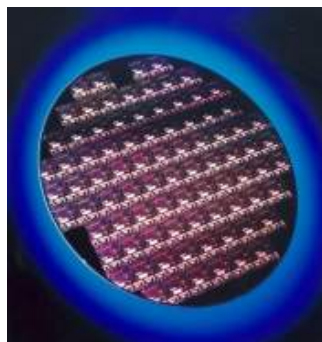


Groupe de travail IMdF Présentation des activités du CEA/LETI/DIHS/LCFM

jeudi 13 avril 2006



***Un laboratoire dédié à la caractérisation et aux études de fiabilité
des composants microsystemes développés au CEA-LETI***

DIHS/LCFM : objectifs

- ***Contribuer au succès commercial de nos partenaires industriels grâce à une caractérisation approfondie des performances des MEMS développés au LETI***
- ***Devenir progressivement un centre d'excellence reconnu au niveau européen dans le domaine de la caractérisation et des études de fiabilité des Mems.***

**LCFM 2006 : 8 ingénieurs & techniciens
+ 2 mutations en cours**

• **Compétences**

- ✓ *Expertise en caractérisation électrique, mécanique, magnétique, essais environnementaux, de surfaces...*
- ✓ *Evaluation de fiabilité*
- ✓ *Rétro-ingénierie*
- ✓ *Modélisation*

La fiabilité, c'est quoi ?

- *Améliorer un rendement de fabrication ?*
- *Limiter la mortalité infantile d'un composant ?*
- *Améliorer une durée de fonctionnement dans un environnement donné ?*

La fiabilité, c'est quand ?

- *Lors de la conception (propriétés matériaux, design...) ?*
- *Au niveau des procédés (défaillance induites par fabrication) ?*
- *Au niveau du composant (défaillances induites par le fonctionnement: collage, fatigue, usure, corrosion, vieillissement, étanchéité, tenue mécanique, fluage, tenue aux charges diélectriques...) ?*

Fiabilité : Etat des lieux

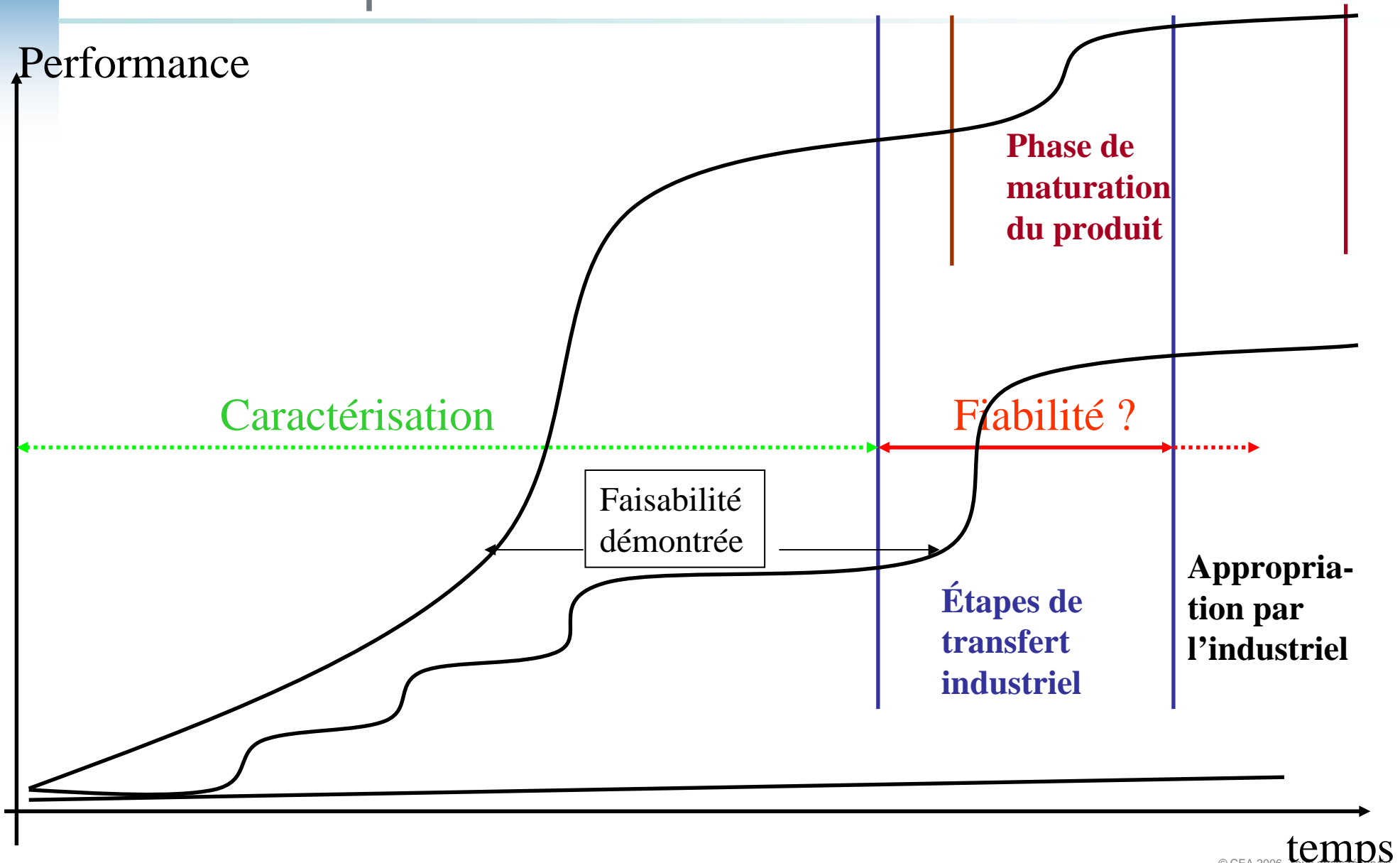
Exemple : Défaillances induites par la fabrication

Etape technologique	Problème potentiel
Oxydation	Rupture de liaison SiO ₂
Dépôt	Température et durée d'oxydation présence de vide dans le réseau cristallin
Photolithographie	température et durée de dépôt résidus de particules photosensibles microfissures, impuretés particules contaminantes
Gravure	précision d'ombres
Implantation d'ions	-Densité de dopants et durée, vitesse gravure inégale (durée, vitesse)
Recuit	température de recuit inadéquate
Libération des structures	coeff. d'expansion thermique très différents gravure inadéquate (durée, vitesse)

coeff. d'expansion thermique très différents

retrait des structures du liquide de gravure

Fiabilité : quand ?



Définition Fiabilité :

« Probabilité qu'un composant remplisse une fonction déterminée, pendant une période de temps déterminée, dans un environnement donné »

« La fiabilité devient un paramètre critique lors de la phase de maturation des technologies »

- **Développement de composants Microsystems**

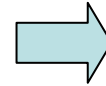
- ✓ *Proximité immédiate des équipes de conception et de fabrication*
- ✓ *Disponibilité d'échantillons en grande quantité « pleine tranche »*
- ✓ *Comparaisons possibles composants nus/packagés*
- ✓ *Relations étroites avec industriels fabricants et/ou intégrateurs*

- **Une plate-forme de tests performante**

- ✓ *Une plate-forme « BCA » commune CNRS/INPG/CEA => force de frappe unique (au monde ?) depuis la recherche de base jusqu'à l'industrie*
- ✓ *Équipements de tests performants (parfois localisés en salle blanche)*

Méthodologie « fiabilité »

- ✓ **Véhicules de test**
- ✓ **Approche combinée mécanismes**
- ✓ **Approche statistique**
- ✓ **Bases de données**
- ✓ **Modélisation structurale (à venir)**



- ✓ **Analyse de défaillances**
- ✓ **Estimation durées de vie**
- ✓ **Modèles prédictifs**

Réunion des efforts avec les centres de recherche CE

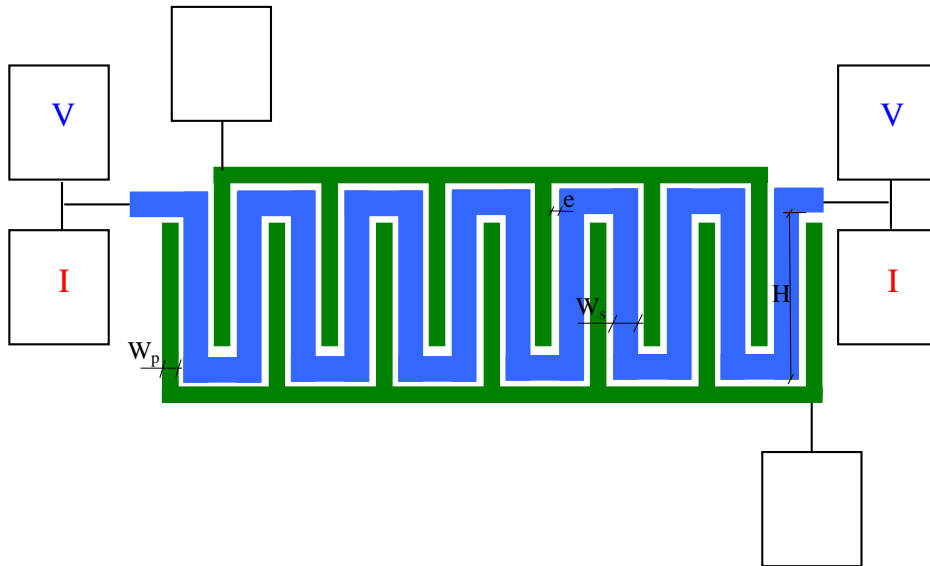
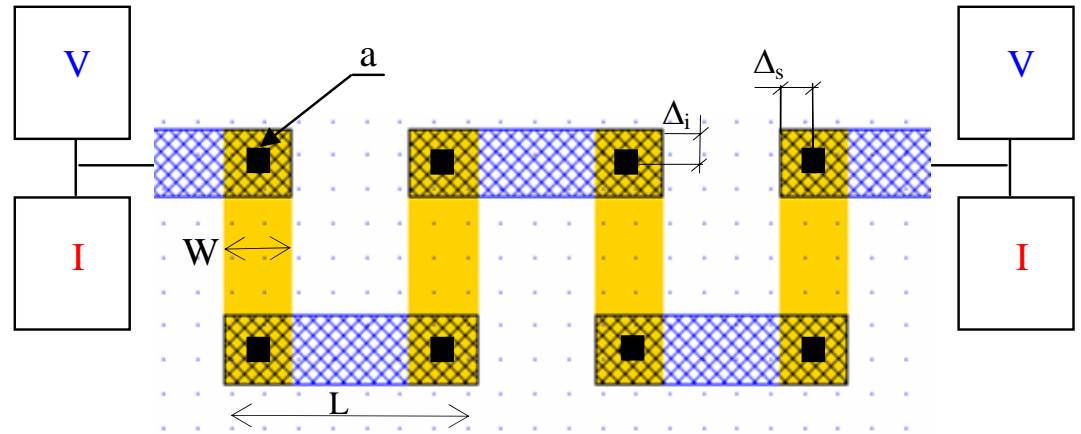
- **CNES, CNRS, IMEC, FhG, CSEM, Tyndall...**
- **Collaborations (EC projects...)**

Des actions de recherche de base

- **2 thèses soumises pour la rentrée 2006**
- **Recherche en cours encadrement universitaire + école doctorale**

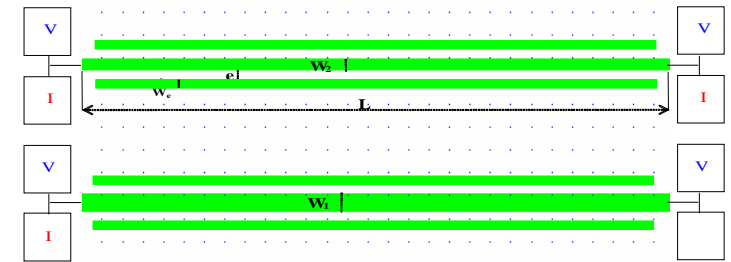
Méthodology « fiabilité »

✓ Véhicules de test



« Isolement et Continuité : Peigne/Serpentin imbriqués »

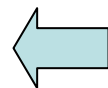
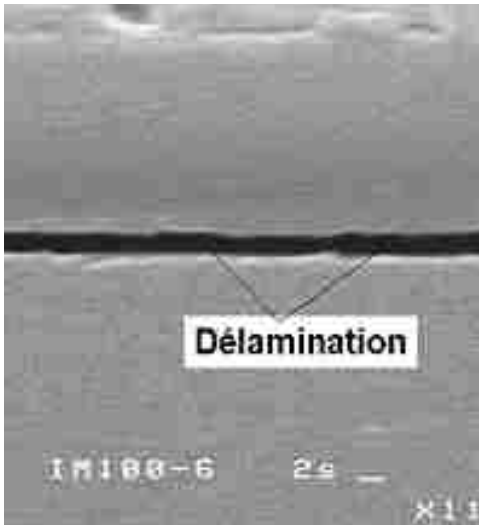
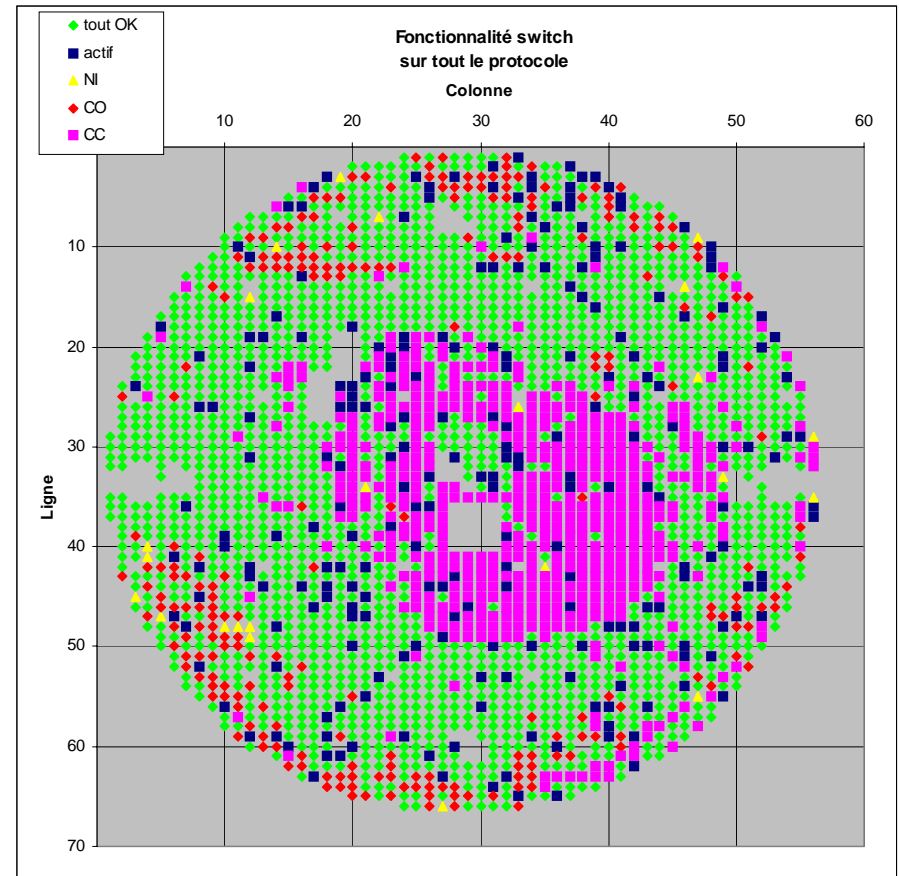
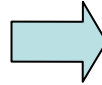
« Chaîne de vias »



« Delta côtes »

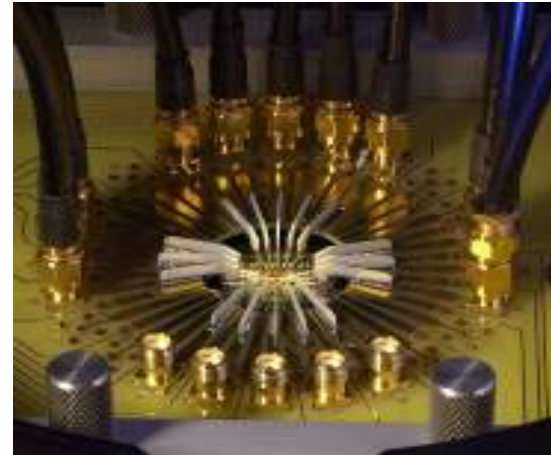
Méthodology « fiabilité »

✓ Approche statistique

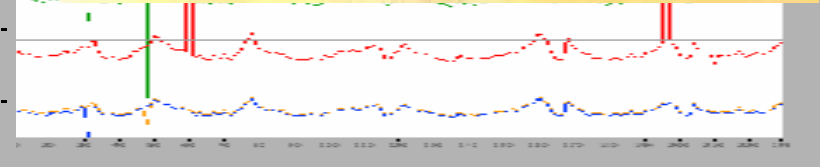
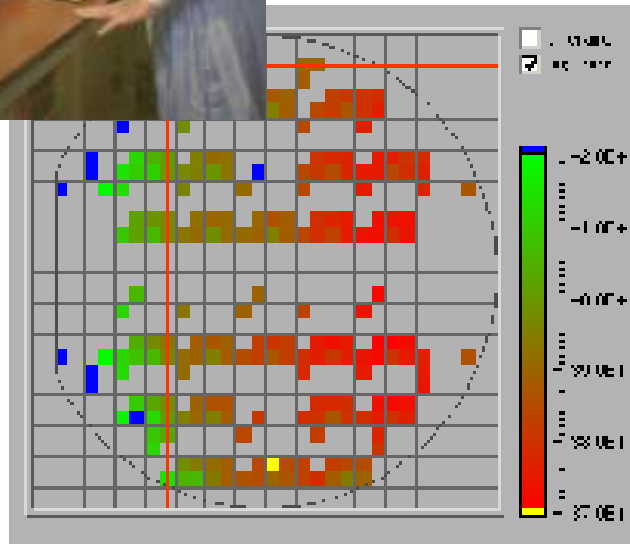


✓ Approche combinée des mécanismes de défaillance

Tests Electriques



probers :
Manual and automated devices



Specific tests software :
Measurements of electrical, magnetic, mechanical and environmental parameters

Prober « fiabilité » « PAV 200 »

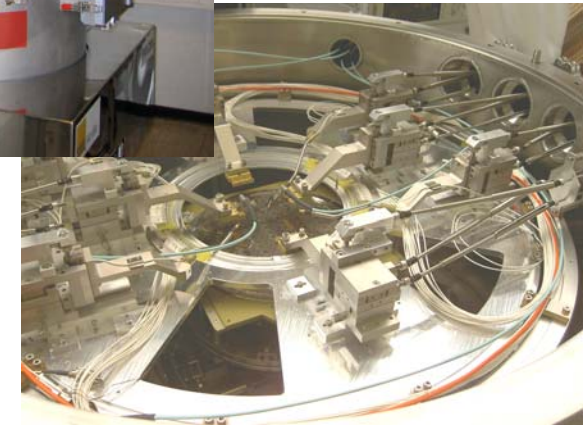
Mesures manuelles ou automatiques (plaques 200 mm) :

- faible courant (pA)/tension élevée (100 V DC)
- RF : jusqu'à 40 GHz (calibration in-situ)

Fonctionnalités :

- Essais fiabilité sous contraintes (vide, atmosphère contrôlée, - 65°C <temp. <+200°C...)
 - Automatique 24h/24h et 7j/7 (mode vieillissement)
 - déplacements X, Y, Z, et Θ
- Manuels &/ou automatiques**

- couplage possible avec instrumentation mécanique (vibrométrie laser ...)

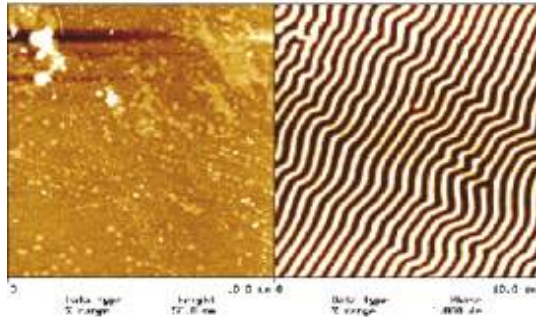


Equipement fonctionnant sous le logiciel « GAMME » (CEA) pour la gestion des déplacements et des mesures

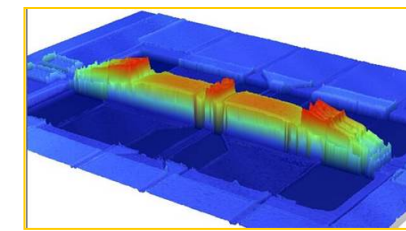
DIHS/LCFM : équipements

Caractérisation mécanique et de surfaces

AFM - MFM



Full Wafer Visible & IR microscopy With Automated Image Analysis



Laser vibrometry : Measurement of MEMS membranes deflection

Essais climatiques



High Pressure Climatic Vessel

High temperature (500°C),
High pressure (250 b)

Programmable Weiss Climatic Chamber

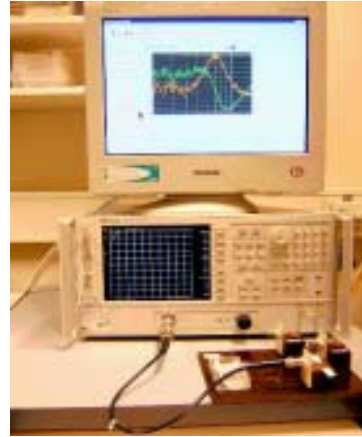
Temperature -40- /+180 °C
Hygrometry 10-98Hr% in the range 10°C - 95°C

DIHS/LCFM : équipements

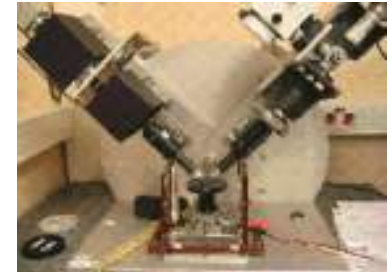
Propriétés magnétiques :

Mesures et modélisation :

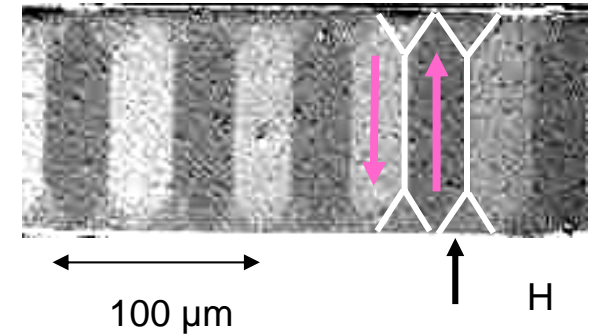
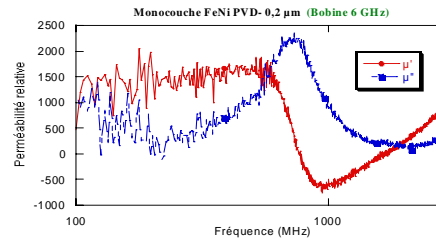
Design composants, dépôts magnétiques, caractérisation du comportement magnétique



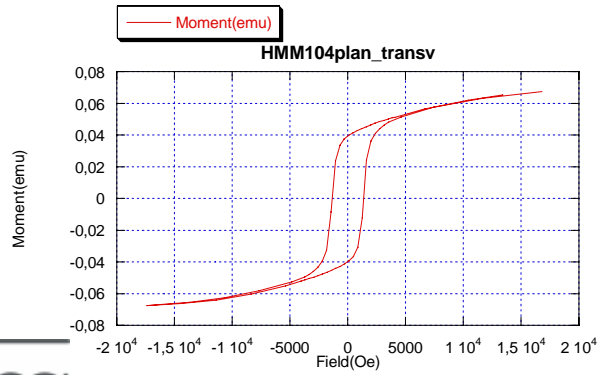
Kerr effect :
Magnetic domains



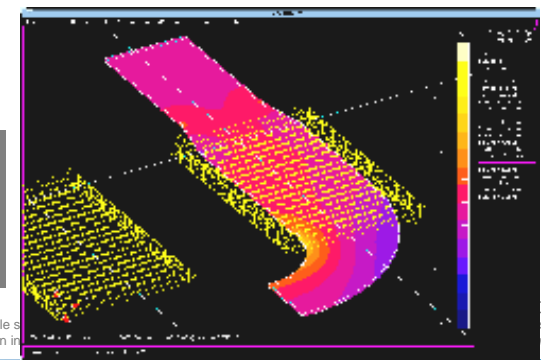
Permeameter $\mu(\text{freq})$



VSM :
Hysteresis cycles



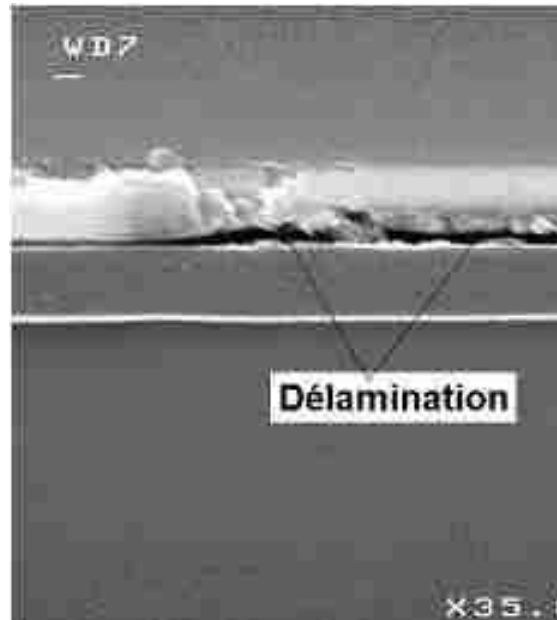
Modelling :
Flux 3D



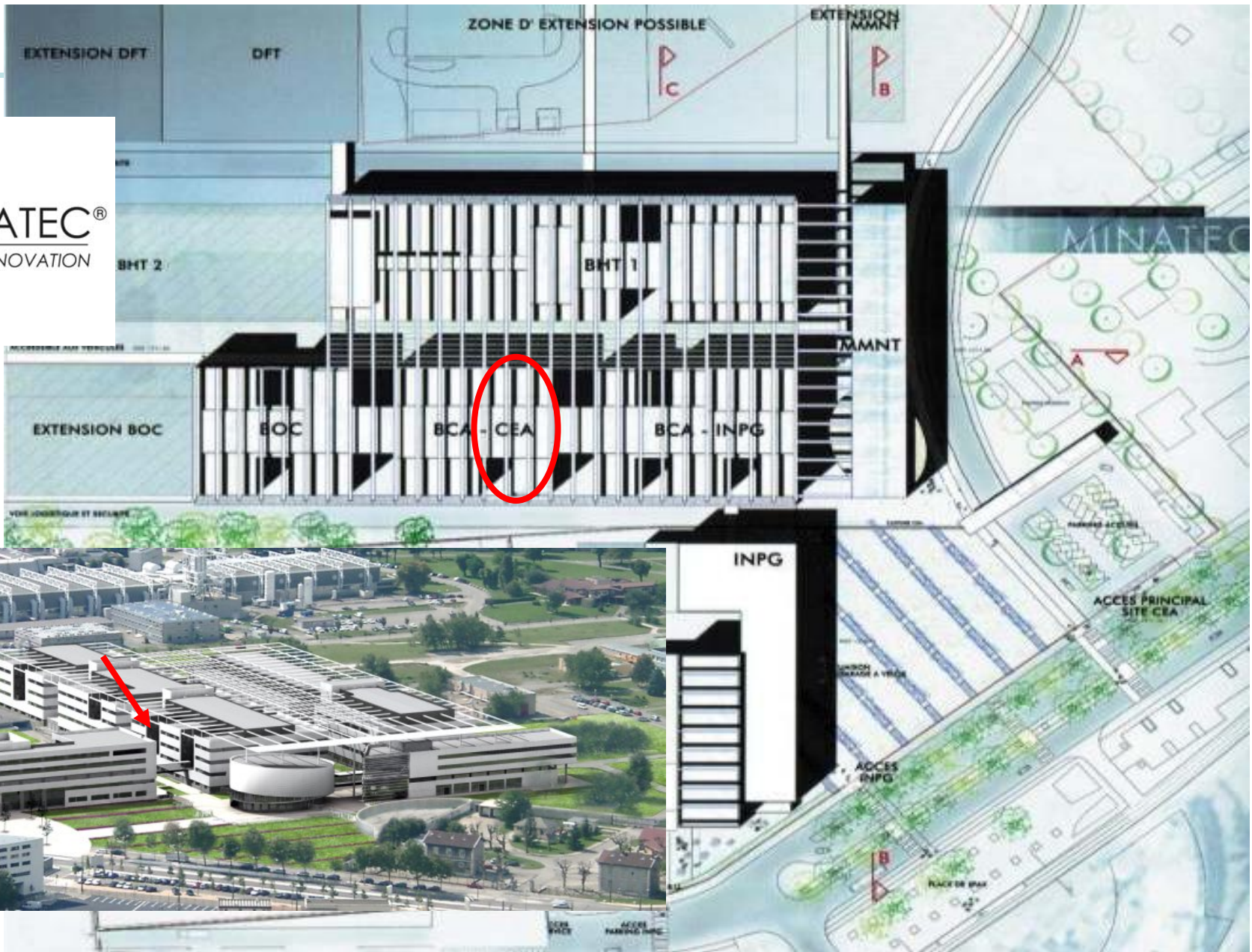
Toute reproduction totale ou partielle sans l'autorisation écrite préalable du CEA. All rights reserved. Any reproduction in any form without the prior written consent of CEA

CEA 2006. Tous droits réservés. Toute reproduction sans l'autorisation écrite préalable du CEA est formellement interdite. Any reproduction in any form without the prior written consent of CEA

Rétro-ingénierie



Ex : delamination mechanism understanding



© CEA 2006. Tous droits réservés.
Toute reproduction totale ou partielle sur quelque support que ce soit ou utilisation du contenu de ce document est interdite sans l'autorisation écrite préalable du CEA
All rights reserved. Any reproduction in whole or in part on any medium or use of the information contained herein is prohibited without the prior written consent of CEA

Contributions à projets Européens

- Projets **PATENT-AMICOM-MNTE**



Design for Micro & Nano Manufacture (Patent – DfMM)
- Lowering the barriers to commercialisation for the next generation of micro and nano technology based products -

IST Project
n° 507255



Partenaires principaux :



IMECNOLOGY



Institut
Zuverlässigkeit und
Mikrointegration



- Contribution projet « *Flagship* » : *packaging hermeticity*
- “*Smartpack*” Pidea+ EC project : *new smartcard packaging*
- “*Hip Pip*” Pidea+ EC project : *interconnections reliability*
- “*Full Control*” Pidea+ EC project : *reliability instrumentation*

Collaborations nationales

Exploitation des synergies CEA-INPG-CNRS



- **co-encadrement universitaire thèses LCFM**
candidats identifiés – **recherche en cours encadrement universitaire/école doctorale**

- « **étude des mécanismes d'accumulation de charges dans les composants à actuation électrostatique** »
financement CFR demandé
- « **évaluation de la fiabilité des structures BAW** »
intérêt industriel exprimé pour financement CIFRE



- **co-encadrement universitaire stages LCFM**



- **GT plate-forme « caractérisation » BCA : accès réciproques privilégiés aux équipements ++ autres initiatives**

- **Groupe de travail IMdF**

- **actions complémentaires à construire**

Les pôles de compétence en France

- IXL Bordeaux
- IEF Paris
- LIRRM Montpellier
- IMEP Grenoble
- LAAS Toulouse
- IRCOM Limoges
- CNES Toulouse



Les centres de compétence européens



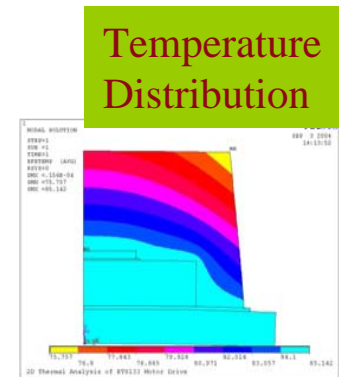
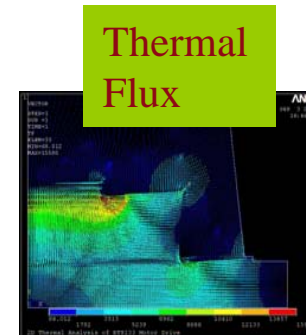
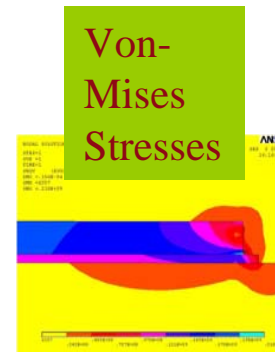
- Ex: electrostatic actuation



Institut
Zuverlässigkeit und
Mikrointegration



- MEMS Packaging, Modelling & Test
IZM, IEF, IMEC, HW, ULAN...



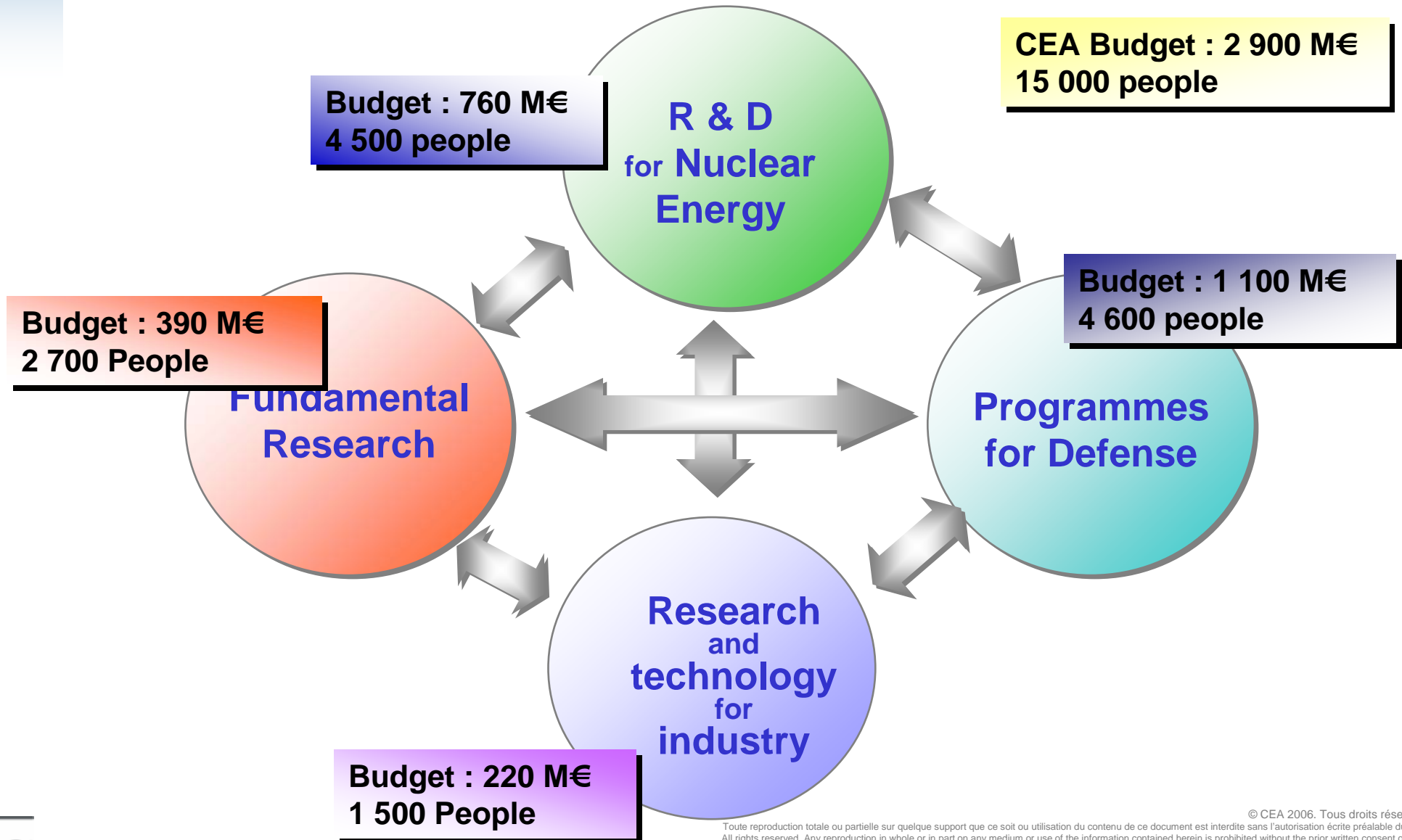


Thank you for your attention
didier.bloch@cea.fr







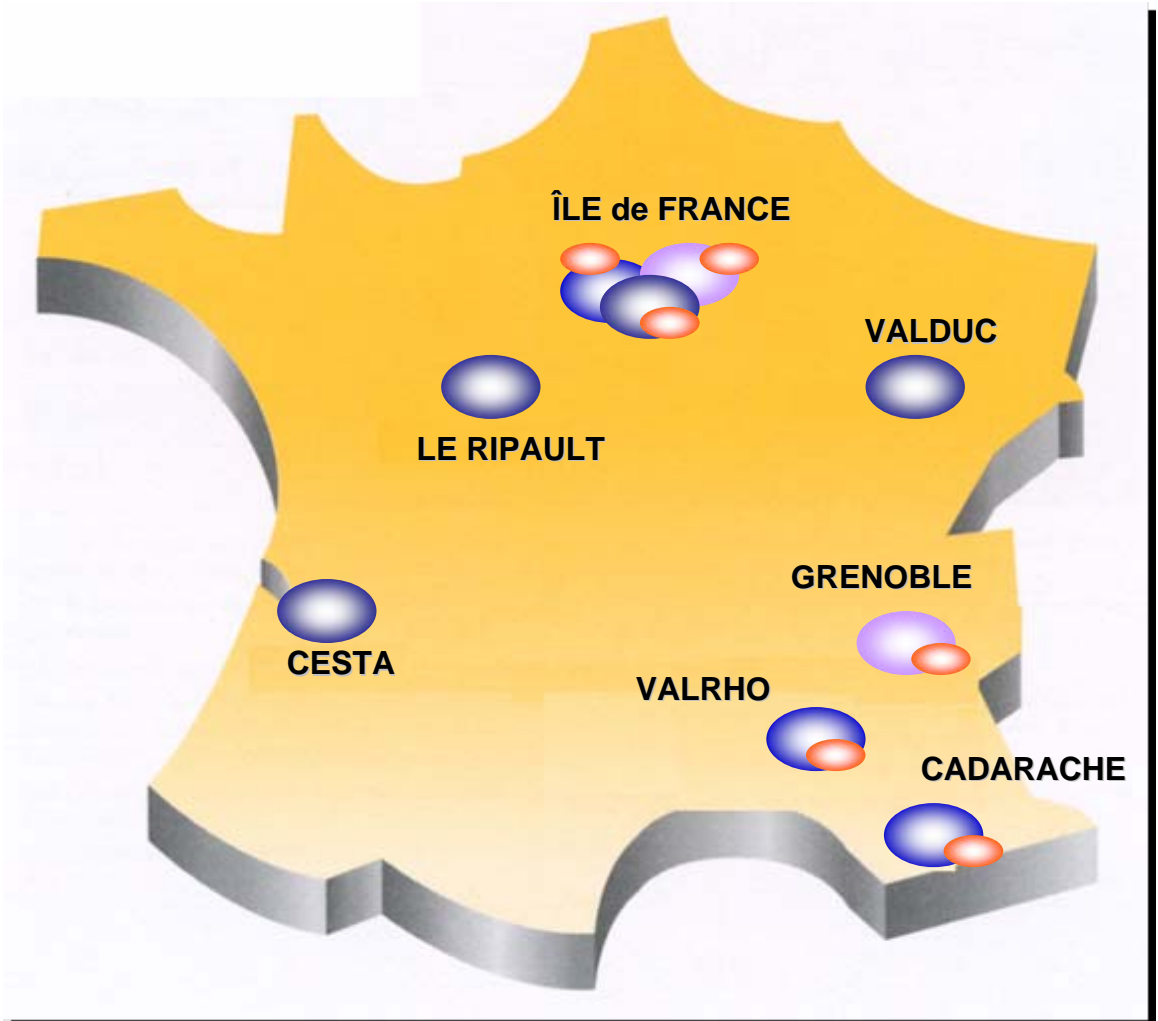
French Atomic Energy Commission

- **Public research administration, created 1945**
- **Objectives : to lead research studies oriented by the French government in the fields of : civil and defence applications of nuclear energy, new technologies for energy, and technological development.**
- **≈16 000 employees**
- **Budget : ≈ 2,9 10⁹ €**
- **> 1 500 patents, 245 pending (2004)**
- **>1 200 collaboration contracts**



CEA : four main fields of activities

-  Defense
-  Technologies for industry
-  Nuclear research
-  Fundamental research



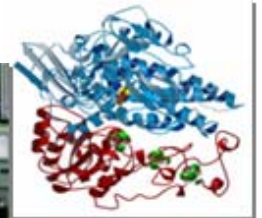


New Technologies for Information and Communications



New Technologies for Energy Fuel cells, batteries, photovoltaics, RUE

...relying on generic scientific research basis



Overview : Léti activities

- micro and nanotechnologies for microelectronics
- microsystem technologies
- design and integration
- imaging technologies
- micro and nanotechnologies for biology and healthcare
- technologies for transmissions and communicating devices

1 580 chercheurs (965 CEA)

11 000 m² salles blanches

Budget :

174M€

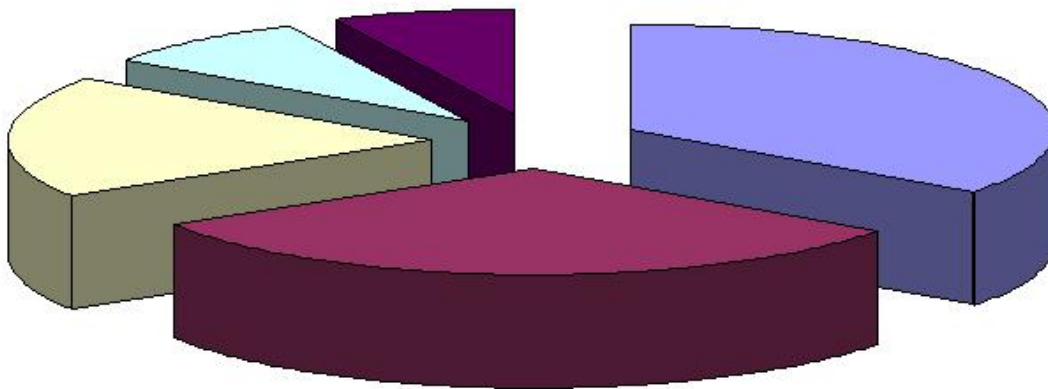
2/3 contrats industriels

43 M€ investissements

200 Partenaires industriels

171 Brevets

Partage des ressources



- micro et nanoelectronique
- microsystèmes et multimedia
- télécoms et microsystèmes autonomes
- biopuces et NRBC
- imagerie médicale et instrumentation

Overview : Activities of Léti

LETI bridges the gap between fundamental research and industry

FOCUS on:

- manufacturability
- reliability
- high value added / low cost

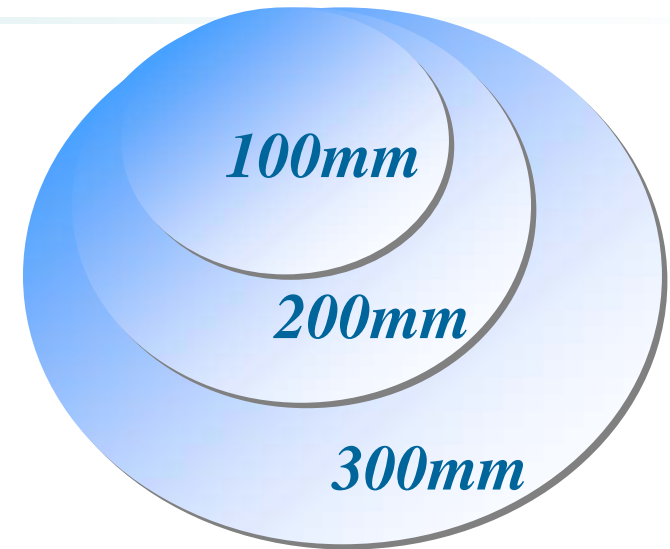


Toute reproduction totale ou partielle sur quelque support que ce soit est interdite sans l'authorisation écrite de L ti.
All rights reserved. Any reproduction in whole or in part on any medium is prohibited without the written authorization of L ti.

Overview : Facilities of Létí

Industry Standard

- equipment
- processes
- protocols



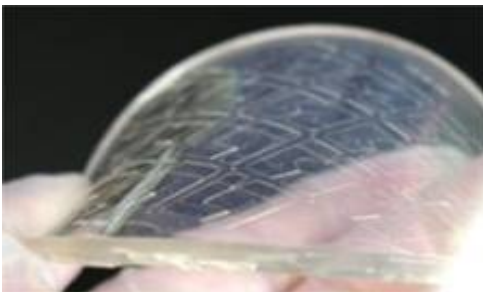
Specific processes for microtechnology:

Deep RIE etching (Si, SiO₂, SOI)

High topology lithography & deposition

Bonding (anodic, molecular adhesion, eutectic,...)

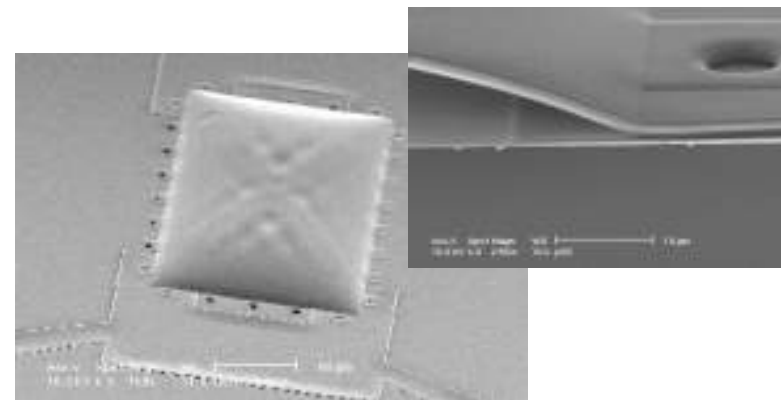
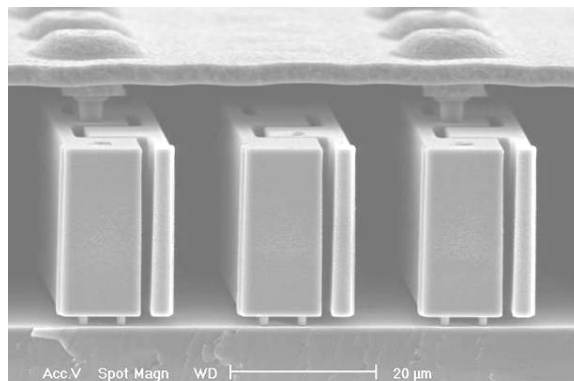
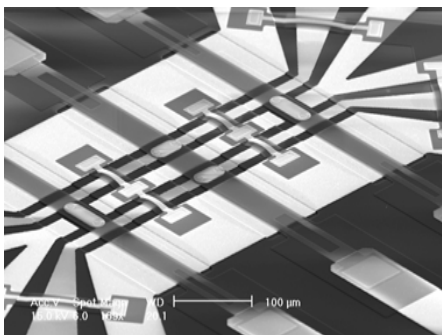
Structure release (wet & dry)



CSM
leti

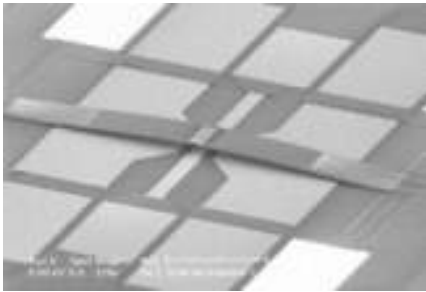


Leti activities in the frame of Microsystems



Microsystems

MEMS, MOEMS :
RF Switches, pressure sensors, accelerometers, gyrometers, magnetic sensors, optical switches

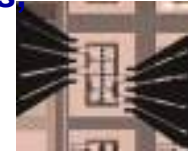


Switch



accelerometer

Integrated Passives :
-Low TCR Precision Resistors
-RF and High-K Capacitors,
-Variable Capacitors,
-Bulk Acoustic Wave Resonators



BAW



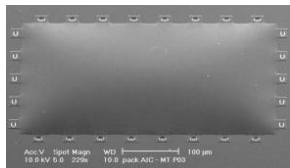
RLC

SOI substrates Reliability

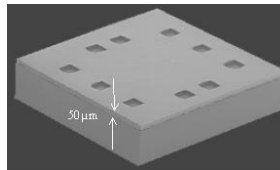


Packaging

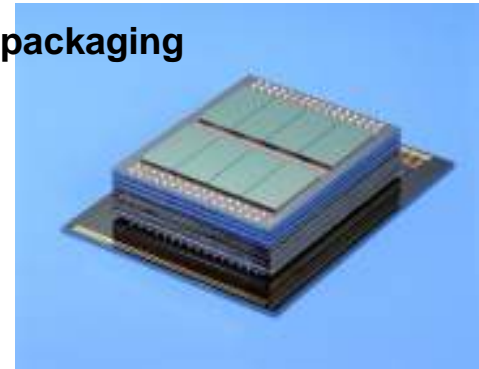
Zero-assembly packaging



Wafer-level packaging



3D packaging



Tous droits réservés.
All rights reserved. Any reproduction in whole or in part on any medium or use of the information contained herein is prohibited without the prior written consent of CEA

Laboratoire Transferts de Films et de Circuits

Laboratoire Composants Micro Systèmes

Laboratoire Composants Radio-Fréquence

Laboratoire Intégration Mémoires & Nanodispositifs

Laboratoire Technologies de Packaging et d'Intégration

Laboratoire Caractérisation et Fiabilité des Microsystèmes

Laboratoire Technologies de Composants sur Verre

130 salariés CEA (+40), 45 brevets/an :

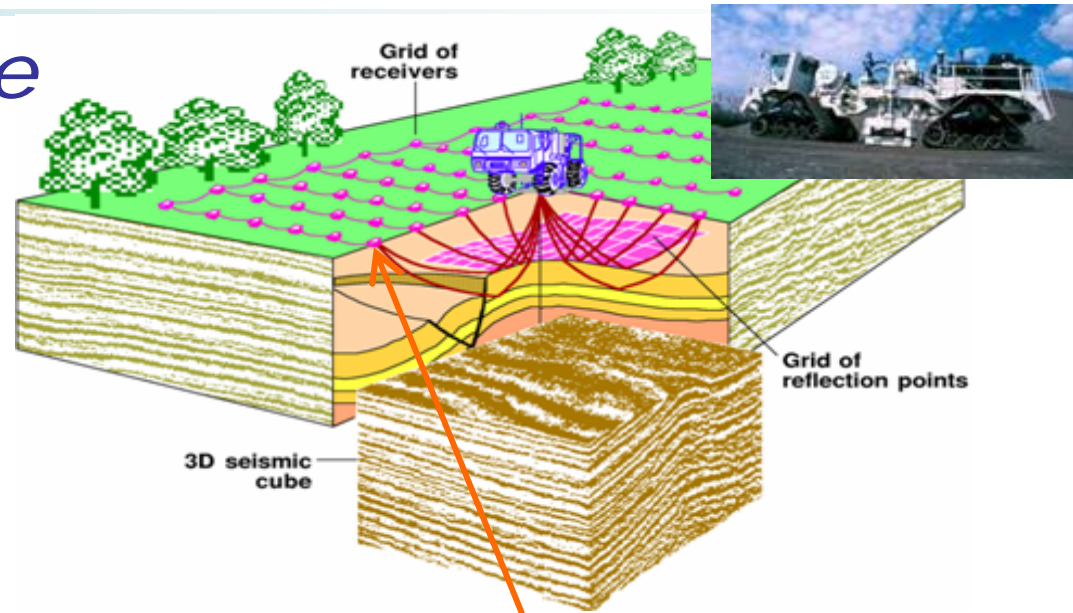
- **New substrates: SOI, GeOI, Strained SOI, compound based on Wafer bonding**
- **Standalone MEMS/MOEMS (inertial sensors, pressure sensors, magnetic sensors, optical switches, adaptative optics...**
- **Integration of new components above ICs (memories, passives, RF MEMS, optical interconnects on CMOS...)**
- **Packaging: MEMS packaging, Wafer level packaging, Wafer bonding, new Hybrid solutions, 3D integration**
- **MEMS Characterisation & Reliability analysis**
- **Displays**

**Budget ~ 20 M€/ year with 5 M€ of investments.
80% of total budget coming from external revenues.**

© CEA 2006. Tous droits réservés.
Toute reproduction totale ou partielle sur quelque support que ce soit ou utilisation du contenu de ce document est interdite sans l'autorisation écrite préalable du CEA
All rights reserved. Any reproduction in whole or in part on any medium or use of the information contained herein is prohibited without the prior written consent of CEA

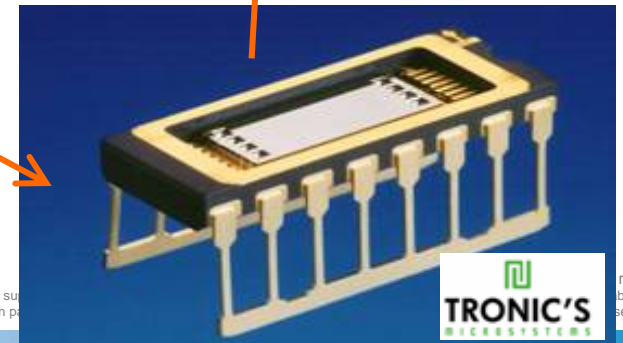
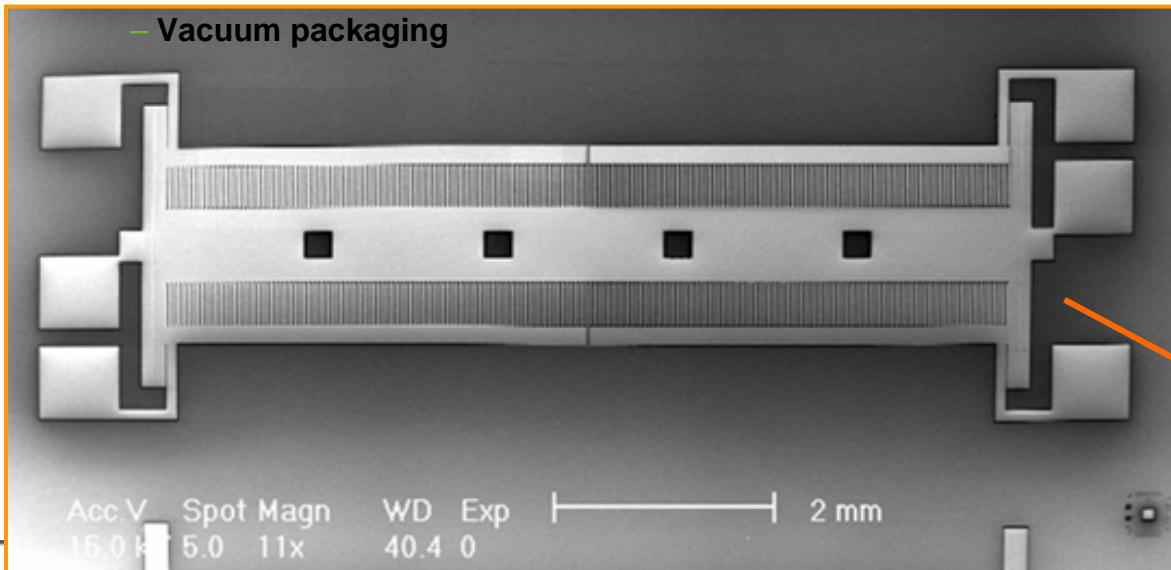
Sensing: Development of mechanical MEMS

- *High performance*
- *High reliability*
- *Low cost*



- **Geophone (accelerometer)**

- Applications : petroleum exploration
- Range : 0.1g / on 1g
- Resolution : 0.1 μ g
- Dynamic : 120dB
- Technology : SOI 100mm on cavity
- Vacuum packaging

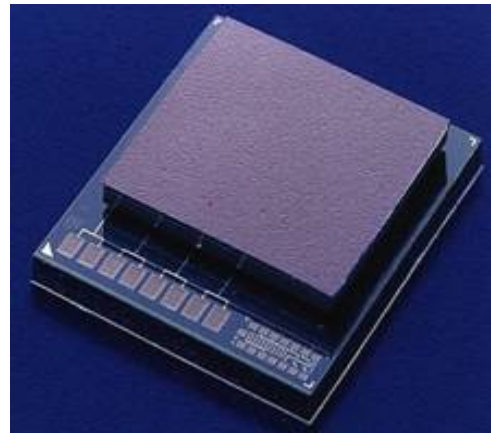
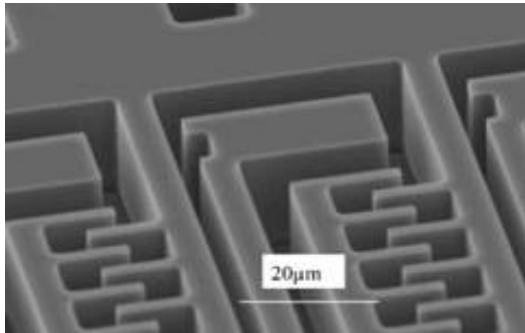
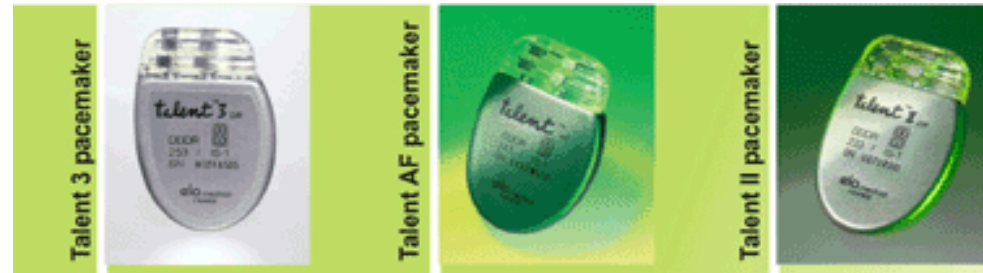


Sensing : In-vivo mechanical MEMS

- *High performance*
- *High reliability*
- *Low cost*



*Example:
pacemakers*

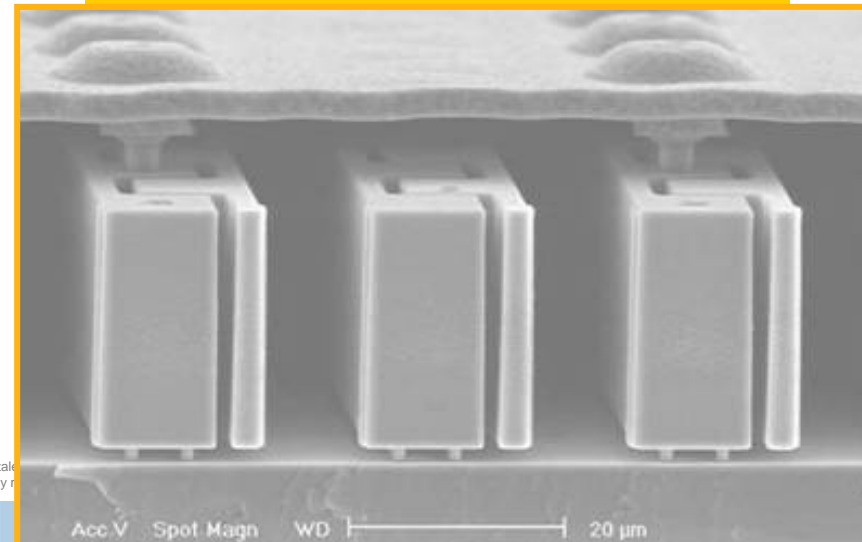


Sensing : Accelerometers for Automotive

- *High performance*
- *High reliability*
- *Low cost*

• ATLAS accelerometer

- Range : 2g
- Noise : 200 $\mu\text{g}/\text{Hz}^{0.5}$
- Acc. output error : $\pm 32\text{mg}$
- 200mm SOI Technology :
- Thin film packaging (plastic molding compatibility)



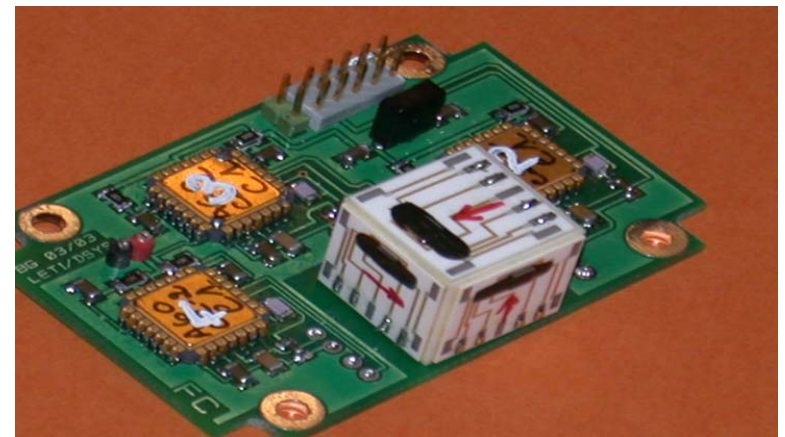
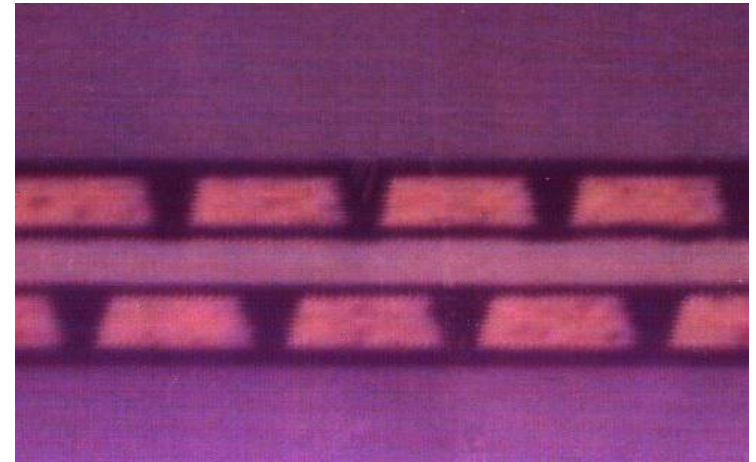
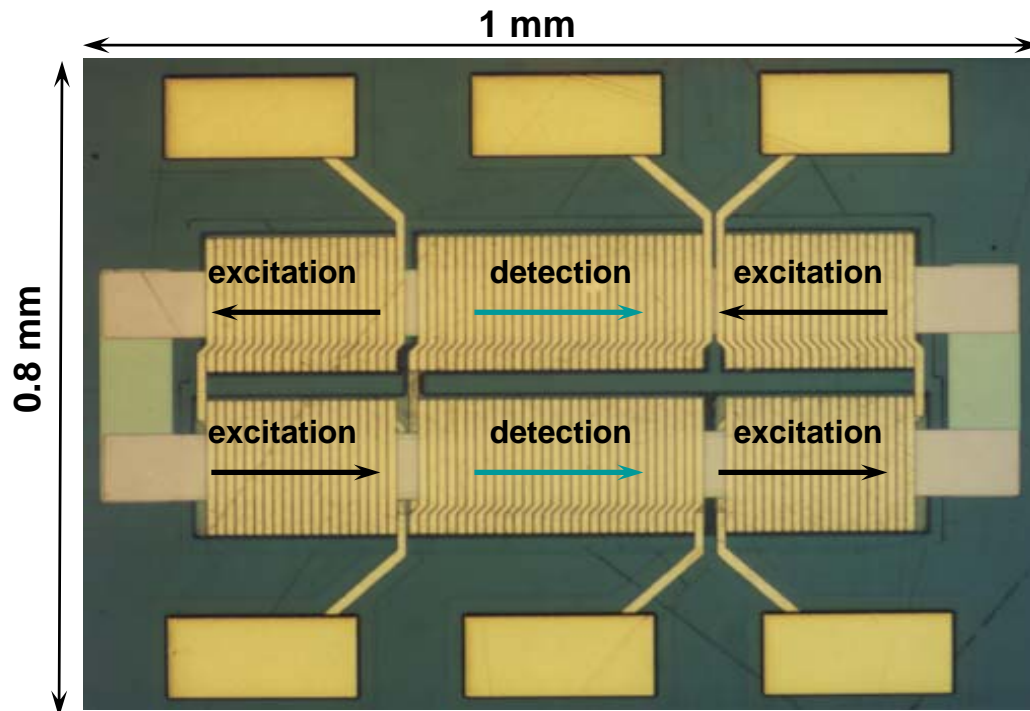
Toute reproduction totale
All rights reserved. Any r



Sensing : Magnetic MEMS developments

- **Micro-fluxGate**

- Application : high sensitivity magnetic field sensor
- Inductive detection (near the saturation level - saturation induced by the excitation inductors)
- Noise : $1 \text{ nT/Hz}^{0.5} > 1 \text{ Hz}$



μfluxgate cube for 3D detection