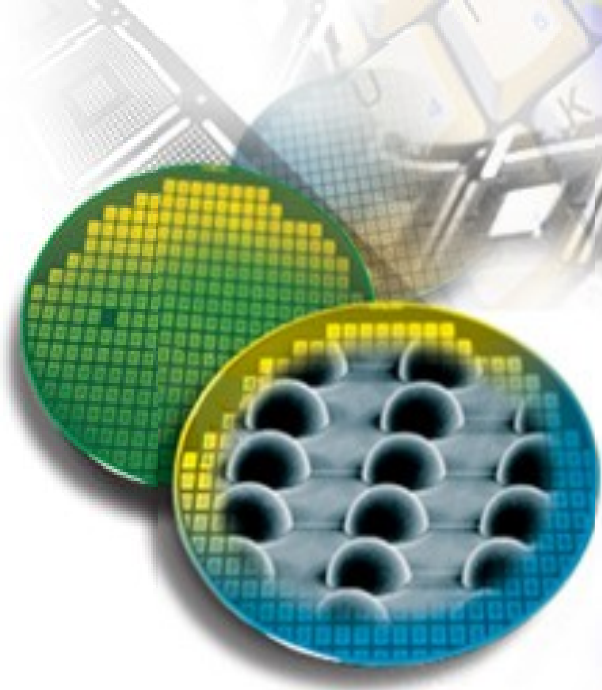




UMR CNRS 5214

Groupe **MITEA**

Micro-capturs **T**hermo-mécaniques et **E**lectronique **A**ssociée

BREVE HISTOIRE D'UN CAPTEUR ...



L'accéléromètre Thermique ...

Professeur Alain FOUCARAN
IES – Université Montpellier II



UNIVERSITE MONTPELLIER II



Département de Recherche STICS

IES

UMR CNRS

[170]

LIRMM

UMR CNRS

[230]

J.C. König

A. Foucaran



MITEA (Foucaran)





Brève histoire d'un capteur

1. TICs ?

La société évolue grâce à des échanges d'informations entre les groupes

Cela suppose :

Des **communications** entre les individus
A courte distance et longue distance,

Le **stockage** des informations
Pour archivage, pour utilisation fréquente, ...

Le **traitement** des informations
Calcul mais aussi interprétation, comparaison, ...



**D'où la grande importance des technologies de
l'information et de la communication dans les sociétés
humaines**



Brève histoire d'un capteur

1. TICs ?

Technologies de l'Information et de la Communication :

- 1. Les communications**
- 2. Le stockage des informations**
- 3. Le traitement des informations**



Brève histoire d'un capteur

1. TICs

1.1. Communications

Par l'intermédiaire de médias

Ce qui suppose du stockage d'information

Par support hertzien

Formulation des équations de l'électromagnétisme par Maxwell en 1864

Par des électrons

Découverte de l'électron en 1898 par Thomson

Par des photons

Notion de photon en 1919

Directes à courte distance

Sons, ... puis le langage plus ou moins évolué



Brève histoire d'un capteur

1. TICs

1.1. Communications



Le 13 septembre de l'an 490 avant Jésus-Christ, les Athéniens repoussent à Marathon une tentative d'invasion des Perses. Un messager dénommé Philippidès court annoncer la victoire aux habitants d'Athènes. Il meurt d'épuisement en arrivant juste après avoir eu le temps de prononcer «*Nenikamen*» (*Nous avons gagné*).

Luc Olivier Merson
"Le soldat de Marathon", 1869

Brève histoire d'un capteur

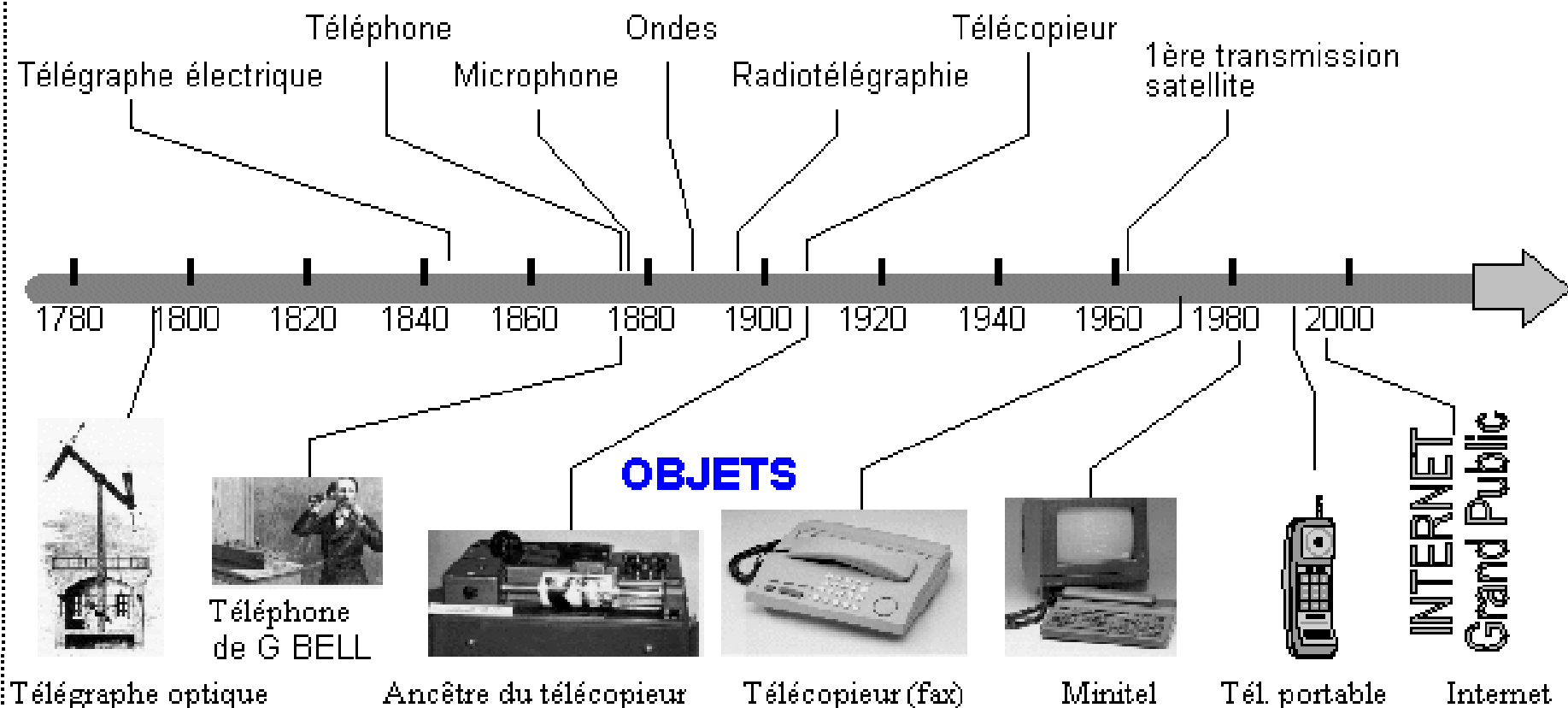
1. TICs

1.1. Communications

Chronologie (tout en 200 ans !!)

REPERE TEMPOREL

INNOVATIONS



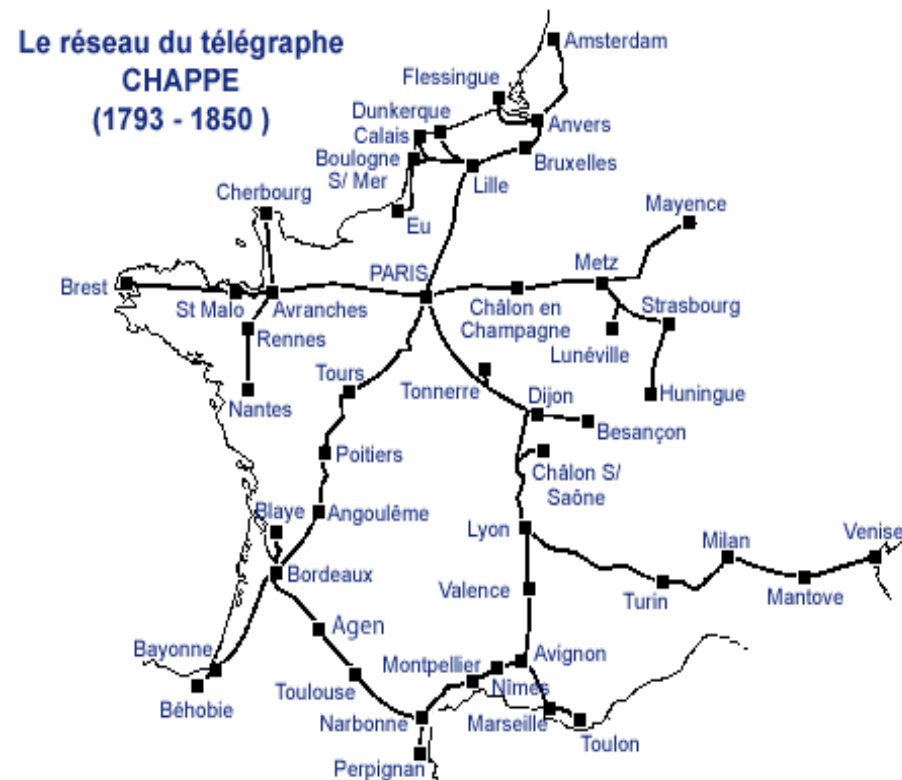
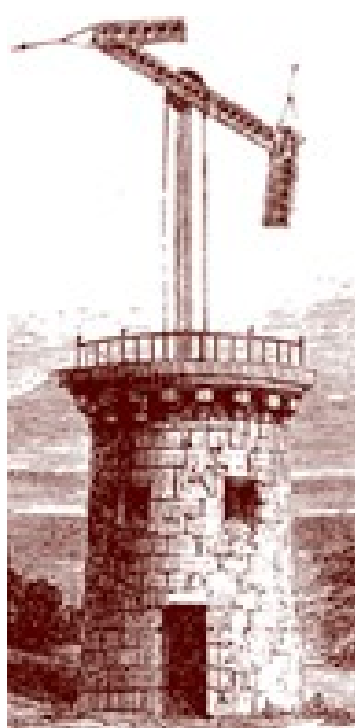


Brève histoire d'un capteur

1. TICs

1.1. Communications

Le Télégraphe de Claude Chappe



1793 : Liaison : Belleville - St Martin du Tertre

Brève histoire d'un capteur

1. TICs

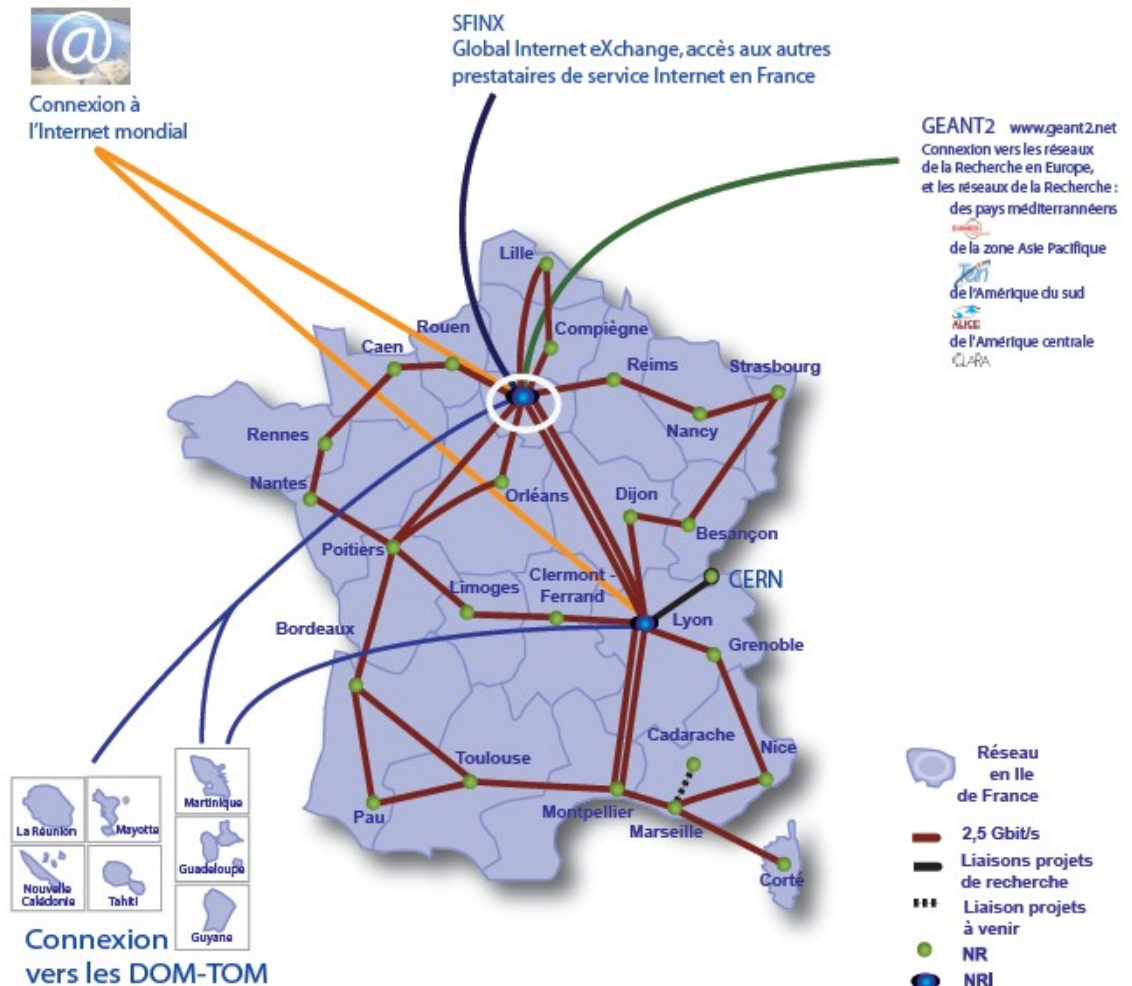
1.1. Communications

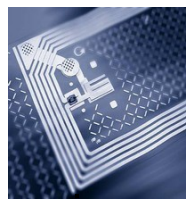
Le Réseau RENATER

Réseau National de télécommunications pour la Technologie, l'Enseignement et la Recherche

Liaison très haut débit pour les grandes villes à potentiel de recherche important

Etat du réseau en septembre 2005





Brève histoire d'un capteur

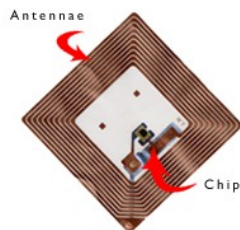
1. TICs

1.1. Communications

La RFID (communication « locale »)

Radio Frequency
IDentification

Technologie avancée
d'indentification, de suivi et
de traçabilité des produits.



Micro puce équipée d'une antenne permettant la communication des données entre les lecteurs et les marqueurs par ondes radios.



Brève histoire d'un capteur

1. TICs

1.2. Le stockage des informations

Technologies de l'Information et de la Communication :

1. Les communications
2. **Le stockage des informations**
3. Le traitement des informations



Brève histoire d'un capteur

1. TICs

1.2. Le stockage des informations

Le cerveau

Gravure de signes sur des supports minéraux

Premiers disques durs

Écriture

Pierre, papyrus, papier

Utilisation facilitée par l'invention de l'imprimerie (Gutenberg, 1440)

Microfilms

Supports magnétiques

Composants électroniques

Supports optiques

Composants moléculaires



Brève histoire d'un capteur

1. TICs

1.2. Le stockage des informations

Disque Dur en pierre

Φ 16 cm



diamètre : 16 cm 241 signes 1 bit/inch²

Brève histoire d'un capteur

1. TICs

1.2. Le stockage des informations

Millipede d'IBM (IBM Zurich inventeur de l'AFM)

Mémoire "mécanique" nanométrique

1bit = 1 nanotrou ($\Phi \approx 20$ nm)



Écriture et lecture thermoélectrique

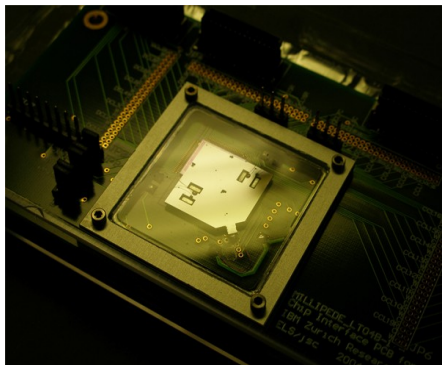


Brève histoire d'un capteur

1. TICs

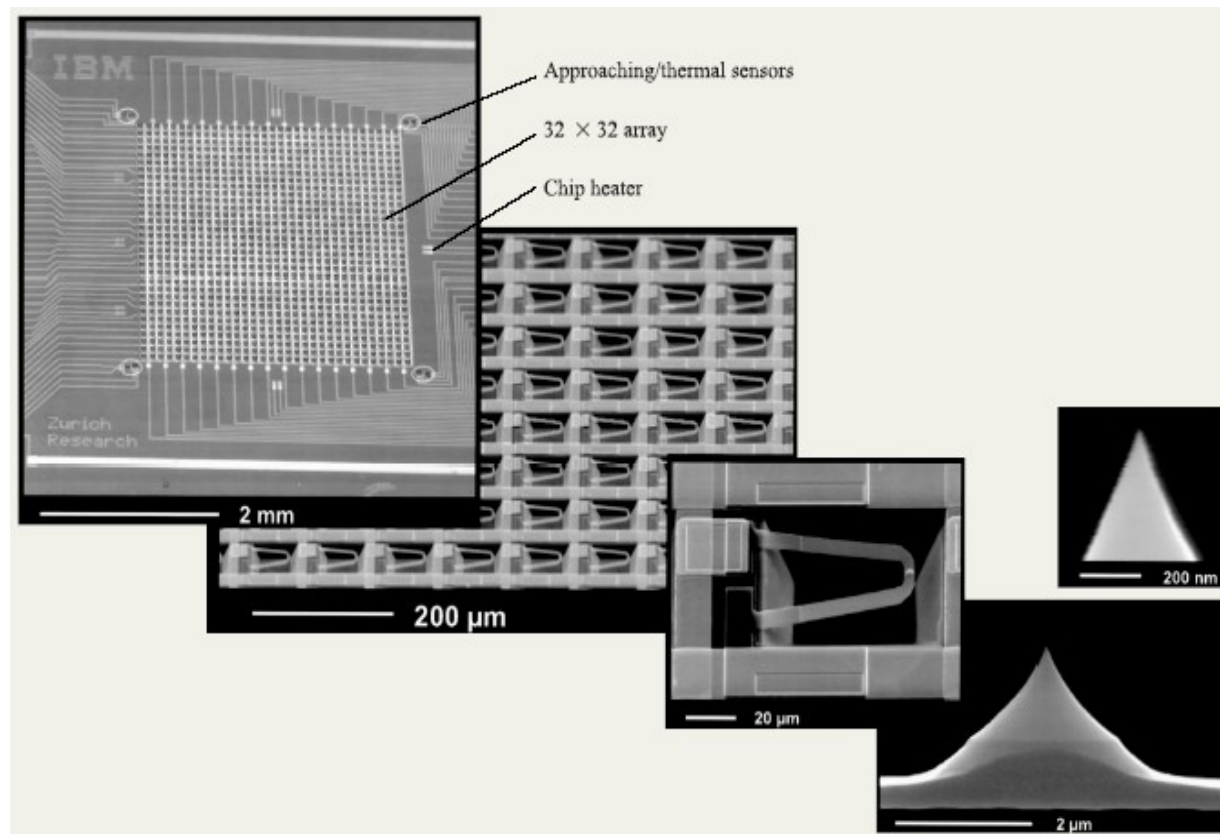
1.2. Le stockage des informations

Millipede d'IBM



Support de stockage promettant des densités jamais atteintes : jusqu'à 1 Tb/in²

(rappel : Meilleur DD actuel
50 à 100 Gbits/in²)



Utilisant des rangées de pointes pour améliorer la lecture et l'écriture des données.



Brève histoire d'un capteur

1. TICs

1.3. Le traitement des informations

Technologies de l'Information et de la Communication :

1. Les communications
2. Le stockage des informations
3. **Le traitement des informations**



Brève histoire d'un capteur

1. TICs

1.3. Le traitement des informations

Le cerveau

Les calculatrices mécaniques

Bouliers, machine de Pascal, ...

Les calculatrices électroniques

ENIAC

Micro Processeurs

Les calculatrices optiques

Étudiées au stade du laboratoire, plus très « à la mode »

Les calculatrices quantiques

Utilisant généralement des photons, au stade de la recherche de base

Les systèmes moléculaires

Actuellement au stade de la recherche de base

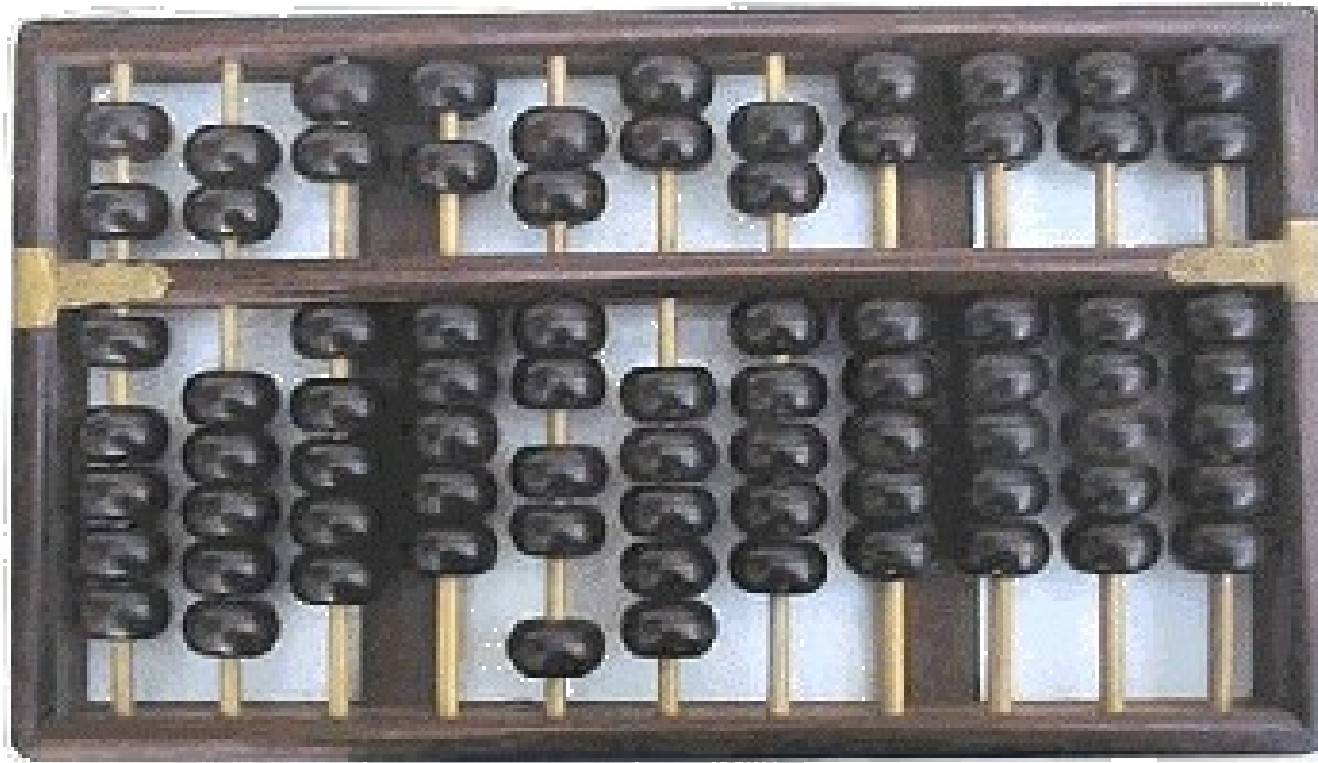


Brève histoire d'un capteur

1. TICs

1.3. Le traitement des informations

Le Boulier Chinois



- 400 avant Jésus Christ

Brève histoire d'un capteur

1. TICs

1.3. Le traitement des informations

La machine de PASCAL



La première machine à calculer date de 1642. Elle est l'oeuvre de Blaise Pascal, qui souhaitait aider son père dans la collecte des impôts.

Brève histoire d'un capteur

1. TICs

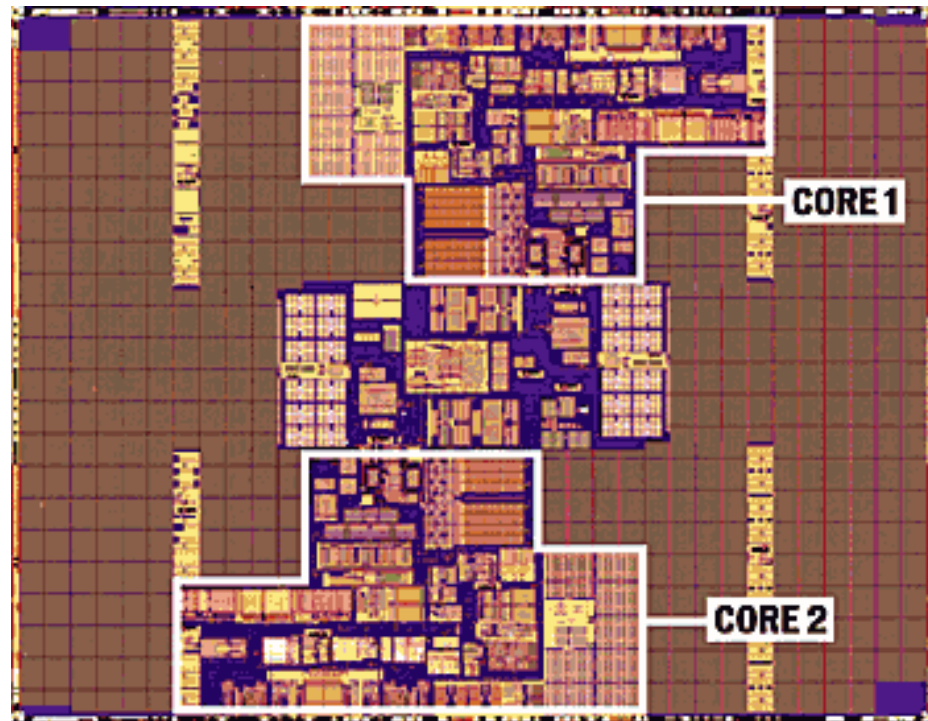
1.3. Le traitement des informations

Le Processeur Dual Core

Intel Montecito (Itanium).

Processeur à double
cœurs.

1,7 milliards de transistors
dans une seule puce
(2006).





Brève histoire d'un capteur

1. TICs

1.??

Pour communiquer, traiter et stocker de l'information ... il faut avant toutes choses : LA CAPTURER

Technologies de l'Information et de la Communication :

0. La capture de l'information

1. Les communications

2. Le stockage des informations

3. Le traitement des informations



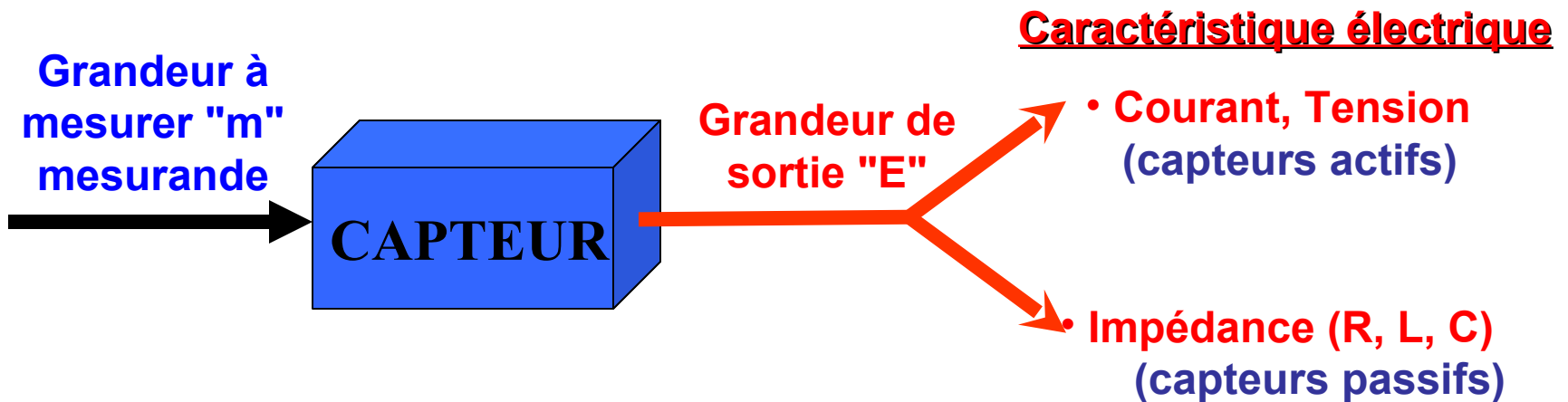
Brève histoire d'un capteur

1. TICs

1.0. Capture de l'information : Le capteur

Définition

Le capteur est un dispositif qui fournit à partir d'une grandeur physique prélevée (m), une autre grandeur physique de nature différente (E) (souvent électrique : courant, tension, impédance, ...).



Brève histoire d'un capteur

1. TICs

1.0. Capture de l'information : Le capteur

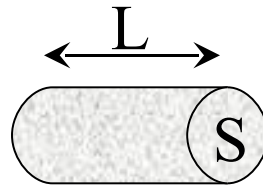
Une équation = plusieurs capteurs !!

Résistivité : capacité du matériau à laisser passer un courant.

Symbole : ρ Unité : $\Omega .m$

$$R = \frac{\rho L}{S} \quad (T^\circ, \text{position, pression, force etc ...})$$

R : résistance (Ω), L : longueur (m), S : surface de la section (m^2)

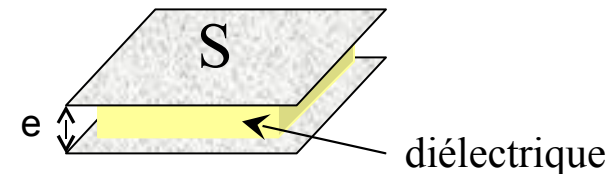


Constante diélectrique ou permittivité : capacité du matériau à stocker de l'énergie sous forme électrostatique.

Symbole : ϵ Unité : F/m

$$C = \frac{\epsilon S}{e} \quad (H\%, \text{angle, épaisseur,})$$

C : capacité (F), S : surface des armatures (m^2), e : épaisseur (m)





Brève histoire d'un capteur

1. TICs

1.0. Capture de l'information : Le capteur

Capteurs actifs

Mesurande	Effet utilisé	Grandeur de sortie
Température	Thermoélectricité	Tension (V)
Flux optique	Effet photoélectrique	Courant (I), Tension (V)
	Pyroélectricité	Tension (V)
Force, Pression	Piézoélectrique	Tension (V)
Vitesse	Induction magnétique	Tension (V)
Position, Courant	Effet Hall	Tension (V)



Brève histoire d'un capteur

1. TICs

1.0. Capture de l'information : Le capteur

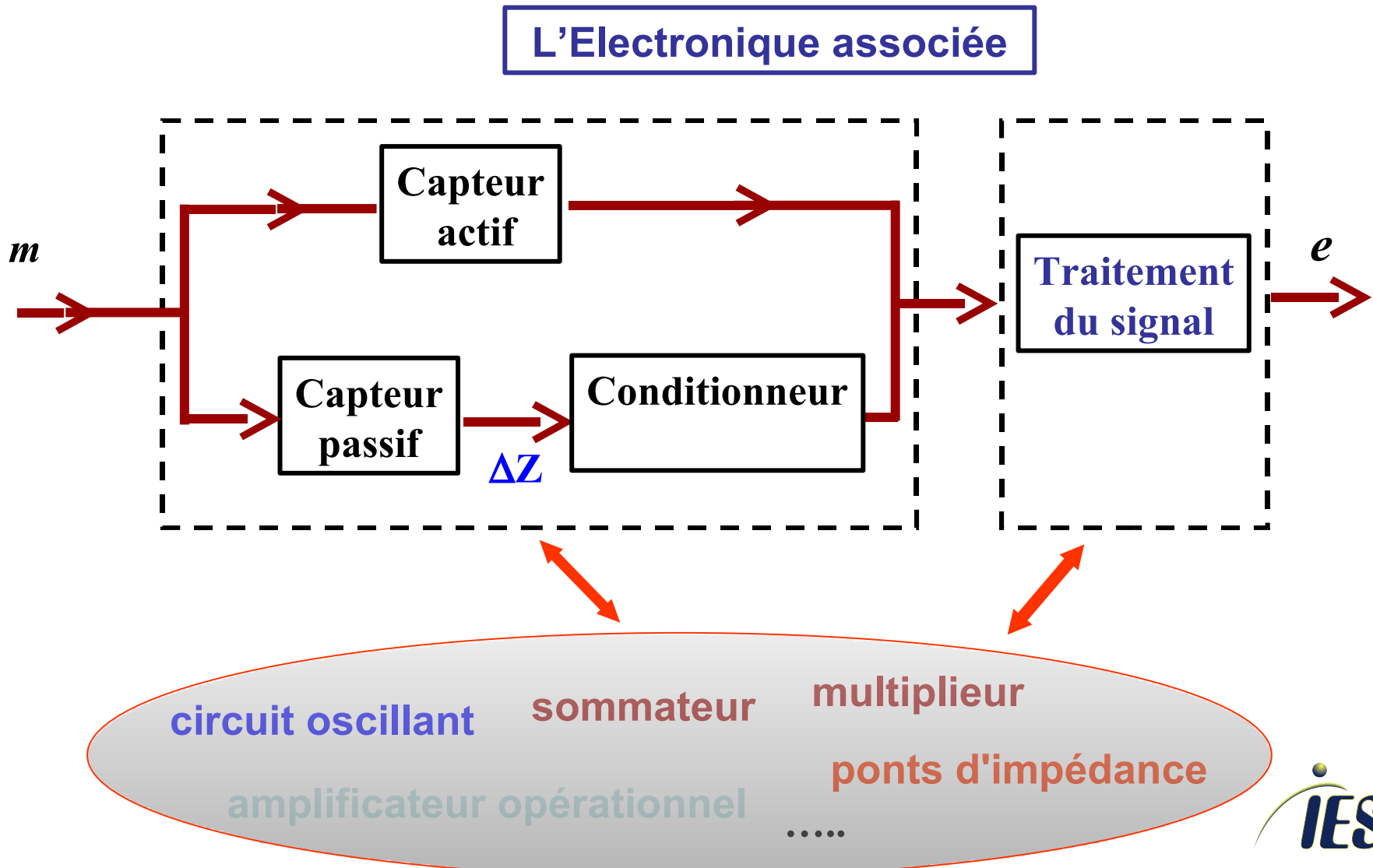
Capteurs passifs

Mesurande	Caractéristique sensible	Type de matériaux utilisés
Température	Résistivité	Platine, nickel, cuivre
Flux optique	Résistivité	Semi-conducteur
Déformation	Résistivité	Alliage ferromagnétique
	Perméabilité magnétique	
Niveau	Constante diélectrique	Liquides isolants
Humidité	Résistivité	Chlorure de lithium.
	Constante diélectrique	Alumine, polymères

Brève histoire d'un capteur

1. TICs

1.0. Capture de l'information : Le capteur

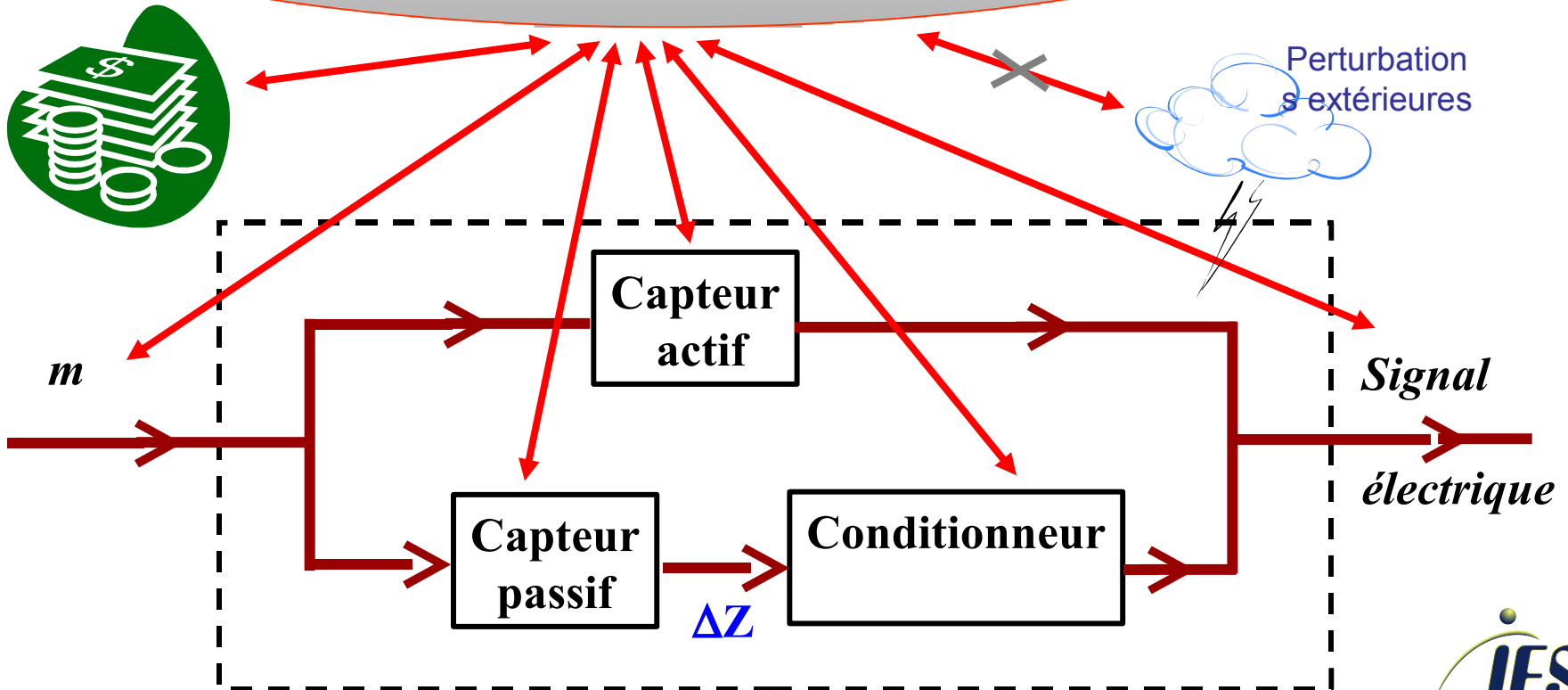


Brève histoire d'un capteur

2. Conception de capteur

2.1. Cahier des charges

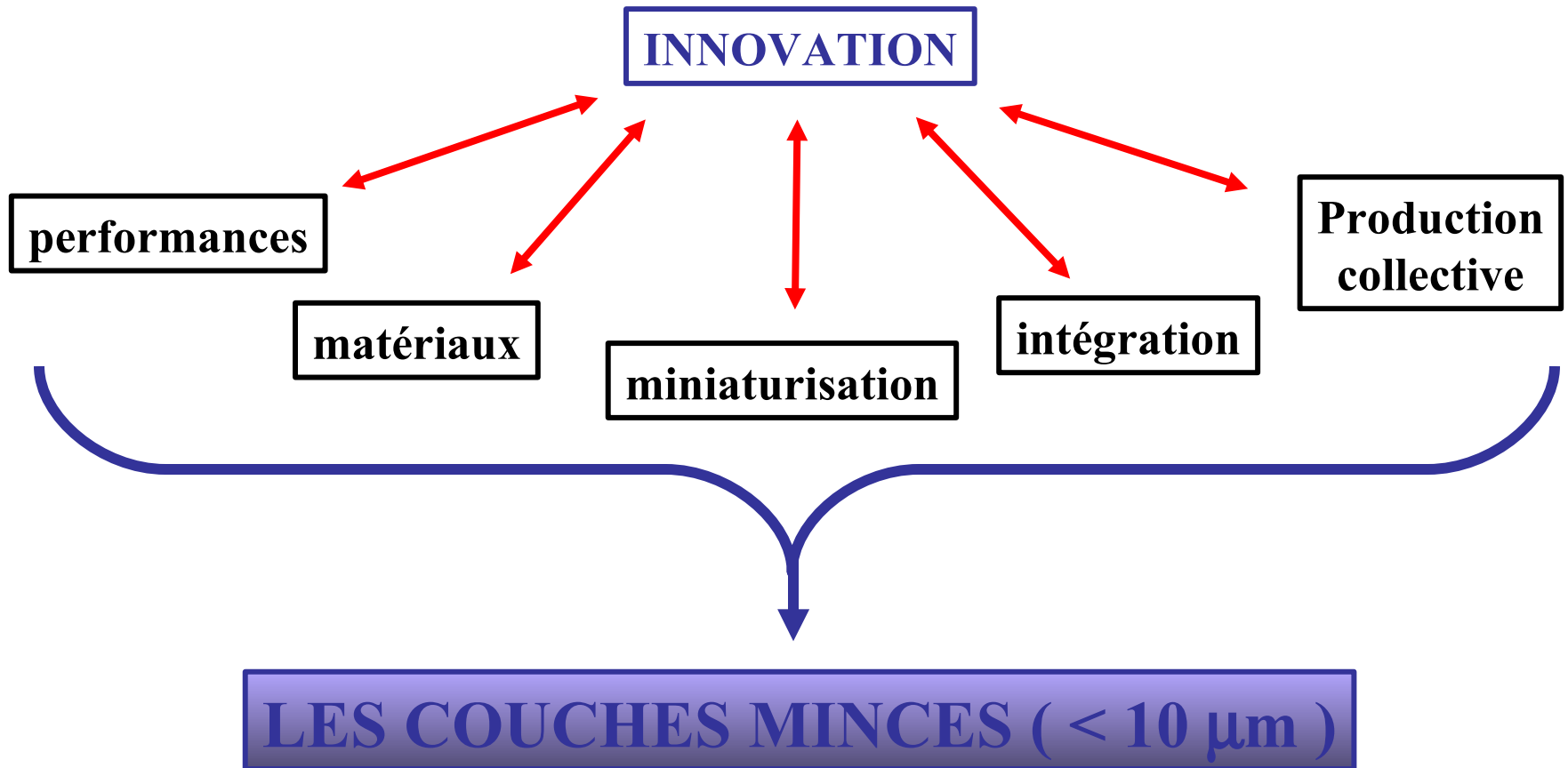
Dès les premières étapes de conception il faut intégrer toutes les spécificités liées à la capture du mesurande et à son environnement et € !!!



Brève histoire d'un capteur

2. Conception de capteur

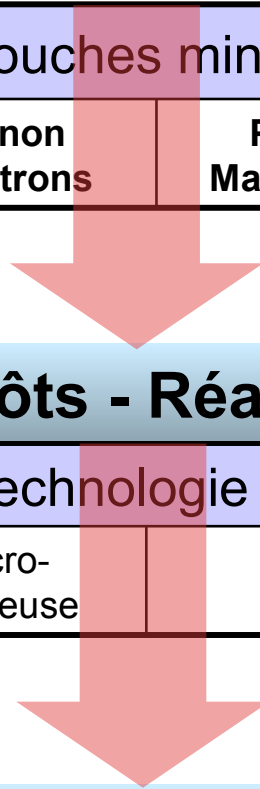
2.2. Les moyens techniques à mettre en œuvre pour ... INNOVER !



Moyens Techniques

Maîtrise des dépôts en couches minces

Couches minces					
Pulvé. Cathodique	Evap. Flash	Canon Electrons	Pulvé. Magnétron	Evap. Joule	MOCVD,



Structuration des dépôts - Réalisation des dispositifs

Centrale de Technologie (Salle Blanche)					
Masq. Double faces	E beam	Micro- soudeuse	RIE	RTA,	MEB/AFM

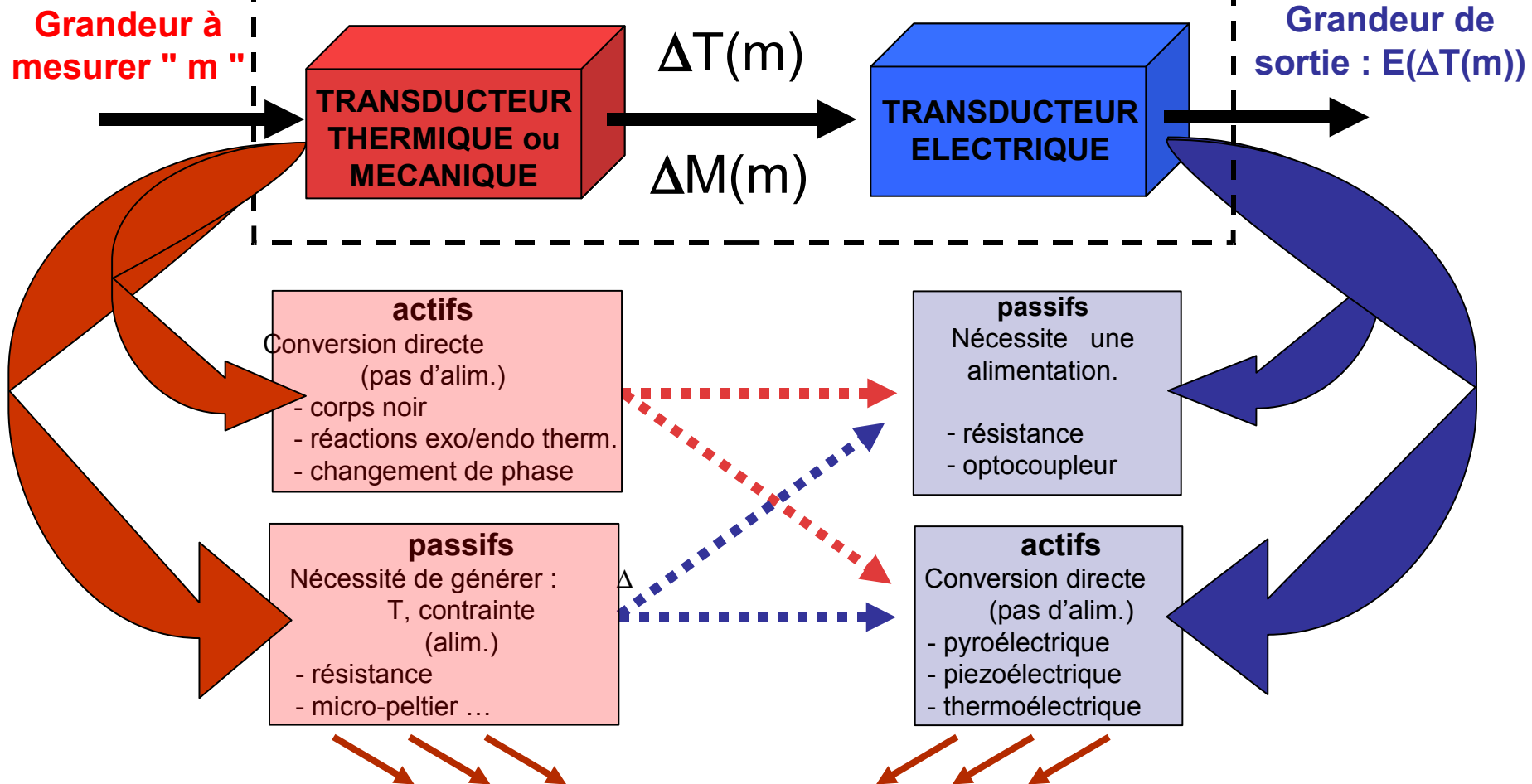


Caractérisations – Etalonnages – Modélisations

Appareillages de mesures – Simulateurs					
Spectroscopie d'impédance électrique	Banc de test ferroélectrique	Banc d'accélérométrie		Microscope IR, Caméra IR	Modélisation Num. (FEMLAB, FLUENT)

Groupe MITEA de l'IES

Microcapteur Thermique et ou Mécanique



Maîtrise des dépôts en couches minces

Maîtrise de l'électronique associée



Brève histoire d'un capteur

2. Conception de capteur

2.3. Etude de cas : « projet »

Projet :

Réalisation d'un accéléromètre capable de mesurer des accélérations dans la gamme +/- 100g et capable d'accepter des chocs (20 à 30 000g) sans altération de ses caractéristiques.

Partenaires :

MITEA (IES)

DGA

SAGEM



Brève histoire d'un capteur

2. Conception de capteur

2.4. Accélération ??

- Mesure d'accélération de mobiles
- Mesure d'accélération vibratoire ($f < 10$ kHz)
- Mesure de chocs ($f < 100$ kHz)

Principe de la mesure : par une série de mesures de vitesse prises à des intervalles réguliers, on peut déduire en l'accélération :

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}$$

UNITES	
Linéaire	Angulaire
1 m/sec ² . = 3.281 pi/sec ² .	1 radian/sec ² = 57.3 °/sec ²
1 g = 9.806 m/sec ² = 32.17218 pi/sec ²	

Trois grandes familles :

Accéléromètre piézoélectrique

Accéléromètre piézorésistifs

Accéléromètre capacitifs

Brève histoire d'un capteur

2. Conception de capteur

2.5. Différents principes

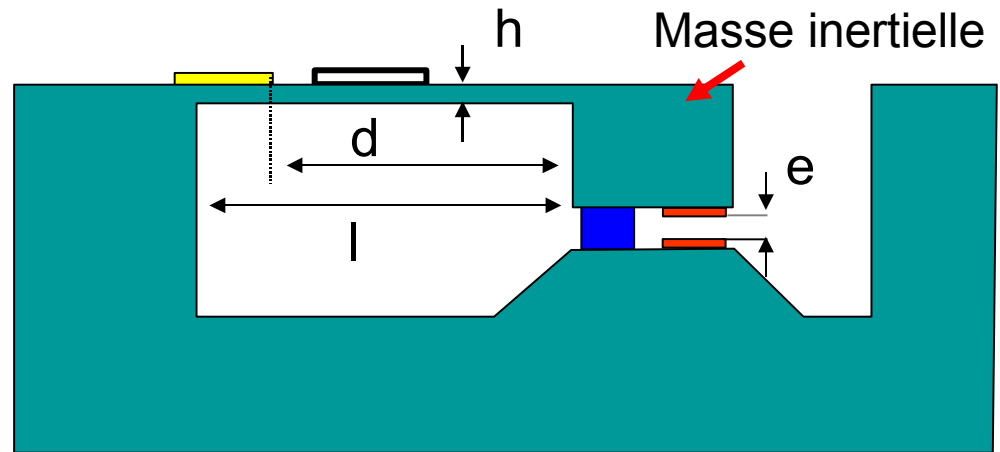
Pour la fabrication de l'accéléromètre il faut transformer le déplacement de la masse, linéaire ou angulaire, en un signal électrique. Plusieurs méthodes ont été mises en œuvre dans le cas des micro-capteurs :

- piezorésistance

- piezoélectricité

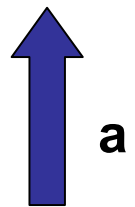
- capacité

- jauges de contrainte



$$\frac{\Delta R}{R} = k . a$$

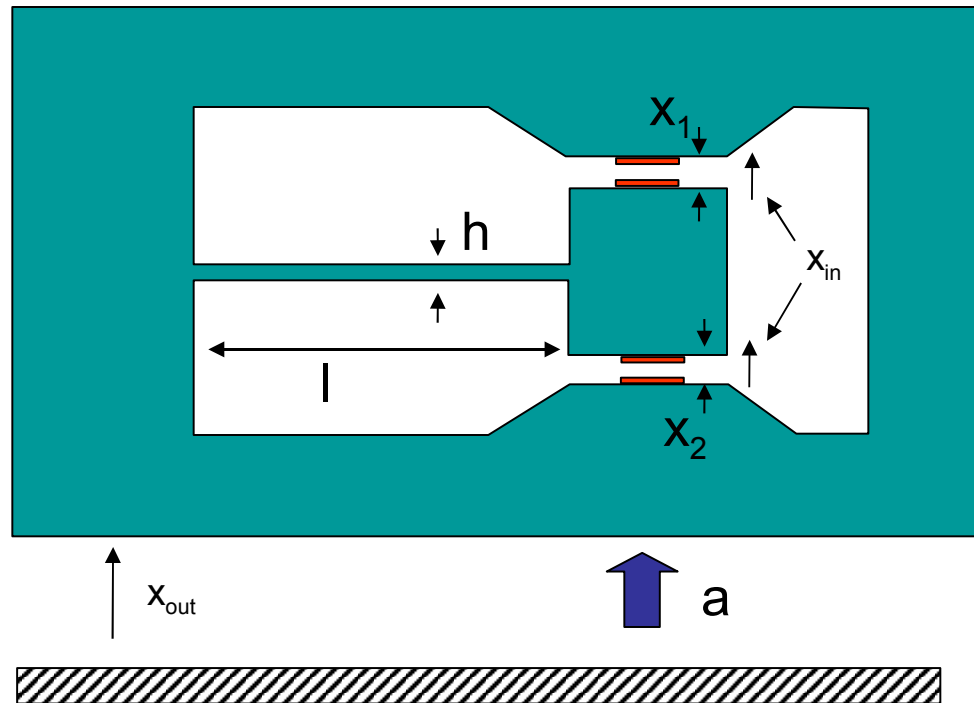
$$\frac{\Delta C}{C} = k . a$$



Brève histoire d'un capteur

2. Conception de capteur

2.6. Elimination des grandeurs d'influence (T° , %H, etc ...)

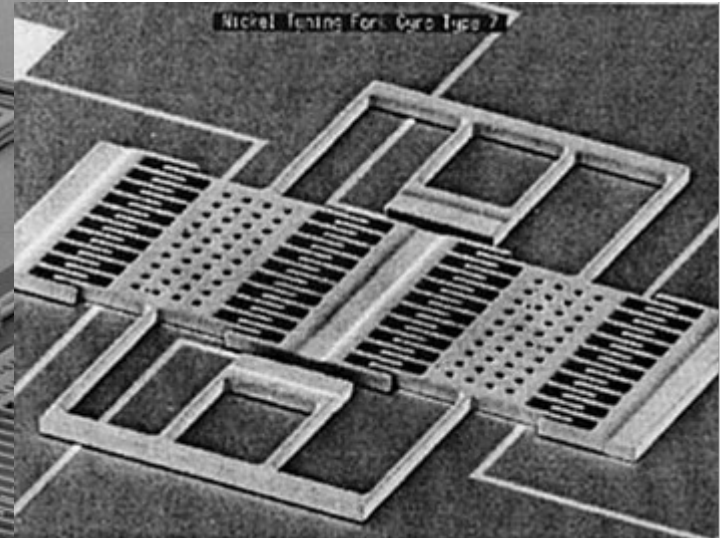
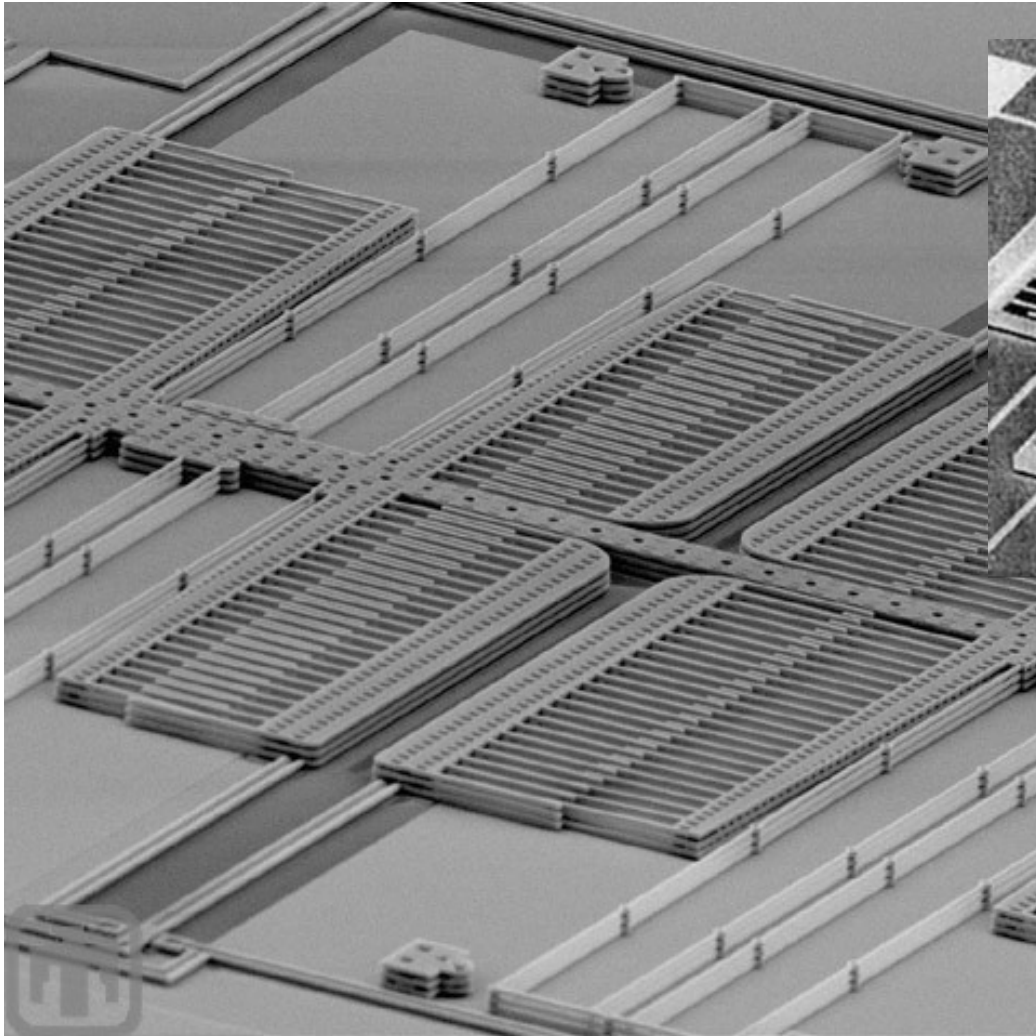


$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{x_2}{x_1} \approx \frac{1 + (x_{in} / x_1)}{1 - (x_{in} / x_1)} \approx 1 + \frac{2x_{in}}{x_1}$$

Brève histoire d'un capteur

2. Conception de capteur

2.6. Elimination des grandeurs d'influence (T° , %H, etc ...)



Brève histoire d'un capteur

2. Conception de capteur

2.7. Tableau comparatif des performances

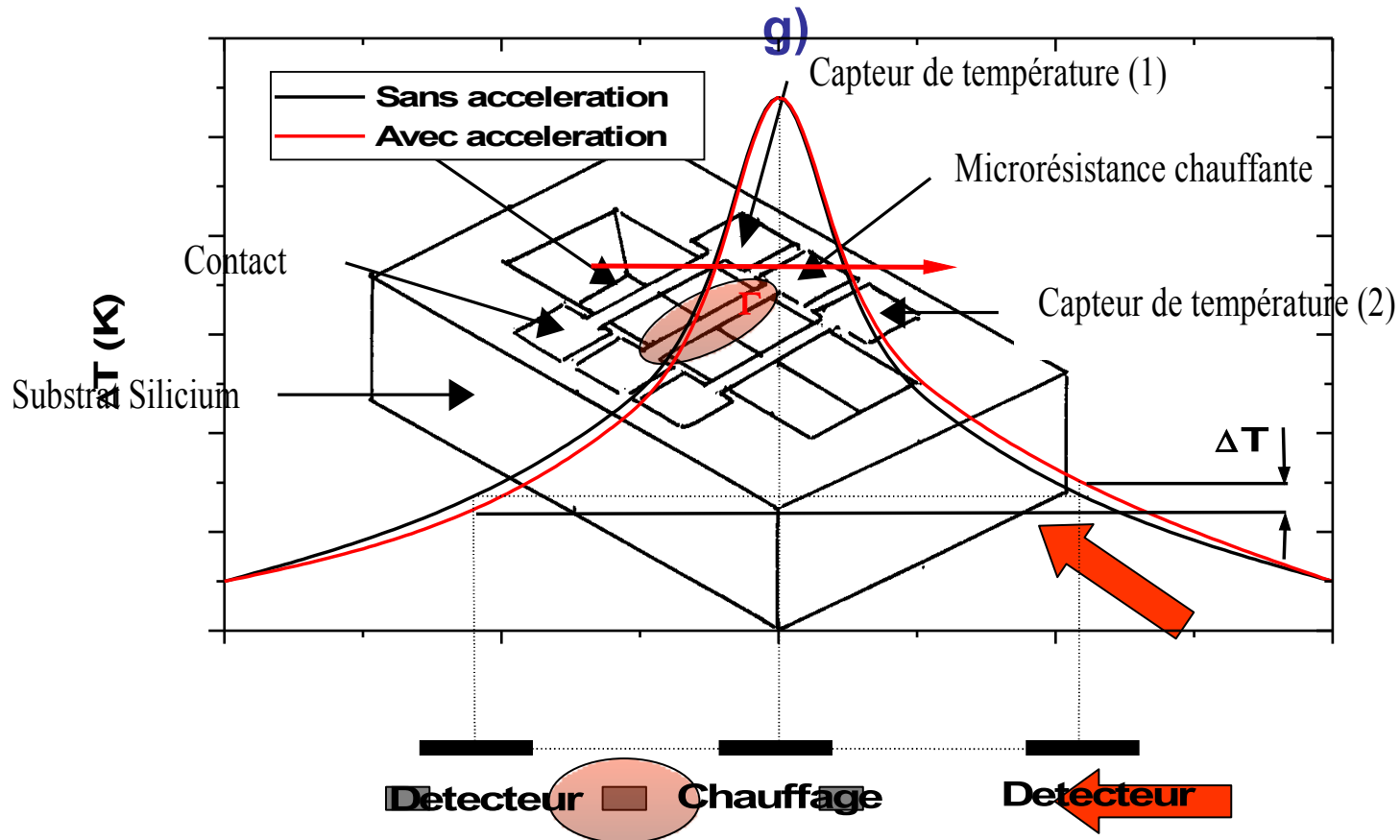
Paramètres	Différents principes d'accéléromètre				
	Piézoélectrique	Piézorésistance	Capacitif	A équilibre de charge	à base de silicium
Taille	grande	réduite	réduite	Moyenne	Moyenne
Précision	bonne	bonne	bonne	Très bonne	Moyenne
Linéarité	faible	bonne	bonne	Très bonne	Moyenne
Résolution	bonne	bonne	bonne	Très bonne	Moyenne
Gamme (g)	250	250	+/-100	+/-0.1 +/-1	+/-100
Coût	moyen	réduit	réduit	Moyen à élevé	Très réduit
Tenue aux chocs (> 20 g)					
Application	Industrie Militaire	Automobile Industrie Utilisation courante	Automobile Industrie Utilisation courante	Navigation Militaire Aérospatiale	Automobile Industrie Utilisation courante

Brève histoire d'un capteur

2. Conception de capteur

2.8. L'Innovation : l'accéléromètre thermique

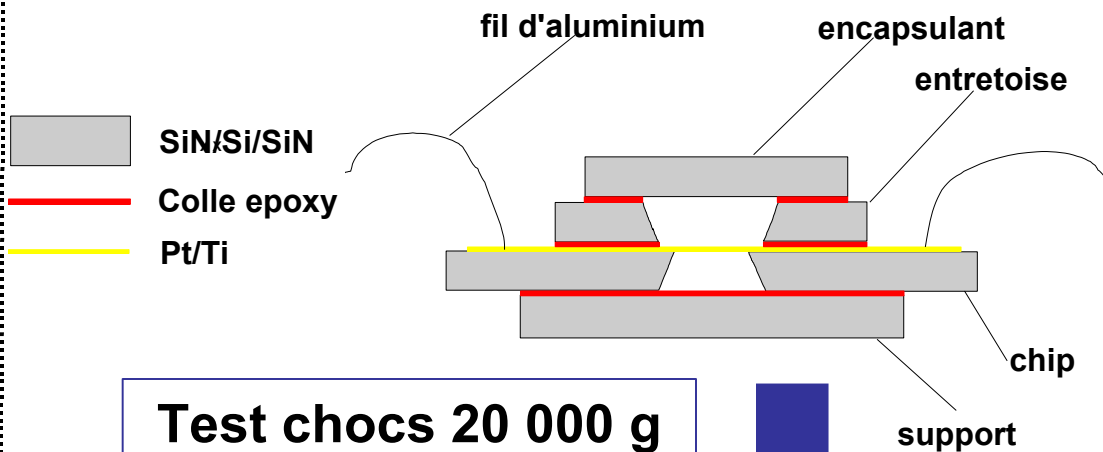
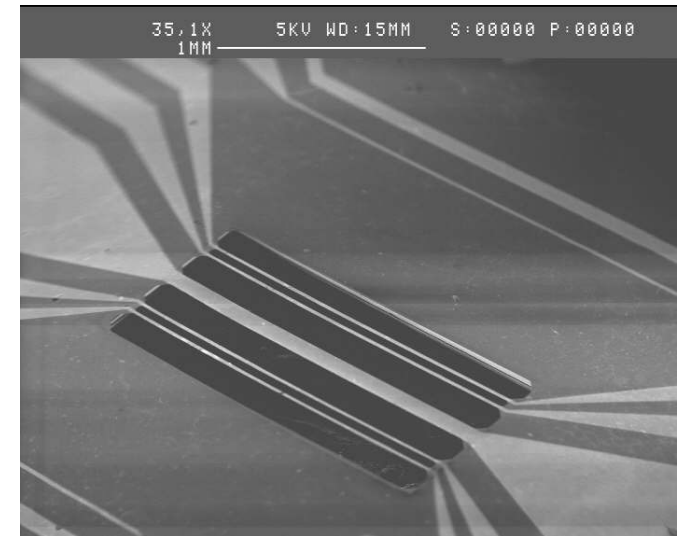
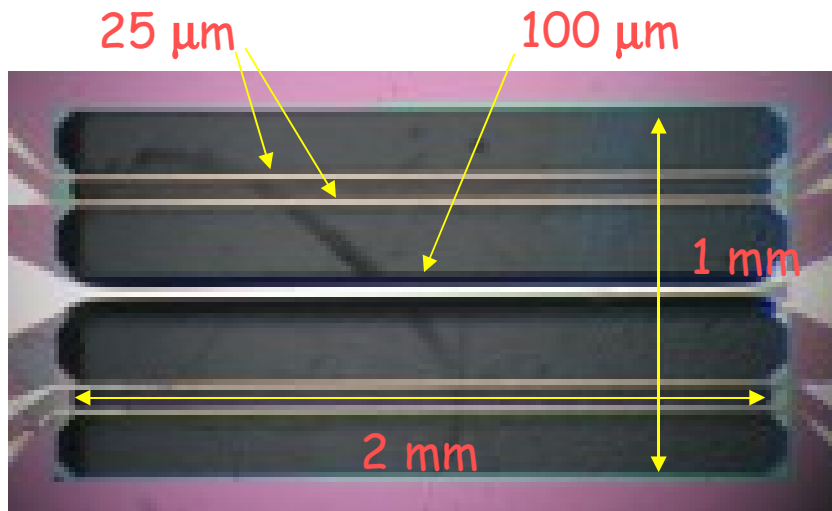
Pas de partie mobile => Grande robustesse (50 000



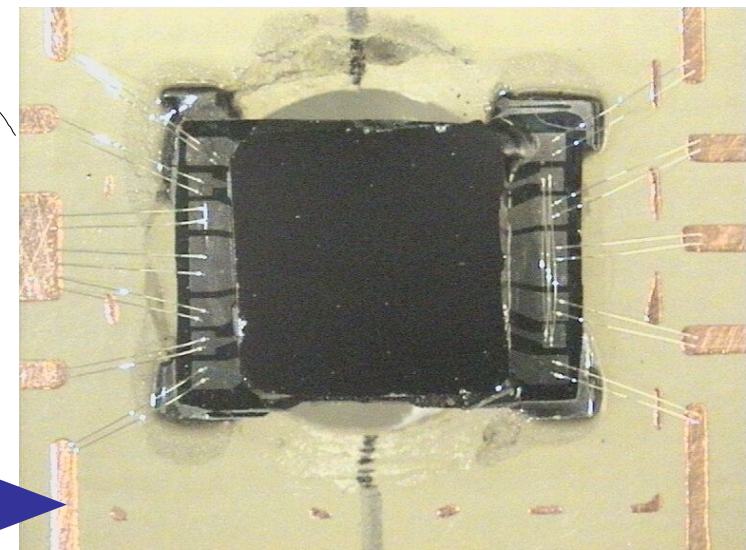
Brève histoire d'un capteur

2. Conception de capteur

2.8. L'accéléromètre thermique



**Test chocs 20 000 g
(sept. 2006)**

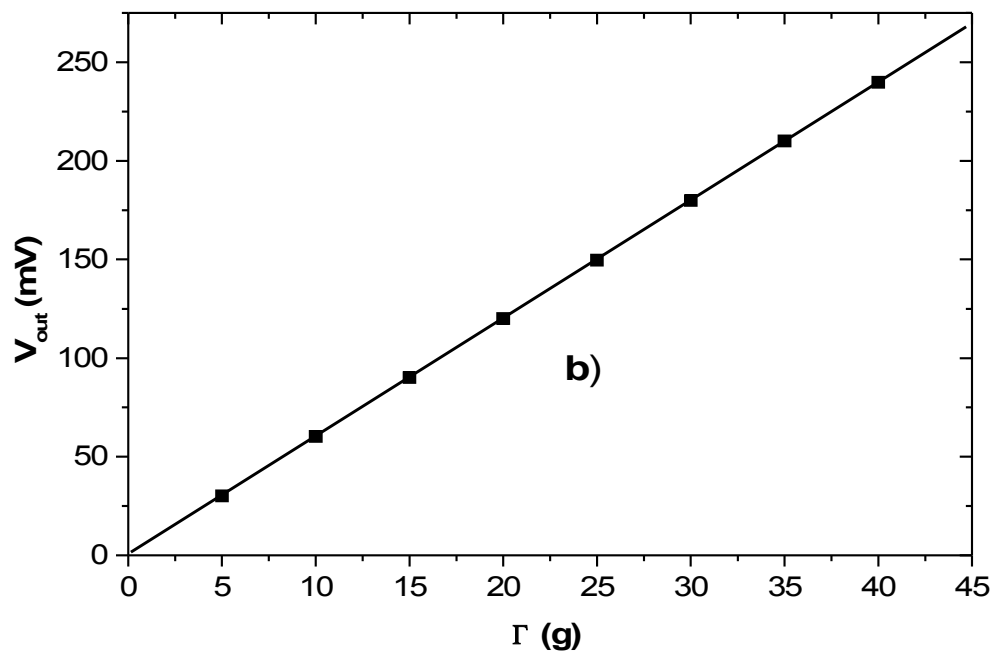


Brève histoire d'un capteur

2. Conception de capteur

2.8. L'accéléromètre thermique

Gamme de mesure et linéarité



Capteur linéaire jusqu'à 45 g

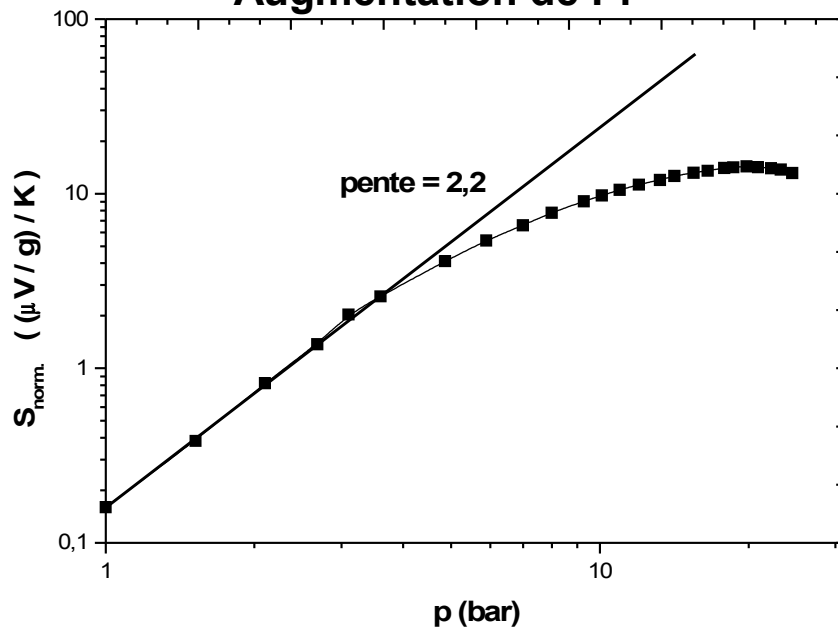
Brève histoire d'un capteur

2. Conception de capteur

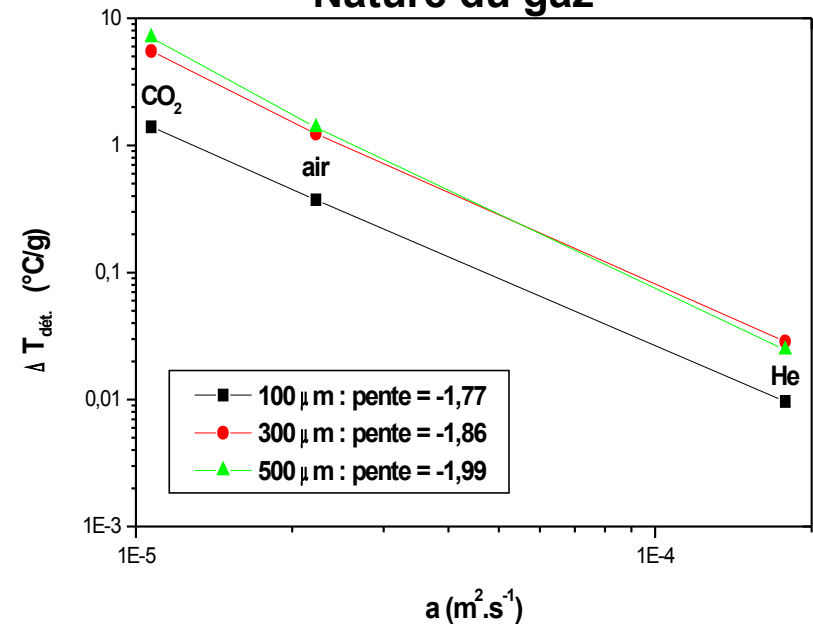
2.8. L'accéléromètre thermique

Solutions pour augmenter la sensibilité

-Augmentation de Pr-



-Nature du gaz-



$$\Delta T_{\text{det.}} \propto Gr = \frac{\rho^2 g \beta \Delta T_{\text{chauf.}} l^3}{\mu^2} = \frac{g \beta \Delta T_{\text{chauf.}} l^3}{Pr^2 a^2}$$

ρ : densité du gaz,

g : accélération,

β : coefficient de dilatation thermique du gaz

ΔT_{chauf} : T° moyenne,

l : dimension caractéristique,

μ : viscosité du gaz

Brève histoire d'un capteur

2. Conception de capteur

2.9. « Prêt pour communiquer »

	Différents principes d'accéléromètre				
Paramètres	Piézoélectrique	Piézorésistance	Capacitif	A équilibre de charge	Thermique
Taille	grande	réduite	réduite	Moyenne, Nécessite des Circuits intégrés	Moyenne
Précision	bonne	bonne	bonne	Très bonne	Moyenne
Linéarité	faible	bonne	bonne	Très bonne	Bonne
Résolution	bonne	bonne	bonne	Très bonne	Bonne
Gamme (g)	250	+/- 100	+/-100	+/-0.1 +/-1	+/-100
Coût	moyen	réduit	réduit	Moyen à élevé	Réduit
Tenue aux chocs (> 20 000g)	×	×	×	×	30 000 g
Application	Industrie Militaire	Automobile Industrie Utilisation courante	Automobile Industrie Utilisation courante	Automobile Industrie Utilisation courante	Navigation Militaire Aérospatiale et