



Laboratoire
d'Informatique
de Robotique
et de Microélectronique
de Montpellier

Test des MEMS

Frédéric Maily

LIRMM

Département Microélectronique

CNRS / Université Montpellier 2

email : mailly@lirmm.fr



UNIVERSITÉ MONTPELLIER II
SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC



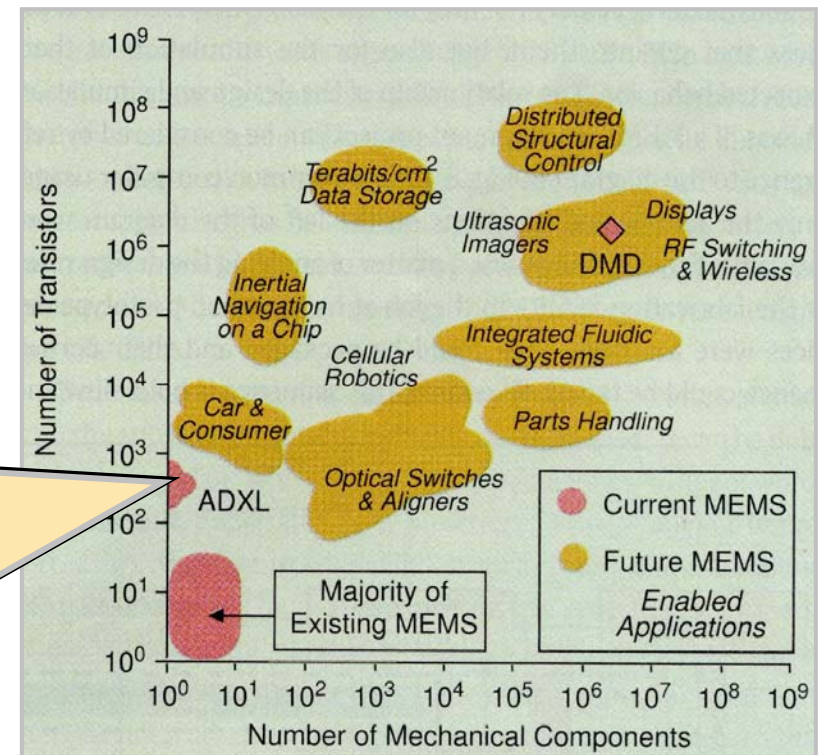
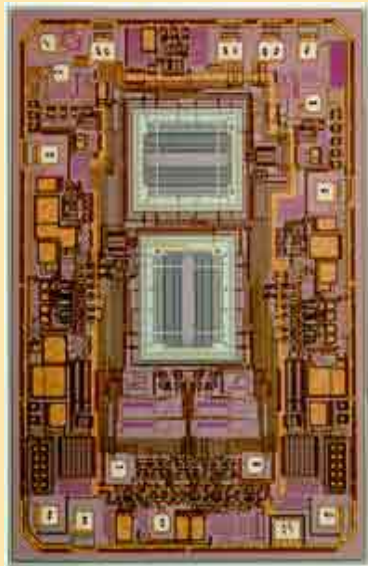
CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Test des MEMS

- Contexte
- Stratégies pour le test des MEMS
- Exemple d'une microboussole

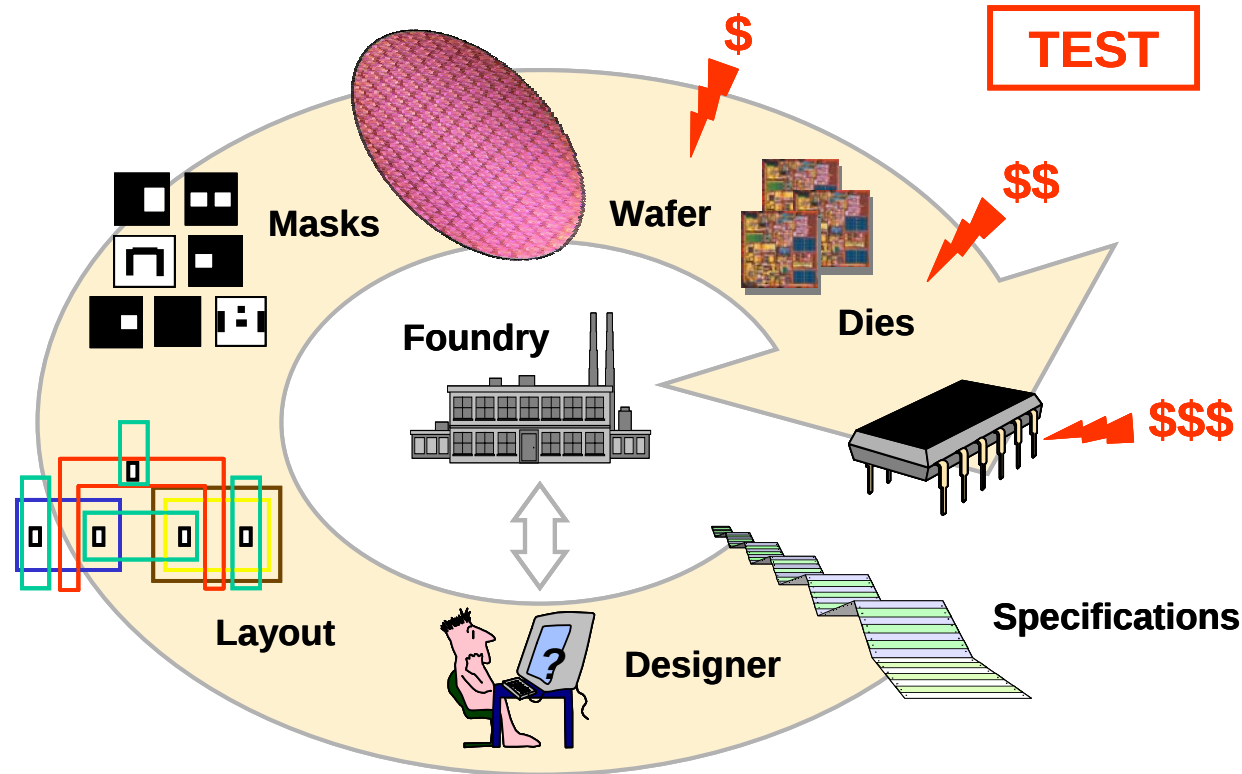
Marché des MEMS

- Nombreuses filières technologiques : Si, CMOS, SOI, Quartz, Polymère, ...
- Systèmes hétérogènes de complexité variée:
 - parties micro-mécaniques
 - électroniques analogiques, digitales, mixtes



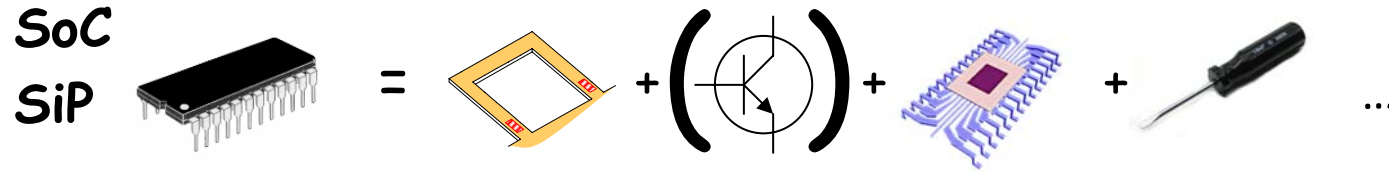
Place du test en microélectronique

Le coût et la difficulté du test augmentent avec l'intégration



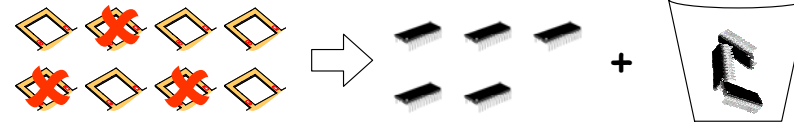
Le test au niveau wafer est souvent primordial !!!

MEMS : SoC, SiP

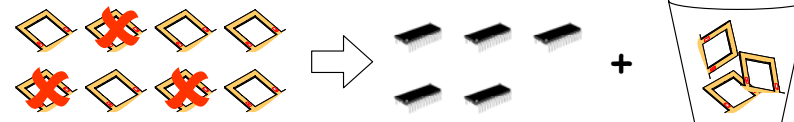


SoC

Sans test au niveau wafer

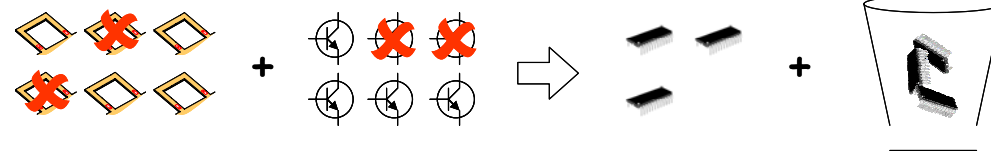


Avec Test

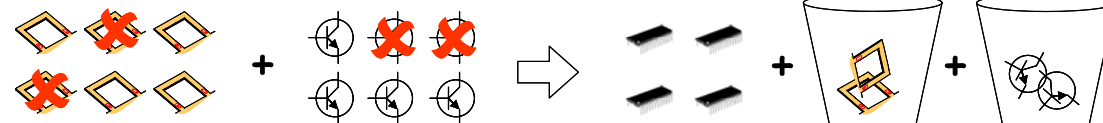


SiP

Sans test

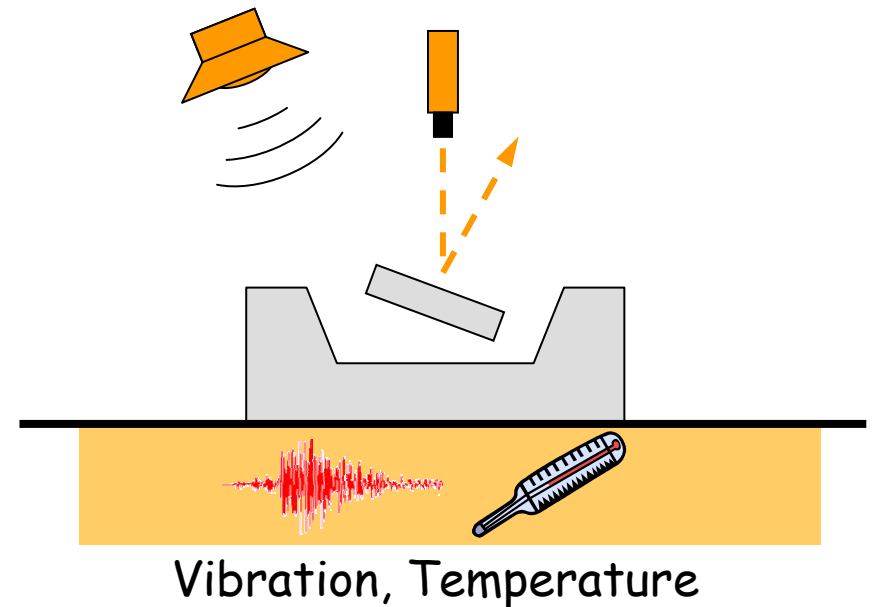
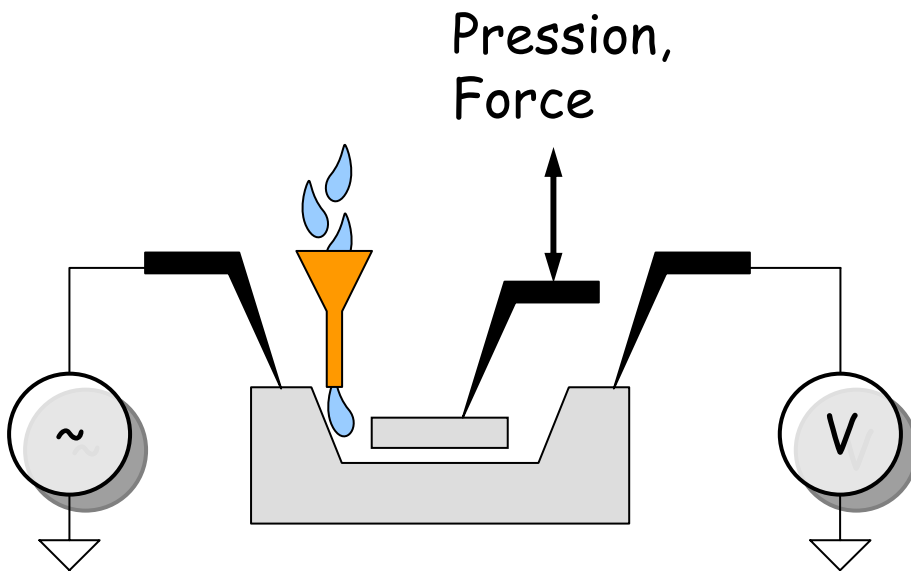


Avec test



Test fonctionnel au niveau wafer

- Vérification des spécifications
 - Fonctionnalité du MEMS
 - Vérification des performances : sensibilité, bande passante, résolution...
- Utilisation de stimuli physiques !

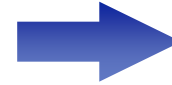


Le coût du test

Coût du système de test : 0.5M€ / an

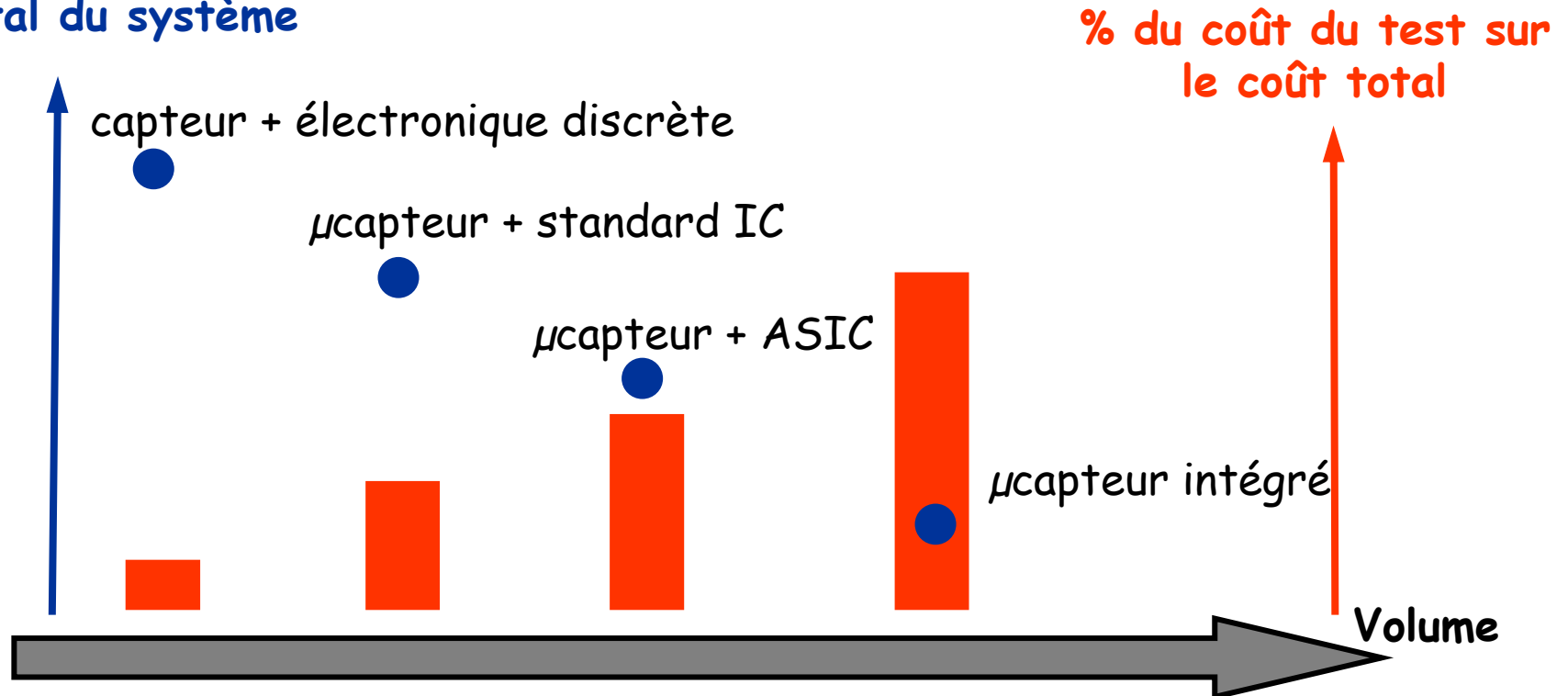
365J * 24h = 500k min

Temps de test : 1 min / MEMS



1€ / MEMS

Coût total du système



Stratégies pour le test des MEMS

Comment réduire le coût du test ?

- en diminuant le coût du test par minute
 - en évitant les stimuli physiques externes donc en augmentant la contrôlabilité électrique
 - en augmentant l'observabilité électrique
- en diminuant le temps du test
 - en ne vérifiant pas toutes les spécifications
 - en définissant des méthodes de test alternatives (test structurel ou orienté défaut)
- mais en garantissant la qualité du test
 - en montrant la corrélation entre réponse au test alternatif et performances fonctionnelles

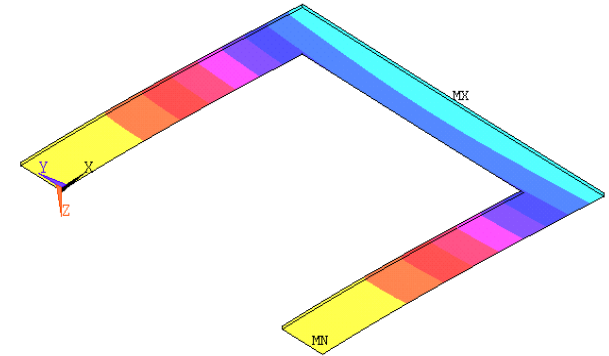


Modélisation
&
DfT

Modélisation du système

- Simulation par éléments finis (bas niveau)

- Avantages :
 - modèles multiphysiques précis et complets
 - injection de fautes globales ou locales
- Inconvénients :
 - complexité du modèle
 - temps de simulation
 - optimisation



- Modèles nodaux

- Avantages :
 - modèles analytiques
 - temps de calcul
 - SPICE, SIMULINK...
 - injection de fautes globales ou locales
 - technique en plein essor
- Inconvénients ?

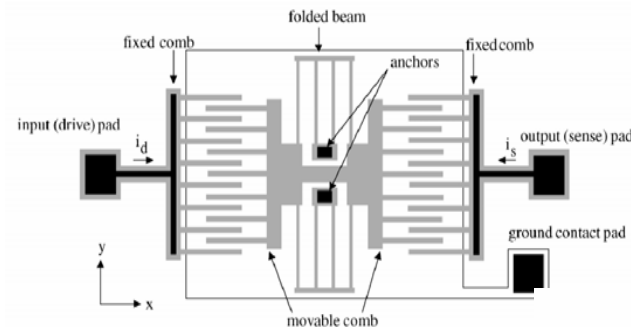


Fig. 1. Comb-drive resonator.

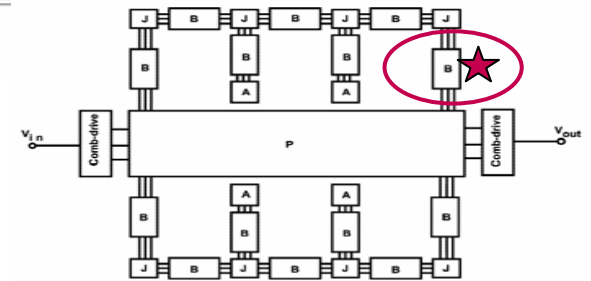
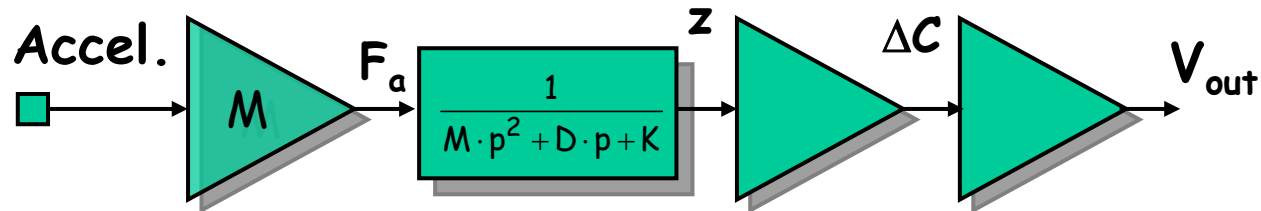


Fig. 2. Component level model of the resonator.

Modélisation du système

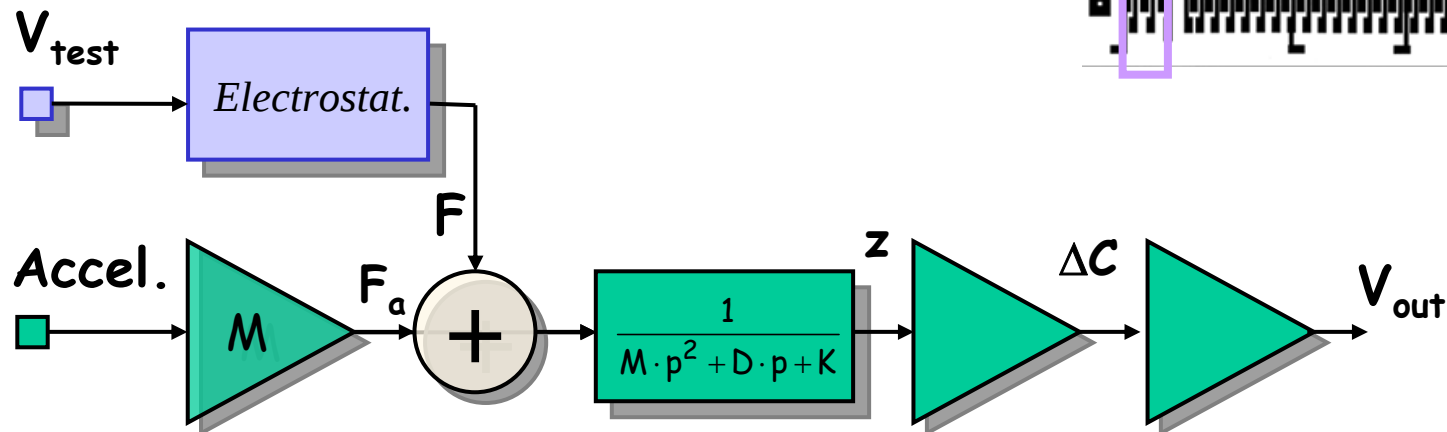
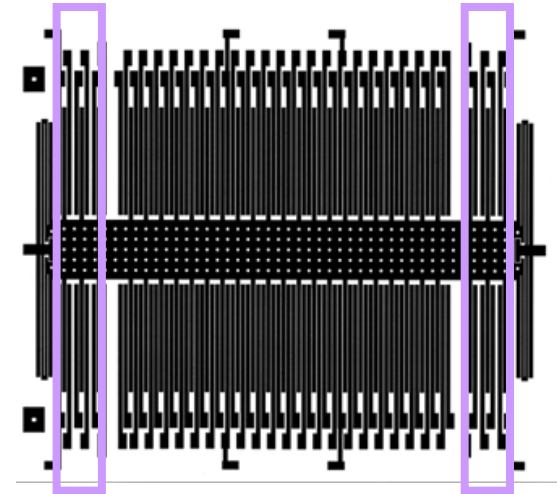
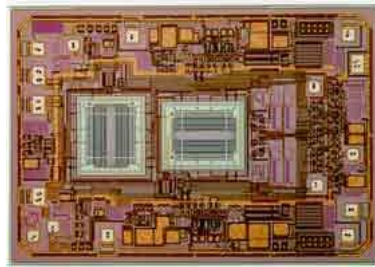
- Modèle comportemental (haut niveau)
 - avantage
 - modèle simple et analytique
 - temps de calcul
 - SPICE, SIMULINK...
 - bien adapté à l'optimisation système
 - injection de fautes globales ou comportementales
 - inconvénient
 - détermination des paramètres haut niveau
 - pas d'injection de fautes locales



Supprimer les stimuli physiques

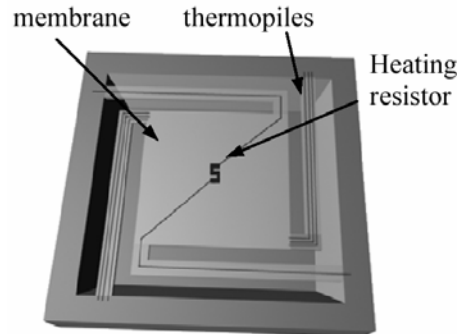
- Utilisation d'un phénomène *parasite* (microboussole)
- Modification du design

ADXL

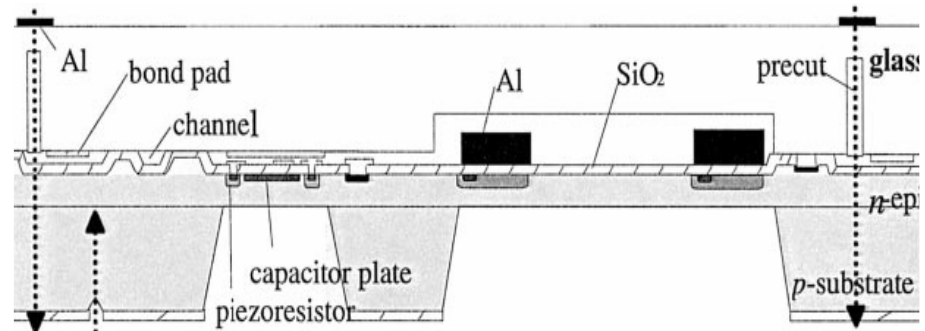
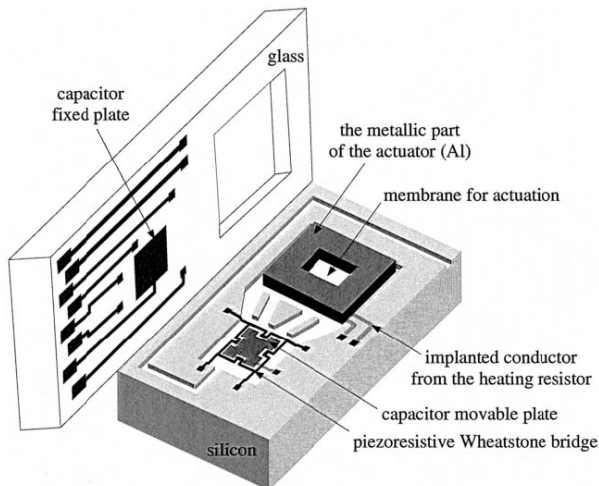


Supprimer les stimuli physiques

- Stimuli électrothermiques



B. Charlot, S. Mir, F. Parrain, B. Courtois,
JETTA, Vol.17, No. 6, 2001

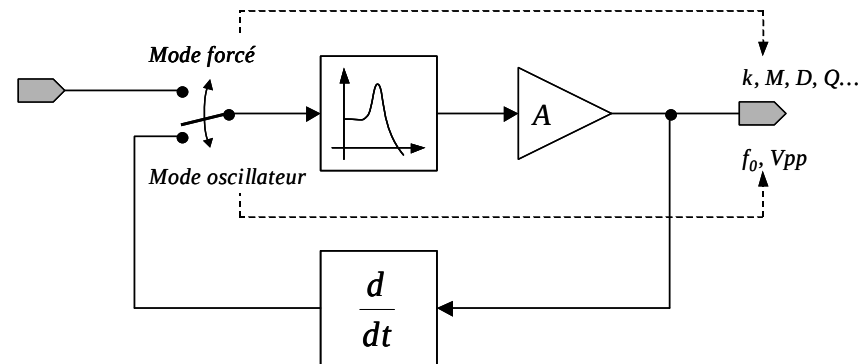


A. Cozma Lapadatu, D. De Bruyker, H. Jakobsen, R. Puers,
Sensors and Actuators 82 (2000) 69-73

- autres stimuli : électromagnétique, piézoélectrique, ...

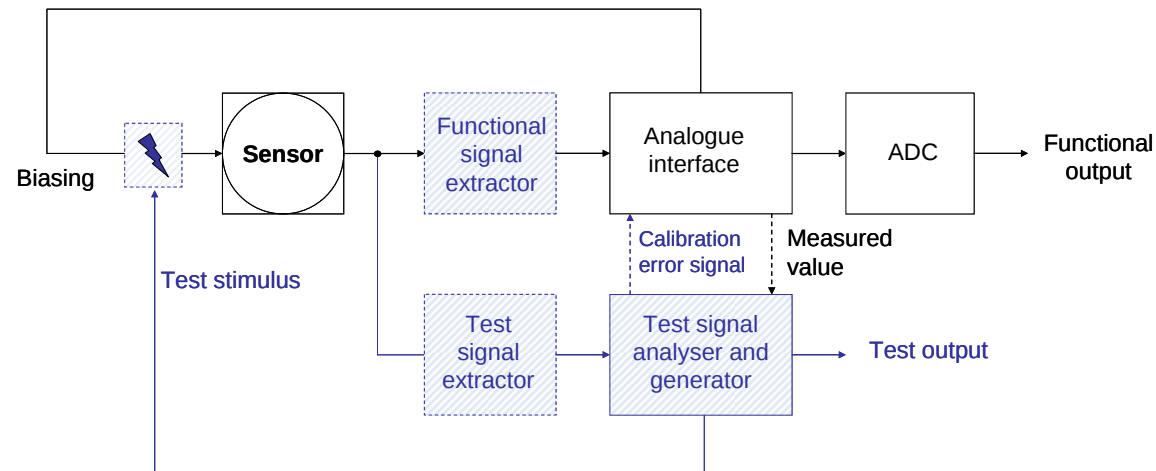
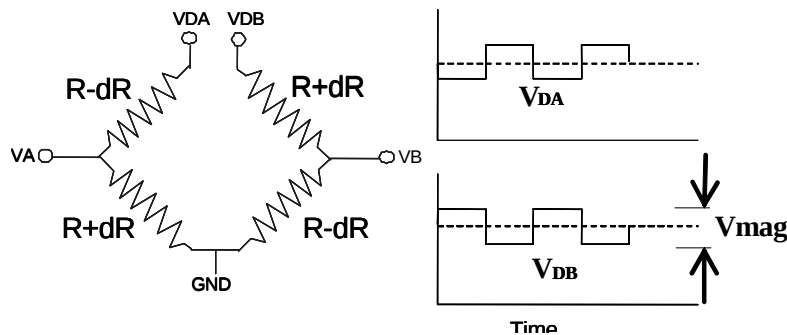
Augmenter la contrôlabilité électrique

- Reconfiguration en mode test : test par oscillations



V. Berroule, Y. Bertrand,
L. Latorre, P. Nouet,
DATE'02

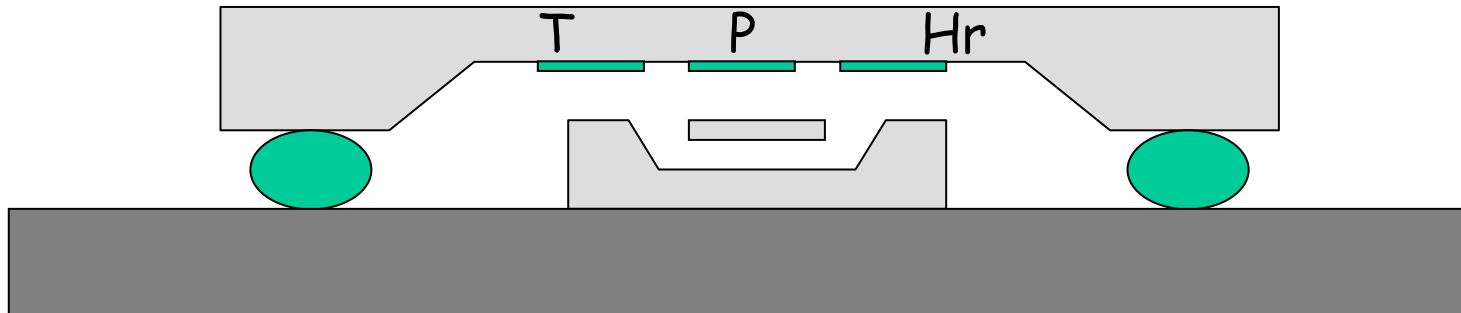
- Bias superposition



C. Jeffrey, N. Dumas, Z. Xu, F. Mailly, F. Azaïs, P. Nouet *et al.*
Sensors and actuators (2007)

Augmenter l'observabilité

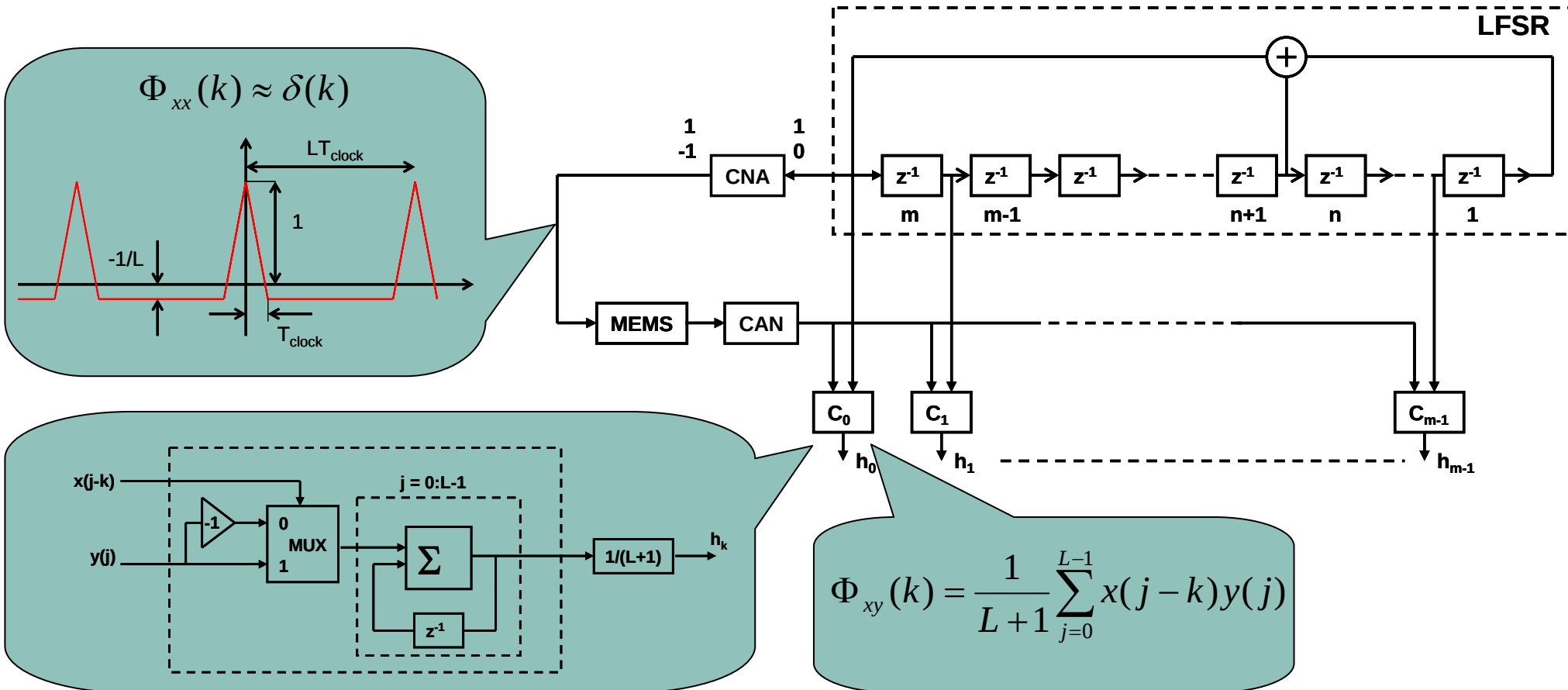
- Vérification des paramètres environnementaux
 - MIDISPPI : projet ANR (NXP, IEF, IXL, LIRMM)
 - packaging intelligent pour MEMS dans les SiP
 - MEMS testé avant packaging
 - vérification du packaging par des capteurs (T, p, Hr)
 - test go/no go
 - recalibration



Augmenter l'observabilité

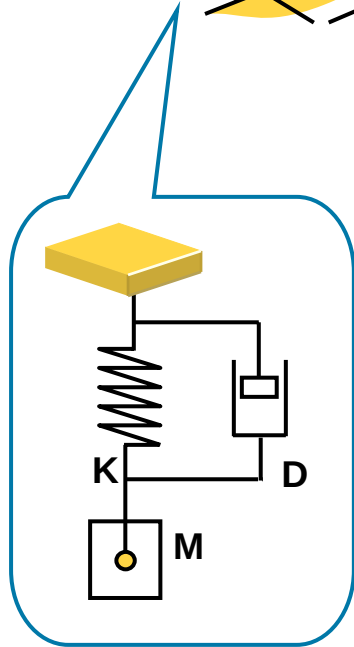
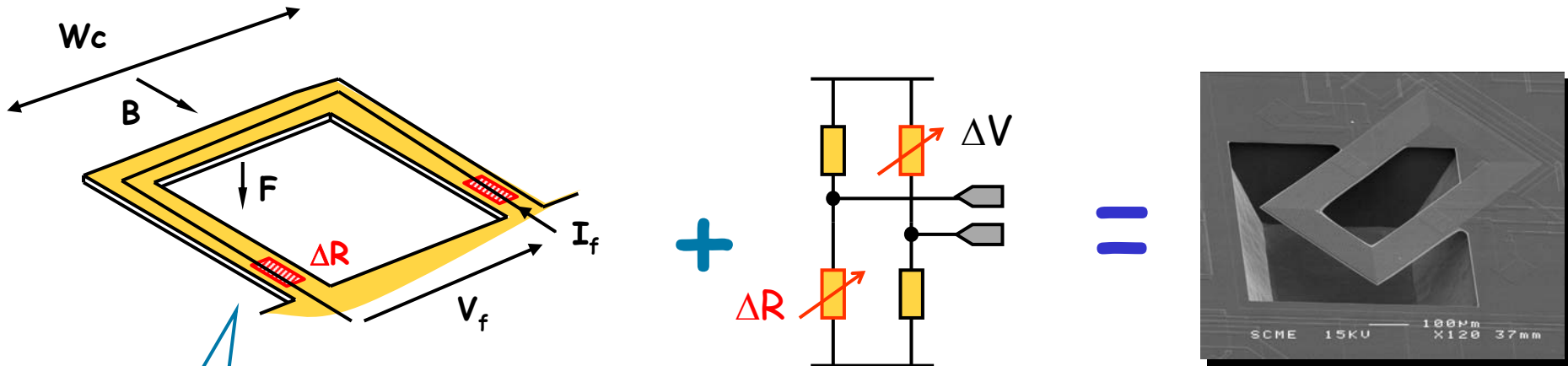
- Mesure impulsionnelle on-chip

$$\Phi_{xy}(k) = y(k) * x(-k) = h(k) * x(k) * x(-k) = h(k) * \Phi_{xx}(k)$$

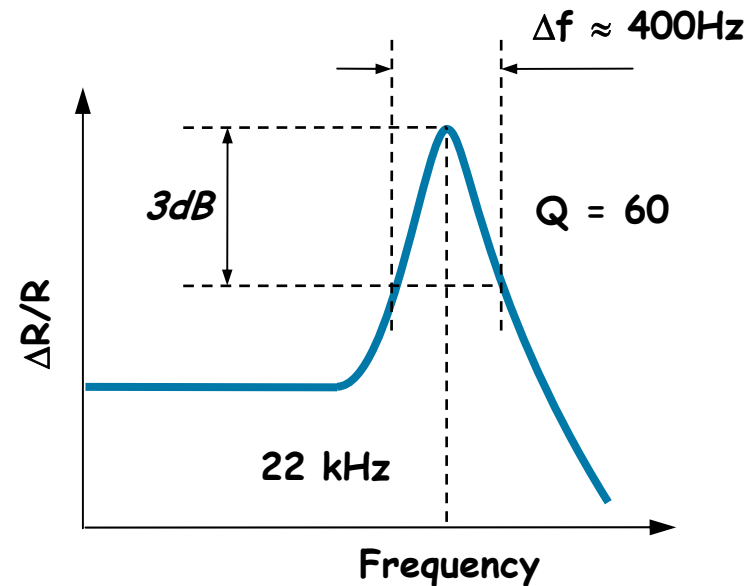


**Exemple : test d'une microboussole
électronique**

Modélisation du système

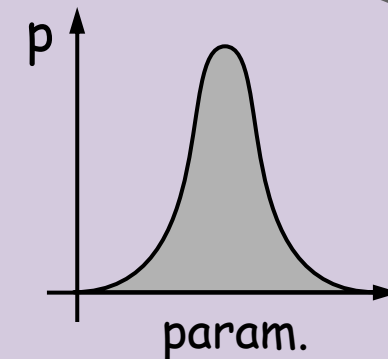
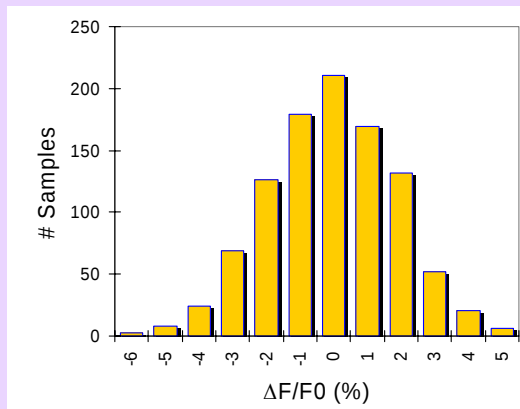
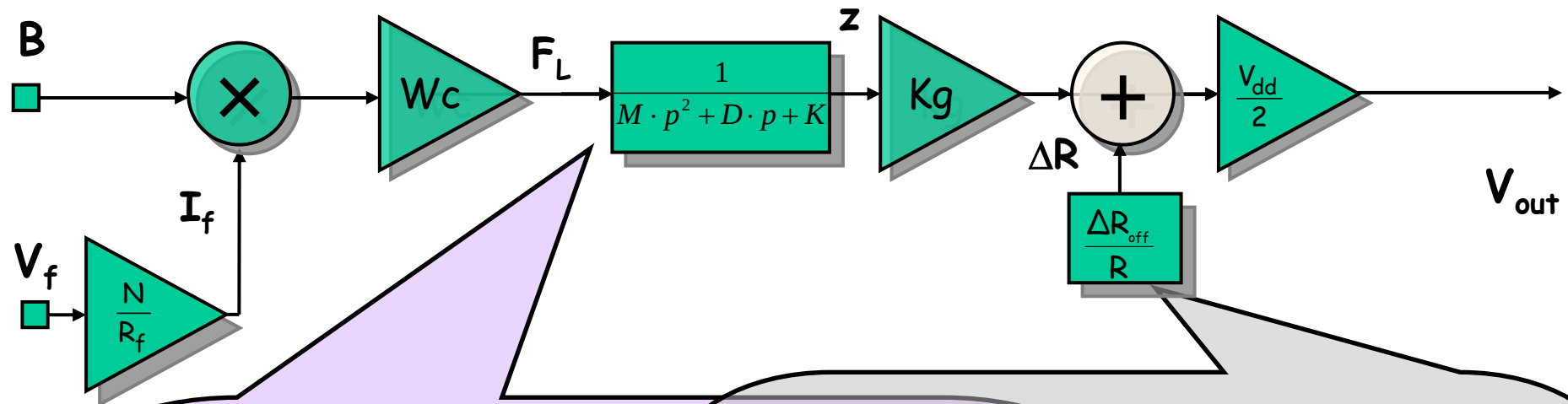


Modèle
niveau 0



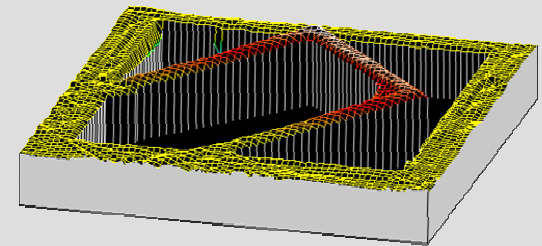
Modélisation du système

Modèle niveau 1



Dispersion
process CMOS

Stress
résiduel



Modélisation du système

Effets thermiques

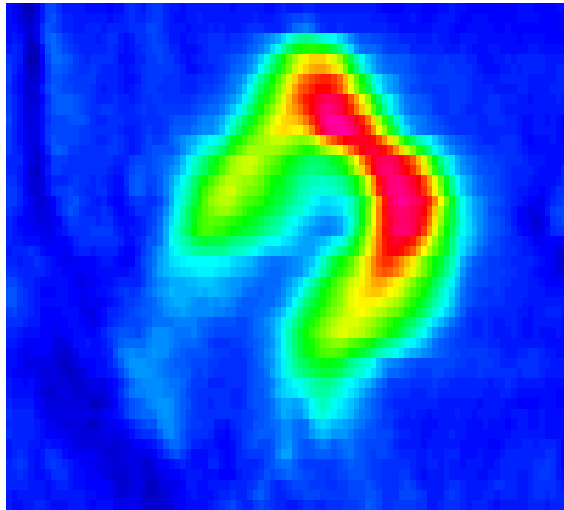
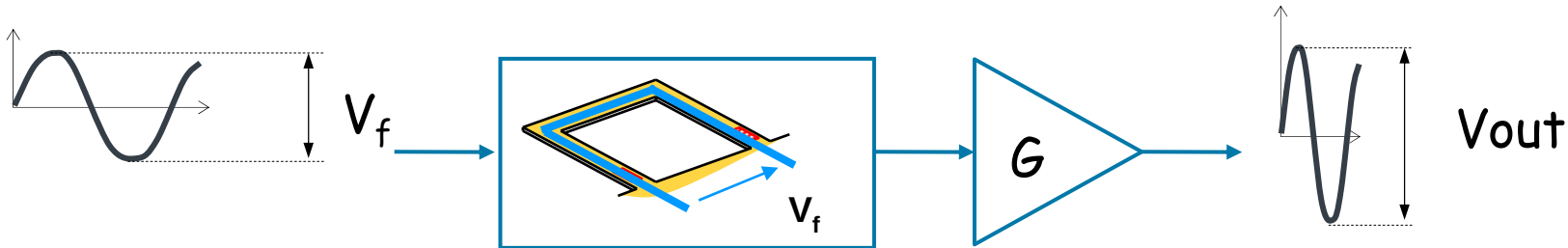
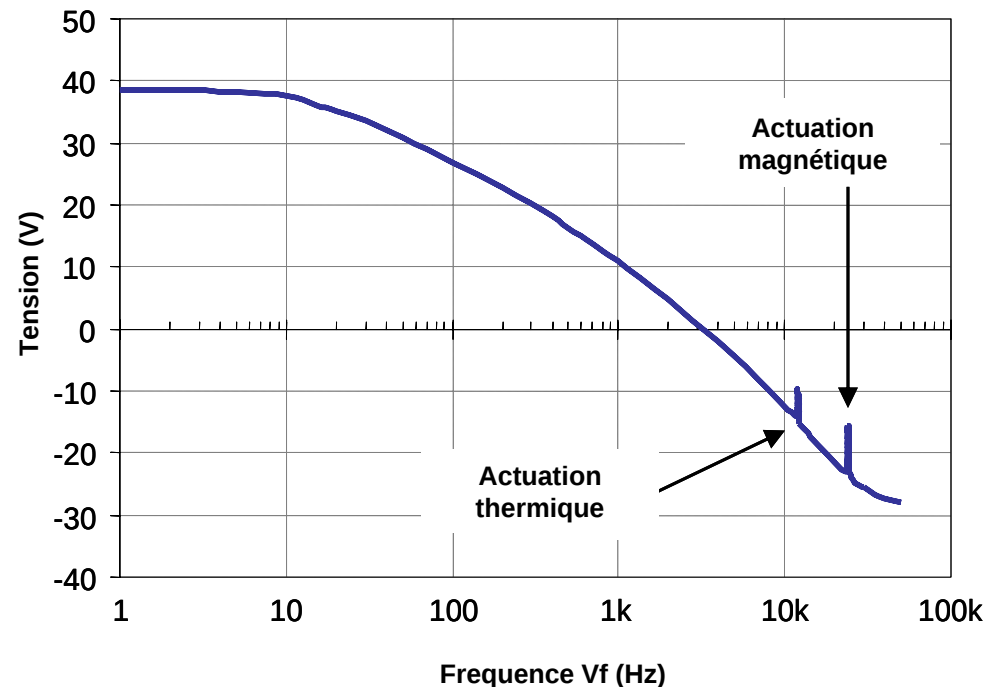
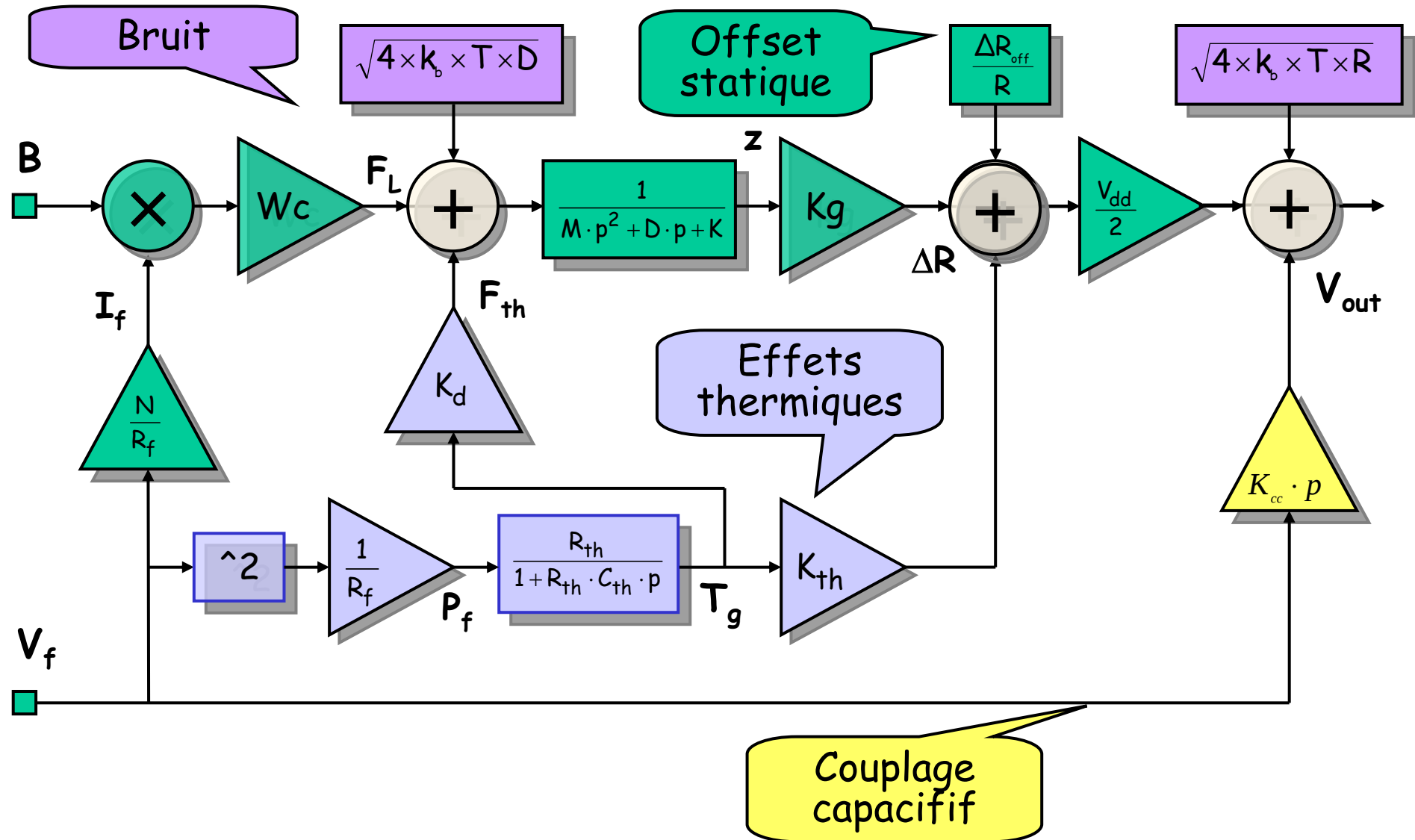


Image IR



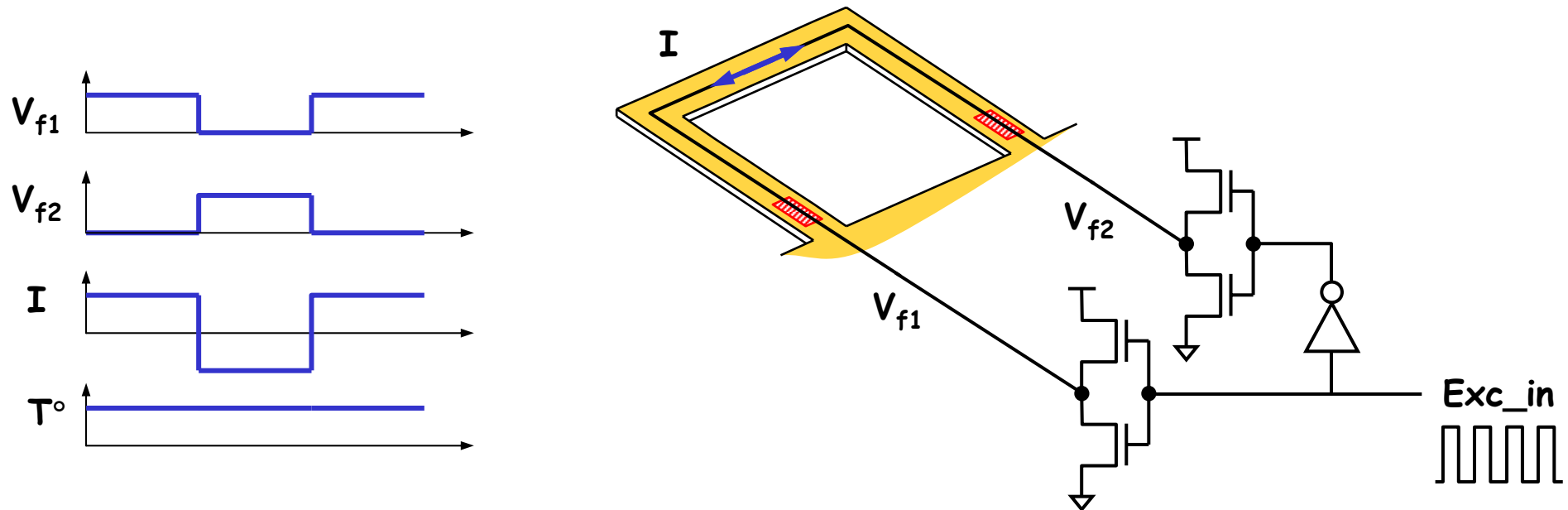
Modélisation du système

Niveau 2



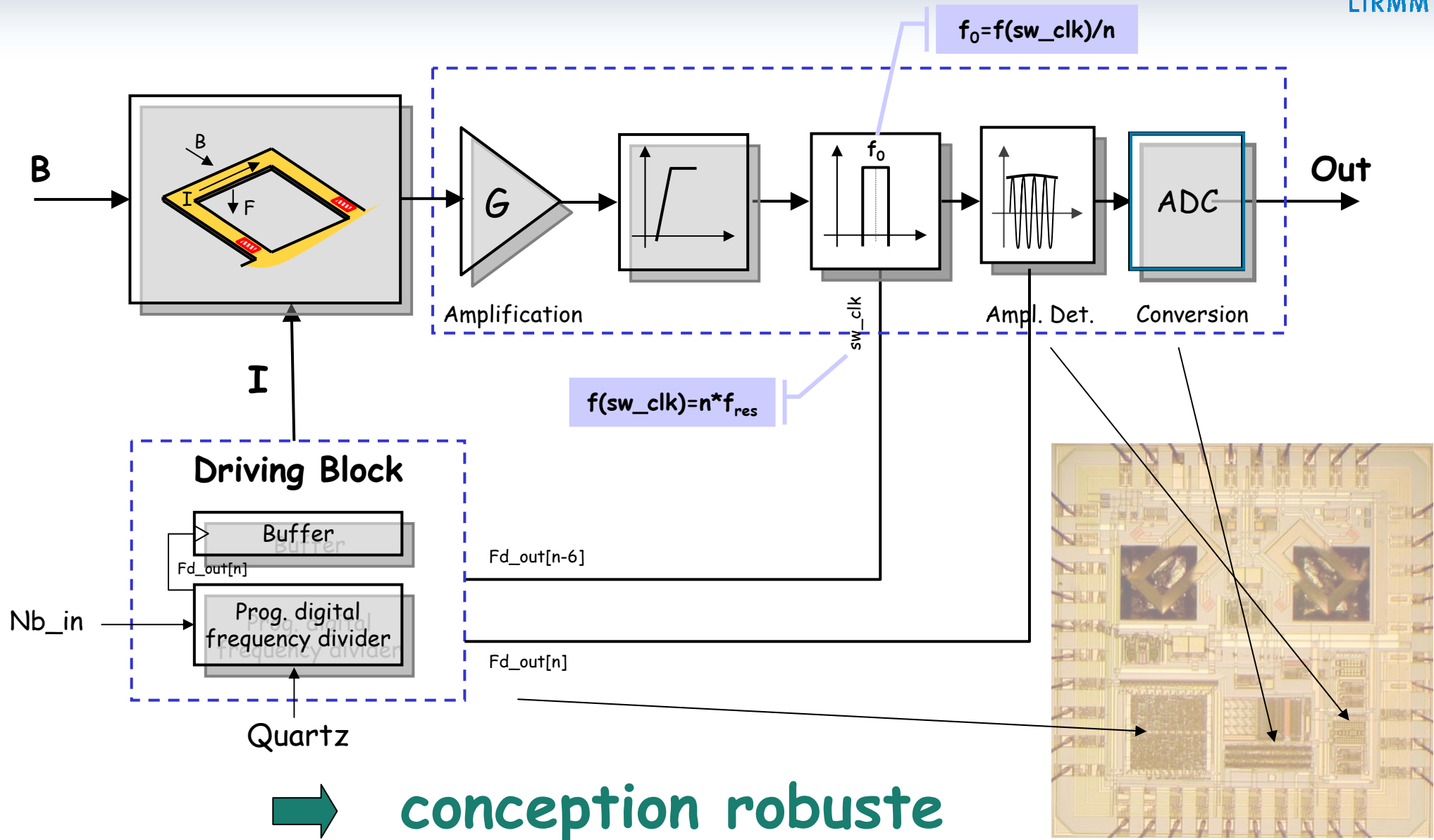
Utilisation du modèle pour la conception

- Suppression des effets thermiques parasites



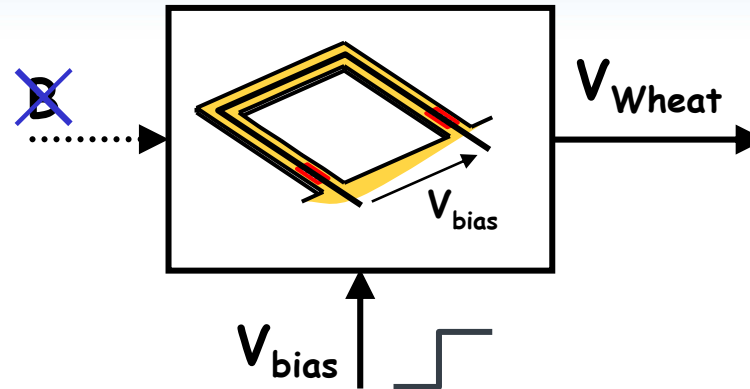
- Suppression de l'offset (stress résiduel, dispersion process, effet thermique DC) par filtrage passe haut

Utilisation du modèle pour la conception

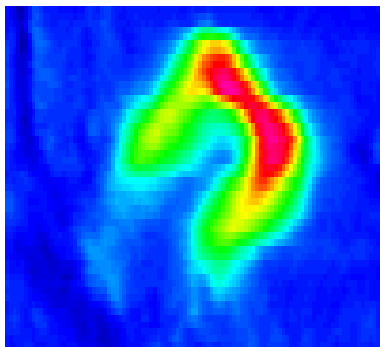
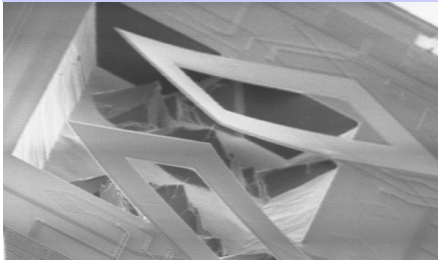


Test électrothermique

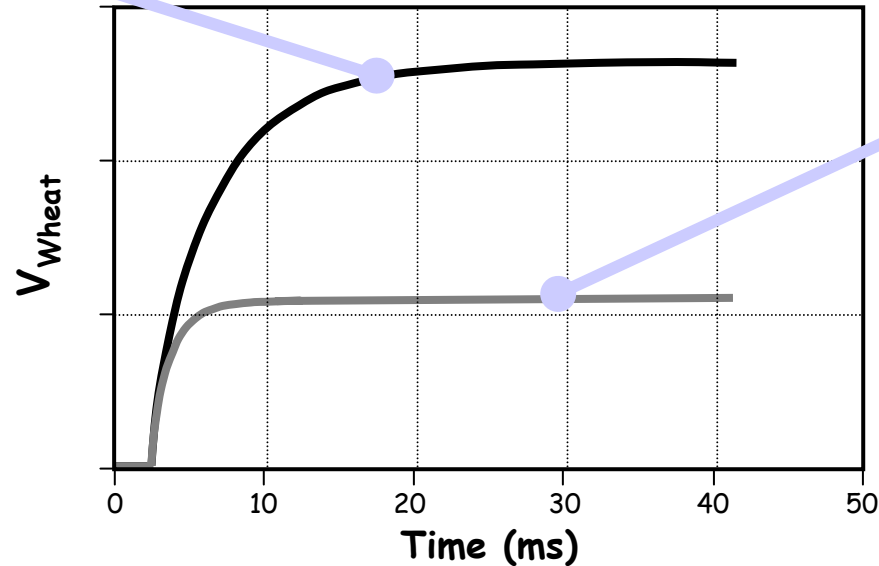
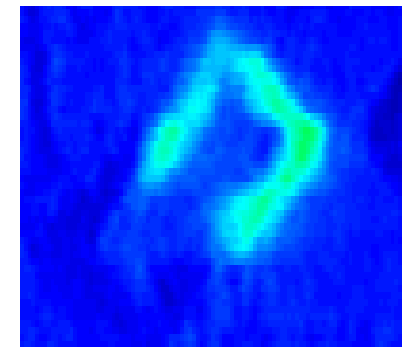
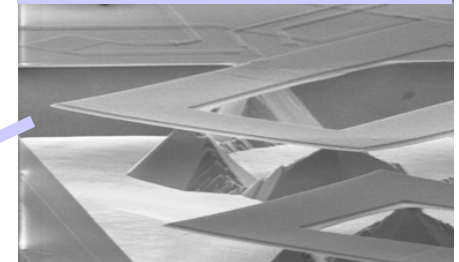
Détection de
faute de
gravure



Sans faute

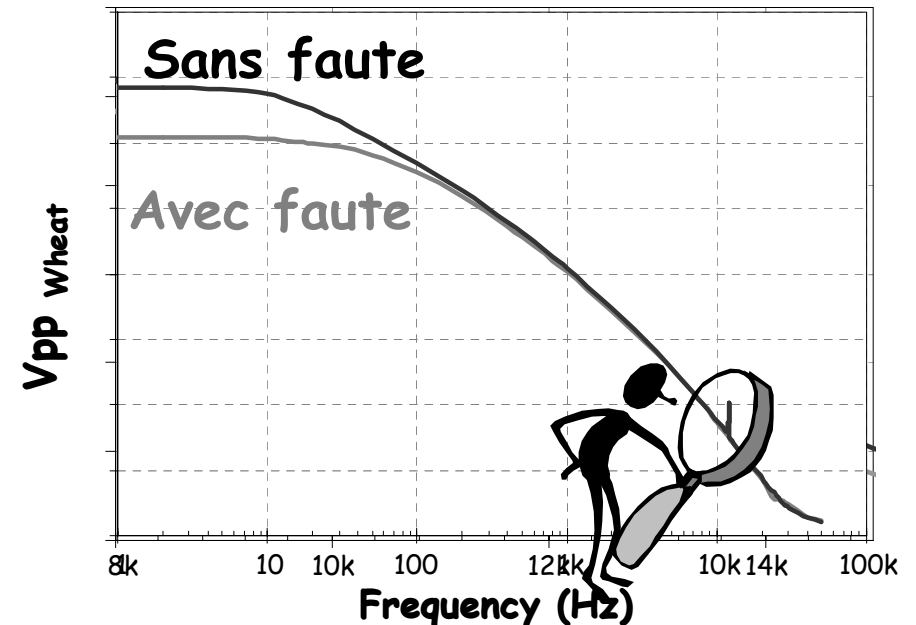
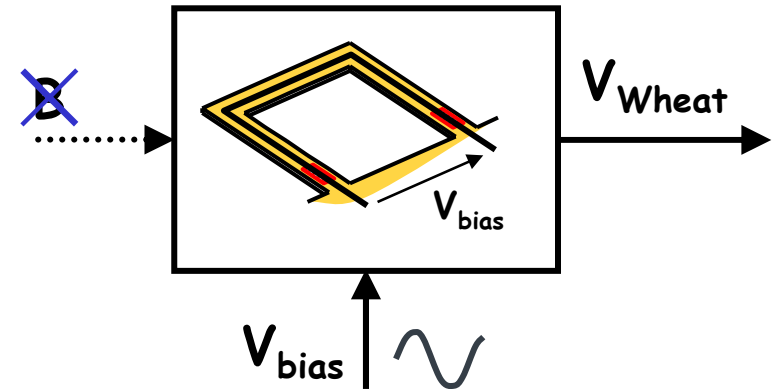
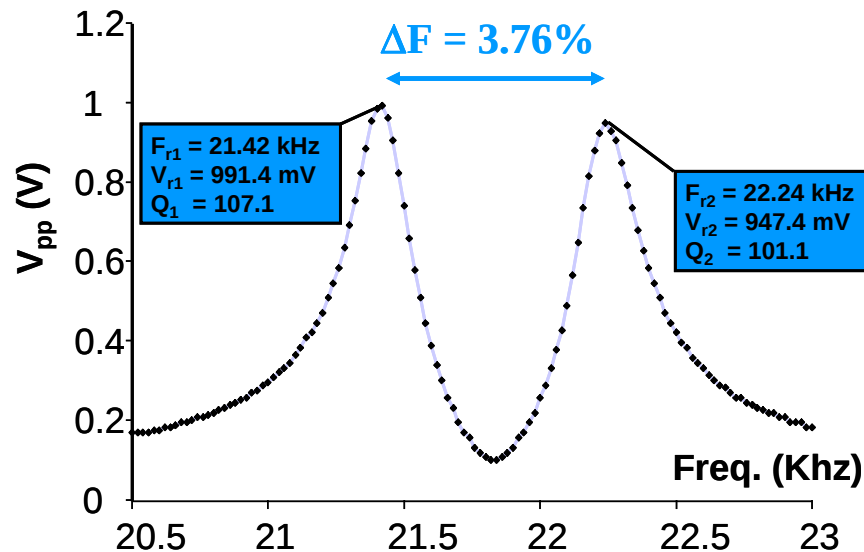
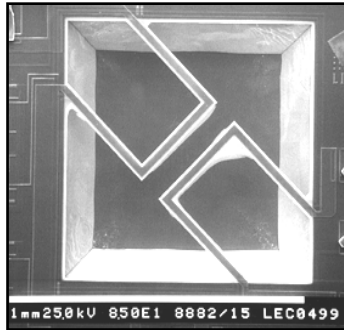


Avec faute

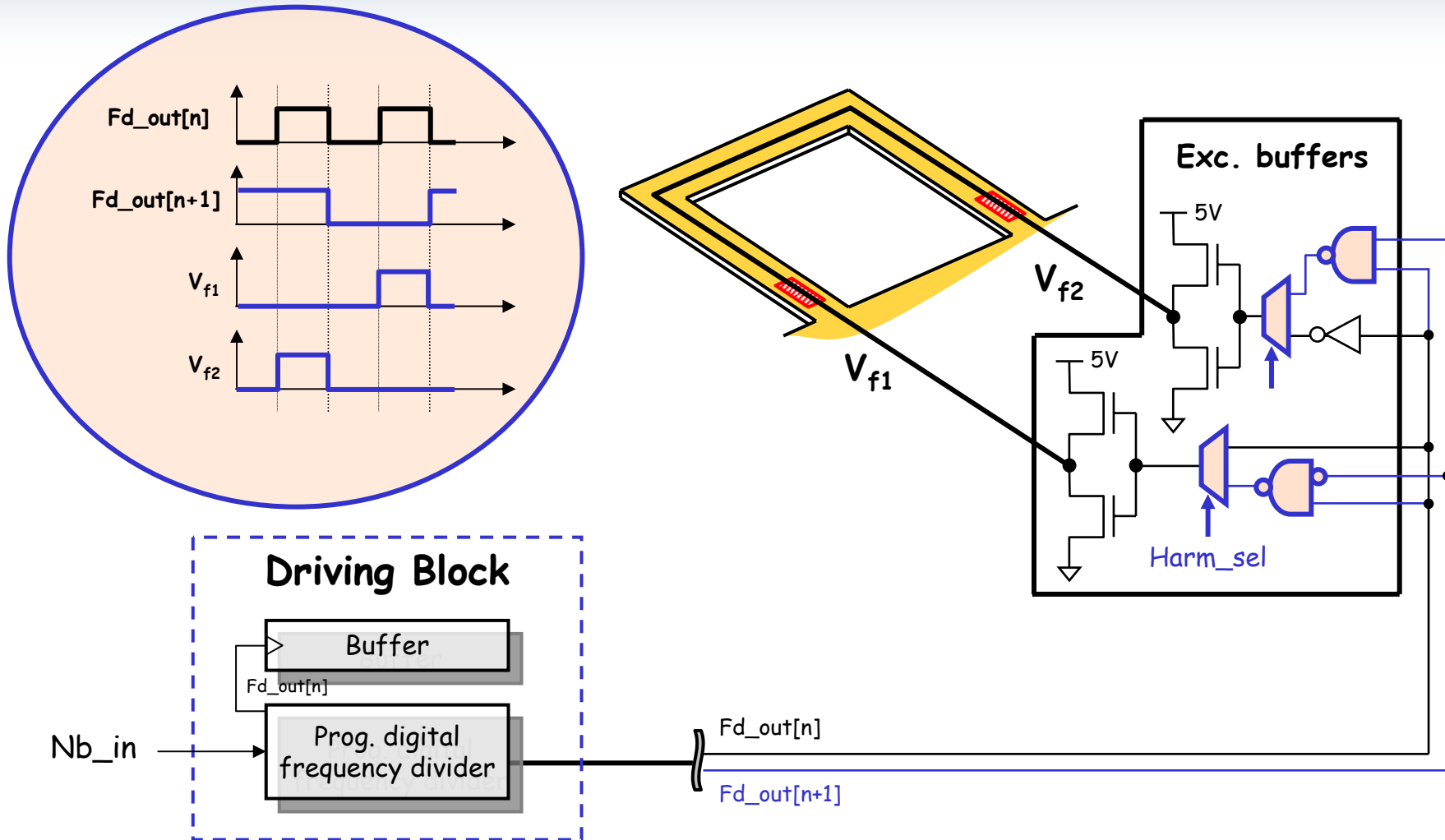


Test électrothermique

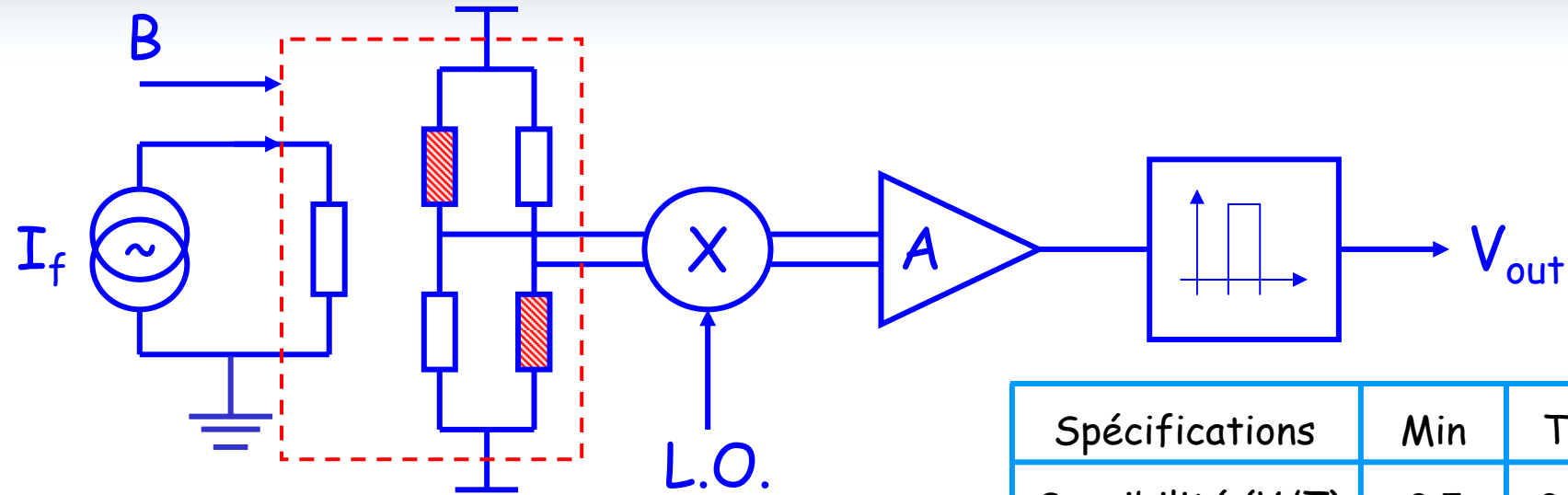
Détection de faute de gravure et recherche de la fréquence de résonance



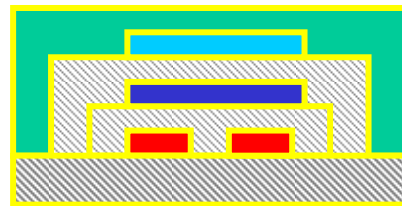
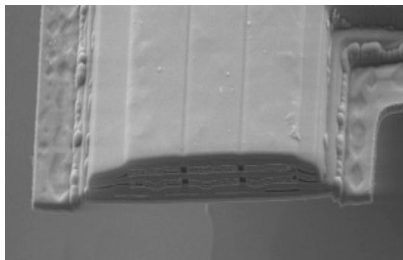
Test électrothermique intégré



Test par oscillations



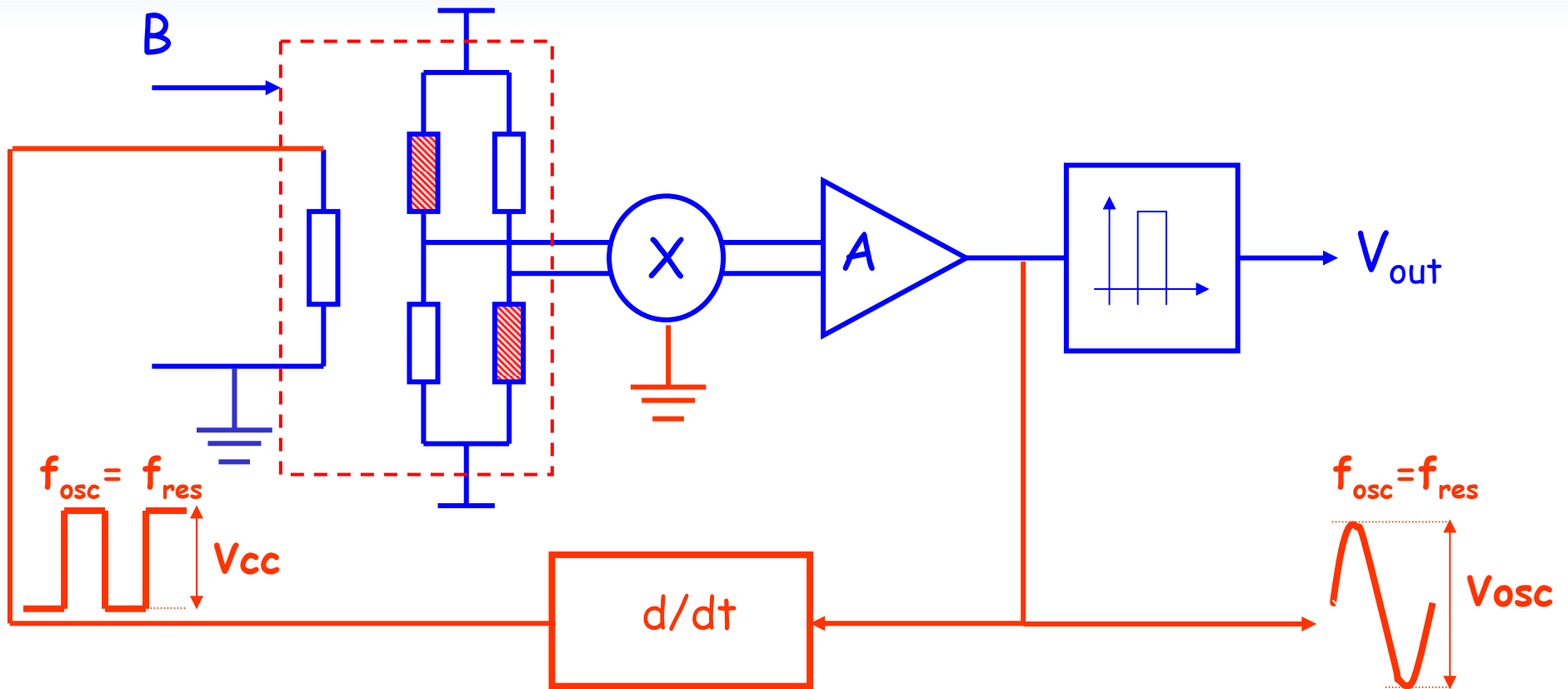
Spécifications	Min	Typ	Max
Sensibilité (V/T)	2.5	2.85	3.2
τ (ms)	0.9	1.2	1.5



Dimensions
 Masses volumiques
 Modules d'Young
 Epaisseurs

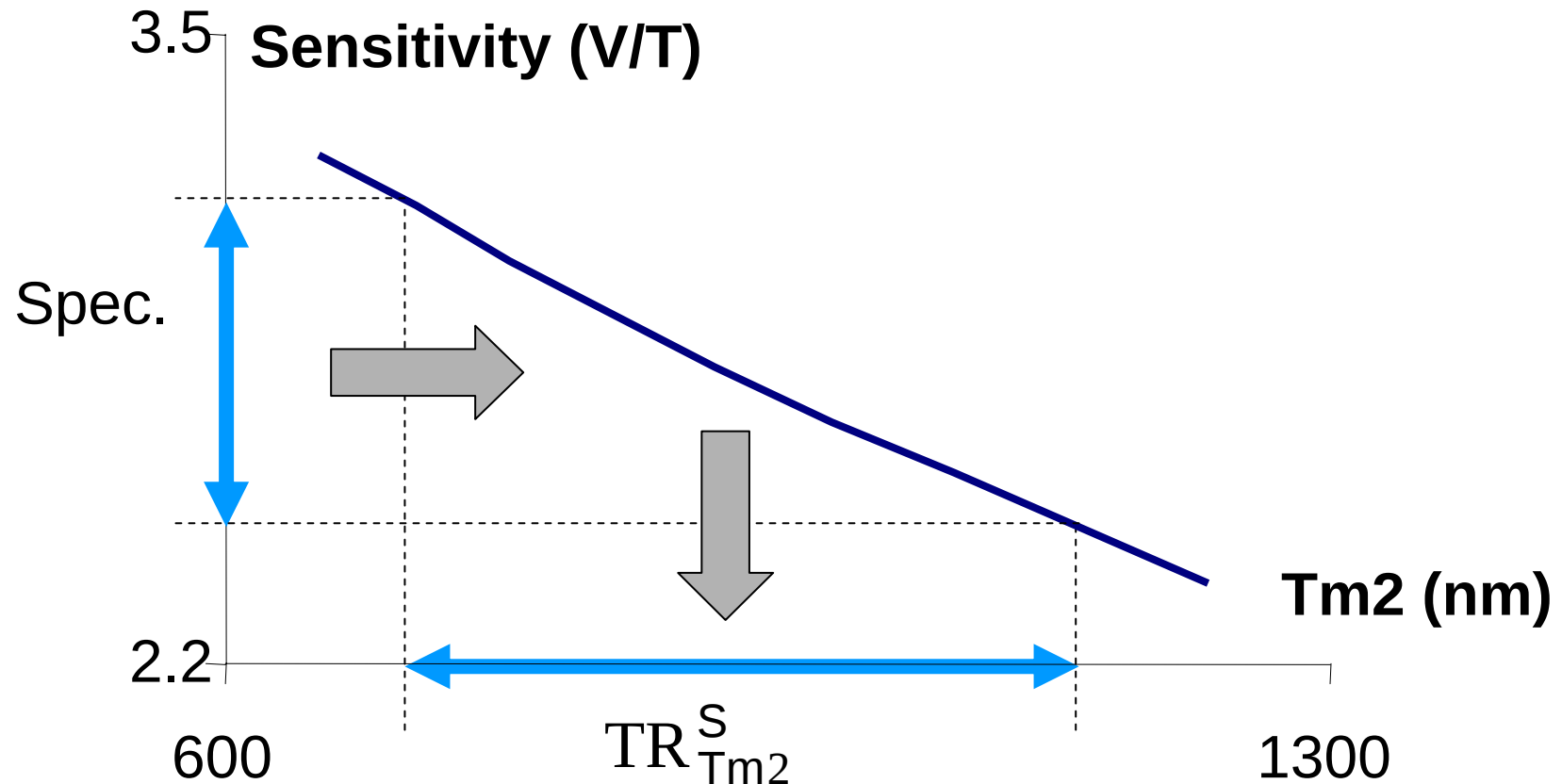
Modèle de fautes :
20 paramètres
bas niveau, LP_j

Test par oscillations



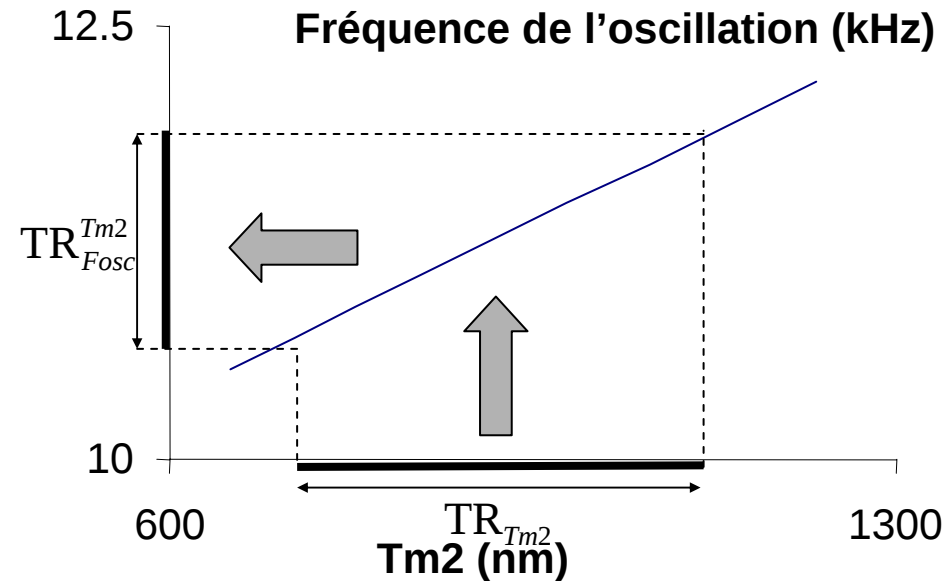
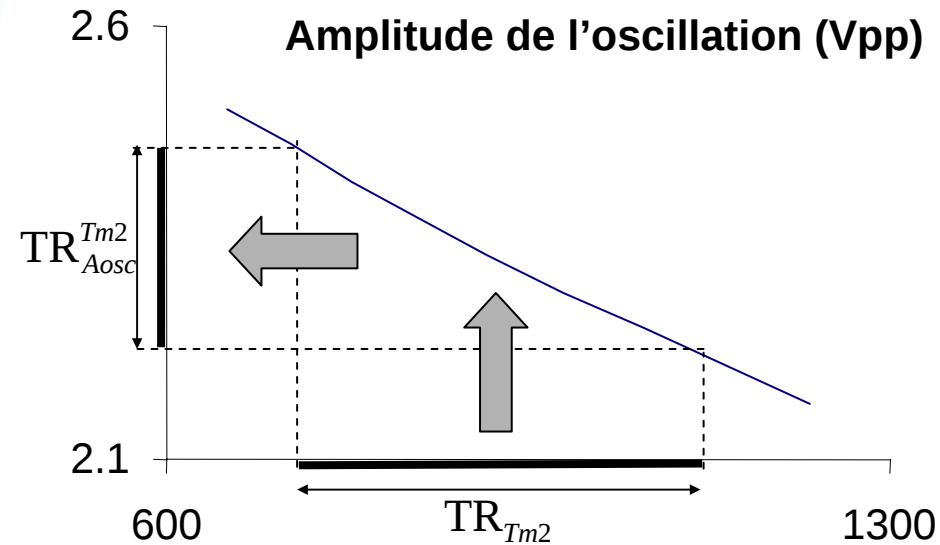
- Mesure de deux paramètres indirects (IP_k) : f_{osc} , V_{osc}
- Question : tolérances sur ces paramètres ?

Tolérances sur les paramètres bas niveau

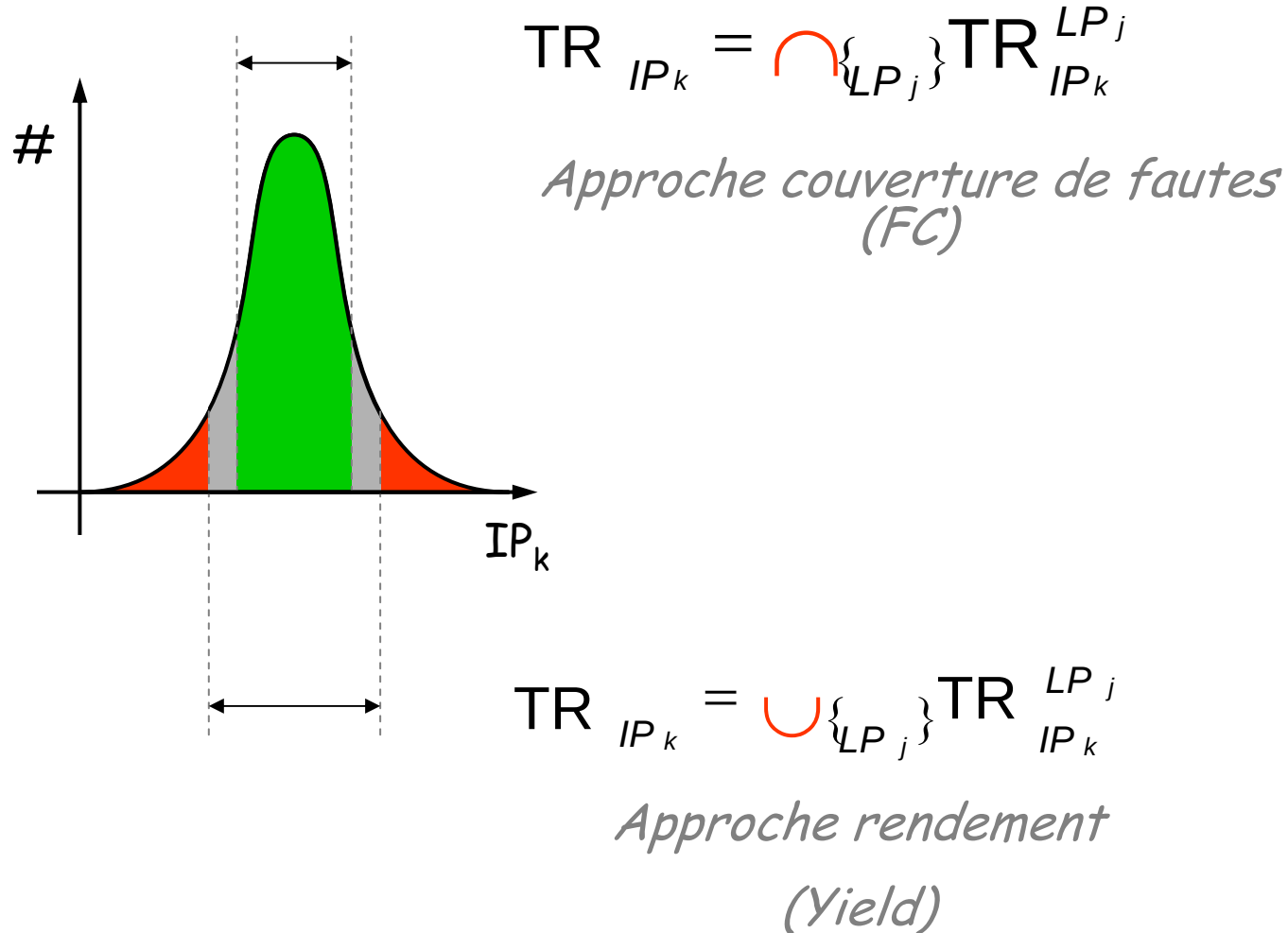


$$TR_{LPj} = \cap TR_{LPj}^{DPi}$$

Tolérances sur les paramètres indirects

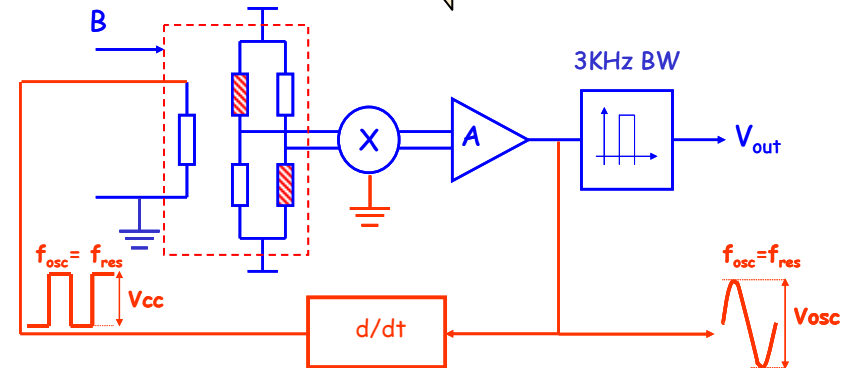
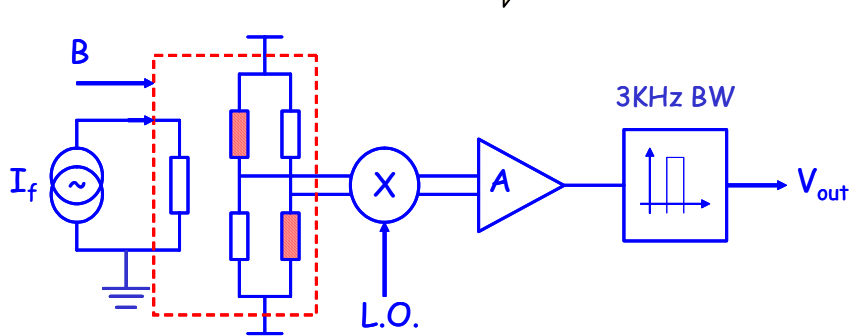


Tolérances sur les paramètres indirects



Résultats

LP	T _{pox}	T _{vox}	T _{fox}	T _{cox}	T _{m2}	T _{m1}
$\overline{LP}$	750	900	400	700	940	720
σ_{LP}	33	33	17	35	47	40



nb échantillons sains	90
nb échantillons fautifs	10
nb total d'échantillons	100
rendement de production avant test	90%

test type Yield		
nb échantillons sains et gardés	90	
nb échantillons sains et rejetés	0	
nb échantillons fautifs et gardés	2	
nb échantillons fautifs et rejetés	8	
Efficacité du test	98%	
Couverture de fautes	80%	

test type FC		
nb échantillons sains et gardés	64	
nb échantillons sains et rejetés	26	
nb échantillons fautifs et gardés	0	
nb échantillons fautifs et rejetés	10	
Efficacité du test	74%	
Couverture de fautes	100%	

Conclusion

- Principales difficultés du test des MEMS:
 - choix du niveau de modélisation (FEM, Nodal, HDL) et du modèle de faute
 - remplacement des stimuli physiques
 - nombreuses méthodes (orientées défaut ou structurelles)
 - pas d'outils spécifiques et automatiques pour le test des MEMS (stimuli de test, FC, efficacité)
- Importance de la relation conception et test
 - prise en compte du test lors de la conception
 - conception robuste
- Fiabilité des MEMS