



## Proposition d'Equipe Projet : « STEFIAM »

### Structures de test pour l'étude de la fiabilité des microsystemes

**Mots-clés :** architectures spécifiques (ponts, membranes, cavités, ...), robustesse procédés, interfaces mécaniques, chimiques, résistance des matériaux.

**Coordination :**

Claude PELLET (IXL - UMR CNRS 5818 - Université Bordeaux 1) pellet@ixl.u-bordeaux.fr

Pascal NOUET (LIRMM - UMR CNRS 5506 - Université de Montpellier 2) nouet@lirmm.fr

### Introduction

Pendant plus de deux décennies, l'industrie du semiconducteur a appréhendé la fiabilité des composants par la conduite d'essais de fiabilité a posteriori. Cette approche est aujourd'hui considérée comme insuffisante, car elle ne couvre pas tous les modes de pannes et entraîne des surcoûts importants. L'approche "déterministe", basée sur la compréhension des modes de pannes dans l'environnement réel d'utilisation, fait maintenant l'objet de nombreuses recherches au plan international. En effet, elle est perçue comme s'intégrant bien à une méthodologie systémique et pluridisciplinaire, prônée pour le développement d'équipements électroniques. Quel que soit le composant, il est primordial de pouvoir définir des aires de sécurité de fonctionnement optimisées en terme de fiabilité, ce qui devient possible par une connaissance améliorée des mécanismes de dégradation, de leur activation et de leur localisation. Une des bases de l'intégration de la fiabilité soit dans la conception soit dans les choix technologiques associés à une application est de s'attacher à modéliser l'interaction "performance-contrainte" en fonction des profils de mission. Des résultats significatifs sur ces nouvelles approches de la fiabilité notamment en développant des modèles avancés de dégradation, des indicateurs précoces de défaillance, et des techniques de localisation de défauts commencent à donner des résultats prometteurs en microélectronique.

Cette démarche n'a pas encore été mise en œuvre pour les microsystemes, et cette « Equipe Projet » a pour objectif d'en jeter les bases, en utilisant les compétences et les moyens de conception, de caractérisation et de simulation des laboratoires partenaires. L'objectif final est de concevoir et de réaliser un outil s'intégrant dans les logiciels d'aide à la conception et permettant d'évaluer de manière déterministe la durée de vie d'un microsysteme donné dans un environnement donné.

#### 1/ Mécanismes de défaillance spécifiques au microsystemes

Quatre principaux mécanismes de défaillance ont été répertoriés :

- **Rupture mécanique**, due à la géométrie, à la présence de défauts, à la fatigue (figure 1 (a))
- **Adhésion ou collage de structures** du aux forces de capillarité, de Van der Waals ou électrostatiques. (figure 1 (b))
- **Usure** due soit à l'abrasion soit à la corrosion (figure 1 (c))
- **Délamination** due aux contraintes thermomécaniques (figure 1 (d))

De nombreux facteurs externes peuvent favoriser ces mécanismes tels que les chocs, les vibrations, l'humidité, la température, les charges électriques, les particules, ...

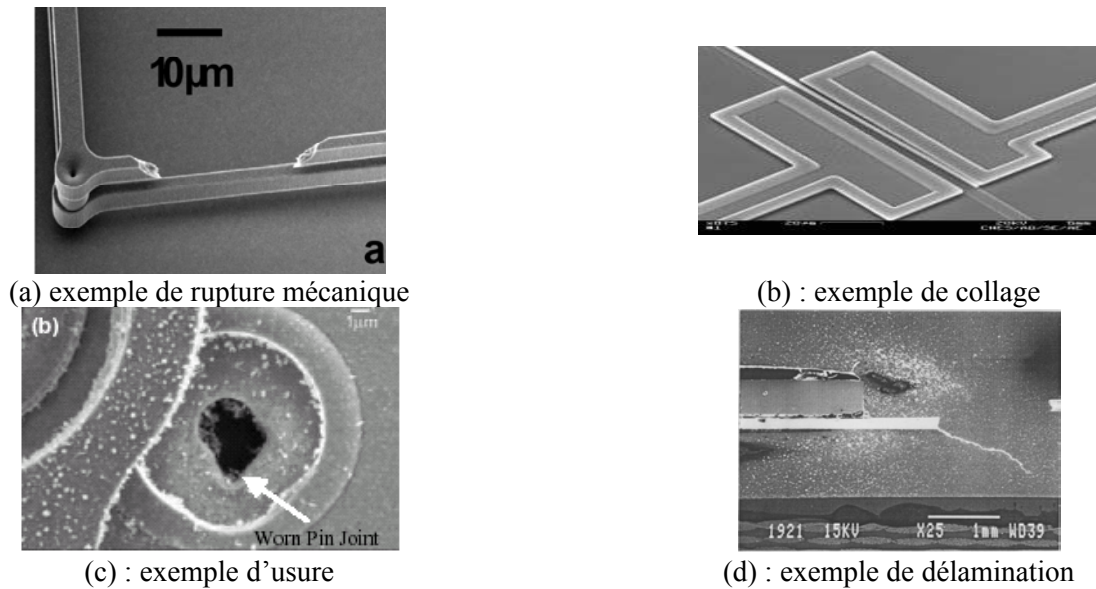


Figure 1 : principaux mécanismes de défaillances des microsystèmes

## 2/ Les outils d'analyse des défaillances

On retrouve bien entendu les outils développés pour l'analyse des défaillances des circuits intégrés :

Microscopies optiques, électroniques, acoustiques, AFM, FIB, etc.

Sur ce sujet, un recensement des moyens de caractérisations disponibles dans les laboratoires a été réalisé dans le cadre de l'AS 43 « Fiabilité Microélectronique, microsysteme » voir figure 2 et 3.

## Besoins de caractérisations

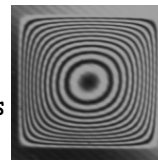
### Caractérisation de la technologie :

- état de surface: rugosité des dépôts et des gravures
- épaisseur des motifs
- profondeur et sélectivité des gravures
- caractérisation dimensionnelle, mesures de débattements
- détection de défauts (collages, ..)



### Caractérisation des propriétés des films :

- propriétés mécaniques
- propriétés électromécaniques
- propriétés thermiques et thermomécaniques



### Caractérisation des microdispositifs complets :

- comportement statique (chargement mécanique ou thermique)
- comportement dynamique (fréquences et modes de résonance, temps de réponse, amortissement, couplages)

Figure 2 : besoins en caractérisation

## Moyens de caractérisation disponibles

IEF (Orsay), IEMN (Lille), IMEP (Grenoble), IXL (Bordeaux),  
LAAS (Toulouse), LAIN (Montpellier), LPM (Lyon)

**Topographie, épaisseur** : Profilomètres mécaniques, profilomètres optiques, ellipsomètres, microscopes optiques, microscopes électroniques à balayage, microscopes à force atomique, microscope acoustique, banc de polissage

**Cartographie thermique** : Microscope infrarouge, caméra infrarouge

**Caractérisation électrique** : Analyseurs de réseau, analyseurs de spectre, spectroscopie d'impédance

**Constitution des matériaux** : Diffraction X, X-Ray spectroscopy, Auger electron spectroscopy, laminographe, Rutherford back scattering

**Caractérisation mécanique** : Vibromètre optique, banc de bulge test, banc de blister test, banc de traction

**Fiabilité** : Banc de vieillissement accéléré

Figure 3 : liste des moyens de caractérisations disponibles

### 3/ Objectifs et méthodologie

Même s'il y a déjà des travaux réalisés dans le domaine de la fiabilité des microsystèmes, beaucoup reste à faire. Ce thème a été défriché dans l'Action Spécifique « Fiabilité Microélectronique, Microsystèmes ». Un certain nombre d'actions, en particulier celles visant à concevoir et réaliser des structures de test pour évaluer la fiabilité d'architectures spécifiques, ont fait l'objet d'une analyse assez poussée.

Nous proposons de reprendre le plan de travail défini dans le cadre de l'AS. Les objectifs et la méthodologie peuvent être schématisés selon la figure 4.

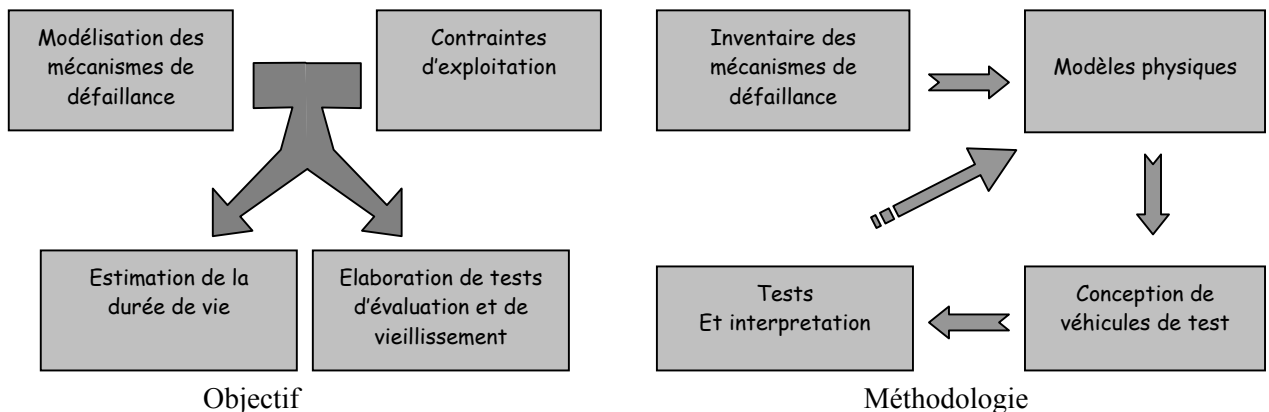


Figure 4

Notre effort portera sur la conception de véhicules de test basiques (poutres, ponts, membranes, etc.) permettant de caractériser un ou des mécanismes de défaillances intervenant dans l'utilisation des microsystèmes. La caractérisation et le test de ces dispositifs permettront d'alimenter les modèles physiques associés aux mécanismes de défaillance. A plus long terme ces modèles en association avec un profil de mission devraient permettre pour un microsystème donné d'estimer une durée de vie et/ou d'élaborer des tests d'évaluation et de vieillissement.

#### 4/ Plan de travail

Nous envisageons un avancement du projet en 3 étapes :

- **1<sup>ère</sup> année** : élaboration des structures élémentaires au sein de la centrale de technologie du LAAS. Les dispositifs seront ensuite mis à disposition des différents partenaires pour des caractérisations et tests. Des études de fatigue sous atmosphère neutre et humide et en fonction de la température, ainsi que des caractérisations mécaniques des structures et des matériaux seront réalisées.

**Délivrables :**

- 1- les résultats obtenus alimenteront une base de donnée de propriétés physico-chimiques des matériaux rencontrés en microélectronique et microsystèmes (silicium, oxydes, métaux, polymères, etc.). Ces données seront accessibles via le site internet du RTP.
- 2- Elaboration de modèles physiques des mécanismes de défaillance.

- **2<sup>ème</sup> année** : conception d'un microsystème intégrant des structures de test, fabrication industrielle de ces microsystèmes

**Délivrables :**

Puces microsystèmes intégrant une partie microélectronique et des structures de tests.

- **3<sup>ème</sup> année** : tests de vieillissement des microsystèmes et validation des modèles de défaillance, modélisation de la durée de vie.

**Délivrables :**

Modèles de prédiction de durée de vie.

#### 5/ Laboratoires impliqués et partenaires

**Porteur de l'Equipe Projet :**

Laboratoire d'Etude de l'Intégration des composants et systèmes Electronique (IXL – UMR 5818)

Claude PELLET (PR), Isabelle DUFOUR (CR)

[pellet@ixl.u-bordeaux.fr](mailto:pellet@ixl.u-bordeaux.fr), [dufour@ixl.u-bordeaux.fr](mailto:dufour@ixl.u-bordeaux.fr)

**Laboratoires partenaires :**

Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS - UPR 8001)

Patrick PONS (CR), Gabriel BLASQUEZ (DR)

[ppons@laas.fr](mailto:ppons@laas.fr), [blasquez@laas.fr](mailto:blasquez@laas.fr)

Laboratoire d'Informatique de Robotique et de Microélectronique de Montpellier (LIRMM – UMR 5506)

Pascal NOUET (MDC), Laurent LATORRE (MDC)

[nouet@lirmm.fr](mailto:nouet@lirmm.fr), [latorre@lirmm.fr](mailto:latorre@lirmm.fr)

Institut d'Electronique Fondamentale (IEF – UMR 8622)

Alain BOSSEBOEUF (DR).

[bosseboeuf@ief.u-psud.fr](mailto:bosseboeuf@ief.u-psud.fr)

Laboratoire de Génie de la Production (LGP – ENI de Tarbes – UPR-ES équipe d'accueil 1905)

Jacques Alain PETIT (PR), Talal MASRI (MDC)

[petit@enit.fr](mailto:petit@enit.fr), [masri@enit.fr](mailto:masri@enit.fr)

**Partenaires industriels :**

CNES Toulouse	MESMCAP	EPSILON	MOTOROLA
Francis PRESSECQ	Xavier LAFONTAN	Xavier Chauffleur	Jean-Louis CAZAUX
pressecq@cnes.fr	lafontan@memscap.com	xc@irelec.fr	cazaux@space.alcatel.fr