

# FIABILITE DES CIRCUITS ET BOITIERES A TRES HAUTE DENSITE D'INTEGRATION

F. Verdier, G. Duchamp, H. Frémont  
Laboratoire IMS – Université Bordeaux I



# Sommaire

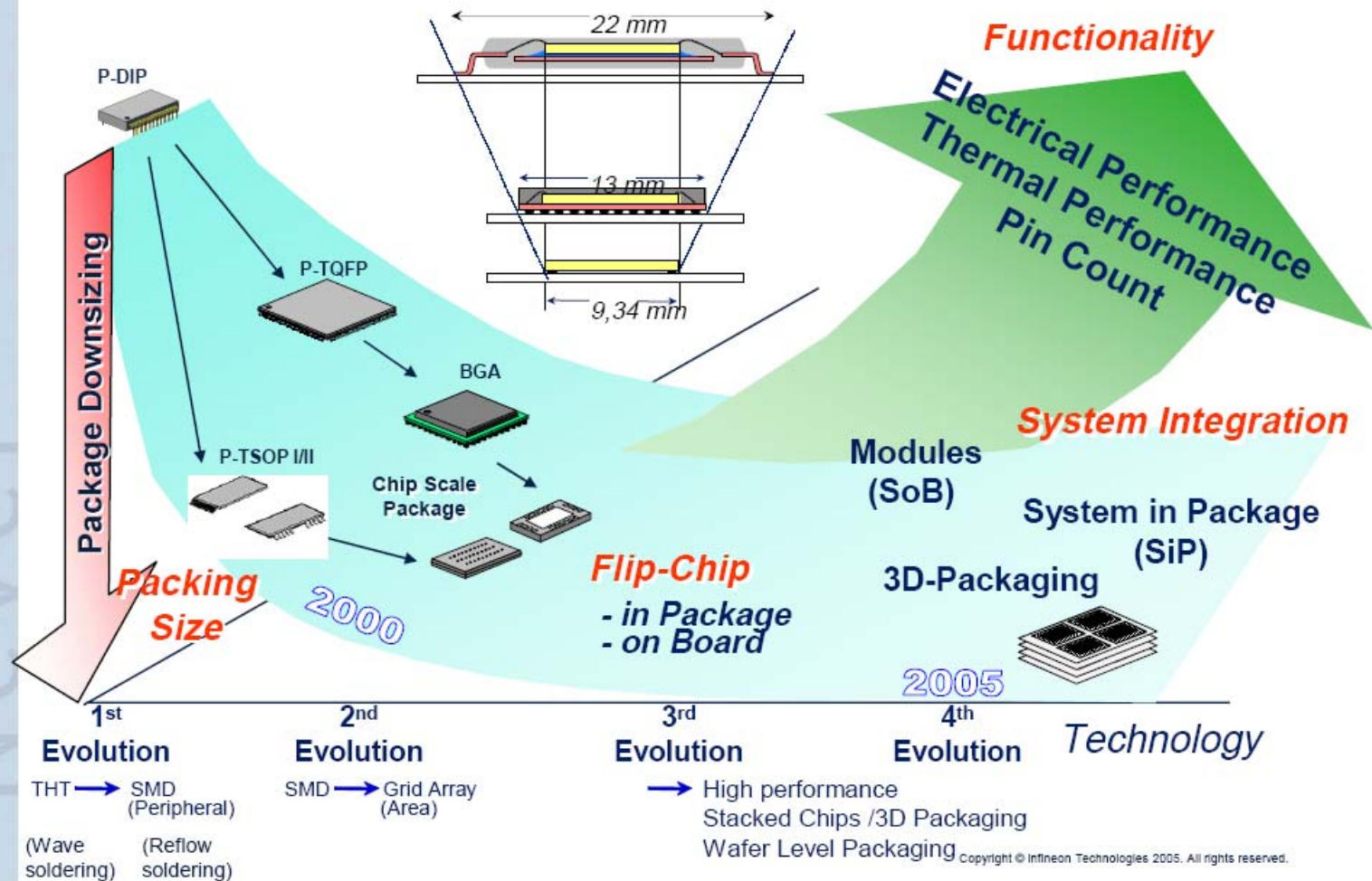
- Introduction
- Considérations technologiques
- Mécanismes de dégradation
  - Mécanismes généraux
  - Mécanismes émergents
- Evaluation de la fiabilité
  - tests
  - approche « Physics of Failure »
- Conclusion

# AUGMENTATION DES RISQUES

- Au niveau de la puce
  - Accroissement des dimensions
  - Diversification des fonctions (SoC)
  - Densité de puissance dissipée
  - Montée en fréquence
  - ....
- Au niveau des assemblages et boîtiers
  - Densification des interconnexions internes (SiP)
  - Juxtaposition blocs RF, analogique, numérique, puissance
  - Nouveaux matériaux (alliages sans plomb)
  - Procédés de fabrication plus agressifs (PoP)
  - Nouvelles dimensions de contraintes (3D)
  - ....

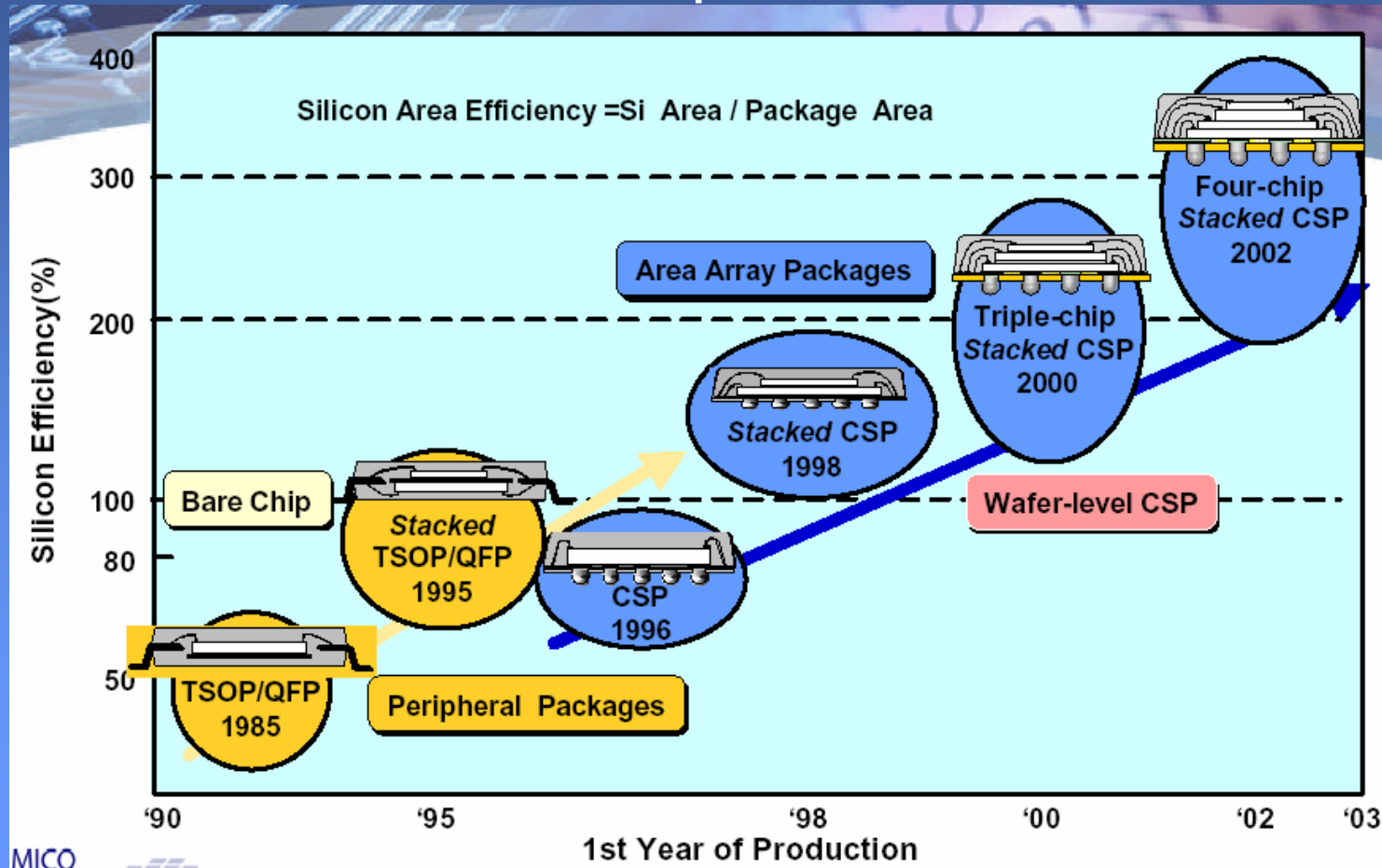
# Modern IC Packaging Trends

## Overview of Package Evolutions



# VARIANTES TECHNOLOGIQUES

- Evolution rapide
- Moindre maîtrise des procédés



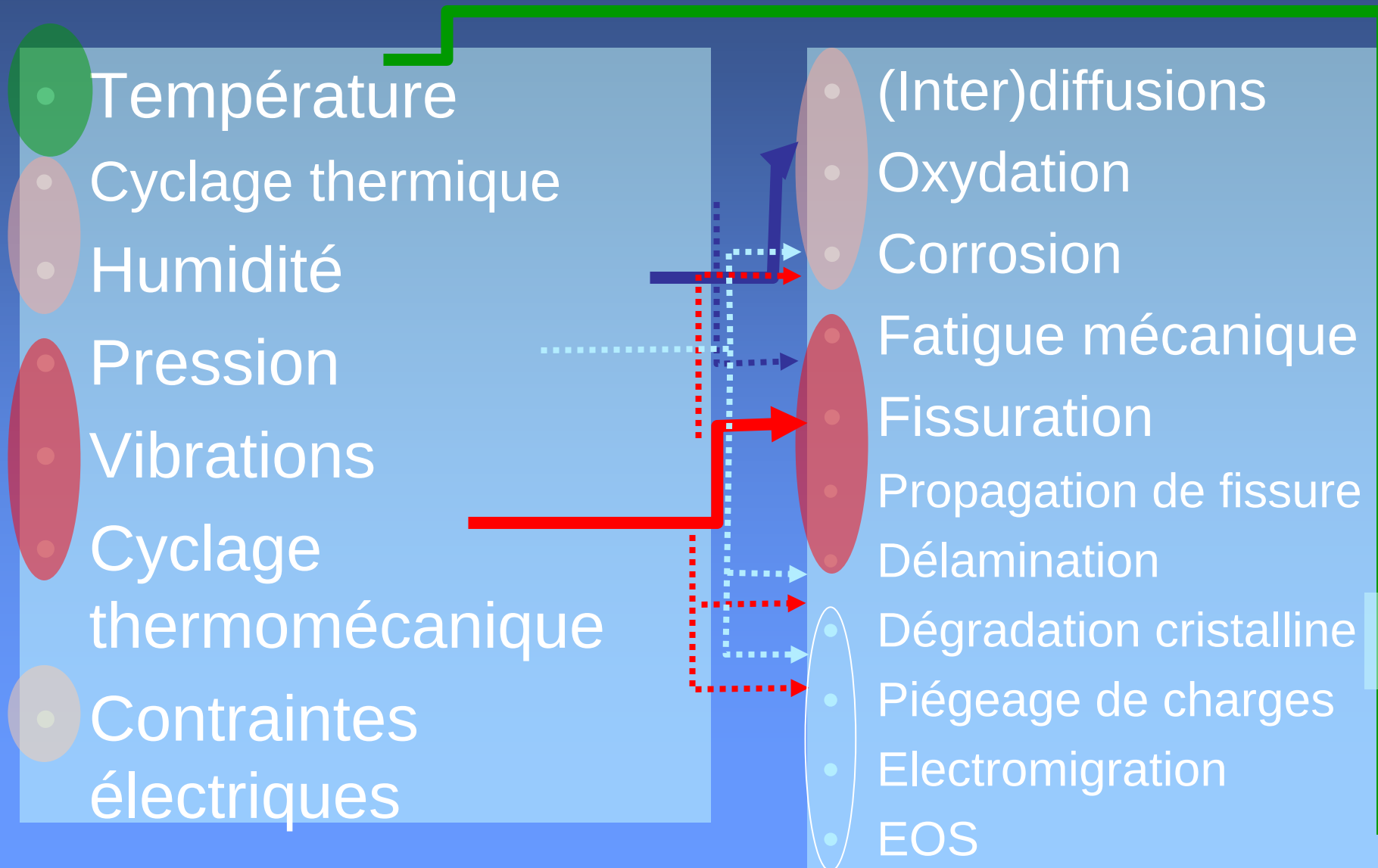
# CONTRAINTES AGGRAVEES

- Effets thermiques
  - Gradients thermiques intra-puce (SoC)
  - Gradients thermiques intra-boîtier (Sip)
  - Problèmes de l'électronique « de puissance » (« smart power »)
- Composants spécifiques
  - Passif (structures capacitatives, selfiques...)
  - Qualité/Fiabilité propres
- Contraintes mécaniques
  - Troisième dimension
  - Interfaces multiples et diverses
- CEM

# CONTRAINTES AGGRAVEES

Tests de qualification / tests de fiabilité adaptés ?

# DEGRADATION





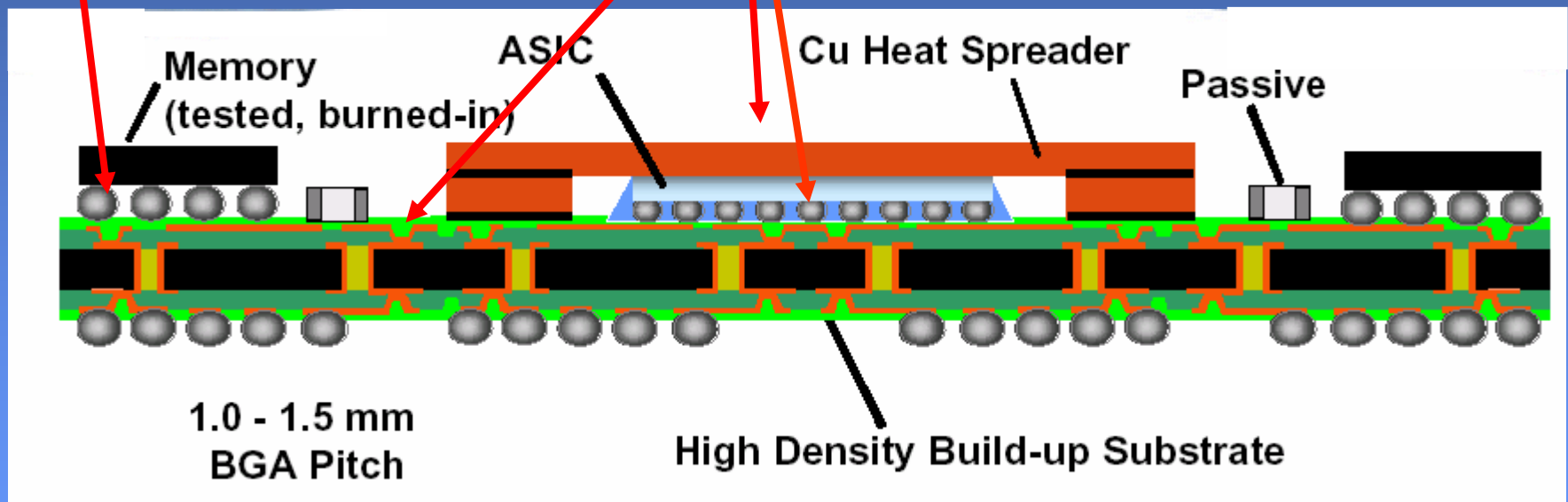
# MECANISMES CRITIQUES PROBABLES

- Electromigration
  - Interconnexion (Cu) sur puce (SoC)  
(forte puissance consommée ↗ )
  - Vias et interconnexions sur PCB intermédiaires (PoP)
  - Bumps sans plomb des flip-chip
- Intermétalliques
  - « Nouveaux » alliages sans plomb
- Effets thermomécaniques
  - Gradients
  - « Effets 3D »

# MECANISMES CRITIQUES PROBABLES

Electromigration

Intermétalliques



+ Fissurations, délaminations aux interfaces

# FIABILITE PREVISIONNELLE ET OPERATIONNELLE

- Tests accélérés (Qualification / vieillissement)
- En conception
  - Simulation physique (FEM)
  - WLR (SoC)
- En test
  - Simulation statistique
  - Indicateurs de dégradation
- En utilisation
  - Circuits autotesteurs (TSMD)
  - Circuits « intelligents »

# EVALUATION DE LA FIABILITE

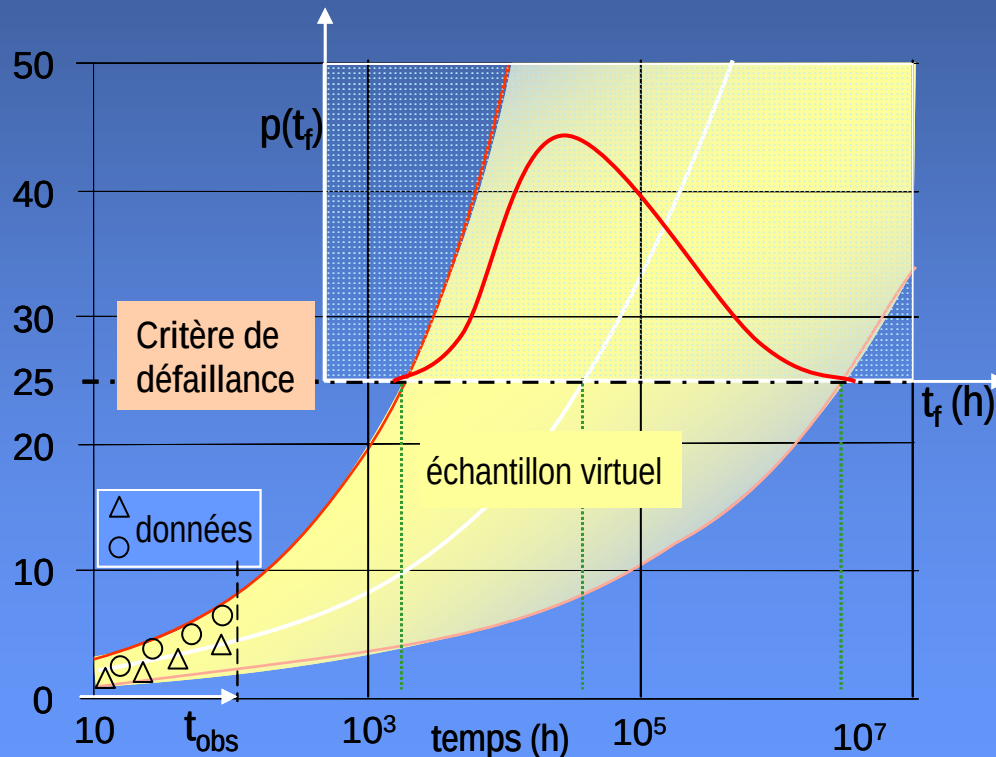
- Tests de qualification
  - Drop tests
  - CEM
  - HAST, PCT
  - Pertinence sur des structures complexes ?
- Tests de vieillissement accéléré
  - Intensités des contraintes
  - Contraintes spécifiques

# SIMULATION PHYSIQUE

- Basée sur :
  - La structure du composant (données technologiques, données matériau)
  - Les lois physiques (électromagnétisme, équations de mouvement, thermique...)
  - Méthode de calcul : éléments finis (maillage)
  - + simulateur électrique
- Exemples :
  - Simulation thermomécanique (statique, ou cyclage)
    - assemblages
  - Simulations électromécaniques (piézoélectricité)

# PRINCIPE DE LA SIMULATION STATISTIQUE

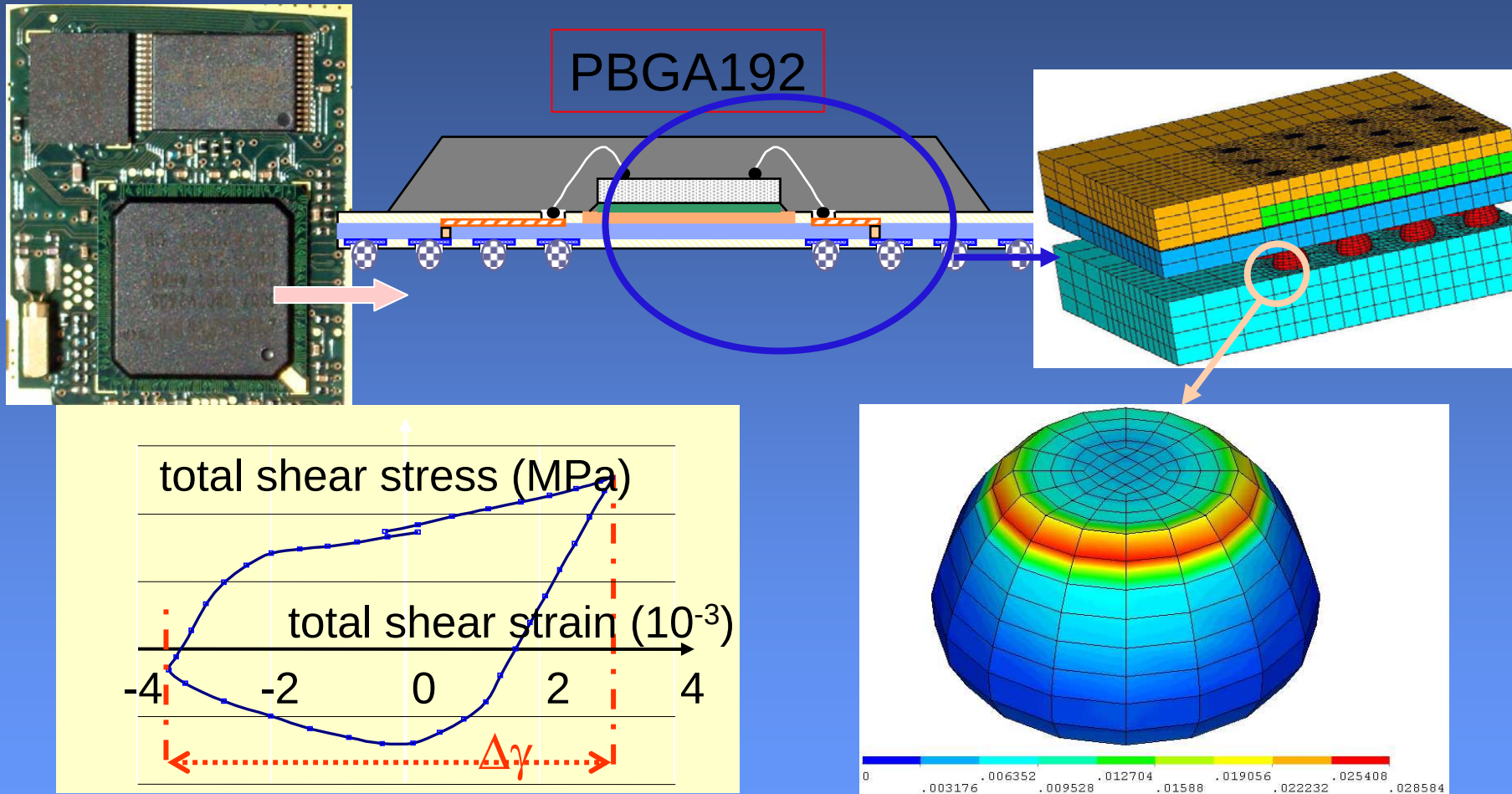
Statistiques pauvres ( taille d'échantillon jamais suffisant + durée d'observation trop courte)



« enrichissement » possible par :

- suivi de dégradation  
→ extrapolation dans le temps  
**(défaillance définie à partir d'un critère arbitraire)**
- caractéristiques statistiques du lot sous test  
→ Tirage aléatoire d'un échantillon virtuel représentatif

# SIMULATION THERMOMECHANIQUE D'UN ASSEMBLAGE



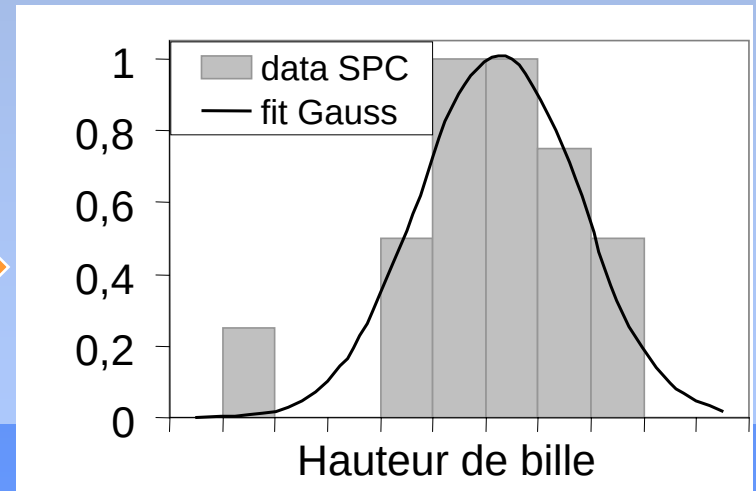
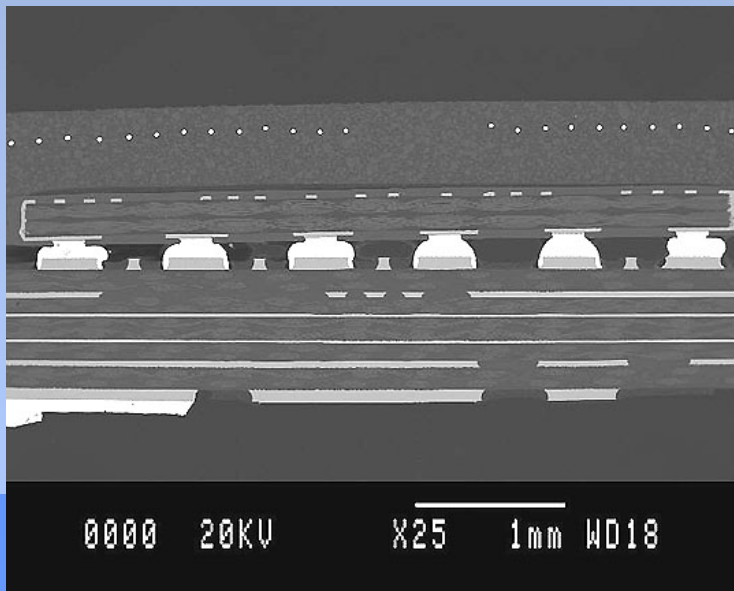
**Identification des zones critiques**

# EFFETS DES DISPERSIONS TECHNOLOGIQUES

- Procédés de fabrication plus critiques → distribution des paramètres technologiques

Distribution d'un paramètre technologique

Distribution de durée de vie





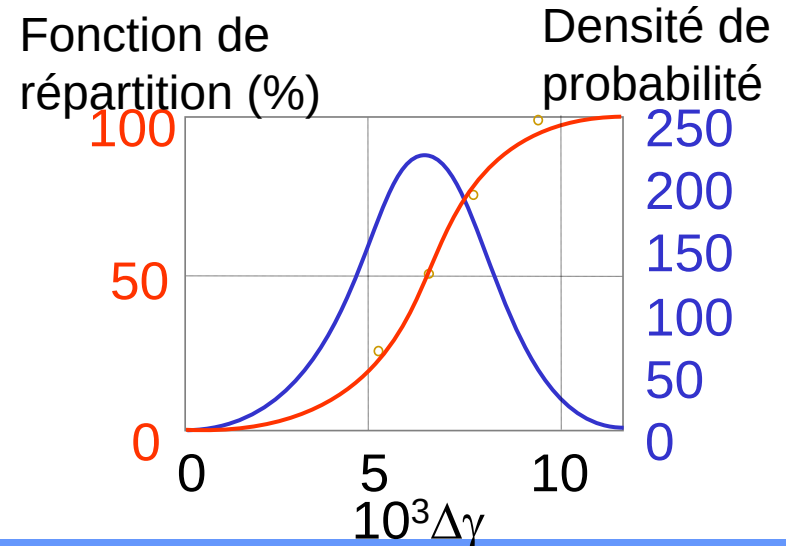
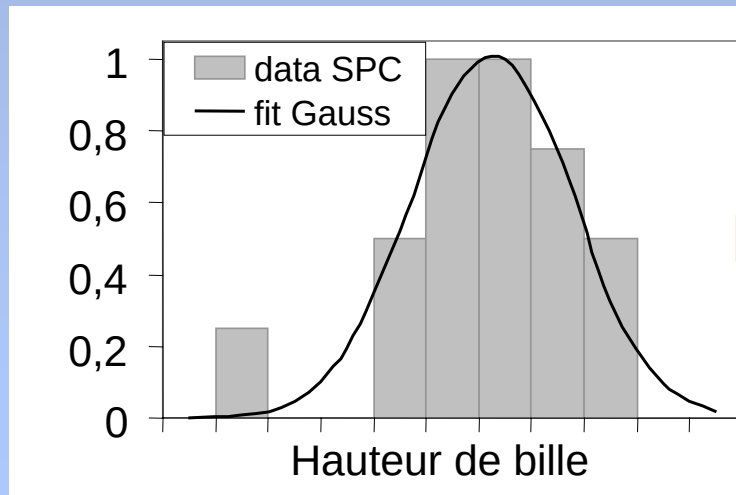
# EFFETS DES DISPERSIONS TECHNOLOGIQUES

- Couplage simulation physique | simulation statistique

Distribution d'un paramètre technologique

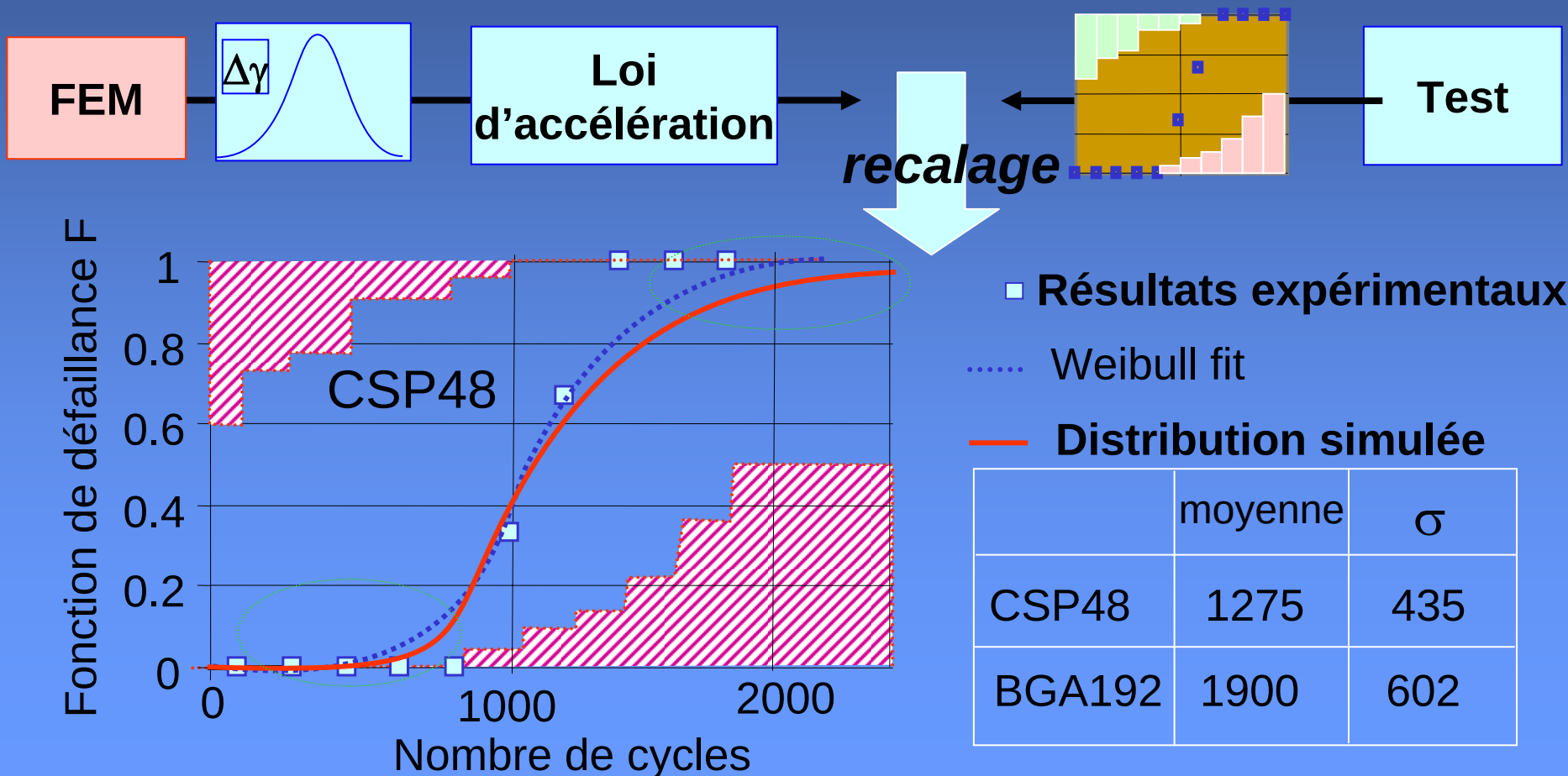
Simulation thermomécanique

Distribution de  $\Delta\gamma$



# DISTRIBUTION DE LA DURÉE DE VIE SIMULÉE

- Paramétrage numérique des distributions des instants de défaillance  
*Dans les conditions de test accéléré*



# EXEMPLE SUR UN SiP

- Barathula & Al. (ETH ZURICH)
  - Simulation sous chargement thermique ou mécanique statique d'un substrat FR4

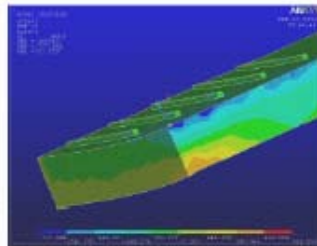


Fig. 9. LTCC under mechanical loading

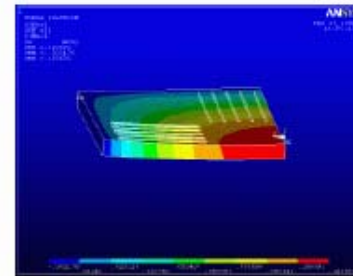


Fig. 12. LCP BIAC under thermal loading conditions

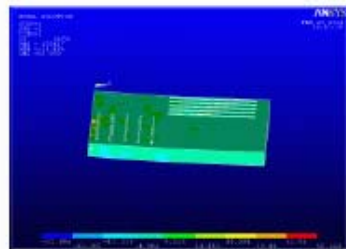


Fig. 10. LCP BIAC under mechanical loading

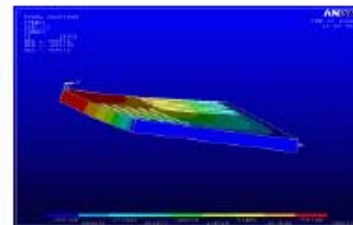


Fig. 13. PTFE under thermal loading conditions

# CONCLUSIONS

- Développement des procédés de fabrication et construction de la fiabilité conjoints
  - Paramètres adaptés aux nouveaux matériaux ( températures, profils thermiques...)
  - Effets accrus des dispersions technologiques ( Empilements, dimensions plus grandes ...)
- Des outils existent déjà
  - (Tests accélérés)
  - Approche par la physique de dégradation
  - Apport des outils de simulation