



# LA FIABILITÉ AU CŒUR DU DÉVELOPPEMENT DES PRODUITS

## ANALYSE CYCLE THERMIQUE



Article rédigé par Robert Martel, Ing.



# INTRODUCTION

Le but de cet article est de mettre en lumière l'importance des tests de fiabilité pour identifier les faiblesses d'une pièce de microélectronique lors de ses divers cycles de développement. L'emphase sera mise sur le cyclage thermique qui, combiné à des lectures électriques et des analyses de défaillance, permet de détecter les pièces marginales et de comprendre leur mode de rupture. Basé sur ces informations, il devient possible d'apporter les modifications requises afin de rendre plus robuste les modules.

## LE TEST DE LABORATOIRE : LE CYCLAGE THERMIQUE

Le cyclage thermique consiste à faire subir aux échantillons un écart de température. Le but premier est de simuler les mises en tension et les mises à l'arrêt « power on/off » des divers systèmes électroniques. Lorsque ces derniers fonctionnent, la température augmente alors qu'une fois à l'arrêt, la pièce revient près des conditions ambiantes. L'objectif est de simuler ces changements en laboratoire mais en mode accéléré. Les paramètres importants du cyclage thermique sont: Les taux de variation thermique « ramps », la durée de maintien aux températures extrêmes « dwell time » et les températures minimums et maximums.

Les « ramps » représentent la vitesse de transfert thermique que subit la pièce lorsqu'elle passe d'une température extrême à l'autre. Par exemple, une chambre à double compartiment permet de transférer à l'aide d'un système d'ascenseur les pièces à tester d'une chambre froide à une chambre chaude de sorte que les modules atteignent rapidement les températures désirées. Dans un tel cas le transfert thermique est agressif, le terme choc thermique est alors utilisé. En revanche, les mêmes températures peuvent être rencontrées en utilisant une chambre dite à compartiment « simple ». Contrairement à une chambre double, le transfert thermique est beaucoup plus lent car la même chambre doit être sollicitée pour l'atteinte des températures extrêmes. En général le terme cyclage thermique est utilisé pour la chambre simple.

Les figures 1 et 2 illustrent bien la différence entre ces deux types de chambre ainsi que les profils obtenus dans chacune d'entre elle.

Les « dwell time » représentent la durée à laquelle sont maintenues les pièces aux températures extrêmes. En général, les matériaux (la soudure en particulier) ont tendance à revenir à un niveau stable (relaxation) avec une plus longue durée de sorte que les facteurs d'accélération deviennent plus importants.

Les températures minimums et maximums représentent les températures extrêmes auxquelles sont soumises les pièces. Plus l'écart entre les 2 est grand plus le facteur d'accélération est important.

En général, les stress thermiques se font dans l'air mais il est possible de le faire dans un liquide afin d'accroître le transfert thermique dans ce cas on parle aussi d'un choc thermique mais plus intense que dans l'air.

Il est important de bien identifier les conditions de stress et d'éviter les conditions trop agressives créant des « artefacts », c'est-à-dire des défaillances non-représentatives de l'application du produit.



Chambre à double compartiments



Chambre à un seul compartiment



Figure 1: Équipement servant à faire du choc et cyclage thermique, courtoisie du secteur de fiabilité du C2MI

Profil selon le type d'équipement utilisé

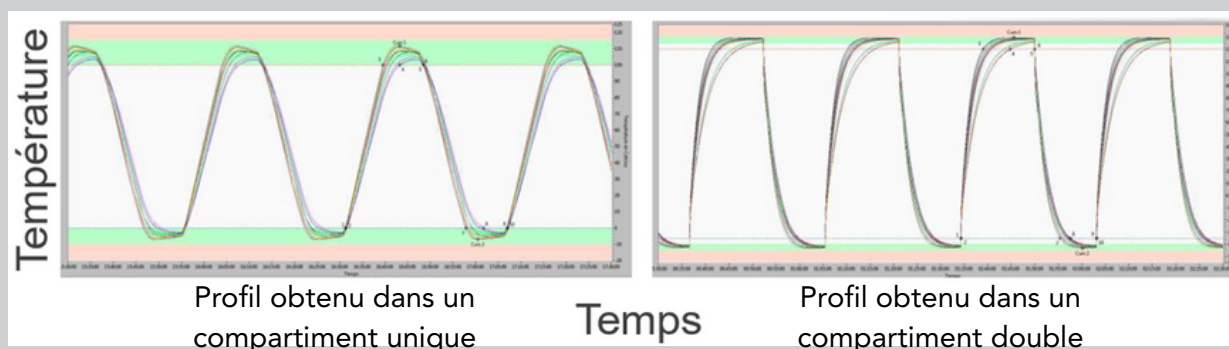


Figure 2: Comparaison entre le profil obtenu dans un équipement à compartiment unique et double, courtoisie du secteur de fiabilité du C2MI

Le cyclage thermique met en jeu les phénomènes d'expansion thermique des divers matériaux «CTE mismatch». Les écarts entre les coefficients d'expansion thermique créent du stress qui peut mener principalement à de la délamination ou de la fissuration aux interfaces ou directement dans les matériaux. Ce type de défaut se détecte par une hausse de la résistance électrique. À la figure 3, il est possible de remarquer que le joint de soudure doit accommoder la différence d'expansion thermique entre la microplaquette et le substrat. Avec l'accroissement du nombre de cycles, le joint de soudure fini par se détériorer.

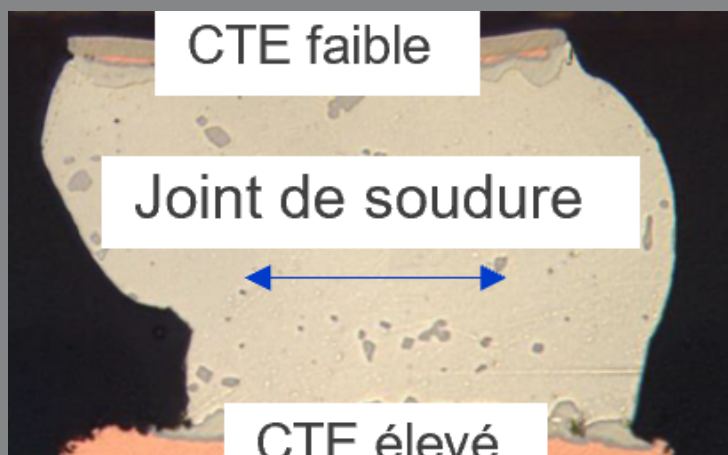


Figure 3: Schéma montrant le déplacement de la soudure pour accommoder la différence entre les coefficients d'expansion thermique, courtoisie du secteur du laboratoire du C2MI



Différents types de module, souvent des cartes de microélectroniques peuvent être mis en stress mais l'important est de pouvoir réaliser une lecture durant ou après le stress afin de déceler les détériorations potentielles. Un module d'essai «Test Vehicle ou TV» permet de faire des chaînes entre les diverses composantes du module afin de lier électriquement certaines sections. De cette façon il est facile de prendre une lecture initiale à T0 (avant stress) et de prendre des lectures subséquentes durant le stress. Une variation de la résistance est souvent le signe d'un début de détérioration.

Suite à une détection anormale de résistance électrique, le module peut être retiré du stress pour réaliser dans le même temps une analyse de défaillance. Le C2MI possède plusieurs techniques analytiques, en voici quelques-unes couramment réalisées: Microscopie Acoustique, Microscopie infrarouge, Microscopie rayons X, Microscopie électronique à balayage, Microscopie optique et Analyse en micro-section dite «cross-section».

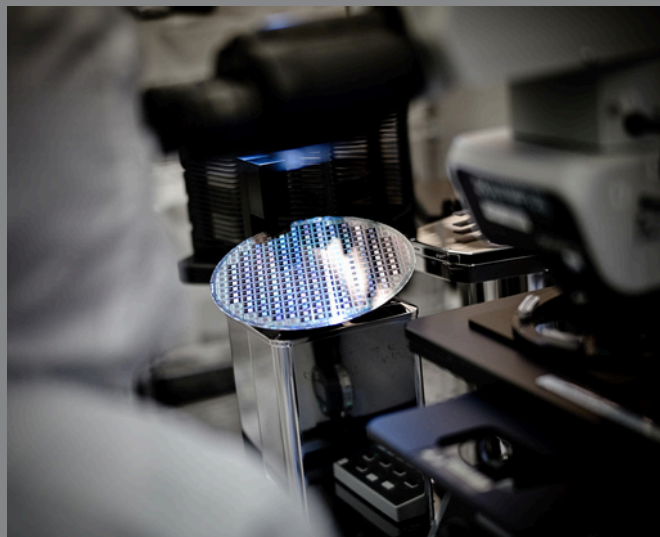
**Technique dite de Microscopie Acoustique «Scanning Acoustic Microscope – SAM»:** le microscope acoustique consiste à faire voyager une onde sonore dans un milieu humide (souvent de l'eau). Selon les interfaces rencontrées par l'onde il y aura une portion réfléchi et une autre transmise. Le système permet de traiter ces signaux afin de visualiser les structures internes de la pièce et permet principalement de déceler la présence d'air en lien avec de la porosité, de la délamination et ou de la fissuration.

**Technique dite de Microscopie infrarouge «IR microscope»:** le silicium (matériau de la microplaquette) est transparent lorsque traversé par les rayons infrarouges. Ceci a l'avantage de révéler les structures de métallisation dans la portion active de la microplaquette et du même coup, de révéler potentiellement des défauts.

**Technique dite de Microscopie rayons X :** cette technique permet d'imager en 2D ou 3D certaines structures internes des pièces.

**Les analyses en micro-section couramment appelées «cross-section»:** contrairement aux précédentes techniques considérées comme non-destructives, la cross-section est clairement une méthode destructive. En effet, La pièce est moulée dans une résine puis polie afin d'obtenir une coupe pour observer à l'intérieur de la pièce.

**Technique dite de Microscopie optique et Microscopie électronique à balayage - MEB «SEM»:** il est possible d'observer les pièces ou les micro-sections à l'aide d'un microscope optique ou électronique. Le MEB permet d'aller à un fort grossissement avec une excellente résolution, couplé à un détecteur à dispersion d'énergie, il permet une analyse élémentaire.





Les figures 4 à 8 illustrent les résultats électriques et analytiques obtenus après le choc thermique subi par des modules. Certaines anomalies électriques furent détectées durant le cyclage thermique dont les températures extrêmes étaient soit -40C ou -55C et 125C. À la suite de ces résultats, certaines pièces furent retirées du stress pour une analyse de défaillance.

## Résultats électriques:

La figure 4 montrent la prise de lecture de résistance, en ohms, à T0 (avant les stress) et pendant le choc thermique, soit après 250 et 500 cycles. Il est possible de constater une hausse significative sur les chaînes reliant les joints de soudure situées sur les 4 côtés d'un module d'essai indiquant ainsi un problème.

Module	Chaîne	T0	Critère	T250	Critère	T500	Critère
1	Côté Sud	26.01	Bon	150.22	Anormal	200	Anormal
1	Côté Nord	26.53	Bon	33.29	Anormal	200	Anormal
1	Côté Oues	26.7	Bon	40.15	Anormal	200	Anormal
1	Côté Est	23.12	Bon	23.2	Bon	200	Anormal

Figure 4: Résultats électriques en ohms, avant stress et après 250 et 500 cycles de choc thermique, courtoisie du secteur de fiabilité du C2MI

Après constat il est important de retirer un ou des modules du test afin d'identifier le mode de défaillance et donc d'identifier la source de la faiblesse.

## Technique dite de Microscopie Acoustique :

Une fois l'anomalie électrique détectée, il est possible de débiter les analyses de défaillance. La figure 5 montre un exemple d'inspection acoustique. L'image ci-dessous démontre la présence de délamination aux 4 coins du module.

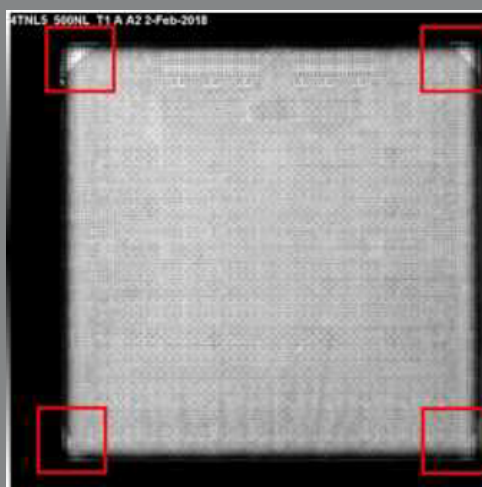


Figure 5: Image obtenue au SAM, les zones blanches dans les encadrés rouges montrent la présence d'air (délamination), courtoisie du secteur du laboratoire du C2MI



### Technique dite de Microscopie infrarouge :

L'inspection au microscope infrarouge permet de détecter des défauts au niveau de la microplaquette. L'image ci-dessous expose la circuiterie de la microplaquette ainsi qu'une région foncée anormale indiquant un bris dans la puce.

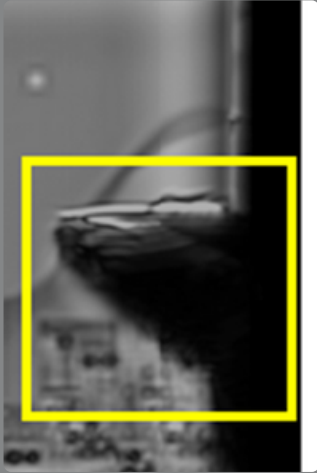


Figure 6: Image obtenue au microscope infrarouge, la région dans l'encadré jaune indique une anomalie, courtoisie du secteur du laboratoire du C2MI

### Technique dite de Microscopie rayons X :

L'inspection aux rayons X 2D a permis de détecter la cause d'une défaillance électrique.

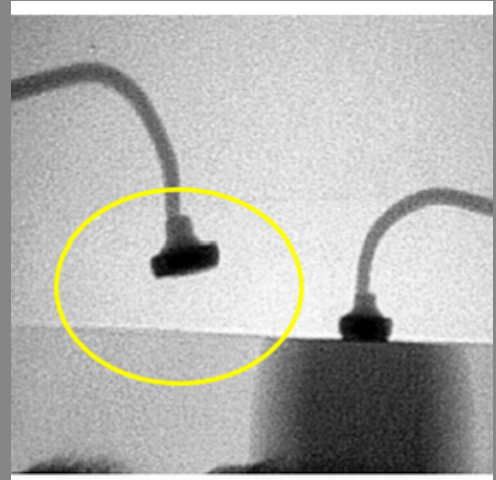


Figure 7: Image obtenue au microscope rayons X, la région dans le cercle jaune montre l'anomalie, courtoisie du secteur du laboratoire du C2MI

### Analyse en micro-section, Microscopie optique et Microscopie électronique à balayage :

Une fois les analyses non-destructives complétées, il est souvent requis d'aller en coupe afin de mieux illustrer le défaut et aider à la compréhension de la défaillance. Les image ci-dessous exposent le même joint de soudure, l'image de gauche a été prise au microscope optique tandis que celle de droite fut prise au microscope électronique à balayage. Il est possible de visualiser une fissure dans le joint de soudure expliquant la hausse de résistance électrique.

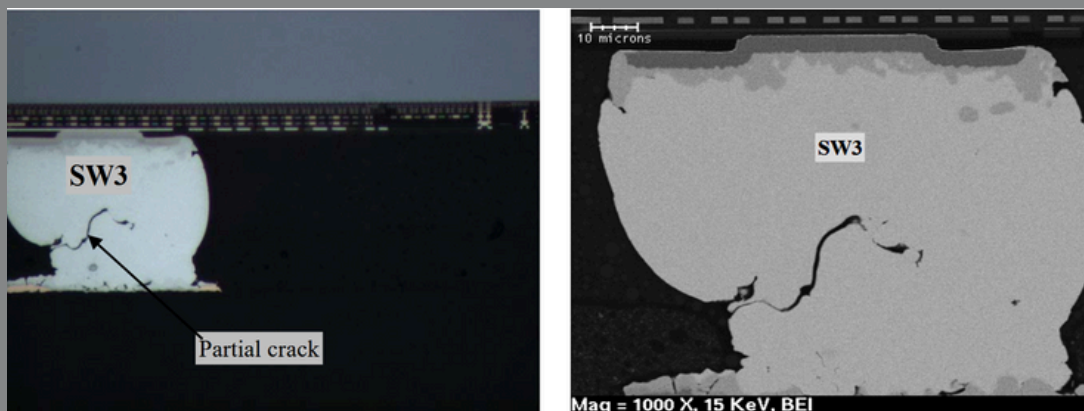


Figure 8: Image de gauche obtenue au microscope optique, tandis que celle de droite fut prise au microscope électronique à balayage, courtoisie du secteur du laboratoire du C2MI



## CONCLUSION

Le cyclage thermique est un stress primordial pour valider la fiabilité d'une pièce. Plusieurs conditions sont possibles, il est souhaitable d'utiliser une condition plus agressive que les conditions d'utilisations normales afin de minimiser le temps de stress, en revanche il faut éviter des conditions trop agressives pouvant mener à des défaillances non-représentatives de l'application réelle du module.

Durant le stress, des lectures de résistance sont prises afin de déceler des changements par rapport à la lecture initial avant stress. En cas de détection d'anomalie, des analyses de laboratoire sont requises pour bien comprendre le mécanisme de défaillance et apporter les correctifs nécessaires afin d'augmenter la robustesse du module.

La fiabilité est un principe directeur à suivre tout au long du cycle de développement du produit: de la conception jusqu'à l'application finale.

L'équipe du C2MI offre l'expertise et l'exécution des stress conformes aux normes industrielles, et des analyses de laboratoire avancées pour valider la fiabilité des composants et assurer leur conformité aux exigences les plus strictes. Nos experts peuvent élaborer un plan d'expérimentation sur mesure afin de valider la fiabilité de vos produits, qu'ils soient en développement ou en production. Contactez notre équipe pour en savoir plus.




## NOTRE EXPERT

**Robet Martel, ing.**

Laboratoire des services techniques  
(fiabilité)



45, boulevard de l'Aéroport  
Bromont, QC, Canada, J2L 1S8

 450-534-8000

 [expertise@c2mi.ca](mailto:expertise@c2mi.ca)