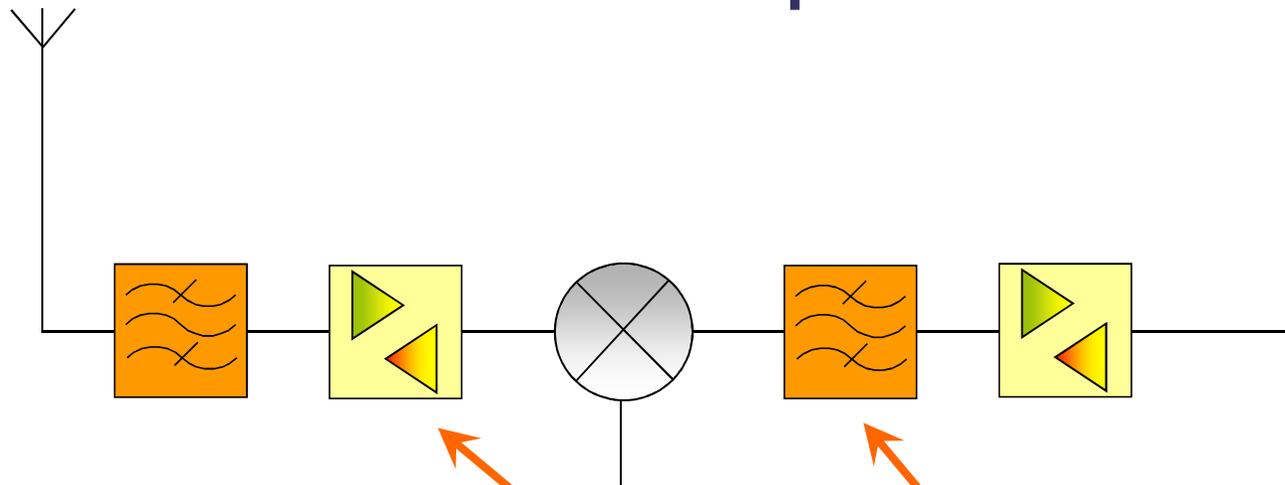


# Les matériaux innovants au service des packagings hyperfréquences de puissance

Microwave & RF – 19 mars 2014

## Du SiP de puissance ... au PCBA



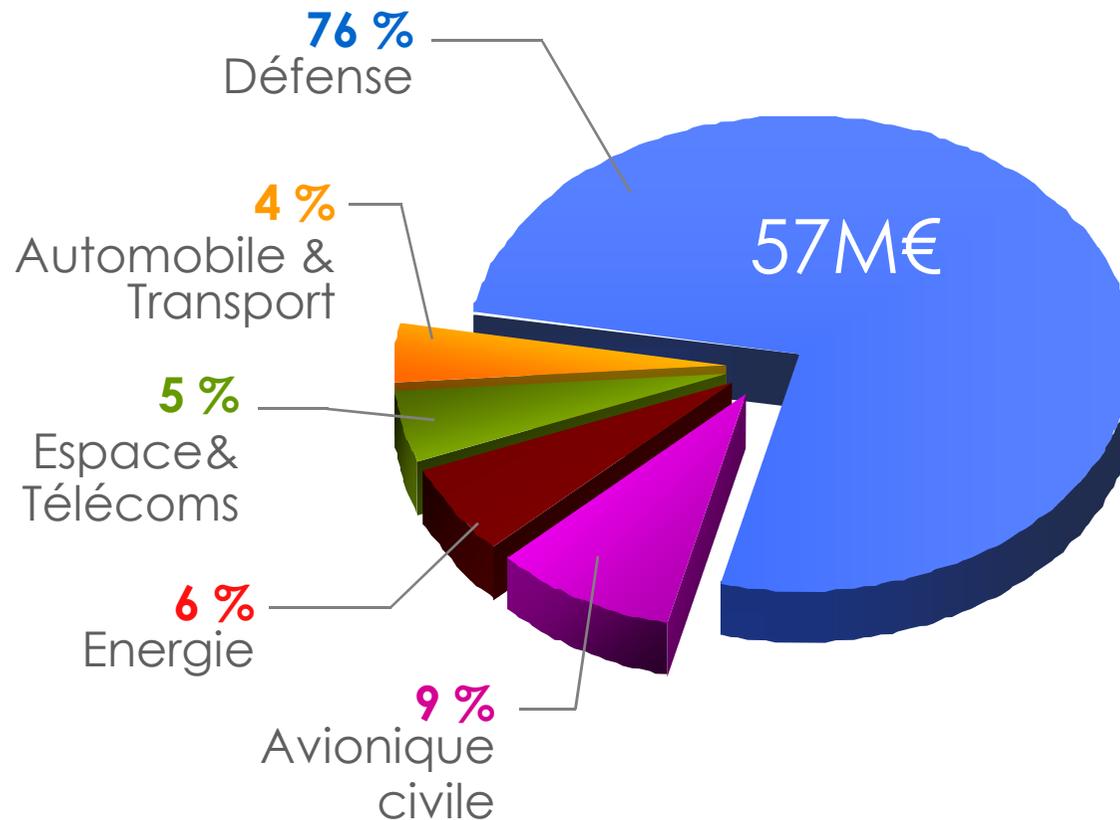
### Filtre compact

- ◆ Substrat à forte permittivité
- ◆ # 20 Watts / 5 Watts

### Report QFN de puissance

- ◆ # 100 Watts

## Activité 2012



## Etrelles- Bretagne



450 employés

Site regroupant l'ensemble des compétences et des moyens de développement et de production

## Electronique de puissance

Puissance de sortie jusqu'à 1000W / 10cm<sup>3</sup>  
Technologies Si, SiC, GaN  
2000h à 240°C  
300 chocs thermiques (-55/+240°C)  
100K chocs mécaniques de 500g à 210°C  
100KW/L (unité en brique de base)

## Hyperfréquences de puissance

Bandes L, S jusqu'à 300W  
Bandes C, X, Ku, K, Ka jusqu'à 20W  
Technologie AsGa, LDMOS et GaN  
1000h à 125°C  
500 chocs thermiques de -55 à +125°C

## Haute tension

Miniaturisation : tension de sortie jusqu'à 3KV dans 12cm<sup>3</sup>. Isolement 20KV/mm  
1000h à 220°C  
300 chocs thermiques de -55 à +220°C  
100K chocs mécaniques 500g à 210°C

## Hyperfréquences bas niveau

Générique de 1GHz à 40GHz et spécifique jusqu'à 100GHz  
1000h à 125°C  
500 chocs thermiques de -55 à +125°C

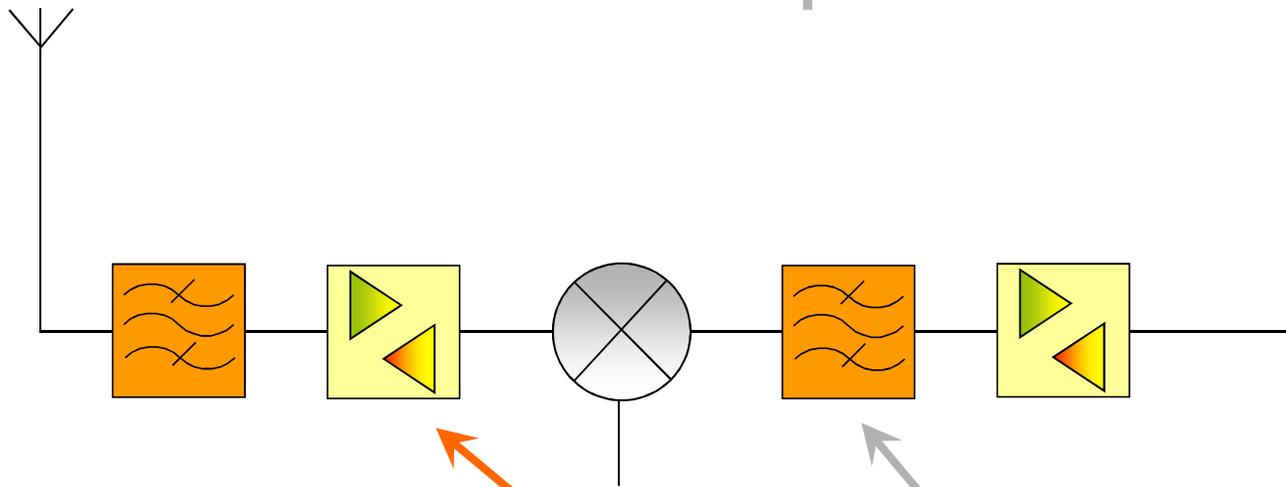
## Très haute tension

Tension de sortie jusqu'à 40kV  
1000h à 85°C  
500 chocs thermiques de -40 à +85°C

## Analogique & numérique Haute densité

2000h à 200°C  
300 chocs thermiques de -55 à +220°C  
100K chocs mécaniques de 500g à 210°C

## Du SiP de puissance ... au PCBA



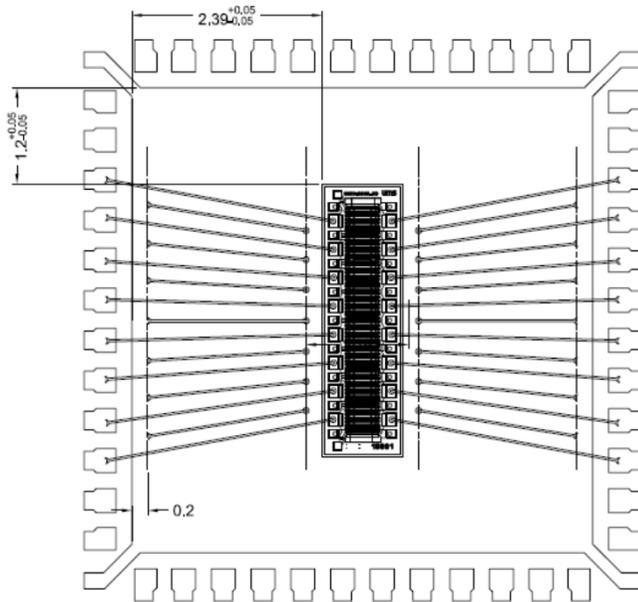
**Filtre compact**

- ◆ Substrat à forte permittivité
- ◆ # 20 Watts / 5 Watts

**Report QFN de puissance**

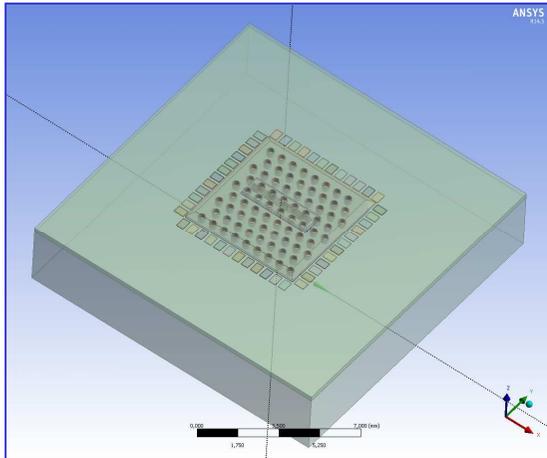
- ◆ # 100 Watts

## OPTIMISATION DU REFROIDISSEMENT DE PUCE RF DE PUISSANCE EN GaN EN BOITIER QFN @ +75 C

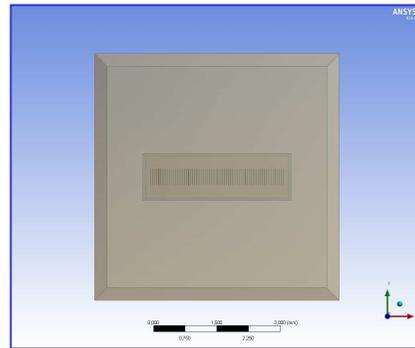


Longueur puce	3,405 mm
Largeur puce	1,015 mm
Epaisseur puce (SiC)	100 $\mu\text{m}$
Longueur grille	400 $\mu\text{m}$
Largeur grille	0.5 $\mu\text{m}$
Epaisseur grille	0.6 $\mu\text{m}$
Nombre de lignes de grille	64
Pas des lignes de grille	50 $\mu\text{m}$

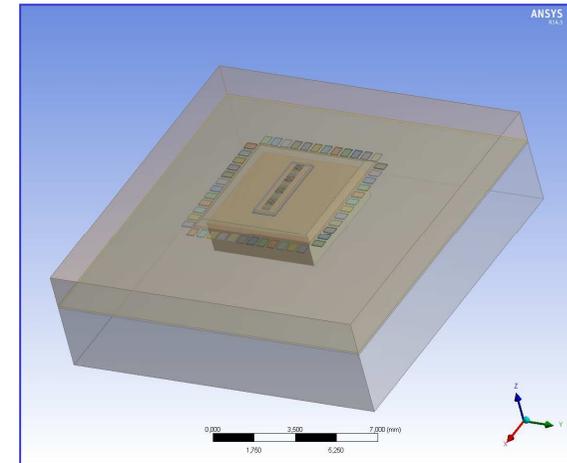
Densité de puissance linéique de grille (50% PAE)	3 W/mm
Densité de puissance surfacique	6000 W/mm <sup>2</sup>
Densité de puissance volumique	10 000 kW/mm <sup>3</sup>
Puissance par ligne de grille	1,2W
Puissance par transistor (8 lignes de grille)	9,6W
Puissance totale puce (8 transistors)	76,8W



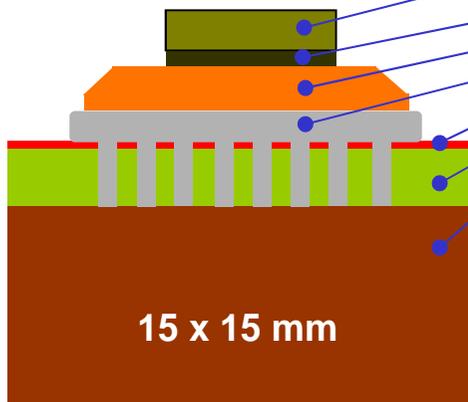
CI colaminé vias SnPb



Leadframe (5.8 x 5.8 mm)



CI insert Cu

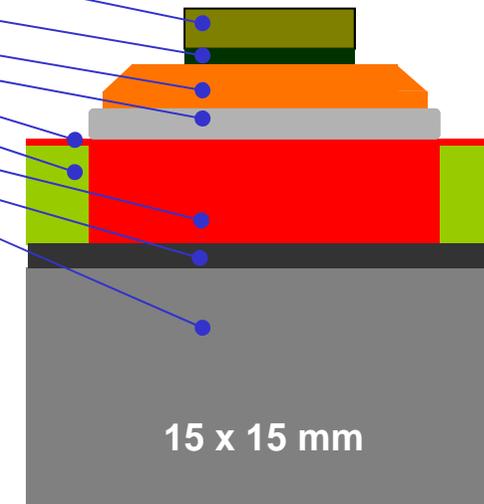


15 x 15 mm

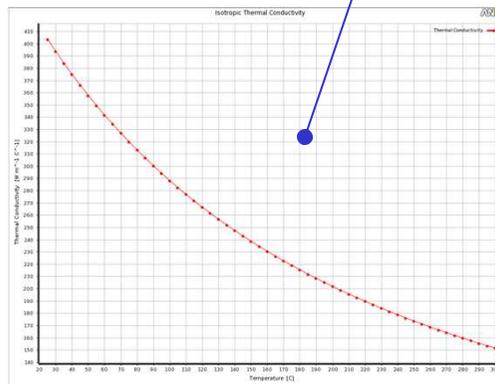
76 vias

$\Phi = 0.35 \text{ mm} - \text{pitch: } 0.6 \text{ mm}$

Epaisseur ( $\mu\text{m}$ )	Matériaux	Conductivité Thermique (W/mK)	Epaisseur ( $\mu\text{m}$ )
0.6	GaN	130	0.6
100	6H-SiC	200 / 300	100
25	Colle	20	25
200 ou 380	Cuivre C194	280	200 ou 380
100	Brasure SnPb	50	100
35	Cuivre	390	35
254	Diélectrique RO4006	0.4	1500
3000	Cuivre	390	1500
-	Colle conductrice	7	100
-	Alu 6061	170	3000

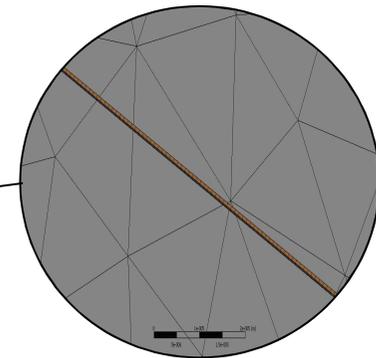
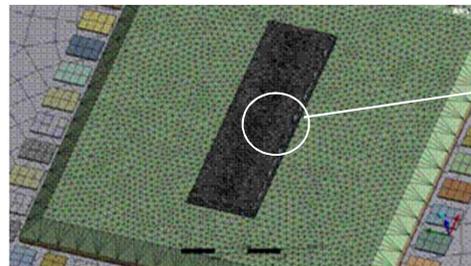
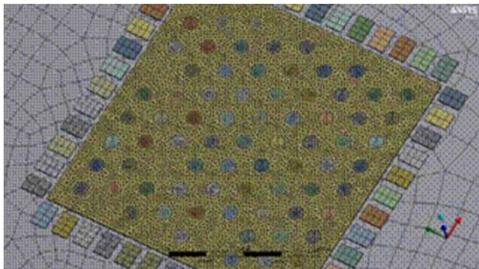


15 x 15 mm



## Technique de maillage

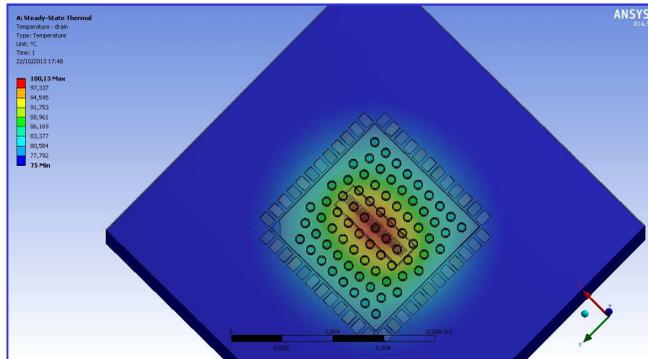
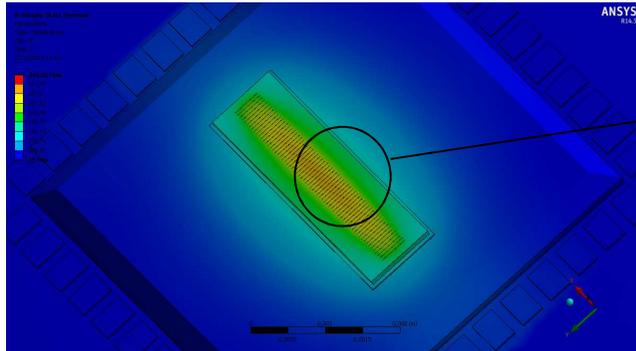
- ◆ **Compromis entre précision de résultats et capacité de calcul**
  - Maillage serré dans les zones potentielles à forts gradients thermiques
    - Lignes de grilles, joints de colle et vias
  - Nombre de nœuds par simulation # 500 000



## Régime stationnaire

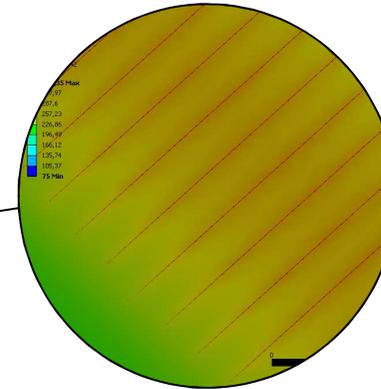
- ◆ **Non représentatif de l'application finale (mode pulsé)**
- ◆ **Artifice pour évaluer la résistance thermique de l'assemblage**
- ◆ **A compléter par des simulations en transitoire et en mode pulsé**

## Thermique Stationnaire



Drain Cu Tmax # 100°C

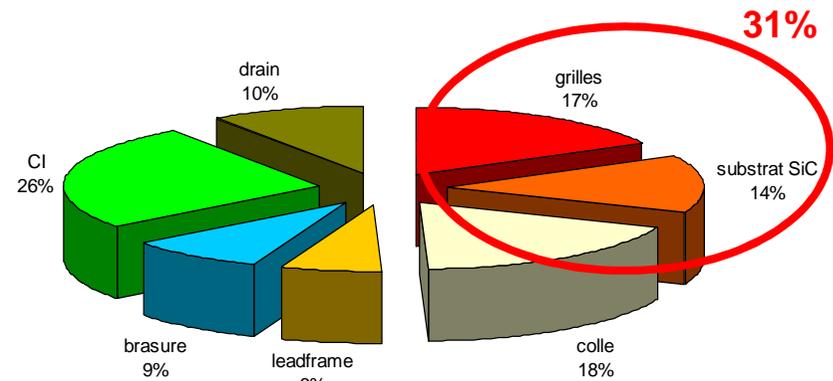
Avec rapport cyclique de 20%  
 $T^\circ = \text{Grilles } T_{\text{max}} / 3$



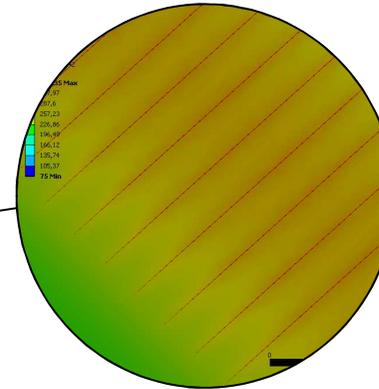
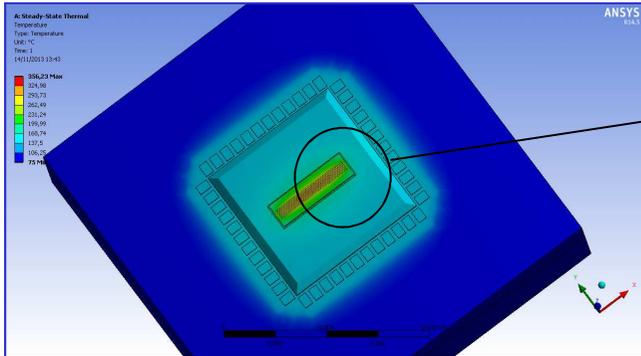
Grilles Tmax # 335°C

**Rth = 3.39 °C/W**

Contributions relatives des couches de l'empilage à T° = +75°C

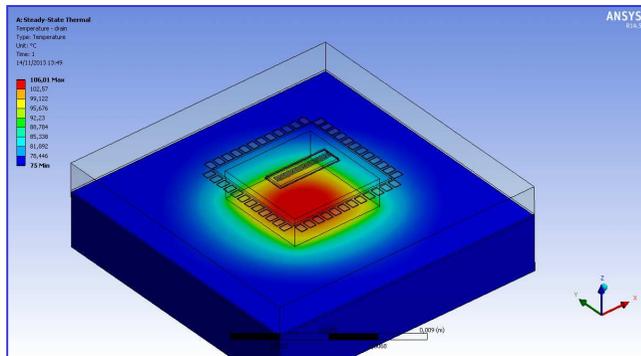


## Thermique Stationnaire



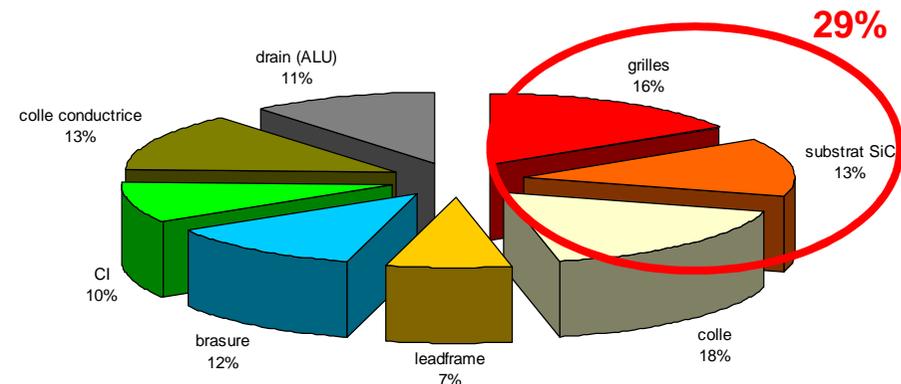
Grilles Tmax # 356°C

**Rth = 3.66 °C/ W**



Drain Alu Tmax # 106°C

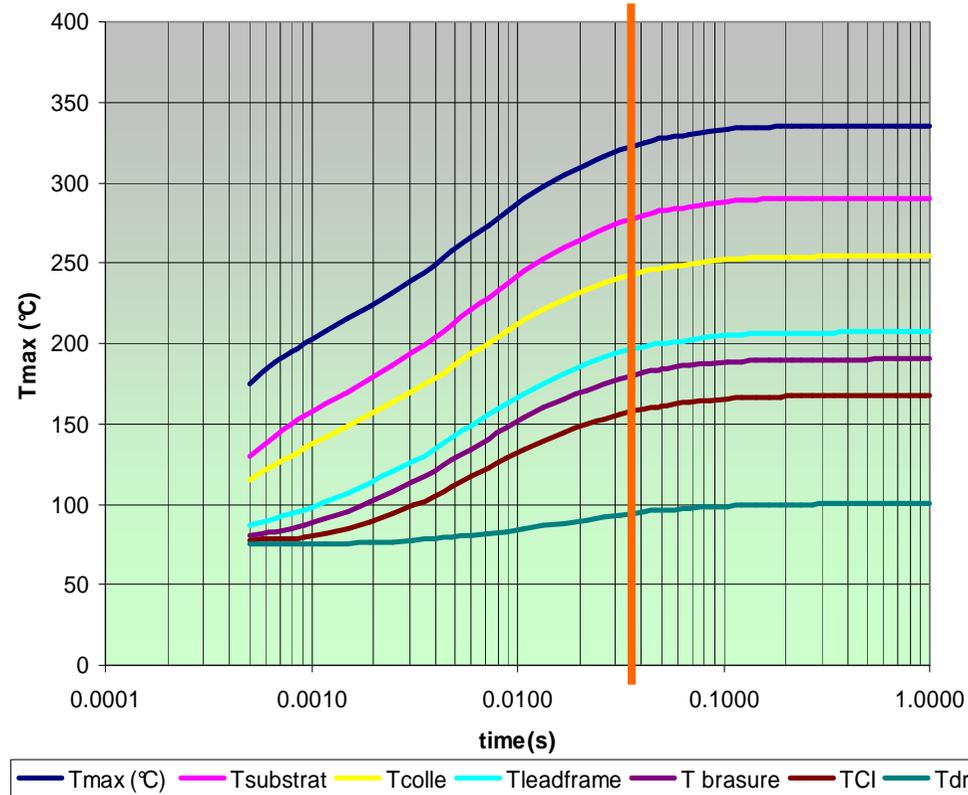
Contributions relatives des couches de l'empilage à T° = +75°C



## Thermique transitoire: réponse à un échelon de puissance

Réponse transitoire  
CI colaminé vias SnPb / colle 20W/mK / leadframe 0,2mm

Temps de réponse  
thermique de la  
structure = passage  
de 0 à 95% de  
l'échauffement total

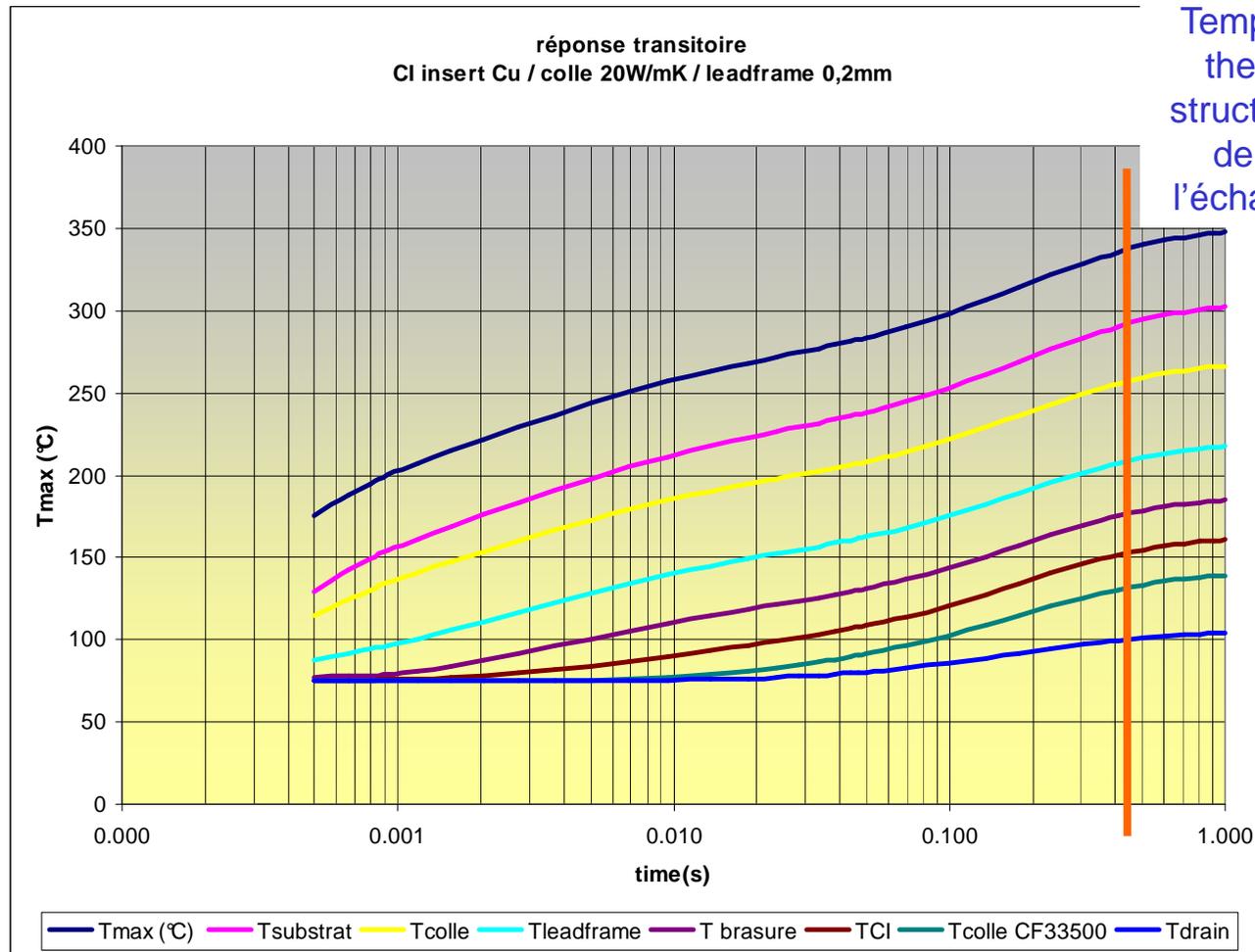


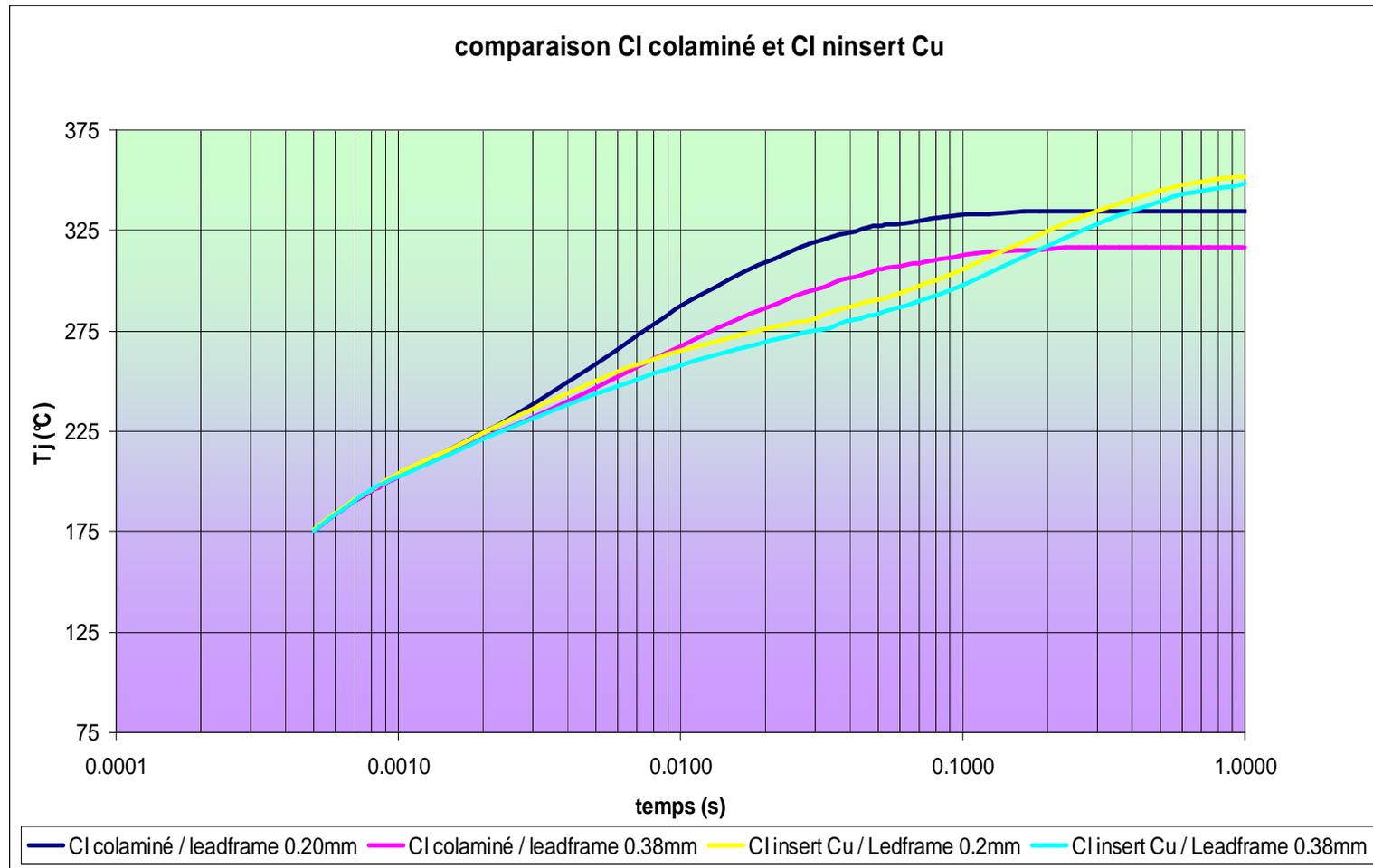
Echelon de  
puissance de 1s

$P = 76.8 \text{ W}$

$T^{\circ}\text{amb} = +75^{\circ}\text{C}$

## Thermique transitoire: réponse à un échelon de puissance

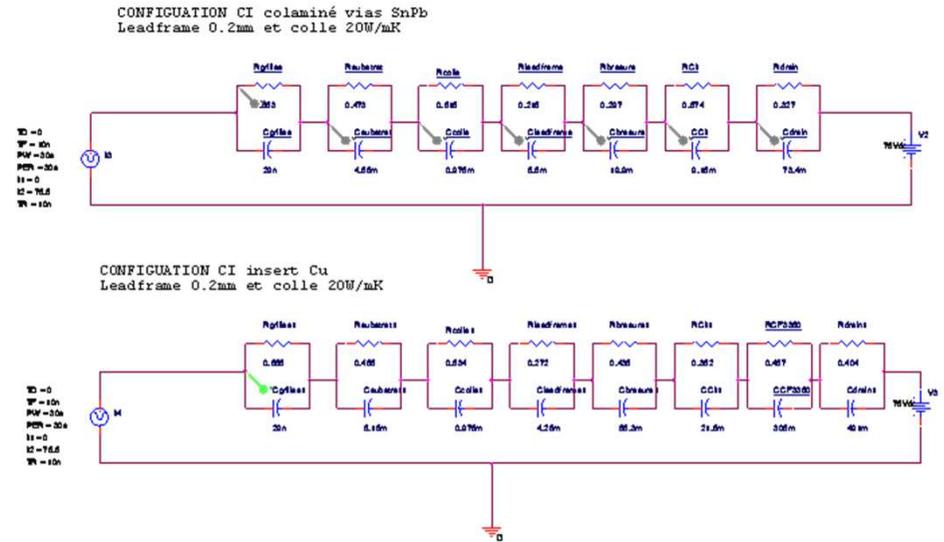


**Thermique transitoire: réponse à un échelon de puissance**

## Méthode de résolution

- ◆ > 500 000 nœuds
  - facteurs d'échelles géométriques (grilles 1µm vs drain 15mm)
- ◆ résolution par itérations successives
  - conductivité thermique dépendante de la T
- ◆ nombre de points de résolutions très important
  - durée des impulsions faible devant le temps de réponse thermique de la structure
  - nombre d'impulsions successives à prendre en compte important avant d'atteindre le régime impulsionnel établi
- ◆ Résistances thermiques
  - Issues du régime stationnaire
- ◆ Capacités thermiques
  - Issues du régime transitoire

Simulation sous ORCAD  
PSPICE v16.6



ΔT Echauffement de la couche considérée

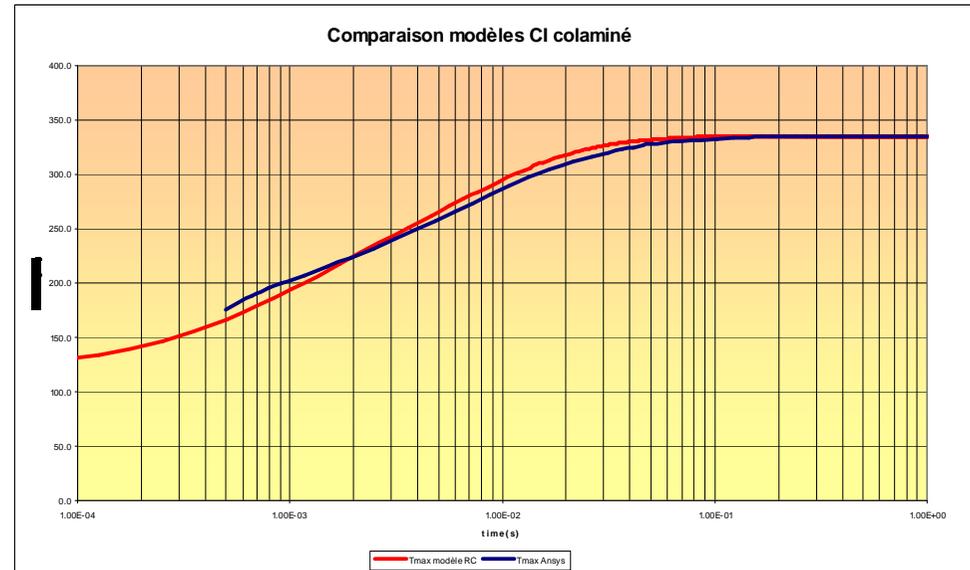
$$R_{th_N} = \frac{T_{max_N} - T_{max_{N-1}}}{P}$$

Temps de réponse à 63%

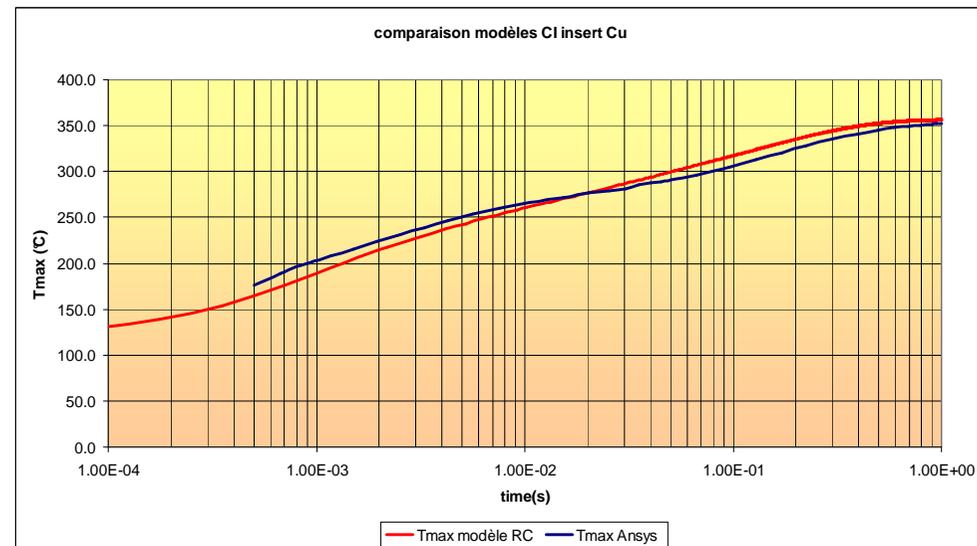
$$C_{th_N} = \frac{TR_{63\%} (T_{max_N} - T_{max_{N-1}})}{R_{th_N}}$$

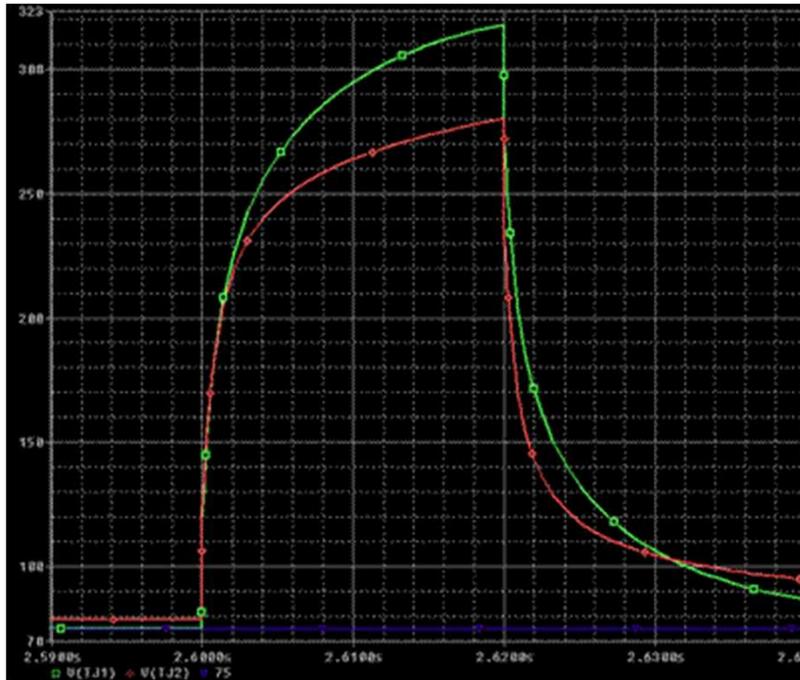


## CI Colaminé vias SnPb



## CI insert Cu



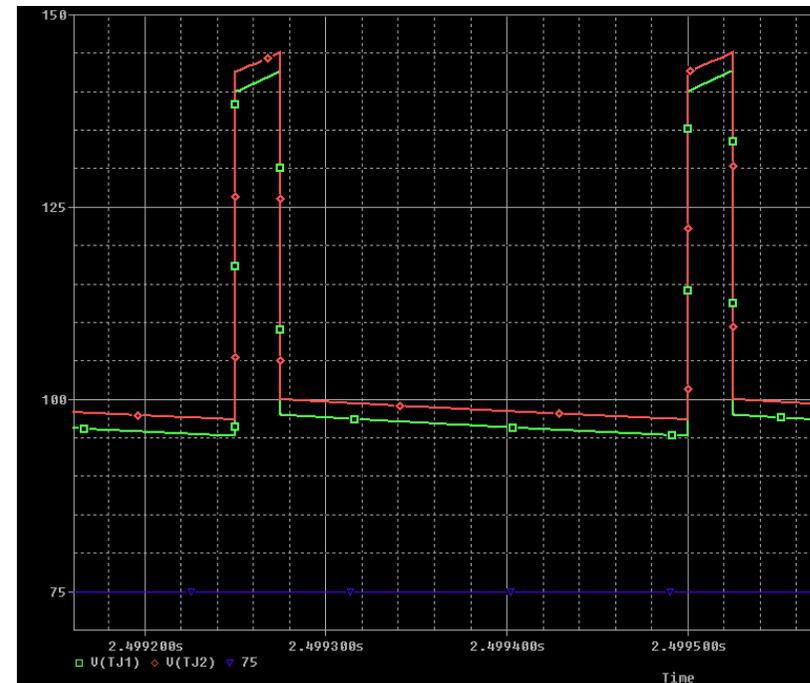


Impulsions lentes ( $t_p = 20\text{ms}$  /  $T = 200\text{ms}$ )

Pulses 76.8 Watts

CI colaminé vias SnPb – T grille # 318 C

CI insert Cu – T grille # 280 C

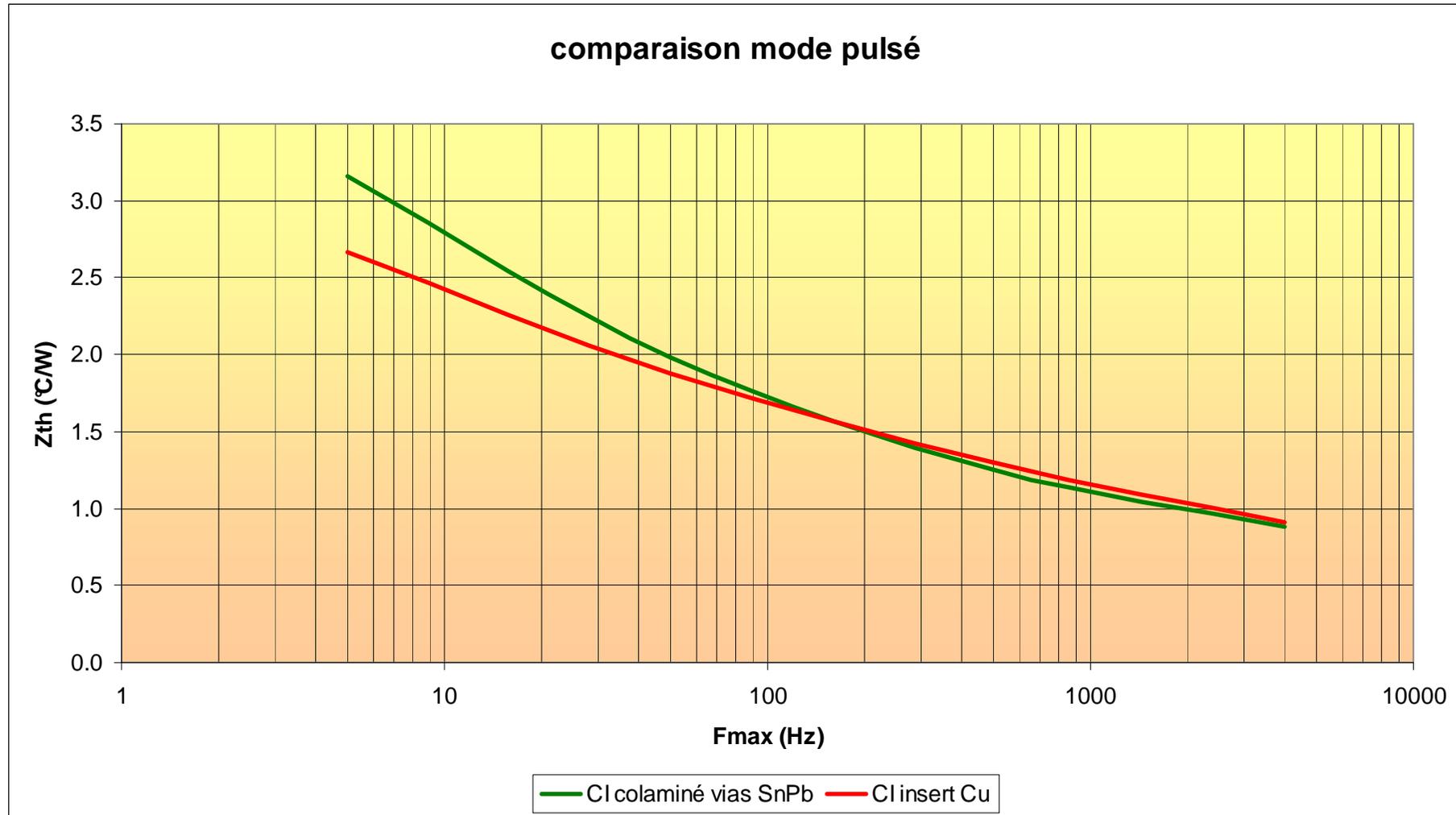


Impulsions rapides ( $t_p = 25\mu\text{s}$  /  $T = 250\mu\text{s}$ )

Pulses 76.8 Watts

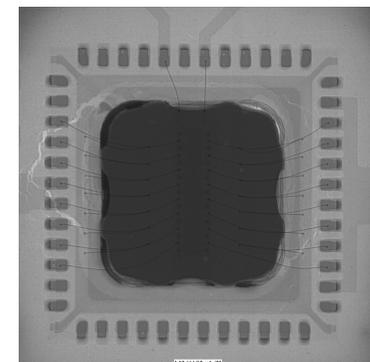
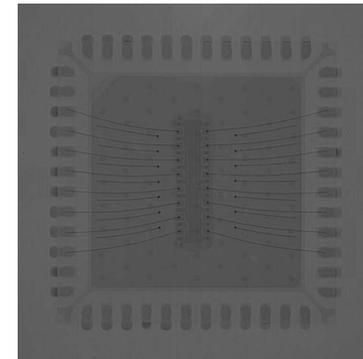
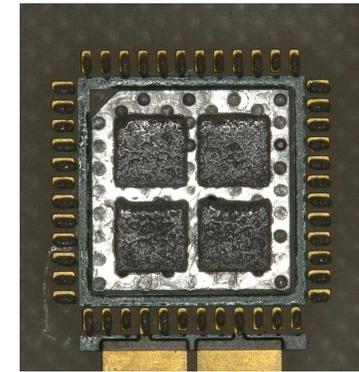
CI colaminé vias SnPb – T grille # 143 C

CI insert Cu – T grille # 145 C

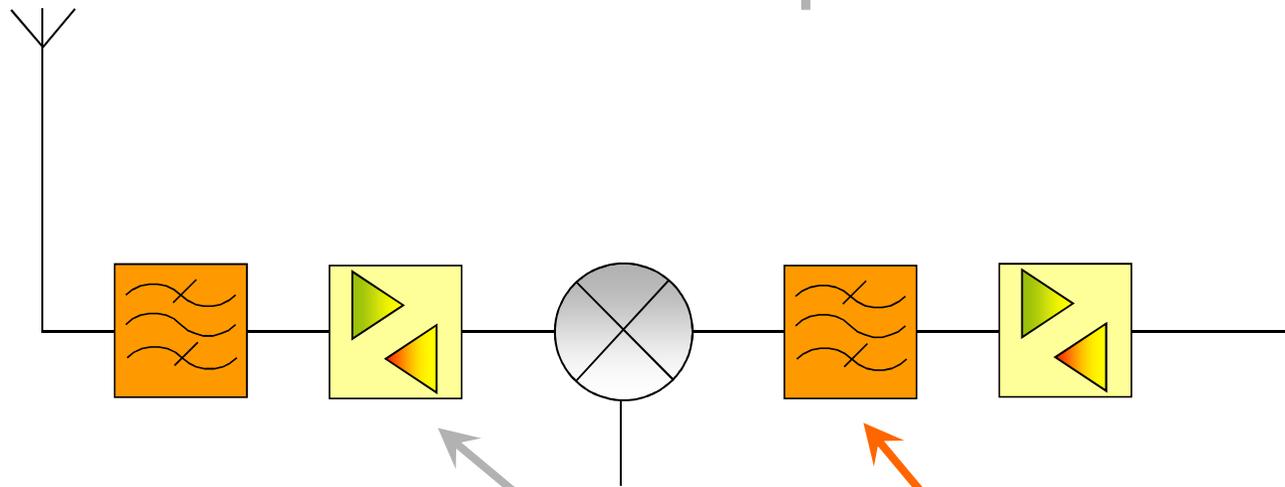


## Les principaux enseignements ...

- ◆ **Un leadframe épais est thermiquement bénéfique**
  - en statique (réduction de  $R_{th}$  par épanouissement du flux de chaleur)
  - et en dynamique (réponse ralentie par ajout d'inertie thermique).
- ◆ **Une structure de type CI colaminé présentera la résistance thermique la plus faible alors qu'une structure de type CI avec insert Cu présentera les temps de réponse les plus longs.**
- ◆ **les réponses à un échelon issues du réseau RC équivalent (sous ORCAD PSPICE) sont très proches des réponses obtenues directement sous ANSYS**
  - Validation du principe de la modélisation simplifiée par réseau RC équivalent.



## Du SiP de puissance ... au PCBA



**Filtre compact**

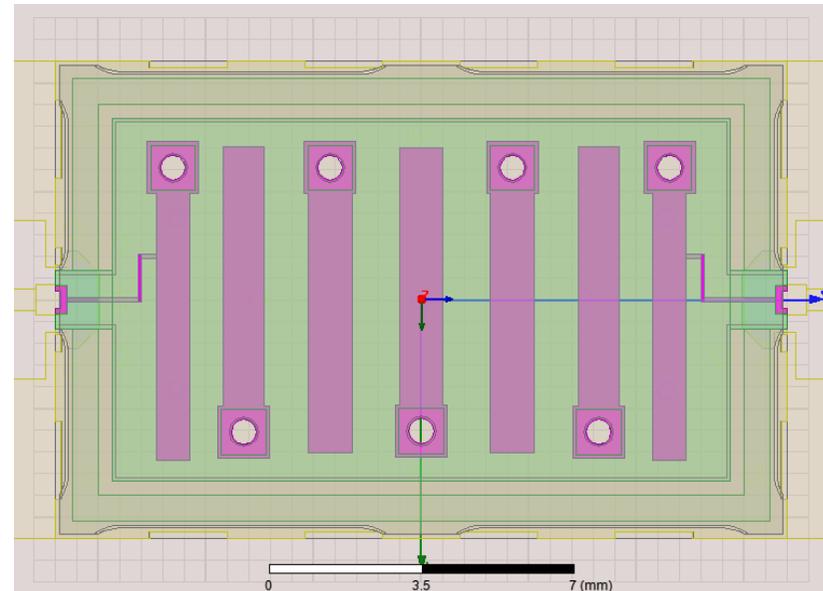
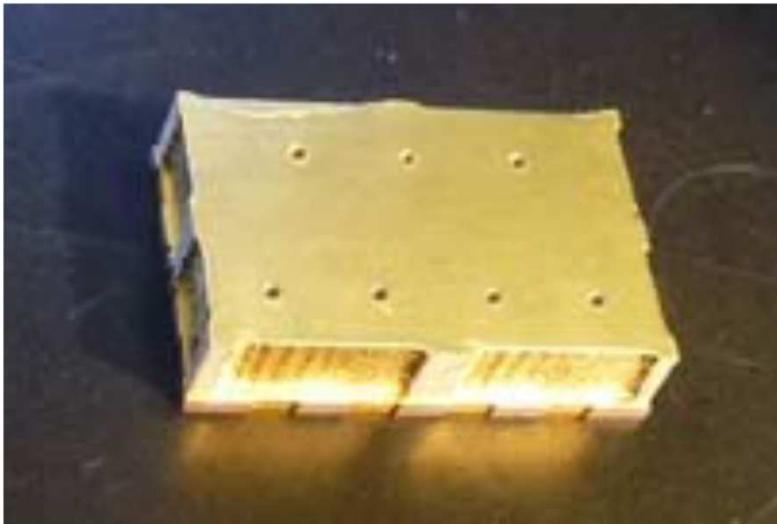
- ◆ Substrat à forte permittivité
- ◆ # 20 Watts / 5 Watts

**Report QFN de puissance**

- ◆ # 100 Watts

### Filtre compact CMS en bande L:

- ◆ Filtre interdigité à bande étroite, en bande L, miniaturisé (17x11 mm<sup>2</sup>) par l'emploi d'un substrat à forte permittivité ( $\epsilon_r$  # 70, anisotrope !) avec isolation renforcée, assurée par un capot métallisé collé sur le substrat à forte permittivité.



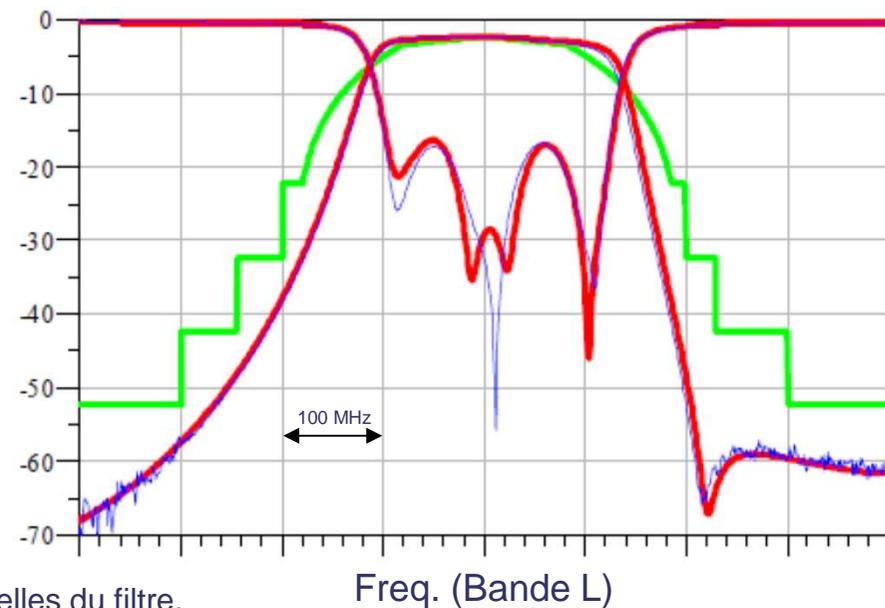
## Principales contraintes:

- ◆ **L'assemblage du capot sur substrat fort  $\epsilon_r$  de CTE différent, doit résister aux contraintes de report du filtre par brasure et aux contraintes environnementale**
  - 500 chocs thermiques  $-55^{\circ}\text{C} / +125^{\circ}\text{C}$  et 1000h à  $+85^{\circ}\text{C}$  et 85% HR
  
- ◆ **Tenue en puissance RF:**
  - Entre 20W dans la bande passante et 5W hors de la bande passante (marge de 10dB / courants maximum admissibles à  $23^{\circ}\text{C}$ ).
  
- ◆ **Matériau non isotrope, non spécifié et non contrôlé en Z (direction orthogonale à la surface du substrat): Les marges entre performances accessibles et spécifications sont faibles sur cette application et une caractérisation-modélisation est nécessaire pour le développement de ce filtre par simulation EM 3D.**

◆ **Caractérisation sur substrat à forte permittivité pour simulation EM 3D:**

- Cette caractérisation est effectuée en mesurant 2 résonateurs différents, dont la fréquence de résonance dépend de façon différente aux composantes du tenseur de permittivité. Cela permet de déterminer un ensemble de valeurs unique.
- Ce tenseur de permittivité est déterminé par rétro-simulation des résonateurs sur un logiciel de simulation EM 3D: Il s'agit plus de préciser les paramètres de simulation que de caractériser la permittivité du matériau dans l'absolu.
- Les figures ci-dessous comparent les réponses simulées au nominal (\*) et les réponses mesurées :

**Rouge: Simulation EM 3D**  
**Bleu: Mesures**  
**Vert: Gabarit IL**



(\*) Il ne s'agit pas d'une rétro-simulation à partir de dimensions réelles du filtre.

