



**HAL**  
open science

## Vieillessement des connexions dans les modules de puissance : vers une approche numérique multi-physiques

Guillaume Pellecier, Jean-Jacques Huselstein, Thierry Martiré, François Forest, André Chrysochoos, Olivier Arnould

### ► To cite this version:

Guillaume Pellecier, Jean-Jacques Huselstein, Thierry Martiré, François Forest, André Chrysochoos, et al.. Vieillessement des connexions dans les modules de puissance : vers une approche numérique multi-physiques. Journée des électroniques de puissance - GDR SEEDS, Mar 2022, Grenoble, France. 2022. hal-03624647

**HAL Id: hal-03624647**

**<https://hal.science/hal-03624647>**

Submitted on 1 Apr 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Vieillessement des connexions dans les modules de puissance : vers une approche numérique multi-physiques

Guillaume PELLECUER<sup>1,2</sup>, Jean-Jacques HUSELSTEIN<sup>1</sup>, Thierry MARTIRÉ<sup>1</sup>, François FOREST<sup>1</sup>, André CHRYSOCHOOS<sup>2</sup>, Olivier ARNOULD<sup>2</sup>

<sup>1</sup>IES, Université de Montpellier, CNRS UMR 5214, 830 Rue de St-Priest, 34095 Montpellier, France

<sup>2</sup>LMGC, Université de Montpellier, CNRS UMR 5508, 830 Rue de St-Priest, 34095 Montpellier, France

## Contexte :

Objet d'étude : wirebonds dans les modules de puissance

Les connexions électriques sont réalisées par des wirebonds connectés aux puces semi-conductrices par soudure ultrasonique.

**ELECTRO**

(a) Courant dans l'onduleur  
(b) Pertes électriques

**THERMO**

Thermographie infrarouge : image d'une puce.

**MECHANIQUE**

Contrainte de Von Mises dans le pied de bonding.

**Vieillessement des Wirebonds**

Le couplage électro-thermomécanique génère un vieillissement qui peut induire une défaillance des wirebonds : Lift off

## Mise en équation du problème :

$$P_{IGBT}(t) = D \cdot V_{CE}(t) \cdot i_c(t) + (E_{ON} + E_{OFF}) \cdot F_{dec}$$

$$P_{Diode}(t) = (1 - D) \cdot V_d(t) \cdot i_d(t) + E_R \cdot F_{dec}$$

↓ Dissipation électrique : effet Joule

$$S = \frac{P_{IGBT1}}{V_{IGBT}} + \frac{P_{IGBT2}}{V_{IGBT}} + \frac{P_{Diode1}}{V_{Diode}} + \frac{P_{Diode2}}{V_{Diode}}$$

$$S = \rho C_p \frac{\partial \theta}{\partial t} - k \Delta \theta$$

↓ Thermo-dilatation

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij} - \varepsilon_{vp,ij}$$

$$= \frac{1+\nu}{E} \sigma_{ij} - \frac{\nu}{E} tr(\sigma) \delta_{ij} + \lambda_{the} \theta \delta_{ij}$$

$$f(\sigma, R(p, T)) = \sigma_{eq} - R(p, T) - \sigma_e$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\frac{3}{2} s_{ij} s_{ij}}$$

$$\dot{p} = \sqrt{\frac{2}{3}} (\dot{\varepsilon}_{vp})_{ij} (\dot{\varepsilon}_{vp})_{ij}$$

$$(\dot{\varepsilon}_{vp})_{ij} = \frac{\langle f(\sigma, R(p, T)) \rangle^+ \partial f(\sigma, R(p, T))}{\eta \partial \sigma_{ij}}$$

Exemple de caractéristiques électriques du fabricant.

	Silicium	Brasure SnPb	Cuivre	Nitride d'aluminium
$k(W/m.K)$	130	30	400	170
$C_p(J/kg.K)$	1600	150	385	800

Grandeurs thermiques des éléments constitutifs d'un module de puissance..

Caractéristiques contraintes-déformations de l'aluminium des fils de bonding en fonction de la température et la vitesse de déformation.

Essais de traction pour établir ces courbes. Modèle mécanique de Voce et Perzyna thermo dépendant.

## Principe de la simulation :

Calcul des pertes électriques sous MATLAB®

Opérateur de couplage pour extraire le champs thermique et l'appliquer sur la zone d'intérêt.

ZOI : Zone of interest  
TBC : Thermal boundary condition.  
MBC : Mechanical boundary condition.

**Simulation électrothermique**      **COMSOL**      **Simulation thermomécanique**

## Résultats de la modélisation :

Résultats de la modélisation électrothermique : comparaison thermographie infrarouge et simulation

Évolution temporelle (a) de la température, (b) de la contrainte équivalente de von Mises, et (c) de la déformation viscoplastique accumulée des trois points sélectionnés.

Boucles de contraintes stabilisées de trois points sélectionnés dans l'espace des contraintes principales.

Contraintes de von Mises

- Plastification du pied de bonding lors des phases de dilatation et compression.
- Stabilisation de la réponse contrainte déformation induisant un cycle d'hystérésis.
- Irréversibilité des mécanismes viscoplastiques. Augmentation de  $p$  à chaque cycle.
- Accommodation cyclique.
- Endommagement inévitable.