



**HAL**  
open science

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

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

### ► To cite this version:

Guillaume Pellecuer, Jean-Jacques Huselstein, Thierry Martiré, François Forest, André Chrysochoos, et al.. Vieillissement 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.

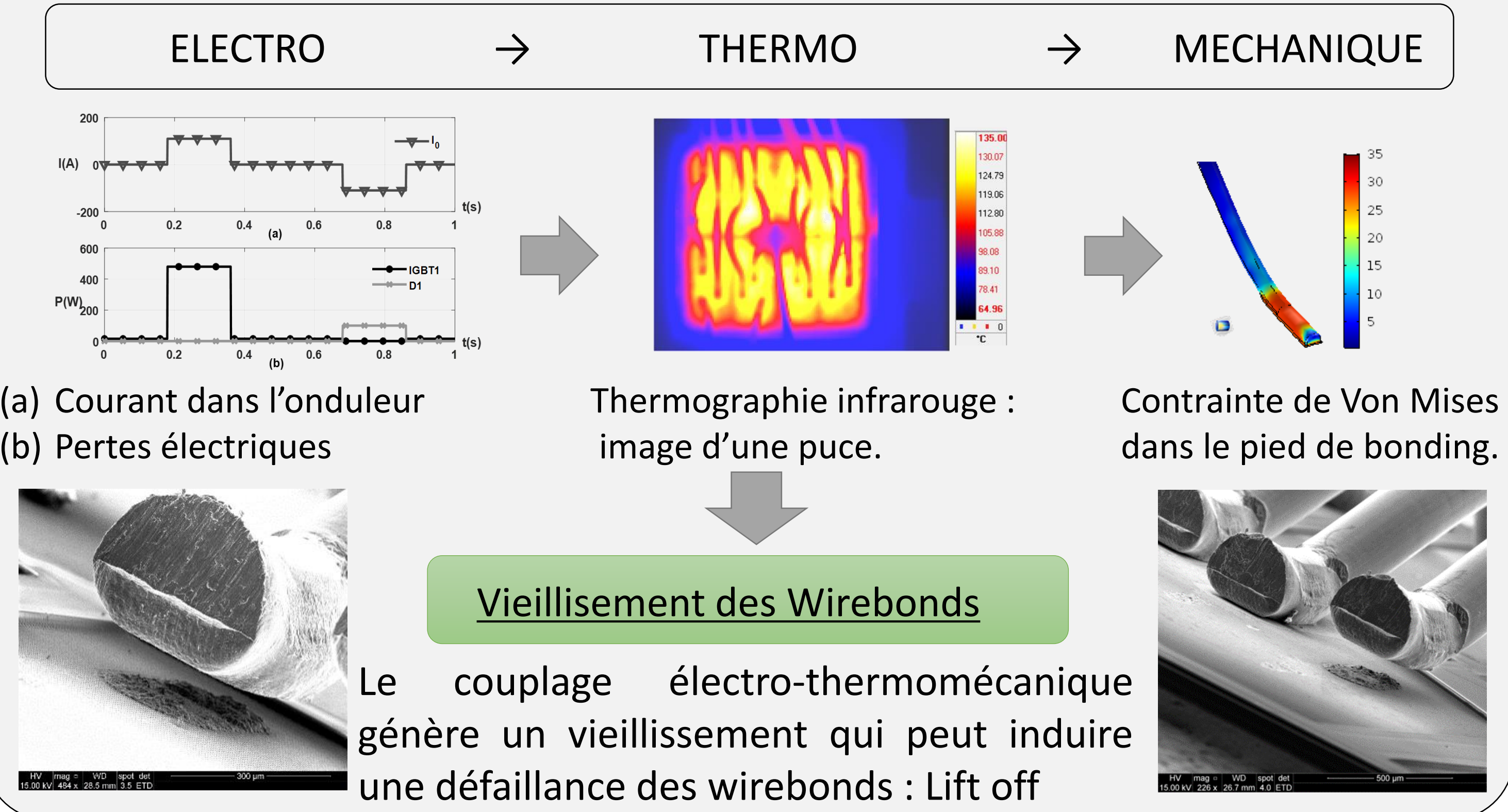
# Vieillessement des connexions dans les modules de puissance : vers une approche numérique multi-physiques

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 :



## 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

$$\epsilon_{eij} = \epsilon_{ij} - \epsilon_{vp,ij}$$

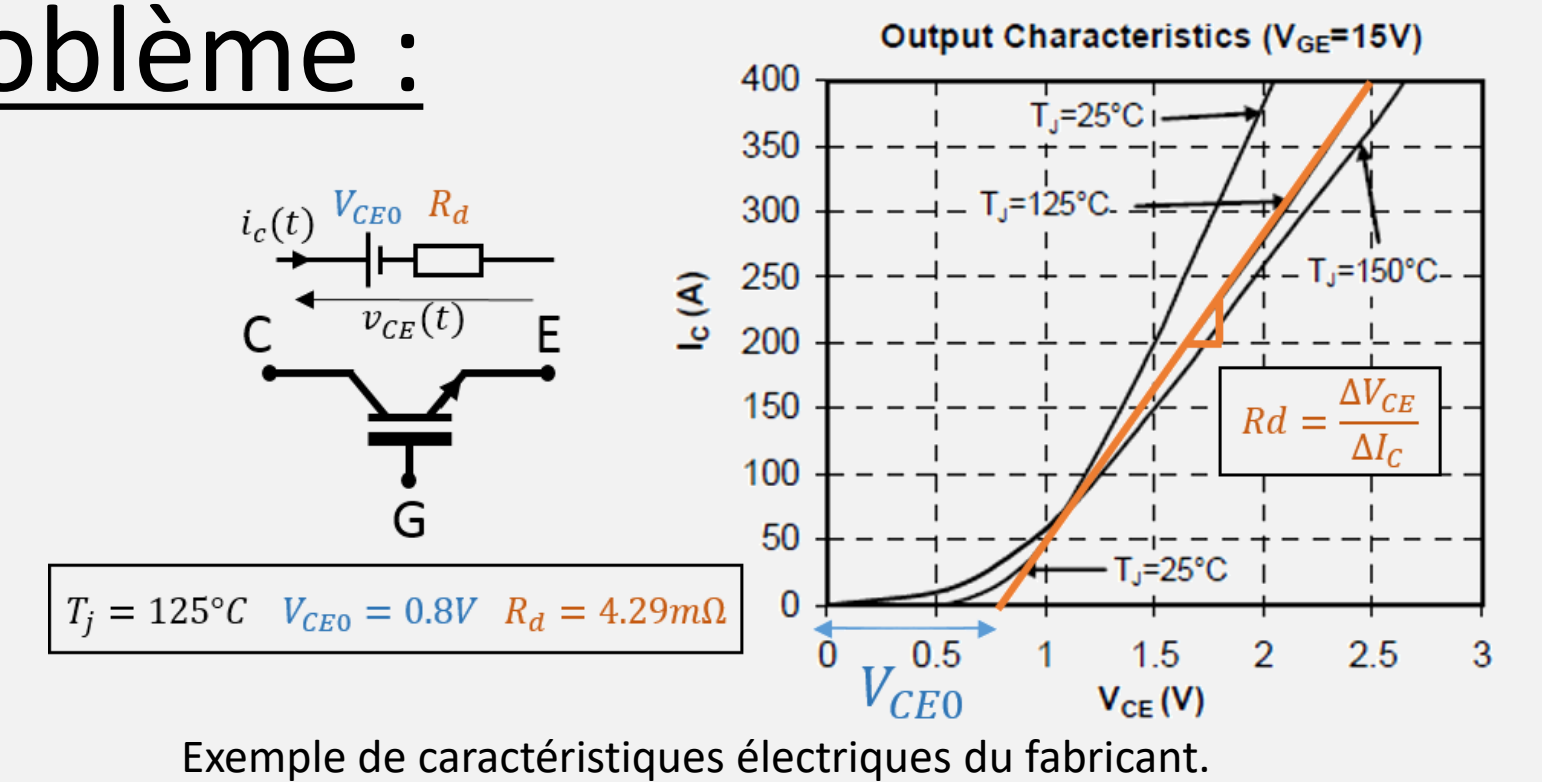
$$= \frac{1+\nu}{E} \sigma_{ij} - \frac{\nu}{E} tr(\sigma) \delta_{ij} + \lambda_{the} \theta \delta_{ij}$$

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

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

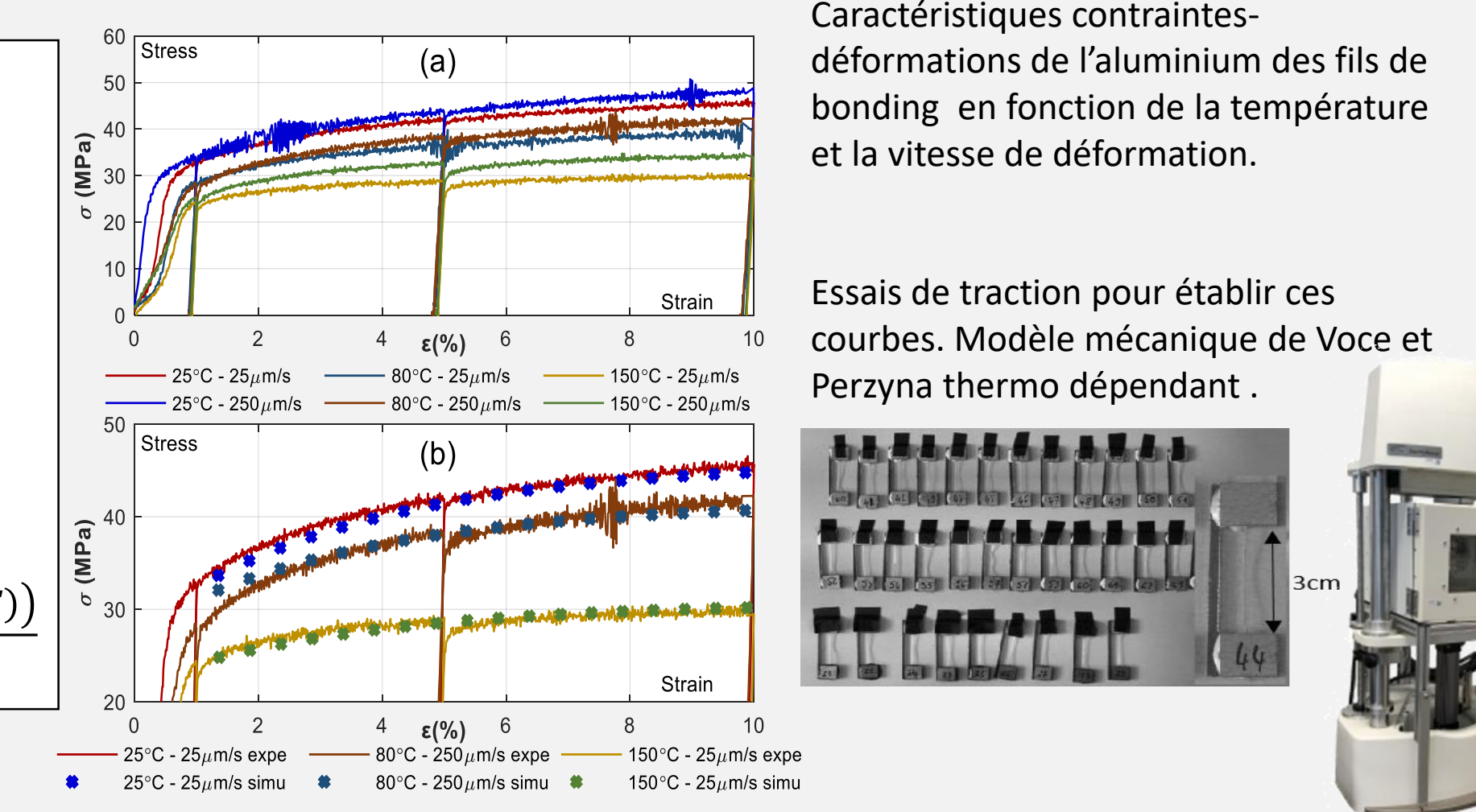
$$\dot{p} = \sqrt{\frac{2}{3}} (\dot{\epsilon}_{vp})_{ij} (\dot{\epsilon}_{vp})_{ij}$$

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

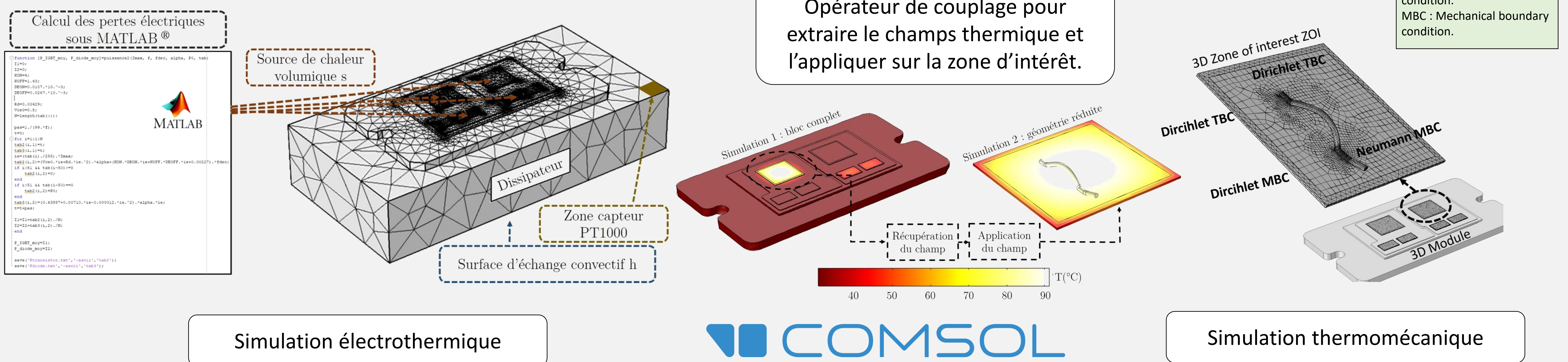


	Silicium	Brasure SnPb	Cuivre	Nitride d'aluminium
$k(W/m.K)$	130	30	400	170
$C_p(J/kg.K)$	1600	150	385	800

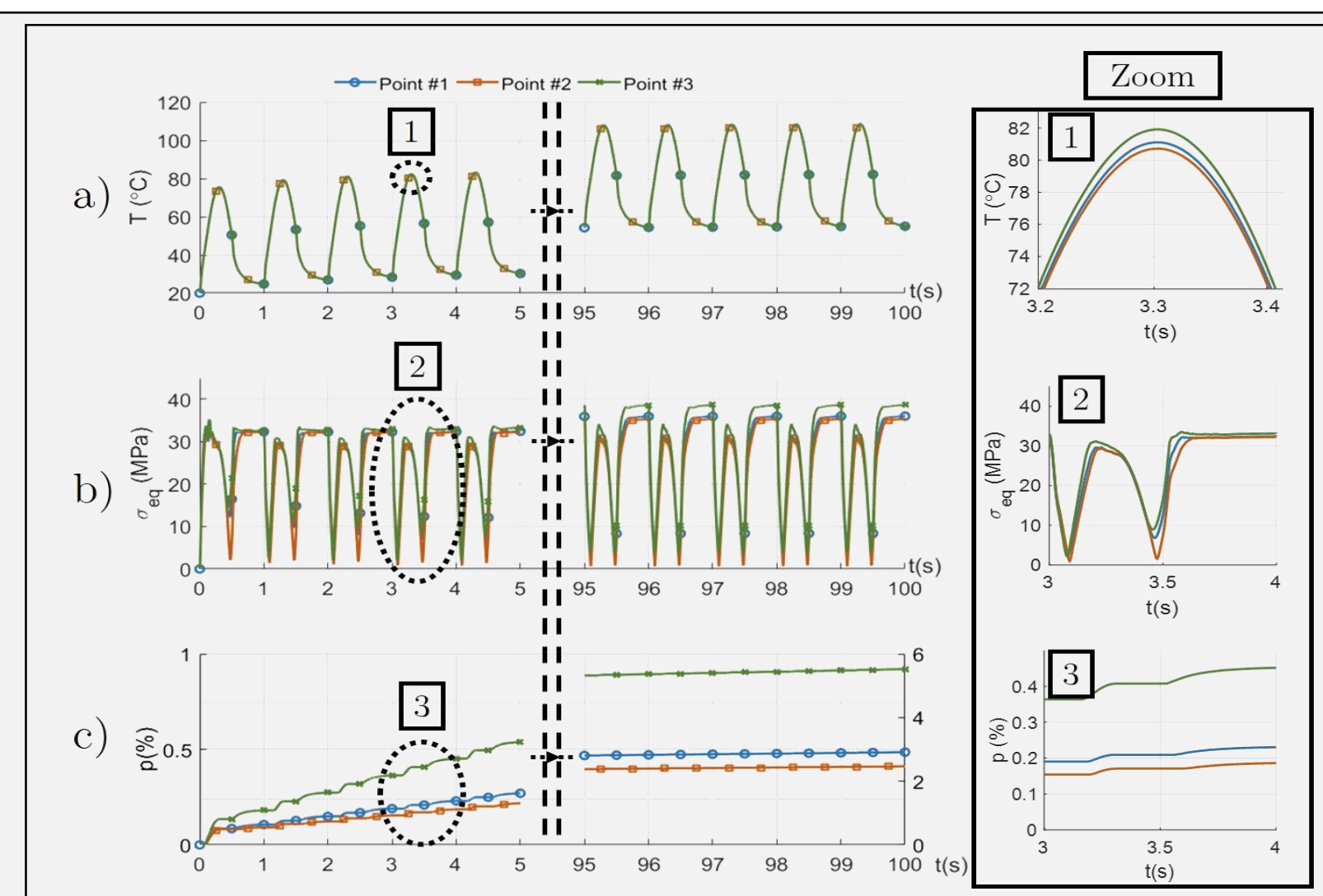
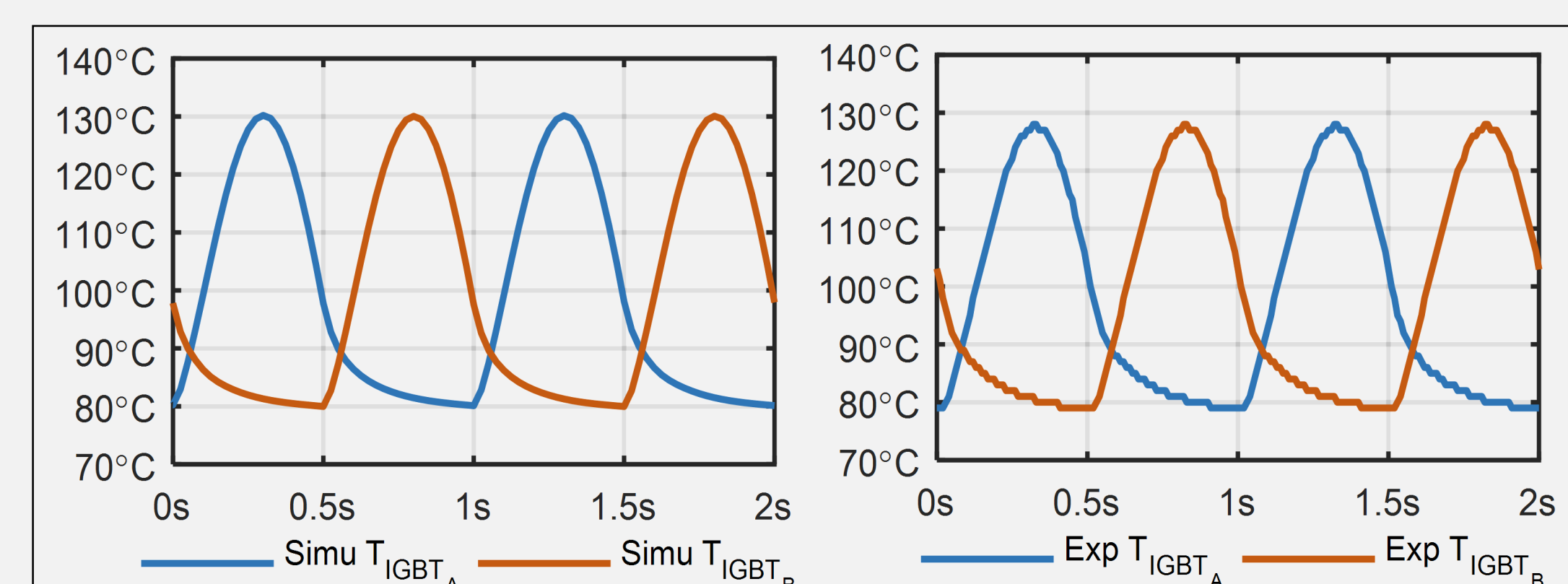
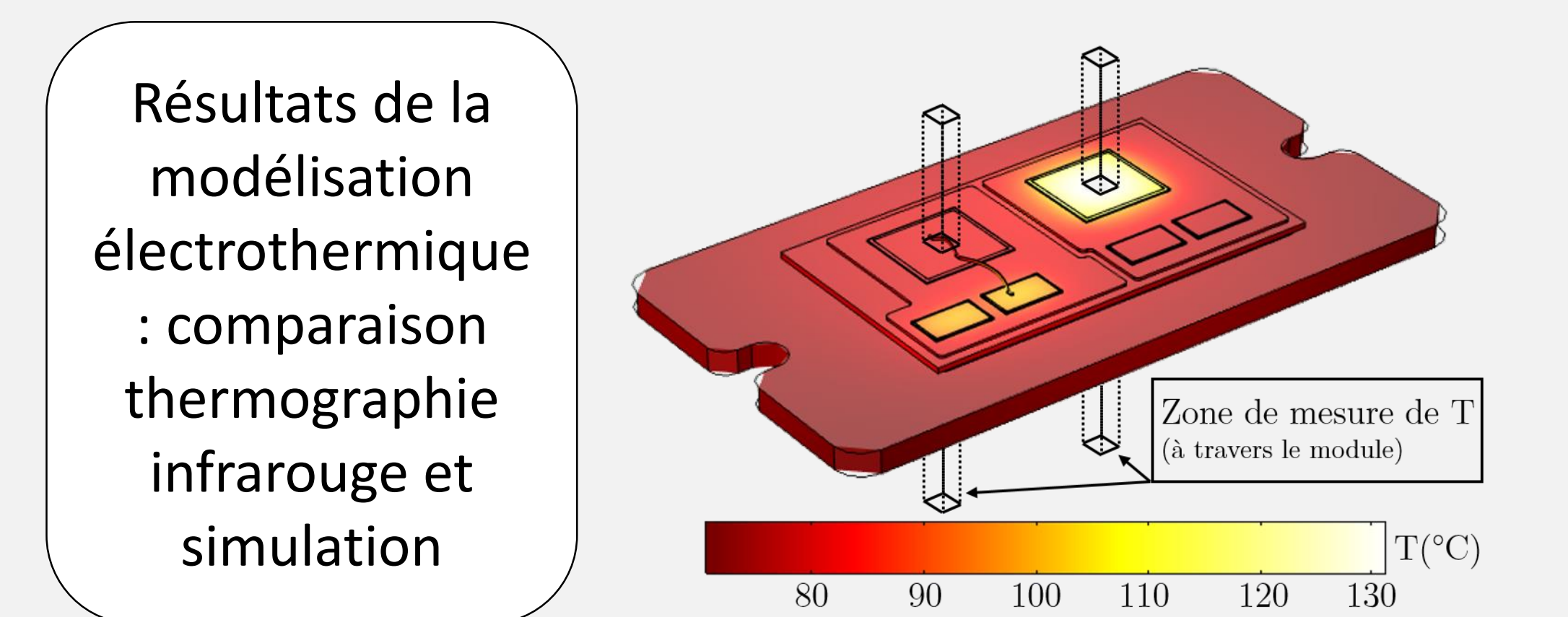
Grandeurs thermiques des éléments constitutifs d'un module de puissance..



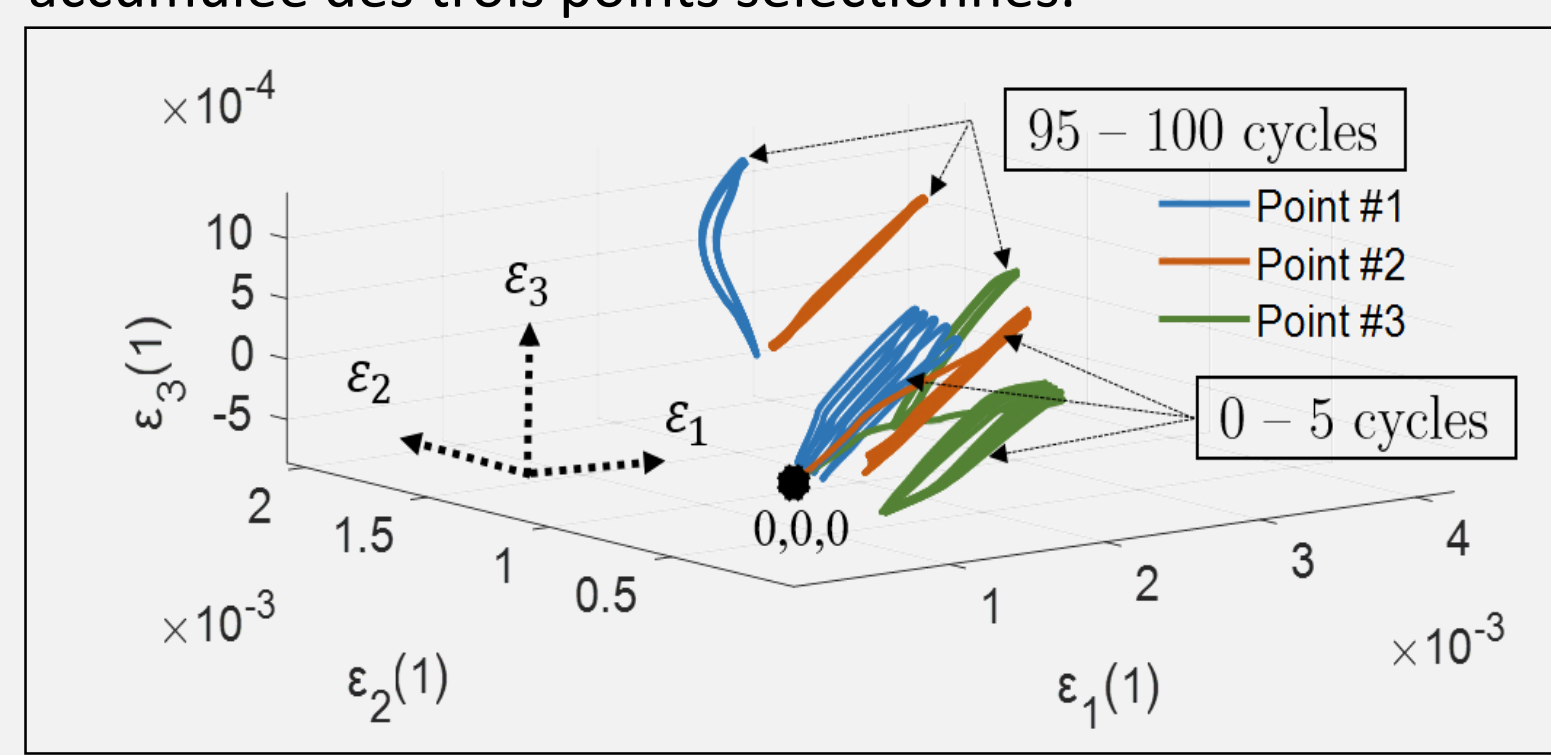
## Principe de la simulation :



## Résultats de la modélisation :

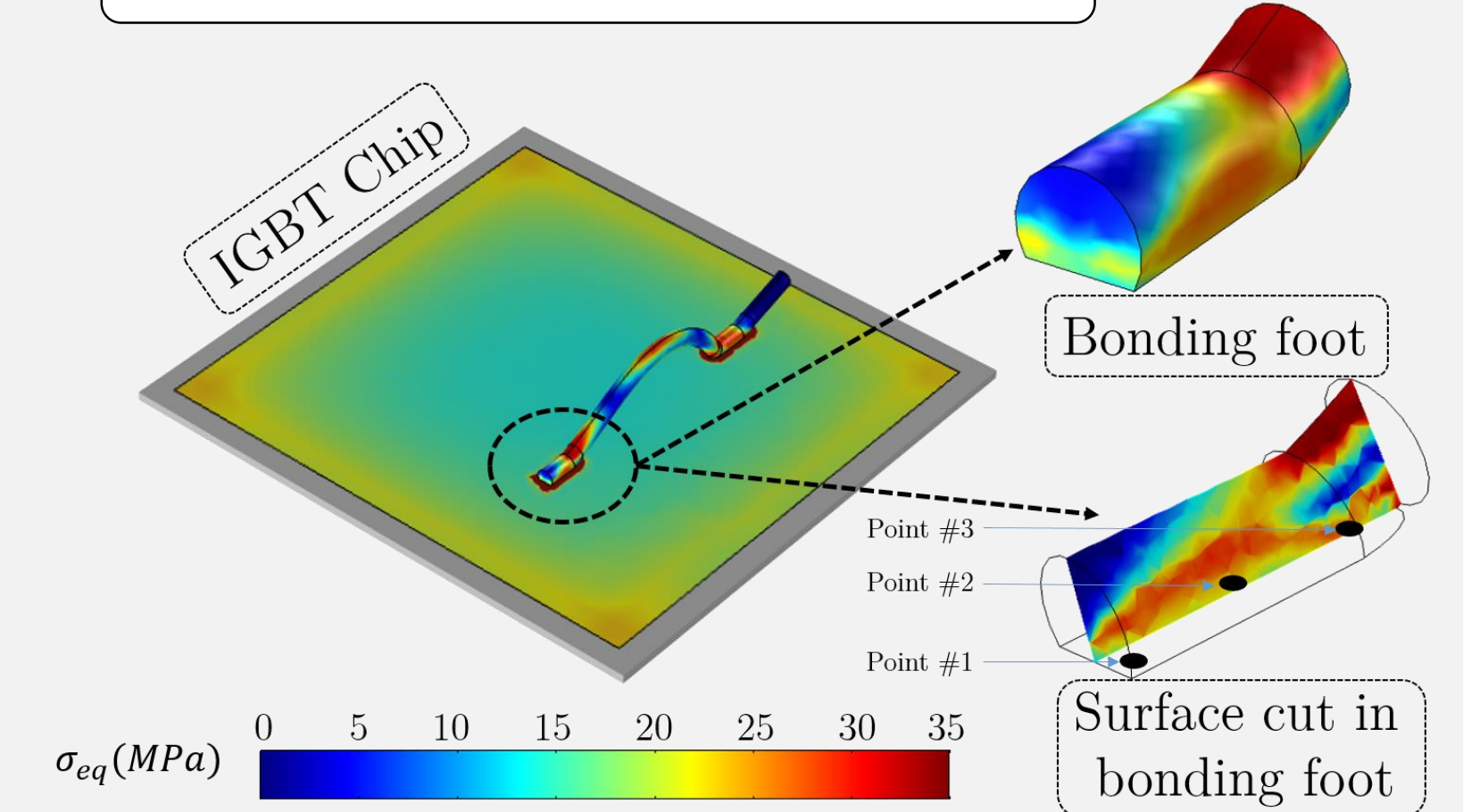


Évolution temporelle (a) de la température, (b) de la contrainte équivalente de von Mises, et (c) de la déformation viscoplastique accumulée des trois points sélectionnés.



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.