



HAL
open science

Analyse de réparations collées par thermographie InfraRouge

Matthias Barus, Hélène Weleman, Valérie Nassiet, Marie-Laetitia Pastor,
Arthur Cantarel, Francis Collombet, Laurent Crouzeix, Yves-Henri Grunevald

► **To cite this version:**

Matthias Barus, Hélène Weleman, Valérie Nassiet, Marie-Laetitia Pastor, Arthur Cantarel, et al..
Analyse de réparations collées par thermographie InfraRouge: Optimisation de la réponse thermique
du joint structural. GDR week du GDR CNRS 3671 MIC, Nov 2017, Talence, France. pp.0. hal-
03665346

HAL Id: hal-03665346

<https://hal.science/hal-03665346>

Submitted on 11 May 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.



Open Archive Toulouse Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <http://oatao.univ-toulouse.fr/>
Eprints ID: 19554

To link this article :

To cite this version:

Barus, Matthias and Weleman, Hélène and Nassiet, Valérie and Pastor, Marie-Laetitia and Cantarel, Arthur and Collombet, Francis and Crouzeix, Laurent and Grunevald, Yves-Henri *Analyse de réparations collées par thermographie InfraRouge : optimisation de la réponse thermique du joint structural*. In: GDR week du GDR CNRS 3671 MIC, 14 November 2017 - 17 November 2017 (Talence, France). (Unpublished)

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: staff-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

ANALYSE DE RÉPARATIONS COLLÉES PAR THERMOGRAPHIE INFRAROUGE : OPTIMISATION DE LA RÉPONSE THERMIQUE DU JOINT STRUCTURAL

Matthias BARUS¹

H. WELEMANE¹, V. NASSIET¹, M.L. PASTOR², A. CANTAREL², F. COLLOMBET³, L. CROUZEIX³, Y.H. GRUNEVALD⁴

¹ Université de Toulouse, INP ENIT-LGP, Tarbes, France

² Institut Clément Ader, IUT de Tarbes, Dpt GMP, Tarbes, France

³ Université de Toulouse, UT3 Toulouse, France

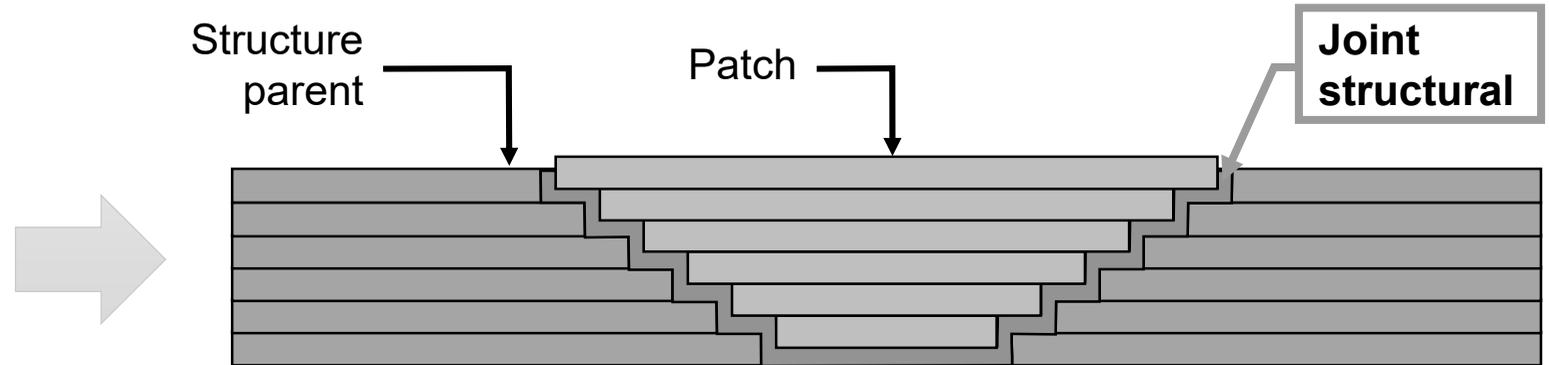
⁴ Composites Expertise et Solutions, Castanet Tolosan, France

CONTEXTE : ÉTUDE D'UN JOINT COLLÉ PAR THERMOGRAPHIE INFRAROUGE



Structure primaire endommagée

[Bombardier, 2016]



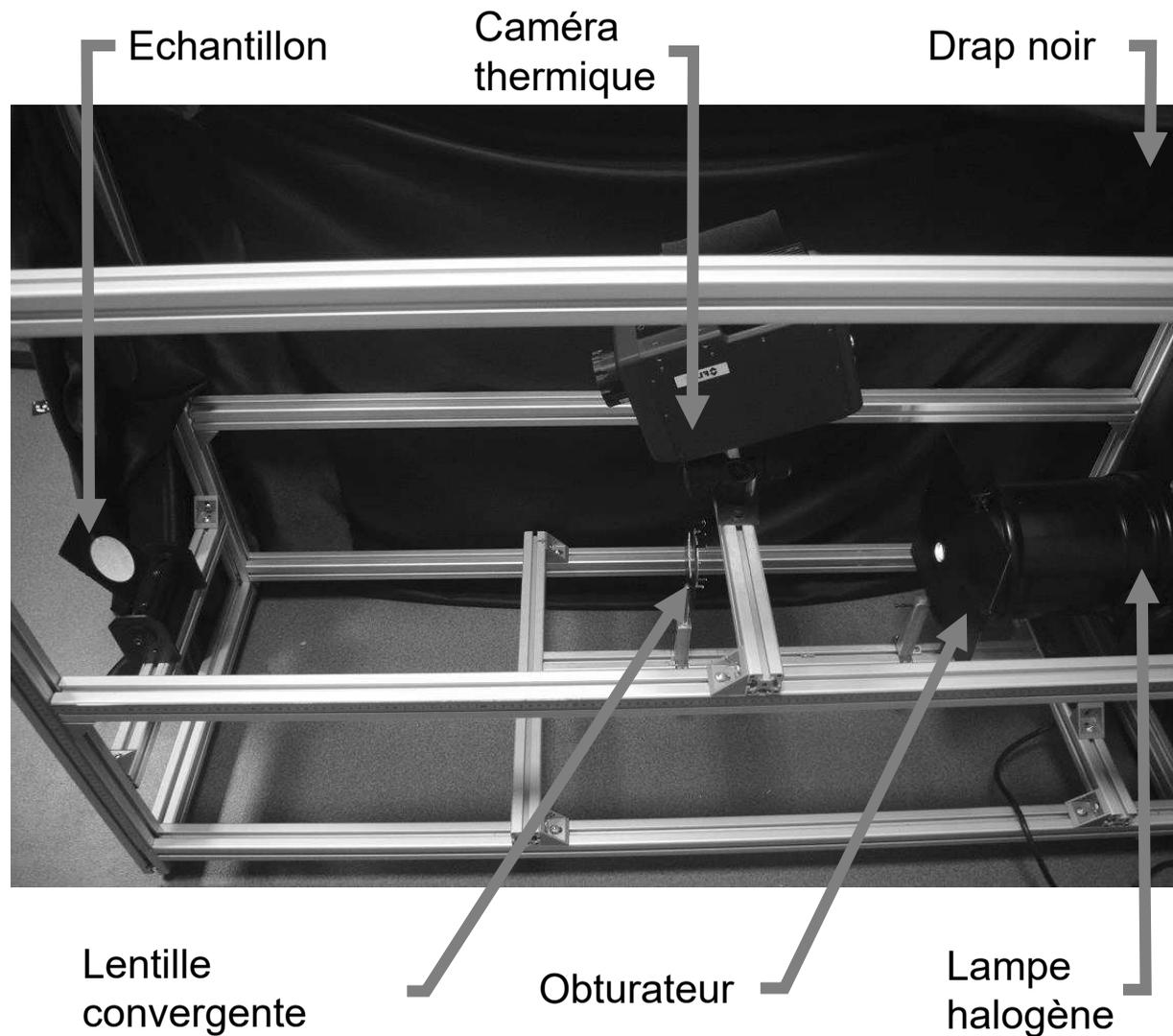
Réparation structurale fixée par collage structural

[USA Department of defense, 2002]

- Conservation du profil aérodynamique *[Baker et al., 2015]*
- Meilleure répartition des efforts mécaniques *[Maldague, 1993]*
- **Technique de réparation non certifiée**

CND du joint structural par Thermographie InfraRouge (TIR) active

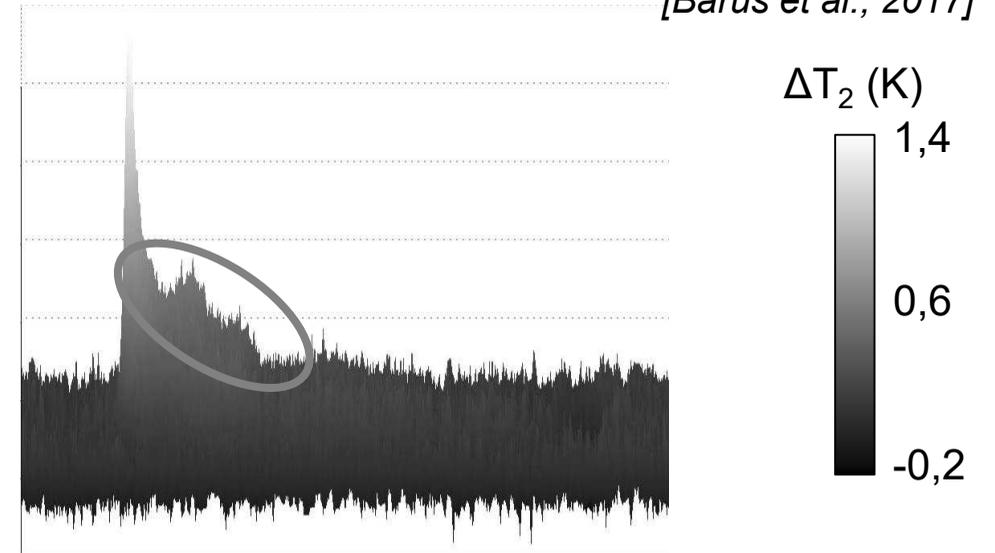
CONTEXTE : ÉTUDE D'UN JOINT COLLÉ PAR THERMOGRAPHIE INFRAROUGE



Banc d'essais thermiques par TIR active

Maîtrise de la stimulation thermique et des conditions aux limites

[Barus et al., 2017]



Réponse thermique du joint de colle

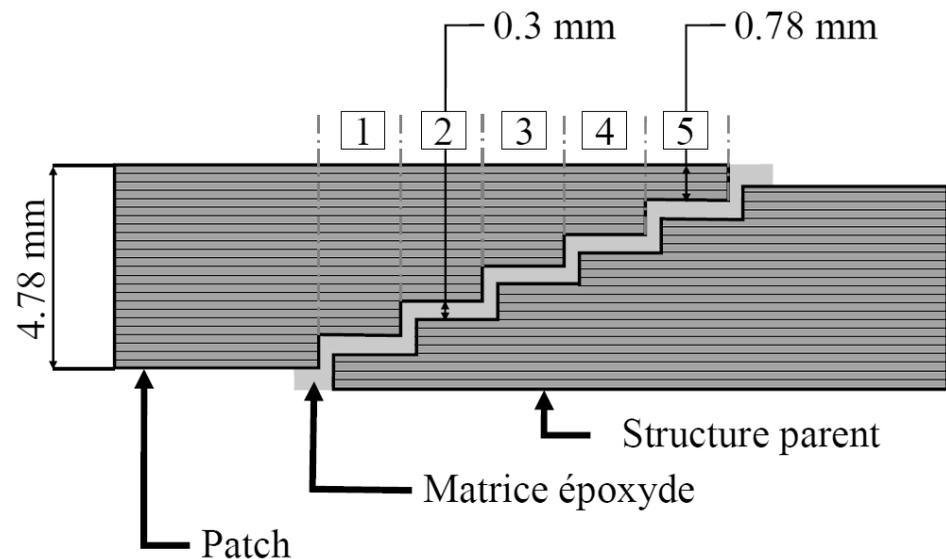
Difficulté : faible contraste thermique

Modification du comportement thermique de la matrice époxyde

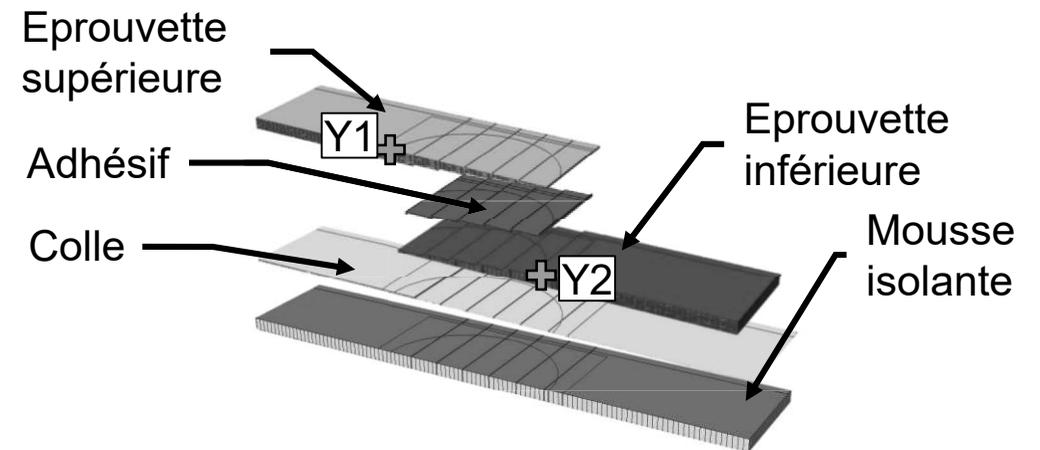
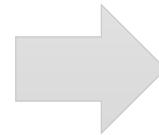
DÉFINITION DU JOINT CHARGÉ

Objectif :

Créer un nouveau matériau joint à base époxyde et aux propriétés thermiques discriminantes



Représentation schématique d'une réparation par collage structural en forme de marche d'escalier

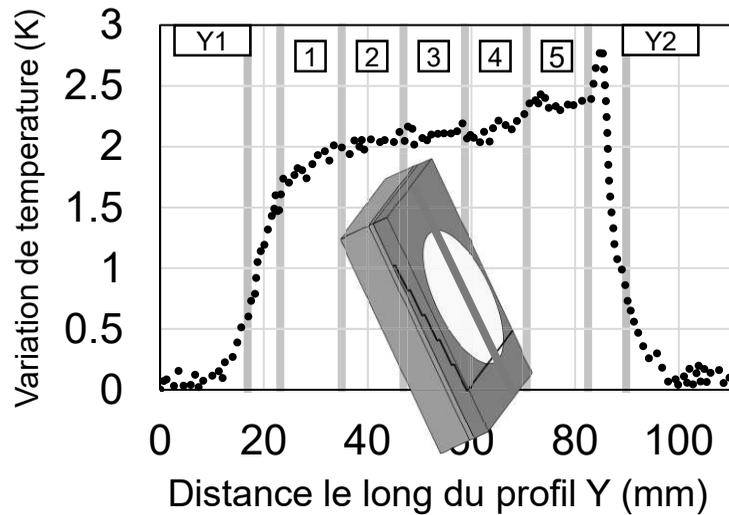


Paramètres à définir :

- Nature du **comportement** du joint chargé ?
- **Type** d'additifs ?
- **Fraction volumique** des additifs ?

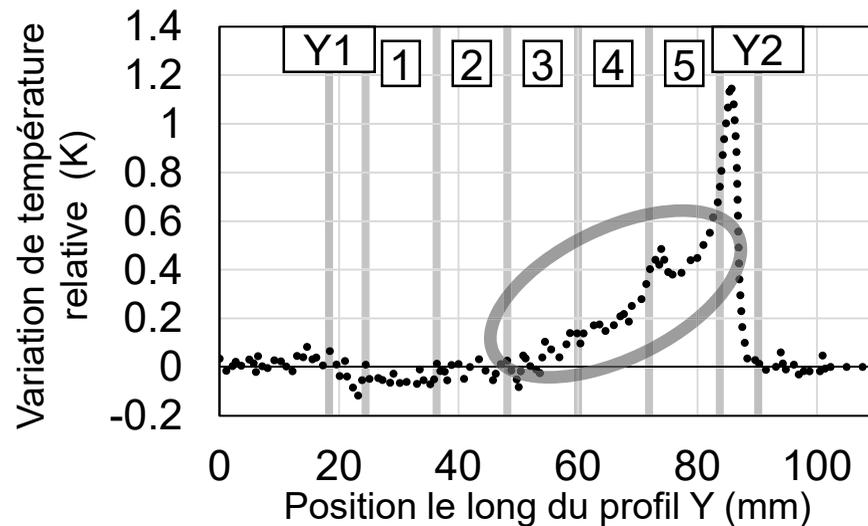
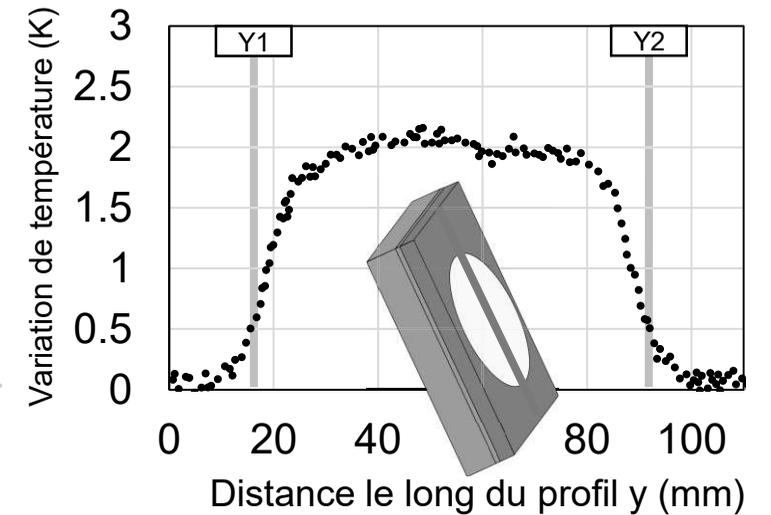
DÉFINITION DU JOINT CHARGÉ

Post-traitement en température relative :
Isoler la réponse thermique du joint de colle



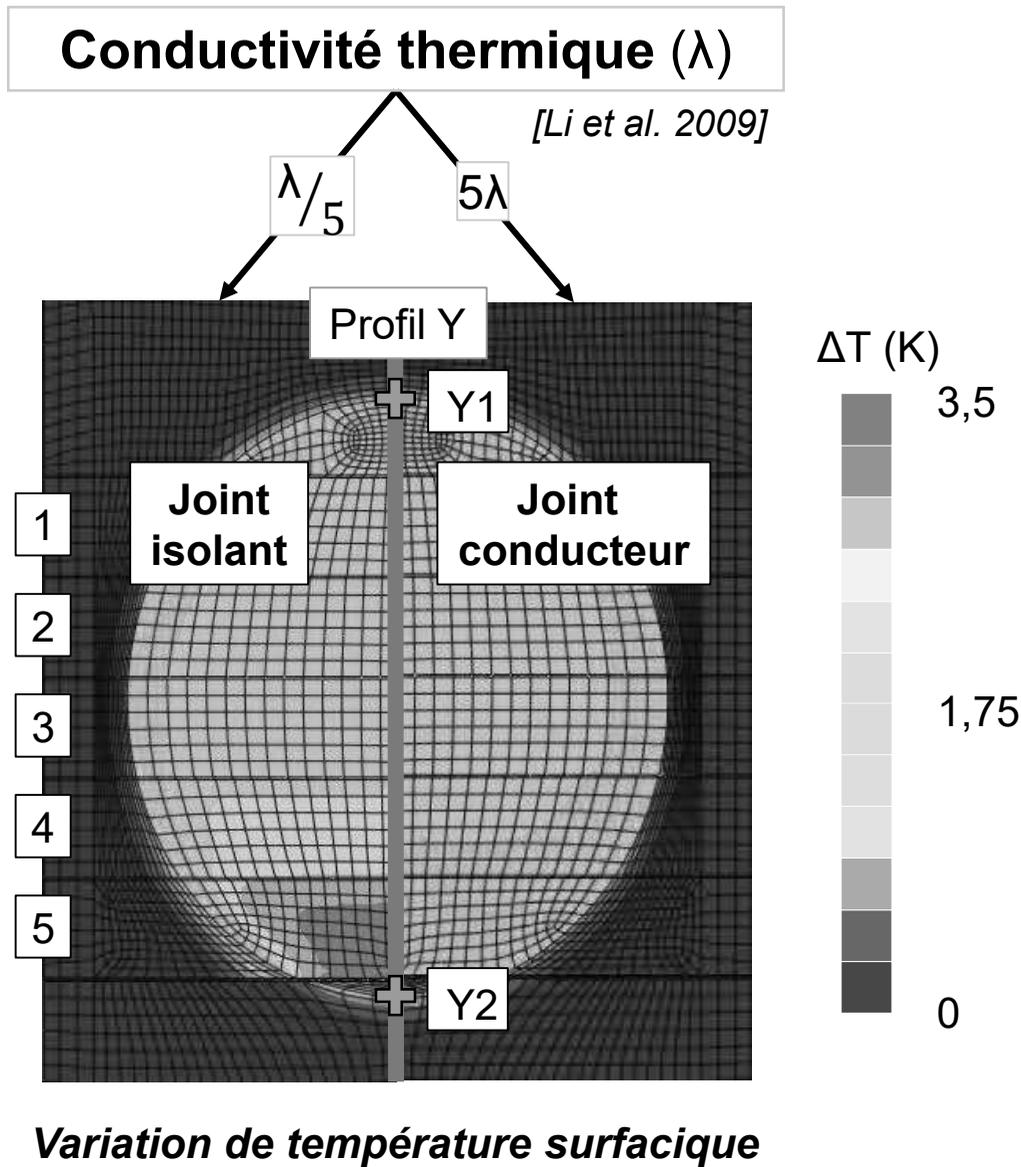
Température relative

$$\Delta T_2 = \Delta T_{\text{(réparée)}} - \Delta T_{\text{(saine)}}$$



Influence du joint structural

DÉFINITION DU JOINT CHARGÉ : NATURE DU COMPORTEMENT



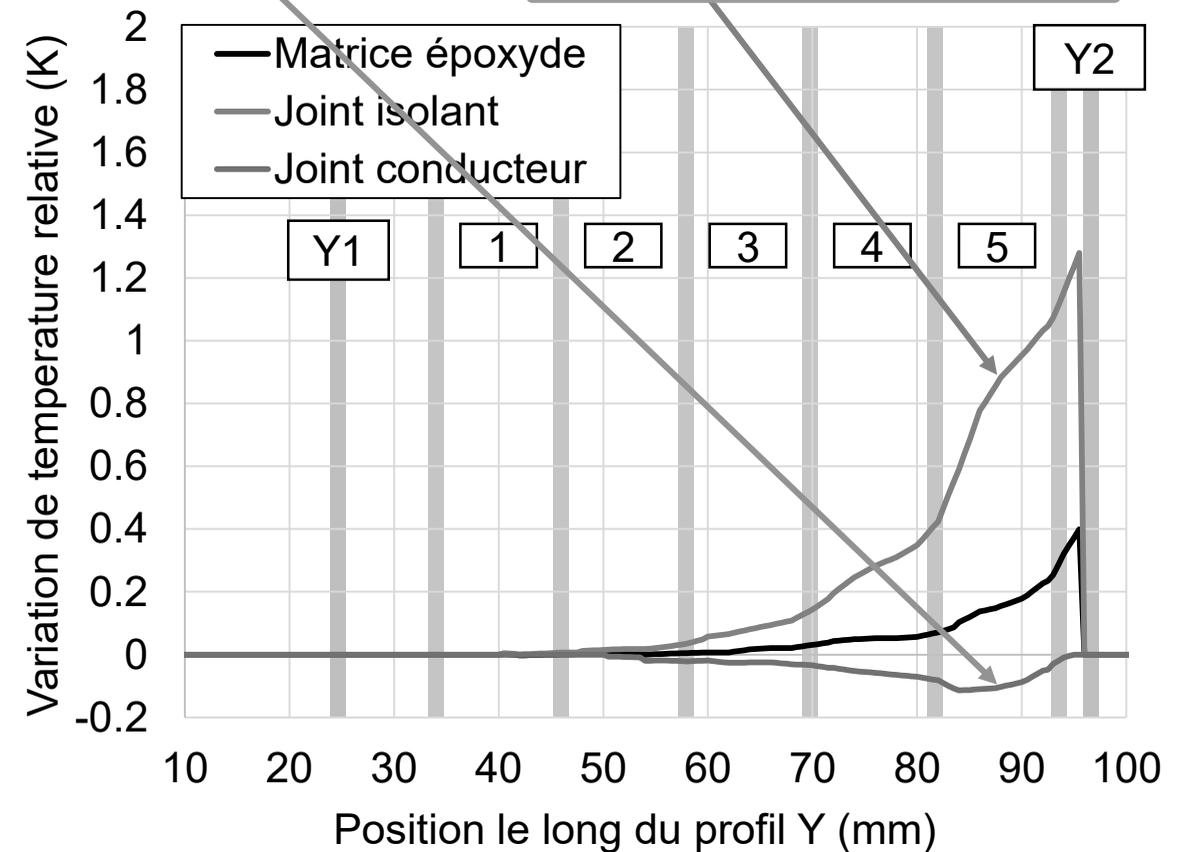
Joint isolant :

$\Delta T_2 \geq 0$, plus importante que pour l'époxyde

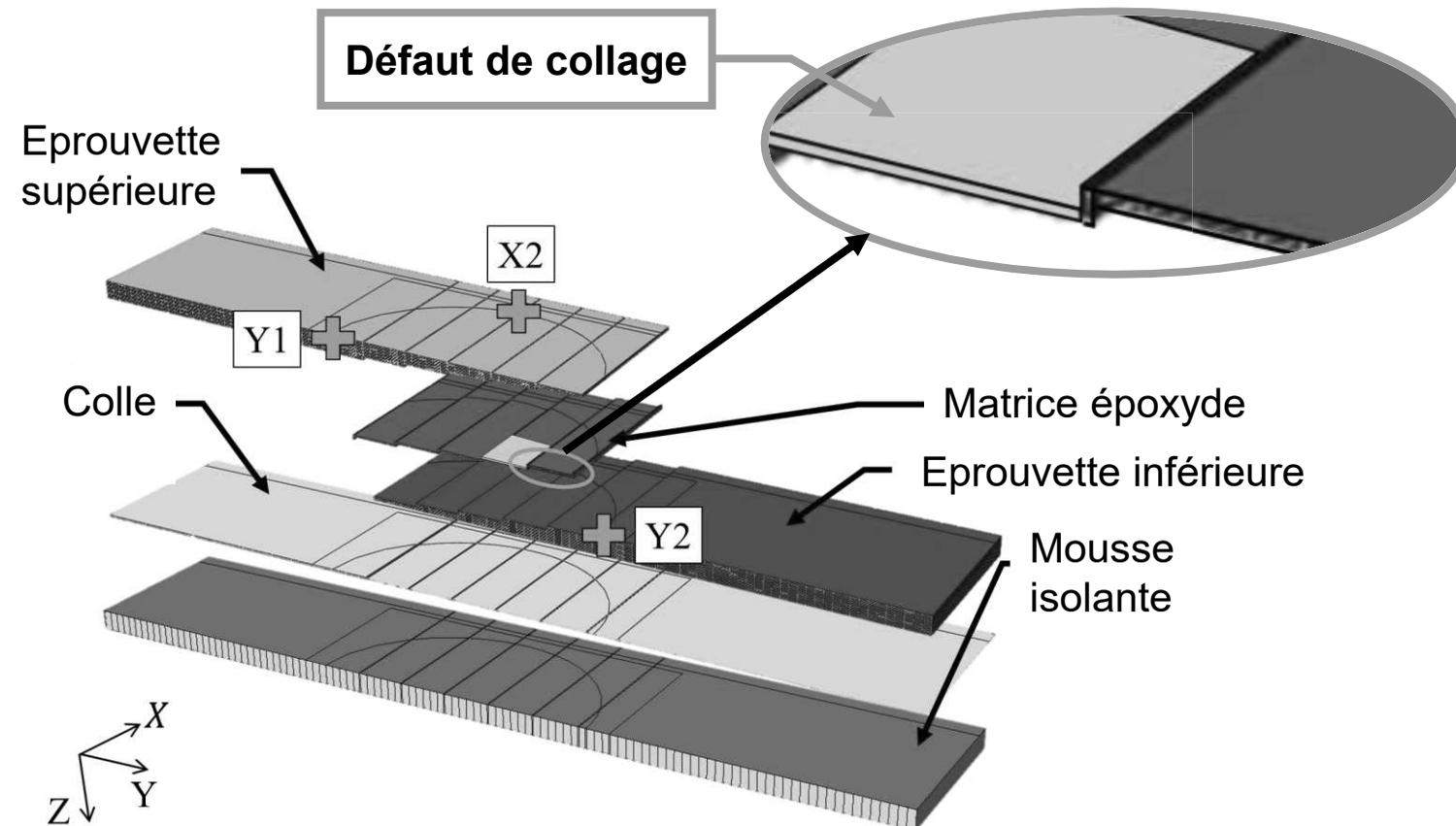
Joint conducteur:

$\Delta T_2 < 0$

Fort contraste en présence de vide

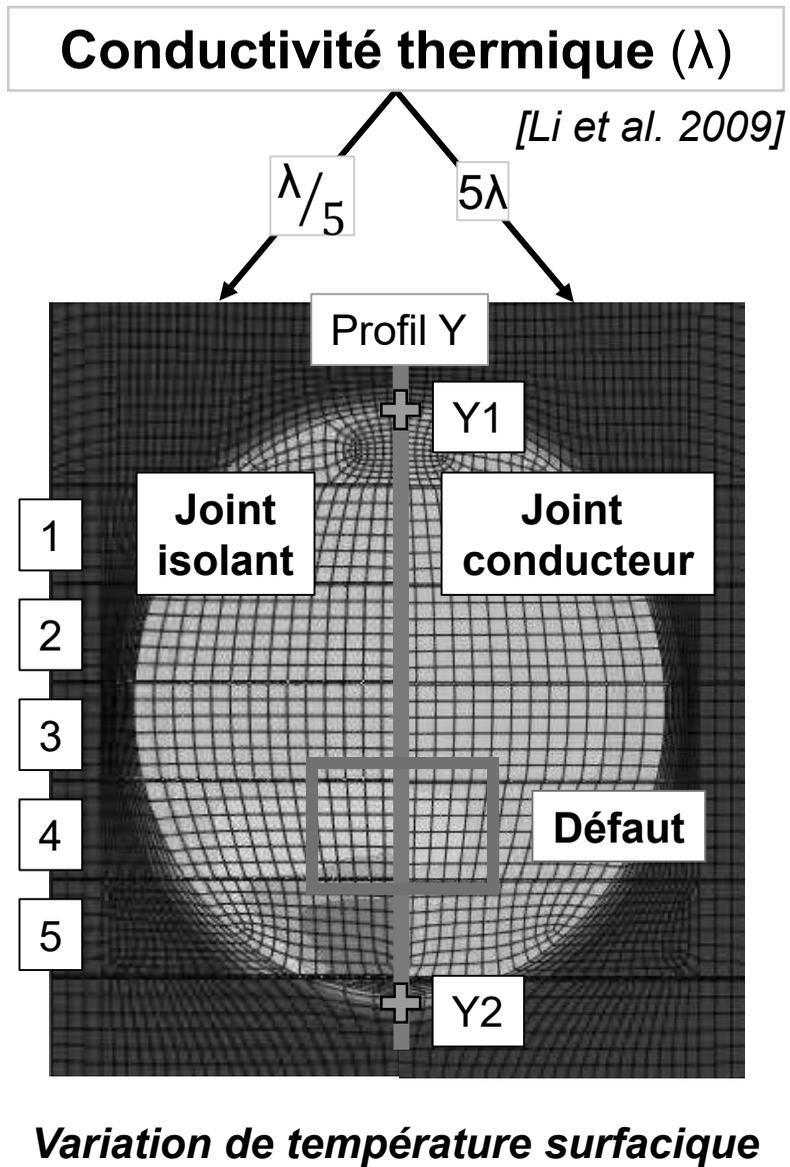


DÉFINITION DU JOINT CHARGÉ : NATURE DU COMPORTEMENT



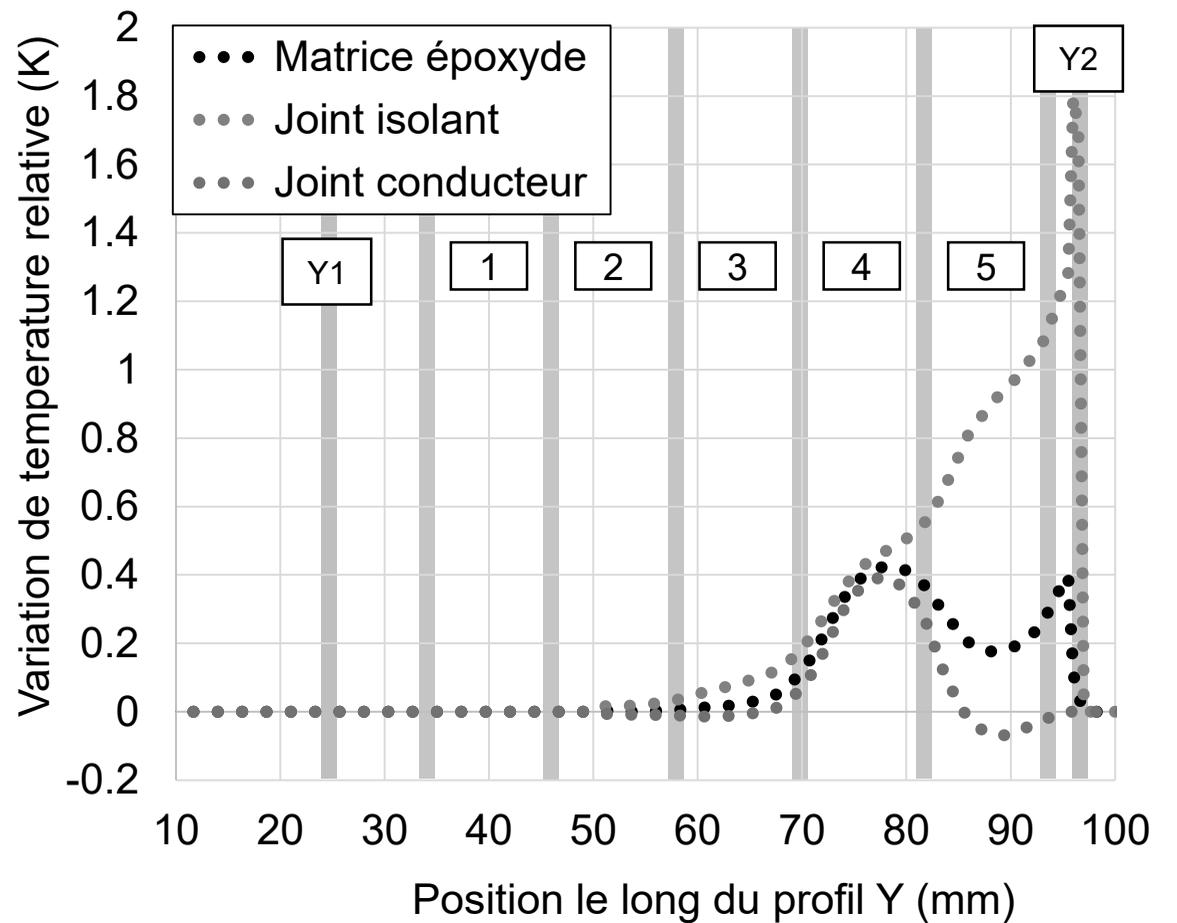
Éléments constitutifs du modèle numérique par EF de l'éprouvette réparée : défaut de collage

DÉFINITION DU JOINT CHARGÉ : NATURE DU COMPORTEMENT



Fort contraste en présence de vide

Visibilité améliorée du défaut



DÉFINITION DU JOINT CHARGÉ : TYPE D'ADDITIFS

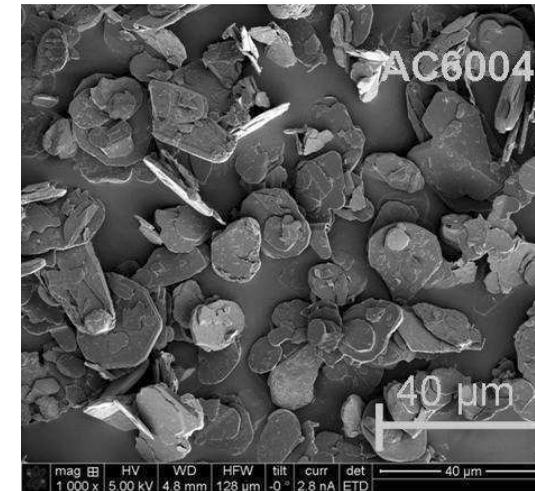
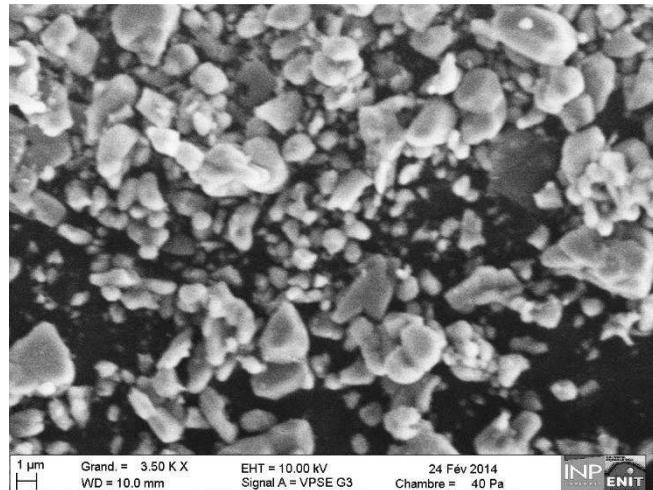
Matériaux :

- Colle époxyde ($\lambda = 0,226 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)
- Alumine Al_2O_3 ($\lambda = 35 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)
- Nitrure de bore BN ($\lambda = 300 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)

[Das et al., 2003 ; Xie et al., 2002]

[Gaska et al., 2012 ; Zhou et al., 2010]

Particules Al_2O_3



Particules BN

Estimation de la conductivité du joint chargé :

- Fraction volumique : **60 %**

[Lee et al., 2006]

- Al_2O_3 : particules sphériques

⇒ loi de **Maxwell-Garnet**

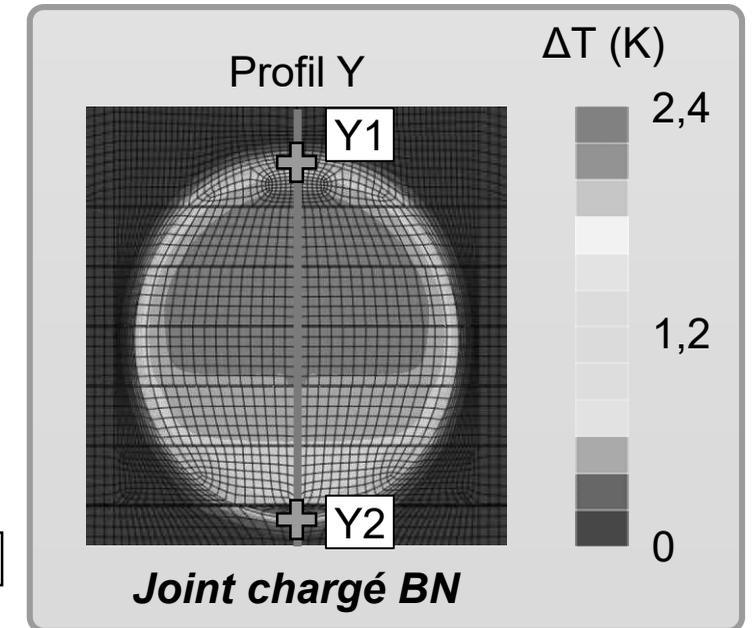
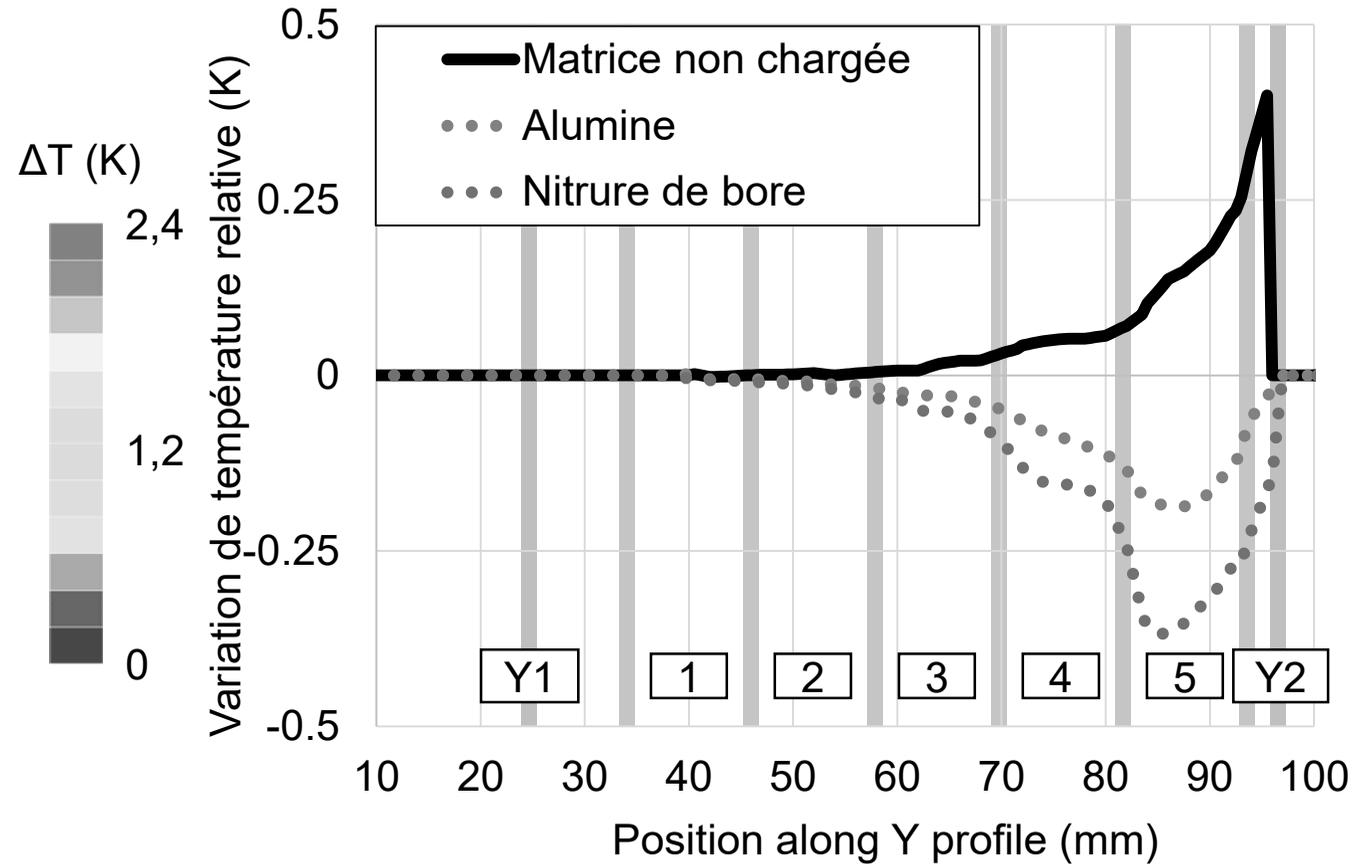
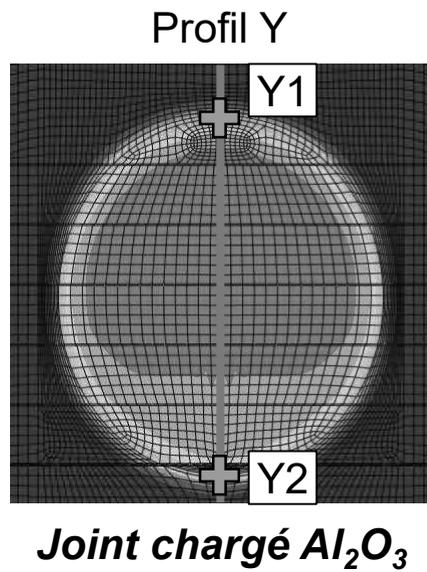
[Zhu et al., 2010]]

- BN : particules sous forme de plaquettes

⇒ loi de **Lichtenecker**

[Zhu et al., 2010]]

DÉFINITION DU JOINT CHARGÉ : TYPE D'ADDITIFS



**Contraste fort en présence de vides
Profondeur d'inspection plus importante**

DÉFINITION DU JOINT CHARGÉ : FRACTION VOLUMIQUE D'ADDITIFS

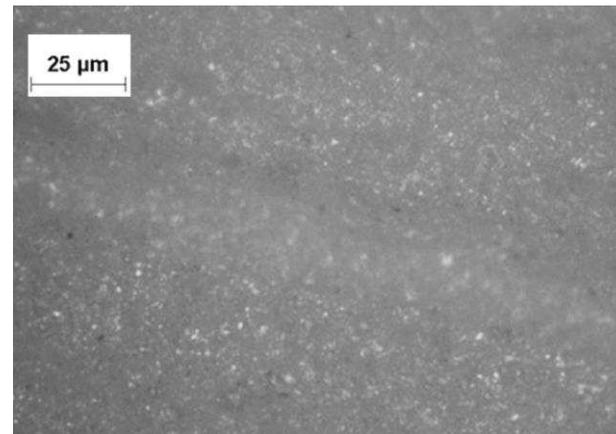
- Utilisation d'une **colle époxyde pâteuse** avant polymérisation
- Géométrie des particules en **plaquettes**
- **Optimisation** de la procédure de mélange



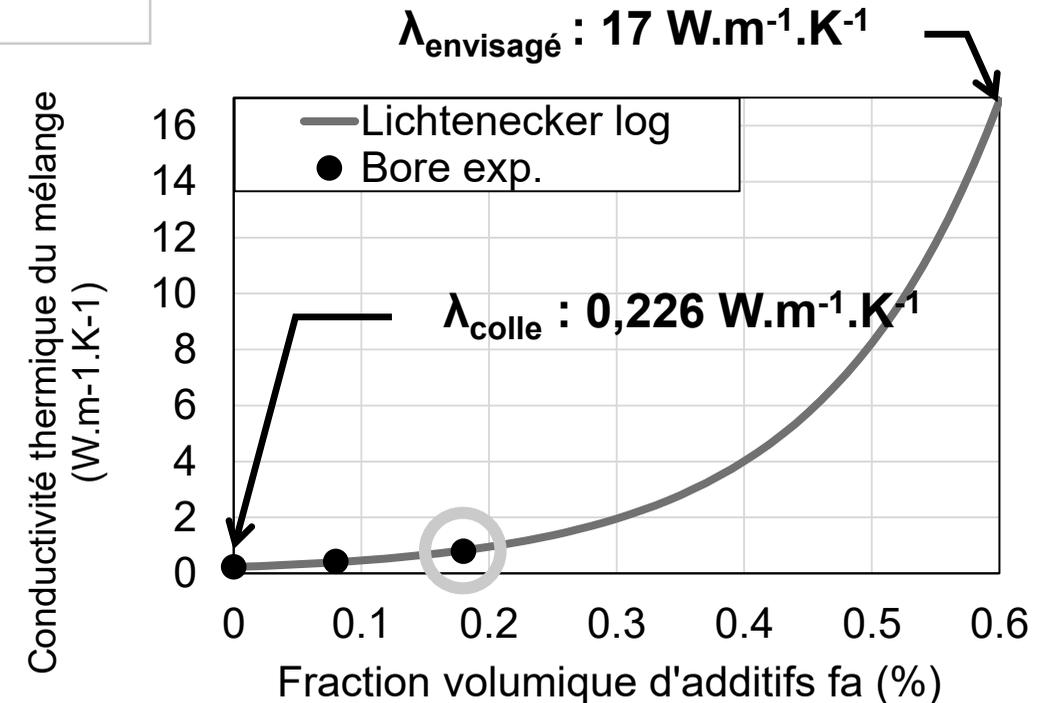
Mélange non optimisé



Mélange optimisé



Microscopie optique du joint chargé BN



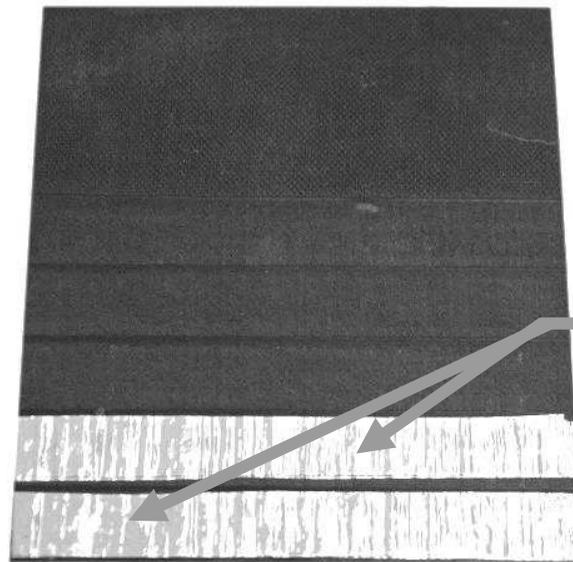
Validation de la loi de Lichtenecker

Fraction volumique maximale : 18 %

$\lambda_{\text{colle chargée}} : 0,79 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

ÉLABORATION DU JOINT CHARGÉ ET DES ASSEMBLAGES RÉPARÉS

Épaisseur du joint : 0,3 mm

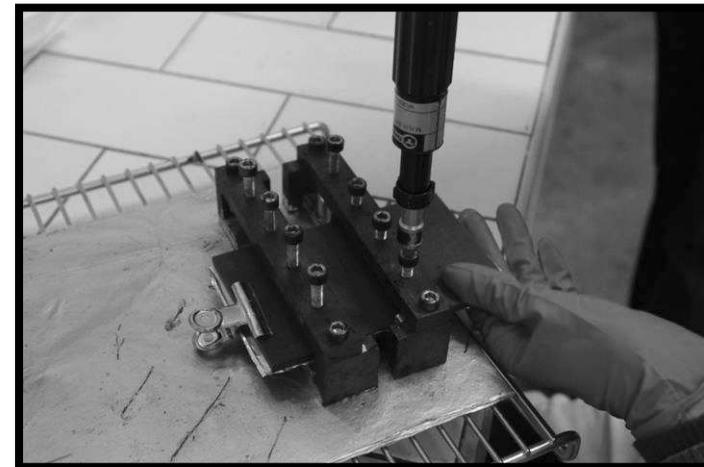


Papier téflonné X 3

Calibration de l'épaisseur du joint



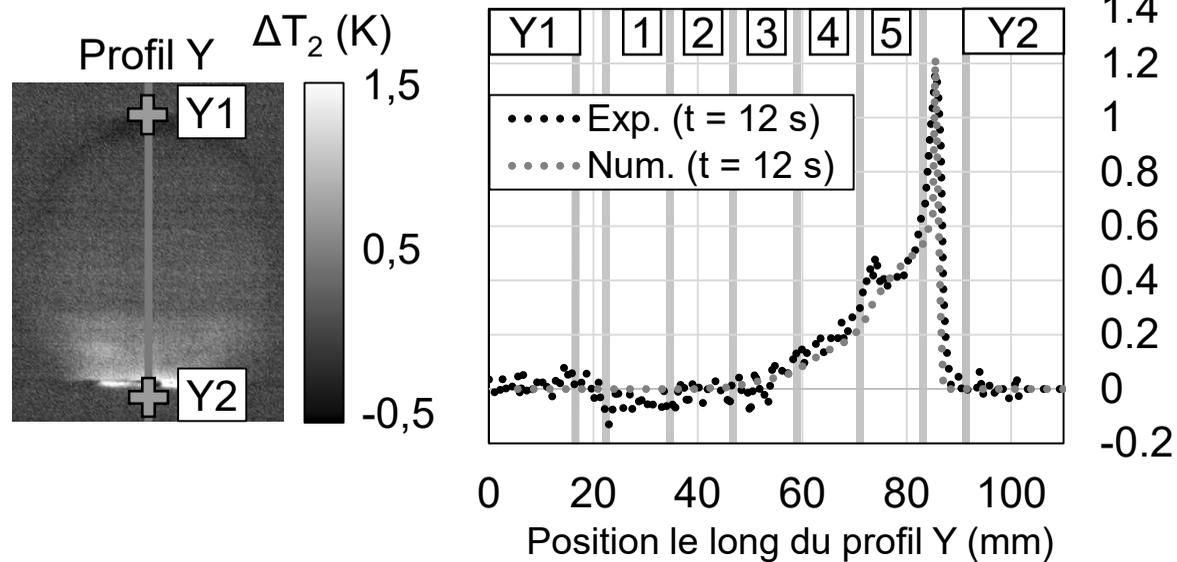
Application de la colle chargée



Maintien en position de l'assemblage

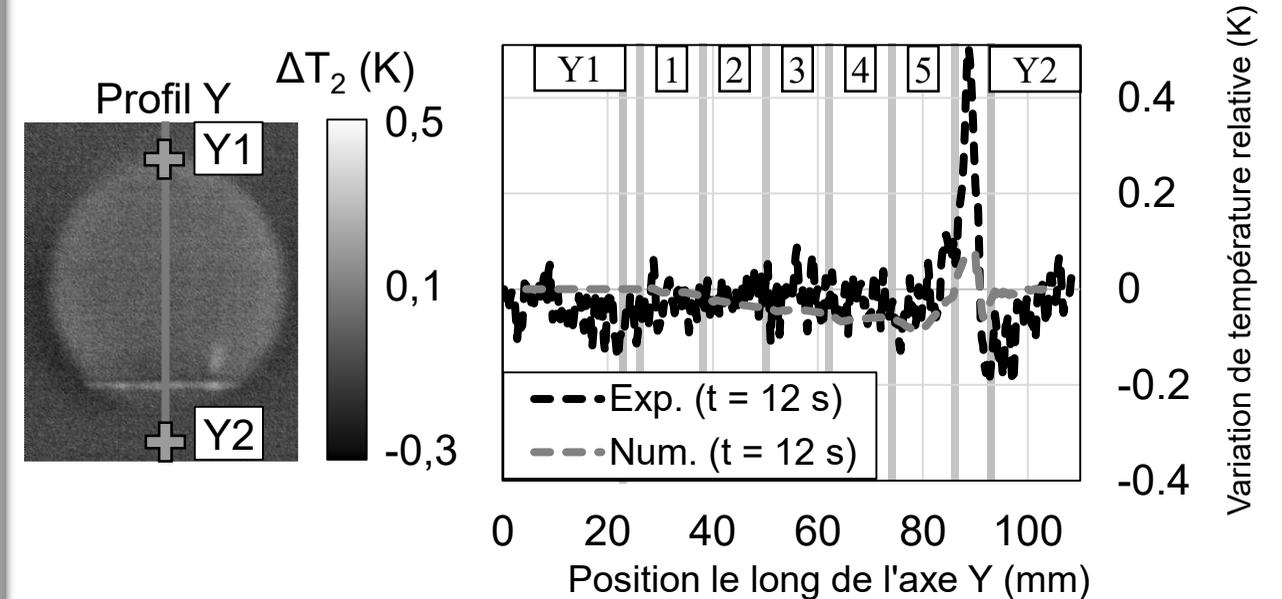
COMPARAISON DES COMPORTEMENTS : JOINT CHARGÉ / NON CHARGÉ

Film adhésif



Joint chargé

Fraction volumique = 18 %



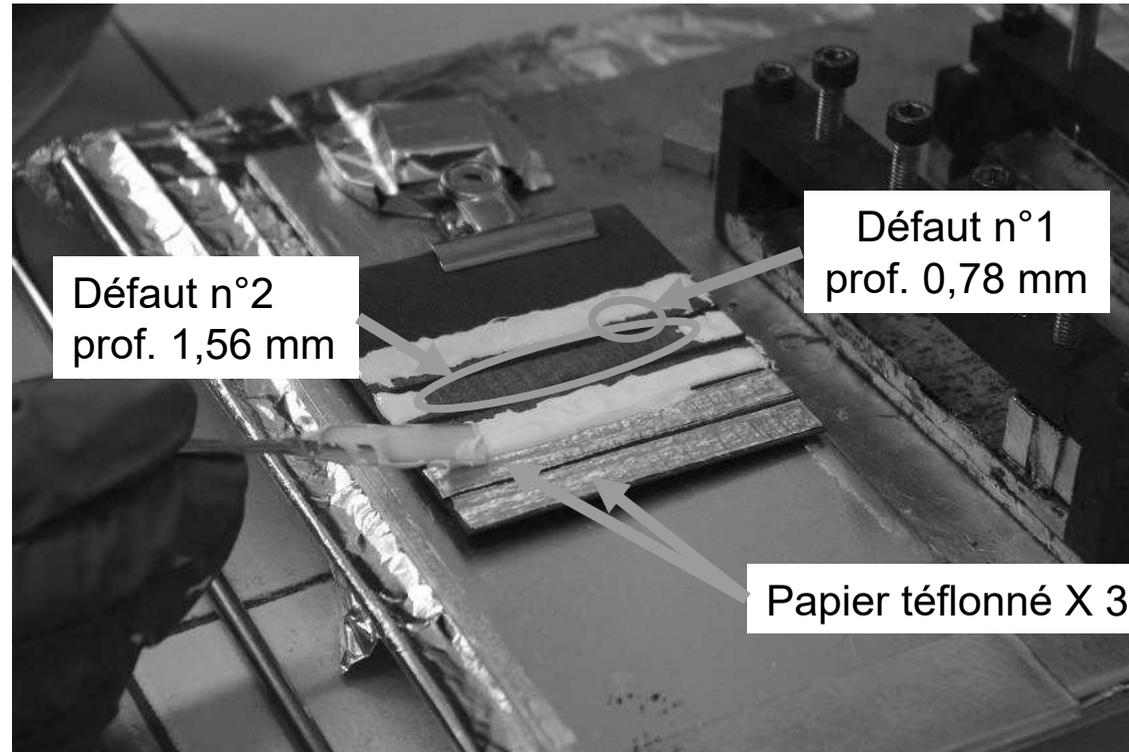
- Bonne corrélation
- $\Delta T_2 \leq 0$ (limitée)

INTRODUCTION DE DÉFAUTS DANS LE JOINT CHARGÉ

Zones non collées

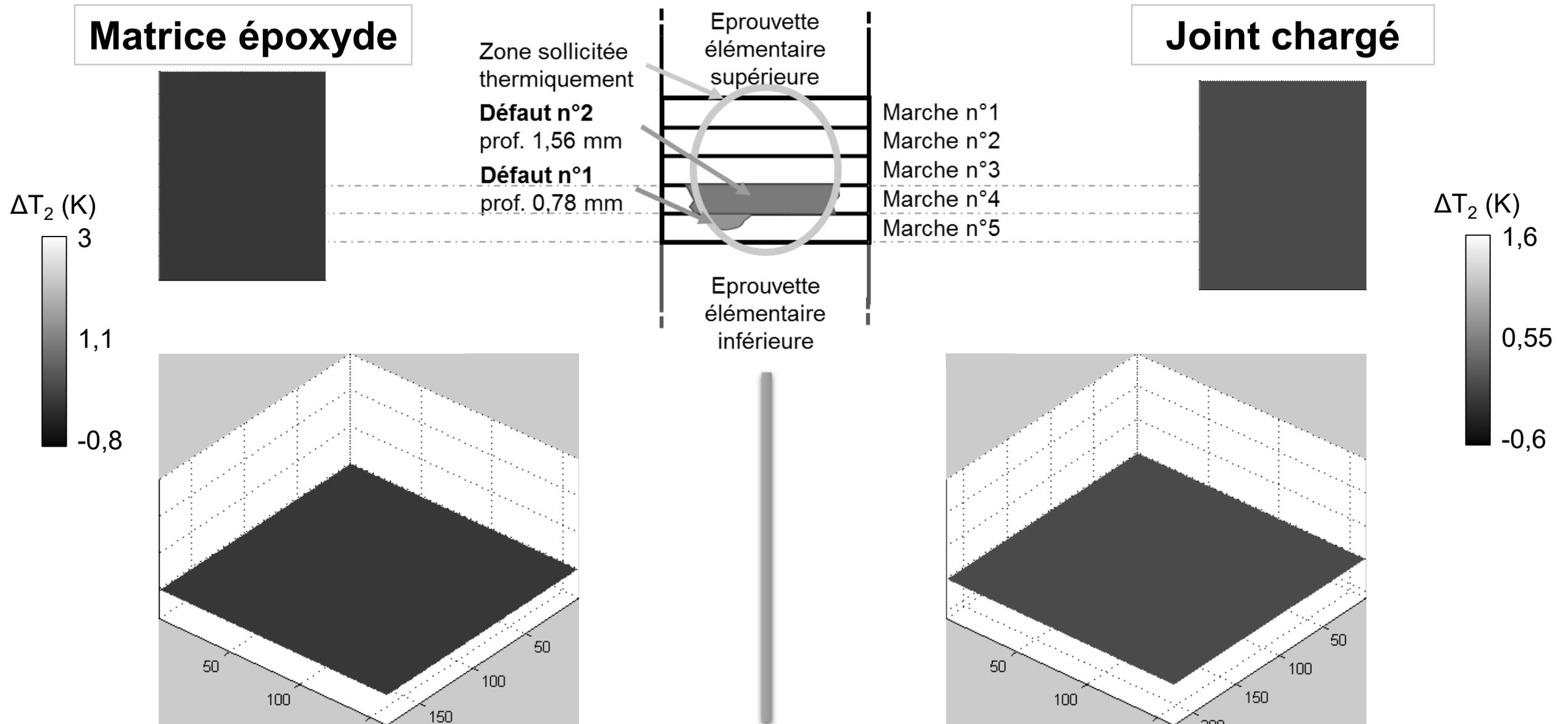


Représentatives d'un défaut réel



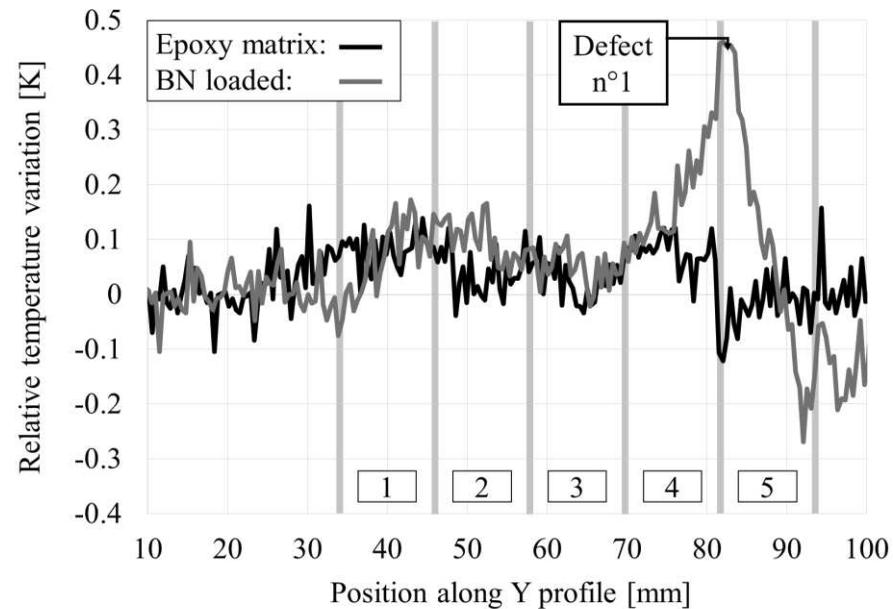
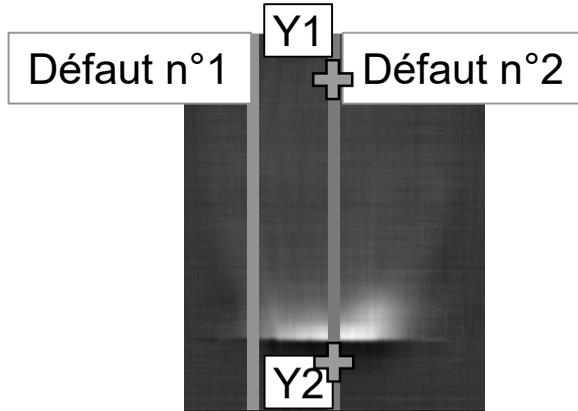
Préparation d'une éprouvette réparée avec défaut de collage

COMPARAISON DES COMPORTEMENTS : JOINT CHARGÉ / NON CHARGÉ



COMPARAISON DES COMPORTEMENTS : JOINT CHARGÉ / NON CHARGÉ

Matrice époxyde



Augmentation du
contraste thermique
⇒
Améliore la détection
des défauts

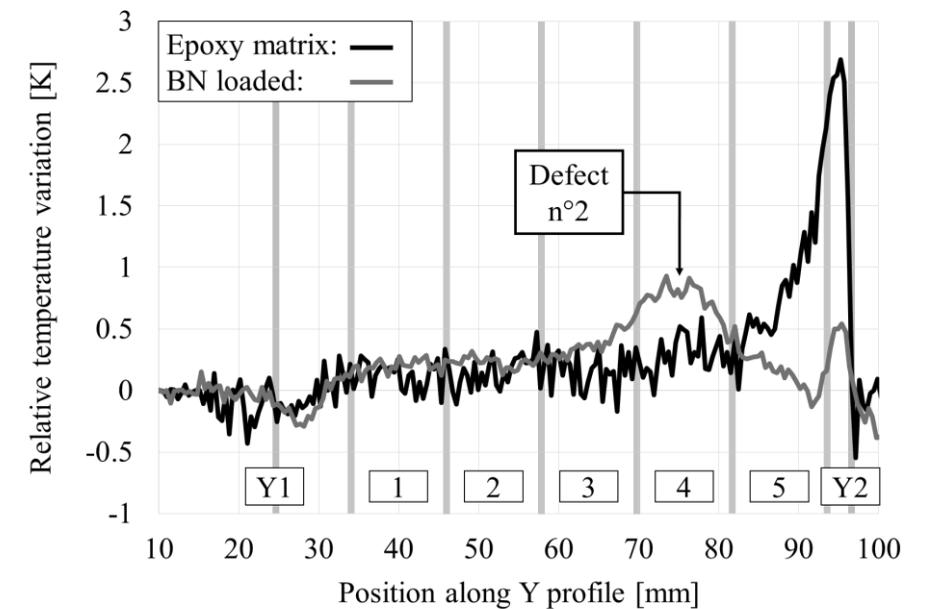
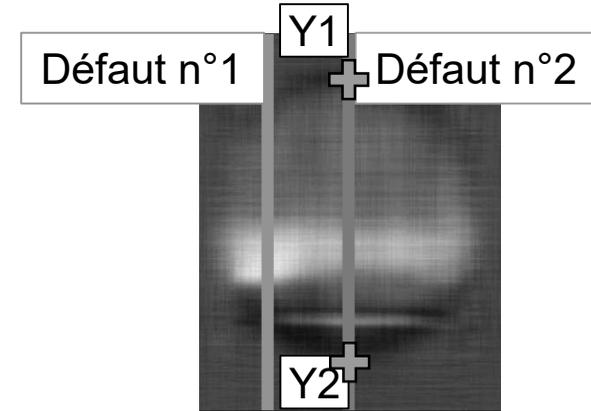
$t = 5 \text{ s}$

$0,78 \text{ mm}$

$t = 12 \text{ s}$

$1,56 \text{ mm}$

Joint chargé



CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

- **Etude numérique de l'influence du comportement thermique :**
 - Comportement conducteur : amélioration de la détection des défauts de collage
 - Choix d'un type d'additif
- **Etude expérimentale :**
 - Assemblage sans défaut : bonne corrélation avec les résultats numériques
 - Amélioration de la détection des défauts de collage par TIR

- **Etude de la tenue mécanique du joint chargé:**
 - Statique
 - Fatigue
- **Post traitement des données thermiques**
- **Amélioration de la réponse thermique du joint :**
 - Formulation du joint colle (type d'additif, morphologie des particules...)

MERCI DE VOTRE ATTENTION