Centre Français Fiabilité

NRTW 2025

National Reliability Technology Workshop

Mercredi 19 et Jeudi 20 mars 2025 | GANIL – Bd Henri Becquerel, 14000 Caen

Nouveau modèle de fatigue thermomécanique des assemblages électroniques sans plomb SAC305

hooke electronics

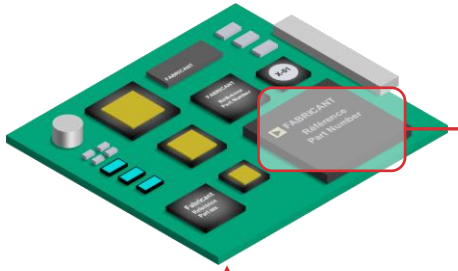
Organisé par :

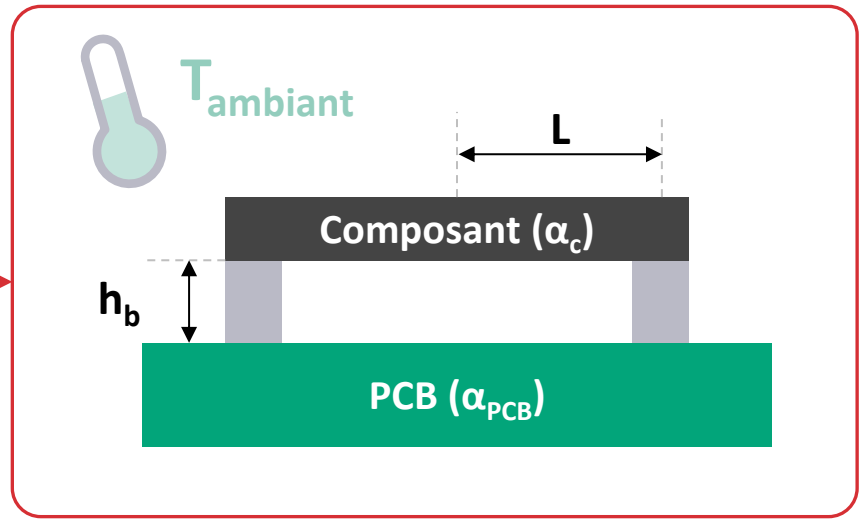
Sommaire

- Introduction
- Méthodologie
- Essais de cyclage thermique
- Caractérisation des matériaux
- Développement du modèle de fatigue
- Validation du modèle de fatigue
- Conclusions

Introduction

- Les équipements électroniques soumis à des cycles thermiques peuvent subir des défaillances par un mécanisme de **fatigue thermomécanique** des joints brasés

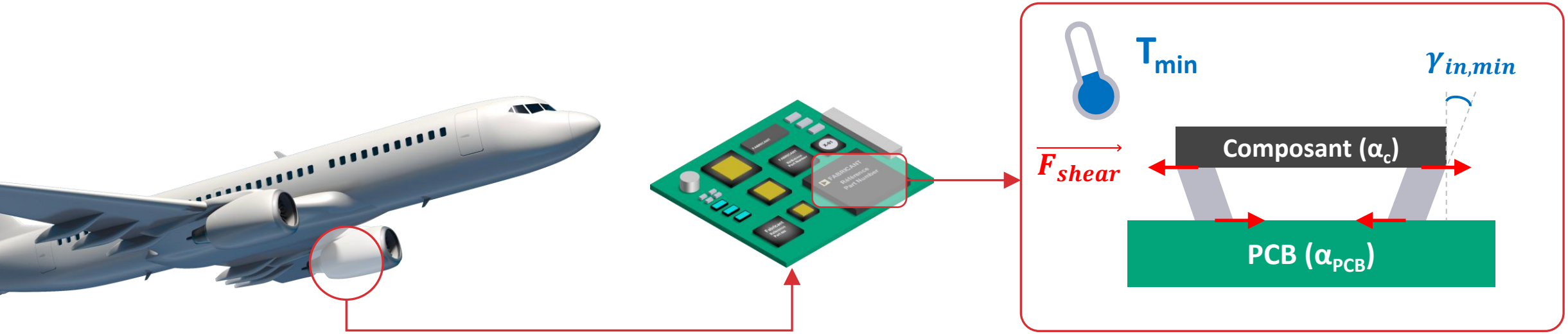




➔ Différentiel de CTE entre le PCB et le composant

Introduction

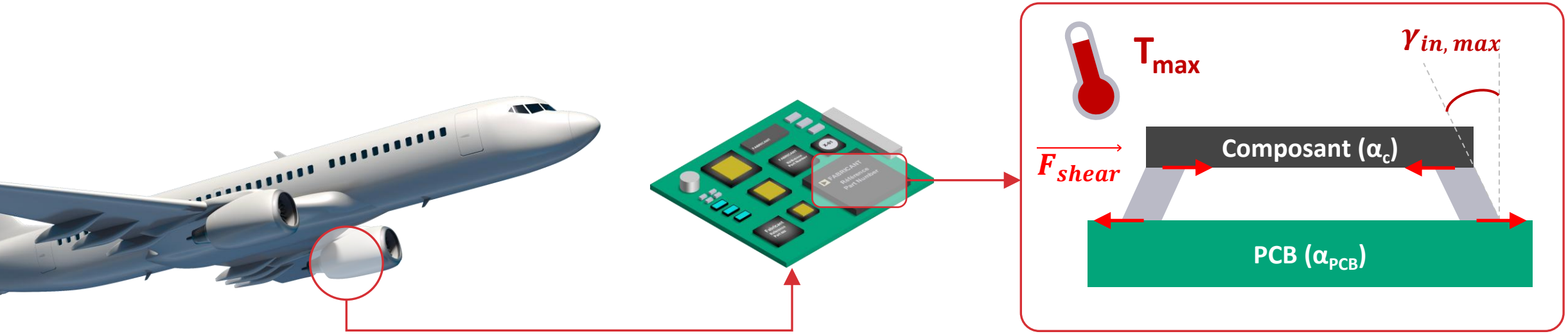
- Les équipements électroniques soumis à des cycles thermiques peuvent subir des défaillances par un mécanisme de **fatigue thermomécanique** des joints brasés



➔ Différentiel de CTE entre le PCB et le composant

Introduction

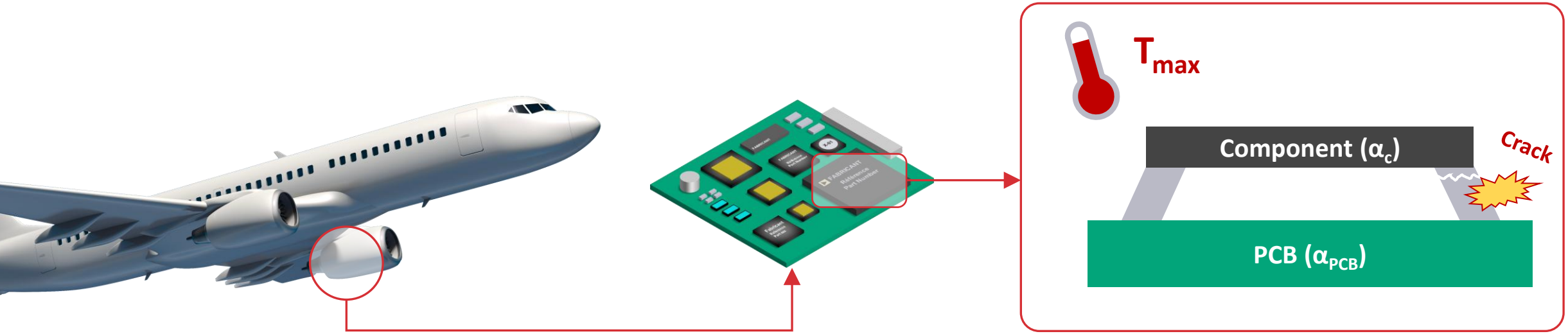
- Les équipements électroniques soumis à des cycles thermiques peuvent subir des défaillances par un mécanisme de **fatigue thermomécanique** des joints brasés



➔ Différentiel de CTE entre le PCB et le composant

Introduction

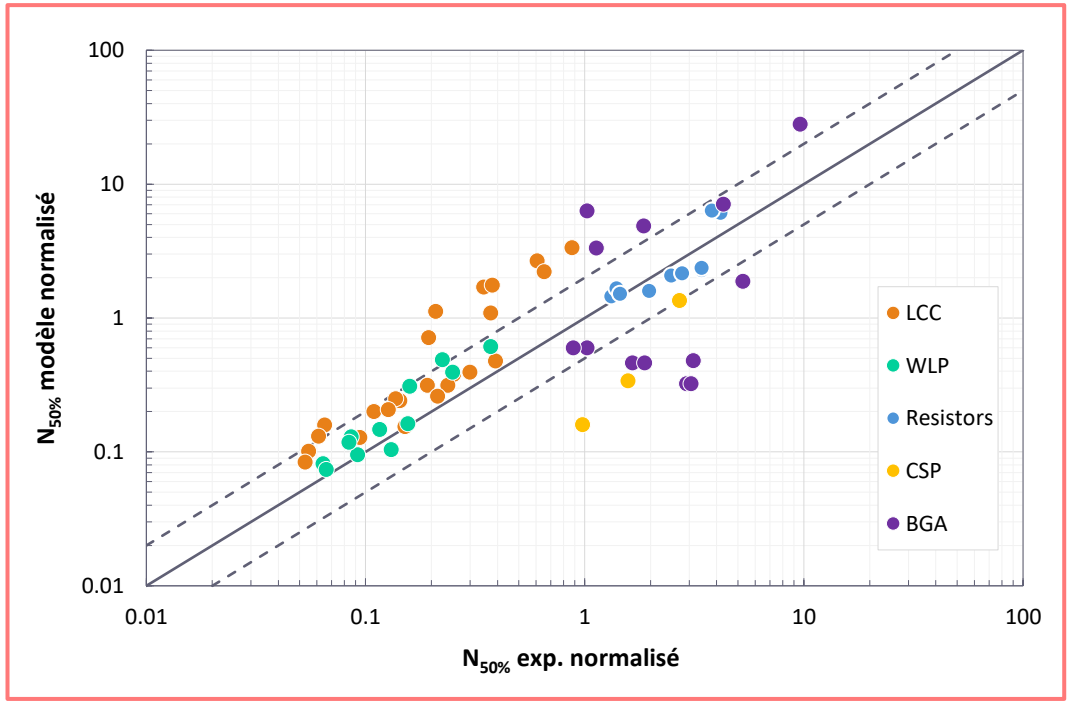
- Les équipements électroniques soumis à des cycles thermiques peuvent subir des défaillances par un mécanisme de **fatigue thermomécanique** des joints brasés



➔ Fissure totale de la brasure = défaillance de l'assemblage électronique

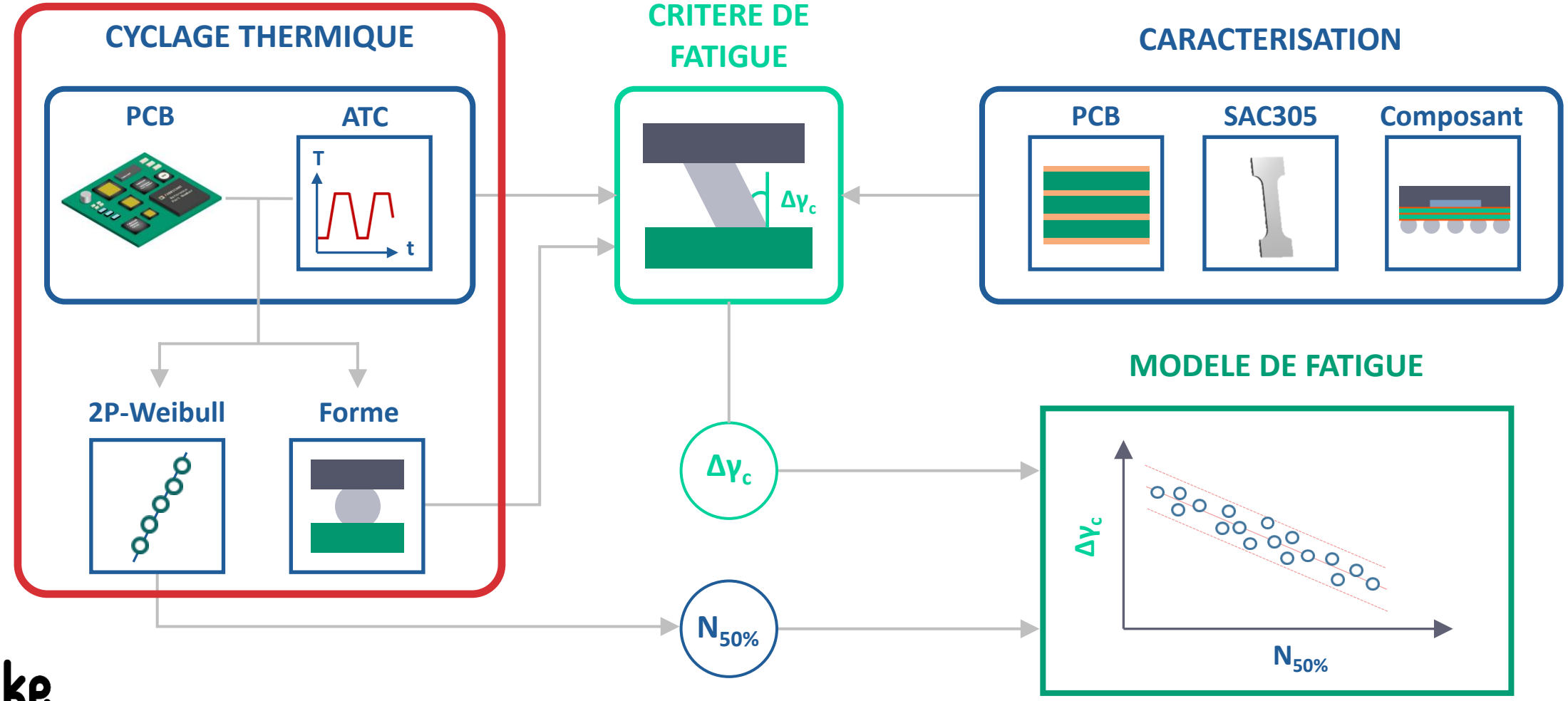
Introduction

- Les modèles de fatigue analytiques (type **Engelmaier**) pour l'alliage sans plomb SAC305 ne prennent pas en compte :
  - Le comportement viscoplastique des brasures
  - Le comportement en flexion des assemblages électroniques
  - La forme des joints de brasure
  - L'effet de la matrice de billes pour les composants de type BGA



Besoin de modèles de fatigue analytiques plus précis

Méthodologie



Essais de cyclage thermique

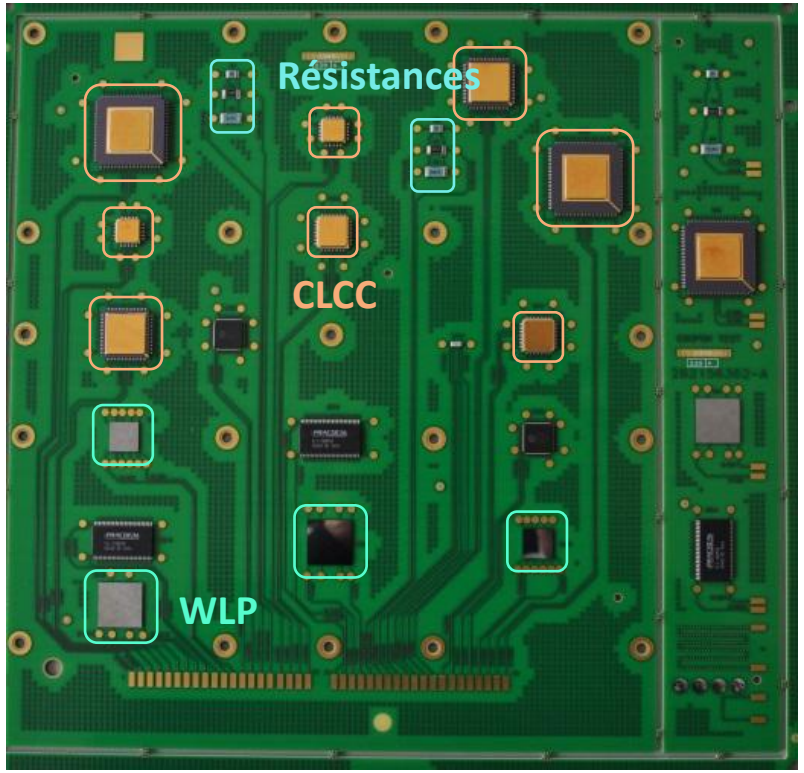
- 4 véhicules de test (x8)
  - CLCCs: I/O 68, 44, 28, 20
  - WLPs: I/O 900, 400
  - Résistances: 2512, 2010, 1210
- 4 empilements de PCB :

0,8 mm DS

1,6 mm DS

3,2 mm DS

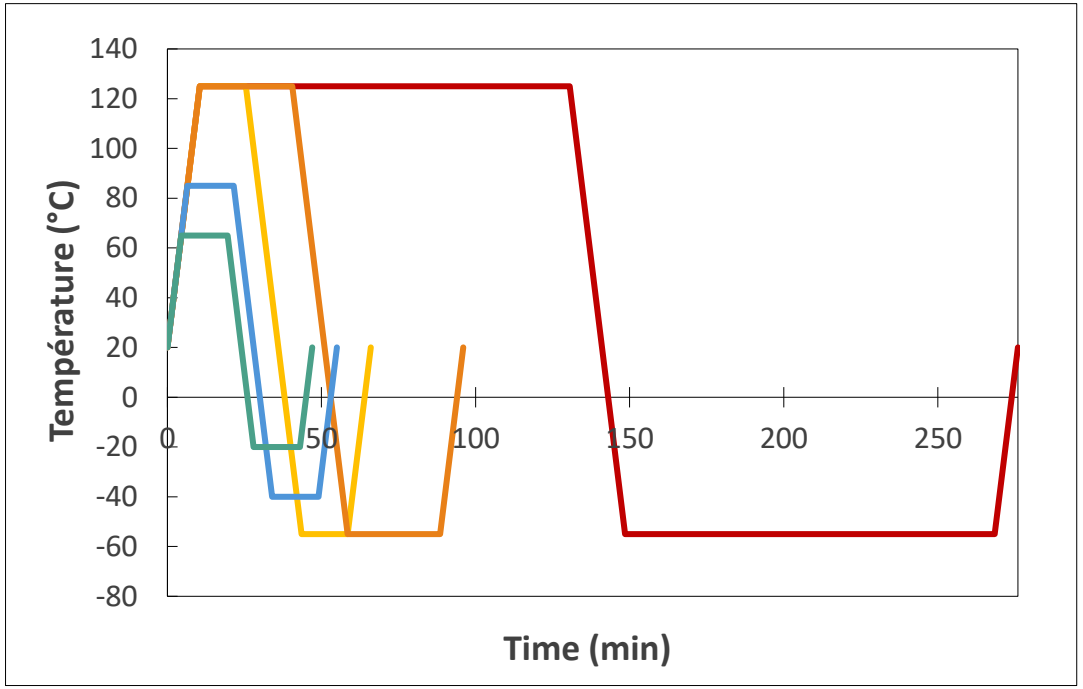
1,6 mm ML8



Véhicule de test
(DS : *Double-Sided* / ML : *Multi-Layer*)

Essais de cyclage thermique

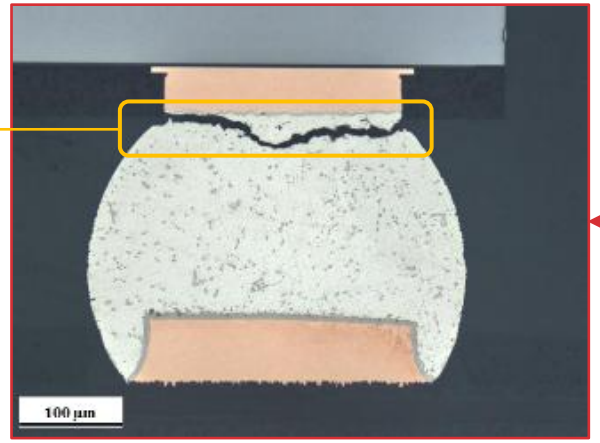
- 4 conditions de cyclage thermique :
  - [-55°C ; 125°C], 10°C.min^{-1}, 15 min aux paliers
  - [-55°C ; 125°C], 10°C.min^{-1}, 30 min aux paliers
  - [-55°C ; 125°C], 10°C.min^{-1}, 120 min aux paliers
  - [-40°C ; 85°C], 10°C.min^{-1}, 15 min aux paliers
  - [-20°C ; 65°C], 10°C.min^{-1}, 15 min aux paliers
- Critère de défaillance :
  - Augmentation de 20% de la résistance électrique initiale pour 5 scans consécutifs (IPC-9701A)
  - Post-traitement des résultats en durée de vie avec la loi de probabilité de Weibull à 2 paramètres



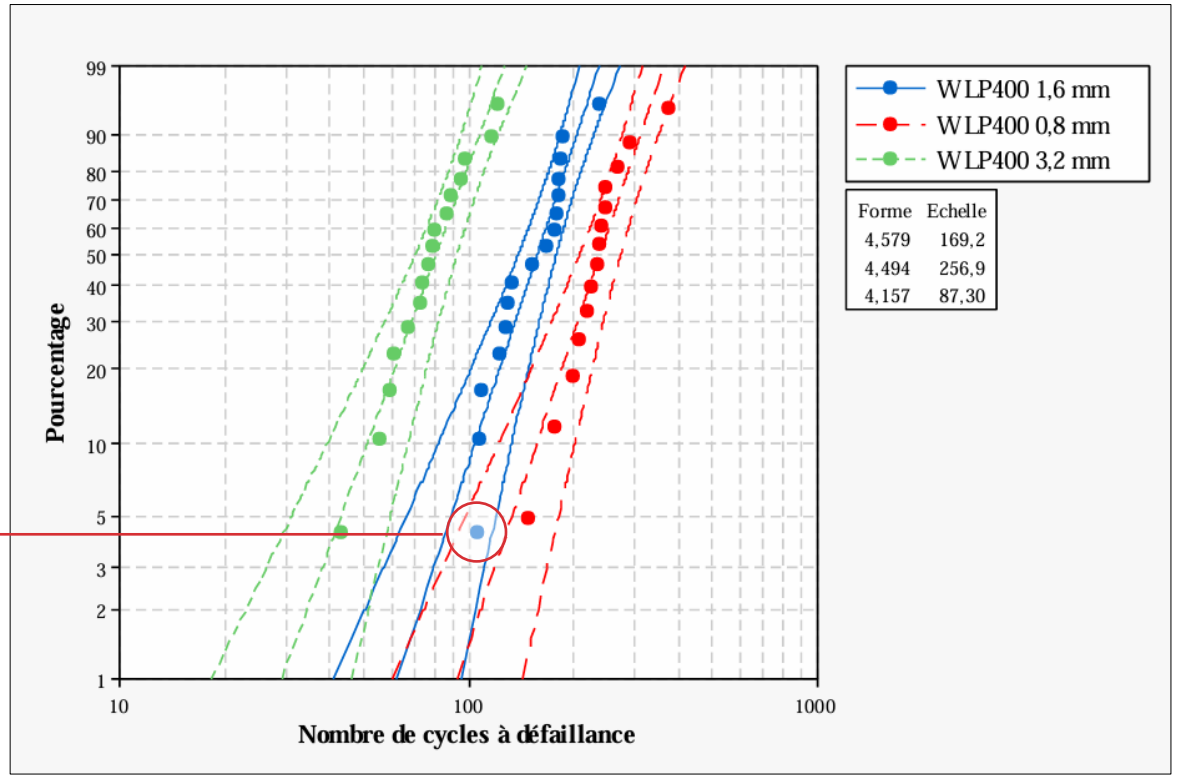
Cycles thermiques

Essais de cyclage thermique

- Exemple de résultats (WLP400)
  - Influence de l'épaisseur du PCB
  - Flexion de l'assemblage non-négligeable

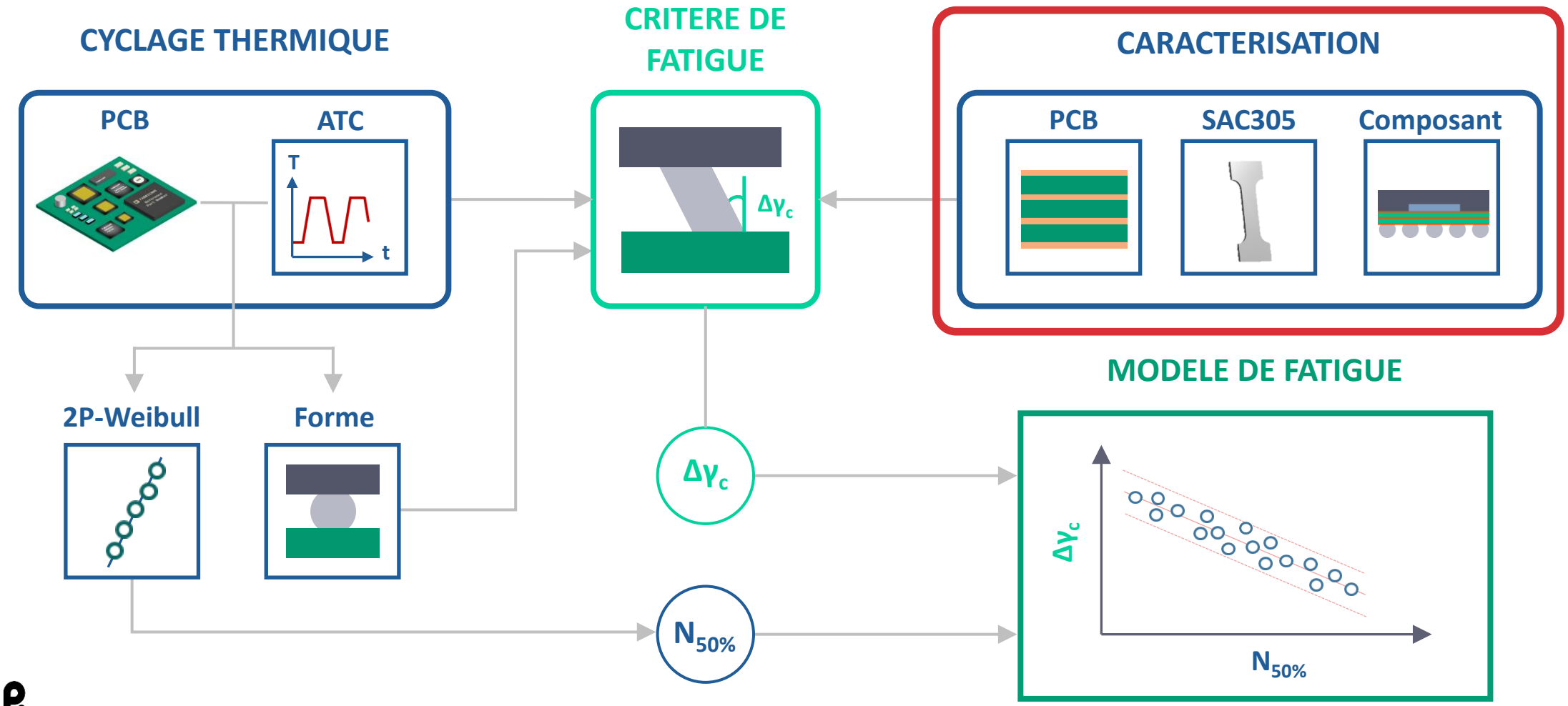


Section critique S_c



Droites de Weibull (WLP400)

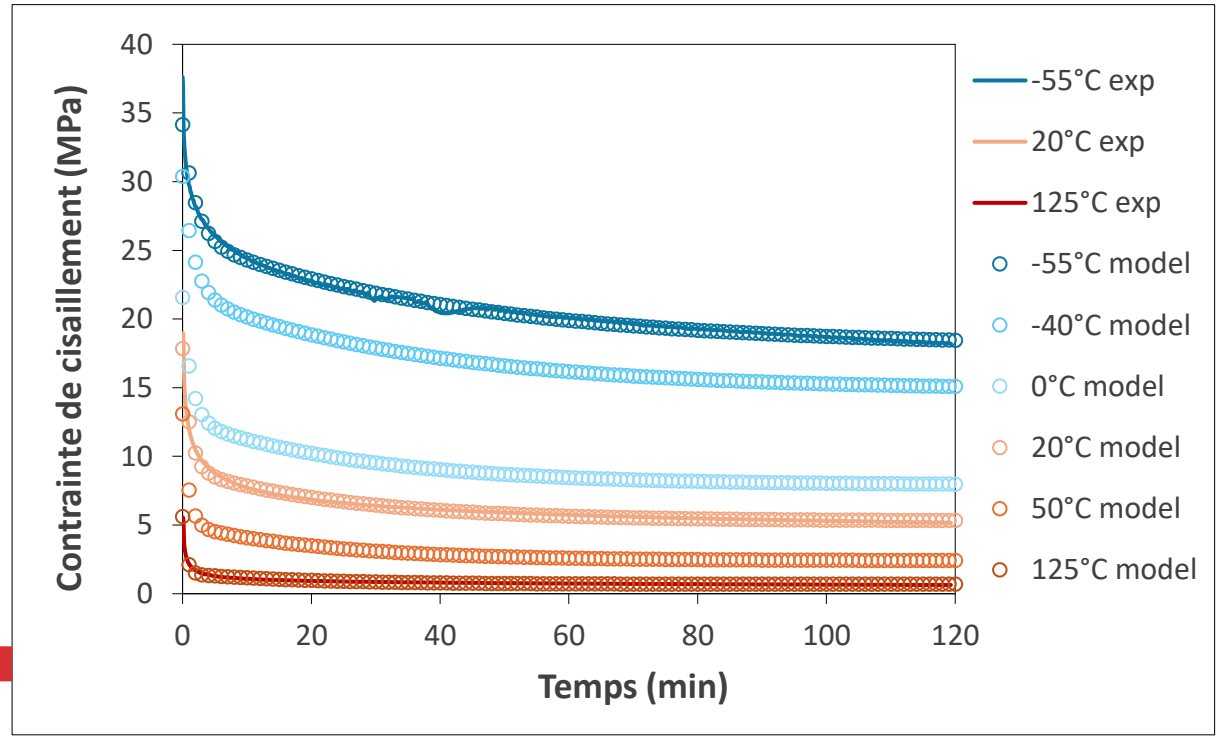
Méthodologie



Caractérisation (SAC305)

- Essais de traction et de relaxation de contraintes
  - Températures: -55°C, 20°C et 125°C
  - $d\varepsilon/dt = 4{,}8 \times 10^{-5}\ s^{-1}$
  - Contraintes de cisaillement obtenues avec le critère de von Misès
  - Comportement inélastique dépendant du temps
    ($T_H = T/T_f > 0.4$)

Relaxation de contraintes à -55°C, 20°C et 125°C et interpolations à -40°C, 0°C et 50°C

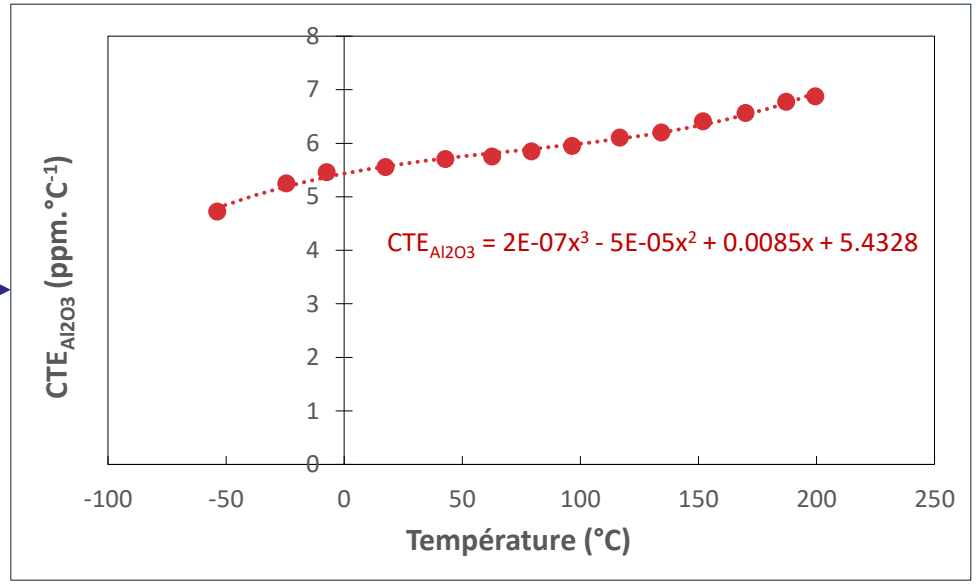


$$\tau_{max}(t,T) = [\tau_1(T) - \tau_{sat}(T)]e^{-\lambda_1(T)t} + [\tau_2(T) - \tau_{sat}(T)]e^{-\lambda_2(T)t} + \tau_{sat}(T)$$

Caractérisation (composants)

- Coefficient d'expansion thermique (CTE) et module d'Young (E)
  - Alumine Al_2O_3 (CLCCs et résistances)
  - Silicium Si (WLPs)

Composant	Matériau	E (GPa)	ν	CTE (ppm.°C^{-1})
CLCC	Al_2O_3	285	0.21	$CTE_{Al2O3}(T)$
Résistances	Al_2O_3	285	0.21	$CTE_{Al2O3}(T)$
WLP	Si	130	0.28	2.6



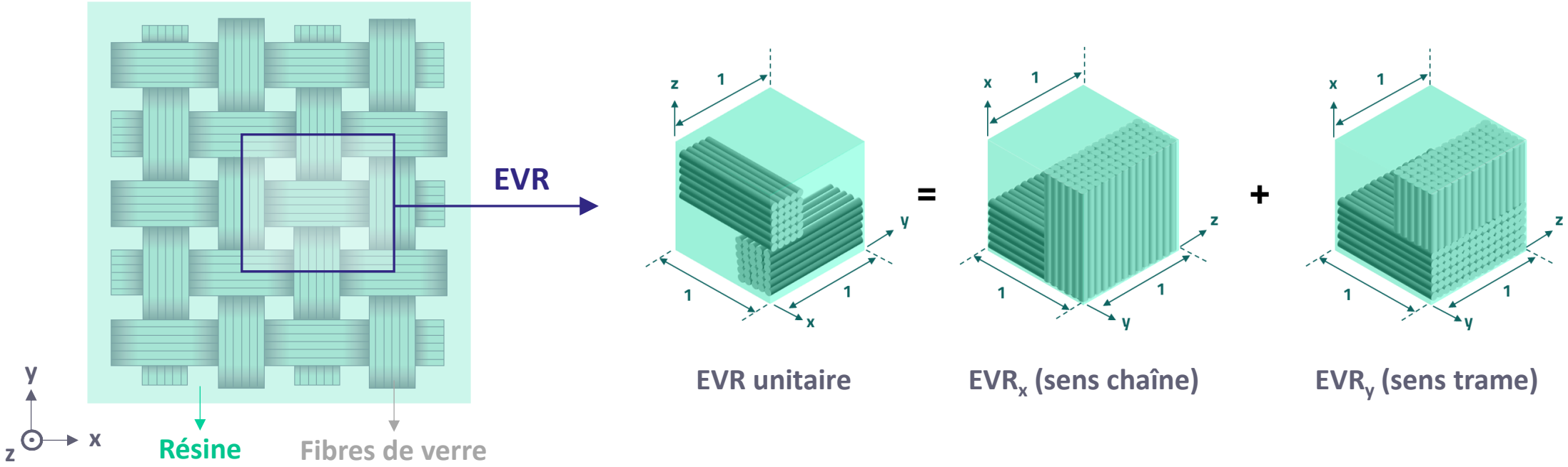
L.R. Zawicki, B.W. Lenhardt, R.R. Smith, "Survivability of soldered Leadless Chip Carriers after temperature cycling", Joint American Ceramic Society (ACS) Electronics Division, 1994

X.J. Fan, B. Varia, Q. Han, "Design and optimization of thermo-mechanical reliability in wafer level packaging", Microelectronics Reliability, Vol.50, pp. 536-546, 2010

P. Vianco, M.K. Neilsen, "Thermal mechanical fatigue of a 56 I/O Plastic Quad-Flat Nolead (PQFN) package", SMTA International, 2015

Caractérisation (PCB)

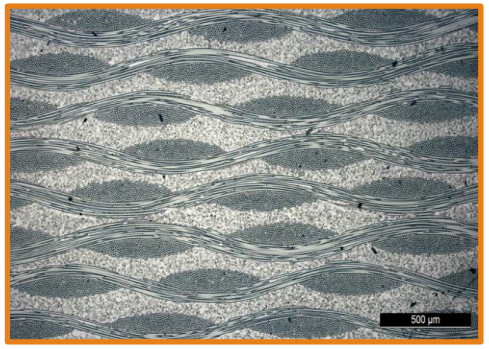
- Modèle micromécanique des stratifies et préimprégnés
  - Matériaux : résine époxyde et tissus de verre
  - Elément de Volume Représentatif (EVR) ➔ calcul du E(T) et du CTE(T)



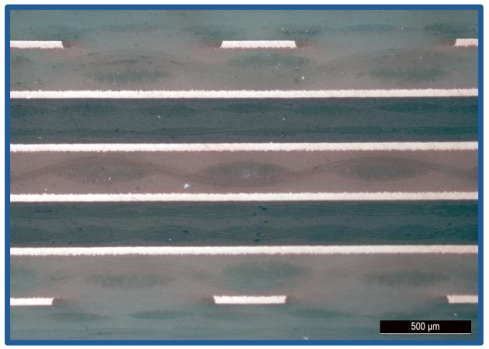
Caractérisation (PCB)

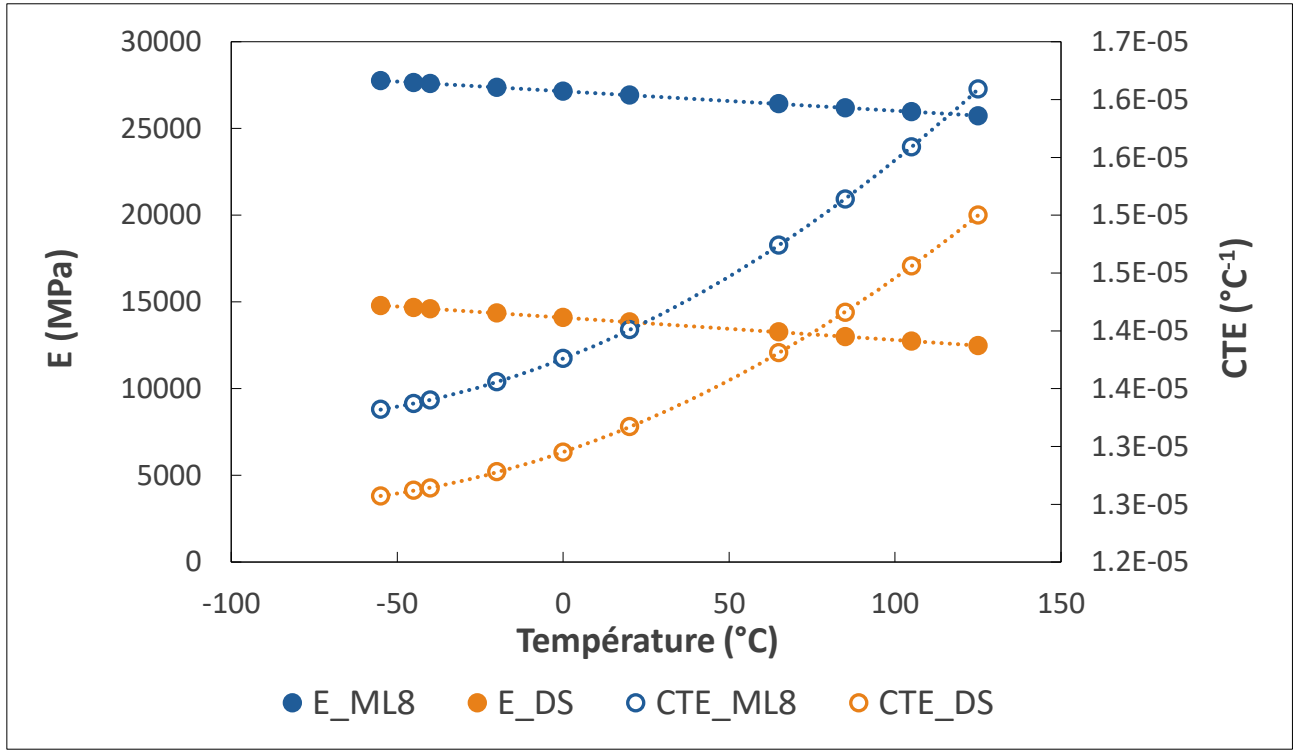
- Coefficient d'expansion thermique (CTE) et module d'Young (E)

DS

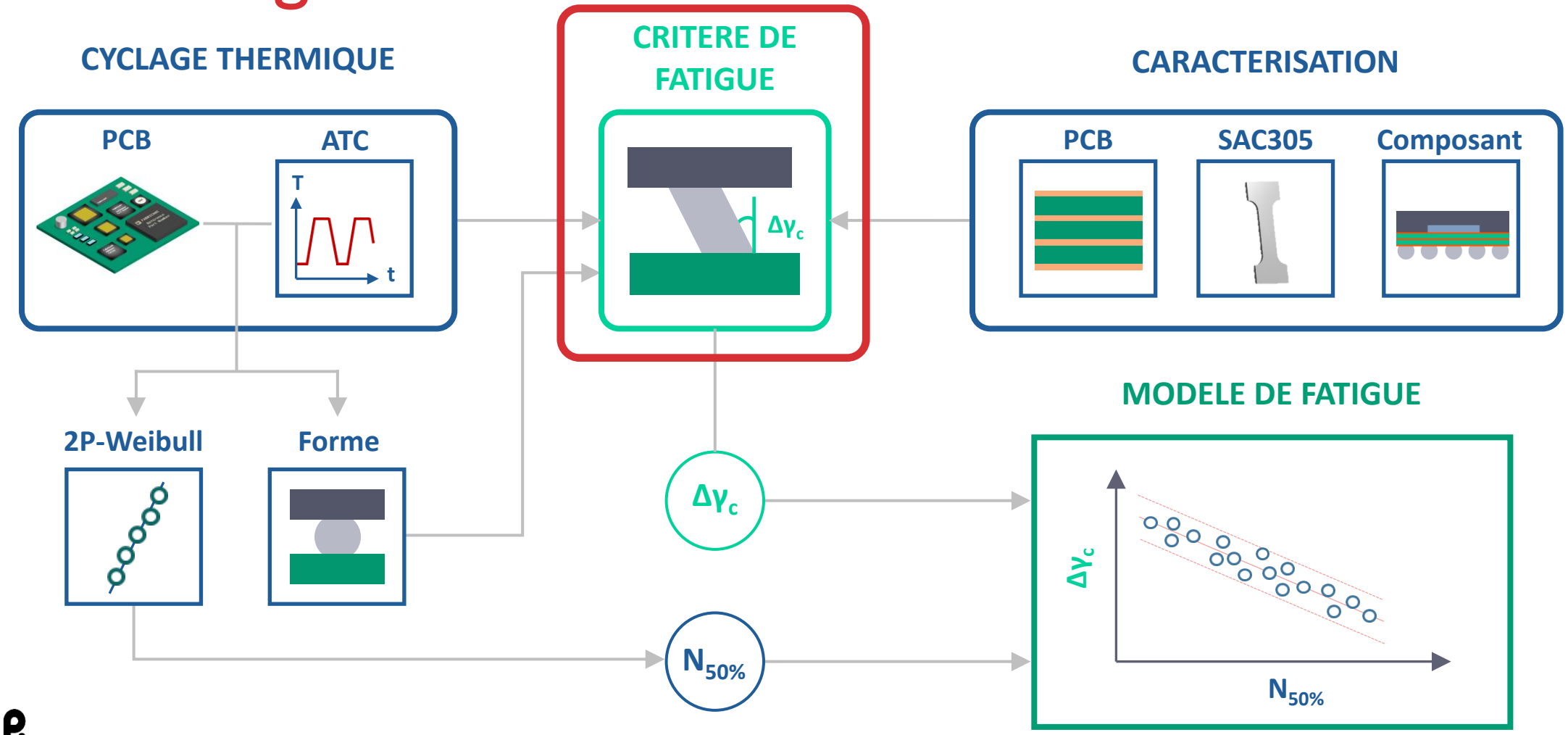


ML8



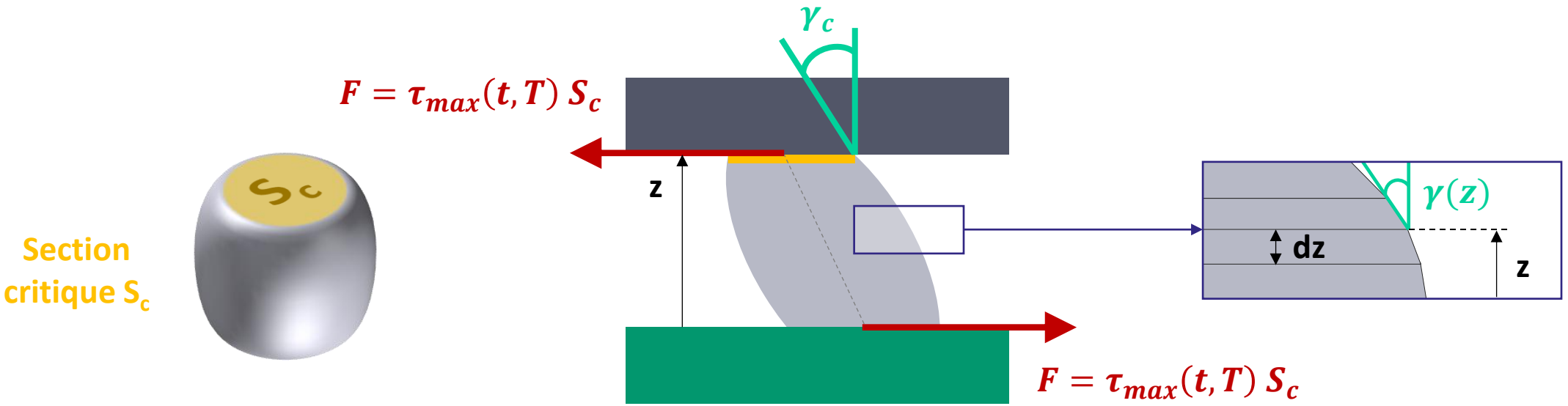


Méthodologie



Développement du modèle

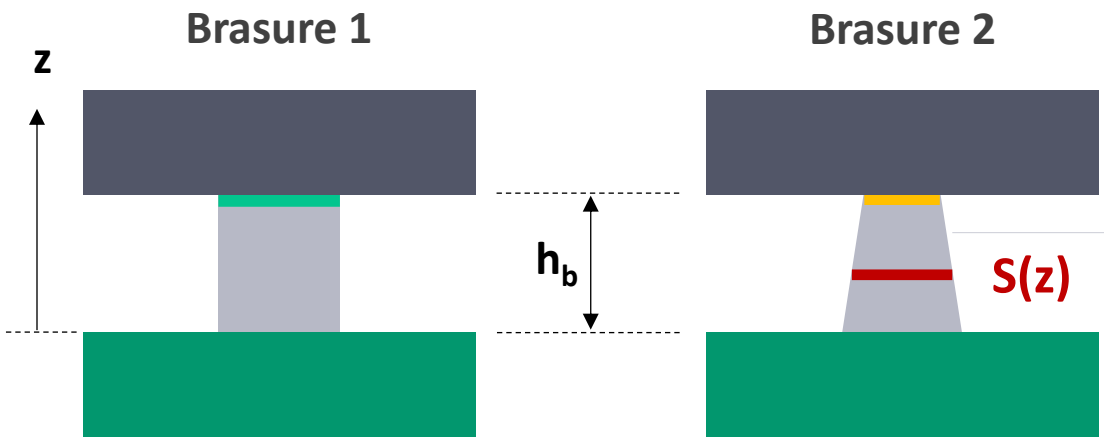
- Critère de fatigue : déformation inélastique en cisaillement (γ_c)

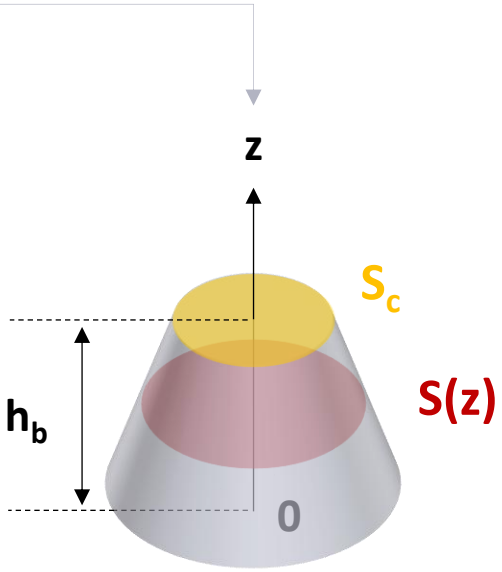


$$\gamma_c(t,T) = \frac{\Delta L_{max} - \left(\Delta L_{PCB/Composant} + \Delta L_{flexion}\right)}{h_i}$$

Développement du modèle

- Prise en compte de la forme de la brasure
  - La plupart des modèles ne considèrent que la hauteur « h_b »
  - La hauteur intégrée « h_i » prend en compte la forme de brasure





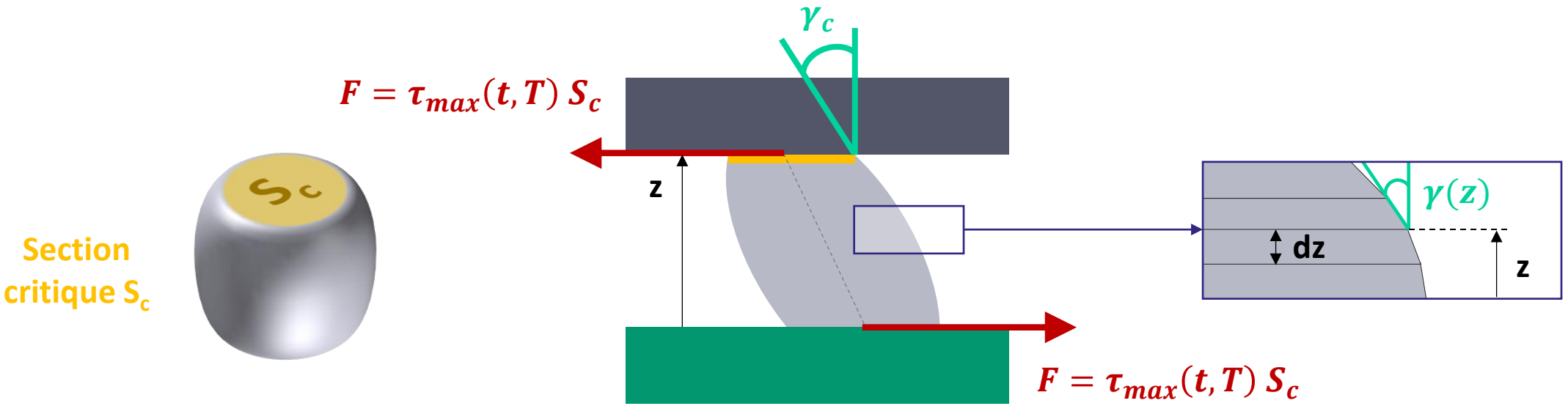
$$h_i = S_c \int_0^{h_b} \frac{1}{S(z)} dz$$

$S_{c_1} > S_{c_2}$

$N_{50\%_1} > N_{50\%_2}$

Développement du modèle

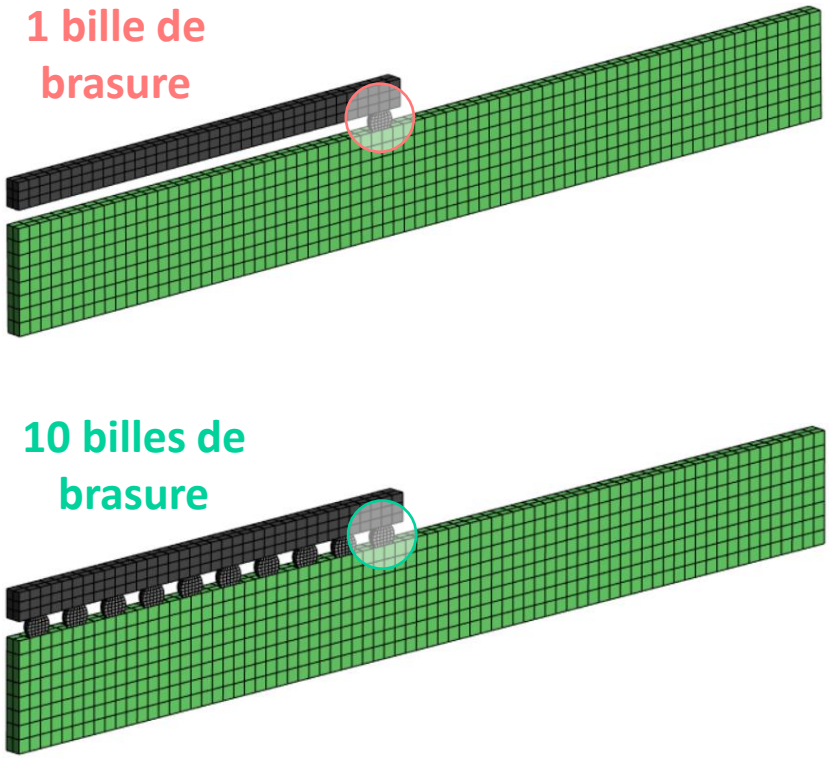
- Critère de fatigue : déformation inélastique en cisaillement (γ_c)

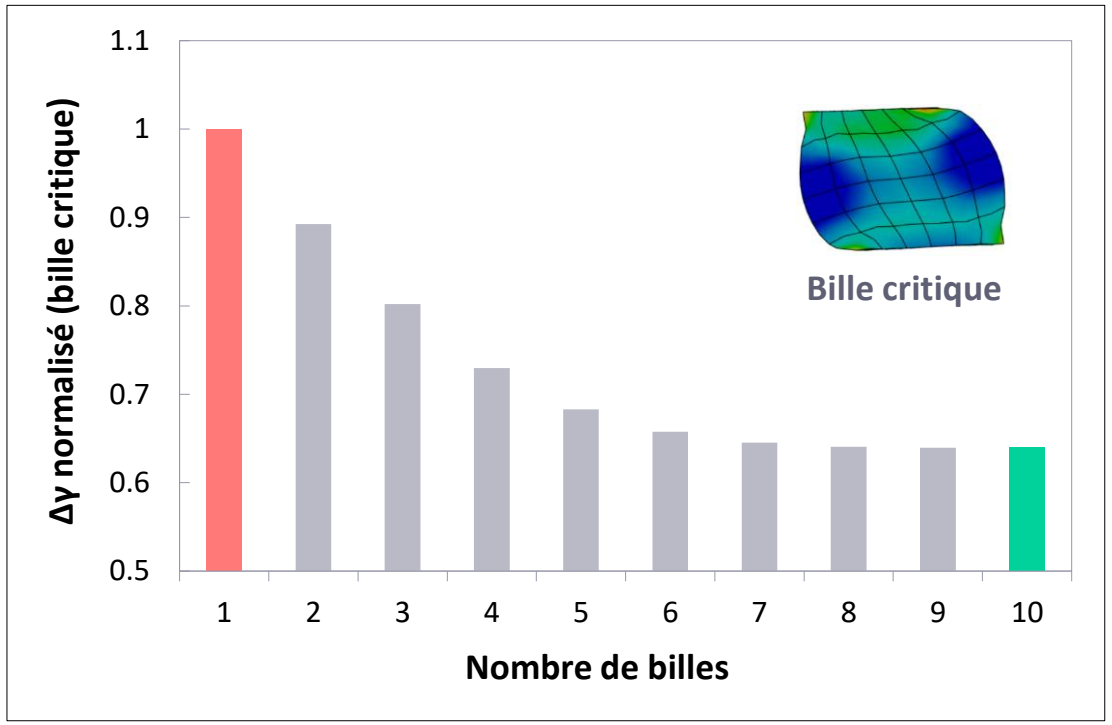


$$\gamma_c(t,T) = \frac{\Delta L_{max} - \left(\Delta L_{PCB/Composant} + \Delta L_{flexion}\right)}{h_i}$$

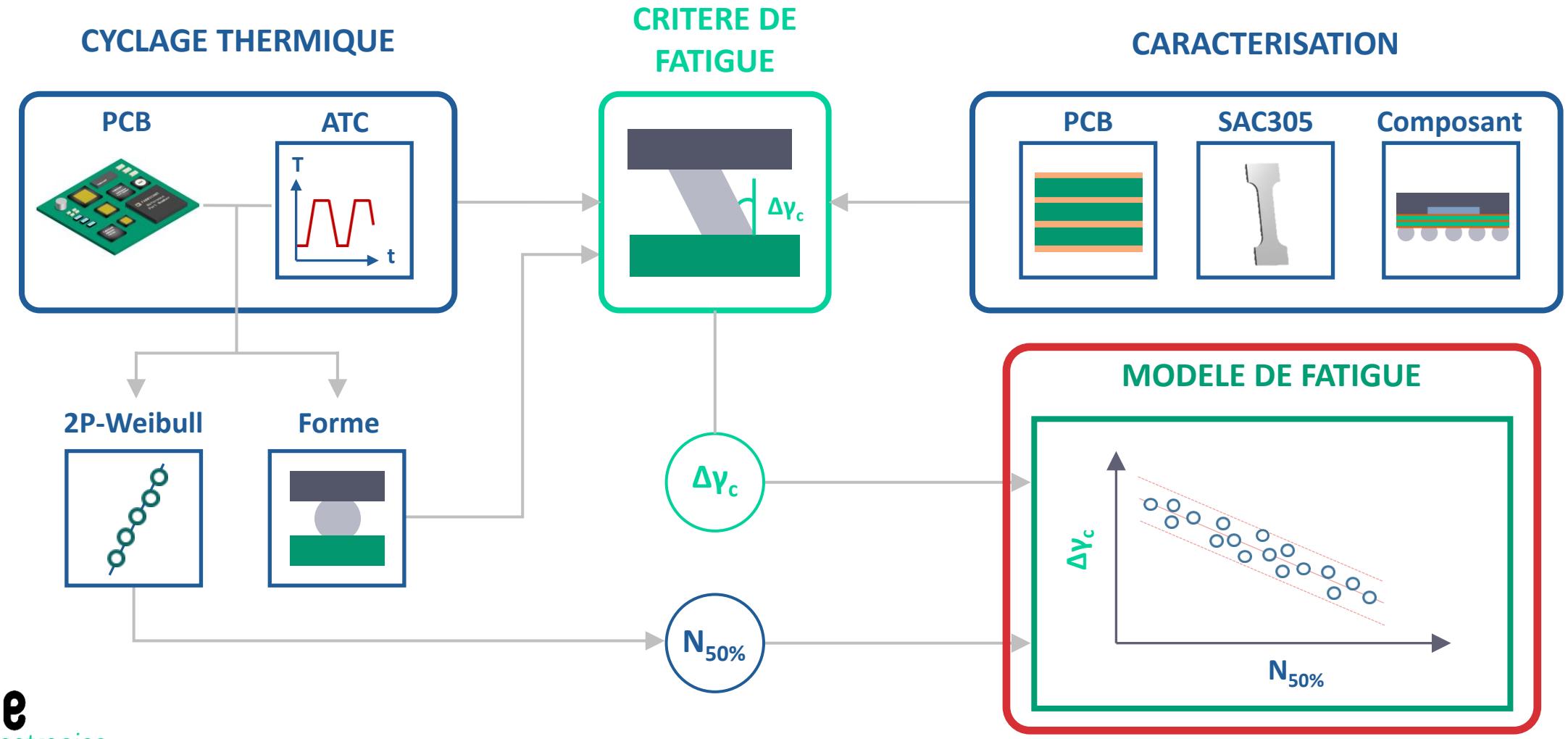
Développement du modèle

- Prise en compte de l'effet de la matrice de billes

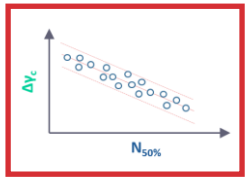




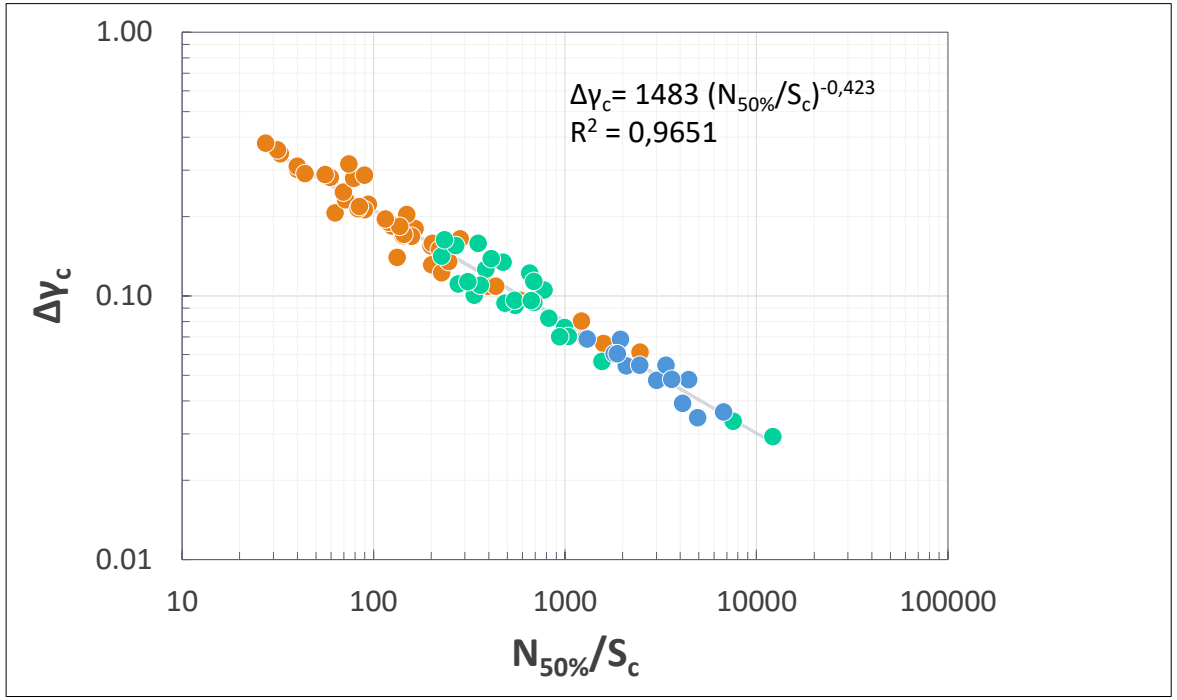
Méthodologie



Développement du modèle



- Corrélation entre la plage de déformations inélastiques en cisaillement ($\Delta\gamma_c$) et le nombre de cycles à défaillance normalisé par la section critique ($N_{50\%}/S_c$)



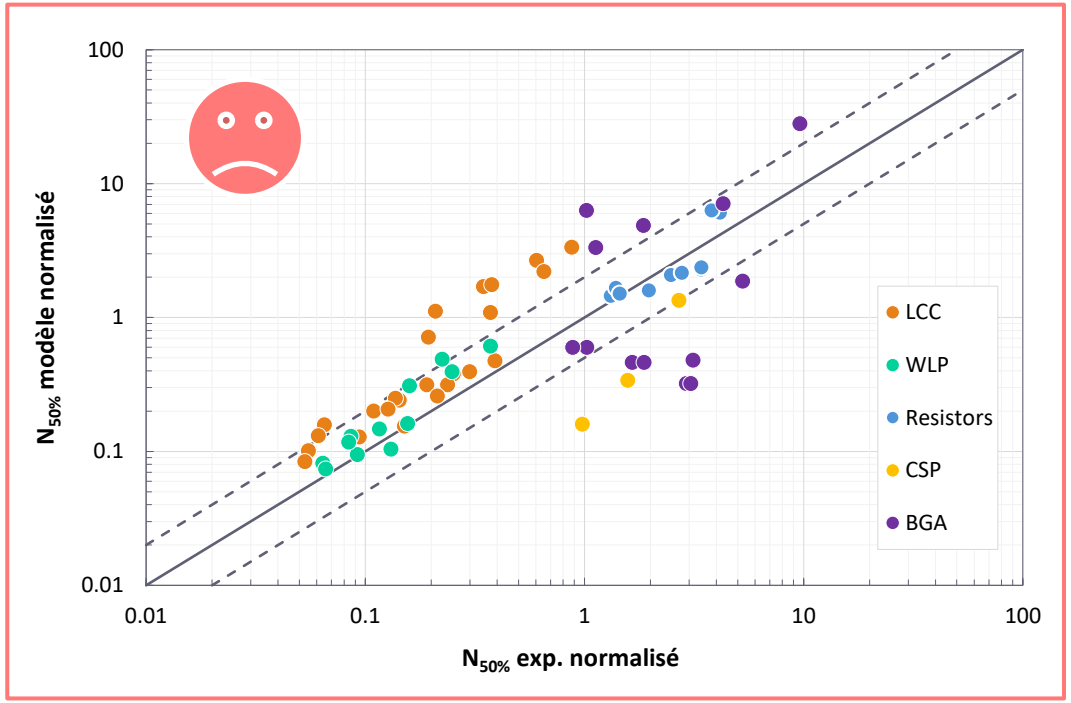
➔ +80 points expérimentaux

➔ Très bon coefficient de corrélation $R^2 = 0,9651$

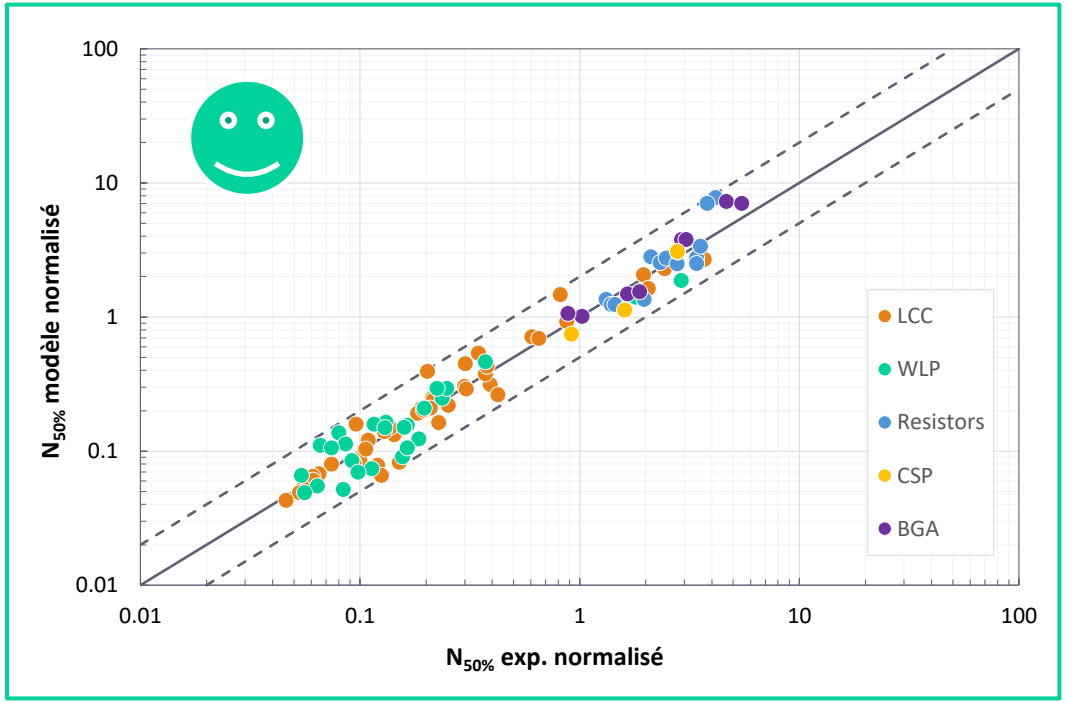
➔ Plusieurs ordres de grandeur en durée de vie couverts

Validation du modèle

- Validation du modèle avec de nouveaux véhicules de test et de nouvelles conditions de cyclage thermique (+20 points expérimentaux)



Modèle type Engelmaier (cf. diapositive 7)



Nouveau modèle validé

Conclusions

- Les données d'entrée (propriétés matériaux du PCB, du composant et de la brasure) sont aussi importantes que le modèle de fatigue lui-même
- Le modèle de fatigue analytique développé permet de rendre compte des effets de 1er ordre du comportement des brasures SAC305 lors de cycles thermiques
- Le modèle prend en compte le comportement viscoplastique des brasures, la flexion de l'assemblage, l'effet de matrice de billes et la forme des joints brasés
- Un logiciel intégrant le modèle de fatigue et les modules de calcul des propriétés matériaux associés est en cours de développement

NRTW 2025

National Reliability Technology Workshop

Mercredi 19 et Jeudi 20 mars 2025 | GANIL – Bd Henri Becquerel, 14000 Caen

Merci pour votre écoute !

Organisé par :