INSA INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES ROUEN

Laboratoire de Mécanique de Normandie (LMN)

جامعة الحسن الأول
UNIVERSITÉ HASSAN 1er

Normandy Reliability Technology Workshop

Présentation sous thème:

METHODOLOGIE Basée SUR LA SIMULATION POUR L'EVALUATION DE LA FIABILITE ET L'OPTIMISATION DES Systèmes Mécatroniques embarqués

Présenté le 15/06/2017 par:

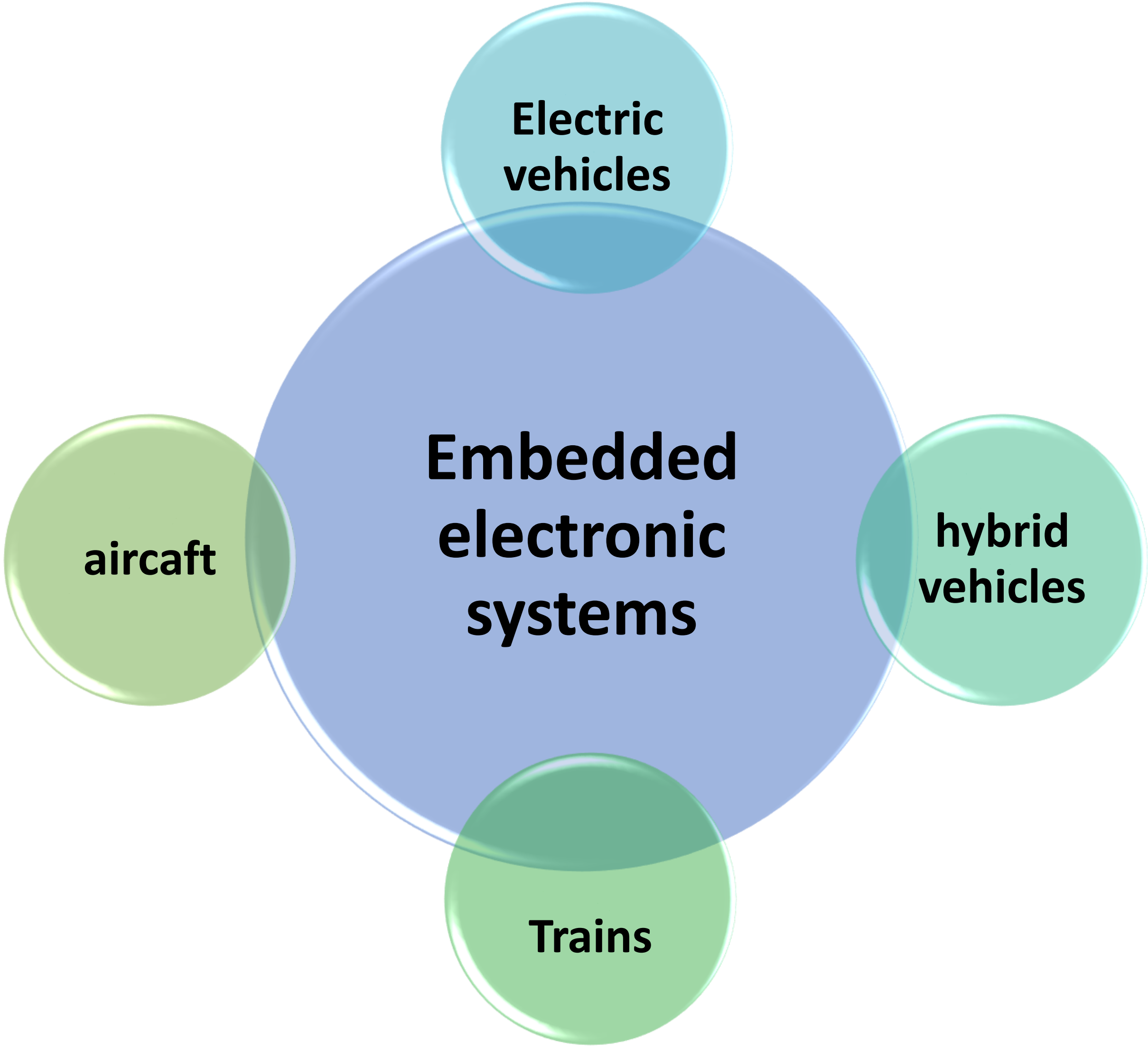
Hamid hamdani

Dirigée par : Abdelkhalak elhami
Bouchïb Radi

Plan

- Contexte scientifique de l'étude
- Métamodélisation
- Application dans la fatigue des joint de brasure Modélisation
  - Modèle EF global
  - Modèle EF local
  - Propriété des matériaux
  - Chargement
  - Modèle de fatigue thermique
  - Optimisation
- Résultats de simulation numérique
- Algorithme d'optimisation
- Conclusion et futur travaux

I. Introduction

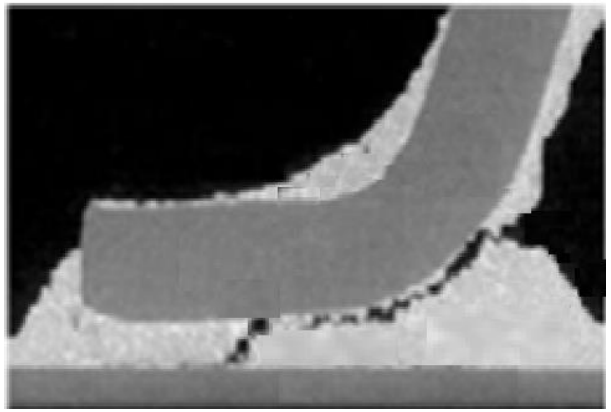


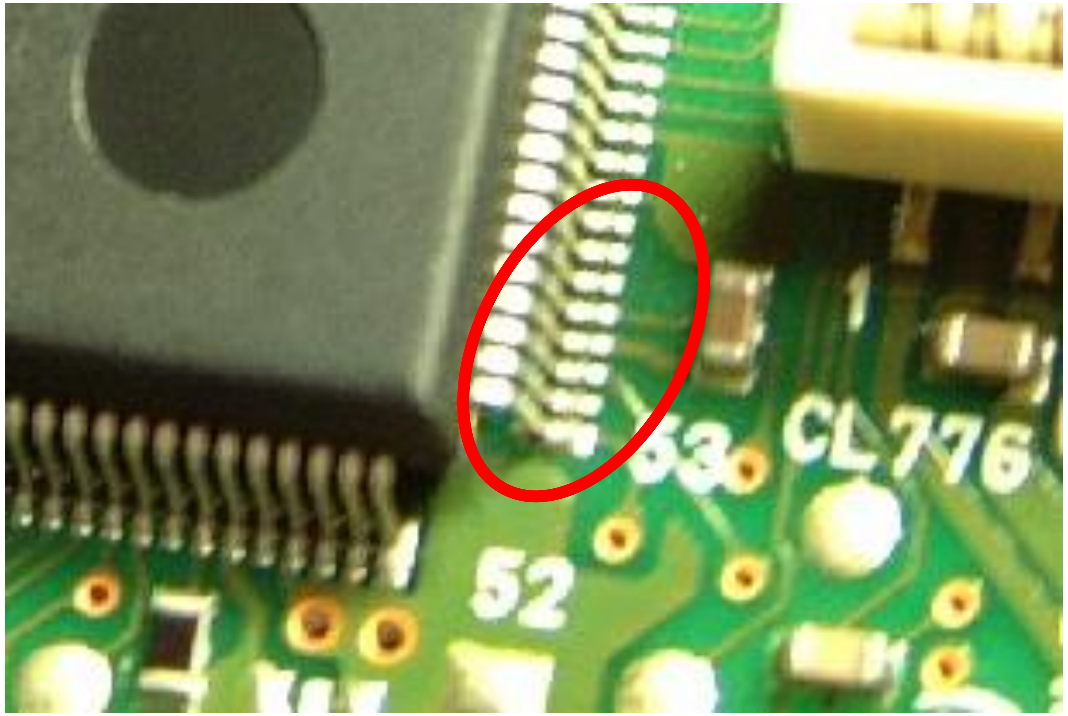
- **Sécurité**
- **fiabilité**

I. Introduction

Défaillances des systèmes mécatroniques embarqués

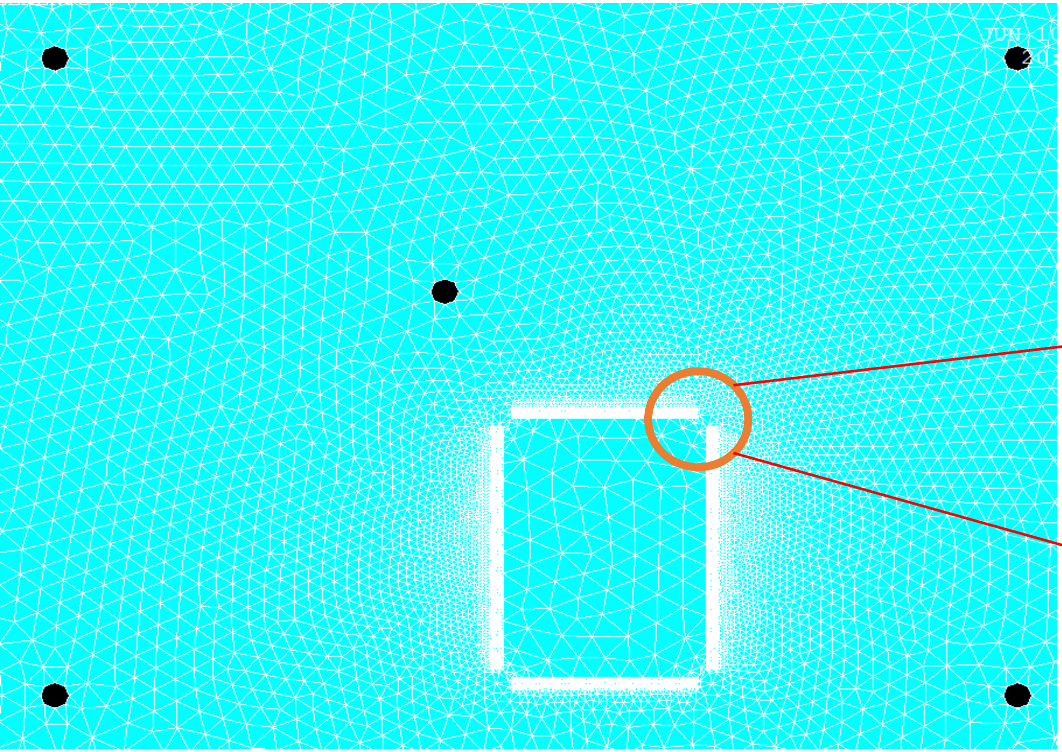
Sollicitations thermiques ← Défaillances des système mécatronique → Solicitations Mécanique
- Chocs
- vibrations



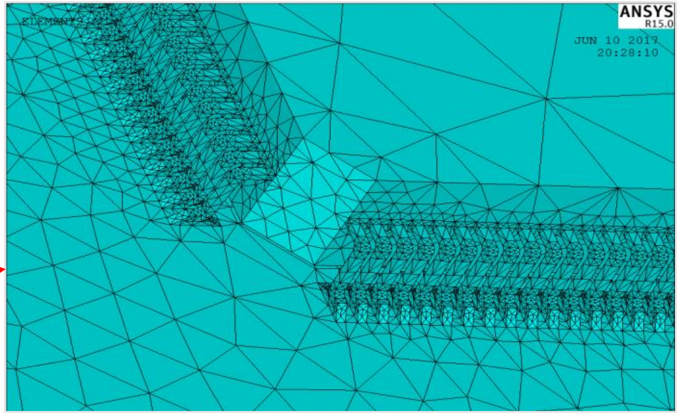


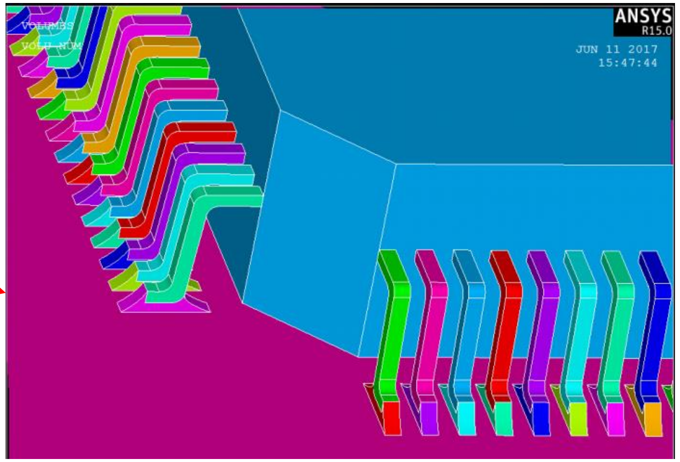
Modélisation numérique

○ Modèle global



Modèle global

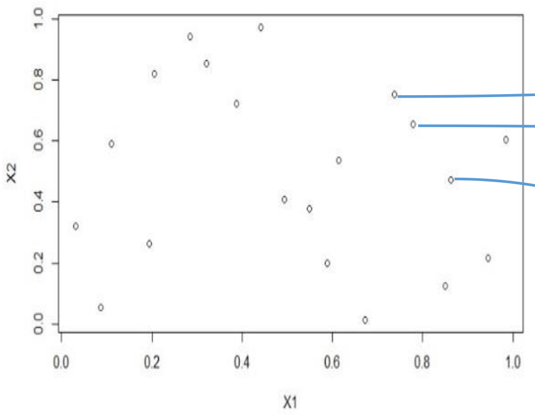




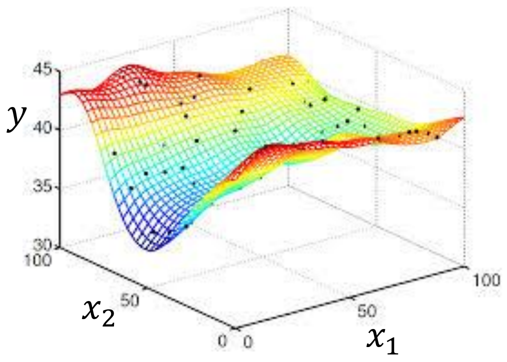
La carte électronique objet de cette étude est composée d'un microcontrôleur de type 256 pin PQFP placé sur un circuit imprimé

I. Métamodèles

○ Definition



$$y^{(1)} = f\left(X^{(1)}\right)$$
$$y^{(2)} = f\left(X^{(1)}\right)$$
$$\vdots \qquad \vdots$$
$$y^{(n)} = f\left(X^{(n)}\right)$$



Process of surrogate modeling

Metamodel

- Kriging
- Polynomial regression model (PR)
- Radial basis function
- Support vector regression
- Mars
- Additive

metamodels

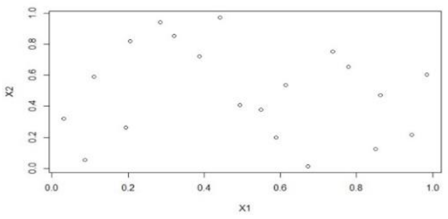
1. Création des plans d'expériences

Une fois les paramètres sont définis, on peut passer à la création des plans d'expériences, ces derniers sont généralement basées sur des Latin hypercubes des autres techniques de plans d'expériences qui sont plus classique sont connus sous le nom de plans factoriels tel que :

-Plans factoriel complet
-Plans centraux composites (CC)

- Plans LHS…
- Plans de Box Behnken

-les plans Dmax
-les plans de Strauss



plan latin hypercube de 20 point

2. Construction du métamodèle

Une fois le plan d'expérience est choisi ainsi que l'ensemble des cofacteurs est définies par ce dernier, l'étape qui suit consiste à construire un métamodèle qui décrit la relation entre les entrées et les sorties.

$$X = \begin{bmatrix} x^{(1)} \\ \vdots \\ x^{(n)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^{(1)} & \dots & x_d^{(1)} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ x_1^{(n)} & \dots & x_d^{(n)} \end{bmatrix} \qquad y = \begin{bmatrix} y^{(1)} \\ \vdots \\ y^{(n)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(X^{(1)}) \\ \vdots \\ f(X^{(n)}) \end{bmatrix}$$

3. Validation du métamodèle

Coefficient de détermination: $$R2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(\,y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(\,y_i - \bar{y})^2}$$

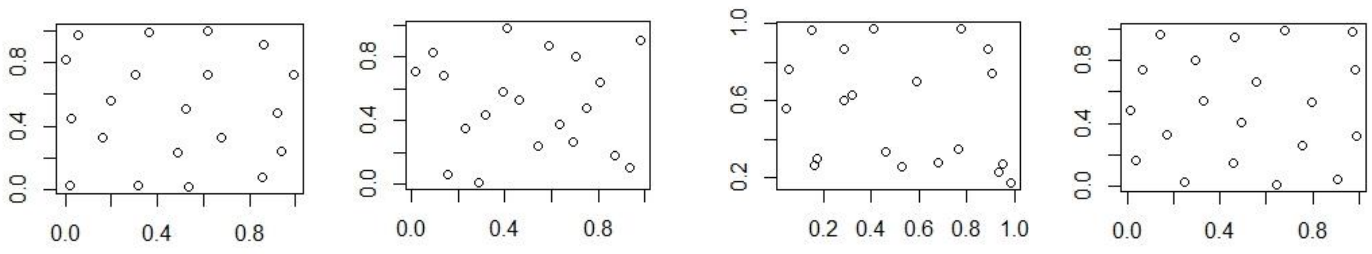
Erreur maximum relative absolue $$RMA = \frac{\underset{1<i<1}{max}|y_i - \hat{y}_i|}{\sigma_y}$$

La racine des erreurs des moindres carrés : $$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \hat{y}_i\right)^2}$$

I. Métamodélisation

○ Exemple d'étude

Choix du plan d'expérience



Dmax design (mindist=0.012) | lhs design (mindist=0.170) | Random design (mindist=0.031) | Strauss optimizé (mindist=0.215)

construction et étude comparative pour la validation

	MARS (degree =2)	PolyMARS (gcv=2)	PRS	Additive	Kriging
Random design	0.635	0.714	0.623	0.909	0.973
Dmax	0.653	0.604	0.645	0.933	0.977
Optimized Strauss	0.561	0.654	0.677	0.935	**0.988**
LHS design	0.261	0.175	0.386	0.549	0.874

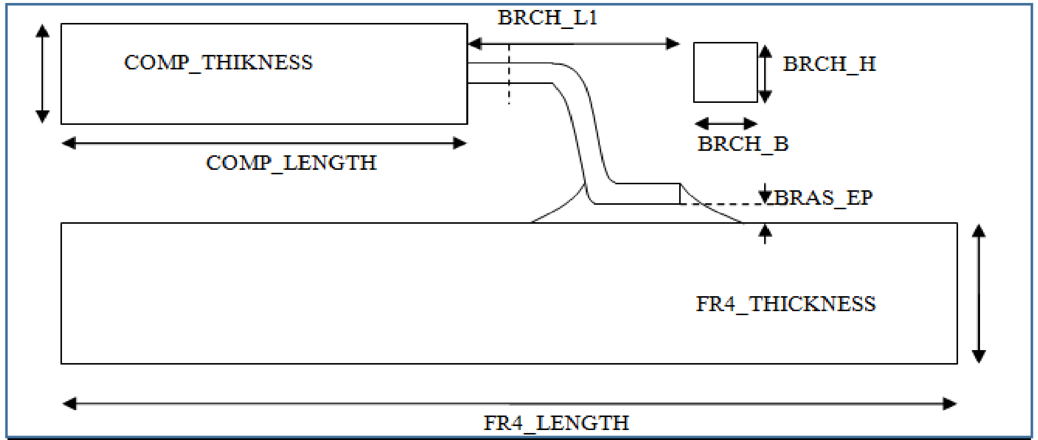
○ Modèle EF local du joint de brasure

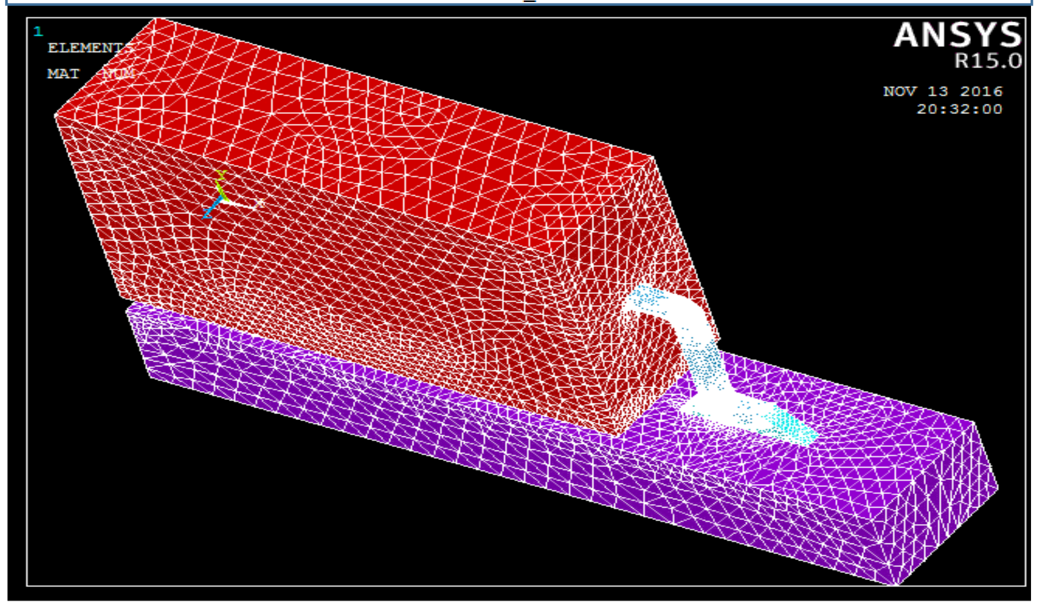
- Un modèle éléments finis 3D de la zone critique est développé, il s'agit du joint de brasure le plus sollicité par un cycle de chargement thermique.

- La technique de « submodeling » permet d'imposer au modèle local des conditions aux limites récupérées du modèle global.

Le modèle local permet de :

- Raffiner le maillage autour de la brasure,
- Tenir compte des non-linéarités matérielles et du comportement viscoplastique de la brasure.





- Pour l'analyse thermomécanique, à l'aide d'un sous-modèle ‘submodel’:
  - les matériaux du composant, du PCB et de la broche sont supposés isotropes et linéaires.
  - le matériau des joints de brasure (SnAgCu) est supposé avoir un comportement viscoplastique.

Propriétés des matériaux	SAC305	FR4	Résine EPOXY	Cu
Module de Young (GPa)	51.3	17	17	115
Coefficient de poisson	0.3	0.3	0.2	0.31
Densité (Kg/m³)	740	180	180	8890
CTE (µm/K)	20	18	22	17
Module de cisaillement	19	2.4	7.4	44

Le modèle d’Anand pour la modélisation du joint de brasure

$$\dot{\varepsilon}_p = A \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right)\left[\sinh\left(\xi\frac{\sigma}{s}\right)\right]^{1/m}$$

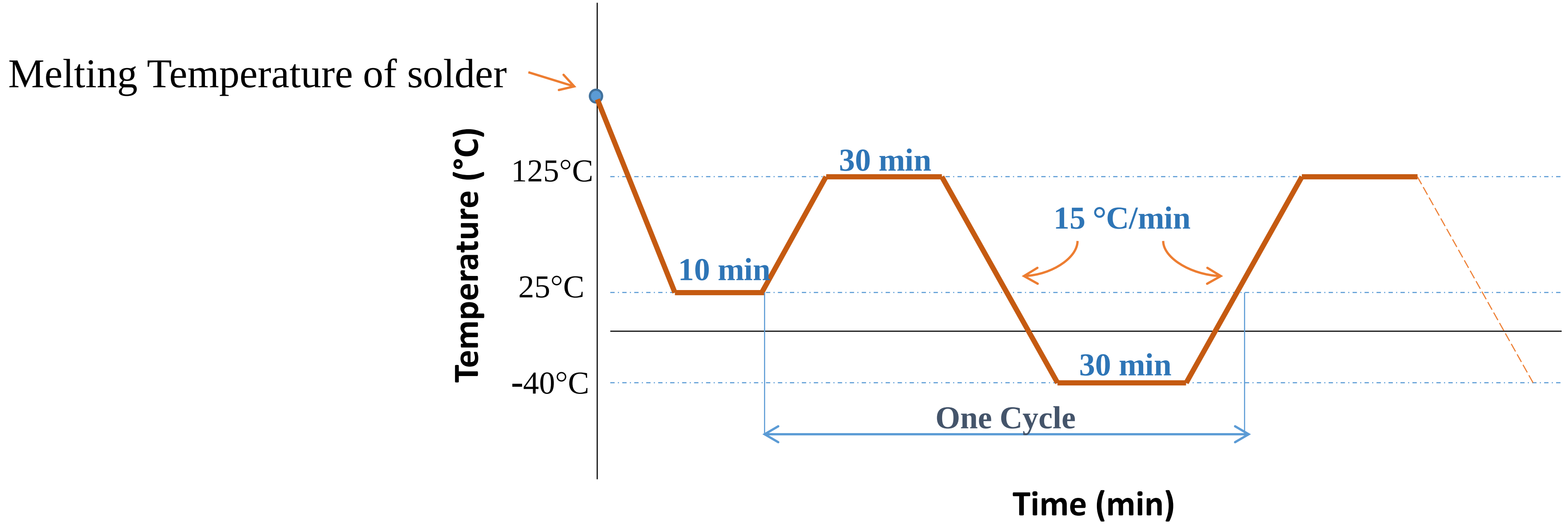
$$\dot{s} = \left\{h_0\left|1-\frac{s}{s^*}\right|^a \times sign\left(1-\frac{s}{s^*}\right)\right\} \times \dot{\varepsilon}_p\ ;\ \ a>1$$

$$s^* = \hat{s}\left[\frac{\dot{\varepsilon}_p}{A} exp\left(\frac{Q}{RT}\right)\right]^n$$

Modélisation numérique

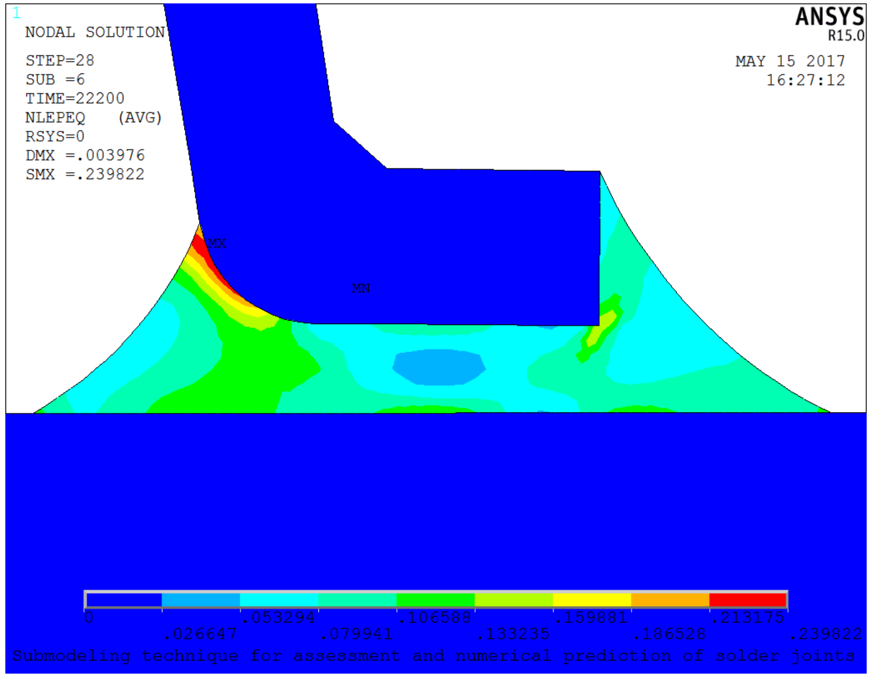
- conditions aux limites thermique

- Tout le modèle est soumis à des variations cycliques de la température.
- Simulation du processus de refusions de la brasure afin de prendre en considération les contraintes initiales.
- Appliquer au modèle EF six cycles thermiques variant entre -40°C et 125°C avec une vitesse de variation de 15°C/min et des durées de pallier de 30 min .

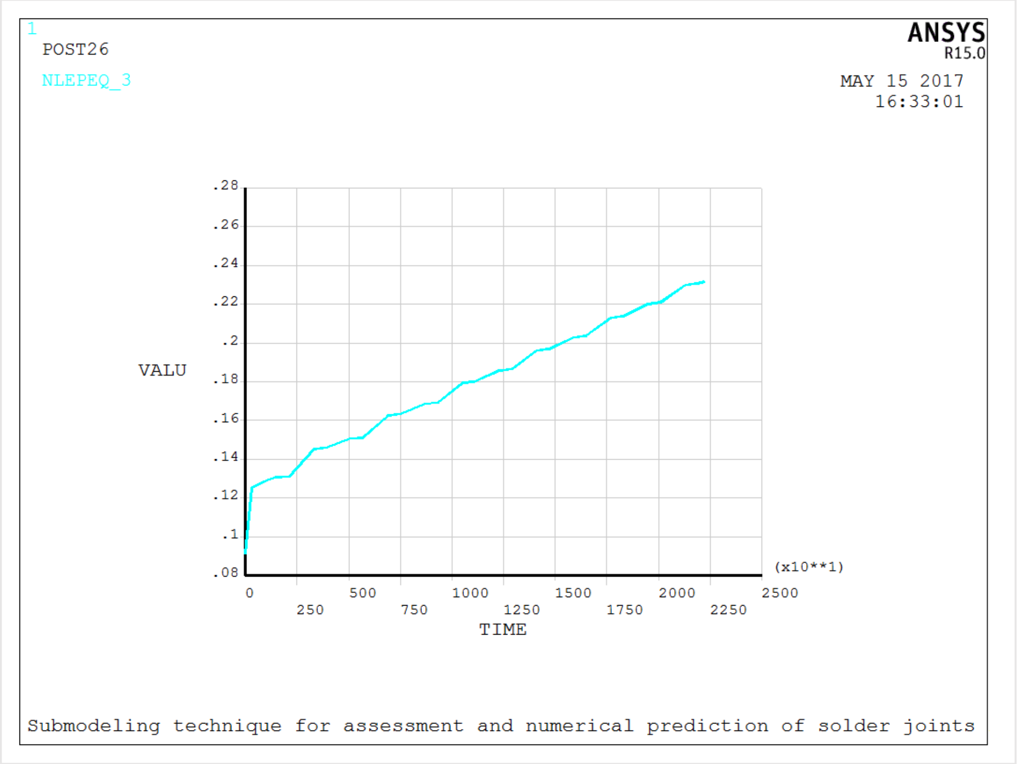


Modélisation numérique

○ Résultats

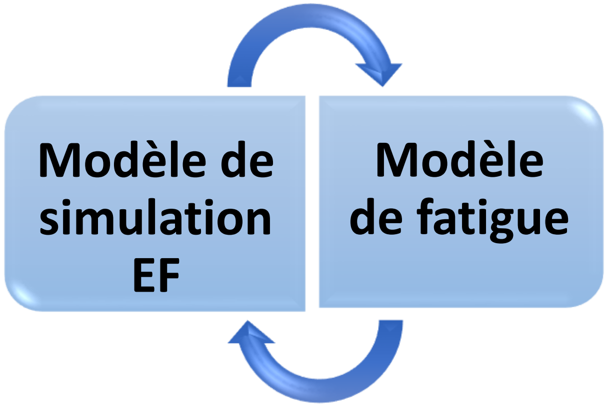


Distribution de la déformation inélastique dans le joint de brasure



Evolution de la déformation plastique équivalente au niveau du joint de brasure

Modèle de fatigue thermique



- Approche basée sur la contrainte,
- Approche basée sur la déformation plastique,
- Approche basée sur le fluage,
- Approche basée sur l'énergie,
- Approche basée sur l’endommagement

Application au cas d’étude
Nf = 750

Modèle de fatigue de Coffin-Manson

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\Delta\varepsilon_p}{\varepsilon_f}\right)^{\frac{1}{c}}$$

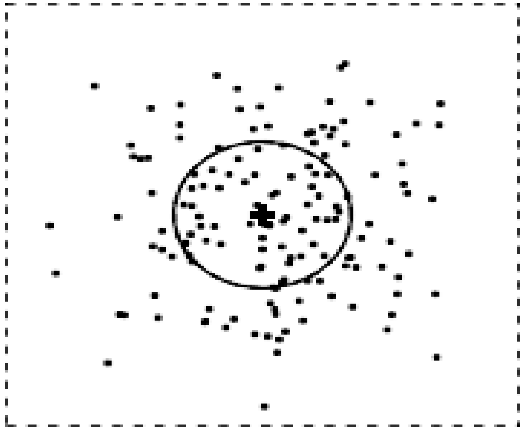
Task: **minimize** an **objective function** (*fitness* function, *loss* function) in continuous domain

$$f : X \subseteq \mathbb{R}^n \to \mathbb{R}, \qquad \boldsymbol{x} \mapsto f(\boldsymbol{x})$$

Black Box scenario (direct search scenario)

gradients are not available or not useful

New search points are sampled normally distributed



$$\mathbf{x}_i \sim \mathbf{m} + \sigma N_i(\mathbf{0}, \mathbf{C}) \qquad \text{for } i = 1, \ldots, \lambda$$

as perturbations of $\mathbf{m}$, where $\mathbf{x}_i$, $\mathbf{m} \in R^n$, $\sigma \in R_+$, $\mathbf{C} \in R^{n\times n}$

where

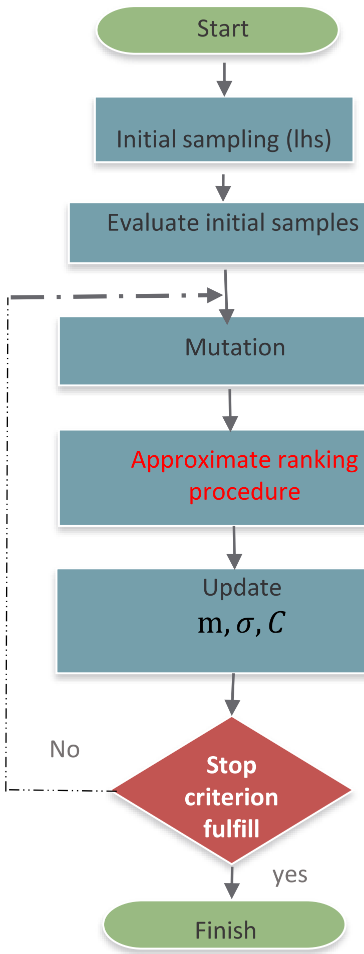
The mean vector $\mathbf{m} \in R^n$ represents the favorite solution

and $\mathbf{m} \leftarrow \sum_{i=1}^{\mu} w_i \mathbf{x}_{i:\lambda}$

the so-called step-size $\sigma \in R_+$ controls the *step length*

the covariance matrix $\mathbf{C} \in R^{n\times n}$ determines the **shape** of the distribution ellipsoid

KA-CMA-ES — Stratégie d’evolution et Adaptation de la matrice de covariance

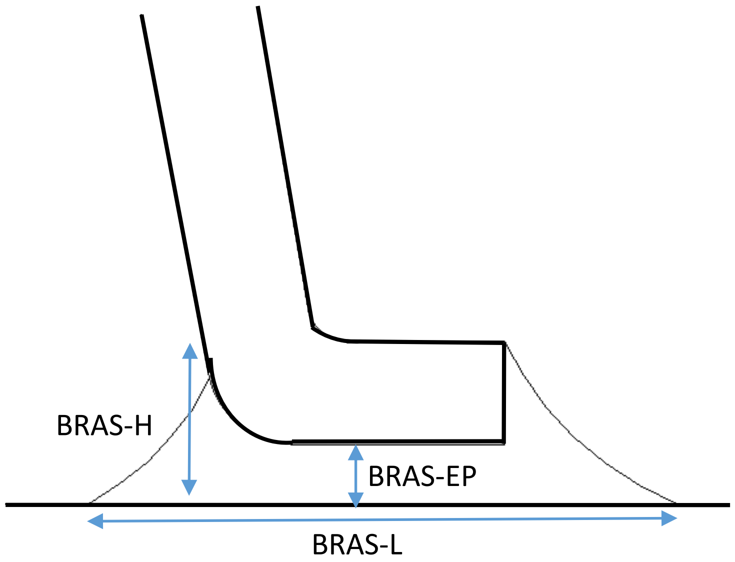


The KA-CMA-ES using Approximate Ranking Procedure (ARP)

1. **Given** : $(z_k, x_k)_{k=1}^{\lambda}, m^{(g)}, \sigma^{(g)}, C^{(g)}, \mathrm{t, A, f(x), C(x)}$
2. Approximate :D_T ←training_ set _selection (A) ,
   $\hat{f}$ ←model _training (D_T)and predict f_k=$\hat{f}$ (x_k),k=1,…,λ
3. Rank and determine the parent set P_m={$x_{i:k}\}_{i=1}^{\mu}$where$\hat{f}(x_{1:\lambda})$≤ $\hat{f}(x_{2:\lambda})$ ≤ … ≤ $\hat{f}(x_{\lambda:\lambda})$
4. Select the n_{init}best individuals based on metric (C(x_k))$_{k=1}^{\lambda}$ computed by model $\hat{f}$
5. Evaluate the n_{init} selected individuals by f(x) and add to the set A, t←t+n_{init}
6. approximate :D_T ← training _set _selection
   $\hat{f}$ ←model _training (D_T)and predict f_k=$\hat{f}$ (x_k),k=1,…,λ
7. determine the parent set P_m={$x_{i:k}\}_{i=1}^{\mu}$where$\hat{f}(x_{1:\lambda})$ ≤ $\hat{f}(x_{2:\lambda})$ ≤ … ≤ $\hat{f}(x_{\lambda:\lambda})$
8. **if** $P_{m-1} \neq P_m$ **then** (the parent set has changed)
9. select n_b best individuals based on metric (C(x_k))$_{k=1}^{\lambda}$ computed by model $\hat{f}$
10. Evaluate the n_b selected individuals by f(x) and add to the set A, t ←t+n_b
11. **Else** (parent set remains unchanged)

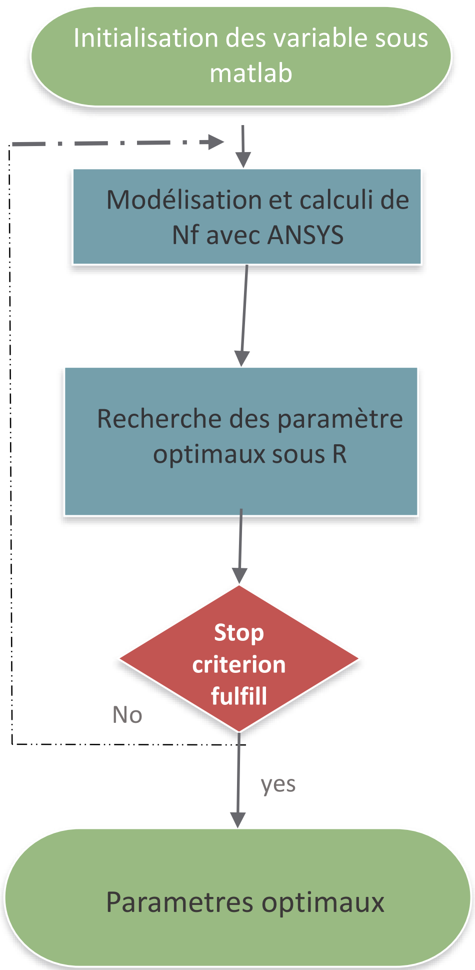
Modified Approximate Ranking Procedure (ARP)

Fonction et Variables d'optimisation



$$\begin{cases} \max\,(f\,x) \;=\; \max\, Nf \\ 0.1 \leq \text{BRAS\_EP} \leq 0.25 \\ 0.16 \leq \text{BRCH\_L} \leq 0{,}5 \\ 0.1 \leq \text{BRCH\_H} \leq 0.3 \end{cases}$$

Méthodologie d'optimisation



Résultats d'optimisation

	Méthode déterministe	Méthode d'optimisation
BRAS-H	0,19	0,25
BRAS-EP	0,16	0,21
BRAS-L	0,35	0,41
	Nf=800	Nf=920

Conclusion et perspectives

Conclusion

Dans cette étude, une analyse de l'élément fini thermomécanique non linéaire est utilisée pour prédire la performance de fiabilité des joints de brasures d'un package mécatronique, ainsi que l'optimisation du joint de brasure.

Futur travaux

Les travaux en cours sont:

- La prise en compte des incertitudes des paramètres du modèle, des dimensions géométriques, la fluctuation des chargements thermiques et des conditions en service
- l'élaboration d'une méthodologie probabilistes pour une caractérisation robuste des alliages des joints de brasure.

MERCI
POUR VOTRE ATTENTION

INSA INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES ROUEN

Laboratoire de Mécanique de Normandie (LMN)

جامعة الحسن الأول
UNIVERSITÉ HASSAN 1er

Normandy Reliability Technology Workshop

Présentation sous thème:

METHODOLOGIE Basée SUR LA SIMULATION POUR L'EVALUATION DE LA FIABILITE ET L'OPTIMISATION DES Systèmes Mécatroniques embarqués

Présenté le 15/06/2017 par:

Hamid hamdani

Dirigée par : Abdelkhalak elhami
Bouchïb Radi