



Centre Français Fiabilité

INSA | INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE



Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

*Reliability and optimization of
Electro-thermo-mechanical systems*

Laboratoire de Mécanique de
Normandie (LMN)
INSA Rouen Normandie

Prof. Abdelkhalak EL HAMI

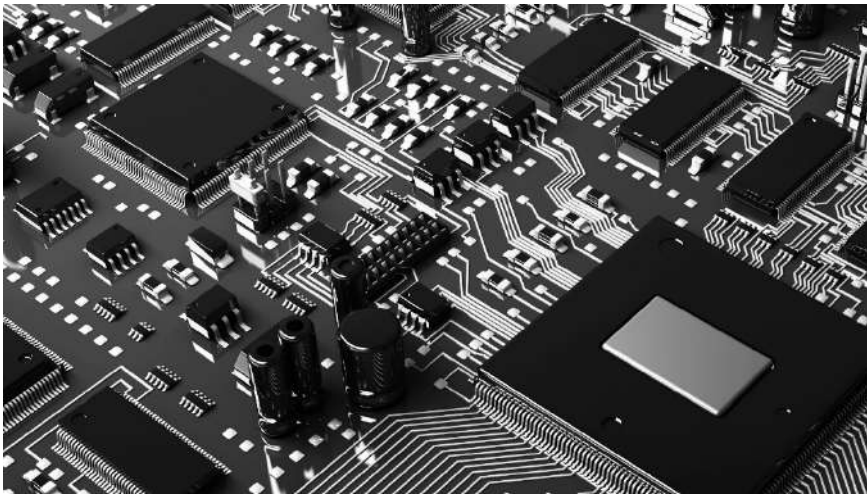


Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

Initiative

Le Centre Français de Fiabilité

Regroupement d'experts de la fiabilité des systèmes et des composants électroniques



ASTech Paris Region, pôle de compétitivité dans le domaine de l'aéronautique, de l'espace et de la défense.



NAE (Normandie AeroEspace), la filière d'excellence en Normandie dans l'aéronautique, le spatial, la défense et la sécurité.



Pôle de compétitivité européen, **NextMove** rassemble en Normandie et Île-de-France, la « Mobility valley » française, toutes les énergies de l'écosystème Automobile et Mobilités.

Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF sont un évènement mensuel, organisé en visioconférence sur des travaux en lien avec les thématiques du CFF.

Cette année, nous vous proposons de profiter de ce temps d'échanges pour vous présenter les compétences au sein de la communauté CFF, et de donner « carte blanche » à un membre pour présenter des travaux, des projets, des résultats et des perspectives, sur un sujet particulier en lien avec la Fiabilité des Composants et Systèmes Electroniques.



Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

Modalités

Format de la webconférence :

La webconférence se déroule via l'outil de conférence Cisco WebEx.

La webconférence dure **60 minutes, de 13h00 à 14h00.**

Une séance de Questions / Réponses se tiendra durant 10 mn à l'issue de l'intervention.

Règles de fonctionnement de la webconférence :

Pour l'intervenant : il aura le rôle de présentateur pour afficher son support de présentation.

Dans la mesure du possible, il allumera sa webcam durant son exposé.

Pour les auditeurs : **vos micros seront coupés durant la webconférence.**

Vous pourrez poser vos **questions** par le **chat de l'application** durant l'exposé.

Il n'y a pas de nécessité de connecter sa webcam.

Pour des soucis de qualité, nous vous conseillons de vous munir d'un système audio adapté.

Et après :

Les présentations seront mises à disposition via un lien de téléchargement sur le site du CFF.

Il n'y aura pas de replay pour des raisons de confidentialités de certains éléments échangés.



Le Centre Français de Fiabilité

Expertises - synthèse

Mettre en gras le ou les champs concernés

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE

LMN

Laboratoire de Mécanique de Normandie

INSA Rouen Normandie

Bd de l'Université, 76800 St Etienne du Rouvray

Contact : abdelkhalak.elhami@insa-rouen.fr

Type



Académique

Industriel

Cluster

Société savante

Domaines



Modélisation et simulation



Expérimental



Cycle de vie

Les activités sont axées sur des recherches couplant les approches analytico-numériques et les approches expérimentales des axes suivants:

- Fiabilité et l'optimisation des systèmes multi-physiques
- Fiabilité Numérique et expérimentale en mécanique des structures
- Fiabilité et optimisation des systèmes couplés

Thématiques :



Fiabilité des composants électroniques de puissance et leur packaging



Fiabilité des technologies liées à la connectique et à l'assemblage (connectiques, PCB, Busbars...)



Fiabilité des systèmes mécatroniques

Expertises :



Connaissances et moyens d'investigations sur les matériaux « électriques » et les composants



Ingénierie de l'environnement (mécanique, climatique et Compatibilité électromagnétique [CEM])



Management thermique



DataScience, Statistique et IA



Analyse de construction



Analyse de défaillance

Participez vous à des groupes de normalisation ?

☐ Non ☒ Si oui, lesquels : tous



Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

OUTLINE

INSA | INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE



- **Context**
- **Introduction**
- **Basic principles**
- **Developments**
- **New formulation :**
- **Numerical example**
- **Conclusion and Perspectives**

Prof. Abdelkhalak EL HAMI

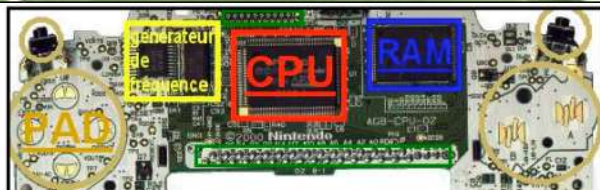
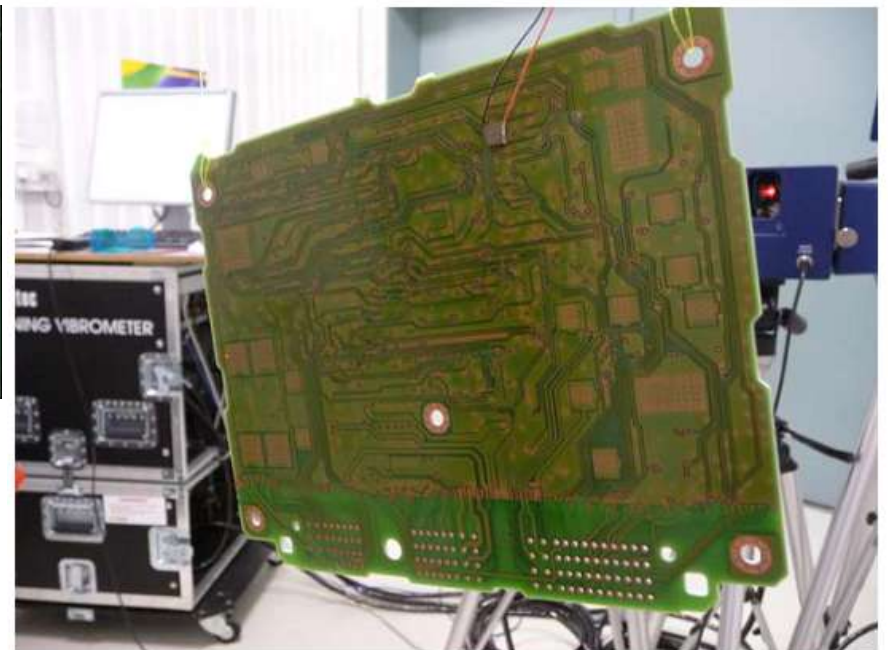
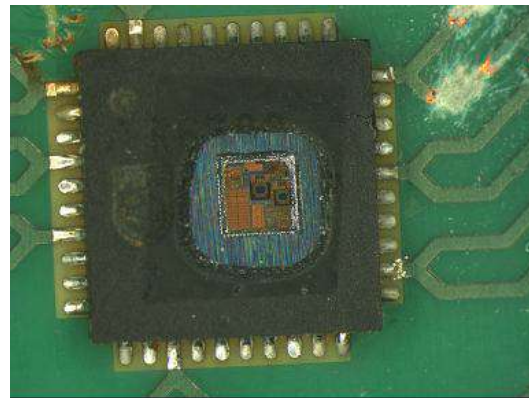
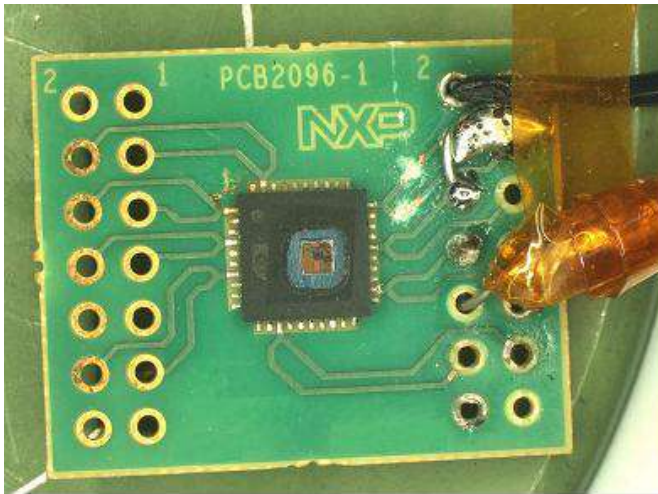


Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

Introduction

In the embedded electronics and mechatronical system design, it is very important to minimize the structural cost and to maximize safety

Most of the critical failures are generated by the interactions between the sub systems, implemented in different technologies, e.g. mechanics, electronics, and software. Therefore the analysis of the system as a whole is not enough and it is necessary to study all the interactions in order to estimate the system reliability.



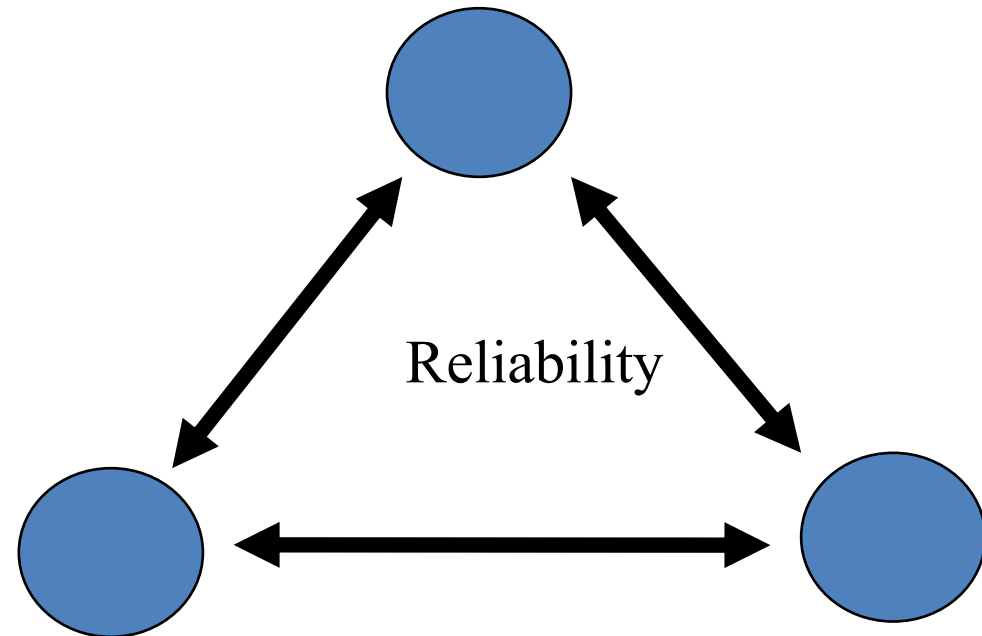
Abdelkhalak EL HAMI



Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

LMN – INSA Rouen Normandie

Probability Applied,
Uncertainties, Identification



Experimental
Techniques, Optical
measurements

Modeling
Simulation,
Optimization

INSA | INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE

LMN

Abdelkhalak EL HAMI

11 avril 2023



7



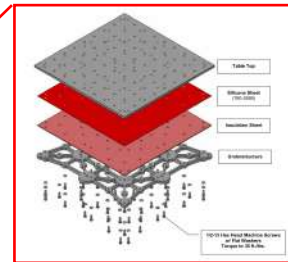


Contexte & exemples

Des tests qui
poussent à leurs
limites de
défaillance

Amélioration de la performance et éviter la défaillance

PISTIS



~~Configuration de l'assemblage~~

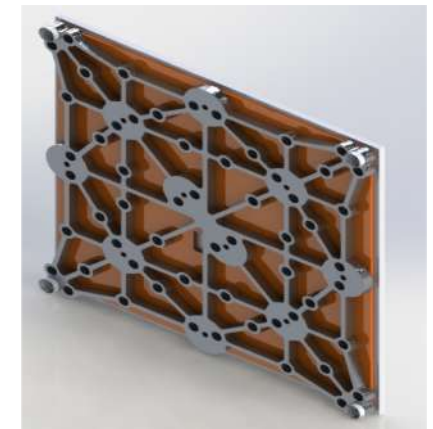


Table Qualmark

Disposition des marteaux sous la table

QUALMARK == MB Electronique

11 avril 2023



8





Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

Contexte & exemples

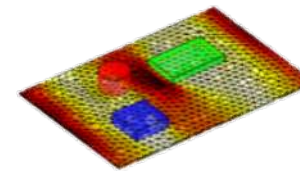
INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE



Expérimental

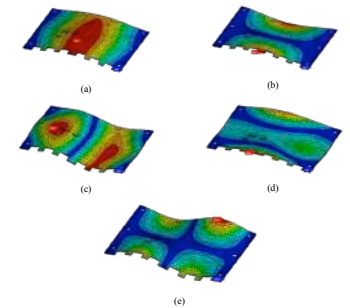


Numérique



(a)

Etude de fiabilité des
systèmes



Optimisation
fiabiliste

Abdelkhalak EL HAMI

11 avril 2023



9





Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

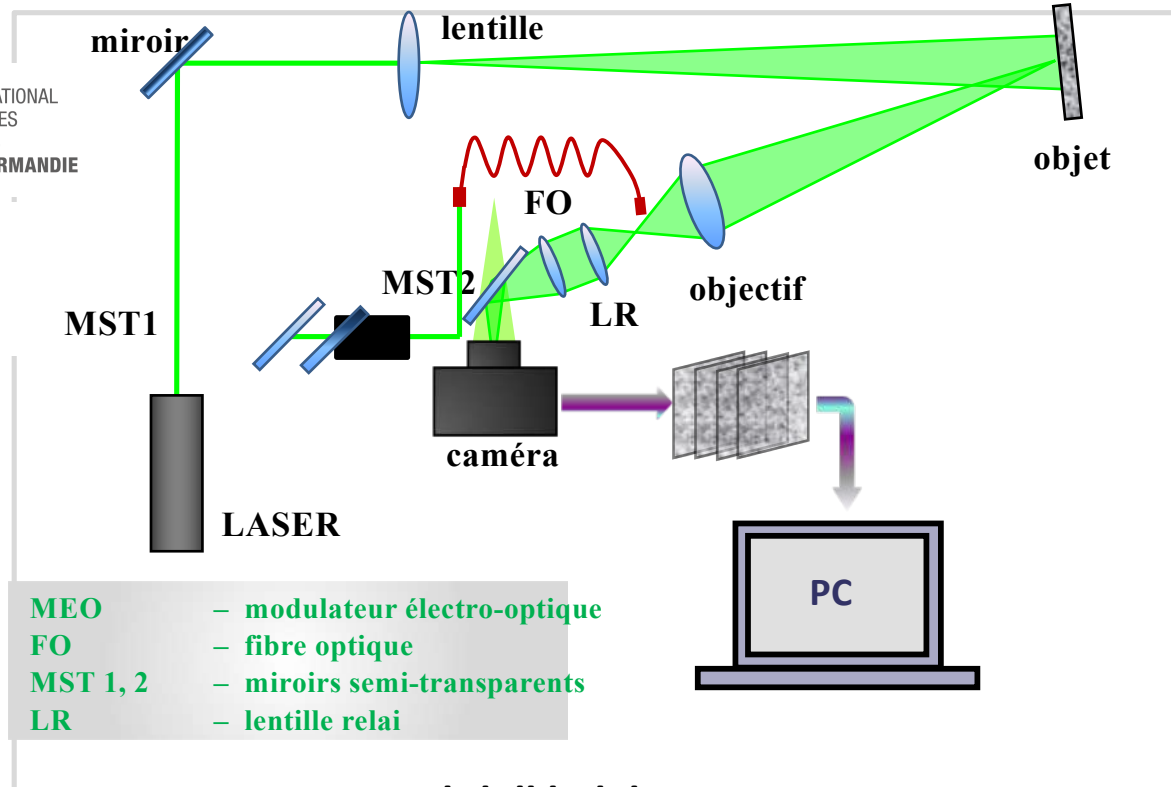
Bench of dynamic deformations measurements by fast Speckle interferometry

Development of a fast IS system capable of performing field measurements of dynamic phenomena resolved over time.

- Basée sur l'IS à laser continu;
- Intègre une caméra rapide;
- Acquisition des séries d'interférogrammes

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE

LMN



Abdelkhalak EL HAMI

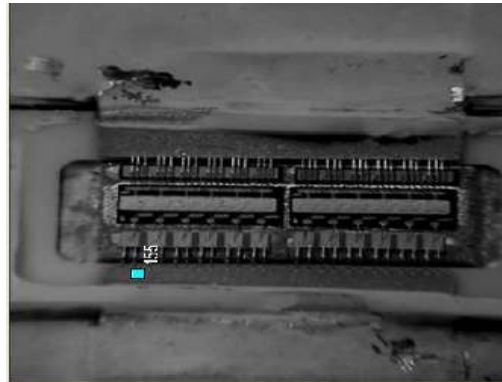


17



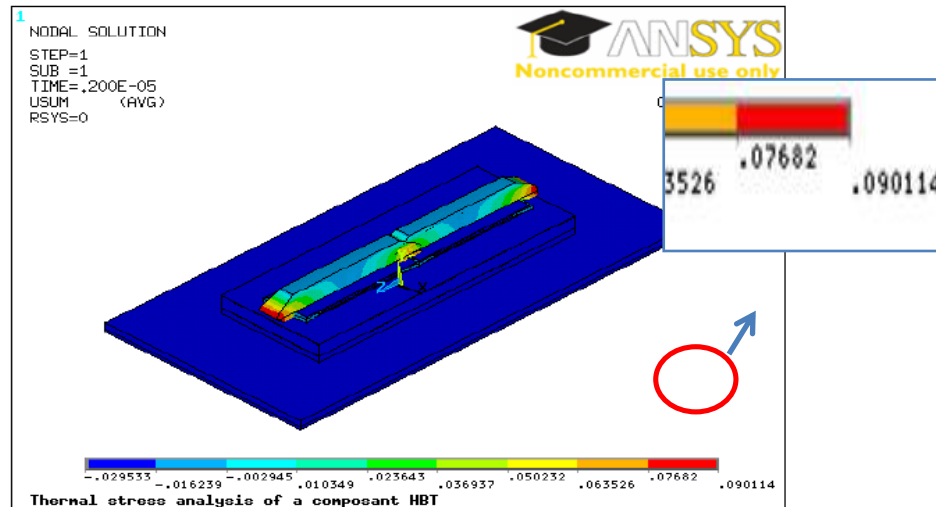
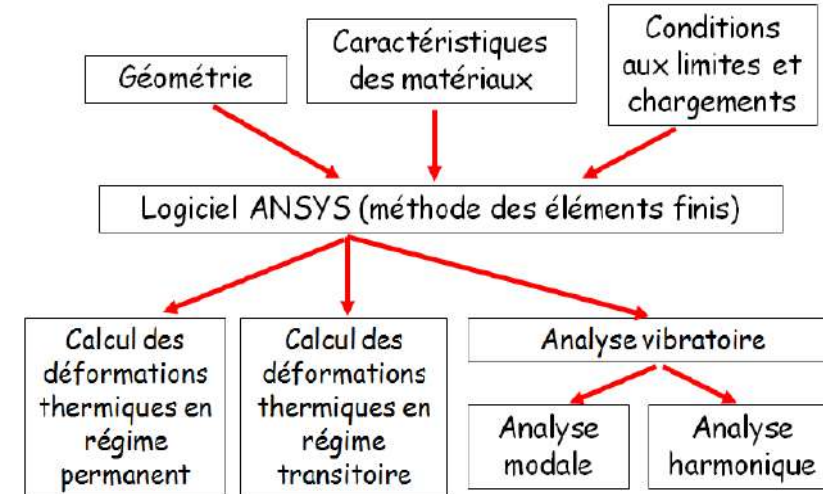
Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

Calculates and measures out-of-plane (displacement) deformations produced under electrical excitation

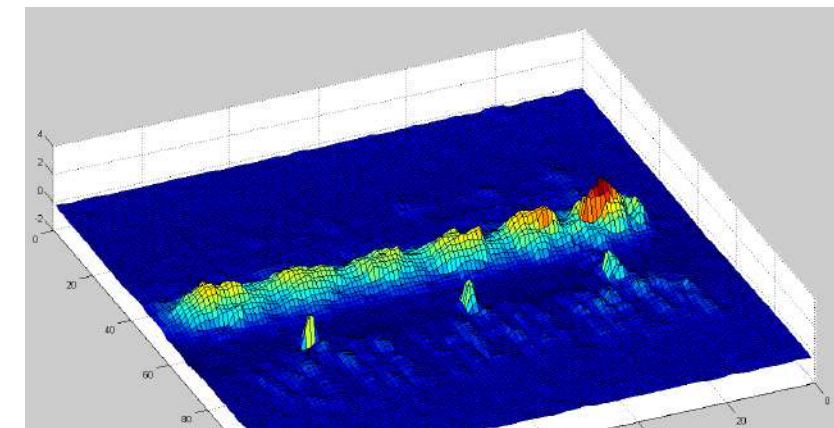


INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE

LMN



Résultats du modèle numérique (90nm)



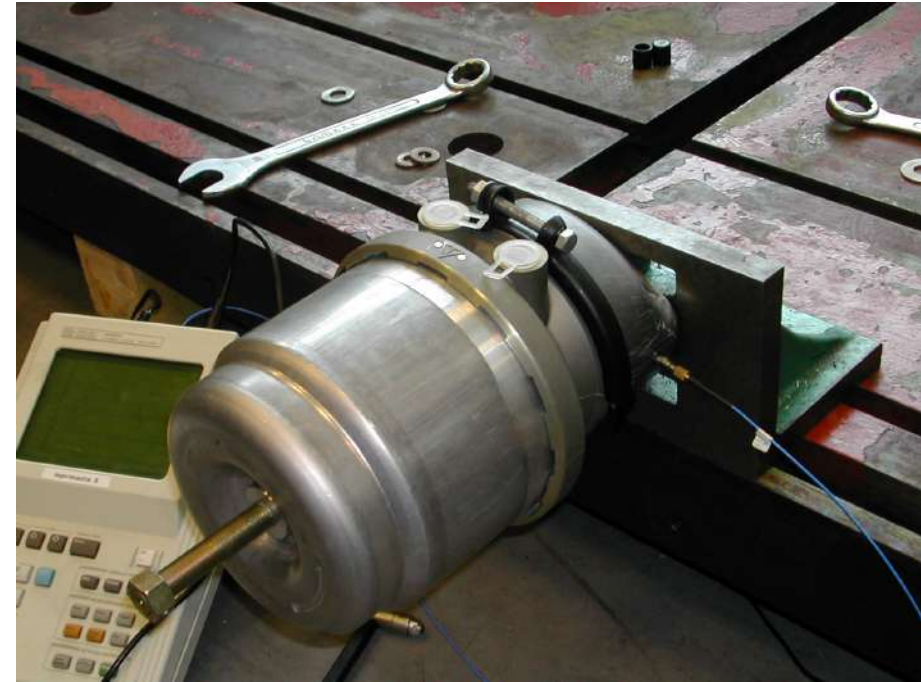
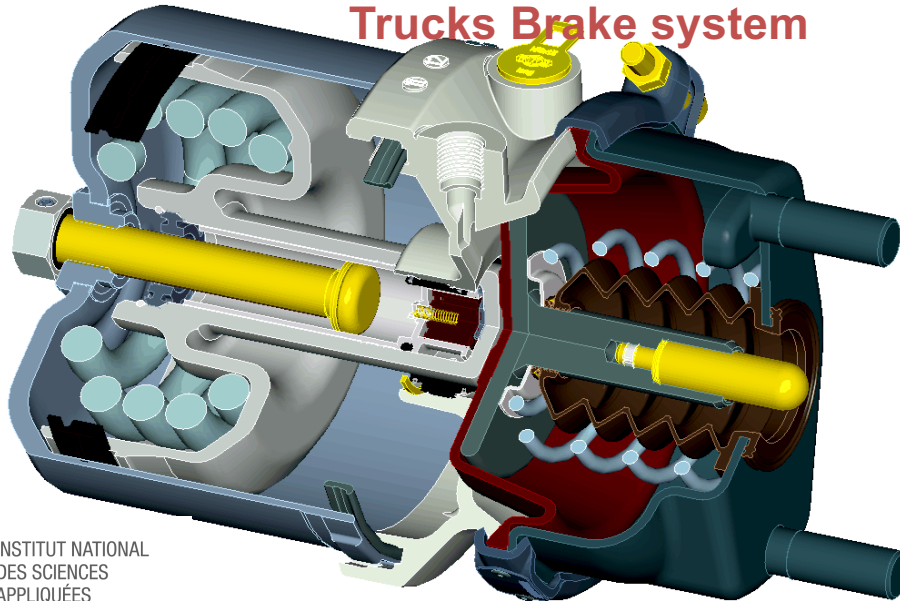
Résultats du modèle expérimental (91nm)

Abdelkhalak EL HAMI

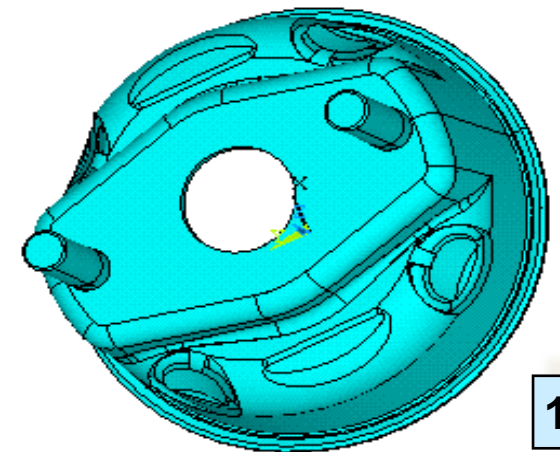
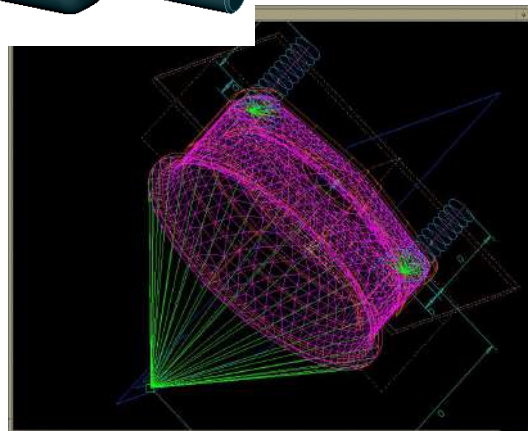
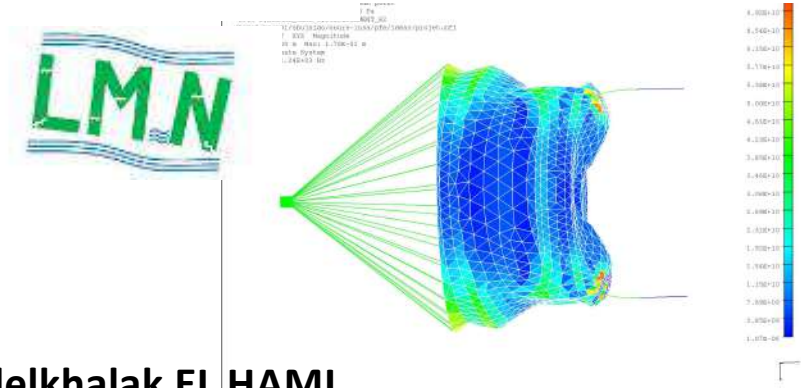


Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

Optimisation on Reliability and
Dynamic Response Analysis
of a Spring Cylinder for
Trucks Brake system



INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE



Abdelkhalak EL HAMI

19

11 avril 2023



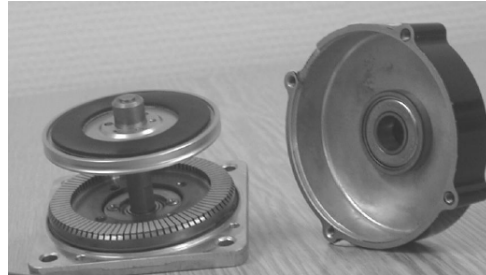
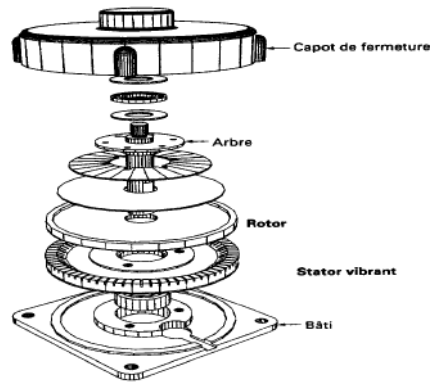
12



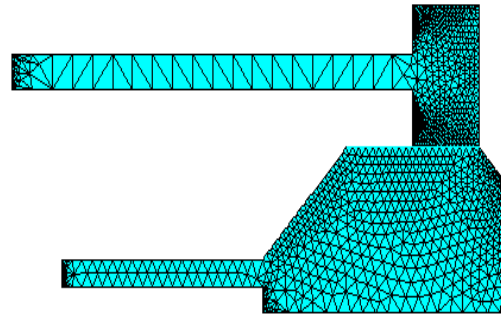


Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

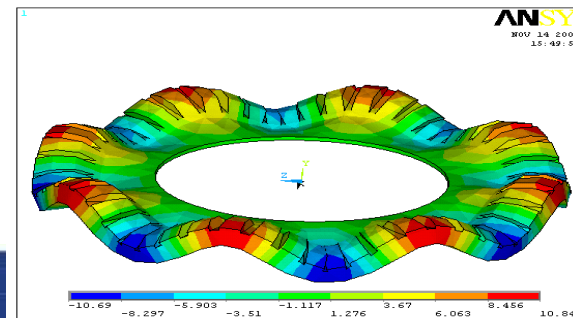
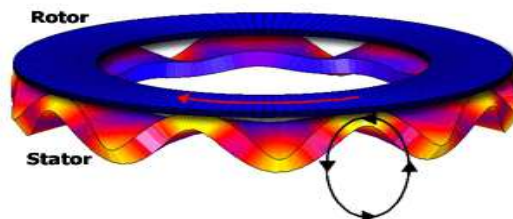
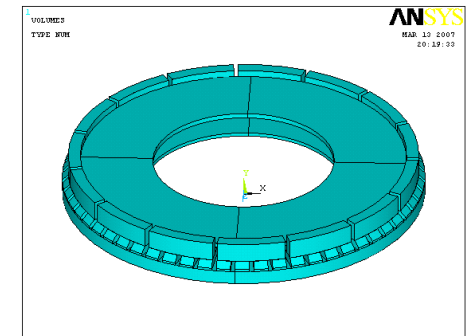
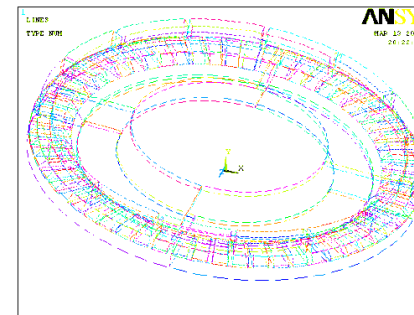
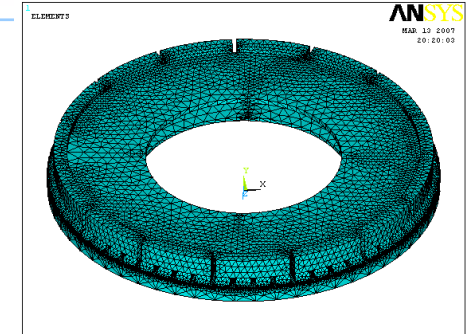
Application : Ultra sonic Actuator



Engine USR 60



finite element of stator and rotor.



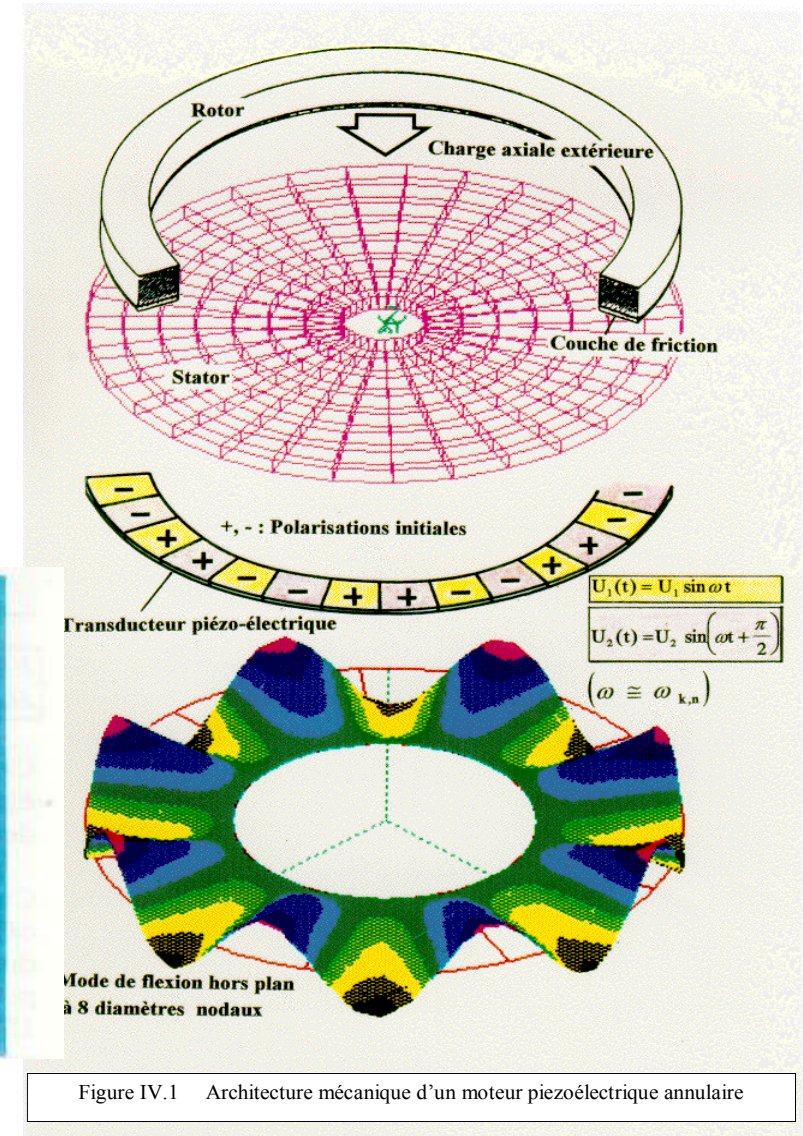
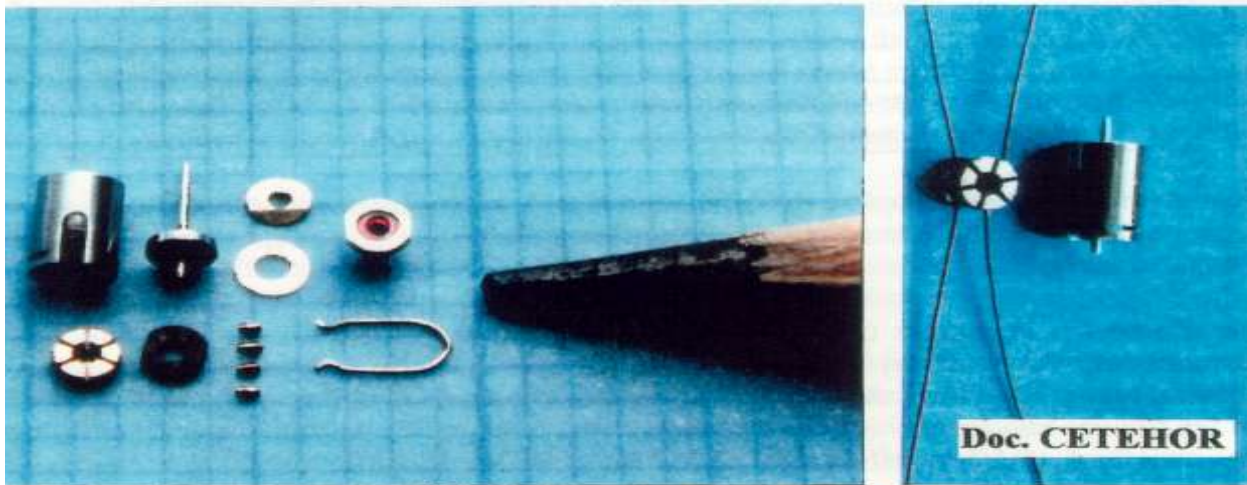
$$f_c = 39\text{KHz and } \beta_t = 3.0$$

11 avril 2023





Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF



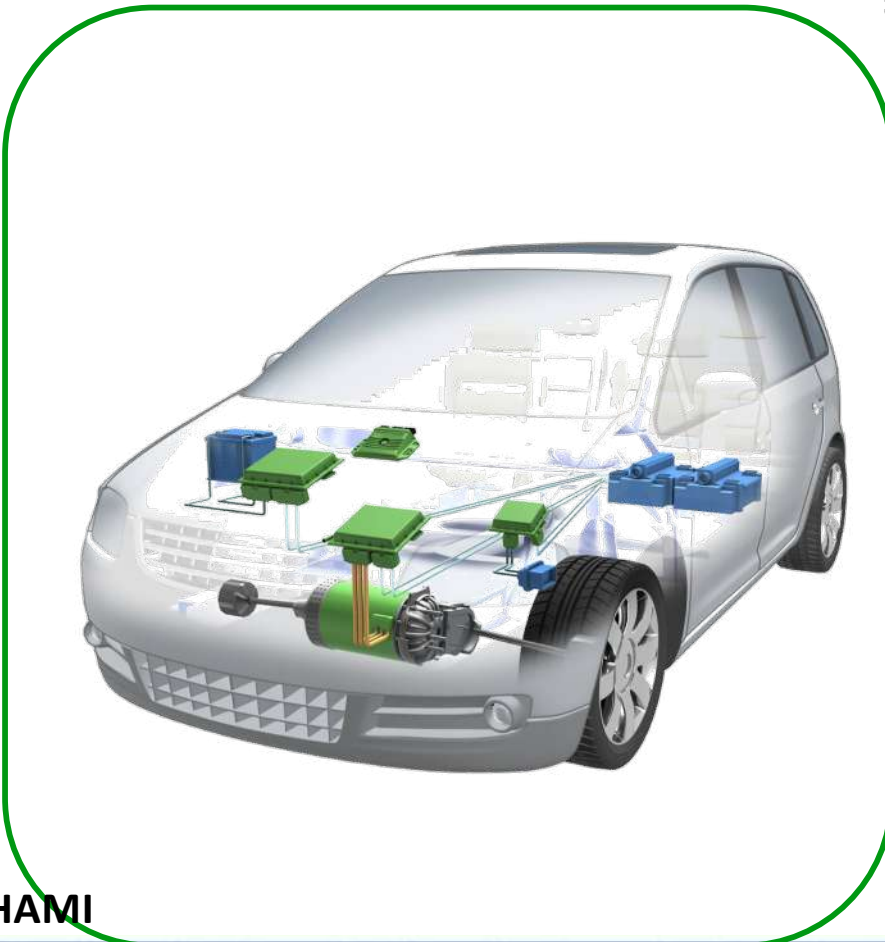
Abdelkhalak EL HAMI



INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE



Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF



Abdelkhalak EL HAMI

11 avril 2023



15





Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

OUTLINE

INSA | INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE



- Context
- Introduction
- **Basic principles**
- Developments
- New formulation :
- Numerical example
- Conclusion and Perspectives

Abdelkhalak EL HAMI



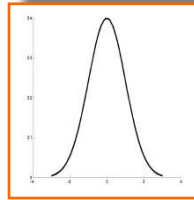
Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

Type of uncertainties

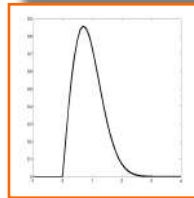
INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE



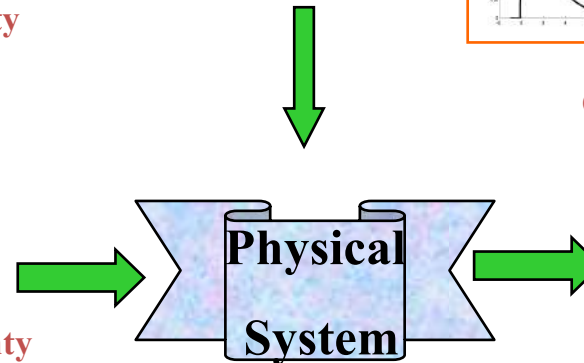
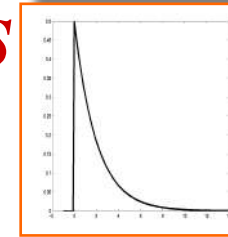
Input Physical Uncertainty



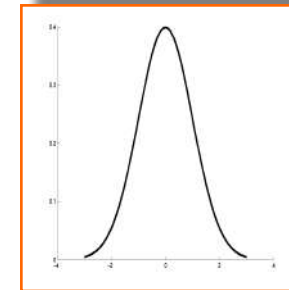
Input Statistical Uncertainty



Model Uncertainty



Output Uncertainty



- Physical Uncertainty: Material properties, dimensions, loads, & ground profiles
- Statistical Uncertainty: Due to limited sample sizes, probabilistic model (distribution type and its parameters) is uncertain – lack of information
- Model Uncertainty: Uncertainty of mathematical models and numerical methods due to simplifying assumptions, unknown boundary conditions, unknown effects of other variables not included in the model, etc.

Abdelkhalak EL HAMI



Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

OUTLINE

INSA | INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE



- Context
- Introduction
- Basic principles
- **Developments**
- New formulation :
- Numerical example
- Conclusion and Perspectives

Abdelkhalak EL HAMI



Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

**Deterministic
Optimisation**

*Research of index
of reliability*

$$\min_x f(X) \quad \text{"Cost, volume, ..."}$$

$$\text{tel que } g_k(X) \leq 0 \quad \text{"Physics, geometrical, ..."}$$

X : Design Variables

Y : Random Variables

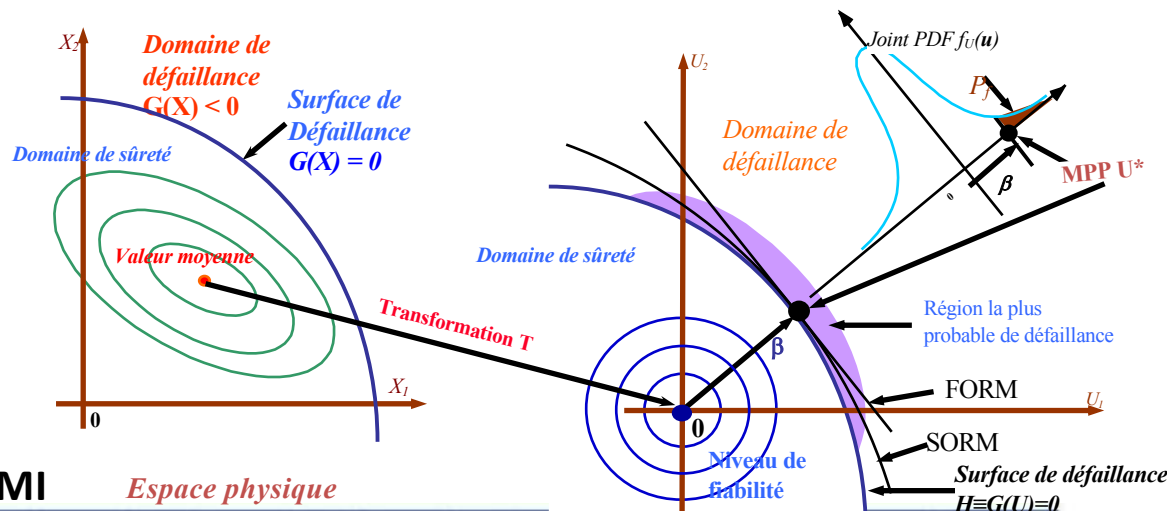
u : Normalized Variables

$$\beta = \min \sqrt{\sum_i T_i^2(X, Y)} = \min \sqrt{U^T U}$$

$$\text{tel que } G(X, Y) \leq 0$$

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE

LMN



Probability of failure

$$P_f = \int_{G(\{x\}, \{y\}) \leq 0} f_{\{y\}}(\{y\}) dy_1 \cdots dy_n$$

Abdelkhalak EL HAMI

Espace physique

19

Espace normal

11 avril 2023



23



Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

OUTLINE

INSA | INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE



- Context
- Introduction
- Basic principles
- Developments
- **New formulation :**
- Numerical example
- Conclusion and Perspectives

Abdelkhalak EL HAMI



Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

Hybrid Method Hybrid Design Space

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE



New form of objective function:

$$F(x,y) = f(x) \cdot \beta(x,y)$$

Limit-state to be satisfied:

$$G(x,y) = 0$$

Hybrid problem:

$$\min: F(x,y) = f(x) \cdot d_\beta(x,y)$$

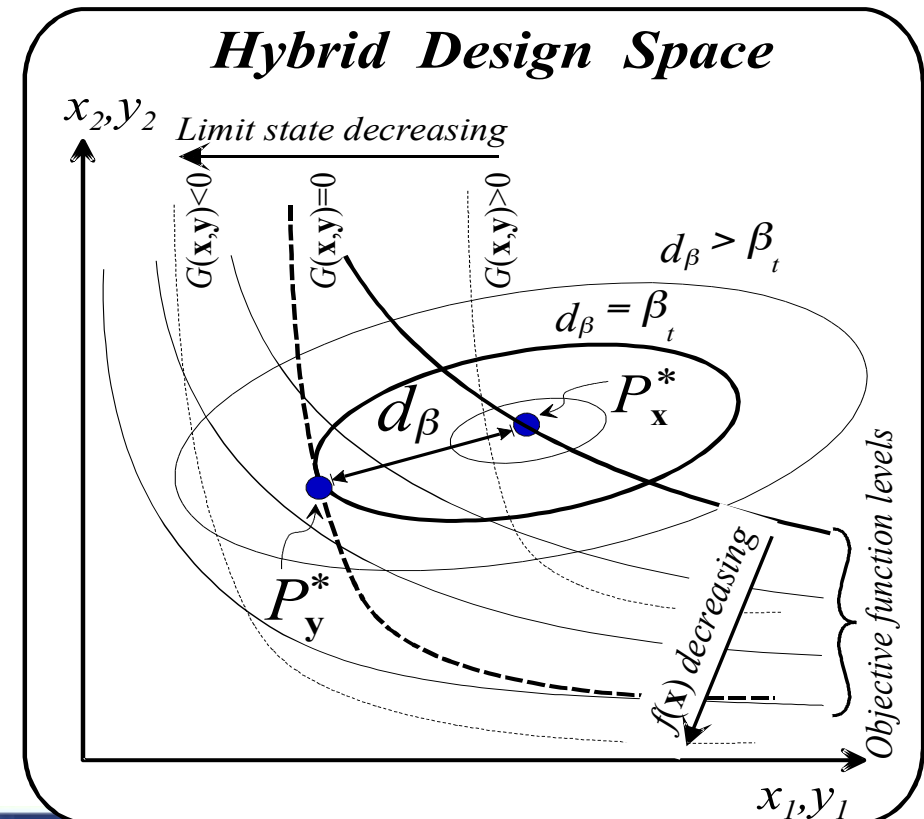
$$\text{s.t.} : G(x,y) = 0$$

$$: g_k(x,y) \leq 0$$

$$: \beta(x,y) \geq \beta_c$$

[Kharmnda EL Hami, N.Olhoff]

Abdelkhalak EL HAMI





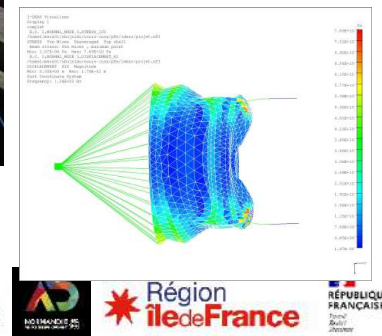
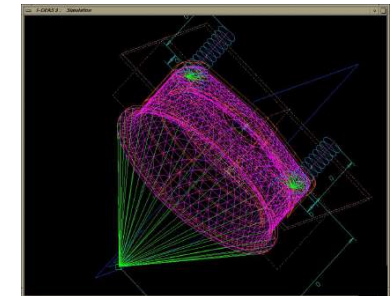
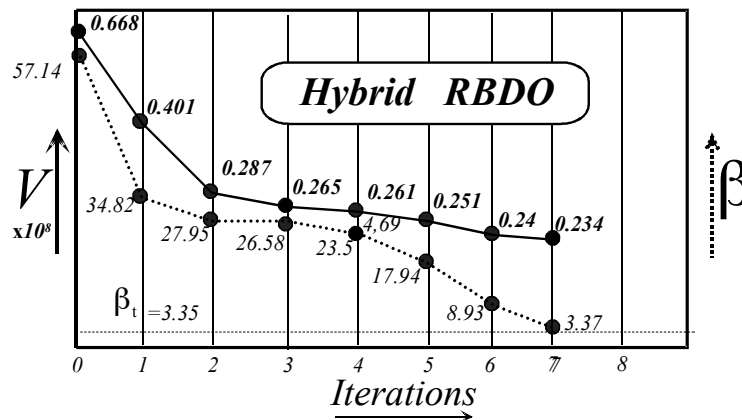
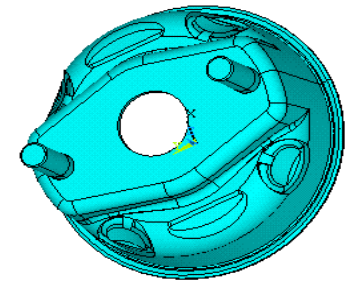
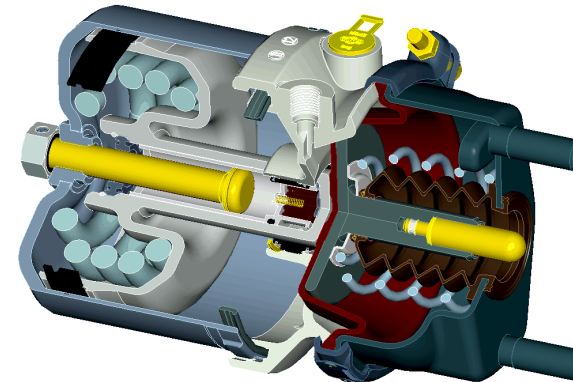
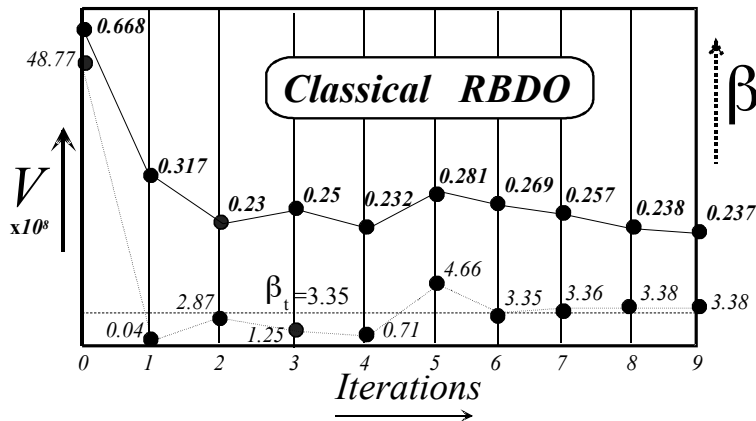
Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

Reduction of Computing Time 80%

Optimisation on Reliability and Dynamic Response
Analysis of a Spring Cylinder for Trucks Brake
system

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE

LMN



Abdelkhalak EL HAM **Iteration History**

11 avril 2023



22

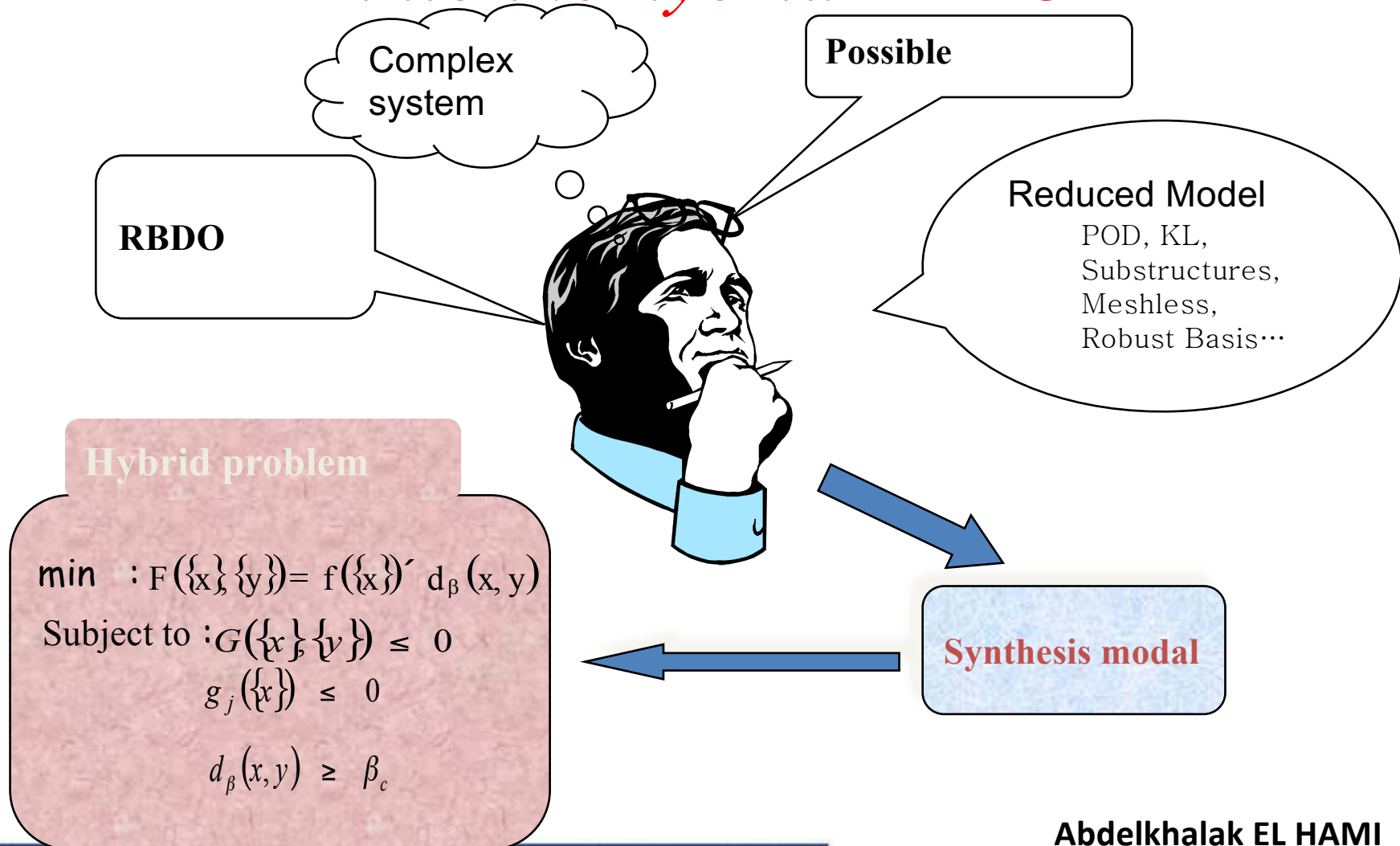




Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

Integrate the method of Synthesis modal into the hybrid RBDO

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE





Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

OUTLINE

INSA | INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE



- Context
- Introduction
- Basic principles
- Developments
- New formulation
- **Numerical example**
- Conclusion and Perspectives

Abdelkhalak EL HAMI



Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

Assurer la fiabilité des systèmes électroniques embarqués

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE

LMN



- Les systèmes électroniques embarqués sont utilisés dans différents domaines tel que dans l'industrie de l'automobile, les transports, l'aéronautique, les télécommunications.....
- Répondre à de nouvelles exigences : réduction du poids, de l'encombrement et du coût, tout en ayant un niveau de fiabilité satisfaisant et répondant aux exigences de sécurité.



Comprendre les mécanismes physiques de dégradation et de vieillissement des dispositifs électroniques embarqués.

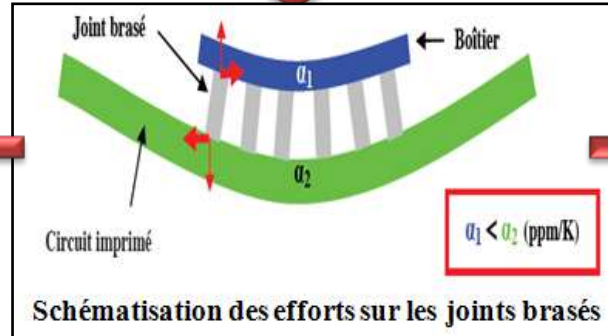
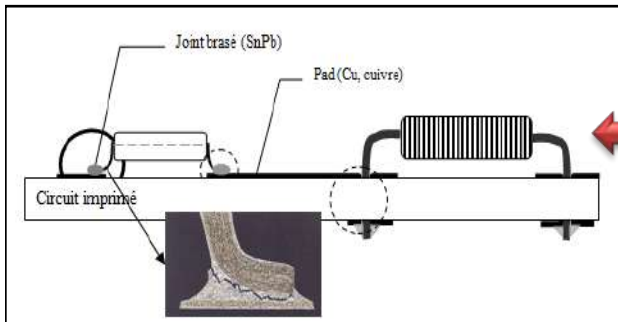
Modes de défaillance

Mécanique (choc, vibration)

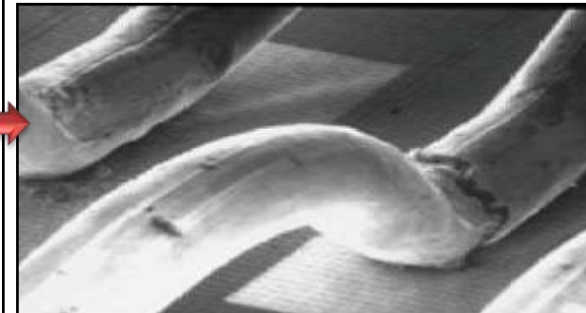
Thermique (variations de température)

Humidité et champ magnétique

Fissuration des brasures



Levée et fracture des fils de bonding



le mode de défaillance dominant dans les systèmes mécatroniques embarqués dans l'automobile, est due à **la rupture des joints brasés par fatigue** thermomécanique.

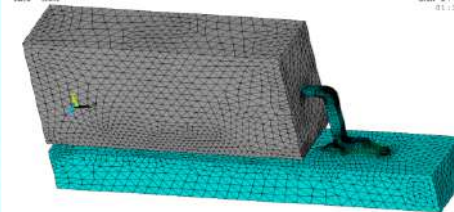
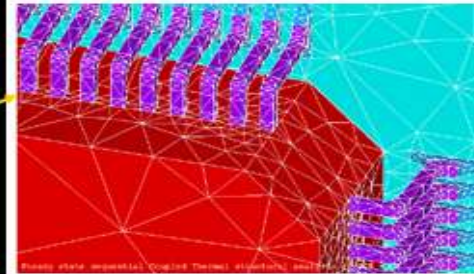
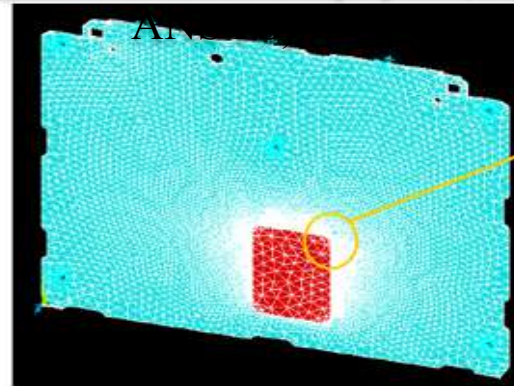
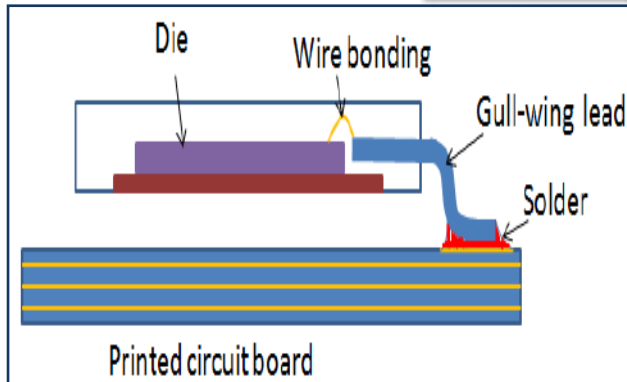
Abdelkhalak EL HAMI



Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

Modèle de la carte électronique

Maillage EF de la carte équipée (Code



- La carte étudiée est conçue selon la technologie QFP (Quad Flat Package),
- La carte équipée est composée du circuit imprimé (le PCB) et d'un composant principal (le Microcontrôleur), celui-ci est brasé sur le PCB.
- Le modèle élément finis 3D de la carte équipée est développé afin de prédire le joint de brasure le plus sollicité par un chargement thermique (Elément solide 3D tétraédrique à 20 nœuds).

Abdelkhalak EL HAMI



Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

Reliability optimization applied to the high electron mobility transistor HEMT. Thèse A. AMAR 2022

1- Introduction



High electron mobility transistor (HEMT) has created a revolution in various industry fields, HEMT has an important role in high power systems and mechatronic systems,

- The performance of this systems is related to the component reliability,
- Several authors have modeled the HEMT,
- We will present :
 - Multiphysics modeling of the HEMT,
 - Reliability analyses of the HEMT to evaluate its reliability level,
 - Improvement of the HEMT performances by reliability-optimization approach.

Abdelkhalak EL HAMI



Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

2- Description of the HEMT technology



- The high electron mobility transistor is a technology still under development
- It is characterized by a particular structure that ensures a high mobility of electrons.
- It works in very particular conditions: high frequencies, high temperatures, high powers,

Abdelkhalak EL HAMI

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE





Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

3- Multiphysics modeling of the HEMT

3.1- Electro thermal modeling

The power dissipated is a function of the voltage and the current between the terminals of the component such that:

$$P_{diss} = V_{ds} * I_{ds}$$

The thermal transfer within the component, this transfer is mainly done by conduction mode, the other modes are negligible because they represent less than 1.5%, the heat equation will be:

$$k \cdot \nabla^2 T = \rho \cdot C_p \cdot \frac{\partial T}{\partial t} + Q$$

where :

Q : power dissipated in joules;

K : thermal conductivity ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) ;

ρ : density ($\text{Kg} \cdot \text{m}^{-3}$) ;

C_p : thermal mass capacity ($\text{J} \cdot [\text{Kg}]^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) ;

T : the temperature (K) ;

Abdelkhalak EL HAMI

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE





Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

3- Multiphysics modeling of the HEMT

3.1- Thermo mechanical modeling

The coupling of the thermal model to the mechanical model can be translated into the equations form, thanks to the thermoelasticity equations, the strains and the entropy density can be defined by the following expressions:

Avec :

$\{\epsilon\}$: the vector of total strains,

$\{\sigma\}$: stress vector,

$\{\alpha\}$: the vector of thermal expansion coefficients,

$\{\Delta T\}$: the temperature difference,

$[D]^{-1}$: the inverse of the elastic stiffness matrix.

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE



Abdelkhalak EL HAMI



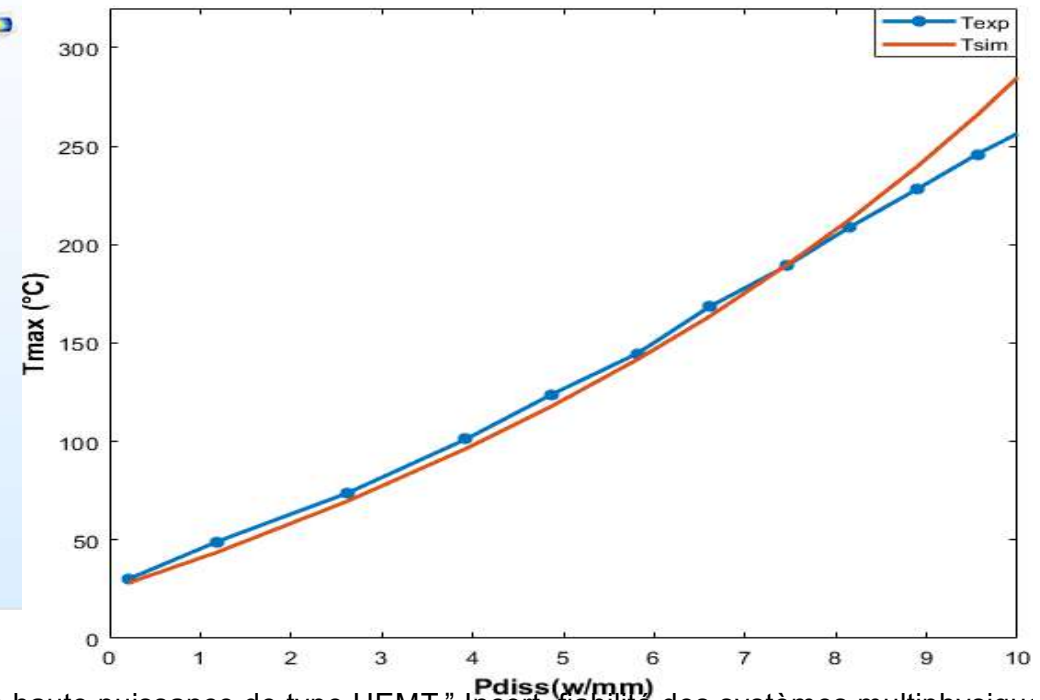
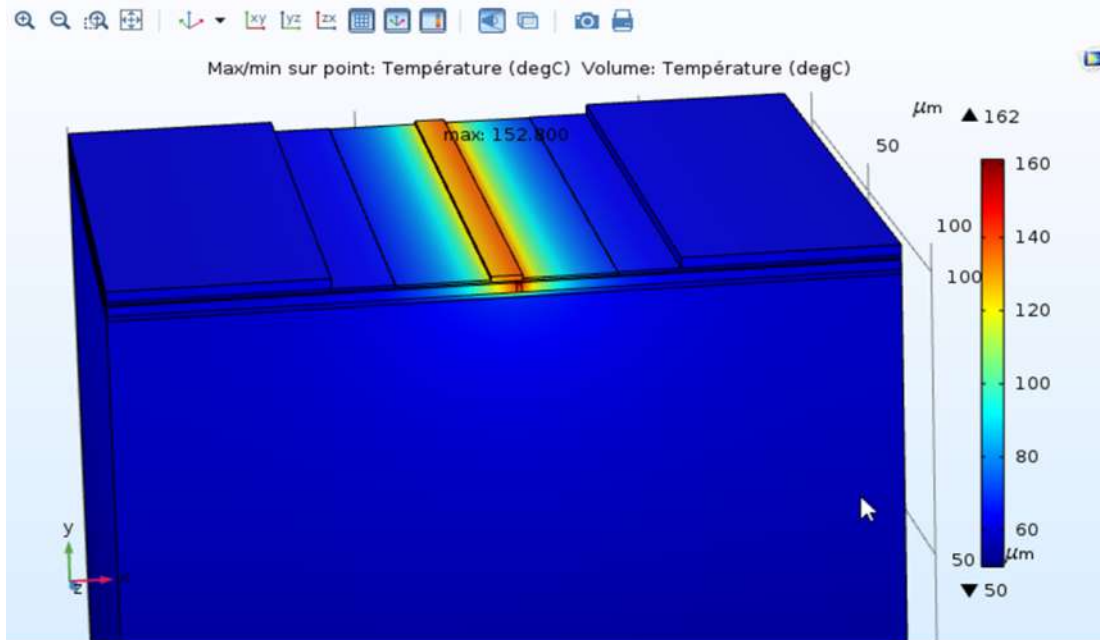
Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE



4- Numerical simulation of the HEMT

4.1- Electrothermal behavior

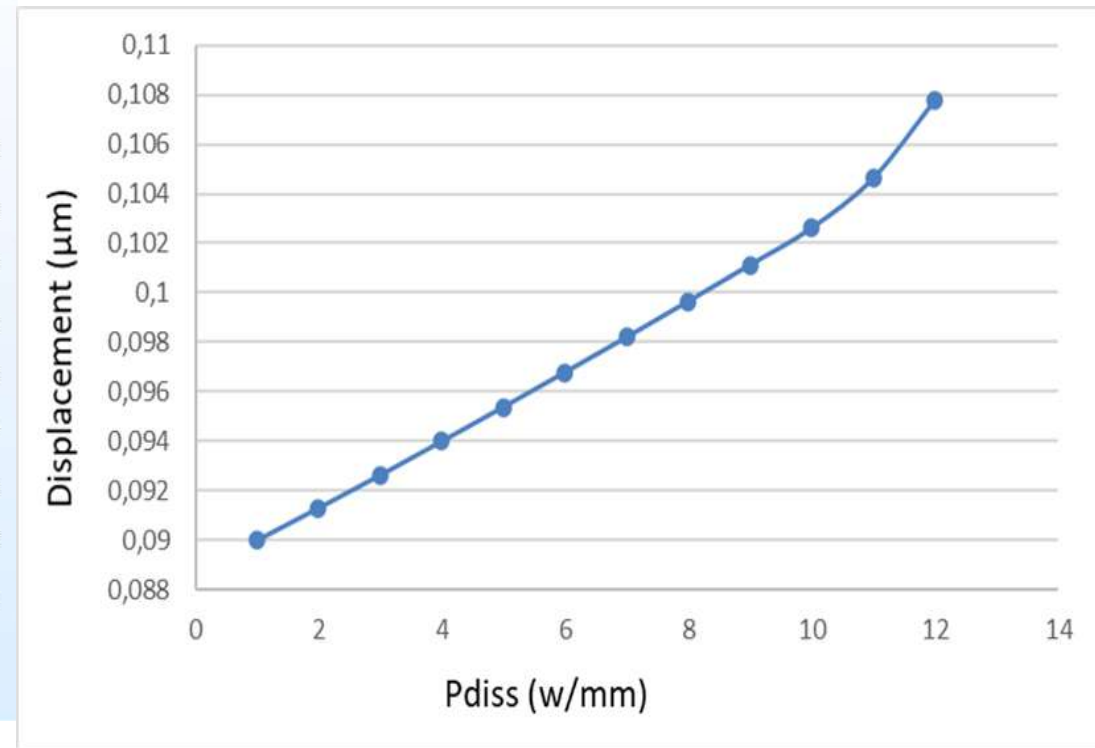
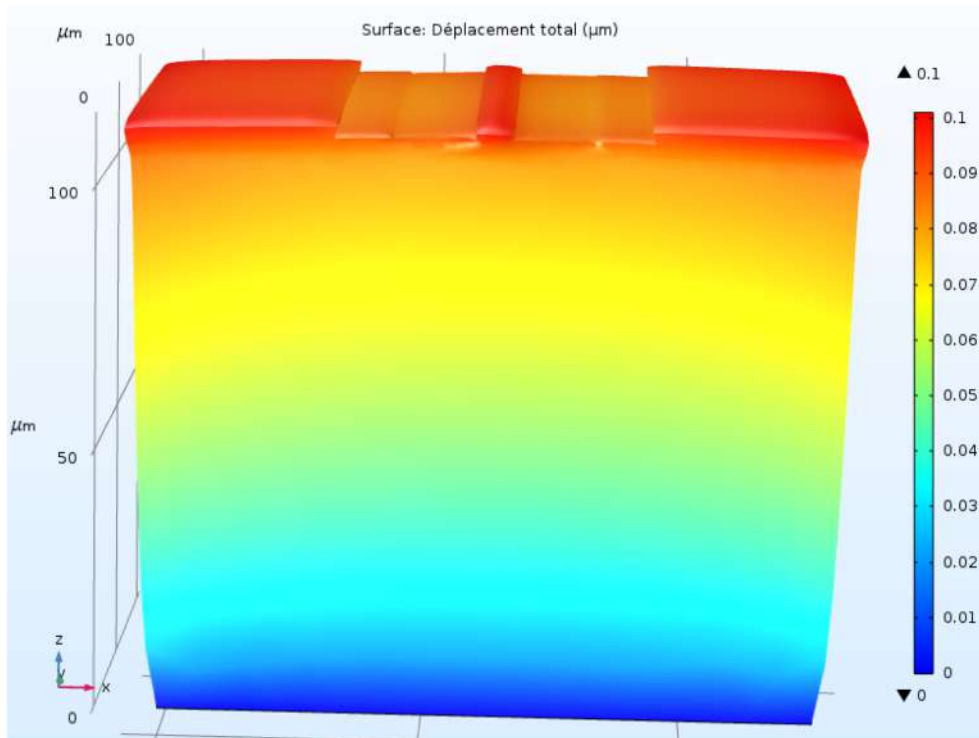


(*) A. Amar, B. Radi, and A. El Hami, "La modélisation thermique de transistor a haute puissance de type HEMT," Incert. fiabilité des systèmes multiphysique vol. 3, no. 2019, pp. 1–7, 2019, doi: 10.21494/iste.op.2019.0431

Abdelkhalak EL HAMI

4- Numerical simulation of the HEMT

4.2- Thermomechanical behavior



(*) A. Amar, B. Radi, and A. El Hami, Optimization based on electro-thermo-mechanical modeling of the high electronmobility transistor (HEMT). International J Simulation and Multidisciplinary Design Optimization, 2021



Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

5- Reliability optimization of the HEMT

5.1- Reliability Analysis

The reliability analysis of the HEMT by both SORM and FORM methods.

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE



	FORM	SORM
beta	0,83	0,98
Pf	20,28	16,12
R	79,72	83,87
T (s)	150302	155104

(*) A. Amar, B. Radi, and A. El Hami, Thermal reliability of the high electron mobility transistor (HEMT). MDPI, 2021



Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

5- Reliability optimization of the HEMT

5.2- optimization problem

Thermomechanical phenomena can lead to the failure of the transistor. Therefore, the control and minimization of the effect of these phenomena represent a challenge that seriously influences the reliability of the component. In this sense, our study aims to minimize the effect of von Mises stresses on the HEMT structure under deterministic and random constraints, without neglecting the reliability level.



$$\begin{aligned} \min_{x,y} \quad & F(x, y) = \sigma_e(x) \cdot d_\beta(x, y) \\ \text{s.t.} \quad & d_\beta(x, y) \geq \beta_t \\ & g_k(x, y) \leq 0, \\ & k = 1, \dots, n \end{aligned}$$



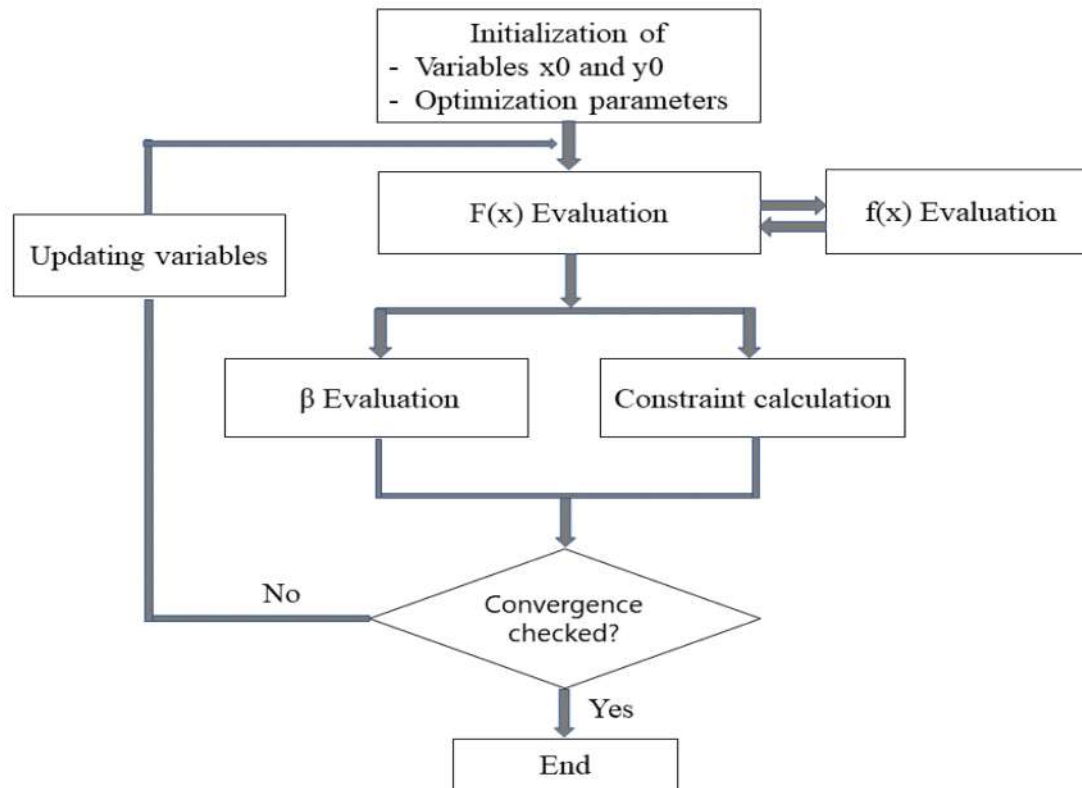
Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE



5- Reliability optimization of the HEMT

5.3- Result and discussion



Parameters		Initials Values x0	Optimal values x
Conception variables (μm)	a	100	98.4164
	b	1,7	1.4293
	c	0,03	0.0545
objective function (GPa)		3.9865	3.0163
Reliability index		0,98	3.001



Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE



Conclusion

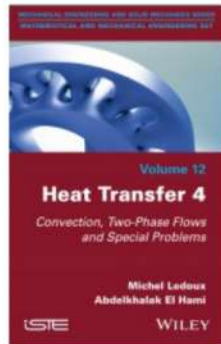
- We have proposed the hybrid RBDO approach to improve the reliability of the HEMT,
- The application of the RBDO approach on the HEMT technology allowed to determine new design parameters.
- The results obtained allowed to minimize the Von Mises stresses on the structure and to improve its reliability level.
- The hybrid reliability optimization method has shown an efficiency in solving optimization problems, however, this approach is still expensive in terms of time and stability of calculation. In the future we will think about other approaches to overcome these constraints.



Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

Heat Transfer 1,2,3 & 4 (2021-2022)

Heat Transfer 4



Convection, Two-Phase Flows and Special Problems
Michel Ledoux, *University of Rouen, France*
Abdelkhalak El Hami, *INSA-Rouen-Normandie, France*

November 2022

Heat Transfer 3



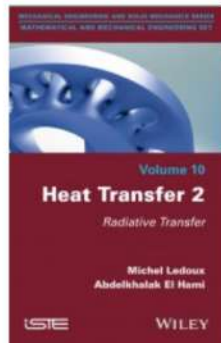
Convection, Fundamentals and Monophasic Flows
Michel Ledoux, *University of Rouen, France*
Abdelkhalak El Hami, *University of INSA-Rouen-Normandie, France*

October 2022

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE



Heat Transfer 2



Radiative Transfer
Michel Ledoux, *University of Rouen, France*
Abdelkhalak El Hami, *University of INSA-Rouen-Normandie, France*

June 2021

Heat Transfer 1



Conduction
Michel Ledoux, *Conservatoire National des Arts et Métiers in Normandy, France*
Abdelkhalak El Hami, *University of Normandy, INSA-Rouen-Normandie, France*

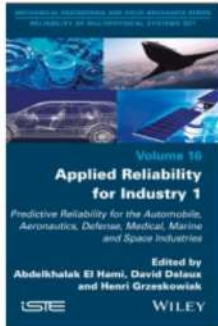
March 2021



Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

Applied Reliability for Industry 1,2 & 3 (2023) Reliability and Physics-of-Healthy in Mechatronics (2022)

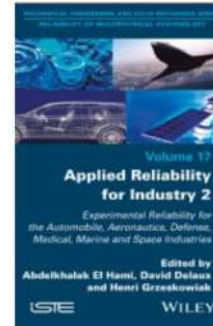
Applied Reliability for Industry 1



Predictive Reliability for the Automobile, Aeronautics, Defense, Medical, Marine and Space Industries
Edited by
Abdelkhalak El Hami, *INSA-Rouen-Normandie*, France.
David Delaux, *Bradford University*, UK.
Henri Grzeskowiak, *COFRAC*, France.

March 2023

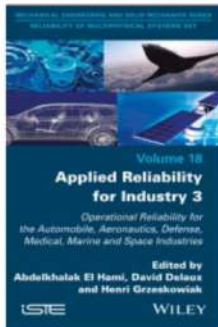
Applied Reliability for Industry 2



Experimental Reliability for the Automobile, Aeronautics, Defense, Medical, Marine and Space Industries
Edited by
Abdelkhalak El Hami, *INSA-Rouen-Normandie*, France.
David Delaux, *Bradford University*, UK.
Henri Grzeskowiak, *COFRAC*, France.

March 2023

Applied Reliability for Industry 3



Operational Reliability for the Automobile, Aeronautics, Defense, Medical, Marine and Space Industries
Edited by
Abdelkhalak El Hami, *INSA-Rouen-Normandie*, France.
David Delaux, *Bradford University*, UK.
Henri Grzeskowiak, *COFRAC*, France.

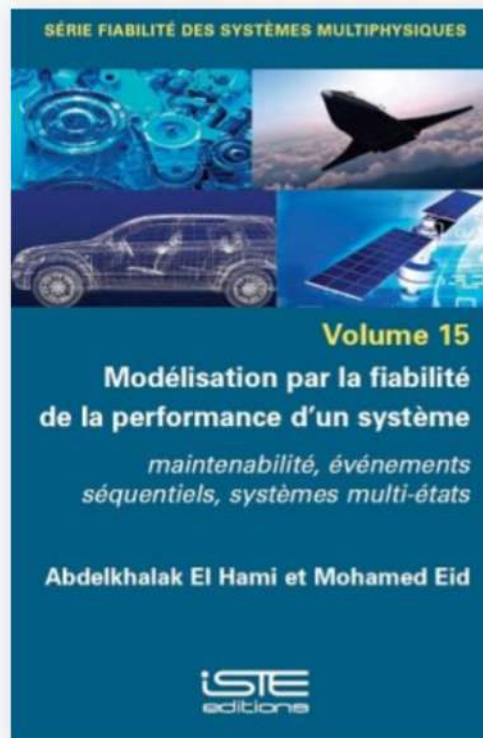
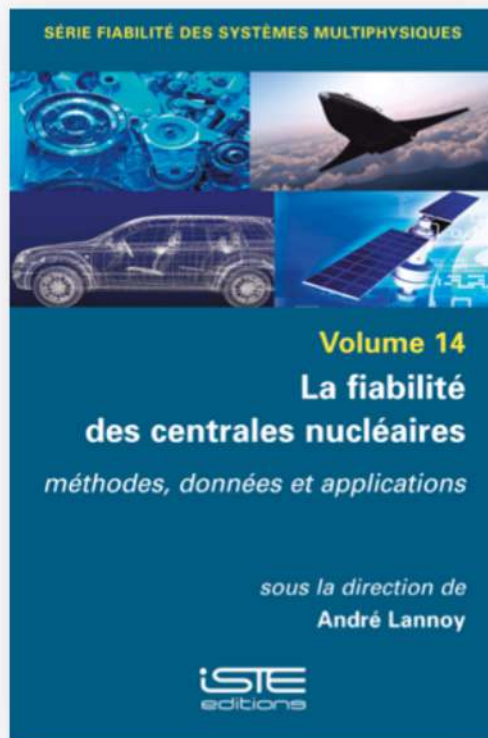
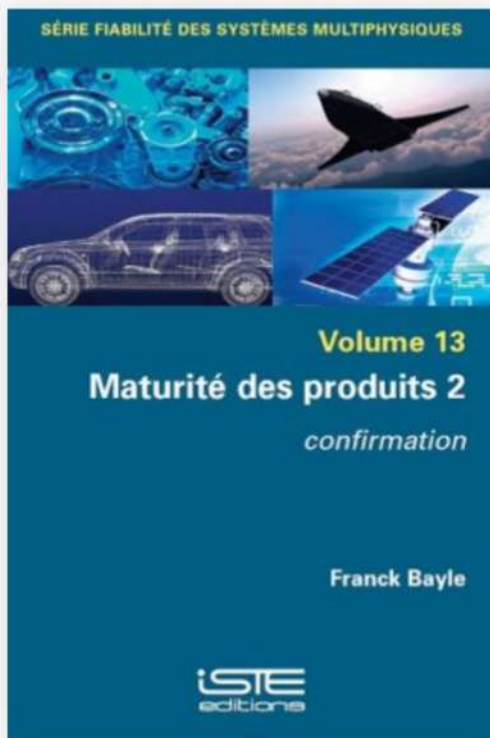
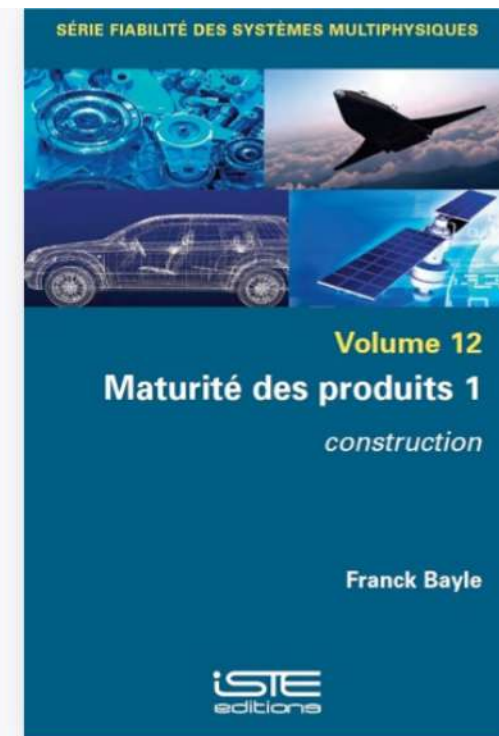
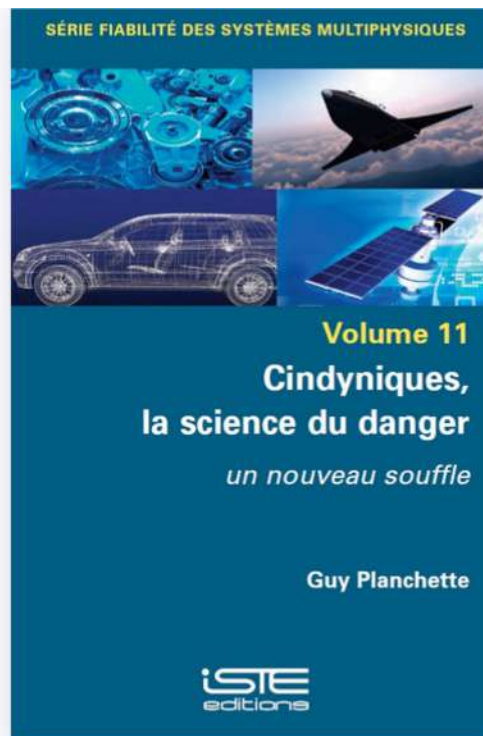
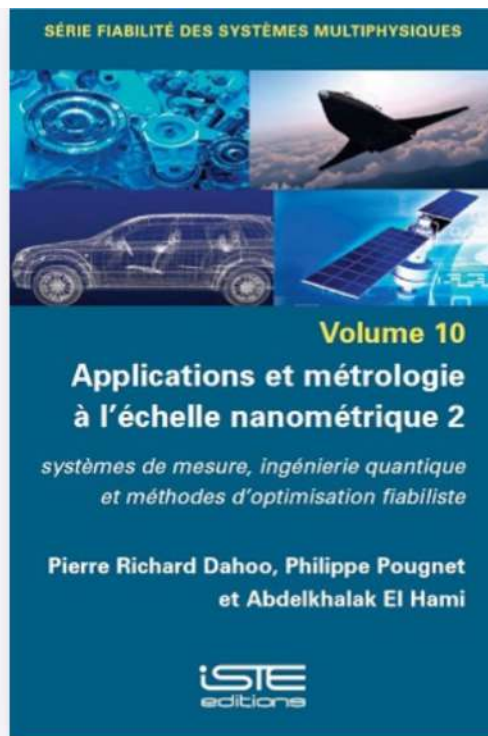
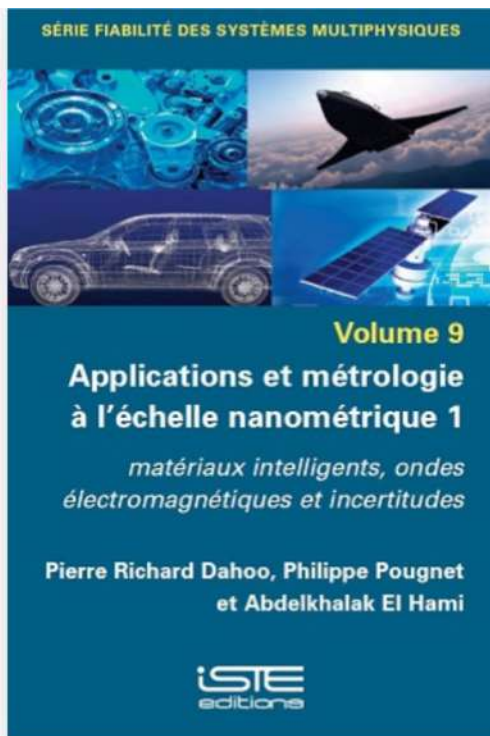
March 2023

Reliability and Physics-of-Healthy in Mechatronics



Edited by
Abdelkhalak El Hami, *INSA-Rouen-Normandie*, France
David Delaux, *Bradford University*, UK
Henri Grzeskowiak, *COFRAC*, France.

November 2022



**La collection
*Fiabilité
des systèmes
multiphysiques***

***Dirigée par
A. EL HAMI***



Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

OUTLINE

- Context
- Introduction
- Basic principles
- Developments
- New formulation :
- Numerical example
- **Conclusion and Perspectives**

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE



Abdelkhalak EL HAMI



Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
ROUEN NORMANDIE



Conclusion and Perspectives

- Best compromise between the cost and the safety
Solution in a hybrid space
- RBDO + Sub-structures
- Calculation time for real embedded electronics and mechatronical system.

-Reliability and Optimization of Electro-Thermo-Mechanical Systems

Abdelkhalak EL HAMI



Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

Thank you

For

Your Attention

Abdelkhalak EL HAMI

11 avril 2023



43





Centre Français Fiabilité

Contacts CFF : cff@nae.fr

Samuel CUTULLIC
François BOUVRY



Geoffroy MARTIN
Pierre-Alexandre PICTON



Severine COUPE



Notre site internet : [Centre-francais-fiabilite](http://Centre-francais-fiabilite.fr)
Notre compte LinkedIn : [Centre-francais-fiabilite](https://www.linkedin.com/company/Centre-francais-fiabilite)