

CAPTEURS POUR LE SHM, SIMULATION ET DÉMONSTRATION DE PERFORMANCES

Capteurs et POD pour le SHM | Bastien CHAPUIS | SHM France | 15/03/2018

OBJECTIFS SHM (STRUCTURAL HEALTH MONITORING)

Contrôle de santé des structures

Le système SHM doit garantir la bonne santé de la structure jusqu'à la prochaine opération de maintenance

Structural Health Monitoring = "The process of acquiring and analyzing data from on-board sensors to evaluate the health of a structure"

→ Sécurité

- Inspections régulières (voire continues) et automatisées

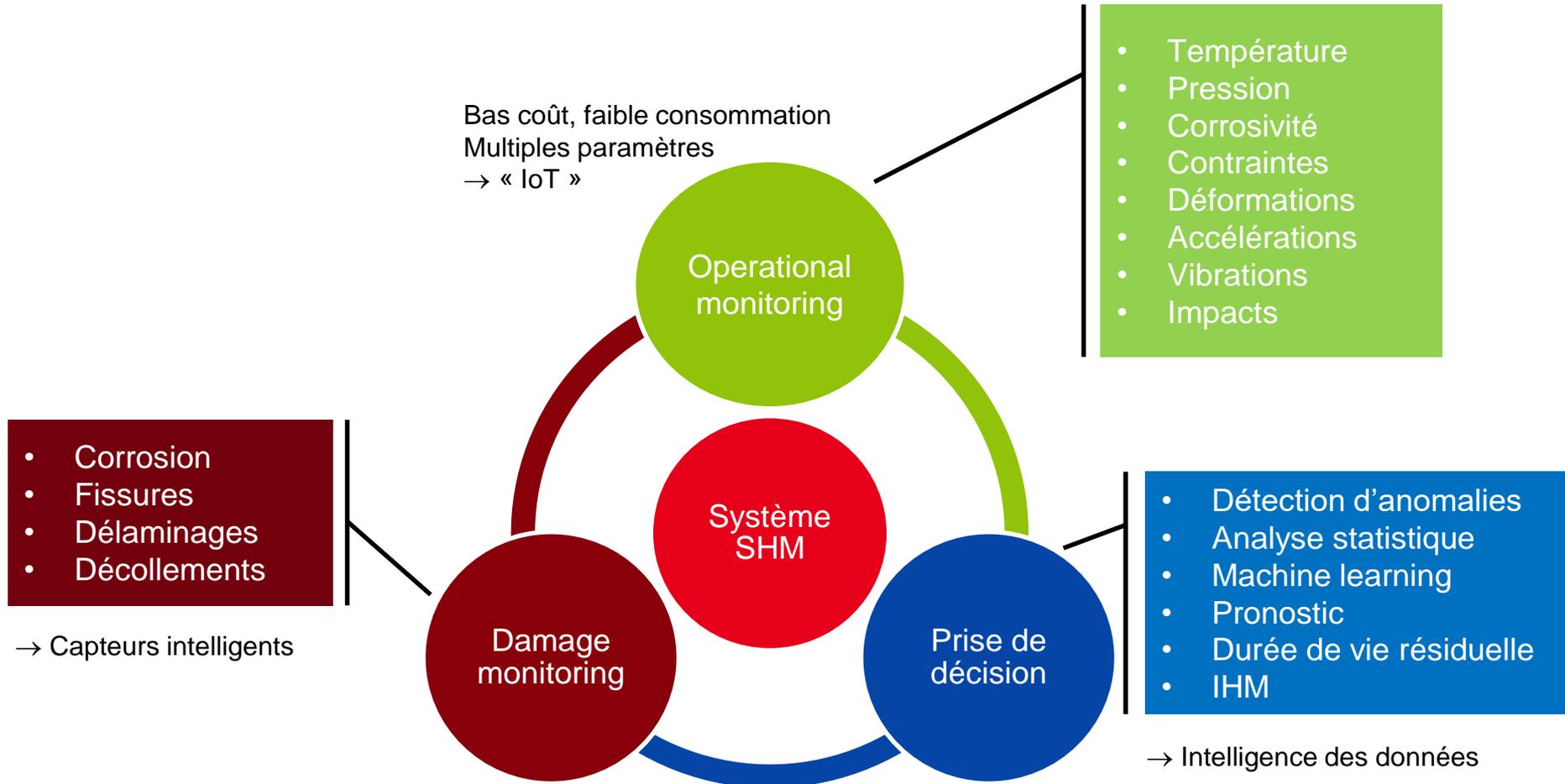
→ Maintenance simplifiée et planifiée

- Augmentation des intervalles de maintenance
- Maintenance conditionnelle pour éviter des immobilisations imprévues
- Suivi de zones inaccessibles

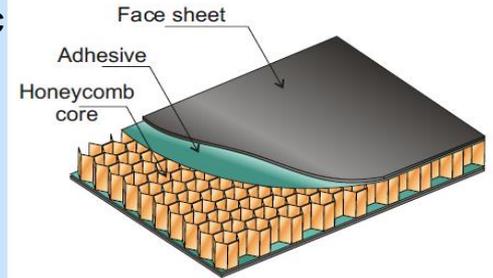
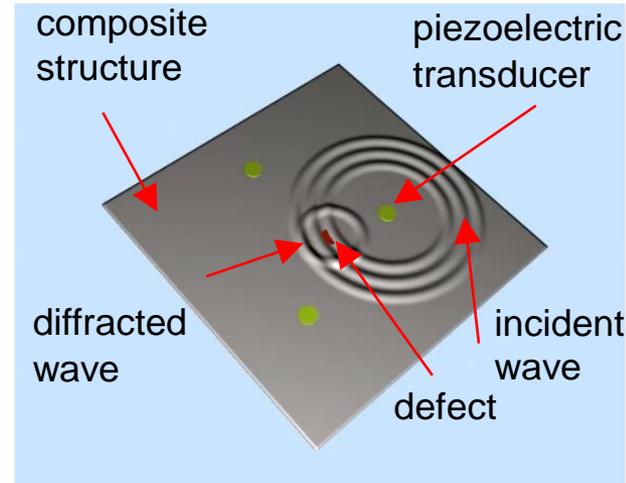
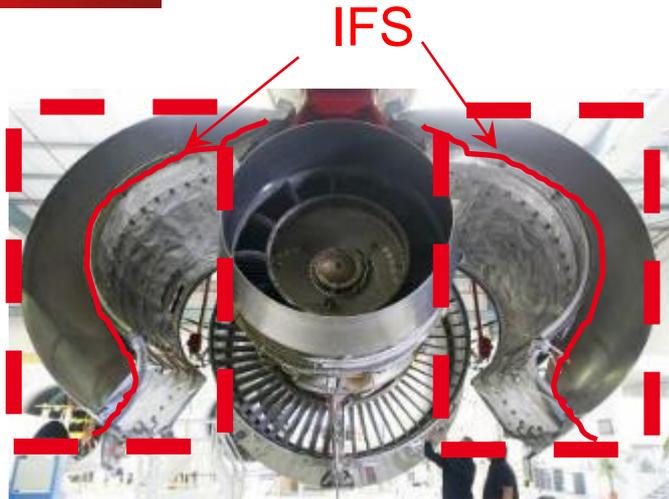
→ Prolongation de la durée de vie



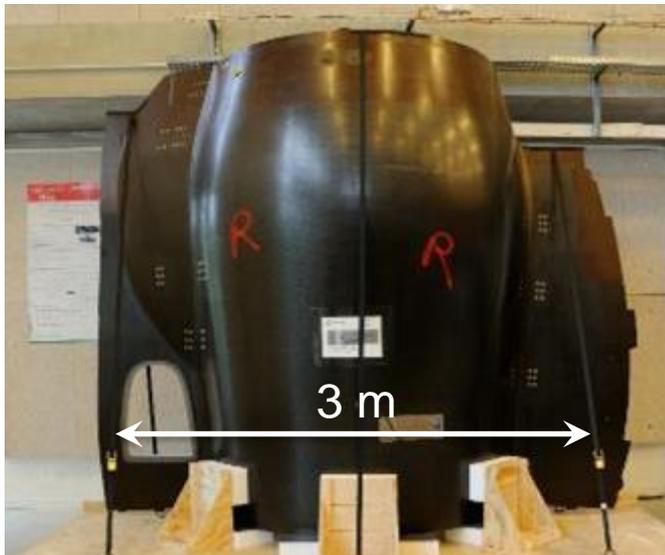
SHM : CLASSIFICATION



- Développement d'un système SHM pour composant aéronautique
- Tomographie passive par ondes guidées et capteurs FBG
- Simulation pour le SHM
- Comment démontrer la fiabilité du système SHM?



HC panel



→ Instrumenter IFS pour détecter décollement peau/nid d'abeille par système SHM

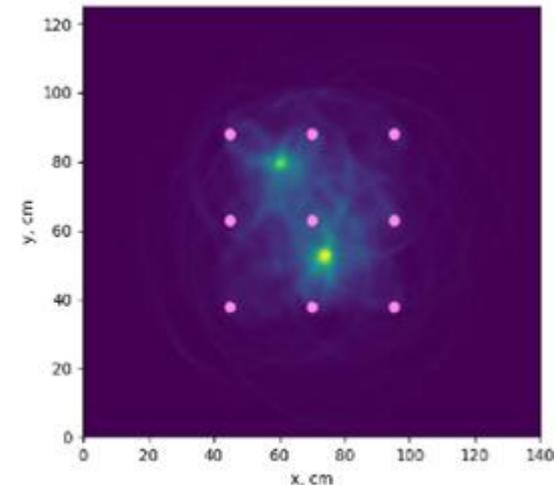
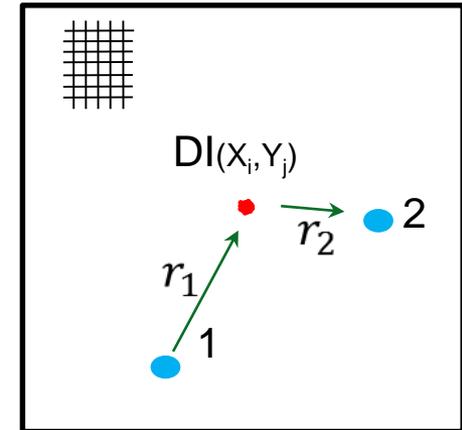
IFS: inner fixed structure

→ Corrélation entre le signal théorique et le signal résiduel mesuré par le système SHM

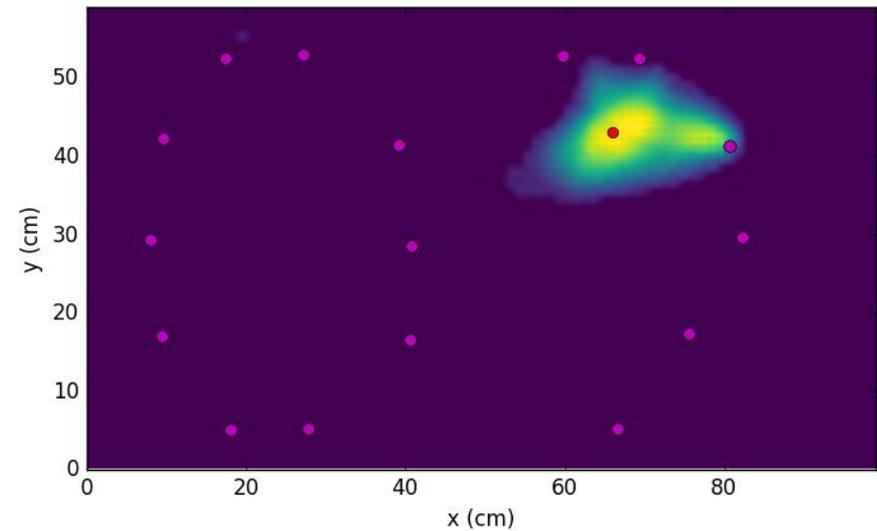
$$DI(x_i, y_i) = \left| \frac{\int_{t_0}^{t_{max}} S_{1 \rightarrow 2}^{exp}(t) S_{x_i, y_i}^{theor}(t) dt}{\sqrt{\int_{t_0}^{t_{max}} |S_{1 \rightarrow 2}^{exp}|^2 dt \int_{t_0}^{t_{max}} |S_{x_i, y_i}^{theor}(t)|^2 dt}} \right|$$

$$S_{x_i, y_i}^{theor}(t) = u(t) * g_{1 \rightarrow x_i, y_i}(r_1, t) * g_{x_i, y_i \rightarrow 2}(r_2, t)$$

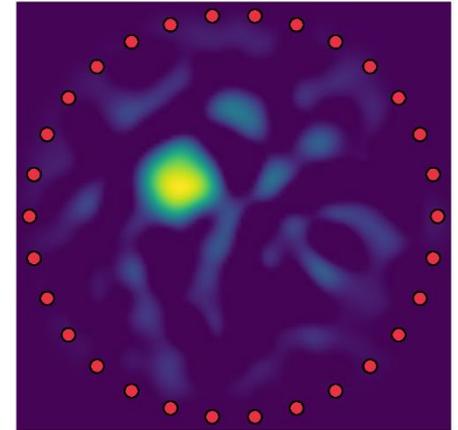
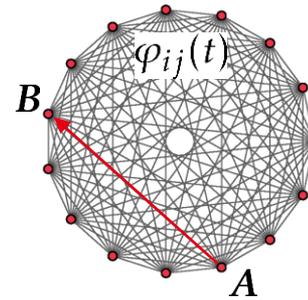
$$g(r, \omega) = -\frac{2jF_m \exp\{-jk_m r\}}{\pi \sqrt{k_m r}}$$



UTILISATION DE L'IMAGERIE



- Développement d'un système SHM pour composant aéronautique
- **Tomographie passive par ondes guidées et capteurs FBG**
- Simulation pour le SHM
- Comment démontrer la fiabilité du système SHM?

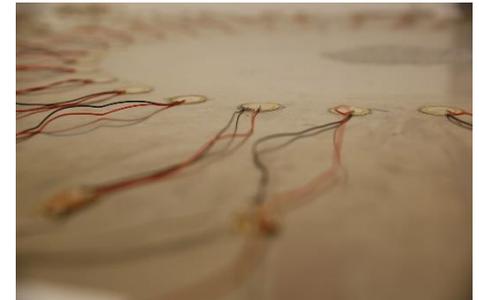
Cartographie d'épaisseur
de la zone inspectée

- **Méthode sans état de référence**

- Un grand nombre de capteurs pour du SHM
 - Accès à une **grande quantité d'information physique** sur le milieu
- Avec des PZT → potentiellement **lourd** et **intrusif**

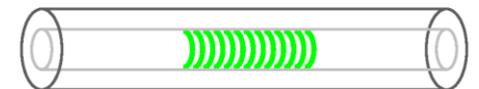
- **Méthodes passives**

- Uniquement basées sur la **mesure du bruit ambiant** présent dans la structure
- Pas d'émission d'ondes
 - **Peu coûteux** en énergie
 - Électronique **simplifiée**

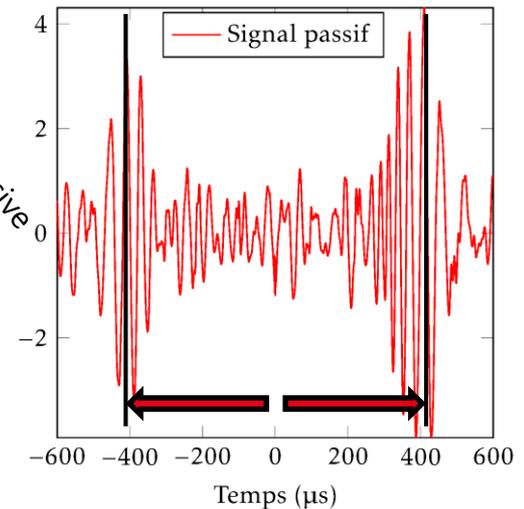
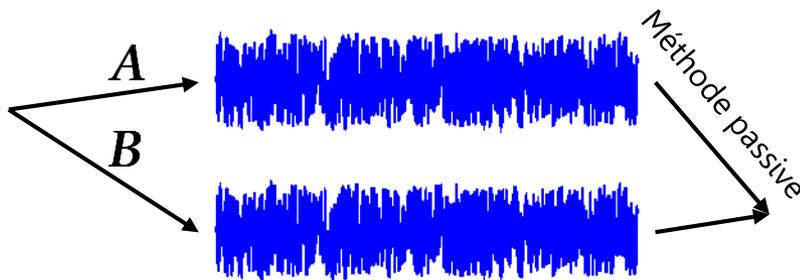
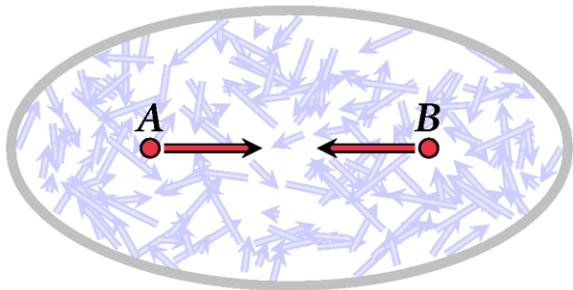


- → **Utilisation de réseaux de Bragg sur fibre optique (FBG) pour la tomographie**

- **Légers** et **beaucoup moins intrusifs** que des PZT



- **Signal actif** : Émission en A et mesure en B (ou l'inverse)
- **Signal passif** : Mesure du bruit ambiant simultanément en A et B
 - On remonte à l'information sur la propagation des ondes guidées entre les points A et B → comme en actif



Sources disponibles :
turbulences aérodynamiques,
vibrations, frottements, ...

Extraction par exemple
de temps de vol

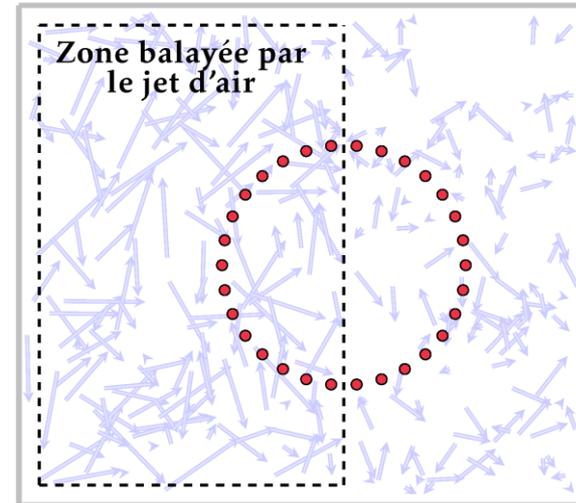
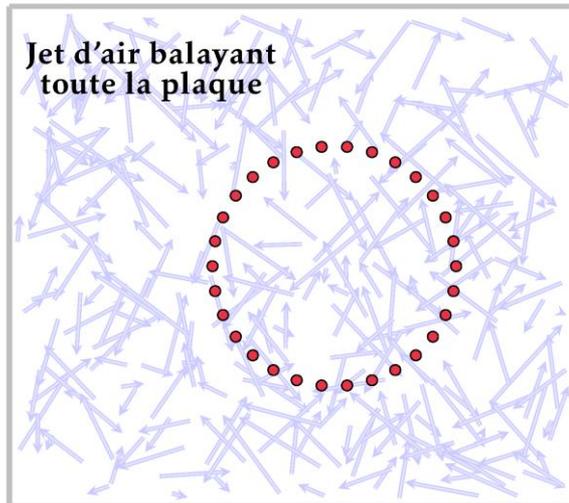
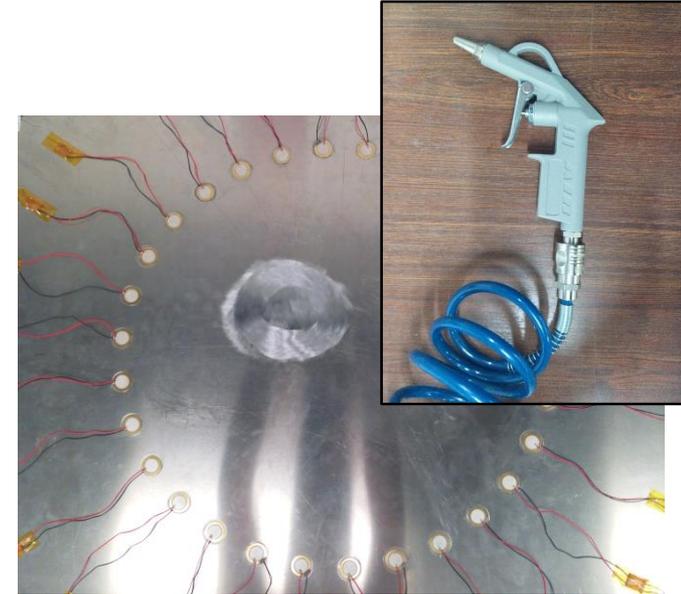


❖ Génération d'un bruit ambiant par jet d'air comprimé

- Mesure **simultanée** du bruit ambiant sur l'ensemble de la distribution de capteur durant **10 secondes**

❖ Utilisation du filtre inverse passif (FIP)

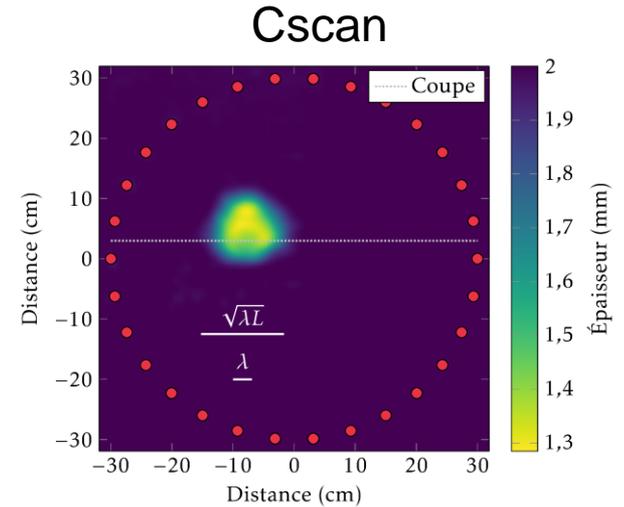
- Une mauvaise répartition de l'énergie du bruit est compensée par le FIP



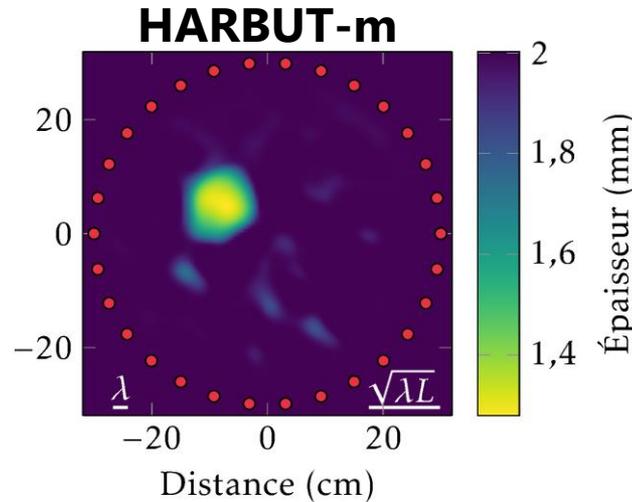
TOMOGRAPHIE EXPÉRIMENTALE PASSIVE – CAS D'UN BRUIT NE RESPECTANT PAS L'HYPOTHÈSE D'ÉQUIPARTITION

Corrélation de bruit ambiant

Diverge



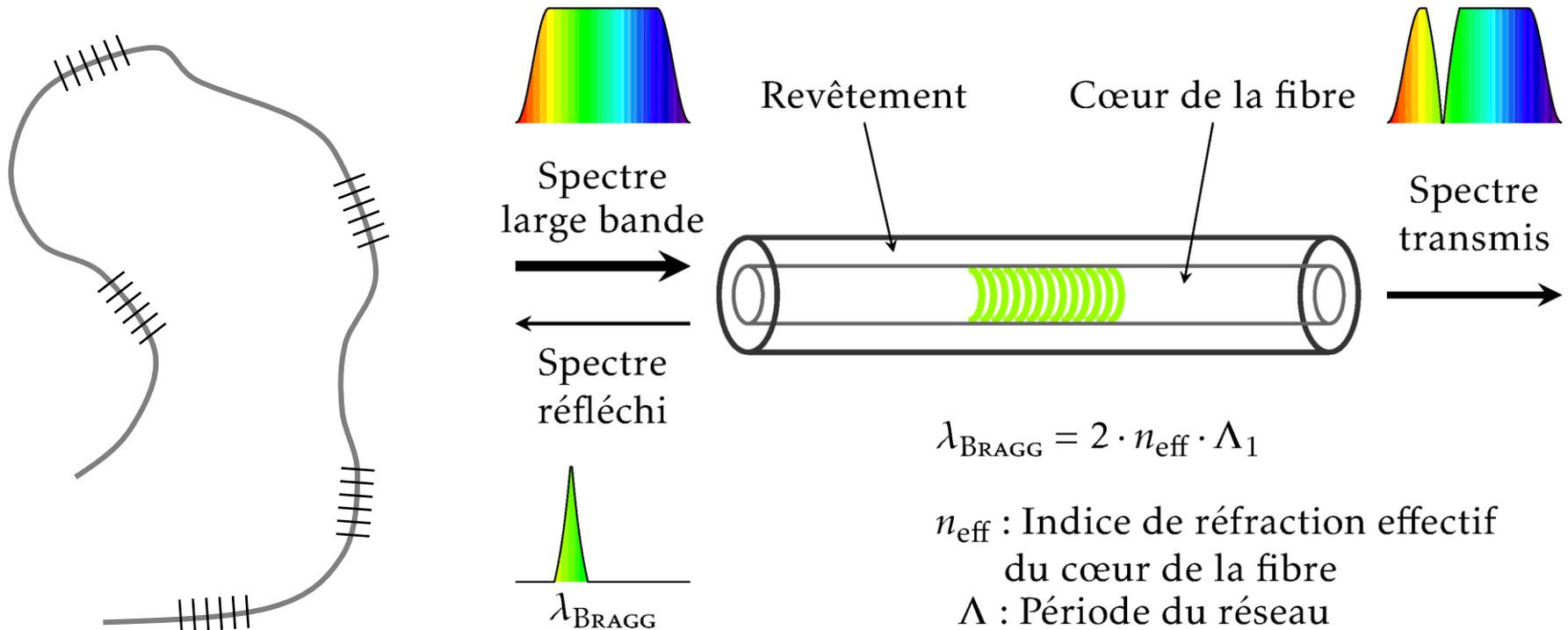
Filtre inverse passif



→ Tomographie passive dans le cas d'une mauvaise équipartition du bruit

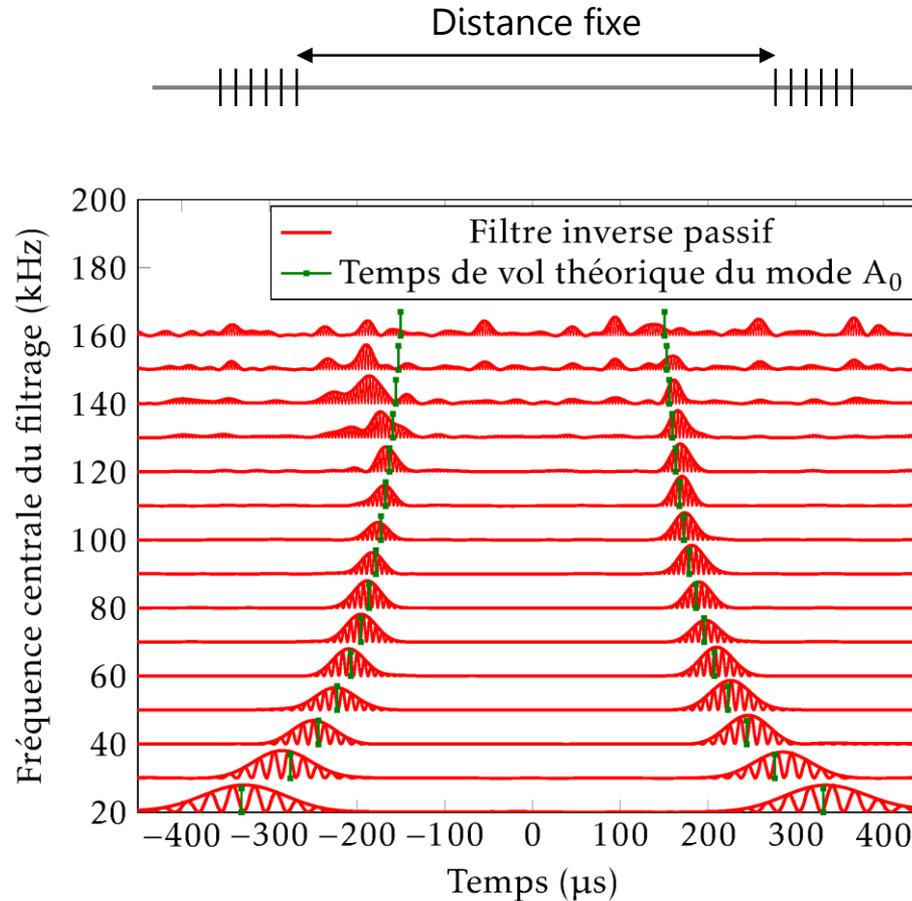
→ Sans état de référence

FONCTIONNEMENT DES RÉSEAUX DE BRAGG SUR FIBRE OPTIQUE (FBG)



- **Mesure à haute fréquence du spectre total réfléchi**
→ **Mesure de la propagation des ondes guidées par tous les FBG (disposés sur la fibre) en simultané**

MESURES D'ONDES ULTRASONORES PAR FBG

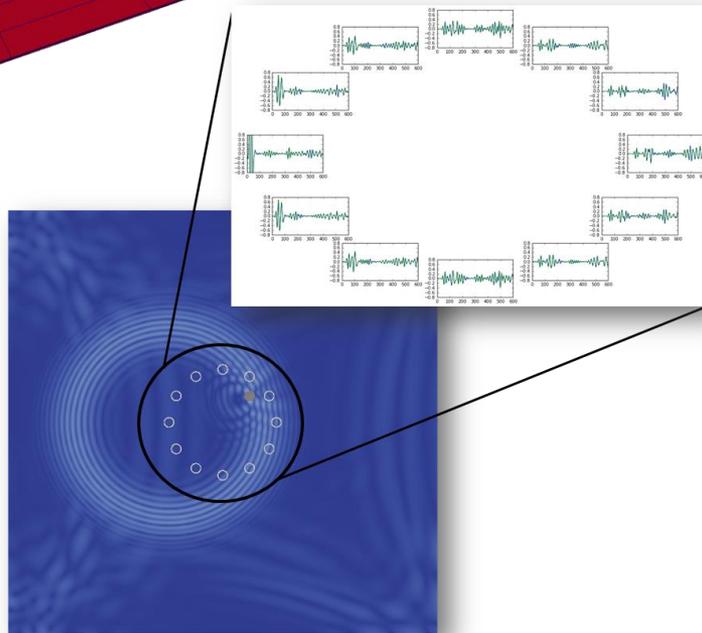
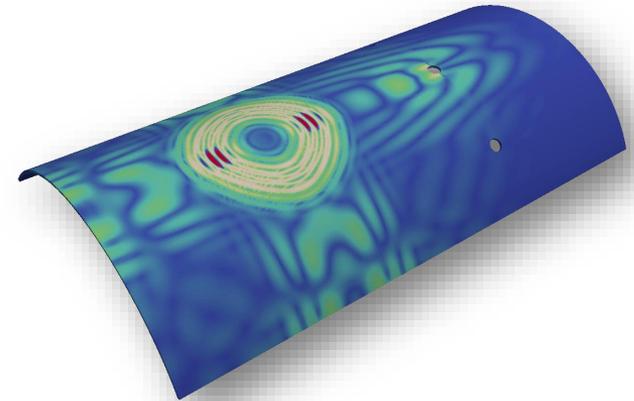
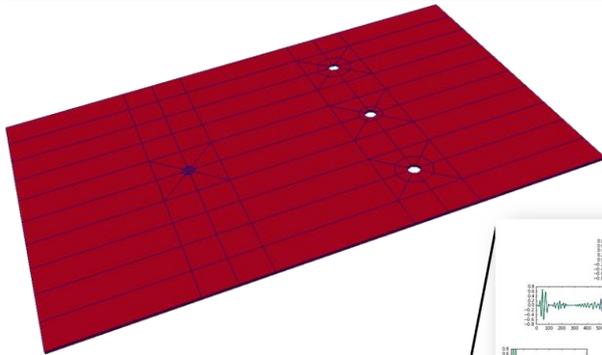


→ **Première mesure d'ondes ultrasonores tout FBG !**

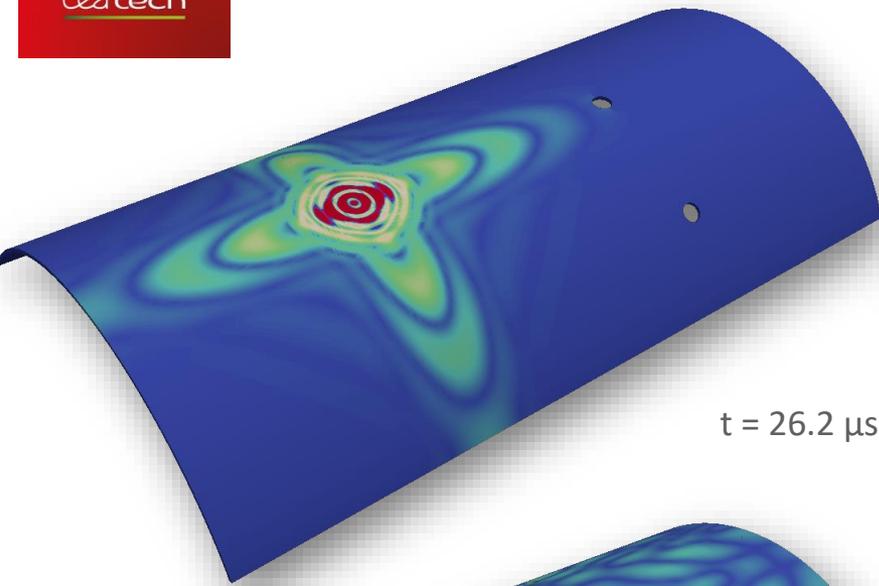
- Développement d'un système SHM pour composant aéronautique
- Tomographie passive par ondes guidées et capteurs FBG
- **Simulation pour le SHM**
- Comment démontrer la fiabilité du système SHM?

- **Principe**

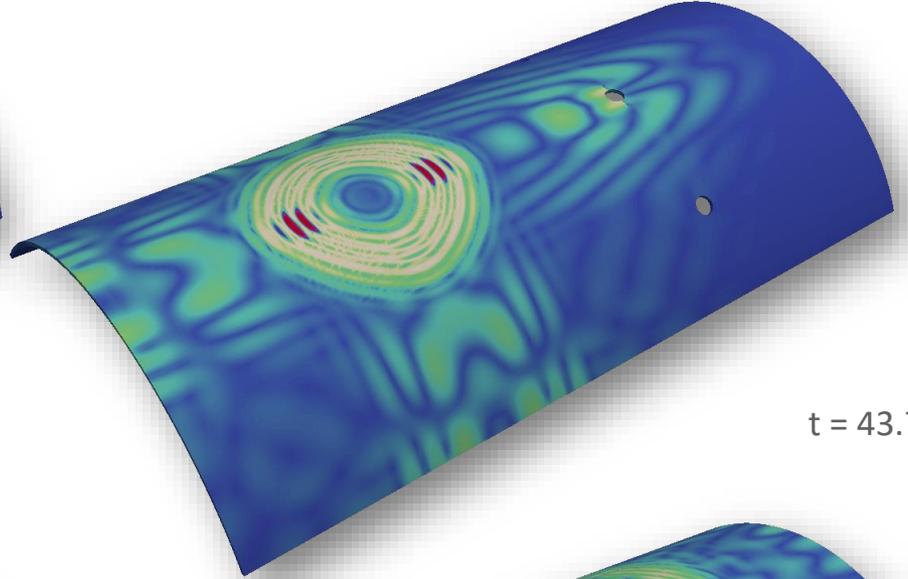
1. Méthode éléments finis d'ordre élevé (moins d'éléments)
2. Stratégie de maillage par macro-éléments (diminution mémoire et CPU)



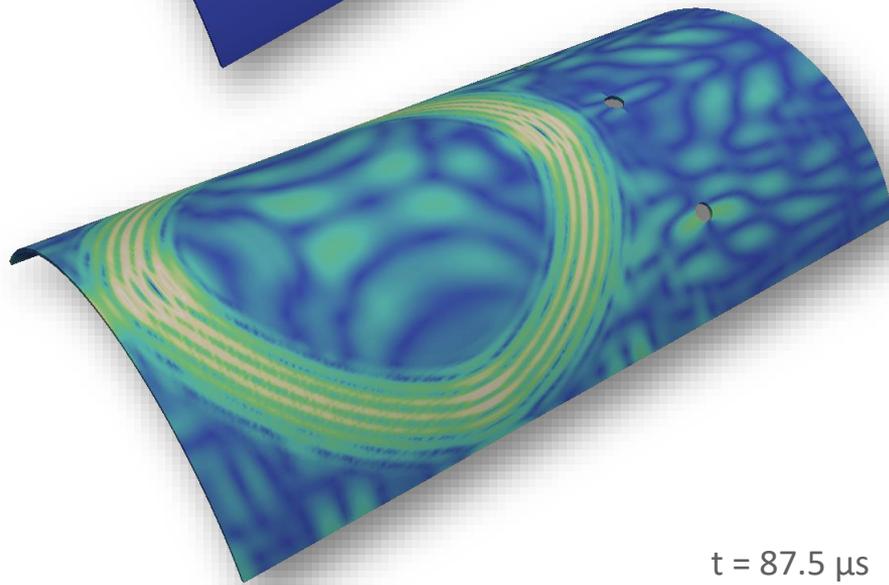
EXEMPLE – PANNEAU COMPOSITE COURBE



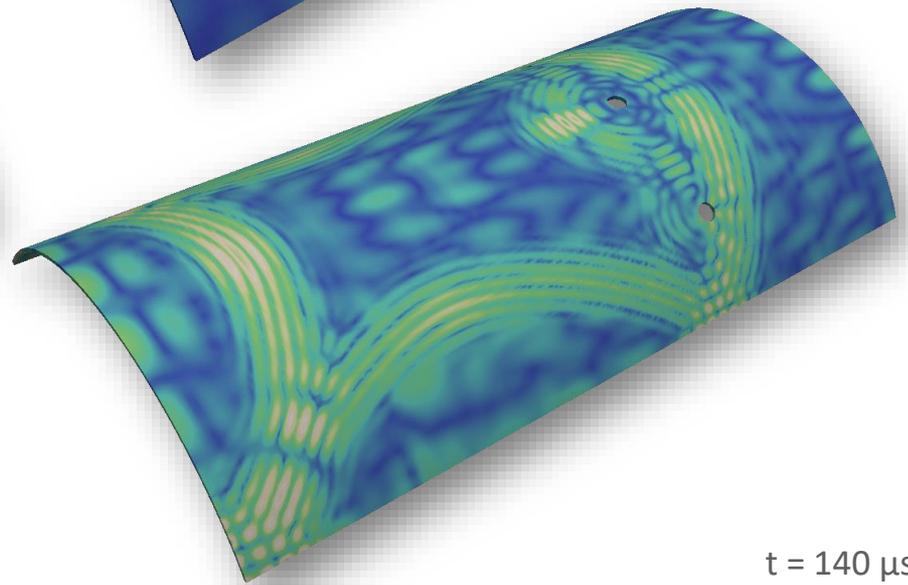
t = 26.2 μs



t = 43.7 μs



t = 87.5 μs



t = 140 μs

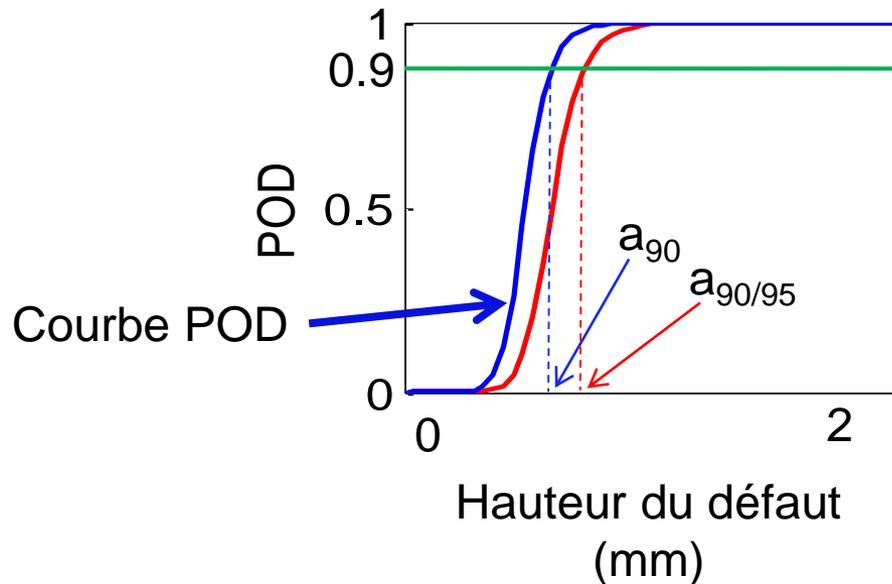
Composite 8 couches $[0^\circ/90^\circ]_{2s}$

$C_{11} = 155 \text{ GPa}$, $C_{12} = 5 \text{ GPa}$, $C_{22} = 13 \text{ GPa}$

$C_{23} = 7 \text{ GPa}$, $C_{55} = 6 \text{ GPa}$

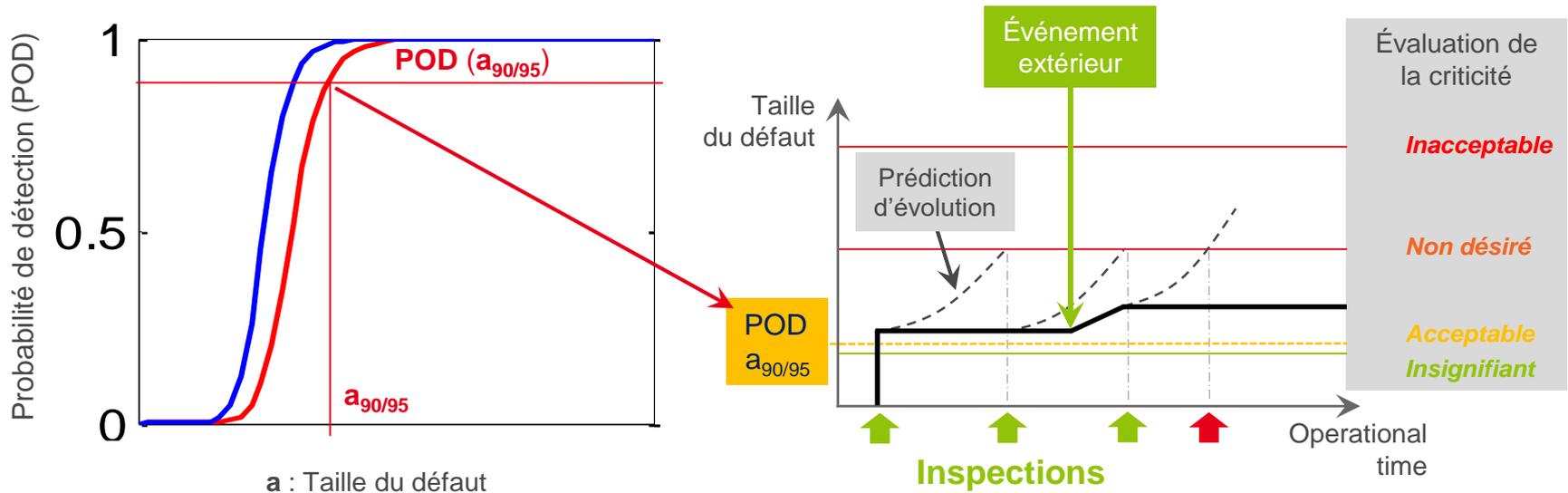
- Développement d'un système SHM pour composant aéronautique
- Tomographie passive par ondes guidées
- Simulation pour le SHM
- **Comment démontrer la fiabilité du système SHM?**

- POD = Probability Of Detection
- Probabilité de détection
- Une courbe POD représente, pour un système d'inspection et une configuration donnés, la probabilité de détecter un défaut en fonction de sa taille



Courbe généralement croissante

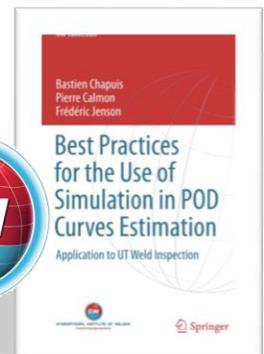
POD et démonstrations de performances



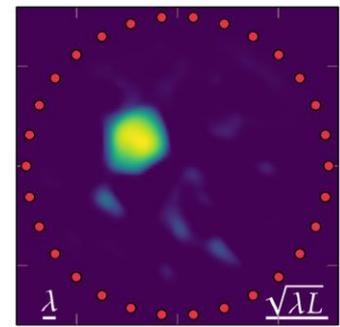
→ La courbe POD est un élément important pour fixer les intervalles de maintenance

Différents documents de recommandation précisent comment déterminer ces courbes POD, notamment :

- MIL-HDBK-1823A (US DoD)
- IIW RP

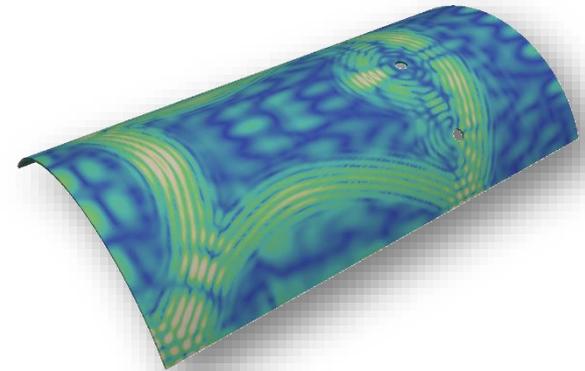


- **Comment démontrer la performance d'un système SHM?**
 - **La méthodologie POD décrite dans MIL-HDBK-1823A / IIW RP n'est pas directement applicable :**
 - Indépendance des données non vérifiée : même capteur au même endroit
 - Multiplier les mesures par le système SHM ne permet pas d'augmenter le nombre de données
 - Sensibilité forte à la position du défaut (SHM global / SHM local)
 - Dégradation des capteurs, calibration
- **Généralisation du cadre statistique, travaux de recherches en cours**
- **Simulation indispensable**



- **Méthodes d'imagerie innovantes pour le SHM par ondes guidées**
 - Tomographie passive → sans état de référence
 - Capteurs réseaux de Bragg sur fibre optique → système très peu intrusif

- **Nouveaux outils de simulation dédiés**



- **Démonstration de performance pour le SHM**

