

AIRCRAFT ENGINES

## « LASER3D »

**Moyen de mesures  
sans contact**

**Vibrométrie Laser à  
balayage PSV500-3D  
de Polytec**

P. Prayer 07/12/2023

 SAFRAN



# Agenda

---

**01**

Présentation du Laser3D

**02**

Principes de fonctionnement

**03**

Traitement des données

**04**

Process de mesure

**05**

Expérience acquise

**06**

Questions ?



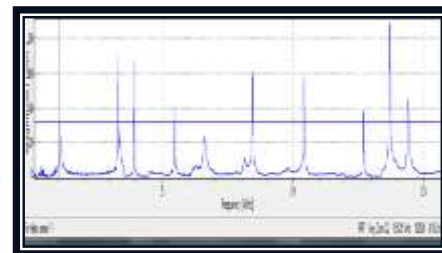
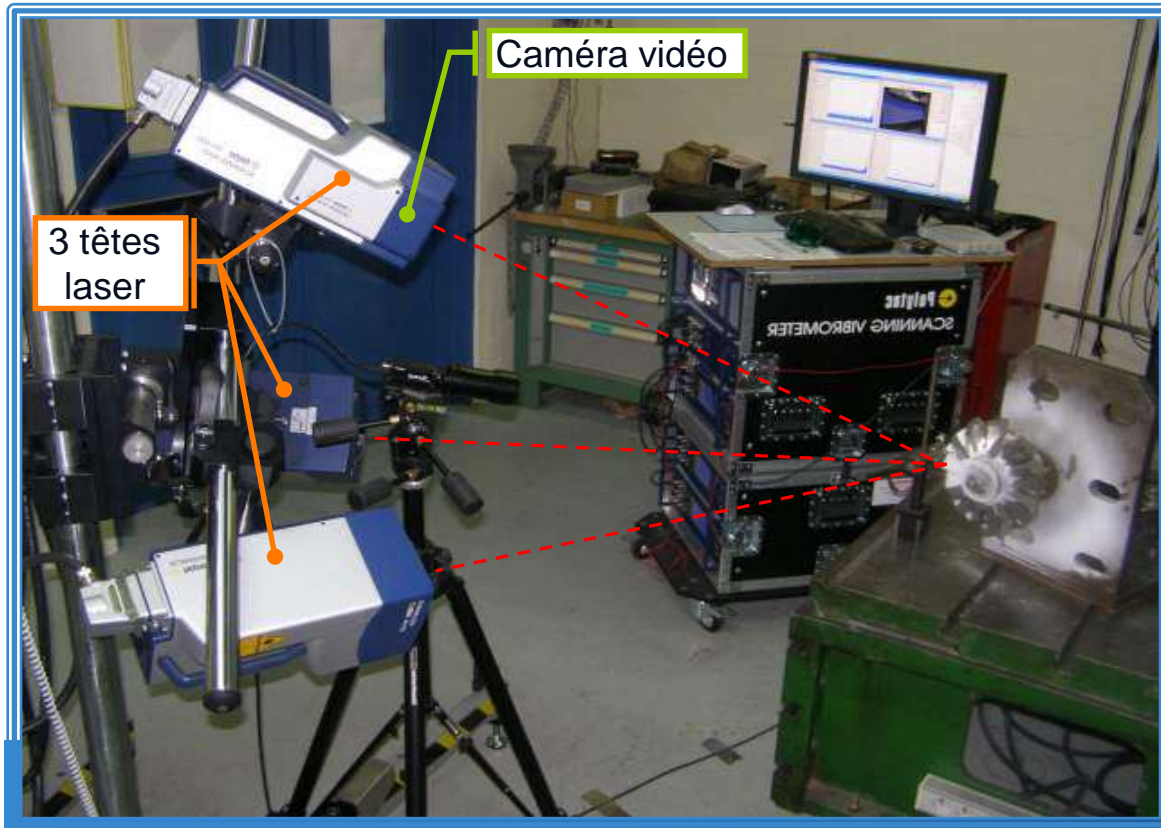
Chapitre 01

# Présentation du Laser3D

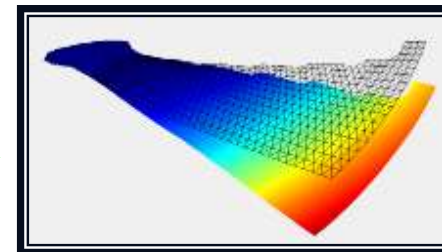


# Pourquoi ce système ?

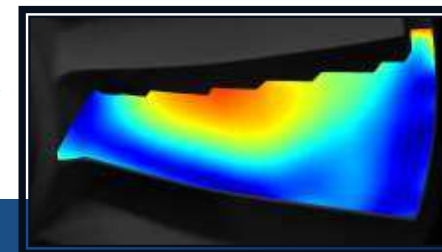
Pour étudier les réponses des pièces soumises à vibration



Fréquences « propres »



Déformées « opérationnelles »



Cartographies de contraintes

# Intérêts de ce système



- **Mesures optique = sans contact.**
  - Pas d'intrusivité sur le spécimen
- **Pas d'instrumentation**
  - Gain en coût
  - Gain sur le planning
- **Mise en œuvre rapide.**
  - Pas de câblage
  - Pas de risque de défaillance de capteurs
- **Automatisation de la mesure**
  - Travail de nuit → environnement au repos
- **Gamme de mesure large ] 0 ; 100 kHz]**
- **Analyse rapide**
  - Comparaison direct avec simulation
- **Remplace plusieurs essais.**

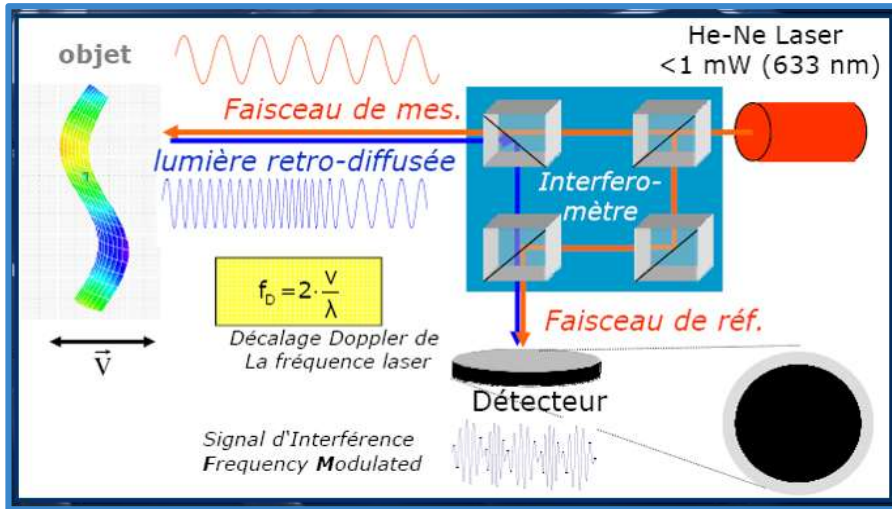


## Chapitre 02

# Principe de fonctionnement



# Fonctionnement de chacune des trois têtes



## ▪ Effet Doppler

- Faisceau lumineux modifié par le mouvement vibratoire du spécimen.

## ▪ Faisceau optique → si je vois, je mesure.

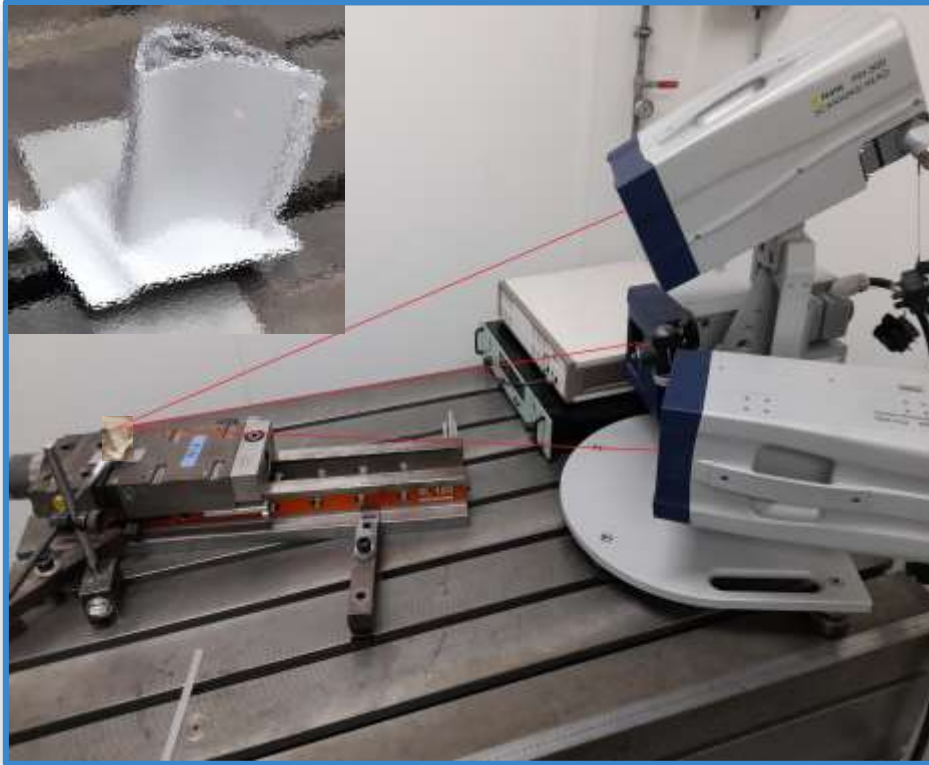
- Mesure uniquement la surface d'une structure.
- Sur une pièce de révolution, il faut mesurer par secteur.
- Il est aussi possible d'utiliser des miroirs spécifiques mais plus complexes.

## ▪ Mesure de la vitesse.

- Il faut que l'objet mesuré soit en mouvement.

Mesure d'une structure sur sa face "visible" en pleine vibration.

# Mesures en 3 dimensions



- **Convergence des 3 Lasers**

- Utilisation d'une caméra HD intégrée dans une des 3 têtes pour assurer cette convergence,

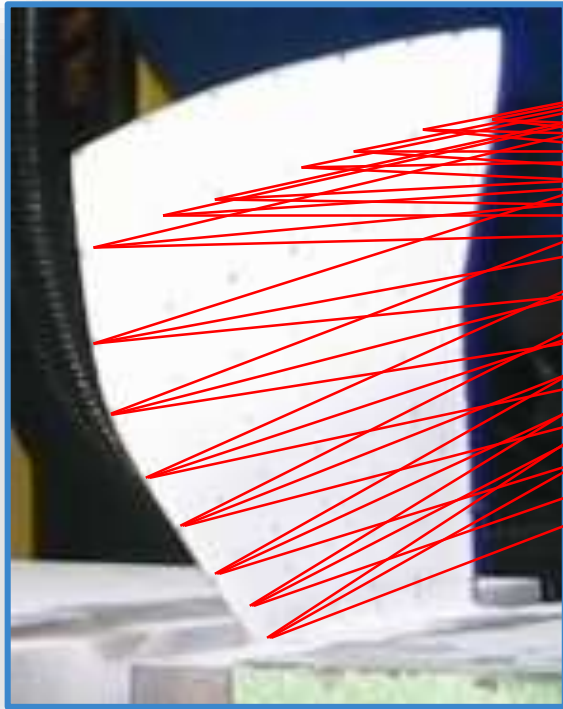
- **Géométrie réelle**

- Chemin optique rectiligne, fini sa course sur la surface physique de la pièce (non sur des coordonnées virtuelles) → le nœud définit la position réelle de la pièce au point considéré.

**Mesure d'une structure en 3 dimensions sur la vraie surface (et non nominale).**



# Mesures automatisées



- **Mesures en simultanée sur les 3 têtes :**

- Une fois la convergence validée (critère ajustable), la mesure est lancée simultanément sur les 3 lasers (moyennage sur plusieurs acquisitions afin d'améliorer le ratio signal/bruit)

- **Balayage automatisé :**

- Mesures répétées sur chacun des points du maillage issu du calcul E.F. ou réalisé manuellement.

**Temps estimé entre 2 et 4 heures pour une acquisition de 1000 points environ à réaliser de préférence la nuit (environnement au "repos").**

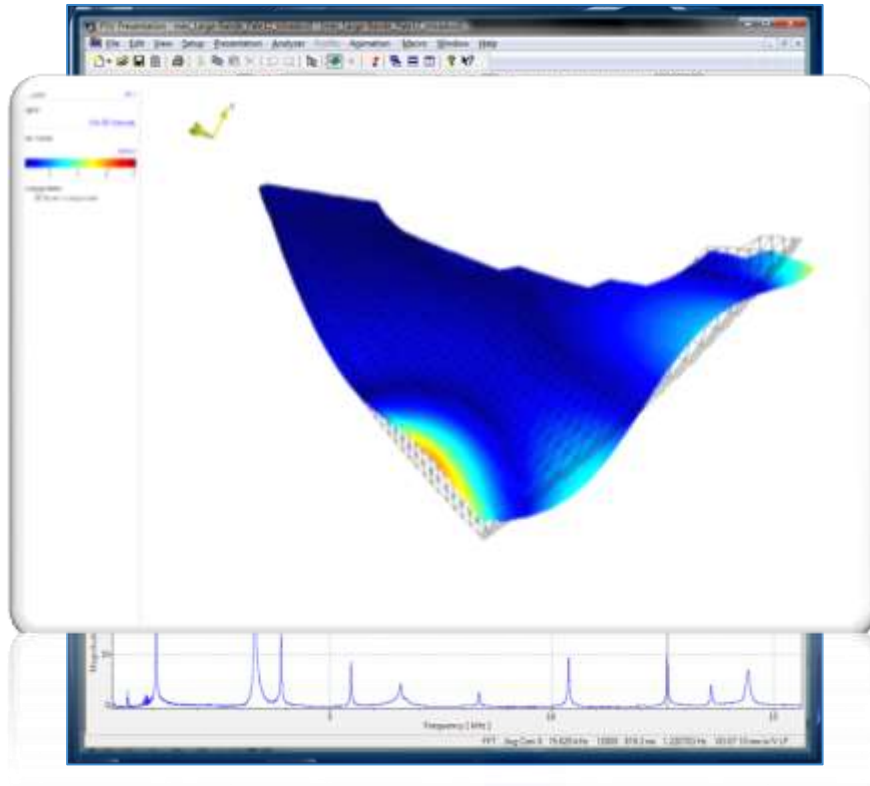


## Chapitre 03

# Traitement des données



# Analyse des données en déplacement



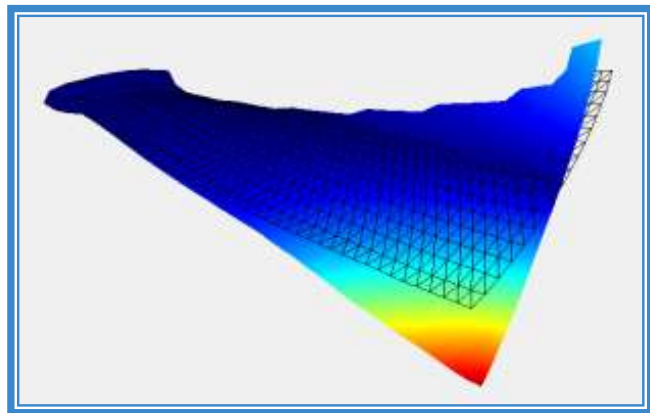
## ▪ Déformées Opérationnelles.

- Identification des fréquences propres.
  - Analyse rapide après mesures directement sur un spectre moyenné sur l'ensemble des points.
  - Définition des valeurs de fréquences et amortissements de chacune des "déformées"
  - Affichage des cartographies des déplacements en iso-couleurs
- Possibilité d'animation des déformées afin de mieux comprendre le mode (à l'instar du calcul E.F.)

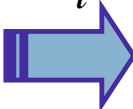
**Analyse rapide avec possibilité de vérification de "modes propres".**

# Exploitation des données en déformation ( $\sigma$ )

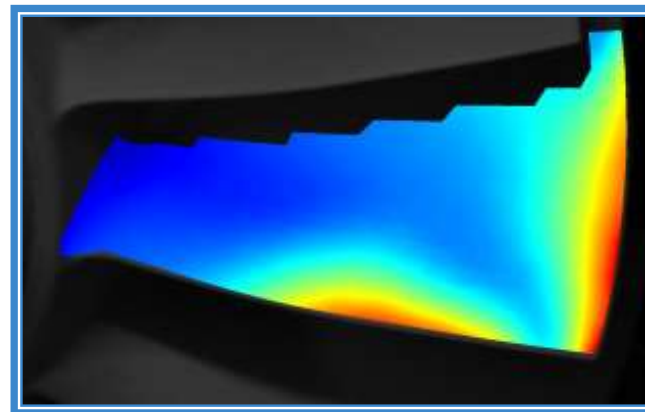
- Application du calcul de d'allongement entre 2 points établi à partir de la décomposition des déplacements dans les 3 axes.



Mesure de la déformée en  
3D (x,y,z)

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$


Cartographie de déformations ou contraintes



Application pour la mesure de la déformation ( $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_{xy}, \dots$ )  
=> Calcul de la contrainte (E et  $\nu$ ) cas matériau isotrope

**Synthèse :** La mesure en 3D permet de décomposer les calculs d'allongement dans les 3 directions et ainsi d'exprimer une cartographie de déformation  $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \varepsilon_{xy}, \varepsilon_{xz}, \varepsilon_{yz}$ .

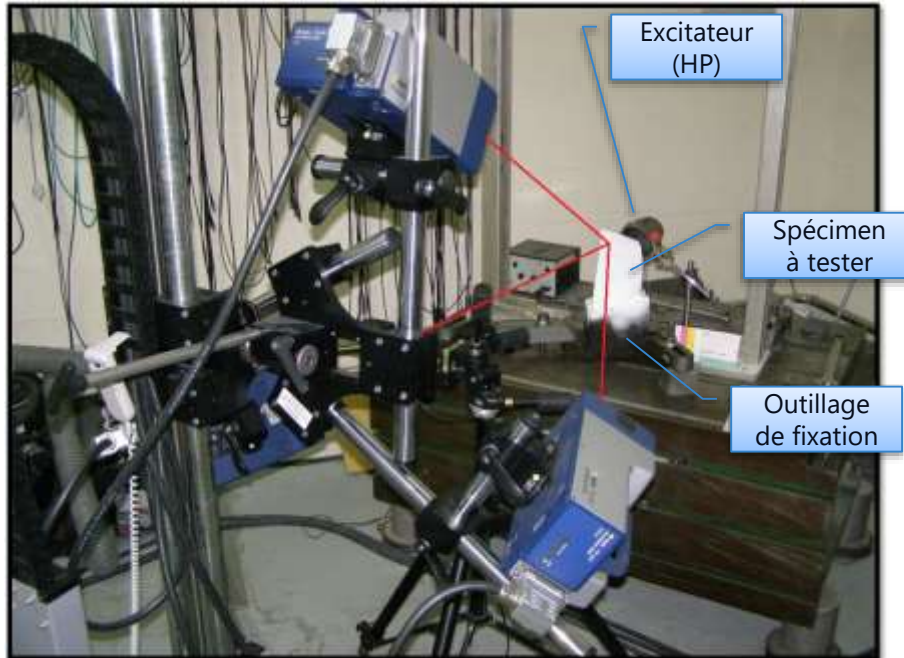


## Chapitre 04

# Process de mesure



# Préparation du Laser-3D

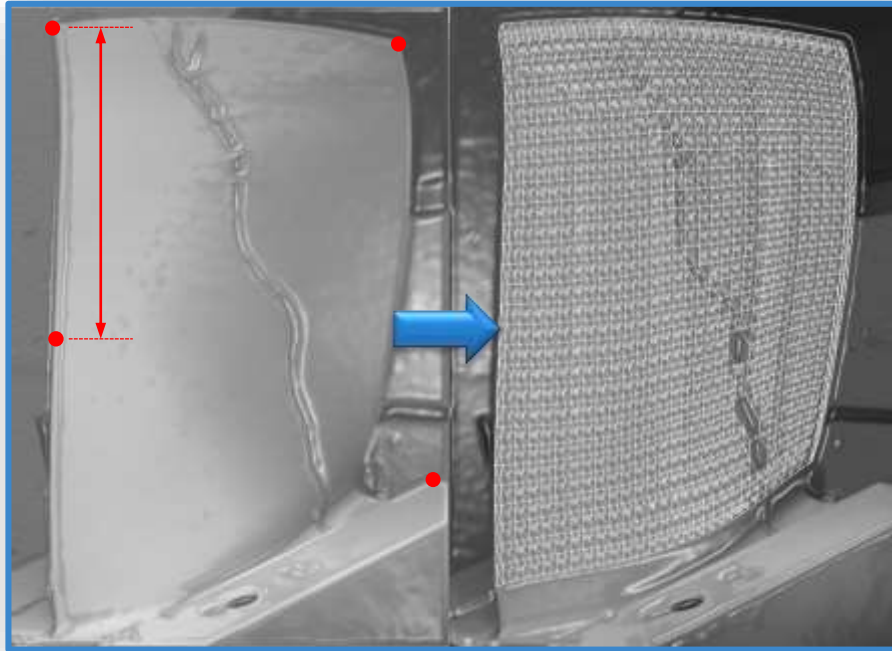


## ■ Calibration du système :

- Pose d'un spray (poudre blanche type ARDROX NQ1) pour améliorer le retour laser.
- Création du repère banc et localisation de chaque tête dans ce dernier.
- Transformation dans le repère moteur si besoin.
- Pilotage des lasers sur la surface du spécimen.

**Utilisation du télémètre laser intégré ou d'une pièce étalon pour la calibration du système dans l'espace.**

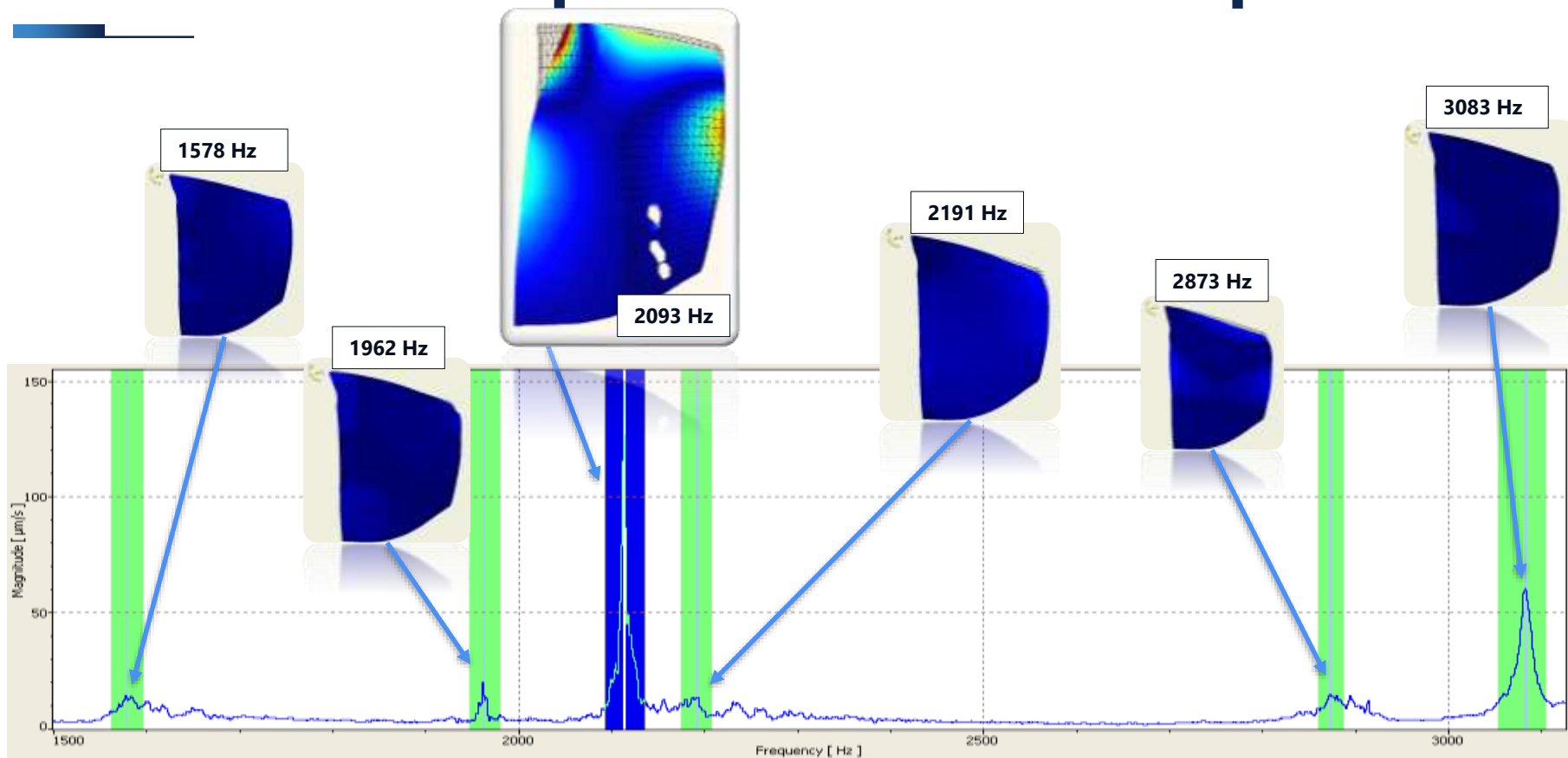
# Définition du maillage



- **Application du maillage sur le spécimen.**
  - Définition des points du maillage (~1000).
  - Création manuelle → repère banc.
    - Construction en 2D puis "triangulation" pour coller les points à la surface de la pièce.
  - Importation du maillage BE → Expression de tous les résultats dans le repères moteur.
    - Utilisation de 4 points caractéristiques sur le spécimen (ex. angles)

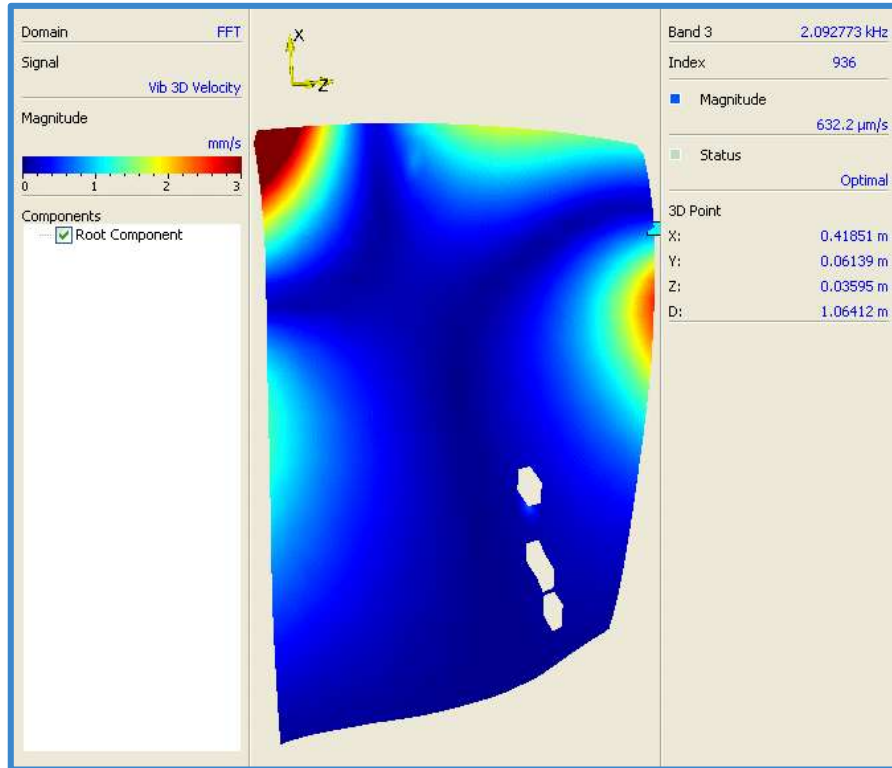
**L'utilisation du maillage BE permet une comparaison directe Calcul/Essai nœud à nœud (matrice de MAC).**

# Identification des fréquences de résonance du spécimen





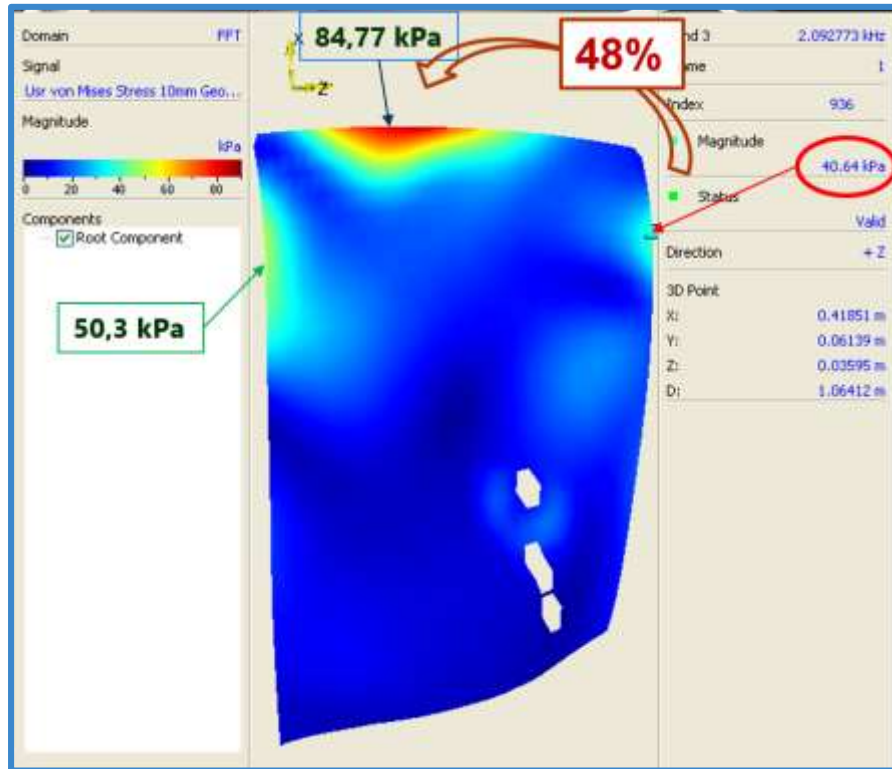
# Résultats des déformées (déplacement)



- **Expression des déplacements en chaque point dans le repère défini.**
  - Transmission possible de la base modale en fichier .UNV
  - Possibilité d'exprimer les résultats dans la base moteur → si mise à disposition du maillage BE
- **Affichage des valeurs en absolu.**
  - En rapport avec l'effort d'excitation très faible.

La cartographie de déplacement est établie à niveau très faible → suppose une linéarité de la structure.

# Exploitation des déformations

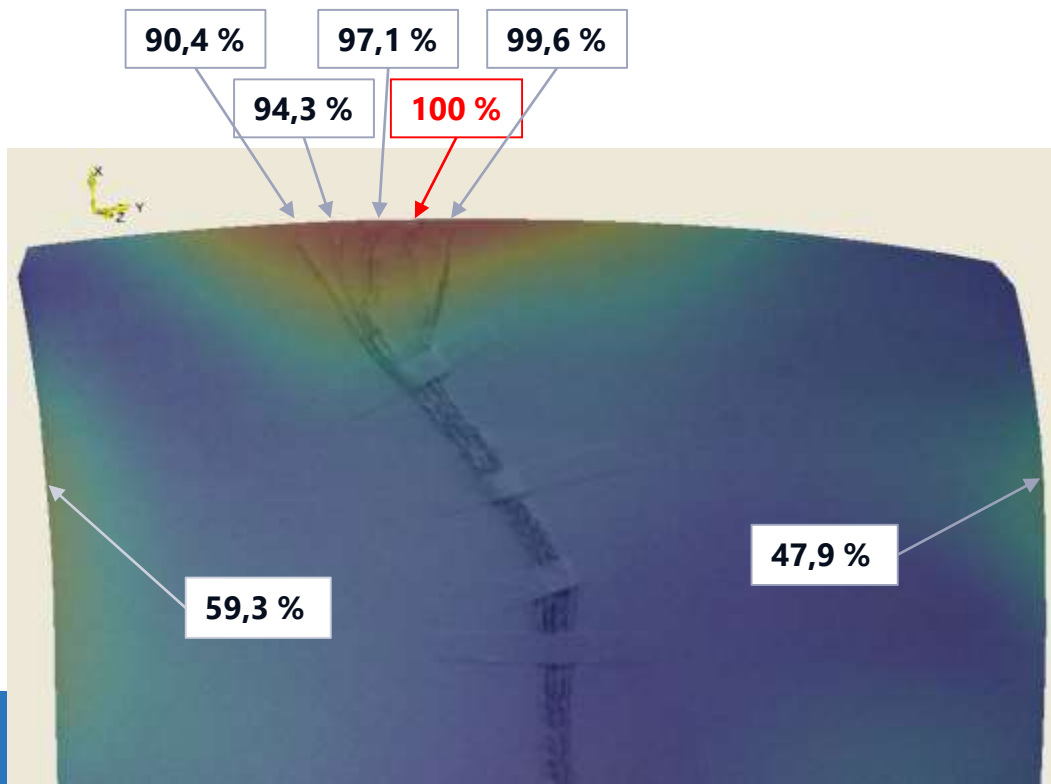
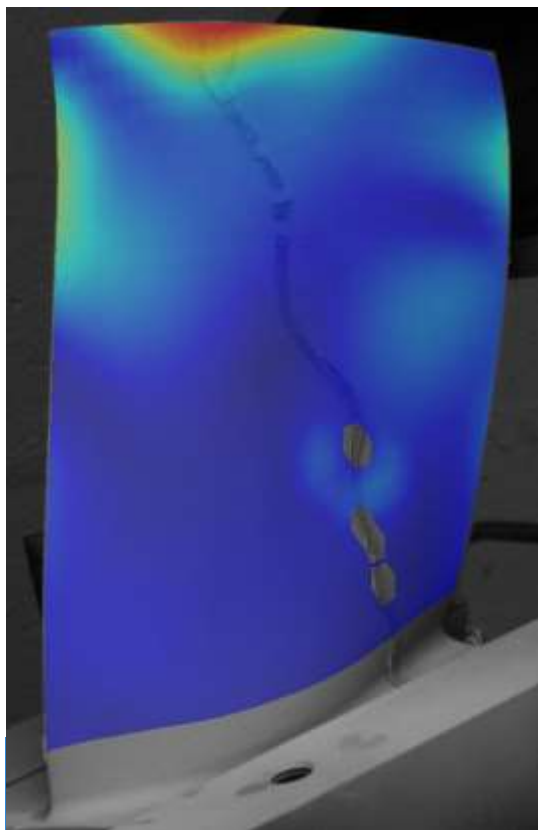


- **Expression des déformations recalculées en chaque point dans le repère défini.**
  - Transmission possible de la base des déformations en fichier .UNV
  - Possibilité d'exprimer les résultats dans la base moteur → si mise à disposition du maillage BE
  
- **Affichage des valeurs en absolu.**
  - En rapport avec l'effort d'excitation très faible.

**Expression des déformations ou contraintes si matériau isotrope.**

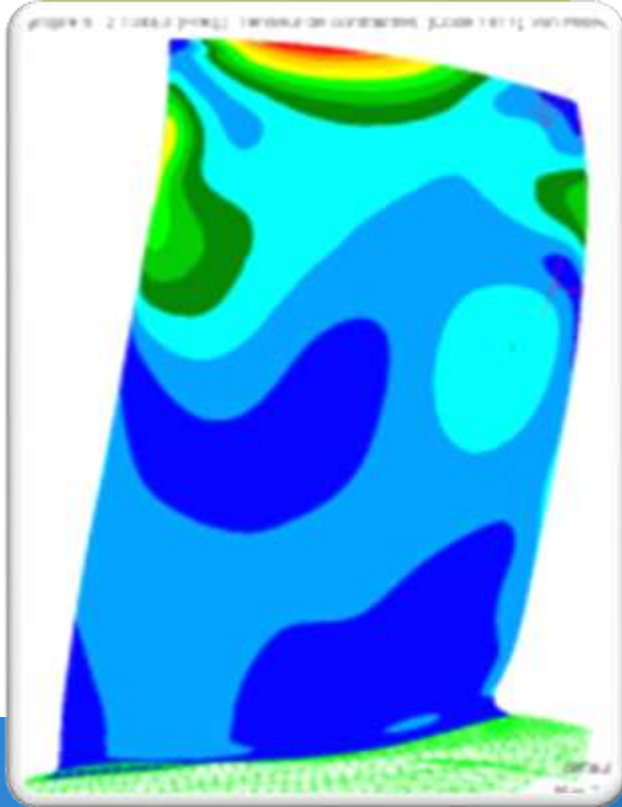
# Supperposition des résultats sur l'image vidéo

## Visualisation des contraintes aux jauges

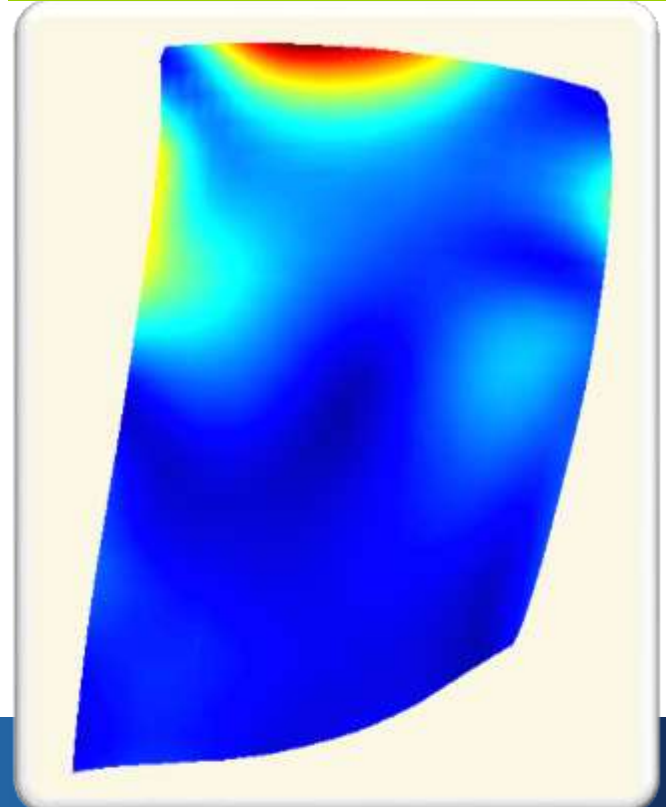


# Comparaison Simulation / Essai

Résultats des calculs E.F.



Résultats des mesures Laser-3D





## Chapitre 05

# Expérience acquise



# RETEX 01

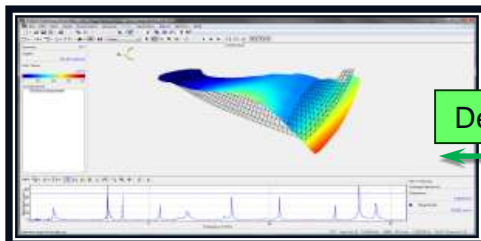
C2 - Confidential



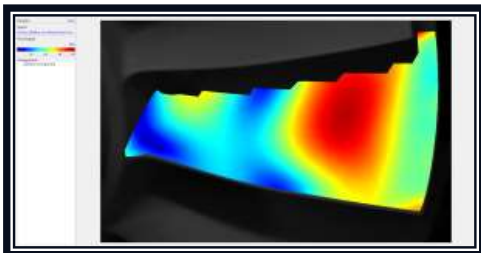
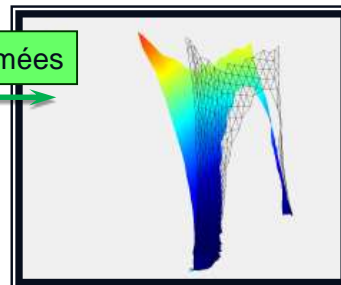
DAM



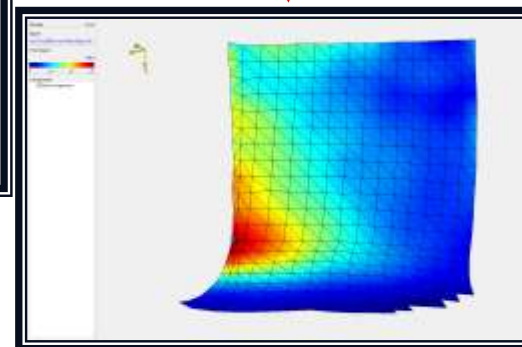
RD4 (pale unitaire)



Déformées



Contraintes



**Cas de spécimens métalliques → matériau isotrope E identique dans toutes directions**  
Pièces de petites voir toutes petites dimensions

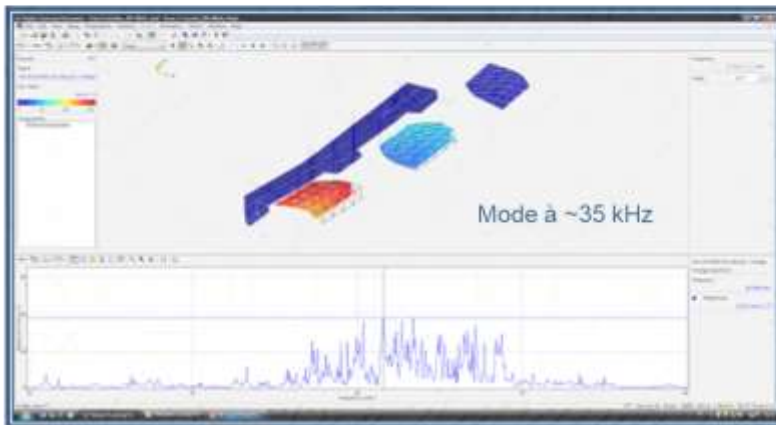
# RETEX 02



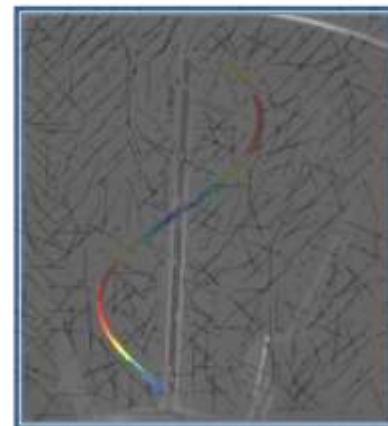
*Dents de disque*



*Bras carter*



Déformées



## Recherche des déformées de petites pièces à hautes fréquences

# RETEX 03

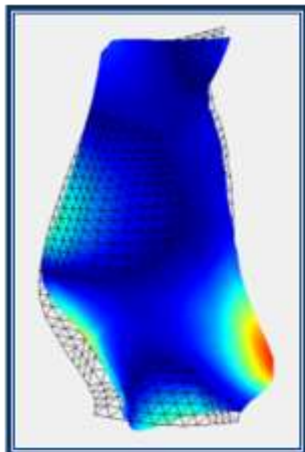
C2 - Confidential



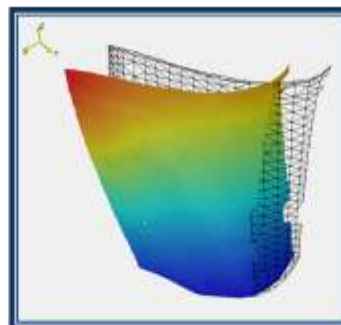
*Aube FAN composite*



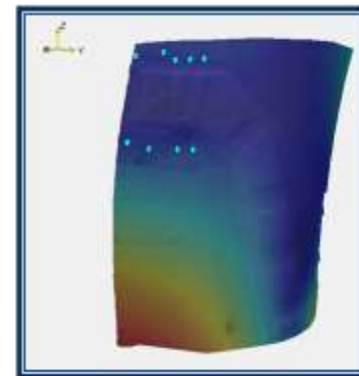
*RM TuHP*



Déformées



Contraintes



**Cas de spécimens particuliers → matériau monocristallin E unique dans une direction**  
Confirmation de la valeur lue par la jauge de contraintes (jauge moteur)

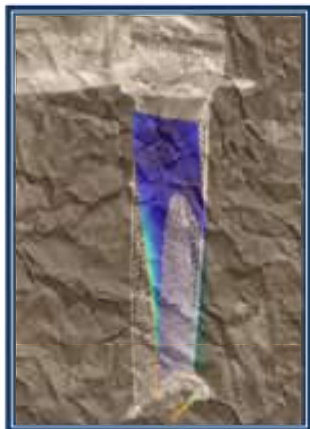


# RETEX 04

C2 - Confidential

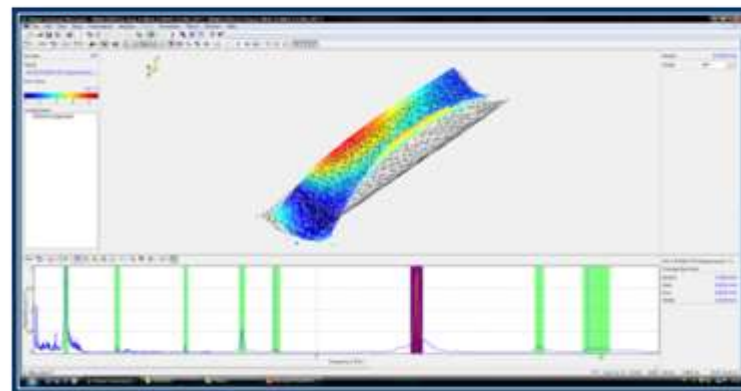


RM1 en CMC « Libre-Libre »



RM1 en CMC « Enc-Libre »

Déformées



**Cas de spécimens en matériau composite → anisotrope E différents suivant la direction,  
Pour palier à la difficulté d'instrumentation**



## Chapitre 06

# Questions ?

