



NRTW
Normandy *Reliability* Technology Workshop



Analyse de l'endommagement par fatigue vibratoire et modélisation numérique de l'excitation du banc HALT

NRTW'2017

Présenté par: **Ahmed YAICH**

Encadré par :

- Mr. Abdelkhalak ELHAMI**
- Mr. Lassâad WALHA**
- Mr. Mohamed HADDAR**

Plan de l'exposé

Introduction et problématique

Endommagement par fatigue

Etude de la table QUALMARK

Conclusion et perspectives

Dans notre environnement quotidien, des nombreuses structures sont soumises à des chargements aléatoires:

➤ du vent ou encore des tremblements de terre sur les ponts et les bâtiments,



➤ des turbulences atmosphériques sur les avions,



➤ de la houle sur les bateaux ou les structures offshore,



➤ des irrégularités de la route sur les châssis et les éléments de suspensions de véhicules.

➔ Ces chargements aléatoires peuvent engendrer un endommagement par fatigue

- ✓ Il y a plusieurs sociétés qui fabriquent des pièces utilisées dans de nombreuses applications lourdes dans des conditions extrêmes
- ✓ Afin d'**améliorer la performance** de ces pièces, **des tests** qui pousseront ces pièces à leurs limites de défaillance sont très efficace, afin de **découvrir leur faiblesse.**
- ✓ Qualmark fabrique des systèmes de chambre pour fournir aux industries un outil permettant d'exécuter des tests de fatigue aggravés et accélérés avec des systèmes intégrés HALT / HASS



- 
- ✓ Méthode de calcul de l'endommagement par fatigue des pièces soumise à des vibrations aléatoire,
 - ✓ Les étapes faite pour la modélisation des excitations transmises aux pièces superposées sur la table Qualmark pour connaitre la quantité d'énergie fournie à chaque point.

 **Calcul de l'endommagement par fatigue des pièces superposés sur la table**

Plan de l'exposé

Introduction et problématique

Endommagement par fatigue

Etude de la table QUALMARK

Conclusion et perspectives

Vibrations aléatoire

✓ Processus aléatoire $\{f(t)\}$: c'est l'ensemble des variable aléatoire f_i

➤ Valeur moyenne à un instant t_1 :

$$[f(t_1)] = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t_1) \cdot p(f(t_1)) df$$

➤ Variance :

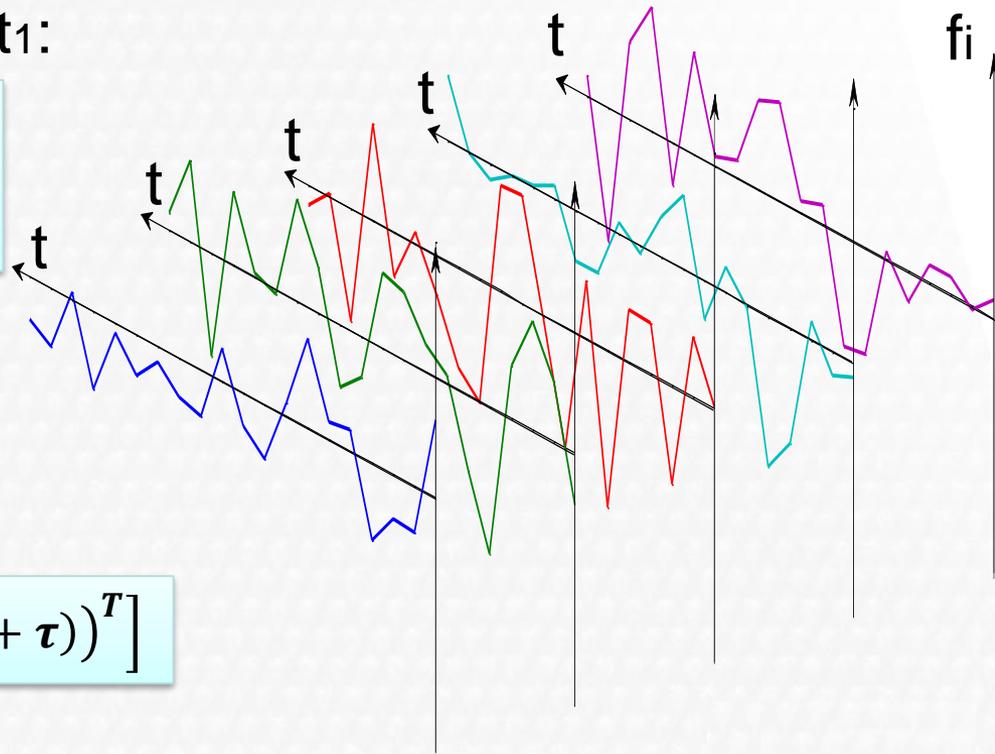
$$v^2 = E[f^2] - (E[f])^2$$

➤ Fonction d'autocorrélation :

$$R_f(t_1, t_1 + \tau) = E \left[(f(t_1)) \cdot (f(t_1 + \tau))^T \right]$$

➤ Matrice de covariance :

$$\Sigma_f(t_1, t_1 + \tau) = E \left[\left(f(t_1) - E(f(t_1)) \right) \cdot \left(f(t_1 + \tau) - E(f(t_1 + \tau)) \right)^T \right]$$





Densités spectrales de puissance DSP

- La densité spectrale de puissance est la transformée de Fourier de la fonction d'autocorrélation
- La DSP détermine la répartition fréquentielle de l'énergie moyenne du processus

$$\Phi_f(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} R_f(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau$$

Propriétés statistiques des processus aléatoires

- les principaux paramètres statistiques des processus stochastiques gaussiens dans le domaine fréquentiel sont :

- ✓ Les moments spectraux :

$$m_i = \int_{-\infty}^{+\infty} \omega^i \Phi_{\sigma}(\omega) d\omega$$

- ✓ Nombre de passage par un niveau b avec pente positive :

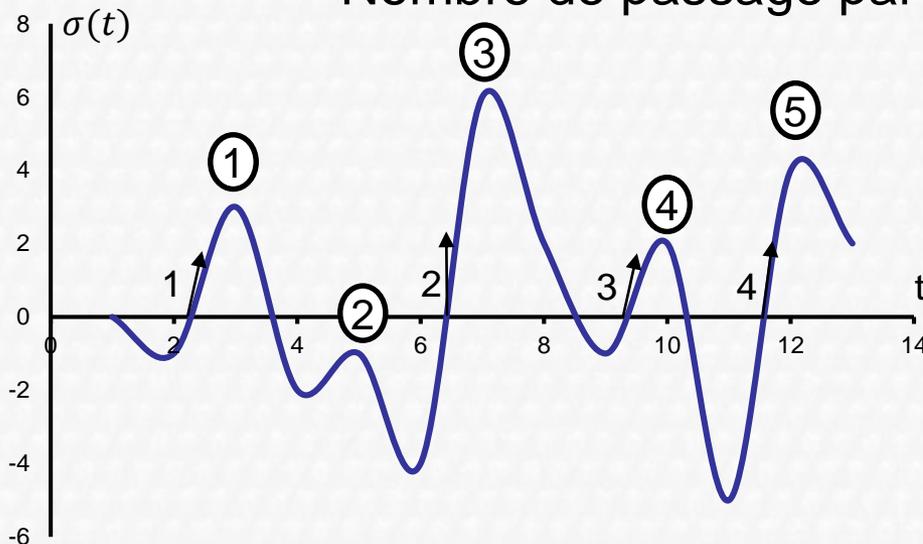
$$N_b = \sqrt{\frac{m_2}{m_0}} e^{-\frac{b}{2m_0}}$$

$$N_0 = \sqrt{\frac{m_2}{m_0}}$$

nombre de passage par zéro

$$N_p = \sqrt{\frac{m_4}{m_2}}$$

nombre moyen de maxima



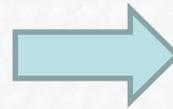
Analyse de l'endommagement par fatigue

- ✓ estimation de la **durée de vie d'une pièce** soumise à **des vibrations aléatoires**
- ✓ Un critère de fatigue multiaxial peut être représenté par :

$$g(S_{i,j}(t), \mathbf{T}) \leq 1$$



Minimiser le
temps de
calcul



**Analyse de
fatigue dans le
domaine
fréquentiel**

- ✓ Calcul de la **densité spectrale de puissance des contraintes** à chaque point de la structure.

Analyse de l'endommagement par fatigue

✓ The **critère de Sines** Semble donner la meilleure évaluation de l'endommagement des pièces soumis à des contraintes aléatoires.

$$E[D_{Sines}] = \frac{E[\sqrt{J_{2,a}}] + \alpha E[p(t)]}{\beta} \leq 1$$

- $J_{2,a}$ est le second invariant du déviateur de contrainte.
- $p(t)$ est la pression hydrostatique
- α et β sont des constant relié au matériaux

$$\alpha = \frac{3t_{-1}(R_m + f_{-1})}{f_{-1}R_m} - \sqrt{6}$$

$$\beta = t_{-1}$$



ANSYS

Construire le modèle

Analyse modale

Analyse spectrale

DSP des contraintes: Φ_s

MATLAB

Matrice de covariance de s : Σ_s

Matrice de covariance
de d : Σ_d
 $\Sigma_d = P\Sigma_s P^T$

$$P = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{3} & -\frac{\sqrt{3}}{6} & -\frac{\sqrt{3}}{6} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matrice des valeur propre de Σ_d : A_d

DSP de \tilde{d} : $\Phi_{\tilde{d}}$
 $\tilde{d}(t) = A_d d(t)$

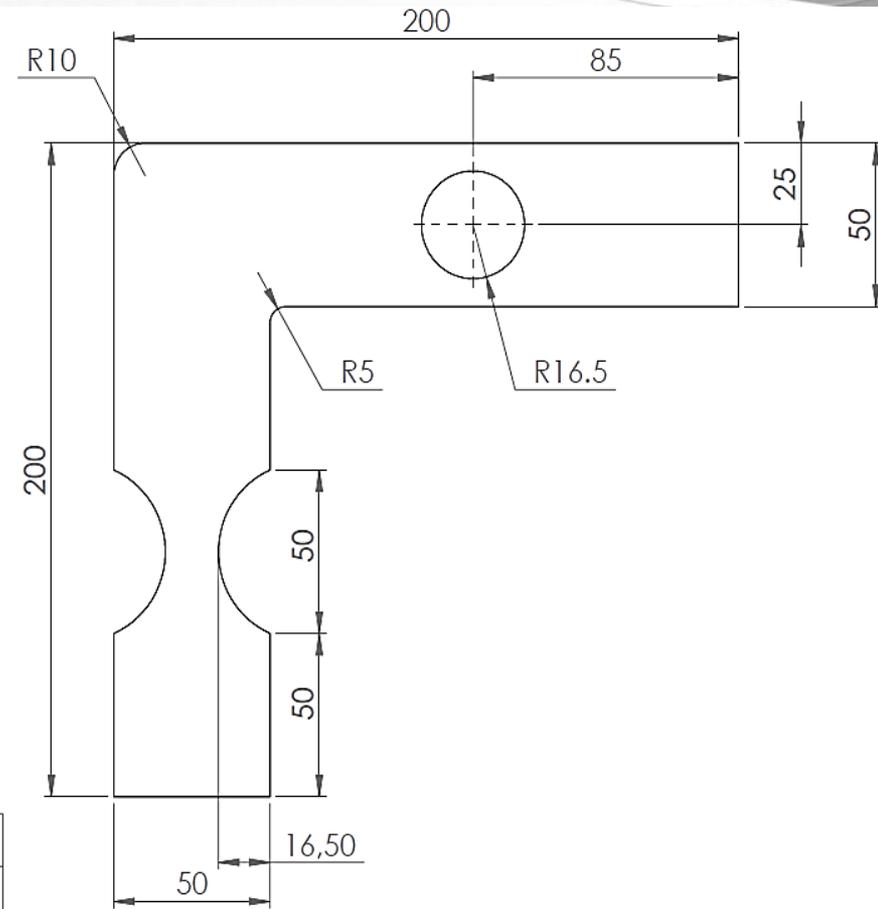
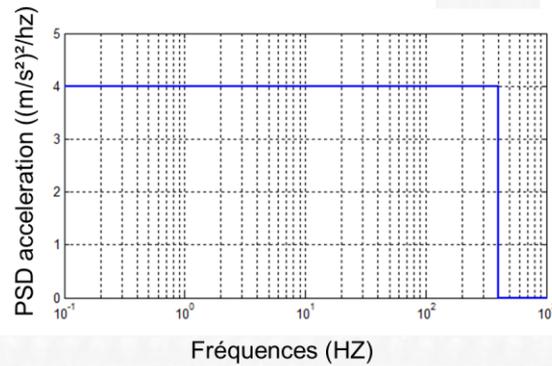
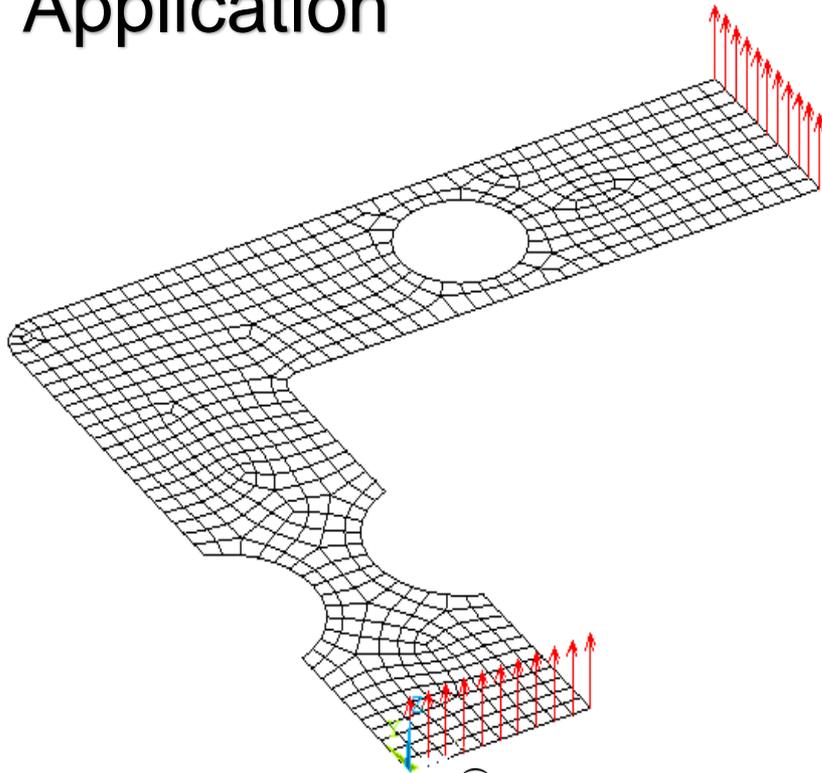
Matrice de covariance de \tilde{d} : $\Sigma_{\tilde{d}}$
 $\Sigma_{\tilde{d}} = A_d \Sigma_d A_d^T = \text{diag}(\sigma_1^2, \sigma_2^2, \sigma_3^2, \sigma_4^2, \sigma_5^2)$

Nombre moyenne des maximas
 N_p

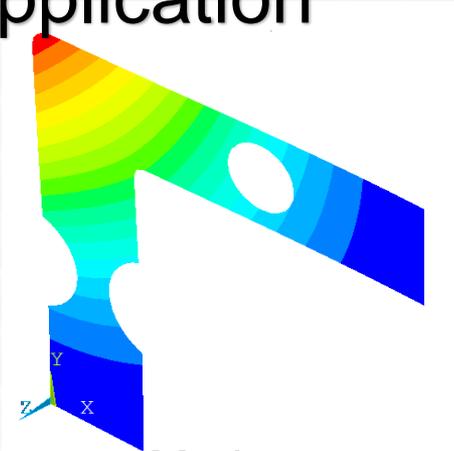
Moyenne de la contrainte de cisaillement: $E[\sqrt{J_{2,a}}]$
(équation 22-23)

Moyenne de la fatigue: $E[D_{Sines}]$
(équation 41)

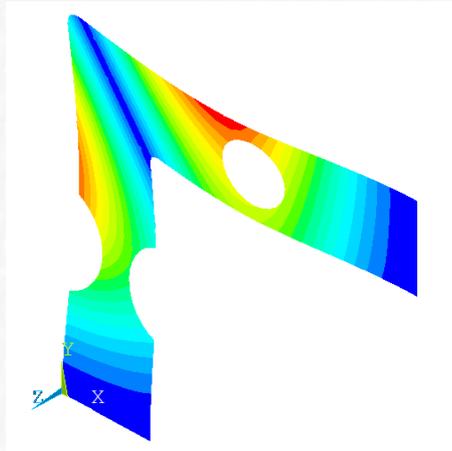
Application



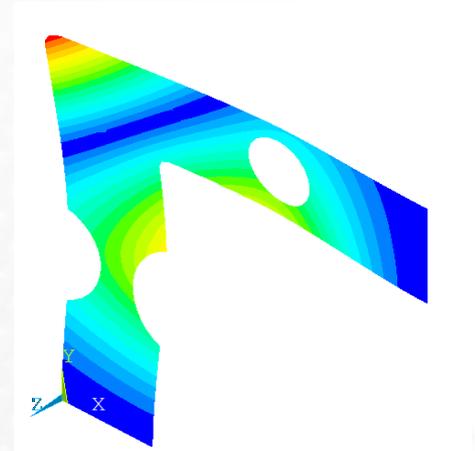
Application



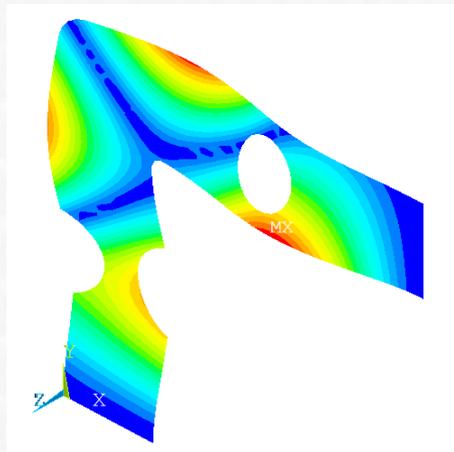
Mode 1



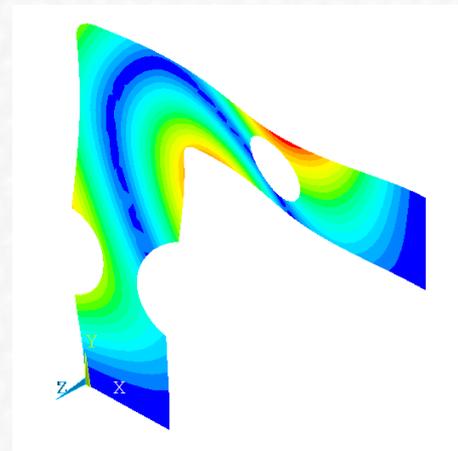
Mode 2



Mode 3

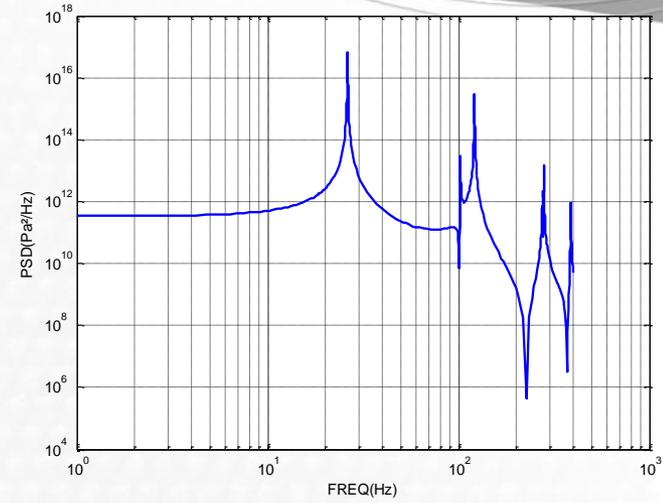
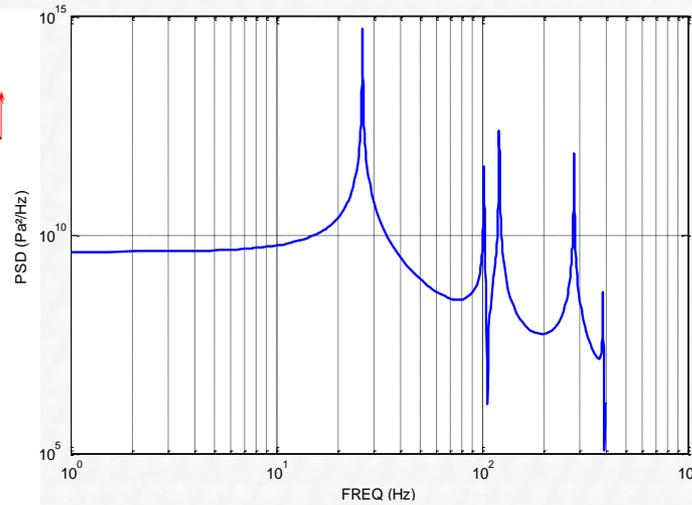
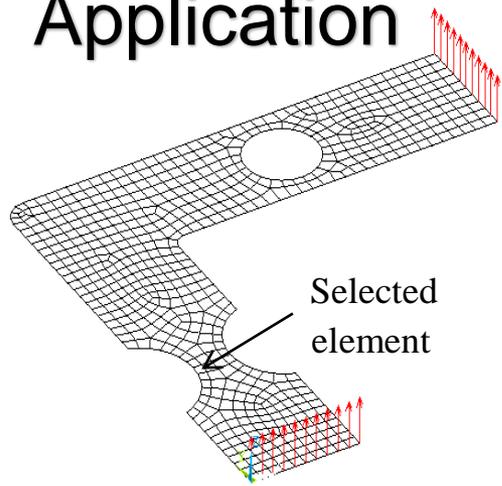


Mode 4

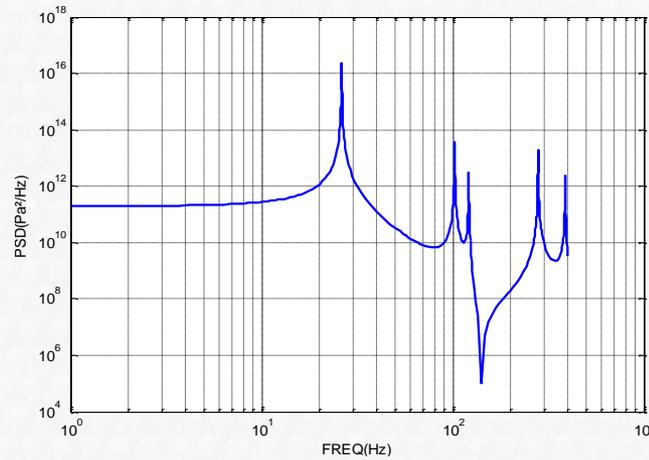


Mode 5

Application

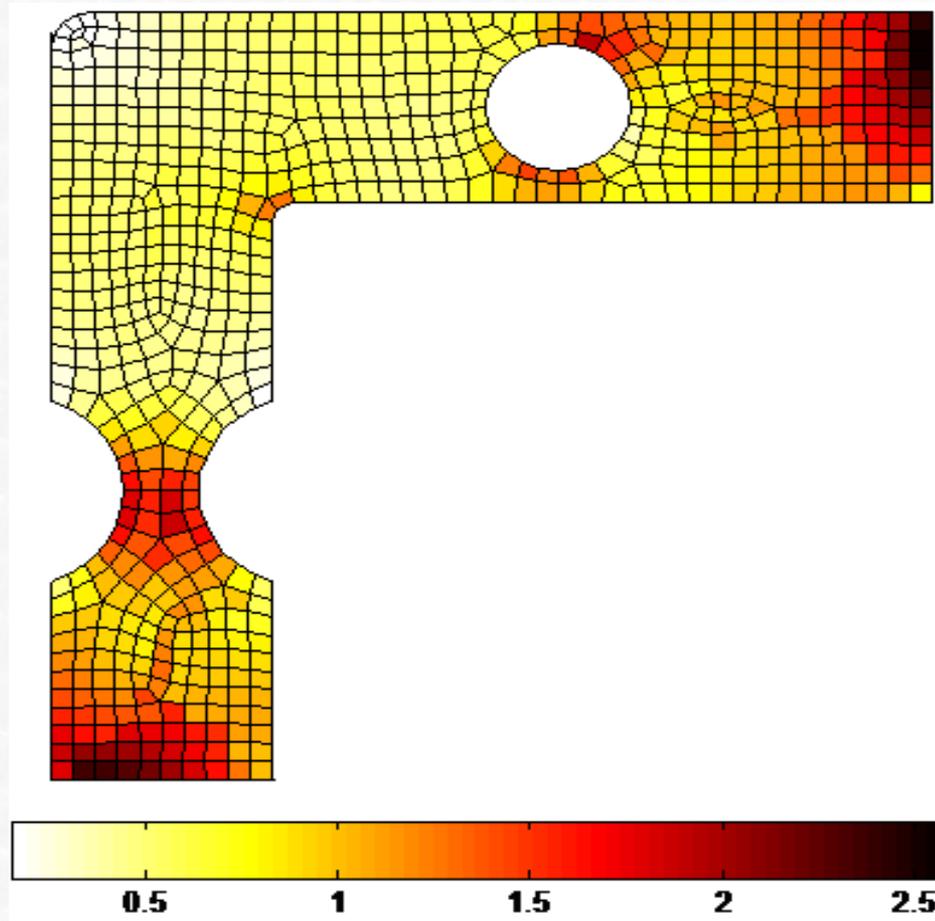


$$\Phi_S = \begin{bmatrix} \Phi_{S_{xx}S_{xx}} & \Phi_{S_{xx}S_{yy}} & \Phi_{S_{xx}S_{xy}} \\ \Phi_{S_{yy}S_{xx}} & \Phi_{S_{yy}S_{yy}} & \Phi_{S_{yy}S_{xy}} \\ \Phi_{S_{xy}S_{xx}} & \Phi_{S_{xy}S_{yy}} & \Phi_{S_{xy}S_{xy}} \end{bmatrix}$$



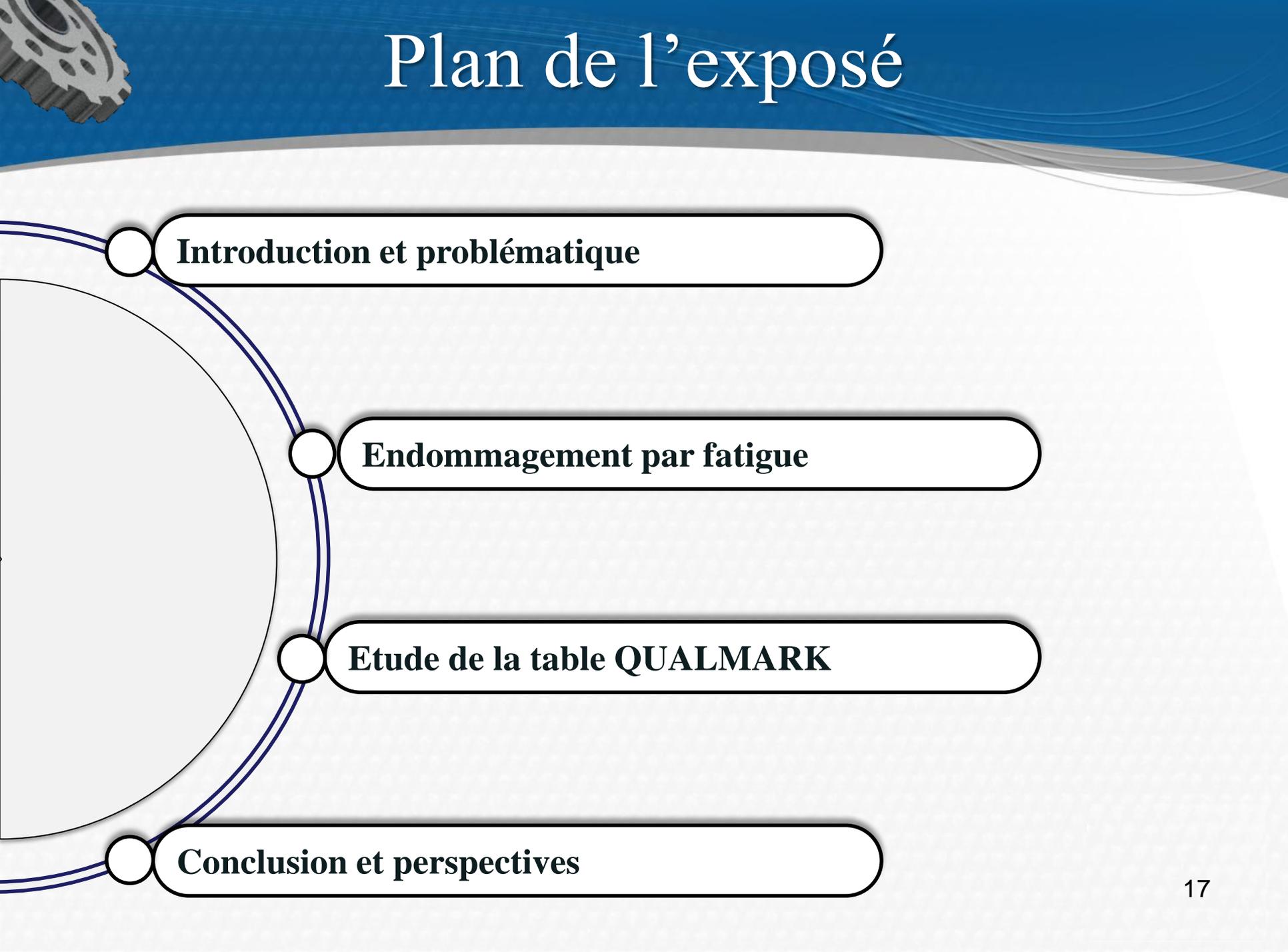


Application



Cartographie de l'endommagement par fatigue

Plan de l'exposé



Introduction et problématique

Endommagement par fatigue

Etude de la table QUALMARK

Conclusion et perspectives



✓ L'objectif principal de cette étude est de bien modéliser les excitations transmis aux pièces superposées sur la table pour connaître la quantité d'énergie fournie à chaque point.

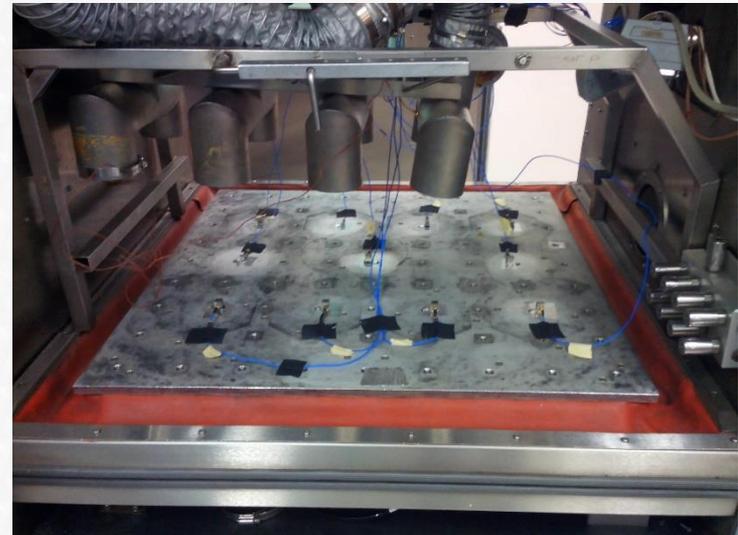
✓ Etude expérimentale

✓ Etude numérique



Présentation de la table

- ✓ Le rôle principal : tester la fiabilité d'un produit en le brisant afin de détecter les défauts introduits au cours du processus de fabrication
- ✓ L'enceinte est constituée d'une table de travail « multicouches » suspendu par 4 ressorts La table est sollicitée aux vibrations produites par 10 marteaux pneumatiques fixés au-dessous.



Analyse modale (configuration libre libre)

- ✓ Cette analyse permettra de réaliser un recalage du modèle numérique avec les résultats obtenus expérimentalement

1. Géométrie

2. Caractéristiques matériaux

	Aluminium	Silicone	Epoxy-glass fiber
Module d'Young GPa	82	65	14
Coef. de Poisson	0.335	0.275	0.36
Densité (kg/m ³)	2500	2280	2084

Valeurs initiales des caractéristiques matériaux

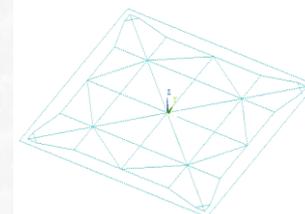
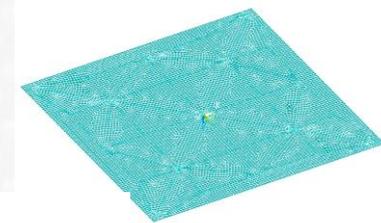
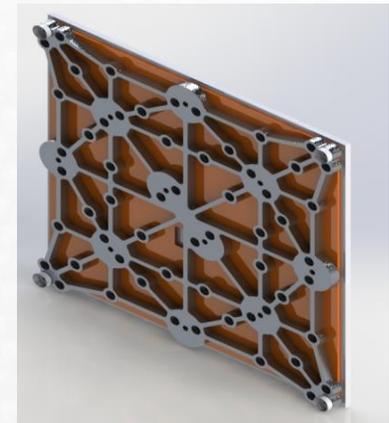
- ✓ Ces valeurs vont être changer lors du recalage du model pour s'approcher à l'expérimentale.

3. Conditions limites

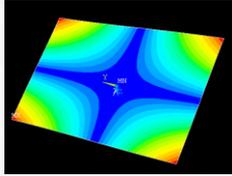
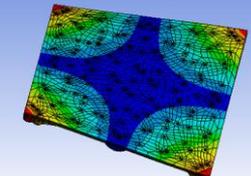
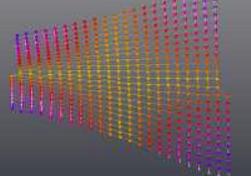
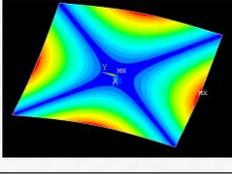
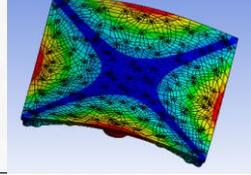
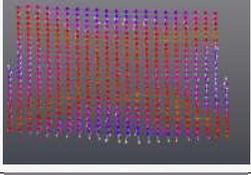
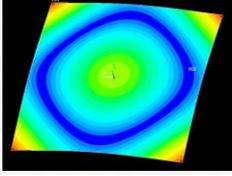
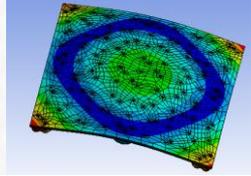
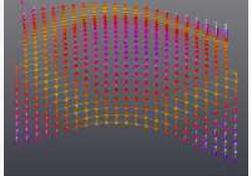
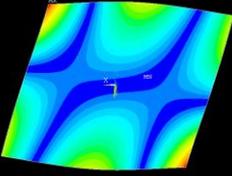
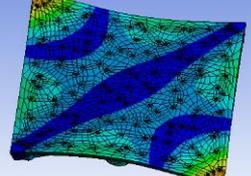
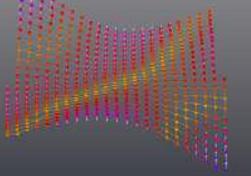
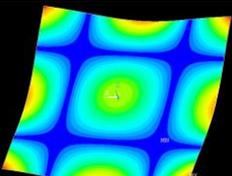
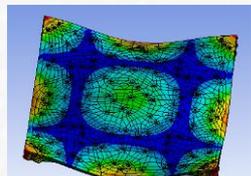
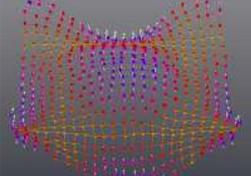
- ✓ Ici, on va supposer que la table est libre de tous les cotes

4. Choix de modélisation de la table

- ✓ pour des contraintes de temps de calcul, la table est modélisée en deux dimensions à l'aide d'éléments de type coque SHELL181 (2D) et d'autres de type poutre BEAM188 (1D)



Analyse modale (configuration libre libre)

Mode	Configuration 2D	Configuration 3D	Expérimentale
1			
2			
3			
4-5			
6			



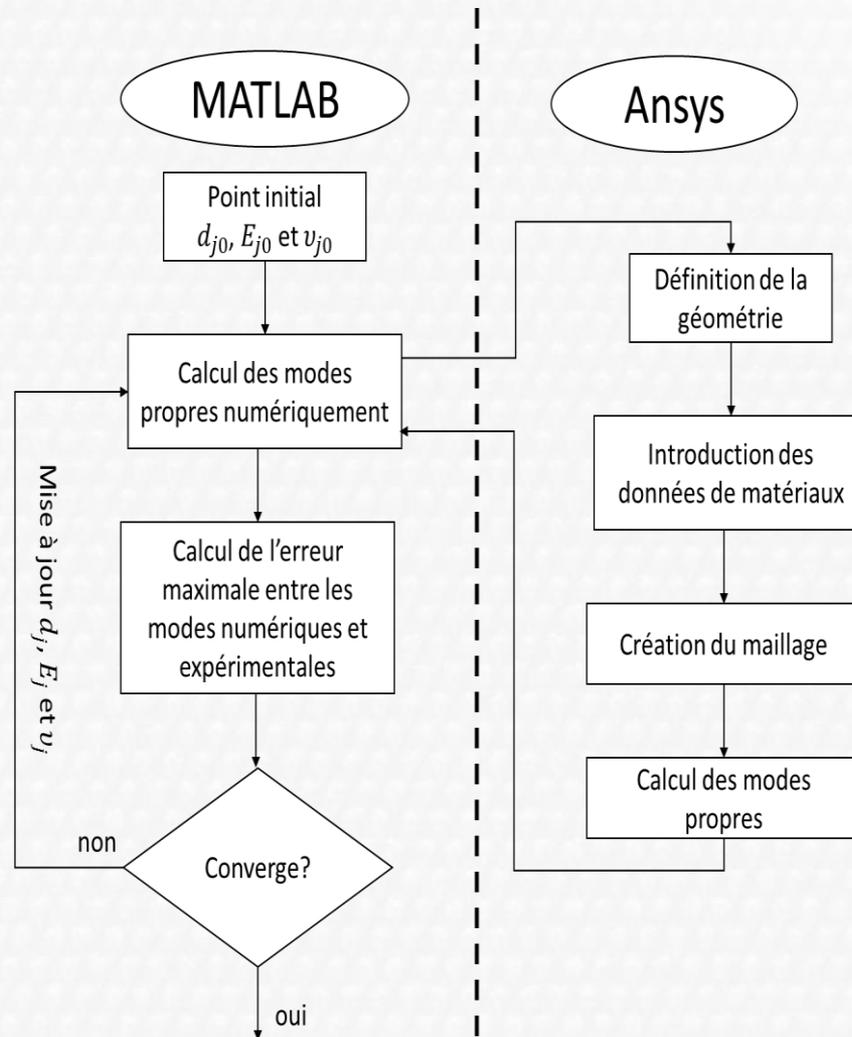
Recalage du modèle numérique

- ✓ Pour trouver le modèle numérique qui soit le plus proche de la réalité, et en l'absence de certain données fiables , un recalage du modèle numérique est nécessaire.
- ✓ Minimiser l'erreur des fréquences trouver numériquement avec celle trouver expérimentalement
- ✓ . Ça peut être mathématiquement définie par :

$$E_i = \frac{|M_i^{num} - M_i^{exp}|}{M_i^{exp}}$$

$$\min \left(\max_i(E_i) \right); i = 1 \dots N$$
$$t. q: \begin{cases} d_{j,min} \leq d_j \leq d_{j,max} \\ E_{j,min} \leq E_j \leq E_{j,max} \\ v_{j,min} \leq v_j \leq v_{j,max} \end{cases} ; j = 1 \dots 3$$

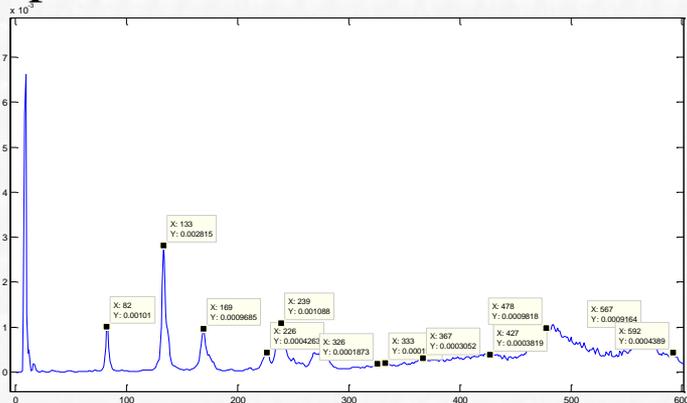
Recalage du modèle numérique



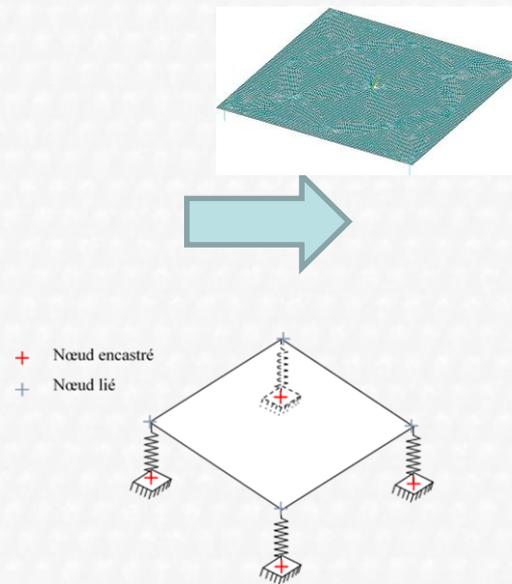
Analyse modale (mode opérationnelle)

✓ Après le recalage du modèle avec la configuration libre-libre, les matériaux trouvés seront ensuite appliqués sur la table en mode opérationnel (avec les ressorts)

✓ Les fréquences propre sont extraites à partir de la réponse en DSP d'accélération en un point de la table



✓ Comparé avec celle trouvée numériquement



	Fréquence (Hz)	Déformé modale
Mode rigide 1	5,2	
Mode rigide 2	8,6	
Mode rigide 3	8,6	
Mode 1	79,07	
Mode 2	122,21	
Mode 3	145,21	
Mode 4	205,02	
Mode 5	205,42	



Prochains travaux

- ✓ Après avoir trouvé la meilleure configuration du modèle de la table qui donne les bons modes propres, on peut passer à la modélisation des excitations des vérins afin de trouver la réponse en DSP de la table.

- ✓ La plaque dont on a calculé l'endommagement par fatigue sera placée par la suite sur la table pour étudier sa fiabilité et on compare ensuite les résultats trouvés expérimentalement avec ceux trouvés numériquement

Plan de l'exposé

Introduction et problématique

Endommagement par fatigue

Etude de la table QUALMARK

Conclusion et perspectives



Conclusion et perspective

- ✓ La méthode de calcul de l'endommagement par fatigue des structures soumises à des vibrations aléatoires,
- ✓ Les étapes faite pour la modélisation des excitations transmises aux pièces superposées sur la table Qualmark pour connaitre la quantité d'énergie fournie à chaque point.
 - Calcul de l'endommagement par fatigue des pièces superposés sur la table



Merci pour votre attention