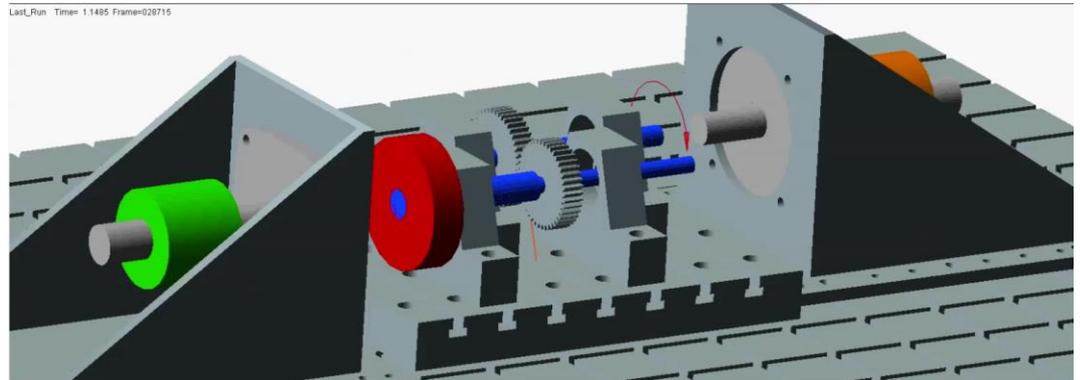
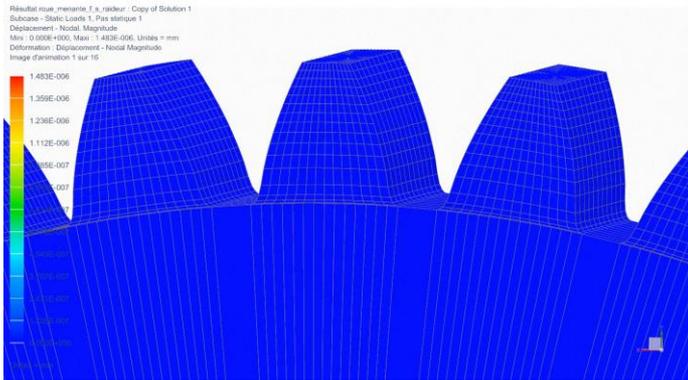




COMMISSION MACHINES TOURNANTES

5 JUIN 2018

Détection précoce de fissures en pied de denture sur les engrenages Simulation numérique



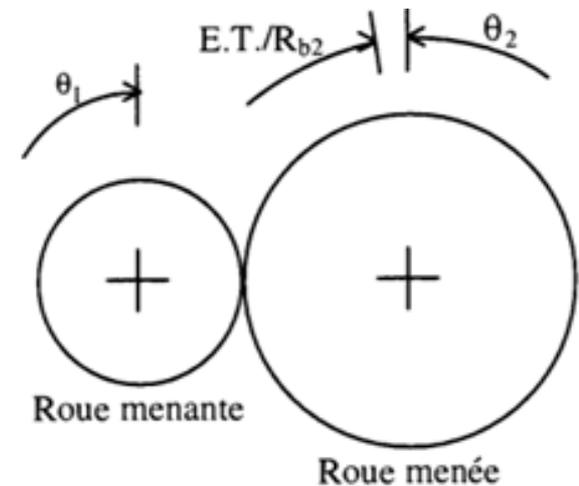


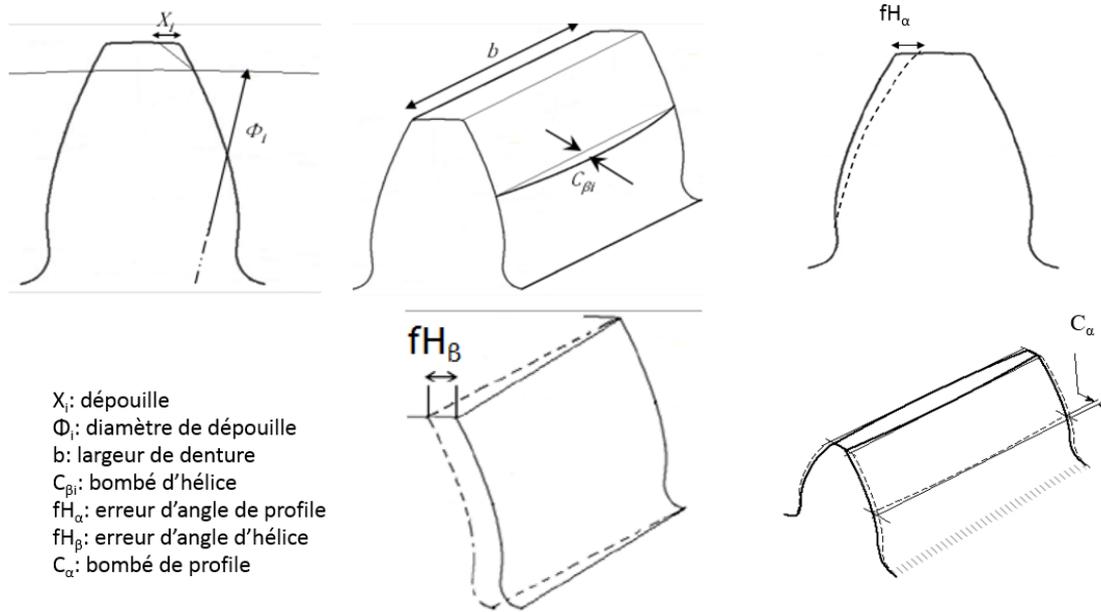
- Solution la plus courante pour la transmission de puissance dans l'industrie
 - > Enjeux sur la maintenance
- Vibratec :
 - Forte expérience en dynamique des machines tournantes (vibrations, acoustique et fiabilité)
 - Très forte expertise en études vibro-acoustiques des engrenages

- Fréquence d'engrènement : $f_E = f_j \cdot Z_j = \frac{1}{T_E}$

- Erreur de Transmission (ET) :
 - Erreur Cinématique de Transmission (ECT)
 - Erreur Statique de Transmission (EST)
 - Erreur Dynamique de Transmission (EDT)

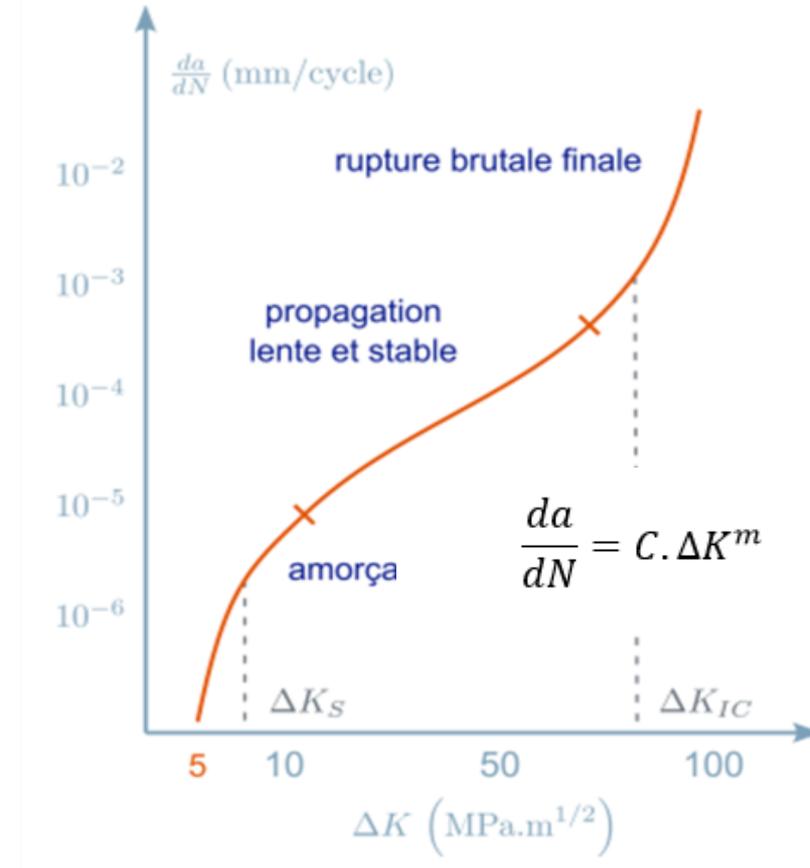
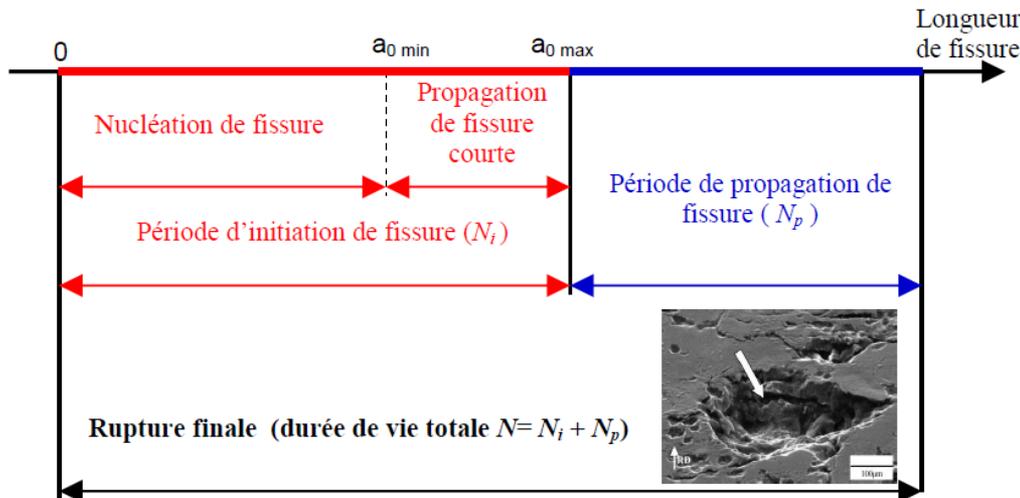
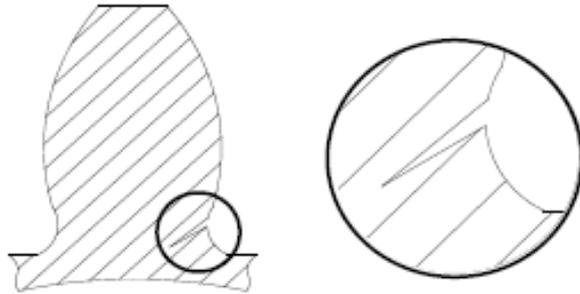
$$ET(\theta_1) = R_{b2} \cdot \theta_2 - R_{b1} \theta_1$$





- Dépouille : enlèvement de matière en tête de denture
- Bombé d'hélice : correction pour centrer le point de contact
- Erreurs d'angle de profil et d'angle d'hélice : usinages mal maîtrisés
- Bombé de profil : entrée plus progressive de la dent → réduit les fluctuations de l'ET

Ces écarts géométriques représentent une partie de la source de l'ET.



Loi de Paris
(propagation de
fissure)

- Analyse vibratoire

- Analyse temporelle

$$V_{efficace} = \sqrt{\frac{1}{N_e} \sum_{n=1}^{N_e} [x(n)]^2}$$

$$\text{Facteur de crête} = \frac{\text{valeur crête}(x(n))}{\sqrt{\frac{1}{N_e} \sum_{n=1}^{N_e} [x(n)]^2}}$$

$$\text{Kurtosis} = \frac{M_4}{M_2^2} = \frac{\frac{1}{N_e} \sum_{n=1}^{N_e} (x(n) - \bar{x})^4}{[\frac{1}{N_e} \sum_{n=1}^{N_e} (x(n) - \bar{x})^2]^2}$$

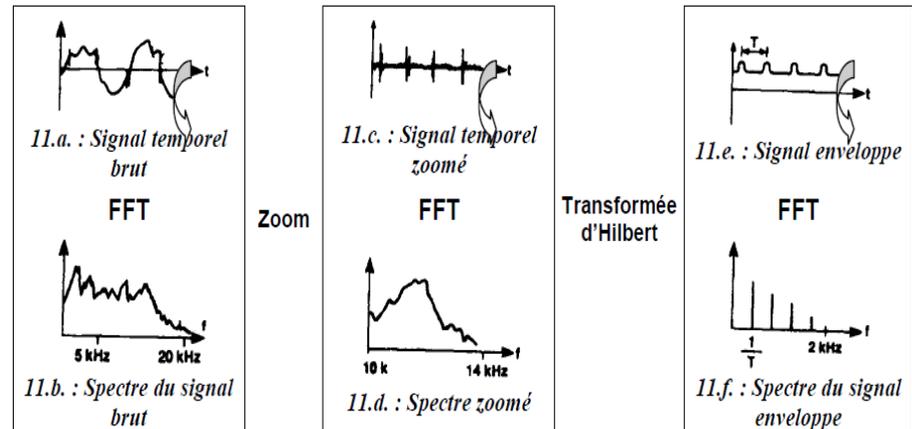
- Analyse spectrale

$$X(f) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k) e^{-2\pi i k f}$$

- Analyse cepstrale

$$\tilde{s} = TF^{-1}[Ln|S(v)|]$$

- Analyse d'enveloppe de Hilbert



- **Analyse de la vitesse de rotation : Analyse cyclostationnaire**

$$X(t) = X_1(t) + X_2(t)$$

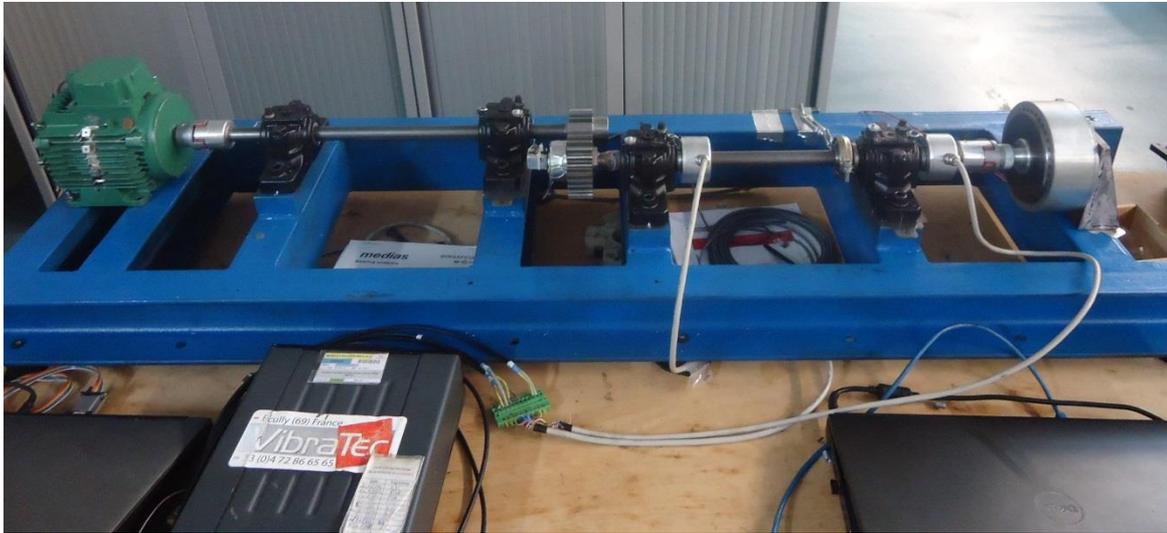
Méthode statistique : décomposition en ordre

- Ordre 1 : moyenne du signal périodique sur 1 cycle

$$X_1(t) = E[X(t)] = m_x(t + kT)$$

- Ordre 2 : fonction d'autocorrélation périodique
 - variance du signal pour un cas particulier

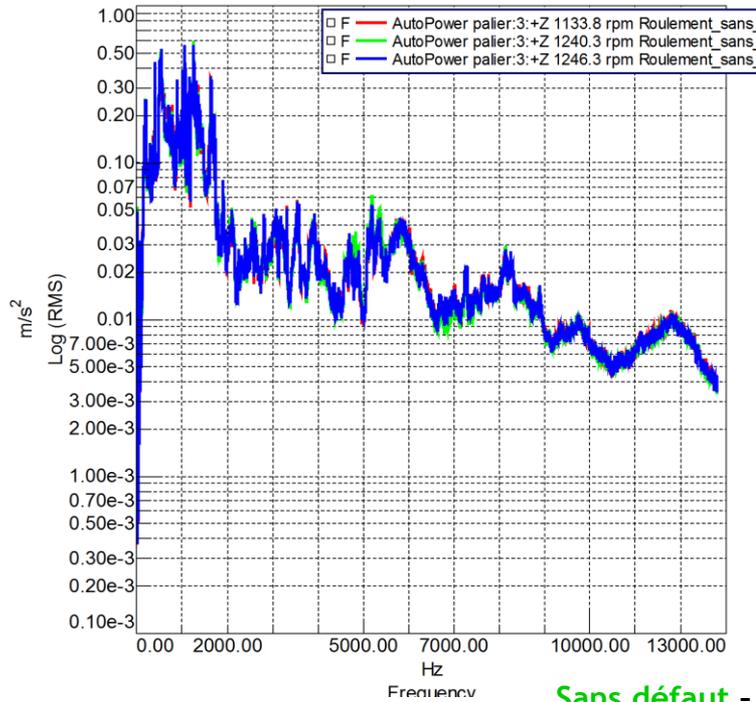
$$V(X) = E \left((X - E(X))^2 \right)$$



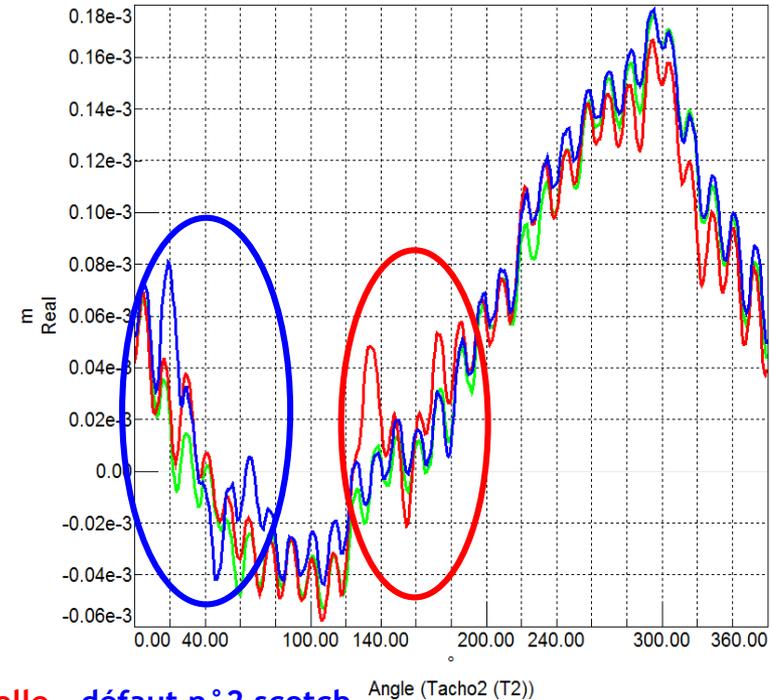
Moteur électrique : 370 W
Frein électrique
Roue menante : 19 dents
Roue menée : 30 dents
Paliers à roulements à billes

- Instrumentation :
 - Mesure de la vitesse de rotation instantanée
 - Mesure du couple
 - Mesure de vibration
- Maquette : couple insuffisant pour mettre en flexion les dents
 - Mise en œuvre de défaut : surépaisseur sur une dent de l'engrenage





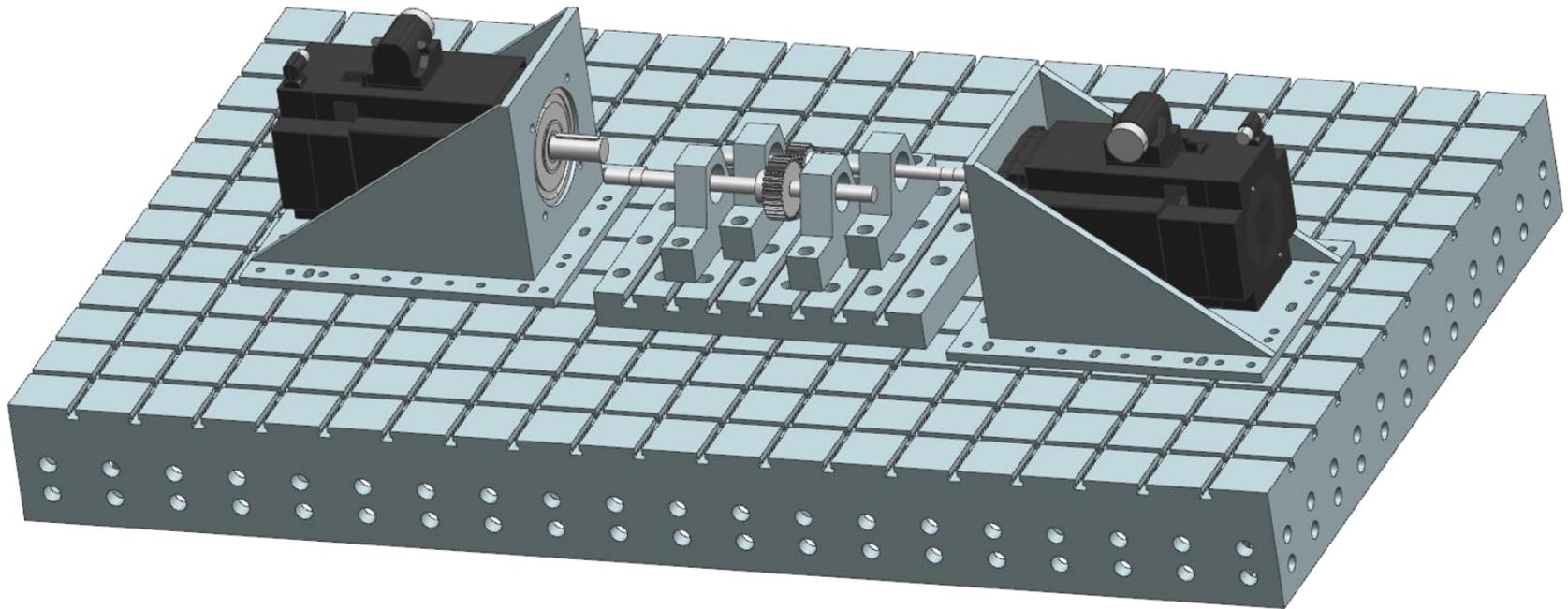
Spectre - accéléromètre palier

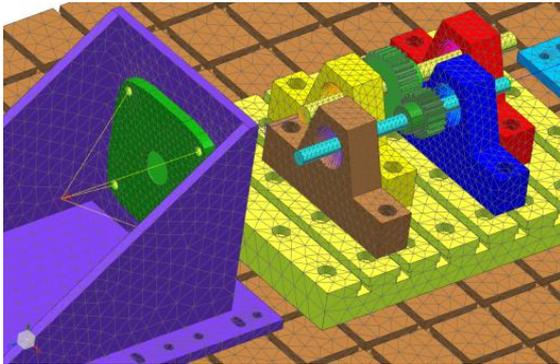


ET - codeur angulaire

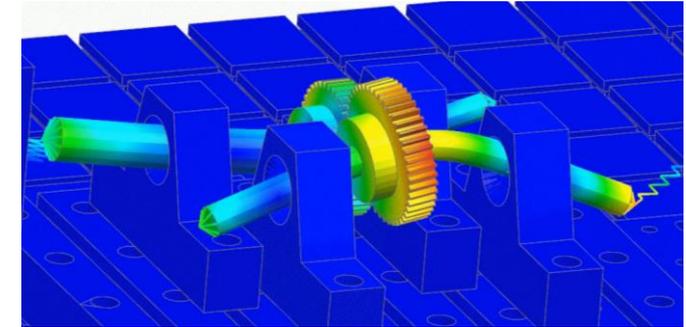
- Analyse des signaux accélérométriques non pertinente
- Analyse des signaux de vitesse de rotation pertinente: Mise en évidence de défaut

- Dimensionnement et conception des pièces d'interface





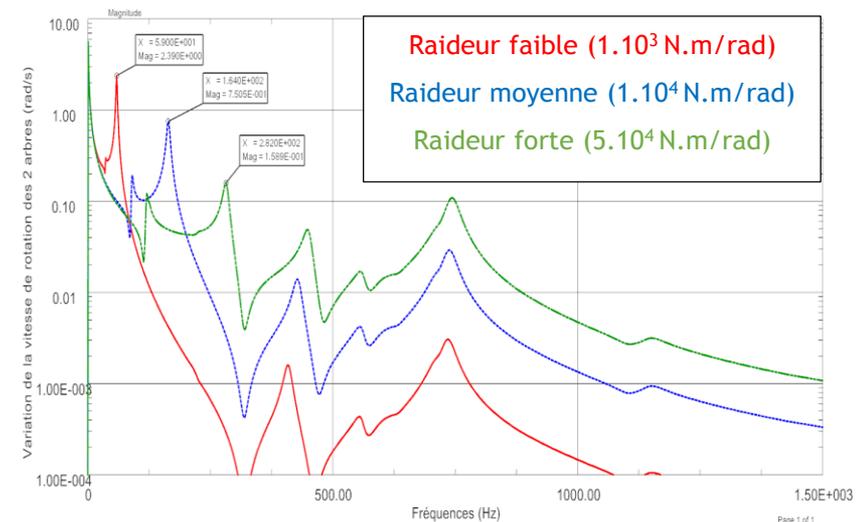
Mode de flexion des arbres



- Modèle éléments finis (EF)
 - Calculs de base modale
 - Calculs de réponse sous excitation forcée

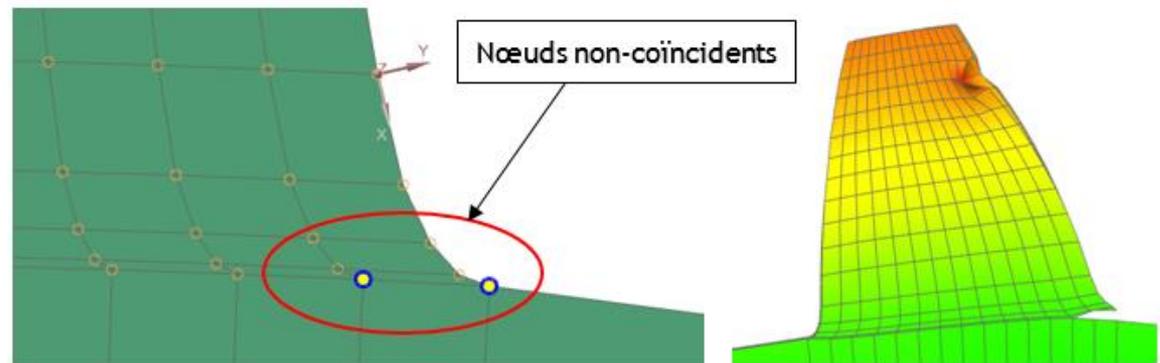
- Synthèse
 - Impact des modes d'arbres
 - Impact de la raideur d'accouplement
 - Impact des masses inertielles
 - Réponse des équerres et du marbre négligeable

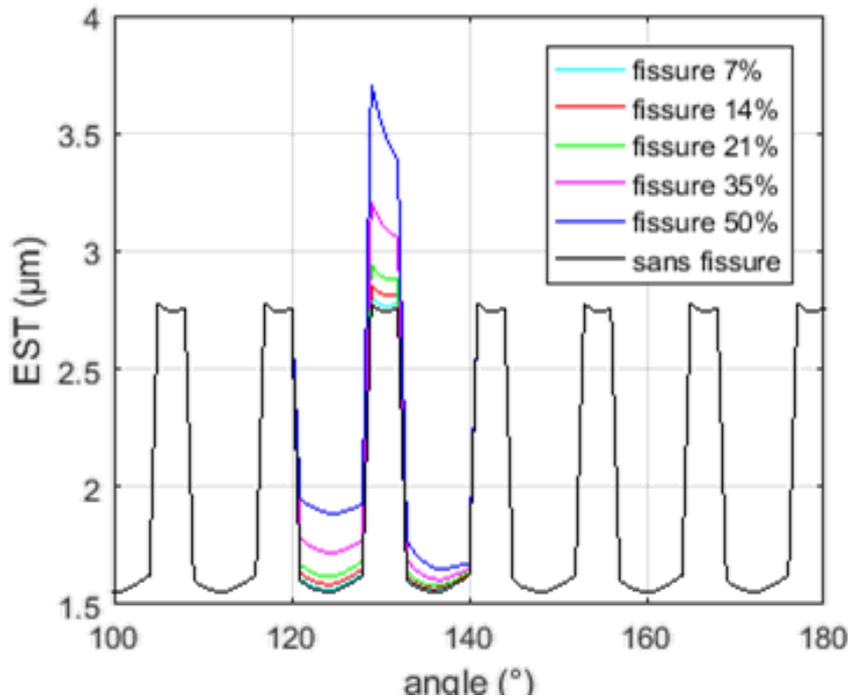
Fonction de transfert - choix des paramètres



Page 1 of 1

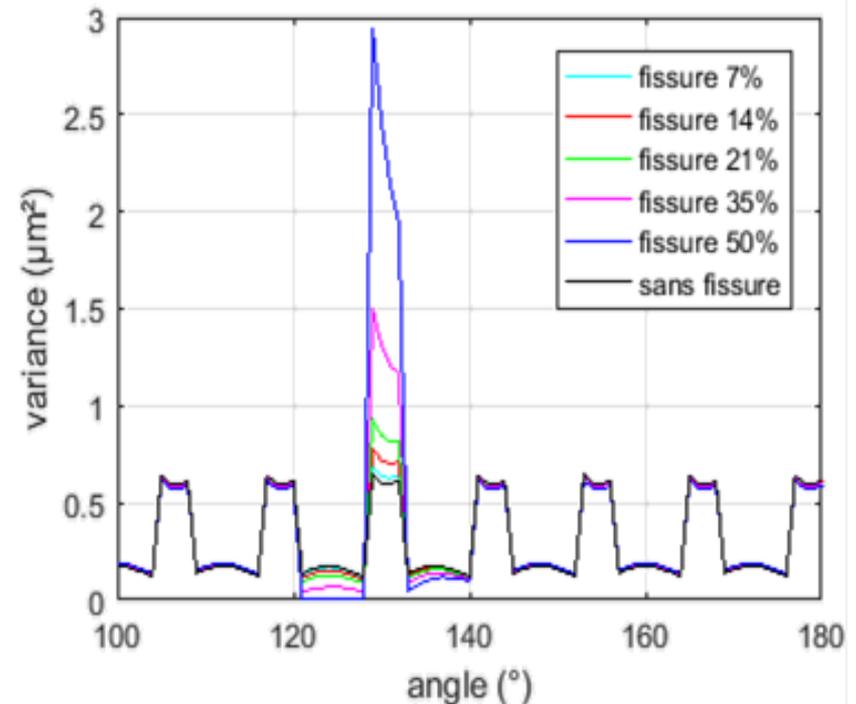
- Modélisation d'une seule dent fissurée sur la roue menée
- Configurations sans écart de micro-géométrie
 - Sans fissure
 - Fissure de 7%*
 - Fissure de 14%*
 - Fissure de 21%*
 - Fissure de 35%*
 - Fissure de 50%*





Analyse de l'EST

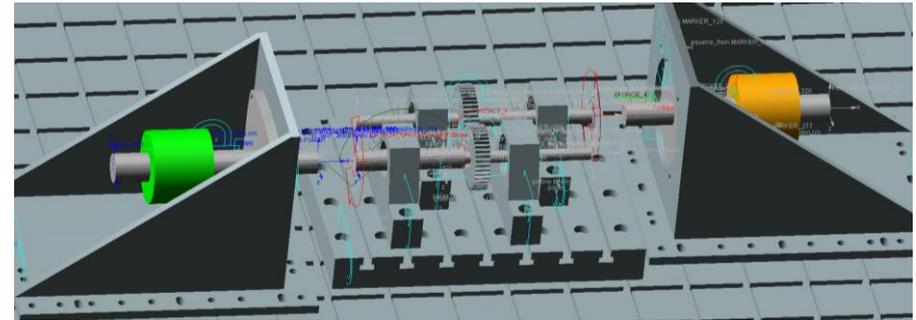
Ecart de 35% pour une fissure de 35%
Seuil de détection autour de 35% de fissure



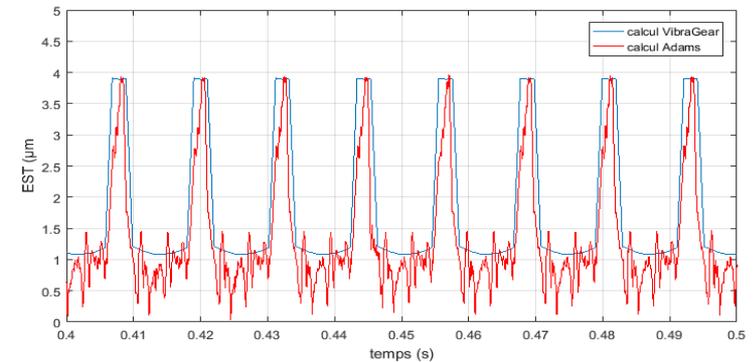
Analyse de la variance de l'EST

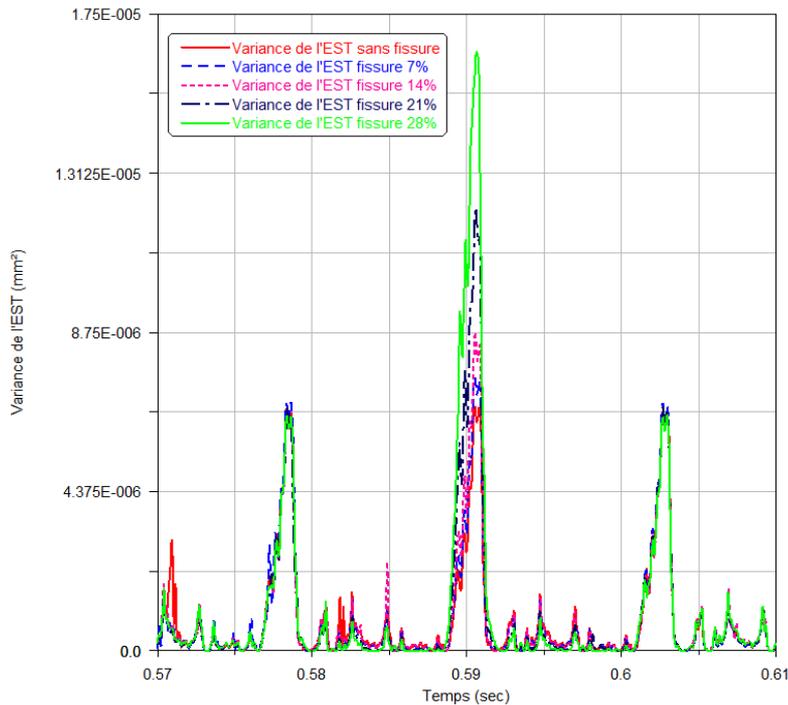
Ecart de 30% pour une fissure de 14%
Seuil de détection à partir de 15% de fissure

- Modélisation d'un système multi-corps
 - Liaisons cinématiques
 - Efforts/couples
 - Mouvements imposés

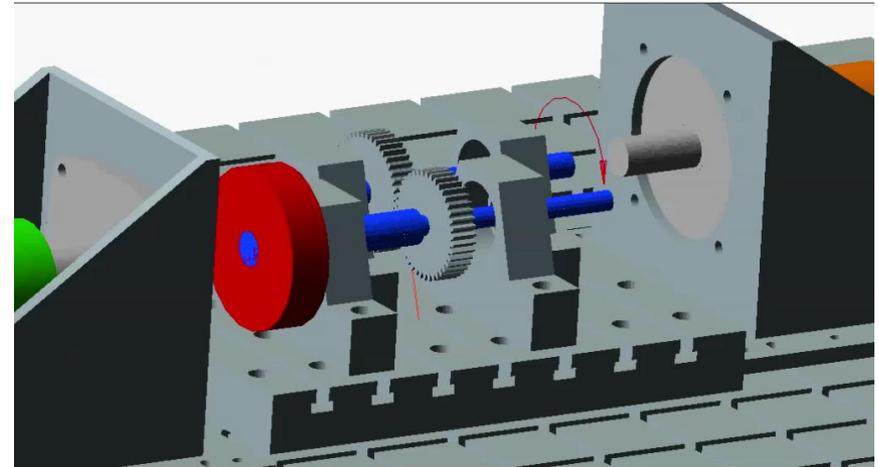


- Comparaison avec VibraGear





Variance de l'EST



- Déviation de 30% pour une fissure de 14%
 - Résultats similaires à ceux de VibraGear

Crack size in %	Variance (μm^2)	Deviation in %
0	12.5	0
7	13.8	10.3
14	16.4	30.9
21	19.4	54.9
28	28.4	126.9
50	63.6	407.2

- Méthode pertinente pour détection les fissures
- Sensibilité accrue en utilisant la variance de l'EST
 - Détection dès 15% de fissure
- Résultats des simulations comparables entre eux et avec les résultats d'autres travaux scientifiques (ZAIGANG et SHAO)
- Modèle multi-corps robuste et opérationnel pour de futures études
- Mesures en cours sur banc d'essai (partenariat avec EDF)

Principe de fonctionnement de Vibragear

