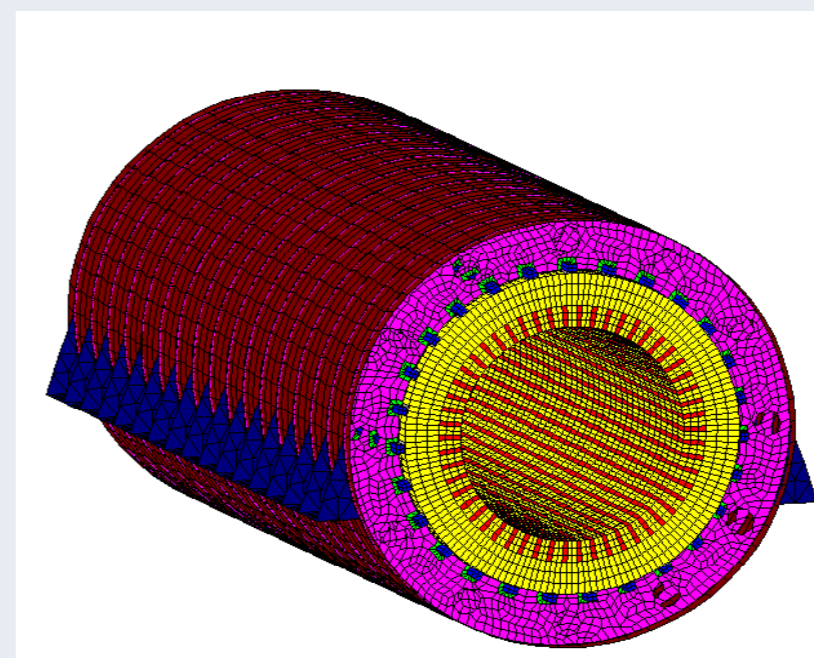


Problématique

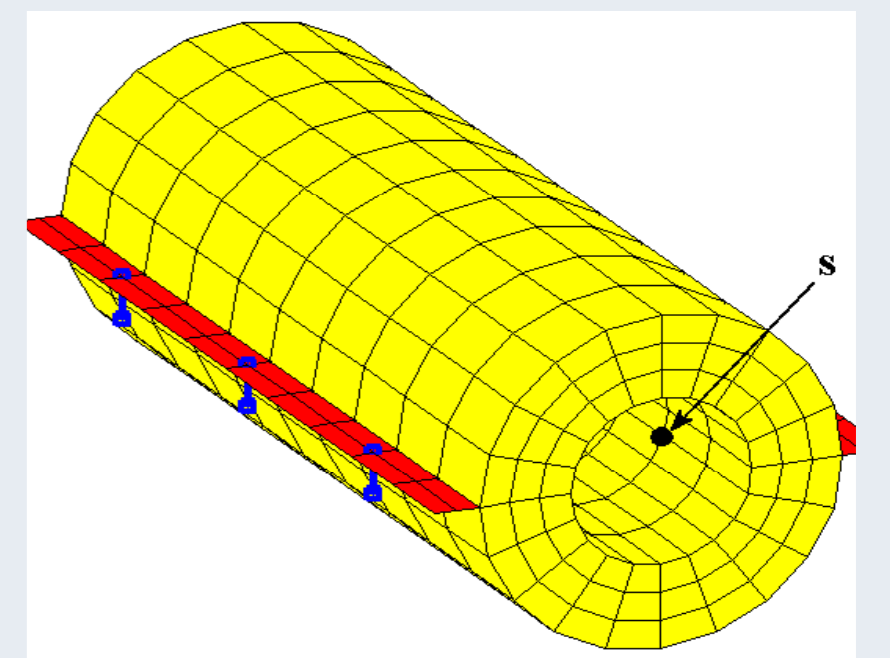
- **Objectif** : Établir les bornes utiles de la réponse dynamique en fonctionnement à partir de mesures modales à l'arrêt avec prise en compte des incertitudes.
- **Obstacles** :
 - Importante dispersion dans le comportement dynamique d'alternateurs nominalement identiques ;
 - Structure complexe : difficulté de construire un modèle fiable ;
 - Méconnaissance de l'impact des effets thermiques et non linéaires provenant du fonctionnement sur les solutions propres identifiées à l'arrêt.
- **Méthodologie** : Quantification de l'impact de ces méconnaissances sur les niveaux de réponses en fonctionnement en exploitant l'approche info gap [1].



Stator dans une centrale



Modèle EF d'un stator

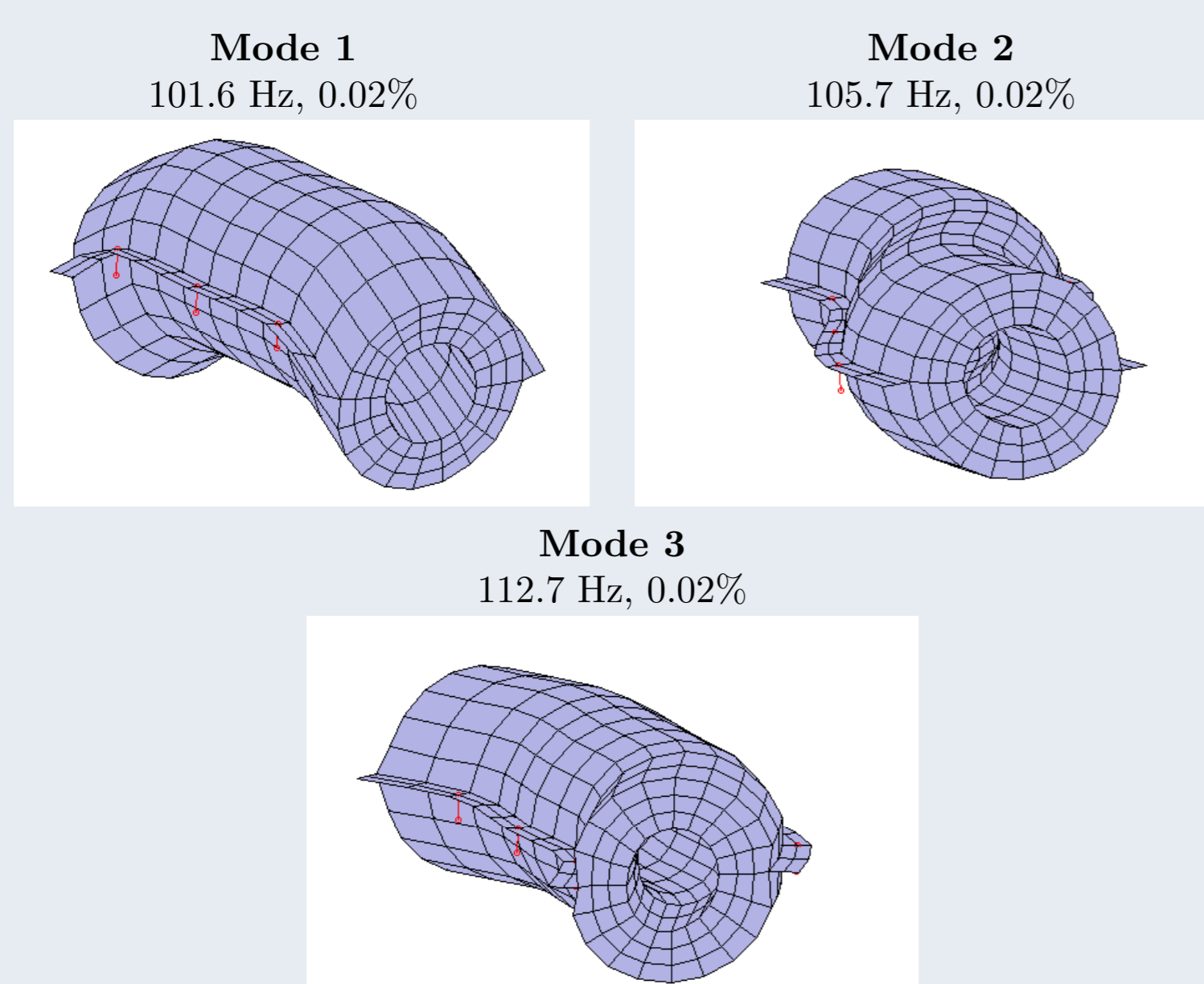


Modèle EF simplifié d'un stator

Réponse en fonctionnement

1. Simulation de mesures modales expérimentales

$(\omega_\nu, \phi_\nu, \xi_\nu) \in \mathbb{R}^m \times \mathbb{R}^{c,m} \times \mathbb{R}^m$, $m=3$ le nombre de modes extraits. Modes propres utilisés pour le calcul de la réponse :



2. Effort électromagnétique

Effort électromagnétique s'exerçant sur la face interne du stator :

$$f(\theta, t) = A \sin(\omega_0 t + 4\theta)$$

avec $\omega_0=95$ Hz la fréquence d'excitation.

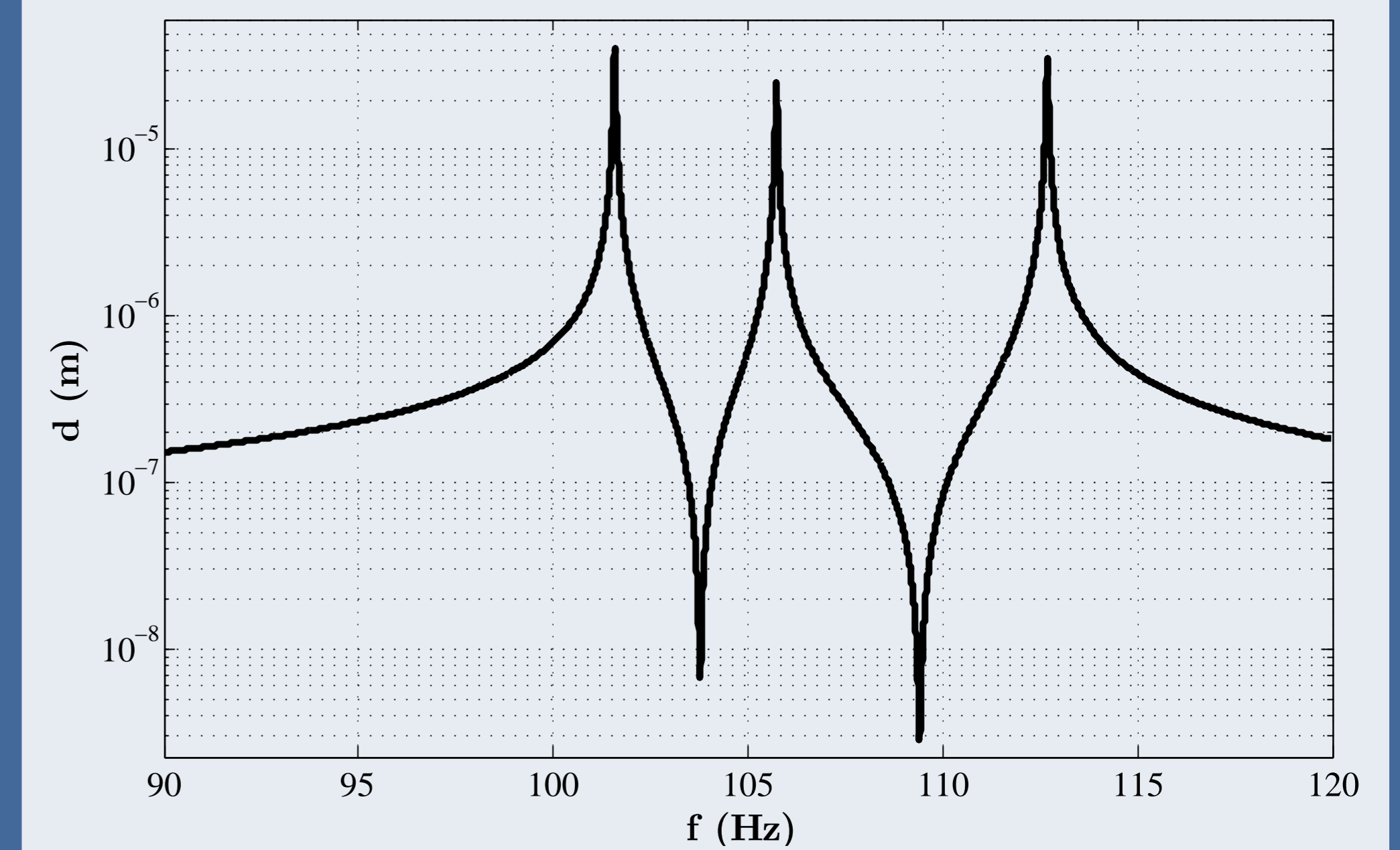
3. Réponse sur base modale

$$y(\omega) = \Phi(\Lambda_m + i\omega B_m - \omega^2 I_m)^{-1} \Phi^T \mathcal{F}(\omega)$$

avec $\mathcal{F}(\omega)$ la transformée de Fourier de $f(\theta, t)$.

4. Réponse en fréquence

Réponse en fréquence dans la bande fréquentielle d'intérêt $\Omega=[90;120]$ Hz :



Approche info gap

Définition

- Outil d'aide à la décision en présence de méconnaissances (impact des effets thermiques sur les niveaux de réponses dans notre cas).
- Nécessite 3 composants :

- 1 **Modèle du système** : Relation fonctionnelle entre les paramètres incertains du modèle et la réponse d'intérêt ;
- 2 **Mesure de performance** : Relation sur la réponse permettant de prendre une décision ;
- 3 **Modèle d'incertitude** : Espace de variation des paramètres incertains.

1. Modèle du système

$$y(\omega_0) = \Gamma(\omega_0) \mathcal{F}(\omega_0)$$

avec $\omega_0=95$ Hz la fréquence de fonctionnement.

2. Mesure de performance

$$\|y(\omega_0)\| \leq y_c$$

avec y_c le déplacement critique.

3. Modèle d'incertitude

$$\mathcal{U}(\alpha, c^{(0)}) = \left\{ c : \left| \frac{c_i - c_i^{(0)}}{c_i^{(0)}} \right| \leq w_i \alpha, \forall i \in \{1, \dots, 9\} \right\}$$

avec :

$$c^{(0)} = \left(\frac{\omega_1^{(0)}}{2\pi} \dots \frac{\omega_3^{(0)}}{2\pi}, \|\phi_1^{(0)}\| \dots \|\phi_3^{(0)}\|, \xi_1^{(0)} \dots \xi_3^{(0)} \right)^T$$

$$c = \left(\frac{\omega_1}{2\pi} \dots \frac{\omega_3}{2\pi}, \|\phi_1\| \dots \|\phi_3\|, \xi_1 \dots \xi_3 \right)^T$$

$w = (1, 1, 1, 2, 2, 2, 3, 3, 3)^T$ le vecteur permettant de pondérer différents horizons d'incertitude α .

Résultats

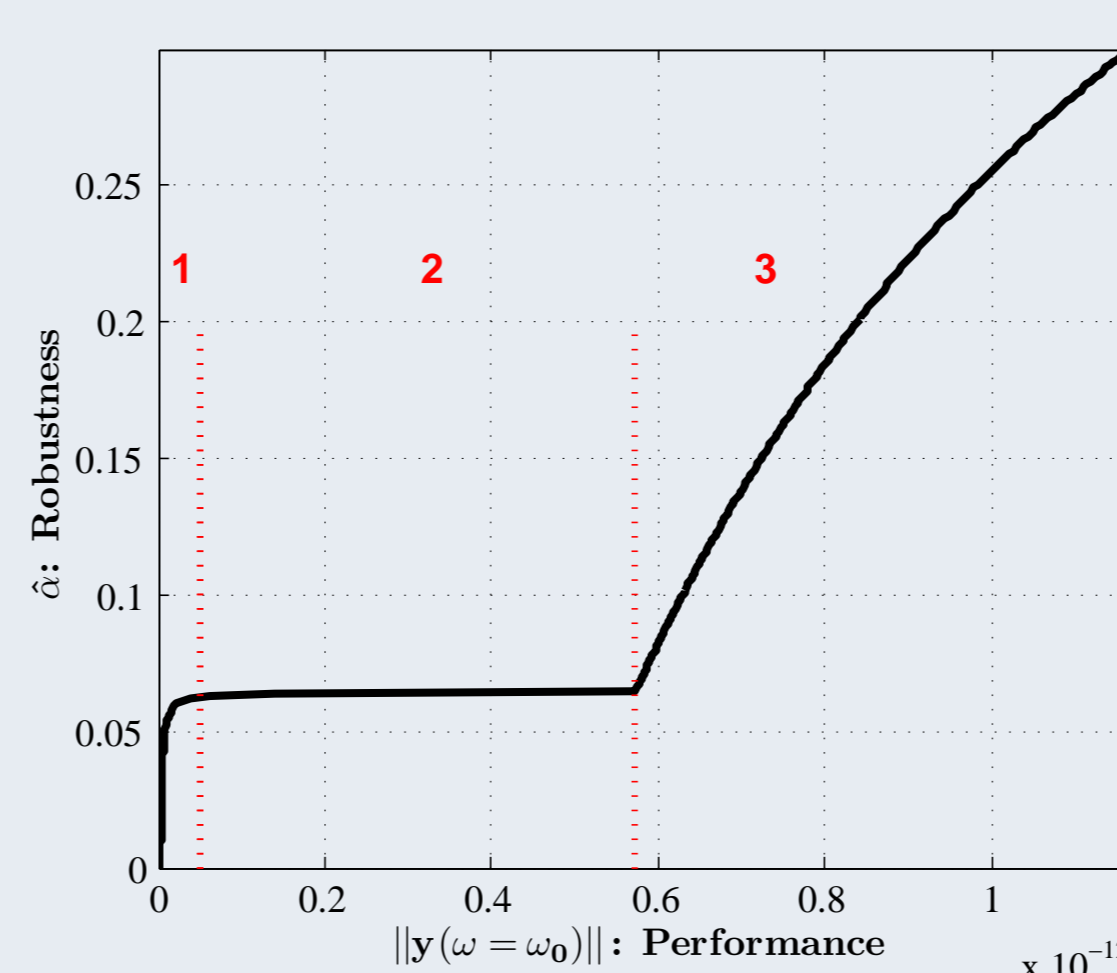
Analyse de robustesse

La fonction robustesse vis-à-vis des incertitudes sur les solutions propres est donnée par le plus grand horizon d'incertitude α satisfaisant la mesure de performance. Cela s'écrit :

$$\hat{\alpha}(c) = \left\{ \alpha : \max_{c \in \mathcal{U}(\alpha, c^{(0)})} \|y(\omega_0)\| \leq y_c \right\}$$

On obtient alors la courbe de robustesse $\hat{\alpha} = f(\|y(\omega_0)\|)$ suivante. On distingue 3 zones. Par exemple, la zone 2, pour $\hat{\alpha} \sim 0.06$: α est assez grand pour que la 1ère fréquence propre se décale jusqu'à $\omega_0 \rightsquigarrow$ la zone **n'est pas robuste** vis-à-vis des incertitudes.

\rightsquigarrow Fournit un indicateur permettant de savoir si des opérations de maintenance supplémentaires doivent être entreprises.



Conclusions

- Impact de la méconnaissance de l'évolution des solutions propres sur les niveaux de réponse en fonctionnement investigués.
- Méconnaissances limitées aux incertitudes épistémiques sur les fréquences propres, la norme des vecteurs propres et le facteur d'amortissement modal.

Référence

- [1] Ben-Haim Y., *Information-Gap Theory : Decisions Under Severe Uncertainty*, Academic Press, London, 2001.