

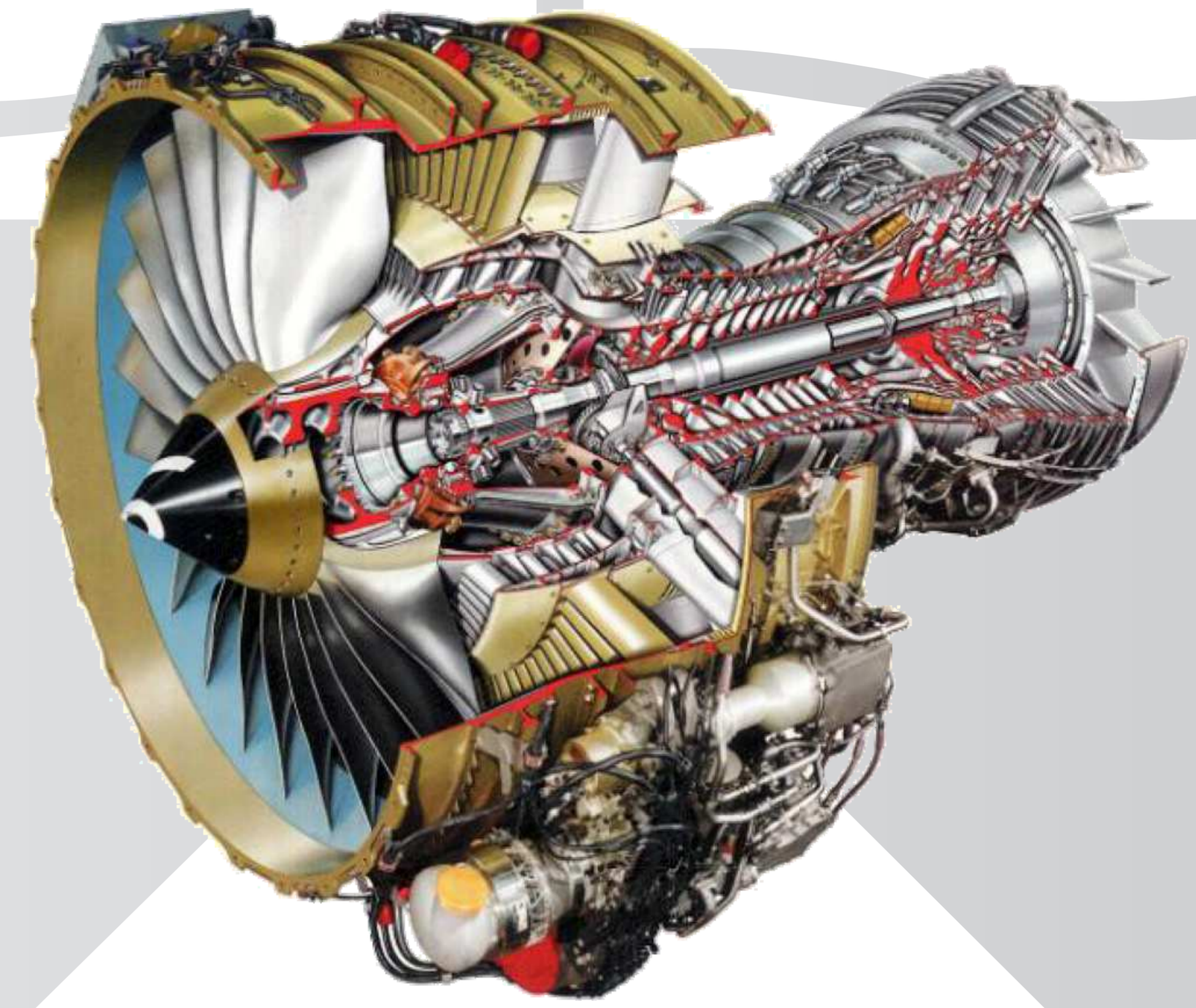
Modélisation plastique bi-linéaire de l'usure de matériaux abrasables

Application aux turbo-machines



Mathias Legrand & Christophe Pierre

Laboratoire de vibrations et dynamique des structures
Université McGill



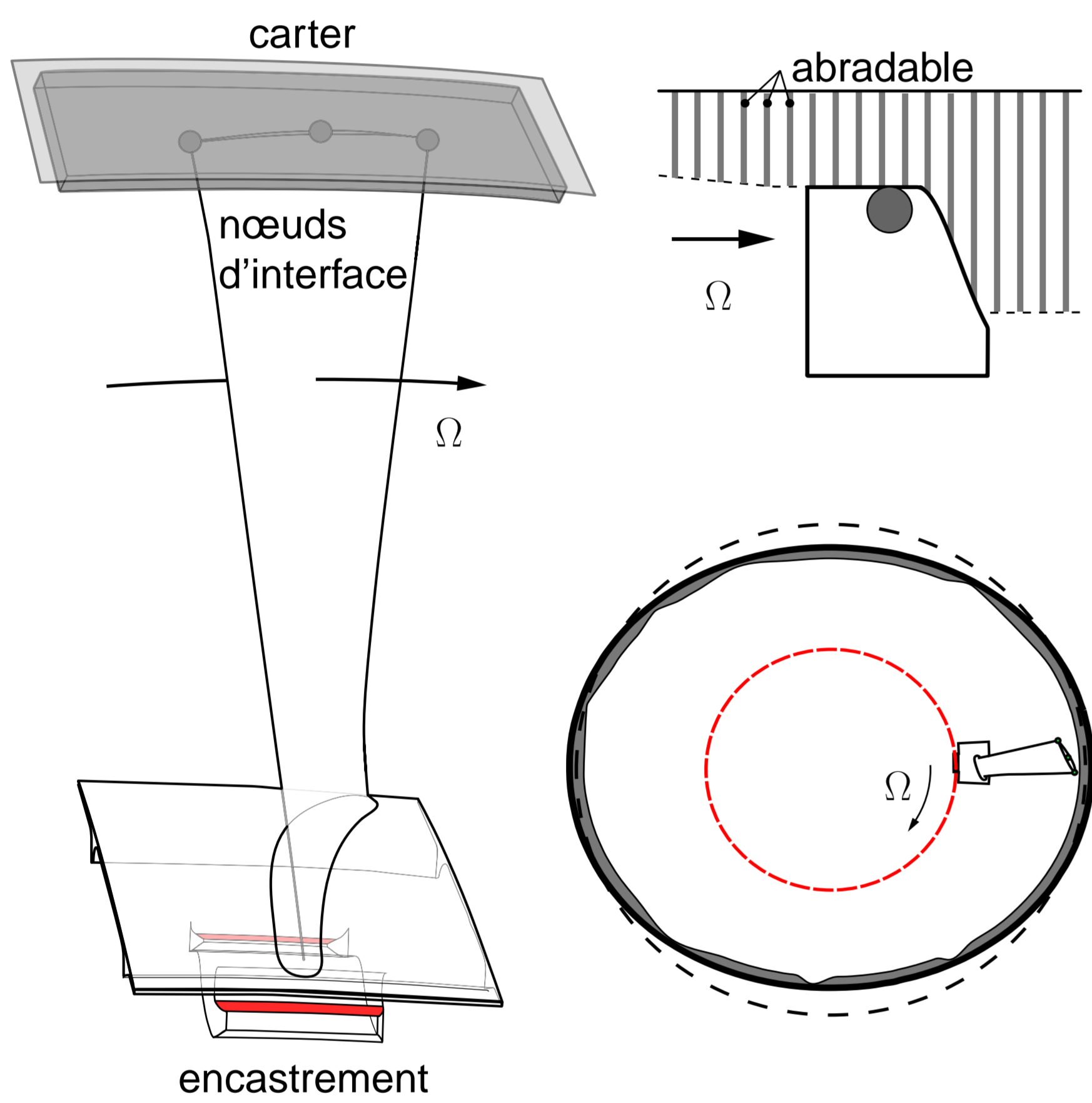
● CFM56, CFM International

Contexte

- réduction des coûts de fonctionnement des moteurs d'avion
- technologies innovantes
 - intégration de matériaux légers, matériaux composites
 - méthodes d'optimisation pour une meilleure efficacité aérodynamique des aubes
 - moins d'étages de compresseurs/turbines et forte conicité des carters
- diminution des jeux fonctionnels
 - meilleur rendement énergétique
 - contacts structuraux entre les parties tournantes et statiques
 - utilisation de matériaux abrasables : propriétés mécaniques intéressantes
 - zones de fonctionnement dangereux inattendues

Modèle

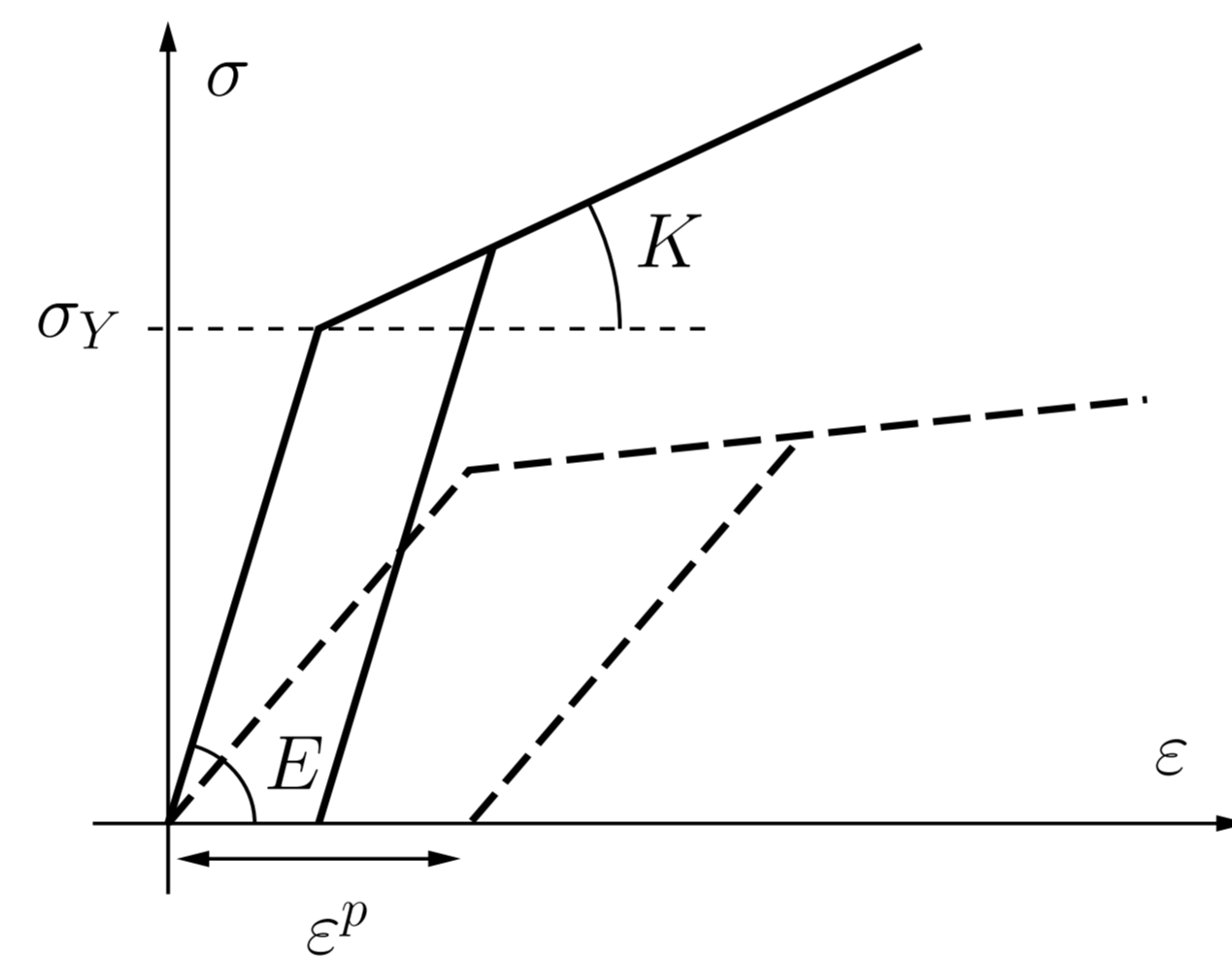
- aube de compresseur flexible, carter rigide ovalisé
- réduction de Craig-Bampton en trois nœuds d'interface
- traitement des conditions de contact/usure



● configuration des composants

Usure

- plasticité uni-axiale en compression
- écrouissage isotrope $f(\sigma, \alpha) = \sigma - (\sigma_Y + K\alpha)$
- loi additive $\epsilon = \epsilon^e + \epsilon^p$ et linéaire $\sigma = E\epsilon^e$
- conditions de Kuhn-Tucker
- résolution incrémentale
 - prédiction
 - correction
 - si $f^{pré} \leq 0$, état prédit admissible
 - si $f^{pré} > 0$, correction de l'état prédit



● loi d'évolution plastique

Résolution

- équations du mouvement

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{D}\dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K}\mathbf{u} + \boldsymbol{\lambda} = \mathbf{0} \quad (\text{aube})$$

$$\boldsymbol{\lambda} = \mathbf{F}_{int} \quad (\text{abrasable})$$

- conditions de contact unilatéral

$$\boldsymbol{\lambda} \geq 0, \quad \mathbf{g} \geq 0, \quad \boldsymbol{\lambda}\mathbf{g} = 0$$

- différences finies centrées

$$\ddot{\mathbf{u}}_n = \frac{\mathbf{u}_{n+1} - 2\mathbf{u}_n + \mathbf{u}_{n-1}}{h^2} \quad \text{et} \quad \dot{\mathbf{u}}_n = \frac{\mathbf{u}_{n+1} - \mathbf{u}_{n-1}}{2h}$$

- algorithme final

1. prédiction des déplacements sans contact

$$\mathbf{u}_{n+1}^{pré} = \left[\frac{\mathbf{M}}{h^2} + \frac{\mathbf{D}}{2h} \right]^{-1} \left(\left(\frac{2\mathbf{M}}{h^2} - \mathbf{K} \right) \mathbf{u}_n + \left(\frac{\mathbf{D}}{2h} - \frac{\mathbf{M}}{h^2} \right) \mathbf{u}_{n-1} \right)$$

2. calcul des distances aube-abrasable

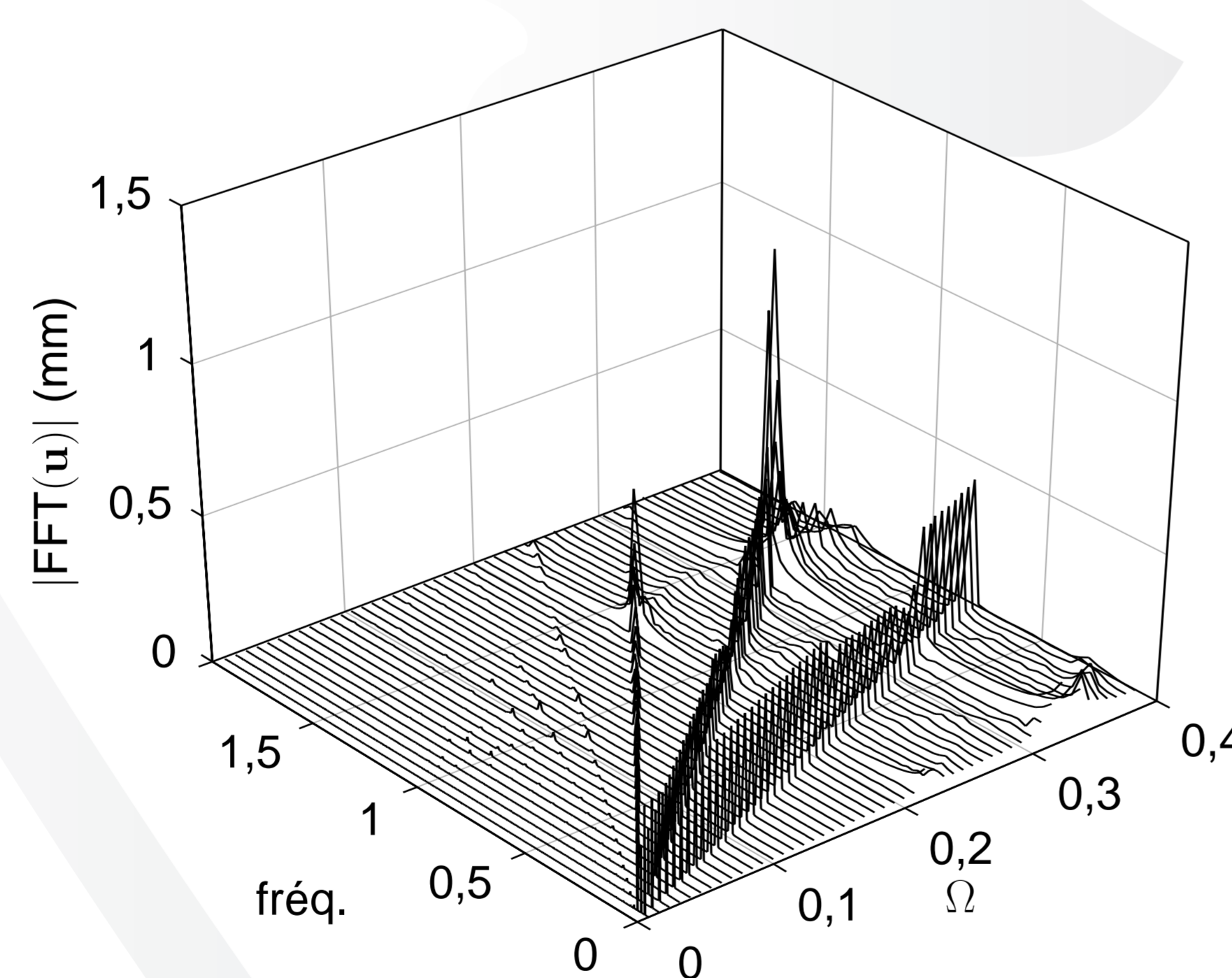
3. calcul des forces intérieures $\mathbf{F}_{int}(\sigma)$ grâce à l'incrément de déformation $\Delta\epsilon$ induit par les pénétrations

4. correction des déplacements

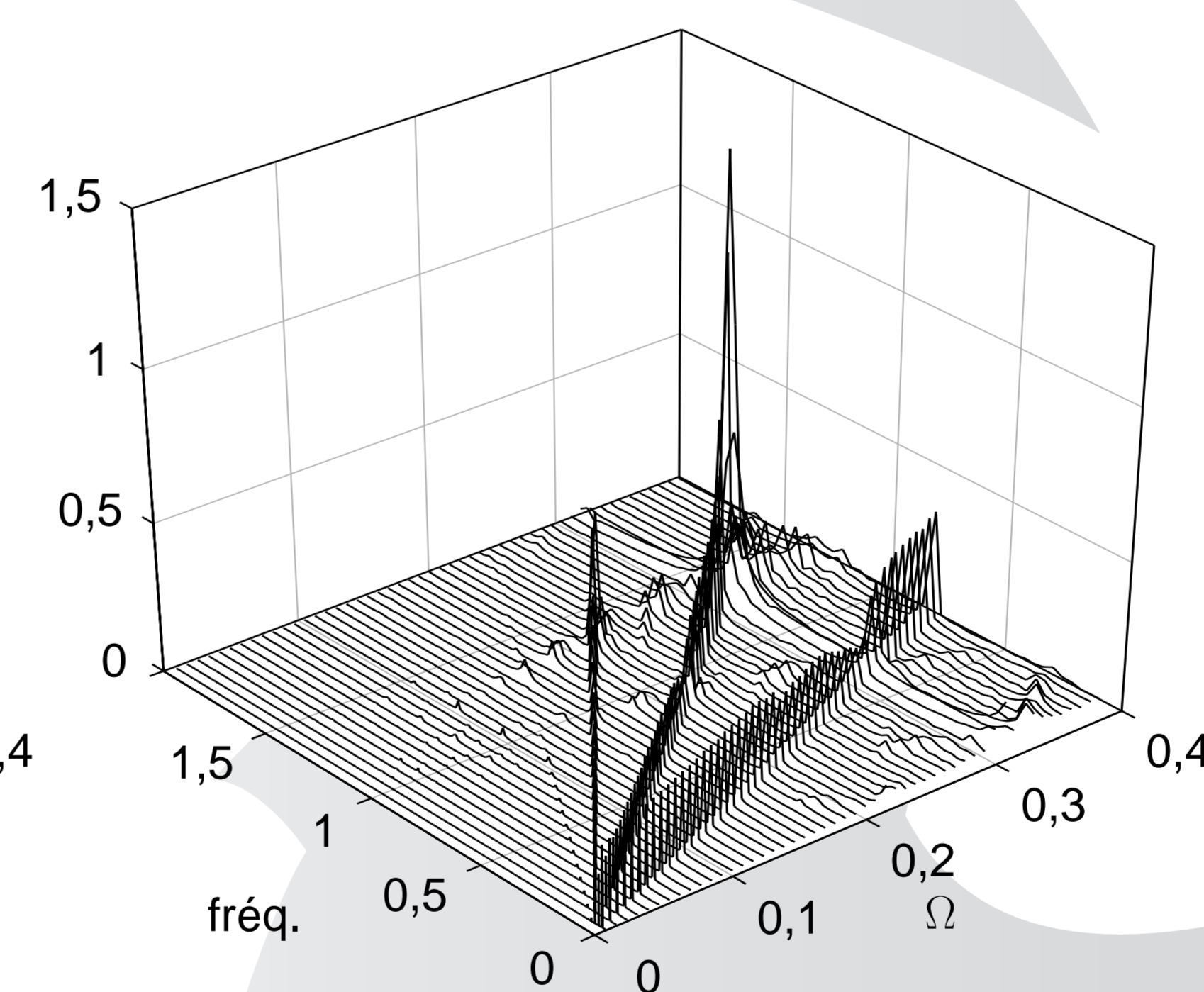
$$\mathbf{u}_{n+1} = \mathbf{u}_{n+1}^{pré} - \left[\frac{\mathbf{M}}{h^2} + \frac{\mathbf{D}}{2h} \right]^{-1} \mathbf{F}_{int}$$

Résultats

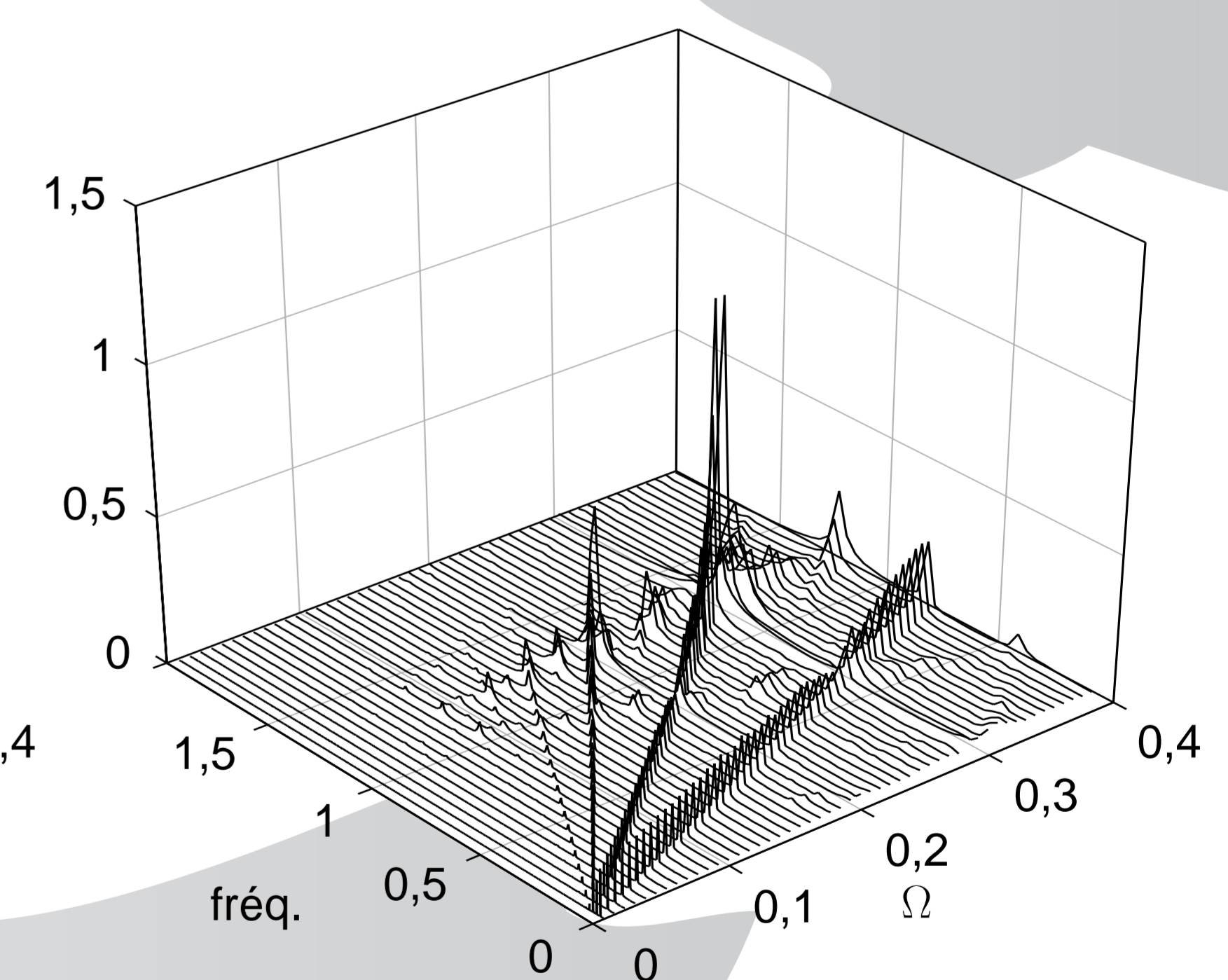
- convergence modale du modèle réduit
- schéma conditionnellement stable : pas de temps admissible très faible
- bonne prise en compte des contraintes de non pénétration
- convergence des déplacements de l'aube
- convergence du profil d'usure



● niveau de vibration, aucune usure



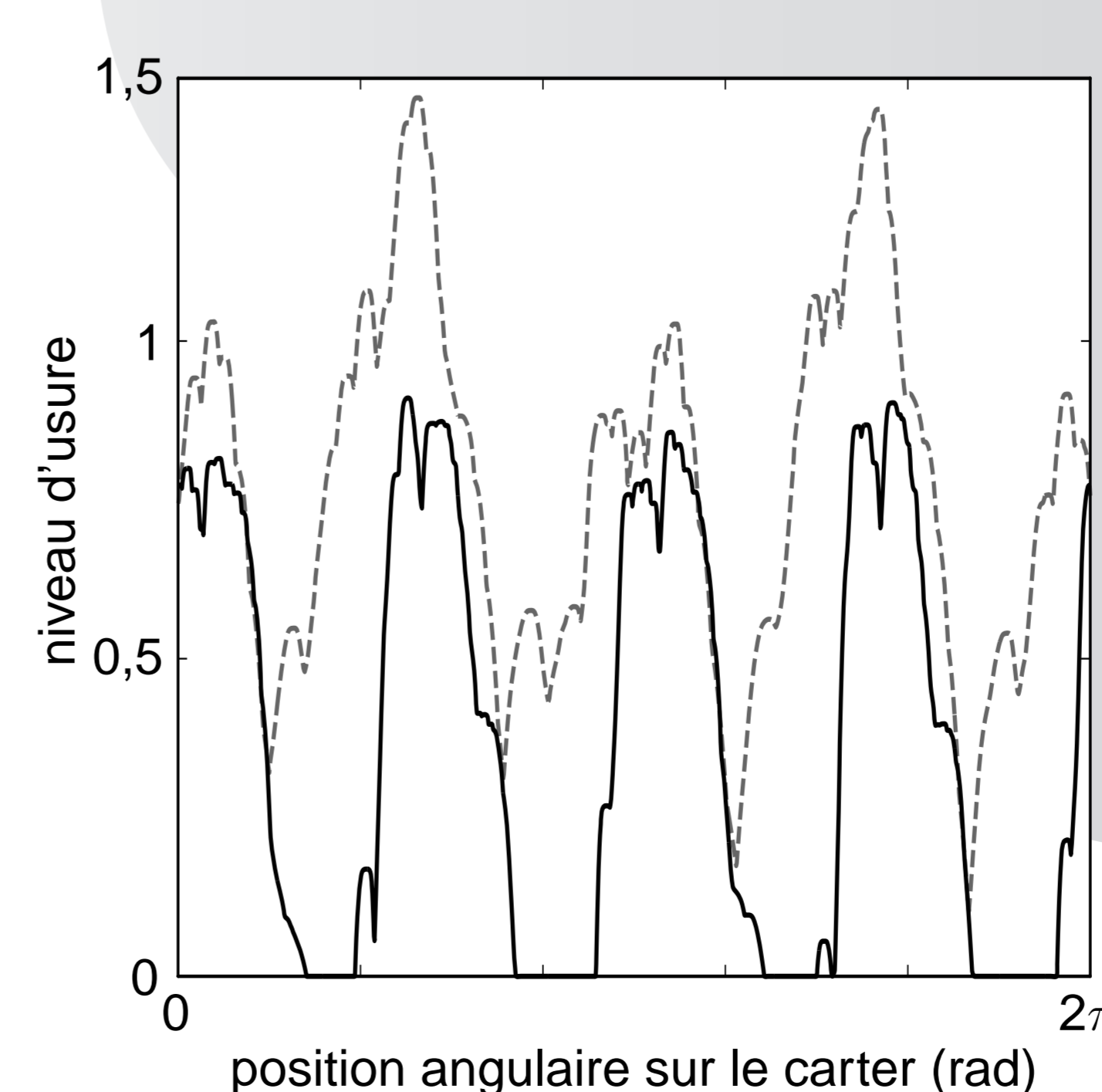
● niveau de vibration, faible ductilité



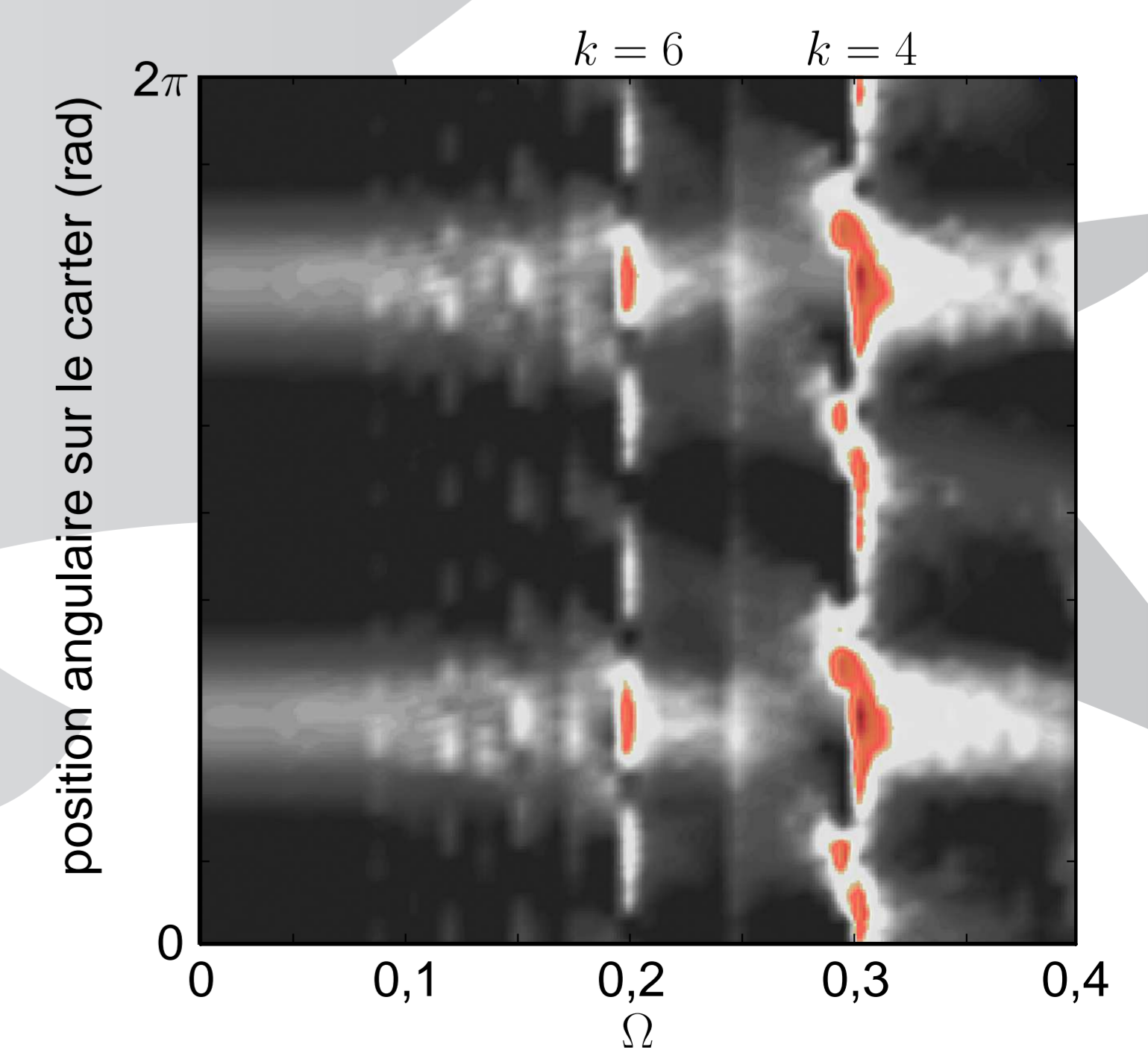
● niveau de vibration, forte ductilité

Conclusions

- prise en compte des conditions de contact unilatéral et d'usure cohérente avec la littérature et les premières données expérimentales
- modification non négligeable des conditions d'interaction
- situation d'interaction plus dangereuse en présence de faible ductilité de l'abrasable qu'en contact direct
- nécessité d'identification des paramètres de la loi de plasticité
- concept de modes et de diagrammes de Campbell non linéaires
- développement de modèles simplifiés avec effet retard



● profil d'usure



● cartographie d'usure