

Test-Model Correlation of Dry-Friction Damping Phenomena in Aero-Engines

Pierrick JEAN

« Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma. ».

- 1- Industrial context**
- 2- The approach used for dry friction damping**
- 3- Experimental results**
- 4- Simulation methods**
- 5- Numerical results**

« Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma. ».

1- Industrial context (1/2)

▶ Context : bladed disks design

- Agressive aerodynamic profiles : lower flutter margins, higher aerodynamic loads
- Prevention HCF risks

▶ To predict better bladed disks vibration levels

- Aerodynamic loads prediction
- Damping prediction => availability of non-linear numerical tools
 - Calibrated, with a good level of confidence
 - Easy to use
 - Calculation time compatible with design cycles

▶ To design additional damping solutions

« Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma. ».

1- Industrial context (2/2) – R&T on damping at Snecma

▶ Natural damping

• Material damping

- Metallic materials
- Composite materials

• Friction interfaces

- *Dovetail joints*
- Shrouds
- Inter-stage links

• Aeroelastic damping

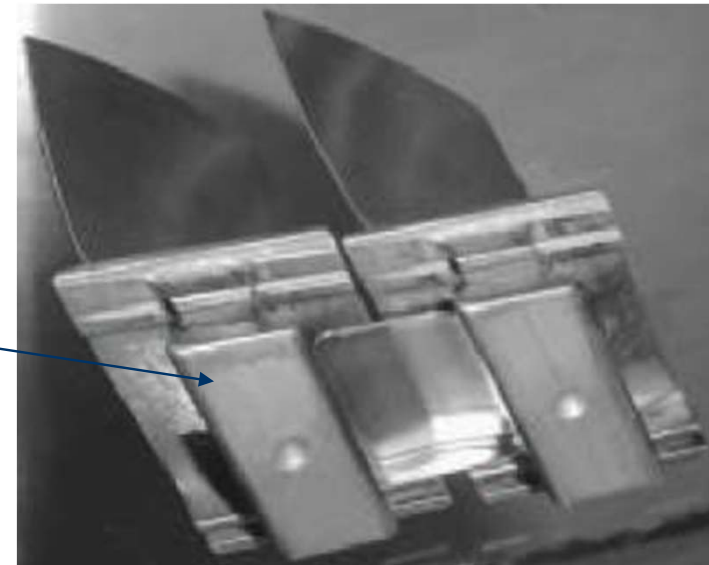
▶ Intentional damping

• Dry-friction

- Rim dampers
- *Under-platform friction dampers : wedge, thin-wall damper*

• Constrained viscoelastic layers

• Smart materials



« Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma. ».

2- Approach for dry friction simulations (1/2)

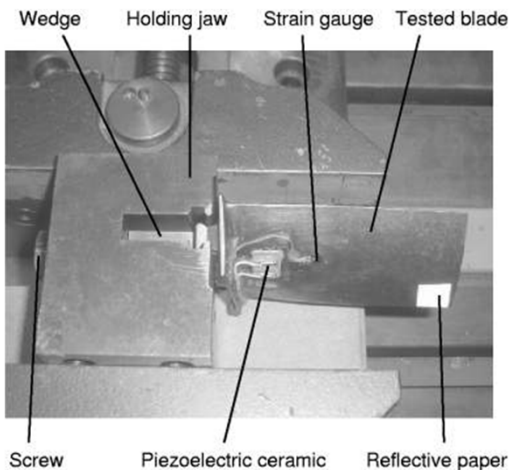
Experiments to calibrate the simulations

- based on ADTurbII rig configuration
- 5 regimes (1000-5000 rpm)
- 5 excitation voltages, applied by 2 PZTs / blade
- 2 strain gages / blade
- 15% to 30% reproducibility in level

4 configurations

	Bonded root	Free root
Without damper	1° => <i>Linear model</i>	2° => <i>blade root model</i>
With damper	3° => <i>Damper model</i>	4°

Holding jaw tests => tuning process



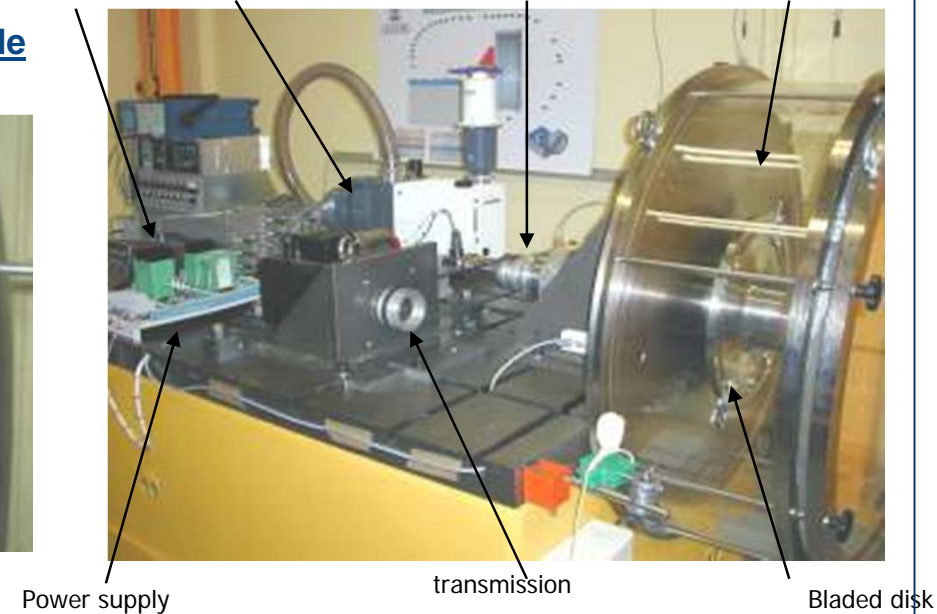
Softened blade root => Increase NL effects



Compressor blade



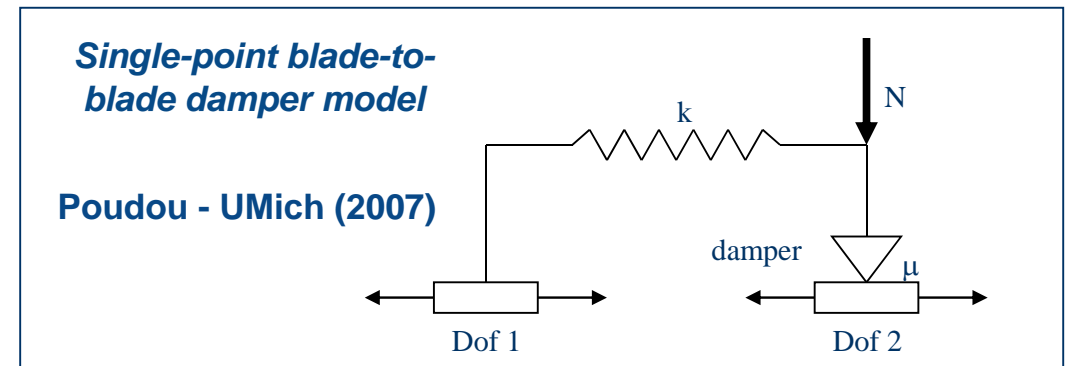
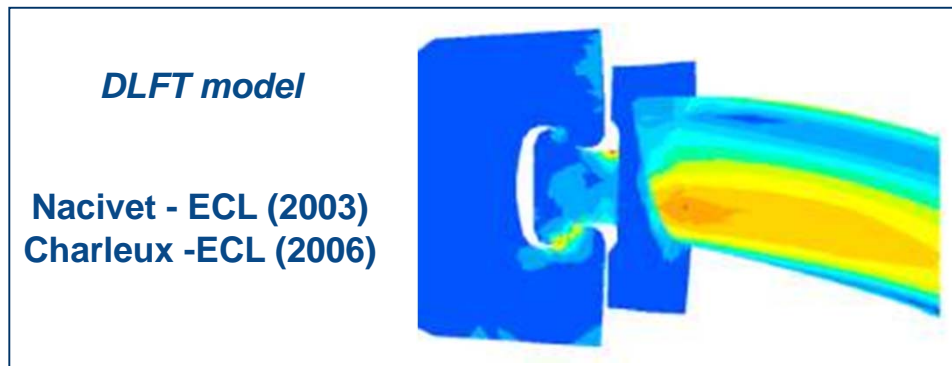
PZT amplifier Vacuum pump collector Vacuum chamber



« Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma. ».

2- Approach for dry friction simulations (2/2)

► Numerical tools based on HBM, industrialised from 3 PhD thesis tools



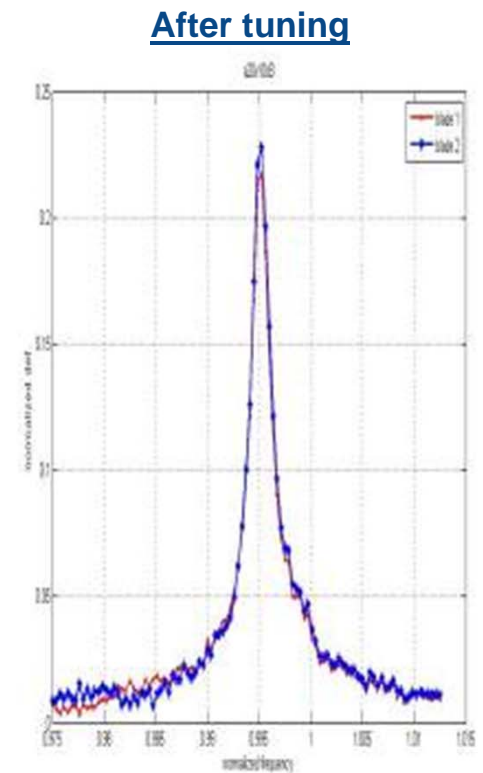
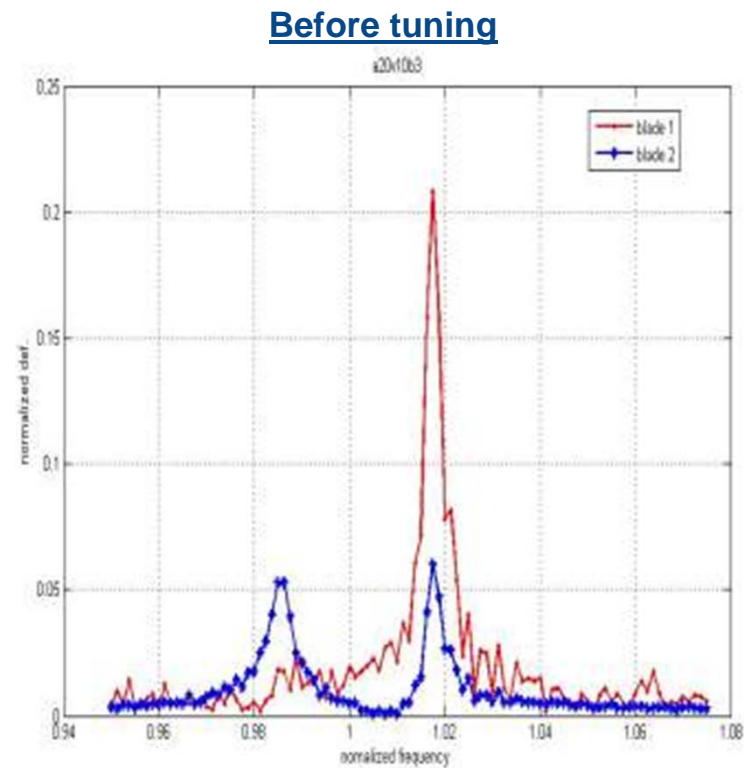
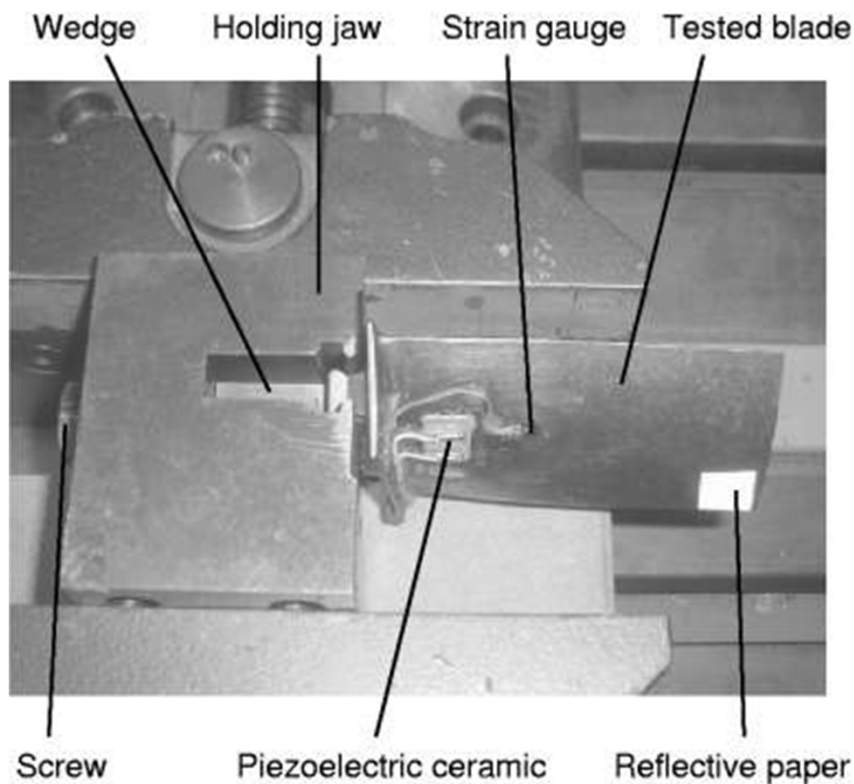
(DLFT : Dynamic Lagrangian Frequency Time)

« Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma. ».

3- Experimental results – tuning process

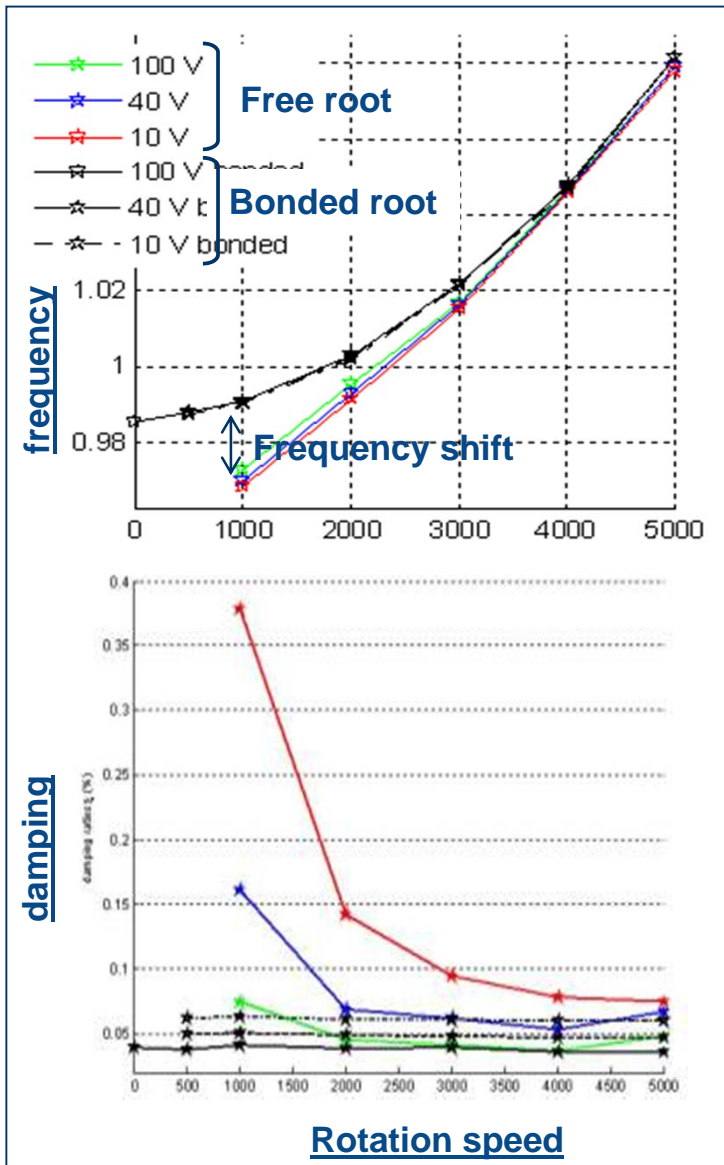
▶ Holding jaw tests : tuning process

- 1st bending mode
- Additional tip mass
- Out Of Phase mode => efficiency of damper



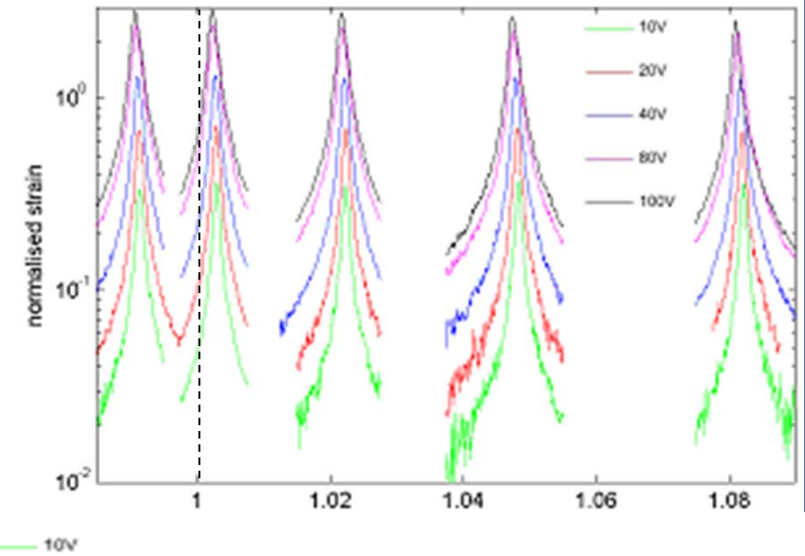
« Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma. ».

3- Exp. results - Rotating tests / dovetail joint effect



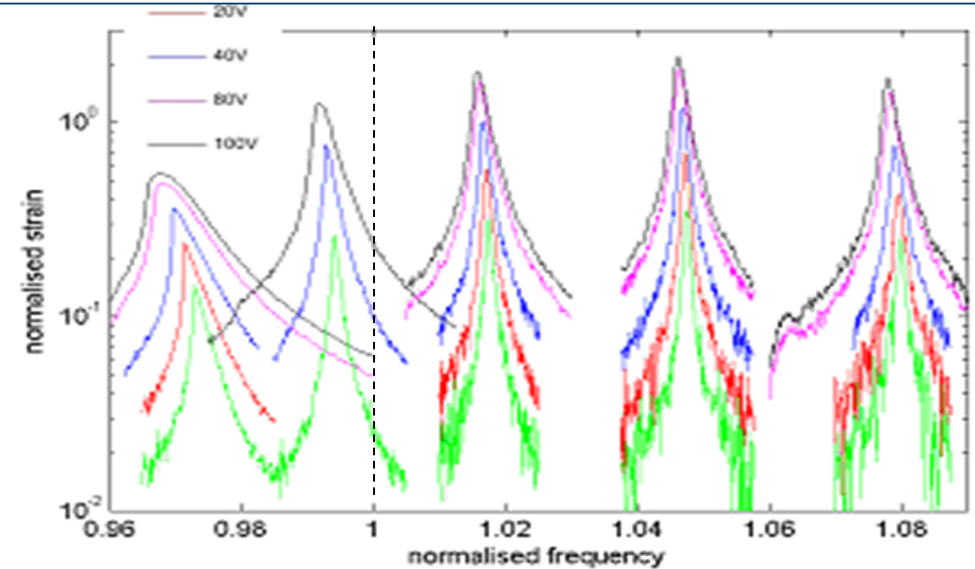
w/o damper
Bonded root

⇒ Linear ref.
- constant damping
- constant level



w/o damper
Free root

⇒ dovetail joint ref.
- increased damping for low regimes
- frequency shift

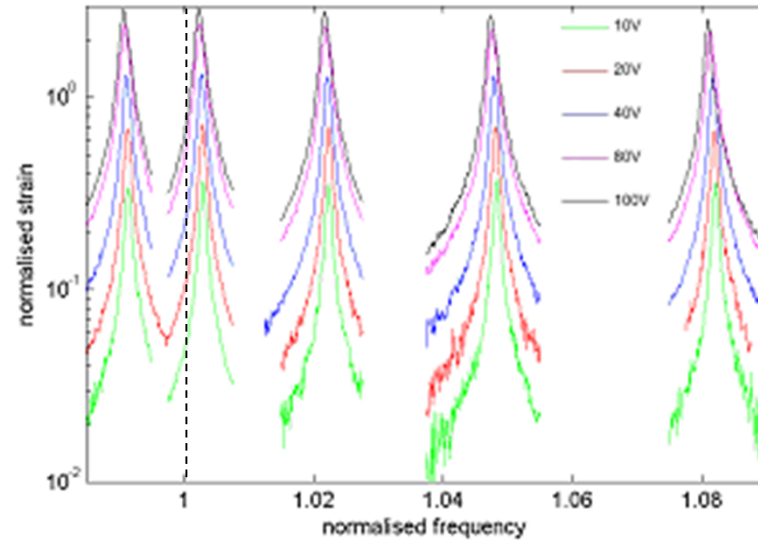


« Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être co

3- Exp. results (3/3) - Rotating tests / damper effect

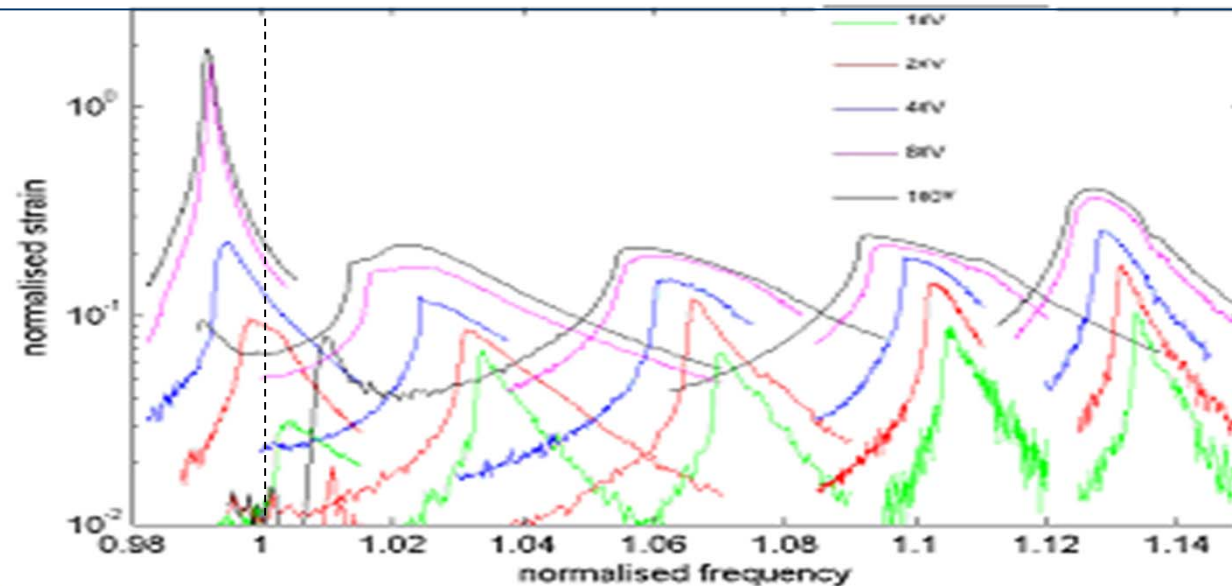
w/o damper
Bonded root

⇒ Linear ref.
- constant damping
- constant level



with damper
Bonded root

⇒ Damper ref.
- large damping effect (-23 dB)
- Frequency shift
- optimal regime



« Ce document et les informations qu'il contient sont réservés à l'usage interne de la Direction Générale de la Recherche et du Développement de Snecma. Toute réimpression ou utilisation non autorisée sans la permission écrite de la Direction Générale de la Recherche et du Développement de Snecma est formellement interdite. Toute violation de ces droits est strictement interdite et pourra être poursuivie devant les tribunaux. Toute réimpression ou utilisation non autorisée sans la permission écrite de la Direction Générale de la Recherche et du Développement de Snecma est formellement interdite. Toute violation de ces droits est strictement interdite et pourra être poursuivie devant les tribunaux. »

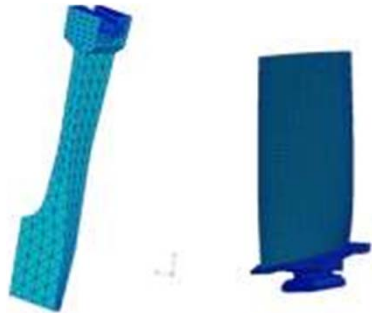
■■■■ Dovetail joint model

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K}_t \mathbf{u} + \mathbf{f}_c = \mathbf{f}_{\text{ex}}$$

$$\mathbf{K}_t = \mathbf{K} - \mathbf{K}_c + \mathbf{K}_g \rightarrow \text{Centrifugal effect}$$

1

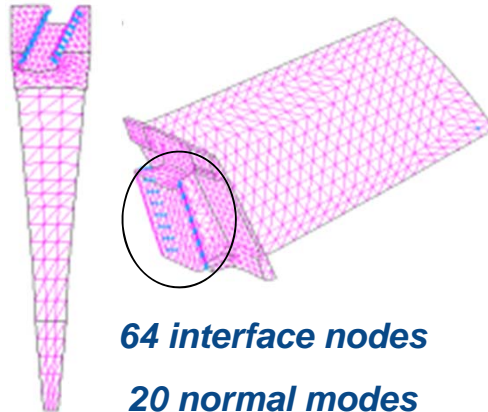
Cyclic symmetry



N/2 nodal diameter
=> OOP mode

2

Craig-Bampton reduction
Blade SE
Disk SE



64 interface nodes
20 normal modes

3

Multi-harmonic balance method

$$\begin{array}{ccc} \text{relative} & \text{Lagrange} & \text{reduced} \\ \text{displacements} & \text{multipliers} & \text{external} \\ & & \text{forces} \\ \swarrow & \downarrow & \swarrow \\ \mathbf{Z}_r \tilde{\mathbf{u}}_r + \Lambda = \tilde{\mathbf{f}}_r \end{array}$$

3 to 5 harmonics
Node-to-node Coulomb friction model
(stick, slip, separation)

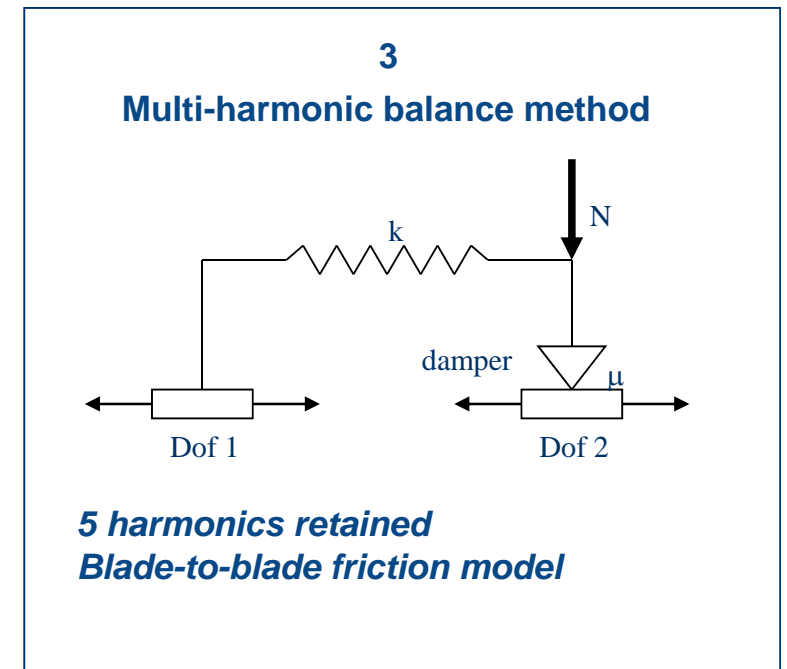
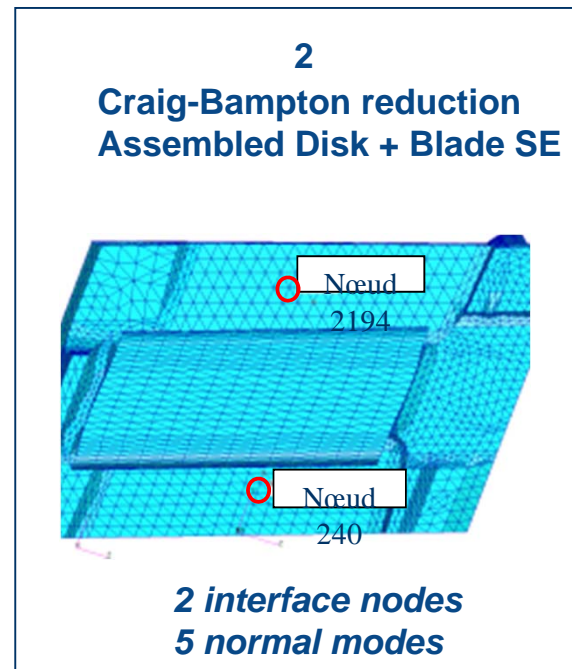
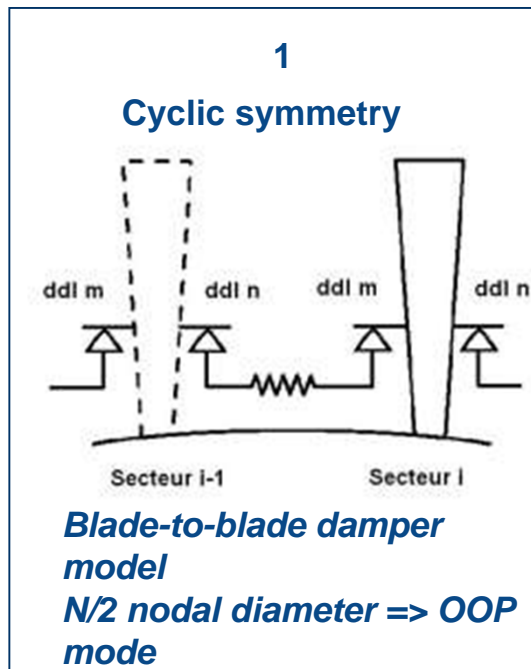
The goal is finally to calibrate the friction coefficient.

« Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma. ».

Simulation methods (2/2)

► Friction Damper model

- Blade-to-blade model

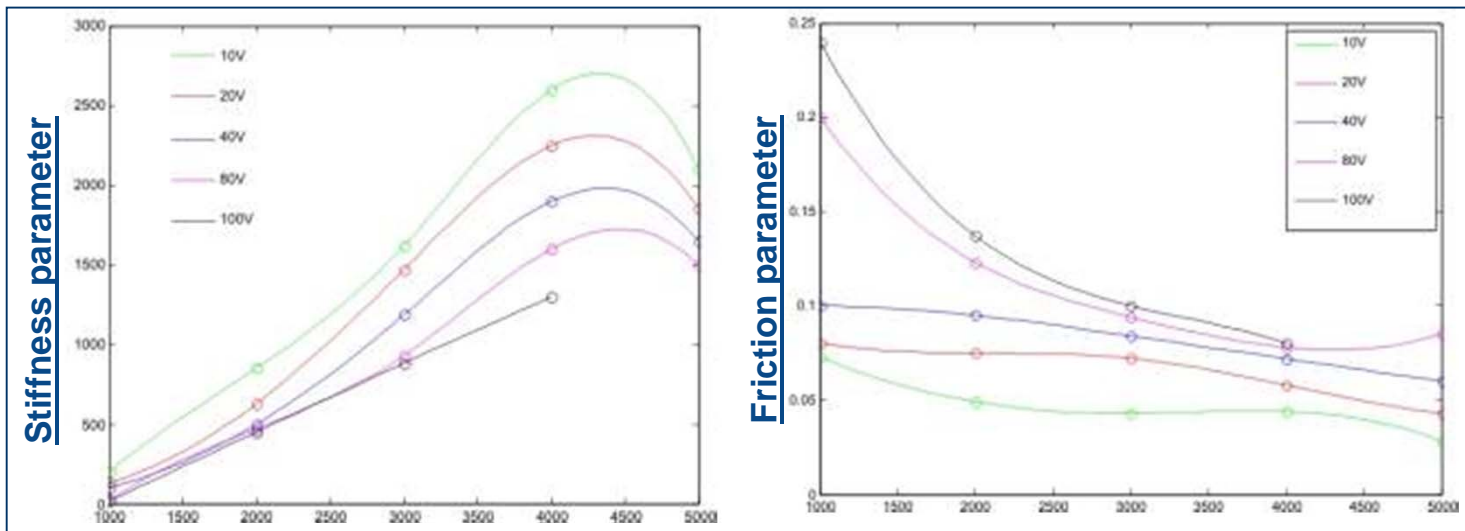
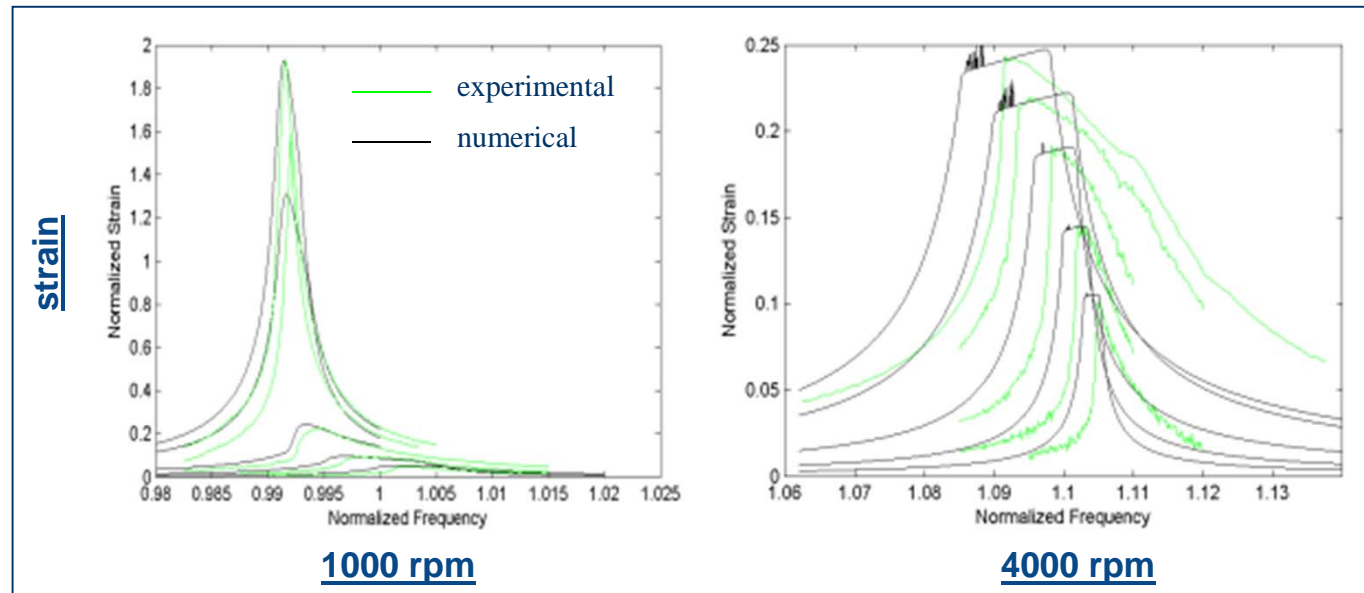


The goal is finally to calibrate the friction coefficient and the contact stiffness.

« Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma. ».

Simulation results (1/2)

► Friction Damper



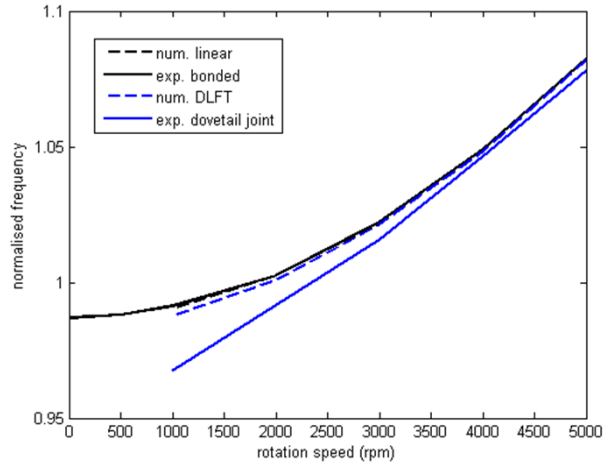
- ☺ Precision on levels and frequency
=> Frequency shift
- ☹ Lack of robustness & predictivity
=> Updated parameters
=> Sharp FRFs : stiff model

« Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma. ».

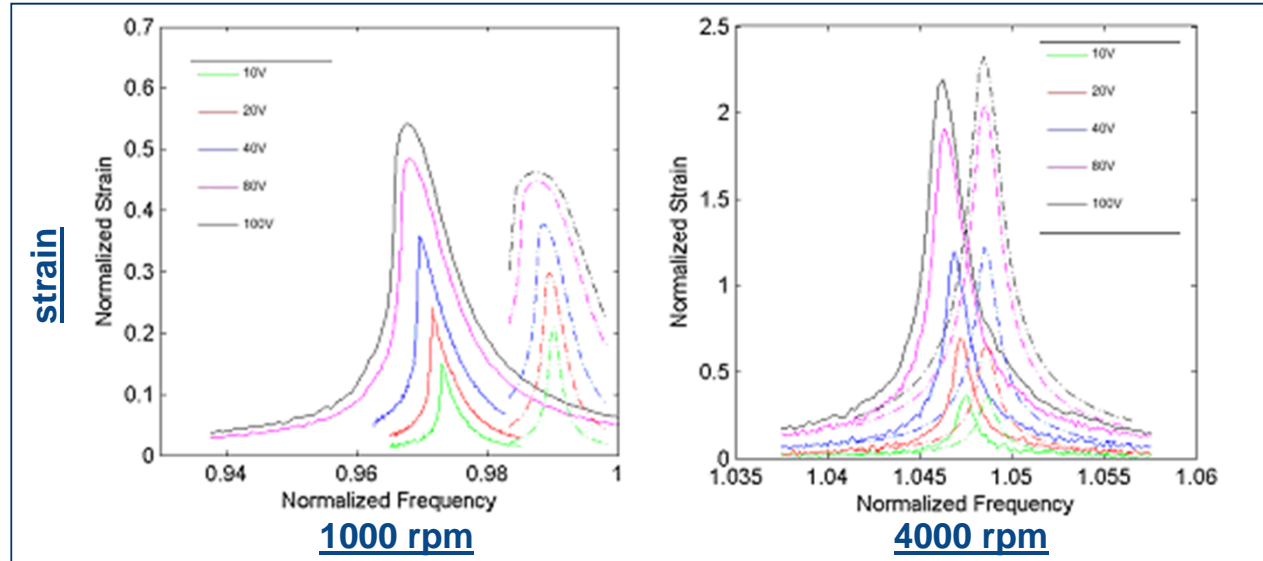
Simulation results (2/2)

► Dovetail joint

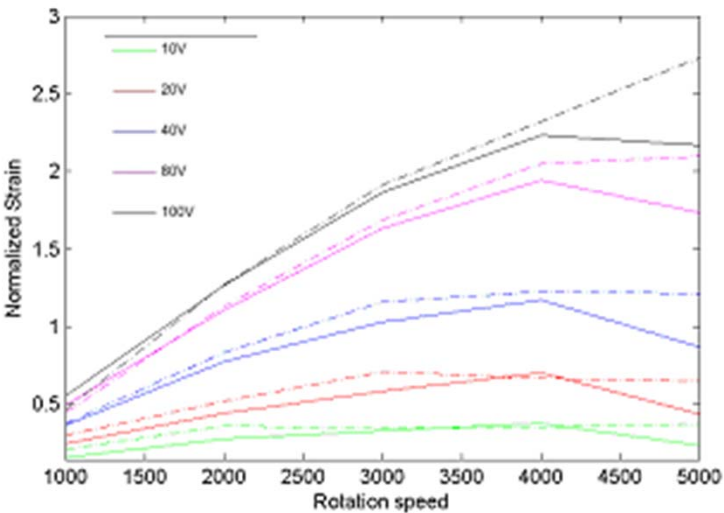
frequency



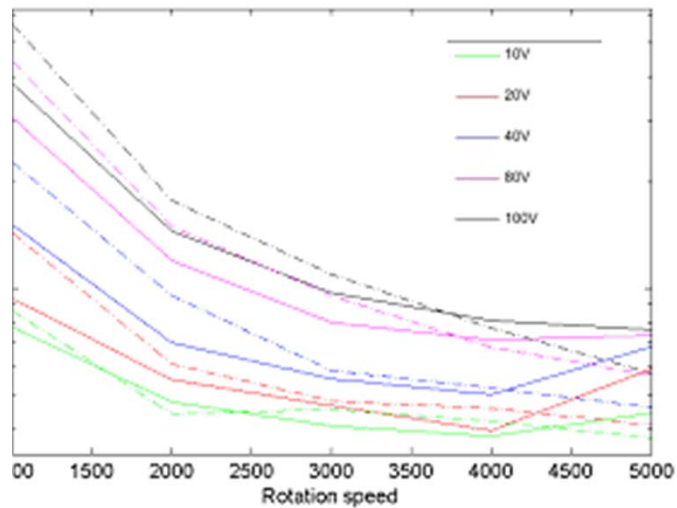
strain



strain



damping



- ☺ **Precision on level**
=> non-linear evolution
- ☺ **Robustness & predictivity**
=> unique value of friction coefficient
- ☹ **Lack of precision on frequency shift**
=> Relevance of the static calculation ?
=> Use of contact stiffness ?

Work in progress & next steps (1/2)

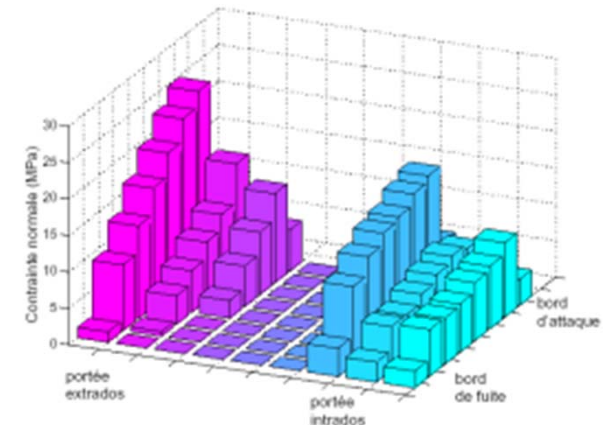
► Industrial applications

Calibration tests on a fan

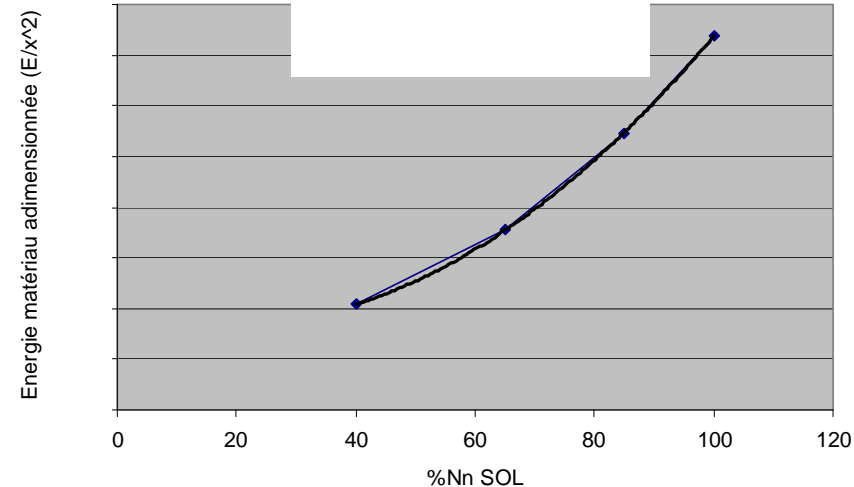


**Objective : input for
aeroelastic analyses (flutter
& forced response)**

Distribution of
dissipated energy



Simulated dissipated energy over the regime



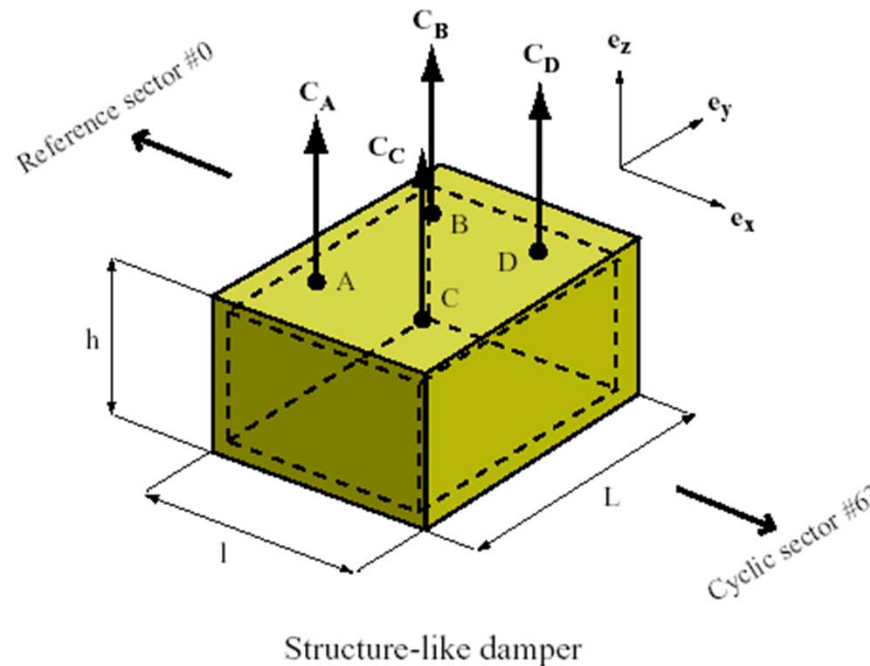
« Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma. ».

Work in progress & next steps (2/2)

- ▶ Extension of fretting/wear analysis against dynamic loads
- ▶ Extension of multi-point damper model
 - Industrialisation and evaluation of the method in progress



Contact zone observed in test
=> Limitation of single-point
damper



« Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma. ».

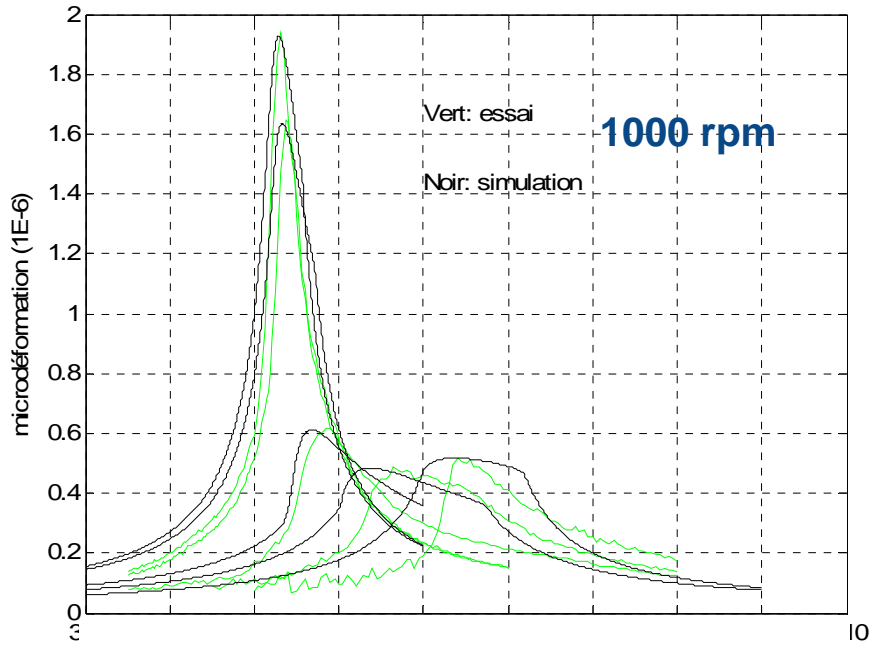
Conclusion

- ▶ **2 dry-friction damping phenomena investigated**
 - Dovetail joint
 - Thin-wall damper
- ▶ **Experiments to calibrate models over a wide range of conditions**
 - Bonded root => linear reference
 - Free root without damper
 - Bonded root with damper
- ▶ **2 multi-harmonic balance approaches industrialised and tested**
- ▶ **The more nodes are retained in the model**
 - the more physical is the model,
 - the less calibration factors needed,
 - the more robust the model.

« Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma. ».

Backup slide 1 : FRFs, damper configuration

recalage calcul/essai normalisé, 1000rpm, 100V, 80V, 40V, 20V, 10V



recalage calcul/essai normalisé, 2000rpm, 100V, 80V, 40V, 20V, 10V

