



Science Arts & Métiers (SAM)

is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers Institute of Technology researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <https://sam.ensam.eu>
Handle ID: <http://hdl.handle.net/10985/9952>

To cite this version :

Gérard COFFIGNAL, Jérôme DUCHEMIN, Lounès ILLOUL, Christophe GENGEMBRE, Philippe LORONG, Mikhail GUSKOV - Phenomenes dynamiques en usinage : Prediction de l'etat geometrique des surfaces usinees - 2013

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository

Administrator : scienceouverte@ensam.eu





Phénomènes dynamiques en usinage : Prédiction de l'état géométrique des surfaces usinées

*G. Coffignal, J. Duchemin, C. Gengembre,
M. Guskov, L. Iloul, P. Lorong*

**Arts et Métiers ParisTech
Laboratoire PIMM**

1. PROBLÉMATIQUE

- Points clés
- Approches existantes

2. Ingrédients Nussy-Usinage

- Les modèles
- Un bilan
- Intégration dans une chaîne numérique

3. Exemples

- Fraisage : Collecteur d'échappement – PSA, PCI
- Tournage : Tambours turboréacteurs – Snecma

4. Conclusions

Problématique

La mise au point de certaines opérations d'usinage est rendue délicate à cause de la déflexion de la pièce ou du risque d'apparition de vibrations



Cherche à prédire :

- l'état géométrique de la surface usinée : forme, ondulation, rugosité
- l'évolution des efforts et des puissances de coupe en cours d'usinage
- chargement appliqué au système usinant : bridage, broche, outil, ...



Nécessité de disposer d'un outil de simulation intégrant un modèle 'adéquate' du système usinant



Points clés de la modélisation : 1

Point Clé 1 : Reproduire le comportement dynamique du système
là où l'enlèvement de matière à lieu

- **Flexibilité du système usinant :**
 - ✓ Pièce mince ou élancée
 - ✓ Outils longs
 - ✓ Broche+attachement flexibles
 - ✓ Trajectoires avec dynamique élevée

Déduits de :

- *modèles EF*
- *modèles recalés*
- *fonctions de transfert*



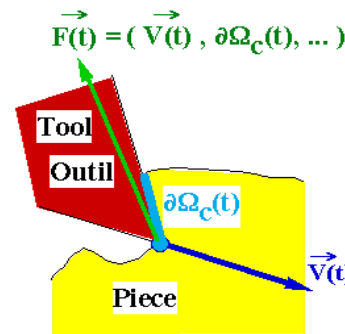
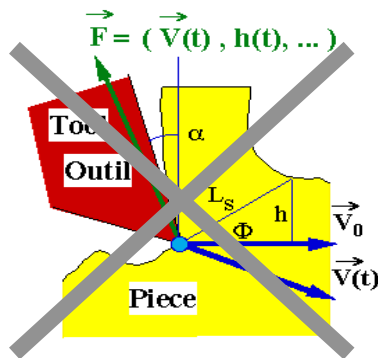
Difficultés :

- Disposer des modèles adéquates
- Ces modèles sont potentiellement évolutifs :
 - déplacement du lieu d'enlèvement de matière (pièce & machine)
 - effet enlèvement de matière

Points clés de la modélisation : 2

Point Clé 2 : Evaluation des efforts de coupe présents entre l'outil et la matière

- Prise en compte détaillée de la séparation de la matière en pointe d'outil non envisageable



Utilisation de lois de coupe

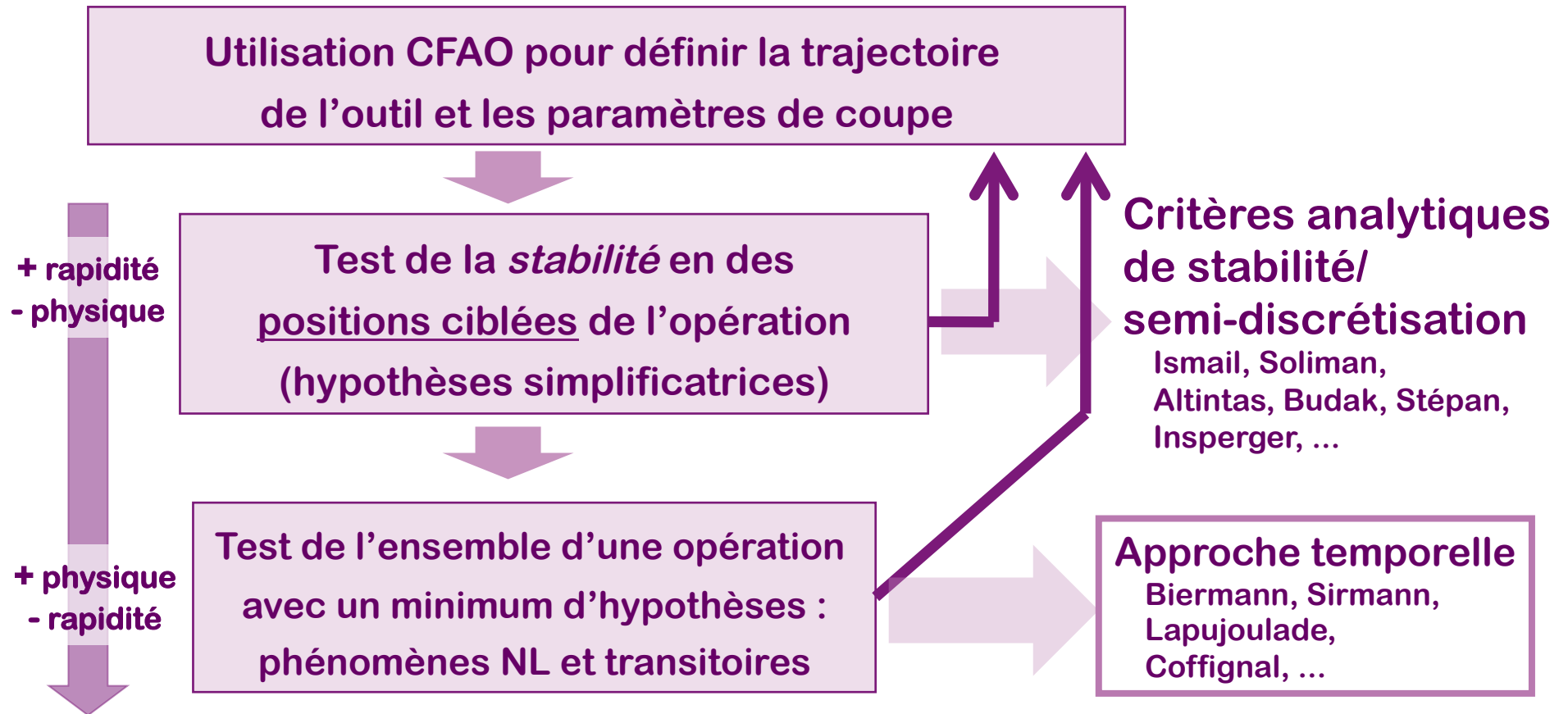
Exemple :

$$F_{\alpha} = K_{\alpha} \frac{b}{h_0} \left(\frac{h}{h_0} \right)^{n_{\alpha}}$$

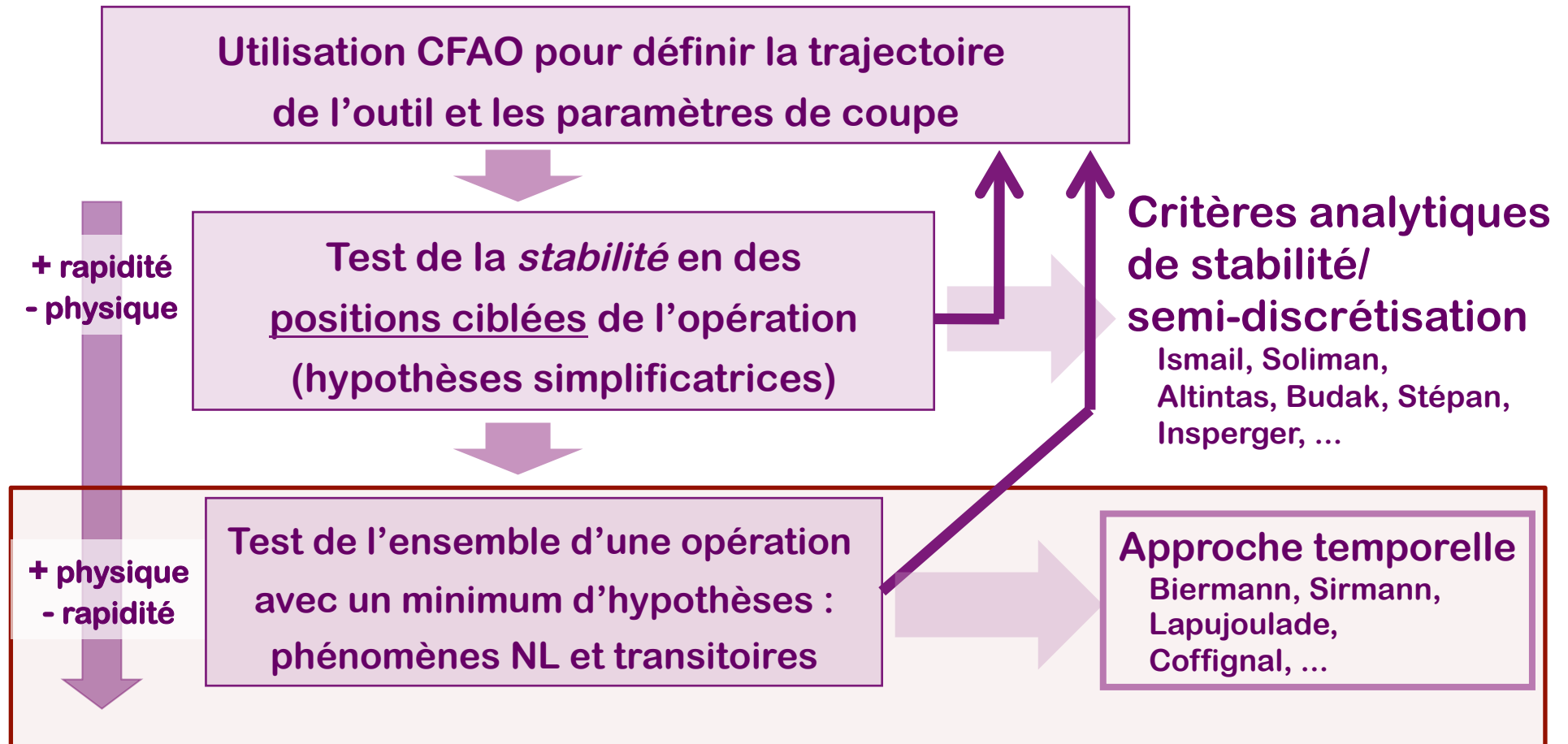
Définition des paramètres d'engagement de l'outil (b, h, \dots) ?

➔ **Dépend de l'approche utilisée**

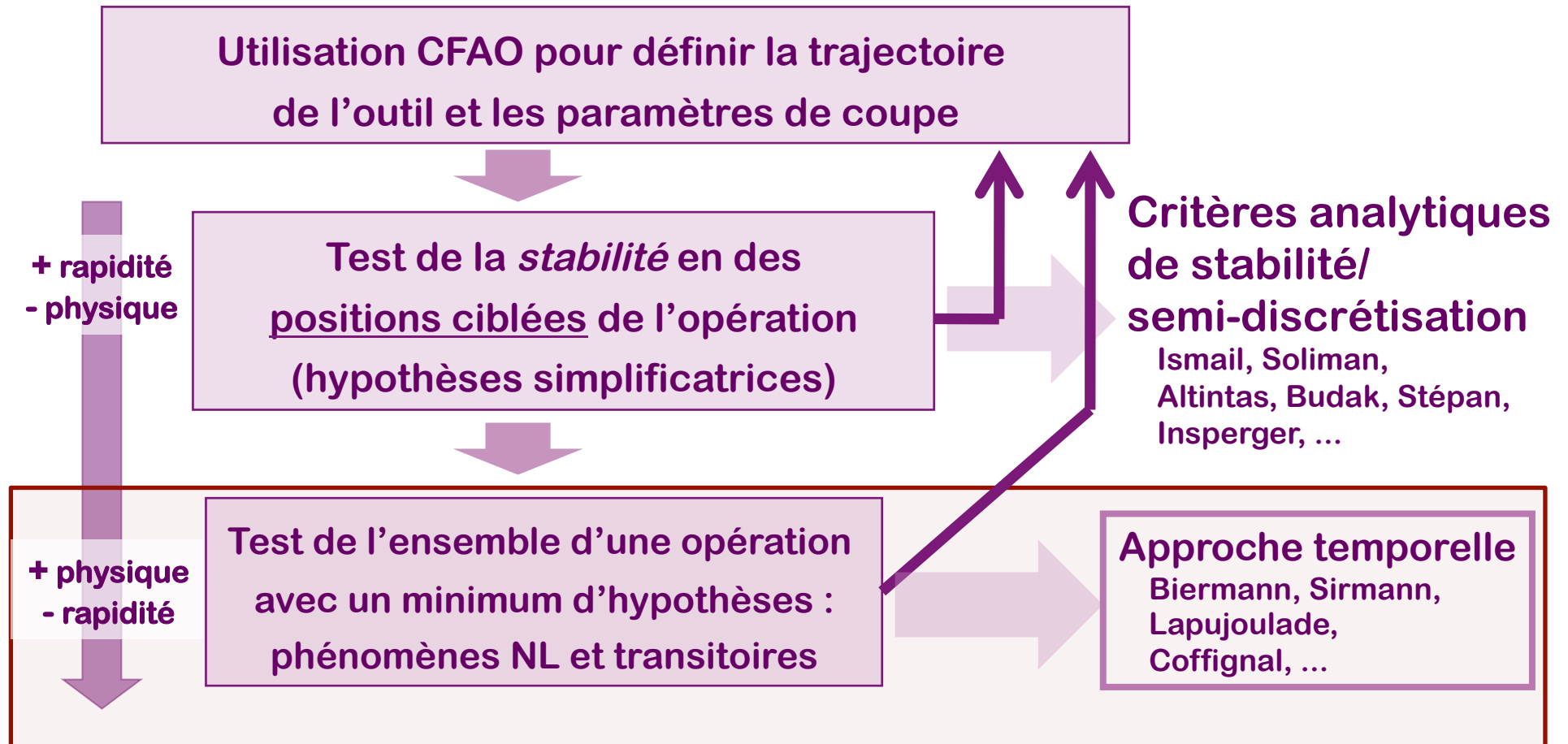
Approches existantes



Approches existantes



Approches existantes



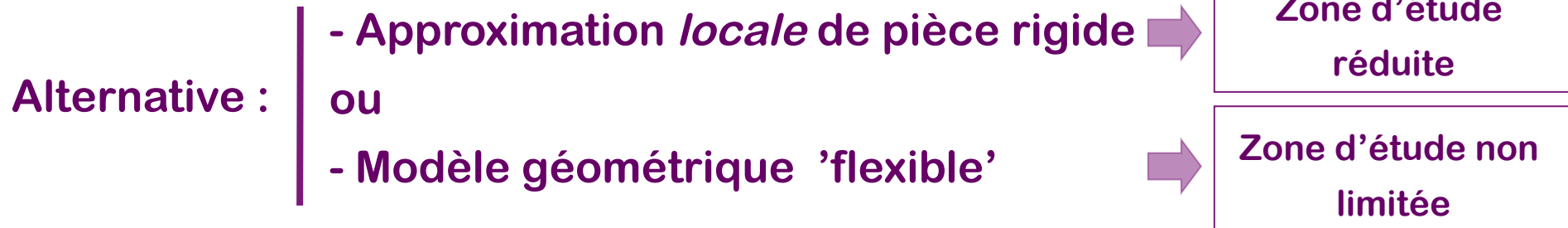
➔ Paramètres engagement outil si *pièce flexible* ?



Points clés de la modélisation : 3

Point Clé 3 : Nécessité d'un modèle géométrique de la surface usinée qui évolue avec l'enlèvement de matière

- Niveau des détails reproduits $\leq 1/100^{\text{ème}}$ millimètres
 - ➔ Modèles EF de la pièce ne convient pas (coût calcul)
- Difficultés si la pièce est flexible :
 - Modèle EF pour la dynamique de la pièce
 - Modèle géométrique pour la surface usinée





Points clés de la modélisation : 3

Point Clé 3 : Nécessité d'un modèle géométrique de la surface usinée qui évolue avec l'enlèvement de matière

- Niveau des détails reproduits $\leq 1/100^{\text{ème}}$ millimètres
 - ➔ Modèles EF de la pièce ne convient pas (coût calcul)
- Difficultés si la pièce est flexible :
 - Modèle EF pour la dynamique de la pièce
 - Modèle géométrique pour la surface usinée

Alternative :

- Approximation *locale* de pièce rigide ➔

Zone d'étude réduite

ou

- Modèle géométrique 'flexible' ➔

Zone d'étude non limitée

➔ Approche PIMM : Logiciel Nessy-Usinage

Plan de l'exposé

1. Problématique

- Points clés
- Approches existantes

2. INGRÉDIENTS NESSY-USINAGE

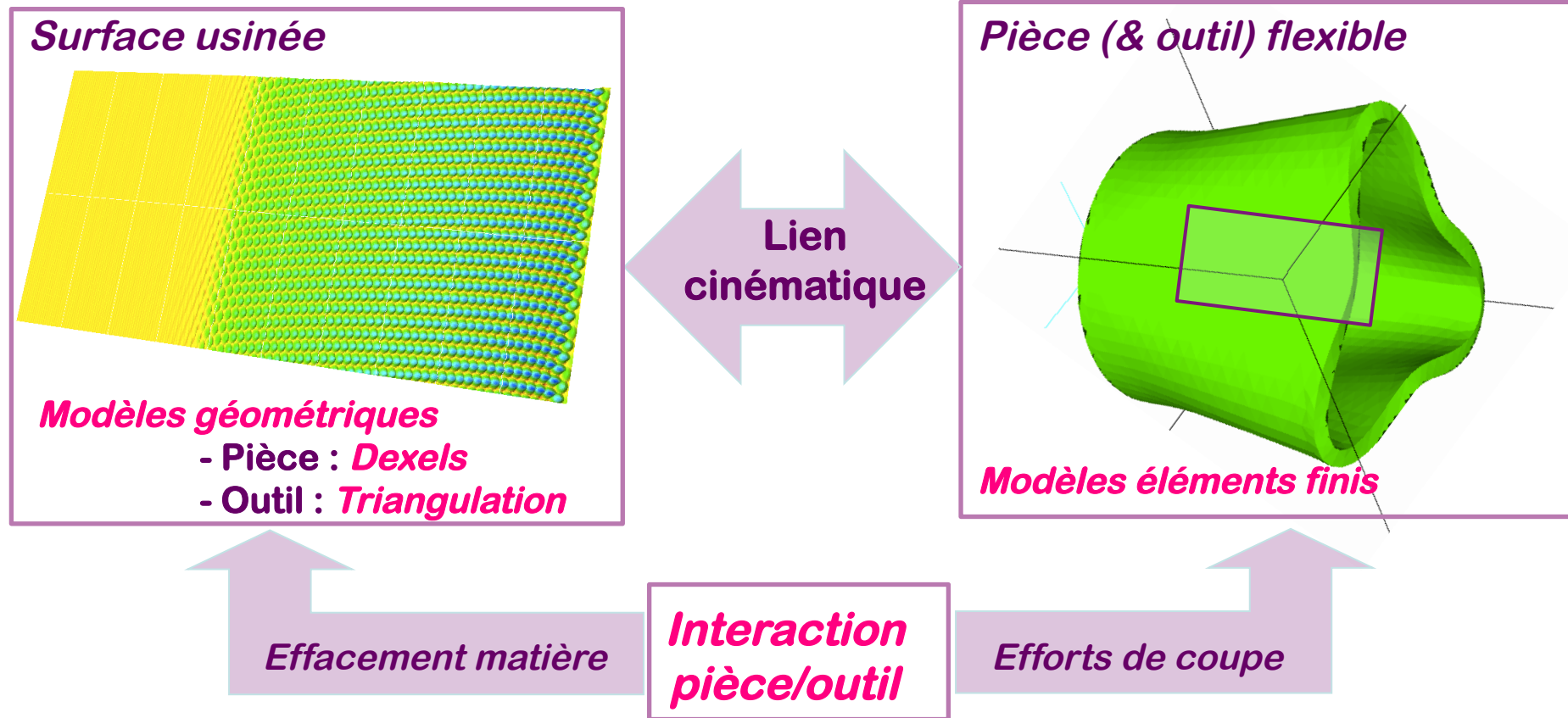
- Les modèles
- Un bilan
- Intégration dans une chaîne numérique

3. Exemples

- Fraisage : Collecteur d'échappement – PSA, PCI
- Tournage : Tambours turboréacteurs – Snecma

4. Conclusions

Ingrédients de Nussy-Usinage



$$\underline{\underline{M}} \underline{\underline{\ddot{q}}}(t_i) + \underline{\underline{C}} \underline{\underline{\dot{q}}}(t_i) + \underline{\underline{K}} \underline{\underline{q}}(t_i) = \underline{\underline{Q}}_{cut} \left(\underline{\underline{q}}(t_i), \Gamma_{cut}(t_i) \right)$$

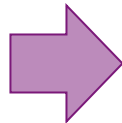
Travail dans une base modale (outil & pièce) + déformée statique pour bridage)



Ingrédients de Nussy-Usinage

**Nussy-Usinage utilise
une approche temporelle :**

- Schéma d'intégration implicite (Newmark)
- Pour chaque incrément : recherche itérative de l'équilibre dynamique (Newton)



- Evaluation des efforts de coupe à chaque itération
- Mise à jour surface usinée après convergence à chaque incrément
- Archivage possible, pour chaque incrément :
 - des efforts sur chaque dent, couple, puissance, ...
 - des déformations de la pièce et de l'outil
- Archivage à intervalles réguliers de la surface usinée

La surface usinée *suit* les déformations de la pièce à chaque instant

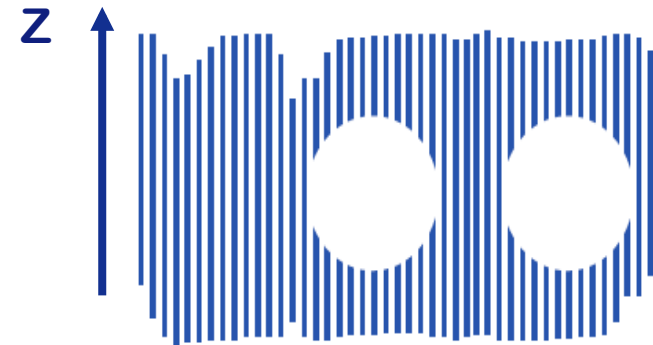
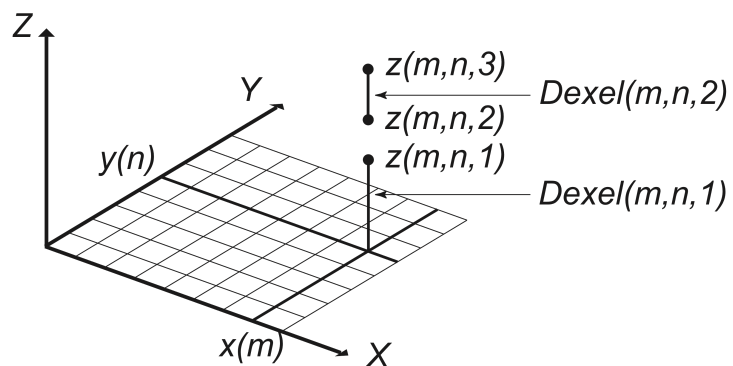
Ingrédients de Nussy-Usinage

Modèle dynamique de la pièce:

- Rigide ou Flexible (dans ce cas maillage EF tétraédrique dans la zone usinée)

Modèle géométrique de la surface usinée :

- Tapis de dexel de forme initiale :
 - rectangulaire
 - résultant de l'intersection avec un maillage
 - provenant d'un usinage antérieur



Représentation d'un volume par des dexels – Principe

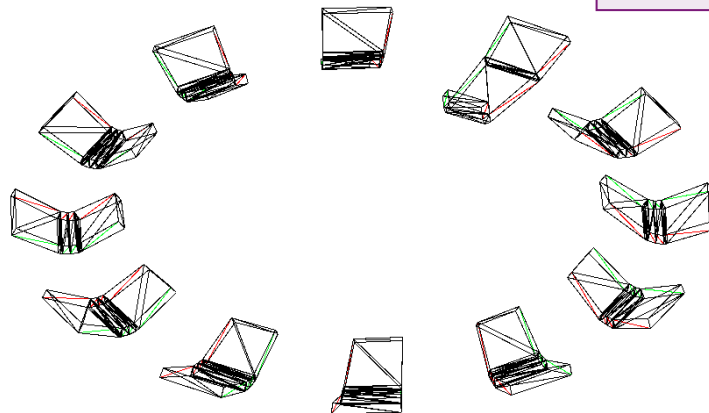
Ingrédients de Nussy-Usinage

Modèle dynamique de l'outil :

- Parties actives (dents) rigides
- Corps + broche : Rigide ou Flexible (modèle EF)

Modèle géométrique de l'outil :

Maillage par facettes triangulaires des parties actives de l'outil (faces de coupe)



Fraise plaquettes
(11 + 1 : dents)

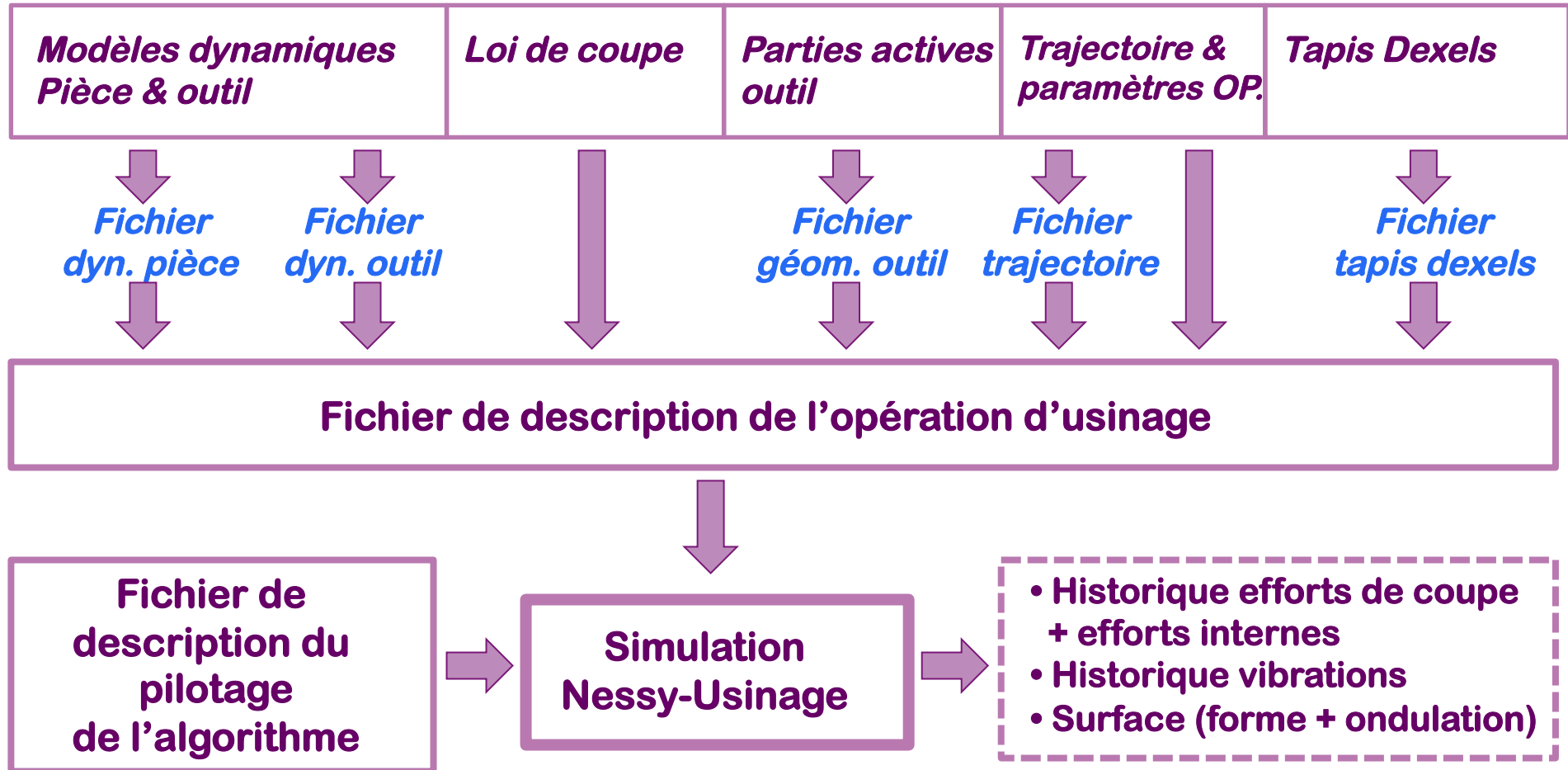
Formes actuellement disponibles :

- Outils dont les parties actives sont des plaquettes
 - ➔ Large gamme d'outils
- Outils monobloc
 - fraises hélicoïdales mono-bloc
 - fraise boule

Trajectoire de l'outil / pièce :

Succession de segments droits - Accélération constante entre segments (import fichiers APT)

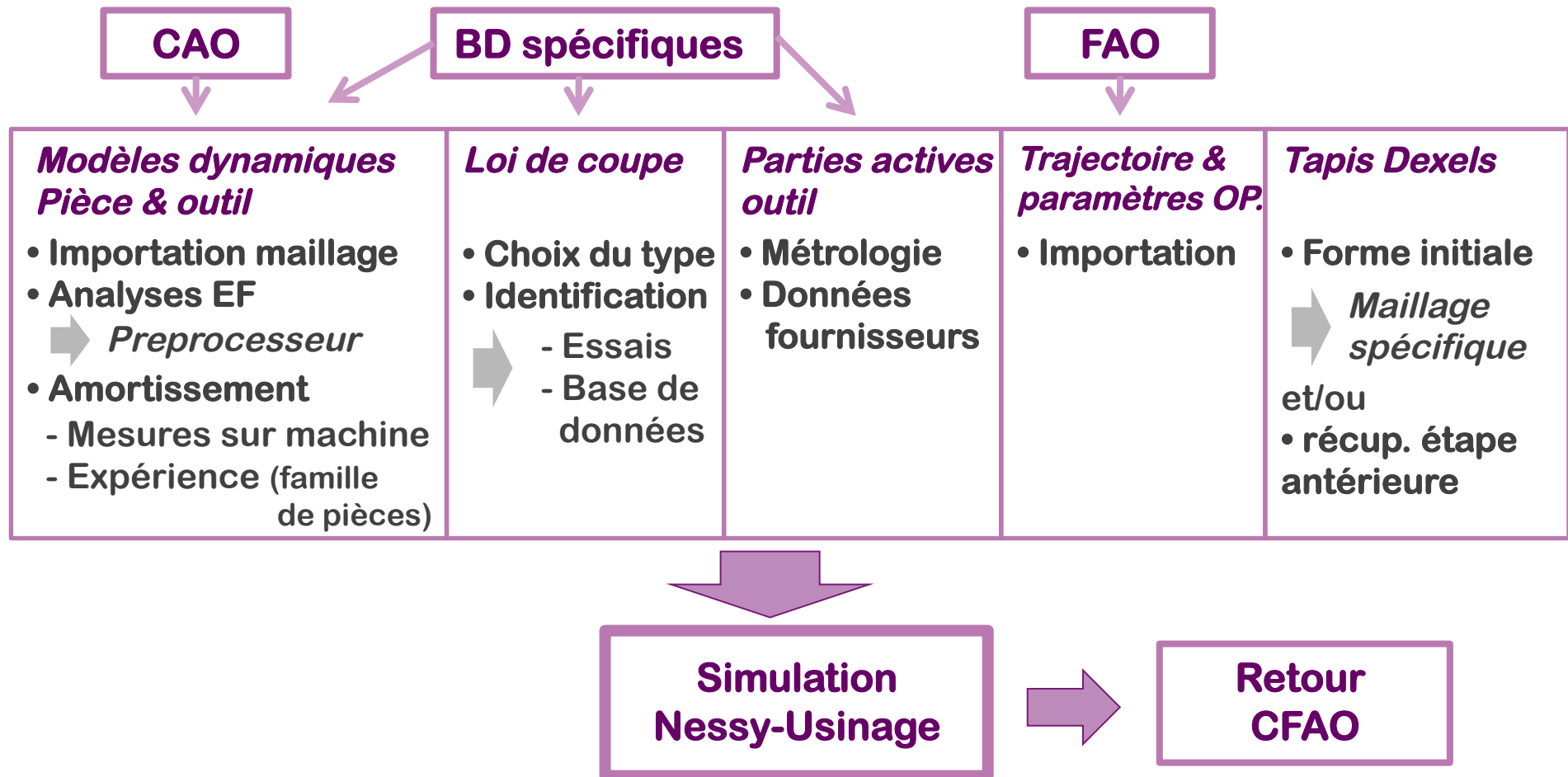
Un bilan



Intégration dans une chaîne numérique

Objectif :

- Faciliter la mise en données
- Faciliter l'exploitation des résultats



Plan de l'exposé

1. Problématique

- Points clés
- Approches existantes

2. Ingrédients Nussy-Usinage

- Les modèles
- Un bilan
- Intégration dans une chaîne numérique

3. EXEMPLES

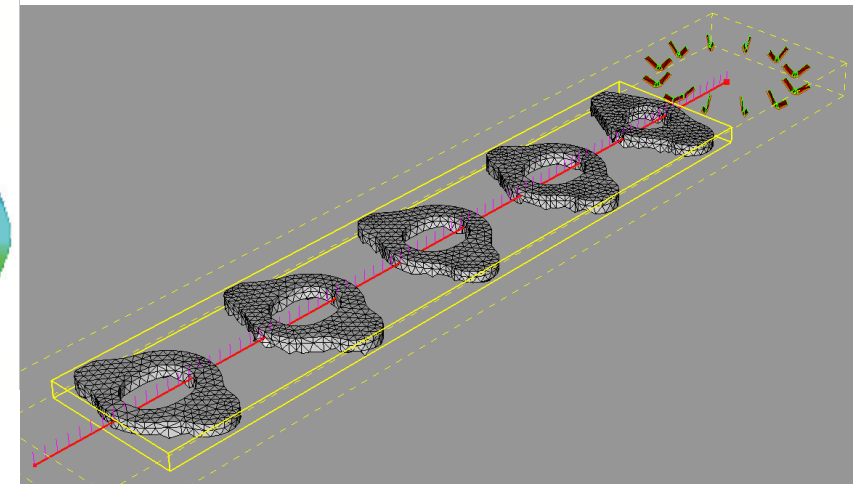
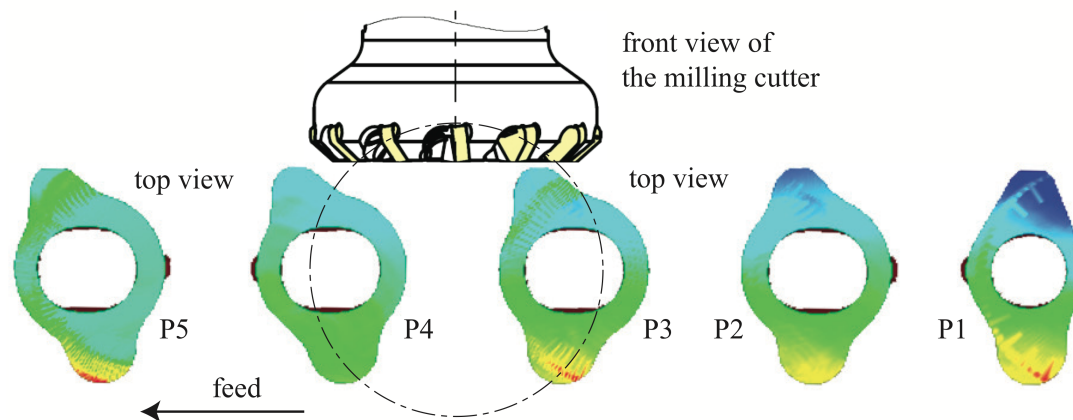
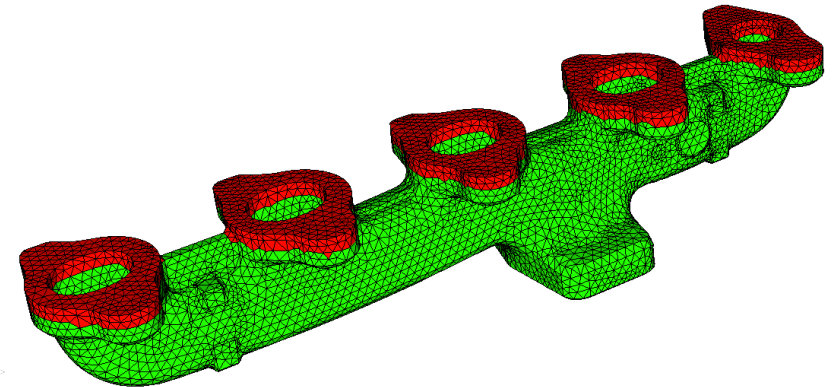
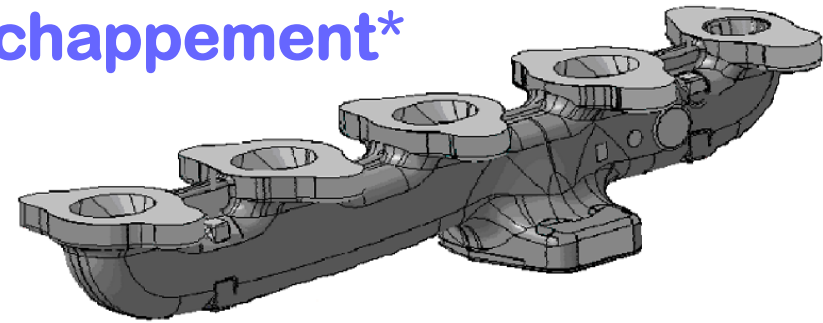
- Fraisage : Collecteur d'échappement – PSA, PCI
- Tournage : Tambours turboréacteurs – Snecma

4. Conclusions

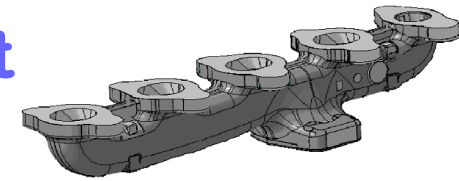
Fraisage : Collecteur d'échappement*

Opération de surfacage :

- Pièce flexible
Vibrations + défaut bridage
- Outil flexible (modèle poutre+ressorts)
- Passe d'ébauche puis de finition
- Amortissement : estimé
- Lois de coupe : identifiées PIMM



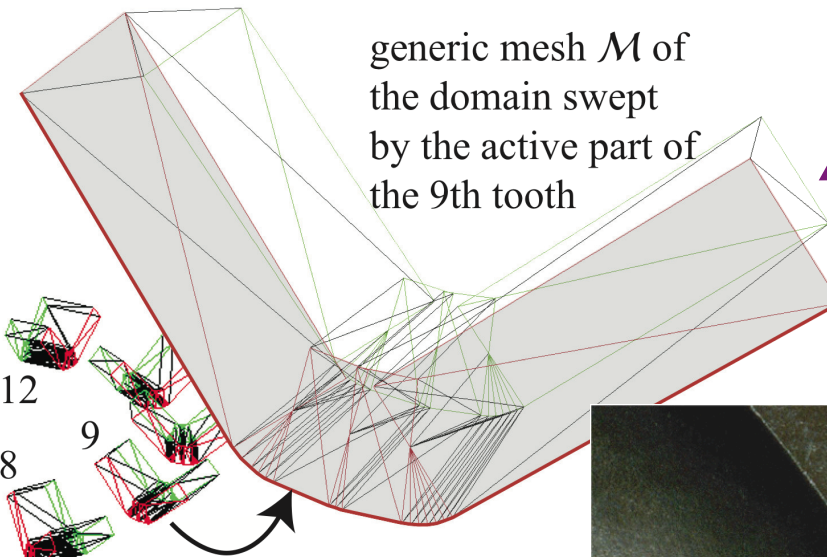
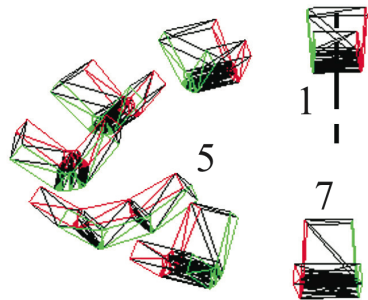
* PSA, PCI



Loi de coupe

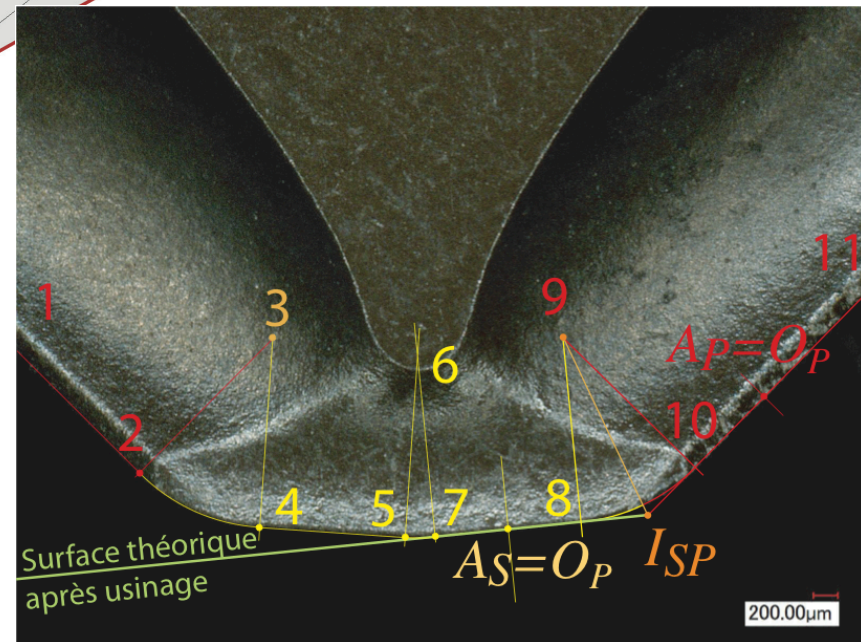
Swept domain
by the active parts
of the 12 teeth.

12 generic meshes,
one for each tooth

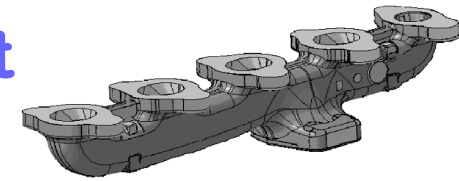


**Volume balayé par
une face de coupe
(incrément fictif)**

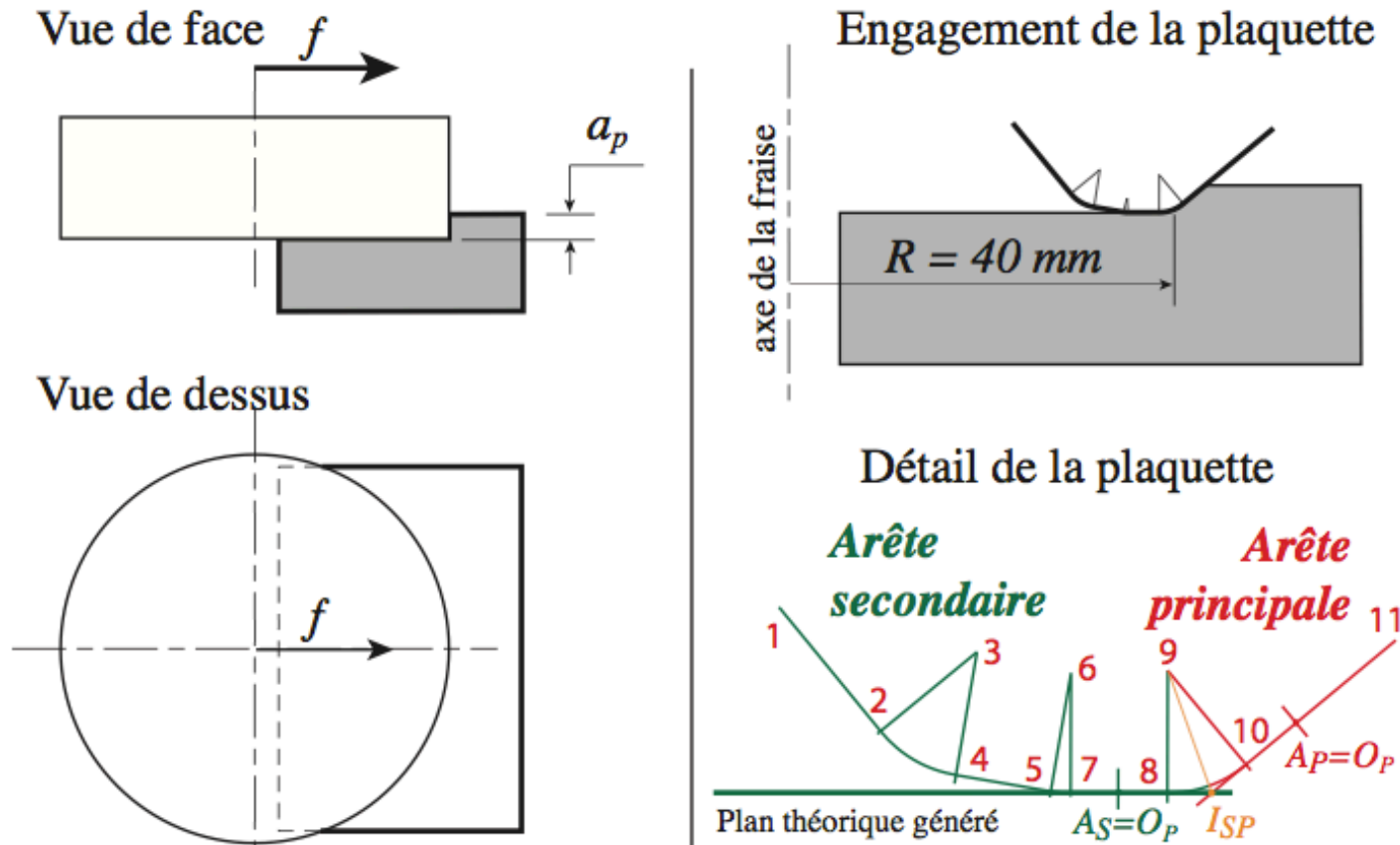
**Détail
plaquette 'normale'**

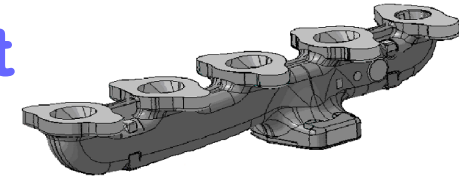


- 2 types de dents différents
 - 11 dents 'normales'
 - 1 dent 'planeuse'
- Forme plaquette évolue le long de l'arête de coupe
→ 2 lois de coupe par dent

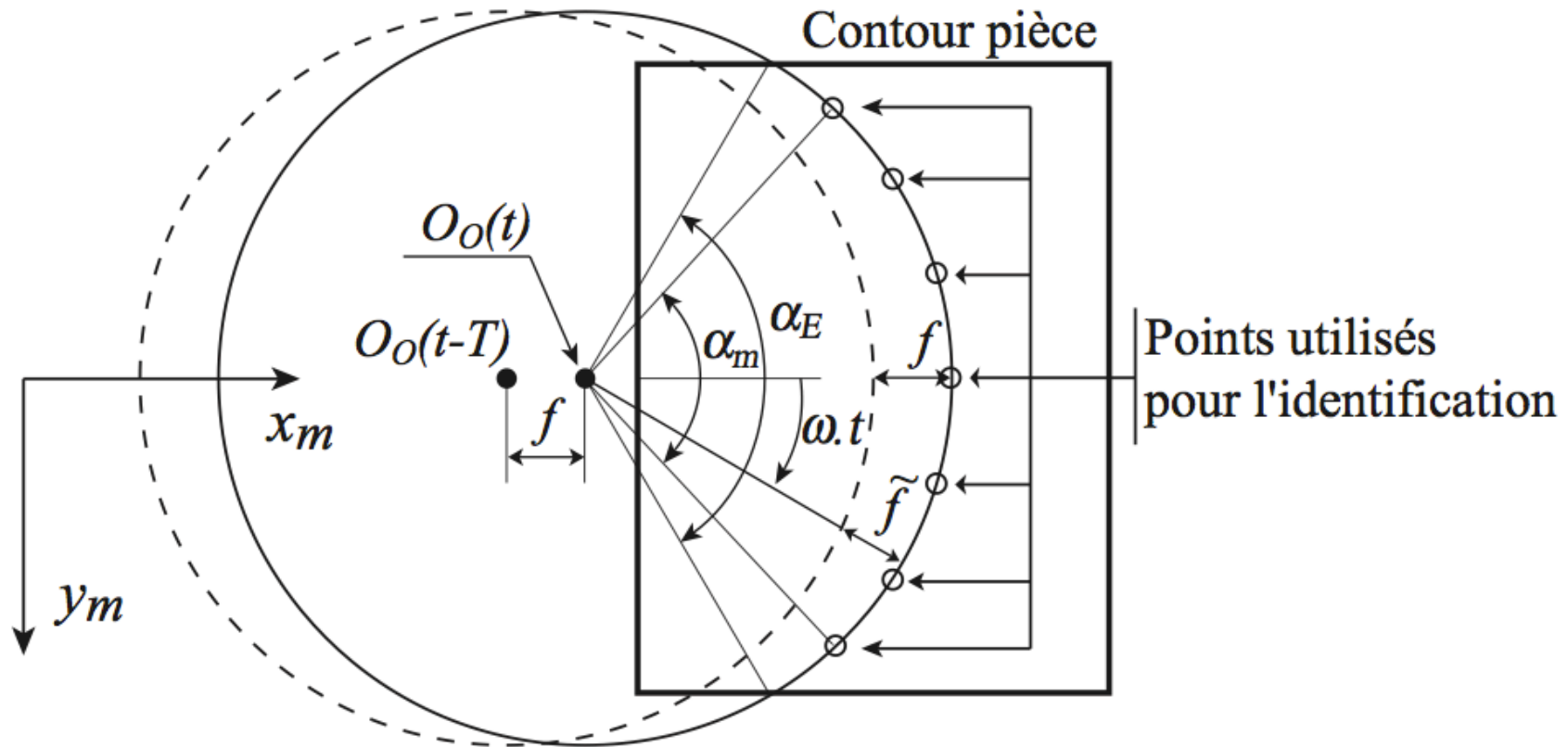


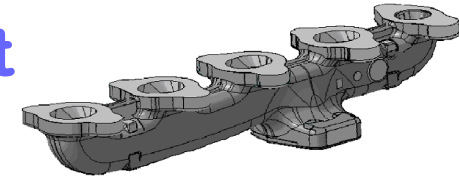
Loi de coupe



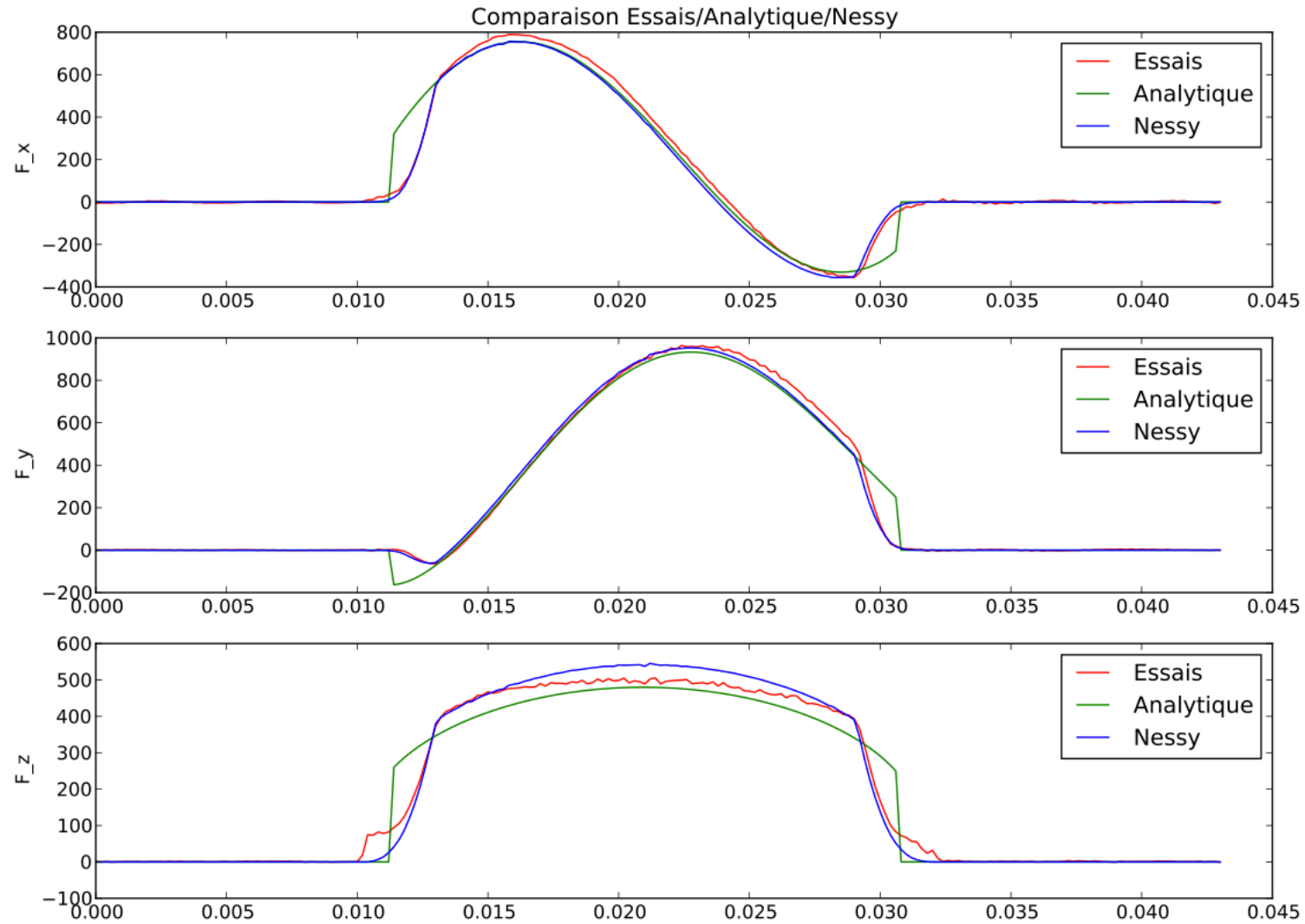


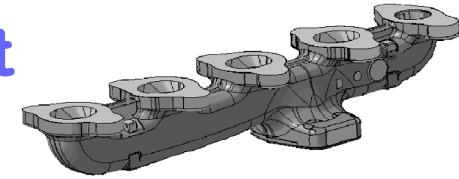
Loi de coupe



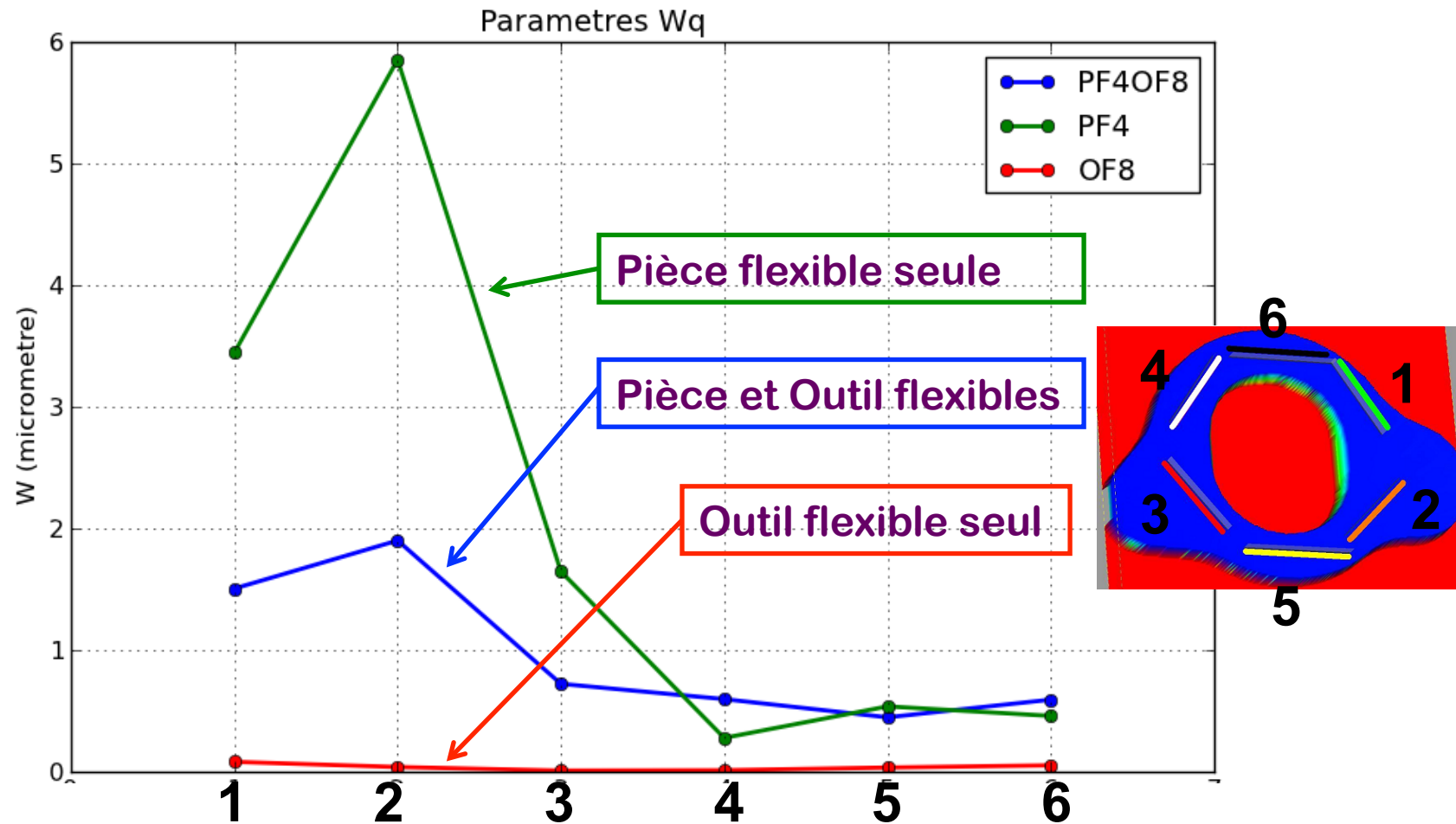


Loi de coupe

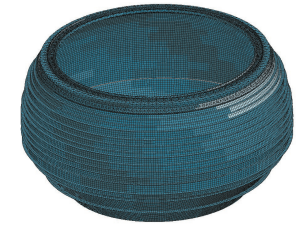




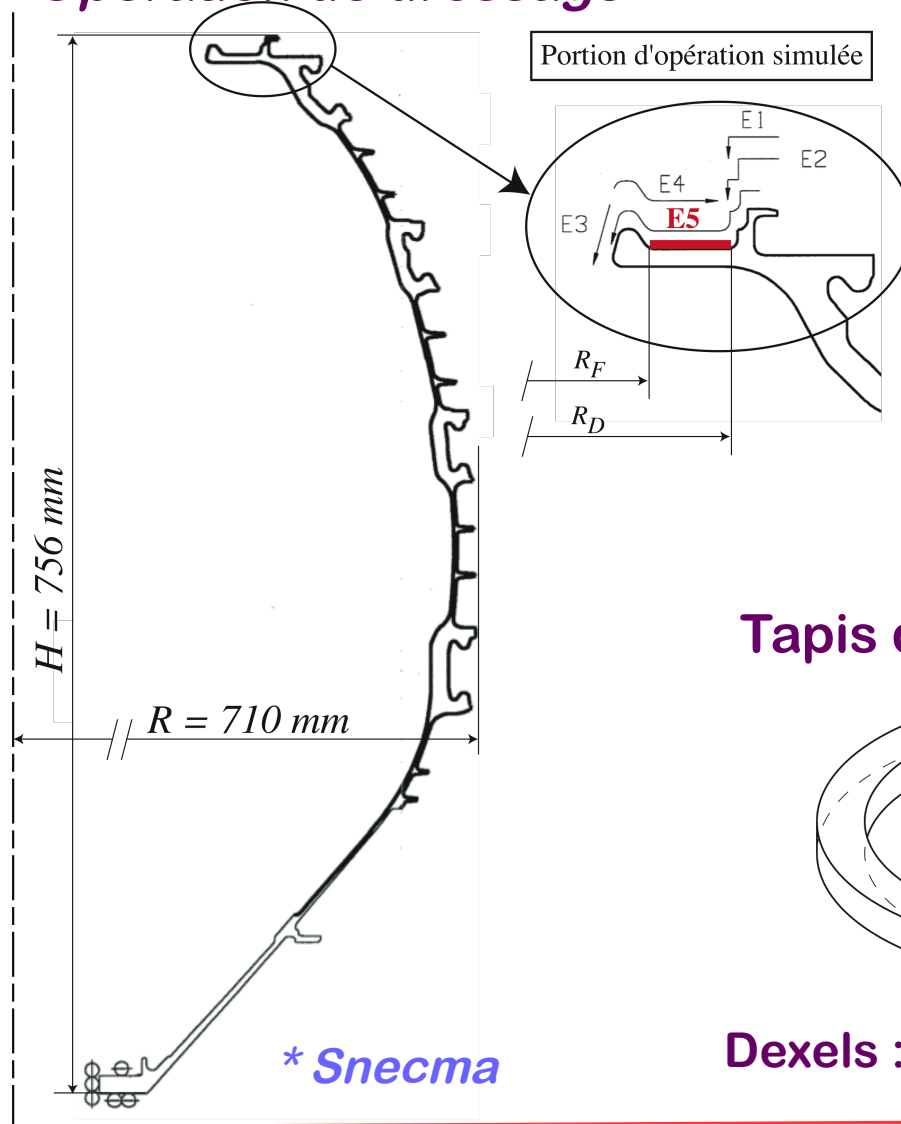
Importance de la flexibilité de l'outil sur l'ondulation



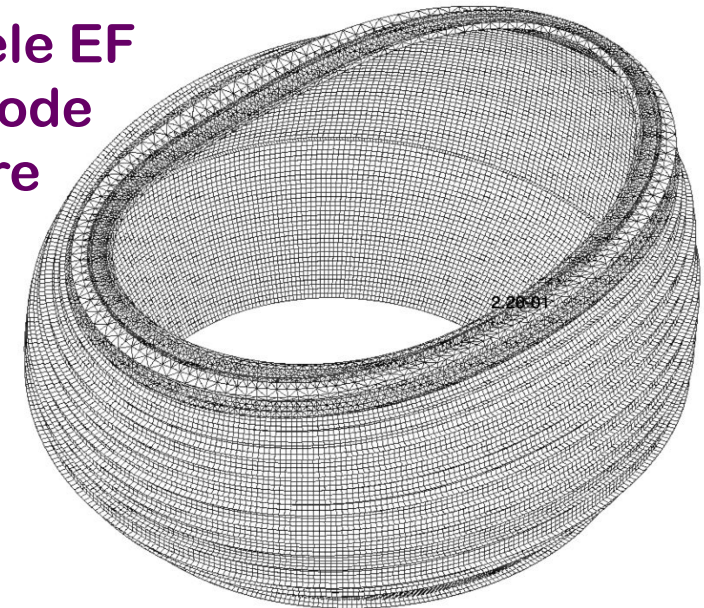
Tournage : Tambour GE 90*



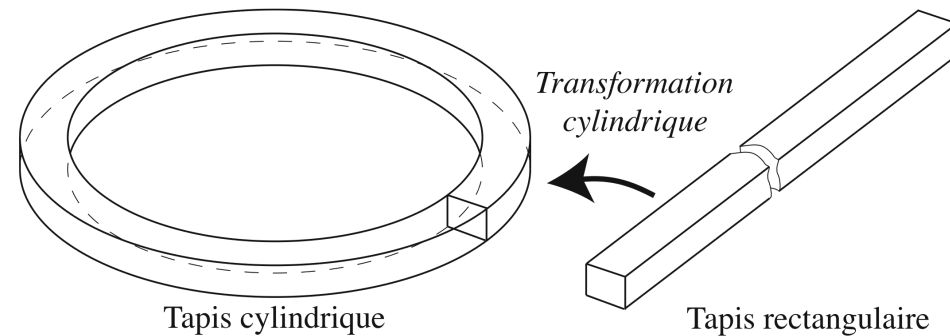
Opération de dressage



Modèle EF
1^{er} mode
propre

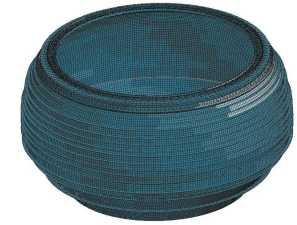


Tapis de dexels

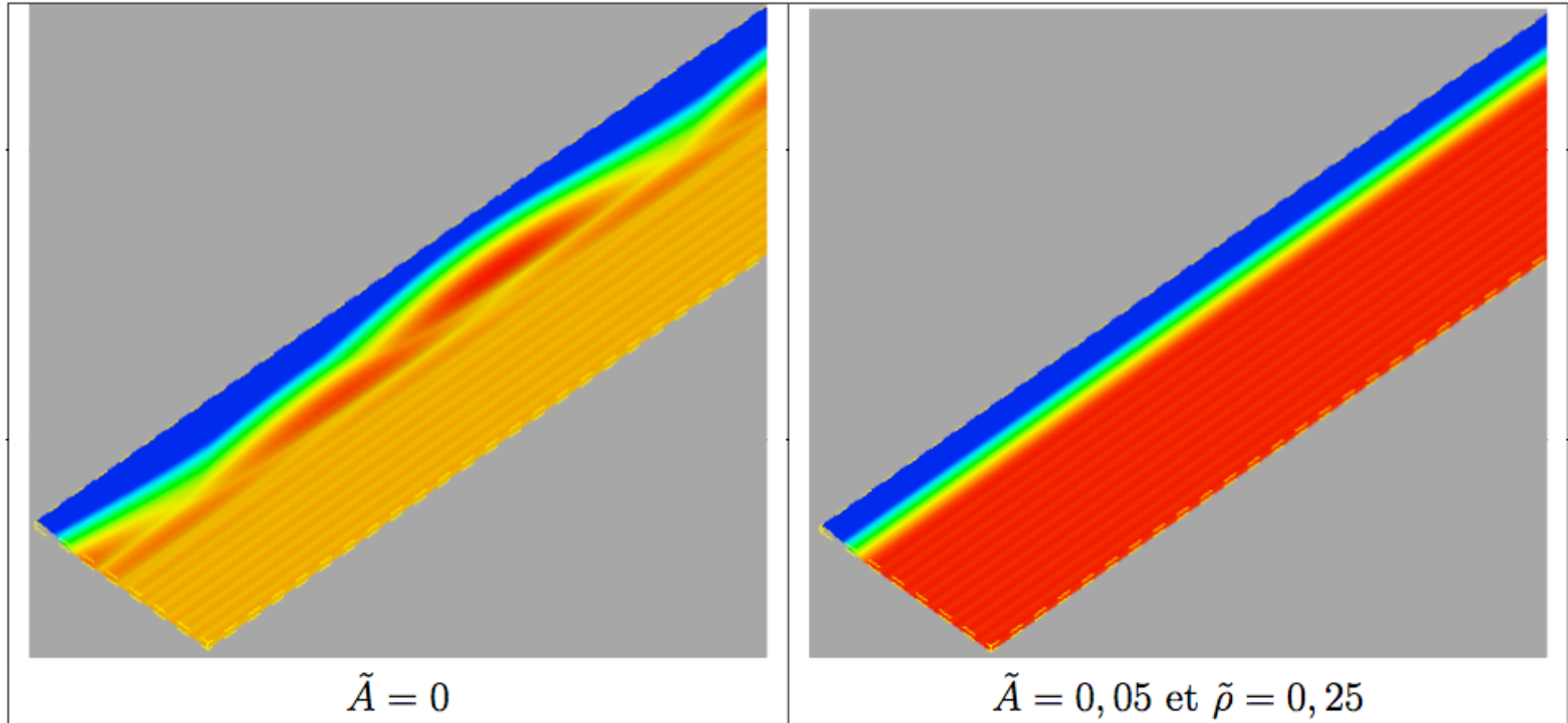


Dexels : direction axiale

* Snecma

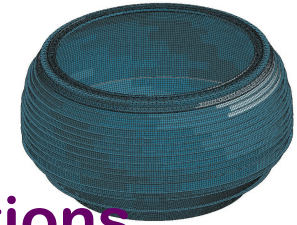


Effet de la modulation de la vitesse de coupe



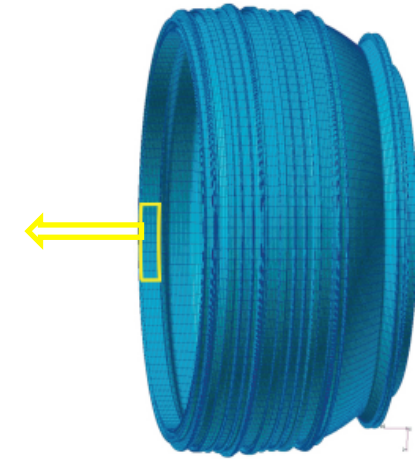
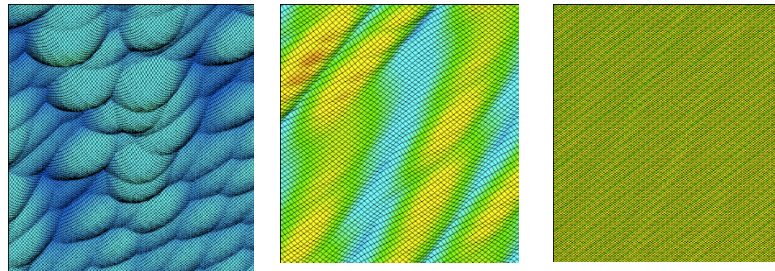
$$\tau = 0,44\% \quad \tilde{V}_c(t) = V_c * \left[1 + \tilde{A} * \sin(\tilde{\omega}t) \right] \quad \tilde{\rho} = \frac{\tilde{\omega}}{\omega_{broche}}$$

Tournage : Tambour CFM 56*

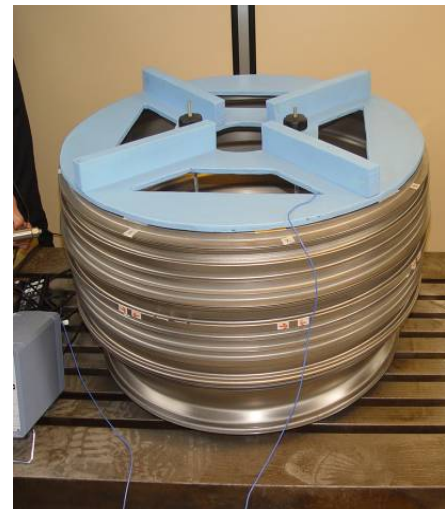
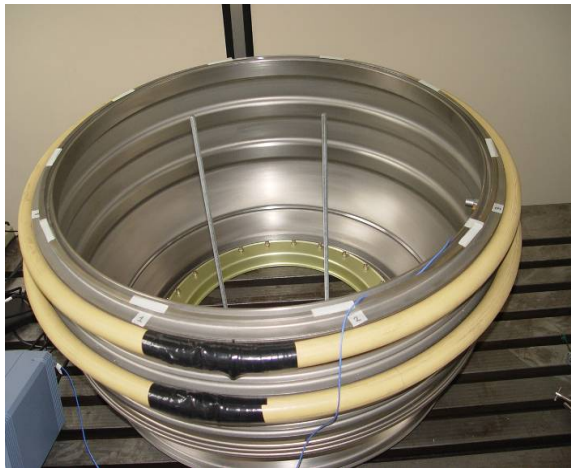


Effets de l'amortissement – Dispositifs anti-vibrations

- L'amortissement est un facteur de premier ordre (simulation 1,2,4%)



- Boudins et couvercles : solutions actuelles SNECMA



* Sncema

Plan de l'exposé

1. Problématique

- Points clés
- Approches existantes

2. Ingrédients Nussy-Usinage

- Les modèles
- Un bilan
- Intégration dans une chaîne numérique

3. Exemples

- Fraisage : Collecteur d'échappement – PSA, PCI
- Tournage : Tambours turboréacteurs – Snecma

4. CONCLUSIONS



Conclusions

Nessy-Usinage :

- Logiciel se basant sur les mêmes hypothèses que les autres approches d'étude de stabilité usinage

→ *mais* incluant pièce flexible et géométrie de la surface

- Validation de l'approche sur un cas de tournage.

Validation en fraisage à venir

- Logiciel recherche initié en 1990 (Fortran, C pour graphique)

Version 'experts' d'ici juin 2013

- Refonte actuelle du logiciel

Version open source (noyau) + Modularité + Efficacité (parallélisme)

Langage C++ et Python (facilite développement Pre et Post processeurs)

- Axes principaux de développements scientifiques

Modèle pièce évolutif (première version existe)

Critères de stabilité (pièce flexible)

Talonnage