



29 Novembre 2007

Serge Samper

Soutenance d'Habilitation à Diriger les Recherches
Spécialité Génie Mécanique

« Tolérancement et analyse des structures au service des systèmes souples et du défaut de forme »

Equipe Systèmes du Laboratoire SYstèmes et Matériaux pour la Mécatronique





Plan de l'exposé

1. *Synthèse des activités*
2. *Positionnement des travaux de recherche*
 - Contribution à la méthode des domaines
 - Tolérancement des systèmes déformables
 - Tolérancement des formes
3. *Perspectives*

1. Synthèse des activités

1. *Cursus*
2. *Activités pédagogiques*
3. *Responsabilités*
4. *Encadrements*
5. *Publications*
6. *Contrats*

- *Bref historique*

Sept. 1985 - Sept. 88 Etudes universitaires (Deug A, Licence puis Maîtrise TM)

Sept. 1988 - Sept. 89 DEA Génie Mécanique au LGMT Toulouse III

Dec. 1989 - Janv. 94 Doctorat Génie Mécanique Toulouse III

« *Comportement dynamique de poutres composites pré chargées -
Modélisation par éléments finis* »

- *Modélisation*

- *Développements numériques*

- *Expérimentations*

Sept. 1993 - Sept. 94 ATER à l'IUP CSMA Toulouse

Dec. 1993 - Sept. 94 Contractuel ENI Tarbes

- *Situation depuis septembre 1994 : Maître de conférences, CNU 60*

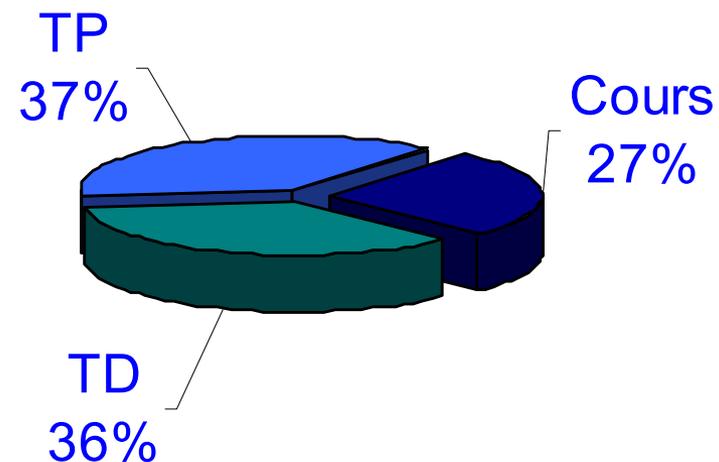
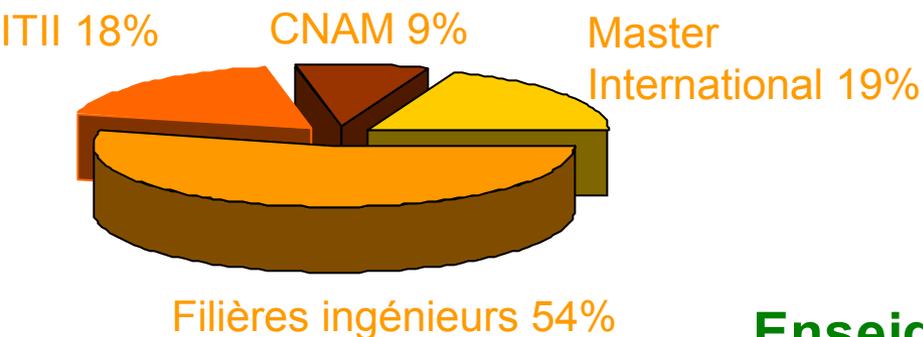
- Laboratoire LMécA puis SYMME

- ESIA puis Polytech'Savoie

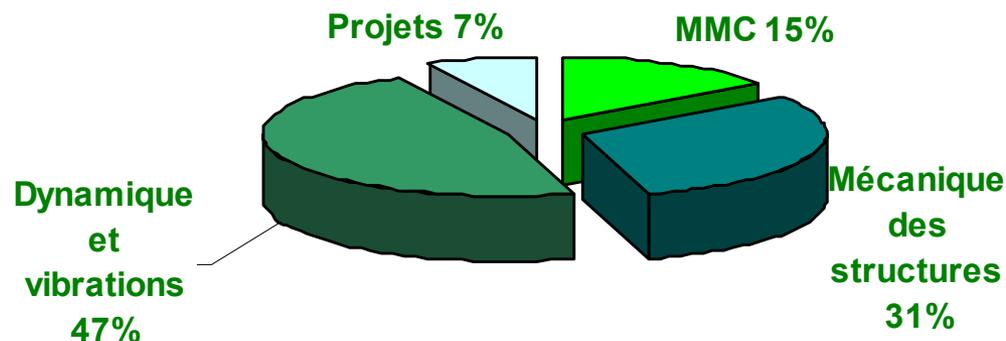
Activités pédagogiques

≈300 Heures / an

Publics



Enseignements

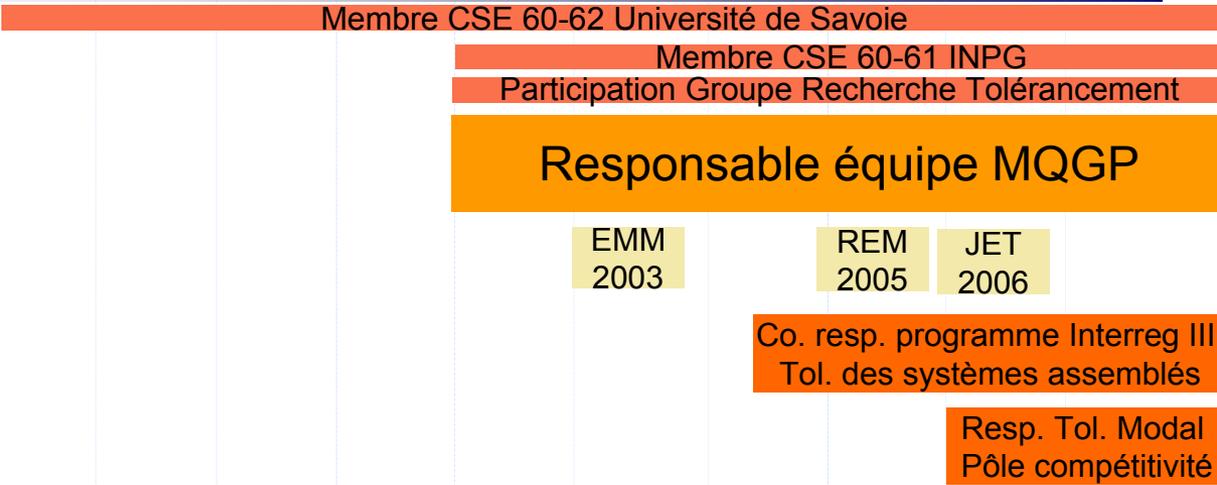


1. Synthèse des activités

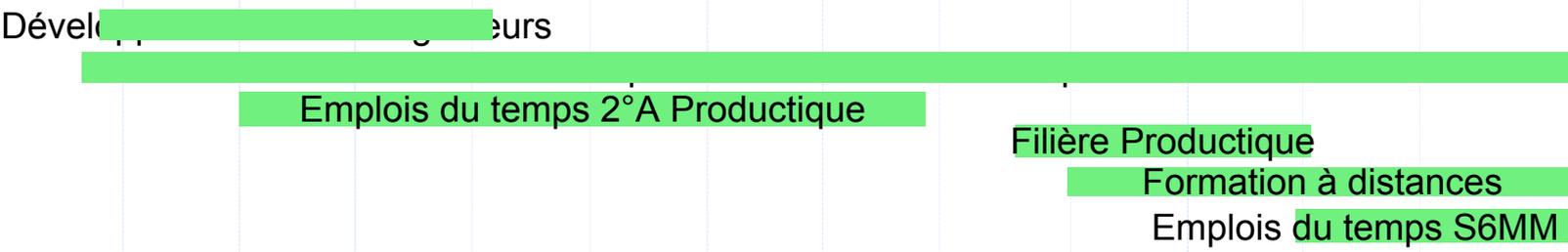
Cursus Activités pédagogiques **Responsabilités** Encadrements Publications Contrats

Responsabilités

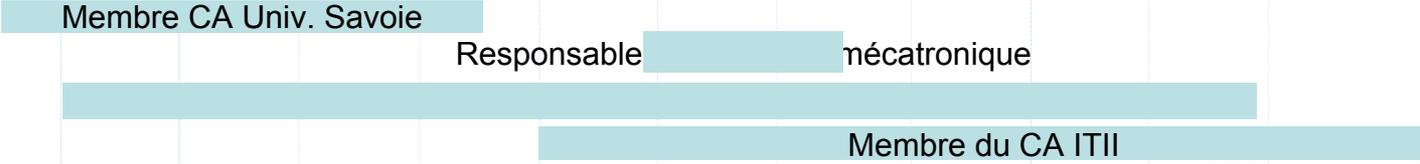
Recherche



Pédagogie



Etablissement

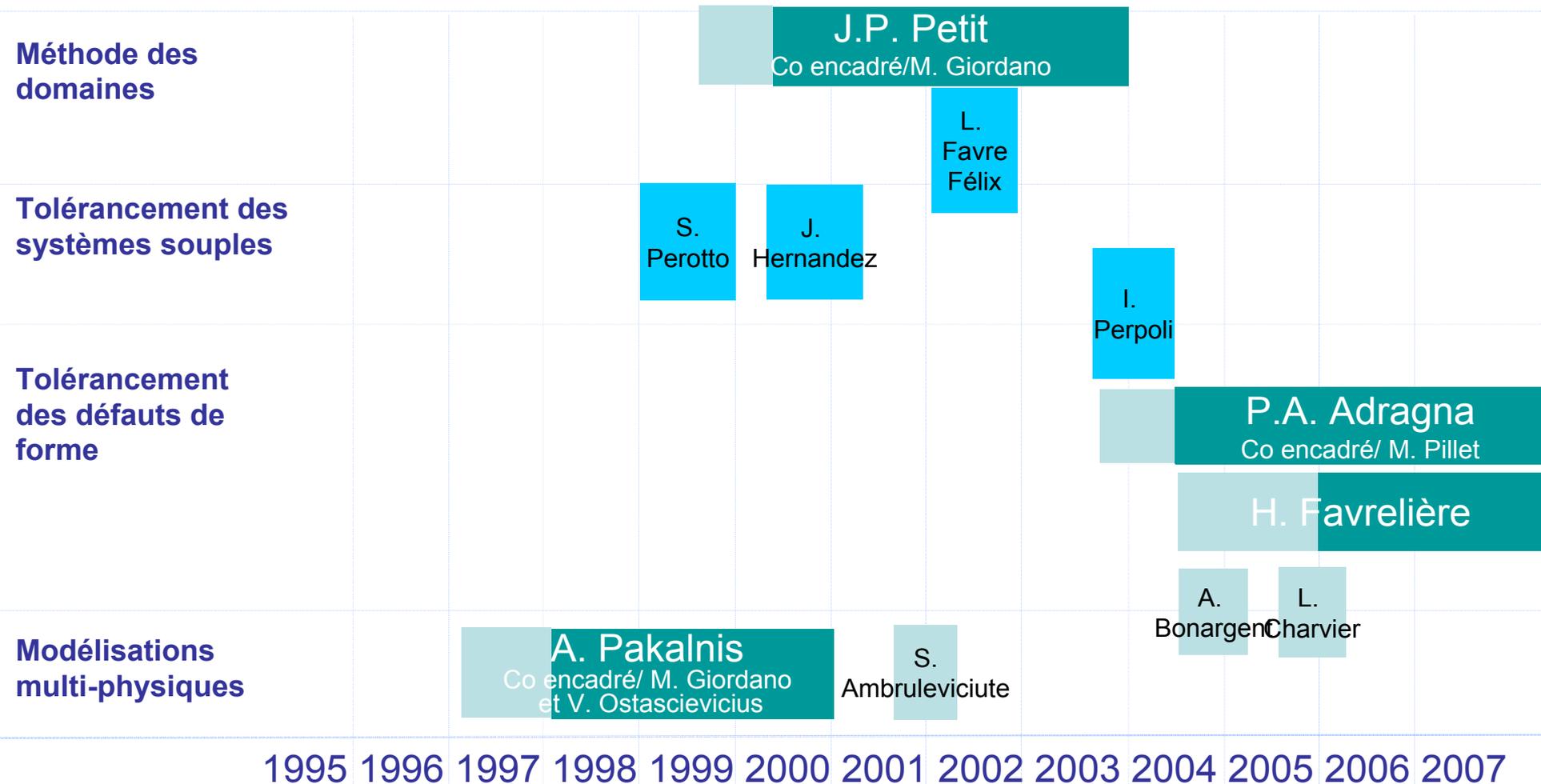


1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007

1. Synthèse des activités

Cursus Activités pédagogiques Responsabilités **Encadrements** Publications Contrats

Principaux Encadrements



Master
DEA

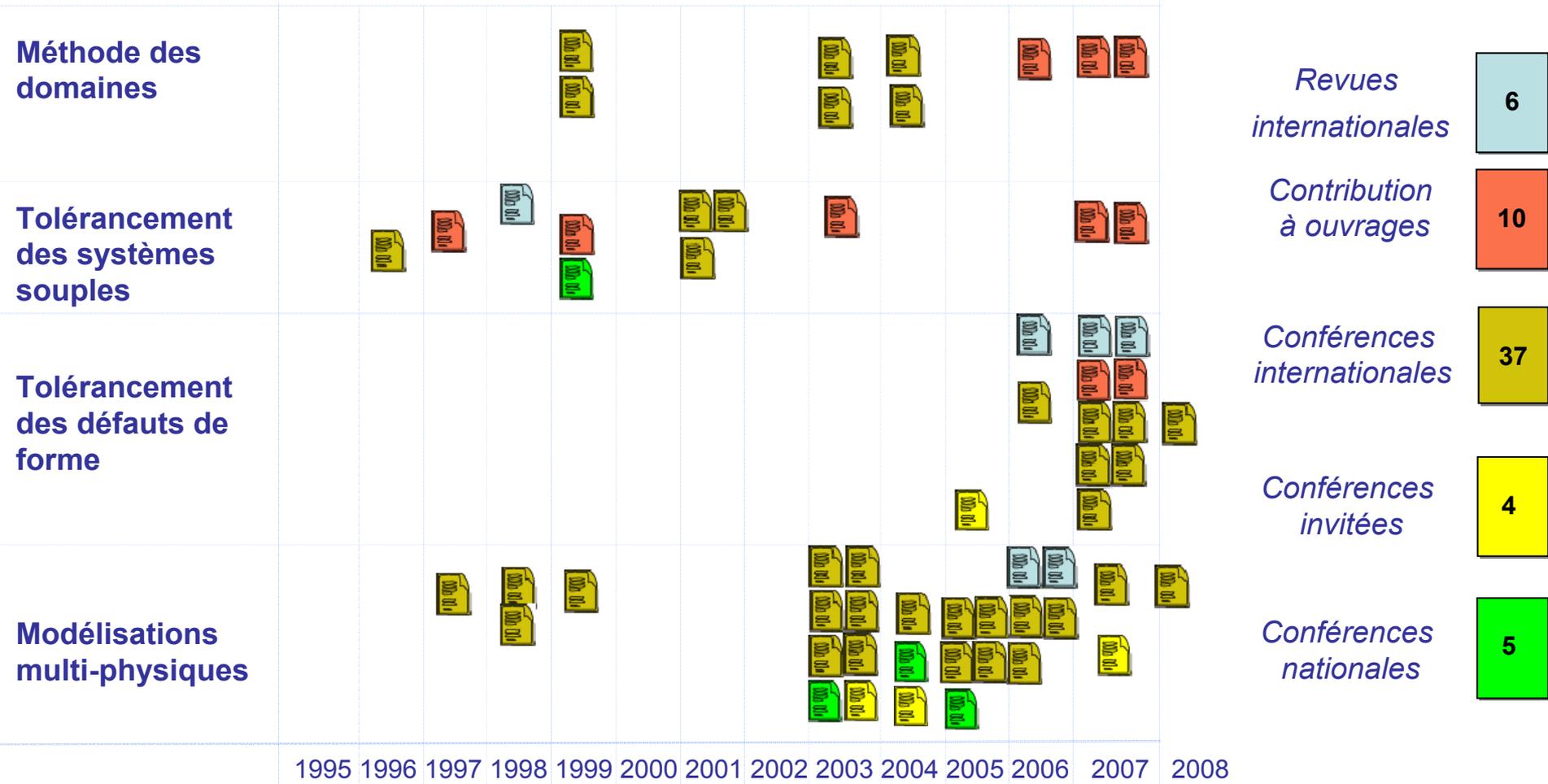
CNAM

Doctorat

1. Synthèse des activités

Cursus Activités pédagogiques Responsabilités Encadrements **Publications** Contrats

Publications



- *Contrat Européen Interreg III (co-responsable)*
 - EPFL
 - Entreprises partenaires (CERN,TEFAL,SOMFY,Dassault)
- *Contrat CTDEC/SYMME (responsable)*
 - Tolérancement modal du pôle Compétitivité Arve-Industries
- *Contrats industriels*

Alcatel , ATF, CERN, EADS, Hexcel Composites, Metaltemple, LAPP, Paccard, Plastic Omnium, Salomon, SNR, SOMFY, Staubli, TEFAL.

1. **Contexte**

2. *Méthode des domaines*

3. *Tolérancement des systèmes souples*

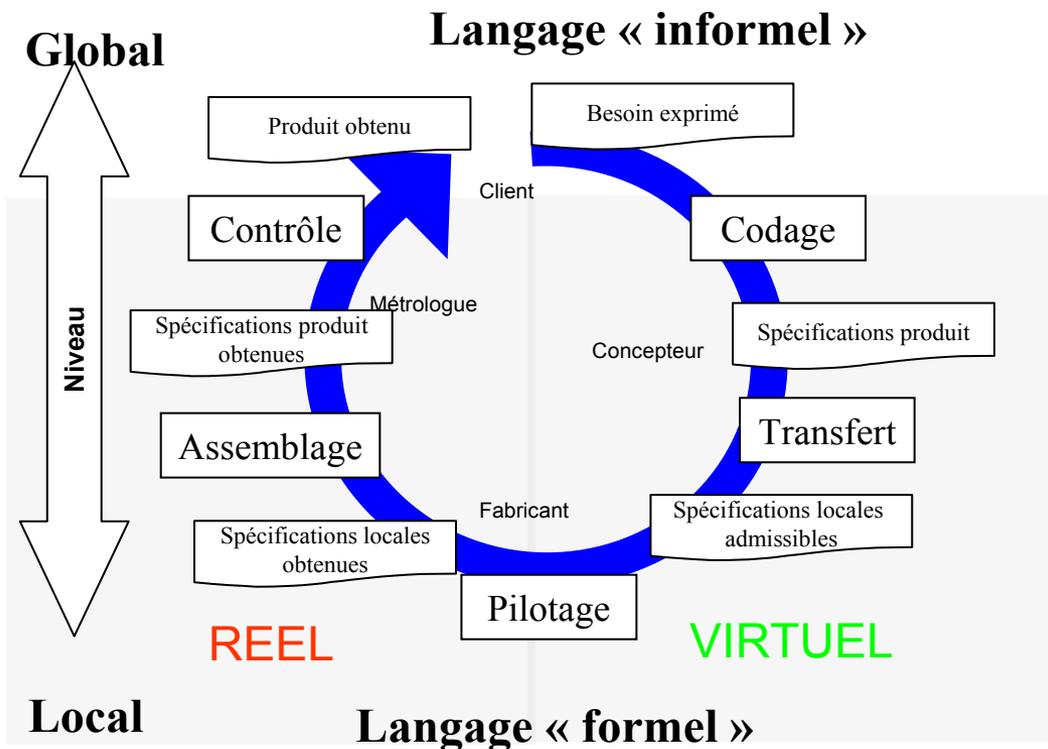
4. *Tolérancement des formes*

5. *Extension à des domaines connexes*

2. Positionnement des travaux de recherche

Contexte Domaines Systèmes souples Défaut de forme Extensions

Tolérancement = langage variationnel géométrique



Enjeux:

- Importance du paramétrage
 - Position
 - Forme
- Quantification
 - « pire des cas »
 - « Statistiques »
- Modélisation des assemblages
 - « cinématiques »
 - « Structure »
- Affichage des données

2. Positionnement des travaux de recherche

Contexte

Domaines

Systèmes souples

Défaut de forme

Extensions

Genèse de mes travaux

En 1995:

- Ma culture « structure et vibrations »
- La culture « tolérancement » au LMéca
- Le peu de travaux couplant ces approches
- La perception d'un besoin de solutions

Création d'un axe de recherche
tolérancement et souplesses au pire des cas

En 2003:

- L'émergence de l'idée « modal »
- La mesure du potentiel de la méthode

Création d'un axe de recherche
tolérancement modal

En 2004:

- Les coopérations INTERREG
- La collaboration / M. Pillet

Tolérancement modal +
quantifications **statistiques**

En 2006:

- Le déploiement du tolérancement modal
- La collaboration SYMME/CTDEC

Développement et déploiement de la
méthode modale – contexte industriel

1. *Contexte*
2. ***Méthode des domaines***
3. *Tolérancement des systèmes souples*
4. *Tolérancement des formes*
5. *Extension à des domaines connexes*

Méthode des domaines-principes

Modèle:

- *Paramétrage cinématique à l'aide des Torseurs de Petits Déplacements (Bourdet Clément 1976)*
- *Modélisation des jeux et écarts par des polytopes 6D (Giordano-Duret 1993)*

Enjeux:

- Analyse de tolérances
- Pire des cas exhaustif (majorant)
- Solveur d'écarts (intervalles 6D)
- Problématique données/traitements

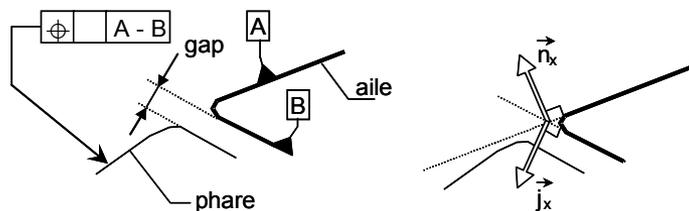
Thèse J.P. Petit (MEN)

Co encadrement M. Giordano

- M. Giordano, E. Pairel, S. Samper, « Mathematical representation of Tolerance Zones », CIRP CAT 1999
- G. Giordano, S. Samper, E. Pairel, « Paramétrages et tolérances géométriques » CPI 2004
- L. Mathieu, F. Villeneuve, « Tolérancement géométrique des produits Chap. 7 » (Traité IC2, série productique) Mai-2007 Editions HERMES

Description d'un accostage

- Analyse d'un accostage



Données

 spécifications
 ISO
 Zones
 spécifiées

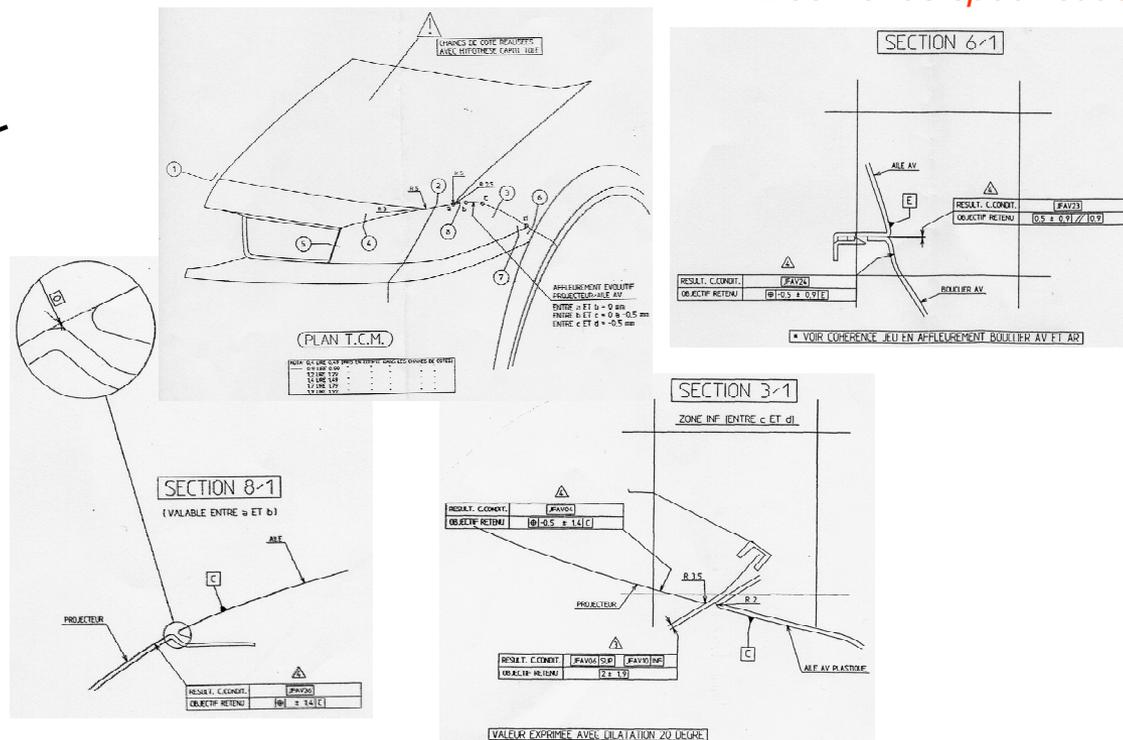
Pré-Processeur

Solveur

Post-Processeur

Zones
résultats

CAO



Décrire les spécifications

 Thèse J.P. Petit (MEN)
 CNAM I. Perpoli

- J.-P. Petit, S. Samper, I. Perpoli, « Surfaces seam analysis », Models for CAT in Design and Manufacturing, 2007, Springer series
- S. Samper, J-P. Petit « Computer Aided Tolerancing - solver and post processor analysis » Advances in design 2006
- JPh Petit, S. Samper, « Tolerancing Analysis And Functional Requirement » IDMME'2004 Bath, UK, April 5-7, 2004

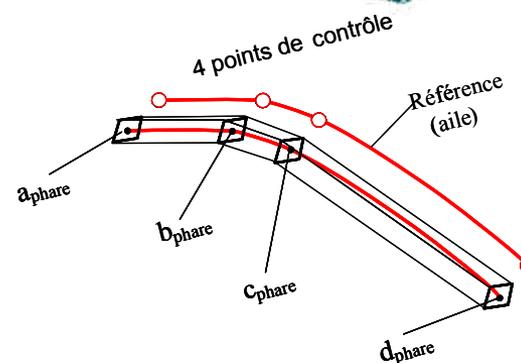
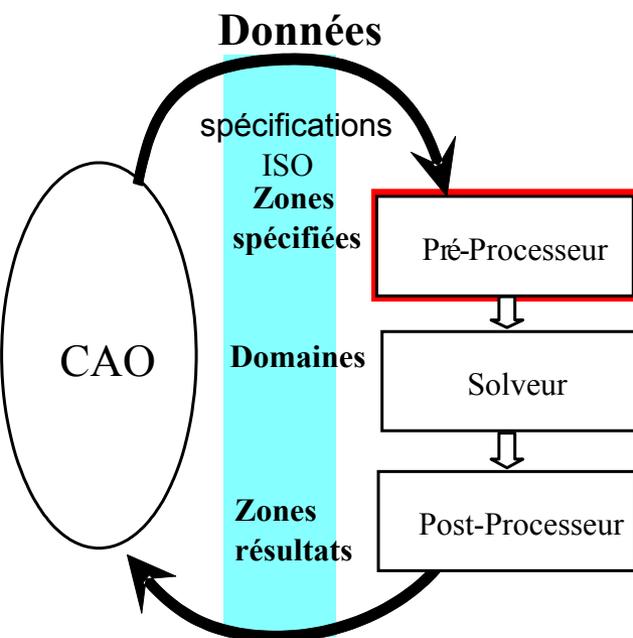
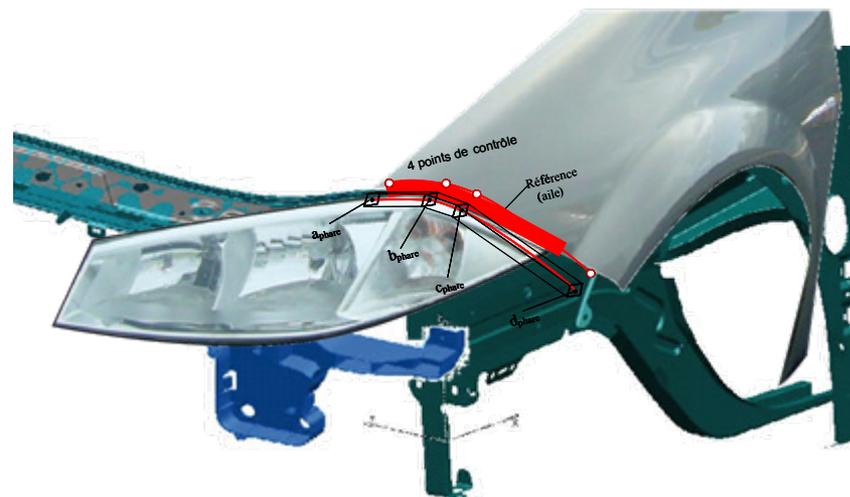
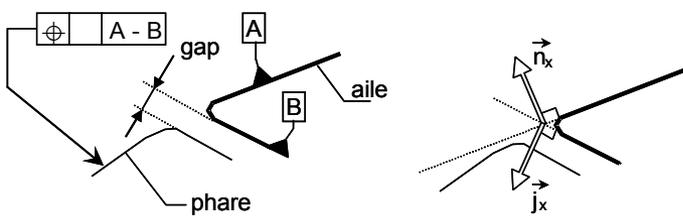
2. Positionnement des travaux de recherche

Contexte Domaines Systèmes souples Défaut de forme Extensions

Spécifications → Zone

• Analyse d'un accostage

Analyser au pire des cas



Thèse J.P. Petit
CNAM Perpoli



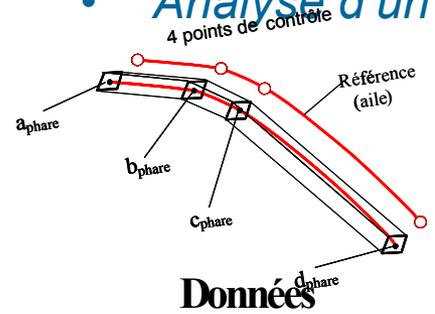
2. Positionnement des travaux de recherche

Contexte Domaines Systèmes souples Défaut de forme Extensions

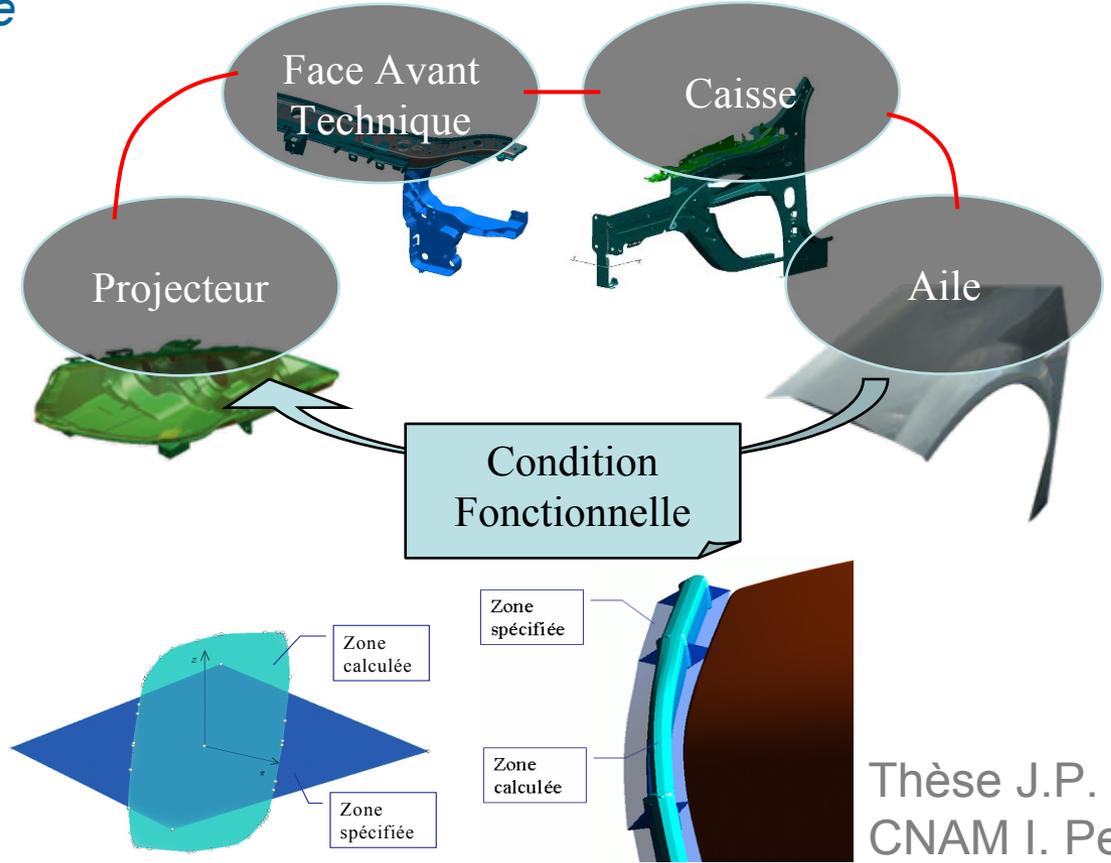
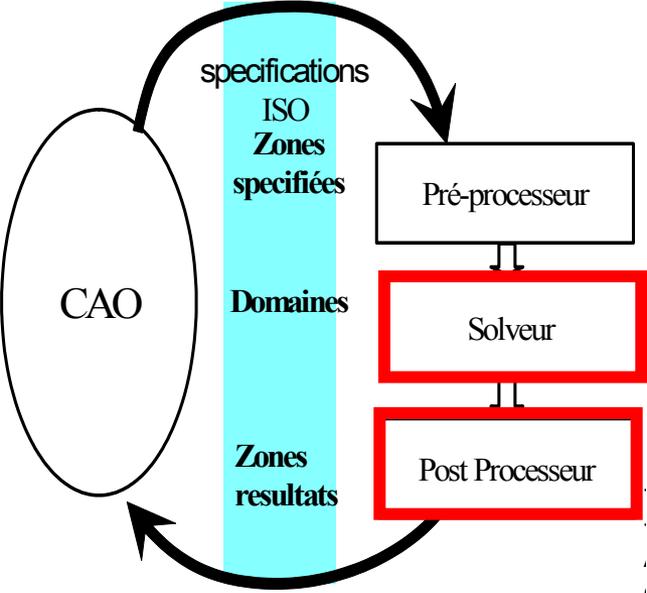
Traitement / domaines 6D

Montrer les résultats en 3D

Analyse d'un accostage



Données



Thèse J.P. Petit
CNAM I. Perpoli

Collaboration K. Fukuda EPFL



1. *Contexte*
2. *Méthode des domaines*
3. ***Tolérancement des systèmes souples***
4. *Tolérancement des formes*
5. *Extension à des domaines connexes*

2.3 Tolérancement des systèmes élastiques

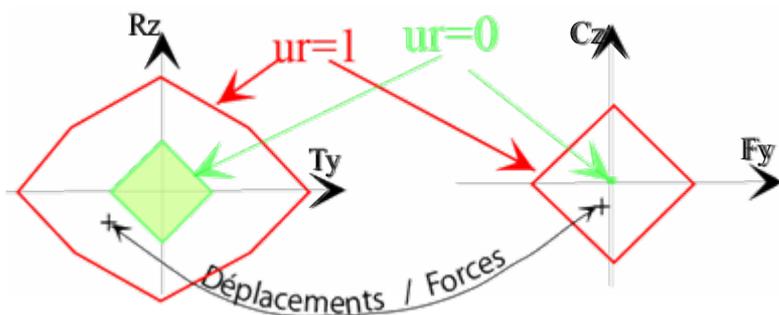
Nos réponses:

1. Nouvelle définition des limites

UR = Usage Relatif

→ **Méthode des Domaines limités pas l'UR**

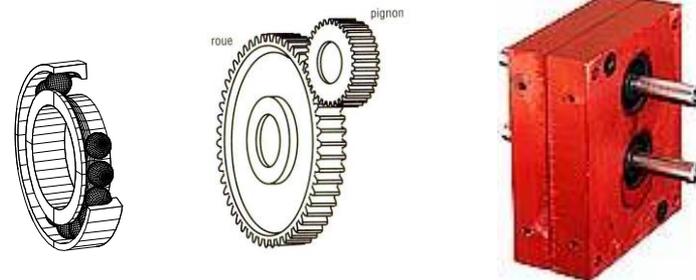
Déplacement ↔ Force



3. Couplage des méthodes d'analyse

Enjeux:

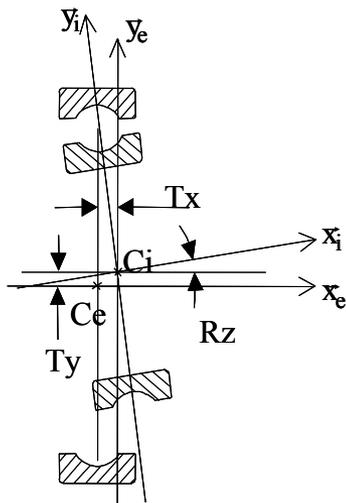
- **Dispersion \approx déplacements élastiques pour:**
 - Structures élancées
 - Déformations locales
- **Jeux élargis ?**
- **Diversité des composants**



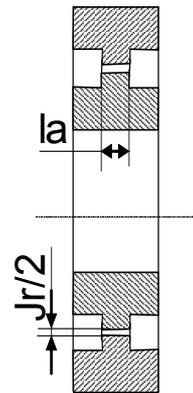
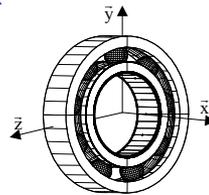
Analyse de composants « liaisons »

- Roulements à billes

- Prise en compte des jeux
- Pas de défauts de forme
- Comportement rigide



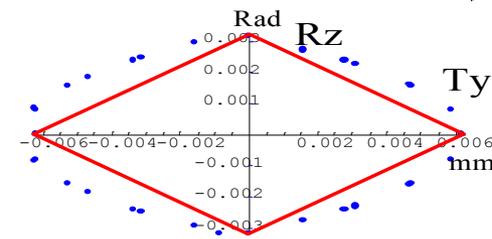
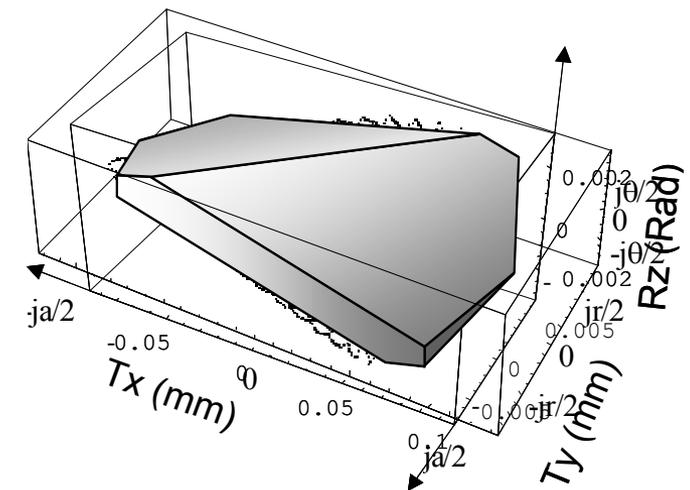
Paramétrage



Simplification

Enjeu: Lier rotations et translations

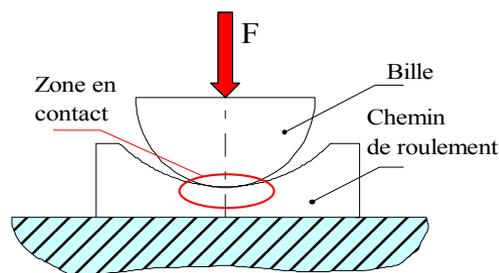
Domaine de déplacements

Domaine T_y R_z ($T_x=0$)
Calculé et approximé

Analyse de composants « liaisons »

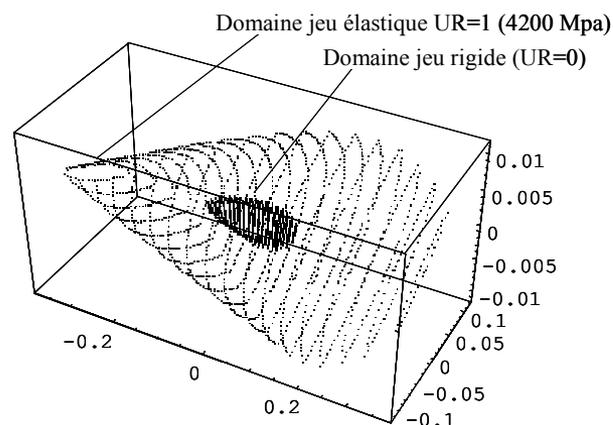
- *Roulements à billes*
 - Prise en compte des jeux
 - Défauts de taille seuls
 - **Déformations locales**

Enjeu: Lier jeux et efforts avec l'UR

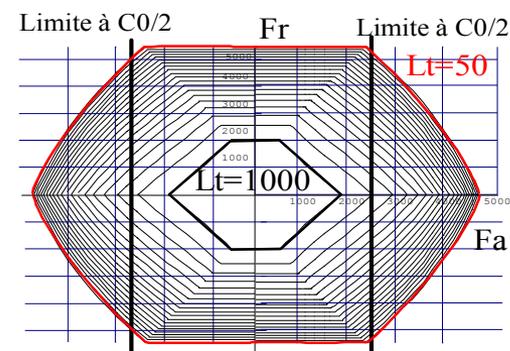


Contact de Hertz

Domaines jeux (UR)



Domaines efforts



CNAM S. Perotto

- S. Samper, M. Giordano, S. Perotto « Fiabilité et tolérancement d'un assemblage élastique » Qualita 2001
- S. Samper, J-P. Petit, M. Giordano, « Elastic Clearance Domain and Use Rate Concept Applications to Ball Bearings and Gears », CIRP CAT 2003.

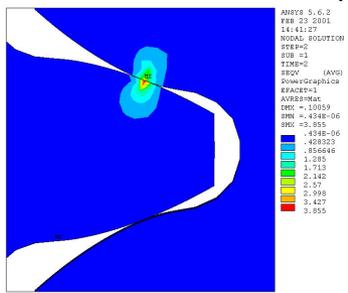
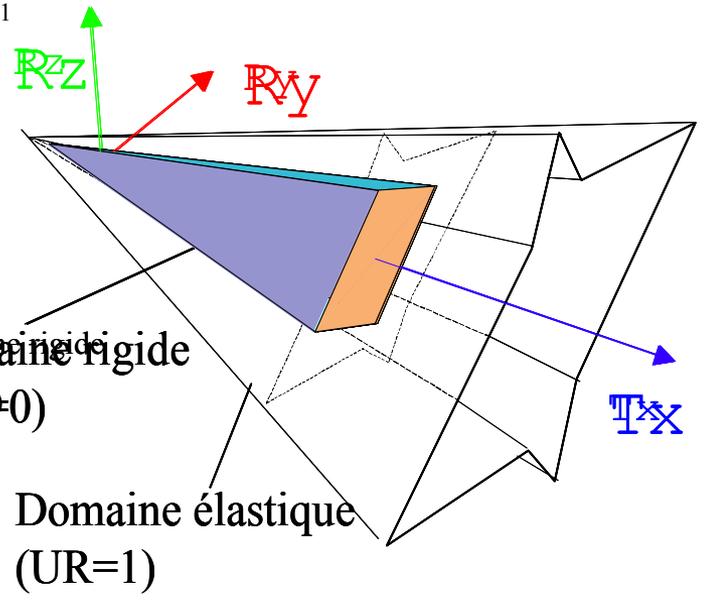
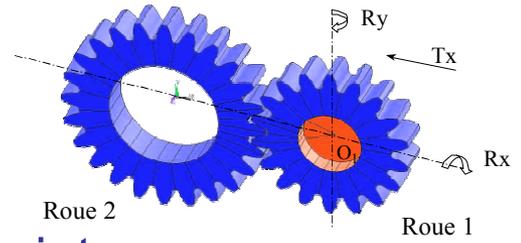
Analyse de composants « liaisons »

• Engrenages

- Paramétrage
 - Formes parfaites
 - Une limite en contrainte

- Modélisation numérique
 - Programme MEF
 - Boucles d'analyses

Enjeu: Paramétrer les comportements



DEA et thèse J.P. Petit
CNAM J. Hernandez

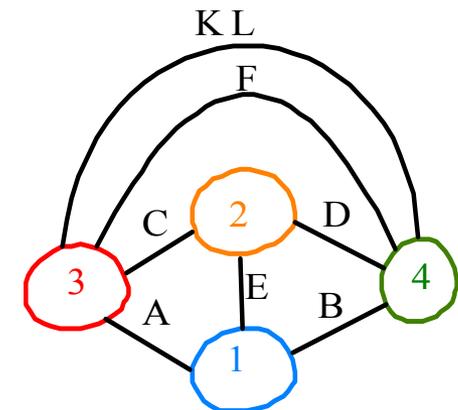
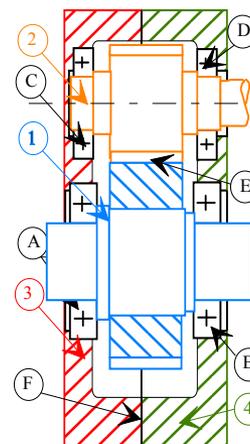
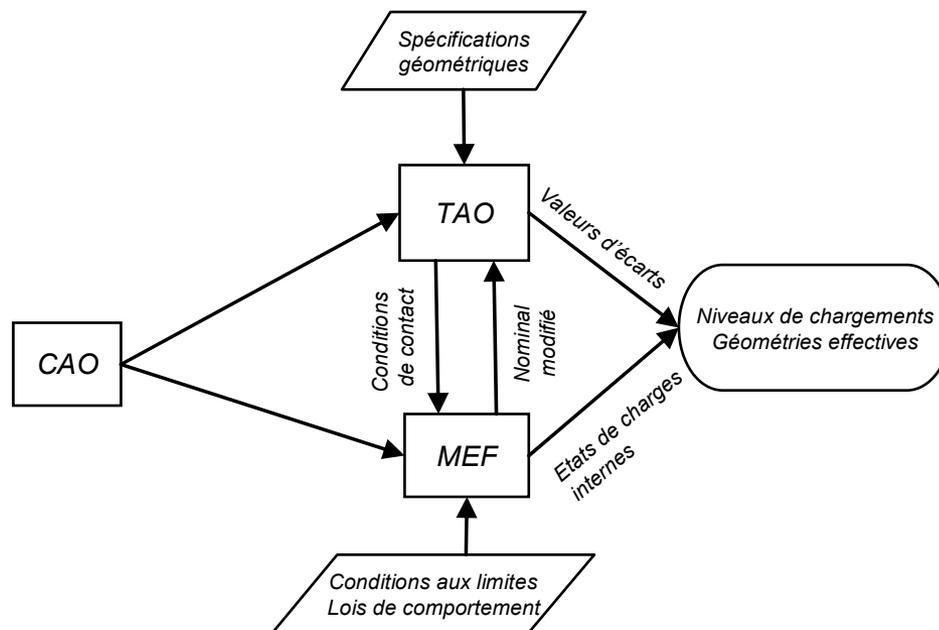


• S. Samper, J-P. Petit, M. Giordano, « Elastic Clearance Domain and Use Rate Concept Applications to Ball Bearings and Gears », Springer Series, 2007

Comment coupler TAO et MEF ?

Associer les modélisations

Modélisation des contacts en MEF?
Prise en compte des jeux ?



Graphes cinématiques et EF

- S. Samper and M. Giordano « Models for tolerancing process by considering mechanism flexibility. » Kluwer Academic Publishers 1997
- S. Samper and M. Giordano « Taking into account elastic displacements in 3D tolerancing - Models and applications », Materials Processing Technology 1998
- J-Ph. Petit, S. Samper « Minimum clearance for tolerancing analysis of a vacuum pump » CIRP CAT 2003
- L. Mathieu, F. Villeneuve, « Tolérancement géométrique des produits Chap. 7 » (Traité IC2, série productive) Mai-2007 Editions HERMES

2. Positionnement des travaux de recherche

1. *Contexte*
 2. *Méthode des domaines*
 3. *Tolérancement des systèmes souples*
 4. ***Tolérancement des formes***
 5. *Extension à des domaines connexes*
-

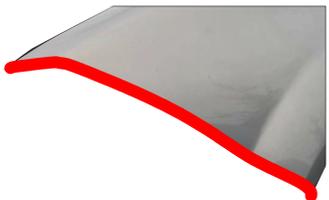
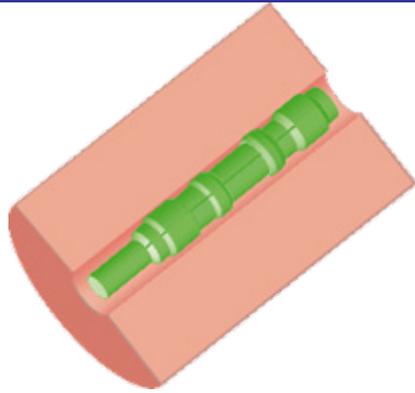
2.4 Tolérancement des formes

1. *Domaines d'applications*
2. *Principe et propriétés « modes naturels »*
3. *Métrologie modale*
4. *Assemblage de formes*
5. *Vers les spécifications des formes*
6. *Déploiement de la méthode*

Enjeux:

- *Etudier les défauts de forme*
- *Qualifier et quantifier les écarts*
- *⇒ Définir un langage*
- *Le rendre compréhensible*
- *Analyser les défauts:*
 - *au pire des cas*
 - *de façon statistique*

1. Domaines d'applications: contours et surfaces

	Courbes	Surfaces
Géométries		
Assemblages	 Accostages	 Assemblages de surfaces

Enjeu: Etudier les défauts de forme

Unifier les différents ordres de défauts:

- Taille
- Position
- Forme
- Ondulation
- Rugosité

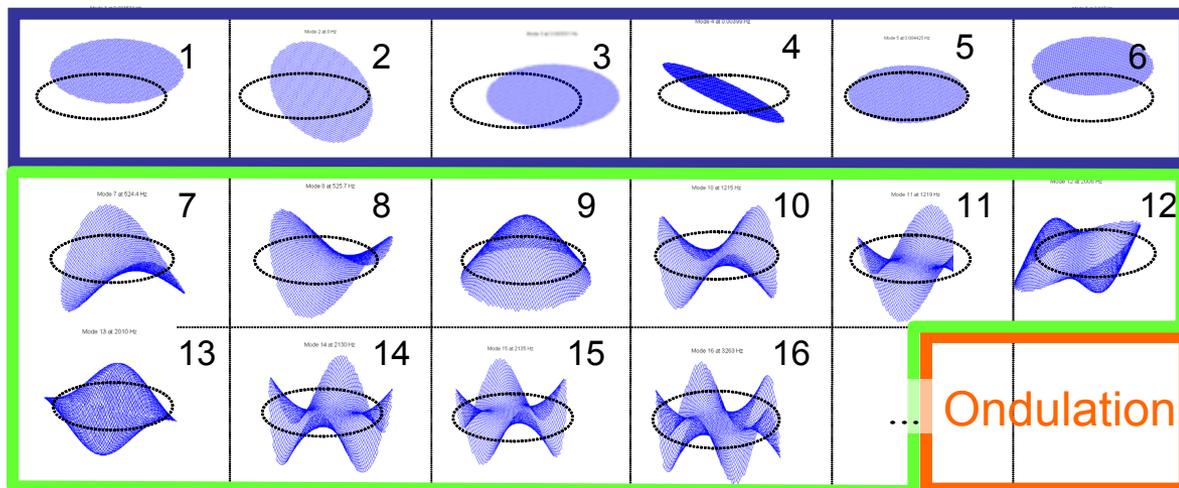
2. Principe et propriétés « modes naturels »

Propriétés

• Langage « naturel »

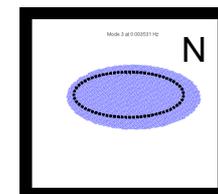
• Espace vectoriel

Position



Modes propres d'un disque libre

Taille



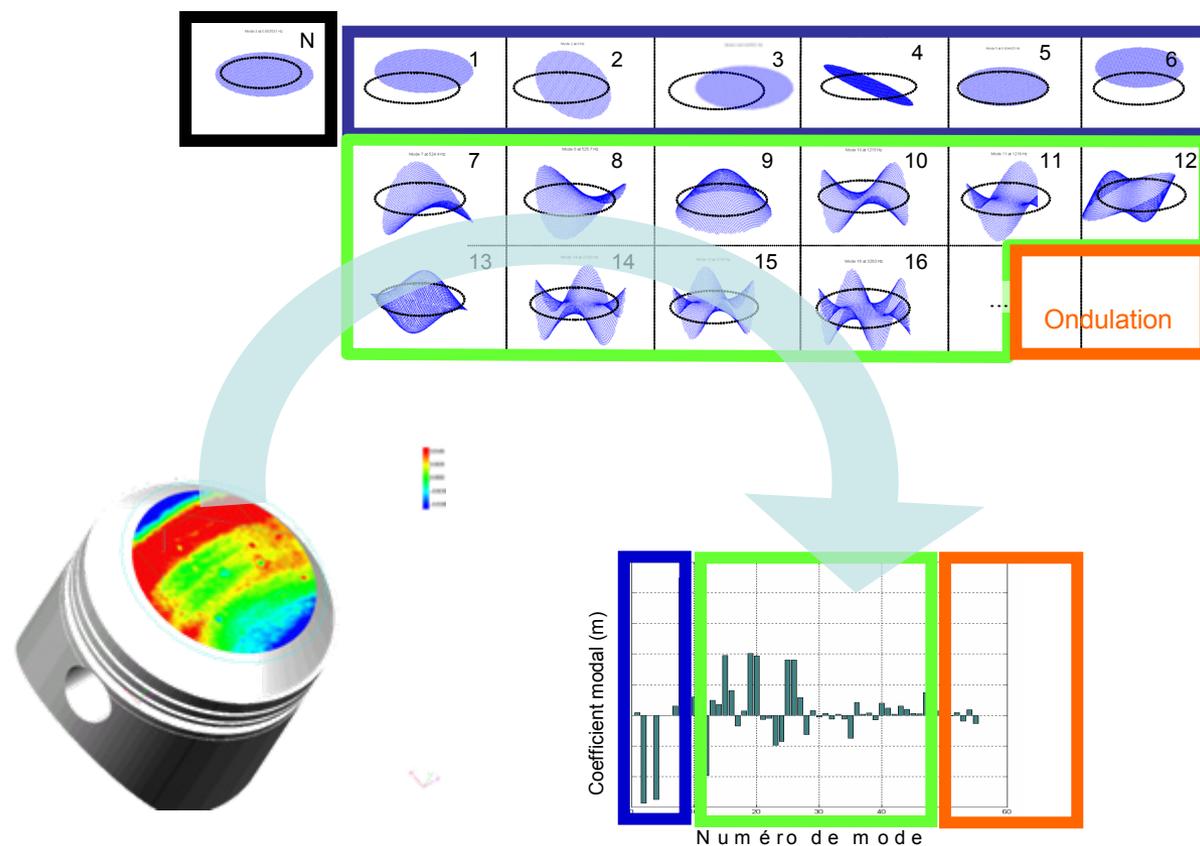
Forme

Ondulation

- Unicité
- Inversibilité
- Stabilité
- Efficience
- Complexité croissante
- Exhaustivité
- Métrique

2. Principe et propriétés « modes naturels »

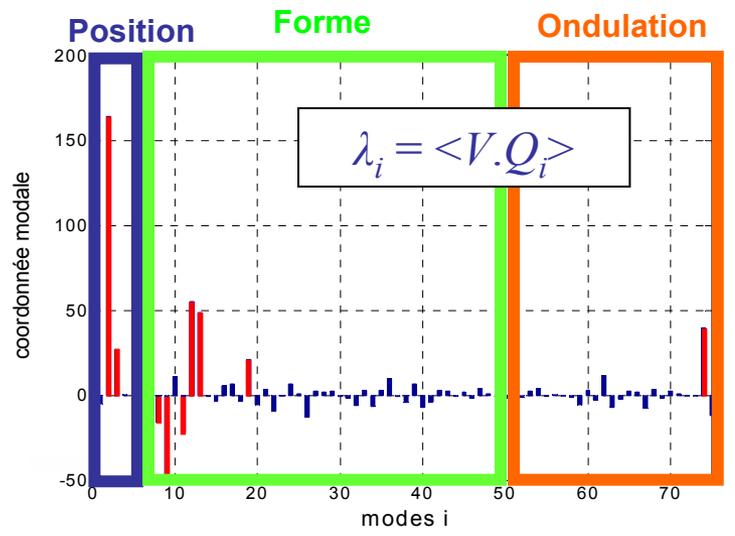
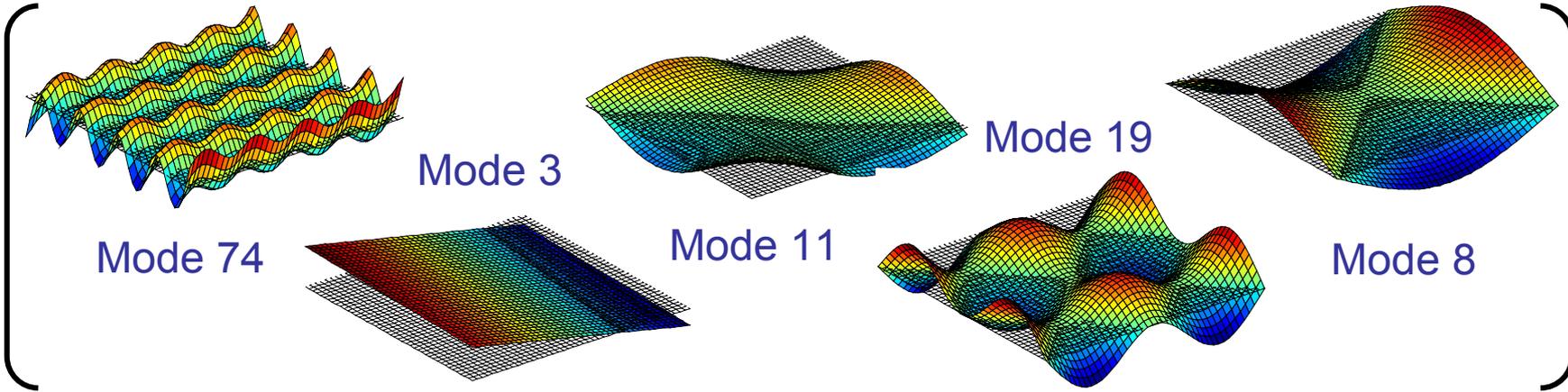
Principe

**Projection vectorielle**

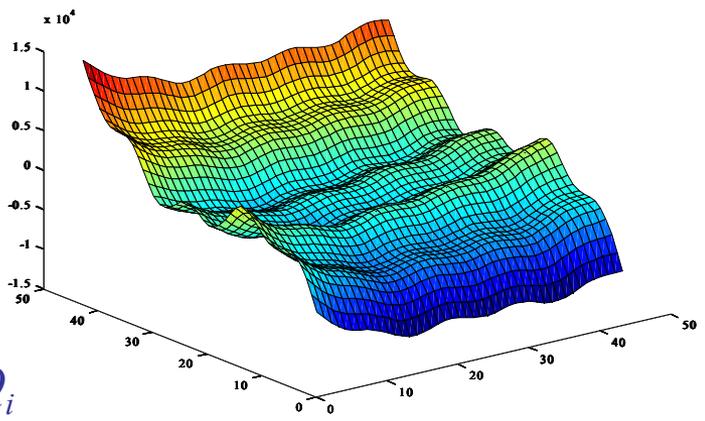
- P.A. Adragna, S. Samper, F. Formosa, M. Pillet « Modal Tolerancing-Application to gap and flush analysis » IDMME 2006

2. Principe et propriétés « modes naturels »

Principe



Reconstruction du défaut = $\sum_{i=1}^{m=9} \lambda_i \cdot Q_i$

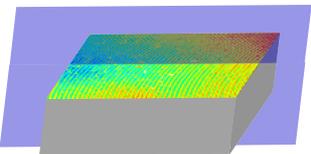


Reconstruction

Décomposition

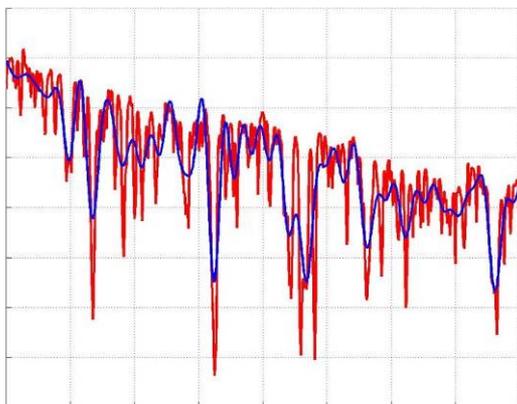
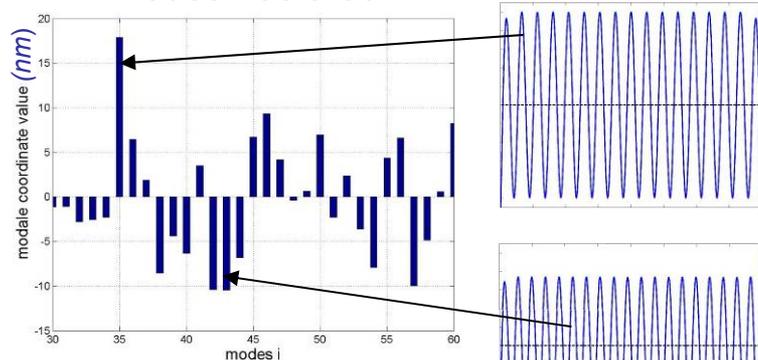
3. Métrologie modale

Spectres de formes



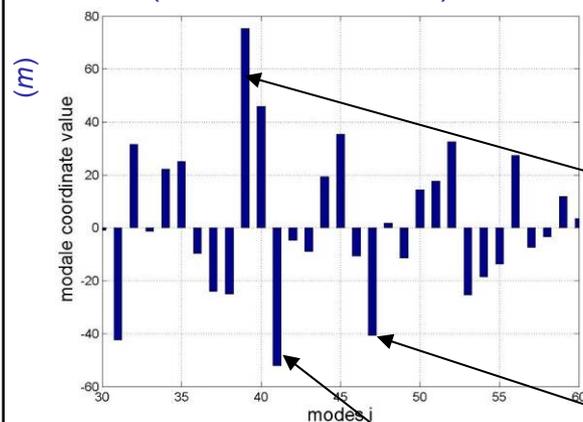
Courbes

Modes #30 à 60

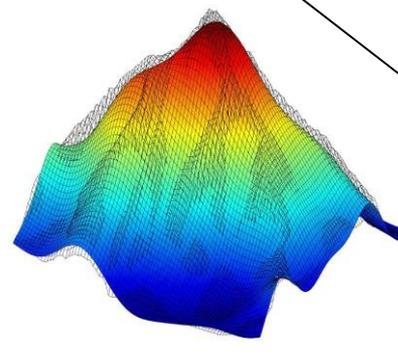
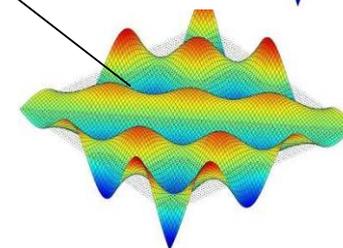
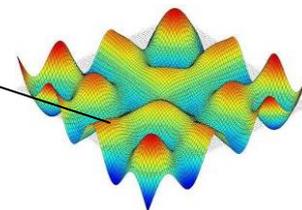
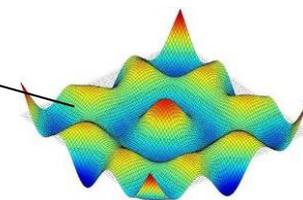


Surfaces

(modes # 30 à 60)



Cervin

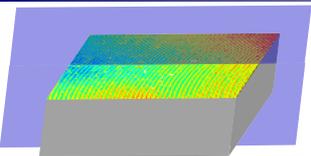


•H. Favreliere, S. Samper, P-A. Adragna, M. Giordano, « 3D statistical analysis and representation of form error by a modal approach », CIRP CAT2007

•H. Favreliere, Samper S., Adragna P.A. « Métrologie et caractérisation des défauts d'une surface sphérique » CPI 2007

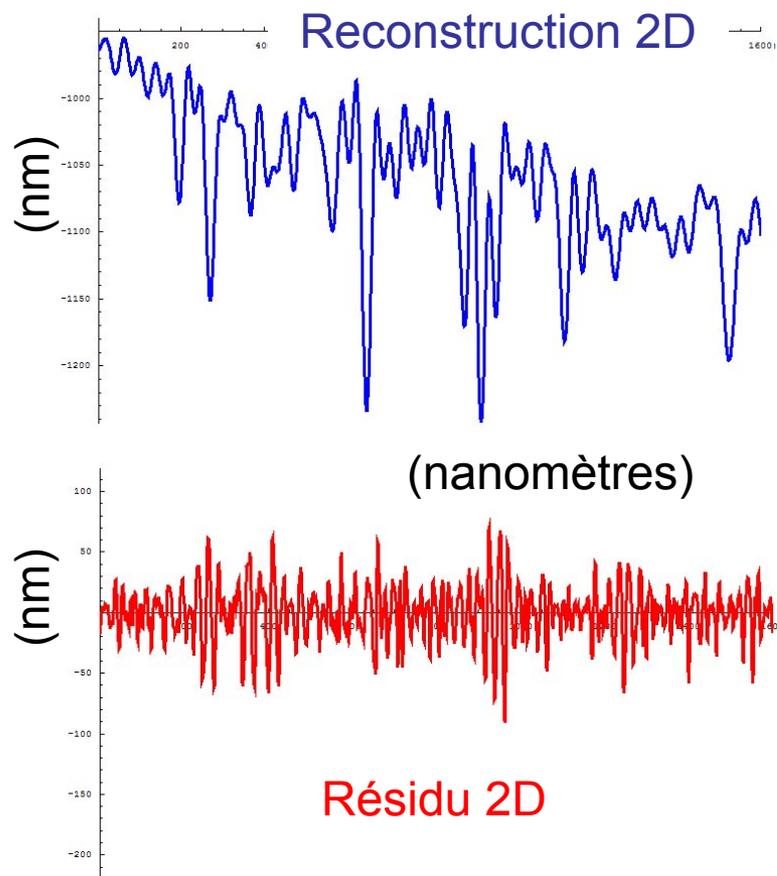
2. Positionnement des travaux de recherche

Contexte Domaines Systèmes souples Défaut de forme Extensions



3. Métrologie modale

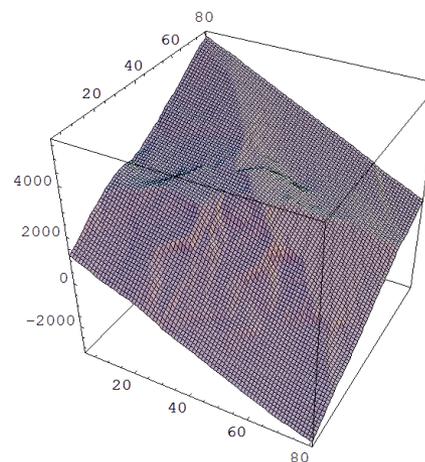
Reconstruction 2D et 3D



Reconstruction 3D

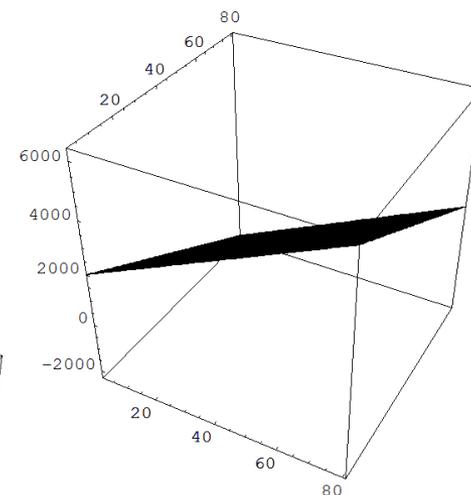


Cervin



Résidu 3D

Montrer le résidu



(mètres)

- H. Favreliere, S. Samper, P-A. Adragna, M. Giordano, « 3D statistical analysis and representation of form error by a modal approach », CIRP CAT2007
- H. Favreliere, Samper S., Adragna P.A. « Métrologie et caractérisation des défauts d'une surface sphérique » CPI 2007

2. Positionnement des travaux de recherche

Contexte Domaines Systèmes souples Défaut de forme Extensions

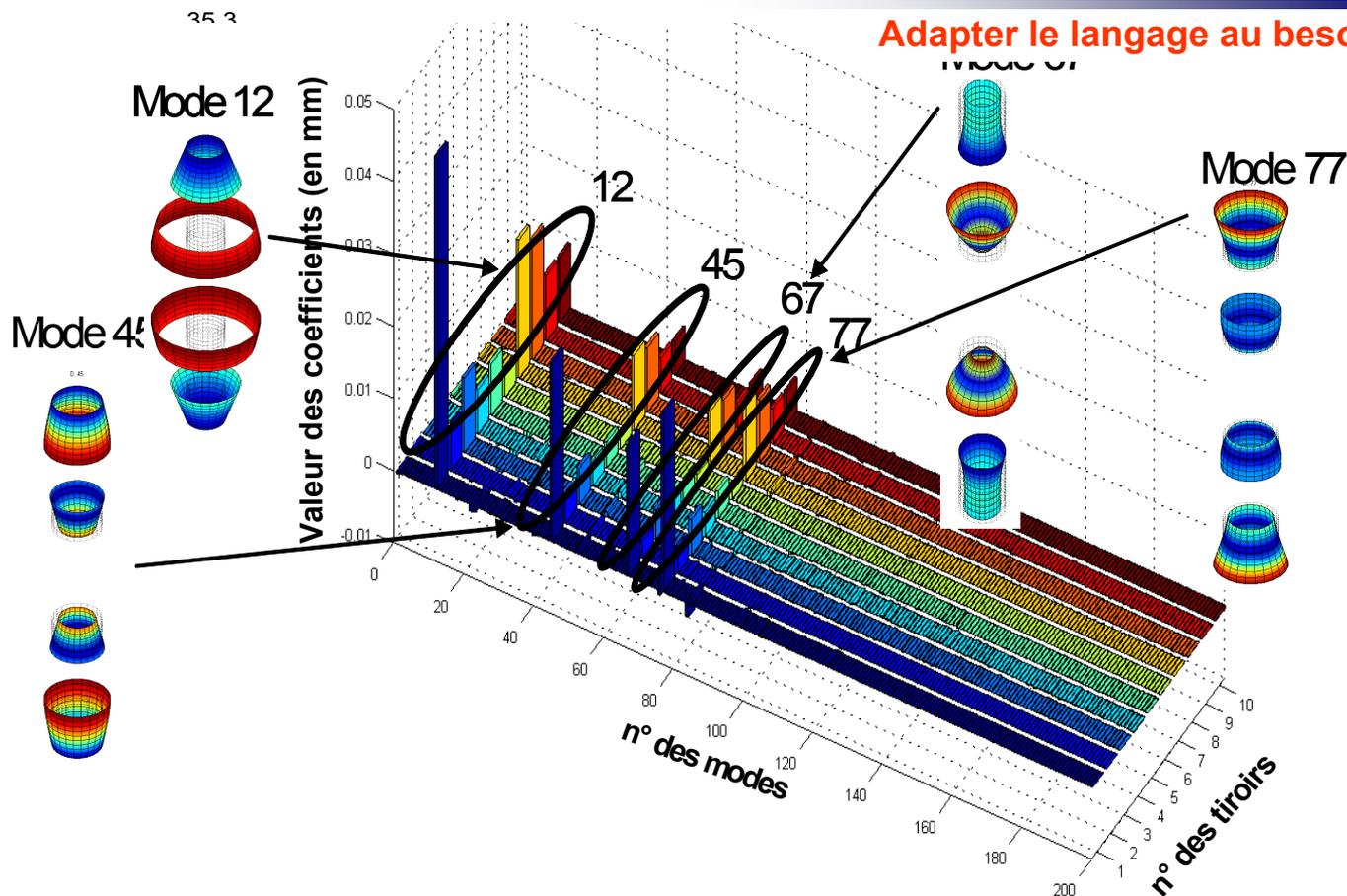
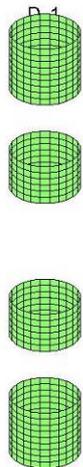
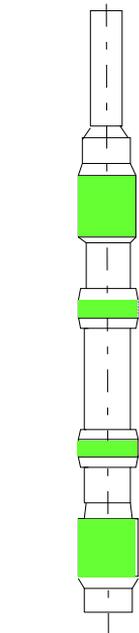
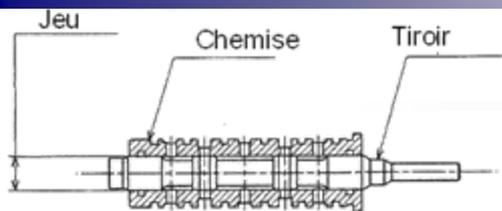
3. Métrologie modale

Intégration de formes spécifiques

Adapter le langage au besoin

Géométrie

Modèle



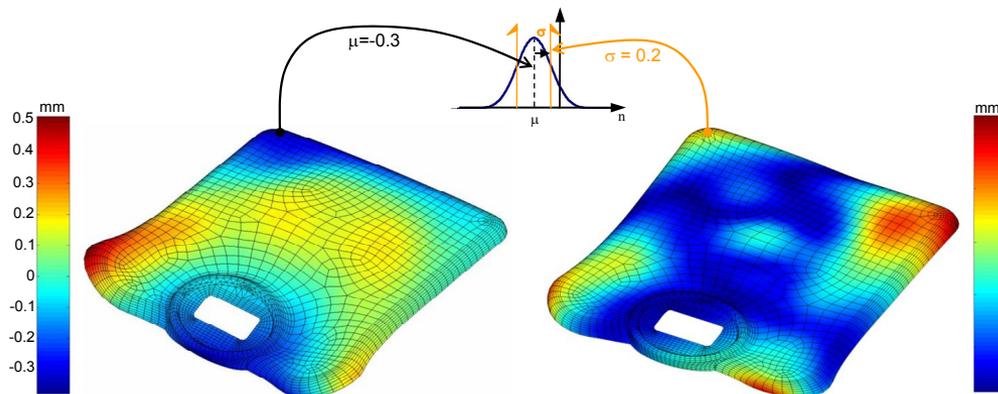
Thèse P.A. Adragna

- P.-A. Adragna, M. Pillet, S. Samper, F. Formosa, « Guarantying a maximum of Non-Conformity Rate on the assembly resultant with a statistical tolerancing approach », CIRP CAT 2007
- P.-A. Adragna, S. Samper, M. Pillet, H. Favreliere, « Analysis Of Shape Deviations Of Measured Geometries With A Modal Basis » Journal of Machine Engineering : Manufacturing Accuracy Increasing Problems, optimisation, Vol. No. 1, 2006, pp. 134-143

3. Métrologie modale

Statistiques 3D

Rendre compréhensible
Les résultats complexes

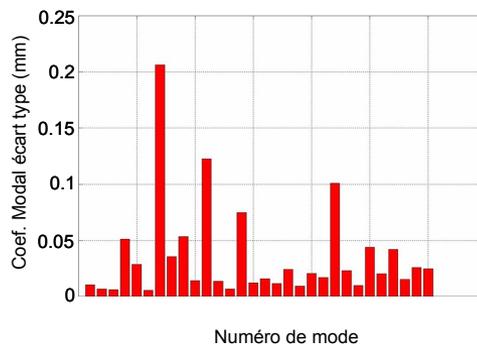
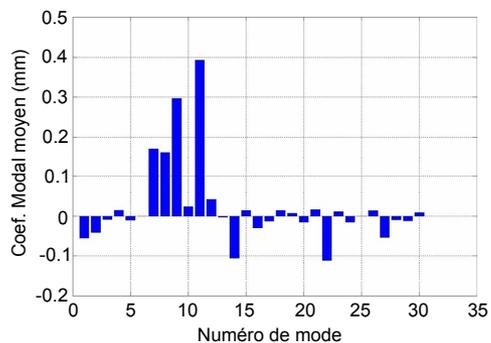


→ Représentation 3D de la moyenne

→ Représentation 3D des écarts types

→ Signature moyenne modale du lot

→ Signature écart type modale du lot

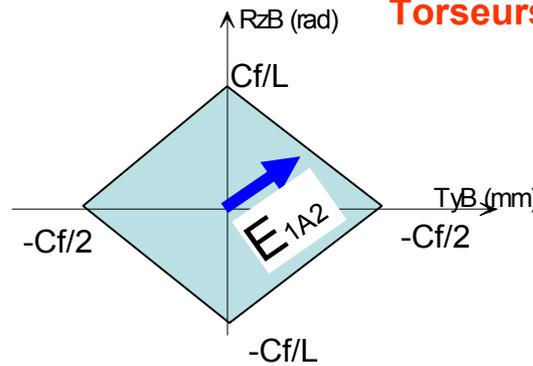
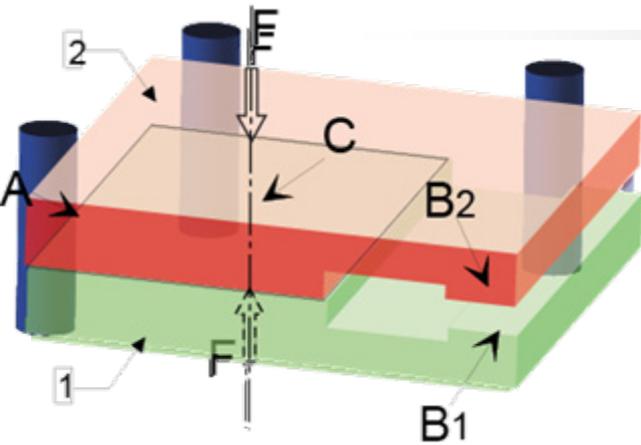


Thèse H. Favrelière

2. Positionnement des travaux de recherche

Contexte Domaines Systèmes souples Défaut de forme Extensions

4. Assemblage des formes

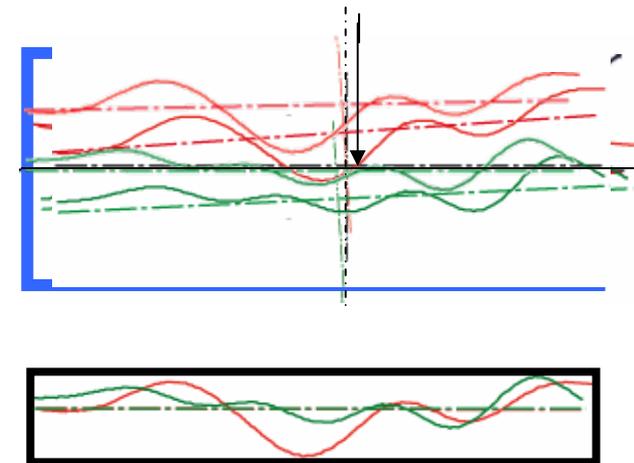
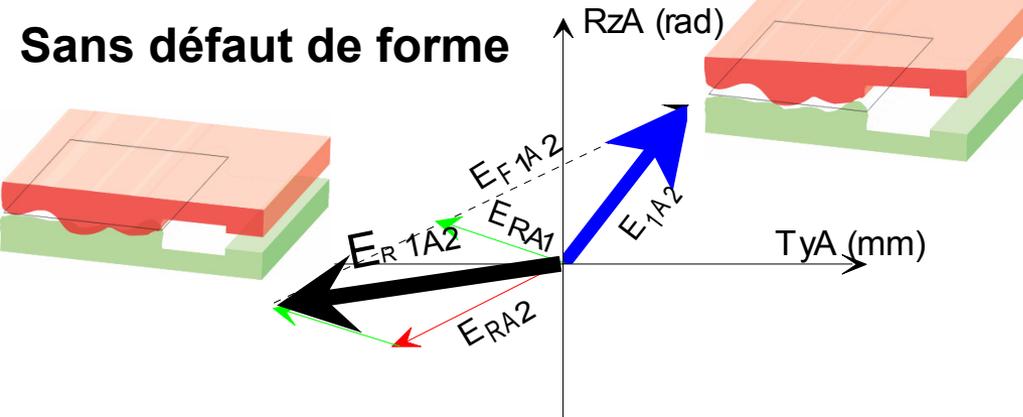


Torseurs de Petits Déplacements / Modes rigides

$$\begin{Bmatrix} \lambda_{R1} \\ \lambda_{R2} \\ \lambda_{R3} \\ \lambda_{R4} \\ \lambda_{R5} \\ \lambda_{R6} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{16} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{26} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{61} & \alpha_{62} & \dots & \alpha_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_{xA1} \\ T_{yA1} \\ T_{zA1} \\ R_{xA1} \\ R_{yA1} \\ R_{zA1} \end{Bmatrix}$$

Relation entre paramétrages

Avec défaut de forme



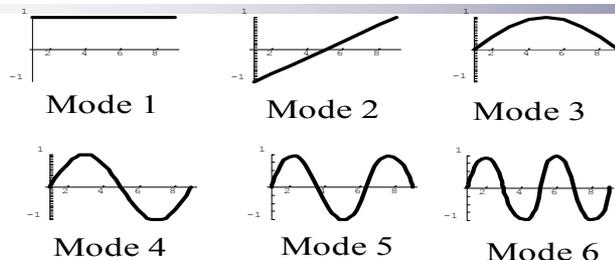
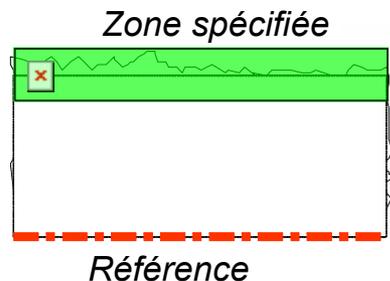
Thèse P.A. Adragna

- P.A. Adragna, S. Samper, F. Formosa, M. Pillet « Modal Tolerancing-Application to gap and flush analysis » Springer Series in Advanced Manufacturing 2007
- P-A. Adragna, S. Samper, H. Favreliere, M. Pillet « Analysis of an assembly with form errors » CPI 2007

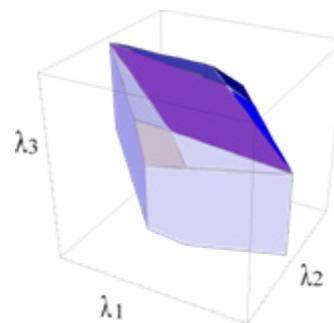
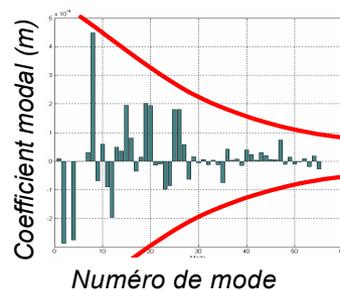
2. Positionnement des travaux de recherche

Contexte Domaines Systèmes souples Défaut de forme Extensions

5. Vers les spécifications des formes



Vers la fusion Domaines/Modal



Spécifications spectrales

Domaine modal

Au pire des cas:

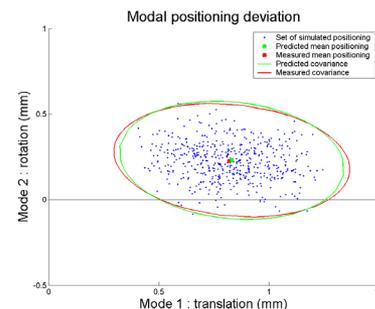
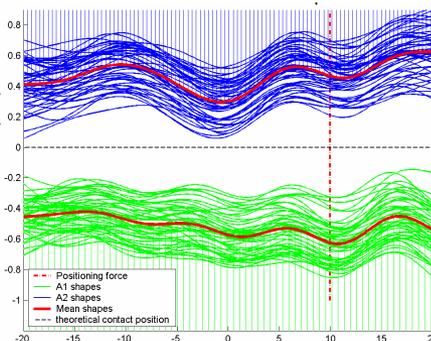
- Limites spectrales
- Domaine modal

Statistiques:

- Moyenne fixe
- Inertiel

Thèse P.A. Adragna

Thèse H. Favrelière

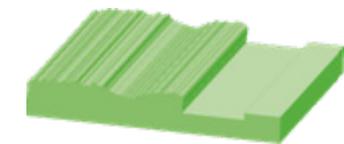


Vers la fusion Inertie/Modal

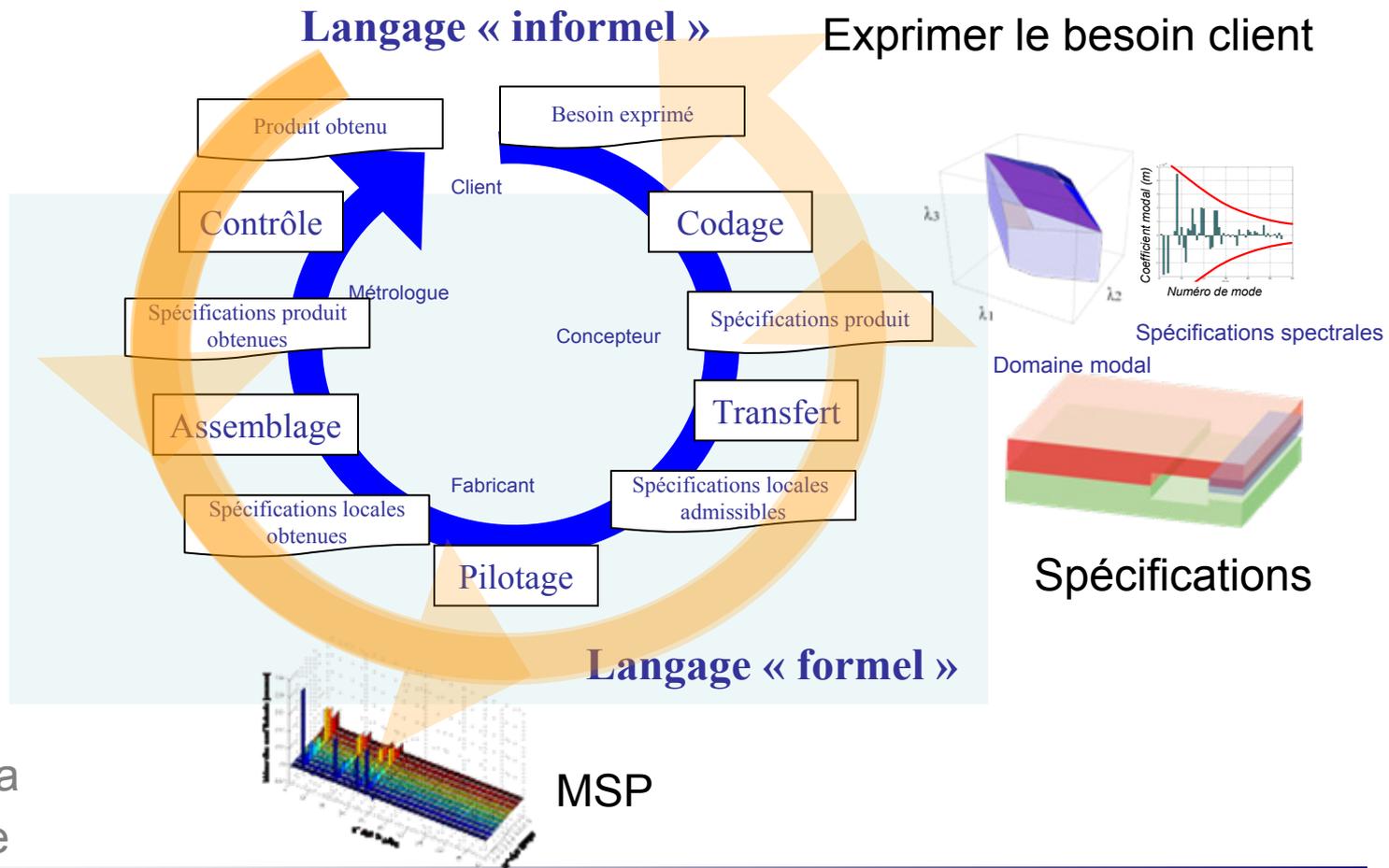
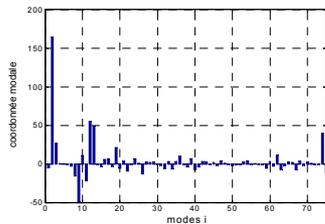
- S. Samper, F. Formosa « Form Defects Tolerancing by Natural Modes Analysis » Journal of Computing and Information Science in Engineering 2007
- P.A. Adragna, M. Pillet, S. Samper, F. Formosa, « Inertial tolerancing applied to 3D and form tolerancing with the modal analysis », CIRP CAT 2007
- P-A. Adragna, H. Favrelière, S. Samper, M. Pillet, « Statistical assemblies with form errors - a 2D example » IPAS 2008

6. Stratégie de déploiement de la méthode

Déploiement « du produit réalisé vers le désiré »



Métrieologie



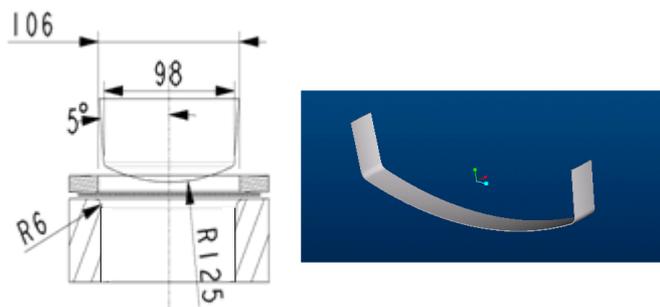
Thèse P.A. Adragna
Thèse H. Favrelière

1. *Contexte*
2. *Méthode des domaines*
3. *Tolérancement des systèmes souples*
4. *Tolérancement des formes*
5. ***Extension à des domaines connexes***

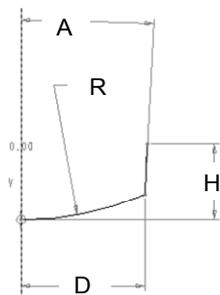
2. Positionnement des travaux de recherche

Contexte Domaines Systèmes souples Défaut de forme Extensions

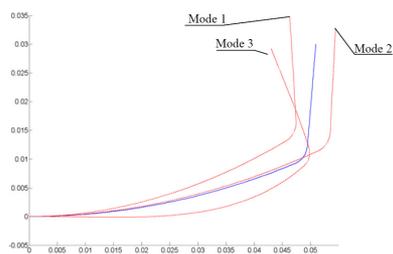
• Retour élastique en emboutissage



Meilleure expression (donc maîtrise) des défauts !



Paramétrage initial

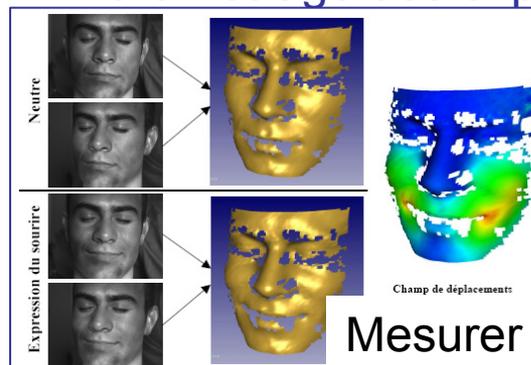


Paramétrage modal

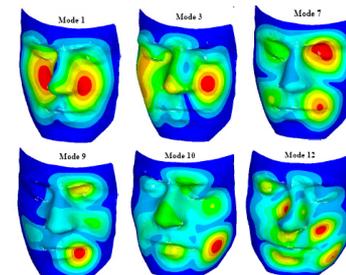
Projet Européen « retour élastique »

Coopération Y. Ledoux, E. Pairel

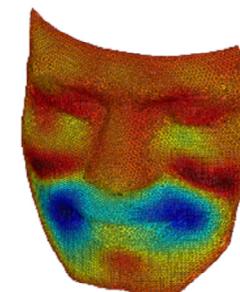
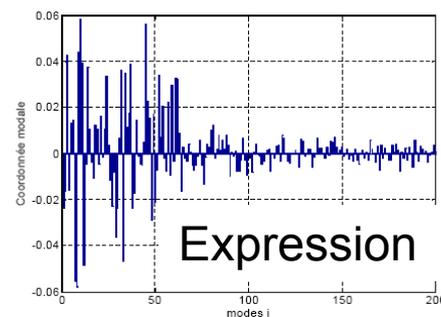
• Paramétrage des expressions du visage



Un challenge !



Formes



Un essai « réussi ».

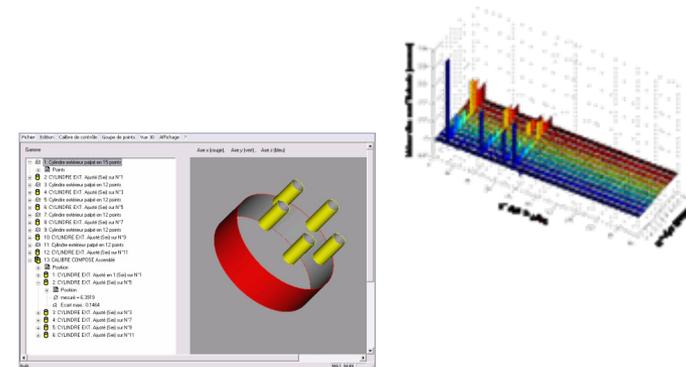
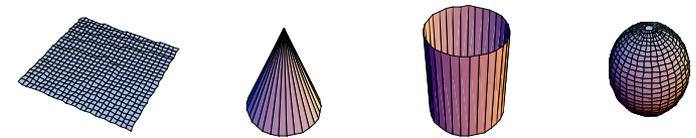
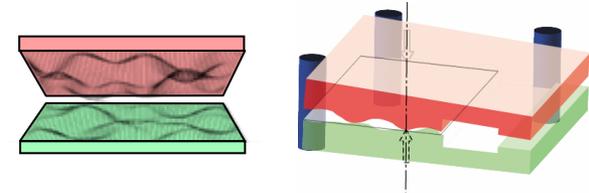
Master H. Favrelière, coopération P. Vacher

- Y. Ledoux, S. Samper, H. Favrelière, F. Formosa, E. Pairel, R. Arrieu « Optimisation of a stamping process by a design of experiments linked to a modal analysis of geometric defects », in "Archives of civil and mechanical engineering, 2006
- Y. Ledoux, H. Favrelière, S. Samper, « Optimization of a classical stamping progression by modal correction of anisotropy ears » ASME "International Journal of Manufacturing Science and Engineering" 2007.
- S. Samper, H. Favrelière, P. Vacher, T. Coudert, « 3D measurement and synthesis of facial expressions » Isb3D 2006

Projets à « court » terme

Paramétrage modal des formes

- Suite travaux P.A. Adragna
 - Analyses statistiques des assemblages avec défauts de forme.
 - Fusion « Modal & inertiel »
- Thèse Favrelière – partenaire : CTDEC
 - Solutions/surfaces élémentaires
 - MSP Modal in situ
 - Solutions/surfaces complexes
 - Implémentation informatique

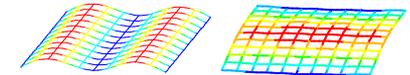
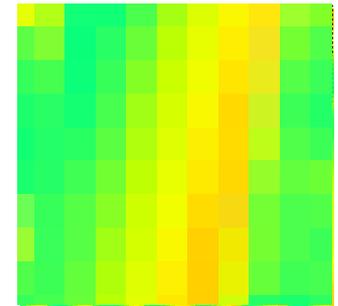


Projets à « court » terme

Paramétrage modal des formes

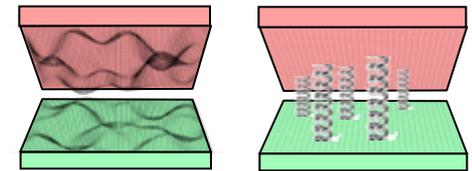
- *Modal appliqué aux ondulations et à la rugosité*
 - **Futur projet transfrontalier, Partenaire EPFL + Industriels : Maîtriser la qualité des aspects des produits de luxe et de haute technicité**
 - Coopération avec KTU, Lituanie (Financement EGIDE)
 - Paramétrage modal des « textures » des surfaces usinées – CTDEC

Modal multi-échelles

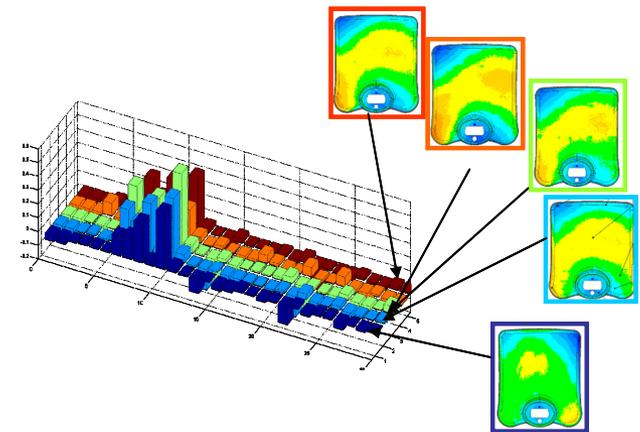


Pistes à plus long terme

- *Fusion tolérancement modal – élastique*
 - Contacts locaux (Hertz+modal) de pièces massives
 - Conformage de pièces élancées
- *Traçabilité modale*
 - Défauts = « spectre d'identité »
 - Pièces ne pouvant être marquées.



Cf. modèles de roulements



Sans compter sur l'opportunité des rencontres ...

- *Présentation des expériences*
 - Soutien au développement de filières et d'enseignements
 - Travaux de recherche:
 - Une évolution vers l'autonomie,
 - et une fusion d'approches (TDP, Domaines, MEF, Modal, Statistiques) en vue de modéliser les systèmes avec défauts.
- *Projections*
 - Renforcement de la facette recherche
 - Développement de coopérations intra et internationales
 - Collaborations industrielles « gagnant-gagnant »