

# ENS Cachan - Projet Institut Farman 2011

## Collaboration LMT Cachan / LURPA

### COMPAS

#### COMpliant Part ASsembly : simulation and validation

##### Contexte :

Le LURPA et le LMT Cachan sont associés depuis 2008 pour poursuivre des travaux de recherche initiés au LURPA sur le tolérancement assemblages de pièces flexibles pour l'aéronautique. L'idée de cette collaboration est l'introduction de techniques de simulation par éléments finis pour la prévision de l'assemblage de structures aéronautiques en vue de leur tolérancement. Ces travaux sont menés en collaboration avec EAD-IW dans le cadre du Groupe de Recherche Concertées Inno'Campus sur le thème *Assemblages Flexibles*. La thèse d'Alain Stricher (2008-2011) sur le thème *tolérancement flexible* est co-encadrée par L. Champaney et F. Thiébaud et financée par EADS-IW Suresnes[STRICHER 2010].

Les travaux réalisés portent sur le tolérancement flexible, c'est à dire sur la prise en compte de la flexibilité des pièces dans la définition des tolérances géométriques permettant leur assemblage. Ce domaine de recherche est exploré depuis une dizaine d'année par plusieurs équipes de recherche.

Les travaux initiés au LURPA [CID 2005, BRETEAU 2009, MOUNAUD 2010] portent sur l'établissement d'un modèle de comportement linéaire des assemblages avec prise en compte de défauts géométriques et les méthodes d'utilisation de ce modèle à des fins

- d'optimisation de réglage de procédé de fabrication [MONS et al 2010],
- d'optimisation de réglage d'assemblage de composants flexibles [FRICERO et al 2010],
- de simulation d'assemblage d'équipements hydrauliques en prenant en compte l'influence de l'ordre d'assemblage [FALGARONE et al 2010].

Sur des problématiques semblables, des travaux basés sur une approche similaire ont été menés par Chang [CHANG 1996], Merkley [MERKLEY 1998], Bihlmaier [BIHLMAIER 1999], Stewart [STEWART 2004].

Une des spécificités des travaux menés en collaboration entre le LURPA et le LMT est l'étude de la qualité des modèles mécaniques à des fins de tolérancement et l'intégration des phénomènes non linéaires dans les simulations d'assemblage (non-linéarités géométriques et contact unilatéral). Les modèles numériques utilisés pour cela intègre une représentation adaptée des liaisons [GANT 2010] et de défaut géométriques [STRICHER 2010]. Cependant, pour des structures complexes incluant des cadres et des raidisseurs de taille variable, la définition d'un modèle éléments finis représentatif reste une question ouverte.

L'une des pistes à explorer par le présent projet est le recalage de modèle éléments finis adapté au tolérancement à partir de mesures réalisées in situ sur le poste d'assemblage. Dans cette configuration, les pièces sont sollicitées soit par les effets de pesanteur quand elles sont déplacées soit par le mouvement des points de liaison avec la plateforme. Les techniques de recalage de modèles qui seront utilisées sont celles basées sur le concept d'erreur en relation de comportement développée au LMT depuis une vingtaine d'années [LADEVEZE 1999] et étendues depuis peut au recalage en présence d'incertitudes [FAVERJON 2009].

Dans le contexte d'assemblages de type aéronautique, la prise en compte de la flexibilité est une avancée majeure par rapport aux techniques actuellement employées industriellement dans lesquelles les pièces sont considérées indéformables. Deux aspects du tolérancement sont étudiés :

- l'analyse : étude de l'influence des tolérances des pièces sur la forme de l'assemblage
- la synthèse : détermination des tolérances des pièces à partir de conditions fonctionnelles sur l'assemblage.

Les techniques développées dans le partenariat LURPA/LMT sont actuellement en attente de validation :

- industrielle : une étude de cas industriel est l'objet de la fin du travail de thèse d'Alain Stricher. Elle concerne une application confidentielle d'EADS. Les résultats de cette étude ne seront pas exploitables en laboratoire pour des travaux futurs.
- expérimentale : cette validation ne peut être réalisée sur les chaînes de montage Airbus pour lesquelles le temps de développement d'essais est long et les possibilités de mesure sont restreintes.

Le but du présent projet PASTA, est de mettre au point une manipulation permettant la validation de ces travaux et initiant d'autres extensions en particulier liées aux techniques de mesures et d'identification de défauts géométriques, ...

### **Cahier des charges succinct de la manipulation :**

Cette manipulation sera installée dans les locaux du LURPA. Elle devra être conçue de manière à permettre deux types d'études distinctes :

- l'assemblage d'une structure déformable sur un cadre rigide, représentative de l'assemblage de panneaux sur des cadre ou bien d'ouvrants sur des structures plus rigides.
- L'assemblage entre elles de deux structures souples par des lignes de connecteurs (rivets ou boulons).

Besoins :

- un panneau seul à courbure simple ou double avec raidisseurs (lisses et cadres). Le panneau doit être représentatif des panneaux utilisés industriellement chez Airbus, suffisamment petit pour être manipulable en laboratoire et suffisamment souple pour être sensible aux effets de pesanteur.
- un support isostatique permettant de mesurer le panneau dans un état libre. Le support doit être rigide et permettre un basculement de la pièce pour faire varier l'orientation des effets de pesanteur
- plusieurs autres liaisons réglables, permettant d'introduire ou de corriger partiellement un défaut géométrique global mesurable.
- un système de mise en pré-contrainte : par exemple, un câble pouvant être tendu entre deux coins opposés du panneau. Il faut pouvoir déterminer et contrôler facilement la valeur des précontraintes.
- systèmes de mesure de position de point même en présence de mouvement de solides rigides :
  - mesure de position de point (contact, laser, photogrammétrie...)
  - mesure de champs de position par imagerie (corrélation d'images en stéréoscopie)
  - ...
- Un système d'introduction d'effort avec mesure.

### **Objectifs scientifiques :**

- validation de modèles éléments finis coques + raidisseurs équivalents pour la simulation.
- validation d'enchaînement de simulations d'opérations d'assemblages avec prise en compte des défauts géométriques et de leurs influences en fonction de l'orientation de la pièce par rapport à la pesanteur.
- validation de la simulation de l'introduction de précontraintes dues à l'assemblage et de leurs influences sur le produit final avec modification de la position de la pièce par rapport à la pesanteur.
- validation d'une technique de confrontation simulation-expérience pour ce type de structure.
- validation d'une chaîne de simulation complète pour le tolérancement flexible apte à être transférée vers l'industrie.

### **Apport scientifique des partenaires :**

#### LMT :

- Méthode de mesures de champs par corrélation d'image
- Stratégies de simulation par éléments finis en non-linéaire
- Introduction de défauts et d'aléas dans la simulation
- Stratégie de recalage de modèles de simulation à partir de résultats d'essais

#### LURPA :

- Stratégies de tolérancement flexibles
- Techniques de mesures et d'identification de défaut géométrique
- Techniques d'assemblages par la mesure

### **Apport matériel des partenaires :**

#### LMT :

- Logiciels de corrélation d'image en stéréoscopie
- Logiciels de simulation par éléments finis
- Appareils photos et caméras pour mesures de champs jusqu'à l'acquisition de matériel spécifique.
- Moyens de sollicitation : vérins, pots vibrants, ...
- Moyens de mesure par jauges et capteurs

#### LURPA :

- Logiciels de tolérancement
- Logiciels d'identification de formes et de défauts
- Moyens de productions de pièces
- Moyen d'acquisition de géométrie
- Moyens et savoir faire pour la réalisation d'éprouvettes : usinages, réalisation de moules, procédés spécifiques aux matériaux composites...

### **Impact du projet sur l'enseignement :**

En marge des travaux de stages de M2 ou bien de doctorat du LURPA et du LMT, un tel démonstrateur sera aussi exploité dans le cadre des enseignements de master du Département de Génie Mécanique :

- Travaux d'Etudes et de recherche en Master 1 *Mécanique des Matériaux et des Structures* ou *Ingénierie Numérique de Production*
- Projets Industriels de Master *Formation d'Enseignants du Supérieur*
- Travaux pratiques de Master 2 Ingénierie Numérique des Produits et Process sur le thème du Tolérancement

Les thèmes de ces études pourront porter sur :

- La réalisation de pièces composites avec défauts géométriques maîtrisés dans le *laboratoire d'élaboration de structures composites* du DGM afin de fournir des éprouvettes pour la plateforme.
- Le perçage maîtrisé de ces pièces composites sur les outils du *laboratoire de fabrication* du DGM
- L'étude de corrélation entre les résultats de simulation d'assemblage et le comportement physique mesuré d'une structure flexible

**Equipe mixte LURPA/LMT :**

Nom	Prénom	Statut	Compétences	Implication
<b>Champaney*</b>	Laurent	PU LMT	Simulation numérique, incertitudes, ...	25.00%
<b>Thiebaut*</b>	François	MCF LURPA	Tolérancement, usinage, défauts, ...	25.00%
<b>Lartigue</b>	Claire	PU LURPA	Métrologie, usinage, assemblage flexible	10.00 %
<b>Poncelet</b>	Martin	MCF LMT	Expérimental, mesure stéréoscopique	10.00%
X	X	Thèse Inno'Campus	A partir de septembre 2011	100.00%
Y	Y	M2 LMT	Un étudiant pas an	100.00%
Z	Z	M2 LURPA	Un étudiant par an	100.00%

*\* porteurs du projet*

**Demande de soutien Farman : (durée du projet : 2 ans)**

Objet	Montant TTC	Type	Financement
Etude de définition de la plateforme	3 000	Fonct.	Farman
Petits matériels	2 000	Fonct.	Farman
Réalisation du banc (sous-traitant)	15 000	Invest.	Farman
Financement de 2 stagiaires de M2	4000	Idemnités	Farman
Usinages : réalisation de pièces, de moules, usinages de pièce composite.	8 000		LURPA
Système de mesure stéréoscopique spécifiques pour le projet (supports, caméras, ...)	8 000		LMT
<i>Total</i>	<i>40 000</i>		

Total demande financement Farman demandé : **24 000€TTC**.

## Références :

- [STRICHER 2010] Flexible tolerancing, a first step towards the use of nonlinear simulation of assembly. STRICHER, A., CHAMPANEY, L., THIEBAULT, F., FRICERO, B., CHEVASSUS, N. ICCES 2010 - Int. Conf. on Computational and Experimental Engineering and Sciences. 2010.
- [BIHLMAIER 1999] Tolerance analysis of flexible assemblies using Finite Element and Spectral Analysis, B. F. BIHLMAIER, Master Thesis, Brigham Young University, USA, 1999
- [BRETEAU 2009] Simulation d'assemblage flexible par la mesure : Application au domaine de l'aéronautique, P. BRETEAU, Thèse de doctorat de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, 2009
- [CHANG 1996] Modeling the assembly of compliant, non ideal parts, PhD Thesis, MIT, Cambridge, USA
- [CID 2005] Etablissement des relations de comportement de mécanismes avec prise en compte des écarts géométriques et des souplesses de composants, G. CID, Thèse de doctorat de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, 2005
- [FALGARONE et al 2010] Procédé d'optimisation pour routage de tubes sur une structure supportant de petites déformations, H. FALGARONE, M. MOUNAUD, F. THIEBAUT, P. BOURDET, Brevet, Ref. 23101FR, 47 p., 2010
- [FRICERO et al 2010] Procédé d'optimisation de réglages d'un assemblage de pièces sous contraintes, B. FRICERO, H.FALGARONE, N.CHEVASSUS, P. BRETEAU, F. THIEBAUT, C. LARTIGUE, Brevet, Ref. FR0858945, 24p., 2010
- [MERKLEY 1998] Tolerance Analysis of Compliant Assemblies, K. G. MERKLEY, PhD thesis, Brigham Young University, USA, 1998
- [MONS et al 2010] Procédé de mesurage et de fabrication d'un tube, P. MONS, M. MOUNAUD, F. THIEBAUT, P. BOURDET, Brevet, réf. FR0953900, 42p
- [MOUNAUD 2010] Contribution à l'analyse des défauts géométriques dans le routage d'un réseau hydraulique en aéronautique : Incidences sur la conception, M. MOUNAUD, Thèse de doctorat de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, 2010
- [STEWART 2004] Variation simulation of fixture assembly processes for compliant structures using piecewise-linear analysis, Master thesis, Brigham Young University, USA, 2004
- [GANT 2010] Definition and updating of simplified models of joint stiffness. Gant F., Rouch Ph., Louf F. and Champaney L., International Journal of Solids and Structures, to appear, 2010
- [LADEVEZE 1999] Application of a posteriori error estimation for structural model up-dating. Ladevèze P. and Chouaki A., Inverse Problems, 15 (1), 49-58, 1999.
- [FAVERJON 2009] Validation of stochastic linear structural dynamics models. Faverjon B., Ladeveze P. and Louf F., Computers & Structures, Vol 8 (13-14), 829-837, 2009.