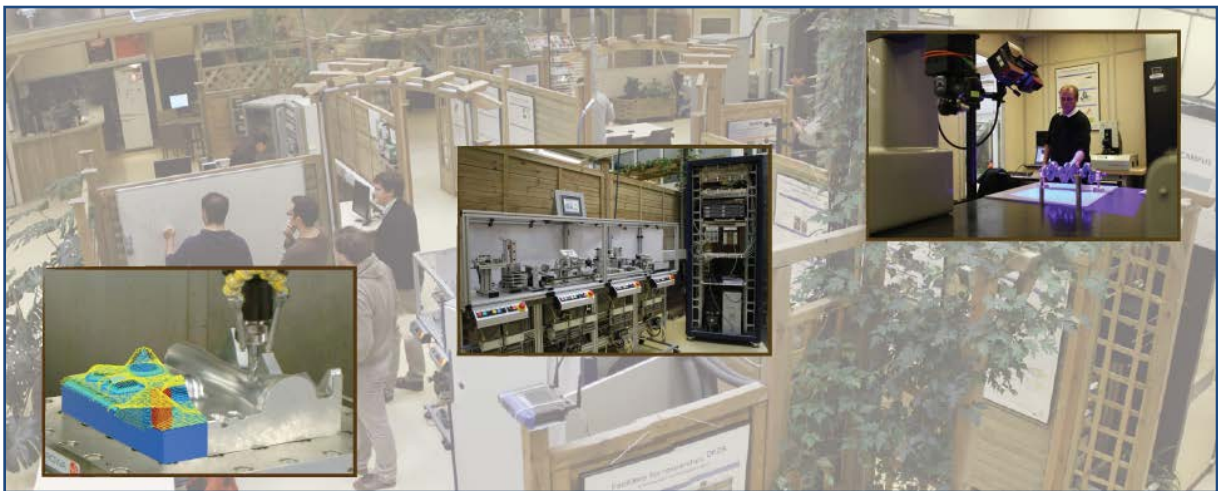




LABORATOIRE UNIVERSITAIRE DE RECHERCHE EN PRODUCTION AUTOMATISEE



Rapport d'activité janvier 2008 – juin 2013

Équipe Géo3D

**Géométrie Tridimensionnelle des Pièces
et des Mécanismes**

Table des matières

1. Présentation générale de l'Équipe Géo3D	3
1.1. Composition de l'équipe	3
1.2. Mouvements	3
1.3. Objectif des recherches	4
2. Thématique «Dimensionnement et tolérancement géométrique»	5
2.1. Objectifs des travaux	5
2.2. Principaux résultats obtenus	5
2.2.1. Modèles géométriques et numériques pour la spécification géométrique des produits	5
2.2.2. Tolérancement le long du cycle de vie	6
2.2.3. Assemblages flexibles	6
3. Thématique «- Qualité géométrique des pièces usinées»	8
3.1. Objectifs des travaux	8
3.2. Principaux résultats obtenus	8
3.2.1. Développement d'algorithmes innovants de génération de trajectoire d'usinage	8
3.2.2. Analyse et Modélisation du comportement FAO-CN-MO pour la maîtrise de la géométrie des pièces	8
3.2.3. La modélisation du comportement à l'interface outil/pièces	9
3.2.4. Le développement d'une commande numérique ouverte	10
4. Thématique «Acquisition et identification des formes»	11
4.1. Objectifs des travaux	11
4.2. Principaux résultats obtenus	11
4.2.1. Évaluation et maîtrise des performances des systèmes de numérisation,	11
4.2.2. Définition de stratégies de numérisation adaptatives	11
4.2.3. Prè--traitement des données numérisées	12
5. Thématique «- Conception intégrée des produits et des processus»	13
5.1. Méthode de spécification des tolérances au plus tôt dans le cycle de conception	13
5.1.1. Objectifs des travaux	13
5.1.2. Principaux résultats obtenus	13
5.1.3. Commentaires	14
5.2. Méthode de conception innovante pour la sécurité des opérateurs	14
5.2.1. Objectifs des travaux	14
5.2.2. Principaux résultats obtenus	15
5.2.3. Commentaires	15
5.3. Méthode de conception produit/process pour l'installation modulaire des systèmes aéronautiques	15
5.3.1. Objectifs des travaux	16
5.3.2. Principaux résultats obtenus	16
5.4. Méthode de conception de systèmes innovants, pérennes et performants pour l'assemblage de véhicules automobiles	17
5.4.1. Objectifs des travaux	17
5.4.2. Principaux résultats obtenus	17
6. Équipement expérimental	18
6.1. Plateforme PREMIUM	18
6.2. Platine d'efforts de coupe	19
6.3. Cellule de mesure par coordonnées multi-capteurs	19
6.4. Capteur Confocal	20
7. Collaborations nationales et internationales	21
7.1. Collaborations nationales	21
7.2. Collaborations internationales	22
8. Activités d'animation et de rayonnement national et international	24
8.1. Activités au plan national	24
8.2. Activités au plan international	27
9. Activités contractuelles et valorisation	28
9.1. Projets de recherche européen	28
9.2. Projets de recherche nationaux	28
9.3. Collaborations industrielles	29
9.4. Collaboration avec des organismes de recherche	30
9.5. Collaboration au sein de l'ENS Cachan	30
10. Formation par la recherche	33
10.1. Formation initiale	33
10.2. Formation en Master Recherche	33

11. Publications, thèses, masters	34
11.1. Ouvrages	34
11.2. Articles dans des revues à comité de lecture à diffusion internationale.....	34
11.3. Brevets	37
11.4. Conférences plénières ou invitées	37
11.5. Communications dans des congrès internationaux avec actes	37
11.6. Communications dans des congrès francophones avec actes	41
11.7. HDR et thèses	43
11.8. Masters	44

1. Présentation générale de l'Équipe Géo3D

1.1. Composition de l'équipe

Au 30 juin 2013, l'équipe Géo3D comprend 10 permanents, à savoir 4 Professeurs des Universités et 5 Maîtres de Conférences et un chercheur associé. Durant la période de référence, l'équipe a été dirigée par Claire Lartigue puis François Thiébaud qui en assure la Direction depuis le 1^{er} septembre 2010.

- **Professeurs des Universités**
 - Bernard Anselmetti Université Paris Sud
 - Claire Lartigue Université Paris Sud
 - Luc Mathieu Université Paris Sud
 - Christophe Tournier ENS de Cachan

- **Maîtres de Conférences**
 - Nabil Anwer Université Paris-Nord
 - Sylvain Lavernhe ENS de Cachan
 - Charyar Mehdi Souzani Université Paris-Nord
 - Laurent Pierre Université Paris Sud
 - François Thiébaud Université Paris Sud

- **Chercheur associé**
 - Yann Quinsat ENS de Cachan

Au 30 juin 2013, l'équipe accueille également 14 doctorants :

- **Doctorants de 1^{ère} année :**
 - Cyril Lacroix Contrat ENS Cachan dans le cadre du Projet Européen FP7 Locomachs
 - Meriem Lafou Contrat CIFRE Renault
 - Julien Monge Contrat EPFL
 - Mathieu Petitcuenot Contrat CIFRE Snecma

- **Doctorants de 2^{ième} année :**
 - Martin Camboulives Contrat CIFRE LNE
 - Nadim El Hayek Contrat LNE-Geomnia
 - Virgile Lacharnay Contrat Doctoral fléché pour Normalien
 - Amina Maïza Allocation ED

- **Doctorants de 3^{ième} année :**
 - Loïc Andolfatto Contrat CIFRE EADS
 - Xavier Beudaert Contrat Doctoral fléché pour Normalien
 - Leyla Sadeghi Contrat Cemagref - IRSTEA
 - Aurélien Souto Lebel Contrat Doctoral fléché pour Normalien
 - Alexandre Zuquete Guarato Contrat CIFRE Renault

- **Doctorants de 4^{ième} année :**
 - Pierre-Mons Contrat CIFRE EADS

1.2. Mouvements

- **Départs**
 - Bernardin Mawussi a rejoint l'unité de Recherche Biomatériaux Innovants et Interfaces de l'Université Paris Descartes au 01/09/2011
 - Laurent Tapie a rejoint l'unité de Recherche Biomatériaux Innovants et Interfaces de l'Université Paris Descartes au 01/09/2011

- **Recrutement**
 - Laurent Pierre a été recruté à l'IUT de Cachan sur un poste de maître de conférences au 01/09/2012 et a rejoint l'équipe à cette date.
- **Retraite**
 - Pierre Bourdet

1.3. Objectif des recherches

Le thème général des recherches de l'Équipe Géo3D est la qualité géométrique des pièces et des mécanismes.

Les activités de recherche de l'équipe Géo3D consistent à assurer le fonctionnement correct des systèmes poly-articulés complexes et des assemblages en tenant compte de l'impact des défauts notamment géométriques aux interfaces entre les composants sur les exigences de conception.

Dans ce cadre, les travaux portent sur la génération des processus de conception et de fabrication, la caractérisation des composants et des interfaces entre composants, le comportement multi-physique des assemblages et des systèmes poly-articulés et la qualification des systèmes d'acquisition de géométrie.

Les thèmes de recherche associés sont le tolérancement géométrique, l'assemblage flexible, la fabrication de pièces de formes complexes, la mesure sans contact, l'intégrité de surfaces, le copiage de formes

Pour la période considérée, nos recherches se sont structurées selon les thématiques suivantes

- Dimensionnement et tolérancement géométrique
- Qualité géométrique des pièces usinées
- Acquisition et identification des formes
- Conception intégrée des produits et des processus

Les trois premières thématiques regroupent des travaux relevant des problématiques générales de la qualité d'un produit au travers de son industrialisation : conception, production et mesure vues au travers du prisme de la variation géométrique des produits. La quatrième thématique, prospective au sein de l'équipe vise à formaliser et/ou exploiter des méthodes de conception et des modèles de performance de produits ou de processus pour répondre à des exigences spécifiques telles que la robustesse, la sûreté, la complexité des produits, ...

2. Thématique «Dimensionnement et tolérancement géométrique»

2.1. Objectifs des travaux

L'objectif des travaux est la prédiction de la qualité des assemblages par simulation. Il s'agit de réaliser l'assemblage de composants virtuels intégrant les défauts de fabrication prédits, simulés ou mesurés ainsi que le processus d'assemblage et ses caractéristiques (montages, séquences, moyens...). Pour parvenir à cet objectif, il est nécessaire de disposer de modèles géométriques des composants qui intègrent les défauts issus de la production et de modèles de propagation des défauts dans les assemblages. Une fois ces modèles choisis, la prédiction du comportement des assemblages permet soit de s'assurer que les variabilités géométriques des composants ne nuisent pas au respect des exigences fonctionnelles (analyse de tolérances), soit de définir les variabilités admissibles des composants pour que les exigences fonctionnelles soient respectées (synthèse de tolérances).

Les travaux concernent trois thèmes en particulier

1. Les modèles géométriques et numériques pour la spécification géométrique des produits
2. Le tolérancement le long du cycle de vie
3. Les assemblages flexibles

2.2. Principaux résultats obtenus

2.2.1. Modèles géométriques et numériques pour la spécification géométrique des produits

Les travaux de recherche portent sur les modèles géométriques et numériques pour la spécification géométrique des produits. Les travaux s'appuient sur le concept de Skin model et le langage GeoSpelling issus du laboratoire et s'intègrent ainsi dans les thématiques de recherche du comité technique TC 213 de l'ISO. L'objectif de ces travaux est de développer d'une part les fondements théoriques de la spécification géométrique des produits et d'autre part une opérationnalisation du Skin model et de GeoSpelling pour l'élaboration de modèles génériques intégrant les défauts géométriques tout le long du cycle de vie du produit. Ces travaux s'effectuent dans le cadre de collaborations avec SupMeca (Ph. Serré), l'université de Bordeaux 1 (A. Ballu), l'université d'Erlangen-Nuremberg (S. Wartzack), l'université de Tsinghua (J. Yang), l'université de technologie de Pékin (M. Zhang) et l'université de Beihang (L. Qiao).

Les thèmes des travaux sont donc les suivants :

- o Conceptualisation du Skin model. Il s'agit du développement de nouveaux fondements géométriques et numériques pour le Skin model. Ces travaux sont une extension des théories de la modélisation solide développées par Requicha dans les années 80, à la base de la CAO mécanique.
- o Représentation du Skin model. Il s'agit d'une contribution majeure dans le domaine à travers la mise en place d'une approche de modélisation à deux niveaux (prédiction et observation). Durant la phase de prédiction, les écarts géométriques sont modélisés à travers une approche dite locale-globale intégrant les fondements de la géométrie différentielle (Repère de Darboux Augmenté), de techniques statistiques (Analyse en Composantes Principales, échantillonnage de Gibbs, champs aléatoires) et la modélisation de formes (surfaces quadriques). La phase d'observation quant à elle exploite les techniques existantes d'analyse statistique des formes (KDE/PDM) et permet de guider la simulation numérique par le choix optimal d'essais numériques à réaliser.
- o Opérationnalisation de GeoSpelling. Les travaux menés dans le cadre de la thèse de M. Zhang ont permis de définir un nouveau cadre de représentation et de traitements géométriques à base de géométrie discrète ou numérique. Des représentations à base de maillages polyédriques (triangulaires) ont permis de couvrir les opérateurs définis dans la norme ISO 17450-1 (partition, filtrage, extraction, association, collection, construction) et de proposer une correspondance entre les concepts fondamentaux de la spécification géométrique des produits et les techniques développées en géométrie numérique. Les travaux de thèse de H. Zhao illustrent bien l'opérationnalisation du concept de partition à travers le développement d'une méthode exploitant la géométrie différentielle discrète (courbures discrètes, tenseur de courbure et indice de forme).
- o Algèbres géométriques pour le GPS. Les travaux ont permis d'exploiter les algèbres géométriques conformes pour modéliser les contraintes géométriques et de formaliser le concept de SATT. Ainsi nous avons décrit un SATT comme le produit géométrique (au sens de l'algèbre géométrique) d'EGRM. La réduction du SATT (décomposition par rang de multi-vecteurs) a permis une écriture unifiée des contraintes géométriques.

2.2.2. Tolérancement le long du cycle de vie

Les travaux sont effectués dans le cadre du projet CLIC/Quick GPS/TZT. Dans le contexte de la cotation ISO, il s'agit de définir la cotation fonctionnelle d'un mécanisme pour respecter des exigences fonctionnelles, puis pour chaque pièce, la cotation de fabrication et de contrôle pour une gamme de fabrication donnée (thèses de B. Ayadi [TH 1] et M. Caux [TH 16]).

L'approche consiste à recueillir le savoir des concepteurs pour traduire leurs souhaits en exigences fonctionnelles géométriques et en spécifications fonctionnelles sur les pièces avec une optimisation des dimensions moyennes pour maximiser les tolérances avec une répartition isocapabilités avec ou sans calcul statistique. L'effet des dilatations a été intégré dans le calcul (thèse de S. Bénichou [TH 17]).

La méthode « des droites d'analyse » permet le calcul 3D de la résultante de la chaîne de cotes (y compris radiales) compatibles avec une méthode probabiliste en exprimant la résultante en fonction des tolérances et des dimensions nominales. Cette relation a ensuite permis la synthèse de tolérance. Sur la période, les travaux ont été étendus aux liaisons hyperstatiques.

En complément le logiciel Quick GPS a été conçu pour proposer une cotation fonctionnelle ISO pour une pièce isolée (sans chaîne de cotes) avec un principe de génération basé sur les maillons entre jonctions.

Le travail se poursuit dans le cadre de la thèse de M. Petitcuenot en contrat CIFRE SNECMA, pour le tolérancement des pièces complexes de type aube, notamment pour les surfaces de type aéro, et leur processus de production.

Cette période a principalement été consacrée à la valorisation des résultats des années précédentes :

Quick GPS étant arrivé à une bonne maturation, le projet System@tic/Astec QUICK GPS a eu notamment pour but de faire évaluer et tester ce logiciel par les industriels. 3 thèses ont été financées. Un accord de commercialisation est en cours de rédaction avec Dassault Systèmes.

2.2.3. Assemblages flexibles

Les travaux concernent la prise en compte de la flexibilité de composants dans le comportement des assemblages. Le domaine d'application privilégié est l'assemblage aéronautique. Ces travaux sont en effet réalisés en partenariat avec EADS dans le cadre d'un Groupe de Recherche Concerté intitulé « assemblages flexibles ».

L'étude de l'influence des défauts géométriques sur le comportement des assemblages est un domaine de recherche historique de l'équipe. L'hypothèse de corps rigide a été levée dès 2002 avec les travaux de thèse de G. Cid en partenariat avec PSA. Dans le cadre de l'assemblage de pièces de carrosserie, la déformation des pièces est en effet du même ordre de grandeur que leur défaut de forme et ne peut être négligée lors des études d'assemblabilité et de respect des exigences fonctionnelles tels les jeux et les affleurements. Cette première thèse a permis de mettre en place les bases de calcul de comportement.

Les travaux se sont ensuite poursuivis avec EADS sur la période autour de la problématique de l'assemblage aéronautique pour résoudre des problématiques industrielles telles que :

- L'assistance au réglage lors de l'assemblage de structures déformables
- L'évaluation de l'assemblabilité de tuyauteries dans les structures d'aéronef
- Le tolérancement flexible d'assemblages
- L'assistance à l'élaboration de gammes d'assemblage innovantes

Durant la période, des modèles, méthodes et outils ont été proposés pour répondre aux objectifs. Quatre thèses ont permis d'atteindre les objectifs visés et les travaux ont été valorisés par des articles, brevets et développement de logiciels par EADS sur la base des démonstrateurs proposés.

Assistance à l'assemblage par la mesure : une méthode générique d'optimisation de valeurs de réglages par la mesure a été proposée et brevetée. La mise en œuvre de la méthode a nécessité le choix d'un modèle de représentation du défaut de forme des composants, la mise en place des outils de simulation mécanique, le développement d'un démonstrateur. La méthode a été testée avec succès en condition réelle d'assemblage d'une porte d'hélicoptère. Un logiciel (FitFlex) a été développé par EADS sur la base de ces travaux.

Évaluation de l'assemblabilité de tuyauteries : Dans le processus actuel d'installation des tuyauteries dans un aéronef, les fixations (réglables ou non) sont fixées sur la structure puis le tube est installé dans les fixations sous des critères d'efforts d'installation. Pour être sûr que l'assemblage puisse se faire, des supports réglables sont parfois utilisés plutôt que des supports fixes au détriment de la masse. Une méthode d'évaluation des efforts d'installation a été mise en place qui a nécessité la prédiction des défauts géométriques des tubes en fonction des caractéristiques des moyens de production, la prise en compte de la séquence d'assemblage des tubes sur les fixations, l'aide au choix du type de supports à

utiliser. Une maquette a été développée sur la base d'un produit AIRBUS et plusieurs modes de représentation des résultats ont été proposés.

Tolérancement flexible d'assemblage : l'objectif est de prédire le comportement d'assemblages avec défaut dès la conception des produits. Pour être réaliste, la simulation doit intégrer le comportement des composants dans les zones de contact nominales. Pour intégrer cet aspect dans la simulation mécanique, les travaux ont été réalisés en partenariat avec Laurent Champaney, professeur à l'ENS de Cachan. La méthode de tolérancement flexible proposée consiste à produire numériquement des pièces avec défauts, les assembler virtuellement et observer si les exigences imposées sont respectées. Étant donné que le tolérancement flexible nécessite un grand nombre de simulations non linéaires, celles-ci doivent être rapides pour être exploitables ce qui a conduit à l'étude du choix du modèle mécanique à utiliser. La génération des pièces avec défauts a été réalisée en utilisant une représentation modale des défauts géométriques.

L'assistance à l'élaboration de gammes d'assemblage innovantes : les travaux consistent à assister au choix de gamme d'assemblage suivant plusieurs critères : coût des composants en fonction de la précision de fabrication, coût des moyens de fabrication choisis, taux de non-conformité de l'assemblage simulé. Une méthode d'assistance au choix de gamme générique a été développée et une plateforme logicielle proposée. Au cours de ces travaux, une structuration des données d'assemblage a été proposée, une méthode d'évaluation du coût des composants et des moyens de production a été proposée, une méthode d'estimation du taux de conformité proposée. Pour parvenir au choix optimal des tolérances et des méthodes d'assemblage, une réduction de modèle mécanique a été proposée en utilisant un méta modèle (utilisation de réseaux de neurones) et une méthode d'optimisation multi objectifs a été mise en place.

Les travaux en cours portent sur la validation des modèles et méthodes proposés durant la période dans le cadre du projet européen Locomachs.

3. Thématique «- Qualité géométrique des pièces usinées»

3.1. Objectifs des travaux

Les travaux de recherche de l'axe «Qualité géométrique des pièces usinées » portent sur l'optimisation du processus d'élaboration des pièces à haute valeur ajoutée par usinage. Il s'agit en particulier de maîtriser la qualité macro et micro géométrique des surfaces produites ainsi que leur intégrité métallurgique pour garantir leur fonctionnement en service. Le processus étudié est complexe et nécessite des compétences multiples, car il intègre des traitements numériques et des comportements physiques. Les traitements numériques sont ceux appliqués à la géométrie, depuis la modélisation des surfaces en CAO à l'exécution en temps réel des trajectoires programmées en FAO par la commande numérique. Les comportements physiques sont ceux liés à la structure mécanique articulée qui supporte le procédé, d'un point de vue géométrique, dynamique ou thermique. Plus ponctuellement, les comportements à l'interface outil/pièces sont envisagés afin d'établir des modèles plus réalistes en amont et optimiser l'exécution du procédé.

Les travaux concernent cinq thèmes en particulier :

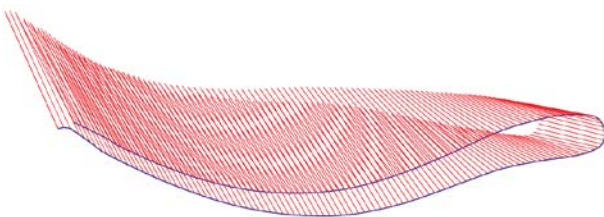
1. Le développement d'algorithmes innovants de génération de trajectoire d'usinage,
2. Analyse et Modélisation du comportement FAO-CN-MO pour la maîtrise de la géométrie des pièces,
3. La simulation des états de surface produits par usinage,
4. La modélisation du comportement à l'interface outil/pièces,
5. Le développement d'une commande numérique ouverte,

3.2. Principaux résultats obtenus

3.2.1. Développement d'algorithmes innovants de génération de trajectoire d'usinage

Le processus de copiage rapide de formes complexes issues de numérisations a été grandement amélioré par une approche systématique qui, à partir d'une carte de visibilité, permet l'usinage hors collisions et la minimisation des écarts géométriques de recouvrement en fraisage 5 axes positionnés (thèse de M. Makki 2009). La méthode a été validée sur la copie d'œuvres d'arts en pierre naturelle par usinage robotisé et fait l'objet de nouveaux développements pour assurer l'usinage de finition en fraisage 5 axes continu d'un nuage de points sans zone de raccordement visible.

L'évitement des collisions, aspect primordial en fraisage 5 axes des formes complexes, fait également l'objet d'un traitement innovant basé sur une analogie mécanique utilisant des champs de potentiels répulsifs et attractifs (thèse de V. Lacharnay). Cette analogie permet le calcul de trajectoires 5 axes hors collisions de manière continue et non itérative par la résolution des équations du mouvement. Ces travaux font l'objet d'une convention de recherche avec Missler Software.



Trajectoire de fraisage 5 axes optimisée

Dans l'objectif de garantir la qualité des surfaces usinées tout en minimisant les temps de fabrication, nous avons étudié l'intégration d'un critère de fluidité basée sur l'énergie de déformation des trajectoires en fraisage à 5 axes sur le flanc (thèse de P-Y. Péchard 2009). En effet, la recherche d'un posage optimal de l'outil peut provoquer des oscillations de l'orientation de l'axe de l'outil donc un mouvement saccadé de l'outil propice à l'apparition de marques sur la pièce usinée dans un contexte UGV. L'approche proposée permet de réduire les marques sur la pièce tout en garantissant le respect des tolérances géométriques.

3.2.2. Analyse et Modélisation du comportement FAO-CN-MO pour la maîtrise de la géométrie des pièces

L'analyse globale du processus a permis de mettre en évidence les sources d'écarts géométriques sur la pièce finie : génération de trajectoire, interpolation, suivi par les asservissements, comportement dynamique de la structure de la machine-outil.

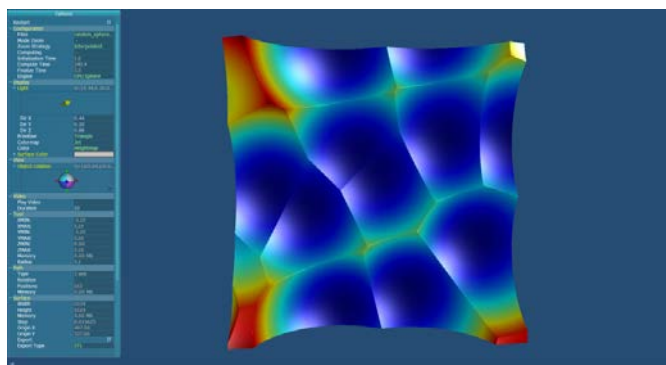
Concernant l'intégration du comportement du couple MO-CN en génération de trajectoire, nous avons proposé un lissage des trajectoires articulaires des 5 axes de la machine en tenant compte des écarts géométriques générés sur la pièce en usinage en bout ou sur le flanc. Cette approche est basée sur un modèle de prédiction de la vitesse d'avance effective, liée aux paramètres de vitesse, d'accélération et de jerk maximum de chaque axe, et se révèle comme un très bon indicateur pour l'optimisation des trajectoires en fraiseage 5 axes.

L'analyse des sources d'écarts et la comparaison des effets induits sur la pièce a mis en avant la difficulté de mesure et de compréhension du comportement de la structure machine, ainsi que la prépondérance des écarts au contour liés au suivi par les asservissements. Nous avons ainsi abouti à une modélisation pertinente des asservissements en suivi de trajectoires UGV (thèse de D. Prévost 2011).

Le comportement géométrique de la machine, verrou scientifique pour ce type de structure complexe sollicitée en UGV multi-axes, a été abordé sous deux aspects. La partie géométrie statique de la structure et des liaisons, menée en collaboration avec L'École Polytechnique de Montréal (Pr. Mayer) a abouti à la modélisation et identification des défauts en vue de leurs compensations. La partie « dynamique », ou étude des défauts en pointe outil induits par le comportement dynamique lors de l'exécution des trajectoires, a été menée sous deux aspects : l'évaluation des défauts de structure relativement aux défauts statiques et l'analyse plus détaillée du comportement dynamique (modes de déformation de la structure complexe) en collaboration avec le LMT Cachan. La simulation des états de surface produits par usinage.

La géométrie des surfaces usinées, résultat du processus global, a été investiguée, d'un point de vue macroscopique et microscopique pour prédire, respectivement, les écarts géométriques au modèle nominal et la topographie locale. Ces travaux ont abouti à la simulation de la géométrie avec les deux niveaux d'échelle. Le modèle permet de simuler les effets de la vitesse d'avance outil/pièce variable, des crêtes 3D et de la géométrie réaliste des outils.

De plus, un logiciel de simulation et une IHM ont été développés et l'utilisation de moyens de calculs parallèles intensifs de type GPGPU a été investiguée afin d'améliorer les temps de calcul des simulations. Cela ouvre la voie vers la simulation d'écarts géométriques à plus petite échelle tels qu'en polissage et la prise en compte de phénomènes stochastiques de dégradation des abrasifs.



Logiciel de simulation de topographie de surface avec technologie Nvidia Cuda sur GPU

Par ailleurs, nous nous intéressons à développer des outils de modélisation afin de prédire l'influence des paramètres du procédé de fraiseage de finition (stratégie d'usinage et conditions de coupe) sur la tenue en service de la pièce fabriquée et en particulier sur sa tenue en fatigue à grand nombre de cycles. Nous nous sommes attachés à caractériser l'influence du procédé sur l'intégrité de surface, la durée de vie en fatigue d'une pièce en acier (25MnCrSiVB6) dépendant fortement de sa micro-géométrie ainsi que de l'état mécanique induit par l'usinage (Thèses de Nicolas Guillemot 2010 et Aurélien Souto-Label).

3.2.3. La modélisation du comportement à l'interface outil/pièces

Dans le cadre du GRC InnoCampus, une activité de recherche spécifique sur l'optimisation du perçage d'empilages a été menée au laboratoire sur la période 2009-2012 dans le cadre de 2 master 2 et ainsi qu'une étude de recherche « Perçage écologique d'empilages CFRP/Ti6Al4V » avec le pôle Metallic Technologies & Surface Engineering de EADS IW. La première voie d'investigation a porté sur l'évaluation d'une méthode de perçage assistée par vibrations forcées quant à son apport sur la fragmentation des copeaux et la maîtrise des phénomènes thermiques qui interviennent lors du perçage des matériaux titane et composite. Une attention particulière a été portée sur la durée de vie des outils, critère économique très important [Post-Doc N. Guillemot]. Les travaux se sont ensuite focalisés sur la compréhension et l'analyse des phénomènes thermomécaniques mis en jeu lors du perçage d'empilages hybrides mélangeant aluminium, titane et carbone sous différentes configurations d'usinage en vue de l'optimisation de l'opération. Ils ont abouti à la proposition d'un modèle de simulation du champ de température dans l'outil. Ce modèle, basé sur une discrétisation élémentaire des

zones actives du foret, permet de déterminer la contribution locale de chaque zone d'un point de vue puissance développée à l'interface. La puissance développée par les actions mécaniques locales et leur transposition en puissance thermique permet ainsi de mettre en avant l'influence de la géométrie active au cours du perçage sur le champ de température.

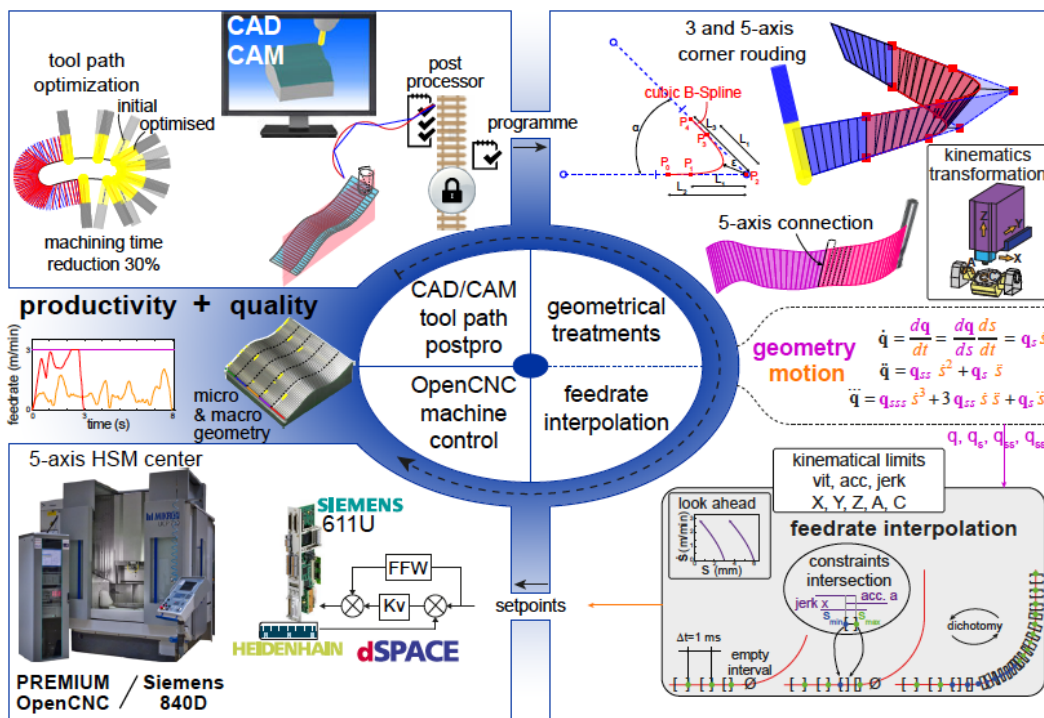
S'agissant du polissage automatisé sur centre d'usinage à 5 axes, la thèse de A. Guiot (2012) a porté sur la modélisation numérique du contact entre l'abrasif, monté sur un porte outil flexible en élastomère, et la pièce dans différentes configurations de courbure. Couplé à une étude de l'usure des abrasifs, ce modèle a permis de maîtriser la quantité de matière enlevée au travers de la modification des paramètres de coupe le long de la trajectoire. Ces travaux se sont appuyés sur des collaborations avec G. Poulachon des Arts et Métiers ParisTech Cluny pour l'optimisation de la gamme de polissage et avec B. Furet de l'IRCCyN pour le développement de trajectoires de ponçage adaptées aux pièces de structures aéronautiques en composite carbone époxy.

3.2.4. Le développement d'une commande numérique ouverte

Le projet PREMIUM (Plateforme de REcherche Mutualisée pour l'Innovation en Usinage Multiaxes) a eu pour objectif de développer une commande numérique ouverte pour optimiser le pilotage des machines d'usinage et ainsi nous affranchir des commandes numériques industrielles dont les performances et l'ouverture sont limitées. Le projet, développé conjointement avec le département d'Automatique de Supélec (Pr. D. Dumur), a bénéficié du soutien financier de la région Ile de France via la fondation DIGIETO dans le cadre du Domaine d'Intérêt Majeur « Logiciels et Systèmes Complexes ». Ces travaux s'appuient sur des résultats précédemment établis au LURPA ces dernières années et sur l'expérience acquise lors des collaborations avec Supélec (Pr. D. Dumur) et l'université de Colombie Britannique (Canada, Pr. Y. Altintas).

La création de la commande numérique PREMIUM-OpenCNC a nécessité le développement des algorithmes qui transforment le programme d'usinage en consignes échantillonnées pour les axes de la machine. En particulier, le pré traitement géométrique pour rendre la géométrie suffisamment continue et l'interpolation temporelle du trajet respectant les contraintes cinématiques et en particulier le jerk de chacun des 5 axes de la machine (thèse de X. Beudaert 2013). La maîtrise complète de la commande numérique offre la possibilité de définir exactement le trajet d'usinage sans introduire les écarts géométriques inhérents aux formats de description standard. Cela a permis d'améliorer à la fois la qualité et la productivité de l'usinage des surfaces complexes en interpolant la trajectoire d'usinage directement sur la surface à usiner.

La commande numérique PREMIUM-OpenCNC est maintenant opérationnelle. De nombreuses perspectives sont envisagées et notamment la compensation des défauts géométriques et déformations des machines en temps réel.



Synoptique de la chaîne de traitement pour l'usinage des surfaces complexes dans PREMIUM-OpenCNC

4. Thématique «Acquisition et identification des formes»

4.1. Objectifs des travaux

La connaissance de la géométrie des composants d'un produit est essentielle tout au long de son cycle de vie afin de garantir sa conformité. Les processus d'acquisition de géométrie s'appuient de plus en plus sur des systèmes de numérisation par moyens optiques qui délivrent une représentation de la géométrie des pièces sous forme de données discrètes (nuages de points, maillages, images, ...) en des temps relativement courts. Compte tenu des besoins croissants en matière de complexité et d'exactitude de mesures, l'utilisation de systèmes multi-capteurs semble se rationaliser, engendrant de nouvelles problématiques.

L'objectif de nos travaux est de s'assurer de la représentativité des données discrètes obtenues après numérisation, c'est-à-dire de s'assurer de la complétude et de la qualité des données mesurées en vue de leur exploitation future. La représentativité des données est conditionnée par la qualité du ou des systèmes de mesure utilisés, par la stratégie de numérisation et par les méthodes de mise en cohérence de données.

Nos travaux ont évolué selon 3 approches majeures :

1/ L'évaluation et la maîtrise des performances des systèmes de numérisation sans contact par la mise en place de protocoles de qualification, de correction et d'étalonnage des systèmes avec une application aux systèmes à base de caméras (multi-caméras, laser-caméra, caméra-projection de franges, ...).

2/ La définition de stratégies de numérisation adaptatives et génériques pour la maîtrise des incertitudes et la pertinence des données acquises vis-à-vis de leur exploitation soit pour l'acquisition de la géométrie externe des surfaces soit pour la mesure des jeux d'assemblages de composants flexibles (Projet Européen LOCOMACHS).

3/ La mise en cohérence des données acquises à partir de méthodes de recalage, fusion de données et partitionnement devient alors une étape de prétraitement indispensable à l'exploitation des données numérisées.

4.2. Principaux résultats obtenus

4.2.1. Évaluation et maîtrise des performances des systèmes de numérisation,

Nos travaux ont abouti à la définition d'un protocole de qualification expérimental basé sur l'évaluation d'indicateurs de qualité. Ce protocole original a été testé pour différents systèmes de mesure (couple capteur/porteur) et sur différents sites. Il a conduit à établir une base de données de systèmes de mesure qualifiés support au choix de système à incertitude donnée (thèse de Nicolas Audfray). Compte tenu de la spécificité de la mesure par photogrammétrie sans cible, une étude particulière a été menée afin d'évaluer sa capacité pour la mesure de tuyauterie dans le domaine aéronautique. (Thèse de Labib Daoud). Par ailleurs, une méthode de propagation des incertitudes par méthodes de Monte-Carlo a été mise en œuvre afin d'étalonner l'espace de mesure d'un système de vision multi-caméras (thèse Marc Douilly). Enfin des travaux sont en cours sur la définition de méthodes d'étalonnage par homographie pour un système de mesure projecteur/caméra dédié à la mesure de pièces de grandes dimensions (thèse Amina Maïza).

4.2.2. Définition de stratégies de numérisation adaptatives

Après nous être intéressés à l'élaboration de stratégies de numérisation pour des objets de formes inconnues avec pour objectif la maîtrise des incertitudes nos travaux associés à la définition de stratégie de numérisation ont conduit à la définition d'une méthode basée sur une représentation simplifiée des pièces sous forme de voxel-maps. Cette méthode s'appuie sur l'identification des visibilité à incertitude maîtrisée pour des formes connues. Elle se veut générique, car s'appuyant sur la dimension de la fenêtre de vue du capteur, quel que soit sa nature. L'application principale est ici la mesure de la géométrie externe des vilebrequins support à une nouvelle démarche d'équilibrage des vilebrequins (thèse Alexandre Zuquete-Guarato).

Des travaux sont en cours sur la définition de stratégie de numérisation pertinente pour la mesure des jeux d'assemblages de composants flexibles (Thèse de Cyril Lacroix).

4.2.3. Prè--traitement des données numérisées

L'étape de pré-traitement est une étape essentielle et préalable à toute exploitation des données acquises dans un contexte multi-capteurs. Le recalage constitue l'une des étapes les plus importantes de l'intégration multi-capteurs. Une méthode de recalage sans correspondance a priori a été développée. Une combinaison de la courbure discrète et de la distance euclidienne est proposée ici pour améliorer les performances de l'algorithme classique de recalage ICP. Une nouvelle méthode basée sur l'indice de forme (Shape Index) et l'intensité de courbure (Curvedness) est développée pour la reconnaissance et la segmentation des formes discrètes (Thèse de Haibin Zhao). Par ailleurs, une approche d'identification des lignes de courbure et de partitionnement d'un nuage de points obtenus par capteur laser-plan a également été mise en œuvre dans le cadre d'une collaboration avec le laboratoire CMLA de l'ENS. L'idée introduite par la méthode dite "scale-space" consiste à traiter le nuage de points à des échelles différentes. Il est ainsi possible de bénéficier des avantages liés à chaque échelle étudiée. Les grandes échelles facilitent le traitement d'informations locales denses et les petites échelles permettent de conserver les données liées à la géométrie globale de la pièce numérisée (Projet Farman Géométrie Inverse pour l'Industrie).

5. Thématique «- Conception intégrée des produits et des processus»

Cette thématique a été définie comme thématique prospective pour l'équipe dans les projets envisagés sur la période qui vient de s'écouler. Elle a connu en particulier sa genèse dans les sollicitations récurrentes de nos partenaires industriels. Les travaux historiques en tolérancement et en métrologie dimensionnelle nous ont conduits à nous intéresser au cours du temps à l'ensemble des phases de vie du produit et plus particulièrement aux phases de conception et de fabrication pour maîtriser la qualité géométrique. Nous avons dû étudier les méthodes de conception des produits et des processus de fabrication ou d'assemblage pour faire face aux nouvelles contraintes de l'ingénierie à savoir disposer de méthodes de conception qui prennent en compte au plus tôt les contraintes de nouvelles exigences telle que la robustesse, la sûreté ou la complexité des produits. Pour cela, nous nous sommes intéressés aux théories, méthodes et outils de conception existants pour formaliser de nouvelles méthodes intégrant ces exigences. Nous nous sommes également intéressés à d'autres critères de performance que celui de la qualité pour l'évaluation des solutions.

Plus précisément, les travaux concernent quatre sujets :

1. La spécification des tolérances au plus tôt dans le cycle de conception et l'évaluation de la robustesse de la solution
2. La conception innovante de machines agricoles pour la sécurité des opérateurs
3. La recherche de nouveaux concepts et d'une méthode de conception produit/process pour l'installation modulaire des systèmes aéronautiques
4. La recherche de systèmes innovants, pérennes et performants pour l'assemblage de véhicules automobiles

5.1. Méthode de spécification des tolérances au plus tôt dans le cycle de conception

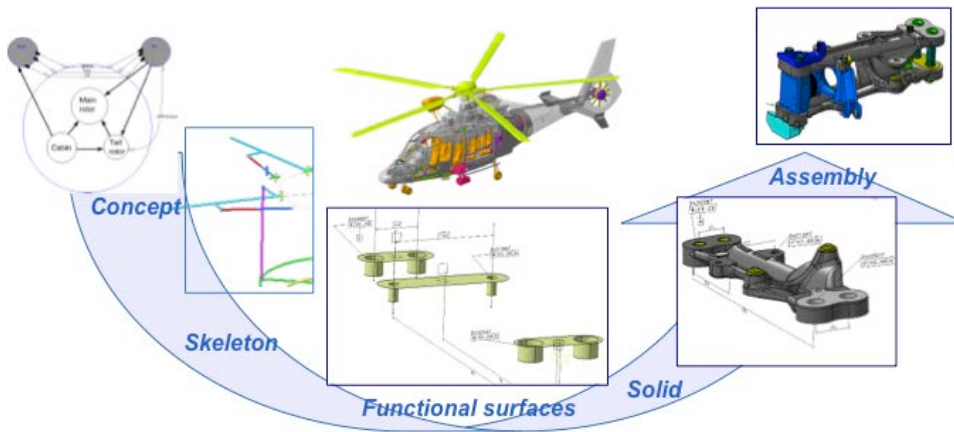
La spécification des pièces d'un ensemble mécanique est une activité de la conception qui se pratique traditionnellement en fin de projet après la phase de conception détaillée. Cette activité s'appuie sur l'expertise des concepteurs et s'exprime dans un langage graphique normalisé sur les formes du modèle nominal de la pièce. Après avoir choisi et indiqué les valeurs des tolérances, un modèle de cumul des valeurs permet de vérifier le respect ou non des exigences fonctionnelles. Cette phase de cotation appelée « spécification » peut être plus ou moins automatisée comme le propose B. Anselmetti avec QUICK GPS. Cependant, avec l'apparition de théories de conception et la formalisation de nouvelles méthodes telle que la conception systématique de Pal et Beitz qui propose un processus en 3 phases, conceptuelle, structurale et détaillée, on peut envisager de considérer autrement l'influence des variations géométriques et de mesurer la sensibilité des solutions constructives aux variations. Ce travail s'inscrit dans le cadre du GRC « assemblage flexible » avec EADS et a fait l'objet de la thèse de Renaud Costadoat soutenue en juillet 2010.

5.1.1. Objectifs des travaux

La recherche entreprise a pour objectif de mettre au point une méthode de spécification tout le long de la conception visant à déterminer à chacune des étapes, la géométrie minimale ainsi que les spécifications permettant de mesurer la robustesse des solutions constructives. La modélisation des écarts de géométrie est celle des corps rigides représentés par le torseur des petits déplacements.

5.1.2. Principaux résultats obtenus

Le premier résultat de ce travail est une méthode de spécification s'appuyant sur plusieurs vues de la géométrie, le squelette (éléments de situation) et la peau (surfaces fonctionnelles). La première vue basée uniquement sur des éléments géométriques de type point, droite, plan et hélice déduits des liaisons cinématiques permet d'identifier les degrés d'hyperstatisme dans un premier temps et de mesurer la sensibilité de l'architecture du mécanisme aux variations géométriques dans un second temps, donc de quantifier dans un premier temps sa robustesse. Le mécanisme est représenté de manière abstraite par des graphes et les calculs sont supportés par des équations traduisant les cycles. En fonction des résultats, le concepteur est guidé pour revoir la structure du mécanisme. Chaque liaison peut ensuite être spécifiée pour répondre aux exigences fonctionnelles. La deuxième vue est basée sur les surfaces fonctionnelles construites autour du squelette en fonction des solutions constructives retenues. La méthode permet ensuite de proposer des spécifications géométriques des surfaces sur la base de la recherche des pièces, des surfaces et des écarts influents. L'expression de la spécification s'appuie sur le langage GeoSpelling.



5.1.3. Commentaires

La méthode proposée GeoSpecif montre la faisabilité de traiter aux plus tôt les variations géométriques en s'appuyant sur une représentation minimale de la géométrie nominale à chaque étape dans la maquette numérique. Cette approche remet en cause la manière de concevoir la maquette numérique d'un produit et montre tout l'intérêt de construire une maquette géométrique continue et liée correspondant aux différentes étapes de l'ingénierie. Cette approche baptisée GASAP (Geometry As Soon As Possible) a fait l'objet par EADS d'un développement d'un produit de gestion des données tout au long du développement appelé GAIA.

5.2. Méthode de conception innovante pour la sécurité des opérateurs

Le déclencheur de ce travail est une sollicitation du LURPA par le Cemagref. Le besoin de recherche provient des chiffres alarmants des accidents mortels provoqués par certains sous-ensembles du machinisme agricole et en particulier par la liaison tracteur-outil. La prise en compte de la réglementation et des normes de sécurité en phase finale de conception par les constructeurs de moyens ne réussit pas à traiter le problème. Il nous a été demandé de trouver une méthode de conception plus efficiente intégrant la sécurité des opérateurs. Pour répondre à ce besoin, nous avons construit un projet de collaboration entre l'équipe Géo3D du LURPA et l'équipe Risques et conception mécanique de l'unité de recherche TSAN (Technologie pour la sécurité et les performances des agroéquipements) de l'IRSTEA (Cemagref).

5.2.1. Objectifs des travaux

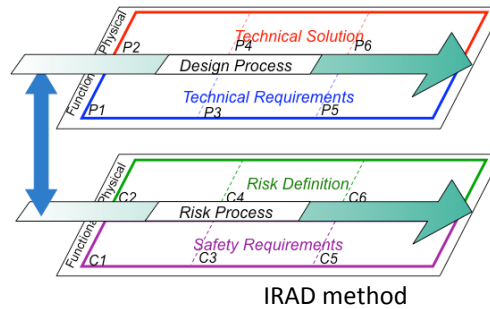
Les travaux réalisés dans ce cadre ont fait l'objet dans un premier temps de la thèse de Rima Ghemraoui qui a été soutenue en novembre 2009. Cette thèse avait pour objectif de mettre au point une méthode de conception intégrant les solutions techniques et la sécurité humaine.

Ce travail de thèse est à l'intersection de deux domaines scientifiques, celui de l'analyse des risques opérateurs et celui des théories et méthodes de conception. Les activités issues de ces deux domaines sont considérées séquentielles de par les caractéristiques inhérentes de chacune. Cependant, le retour d'expériences montre que ce type d'approche séquentielle ne permet pas d'atteindre les résultats escomptés. Il est apparu le besoin d'une prise en compte simultanée de ces deux disciplines tout au long de la conception des produits. Néanmoins, la première problématique, à laquelle, les chercheurs ainsi que les concepteurs se sont confrontés est la suivante : Comment analyser et identifier les risques, au plus tôt dans la conception, aux étapes où peu de détails concernant le produit ont été effectués ? Malgré les études menées dans le domaine de la prise en considération des données incertaines au plus tôt dans le processus de développement d'un produit, les zones d'ombres restent multiples. Certains travaux se sont penchés sur la pluridisciplinarité nécessaire des acteurs de la conception. Aucun moyen méthodologique n'avait alors été proposé. D'autres travaux s'appuient sur la prise en compte du retour d'expérience. Ce dernier aspect manque cependant encore de formalisation pour être intégré d'une manière structurée dans la conception d'un nouveau produit. La nécessité de disposer de méthodes et d'outils d'assistance pour fusionner les notions techniques et celles de la sécurité humaines constitue le cadre dans lequel nous avons mené nos travaux. L'objectif de cette thèse est de proposer une méthode de préconception basée sur les outils méthodologiques existants et permettant l'intégration structurée et formelle de la sécurité des utilisateurs. Cette méthode se basera sur la définition et l'expression des exigences de sécurité tout au long du processus de conception. Ainsi, la synthèse des solutions techniques s'effectuera simultanément sur la base des exigences de sécurité et les exigences techniques.

Pour faire suite aux résultats encourageants de la méthode IRAD (Innovative Risk Assessment Design) proposée par R. Ghemraoui, une seconde thèse a été engagée. Les objectifs de la thèse de Leyla Sadeghi sont de consolider la méthode IRAD et la rendre opérationnelle.

5.2.2. Principaux résultats obtenus

L'idée initiale a été de prendre en compte l'analyse des risques tout le long du cycle de conception. La méthode IRAD proposée, s'appuie sur les trois phases de la conception systématique de Pahl et Beitz (Conceptual, Embodiment et Detail) et sur les deux domaines de la théorie Axiomatic Design de Shuh (Functional et Physical). A chacune de ces 6 étapes correspond une activité d'analyse des risques, au niveau des spécifications et au niveau des choix du concepteur. La méthode est déployée pour trois situations de conception, la prise en compte du retour d'expériences, l'analyse de solutions existantes et la synthèse de solutions de conception. Au-delà de la méthode proposée, l'apport de ce travail concerne la formalisation des exigences de sécurité dans le cahier des charges de conception et leur exploitation dans la recherche de solutions constructives.



Une première contribution scientifique résulte de ces travaux : un modèle conceptuel d'intégration de la sécurité et de la conception. Ce modèle est alors basé sur une représentation systématique du processus de conception qui va permettre la création et la représentation systématique d'un processus des risques. De ce modèle va découler un premier apport original : une vision du risque non pas comme une résultante du produit entier, mais une dégénération du besoin ; des concepts et par suite des grandeurs physiques ; de l'architecture et ainsi des caractéristiques spatiales et géométriques et enfin des composants et des données comportementales qui s'ensuivent. Un deuxième apport original réside dans la création des contextes du risque. Ainsi, nous avons six contextes décrivant chacun un point de vue de la sécurité suivant l'état d'avancement du développement du produit.

Cette méthode baptisée « IRAD method » permet trois cas d'emploi : (1) l'expression des exigences de sécurité à travers l'analyse et l'abstraction structurée du retour d'expérience, (2) l'expression des exigences de sécurité à travers l'analyse des risques des choix techniques au cours de la conception et (3) la synthèse des solutions intégrant les exigences de sécurité. Les outils de formalisation des différents cas sont aussi donnés. La méthode IRAD a été appliquée au cas industriel de la liaison trois points entre un tracteur et une machine et l'analyse d'un point de vue technique et de sécurité a permis de dégager de nouvelles exigences de sécurité et de proposer quelques principes de solutions sécuritaires. Un principe a fait l'objet d'une recherche de solution constructive qui a fait l'objet d'un dépôt de brevet par le Cemagref. Le travail réalisé a fait l'objet de trois distinctions, 1- meilleure conférence à ICAD 2009, 2- prix recherche-industrie de l'IMdR, 3- médaille d'argent 2010 de l'Académie d'Agriculture.

5.2.3. Commentaires

La mise en œuvre de la méthode IRAD reste délicate à conduire par les concepteurs compte tenu du manque de support informatique. Les travaux de thèse de Leyla Sadeghi visent à formaliser l'ensemble des données et des connaissances liées au retour d'expérience pour offrir aux concepteurs un environnement d'aide à la décision. Deux processus ont été formalisés. Un premier noté FRE (Functional Reverse Engineering) permet d'analyser selon IRAD une solution à risques (cas d'emploi 1) afin d'exprimer les nouvelles exigences et un second noté FR2E (Functional Re-engineering) permet à partir de ces nouvelles exigences de proposer de nouvelles solutions constructives. L'application retenue pour la validation est l'arbre de transmission entre un tracteur et une machine.

5.3. Méthode de conception produit/process pour l'installation modulaire des systèmes aéronautiques

La problématique industrielle est posée par EADS Innovation Works dans le cadre d'Innocampus et plus particulièrement dans le contexte du GRC « Assemblage flexible ». Les enjeux industriels et économiques de la réalisation des avions poussent les constructeurs à rechercher en permanence des solutions constructives innovantes permettant de répondre aux nouvelles contraintes de notre monde moderne. Un objectif majeur aujourd'hui est de combattre les consommations d'énergies en visant entre autres à réduire les masses sans pour autant oublier les objectifs classiques dus à la concurrence que sont les délais de livraison de plus en plus courts, les coûts de plus en plus faibles sans dégrader la qualité.

Parmi l'ensemble des voies envisagées pour atteindre ces objectifs de développement durable, il en est une qui porte sur la recherche de nouveaux concepts produit/process pour l'assemblage des systèmes électriques, optiques, hydrauliques, fluidiques (air et eau), etc. des avions. Ces systèmes multi physiques, très divers de par leur nature et très complexes de par leur fonctions, représentent une part importante des masses, des coûts et des temps de production. Leur installation dans la structure se fait aujourd'hui en phase finale d'assemblage avec des processus complexes compte tenu de l'imbrication forte de la structure et des systèmes. De plus, ces systèmes subissent des évolutions importantes et tardives dans le cycle de développement dues à la personnalisation des produits et parfois dues à un manque de maturité de la conception par l'intégration de nouveaux composants.

5.3.1. Objectifs des travaux

Les travaux réalisés pour répondre à ce besoin industriel ont fait l'objet de la thèse de Pierre Mons qui devrait être soutenue en 2013. L'objectif du travail envisagé vise à réduire les temps d'assemblage par la recherche de nouveaux concepts produit/process et par la mise au point d'une méthode de conception permettant d'évaluer les solutions envisagées, leur modification et la montée en cadence de la production. Ce sujet peut avoir de grandes conséquences puisqu'il touche non seulement le produit et les processus de production, mais aussi le système de production lui-même et l'organisation industrielle associée. La méthode de conception devra aider les concepteurs en fournissant des éléments quantitatifs à même de promouvoir des solutions faciles à installer et de faibles coûts. La méthode proposée sera expérimentée sur différentes alternatives de conception. En plus de l'objectif « durée du processus d'assemblage », ces conceptions seront évaluées suivant les critères les plus pertinents qui sont à déterminer et une référence de comparaison qui est à établir.

5.3.2. Principaux résultats obtenus

Inspiré par d'autres secteurs industriels tels que l'automobile, l'industrie électrique, le bâtiment, etc, la « conception modulaire » des assemblages a été retenue pour tenter de répondre à ces objectifs. Cette voie permettra d'envisager l'installation des systèmes par les différents partenaires du découpage industriel d'un avion, et d'accélérer selon les concepts retenus, les gains de temps dans la phase d'assemblage. Une recherche bibliographique a permis de comprendre les mécanismes de découpage des systèmes en analysant les solutions retenues, leurs caractéristiques et les conséquences de cette approche sur le système de production et son organisation. Pour initier la méthode de conception, les concepts suivants d'installation modulaire de systèmes ont été envisagés :

- Module de structure avec des systèmes pré-intégrés,
- Structure modulaire comportant une sous-structure porteuse de systèmes et pouvant jouer un rôle fonctionnel,
- Installation groupée de plusieurs systèmes simultanément à l'aide d'outillage.

Sur cette base de concepts, les travaux ont conduit après validation expérimentale de maquetage à déposer 3 brevets sur le concept de structure modulaire pour l'assemblage d'avion.

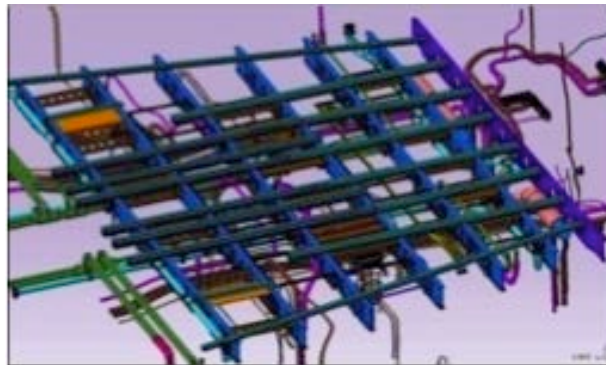
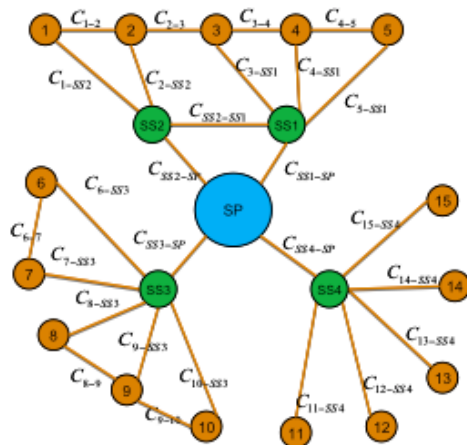
La méthode d'aide à la conception qui est proposée permet de rechercher des zones pertinentes d'utilisation de modules via le modèle de macro-cluster. Les macro-clusters sont pilotés par la recherche de gain sur la masse et sur le temps d'installation des systèmes aéronautiques. Le modèle de macro-cluster est associé à un outil permettant de visualiser, sous forme de cartographie les zones pertinentes d'utilisation de modules. Le macro-clustering constitue une évolution de la démarche de conception d'une architecture système.

A partir des macro-clusters, un affinage de la recherche permet de converger vers une solution initiale de modules, basé sur le modèle de micro-clusters. L'obtention de micro-clusters est pilotée par une fonction objectif intégrant des paramètres liés aux exigences métiers tel que : la maintenance, la fabrication et l'assemblage. Le traitement de cette fonction objectif fait l'objet de l'utilisation d'un algorithme de clustering. Le micro-clustering constitue une deuxième évolution de la démarche de conception d'une architecture système.

D'un point de vue méthodologique, les travaux aboutissent à une évolution de la démarche industrielle de conception d'un avion. Cette évolution est basée sur l'intégration et sur le traitement des modèles de macro-clusters et micro-clusters proposés.

D'un point de vue opérationnel, les résultats contribuent à l'enrichissement de la maquette numérique de l'architecture système. L'évolution proposée permet d'apporter à la maquette numérique initiale, des entités de conception modulaire décrites par une géométrie, des caractéristiques techniques et des indicateurs de performance. De plus, une visualisation des zones d'implantation pertinente de modules est proposée aux concepteurs.

La méthode d'aide à la conception agrémentée des outils proposés a été validée lors de la réalisation d'un projet industriel : « Airbus Floor Grid Module A350 XWB ». Les résultats obtenus sont actuellement développés pour être intégrés dans la conception finale de l'A350 – 900.



5.4. Méthode de conception de systèmes innovants, pérennes et performants pour l'assemblage de véhicules automobiles

L'industrie automobile doit procéder à une augmentation rapide du nombre de modèles mis sur le marché. En effet, la clientèle, de plus en plus versatile, recherche de nouveaux concepts automobiles adaptés à ses usages qui sont, eux-mêmes, en évolution constante. Une fois son modèle choisi, le client veut avoir un véhicule unique. Ceci conduit les constructeurs à proposer de multiples possibilités d'adaptation : pièces de décor, peintures spécifiques, pièces d'équipement à la teinte. Dans le contexte économique actuel, les solutions d'ateliers flexibles développées dans les années 80 et 90 n'offrent plus les mêmes perspectives de rentabilité. Par conséquent, il est nécessaire de développer et appliquer des modèles technico-économiques adaptés à la performance attendue par le marché.

De nombreux travaux scientifiques ont déjà été réalisés sur des modèles de traitement de la complexité induite par la diversité croissante en traitant plus particulièrement les principaux thèmes suivants:

- Typologie des lignes d'assemblage (parallèle ou série, combinaison parallèle / série que cela soit en synchrone ou asynchrone) en fonction de la cascade d'assemblage du produit et de la diversité de chacun de ses composants,
- Optimisation du lieu d'introduction de la diversité dans une ligne d'assemblage,
- Production à la demande du marché et séquençement optimal associé des produits sur la ligne d'assemblage,
- Équilibrage des postes de travail et prise en compte des perturbations industrielles.

5.4.1. Objectifs des travaux

Pour répondre à ce besoin industriel, la thèse de Meriem Lafou vient de démarrer. L'objectif des travaux est de proposer une méthode de conception de systèmes innovants pour l'assemblage des véhicules automobiles. Cette méthode sera guidée par des modèles de systèmes d'assemblage à définir, capables de faire face à la diversité des produits. Le travail devra proposer des critères pour l'évaluation de la performance de ces systèmes. Les solutions devront être positionnées par rapport aux systèmes existants dans le secteur automobile et par rapport à d'autres systèmes manufacturiers concernés par la diversité. Les modèles proposés feront l'objet d'une mise à l'épreuve sur des cas types de l'entreprise.

5.4.2. Principaux résultats obtenus

Le travail de recherche étant dans sa phase de démarrage, les résultats obtenus se résument aujourd'hui à un recensement bibliographique des paramètres de performance des systèmes d'assemblage et à leur application sur un cas type de l'entreprise.

6. Équipement expérimental

6.1. Plateforme PREMIUM

La plateforme PREMIUM est constitué d'un centre d'usinage 5 axes grande vitesse Mikron UCP 710 et sa commande numérique Siemens 840D d'une part, et de la commande numérique PREMIUM-OpenCNC d'autre part.

Sur le plan matériel, la commande numérique PREMIUM-OpenCNC s'appuie sur un ordinateur temps réel dSPACE qui offre un environnement convivial de développement avec Matlab/Simulink. Le système modulaire est composé d'une carte de calcul DS1006 (AMD Opteron 2.8 GHz) et de cartes entrées-sorties :

- La carte DS3002 permet de lire les signaux des règles de mesure,
- Les sorties analogiques de la carte DS2102 sont utilisées pour piloter les variateurs,
- La carte d'entrées-sorties tout ou rien DS4003 permet de faire l'interface du comportement logique,
- La carte entrée analogique DS2002 sert à récupérer le signal du potentiomètre des avances.

L'avantage de ce système modulaire est de pouvoir disposer de nombreux types de connections pour par exemple connecter une platine d'effort sur les entrées analogiques ou un système de mesure optique sur le port série de la carte DS1006.

Les variateurs numériques de la commande numérique Siemens 840 D qui pilote normalement le centre d'usinage 5 axes ont été remplacés par des variateurs analogiques Siemens 611U. Les retours des règles optiques de mesure ont été dédoublés à l'aide de boîtiers spécifiques Heidenhain. Ainsi, il faut environ une heure de manipulation pour passer de la configuration CN Siemens à la configuration CN ouverte.

Le centre d'usinage possède quand à lui une structure RRTT avec rotations sur les axes A et C. Les caractéristiques du centre d'usinage sont données dans le tableau suivant :

	Axe X	Axe Y	Axe Z	Axe A	Axe C
Vitesse des axes	30 m/min	30 m/min	30 m/min	15 tr/min	20 tr/min
Accélération des axes	2,5 m/s ²	3 m/s ²	2,1 m/s ²	0,83 tr/s ²	0,83 tr/s ²
Jerk de axes	5 m/s ³	5 m/s ³	50 m/s ³	5 tr/s ³	100 tr/s ³
Fréquence de broche	18000 tr/min				
Puissance à la broche	15 kw				



Centre de fraisage Mikron UCP 710 et la commande numérique PREMIUM Open-CNC

6.2. Platine d'efforts de coupe

Le dispositif permettant de mesurer un effort selon 3 composantes (XYZ) est constitué d'une platine dynamométrique à quartz Kistler 9265B et d'un amplificateur de charge 5070A.

La base de fixation pour les éprouvettes est de 203x135 mm. Les actions mécaniques peuvent varier sur la pleine échelle (+/- 10V) entre un niveau maximal d'environ -15 à 30 kN selon les directions et un niveau minimal de 25N à 54N. La dynamique de mesure peut varier entre un niveau quasi-statique à des fréquences d'environ 45kHz.

La platine s'intègre totalement à la plateforme PREMIUM permettant une mesure synchronisée sur le centre UGV - permettant de coupler position réelle des axes de la machine et action mécanique de coupe.

Ce système permet naturellement d'étudier les actions mécaniques de coupe, et de par ses capacités de mesure, tant dans un contexte d'ébauche que de finition. Il a ainsi permis de mener des investigations sur les actions mécaniques en finition dans les travaux étudiant le lien entre usinage à grande vitesse et intégrité de surface [thèse Guillemot 2010][thèse Souto-Label en cours].

Suite aux développements récents sur la CN ouverte [thèse Beudaert 2013], notamment l'interpolation des trajectoires, il permettrait d'étudier le lien direct entre le procédé d'usinage et les problématiques cinématique et dynamique des centres UGV.



Platine dynamométrique à quartz Kistler 9265B et amplificateur de charge 5070A

6.3. Cellule de mesure par coordonnées multi-capteurs

La cellule de mesure du LURPA permet de réaliser des mesures 3D multi-échelle dans un environnement contrôlé. Il s'agit d'un volume de 83m³ isolé du reste du site expérimental, régulé en température et humidité suivant les recommandations normalisées en vigueur dans la métrologie à l'aide d'un système de climatisation dite de « précision » à détente directe, à refroidissement par air Emerson.

La cellule de mesure dispose d'un ensemble intégré composé :

- d'une MMT de marque Renault équipée d'une tête PH10 Renishaw autorisant cinq degrés de liberté,
- de palpeurs à contact TP2 Renishaw
- d'un capteur laser sans contact Zephyr II Kreon
- de crayons optiques de mesure micro-géométrique confocale Stil

Cet ensemble permet la mesure 3D sans contact et/ou avec contact dans un même environnement grâce à l'utilisation concurrente et/ou collaborative des différents capteurs disponibles. Il est ainsi possible d'avoir pour une même surface une mesure micro-géométrique (rugosité...), dimensionnelle ou encore géométrique avec des densités de points très variables en fonction de l'application envisagée.

Cet ensemble permet la mesure 3D sans contact et/ou avec contact dans un même environnement grâce à l'utilisation concurrente et/ou collaborative des différents capteurs disponibles. Il est ainsi possible d'avoir pour une même surface une mesure micro-géométrique (rugosité...), dimensionnelle ou encore géométrique avec des densités de points très variables en fonction de l'application envisagée.



Système de mesure multi-capteurs

La gestion et le traitement des données se fait à l'aide de logiciel Geomagic, Polygonia, Prelud Inspection, SurfaceMap ainsi que d'un ensemble de logiciels développés en interne permettant la génération et le pilotage automatique des trajectoires de numérisation ainsi que du traitement des données (qualification, segmentation...) en fonction de la qualité des données requis par l'application envisagée.

La cellule de mesure dispose également d'une station de mesures indépendantes Micromesue Stil et d'un ensemble de caméras permettant la mesure par Photogrammétrie.

6.4. Capteur Confocal

Le Lurpa est équipé de trois crayons de mesure STIL ainsi que d'une station de micromesure. Basée sur le principe de la mesure confocale chromatique, les crayons ont une plage de mesure allant de 130 μm à 400 μm , une répétabilité de 0,02 μm à 0,06 μm et une résolution de 0.005 μm à 0.012 μm .

Ils peuvent être associés à un système de déplacement dédié à structure granitique permettant un déplacement de 100 mm x 100 mm avec une résolution de 0.1 μm et un défaut de planéité de 1 μm après correction.

Il est ainsi possible de mesurer des états de surface sur des échantillons fraisés [thèse Guillemot 2010][thèse Souto-Label en cours] ou polis [thèse Guiot 2012]

Le système d'acquisition lié au crayon est compatible avec le port série de la carte DS1006 du calculateur temps réel dSPACE de PREMIUM. Le centre de fraisage UCP710 peut donc être utilisé comme système de déplacement et les échantillons mesurés directement dans l'espace de travail de la machine.



Crayon de mesure et station de micromesure Stil

7. Collaborations nationales et internationales

Pour la période considérée, les membres de l'Équipe Géo3D ont mené à bien différentes collaborations nationales ou internationales. Dans ce document, seules les collaborations ayant donné lieu à au moins une publication ou un encadrement de thèse sont mentionnées.

7.1. Collaborations nationales

LNE (Laboratoire National d'Essais)

Plusieurs travaux sont réalisés en collaboration avec le LNE.

Les travaux portant sur l'étalonnage d'un espace de travail 3D par multilatération sont effectués dans le cadre de la thèse de M. Camboulives dirigée par C. Lartigue et M. Vaillieu.

Les travaux portant sur la reconstruction rapide de surfaces à partir de grands flots de données sont effectués dans le cadre de la thèse de N. El Hayek dirigée par O. Gibaru (Arts et Métiers Paris Tech) et N. Anwer. Ils ont donné lieu à publications [CAI 59], [CAI 60], [CAI 61], [CAI 62], [CAI 63].

IRSTEA (Antony)

L'IRSTEA est l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture, ex CEMAGREF. La collaboration porte sur les méthodes de conception efficaces intégrant la sécurité des opérateurs. Les travaux sont réalisés dans le cadre des thèses de R. Ghemraoui [TH 8] et L. Sadeghi dirigées par L. Mathieu. Ils ont donné lieu à publications [ACL 11], [CAI 13], [CAI 24], [CAI 36],[CAI 57], [CAI 69], [CAI 70], [CAN 9], [CAN 15], [CAN 20], [CAN 29].

Département d'automatique SUPELEC (Gif sur Yvette)

La collaboration avec Didier Dumur porte sur les lois de commande des systèmes poly articulés et a donné lieu à publications [ACL 30]. Le projet PREMIUM « Plateforme de Recherche Mutualisée pour l'Innovation en Usinage Multi-axes » a été réalisé dans le cadre du partenariat.

LMT - ENS Cachan (Institut Farman)

Les travaux sur l'intégrité des surfaces usinées sont réalisés dans le cadre des thèses de N. Guillemot [TH 12] et A. Souto Lebel. Ils ont donné lieu à publications [ACL 22], [ACL 38], [CAI 18], [CAI 23], [CAI 25], [CAI 29], [CAI 38], [CAI 45], [CAI 46], [CAN 2], [CAN 11], [CAN 16], [CAN 17], [CAN 31].

Les travaux sur les assemblages flexibles ont été réalisés dans le cadre de la thèse d'A. Stricher [TH20]. Ils ont donné lieu à brevet [BRE 4] et publication [CAI 15].

Les travaux sur les calculs parallèles en simulation d'usinage ont été développés dans le cadre du projet de fin d'étude de F. Abecassis. Ces travaux ont donné lieu à publication [CAI 64].

CMLA - ENS Cachan (Institut Farman)

Les travaux sur la Géométrie inverse pour l'industrie ont été réalisés dans le cadre de la thèse de J. Digne dirigée par J.-P. Morel (CMLA). Les travaux ont donné lieu à publications [ACL 17], [ACL 23], [ACL 24], [ACL 26], [CAI 17], [CAI 20], [CAI 43], [CAI 44], [CAN 24].

LABOMAP, Arts et Métiers Paristech Cluny, Pr Poulachon

Les travaux ont porté sur le polissage automatique de prothèses médicales et ont donné lieu à publication [ACL 40], [CAI 33], [CAN 21].

Université de Bordeaux 1

Les travaux sur les modèles pour la spécification géométrique univoque des pièces et des assemblages ayant fait l'objet en 2005 de la publication d'une norme de base ISO se sont poursuivis avec A. Ballu (Université de Bordeaux 1) sur les Fondements du Skin model. Les travaux ont donné lieu à publications, [OUV 4], [ACL 1], [ACL 3], [ACL 43].

Arts et Métiers ParisTech (CER Metz)

Les travaux sur le Skin model et Geospelling ont vu leur application étendue aux engrenages et ont fait l'objet de publications avec J.Y. Dantan [OUV 1], [ACL 3], [ACL 15].

IRCCyN, Ecole Centrale de Nantes, Université de Nantes

Les travaux ont porté sur la génération de trajectoires de ponçage de structures aéronautiques en composite CFRP dans le cadre du master de J.Belchior [M 11].

7.2. Collaborations internationales

Unité de recherche de mécanique des solides, des structures et de développement technologique de l'Ecole Supérieure des Sciences et Techniques de Tunis (Tunisie)

Les travaux ont porté sur le tolérancement de fabrication dans le cadre de la thèse en cotutelle de B. Ayadi [TH1] et ont donné lieu à publication [ACL 5].

Chair of Engineering Design, Friedrich Alexander University Erlangen-Nurember (Allemagne)

Collaboration scientifique de L. Mathieu et N. Anwer avec le professeur Wartzack et son équipe dans le cadre du Skin model pour les assemblages. Cette collaboration a donné lieu aux publications communes [ACL 48], [CAI 49], [CAI 58].

Lauréat de l'appel à projet 2013 France-Bavière (CCUFB-BFHZ) avec l'université d'Erlangen-Nuremberg– Project : A discrete geometry tolerance analysis framework (05/2013 – 04/ 2014)

Laboratoire des Machines Hydrauliques, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse)

Collaboration scientifique de C. Tournier avec François Avellan initiée lors du CRCT (de septembre 2010 à juin 2011) de C. Tournier dans le cadre de l'optimisation de la conception d'aubes de turbines. Cette collaboration a donné lieu aux publications communes [ACL 45], [CAI 68].

Laboratoire de recherche en Fabrication Virtuelle, École Polytechnique de Montréal (Canada)

Collaboration scientifique avec René Mayer dans le cadre de la modélisation des défauts géométriques des machines. Cette collaboration a donné lieu aux publications communes [ACL 20], [ACL 28], [ACL 29], [CAI 41].

Manufacturing Automation Laboratory, University of British Columbia, Vancouver (Canada)

Lauréat de l'appel à projet 2011 France Canada Research Fund pour financer un séjour d'un mois au Manufacturing Automation Laboratory pour échanger sur le projet PREMIUM avec le Pr Y.Altintas (10/2011).

Worcester Polytechnic Institute, Massachusetts (USA)

Collaboration scientifique avec Christopher A. Brown.

Des travaux d'application de la méthode IRAD pour la conception sûre, à des équipements de sport ont fait l'objet en 2011 d'une communication à ICAD [CAI 36] avec le Professeur Brown.

Claire Lartigue a été professeur invité au Worcester Polytechnic Institute en Octobre 2012 pendant 2 semaines afin d'établir une collaboration sur l'analyse fractale multi-échelle de la topographie 3D des surfaces usinées. Cette collaboration donne lieu à une publication (soumise), et à des échanges d'étudiants (1 stage de Master et 1 stage de DUT en 2013).

Le professeur Christopher Brown sera accueilli en tant que professeur invité de l'ENS Cachan au laboratoire en septembre 2013 pour une durée de 1 mois.

Université de Tsinghua (Chine)

Collaboration scientifique avec J. Wang et J. Yang dans le cadre de l'analyse de tolérances et des algèbres géométriques pour le tolérancement. Cette collaboration a donné lieu aux publications communes [CAI 6], [CAI 50].

Nabil Anwer a été professeur invité à l'université de Tsinghua (2006-2008).

Nabil Anwer est directeur du centre Franco-Chinois de l'innovation PLM à l'université de Tsinghua (PLMIC). Ce centre est reconnu comme centre R&D Franco-Chinois (Ambassade de France) et structure de R&D Sino-Européenne (Commission Européenne).

Université de Beihang (Chine)

Collaboration scientifique avec L. Qiao et S. Xu dans le cadre de

- Langages de description de processus d'assemblage à base de Skin model
- Méthodes formelles pour l'opérationnalisation de GeoSpelling
- Reconstruction de formes à partir de représentations géométriques multiples

Cette collaboration a donné lieu à publication [ACL 42].

N. Anwer est Professeur invité à l'université de Beihang à Pékin (25/10/2010 – 15/11/2010 ; 31/10/2011 – 27/11/2011 ; 29/10/2012 – 18/11/2012 ; 20/10/2013 – 10/11/2013).

Nabil Anwer est Expert Talent from Overseas à la School of Mechanical Engineering and Automation de l'université de Beihang (depuis 2012)

Université de Technologie de Pékin (Chine)

Collaboration scientifique avec M. Zhang dans le cadre de l'utilisation du Skin model pour les engrenages.[ACL 47], [CAI 26], [CAI 37], [CAI 49].

8. Activités d'animation et de rayonnement national et international

8.1. Activités au plan national

Participation à des instances d'animation

- Conseil National des Universités, section 60 :
 - C. Lartigue : membre nommé rang A pour le mandat 2007/2011 et membre du bureau (assesseur) de mai 2010 à juin 2011
- B. Anselmetti anime le GRIT (Groupe de Réflexions Industrielles en tolérancement), groupe composé uniquement de spécialistes du tolérancement de grandes entreprises, se réunit 3 fois par an, au LURPA
- L. Mathieu est expert à l'UNM (Union de la Normalisation de la Mécanique).
- L. Mathieu est co-créateur et co-animateur du GRT « Groupe national de Recherche en Tolérancement », rassemblant les collègues de la thématique de 9 laboratoires nationaux (2001 à Juin 2009).
- C. Tournier a été directeur du pôle Ile de France du réseau AIP-PRIMECA de 2011 à 2013
- C. Tournier est co-responsable depuis 2006 de l'animation du groupe de travail national en fabrication « Manufacturing 21 » regroupant 18 laboratoires nationaux

Participation à des jurys de thèses ou d'HdR

Jurys de thèses

Dans la période de référence, les permanents de l'équipe ISA ont participé à **28 jurys de thèse hors ENS Cachan** (16 en tant que Rapporteur et 9 en tant que Président) :

- C. Lartigue (Rapporteur) 11/2008 : Thèse de C. Castagnetti de Université Blaise Pascal, dirigée par P. Ray
- L. Mathieu (Rapporteur) 12/2008 : Thèse de A. Ishell de Université de Bourgogne, dirigée par J.-F. Fontaine
- C. Lartigue (Président) 04/2009 : Thèse de M. Panchetti de ENSAM Paris tech, dirigée par P. Véron
- C. Tournier (Examineur) 09/2009 : Thèse de J. Chaves-Jacob de ENSAM Paris tech Cluny, dirigée par G. Poulachon
- L. Mathieu (Rapporteur) 10/2009 : Thèse de H. Favrelières de Université de Savoie, dirigée par S. Samper
- L. Mathieu (Rapporteur) 10/2009 : Thèse de M. Kamali Nejad de Université Joseph Fourier de Grenoble, dirigée par F. Villeneuve
- C. Lartigue (Rapporteur) 12/2009 : Thèse de T. Bonnemains de Université Blaise Pascal, dirigée par P. Ray
- L. Mathieu (Rapporteur) 06/2010 : Thèse de J.-P. Vincent de ENSAM, dirigée par J.-Y. Dantan
- L. Mathieu (Rapporteur) 06/2010 : Thèse de F. Demoly de Université Technologique de Belfort-Montbéliard, dirigée par S. Gomes
- L. Mathieu (Président) 07/2010 : Thèse de A. Boussami de ENS Cachan, dirigée par V. Albe
- L. Mathieu (Rapporteur) 07/2010 : Thèse de M. Socoliuc de Ecole Centrale, dirigée par A. Rivière
- N. Anwer (Examineur) 09/2010 : Thèse de A. Durupt de UTT, dirigée par P. Lafon/S. Remy
- C. Lartigue (Président) 10/2010 : Thèse de R. Bonnard de Ecole Centrale de Nantes, dirigée par P. Mognol/J.-Y. Hascoët
- C. Lartigue (Président) 11/2010 : Thèse de T. Breteau de Ecole Centrale de Nantes, dirigée par J.-Y. Hascoët
- C. Lartigue (Examineur) 11/2010 : Thèse de J. Digne de ENS Cachan, dirigée par J.-M. Morel
- C. Lartigue (Président) 11/2010 : Thèse de R. Laguionie de Ecole Centrale de Nantes, dirigée par J.-Y. Hascoët
- B. Anselmetti (Rapporteur) 11/2010 : Thèse de A. Mezghani de Supméca, dirigée par A. Rivière
- L. Mathieu (Rapporteur) 12/2010 : Thèse de S. Moriere de Université de la Méditerranée, dirigée par J.-M. Linares
- B. Anselmetti (Rapporteur) 03/2011 : Thèse de L. Pierre de Univ Bordeaux, dirigée par J.-P. Nadeau
- B. Anselmetti (Rapporteur) 03/2011 : Thèse de M. Rivette de Ecole Centrale de Nantes, dirigée par B. Furet/P. Mognol
- C. Lartigue (Rapporteur) 06/2011 : Thèse de J. Shah de INSA Lyon, dirigée par D. Nélias
- C. Lartigue (Rapporteur) 07/2011 : Thèse de S. Pateloup de Université Blaise Pascal, dirigée par E. Duc
- C. Tournier (Président) 09/2011 : Thèse de P. Naisson de Université Grenoble, dirigée par H. Paris
- C. Lartigue (Rapporteur) 11/2011 : Thèse de K. Li de INPG, dirigée par J.-C. Léon
- B. Anselmetti (Rapporteur) 12/2011 : Thèse de M. Mansuy de SYMME Annecy, dirigée par M. Giordano
- B. Anselmetti (Président) 12/2011 : Thèse de M. Rafiq de ENSAM Metz, dirigée par R. Bigot
- C. Lartigue (Président) 11/2012 : Thèse de R. Ahmad de Ecole Centrale de Nantes, dirigée par J.-Y. Hascoët
- C. Tournier (Président) 12/2012 : Thèse de A. Gilbin de Université Besançon, dirigée par P. Picart

Jurys d'HDR

- C. Lartigue (Rapporteur) 11/08 : HdR de J. Rech, Université JeanMonnet St. Etienne
- L. Mathieu (Garant) 06/09 : HdR de J-Y. Dantan, ENS Cachan
- L. Mathieu (Examineur) 06/09 : HdR de A. Ballu, Université de Bordeaux 1
- C. Lartigue (Examineur) 10/09 : HdR de C. Tournier, ENS Cachan
- B. Anselmetti (Rapporteur) 10/10 : HdR de Y. Landon, Univ Toulouse
- B. Anselmetti (Examineur) 12/10 : HdR de B. Mawussi, Univ Grenoble
- C. Lartigue (Président) 11/11 : HdR de H. Chanal, Université Blaise Pascale Clermont Ferrand
- L. Mathieu (Rapporteur) 11/12 : HdR de N. Gayton, Université Blaise Pascal de Clermont Ferrand
- C. Lartigue (Rapporteur) 12/12 : HdR de S. Remy, Université technologique de Compiègne
- L. Mathieu (Rapporteur) 12/12 : HdR de D. Tessandier, Université Bordeaux 1

Participation à des comités de sélection Dans la période de référence, les permanents de l'Équipe ont participé à **40 comités de sélection** :

- MCF, IUT de Cachan, 2008 : F. Thiébaud
- PR (2 postes), Arts et Métiers Paris Tech, 2009 : C. Lartigue
- MCF (2 postes), Ecole centrale de Nantes, 2009 : C. Lartigue
- MCF, ISMP-SUPMECA, 2009 : N. Anwer
- MCF, IUT de saint Denis, 2009 : F. Thiébaud
- PR, Université Grenoble, 2009 : L. Mathieu
- MCF, Université Paris 13, 2009 : L. Mathieu
- PR, Université Paris 14, 2009 : L. Mathieu
- PR, ENS Cachan, 2010 : B. Anselmetti
- PR, ENS Cachan, 2010 : L. Mathieu
- PR, Université de Savoie Annecy, 2010 : L. Mathieu
- MCF, UTC, 2010 : L. Mathieu
- MCF (2 postes), Arts et Métiers Paris Tech, 2011 : N. Anwer
- MCF, Arts et Métiers Paris Tech, 2011 : C. Tournier
- MCF, ECP, 2011 : B. Anselmetti
- PR, ENS Cachan, 2011 : C. Lartigue
- PR, ENS Cachan, 2011 : L. Mathieu
- MCF, IUT de Cachan, 2011 : B. Anselmetti
- MCF, IUT de Cachan, 2011 : C. Lartigue
- MCF, IUT de Cachan, 2011 : F. Thiébaud
- MCF, Université de Savoie, 2011 : N. Anwer
- PR, Université Paris 6, 2011 : C. Lartigue
- MCF, UTC, 2011 : B. Anselmetti
- MCF (2 postes), Arts et Métiers Paris Tech, 2012 : C. Tournier
- PR, ECP, 2012 : B. Anselmetti
- PR, ENS Cachan, 2012 : L. Mathieu
- MCF (2 postes), IUT de Cachan, 2012 : N. Anwer
- MCF (2 postes), IUT de Cachan, 2012 : F. Thiébaud
- MCF (2 postes), IUT de Cachan, 2012 : B. Anselmetti
- MCF (2 postes), IUT de Cachan, 2012 : C. Lartigue
- MCF, Université de Bourgogne, 2012 : C. Mehdi Souzani
- MCF, Université Paris Sud, 2012 : B. Anselmetti
- MCF (3 postes), Arts et Métiers Paris Tech, 2013 : N. Anwer
- MCF, IUT de Cachan, 2013 : B. Anselmetti
- MCF, IUT de Cachan, 2013 : C. Lartigue
- MCF, IUT de Cachan, 2013 : F. Thiébaud
- MCF, IUT de Cachan, 2013 : C. Tournier
- MCF, IUT de Saint-Denis, 2013 : N. Anwer
- MCF, Université de Bourgogne, 2013 : C. Lartigue
- MCF, Université de Bourgogne, 2013 : C. Mehdi Souzani

Participation à des évaluations de projets ou d'entités

Pour la période considérée, l'AERES a sollicité l'Équipe GEO3D pour **5 évaluations** :

- C. Lartigue (02/2009) : LAMPA, Laboratoire Arts et Métiers ParisTech d'Angers - Arts et Métiers ParisTech Angers
- C. Lartigue (03/2009) : LMPF, Laboratoire de mécanique et procédés de fabrication - Arts et Métiers ParisTech Châlons-en-Champagne
- C. Lartigue (12/2009) : LGP, Laboratoire Génie de Production - ENI Tarbes
- B. Anselmetti (01/2010), SYMME, SYstèmes et Matériaux pour la MEcatronique – Université de Savoie
- C. Lartigue (02/2011) : Institut Pascal, Clermont-Ferrand

Pour la période considérée, les membres de l'Équipe Géo3D ont été sollicités pour différentes évaluations :

- B. Anselmetti et C. Lartigue ont participé à diverses expertises ANR et NSERC (Canada)
- N. Anwer a participé à diverses expertises auprès de l'ANRT pour l'évaluation de CIFRE
- S. Lavernhe a participé à une expertise auprès de l'ANR pour l'évaluation d'un projet - programme AAP blanc – Accords bilatéraux 2013 - SIMI 9 - Energie, Sciences de l'Ingénierie, Procédés et Matériaux.
- C. Lartigue a été membre du conseil scientifique de l'ENSAM (Arts et Métiers Paris-Tech) de novembre 2009 à septembre 2012.
- C. Lartigue a été expert puis membre du Conseil Scientifique du projet Région Pays de Loire PREMS, Procédés de fabrication émergents pour les matériaux de structure, de 2008 à 2010.
- C. Lartigue a été expert pour les évaluations de la Prime d'Excellence Scientifique (PES), section CNU 60, pour les années 2010, 2011 et 2012.
- N. Anwer est expert nommé (personnalité extérieure) depuis 2011 et a été co-animateur du groupe thématique STIC-Matériaux-Nanotechnologies du groupe Chine (Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche – Direction Générale pour la Recherche et l'Innovation - Service de la stratégie de la recherche et de l'innovation) de 2009 à 2011.
- N. Anwer est chargé de mission Chine pour le réseau national AIP-PRIMECA depuis 2009 et dirige le centre Franco-Chinois de l'innovation PLM (PLMIC) à l'université de Tsinghua depuis 2006.
- C. Tournier a effectué une mission d'expertise pour l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) dans le cadre de l'appel à projets « Grand Eolien » Avril 2012.

Organisation de congrès et séminaires

L'équipe Géo3D a organisé les journées du Groupe de Travail « Manufacturing 21 » à l'ENS de Cachan en janvier 2009 qui ont accueilli environ 50 participants.

- [MUGV 2008](#), 5ème Conférence Machine et Usinage Grande Vitesse, Nantes, 06/2008 : C. Lartigue
- Journées du Groupe de Travail « Manufacturing 21 », Cachan, 01/2009, C. Lartigue, S. Lavernhe, Y. Quinsat et C. Tournier (50 participants)
- [AIP-PRIMECA](#), 11ème Colloque National, La Plagne, 04/2009 : N. Anwer
- [MUGV 2010](#), 6ème Conférence Machine et Usinage Grande Vitesse, Cluny, 10/2010 : C.Lartigue, S.Lavernhe, C.Tournier
- [LM 17](#), 17ème congrès de maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement, La Rochelle, 10/2010 : L. Mathieu
- [AIP-PRIMECA](#), 12ème Colloque National, Le Mont Dore, 04/2011 : N. Anwer
- [AIP-PRIMECA](#), 13ème Colloque National, Le Mont-Dore, 03/2012 : N. Anwer, C. Tournier
- Journée Priméca Métrologie 3D sans contact, Cachan, 06/2012, C. Lartigue, Y. Quinsat (40 participants)
- [MUGV 2012](#), 7ème Conférence Machine et Usinage Grande Vitesse, St Etienne, 10/2012 : C. Lartigue, C. Tournier
- [LM 18](#), 18ème congrès de maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement, Tours, 10/2012 : L. Mathieu

8.2. Activités au plan international

Participation à des instances d'animation

Pour la période considérée, l'Équipe GEO3D a participé, au travers de ces membres, aux instances d'animation suivantes :

- CIRP "International Academy for Production Engineering", Scientific and Technical Committees "Design, Assembly, Optimisation":
 - L. Mathieu : Fellow Member
- ISOTC213 "Geometric Product Specification":
 - L. Mathieu : Expert

Participation à des jurys de thèses

Les permanents de l'Équipe ont participé à **2 jurys de thèses** soutenues à l'étranger en tant que rapporteur :

- L. Mathieu (Rap.) 06/2009 : Thèse de Y. Xu, dirigée par X. Jiang, University of Huddersfield (UK)
- N. Anwer (Rap.) 09/2009 : Thèse de C. Chieu, dirigée par T.-C. Lee, Hong Kong Polytechnic University (Hong Kong)

Organisation ou co-organisation de manifestations scientifiques internationales (3)

- 11th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing: "Geometric Variations within Product Life-Cycle Management", 04/2009:
 - L. Mathieu, co-chairman avec M. Giordano Université de Savoie et F. Villeneuve GESCOP Grenoble.
- 1st Sino-French Workshop Digital Factory and Digital Manufacturing, 11/2011:
 - N. Anwer, co-organisateur avec L. Qiao
- 12th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing, 05/2012:
 - L. Mathieu, co-chairman avec X. Jiang Huddersfield (UK) et A. Weckenman Erlangen (Germany)

Participation à des comités de programmes de congrès internationaux (22)

- [CPI 2007](#), 4th Conference on Integrated Design and Production, 10/2007 : C. Tournier
- [CATS 2008](#), 2nd CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems, 09/2008 : L. Mathieu
- [IDMME - VC 2008](#), Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering – Virtual Concept 2008, 10/2008 : N. Anwer
- [CAT 09](#), 11th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing, 03/2009 : L. Mathieu
- [SMI 2009](#), Shape Modeling International SMI'09, 06/2009 : N. Anwer
- [CPI 2009](#), 5th Conference on Integrated Design and Production, 10/2009 : L. Mathieu, C. Tournier
- [CAD 2010](#), 7th Annual International CAD Conference, 06/2010 : C. Mehdi Souzani
- [CATS 2010](#), 3rd CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems, 06/2010 : L. Mathieu
- [IDMME - VC 2010](#), Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering – Virtual Concept 2010, 10/2010 : N. Anwer
- [NCMIP 2011](#), 1st International ICST Workshop on New Computational Methods for Inverse Problems, 05/2011 : N. Anwer
- [CAD 2011](#), 8th Annual International CAD Conference, 06/2011 : C. Mehdi Souzani
- [CPI 2011](#), 7th Conference on Integrated Design and Production, 10/2011 : L. Mathieu, C. Tournier
- [DFDM 2011](#), 1st Sino-French Workshop on Digital Factory and Digital Manufacturing, 11/2011 : N. Anwer
- [CAT 12](#), 12th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing, 04/2012 : L. Mathieu
- [CIRP DESIGN 2010](#), 20th CIRP Design Conference, 04/2012 : L. Mathieu
- [CAD 2012](#), 9th Annual International CAD Conference, 06/2012 : C. Mehdi Souzani
- [CIRP DESIGN 2013](#), 23rd CIRP Design Conference, 03/2013 : L. Mathieu
- [CMS 2013](#), 46th CIRP Conference on Manufacturing Systems, 05/2013 : L. Mathieu
- [CAD 2013](#), 10th Annual International CAD Conference, 06/2013 : C. Mehdi Souzani
- [ICAD 2013](#), 7th International Conference on Axiomatic Design, 06/2013 : L. Mathieu
- [INGEGRAF 2013](#), 23th international Conference on Graphic Engineering, 06/2013 : N. Anwer
- [CPI 2013](#), 8th Conference on Integrated Design and Production, 10/2013 : L. Mathieu, C. Tournier

9. Activités contractuelles et valorisation

Les recherches menées dans l'Équipe Géo3D s'inscrivent dans le domaine des Sciences de l'Ingénierie. Elles partent donc de défis industriels. Pour la période considérée, les membres de l'Équipe se sont investis dans 1 projet Européen, 4 projets de recherche financés par l'État suite à un appel d'offres national, des collaborations industrielles avec 4 partenaires privilégiés, dans 2 collaborations avec des organismes de recherche et 5 collaborations locales au sein de l'ENS Cachan.

9.1. Projets de recherche européen

Locomachs, projet du FP7 09/2012 -> 02->2016

Low Cost Manufacturing and Assembly of Composite and Hybrid Structure

L'objectif du projet LOCOMACHS est la réduction voire l'élimination des opérations non productives les plus longues et donc les plus onéreuses lors de l'assemblage d'une structure aéronautique comme le pré-assemblage nécessaire à l'évaluation des jeux, au calage... Le consortium réunit 31 partenaires.

Au sein de ce projet, l'ENS est impliquée dans les domaines du tolérancement flexible, de la qualité des modèles mécaniques (LMT) et de la validation de simulation d'assemblage par la mesure (LURPA). L'objectif est de vérifier que la simulation du pré-assemblage connaissant la géométrie des composants préalablement mesurés est suffisamment précise pour éviter de réaliser le pré-assemblage physique.

9.2. Projets de recherche nationaux

Les projets de recherche nationaux auxquels a répondu l'Équipe Géo3D sont financés par l'ANR ou les investissements d'avenir géré par le cabinet du Premier Ministre.

- L'**ANR, Agence Nationale de la Recherche**, a pour mission d'augmenter la dynamique du système français de recherche et d'innovation en mettant en œuvre le financement de la recherche sur projets.
- Les investissements d'avenir ont été lancés par le Président de la République le 14 décembre 2009 pour dynamiser l'économie française.

USINE NUMERIQUE 2, FUI 3 Pôle Systém@tic Astech (09/2007 - 07/2009)

Définition d'un outil d'aide à la conception d'une ligne d'assemblage dans un environnement intégré. Application à l'assemblage d'aéronefs.

QuickGPS, FUI 7 Pôle Systém@tic Astech (09/2009 - 12/2012)

- Financements

BENICHOU Sami	15-sept-09	Contrat de recherche	15 sept 2009-31 août 2012
CAUX Mickael	1er sept 2009	Contrat de recherche	1er sept 2009-31 Août 2012
CHAVANNE Robin	1er sept 2011	Contrat de recherche	1er sept 2011-31 août 2012
ABECASSIS Félix	1er mars 2012	Contrat de recherche	1er mars 2012-30 juin 2012
PERIN Matthieu	12-nov.-12	Contrat de recherche	12 nov 2012-31 déc 2012

- Publications

Revues : [ACL 16], [ACL 21], [ACL 32], [ACL 35], [ACL 36], [ACL 37]

Conférences : [CAN 23], [CAI 2]

Chapitres d'ouvrages publiés à partir de seconde sélection dans des conférences : [OUV 5], chapitre 3

Chapitres d'ouvrages collectifs : [OUV 4], Chapitre 9

Ouvrages à caractère pédagogique et scientifique : [OUV 1], [OUV 2], [OUV 3]

Communications en colloques avec comité de lecture : [CAI 32], [CAI 42], [CAN 23]

- Encadrement de thèses à l'ENS Cachan :

B. Ayadi [TH 1], R. Chavanne [TH 13], M. Caux [TH 16], S. Bénichou [TH 17]

Sept 2012- : Mathieu PETITCUENOT (100%) Maîtrise de la qualité géométrique des pièces de formes complexes sur tout le cycle conception, fabrication et suivi de production : application à des aubes de turbines

- - Encadrement de MASTER : M. Vollebrecht [M 15], Mathieu Petitcuenot [M 27]

PREMIUM, Fondation Digiteo (09/2010 - 09/2012) Plateforme de Recherche Mutualisée pour l'Innovation en Usinage Multi-axes,

Développement d'une commande numérique ouverte pour piloter un centre UGV 5 axes.

ANGEL, FUI 7 Systém@tic Astech VIAMECA (09/2012 - 09/2014) Atelier Numérique coGnitif intEroperable et agiLe

Le projet ANGEL, présenté par le pôle SYSTEMATIC PARIS REGION, et co-labellisé par les pôles VIAMECA et ASTECH, vise à apporter des gains de productivité de l'ordre de 10% aux usineurs français. L'enjeu sera de s'appuyer sur l'exploitation de leur savoir-faire en usinage et de développer à terme un logiciel qui permettra de créer de nouveaux programmes pour piloter les machines-outils à commande numérique plus rapidement, et de manière plus fiable. Le projet ANGEL a pour objectif de développer un système pour l'Industrialisation Optimisée Intelligente de l'Usinage à travers :

- la capitalisation et l'exploitation du savoir-faire de l'usinage à partir des programmes d'usinages existants,
- la conversion directe des trajectoires-outils FAO en programmes Machine, optimisés et validés du 1er coup,
- la génération de devis rapide, précis et auto-convergent à partir de la connaissance, de la capitalisation d'expériences et de la simulation d'usinage,
- une infrastructure modulaire et basée sur des standards (STEP-NC, Web service,..) et une prise en compte des indicateurs d' « Eco-Production » (Sustainable Manufacturing)

9.3. Collaborations industrielles

Collaboration avec la société EADS INNOCAMPUS, GRC Assemblage flexible

Société EADS – 01/09/2006 au 31/08/2009

Réaliser l'assemblage virtuel de composants souples à partir de la mesure par moyens optiques des composants à l'état contraint

Contrat d'accompagnement de la thèse de Pierre Breteau

Société EADS – 01/09/2006 au 31/08/2009

Contribution à l'amélioration de la qualité géométrique du positionnement de l'effecteur d'un robot anthropomorphe dans le cas d'assemblage de structures aéronautiques

Contrat d'accompagnement de la thèse de Marc Douilly

Société EADS – 01/09/2006 au 31/08/2009

Analyse du cycle de conception, fabrication et assemblage du système de tuyauterie pour définir les actions à mener pour améliorer le processus.

Contrat d'accompagnement de la thèse de Mathieu Mounaud

Société EADS – 01/09/2007 au 31/08/2010

Aide à la spécification des tolérances

Contrat d'accompagnement de la thèse de Renaud Costadoat

Société EADS – 01/09/2008 au 31/08/2011

Tolérancement flexible d'assemblages de grandes structures aéronautiques

Contrat d'accompagnement de la thèse de Alain Stricher

Société EADS – 01/09/2008 au 31/08/2011

Assistance à l'élaboration de gammes d'assemblage

Contrat d'accompagnement de la thèse de Pierre Mons

Société EADS – 01/09/2010 au 31/08/2013

Métrologie par Coordonnées Multi-Capteurs et Multi-échelles (MC3), Applications au recalage de trajectoires en perçage robotisé

Contrat d'accompagnement de la thèse de Amina Maïza

Société EADS – 01/09/2010 au 31/08/2013

Assistance à l'élaboration de gammes d'assemblage innovantes de structures composites

Contrat d'accompagnement de la thèse de Loïc Andolfatto

Société Missler Software – 01/09/2006 au 31/08/2009

Usinage par flanc d'outil de formes complexes non développables – Analyse, simulation et amélioration des méthodes de calcul de trajectoires - Contrat d'accompagnement de la thèse CIFRE de Pierre-Yves Péchard.

Société Missler Software – 1/12/2009 au 30/11/2012

Algorithme de génération de trajectoires – Evitement des collisions en usinage à 5 axes – Contrat d'accompagnement des travaux de thèse de Virgile Lacharnay.

Société Renault – 1/09/2010 au 31/08/2013

Mesure sans contact de pièces mécaniques – application à l'équilibrage de vilebrequins – Contrat d'accompagnement de la thèse CIFRE d'Alexandre Zuquete-Guarato.

EADS Innovation Work – 01/09/2010 au 31/12/2011

Perçage écologique d'empilages – Contrat d'accompagnement du post-doctorat de Nicolas Guillemot

Collaboration avec la société SNECMA groupe Safran du 1/12/2012 au 30/11/2015

Mathieu Petitcuenot Accompagnement

9.4. Collaboration avec des organismes de recherche

LNE (Laboratoire National d'Essais)

09/2011 au 09/2014 : thèse CIFRE de M. Camboulives, Etalonnage d'un espace de travail 3D par multilatération

09/2011 au 09/2014 : thèse de N. El Hayek, Reconstruction rapide de surfaces à partir de grands flots de données

IRSTEA (anciennement Cemagref)

09/2006 au 11/2009 : thèse de R. Ghemraoui [TH 8]

09/2010 au 11/2013 : thèse de L. Sadeghi

9.5. Collaboration au sein de l'ENS Cachan

L'ENS Cachan a créé en décembre 2006 l'Institut Farman pour associer les compétences de cinq de ses laboratoires (le CMLA, le LMT, le LSV, le LURPA et le SATIE) dans le domaine de la modélisation, simulation et validation des systèmes complexes.

Pour la période considérée, l'Équipe Géo3D a participé à 5 projets portés par cet institut.

Projet COMPAS : Compliant Part Assembly, Simulation & Validation

Caractéristiques du projet :

- Durée du projet :

- 2 ans (du 1^{er} janvier 2011 au 31 décembre 2012)
- Responsables :
 - Laurent Champaney (LMT)
 - François Thiébaud (LURPA)
- Autres participants :
 - Claire Lartigue (LURPA)
 - Martin Poncelet (LMT)
 - Cyril Lacroix (M2 au LURPA)
 - Paula Goncalves (M2 au LURPA)
 - Cyril Lacroix (doctorant au LURPA)

Projet SIMSURF : Vers une simulation réaliste des états de surfaces par calculs massivement parallèles sur processeurs graphiques

Caractéristiques du projet :

- Durée du projet :
 - 2 ans (du 1^{er} janvier 2012 au 31 décembre 2013)
- Responsables :
 - Christophe Tournier (LURPA)
 - Pierre-Alain Boucard (LMT)
- Autres participants :
 - Sylvain Lavernhe (LURPA)
 - Hugo Leclerc (LMT)
 - Félix Abecassis (Stagiaire EPITA)

Projet Géométrie Inverse pour l'Industrie – LURPA/CMLA

Caractéristiques du projet :

Durée du projet : 4 ans (01/2007 -> 12/2008) puis de (03/2008 -> 03/2010)

- Responsables :
 - Claire Lartigue (LURPA)
 - Jean-Michel Morel (CMLA)
- Autres participants :
 - Charyar Medhi-Souzani, MCF IUT de St Denis (30%)
 - Nicolas Audfray, doctorant (30%)
 - Julie Digne, doctorante (100%)

Projet OPTRAJ : Optimisation de trajectoires par l'identification du comportement dynamique de machine-outil à commande numérique

Caractéristiques du projet :

- Durée du projet :
 - 2 ans (2009-2010)
- Responsables :
 - Sylvain Lavernhe (LURPA)
 - Philippe Rouch (LMT)
- Autres participants :

- François Louf
- David Prevost

Projet IMPACT: Influence des conditions d'usinage à grande vitesse des pièces de forme complexe sur leur tenue en fatigue - LURPA/LMT

- Durée du projet : 3 ans – 2009 à 2011
- Responsables :
 - Claire Lartigue (LURPA)
 - René Billardon (LMT)
- Autres participants :
 - Nicolas Guillemot
 - Aurélien Souto-Lebel
 - Bernardin Kwamivi Mawussi

10. Formation par la recherche

10.1. Formation initiale

Les enseignants-chercheurs de l'Équipe Géo3D sont rattachés à 3 établissements d'enseignement distincts : l'ENS Cachan, l'IUT de Cachan et l'IUT de Saint-Denis. Ils participent à la formation en premier, second et troisième cycle dans ses établissements :

- **Au département Génie Mécanique de l'ENS Cachan :**
 - au niveau Master M1 « Ingénierie Numérique de la Production »,
 - au niveau Master M2P « Formation des enseignants pour le supérieur ».
- **Au département GMP de l'IUT de Cachan**
- **Au département GMP de l'IUT de Saint-Denis**

10.2. Formation en Master Recherche

L'équipe Géo3D intervient en deuxième année du master de Sciences et Technologies, mention « Science De l'Ingénieur », spécialité « Systèmes Avancés et Robotique ». Ce master 2 recherche est cohabilité par l'ENS Cachan, l'UPMC ainsi que Arts et Métiers Paris Tech Paris. Les enseignants-chercheurs du LURPA, plus particulièrement ceux de l'équipe Géo3D, contribuent à la spécialisation de la formation du master SAR au travers du parcours « Ingénierie Numérique des Produits et des Process » (anciennement nommé « Robotique et productique »).

Quatre modules de 30 heures chacun (3 ECTS) sont ainsi proposés et impliquent tous les enseignants chercheurs de Géo3D :

- NSR24 : CAO et reconstruction de formes (resp. C. Lartigue)
- NSR25 : Modélisation géométrique des assemblages et systèmes (resp. B. Anselmetti)
- NSR26 : Techniques expérimentales (resp. S. Lavernhe)
- NSR27 : Trajectographie (resp. C. Tournier)

Parmi les 15 étudiants par module en moyenne dans ce parcours chaque année, environ 6 d'entre eux effectuent un stage de recherche parmi les activités du LURPA (second semestre - 30 ECTS).

Pour ce master, C. Tournier est le responsable de la formation pour l'ENS Cachan tandis que S. Lavernhe assure la responsabilité pédagogique.

11. Publications, thèses, masters

Le facteur d'impact indiqué est celui du « **ISI Web of Knowledge, Journal Citation Report** » à la date de constitution ce dossier.

11.1. Ouvrages

Ouvrages

- [OUV 1] [Manuel de tolérancement \(Volume 3\) : Cotation fonctionnelle tridimensionnelle et statistique](#), B. Anselmetti, Edition Hermes Lavoisier, 252 pages , Janvier 2008
- [OUV 2] [Manuel de tolérancement \(Volume 4\) : Cotation de fabrication avec les normes ISO](#), B. Anselmetti, Edition Hermes Lavoisier, 335 pages , Février 2010
- [OUV 3] [Manuel de tolérancement \(Volume 5\) : Métrologie avec les normes ISO](#), B. Anselmetti, Edition Hermes Lavoisier, 335 pages , Août 2011

Éditions d'ouvrages

- [OUV 4] [Geometric Tolerancing of Products](#), edited by F. Villeneuve, L. Mathieu, Wiley Editions, 400 pages, May 2010
 - Chapter 1 : Current and future Issues in Tolerancing : GD&T French Research Group Contribution, L. Mathieu, F.Villeneuve
 - Chapter 2 : Language of Tolerancing : GeoSpelling, A. Ballu, J.Y. Dantan, L. Mathieu
 - Chapter 4 : Representation of Mechanical Assemblies and Specifications by Graphs, A. Ballu, L. Mathieu, O. Legoff
 - Chapter 6 : Writing the 3D Chain of Dimensions (Tolerance Stack-Up) in Symbolic Expressions, P. Bourdet, F. Thiébaud, G. Cid
 - Chapter 9 : CLIC, A Method for Geometrical Specification of Products, B. Anselmetti
- [OUV 5] [Product Life-Cycle Management: Geometric Variations](#), sous la direction de Max Giordan, Luc Mathieu, François Villeneuve, Wiley Editions, 576 pages, Septembre 2010
 - Chapter 3 : Quick GPS: Tolerancing of an Isolated Part (pages 39–58), R. Chavanne and B. Anselmetti
 - Chapter 25: Geometric Specification at the Beginning of the Product Lifecycle (pages 431–453), R. Costadoat, L. Mathieu, H. Falgarone, B. Fricero
 - Chapter 27 : A PLM-Based Multi-Sensor Integration Measurement System for Geometry Processing (pages 469–484), Z. Haibin, N. Anwer, P. Bourdet
- [OUV 6] [Usinage à grande vitesse : Technologies, modélisations et trajectoires](#), sous la direction de C. Tournier, Editions Dunod, 388 pages, 2010

Chapitre d'ouvrages

- [OUV 7] [Guide to Geometric Algebra in Practice](#), sous la direction de L. Dorst, J. Lasenby, Springer Editions, 458 pages, 2011
 - Chapter 11 : On the use of confocal geometric algebra in geometric constraint solving, P. Serré, N. Anwer, J.-X. Yang

11.2. Articles dans des revues à comité de lecture à diffusion internationale

- [ACL 1] *Geometrical reliability of overconstrained mechanisms with gaps*, A. Ballu, J.-Y. Plantec, [L. Mathieu](#), Annals of the CIRP, **57 (1)**, pp. 45-49, 2008, (IF JCR: 1.708)
- [ACL 2] *Geometrical Checking by Virtual Gauge, Including Measurement Uncertainties*, J. Mailhe, J-M. Linares, J-M. Sparuel, [P. Bourdet](#), Annals of the CIRP, **57(1)**, 2008, (IF JCR: 1.708)
- [ACL 3] *Geometric product specifications - model for product life cycle*, J.Y. Dantan, A. Ballu, [L. Mathieu](#), Computer-Aided Design, **40 (4)**, pp. 493-501, 2008, (IF JCR: 1.234)
- [ACL 4] *Optimization of 5-axis high-speed machining using a surface based approach*, S. Lavernhe, C. Tournier, C. Lartigue, Computer-Aided Design, **40 (10-11)**, pp. 1015-1023, 2008, (IF JCR: 1.234)

- [ACL 5] *Three-dimensional modelling of manufacturing tolerancing using the ascendant approach*, B. Ayadi, B. Anselmetti, Z. Bouaziz, A. Zghal, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, **39**, pp. 279-290, 2008, (IF JCR: 1.103)
- [ACL 6] *Kinematical performance prediction in multi-axis machining for process planning optimization*, S. Lavernhe, C. Tournier, C. Lartigue, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, **37 (5-6)**, pp. 534-544, 2008, (IF JCR: 1.103)
- [ACL 7] *Feed drive simulation for the prediction of the tool path follow up in High Speed Machining*, D. Prévost, S. Lavernhe, C. Lartigue, Journal of Machine Engineering, High Performance Manufacturing - Machines, **8(4)**, pp. 32-42, 2008
- [ACL 8] *Surface topography in ball end milling process: Description of a 3D surface roughness parameter*, Y. Quinsat, L. Sabourin, C. Lartigue, Journal of Materials Processing Technology, **195**, pp. 135-143, 2008, (IF JCR: 1.783)
- [ACL 9] *Direct duplication of physical models in discrete 5-axis machining*, M. Makki, C. Lartigue, C. Tournier, F. Thiébaud, Virtual and Physical Prototyping, **3 (2)**, pp. 93 - 103, 2008
- [ACL 10] *Uncertainty of reference frames characterized by real time optical measurements: Application to Computer Assisted Orthopaedic Surgery*, J.M. Linares, J.M. Sparuel, P. Bourdet, CIRP Annals - Manufacturing Technology, **58 (1)**, pp. 447-450, 2009, (IF JCR: 1.708)
- [ACL 11] *Design method for systematic safety integration*, R. Ghemraoui, L. Mathieu, N. Tricot, CIRP Annals - Manufacturing Technology, **58 (1)**, pp. 161-164, 2009, (IF JCR: 1.708)
- [ACL 12] *Design and manufacturing of parts for functional prototypes on five-axis milling machines*, T. Salloum, B. Anselmetti, B. Mawussi, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, **45**, pp. 666-678, 2009, (IF JCR: 1.103)
- [ACL 13] *Geometrical deviations versus smoothness in 5-axis high-speed flank milling*, P-Y Péchard, C. Tournier, C. Lartigue, International Journal of Machine Tools & Manufacture, **49(6)**, pp. 454-461, 2009, (IF JCR: 2.169)
- [ACL 14] *Automatic polishing process of plastic injection molds on a 5-axis milling center*, X. Pessoles, C. Tournier, Journal of Materials Processing Technology, **209(7)**, pp. 3665-3673, 2009, (IF JCR: 1.783)
- [ACL 15] *Correlation Uncertainty and Gear conformity assessment*, J.Y Dantan, J.P. Vincent, G. Goch, L. Mathieu, CIRP Annals Manufacturing Technology, **59 (1)**, pp. 509-513, 2010, (IF JCR: 1.708)
- [ACL 16] *Quick GPS: A new CAT system for single-part tolerancing*, B. Anselmetti, R. Chavanne, J-X Yang, N Anwer, Computer-Aided Design, **42 (9)**, pp. 768-780, 2010, (IF JCR: 1.234)
- [ACL 17] *Feature extraction from high-density point clouds: toward automation of an intelligent 3D contact less digitizing strategy*, C. Mehdi-Souzani, J. Digne, N. Audfray, C. Lartigue, J.-M. Morel, Computer-Aided Design and Applications, **7(6)**, pp. 863-874, 2010
- [ACL 18] *5-axis direct machining of rough clouds of points*, M. Makki, C. Tournier, F. Thiebaut, C. Lartigue, C. Mehdi-Souzani, Computer-Aided Design and Applications, **7(4)**, pp. 591-600, 2010
- [ACL 19] *Model for the prediction of 3D surface topography in 5-axis milling*, S. Lavernhe, Y. Quinsat, C. Lartigue, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, **51 (9)**, pp. 915-924, 2010, (IF JCR: 1.103)
- [ACL 20] *Dynamic and geometric error assessment of an XYZ axis subset on five-axis high-speed machine tools using programmed end point constraint measurements*, M. Slamani, R.Mayer, M. Balazinski, S.H. H. Zargarbashi, S.Engin, C. Lartigue, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, **50**, pp. 1063-1073, 2010, (IF JCR: 1.103)
- [ACL 21] *Part optimization and tolerances synthesis*, B. Anselmetti, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, **48**, pp. 1221-1237, 2010, (IF JCR: 1.103)
- [ACL 22] *Predicting fatigue life from microgeometry after finishing milling*, N. Guillemot, C. Lartigue, R. Billardon, B.K. Mawussi, International Journal on Interactive Design and Manufacturing, **4**, pp. 239-249, 2010
- [ACL 23] *High fidelity scan merging*, J. Digne, J.-M. Morel, N. Audfray, C. Lartigue, Proceedings Symposium on Geometry Processing, **9(5)**, pp. 1643-1651, 2010
- [ACL 24] *Scale Space Meshing of Raw Data Point Sets*, J. Digne, J.-M. Morel, C.-M. Souzani, C. Lartigue, Computer Graphics Forum, **30 (6)**, pp. 1630-1642, 2011, (IF JCR: 1.636)

- [ACL 25] *A knowledge base model for complex forging die machining*, B.K. Mawussi, L.Tapie, Computers and Industrial Engineering, **61**, pp. 84-97, 2011, (IF JCR: 1.589)
- [ACL 26] *Farman institute 3d point sets - High precision 3d data sets*, J. Digne, N. Audfray, C. Lartigue, C. Mehdi-Souzani, J.-M. Morel, Image Processing On Line, pp. 00-00, 2011
- [ACL 27] *5-Axis tool path smoothing based on drive constraints*, X. Beudaert, P-Y.Pechard, C.Tournier, International Journal of Machine Tools and Manufacture, **51**, pp. 958–965, 2011, (IF JCR: 2.169)
- [ACL 28] Adaptive Monte Carlo applied to uncertainty estimation in five axis machine tool link errors identification with thermal disturbance, L. Andolfatto, J.R.R. Mayer, S. Lavernhe, International Journal of Machine Tools and Manufacture, **51 (7-8)**, pp. 618-627, 2011, (IF JCR: 2.169)
- [ACL 29] *Evaluation of servo, geometric and dynamic error sources on five axis high-speed machine tool*, L. Andolfatto, S. Lavernhe, J.R.R. Mayer, International Journal of Machine Tools and Manufacture, **51 (10-11)**, pp. 787-796, 2011, (IF JCR: 2.169)
- [ACL 30] *Feed drive modelling for the simulation of tool path tracking in multi-axis High Speed Machining*, D. Prévost, S. Lavernhe, C. Lartigue, D. Dumur, International Journal of Mechatronics and Manufacturing Systems, **4 (3-4)**, pp. 266-284, 2011
- [ACL 31] *Assembly sequence influence on geometric deviations propagation of compliant parts*, M. Mounaud, F. Thiebaut, P. Bourdet, H. Falgarone, N. Chevassus, International Journal of Production Research, **1366-588X**, pp. 1-23, 2011, (IF JCR: 1.115)
- [ACL 32] *Thermal dilatation in functional tolerancing*, S. Bénichou, B. Anselmetti, Mechanism And Machine Theory, **46**, pp. 1575-1587, 2011, (IF JCR: 1.366)
- [ACL 33] *Characterization of 3D surface topography in 5 axis milling*, Y. Quinsat, S. Lavernhe, C. Lartigue, Wear, **271 (3-4)**, pp. 590-595, 2011, (IF JCR: 1.872)
- [ACL 34] *Aid tool for design of process and aircraft assembly lines*, B. Anselmetti, B. Fricero, Aerospace science and technology, **23**, pp. 387-398, 2012, (IF JCR: 0.983)
- [ACL 35] *Functional tolerancing: Virtual material condition on complex junctions*, R. Chavanne, B. Anselmetti, Computers in Industry, **63, Issue 3**, pp. 210-221, 2012, (IF JCR: 1.539)
- [ACL 36] *ISO manufacturing tolerancing: thre dimensional transfert with analysis line method*, B. Anselmetti, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, **61 (9)**, pp. 1085-1099, 2012, (IF JCR: 1.103)
- [ACL 37] *3D ISO manufacturing specifications with vectorial representation of tolerance zones*, M. Caux, B. Anselmetti, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, **60**, pp. 577-588, 2012, (IF JCR: 1.103)
- [ACL 38] *A first approach to characterize the surface integrity generated by ball-end finishing milling*, N. Guillemot, C. Lartigue, R. Billardon, K. Mawussi, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, pages, 2012, (IF JCR: 1.103)
- [ACL 39] *Feedrate interpolation with axis jerk constraints on 5-axis NURBS and G1 tool path*, X. Beudaert, S. Lavernhe, C. Tournier, International Journal of Machine Tools & Manufacture, **57 (6)**, pp. 73-82, 2012, (IF JCR: 2.169)
- [ACL 40] *Design of experiments to optimise automatic polishing on five-axis machine tool*, V. Lacharnay, C. Tournier, G. Poulachon, International Journal of Machining and Machinability of Materials, **12 (1-2)**, pp. 76-87, 2012
- [ACL 41] *In situ non-contact measurements of surface roughness*, Y. Quinsat, C. Tournier, Precision Engineering, **36**, pp. 97-103, 2012, (IF JCR: 1.393)
- [ACL 42] *Fast Assembly Process Geometrical Simulation Ontology Framework Design*, Y. Zhu, L. Qiao, N. Anwer, Chinese journal of Computer Integrated Manufacturing Systems, **19(5)**, pp. in press, 2013
- [ACL 43] *The skin model, a comprehensive geometric model for engineering design*, N. Anwer, A. Ballu, L. Mathieu, CIRP Annals-Manufacturing Technology, **62 (1)**, pp. in press, 2013, (IF JCR: 1.708)
- [ACL 44] *5-axis local corner rounding of linear tool path discontinuities*, X. Beudaert, S. Lavernhe, C. Tournier, International Journal of Machine Tools and Manufacture, **73**, pp. 9-16, 2013, (IF JCR: 2.169)
- [ACL 45] *Design optimization of a 2D blade by means of milling tool path*, C. Vessaz, C. Tournier, C. Munch, F. Avellan, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, **6(3)**, pp. 157-166, 2013

- [ACL 46] Quality- and cost-driven assembly technique selection and geometrical tolerance allocation for mechanical structure assembly, L. Andolfatto, F. Thiébaud, C. Lartigue, M. Douilly, Journal of Manufacturing Systems, pp. Accepted, 2013, (IF JCR: 0.639)
- [ACL 47] *Discrete Shape Modeling for Skin Model Representation*, M. Zhang, N. Anwer, L. Stockinger, L. Mathieu, S. Wartzack, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, **227 (5)**, pp. 672-680, 2013, (IF JCR: 0.725)

11.3. Brevets

- [BRE 1] Procédé d'optimisation pour routage de tubes sur une structure supportant de petites déformations, H. Falgarone, M. Mounaud, F. Thiébaud, P. Bourdet, Dépôt de Brevet, Ref. 23101FR, WO 2010066711 (A1), WO 2010142644 (A1), 47 p., décembre 2008
- [BRE 2] Procédé d'optimisation de réglages d'un assemblage de pièces sous contraintes, B. Fricéro, H. Falgarone, N. Chevassus, P. Breteau, F. Thiébaud, C. Lartigue, Dépôt de Brevet, Ref. FR0858945, WO 2010072744 (A1), 24p., décembre 2008
- [BRE 3] Procédé de mesurage et de fabrication d'un tube, P. Mons, M. Mounaud, F. Thiébaud, P. Bourdet, Dépôt de brevet, réf. FR0953900, 42p., juin 2009
- [BRE 4] Procédé pour l'optimisation du tolérancement d'un ensemble de pièces flexibles soumises à des efforts, L. Champaney, B. Fricéro, A. Stricher, F. Thiébaud, Dépôt de brevet, réf. WO 2013050444 (A1), 2013-04-11

11.4. Conférences plénières ou invitées

- [CP 1] *La mesure sans contact : Etat de l'art et applications en mécanique*, P. Bourdet, Conférence invitée, Ateliers de Métrologie des pays de la Loire, Nantes & Carquefou, CDRom paper, pp. 17p, 2/1/2008
- [CP 2] *Tolérancement, fabrication et métrologie, un mariage de raison ?*, L. Mathieu, Ateliers de Métrologie des pays de la Loire, Nantes & Carquefou (France), CD Rom exposé N°1, 37p. , Février 2008.
- [CP 3] *New Trends in tolerancing, the GD&T French Research Group point of view, plenary keynote paper, plenary session*, L. Mathieu, F. Villeneuve, CIRP on Computer Aided Tolerancing, Annecy, France, 26-27 Mars 2009.
- [CP 4] *New Trends in 3D*, L. Mathieu, 1st Sino/French Workshop on Digital Factory and Digital Manufacturing, Beijing, China, 23-24 November 2011.
- [CP 5] *Qualification et Performance des Systèmes de mesure Optique, vers une proposition pour une normalisation*, C. Mehdi-Souzani, N. Audfray, C. Lartigue, Journée mesure dimensionnelle par vision, Université de Bourgogne, Auxerre (France), 13 février 2013

11.5. Communications dans des congrès internationaux avec actes

- [CAI 1] *5-axis iso-scallop tool paths along parallel planes*, C. Tournier, C. Lartigue, 8th International Conference on Computer Aided Design, Computer Aided Design and Applications, Orlando (USA), pp. 5 (1-4), pp.278-287, 2008
- [CAI 2] *Quick GPS: Rapid Tolerancing of an isolated part*, R. Chavanne, B. Anselmetti, 11th CIRP International Conference on Computer Aided Tolerancing Geometric Variations within Product Life-Cycle Management, Annecy, France, 2009
- [CAI 3] *CAD-based Calibration of a 3D DIC System*, B. Beaubier, K. Lavernhe-Taillard, G. Besnard, S. Lavernhe, F. Hild, S. Roux, SEM XII International Congress & Exposition on Experimental and Applied Mechanics, , 2012
- [CAI 4] *NC-simulation for the prediction of surface finish in 5-axis High-Speed Machining*, S. Lavernhe, Y. Quinsat, C. Lartigue, R. Meyer, 3rd CIRP International Conference on High Performance Cutting, Dublin(Ireland), pp. Vol 1, pp 387 - 396, 12-13 June 2008
- [CAI 5] *Introducing minimum energy tool path in 5-axis flank milling*, P-Y. Pechard, C. Tournier, C. Lartigue, 3rd CIRP International Conference on High Performance Cutting, Dublin(Ireland), 12-13 June 2008
- [CAI 6] *Multi-sensor Integration for Coordinate Metrology*, H. Zhao, N. Anwer, P. Bourdet, J. Wang, 7th International conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, IDMM-VC 2008, Beijing, China, CDRom paper N° 123, pp. 10p, October 08-10, 2008

- [CAI 7] *Contact less laser-plane sensor assessment : toward a quality measurement*, C. Mehdi-Souzani, C. Lartigue, *Proceedings of IDMME-Virtual Concept 2008, Beijing (China)*, CDRom paper N° 41IDMME, pp. 9p, October 2008
- [CAI 8] *Integration of automatic functional tolerancing into the design process*, C.Mehdi-Souzani, B. Anselmetti, *Proceedings of IDMME-Virtual Concept 2008, Beijing (China)*, CDRom paper N° 42, pp. 11p, October 2008
- [CAI 9] *Assembly Sequence Influence on Geometric Deviations Propagation of Compliant Parts*, M. Mounaud, F. Thiebaut, P. Bourdet, H. Falgarone, N. Chevassus, *11th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing, Geometric Variations within Product Life-Cycle Management, Annecy*, CDRom paper, pp. 6p, March 26-27, 2009
- [CAI 10] *A PLM-Based Multi-Sensor Integration Measurement System for Geometry Processing*, H. Zhao, N. Anwer, P. Bourdet, *11th CIRP International Conference on Computer Aided Tolerancing, Annecy (France)*, CDRom paper, pp. 6p, March 2009
- [CAI 11] *Feed drive simulation for the prediction of the tool path follow up in high speed machining*, D. Prévost, S. Lavernhe, C. Lartigue, *20th CIRP International Conference on Supervising and Diagnostics of Machining Systems, High Performance Manufacturing, Karpacz (Poland)*, 16-19 March 2009
- [CAI 12] *Integrated design method based on geometric variations to generate specification since the beginning of the product life-cycle*, R. Costadoat, L. Mathieu, H. Falgarone, B. Fricero, *CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing, Annecy (France)*, March 2009
- [CAI 13] *Systematic human-safety analysis approach based on axiomatic design principles*, R. Ghemraoui, L. Mathieu, N. Tricot, *International Conference on Axiomatic Design ICAD 2009, Lisbon - Portugal*, 25-27 March 2009
- [CAI 14] *Characterization of 3D surface topography in 5 axis milling*, Y. Quinsat, S. Lavernhe, C. Lartigue, *12 th International Conference on Metrology and Properties of Engineering Surfaces, Rzeszow*, 8-10 juillet 2009
- [CAI 15] *Flexible tolerancing : A first step towards the use of nonlinear simulation of assemblies*, A. Sticher, L. Champaney, F. Thiébaud , N. Chavassus, B. Fricéro, *10th International Conference on Computational & Experimental Engineering and Sciences, Las Vegas, mars-10*
- [CAI 16] *Design method taking into account Geometric Variations Management along the design process*, R. Costadoat, L. Mathieu, H. Falgarone, *20th CIRP Design Conference, Nantes, France, April 2010*
- [CAI 17] *The Level set tree on meshes*, J. Digne, J.-M. Morel, N. Audfray, C. Mehdi-Souzani, *Fifth International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission, Proceedings 3DPVT2010, Paris (France)*, May 2010
- [CAI 18] *Influence of the surface integrity generated by milling on high cycle fatigue behaviour of 25MnCrSiVB6 steel*, N. Guillemot, R. Billardon, C. Lartigue, H. Michaud, *SF2M Fatigue Committee, 29th Spring Meeting, Influence of material processing on fatigue life - Role of the defects -*, , pp. pp. 201-208, May 2010
- [CAI 19] *5-axis direct machining of rough clouds of points*, M. Makki, C. Tournier, F. Thiebaut, C. Lartigue, C. Mehdi-Souzani, *10th International Conference on Computer Aided Design, Dubai (UAE)*, June 21-25 2010
- [CAI 20] *Feature extraction from high-density point clouds: toward automation of an intelligent 3D contact less digitizing strategy*, C. Mehdi-Souzani, J. Digne ,N. Audfray, C. Lartigue, J-M Morel, *10th International Conference on Computer Aided Design, Dubai*, June 21-25 2010
- [CAI 21] *Modularization of multi-physics complex systems*, P. Mons, L. Tapie, L. Mathieu, B. Dantin, N. Chevassus, *3rd CIRP conference on Assembly Technologies and Systems, CATs 2010, Trondheim Norway*, pp. 4 p, June 1-3, 2010
- [CAI 22] *On the Use of Conformal Geometric Algebra in geometric Constraint Solving*, P. Serre, N. Anwer, J.X. Yang, *4th conference on Applied Geometric Algebras in Computer Science and Engineering, Amsterdam*, pp. 4p, June 2010
- [CAI 23] *Residual stress in ball-end milling – Influence of X-Ray spot diameter*, N. Guillemot, C. Fischer, J.L. Lebrun, R. Billardon, *8th European Conference on Residual Stresses, ECRS8, Riva Del Garda (Italy)*, June 26-28,2010
- [CAI 24] *Innovation methods integration for safety conflicts management in design - case study: the three-point hitch*, R. Ghemraoui, L. Mathieu, N. Tricot, *International Conference of Agricultural Engineering, CIGR-AgEng, Clermont Ferrand (France)*, pp. 12 p, September 2010
- [CAI 25] *Effects of finishing milling on surface integrity and high cycle fatigue behaviour of high strength steels*, N. Guillemot, R. Billardon, C. Lartigue, *International Conference on Fatigue Damage of Structural Materials VIII, Hyannis (USA)*, sept.-10

- [CAI 26] *Discrete geometry for product specification and verification*, M. Zhang, N. Anwer, L. Mathieu, 8th International conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering - Virtual Concept 2010, Bordeaux (France), pp. 4p, October 2010
- [CAI 27] *Simulation of the material removal rate and tool wear to improve 5-axis automatic polishing operations*, A. Guiot, C. Tournier, L. Mathieu, 8th International conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering - Virtual Concept 2010, Bordeaux (France), CDRom paper, pp. 6p, October 2010
- [CAI 28] *Modular design for complex systems*, P. Mons, L. Tapie, L. Mathieu, B. Dantin, N. Chevassus, 8th International conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering - Virtual Concept 2010, Bordeaux (France), CDRom paper N°VC_P14, pp. 4 p, October 20-22, 2010
- [CAI 29] *Influence of ball-end tool inclination in finishing milling on surface integrity and fatigue life of bainitic steels*, N. Guillemot, C. Lartigue, R. Billardon, *Advances in Materials and Processing technologies*, AMPT'2010, Paris (France), October 2010
- [CAI 30] *Reverse Engineering for NC Machining Simulation*, N. Anwer, Y.J. Yang, H. Zhao, O. Coma, J.-C. Paul, ICADAM, IDMME-VC 2010, Bordeaux, France, pp. 8 p, October 2010
- [CAI 31] *Decomposition of forging die for high speed machining*, L. Tapie, K.B. Mawussi, IDMME - Virtual Concept 2008, Beijing, China, CDRom paper N°55, October 8-10, 2008
- [CAI 32] *A survey of tolerancing task integration in PLM*, Y. Rhahli, M. Bosch-Mauchand, B. Eynard, B. Anselmetti, IDMME 2010, Bordeaux, October 2010
- [CAI 33] *Experimental method of automatic polishing on 5-axis machine*, V. Lacharnay, C. Tournier, G. Poulachon, 2nd International Conference on Production and Industrial Engineering, Jalandhar, India, CDRom paper, pp. 6p, december 2010
- [CAI 34] *Correction of Trajectory Execution Errors in HSM Using a Mirror Approach*, D. Prévost, S. Lavernhe, C. Lartigue, 8th International Conference on High Speed Machining (HSM), Metz, France, pp. 6p, Décembre 2010
- [CAI 35] *Smoothness optimization of 5-axis high-speed flank milling tool paths*, P-Y. Pechard, X. Beudaert, C. Tournier, C. Lartigue, Eighth International Conference on High Speed Machining, Metz (France), pp. 6p, December 2010
- [CAI 36] *Clearly Define Safety Objectives During Product Design*, R. Ghemraoui, L. Mathieu, C. Brown, 6th International Conference on Axiomatic Design, KAIST, Daejeon (South Korea), pp. pp.30-31, March 2011
- [CAI 37] *A discrete Geometry Framework for Geometric Product Specification*, M. Zhang, N. Anwer, L. Mathieu, Design Conference, KAIST, Daejeon (South Korea), pp. pp.142-148, March 2011
- [CAI 38] *A hybrid approach to predict residual stresses induced by ball-end tool finishing milling of a bainitic steel*, N. Guillemot, B. Beaubier, T. Braham, C. Lartigue, R. Billardon, 13th CIRP Conference on Modeling of Machining Operations (CIRP CMMO), , pp. pp.391-400, May 2011
- [CAI 39] *5-axis flank milling tool path smoothing based on kinematical behaviour analysis*, X. Beudaert, P-Y. Pechard, C. Tournier, 13th CIRP Conference on Modelling of Machining Operations, Sintra (Portugal), May 2011
- [CAI 40] *Modeling of a polishing tool to simulate material removal*, A. Guiot, S. Pattofatto, C. Tournier, L. Mathieu, 13th CIRP Conference on Modelling of Machining Operations, Sintra (Portugal), May 2011
- [CAI 41] *Experimentals evaluation of errors during five axis high speed machine tool motion*, L. Andolfatto, J.R.R. Mayer, S. Lavernhe, 23rd Canadian Congress of Applied Mechanics, CANCAM'2011, Vancouver (Canada), CDRom paper N°310, pp. 4 p, juin-11
- [CAI 42] *Tolerance Analysis of parallel mechanism with link dimension deviation and joint clearance*, J.-X. Yang, Y.-Q. Yu, N. Anwer, B. Anselmetti, The 13th World Congress in Mechanism and Machine Science, IFToMM 2011, Guanajuato, Mexico, pp. 5 p, June 19 -23, 2011
- [CAI 43] *Traitement des données issues de la numérisation 3d pour des applications en métrologie*, N. Audfray, C. Mehdi-Souzani, C. Lartigue, J. Digne, 15ème Congrès International de Métrologie, CIM2011, Paris (France), CDRom paper N°104, pp. 10p, oct.-11
- [CAI 44] *3D digitizing Data treatment for metrology applications*, N. Audfray, C. Mehdi-Souzani, C. Lartigue, J. Digne, 15th International congress of metrology, CIM2011, Paris (France), CDRom paper N°104, 3-6 octobre 2011

- [CAI 45] *3D heat transfer analysis for a hybrid approach to predict residual stresses after ball-end milling*, N. Guillemot, M. Winter, A. Souto-Lebel, C. Lartigue, R. Billardon, 1st CIRP Conference on Surface Integrity, Bremen, Germany, pp. 6 p, January 30 – February 1, 2012
- [CAI 46] *Characterization and influence of defect size distribution induced by ball-end finishing milling on fatigue life*, A. Souto-Lebel, N. Guillemot, R. Billardon, C. Lartigue, 1st CIRP Conference on Surface Integrity, Bremen, Germany, pp. 6 p, January 30 – February 1, 2012
- [CAI 47] *Maximum feedrate interpolator for multi-axis CNC machining with jerk constraints*, X. Beudaert, S. Lavernhe, C. Tournier, 9th International Conference on High Speed Machining, San Sebastian (Spain), pp. 6p, March 2012
- [CAI 48] *In situ non-contact measurements of polished surfaces*, Y. Quinsat, C. Tournier, The third International Conference on Surface Metrology, Annecy (France), pp. 6p, 21-23 March 2012
- [CAI 49] *Discrete Shape Modeling for Skin Model Representation*, M. Zhang, N. Anwer, A. Stockinger, L. Mathieu, S. Wartzack, 12th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing, Huddersfield (UK), pp. 11p, April 2012
- [CAI 50] *Statistical tolerancing based on variation of point-set*, X. Yang, J. Wang, Z. Wu, N. Anwer, 12th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing, Huddersfield (UK), pp. 10p, April 2012
- [CAI 51] *Curvature-Based registration and segmentation for multisensor coordinate metrology*, H. Zhao, N. Anwer, P. Bourdet, 12th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing, Huddersfield (UK), pp. 10p, April 2012
- [CAI 52] *A novel approach for 3d part inspection using laser-plane sensors*, N. Audfray, C. Mehdi-Souzani, C. Lartigue, 12th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing, CAT 2012, Huddersfield (UK), CDROM paper N°CAT38, pp. 10 p, April 2012, **Meilleure présentation**
- [CAI 53] *On neural networks' ability to approximate geometrical variation propagation in assembly*, L. Andolfatto, F. Thiébaud, M. Douilly, C. Lartigue, 12th CIRP conference on Computer-Aided Tolerancing, Huddersfield (Angleterre), CDROM paper N°CAT27, avr.-12
- [CAI 54] *Grinding of Medical Implants in Cobalt-Chromium alloy*, C. Tournier, C. Labassene, A. Guiot, Y. Quinsat, 1st International Conference on Design and PROCesses for MEDical Devices, Brescia (Italy), pp. pp.95-98, May 2012
- [CAI 55] *Towards a new concept of in-line crankshaft balancing by contact less measurement: process for selecting the best digitizing system*, A. Zuquete-guarato, C. Mehdi-Souzani, Y. Quinsat, C. Lartigue, L. Sabrie, 11th Biennial Conference on Engineering Systems and Design Analysis ASME ESDA 2012, Nantes (France), 9p, CDROM paper N°82166, pp. 9p, July 2-4th, 2012
- [CAI 56] *Assistance to automatic digitizing system selection for 3d part inspection*, N. Audfray, C. Mehdi-Souzani, C. Lartigue, ASME 2012 11th Biennial Conference on Engineering Systems Design And Analysis, ESDA2012, Nantes (France), CDROM paper N°82319, pp. 10 p, July 2012
- [CAI 57] *Using a modeling language for a better integration of human safety at the early design phase based on experience feedback analysis*, L. Sadeghi, L. Mathieu, N. Tricot, L. Al Bassit, International Conference of Agricultural Engineering, CIGR-AgEng, Valencia (Spain), July 2012.
- [CAI 58] *Comprehensive Framework for Skin Model Simulation*, B. Schleich, N. Anwer, L. Mathieu, M. Walter, S. Wartzack, Proceedings of the ASME 2012 11th Biennial Conference On Engineering Systems Design And Analysis, ESDA2012, Nantes, France, pp. 10p, July 2-4, 2012
- [CAI 59] *Comparison of free-form surface reconstruction algorithms from unstructured point sets*, N. El-Hayek, H. Noura, N. Anwer, M. Damak, O. Gibaru, Topical Meeting of the European Society for Precision Engineering Nanotechnology (EUSPEN) on Structured & Freeform Surfaces, Teddington, UK, December 2012
- [CAI 60] *Metrological characterization of the main error sources of optical confocal probes measurements*, H. Noura, N. El-Hayek, X. Yuan, N. Anwer, Nanoscale 2013, Paris, 25 - 26 April 2013
- [CAI 61] *Inductive, tactile and Optical confocal measurements of both optical V-grooved and optical aspherical artefacts in dimensional metrology*, H. Noura, J.A. Salgado, N. El-Hayek, S. Ducourtieux, N. Anwer, Nanoscale 2014, Paris, 26 - 26 April 2013
- [CAI 62] *Metrological characterization of optical Confocal sensors measurements*, H. Noura, N. El-Hayek, X. Yuan, N. Anwer, J.-A. Salgado, 14th International Conference on Metrology and Properties of Engineering Surfaces (Met & Props 2013, Taipei, 17-21 June 2013

- [CAI 63] *Reconstruction of freeform surfaces for coordinate metrology*, N. El-Hayek, H. Noura, N. Anwer, M. Damak, O. Gibaru, 14th International Conference on Metrology and Properties of Engineering Surfaces (Met & Props 2014, Taipei, 17-21 June 2013)
- [CAI 64] Performance Evaluation of CUDA programming for machining simulation, F. Abecassis, S. Lavernhe, C. Tournier, P-A. Boucard, International Conference on Graphics Engineering, Madrid (Spain), juin 2013
- [CAI 65] *Knowledge management for the selection of 3D digitizing systems in relation with application requirements*, N. Audfray, C. Mehdi-Souzani, C. Lartigue, CAD & A 2013, Bergame (ITALIE), 17-20 juin 2013
- [CAI 66] *Voxel-based path planning for 3D scanning of mechanical parts*, C. Lartigue, Y. Quinsat, C. Mehdi-Souzani, A. Zuquete-Guarato, S. Tabibian, CAD & A 2013, Bergame (ITALIE), 17-20 juin 2013
- [CAI 67] *A potential field approach for collision avoidance in 5-axis milling*, V. Lacharnay C. Tournier, P-Y. Péchard, C. Lartigue, CAD & A 2013, Bergame (ITALIE), 17-20 juin 2013
- [CAI 68] *Integration of machining constraints in design optimization of a guide vane cascade*, J. Monge, C. Vessaz, F. Avellan, C. Tournier, CAD & A 2014, Bergame (ITALIE), 17-20 juin 2014
- [CAI 69] *Toward design for safety part1: Functional reverse Engineering Driven by Axiomatic Design*, L. Sadeghi, L. Mathieu, N. Tricot, L. Al Bassit, R. Ghemraoui, ICAD2013, The 7th International Conference on Axiomatic Design, Worcester (USA), June 2013
- [CAI 70] *Toward design for safety part2: Functional Reengineering Using Axiomatic Design and FMEA*, L. Sadeghi, L. Mathieu, N. Tricot, L. Al Bassit, R. Ghemraoui, ICAD2013, The 7th International Conference on Axiomatic Design, Worcester (USA), June 2013

11.6. Communications dans des congrès francophones avec actes

- [CAN 1] *Tolérancement, fabrication et métrologie, un mariage de raison ?*, L. Mathieu, Ateliers de Métrologie des pays de la Loire, Nantes & Carquefou (France), CDRom exposé N°1, pp. 37p, 2/1/2008
- [CAN 2] *Etude de stratégies de finition en fraisage 3 axes*, N. Guillemot, B. Mawussi, L. Tapie, Colloque National MECAMAT, Aussois, pp. Ch.I, pp.54-58, 2/1/2008
- [CAN 3] *Analyse d'un système de mesure par photogrammétrie pour la métrologie des pièces de tôlerie*, L. Daoud, F. Thiébaud, C. Lartigue, Conférence invitée, Ateliers de Métrologie des pays de la Loire, Nantes & Carquefou, CDRom paper N°11, pp. 12p, 2/1/2008
- [CAN 4] *Une approche pour estimer la normale sur données discrètes et bruitées issues d'une numérisation 3D par capteur laser plan*, M. Makki, C. Tournier, F. Thiébaud, C. Lartigue, Groupe de Travail Animation et Simulation GTMG2008, Mulhouse (France), pp. pp.63-72, 3/1/2008
- [CAN 5] *Analyse d'un système de mesure par photogrammétrie pour le contrôle 3D de pièces mécaniques*, L. Daoud, F. Thiébaud, C. Lartigue, 3ème congrès International Francophone de Mécanique Avancée, CIFMA03, Alep (Syrie), CDRom paper (Robotique et mesures), pp. 8p, 4/1/2008
- [CAN 6] *Conception et réalisation de pièces prototypes fonctionnelles en usinage sur machines-outils à commande numérique 5 axes*, T. Salloum, B. Anselmetti, B. Mawussi, 3ème Congrès International Francophone de Mécanique Avancées CIFMA03-IFCAM03, Syrie, pp. pp.11-20 du volume "Conception, Fiabilité Optimisation", 4/1/2008
- [CAN 7] *Analyses de difficultés d'usinage pour les pièces de formes complexes : concept de viewer*, L. Tapie, K.B. Mawussi, 5ème Assises MUGV, , pp. 10p, 6/1/2008
- [CAN 8] *Polissage automatique de moules d'injection plastique sur centre d'usinage 5 axes*, X. Pessoles, C. Tournier, Assises MUGV, Nantes, pp. 10p, 6/1/2008
- [CAN 9] *Vers une meilleure caractérisation des utilisateurs en phase de conception: Application à la liaison tracteur-outils*, R. Ghemraoui, N. Tricot, L. Mathieu, B. Anselmetti, Congrès Lambda Mu 16, Avignon, pp. 7p, 10/1/2008
- [CAN 10] *Calcul statistique sécurisé des chaînes de cotes fonctionnelles*, B. Anselmetti, S. Bisson, Congrès Qualita 2009, Besançon, CDRom paper 31, pp. 8p, 3/1/2009
- [CAN 11] *Influence du fraisage sur l'intégrité de surface et la durée de vie en fatigue*, N. Guillemot, B. K. Mawussi, C. Lartigue, R. Billardon, 11ème Colloque National AIP PRIMECA, La Plagne, 4/1/2009

- [CAN 12] *Chaîne de cotes 3D : Application de la méthode des droites d'analyse à une liaison prismatique, R. Chavanne, B. Anselmetti, 11ème Colloque National AIP-PRIMECA, Produits, Procédés et Systèmes industriels : les dernières innovations, La Plagne, 4/1/2009*
- [CAN 13] *Intégration de l'énergie de déformation minimum en usinage 5-axes sur le flanc, P-Y. Pechard, C. Tournier, C. Lartigue, 11ème Colloque National AIP-PRIMECA, Produits, Procédés et Systèmes industriels : les dernières innovations, La Plagne, 4/1/2009*
- [CAN 14] *Modélisation d'axe de machine outil pour la simulation du suivi de trajectoires en UGV, D. Prévost, S. Lavernhe, C. Lartigue, 11ème Colloque National AIP-PRIMECA, Produits, Procédés et Systèmes industriels : les dernières innovations, La Plagne, 4/1/2009*
- [CAN 15] *Méthode d'intégration systématique des exigences de sécurité des utilisateurs à toutes les étapes de conception, R. Ghemraoui, L. Mathieu, N. Tricot, Colloque AIP Primeca, La Plagne, 4/1/2009*
- [CAN 16] *Influence de la topographie de surface induite par le fraisage sur la durée de vie en fatigue d'un acier 25MnCrSiVB6, N. Guillemot, E. Pessard, R. Billardon, B. K. Mawussi, C. Lartigue, 19ème congrès français de la mécanique, Marseille, 8/1/2009*
- [CAN 17] *Caractérisation du comportement anisotrope en fatigue d'un acier 25MnCrSiVB6 laminé, E. Pessard, N. Guillemot, F. Morel, L. Flaceliere, 19ème congrès français de la mécanique, Marseille, 8/1/2009*
- [CAN 18] *Inspection of parts with free form profile: measurement and uncertainty determination, A. Piratelli-Filho, N. Anwer, CONEM 2010, Campina Grande, Brasil, pp. 9 p, 8/1/2010*
- [CAN 19] *Méthodes d'identification de caractéristiques géométriques d'un nuage de points issu de la mesure 3D sans contact, N. Audfray, C. Mehdi-Souzani, N. Anwer, H. Zhao, C. Lartigue, GTMG 2010, Dijon (France), 8/1/2010*
- [CAN 20] *Méthode de conception innovante intégrant la santé-sécurité au travail au plus tôt dans la conception, R. Ghemraoui, L. Mathieu, N. Tricot, 17ème Congrès de Maîtrise des Risques et de Sûreté de Fonctionnement (Lambda Mu), La Rochelle (France), pp. 10p, 10/1/2010*
- [CAN 21] *Optimisation d'une gamme de polissage sur MOCN 5 axes, V. Lacharnay, C. Tournier, G. Poulachon, E. Dufour, 6eme Assises Machines et Usinage à Grande Vitesse, Cluny, France, CDRom Paper, pp. 8p, 10/1/2010*
- [CAN 22] *Développement d'un interpolateur 5 axes dans une CN ouverte, X. Beudaert, 17ème session MANUFACTURING 21, Lyon (France), 1/1/2011*
- [CAN 23] *Obtention des spécifications de fabrication avec la méthode TZT, M. Caux, B. Anselmetti, AIP PRIMECA, Mont Dore, 3/1/2011*
- [CAN 24] *Segmentation de maillages et extraction de primitives géométriques simples, J. Digne, N. Audfray, C. Mehdi-Souzani, C. Lartigue, J.-M. Morel, Journées du GTMG, Grenoble (France), 3/1/2011*
- [CAN 25] *Modélisation et évaluation du comportement dynamique d'une structure de machine outil UGV pour la prédiction des défauts géométriques, D. Prévost, S. Lavernhe, F. Louf, P. Rouch, 20ème Congrès Français de Mécanique, Besançon (France), CDRom paper N°714, pp. 6p, 8/1/2011*
- [CAN 26] *Métrologie sans contact par numérisation 3D: Etat de l'art, perspectives et applications en mécanique, Mehdi-Souzani C, Journée technique de la métrologie sans contact, Figeac (France), 1/1/2012*
- [CAN 27] *Détermination de la qualité de numérisation pour l'équilibrage de vilebrequins, A. Zuquete-guarato, Y. Quinsat, C. Mehdi-Souzani, C. Lartigue, 13ème Colloque AIP PRIMECA, Mont Dore, pp. 10 p, 3/1/2012*
- [CAN 28] *Modélisation de l'usure des abrasifs pour garantir la qualité des surfaces polies, A. Guiot, C. Tournier, Y. Quinsat, 13ème Colloque National AIP PRIMECA, Mont-Dore, Mont Dore, 3/1/2012*
- [CAN 29] *Intégration systématique des contraintes normatives au cours de processus de conception d'une machine, L. Sadeghi, L. Mathieu, N. Tricot, L. Al Bassit, 18ème Congrès de Maîtrise des Risques et de Sûreté de Fonctionnement (Lambda-Mu 18), Tours, 10/1/2012*
- [CAN 30] *Kinematical analysis of 5-axis corner smoothing for transitions between linear (G1) blocks, X. Beudaert, S. Lavernhe, C. Tournier, 7ème Assises MUGV ENISE – CETIM, Saint-Etienne, pp. 10 p, 10/1/2012*
- [CAN 31] *Modélisation thermomécanique hybride en perçage pour la simulation du champ de température dans l'outil, N. Guillemot, S. Lavernhe, C. Lartigue, D. Deloison, G. Abrivard, D. Schuster, D. Aliaga, 7ème Assises MUGV ENISE – CETIM, Saint-Etienne, pp. 10 p, 10/1/2012*

11.7. HDR et thèses

- [HDR 1] *Usinage de Pièces Mécaniques en Fraisage : De la Préparation à la Prédiction de la Qualité Géométrique et la Tenue en Service*, B. Mawussi, l'Université de Grenoble, 206 pages, décembre 2009
- [HDR 2] *Contribution à l'amélioration de la qualité des surfaces fabriquées sur centre d'usinage à 5 axes*, C. TOURNIER, ENS de Cachan, 196 pages, octobre 2009
- [TH 1] [Simulation et quantification tridimensionnelle des défauts générés par processus de fabrication](#), B. Ayadi, Thèse en cotutelle ENS de Cachan / Ecole Supérieure des Sciences et Techniques de Tunis, 189 pages, juin 2009
- [TH 2] *Simulation d'assemblage flexible par la mesure - Application au domaine de l'aéronautique*, P. Breteau, Thèse de l'ENS Cachan, 150 pages, janvier 2009
- [TH 3] *Contribution à l'amélioration de la qualité géométrique de positionnement d'un robot anthropomorphe dans le cas d'assemblage de structures aéronautiques*, M. Douilly, Thèse de l'ENS Cachan, 170 pages, mars 2009
- [TH 4] [Copiage rapide de formes sur machine outil à commande numérique en fraisage 5 axes positionné](#), M. Makki, Thèse de l'ENS Cachan, 164 pages, juillet 2009
- [TH 5] *Contribution à l'analyse des défauts géométriques dans le routage d'un réseau hydraulique en aéronautique : Incidences sur la conception*, M. Mounaud, Thèse de l'ENS Cachan, 220 pages, juillet 2009
- [TH 6] [Génération de trajectoires d'usinage grande vitesse 5 axes par flanc d'outil : intégration d'un critère de fluidité](#), P.Y. Péchard, Thèse de l'ENS Cachan, 164 pages, juillet 2009
- [TH 7] [Conception et réalisation de pièces prototypes fonctionnelles en usinage sur machines-outils à commande numérique 5 axes](#), T. Salloum, Thèse de l'ENS Cachan, 168 pages, octobre 2009
- [TH 8] [Méthodologie de conception innovante assurant la sécurité des opérateurs : application à la liaison tracteur-outils](#), R. Ghemraoui, Thèse de l'ENS Cachan, 210 pages, novembre 2009
- [TH 9] *Etude de la capabilité de la photogrammétrie sans cibles pour la mesure de tuyauteries*, L. Daoud, Thèse de l'ENS Cachan, 215 pages, juin 2010
- [TH 10] [Multisensor integration and discrete geometry processing for coordinate metrology](#), H. Zhao, Thèse de l'ENS Cachan, 233 pages, juin 2010
- [TH 11] [Contribution à la recherche de spécifications pour la gestion des variations géométriques au plus tôt dans le cycle de conception](#), R. Costadoat, Thèse de l'ENS Cachan, 232 pages, juillet 2010
- [TH 12] [Prise en compte de l'intégrité de surface pour la prévision de la tenue en fatigue de pièces usinées en fraisage](#), N. Guillemot, Thèse de l'ENS Cachan, 232 pages, décembre 2010
- [TH 13] [Contribution au tolérancement fonctionnel 3D des mécanismes complexes : Synthèse des spécifications et Analyse de tolérances](#), R. Chavanne, Thèse de l'ENS Cachan, 235 pages, juillet 2011
- [TH 14] [Modélisation avancée du couple Machine Outil / Commande Numérique dans un contexte UGV pour l'optimisation du calcul de trajectoires multi axes](#), D. Prévost, Thèse de l'ENS Cachan, 238 pages, juillet 2011
- [TH 15] [Discrete shape modelling for Geometrical Product Specification : contribution and application to Skin model simulation](#), M. Zhang, Thèse de l'ENS Cachan, 173 pages, octobre 2011
- [TH 16] [Méthodologie de maîtrise des variations géométriques des produits en conception, fabrication et contrôle dans le contexte de l'usine numérique](#), M. Caux, Thèse de l'ENS Cachan, 179 pages, 29 juin 2012
- [TH 17] [Intégration des effets des dilatations thermiques dans le tolérancement](#), S. Bénichou, Thèse de l'ENS Cachan, 168 pages, 5 juillet 2012
- [TH 18] [Modélisation et simulation du procédé de prépolissage automatique sur centre d'usinage 5 axes](#), A. Guiot, Thèse de l'ENS Cachan, 212 pages, 6 décembre 2012
- [TH 19] *Une approche globale pour la métrologie 3D multi-systèmes*, N. Audray, Thèse de l'ENS Cachan, 256 pages, 17 décembre 2012
- [TH 20] [Tolérancement flexible d'assemblages de grandes structures aéronautiques](#), A. Stricher, Thèse de l'ENS Cachan, 165 pages, 8 février 2013

11.8. Masters

- [M 1] *Développement d'un assistant de tolérancement fonctionnel dans le logiciel CATIA*, **R. Chavanne**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2008
- [M 2] *Restitution et contrôle de géométrie 3-D déformable à partir d'une mesure sans contact*, **P. Mons**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2008
- [M 3] *Modélisation d'axe de machine outil pour la simulation du suivi de trajectoires*, **D. Prevost**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2008
- [M 4] *Numérisation intelligente basée sur des critères qualité*, **N. Audfray**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2009
- [M 5] *Tolérancement automatique de montages de roulements*, **M. Caux**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2009
- [M 6] *Optimisation en perçage*, **C. Dunand-Chatelet**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2009
- [M 7] *Préparation à l'usinage de formes complexes multi-cavités*, **B. Goeldel**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2009
- [M 8] *Etude de la fluidité des trajectoires d'usinage en fraisage 5 axes sur le flanc*, **A. Guiot**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2009
- [M 9] *Création d'un outil d'aide à la conception de gammes de production et des moyens associés*, **D. Guyonneau**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2009
- [M 10] *Modélisation et identification de défauts géométriques sur centre d'usinage à grande vitesse 5 axes*, **L. Andolfatto**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan / Ecole Polytechnique de Montréal, 2010
- [M 11] *Génération de trajectoires pour le ponçage de panneaux composites*, **J. Belchior**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2010
- [M 12] *Développement d'un interpolateur pour la commande de machines d'usinage*, **X. Beudaert**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2010
- [M 13] *Caractérisation du défaut de forme de pièces composites*, **B. Javot**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2010
- [M 14] *Acquisition et recalage de nuages de points dans le cadre de la mesure de structures aéronautiques de grandes dimensions*, **P.A. Tabournel**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2010
- [M 15] *Cotation statistique et mise en place du logiciel 3DCS*, **M. Vollebregt**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2010
- [M 16] *Elaboration d'algorithmes d'optimisation pour la recherche des paramètres géométriques influents sur le calcul photométrique*, **S. El Gamoussi**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2011
- [M 17] *Évaluation et utilisation d'un logiciel d'étalonnage par multilatération dans le cadre des MMT et MOCN*, **M. Camboulives**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2011
- [M 18] *FitFlex pour l'analyse de tolérances*, **P. Goncalves**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2011
- [M 19] *Dépinçage automatique de trajectoires d'usinage*, **V. Lacharnay**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2011
- [M 20] *Contribution à la conception d'un banc d'étalonnage de capteurs optiques*, **N. El Hayek**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2011
- [M 21] *Équilibrage virtuel de vilebrequins par photogrammétrie*, **A. Houet**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2011
- [M 22] *Copiage miroir par usinage sur le flanc*, **M. Nicolas**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2011
- [M 23] *Elaboration de critères descriptifs du pouvoir coupant d'abrasifs utilisés en préparation de surfaces composites ou métalliques avant peinture ou collage*, **R. Poiree**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2011
- [M 24] *Optimisation du perçage d'empilages titane-carbone*, **A. Benti**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2012
- [M 25] *Validation de simulations d'assemblages flexibles*, **C. Lacroix**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2012
- [M 26] *Optimisation de la conception d'aubes de turbine hydraulique par la surface d'usinage*, **J. Monge**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2012
- [M 27] *Création d'une méthode de cotation fonctionnelle 3D ISO : Application à une aube*, **M. Petitcuenot**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2012

- [M 28]** *Repérage et recalage de vilebrequins bruts sur un nuage de points par photogrammétrie*, **V. Simoes**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2012
- [M 29]** *Optimisation évolutionnaire CMA-ES pour la reconstruction de surfaces quadriques*, **M. Trainini**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2012
- [M 30]** Valorisation de Géo5XPoint pour la détermination des orientations de l'axe outil et son développement à l'usinage 5 axes continu, **L. Amand**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2013
- [M 31]** Comparaison de protocoles de mesure sans contact pour l'évaluation de défauts d'usinage, **L. Dubreuil**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2013
- [M 32]** Modélisation et mesure des défauts géométriques de MOCN 5 axes en vue de leur compensation, **F. Viprey**, Mémoire de master de l'ENS de Cachan, 2013