

Axe MMS

Mécanique, Matériaux et Structures

Thématique : **Machines Mécanismes et Systèmes Industriels
(MMSI)**

**Etude du comportement des systèmes
complexes en conditions réelles**

réfèrent: Vincent Gagnol

email: vincent.gagnol@ifma.fr

Cadre, nature et objectif des travaux

- **L'optimisation des performances** pour la réalisation de **tâches complexes** des machines d'usinage, des robots manipulateurs et des mécanismes de locomotion nécessite une connaissance très précise du comportement mécanique.
- L'activité scientifique du thème porte sur le développement de **modèles de comportement robustes et fiables**, couplés à l'**identification** géométrique, statique, cinématique et dynamique des machines et des mécanismes et intégration à des lois de **commande avancées**.
- Les travaux sont de nature **théorique** et **expérimentale** et concernent aussi bien les comportements **statiques** et **dynamiques**, **linéaires** et **non linéaires**.



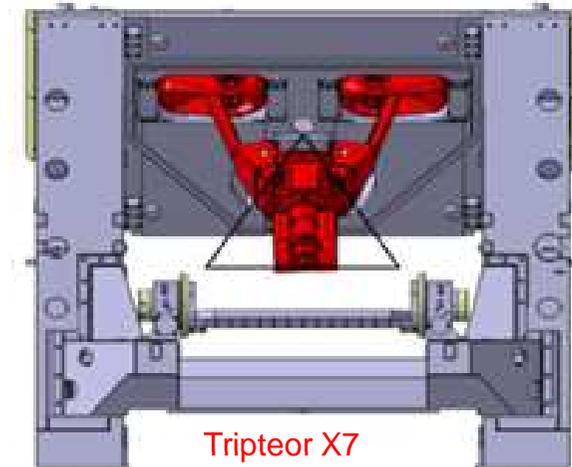
Robot ABB IRB 6660



Tête d'abattage

Etude du comportement des systèmes complexes en conditions réelles

- **Forces vives :**
 - 15 Personnes (11 EC, 1 IATOS, 3 Post)
 - 15 Doctorants
- **Sujets scientifiques :**
 - Modélisation et identification du comportement des machines
 - intégration des machines à architecture complexes et redondantes
 - Commandes avancées
- **Plates-formes d'appui :**
 - IFMA CTT



Tripteor X7

Cellule d'usinage robotisée

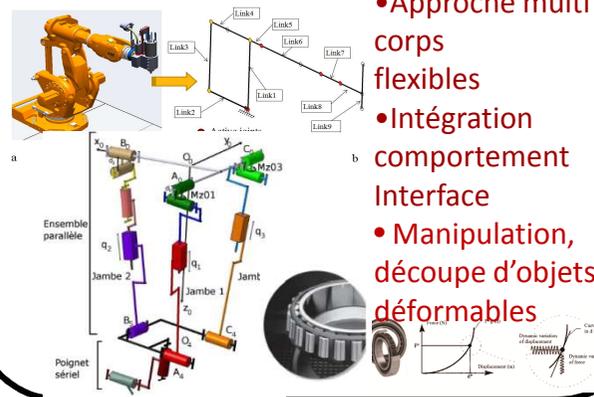


Problématique scientifique/Centre d'intérêt

Machines en conditions réelles



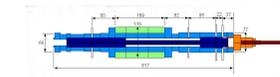
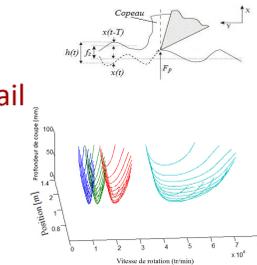
Modélisation



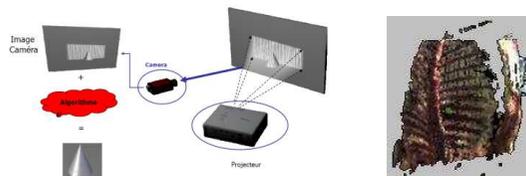
- Approche multi corps flexibles
- Intégration comportement Interface
- Manipulation, découpe d'objets déformables

Prédiction de comportement optimisation

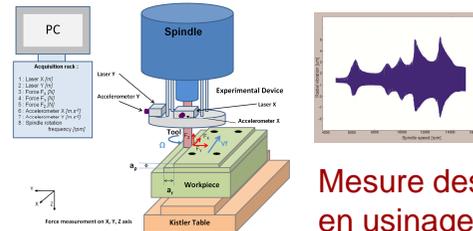
- Stabilité de la coupe
- Espace de travail
- Règles de conception et d'utilisation



Electrobroche optimisée

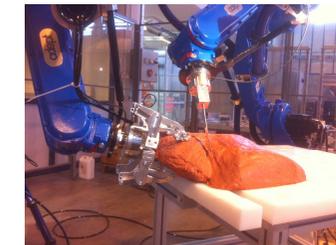


Lumière structurée et reconstruction 3D



Mesure des vibrations en usage

Identification



- Commande vision/force
- Traversée des singularités
- Estimation en ligne et observation

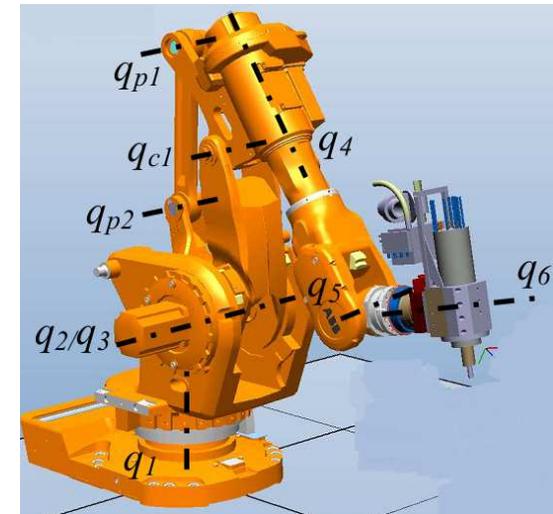
Commande

Actions scientifiques

- **Modélisation, commande et identification du comportement des machines (10 EC, 10 Doctorants)**
 - Modélisation statique, cinématique et dynamique
 - Identification par approches expérimentales
 - Surveillance et maintenance adaptative
- **Intégration des machines à architecture complexes et redondantes (6 EC, 8 Doctorants)**
 - Réalisation de tâches complexes en environnement peu structuré
 - Conception et gestion de systèmes à redondances cinématiques
- **Commandes avancées (5 EC, 3 Doctorants)**
 - commande adaptative et prédictive
 - commande multi-modèle

Modélisation, commande et identification du comportement des machines

- Problématiques :
 - Modélisation statique, cinématique et dynamique
 - Identification par caractérisations expérimentales
 - Surveillance et maintenance adaptative
- Objectifs:
 - Améliorer la **prédiction de comportement**
 - Etablir **des règles de conception et d'utilisation** des machines et robots adaptées à la tâche
 - Développement de fonctions **surveillance et diagnostic** et intégration dans la commande
- Forces vives :
 - 10 enseignants-Chercheurs/ 10 doctorants
- Collaborations: ISPR, Contrat cadre de recherche avec MICHELIN, Aubert & Duval, Vibrafloor.
- Projets: ANR ARMS, FAST, VOPAMP; Projet FUI- ECOMEF, SRDViand, LabEx ImobS 3, EquipEx RobotEx



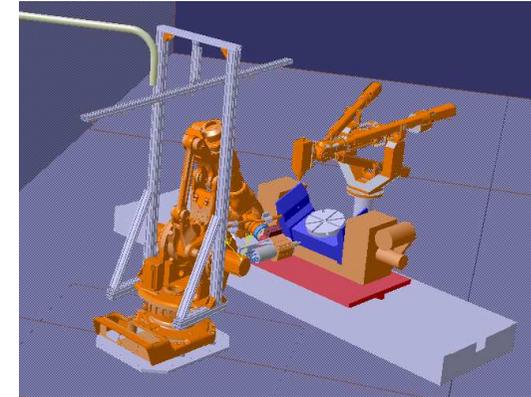
Acteurs:

Nicolas Bouton
B. Chedli Bouzgarrou
Hélène Chanal
Frederic Chapelle
Jean-Christophe Fauroux
Vincent Gagnol
Grigore Gogu
Thien-phu Le
Pascal Ray
Laurent Sabourin

Contact: Vincent Gagnol, vincent.gagnol@ifma.fr

Intégration des machines à architecture complexes et redondantes

- Problématiques :
 - Réalisation de **tâches complexes** en environnement peu structuré
 - Conception, modélisation et gestion de systèmes à **redondances cinématiques**
 - Objectifs :
 - Améliorer le **comportement** cinématique, dynamique
 - **Planifier** de manière optimisée les trajectoires
 - Définir de nouveaux critères pour la **gestion des redondances**
 - Forces vives :
 - 10 enseignants-Chercheurs/ 10 doctorants
 - Collaborations : ISPR, Constellium, Aubert & Duval
 - Projets : ANR ARMS, FUI SRDViand, FP7 Echord Dexdeb, Equipex Robotex
- Contact : Laurent Sabourin, laurent.sabourin@ifma.fr



Acteurs:

Nicolas Bouton
B. Chedli Bouzgarrou
Hélène Chanal
Frederic Chapelle
Jean-Christophe Fauroux
Grigore Gogu
Khalid Kouiss
Thien-phu Le
Laurent Sabourin
Pascal Ray

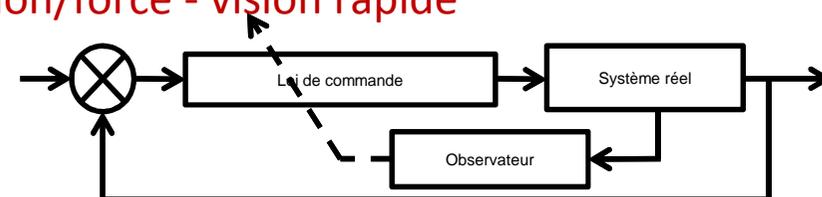
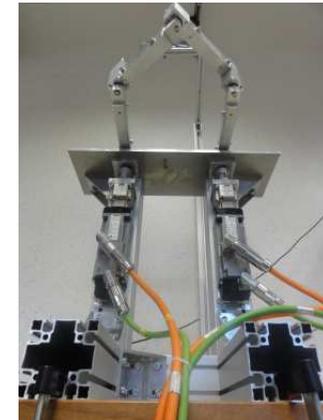
Commandes avancées

■ Problématiques :

- Commander de façon **optimale et robuste** les systèmes mécaniques
- Caractérisation et commande des machines par vision-
Commande de robots parallèles

■ Objectifs:

- Lois de commande avancées (machines outils et robots)
- commande multi modèle – commande prédictive –
commande adaptative - couplage vision/force - vision rapide
- Traversée des singularités
- Estimation en ligne et observation



■ Forces vives :

- 5 enseignants-Chercheurs
- 3 doctorants

■ Collaborations: ISPR, IRRCyN, Adiv

■ Projets: ANR ARMS, FUI SRDViand, FP7 Echord Dexdeb, Equipex Robotex

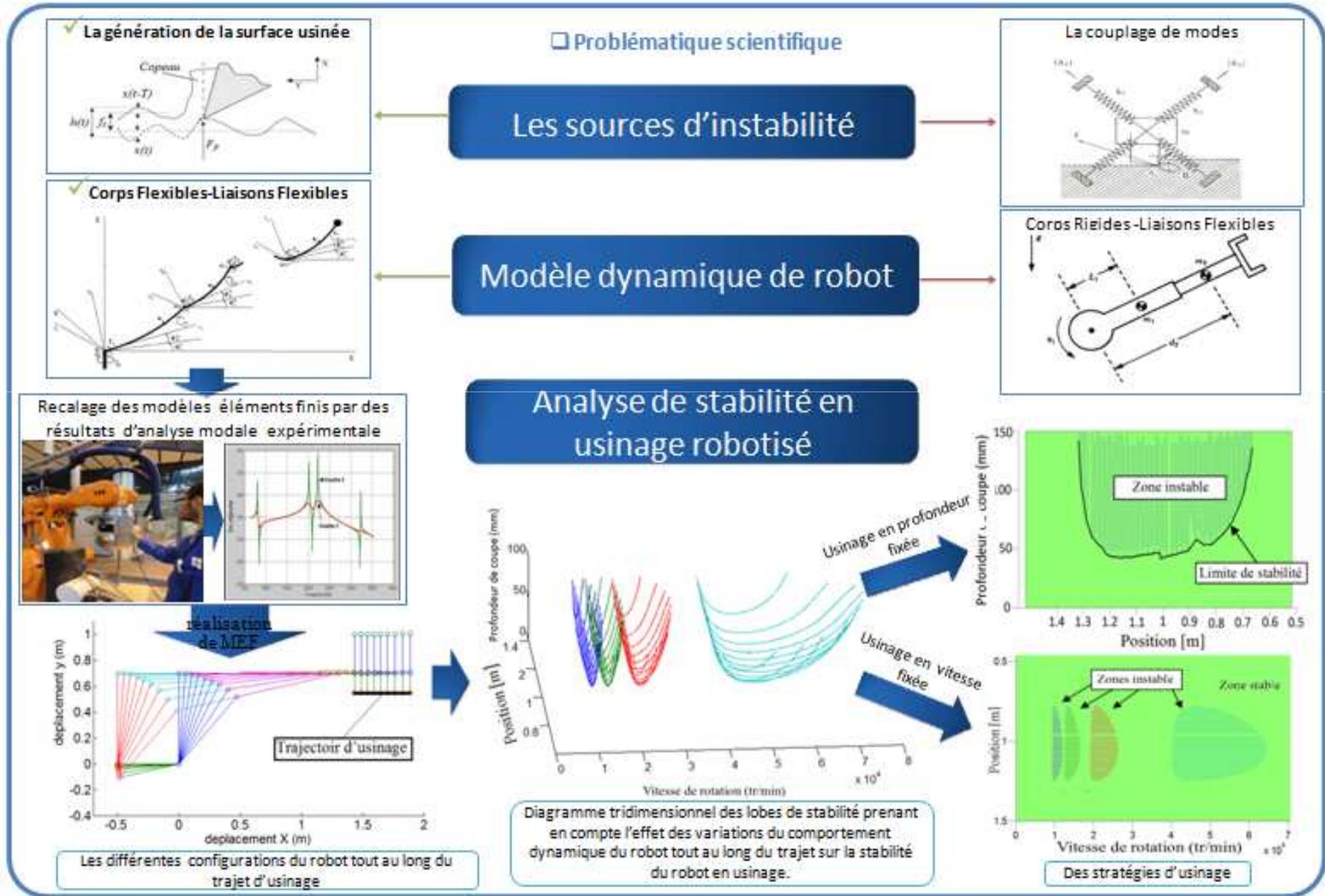
Acteurs:

Nicolas Bouton
B. Chedli Bouzgarrou
Hélène Chanal
Grigore Gogu
Laurent Sabourin

Contact: Nicolas Bouton, Nicolas.bouton@ifma.fr

Exemples d'application

Analyse de la stabilité de la coupe d'un procédé d'usinage robotisé

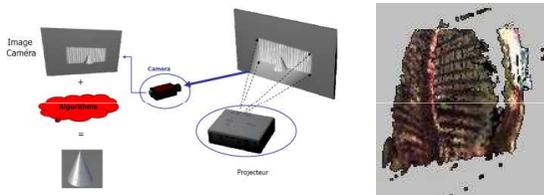


Exemples d'application (suite) *FUI SRD Viand*

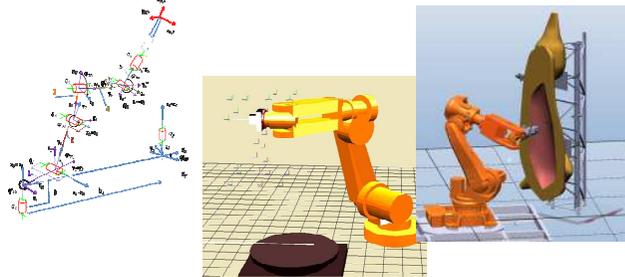
Système robotisé pour la découpe des viandes

Contexte :

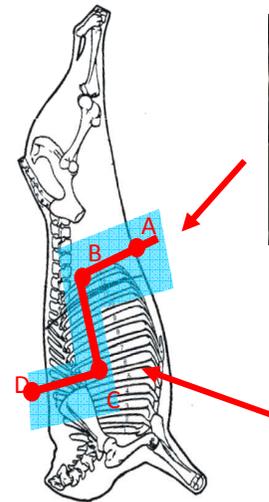
- Forte variabilité des éléments (carcasse de bœuf, jambon de porc)
- Corps déformable (organique)
- Pas de référentiel facilement identifiable (structure, couleur, viande/os)
- Découpe anatomique (respect de l'intégrité des muscles)
- Taches complexes nécessitant des données sensorielles (vue, contrôle d'effort) et la connaissance d'un référentiel anatomique (spécialiste)



Lumière structurée et reconstruction 3D



Modélisation, planification, simulation



Forte variabilité



Commande en effort



Auto adaptation des trajectoires

Enjeux scientifiques :

- Formaliser et adapter le processus de coupe à la robotique
- Garantir la qualité de coupe en tenant compte de la variabilité

Exemples d'application (suite)

Caractérisation et minimisation des pertes par ripage latéral en braquage différentiel sur véhicule 6x6

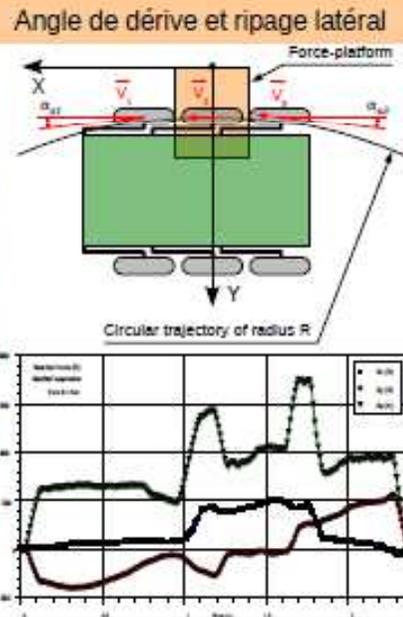
Contexte :

- Véhicule 6x6 tout-terrain robuste (plate-forme Kokoon développée à l'IFMA)
- Braquage différentiel (skid steering) sans roues directrices
- Forces latérales de ripage élevées → blocage

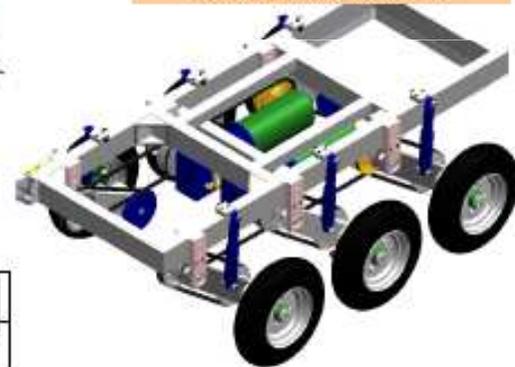
Caractérisation de comportement réel du véhicule 6x6 Kokoon



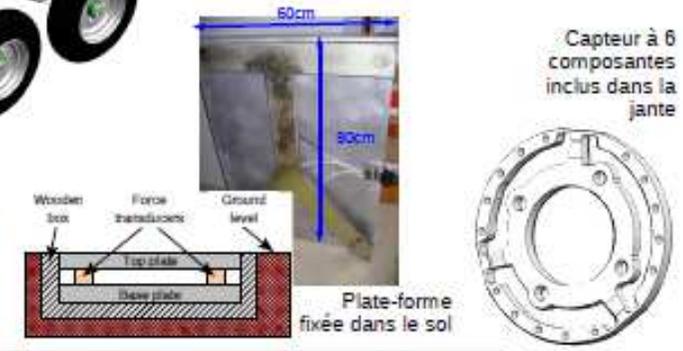
Mesure contact roue-sol en virages et amélioration du rendement de 30%



Une plate-forme robuste 6x6 sans roues directrices



2 types de capteurs de forces à 6 composantes



Enjeux scientifiques :

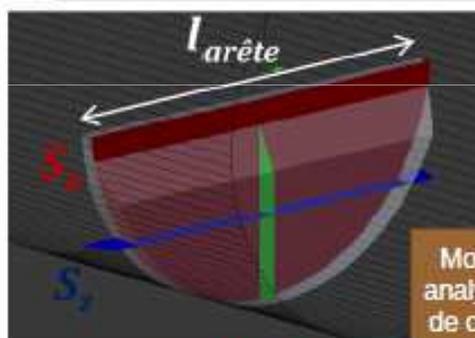
- Mesurer les forces de contact roue-sol sur un système hyperstatique roulant
- Diminuer les pertes par ripage → brevet suspension innovante bi-stable

Exemples d'application (suite)

Projet FUI ECOMEF : modélisation des forces de coupe d'ébranchage et d'entraînement du tronc

Contexte :

- Eco-concevoir une machine de bûcheronnage feuillu
- Augmenter le rendement de 40% en feuillus
- Feuillu = bois dur + tronc flexueux
- Forces d'ébranchage du tronc par des couteaux
- Forces d'entraînement du tronc par des rouleaux

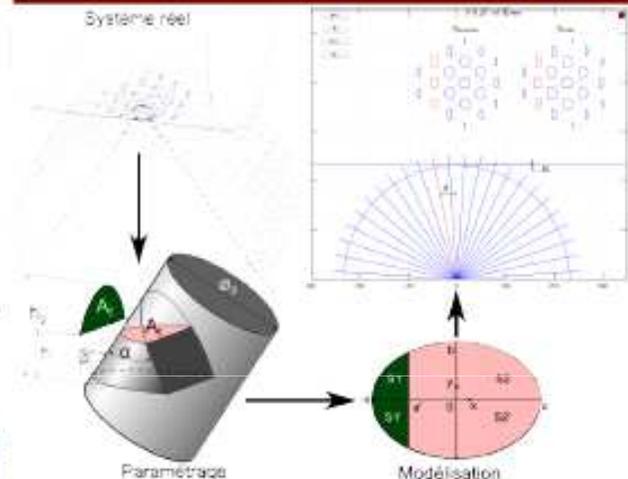


Modèle analytique de coupe

- Détermination de l'effort de coupe théorique en fonction :
 - du taux d'humidité TH
 - des surfaces projetées de l'intersection couteau S_x S_y / tronc et de la longueur d'arête de coupe en prise $L_{arête}$



Modèle analytique des forces d'entraînement basé sur la forme des dents du rouleau



Développement d'un pendule dynamométrique de coupe par choc

Développement d'un banc d'essai d'entraînement par rouleau



Enjeux scientifiques :

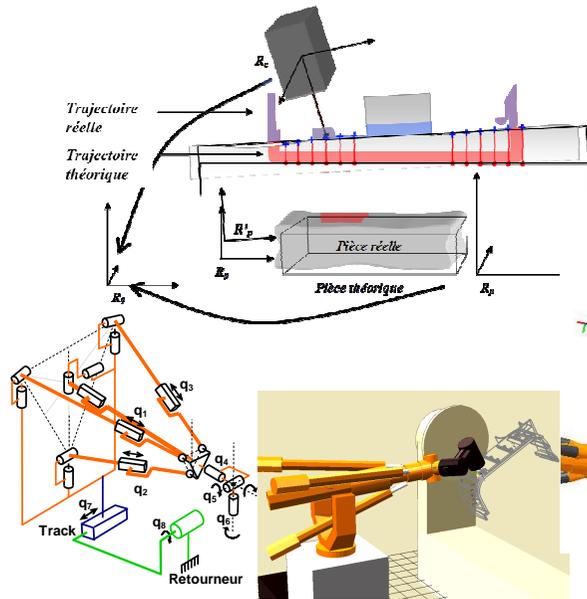
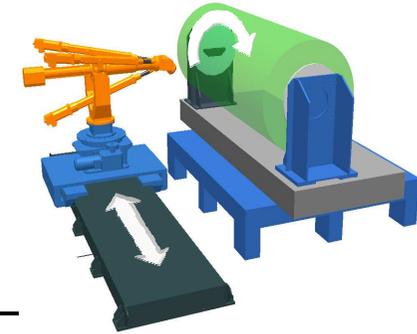
- Modéliser le **comportement réel** de la tête de bûcheronnage pour l'**optimiser**
- **Développer des têtes performantes en feuillus** → **brevets en cours** avec PME

Exemples d'application (suite)-Aubert & Duval

Système robotisé pour l'usinage et le parachèvement

Contexte :

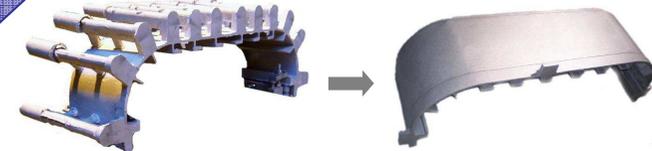
- Pièces de grandes dimensions (issues de fonderie)
- Multi-procédés (usinage, polissage)
- Pièces déformées (issues de fonderie)
- Usinage (attaque de coulée)
- Polissage (respect du profil)



Acquisition 3D
et recalage des
trajectoires



Cellule redondante



Modélisation, planification, simulation

Enjeux scientifiques :

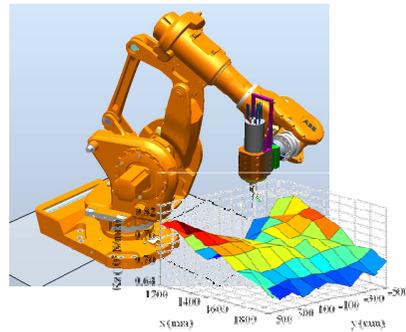
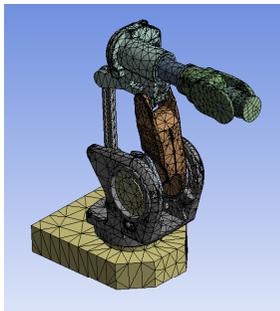
- Définir des critères de gestion de la redondance adaptée aux contraintes des procédés
- Garantir la qualité d'usinage et de polissage en tenant compte des déformations de la pièce

Exemples d'application (suite) LabEx Imobs 3

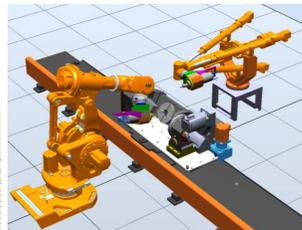
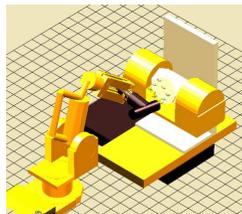
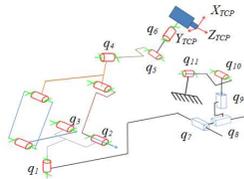
Système robotisé pour l'usinage et le parachèvement

Contexte :

- Usinage robotisé (robot sériel et parallèle)
- Pièces de grandes dimensions (pièces forgées)

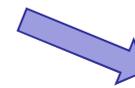
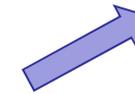


Etude de la rigidité



Modélisation, planification, simulation

Usinage



Polissage



Enjeux scientifiques :

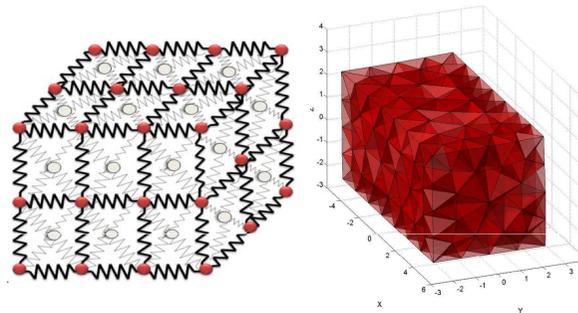
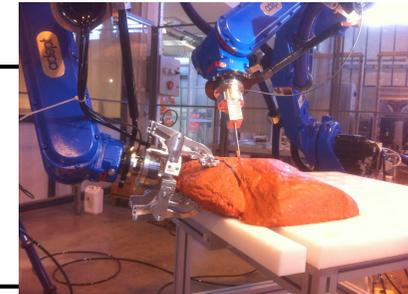
- Identifier le comportement dynamique sous fortes sollicitations
- Planifier de manière optimale les trajectoires

Exemples d'application **FUI SRD Viand**

Manipulation d'objets déformables

Contexte :

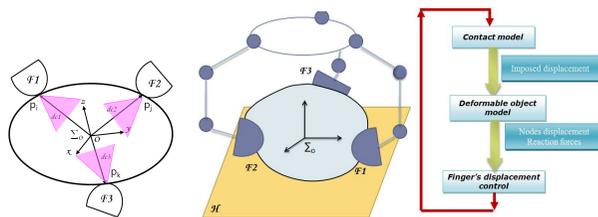
- Prise et découpe d'objets déformables
- Manipulation multi-bras
- Interaction homme-robot



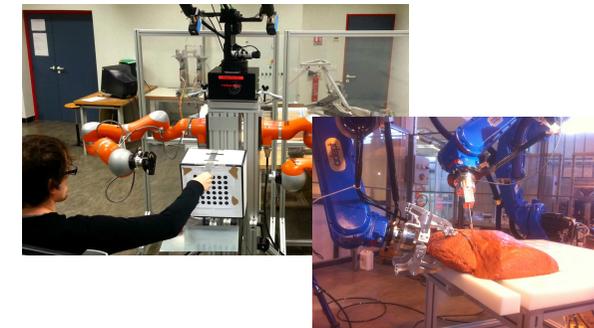
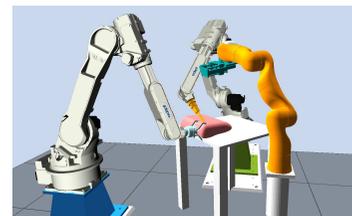
Etude des objets déformables et interactions



Prise d'objet – interaction homme robot



Définition des critères de prise Planification Simulation



Commande référencée vision/force

Enjeux scientifiques :

- **Modéliser** le comportement des objets déformables – **Méthode masse -ressort**
- **Définir** des lois de commande **vision, force, vision/force**

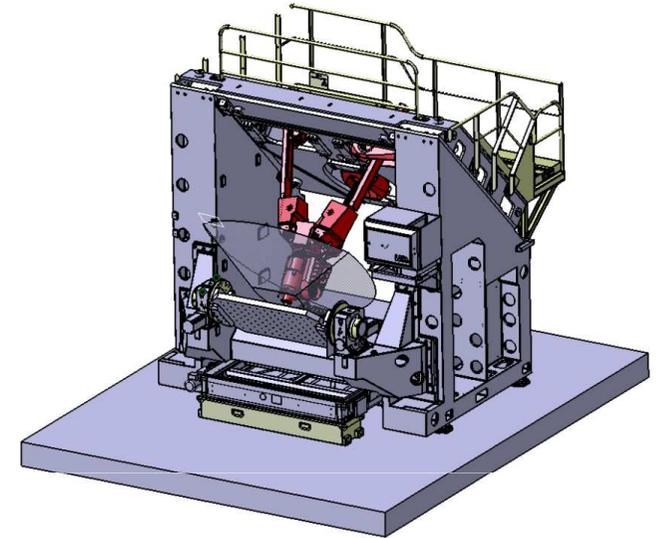
Exemples d'application – Projet PCI

Supervision de l'usinage sur une machine outil à structure parallèle.

Contexte : maîtriser le comportement en usinage sur PKM

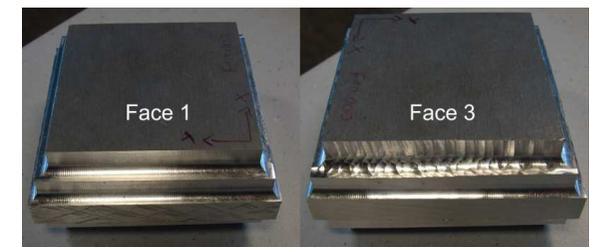
- Machine outils à structure parallèle en UGV
 - ➔ Changement de comportement selon la pose de l'outil
 - ➔ Rigidité plus faible
 - ➔ Apparition de vibrations lors de l'usinage

- ➔ **Application** : Tripteor X7



Enjeux scientifiques :

- **Identification des comportements** pénalisants pour la qualité de la pièce usinée
- Identification et suivi de paramètres permettant de décrire le comportement de la machine en cours d'usinage
- Définition de critères et de seuils caractérisant la qualité de l'usinage
- Mise en place d'une **méthode de supervision** (continue ou intermittente)
- Définition des actions à réaliser (modification de paramètres de commande, de la trajectoire ...)



Exemples d'application (suite)

Commande avancée de robots parallèles

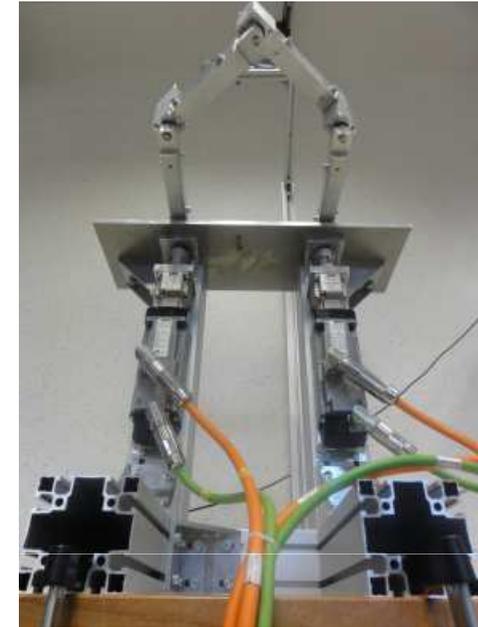
➤ **Contexte** : Traverser les singularités de Type 2 pour augmenter l'espace de travail atteignable et assurer la reconfiguration de certains robots

➔ **Meilleure précision, rapidité et robustesse** qu'une architecture mécanique sérielle

➔ **Modélisation complexe**

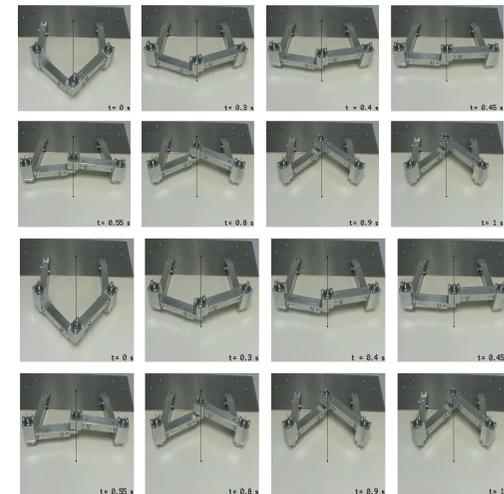
➔ **Espace de travail limité** par les singularités sérielle (Type 1) et **parallèle (Type 2)**

➔ **Application** : Robot parallèle 5 barres (développés à l' Institut Pascal)



Enjeux scientifiques :

- **Modélisation complexe** des robots parallèles
- **Critère dynamique** pour **traverser les singularités parallèles**
- Génération de **trajectoires pour la traversée**
- Mise en place de **lois de commande multi-modèles adaptatives** pour le suivi de trajectoire **robuste et précis**
- Mise en place de **solutions dédiées aux robots parallèles reconfigurables bloqués dans une singularité de Type 2**



Bilan sur 2008-2013

▪ Savoirs-faire scientifiques

- Modélisation du comportement cinématique et dynamique des structures sérielles et parallèles – gestion des redondances cinématiques - mécanismes modulaires à haute mobilité
- Simulation rapide- methode masse-ressort
- Caractérisation et commande des machines par vision- Commande de robots parallèles – commande multi modèle – commande prédictive – commande adaptative - couplage vision/force - vision rapide

▪ Avancées scientifiques :

- méthodes innovantes d'identification d'interfaces- receptance coupling
- méthodes d'identification en service (Modified Frequency Domain Decomposition)
- modélisation multi-corps flexibles
- Traversée des singularités de Type 2 par commande multi modèle

▪ Résultats et compétences acquises :

- Espace de travail affiné
- Prédiction de comportement et de stabilité des systèmes mécaniques
- Gestion des redondances cinématiques...
- Gestion de la reconfiguration de robots parallèles

Bilan sur 2008-2013

■ Thèses et Masters :

- ANR, PCRD : 3 en cours, FP7 : 1, Labex : 1 en cours, Equipex : 1 en cours
- Thèses financées : 10 dont 1 CPER (2010), 3 Labex (2011) , 1 Equipex (2011), Contrats industriels (Michelin, Aubert et Duval, PCI, Vibrafloor,...)
- 3 post-docs CPER Région Auvergne

■ Production scientifique :

- Publications : 49 ACL et 89 ACTI
- Brevets : 3

■ Projets et collaborations :

- ANR ARMS, FUI SRDViand, FP7 Echord Dexdeb, Equipex Robotex , ANR ARMS,FAST, VOPAMP; Projet FUI ECOMEF, contrat industriel: Michelin, Aubert et Duval, Cifre: Vibrafloor
- Collaborations internationales

Bilan sur 2008-2013

▪ Rayonnement scientifiques :

- Conférences invitées...
- Jury de thèse;
- XI International Conference on Mechanisms and Mechanical Transmissions (MTM) and the International Conference on Robotics (Robotics'12).
- Assises MUGV 2014

▪ Points forts:

- Modélisation du comportement cinématique et dynamique des structures sérielles et parallèles – gestion des redondances cinématiques - mécanismes modulaires à haute mobilité
- Simulation rapide- méthode masse-ressort
- Caractérisation et commande des machines par vision- Commande de robots parallèles – commande multi modèle – commande prédictive – commande adaptative - couplage vision/force - vision rapide
- Méthodes d'identification en service innovante (Frequency Domain Decomposition)

Perspectives 2014-2020

- **Projets et ambitions:**

- Pilotage intelligent des machines
- Prise en compte des incertitudes et fiabilité associée à la prédiction
- Intégration dans les lois de commande des comportements identifiés en service
- Allègement des machines par utilisation de matériaux composites
- Développement d'actionneur sur la base de matériaux à mémoire de forme
- ...

Etude du comportement des systèmes complexes en conditions réelles

