

# DEXTER

## Conception et commande de robots pour la manipulation

### Effectifs

au 30/06/2013 :

8 permanents (6,4 ETP)

11 doctorants (11 ETP)

3 autres personnels (3 ETP)

Nombre de thèses soutenues  
entre le 01/01/2008  
et le 30/06/2013 : 16,5

### Responsables :

Olivier Company

### Page Internet de l'équipe :

[http://www.lirmm.fr/  
recherche/equipes/dexter](http://www.lirmm.fr/recherche/equipes/dexter)

CONCEPTION, COMMANDE, MANIPULATION, ROBOTIQUE  
PARALLELE, ROBOTIQUE MEDICALE

## Présentation

L'équipe DEXTER se donne pour objectifs de concevoir, réaliser et commander des robots performants capables de gestes fins, rapides et/ou précis. Pour atteindre ces objectifs, les activités de recherche fondamentales sont systématiquement couplées à des validations expérimentales réalistes facilitant leur valorisation auprès de l'industrie ou du secteur médical. Les thèmes scientifiques de l'équipe incluent des méthodologies de conception mécanique, la proposition d'indices de performance originaux, le développement de protocoles d'estimation et la synthèse de commandes référencées capteur (effort/vision) et/ou modèle (prédictive, adaptative). Privilégiant l'innovation au sein d'une démarche essentiellement mécatronique, les contributions majeures de l'équipe portent sur deux grands domaines :

- Robotique médicale allant de l'assistance à la personne à l'assistance au chirurgien
- Robotique parallèle pour des applications industrielles exigeantes en termes de vitesses, précision, dimensions de l'espace de travail et/ou masses des charges transportées.

## Evolution de l'équipe

Après une période de croissance, l'effectif de l'équipe est resté stable depuis 2008. Le nombre et la diversité des projets de recherche auxquels l'équipe participe témoignent du dynamisme de ses thèmes de recherche.

En robotique médicale, l'orientation est à la miniaturisation et aux nouvelles pratiques chirurgicales de moins en moins invasives telles la chirurgie à port unique, la chirurgie endoluminale ou la radiologie interventionnelle, pour lesquelles de nouvelles techniques et de nouveaux outils d'assistance au geste chirurgical doivent être proposés.

En robotique parallèle, le défi des grandes accélérations (100G) a été relevé et laisse progressivement la place aux robots capables de travailler sur de grandes dimensions ou de réaliser des mouvements à la fois rapides et précis.

## Organisation et Vie de l'équipe

Les membres de l'équipe DEXTER sont porteurs de compétences variées en robotique, mécanique et automatique. Ils interagissent et collaborent au travers de co-encadrements de thèse et de projets de recherche qui mêlent conception mécanique et commande. Les nombreuses validations expérimentales sur démonstrateurs entretiennent la richesse des échanges de savoir faire et du partage d'expérience entre les différents membres de l'équipe (permanents, post-doctorants, doctorants, stagiaires).

En outre, des séminaires internes bimestriels sont organisés. L'objectif est de faire partager les avancées scientifiques les plus récentes, de les soumettre à la critique des membres de l'équipe et d'entretenir la synergie entre les différentes compétences et l'innovation. L'équipe a accueilli deux professeurs invités sur la période et des séminaires sont donnés par des chercheurs extérieurs à l'occasion de leur séjour au laboratoire.

## Activités scientifiques

L'équipe DEXTER imagine, conçoit et réalise la mécanique et la commande de systèmes robotiques innovants et complexes. Ces travaux de recherche se déclinent historiquement selon deux thématiques :

- Robotique médicale
- Robotique parallèle

## Bilan / Résultats scientifiques

### Robotique Médicale

En robotique médicale, les travaux de l'équipe portent principalement sur l'assistance aux gestes du chirurgien. Ils ont été le fruit de collaborations étroites avec les praticiens hospitaliers (CHU Grenoble, Montpellier, Pise, Dundee, ...).

La problématique scientifique est d'augmenter les capacités de perception et d'action du chirurgien dans le contexte de l'évolution des techniques chirurgicales qui sont de moins en moins invasives pour le patient telles que la chirurgie à port unique, la chirurgie endoluminale ou bien encore la radiologie interventionnelle. Dans ce but, deux problèmes fondamentaux d'automatique ont été (et sont) abordés :

1. L'estimation des mouvements physiologiques en vue de leur compensation (battements du cœur, mouvements respiratoires) à partir de différents capteurs (vision endoscopique ou échographie, effort).

Dans le contexte de la chirurgie cardiaque, l'équipe a proposé un algorithme de reconstruction 3D de la surface du cœur en stéréo-endoscopie. Son originalité repose sur l'utilisation d'un modèle paramétré à base de Splines et sur l'absence de marqueurs artificiels (Figure 1).

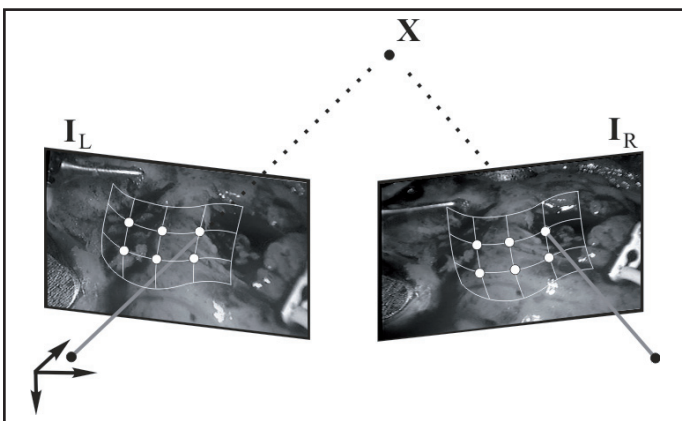


Figure 1 - Reconstruction de la surface du cœur

Pour améliorer les performances de la reconstruction en termes de temps de calcul et de robustesse, en particulier par rapport aux occultations, un modèle de prédiction [FP6 AccuRobAs] [RBmedia12] a été aussi défini. Dans le contexte de la radiologie interventionnelle, pour prendre en compte les déformations et/ou les mouvements des organes durant l'insertion robotisée d'une aiguille flexible (Figure 2) dans le corps du patient, un algorithme de guidage et de planification adaptative de chemin basé sur

une technique de type Arc-RRT a été synthétisé et validé expérimentalement [BAicra12]. Ces travaux trouvent une extension naturelle dans le cadre du projet ANR TecSan ROBACUS où l'objectif est d'utiliser un robot compatible IRM et Scanner pour réaliser l'insertion de l'aiguille de façon téléopérée tout en compensant les mouvements physiologiques et les déformations des organes.

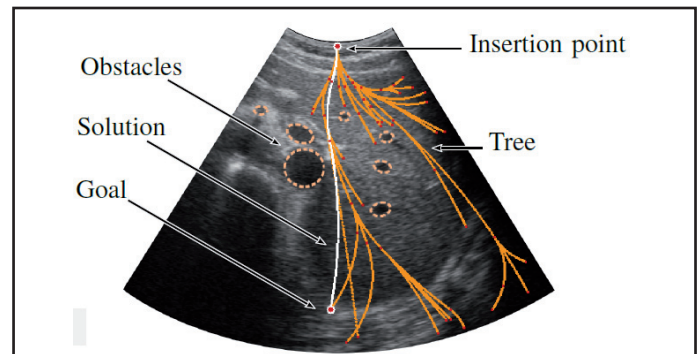


Figure 2 - Planification dynamique pour insertion d'une aiguille

### 2. La modélisation des interactions et la manipulation à retour d'effort.

En chirurgie à port unique par exemple [FP7\_ARAKNES], l'utilisation d'instruments actifs à l'intérieur du corps dans un environnement, qui peut avoir des propriétés mécaniques très hétérogènes dues à la présence de tissus mous et de structures rigides, pose les problèmes de stabilité de la commande et de la transparence de l'interaction restituée au chirurgien lors de tâches téléopérées. L'équipe a donc étendu ses travaux sur la synthèse de contrôleur pour la téléopération à retour d'effort sur le robot SPRINT conçu par l'équipe de la SSSA à Pise. Les performances de différentes architectures de téléopération pour différents modèles d'interaction ainsi que l'influence du passage à l'échelle macro-micro et les capacités de perception des interactions par le chirurgien [SLicra12] ont été analysées. Par ailleurs, dans le domaine de l'assistance à la personne et en étroite collaboration avec l'équipe DEMAR, l'équipe s'est intéressée à la compensation active de tremblements pathologiques en utilisant des techniques de stimulation électrique fonctionnelle [ANR PsiRob TREMOR]. Les résultats majeurs ont porté sur l'estimation du tremblement, la modélisation et la modulation d'impédance d'articulations et l'atténuation du tremblement par co-contraction [BPtnsre11, ZPcep11].

### Robotique Parallèle

Les actions de recherche de l'équipe sur la conception et la commande de cinématiques complexes visent à répondre à une question ancienne : comment améliorer l'efficacité des systèmes de production (productivité, précision, volume de travail) ?

Durant cette période, les travaux de recherche sur la synthèse de robots capables de produire de très grandes accélérations ont été poursuivis. Les efforts ont également porté sur le problème des grands volumes de travail (plusieurs mètres ou dizaines de mètres de côté) et de la précision. Beaucoup d'importance est attachée

au prototypage couplant mécanique et automatique. Les validations expérimentales correspondantes permettent une évaluation objective des résultats de recherche et de faire un lien entre les attentes des industriels et les problèmes académiques. On peut citer les résultats remarquables suivants :

**Des accélérations records (100G)** ont été atteintes par le robot R4 dont la conception et la commande ont été réalisées par des membres de l'équipe. Des outils mathématiques permettant la gestion de la redondance d'actionnement font partie des clés de ce succès [SCicra12, ANR OBJECTIF 100G].

**Les très grands volumes de travail** (potentiellement plusieurs dizaines de mètres de côté) sont explorés via deux robots conceptuellement très différents:

1. **Un robot octopode redondant** ayant la capacité de se déplacer d'une zone de travail à une autre (Figure 3). Ce concept novateur de robot parallèle reconfigurable [BYpatent12] a nécessité le développement d'outils pour le choix :
  - de la stratégie de gestion des différents modes (travail, déplacement entre deux zones de travail),
  - du type de chaque liaison (passive/actionnée, mesurée, verrouillable) et
  - de la commande, en particulier quand le robot est totalement fixe dans une zone de travail donnée (cas redondant).



Figure 3 - Robot octopode REMORA

2. **Un robot parallèle à câbles de grandes dimensions** (Figure 4), démonstrateur du projet ANR CoGiRo, dont la modélisation et la conception ont été permises respectivement par des travaux visant à étendre au cas des grandes dimensions les méthodes classiques

d'analyse statique des robots parallèles à câbles [GCicra12] et par une démarche systématique et originale du choix de la disposition des câbles autour de l'organe terminal [ANR COGIRO, FP7 CABLEBOT]. Ce robot est capable de déplacer des charges de plusieurs centaines de kilogrammes dans un espace de travail couvrant plus de 75% de la surface au sol occupée par le robot.



Figure 4 - Manipulateur à câbles du projet ANR CoGiRo

**Des robots alliant précision et rapidité.** L'analyse des résultats d'une campagne d'évaluation de la précision des robots (industriels et prototypes) [FP7 ECHORD-PRADA] a amené l'équipe à considérer des cinématiques simples, éventuellement redondantes et/ou équilibrées dynamiquement (qui n'induisent pas de vibrations de la structure porteuse). Un robot plan équilibré dynamiquement [VKijrr13] a été modélisé, conçu, réalisé, commandé et validé expérimentalement. Actuellement, l'équipe choisit et optimise la topologie et les dimensions d'un robot d'usinage 5 axes redondant devant garantir une précision de 20µm sous des accélérations de 10G [ANR ARROW].

### Autres projets innovants

Les membres de l'équipe font preuve d'une grande force de proposition. Ils ont le soutien de l'équipe pour le développement de nouveaux projets. A ce titre, les activités initiées autour de la robotique bipède [ANR SHERPA], avec une approche originale de conception mécanique entièrement réversible, se sont poursuivies durant cette période.

### Rayonnement scientifique

L'équipe est impliquée dans la gestion et l'animation des structures de transfert de la Région Languedoc-Roussillon. L'équipe porte depuis septembre 2008 les axes «robotique chirurgicale» et «robotique de manipulation» du Grand Plateau Technique Régional qui favorise l'accès aux acteurs régionaux (cliniciens et/ou industriels) à des équipements de technologie pointue. L'aide au geste chirurgical fait partie intégrante des thèmes du Labex Numev.

Les membres de l'équipe sont également très actifs dans les structures nationales de gouvernance et d'animation de la recherche (CNU61, CoNRS section 07, GDR Robotique, GDR MACS, comités d'évaluation

ANR). L'équipe participe à deux PEPS (Decortiquemax, HaTUMoCo) et est aujourd'hui impliquée dans 3 ANR (ROBACUS, COGIRO, ARROW). Dans le cadre des PIA nationaux, l'équipe participe à l'Equipex Robotex (nœud robotique médicale et nœud robotique parallèle) et fait partie des 6 partenaires nationaux du Labex CAMI en robotique médicale.

Au niveau international, l'équipe est impliquée de manière continue dans des projets européens (FP7 ARAKNES, FP7 CABLEBOT, FP7 ECHORD-PRADA pour les plus récents) avec des acteurs majeurs (académiques et industriels) tels que EADS, Tecnalia, Scuola Superiore Sant'Anna (Pise). Elle collabore notamment avec Waseda University (Tokyo), University of Washington, Université Catholique de Louvain. L'équipe a accueilli deux chercheurs étrangers (R. Kelaiaia - Univ. de Constantine, R. Cortesao - Univ. de Coimbra) et des post-doctorants. Depuis 2003, une école d'été bisannuelle en robotique chirurgicale (45 doctorants majoritairement étrangers, 20 intervenants français et étrangers) est organisée.

Le «2nd International Workshop on Fundamental Issues and Future Research Directions for Parallel Mechanisms and Manipulators» s'est tenu à Montpellier en 2008. Cet événement a rassemblé bon nombre des équipes de recherche sur les robots parallèles (100 participants).

L'équipe a également co-organisé un colloque Franco-japonais en robotique médicale soutenu par l'Ambassade de France au Japon.

## Faits marquants

- 5 projets européens durant la période: FP6 NEXT, FP6 ACCUROBAS, FP7 ARAKNES, FP7 CABLEBOT, FP7 ECHORD-PRADA et 7 projets ANR: TecSan ROBACUS, ContInt USCOMP, COGIRO, ARROW, OBJECTIF 100G, SHERPA, PsiRob TREMOR (les projets soulignés sont coordonnés par les membres de l'équipe).
- 3 implications dans des initiatives d'excellence (PIA): LABEX CAMI (Robotique médicale), LABEX NUMEV (Aide à la personne malade ou déficiente), EQUIPEX ROBOTEX (Nœud robotique médicale et nœud robotique parallèle)
- Forte innovation : François PIERROT récipiendaire de la première édition de la médaille de l'innovation du CNRS en 2012. Prix pour l'innovation, ADER Languedoc-Roussillon. 3 brevets acceptés sur la période
- Best paper Award in Medical Robotics (MICCAI 2010), 4 articles finalistes (IEEE ICRA Best Paper Award (2010 et 2012), IEEE/RSJ IROS Best Application Paper (2009), ICROS Application Paper Award (2010)), 3<sup>ème</sup> prix du ASME Student Mechanism and Robot Design Competition Graduate Robot Division Award, Conférences invitées au Collège de France
- 13 Prototypes ou plateformes expérimentales (DUAL-V, R4, VELOCE, Adept QUATTRO, COGIRO, ReelAx8, SHERPA, SPRINT, ARAKNES, RAVEN 3, Plateforme chirurgie Bi-manuelle, Plateforme insertion d'aiguille, Robot à Tubes Concentriques)

## Collaborations externes

- Université Catholique de Louvain : Thèse en cotutelle B. Hermann, Post-doc J.-F. Collard et accueil stagiaires
- Université de Washington: Travaux communs qui débutent sur la plateforme Raven, invitation et participation à l'école d'été (Univ. of Washington) 2010 et 2014 (Carnegie Mellon)
- Université Waseda (Tokyo) : mobilité de doctorants et post-doctorants japonais
- Université de Brasilia : Thèse en cotutelle de M. Bernardes
- Scuola Superiore Santa Anna à Pise : projet européen FP7 ARAKNES avec l'architecture de contrôle d'un robot pour la chirurgie à port unique
- TECNALIA : Partenaire privilégié dans les appels compétitifs et financeur de 4 thèses CIFRE sur la période.

Note : tous ces partenariats (liste limitée à l'international) font l'objet de publications communes sur le long terme.

## Publications majeures

- R. Richa, A. Bo and P. Pognet. «Towards Robust 3D Visual Tracking for Motion Compensation in Beating Heart Surgery». In Medical Image Analysis Vol. 15, N.3, 2011
- W.K. Wong, B. Yang, C. Liu and P. Pognet. «A Quasi-Spherical Triangle-Based Approach for Efficient 3-D Soft-Tissue Motion Tracking» In IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, N. 99, 2012
- V. Trévilot, R. Sobral, E. Dombre, P. Pognet, B. Herman and L. Crampette. «Innovative Endoscopic Sinonasal and Anterior Skull Base Robotics». In IJCARS'2013: International Journal for Computer Assisted Radiology and Surgery, 2013
- F. Pierrot, V. Nabat, O. Company, S. Krut and P. Pognet. «Optimal Design of a 4-DOF Parallel Manipulator: From Academia to Industry». In IEEE Transactions on Robotics, Vol. 25, N. 2, 2009
- D. Corbel, M. Gouttefarde, O. Company and F. Pierrot. «Actuation Redundancy as a Way to Improve the Acceleration Capabilities of 3T and 3T1R Pick-and-Place Parallel Manipulators». In ASME Journal of Mechanisms and Robotics, Vol. 2, N. 4, 2010
- M. Gouttefarde, J.-F. Collard, N. Riehl and C. Baradat. «Simplified Static Analysis of Large-Dimension Parallel Cable-Driven Robots». In Proceedings of ICRA'2012: International Conference on Robotics and Automation, 2012