



COLLÈGE
DE FRANCE
1530

CHAIRE D'INNOVATION TECHNOLOGIQUE -
LILIANE BETTENCOURT

PR JEAN-PAUL LAUMOND

TITULAIRE, ANNÉE ACADÉMIQUE 2011-2012

Robotique et Santé

Colloque le mercredi 2 mai 2012

Le 7 septembre 2001, le professeur Jacques Marescaux conduit la première opération de téléchirurgie sur une patiente localisée à Strasbourg avec l'aide d'une équipe chirurgicale située à New York. Le 15 octobre 2011, une équipe du CHU de Limoges conduite par le Pr Laurent Fourcade réalise une première européenne en chirurgie robotique néonatale avec l'aide du robot Da Vinci. La société Intuitive Surgical a vendu depuis 2003 plus de 1800 exemplaires de ce robot médical de chirurgie. Plus d'un million de patients ont aujourd'hui été opérés avec l'aide d'un robot.

De la robotique chirurgicale mini-invasive à la chirurgie endoluminale, et au-delà de la chirurgie, des robots implantables à l'assistance à domicile, des neuroprothèses aux comanipulateurs, l'objectif du colloque est de présenter la diversité des apports de la robotique en matière de santé, et de souligner l'excellence de la recherche française dans le domaine.

■ **Salle 2**
11, place Marcelin-Berthelot
Paris 5^e

www.college-de-france.fr

Accès libre dans la limite des places disponibles

-
- 09h30 **Allocution de bienvenue**
Pierre CORVOL, *Administrateur du Collège de France*
-
- 09h40 **Patients, cliniciens et ingénieurs ... indissociables**
Jean DUBOUSSET, *Académie Nationale de Médecine (Paris)*
-
- 10h20 **Mise en perspective historique de la robotique médicale**
Jocelyne TROCCAZ, *Directrice de Recherche, TIMC-IMAG, UJF-CNRS (Grenoble)*
-
- 11h00 Pause
-
- 11h10 **La chirurgie par les voies naturelles, un nouveau champ d'action pour la robotique**
Michel de MATHELIN, *Professeur, ENSP (Strasbourg)*
-
- 11h50 **De la chirurgie mini-invasive à la chirurgie endoluminale : quelques avancées récentes en robotique médicale**
Philippe POIGNET, *Professeur, LIRMM-CNRS, UM2 (Montpellier)*
-
- 12h30 Pause
-
- 14h00 **Vers des robots médicaux implantables**
Philippe CINQUIN, *Professeur, TIMC-IMAG, UJF-CNRS (Grenoble)*
-
- 14h40 **Restauration du mouvement au travers des neuroprothèses : un problème de robotique ?**
David GUIRAUD, *Directeur de Recherche INRIA (Montpellier)*
-
- 15h20 Pause
-
- 15h40 **Assistance à domicile et suivi médical**
Jean-Pierre MERLET, *Directeur de Recherche INRIA (Sophia-Antipolis, Nice)*
-
- 16h20 **L'assistance au geste par comanipulation et ses applications thérapeutiques**
Guillaume MOREL, *Professeur, Université Pierre et Marie Curie (Paris)*
-
- 17h00 **Chirurgie orthopédique assistée par ordinateur : état de l'art et perspectives**
Stéphane LAVALLÉE, *Président de MinMaxMedical SAS (Grenoble)*

Intervenants



Jean Dubousset, né en 1936, est chirurgien orthopédiste pédiatre, Professeur émérite des universités (Université René Descartes). Il est membre titulaire de l'Académie nationale de Médecine et de l'académie de Chirurgie. Il est également membre du conseil scientifique de la Fondation Cotrel de l'Institut de France et membre du conseil scientifique du Laboratoire de Biomécanique ENSAM Paris Tech. Il a reçu le prix mondial de chirurgie avec Y. Cotrel pour les travaux sur la correction 3D du rachis, le prix de l'Académie des Sciences pour ses travaux sur les tumeurs malignes de l'enfant et le prix Maurice Muller pour ses travaux concernant le rachis.

Patients, cliniciens et ingénieurs ... indissociables : Chirurgien orthopédiste et clinicien pur, l'expérience de plus de 35 ans d'un travail commun avec des ingénieurs de l'informatique d'abord, de la biomécanique ensuite et de la physique des particules enfin m'a montré combien cette pluridisciplinarité était indispensable au progrès pratique destiné à l'élément le plus important du trio : le patient. Partant de la pure observation clinique, par exemple sur les déformations de la colonne vertébrale, et constatant les divergences entre la clinique et l'imagerie radiologique associée à des échecs chirurgicaux, le caractère tridimensionnel de cet organe rachidien, est apparu un élément primordial à prendre en compte, à mesurer, à modéliser de manière personnalisée, afin de pouvoir simuler sur les modèles informatiques, les manœuvres de correction, avant de les réaliser sur le vivant. Cela s'est étendu à tout l'appareil locomoteur, où il a bien fallu inclure le rôle essentiel des parties molles en particulier musculaires et du mouvement, donc du système nerveux aussi bien central que périphérique. Essayer de comprendre avant de traiter, mais traiter en utilisant les technologies les plus fiables et les plus performantes y compris la robotique, pouvoir mesurer de manière fiable et contrôler le résultat, tout cela explique pourquoi le clinicien a le devoir de s'entourer de toutes les compétences des sciences de l'ingénieur, en restant l'interlocuteur privilégié en particulier dans les indications thérapeutiques et dans la relation de confiance réciproque avec le patient qui est à la base de l'humanisme médical.



Jocelyne Troccaz, Directrice de Recherche, CNRS, laboratoire TIMC-IMAG. Formation initiale universitaire en informatique. Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble en 1986 sur la programmation automatique des robots et de la préhension ; HDR obtenue en 1993. Enseignante à l'université de 1984 à 1988 ; chercheur au CNRS depuis 1988. Depuis 1990, activité dans le domaine de la robotique médicale : interaction robot-utilisateur, conception de robots, imagerie médicale ; nombreux domaines d'application clinique (principalement orthopédie, radiothérapie, chirurgie cardiaque, urologie. Responsable de l'équipe Gestes Médico-Chirurgicaux Assistés par Ordinateur depuis 1996.

Mise en perspective historique de la robotique médicale : Le domaine des « Gestes Médico-Chirurgicaux Assistés par Ordinateur » est né il y a près de trois décennies avec pour ambition d'aider le clinicien à planifier puis à réaliser un acte diagnostique ou thérapeutique aussi efficace et aussi peu invasif que possible sur la base d'informations multiples, souvent des images médicales, et de connaissances a priori. Dans ce cadre la robotique a naturellement trouvé sa place comme moyen de guider le geste du clinicien vers la cible visée. Pendant ces trois décennies, les approches de la robotique médicale ont évolué tant du point de vue des architectures des robots que des modes d'interactions avec l'utilisateur. Dans cet exposé, nous introduirons le cadre des GMCAO, présenterons ces évolutions majeures et les illustrerons au

travers de systèmes développés au laboratoire TIMC-IMAG en coopération avec des équipes cliniques et des partenaires industriels.



Michel de Mathelin a obtenu un diplôme d'ingénieur de l'Université Catholique de Louvain en 1987 avec La Plus Grande Distinction, ainsi qu'un Master of Sciences et un Ph.D. de Carnegie Mellon University à Pittsburgh, PA, en 1988 et 1983 respectivement. Il est devenu Maître de Conférences à l'Université Louis Pasteur (Strasbourg I) en 1993 et Professeur des Universités à l'Ecole Nationale Supérieure de Physique de Strasbourg en 1999. Il est responsable de l'équipe Automatique, Vision et Robotique qui compte 35 chercheurs dans le domaine de la robotique médicale au sein du Laboratoire des Sciences de l'Image, de l'Informatique et de la Télédétection (LSIIT UMR CNRS 7005). Il est coordinateur du réseau national Robotex de plates-formes de recherche d'excellence en robotique retenu comme Equipement d'Excellence aux Investissements d'Avenir en 2011.

La chirurgie par les voies naturelles, un nouveau champ d'action pour la robotique : La chirurgie transluminale est une approche expérimentale où le chirurgien place dans la cavité abdominale un endoscope souple à partir d'un orifice naturel, comme par exemple la bouche, en passant à travers la paroi de l'estomac, dans la voie transgastrique. Les endoscopes flexibles utilisés pour effectuer les opérations ont une partie distale active orientable selon deux directions orthogonales à l'aide de deux molettes présentes sur la poignée. Cette interface de contrôle n'est pas intuitive et la navigation jusqu'à la zone d'intervention ne se fait qu'à partir du retour visuel offert par la caméra de l'endoscope. Une intervention transgastrique nécessite, en outre, la manipulation simultanée de l'endoscope et d'instruments flexibles dans ses deux canaux. La présence et la coordination de plusieurs chirurgiens, un par instrument et un pour l'endoscope, sont alors indispensables pour accomplir l'opération. Les mouvements physiologiques des organes et du patient, comme la respiration et les mouvements du corps, sont des sources de perturbations sur l'endoscope flexible. La compensation de ces perturbations nécessite une coordination entre vision et mouvement de l'endoscope très complexe. Seule une approche robotique avec télémanipulation devrait permettre le développement de cette technique en routine clinique.



Philippe Poignet est Professeur à l'Université de Montpellier. 43 ans, il est Docteur de l'Université de Nantes / Ecole Centrale de Nantes depuis 1995 et Ingénieur de l'Ecole Nationale Supérieure de Mécanique en 1992. Il a soutenu son Habilitation à Diriger des Recherches en 2004 à l'Université de Montpellier. Il a été ingénieur Recherche et Développement au sein de la société SEPRO Robotique de 1996 à 1998 puis successivement Maître de Conférences à l'Université d'Orléans et à l'Université de Montpellier de 1998 à 2007. Responsable de l'équipe de recherche DEXTER (conception et commande de robot de manipulation) au sein du département Robotique du LIRMM de 2004 à 2011, il est maintenant responsable du département de Robotique. Ses activités de recherche portent sur la robotique et l'automatique pour la santé. Il est (ou a été) responsable scientifique au sein du LIRMM de plusieurs projets nationaux (ANR TREMOR 2007-2011, ANR USComp 2009-2012, ANR ROBACUS 2012-2014) et européens (FP6 AccuRobAs 2006-2009, FP7 ARAKNES 2008-2012). Il est également co-organisateur d'une école d'été en robotique chirurgicale organisée tous les deux ans depuis 2003.

De la chirurgie mini-invasive à la chirurgie endoluminale : quelques avancées récentes en robotique médicale : Les évolutions récentes des techniques chirurgicales, allant d'une chirurgie mini-invasive à une chirurgie beaucoup moins invasive en passant par les voies

naturelles, nécessitent le développement de nouveaux outils adaptés à ces nouvelles procédures. Au travers quelques exemples choisis, nous évoquerons les problèmes de conception et de commande de ces nouveaux robots et nous montrerons comment la robotique médicale permet de répondre à ces enjeux pour pouvoir réaliser des gestes de chirurgie cardiaque à cœur battant ou bien encore pour opérer en passant par un trocart unique en devenant une robotique intra-corporelle.



Philippe Cinquin, 56 ans, docteur ès sciences mathématiques et docteur en médecine, est professeur d'informatique médicale à l'université Joseph Fourier (UJF) et praticien hospitalier au CHU de Grenoble. Il dirige TIMC-IMAG (Techniques de l'ingénierie médicale et de la complexité – informatique, mathématiques et applications), une unité mixte de recherche de l'UJF et du CNRS, et coordonne scientifiquement le Centre d'Investigation Clinique – Innovation Technologique du CHU de Grenoble. Il s'est spécialisé dans les GMCAO (Gestes médico-chirurgicaux assistés par ordinateur), et s'intéresse depuis plusieurs années à la conception de robots implantables capables de puiser directement leur énergie dans les milieux physiologiques. Il coordonne le « laboratoire d'excellence » CAMI (Computer assisted medical interventions – équivalent en anglais des GMCAO), qui fédère les 6 unités mixtes de recherche du CNRS ou de l'INSERM qui ont réussi à concevoir des dispositifs de GMCAO passés à la pratique clinique, ainsi que leurs partenaires cliniques et industriels. Il a reçu en 1999 la médaille « Maurice E. Muller d'excellence en chirurgie orthopédique assistée par ordinateur », et en 2003 la médaille d'argent du CNRS.

Vers des robots médicaux implantables : Implanter des robots à l'intérieur du corps humain semble séduisant pour compenser la défaillance de certaines fonctions vitales. De tels robots doivent pouvoir percevoir l'état physiologique et les besoins du patient, décider de la meilleure manière de rendre service à ce dernier, et interagir avec ses organes pour mettre en œuvre la stratégie retenue. La conception de robots implantés partage donc un large cadre conceptuel avec la robotique d'assistance aux gestes médico-chirurgicaux. Elle présente la particularité de devoir assurer l'autonomie de l'alimentation énergétique du dispositif. Nous montrerons comment des approches bio-inspirées permettent de prendre en compte les spécificités de milieux comme le liquide physiologique extra-cellulaire pour envisager de faire sauter ce verrou de l'autonomie énergétique, et nous illustrerons la problématique de la conception d'un robot implantable avec l'exemple d'un sphincter artificiel urinaire robotisé.

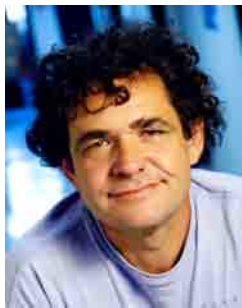


David Guiraud a obtenu le diplôme d'ingénieur de l'Ecole Centrale de Paris et le diplôme de master en analyse biologique moléculaire en 1990 ; le doctorat en sciences autour du contrôle basé réseau de neurones artificiels pour les exosquelettes et les neuroprothèses utilisés pour les blessés médullaires. Professeur agrégé de Physique appliquée jusqu'en 2001 à l'IUT de Montpellier il fonde ensuite l'équipe DEMAR au LIRMM avec l'Inria Sophia Antipolis Méditerranée en 2004. Il fut impliqué, pendant cette période, dans de nombreux projets européens pilotés par la faculté de médecine de Montpellier, visant à restaurer des fonctions motrices perdues via l'utilisation de la stimulation implantée. Médaille de Bronze du CNRS en 2005 et Grand Prix de l'Académie des sciences en 2010, ses travaux pluridisciplinaires sont ainsi récompensés et reconnus dans le domaine de l'ingénierie biomédicale. Pendant plus de 15 ans, David Guiraud a travaillé sur les modèles du système sensori-moteur déficient et l'étude de solutions technologiques palliatives basées sur les neuroprothèses notamment implantables. Concernant plus particulièrement la restauration de fonctions motrices, les outils théoriques de l'automatique et les approches sont similaires à ceux rencontrés en robotique de sorte que ces travaux sont naturellement liés à ceux issus de la robotique pour la santé. David Guiraud attache

une importance particulière à ce que les résultats aient un impact clinique réel et une grande part de son activité est en lien étroit avec le monde médical.

Restauration du mouvement au travers des neuroprothèses : un problème de robotique ?

La simulation, la synthèse et le contrôle de mouvement, le traitement des signaux en particulier électrophysiologiques, soutiennent les développements et les recherches dans le domaine notamment pour évaluer et quantifier l'apport des neuroprothèses. Ce sont aussi des approches indispensables à la mise en oeuvre et au réglage de ces systèmes particulièrement complexes où l'actionneur - le muscle -, les capteurs - naturels ou artificiels - et la commande - mélangeant parfois action volontaire et commande artificielle - forment un tout qui n'est pas sans rappeler l'ensemble des éléments d'un robots. Cependant, chaque élément est profondément différent dans sa nature et son comportement nettement plus complexe de sorte qu'une transposition "simple" n'est pas possible. L'exposé, à partir d'un état de l'art, tentera de cerner les synergies possibles et les points de divergences inéluctables entre les deux domaines notamment dans le cas de la restauration de mouvement chez les blessés médullaires.



Jean-Pierre Merlet est directeur de recherche à l'INRIA de Sophia-Antipolis. Il y dirige le projet COPRIN qui se focalise sur l'assistance à la personne et à la gestion des incertitudes en robotique. Ses centres d'intérêt portent sur le développement d'objets de service pour l'aide à domicile à faible coût, communicants, peu intrusifs et pouvant servir d'outils de diagnostic pour la communauté médicale. Il est membre du comité directeur du réseau robotique européen EURON, du conseil scientifique du GDR robotique et du Conseil Exécutif de l'IFTOMM (Int. Federation for the Promotion of Mechanism and Machine Science)

Assistance à domicile et suivi médical : La convergence entre le vieillissement global de la population et la démocratisation de systèmes robotiques conduit à penser qu'il est possible et nécessaire de développer des solutions accessibles d'aide à domicile pour les personnes fragiles, permettant d'en préserver autonomie et dignité, tout en soulageant le travail des aidants, qui pourront alors se focaliser sur l'aspect relationnel, élément essentiel de bien-être. Mais on peut pousser le concept plus loin: de légères adaptations de ces objets du quotidien peuvent fournir au jour le jour des informations précieuses sur l'évolution de l'état de santé des personnes, voir peut être de permettre de détecter des pathologies émergentes avant même que le patient en ressente les premiers effets. Nous présenterons des règles méthodologiques qui ont permis d'identifier des besoins ainsi que des paradigmes de base sur la conception de ces services qui ont été utilisés dans le cadre de l'Action d'Envergure PAL, consacrée à l'autonomie à domicile, pour initier le développement de ces services, dont certains seront présentés.



Guillaume Morel est professeur à l'Université Pierre et Marie Curie à Paris. Ingénieur en 1990, docteur en 1994, il a travaillé successivement au MIT (Boston, MA) comme chercheur postdoctoral (1995-1996), puis à EDF R&D comme ingénieur de recherche (1996-97 et 2000-2001), et l'Université Louis Pasteur - Strasbourg I comme Maître de Conférences (1997-2000). Depuis 2001, il a rejoint l'UPMC en tant que Maître de Conférences puis Professeur (2007). Guillaume Morel est adjoint au directeur de Polytech'Paris-UPMC, l'école d'ingénieur de l'UPMC où il a créé en 2007 la première formation française en trois ans d'ingénieurs roboticiens. A l'Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (ISIR, UPMC & CNRS - UMR 7222), il dirige l'équipe AGATHE qui regroupe une trentaine de chercheurs permanents ou non autour de la

robotique d'assistance au geste avec un intérêt particulier pour les applications thérapeutiques (assistance à la chirurgie et à la médecine, rééducation).

L'assistance au geste par comanipulation et ses applications thérapeutiques : *Comanipulation* est un mot que nous employons pour désigner la réalisation de tâches par la combinaison des actions mécaniques produites simultanément et de façon co-localisée par un utilisateur et un dispositif robotique. Les comanipulateurs sont donc des machines ou instruments destinés soit à améliorer les capacités de manipulation d'un sujet, en augmentant la dextérité, la stabilité, la force ou la précision d'un geste, soit à guider un geste pour le sécuriser ou le faciliter, soit encore à augmenter la qualité de la perception des interactions avec l'environnement. Au cœur de la problématique de conception de ces nouveaux systèmes se trouve la question de l'interaction avec l'opérateur. Pour l'étudier, il est nécessaire de dépasser le cadre traditionnel de la robotique (conception mécanique, commande, traitement de l'information, ...). Ainsi, nous devons puiser dans les connaissances issues des neurosciences du mouvement afin d'améliorer les synergies fonctionnelles des comanipulateurs. Au-delà, le regard apporté par les sciences humaines et l'étude des facteurs humains prend une importance particulière, notamment dans le cadre des applications visées qui sont l'assistance au geste interventionnel médico-chirurgical et l'assistance à la déficience motrice dans un processus de rééducation neuro-motrice.



Depuis 2007, **Stéphane Lavallée** est co-fondateur de plusieurs sociétés en pleine expansion dans le domaine de la chirurgie assistée par ordinateur (orthopédie, arthroscopie, traumatologie, rachis, radiologie interventionnelle, dentaire, urologie). Ce réseau de sociétés positionnées sur des segments de marché hyper spécialisés s'appuie sur des partenaires institutionnels, cliniciens et industriels, nationaux et internationaux. Ce développement rapide est le fruit de sa vision focalisée sur la création de produits simples d'utilisation à forte valeur ajoutée clinique, au bénéfice des patients et des praticiens. Ce succès résulte de son expérience de PDG de la société PRAXIM exercée entre 1998 et 2007 (40 personnes, 5M€ revenus, +200 stations de navigation vendues en F, D, BNL, I, UK et USA, nombreuses alliances, Acquisition de Medivision, 1^{er} Prix Européen Innovation IST 2005 200k€), mais aussi d'une carrière de scientifique de 1986 à 1998 qui lui a conféré des bases solides (Ingénieur Sup Telecom Bretagne 1986, DEA Univ. Rennes Traitement Signal 1986, Doctorat TIMC-UJF 1989 « *Méthodologie des Gestes Médico-Chirurgicaux Assistés par Ordinateur, Application à la Neurochirurgie Stéréotaxique Robotisée* », Post-Doctorat au Cambridge Research Lab de DEC (USA), HDR UJF 1998, réalisation de plusieurs travaux ayant donné lieu à des premières mondiales. Stéphane Lavallée a reçu de nombreux prix : médaille de bronze CNRS (Grenoble, 1994), CAOS Maurice Muller Award (Heidelberg, 2005), Prix de l'Académie de chirurgie (Paris, 2011). Il est co-auteur de plus de 100 publications scientifiques et plus de 40 brevets.

Etat de l'art et perspectives en chirurgie orthopédique assistée par ordinateur : Héritage des premiers travaux en neurochirurgie stéréotaxique, la chirurgie orthopédique assistée par ordinateur est née au début des années 90 et s'est rapidement déployée sur de nombreuses indications chirurgicales : visée pédiculaire du rachis, pose de prothèse totale de genou, ligament croisé antérieur, pose de prothèse de hanche, enclouage fémoral et tibial, pose de prothèses d'épaules, ... En constante évolution, les technologies utilisées vont de la navigation chirurgicale à la robotique haptique, en passant par des guides patient spécifiques. Sur le plan industriel, la majorité des fabricants d'implants ont investi dans ce domaine, aux côtés de sociétés hyperspécialisées ; de nombreux produits ont ainsi été déployés, notamment en Allemagne, en France et aux USA. Les résultats cliniques obtenus à ce jour sont très positifs. Pourtant, l'adoption massive n'est pas encore au rendez-vous, d'abord pour des raisons d'ergonomie des systèmes actuels jugés trop complexes, mais aussi et surtout pour des motifs

économiques. Une nouvelle vague de produits est en marche pour résoudre ces deux difficultés et apporter ainsi au patient un bénéfice indéniable en termes de réduction de l'invasivité des gestes, réduction du temps opératoire, augmentation de la précision et fiabilité des gestes, réduction de la morbidité, augmentation de la durée de vie des implants, etc.