



INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

ACADÉMIE
NATIONALE
DE MÉDECINE



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



OFFICE PARLEMENTAIRE D'ÉVALUATION
DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Rencontre
Science et politique



Robotique

Mercredi 19 février 2020 de 8h30 à 10h00

Fondation Simone et Cino del Duca

10, rue Alfred de Vigny, 75008 Paris

*Académie des sciences - Académie nationale de médecine -
Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques
et technologiques (OPECST)*

Le rapprochement entre le monde politique et le monde scientifique est important à un moment où les problèmes sont plus complexes et où les fausses nouvelles et les croyances sont propagées avec beaucoup de facilité par Internet et les réseaux sociaux. Ce rapprochement a pour objectif d'établir une relation entre deux mondes qui ont beaucoup de sujets à partager. Pendant plus de dix ans, l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) et l'Académie des sciences avaient déjà développé cette connaissance mutuelle au travers d'un programme de jumelage dans lequel un parlementaire était mis en relation avec un académicien et un jeune chercheur. Ce programme avait permis aux uns et aux autres d'échanger leurs points de vue et de découvrir leurs environnements respectifs (Assemblée nationale, Sénat, circonscription, laboratoires, instituts de recherche, établissements d'enseignement supérieur). Avec ces mêmes idées de rapprochement, l'Académie des sciences, en association avec l'Académie nationale de médecine et l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST), ont choisi d'engager un nouveau partenariat plus ciblé sur les questions les plus actuelles et les plus difficiles en organisant des échanges périodiques de haut niveau permettant une discussion ouverte. Ces échanges ont la forme de réunions restreintes entre des parlementaires et des académiciens. Les sujets traités sont choisis en commun parmi les questions prioritaires, celles qui sont notamment abordées dans les travaux parlementaires. Les parlementaires développeront leurs visions et un ou plusieurs académiciens présenteront les points de vue des scientifiques sous une forme concrète et didactique. Le débat est ensuite engagé pour confronter ces points de vue. Une synthèse sera réalisée en fin de séance pour rassembler les propositions, les conclusions principales et les pistes de réflexion.

Participants Académie des sciences



Jean-François BACH

Secrétaire perpétuel honoraire de l'Académie des sciences

Jean-François Bach est secrétaire perpétuel honoraire de l'Académie des sciences et professeur émérite à l'université Paris Descartes.

Les principales contributions scientifiques de Jean-François Bach concernent le système immunitaire normal et pathologique. Les résultats de ses nombreux travaux expérimentaux chez la souris lui ont permis de développer de nouvelles stratégies d'immunothérapie chez l'homme.



Catherine BRECHIGNAC

Secrétaire perpétuel honoraire de l'Académie des sciences

Catherine Bréchnignac est secrétaire perpétuel honoraire de l'Académie des sciences. Ses travaux scientifiques portent sur la physique des agrégats métalliques, précurseurs des nano-objets dont les propriétés ne sont ni celles de l'atome ni celles du solide. Déposés sur une surface, ils s'assemblent pour façonner des morphologies hors équilibre : les fractales. Catherine Bréchnignac fut directeur général du CNRS, puis présidente de 2006 à 2010. Elle est ambassadeur délégué à la science, la technologie et l'innovation.



Sébastien CANDEL

Ancien président et membre de l'Académie des sciences

Sébastien Candé est professeur des universités émérite à CentraleSupélec (université Paris-Saclay), membre honoraire de l'Institut universitaire de France. Ses recherches concernent la dynamique de la combustion, la structure, la modélisation et la simulation des flammes turbulentes et la combustion cryotechnique avec comme applications la propulsion aéronautique et spatiale et la production d'énergie. Sébastien Candé est membre de l'Académie des technologies, de l'Académie de l'Air et de l'Espace et membre étranger de la *National Academy of Engineering* des États-Unis.



Pierre CORVOL

Président de l'Académie des sciences et membre de l'Académie nationale de médecine

Pierre Corvol, médecin et scientifique, est président de l'Académie des sciences, professeur émérite au Collège de France et administrateur honoraire du Collège de France. Il a consacré ses travaux à l'étude des mécanismes hormonaux de régulation de la pression artérielle. Il a établi le rôle crucial du système rénine angiotensine aldostérone dans le contrôle de la fonction rénale et cardiaque. Les travaux de son équipe ont contribué au développement des traitements couramment utilisés dans l'hypertension artérielle et les maladies cardiovasculaires. Il a mené les premières études sur la génétique de l'hypertension artérielle humaine et a récemment travaillé sur le rôle des peptides vasoactifs dans les mécanismes de l'angiogénèse.



Pascale COSSART

Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences

Professeur à l'Institut Pasteur, Pascale Cossart, microbiologiste, a axé ses recherches sur l'étude des mécanismes moléculaires et cellulaires impliqués dans les infections bactériennes en utilisant comme modèle la bactérie *Listeria monocytogenes*. Pascale Cossart a été pionnière de cette discipline qu'elle a baptisée « microbiologie cellulaire ». Elle a mis en évidence de nombreuses stratégies utilisées par les bactéries lors d'une infection. Ses travaux ont permis l'élaboration de nouveaux concepts en biologie des infections, biologie cellulaire, épigénétique et microbiologie fondamentale et ont été reconnus par plusieurs prix internationaux. Pascale Cossart est membre de la Leopoldina ; de la *National Academy of Sciences* (USA), de la *National Academy of Medicine* (USA) et de la *Royal Society* (UK).



Patrick FLANDRIN

Vice-président de l'Académie des sciences

Patrick Flandrin est directeur de recherche CNRS à l'École normale supérieure de Lyon. Les travaux de Patrick Flandrin portent sur la représentation, l'analyse et le traitement des signaux, avec une attention toute particulière pour les situations non stationnaires et multi-échelles. Il a contribué à l'élaboration de méthodes "temps-fréquence" et "temps-échelle" dont les applications multiples concernent aussi bien des phénomènes naturels (allant de la physique au génie biomédical) que des réalisations technologiques (allant de la mécanique au trafic internet).



Etienne GHYS

Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences

Étienne Ghys est mathématicien. Directeur de recherche CNRS de classe exceptionnelle, il a contribué à la création et au développement du laboratoire de mathématiques de l'ENS de Lyon. Ses travaux scientifiques portent sur la géométrie, la topologie et les systèmes dynamiques. On lui doit par exemple des résultats permettant de mieux comprendre la topologie du fameux papillon de Lorenz, paradigme de la théorie du chaos. Depuis quelques années, il s'est investi dans plusieurs actions de diffusion, comme la réalisation de films mathématiques ou encore la fondation d'une revue en ligne destinée au public général. Cela lui a valu le prix Clay pour la dissémination des mathématiques. Il porte un intérêt tout particulier aux questions d'éducation.



Pierre PERRIER

Correspondant de l'Académie des sciences et Membre de l'Académie des technologies

Pierre Perrier est un ancien élève de l'École nationale supérieure de l'aéronautique. Il a effectué l'essentiel de sa carrière au sein de la société M. Dassault, se consacrant principalement à la modélisation par le calcul dans le cadre d'applications diverses liées à l'aérodynamique, à la mécanique des fluides, à la turbulence et à l'analyse numérique, domaines dans lesquels il est l'auteur de nombreuses publications et conférences. Vice-président fondateur de l'European Research Community for Flow Turbulence and Combustion (1987) et membre du Conseil scientifique de défense (1983-1987 et 1993-1997), il a reçu en 1992 la Médaille d'argent de la Royal Aeronautical Society.



Jean-Paul LAUMOND

Membre de l'Académie des sciences

Jean-Paul Laumond est spécialiste en robotique. Ses recherches portent sur la planification et le contrôle des mouvements de robots. En 2001 et 2002, il a créé et dirigé Kineo CAM, une société dérivée du LAAS-CNRS dédiée au développement et à la commercialisation de technologies de planification de mouvement. Siemens a acquis Kineo CAM en 2012. En 2006, il a lancé l'équipe de recherche Gepetto dédiée aux études du mouvement humain selon trois perspectives: le mouvement artificiel pour les robots humanoïdes, le mouvement virtuel pour les acteurs et mannequins numériques, et les mouvements naturels des êtres humains. Il a publié plus de 150 articles dans des revues et conférences internationales en robotique, informatique, contrôle automatique et neurosciences. Son projet actuel Actanthrope (ERC-ADG 340050) est consacré aux fondements informatiques de l'action anthropomorphique. Il enseigne la robotique à l'École normale supérieure de Paris. Il est membre de l'Institut des ingénieurs électriciens et électroniciens (IEEE). Il a été récipiendaire 2011-2012 de la Chaire Innovation technologique Liliane Bettencourt au Collège de France à Paris. Il est le lauréat 2016 du prix technique IEEE Inaba pour l'innovation menant à la production. Il est membre de l'Académie des technologies et de l'Académie des sciences.



Olivier PIRONNEAU

Vice-président délégué aux relations internationales de l'Académie des sciences

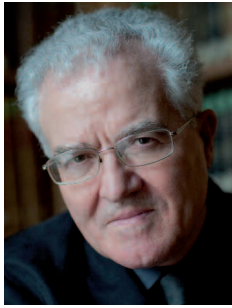
Olivier Pironneau est un ancien élève de l'École polytechnique et de UC Berkeley (PhD 1971 en EECS). Après un postdoc avec Sir James Lighthill à Cambridge UK, il soutient une thèse d'état en 1975. D'abord chercheur à l'INRIA avec Jacques-Louis Lions, il est nommé professeur d'informatique à Paris XIII en 1978 puis à Paris VI en mathématiques appliquées en 1985. Auteur de plus de 300 publications et de 5 livres sur la simulation et le contrôle des équations aux dérivées partielles sur ordinateur pour l'aéronautique, l'électromagnétisme, la finance quantitative et d'autres problèmes à la frontière des mathématiques et de l'informatique, il a été membre de la Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs, et membres des conseils de INRIA, UPMC, GENCI, CINES, etc. Membre senior de l'Institut universitaire de France de 1993 à 2003, il a été élu membre de l'Académie des sciences en 2002. Il est actuellement professeur émérite à Sorbonne-université et vice-président délégué aux relations internationales de l'Académie des sciences.



Didier ROUX

Délégué à l'information et à la communication de l'Académie des sciences

Didier Roux est né en 1955, ancien élève de l'École normale supérieure de Saint-Cloud, membre du Centre national de la recherche scientifique (CNRS) de 1980 à 2005. Il est lauréat de nombreux prix et distinctions. Il est titulaire de la médaille d'argent du CNRS. Il crée deux *start-up* en 1994 et 1998, il est directeur scientifique adjoint de Rhône-Poulenc puis de Rhodia entre 1997 et 2005. Il occupe entre 2007 et 2017 le poste de directeur de la R&D et de l'Innovation du Groupe Saint-Gobain. Il est membre de l'Académie des sciences et de l'Académie des technologies. Il a été professeur au Collège de France (chaire annuelle 2016-2017 « Innovation technologique Liliane Bettencourt »). Il est président d'Unitec et vice-président de la fondation *La Main à la Pâte*.



Eric WESTHOF

Délégué à l'éducation et à la formation de l'Académie des sciences

Eric Westhof est professeur émérite de biochimie structurale à l'université de Strasbourg. Il a été directeur de l'Institut de biologie moléculaire et cellulaire du CNRS (IBMC) à Strasbourg et de l'unité « Architecture et réactivité de l'ARN » pendant plus de dix ans. Il a été vice-président recherche et formation doctorale d'abord de l'université Louis Pasteur (2007-2008) puis de l'université de Strasbourg (2009-2012). Il a été président de la RNA Society (2005) et de la Société française de biochimie et biologie moléculaire (2004-2009). Spécialiste de biochimie structurale, Éric Westhof a réalisé des travaux concernant la dynamique et les fonctions catalytiques des acides nucléiques et plus particulièrement de l'ARN, par des approches cristallographiques et bioinformatiques. Ces travaux ont permis de dégager de nombreuses règles du repliement et de l'auto-assemblage de l'ARN.

Participants Académie nationale de médecine



Jean François ALLILAIRE

Secrétaire perpétuel de l'Académie nationale de médecine

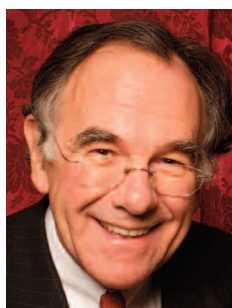
Jean François Allilaire est docteur en médecine, spécialiste en psychiatrie. Il a été formé à la faculté des sciences puis à la faculté de médecine Pitié-Salpêtrière de l'université Paris VI. Ancien interne des hôpitaux de Paris et des hôpitaux psychiatriques d'Ile-de-France, chef de clinique de la faculté, puis professeur d'université, il a dirigé le service de psychiatrie de l'hôpital de la Salpêtrière intégré à l'UFR de neurosciences Charcot et au pôle des maladies du système nerveux du CHU Pitié-Salpêtrière. Chercheur-clinicien au sein de l'INSERM-U302 « Psychopathologie et pharmacologie des comportements » puis à l'unité mixte de recherche CNRS-université 7593 « Vulnérabilité, adaptation et psychopathologie », ses travaux de recherche concernent les mécanismes et les traitements des maladies psychiatriques dans les domaines de l'anxiété, la dépression et la bipolarité. Il est élu à l'Académie nationale de médecine en 2004.



Raymond ARDAILLOU

Secrétaire perpétuel honoraire de l'Académie nationale de médecine

Raymond Ardaillou s'est essentiellement consacré à la physiologie et à la physiopathologie rénales ainsi qu'au contrôle hormonal des fonctions rénales et de l'équilibre hydro-électrolytique. Il a travaillé dans le domaine de la physiologie du glomérule, montrant qu'il ne s'agissait pas simplement d'un filtre passif, mais d'un système contrôlé par des hormones et, aussi, du lieu de synthèse de cytokines et facteurs de croissance. Il a décrit les récepteurs glomérulaires de l'angiotensine II et les a localisés dans le mésangium de même que les récepteurs des peptides natriurétiques. Il démontra aussi le rôle des cellules propres du glomérule dans la progression des glomérulonéphrites expérimentales à côté de celui déjà connu des leucocytes et macrophages. Toujours soucieux d'associer des travaux d'investigation clinique aux études purement expérimentales, il a, en particulier, montré que l'équilibre de la balance du sodium dans l'insuffisance rénale chronique dépendait directement de la synthèse accrue du facteur auriculaire natriurétique dans cette maladie.



Emmanuel Alain CABANIS

Président honoraire de l'Académie nationale de médecine

Professeur Emmanuel Alain Cabanis, M.D. (1970), Ph.D. Paris 5 (1983) est professeur des universités-praticien hospitalier U. P.M. Curie-Paris 6 (1986-2008), neuroradiologue, chef du service de neuro-imagerie, président CME (2 mandats), au Centre hospitalier national d'ophtalmologie des XV-XX (1973-2008, ministère de la Santé), expert Cour de Cassation. Il contribue au second scanner RX français puis conçoit et dirige la 1^{ère} évaluation clinique de l'IRM (1983-1987). Il est chargé de mission auprès du Premier Ministre en 2008. Il totalise 300 000 patients examinés ; est l'auteur de 450 publications, de 120 participations à ouvrages, plus de 200 thèses, 75 rapports, il a initié et guidé jusqu'à l'inauguration, l'Institut de la vision, 437 publications réf, 75 rapports, 38 interventions à l'Académie nationale de médecine, il est Officier dans l'Ordre national de la Légion d'honneur, chevalier dans l'Ordre national du mérite, médaille du service de santé des Armées, président 2019 de l'Académie nationale de médecine.



Jacques CATON

Membre de l'Académie nationale de médecine

Jacques Caton est chirurgien orthopédiste adulte et enfant, ancien chef de service de l'hôpital Saint Joseph-Saint Luc à Lyon. Il a travaillé dans le domaine de la chirurgie prothétique de la hanche et du genou et dans celui de la scoliose et des malformations des membres chez l'enfant et l'adolescent (notamment traitement des inégalités de longueur et des sujets de petite taille). Il est également ancien président du Syndicat national des chirurgiens orthopédistes et de l'Union régionale des médecins libéraux Rhône-Alpes. Ancien président de l'Académie de chirurgie orthopédique et traumatologique, il est également président du comité de la hanche et du comité des publications de la Société internationale de chirurgie orthopédique et traumatologique (SICOT). Editeur en chef du SICOT journal et rédacteur en chef adjoint de la revue *International Orthopaedics*. Il est par ailleurs administrateur à Lyon de l'Institut d'art contemporain (IAC) et très impliqué dans le domaine des arts plastiques.



Bernard CHARPENTIER

Vice-Président de l'Académie nationale de médecine

Diplômé docteur en médecine en 1975 par l'université de Paris XII Créteil, le docteur Bernard Charpentier est professeur émérite de classe exceptionnelle à la faculté de médecine Paris Sud, université Paris-Sud 11. Il a été également praticien hospitalier, ex-chef du service de néphrologie, dialyse, transplantations du CHU de Bicêtre. Il a été directeur de l'UMR INSERM/université Paris Sud 11 U542 et il appartient enfin à l'unité mixte INSERM 1197/université Paris Sud 11 – Hôpital Brousse. Il est doyen honoraire de la faculté de médecine Paris Sud (de 1998 à 2008) ainsi que ancien président de la conférence des doyens des facultés de médecine et des présidents d'université médecins (2003 à 2008). Il est membre titulaire de l'Académie nationale de médecine, a été président de la 1^{ère} division et vice-président de la Fondation de l'Académie de médecine. Il a été élu membre du Conseil de la Fédération européenne des académies de médecine (FEAM) en 2012, puis élu vice-président (2014) et enfin président (2015-2018). Il est membre du « *Science Advice for Policy by European Academies* » (SAPEA) de la Commission européenne et a été élu président 2017-2018 du SAPEA qui regroupe 5 réseaux d'académies, 110 académies nationales et 15 000 Académiciens.



Daniel COUTURIER

Secrétaire perpétuel honoraire de l'Académie nationale de médecine

Professeur honoraire à l'université René Descartes (Paris) et ancien chef du service d'hépatogastroentérologie de l'hôpital Cochin (Paris).

Il est président honoraire de la Commission médicale d'établissement AH-HP.

Ses recherches ont été consacrées à la physiopathologie-pharmacologie de la motricité digestive, à la cancérogenèse des tumeurs de l'intestin et à la prédisposition familiale aux tumeurs de l'appareil digestif.



Jean DUBOUSSET

Membre de l'Académie nationale de médecine

Etudes médicales à Clermont-Ferrand (1954-56) puis Paris (1956-65). Assistant chirurgie pédiatrique et orthopédique Adulte (1965-70). Titre hospitaliers : chirurgien orthopédie pédiatrique à l'Hôpital St Vincent de Paul, à temps partiel (1970-79), puis à temps plein (1979-2003). Titres universitaires : Docteur en médecine (1965), PUPH orthopédie pédiatrique (1991). Président du 73^{ème} Congrès de la SOFCOT Paris (1998). Membre titulaire de l'Académie nationale de chirurgie (2006). Co-inventeur de l'instrumentation segmentaire rachidienne CD (Cotrel-Dubousset) (1983). Co-inventeur avec Georges Charpak du système de radiographie corps entier EOS (2000). Compétences : biomécanique humaine, orthopédie pédiatrique et adulte, oncologie orthopédique.



Jacques HUBERT

Membre de l'Académie nationale de médecine

Jacques Hubert est chirurgien, professeur d'urologie au CHU de Nancy, enseignant chercheur INSERM (IADI - U1254) à l'université de Lorraine. Bénéficiaire d'un des tout premiers robots chirurgicaux dès l'année 2000, il a pu explorer les possibilités de ce nouvel instrument chirurgical et réaliser de nombreuses premières chirurgicales européennes. Grâce à ses travaux de recherche ayant trait principalement à la robotique, il a créé en 2008 le premier enseignement de chirurgie robotique qui attire des chirurgiens d'Europe, mais aussi d'Asie, Amérique et Australie. Membre de l'Académie nationale de Chirurgie. Il coordonne un rapport de la commission XV de l'Académie nationale de médecine sur la formation à la chirurgie robotique.



Patrick NETTER

Membre de l'Académie nationale de médecine

Patrick Netter, médecin et scientifique, PU-PH de pharmacologie à l'université de Lorraine a consacré ses travaux de recherche aux mécanismes cellulaires et moléculaires des pathologies articulaires.

Directeur de l'UMR "Physiopathologie et Pharmacologie articulaire CNRS/Université de Lorraine de 1997 à 2008, Doyen de la Faculté de Médecine de Nancy de 2003 à 2008, il a été Directeur de l'Institut des Sciences biologiques du CNRS de 2008 à 2013, Vice-Président d'AVIESAN (Alliance pour les Sciences de la vie et la Santé) de 2010 à 2013, Président d'IBISA (infrastructures en biologie, Santé et Agronomie) de 2010 à 2012, Conseiller Europe ERC du Président du CNRS de 2013 à 2016, Membre de l'Académie nationale de médecine depuis 2004, du Conseil de l'AERES (Agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur) de 2007 à 2011, du Conseil scientifique de l'ATIH (agence technique de l'information sur l'hospitalisation (2016-) et de l'OPECST (Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (2016-), il a été élu en 2017 Président de la Division des sciences biologiques et pharmaceutiques de l'Académie nationale de médecine. Conseiller Expert à la Cour des Comptes (6^e chambre) (2014-), il participe à des expertises et des évaluations de politique publique.



Pierre-François PLOUIN

Secrétaire adjoint de l'Académie nationale de médecine

Pierre-François Plouin est ancien chef du service d'hypertension et médecine vasculaire de l'hôpital européen Georges Pompidou (HEGP) et professeur honoraire de médecine vasculaire à l'université René Descartes, Paris. Il est membre de nombreuses sociétés savantes, notamment de l'Académie nationale de médecine et des sociétés française, européenne et internationale d'hypertension artérielle. Il a coordonné le réseau des centres français d'excellence en hypertension et le réseau INSERM/PHRC COMETE (Cortico et MEDullo-surrénale, les Tumeurs Endocrines). Il est membre des *Steering Committees* d'ENS@T (*European Network for the Study of Adrenal Tumors*) et de PRESSOR (*Pheochromocytoma Research Support Organization*). Il a dirigé les groupes de pilotage « dysplasie fibromusculaire » et « phéochromocytomes-paragangliomes » dans le centre de référence des maladies vasculaires rares (HEGP) et l'unité pilote de coordination des cancers de la surrénale (INCa). Il a publié plus de 400 articles originaux et plus de 100 chapitres de livres ou *proceedings*.



Jacques ROUËSSÉ

Membre et trésorier de l'Académie nationale de médecine

Jacques Rouëssé est ancien interne des Hôpitaux de Paris et ancien chef de clinique à la faculté, médecin de l'Institut Gustave-Roussy de 1969 à 1986, puis directeur du Centre René-Huguenin de lutte contre le cancer de Saint-Cloud jusqu'en 2005. Professeur associé de cancérologie, il a présidé la commission « cancer » de 2010 à 2016.

Ses nombreuses publications, concernent surtout les sarcomes et le cancer du sein sur lequel il a écrit plusieurs ouvrages tant pour les spécialistes que pour le grand public.



Patrice TRAN BA HUY

Membre de l'Académie nationale de médecine

Président de la deuxième division (chirurgie et spécialités chirurgicales) de l'Académie nationale de médecine. Patrice Tran Ba Huy est professeur émérite de l'université Paris 7. Il a été chef du département universitaire d'ORL de l'Hôpital Lariboisière de 1995 à 2010 et membre du Centre d'étude de la sensorimotricité (UMR 8194 CNRS/université Paris Descartes).

Il a été président de la Société française d'oto-rhino-laryngologie et de chirurgie Tête et Cou (2008), Membre fondateur de l'Académie européenne d'otologie et de neuro-otologie et président de l'*European Skull Base Society* (2014-2016). Il est l'auteur de plus de 280 publications internationales avec plusieurs articles sur le vieillissement sensoriel.

Participants invités

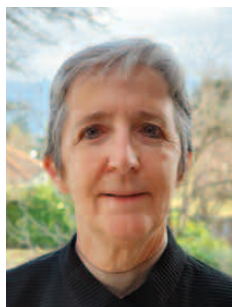


Philippe BIDAUD

Directeur scientifique Onera

Philippe Bidaud est directeur scientifique à l'ONERA et professeur à Sorbonne université. Il a obtenu son doctorat en robotique en 1984 puis a été recruté au CNRS pour développer des recherches sur la modélisation et la commande des systèmes robotiques, tout d'abord au Laboratoire de mécanique et robotique de Paris 6 (aujourd'hui Sorbonne université), ensuite au Laboratoire de robotique de Paris (LRP) où il a dirigé plusieurs groupes de recherche. Parallèlement, il a effectué plusieurs longs séjours dans des universités étrangères dont Stanford, le MIT et l'université Rutgers. En 1998, il a été engagé comme professeur à Sorbonne université. Il devient alors directeur adjoint du LRP, puis directeur avant de créer l'Institut des systèmes intelligents et de robotique dont il assure la direction jusqu'en 2013. De 1998 à 2012, il a été co-directeur du Master en sciences de l'ingénieur puis directeur du Master en systèmes avancés et robotique. Philippe Bidaud a également été actif dans le domaine du transfert de technologie en tant que directeur d'un centre de transfert de technologie (le CRIIF) de 1998 à 2009. De 2010 à 2014, il a également été responsable du réseau national de recherche en robotique (GdR Robotique). Philippe Bidaud est en charge à l'ONERA des programmes de recherche du domaine Traitement de l'Information et Systèmes Intelligents. Il est également référent pour la robotique auprès de la Direction Générale des Entreprises et organise chaque année les Etats Généraux de la Robotique. Au cours de sa carrière scientifique, Philippe Bidaud a principalement contribué à des recherches dans les domaines de la préhension en robotique, de la locomotion des rovers et humanoïdes et de la manipulation interactive. Ses travaux ont donné lieu à plus de 200 publications dans des revues et conférences internationales et à une douzaine de brevets. Il s'est par ailleurs impliqué dans la création de plusieurs startups de robotique.

MEDICAL (TANDEM CHERCHEUR/INDUSTRIEL)



Jocelyne TROCCAZ

Directrice de recherche CNRS, Laboratoire TIMC-IMAG, université de Grenoble Alpes

Jocelyne Troccaz est spécialisée dans la programmation automatique des robots pour des applications industrielles et spatiales. Depuis 1990, spécialiste de robotique et imagerie médicales où elle a été responsable de projets de recherche à finalité clinique dans de nombreuses spécialités. Plusieurs de ses travaux ont été industrialisés et sont utilisés quotidiennement en clinique. Très forte activité d'animation et de structuration de la recherche. Responsable de l'équipe GMCAO (Gestes Médico-Chirurgicaux Assistés par Ordinateur) de 1996 à 2013 et directrice adjointe du laboratoire TIMC-IMAG de 2006 à 2016. Coordinatrice du labex national CAMI depuis 2016. MICCAI fellow (2013), IEEE Fellow (2018). Prix de l'Académie nationale de chirurgie (2013). Membre de l'Académie nationale de chirurgie (2014). Médaille d'argent du CNRS (2015). Chevalier de la Légion d'honneur (2016).



Stéphane LAVALLÉE

PDG de Surgivisio

Stéphane Lavallée est industriel spécialisé dans la robotique chirurgicale et pionnier de cette discipline depuis 1986. Il est Président de SURGIVISIO, une société grenobloise qui a conçu un système unique au monde qui unifie l'imagerie 3D à rayons X avec la navigation et robotique chirurgicale, avec des applications en chirurgie orthopédique, sur le rachis principalement. SURGIVISIO a été lauréate du concours mondial Innovation organisée par BPIFrance et a levé environ 25m€ pour son financement depuis sa création en 2009. SURGIVISIO ambitionne de devenir un des leaders mondiaux de ce marché de la robotique chirurgicale grâce au savoir-faire unique de ses 62 collaborateurs, de son portefeuille de plus de 35 brevets, et de son réseau international. Le marché de la robotique chirurgicale transforme complètement le business traditionnel des Medtechs (implants plastiques et métal, appareils médicaux standard) avec une valeur ajoutée indéniable en matière de précision, sécurité, et réduction de l'invasivité des gestes opératoires, qui correspond à une demande forte des patients dans le monde entier. Stéphane Lavallée a créé plus de 10 sociétés dans ce domaine, avec plusieurs acquisitions par des grands groupes : Orthotaxy (robotique genou) par Johnson & Johnson en 2018, Blue Ortho (navigation genou) par Exactech en 2015, A2 Surgical (logiciel de planning de hanche) par Smith Nephew en 2011, Traumis (traumatologie de fracture) par Johnson & Johnson en 2001, ... Stéphane Lavallée est de formation ingénieur Télécom de Bretagne. Il a développé au laboratoire TIMC (J Troccaz/P Cinquin) et avec le Professeur Benabid le premier système robotisé utilisé en routine clinique en neurochirurgie (1989), il est co-inventeur de nombreuses innovations en chirurgie robotisée avec plus de 100 brevets internationaux, et de nombreuses publications scientifiques, médaille de bronze du CNRS 1994, Maurice Muller Award 2006, Prix de l'Académie de Chirurgie 2011.

LOGISTIQUE (TANDEM CHERCHEUR/INDUSTRIEL)



Guy CAVEROT

Ancien directeur scientifique de BA-Systèmes, Rennes

Guy Caverot effectue sa carrière depuis 25 ans dans les entreprises de robotique et de logistique industrielle. Il a occupé différents postes dans plusieurs entreprises (BA Systèmes, EGEMIN, Thomson CSF) de chef de projet technique à directeur de l'Innovation. Il est associé depuis sa création aux activités de l'IRT Jules Verne et a été responsable des partenariats industriels au sein du Groupe de Recherche en robotique du CNRS. Ses activités l'ont conduit à structurer et vendre plus de 20 projets industriels innovants en robotique à des groupes internationaux tels que Airbus, Manitou, GE Healthcare, Bouygues, Sodebo ou Arcelor. Il a par ailleurs contribué à l'émergence et au lancement d'une quinzaine de projets collaboratifs de recherche (projet européen COROMA sur l'industrie du futur, projets nationaux VASCO en robotique portuaire ou IRIMI en robotique pour la santé). Il a contribué au dépôt de 8 brevets en robotique dont trois à portée mondiale. Depuis 15 ans, en parallèle, Guy enseigne dans des écoles d'ingénieurs (ENSAM, CentraleSupélec, ESM St Cyr...) et est expert en innovation auprès de l'Union Européenne et de l'ANR. Docteur en science de gestion (thèse portant sur l'open innovation en entreprise soutenue en 2012), il est Ingénieur en génie électrique (INSA 1996) et titulaire d'un DEA en systémique (INPL 1996). Guy Caverot est auditeur de l'IHEDN (216^{ème} session).

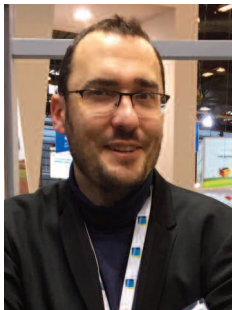


Romain MOULIN

Co-fondateur d'Exotec, Lille

Romain Moulin est co-fondateur et Président d'Exotec, entreprise qui conçoit des systèmes de préparation de commandes pour les entrepôts des e-commerçants et retailers. Ingénieur diplômé par l'Institut supérieur de l'aéronautique et de l'espace (Supaero) à Toulouse en 2004, il construit son expérience en tant qu'architecte robotique durant 15 ans, d'abord chez BA System dans l'équipement logistique en chariots élévateurs, puis chez General Electric Healthcare dans l'imagerie médicale. En 2014 une nouvelle survient dans le monde de l'intralogistique : Amazon décide de garder la technologie révolutionnaire de robots KIVA pour ses entrepôts. Cette annonce résonne chez Romain Moulin et Renaud Heitz (co-fondateur et CTO d'Exotec) qui après réflexion décident d'aller plus loin qu'Amazon : concevoir un système robotisé de préparation de commande avec une flotte de robots capables de se déplacer en trois dimensions. C'est ainsi qu'en 2015 Exotec est créée et qu'en 2016 l'entreprise convainc son premier client et partenaire, Cdiscount, de s'équiper de ce système robotisé de préparation de commandes. L'aventure Exotec a été récompensée par de nombreux prix depuis sa création : les Rois de la supply chain et le prix David à Goliath en 2018, les Trophées Let's go France dans la catégorie l'industrie française qui réussit, le prix du meilleur produit au Logimat à Stuttgart et le Trophées PME de l'année de RMC en 2019. Romain Moulin est également identifié dans le top 10 des dirigeants de moins de 40 ans jouant un rôle majeur dans l'économie des Hauts-de-France par l'institut Choiseul en 2019.

AGRICULTURE (TANDEM CHERCHEUR/INDUSTRIEL)



Roland LENAIN

Directeur de recherche à l'INRAe (Irstea-INRA) dans l'unité Technologie et Système d'information (TSCF) du centre de Clermont-Ferrand

Roland Lenain est ingénieur de l'Institut français de mécanique avancée en 2002 et titulaire d'un DEA génie mécanique et génie civil obtenu la même année, il a soutenu en 2005 une thèse de doctorat de l'université Blaise Pascal en robotique, portant sur le contrôle autonome de véhicules agricoles. Après un post doctorat effectué dans le département *Automatic Control* de l'université de Lund en Suède il intègre Irstea en 2006. Après avoir coordonné plusieurs projets de recherche en robotique mobile dédiée à l'évolution en milieux naturels, il a obtenu une habilitation à diriger des recherches en 2011, et dirige depuis 2015 l'équipe Robotique et Mobilité pour l'Environnement et l'Agriculture (Romea). Par ailleurs animateur du thème robotique terrestre au sein du Groupement de recherche en robotique, ses recherches s'appliquent principalement à la robotique en milieux naturels pour l'agriculture. A ce titre, il préside le conseil scientifique et technique de l'association RobAgri depuis 2017, fédérant de nombreux acteurs pour la structuration d'une filière robotique agricole nationale.



Gaëtan SEVERAC

Co-fondateur avec Aymeric Barthes de Naïo Technologies d'une société qui développe et commercialise des robots agricoles

C'est par un diplôme universitaire de technologie en informatique industrielle que Gaëtan Severac débute ses études, avant de suivre, en alternance, une formation d'ingénieur en robotique, puis de passer une thèse à l'ONERA, Centre de recherches spatiales. Passionné de robotique, il est convaincu que ceux-ci sont un précieux atout en agriculture pour, à la fois, faciliter le travail des agriculteurs et œuvrer à des modes de production plus durables. Une conviction qui anime l'esprit de cette société fondée en 2011 et qui emploie désormais 70 personnes.



Bruno JARRY

Président honoraire de l'Académie des technologies

Après une carrière universitaire – il a été chercheur au CNRS puis professeur de génétique à l'Université Louis Pasteur, fondateur et premier directeur de l'Ecole supérieure de Biotechnologie de Strasbourg, Bruno JARRY est nommé en 1988 vice-président R&D d'ORSAN, la filiale biotechnologique du Groupe Lafarge-Coppée. Il sera à partir de 1995 Directeur R&D du Groupe amidonnier belge Amylum, puis, à partir de 2000, Directeur scientifique du Groupe sucrier américano-britannique Tate & Lyle. De 2004 à 2007 il est conseiller du Président de l'Institut Curie et de 2007 à 2013, chargé de mission au cabinet du Premier Ministre pour les questions liées aux biocarburants et à la chimie verte. Au cours de sa carrière il a participé à la création de 3 start-ups du domaine des biotechnologies. Bruno Jarry est administrateur de l'Institut Français du pétrole et des énergies nouvelles et de plusieurs entreprises du domaine de la biotechnologie industrielle. Il est membre de l'Académie des technologies depuis 2003 et en a été le vice-président puis le président (2017-2018).

Membres de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST)

Députés



Julien AUBERT

Député du Vaucluse
Élu en 2012 (réélu le 18 juin 2017)
Magistrat à la Cour des comptes



Didier BAICHÈRE

Député des Yvelines
Élu le 18 juin 2017
Vice-président de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST)
Directeur des ressources humaines



Philippe BOLO

Député du Maine-et-Loire
Élu le 18 juin 2017
Ingénieur agronome



Christophe BOUILLON

Député de la Seine-Maritime
Élu en 2007 (réélu en 2012 et le 18 juin 2017)
Fonctionnaire de catégorie A



Emilie CARIOU

Députée de la Meuse
Élue le 18 juin 2017
Fonctionnaire de catégorie A



Jean-François ELIAOU

Député de l'Hérault
Élu le 18 juin 2017
Médecin



Valéria FAURE-MUNTIAN

Députée de la Loire
Élue le 18 juin 2017
Agent d'assurances



Jean-Luc FUGIT

Député du Rhône
Élu le 18 juin 2017
Professeur de faculté



Claude de GANAY

Député du Loiret
Élu en 2012 (réélu le 18 juin 2017)
Fonctionnaire territorial



Thomas GASSILLOUD

Député du Rhône
Élu le 18 juin 2017
Industriel, chef d'entreprise



Anne GENETET

Députée des Français établis
hors de France
Élue le 18 juin 2017
Médecin



Pierre HENRIET

Député de la Vendée
Élu le 18 juin 2017
Professeur du secondaire et technique



Antoine HERTH

Député du Bas-Rhin
Élu en 2002 (réélu en 2007, 2012 et le 18 juin 2017)
Agriculteur



Patrick HETZEL

Député du Bas-Rhin
Élu en 2012 (réélu le 18 juin 2017)
Vice-président de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et
technologiques (OPECST)
Professeur des universités



Jean-Paul LECOQ

Député de la Seine-Maritime
Élu en 2007 (réélu le 18 juin 2017)
Fonctionnaire de catégorie B



Loïc PRUD'HOMME

Député de la Gironde
Élu le 18 juin 2017
Fonctionnaire de catégorie B



Huguette TIEGNA

Députée du Lot
Élue le 18 juin 2017
Vice-présidente de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST)
Docteur, ingénieur recherche et développement



Cédric VILLANI

Député de l'Essonne
Élu le 18 juin 2017
Premier vice-président de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST)
Professeur de faculté
Membre de l'Académie des sciences

Sénateurs



Michel AMIEL

Sénateur des Bouches-du-Rhône
Élu le 28 septembre 2014
Médecin



Jérôme BIGNON

Sénateur de la Somme
Élu le 28 septembre 2014
Avocat



Roland COURTEAU

Sénateur de l'Aude
Élu le 28 septembre 1980 (réélu en 1989, 1998, 2008 et 2017)
Vice-Président de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST)
Instituteur



Laure DARCOS

Sénatrice de l'Essonne
Élue le 24 septembre 2017



Annie DELMONT-KOROPOULIS

Sénatrice de la Seine-Saint-Denis
Élue le 24 septembre 2017
Médecin



Véronique GUILLOTIN

Sénatrice de Meurthe-et-Moselle
Élue le 24 septembre 2017
Médecin



Jean-Marie JANSSENS

Sénateur de Loir-et-Cher
Élu le 24 septembre 2017
Ancien agriculteur-éleveur



Bernard JOMIER

Sénateur de Paris
Élu le 24 septembre 2017
Médecin



Florence LASSARADE

Sénatrice de la Gironde
Devenue sénatrice le 1^{er} octobre 2017
Pédiatre



Ronan LE GLEUT

Sénateur des Français établis hors de France
Élu le 24 septembre 2017
Examineur à l'Office européen des brevets



Gérard LONGUET

Sénateur de la Meuse

Élu le 23 septembre 2001 (réélu en 2011 et 2017)

Président de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST)

Administrateur civil



Rachel MAZUIR

Sénateur de l'Ain

Élu le 21 septembre 2008 (réélu le 28 septembre 2014)

Professeur d'éducation physique et sportive



Pierre MÉDEVIELLE

Sénateur de la Haute-Garonne

Élu le 28 septembre 2014

Vice-Président de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST)

Pharmacien



Pierre OUZOULIAS

Sénateur des Hauts-de-Seine

Élu le 24 septembre 2017

Chargé de recherche au Centre national de la recherche scientifique (CNRS)



Stéphane PIEDNOIR

Sénateur de Maine-et-Loire

Élu le 24 septembre 2017

Professeur



Angèle PRÉVILLE

Sénatrice du Lot
Élue le 24 septembre 2017
Ancien professeur



Catherine PROCACCIA

Sénateur du Val-de-Marne
Élue le 26 septembre 2004 (réélue en 2011 et 2017)
Vice-président de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST)
Cadre supérieur



Bruno SIDO

Sénateur de la Haute-Marne
Élu le 23 septembre 2001 (réélu en 2011 et 2017)
Agriculteur



Fille de la mécanique, de la cybernétique et de l'informatique, la robotique étudie le rapport que peut entretenir avec le monde réel une machine qui bouge et dont les mouvements sont contrôlés par un ordinateur. Elle se constitue en discipline scientifique à part entière dans les années 1980. C'est au sommet de Versailles, en 1982, que le G7 lance le programme de coopération *International Advanced Robotics Programme* (IARP). Depuis l'introduction dans les années 1960 du premier robot programmable dans l'industrie automobile, les champs d'application de la robotique se sont considérablement diversifiés : médical, spatial, aérien, militaire, agricole, logistique, sous-marin... Jusqu'à la fin de années 1990, la recherche française en matière de robotique a été particulièrement stimulée par la mise en place de grands programmes de coopération entre laboratoires publics et industriels, tel le programme Automatisation et Robotique Avancée (ARA) dont est issue toute une génération de chercheurs qui ont donné à la France une forte visibilité internationale. La France accueille cette année à Paris la plus grande conférence du domaine (*IEEE International Conference on Robotics and Automation*). En revanche, si elle est très bien positionnée en matière de recherche, la France, contrairement à l'Allemagne, la Suède, l'Italie ou le Japon, n'a pas su développer une filière industrielle dans le domaine de la robotique.

L'objectif de cette réunion est d'en comprendre les causes, d'identifier les défis scientifiques actuels spécifiques à la discipline (en particulier vis-à-vis de l'intelligence artificielle) et de mettre en évidence le savoir-faire français en matière de recherche et développement, en se concentrant sur les secteurs médical, agricole et logistique¹.

LA ROBOTIQUE EN FRANCE

POSITIONNEMENT FRANÇAIS EN MATIÈRE DE RECHERCHE

La robotique est une discipline scientifique et technique à part entière. Un robot est une machine soumise aux lois de la physique. Il produit un mouvement qu'il s'agit de réguler en fonction de la tâche à effectuer (voir Glossaire). En recherche fondamentale, la France est bien positionnée. Créé par le CNRS en 2007, le groupement de recherche en robotique (GDR Robotique²) réunit plus de 1200 chercheurs et ingénieurs relevant de différents établissements publics et privés. Il s'organise autour des quatre grandes thématiques :

1. Document rédigé par Philippe Bidaud, Guy Caverot, Jean-Paul Laumond (coordonnateur), Roland Lenain et Jocelyne Troccaz. A noter qu'une étude réalisée par le député Bruno Bonnell et Catherine Simon, experte en robotique, est parue en 2019. Intitulée Faire de la France un champion international de la robotique et des systèmes intelligents, elle est téléchargeable sur <https://www.brunobonnell-villeurbanne.fr/robotique/>

2. <https://www.gdr-robotique.org/>



- Contrôles sensori-moteurs, perception, action et mouvement
- Cognition, décision, autonomie, apprentissage
- Interaction et coopération
- Conception des systèmes robotiques

La France est dans le top 5 en matière de publications scientifiques en robotique : les Etats-Unis, le Japon dépassent les 14% des publications à fort impact, la part de l'Allemagne est de 12,6%, les parts de la France et de l'Italie dépassent 11%.

POSITIONNEMENT INDUSTRIEL DE LA FRANCE

La France a été l'un des premiers pays européens à mettre sur le marché des robots pour l'industrie manufacturière. Dans le milieu des années 1980, la France comptait plus d'une centaine d'entreprises de robotique. Les technologies développées par ces sociétés ont toutefois pour la plupart été rachetées par des groupes étrangers. A la fin des années 1990, la France n'avait plus qu'un fabricant de robots industriels. Aujourd'hui, seules des sociétés installées sur des marchés spécifiques ont une offre de robots industriels et sont loin du top 10 des fabricants internationaux (Allemagne, Suède, Italie, Japon, et maintenant Chine). On compte pas moins de 200 entreprises de type ETI et PME, actives en particulier dans le domaine de la robotique mobile (véhicules ou drones) et de la robotique de service, notamment pour la santé.

Par ailleurs, plus d'une centaine d'entreprises de type TPE et PME se définissent comme des intégrateurs robotique. Elles assurent une fonction essentielle entre le besoin et l'offre technologique, une fonction globale d'audit, d'assistance technique, de maintenance et de formation. Leur activité technique porte le plus souvent sur la conception de cellules robotisées et la mise en œuvre de robots (essentiellement des bras manipulateurs) dans un système de production. Cette fonction vient souvent en complément d'activités dans le domaine des machines spéciales et mobilise des expertises en : informatique industrielle, mécanique, l'ingénierie système, programmation de trajectoires, vision par ordinateur. Les intégrateurs sont généralement spécialisés sur des secteurs particuliers en raison de la nécessaire connaissance du domaine industriel. Il s'agit le plus souvent d'une fonction de proximité géographique.

Il reste que la France n'a pas de filière robotique en tant que telle.

ENJEUX

La recherche fondamentale : il existe aujourd'hui des logiciels d'intelligence artificielle sachant jouer au go, il n'existe pas sur le marché de robots de service capables de prendre un verre sur une table. L'automatisation de machines existantes, la conception de nouvelles machines, la maîtrise par le calcul des lois de la physique restent des enjeux pour la recherche en robotique.

Passer le cap de l'industrialisation : de nombreux systèmes robotiques développés au sein de laboratoires et instituts de recherches (CNRS, IRT, CEA, INRIA, ONERA) peinent à passer le cap de l'industrialisation. Cela vaut pour les systèmes mécatroniques mais aussi pour les logiciels qui posent en particulier la question de leur certification. L'enjeu dans ce domaine est d'assurer la continuité entre la sortie du laboratoire et la mise en œuvre industrielle des résultats.

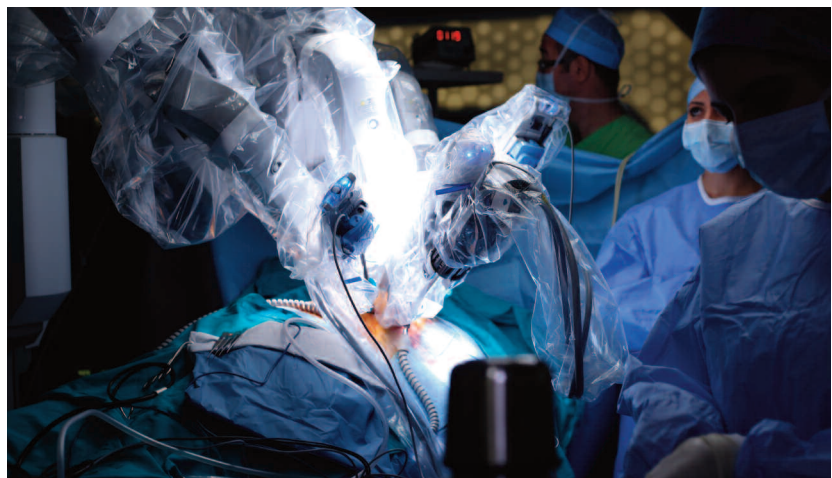
La maîtrise des logiciels : les installations robotiques sont gérées par des logiciels de supervision. Ces logiciels destinés à concevoir, dimensionner, simuler, émuler, exploiter des solutions robotiques sont déterminants pour leur déploiement industriel.

L'acceptabilité des systèmes robotiques : apportant plus de performance, l'automatisation amène à supprimer des emplois. L'enjeu est de proposer des systèmes avec un juste niveau d'équilibre pour permettre aux différents secteurs de compenser les emplois supprimés par des emplois plus qualifiés et d'offrir de nouveaux métiers en liaison avec de nouveaux usages.

FOCUS SUR TROIS SECTEURS

ROBOTIQUE MÉDICALE

La robotique médicale a un contour large qui englobe : la robotique utilisée en laboratoire d'analyse biologique, la robotique servant à transporter médicaments ou patients dans l'hôpital, la robotique d'assistance à une personne handicapée ou âgée, la robotique de suppléance où un organe défaillant est remplacé par un dispositif médical, la robotique de rééducation et la robotique aidant le praticien à réaliser une intervention ou à la simuler. On se concentre ici sur le robot d'assistance au geste médico-chirurgical du praticien (chirurgien, radiologue interventionnel, radiothérapeute, etc.). Les objectifs sont cliniques (diagnostiques ou thérapeutiques). Le robot constitue le prolongement des mains du praticien, de ses sens voire de son intelligence afin de rendre son geste plus efficace, plus sûr et moins invasif (voir Glossaire). Il est important de noter qu'il ne s'agit pas de se substituer totalement à l'opérateur humain.



On se concentre ici sur le robot d'assistance au geste médico-chirurgical du praticien (chirurgien, radiologue interventionnel, radiothérapeute, etc.). Les objectifs sont cliniques (diagnostiques ou thérapeutiques). Le robot constitue le prolongement des mains du praticien, de ses sens voire de son intelligence afin de rendre son geste plus efficace, plus sûr et moins invasif (voir Glossaire). Il est important de noter qu'il ne s'agit pas de se substituer totalement à l'opérateur humain.

La France occupe une position pionnière dans le domaine : dans les années 1980 elle est à l'origine des premières interventions assistées par un robot. Elle a mis en place des outils structurants (en particulier labex CAMI et Equipex Robotex) avec des centres experts alliant, sur le long terme, scientifiques, soignants et industriels. Elle bénéficie d'une excellente formation universitaire et de la mise en place de passerelles entre formations scientifiques et études médicales. Son système de santé publique articulé autour des CHU et la mise en place de structures DGOS-INSERM³ telles que les CIC-IT⁴ est en prise directe avec le suivi de la réglementation européenne sur les dispositifs médicaux. De nombreuses start-ups dans le domaine du Geste Médico-Chirurgical Assisté par Ordinateur témoignent de cette vitalité.

3. Programme de recherche translationnelle créé en 2012 par la direction générale de l'offre de soins (DGOS) et l'institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM).

4. Les CIC-IT (centres d'investigation clinique), localisés dans les CHU, sont ouverts à toutes les entreprises et à tous les laboratoires qui souhaitent disposer de conseils et de moyens techniques en amont dans leur démarche d'innovation.

En revanche, le système français de santé publique est exsangue et rend très difficile l'implication des personnels médicaux dans la recherche. Du fait d'une industrie robotique quasi-inexistante, le pas indispensable entre faisabilité de laboratoire et évaluation clinique est difficile à franchir (pas de financement spécifique, difficulté réglementaire nécessitant un fabricant, chaînon manquant entre recherche et développement, public et privé). Par ailleurs, pour faire une évaluation clinique il faut atteindre un degré de certification des logiciels et matériels qui n'est pas à la portée d'un laboratoire et nécessite un partenariat industriel permettant de valider les prototypes. Finalement, contrairement à d'autres pays, le secteur doit faire face à une complexification des procédures et réglementations européennes aggravée par des instances françaises de validation réglementaire insuffisantes pour absorber le surcroît de travail.

ROBOTIQUE AGRICOLE

De nombreuses contraintes ont toujours pesées sur l'agriculture, notamment en termes de niveaux de production pour accompagner la croissance et garantir la capacité d'alimentation d'une population grandissante. Depuis le milieu du siècle dernier, l'agriculture s'est tournée vers un productivisme basé sur l'utilisation de machines, les traitements chimiques et la



sélection d'espèces. Aujourd'hui la nécessaire réduction de l'impact environnemental impose la mise en œuvre de nouvelles pratiques centrées sur l'agroécologie, que ce soit par l'intermédiaire de l'agriculture de précision, de l'agriculture biologique, ou de l'utilisation de produits de bio-contrôle. En matière de robotique, la maîtrise de l'environnement de travail, qui a permis l'essor de la robotique industrielle, est plus difficile à appréhender dans le domaine de l'agriculture. Les robots actuellement utilisés sont cantonnés à l'intérieur des exploitations pour des opérations de traite ou d'affouragement automatiques par exemple. Le développement de robots pour les cultures est plus délicat, car il nécessite des capacités d'adaptation du robot à différentes opérations, mais aussi et surtout à une variabilité importante de la végétation et de l'environnement (conditions climatiques, adhérence, poussière, ...). Outre l'utilisation de drones pour l'évaluation agri-environnementale, le déploiement de robots pour les productions végétales demeure plus progressif. Néanmoins, l'application agricole est considérable pour la robotique puisque celle-ci apparaît comme le second plus gros marché avec un chiffre d'affaires de 90 milliards d'Euros à l'horizon 2025⁵.

Deux approches complémentaires structurent le domaine :

- le développement de tracteurs autonomes (c'est-à-dire l'automatisation des véhicules et de leurs outils associés), mené par les grands constructeurs et équipementiers du secteur.
- la conception de nouveaux agroéquipements, de taille plus petite que les machines classiquement utilisées, et réalisant des opérations élémentaires (désherbage mécanique en agriculture biologique, pulvérisation de précision, ...). Développés par des jeunes entreprises, ces robots ont des capacités encore restreintes, et leur déploiement se heurte à une législation inadaptée, ainsi qu'à un réseau de distribution et de maintenance peu étendu.

5. Source Tractica, 2018

Face aux grands acteurs que sont le Japon, les Etats-Unis, la Chine et l'Australie, la France dispose de plusieurs constructeurs de machines agricoles bien implantées dans le secteur de l'élevage. Dans le domaine plus émergent de la production végétale, la France bénéficie d'un réseau de jeunes entreprises innovantes, à l'initiative du développement de robots spécialisés. Créée en 2017, l'association RobAgri⁶ permet de mutualiser des moyens en matière de recherche et développement. Regroupant 65 partenaires, elle bénéficie du soutien de l'AMI France Agrimer, par l'intermédiaire du projet SolRob. Cette structuration permet également à la France de jouer un rôle important au niveau européen au sein du programme AgROBOfood⁷.

ROBOTIQUE ET LOGISTIQUE

La robotique appliquée à la logistique consiste à automatiser des tâches de manutention et de suivi de charges de différentes formes, tailles et poids. Ces charges sont déplacées automatiquement, stockées et déstockées, triées, assemblées par lots, emballées, expédiées, et des systèmes informatiques assurent le suivi continu des manutentions.



A court terme, le développement de la demande de logistique lié aux changements de mode de consommation (achat sur Internet, livraison à domicile...) va conduire à l'émergence de plateformes de logistique de plus en plus automatisées et à la généralisation de systèmes informatiques permettant d'optimiser la gestion des charges isolées et le suivi des commandes des clients. L'automatisation de ces applications logistiques va sortir des usines pour aller sur la route. Dans ce secteur, la France a des atouts : de nombreuses PME (EXOTEC, SCALLOG, ALFI...) et ETI (SAVOYE, B2A, Daher, Fives) maîtrisent chacune des technologies propres. Elle bénéficie par ailleurs de la présence d'industriels ayant des usines et des centres de logistique sur le territoire, par exemple, dans les domaines du luxe (LOREAL, LVMH), de l'agroalimentaire (DANONE), et de la production de biens (PSA). En revanche, elle souffre d'une difficulté de recrutement et d'un manque de coordination entre les acteurs pour répondre aux besoins des grands donneurs d'ordre. Il reste que face à une concurrence internationale dynamique et aux résistances exprimées par les personnels du secteur, des opportunités s'offrent de créer de nouveaux marchés liés à de nouveaux usages (dans les hôpitaux, les hôtels de luxe, les bateaux de croisières, ou les applications liées à l'usine du futur) et à l'émergence des robots mobiles évoluant à l'extérieur des usines.

6. www.robagri.fr

7. Digital Innovation Hub, lancé fin 2019 - agrobofood.eu/project/

RECOMMANDATIONS

- 1 Favoriser une filière réunissant petites et moyennes entreprises, laboratoires de recherche, intégrateurs et grands groupes industriels sur des projets d'envergure** - La plupart des grands domaines économiques français sont concernés par le développement des systèmes exploitant les technologies de la robotique pour l'évolution voire la transformation des systèmes de production (dans l'industrie aéronautique, agroalimentaire, automobile, des biens de consommation) mais aussi pour le développement de nouveaux services (dans les transports, la santé, le commerce, la sécurité, autonomie des personnes). D'autres domaines sont directement intéressés, comme la défense, le spatial ou les travaux publics. Des projets d'envergure, tels les programmes ARA (automatisation et robotique avancée) ou RISP (robots d'intervention sur site planétaire) menés dans les années 1980, seraient à même de créer une filière robotique.
- 2 Dynamiser la recherche et développer la formation** – On constate une méconnaissance fréquente des chercheurs vis-à-vis des aspects réglementaires et une défiance envers le versant très appliqué de la recherche, mal valorisé dans les parcours de recherche et les carrières. Il s'agit en outre d'inventer des dispositifs et des modes de financements permettant de monter en TRL (Technology Readiness Level) et de réaliser des évaluations propices au transfert industriel. Il s'agit enfin, dans les secteurs tels que la médecine, d'introduire des enseignements technologiques et de favoriser le recrutement d'ingénieurs dans les hôpitaux, à des niveaux de salaire comparables à ceux du privé.
- 3 Un institut franco-allemand en robotique⁸** - La conception de machines intelligentes capables d'interagir avec le monde réel doit s'appuyer sur des infrastructures de recherche pérennes. Développer et assurer la maintenance de plateformes robotiques exige un niveau d'investissement en personnel qui dépasse la plupart du temps les capacités des institutions de recherche publique en Europe. C'est pourquoi nous recommandons la création d'un *institut franco-allemand en robotique* comme composante essentielle d'une initiative conjointe en robotique et intelligence artificielle. Bâti sur le fort positionnement européen dans ce domaine, l'institut aurait pour vocation à réunir chercheurs, ingénieurs et techniciens pour développer une recherche de haut niveau bénéficiant de plateformes expérimentales de pointe, issues d'investissements à long terme. L'institut serait ouvert aux partenaires européens et ancré dans un écosystème de start-ups. C'est une condition indispensable pour atteindre un niveau de recherche publique en Europe qui puisse rivaliser avec les entreprises privées et les institutions gouvernementales aux États-Unis et en Asie.

8. Cette recommandation reprend la recommandation faite conjointement par l'Académie des sciences et son homologue allemande la Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina à l'issue d'un colloque intitulé "Robotics AI: Data Science versus Motion Intelligence" qui s'est tenu le 5 septembre 2018. Le colloque a réuni une cinquantaine de chercheurs et de représentants des ministères et des institutions des deux pays. Son objectif était de renforcer la coopération franco-allemande en matière de robotique et d'intelligence artificielle.

Robotique : Un robot est un objet technique qui s'inscrit dans l'histoire des machines. Un robot est capable d'adaptation : le système de régulation repose sur une boucle de rétroaction couplant un capteur (signal d'entrée) avec un actionneur (signal de sortie). Le système de régulation peut être mécanique comme le régulateur à boules inventé par James Watt à la fin du dix-huitième siècle pour les machines à vapeur, invention qui a ouvert l'ère industrielle. Au milieu du vingtième siècle, grâce aux progrès en matière d'électronique, il est possible de concevoir des systèmes de régulation reposant sur le couplage des signaux d'entrée-sortie exprimés sous forme analogique. C'est le début de la cybernétique. La transformation des signaux analogiques en signaux numériques, rendue possible par le développement des premiers calculateurs, ouvrent la possibilité d'introduire dans la boucle de rétroaction des algorithmes de traitement de l'information et d'enrichir ainsi les capacités d'adaptation. La machine n'est plus seulement régie par des mécanismes réflexes, elle bénéficie de capacités de raisonnement offertes par des algorithmes de prise de décision de plus en plus élaborés. Dès lors la machine n'est plus programmée au niveau du mouvement seul (comme c'est encore le cas dans les années 1960 pour les robots industriels qui apparaissent dans l'industrie automobile), elle peut être programmée au niveau de la tâche à effectuer. C'est ainsi que se développe une véritable science du mouvement reposant sur l'étude de la boucle perception-décision-action, domaine de prédilection de l'automatique et de l'algorithmique robotique.

Robot médical : Le robot médical s'inscrit dans une dimension d'interaction avec l'humain (le praticien) et d'action sur l'humain (le patient) conférant de fait à cette discipline les nécessités de l'interaction, de la robustesse et de la sécurité ainsi que la capacité à s'adapter à chaque cas (patient et pathologie) et à la variété des pratiques. Cette variabilité et l'utilisation fréquente des dispositifs robotisés pour des applications sur des tissus vivants mobiles et déformables imposent une adaptation de leurs actions, en temps réel, aux données spécifiques du patient et de l'intervention en cours et requièrent donc un certain niveau d'autonomie décisionnelle. Sur le plan de la recherche sur les mécanismes eux-mêmes, les innovations récentes sont du côté des robots souples (soft robotics), le plus souvent pour des dispositifs intracorporels. On vise des applications telles que les interventions endoluminales (par exemple dans les vaisseaux ou le système digestif via des cathéters actifs ou des endoscopes robotisés). Les systèmes endocorporels peuvent nécessiter également une autonomie sur le plan énergétique (par exemple pour des dispositifs de type « capsule » ou des dispositifs implantables). Les défis sont nombreux : asservissement en milieu variable et peu prédictible, acquisition et interprétation de données de capteurs en temps réel, autonomie de décision et sécurité, conception compatible avec l'utilisation sur patient, interaction humain/machine contrainte (par exemple à cause du contexte de stérilité), micro-robotique et interaction avec des tissus vivants, etc. Les défis sont également intégratifs. Le robot chirurgical nécessite encore souvent aujourd'hui de repenser le bloc opératoire autour de lui. Il doit devenir « furtif » voire être remplacé par des instruments aux fonctions robotiques intelligentes (« smart tools »). Les défis sont enfin liés aux évolutions des pratiques cliniques : par exemple, grâce aux diagnostics génétiques, aux thérapies géniques ou cellulaires, la prise en charge thérapeutique des cancers se fera sans doute de moins en moins par exérèse. Ceci est en faveur de dispositifs de plus en plus miniaturisés allant au cœur du vivant. L'interaction avec des tissus vivants, la capture de signaux biologiques et la capacité à agir d'une manière autonome en sécrétant des molécules ou en modulant des fonctions physiologiques ou des microorganismes (cas particulier du microbiote intestinal) sont des défis pour le futur de la robotique médicale. Les défis sont aussi, plus généralement, ceux de l'interdisciplinarité. Enfin, il est crucial de noter que la diffusion des robots médicaux reste cependant encore limitée – on parle tout au plus de quelques dizaines de milliers de robots installés dans des centres cliniques dans le monde - pour des raisons diverses : coûts du développement, de l'évaluation clinique et de la mise sur le marché, complexité du marché médical, quasi-monopole des États-Unis en termes de propriété intellectuelle dans le domaine des robots médicaux, difficulté à définir et à démontrer la valeur ajoutée clinique des dispositifs, coûts d'investissement et coûts induits pour les utilisateurs.

NOTES

A series of horizontal dotted lines for taking notes.





INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

ACADÉMIE
NATIONALE
DE MÉDECINE

