

# **Robotique Cognitive en 2009**

## **Contribution du GDR robotique à PIRSTEC**

Coordination :

B. Girard (ISIR),

Contributeurs :

A. Arléo (NPA), M. Chetouani (ISIR), P.F. Dominey (SBRI),  
D. Filliat (ISIR / ENSTA ParisTech), F. Ruffier (ISM), Ph. Souères (LAAS)

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Thématiques</b>	<b>4</b>
2.1	Perception . . . . .	4
2.2	Interaction . . . . .	5
2.3	Motricité . . . . .	5
2.3.1	Conception mécaniques bioinspirée des robots et leur actionnement . .	6
2.3.2	Synthèse de la commande . . . . .	6
2.3.3	Ergonomie du mouvement . . . . .	6
2.4	Apprentissage . . . . .	6
2.4.1	Robotique développementale . . . . .	7
2.4.2	Apprentissage neuromimétique . . . . .	7
2.4.3	Cognition située et incarnée . . . . .	7
2.5	Bio-robotique . . . . .	7
2.5.1	Perception . . . . .	8
2.5.2	Locomotion . . . . .	8
2.5.3	Boucle sensori-motrices . . . . .	9
2.6	Cognition spatiale . . . . .	9
2.6.1	Vers une cognition spatiale en neuro-robotique . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Force de Travail</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>Disciplines</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>Enjeux sociétaux et Applications</b>	<b>14</b>
5.1	Des robots au quotidien . . . . .	14
5.2	Des robots pour comprendre la cognition . . . . .	14
5.3	Des robots pour suppléer l'humain . . . . .	14
<b>A</b>	<b>Contacts</b>	<b>15</b>

# 1 Introduction

L'atelier de réflexion prospective PIRSTEC (Prospective Interdisciplinaire en Réseau pour les Sciences et TEchnologies Cognitives) a pour objectif de fournir, d'ici fin 2009, un état des lieux des recherches en sciences et technologies cognitives, permettant de guider l'élaboration d'appels à projets dans ces domaines par l'ANR.

Voir <http://pirstec.risc.cnrs.fr/news/afficher/22> pour plus de détails.

Un certain nombre de recherches menées dans le cadre de la robotique font partie intégrante des sciences cognitives. Le GDR Robotique souhaite donc participer à PIRSTEC par une contribution donnant un état de ces recherches en France, désignées sous l'appellation *Robotique Cognitive* dans le reste de ce document.

La communauté de robotique a été consultée afin de participer à l'atelier PIRSTEC via le GDR Robotique. Des fiches de questions sur la robotique cognitive ont été transmises à la communauté, fin 2008 et début 2009, via :

1. deux appels à participation lancés sur la liste de diffusion générale du GDR Robotique,
2. un appel spécifique destiné aux équipes émergeant dans le sous-groupe "Robotique et Apprentissage" du groupe de travail "Méthodes pour la robotique" (GT4) du GDR, cette communauté semblant particulièrement concernée.

Les informations rassemblées ont permis d'identifier (1) les grandes thématiques de recherche abordées en robotique cognitive, (2) la force de travail globale engagée sur ces questions, (3) les disciplines des sciences cognitives avec lesquelles les roboticiens interagissent fortement, (4) les enjeux sociétaux et applications possibles de ces travaux.

Afin de compléter cette synthèse, six spécialistes ont été sollicités pour décrire de manière synthétique les questions et problématiques centrales des six grandes thématiques préalablement identifiées.

La dernière étape de l'élaboration de ce document a été sa diffusion sur la liste des chercheurs impliqués en Robotique Cognitive, pour commentaires et modifications.

## 2 Thématiques

Les thématiques liées aux sciences cognitives étudiées dans les laboratoires de robotique ayant répondu à l'appel sont très variées. On peut cependant identifier 6 grandes catégories permettant de couvrir l'ensemble des travaux : Perception, Interaction, Motricité, Apprentissage, Robotique bioinspirée, Cognition spatiale. Pour autant, ces catégories indicatives ne sont pas exemptes de recouvrements (par exemple, la cognition spatiale use de divers types d'apprentissage et peut se faire sur la base de modèles neuromimétiques).

Ces 6 grandes catégories pourraient constituer les thèmes que la communauté robotique souhaiterait voir apparaître dans des appels à projets de l'ANR centrés sur les sciences cognitives.

### 2.1 Perception

Mots-clés : *Vision par ordinateur, Vision robotique, Vision cognitive, Perception active, Perception active multimodale, Perception visuelle bioinspirée.*

Contributeur principal : M. Chetouani, ISIR.

La perception englobe la détection et l'interprétation de l'environnement, de l'utilisateur et du robot et constitue une des étapes préalables aux autres fonctions robotiques (interaction, navigation...). L'interprétation de données issues de capteurs le plus souvent hétérogènes ainsi que la conception de nouveaux capteurs adaptés à la robotique (mobilité, interfaces naturelles...) font partie des défis en perception pour la robotique. L'exploitation de la multimodalité (audio, vidéo) est un principe maintenant acquis en interaction homme-robot et s'étendant à d'autres applications comme la navigation par exemple. La perception de l'utilisateur, de l'environnement est enrichie par l'ajout de capteurs permettant d'intégrer d'autres informations sensorielles (capteurs physiologiques, haptiques, centrales inertielles...). Au-delà des problématiques technologiques, les verrous scientifiques liés à la mise en œuvre de capteurs hétérogènes résident dans la caractérisation, l'interprétation et la fusion d'informations. Les modèles sont le plus souvent issus du traitement du signal et de la reconnaissance des formes avec plus ou moins d'intégrations de connaissances sur les phénomènes (physique, intégration cognitive, physiologie...). La perception en robotique, du fait de sa présence dans le même monde physique que l'humain, requiert le développement de capteurs spécifiques. On peut citer par exemple la vision omnidirectionnelle pour la navigation mais également la coopération entre le robot et des capteurs externes (wearable sensors, domotique...).

L'évaluation des systèmes de perception dépend évidemment de l'application. Les mesures de détection et de reconnaissance d'objets, de signaux sont largement utilisées dans les systèmes dits de perception passive. Cependant, ces mesures ne permettent pas de juger de la pertinence dans un système robotique.

La perception active est largement étudiée et permet le plus souvent de compléter la multimodalité. Par exemple, la réduction de l'ambiguïté d'un système de perception peut être réalisée par l'exploitation de la mobilité des capteurs. La perception active nécessite également

la définition de critères d'évaluation adaptée (quantité de mouvement des capteurs, temps de recherche...).

Les défis majeurs en perception pour la robotique font appel à des formalismes avancés en traitement du signal, des images, de la reconnaissance des formes mais également la physiologie, de la psychologie ainsi que de la physique.

### 2.2 Interaction

Mots-clefs : *Interactions homme-robot, Coopération homme-robot, Démarche de conception "ergonomique", Perception et Interprétation de signaux d'interaction, Assistance à la personne en perte d'autonomie, Modèles du contrôle et de l'apprentissage moteur pour la robotique d'assistance et de rééducation, supervision de l'interaction, détection de conflits, BCI (brain-computer interfaces)*

Contributeur principal : P. F. Dominey, SBRI.

Une question, qui suscite un intérêt croissant, est la planification et le contrôle de mouvements du robot dans un environnement humain et en interaction avec l'homme. Cette question est étroitement liée à celle de la communication (langage oral ou gestuel) avec l'homme.

Dans « la programmation par démonstration » les utilisateurs démontrent physiquement des actions, et par l'intermédiaire d'une capture et d'une segmentation de mouvement, le robot doit reproduire ces actions. Les défis ici sont de déterminer si c'est le mouvement lui-même qui doit être imitée, les résultats du mouvement ou encore une certaine combinaison des deux.

La parole est également un outil puissant dans l'interaction humain-robot. L'utilisateur a à sa disposition un ensemble de procédures comportementales qui peuvent être déclenchées par l'intermédiaire de la parole, et d'une grammaire simple qui permet la composition de ces primitives dans de nouveaux comportements.

Les systèmes hybrides permettent un mélange de démonstration et de parole. Une avancée récente dans ce domaine est le traitement explicite de la coopération. Dans l'interaction coopérative, le robot est censé représenter un plan partagé, qui code les actions appareillées que l'utilisateur et le robot exécuteront de manière coordonnée afin d'atteindre le but commun. Cette approche se fonde sur des données des études du développement cognitif chez l'homme, et le développement de ces capacités coopératives. Le but est d'atteindre les systèmes robotiques qui soient capables de déterminer des buts et des intentions par l'observation physique et la parole. Ceci leur permettra de participer activement à la réalisation coopérative de ces buts.

### 2.3 Motricité

Mots-clefs : *Préhension et manipulation dextre, Modèles du contrôle et de l'apprentissage moteur pour la robotique humanoïde, Action motrice et boucles sensorimotrices, Modélisation de l'écriture.*

Contributeur principal : Ph. Souères, LAAS.

### 2.3.1 Conception mécaniques bioinspirée des robots et leur actionnement

Les modèles issus de l'anatomie et de la biomécanique sont d'un intérêt fondamental pour guider la conception de la structure mécanique (type d'articulations, nombre de degrés de liberté, géométrie des segments, compliance,...) du robot et son mode d'actionnement (moteurs, systèmes de transmission, énergie,...).

Actuellement, un sujet d'intérêt est la conception de robots pouvant être commandés en couple (contrairement à la plupart des robots humanoïdes actuels qui sont commandés en position), ou plus idéalement encore, sur la base d'un mode d'actionnement antagoniste de chaque liaison, permettant la prise en compte la gravité et son utilisation.

### 2.3.2 Synthèse de la commande

Comment élaborer une architecture de commande permettant d'intégrer des boucles rapides d'asservissement bas-niveau, allant de l'arc réflexe à la notion de générateur central de rythme, des mécanismes proactifs et en feedback pour l'ajustement et le maintien de la posture, et différents niveaux hiérarchisés et distribués qui permettent d'aboutir à la commande du mouvement volontaire ? Cette question est centrale en robotique. L'étude des modèles neurobiologiques du système nerveux central peut suggérer des approches nouvelles pour relier les méthodes de régulation locales, comme la commande référencée capteur, et les approches plus globales qui reposent sur la planification de trajectoire et la commande par retour d'état et nécessitent la localisation du robot. Cette question est en lien direct avec celle de l'intégration multi-sensorielle pour la représentation de l'espace et la construction d'une métrique appropriée pour le codage du mouvement.

### 2.3.3 Ergonomie du mouvement

Un autre aspect concerne le lien entre robotique et ergonomie. Les modèles de plus en plus élaborés développés par les roboticiens pour simuler le comportement dynamique de mannequins numériques ou de robots humanoïdes sont d'un intérêt évident pour les ergonomes. La possibilité de simuler le comportement d'un opérateur en prenant en compte différents critères, allant de la cinématique des articulations à des modèles musculaires plus complets, ouvre une voie prometteuse pour la détection des troubles musculo-squelettiques.

En sens inverse, les techniques issues de la robotique peuvent aider les biologistes à interpréter des résultats expérimentaux pour élaborer des modèles. En étant directement confronté à des problèmes techniques liés à la perception, la commande et la prise de décision, l'ingénieur est amené à définir différents concepts et formalismes mathématiques qui lui permettent de développer des méthodes. Ces méthodes sont souvent reprises par les neuroscientifiques pour tenter d'expliquer leurs résultats. Les exemples sont très nombreux : réseaux de neurones artificiels, filtrage et de fusion de données, traitement du signal, approches probabilistes,...

## 2.4 Apprentissage

Mots-clefs : *Robotique développementale et sociale, Cognition située et incarnée, Exploration, Apprentissage par renforcement neuromimétique, Motivations intrinsèques, Modélisation de l'apprentissage moteur humain*

Contributeur principal : D. Filliat, ISIR / ENSTA ParisTech.

L'apprentissage est une fonction transverse par essence, que ce soit du point de vue des sciences cognitives ou de la robotique. Il existe ainsi des applications de l'apprentissage dans tous les domaines mentionnés par ce document (perception, interaction, motricité, contrôle moteur, cognition spatiale). Les techniques utilisées peuvent être d'inspiration purement statistique et mathématique, mais peuvent aussi avoir des liens forts avec les sciences cognitives, en s'inspirant selon le cas de modèles psychologiques ou neurobiologiques.

Les techniques d'apprentissage utilisées ou développées en robotique sont très variées. Parmi les méthodes mises en oeuvre dans la communauté robotique française, il est par exemple possible de citer l'apprentissage par renforcement, l'apprentissage par imitation, l'apprentissage par démonstration, l'apprentissage non supervisé, l'apprentissage social, ... Dans un grand nombre de cas, l'application robotique de ces modèles poursuit le double but de valider ces modèles et de produire des systèmes robotiques intéressants.

### 2.4.1 Robotique développementale

Au delà des applications, l'apprentissage en robotique peut s'envisager selon différentes approches. Une première approche est celle de la robotique développementale, qui a pour objectif de reproduire certaines capacités de l'apprentissage et du développement humain afin de doter les robots de nouvelles capacités cognitives, sociales ou d'adaptation à des environnements complexes. Ce courant s'inspire essentiellement de la psychologie développementale (Piaget, Vygotski, Berlyne, Gibson...). Parmi les thèmes traités dans cette approche, figurent l'exploration et les motivations intrinsèques, l'apprentissage dans un cadre social, et la création de représentations sensori-motrices hiérarchiques et de complexité croissante.

### 2.4.2 Apprentissage neuromimétique

L'apprentissage neuromimétique en robotique tire ses modèles et ses inspirations des neurosciences computationnelles, pour lesquelles il constitue un champ d'application et un instrument de validation. La communauté des neurosciences computationnelles est par ailleurs animée par la structure NeuroComp. Les travaux en robotique portent notamment sur le développement et la validation de modèles d'apprentissage par renforcement neuromimétiques ou de modèles de conditionnement.

### 2.4.3 Cognition située et incarnée

Enfin, les applications de l'apprentissage en robotique fournissent un cadre idéal pour mettre en évidence l'apport de l'incarnation dans les sciences cognitives. L'utilisation de robots permet de mettre en évidence les interactions essentielles entre perception et action et le besoin de capacités d'apprentissage et d'adaptation pour le fonctionnement des systèmes naturels et artificiels dans des environnements complexes et évolutifs. Ainsi la robotique fournit une application permettant de tester de manière cohérente des modèles d'apprentissage du contrôle moteur et de représentation internes du corps, de l'environnement et de l'espace.

## 2.5 Bio-robotique

Mots-clefs : *Modélisation du comportement animal, Modélisation du conditionnement animal, Modélisation neuromimétique, Sélection de l'action, Décision, Motivation, Modélisation*

*du contrôle moteur humain, Emergence de fonctions cognitives à partir d'un calcul distribué, Emergence de représentations suffisantes à partir de boucles sensorimotrices et d'interactions avec l'environnement, Emergence de la cognition à partir d'émotions et à partir de stades de développement*

Contributeur Principal : F. Ruffier, ISM.

S'inspirer des animaux pour faire des robots, c'est s'inspirer de systèmes qui fonctionnent parfois depuis plusieurs centaines de millions d'années. Ces animaux ont résolu les mêmes problèmes qui se posent aujourd'hui aux robots pour percevoir, pour se mouvoir, pour éviter les obstacles ou pour retrouver leur gîte...

On peut dégager trois axes principaux de recherches en robotique bio-inspirée<sup>1</sup> :

### 2.5.1 Perception

Dans le règne animal, les perceptions sont multiples : vision du mouvement, olfaction, sens haptique, lumière polarisée, écholocation, électrolocation... La robotique bio-inspirée cherche à mieux comprendre ces systèmes perceptifs pour conférer aux robots une perception plus naturelle, plus économe en énergie, plus sobre également en termes de ressources de calcul. Les animaux utilisent leur perception pour réaliser de nombreuses tâches intéressantes pour un roboticien : se guider, se nourrir, reconnaître un congénère, un intrus ou un danger, retourner au gîte... Il s'agit ensuite de reconstruire ces différents traitements (visuels, tactiles, olfactifs, sonores...) de manière précise ou bien de manière plus fonctionnelle. Souvent, ces traitements sensoriels bio-inspirés n'utilisent pas la même technologie que leur contrepartie dans le monde animal : ils peuvent être ainsi mis en œuvre de façon électronique, microélectronique, informatique, optique, mécanique, pneumatique, chimique, ... Ces perceptions naturelles sont de plus en plus étudiées :

- pour trouver des alternatives aux capteurs traditionnels couplés à d'importantes unités de calcul souvent onéreuses,
- pour répondre aux besoins de miniaturisation des robots, en particulier les mini et microrobots.

### 2.5.2 Locomotion

Dans le règne animal, les locomotions sont également multiples : marche bipède, quadrupède, hexapode, octopode, décapode, nage anguilliforme, nage à réaction, vol plané, vol à ailes battantes ou vibrantes... La robotique bio-inspirée cherche à mieux comprendre ces systèmes de locomotion pour donner aux robots une locomotion plus efficace énergétiquement, plus compacte et surtout capable de venir à bout des milieux les plus difficiles. Ces milieux sont soit inaccessibles à l'homme, soit inaccessibles aux robots dotés d'organes locomoteurs classiques à base de roues ou d'hélices. Puis, il s'agit de re-construire ces locomotions terrestres, maritimes ou aériennes en utilisant des matériaux et des actionneurs disponibles, souvent très différents des matériaux et actionneurs utilisés par les animaux. Enfin, la robotique bio-inspirée s'efforce de proposer des solutions innovantes pour coordonner et pour automatiser ces actionneurs afin de générer la locomotion du robot.

---

<sup>1</sup>De nombreuses interactions existent entre ce thème et les activités de la communauté de neurosciences computationnelles en France, structurée autour de NeuroComp.

### 2.5.3 Boucle sensori-motrices

À partir des études comportementales ou bien neurophysiologiques, on peut émettre des hypothèses sur les boucles sensorimotrices naturelles utilisées par les animaux. Ces hypothèses peuvent ensuite être testées sur des robots et conduire à des comportements innovants. Il s'agit souvent de bouclages et de réflexes intelligents dépassant la traditionnelle boucle « perception, modélisation, décision, action » qui demande souvent de trop grandes capacités calculatoires. Ces boucles sensori-motrices biomimétiques relient des capteurs et des actionneurs dont les fonctions sont biologiquement plausibles pour doter le robot d'un comportement à la fois connu chez l'animal et recherché par le roboticien.

## 2.6 Cognition spatiale

Mots-clefs : *Navigation, Navigation visuelle par le flux optique, Localisation, Planification coopérative dans l'incertain, Coordination de stratégies de navigation multiples*

Contributeur principal : A. Arleo, NPA.

La cognition spatiale offre un cas d'étude remarquable d'une fonction complexe de traitement d'informations polymodales issues de l'interaction entre un agent (animal ou robot autonome) et son environnement. En effet, afin d'obtenir un comportement spatial efficace, les animaux et les robots mobiles autonomes doivent interagir en permanence avec leur environnement, être en mesure de se repérer dans l'espace et de sélectionner, à tout instant, la stratégie de navigation la plus appropriée à la complexité de la tâche à résoudre. Par exemple, naviguer vers une cible visible n'exige aucune représentation mentale de l'environnement, une simple « stratégie de guidage visuel » étant suffisante. Ce comportement est basé sur des associations de type stimulus-réponse et il en résulte une stratégie purement réactive : l'agent s'oriente et se déplace vers le stimulus (e.g. une source lumineuse). Par ailleurs, des tâches de navigation plus complexes font appel à des stratégies plus flexibles et puissantes, relevant de la capacité à « planifier mentalement » des multiples trajectoires et / ou des raccourcis vers plusieurs positions cibles non visibles. Cette fonction nécessite une « carte cognitive » permettant à l'agent d'inférer sa position et son orientation absolues dans l'environnement. Une représentation contextuelle est donc établie afin de permettre un encodage des propriétés spatio-temporelles de l'environnement et d'utiliser cette connaissance pour accomplir une navigation optimale (e.g. trouver des raccourcis).

Les animaux élaborent-ils des représentations internes de l'environnement ? Les expériences neurobiologiques soutiennent cette hypothèse. Quand la complexité et les capacités sensorielles des organismes biologiques augmentent, une représentation spatiale explicite semble sous-tendre la capacité à naviguer dans des tâches complexes. Les propriétés des cellules nerveuses enregistrées dans la formation hippocampique (principalement chez les rongeurs) font de cette structure du cerveau un substrat neuronal approprié pour cette représentation. En effet, il existe des neurones hippocampiques qui déchargent sélectivement selon la position de l'animal (i.e. cellules « de lieu » et cellules « de grille »), et selon l'orientation de la tête dans le plan horizontal (i.e. cellules « de direction de la tête »). Ces populations neuronales dotent les animaux d'un système de localisation spatiale de type allocentrique et d'un système d'orientation semblable à une boussole.

Il existe un grand intérêt scientifique centré autour des processus d'apprentissage sous-tendant la capacité des animaux à maintenir les activités des cellules hippocampiques cohérentes (par rapport à leurs corrélats spatiaux) dans multiples situations environnementales.

Il s'agit, par exemple, de comprendre les principes réglant l'intégration de perceptions multimodales dans des représentations contextuelles cohérentes même en présence de conflits inter-sensoriels. Par conséquent, les questions suivantes demeurent centrales pour l'étude de la cognition spatiale : Quels sont les mécanismes sous-tendant l'intégration multisensorielle pour l'élaboration de mémoires spatiales ? Comment l'apprentissage spatial permet-il de pondérer dynamiquement l'importance des informations extéroceptives (e.g. vision, toucher) et proprioceptives (e.g. signaux inertiels et kinesthésiques) ? Quel est le rôle des mécanismes de plasticité synaptique dans ce processus de coopération et / ou compétition des différentes sources d'informations spatiales ? De plus, la problématique de l'intégration multisensorielle est aussi fondamentale pour comprendre la consolidation et la réutilisation de mémoires spatiales à long terme.

L'encodage neuronal de variables telles que la position et la direction absolues de l'agent constitue une fonction déterminante dans la cognition spatiale. Toutefois, la planification mentale de trajectoires de navigation et, de manière plus générale, la prise de décision adaptée au contexte nécessitent également l'intégration d'autres éléments importants. Par exemples, les relations topologiques entre les différentes zones de l'environnement et leurs corrélats motivationnels – aussi bien appétitifs (récompense) que aversifs (coût, danger) – doivent être intégrés dans une description, abstraite et compacte, de l'interaction entre le sujet et l'environnement. Les observations neurobiologiques suggèrent qu'une telle représentation multidimensionnelle pourrait être élaborée grâce aux interactions anatomo-fonctionnelles au sein d'un réseau de structures neuronales incluant la formation hippocampique, les aires neocorticales comme le cortex préfrontal et pariétal, et les ganglions de la base.

### 2.6.1 Vers une cognition spatiale en neuro-robotique

En parallèle avec les études de neurosciences expérimentales, des nombreux modèles théoriques ont été réalisés pour élucider les propriétés et le fonctionnement de la cognition spatiale des animaux. D'une part, cette approche, qui relève des neurosciences computationnelles, a comme objectif l'établissement d'une théorie cohérente avec les données expérimentales et la production de nouvelles hypothèses concernant les aspects neurophysiologiques, anatomiques, et comportementales de la cognition spatiale. D'autre part, le but de cet effort de modélisation neuro-mimétique est la réalisation de robots autonomes capables de résoudre des tâches de navigation complexes.

En effet, dans le domaine de l'automatique, la synthèse de systèmes de navigation autonomes demeure un problème ouvert, l'Intelligence Artificielle (IA) « traditionnelle » n'ayant pas rempli toutes ses promesses. Les méthodes d'IA – basées sur la définition à priori de modèles internes dotant un robot de capacités d'inférence symbolique inspirée par la logique mathématique – ont produit des solutions très performantes dans des environnements parfaitement contrôlés mais souvent inadaptées aux applications réelles. Plus récemment, la recherche en robotique autonome a été inspirée par une approche non-symbolique où l'ensemble des règles définissant le système de contrôle du robot doit « émerger » grâce à l'interaction continue entre le robot et son environnement. Les principes de cette approche s'inspirent souvent de la biologie et ils ont favorisé le développement de systèmes adaptatifs capables de résoudre des tâches de navigation dans des environnements réels. Par ailleurs, la plupart des solutions de navigation autonome proposées par cette approche engendrent un comportement purement réactif – c'est-à-dire basé sur des simples associations stimulus-réponse – sans créer aucun modèle spatial de l'environnement. C'est pourquoi ces paradigmes d'appren-

tissage ne peuvent qu'émuler des stratégies de navigation relativement simples comme, par exemple, la stratégie de « guidage » vers une cible visible. Par conséquent, la modélisation des processus neurobiologiques sous-tendant la mémoire spatiale – c'est-à-dire la mise en oeuvre d'une représentation des relations spatio-temporelles caractérisant les interactions entre un sujet et son environnement – offre la perspective de développer des systèmes de contrôle plus cognitifs aussi robustes et flexibles que ceux des animaux plus évolués.

### 3 Force de Travail

Une vingtaine d'équipes s'est manifestée, elles représentent une force de travail de plus de 100 permanents au moins autant de non-permanents (doctorants, post-doc, etc.). Le tableau ci-dessous recense ces équipes et leur effectif chaque fois qu'il a été communiqué.

Équipe - Labo	Tutelles	Localisation	Perm.	Temp.
Biorobotique - ISM	Univ. Méditerranée - CNRS	Marseille	5	2
Cognition et Facteurs Humains	Univ. Bordeaux 2	Bordeaux	2	2
Cortex	INRIA	Nancy	9	13
Bayesian Programming - Emotion	CNRS - INRIA - Univ. Grenoble	Grenoble	6	20
ETIS	Univ. Cergy-Pontoise - ENSEA - CNRS	Cergy-Pontoise	9	6
FLOWERS	INRIA	Bordeaux	2	2
Handicap et Santé - IBISC	Univ. Evry Val d'Essonne - CNRS - Genopole	Evry	4	5
Information, Multimodalité et Signal	Supélec	Metz	3	10
Perception et Mouvement - ISIR	UPMC - CNRS	Paris	10	12
Systèmes Intelligents Mobiles et Autonomes - ISIR	UPMC - CNRS	Paris	8	8
Intelligence Sensori-Motrice - IRIT	INPT - UPS - UT1 - UTM - CNRS	Toulouse	2	2
Gepetto - LAAS	CNRS	Toulouse	7	13
Robotique et InteractionS - LAAS	CNRS	Toulouse	?	?
Lagadic - IRISA	INRIA	Rennes	4	9
LIRMM	UM2 - CNRS	Montpellier	?	?
Machine Learning and Evolutionary Computation - TAO - LRI	Univ. Paris Sud - CNRS - INRIA	Orsay	3	3
Mecanismes et Robotique - LMS	Univ. Poitiers - CNRS	Poitiers	4	3
NeuroComputation Adaptative - NPA	UPMC - CNRS	Paris	1	5
Perception Située - LIMSI	UPMC - Univ. Paris Sud - CNRS	Orsay	7	5
Robot Cognition Laboratory - U846	INSERM	Lyon	3	7
Équipe Robotique - IRCCyN	CNRS - ECN - Univ. Nantes - EMN	Nantes	3	2
Robotique Cognitive - LEI	ENSTA ParisTech	Paris	2	4
ROBOTIS	ONERA	Toulouse	16	8
Total			110	141

## 4 Disciplines

Les sciences cognitives sont par essence multidisciplinaires, la Robotique Cognitive ne déroge pas à cette règle. Les équipes recensées travaillent en interaction avec diverses disciplines des Sciences Cognitives. Au vu des interactions déclarées par les laboratoires, il apparaît qu'elles concernent en particulier les sciences de la vie (neurosciences en tête) et la psychologie.

Occurrences des différentes disciplines dans les fiches-réponses :

- Sciences de la Vie (15)
  - Neurosciences (11)
  - Bio-mécanique (2)
  - Biologie du comportement (2)
- Psychologie (8)
  - Psychologie expérimentale (2)
  - Psychologie développementale (3)
  - Psychologie cognitive (2)
- Intelligence artificielle (2)
- Traitement du Signal (2)
- Linguistique computationnelle (1)
- Philosophie (1)

## 5 Enjeux sociétaux et Applications

Plusieurs grands objectifs se dégagent des réponses obtenues. La robotique cognitive s'intéresse à l'insertion des robots dans le monde humain, à une meilleure compréhension de la cognition dans le vivant (par une approche synthétique qui se positionne en complément des approches expérimentales) et enfin à l'utilisation de ces capacités cognitives synthétisées pour des robots opérant dans des environnements inaccessibles ou dangereux pour l'humain.

### 5.1 Des robots au quotidien

Dans le cadre de l'entrée des robots dans le monde humain, de nombreuses applications relèvent de la santé. Il peut s'agir d'une part de participer à la réhabilitation de patients pour lesquels une amélioration de l'état de santé est possible, par exemple après une attaque cérébrale. Il peut s'agir également d'un robot coopératif qui n'a pas pour but d'aider à restaurer une fonction, mais fournir une assistance, par exemple au geste pour augmenter la force ou la précision. Enfin, il peut s'agir d'un robot exécutant des tâches que le patient n'est plus en mesure de réaliser, par exemple pour faciliter le maintien à domicile d'un patient en perte d'autonomie. Ceci peut passer par l'usage de technologies de type BCI/BMI (Brain Computer/Machine Interface)

L'interaction quotidienne avec un robot est aussi envisagée dans le cadre de la robotique de compagnie, domestique ou encore ludique.

Naturellement, un préalable à l'arrivée massive de robots dans un environnement humain est la protection des humains par une maîtrise de la sûreté du comportement du robot.

### 5.2 Des robots pour comprendre la cognition

La robotique cognitive est également un outil de compréhension du vivant : la mise en œuvre sur des plateformes intégrées de modèles théoriques de la cognition, dans des boucles sensori-motrices fermées, permet d'évaluer leur efficacité et leurs limites à l'épreuve de la réalité, et, partant, de les rejeter ou de les améliorer. Ces expérimentations synthétiques sont aussi sources de prédictions, par exemple comportementales, susceptibles en retour d'être testées *in vivo* par les expérimentateurs.

### 5.3 Des robots pour suppléer l'humain

La robotique cognitive ouvre la voie à la conception de robots pleinement autonomes, utilisant leurs capacités cognitives pour s'adapter à des environnements complexes et dynamiques. Cette autonomie peut connaître en particulier des applications pour l'opération de robots terrestres, drones, sous-marins ou spatiaux, dans des milieux dangereux ou difficilement accessibles à l'humain tout en exhibant une souplesse de comportement similaires à celle que pourrait y déployer un humain.

## A Contacts

Liste de contacts pour l'ensemble des équipes recensées :

- Rachid Alami (RIS-LAAS) : rachid.alami@laas.fr
- Frédéric Alexandre (Cortex-INRIA) : frederic.alexandre@loria.fr
- Pierre Andry (ETIS) : andry@ensea.fr
- Angelo Arleo (NCA-NPA) : angelo.arleo@upmc.fr
- Marc Arsicault (Mécanismes & Robotique-LMS) : marc.arsicault@lms.univ-poitiers.fr
- Ryad Benosman (SIMA-ISIR) : ryad.benosman@upmc.fr
- Pierre Bessière (E-Motion-LIG) : pierre.bessiere@imag.fr
- Frédéric Boyer (Robotique-IRCCyN) : frederic.boyer@emn.fr
- Nicolas Bredèche (TAO-LRI) : nicolas.bredeche@gmail.com
- Jean-Christophe Buisson (RPDMP-IRIT) : Jean-Christophe.Buisson@enseeiht.fr
- Raja Chatila (LAAS) : raja.chatila@laas.fr
- Mohamed Chetouani (P&M-ISIR) : mohamed.chetouani@upmc.fr
- Etienne Colle (Handicap-IBISC) : Etienne.Colle@iup.univ-evry.fr
- François Chaumette (Lagadic-IRISA) : Francois.Chaumette@irisa.fr
- Etienne Dombre (GDR Robotique, LIRMM) : etienne.dombre@lirmm.fr
- Peter Ford Dominey (Robot Cognition Laboratory) : peter.dominey@inserm.fr
- Patrick Fabiani (ROBOTIS-ONERA) : Patrick.Fabiani@onera.fr
- David Filliat (Robotique Cognitive-ENSTA ParisTech) : david.filliat@ensta.fr
- Nicolas Franceschini (Biorobotique-ISM) : nicolas.franceschini@univmed.fr
- Hervé Frezza-Buet (IMS) : Herve.Frezza-Buet@supelec.fr
- Bruno Gas (SIMA-ISIR) : bruno.gas@upmc.fr
- Philippe Gaussier (ETIS) : gaussier@ensea.fr
- Jean-Pierre Gazeau (Mécanismes & Robotique-LMS) : Jean-Pierre.Gazeau@lms.univ-poitiers.fr
- Georges Giralt (LAAS) : giralt@laas.fr
- Benoît Girard (SIMA-ISIR) : benoit.girard@isir.fr
- Agnès Guillot (SIMA-ISIR) : agnes.guillot@upmc.fr
- Jean-Paul Laumond (Gepetto-LAAS) : jpl@laas.fr
- Pierre-Yves Oudeyer (FLOWERS) : pierre-yves.oudeyer@inria.fr
- Olivier Pietquin (IMS) : olivier.pietquin@supelec.fr
- Franck Ruffier (Biorobotique-ISM) : franck.ruffier@univmed.fr
- Jean Sallantin (LIRMM) : jean.sallantin@gmail.com
- Jean-Marc Salotti (Cognition & Facteurs Humains) : jean-marc.salotti@idc-bordeaux.fr
- Olivier Sigaud (P&M-ISIR) : olivier.sigaud@upmc.fr
- Philippe Souères (Gepetto-LAAS) : soueres@laas.fr
- Philippe Tarroux (Perception Située-LIMSI) : philippe.tarroux@limsi.fr
- Stéphane Viollet (Biorobotique-ISM) : stephane.viollet@univmed.fr
- Saïd Zeghloul (Mécanismes & Robotique-LMS) : Saïd.Zeghloul@lms.univ-poitiers.fr