

Contribution de la CID 45 au Plan Stratégique du CNRS

Michel Denis
Président de la CID 45

30 septembre 2006

Introduction

Le domaine couvert par la CID 45 ("*Cognition, Langage, Traitement de l'Information: Systèmes Naturels et Artificiels*") constitue un domaine de recherche pluridisciplinaire par excellence. Il rassemble les chercheurs de nombreuses disciplines qui se sont donné pour objectif l'étude de la cognition, à la fois au niveau des mécanismes cérébraux qui la sous-tendent et au niveau de leur expression comportementale. L'étude de la cognition inclut la compréhension des relations entre ces deux niveaux, leur modélisation et leur simulation par des systèmes artificiels. En outre, les sciences de la cognition traitent des interactions entre systèmes cognitifs (naturels et artificiels), avec un intérêt tout particulier pour le langage, mais plus largement tous les systèmes sémiotiques de communication. Le champ inclut donc l'ergonomie cognitive et les interactions homme-machine. Enfin, le traitement de l'information, que ce soit au sein des systèmes cognitifs ou dans les interactions entre systèmes, fait partie intégrante de ce champ de recherche pluridisciplinaire.

Le CNRS a été partie prenante du domaine des sciences de la cognition dès le moment où l'émergence de ce domaine a justifié de forts engagements institutionnels. A la date d'aujourd'hui, on peut estimer à environ 600 le nombre de chercheurs de l'organisme qui contribuent à un ou plusieurs volets des sciences de la cognition. Dans le présent document, nous concentrons notre exposé sur trois grands champs méritant à nos yeux de figurer dans le Plan Stratégique du CNRS, en décrivant à chaque fois les enjeux scientifiques et technologiques attachés à ces champs, le positionnement du CNRS sur ces enjeux et les moyens d'action et d'organisation que le CNRS devrait mobiliser sur ces enjeux. Il s'agit (1) de la question très générale des relations entre *langage et cognition*; (2) du rôle de la *modélisation* dans la compréhension des fonctions cognitives; (3) du domaine très large des *rappports entre la cognition et les technologies*, en particulier les interfaces entre systèmes naturels et systèmes artificiels.

1. Langage et cognition

1.1. Enjeux scientifiques et technologiques. – Les bouleversements théoriques, expérimentaux et méthodologiques dans les sciences du cerveau et de la cognition (de la découverte des neurones-miroirs aux avancées de la théorie de l'esprit, en passant par le développement des techniques de neuroimagerie) permettent de repenser et de renouveler considérablement l'étude du fonctionnement du langage humain, comme système de communication ancré dans les capacités générales de perception, d'action, d'apprentissage, de raisonnement, de mémoire et d'attention. Ces bouleversements fournissent des éléments de "naturalisation cognitive" du langage en ancrant celui-ci, en quelque sorte, dans le corps et dans le cerveau humain. En outre, les rapports entre langage et cognition bénéficient de l'essor récent de la psychologie évolutionniste. La modélisation mathématique à partir de la théorie des jeux permet aux idées relatives à l'émergence de la faculté de langage d'être moins spéculatives. Les revues scientifiques majeures (comme *Science, Nature, PNAS*) s'ouvrent aux réflexions à ce sujet.

Les tendances qui se dessinent permettent aujourd'hui de prédire la production de nouveaux développements théoriques traitant des relations entre cognition et langage, au carrefour des sciences du langage, des sciences comportementales, des neurosciences cognitives et de la modélisation computationnelle. On doit également s'attendre à l'élaboration de nouveaux algorithmes, de nouveaux systèmes, de nouveaux agents de communication s'inspirant de ces développements théoriques et les portant vers les secteurs du traitement automatique du langage et de la parole, de la communication homme-machine, de la réalité virtuelle et augmentée, de la vie artificielle, de la robotique cognitive. De même, on voit s'annoncer un fort développement de nouveaux outils, théoriques et techniques, pour la compréhension et la remédiation des pathologies et des handicaps associés aux dysfonctionnements du langage humain. A cet égard, une approche intégrée du langage est fondamentalement interdisciplinaire, en faisant appel à la linguistique (qui spécifie les propriétés des langues naturelles), à la psycholinguistique (qui caractérise les processus cognitifs sur lesquels reposent la production et la compréhension du langage) et la neuropsycholinguistique (qui identifie le substrat cérébral de ces processus).

Un domaine spécifique des relations entre langage et cognition est celui de l'ingénierie du langage et des apprentissages. Le langage est au centre de la plupart des dispositifs informatisés, en particulier des dispositifs destinés à l'apprentissage et à la formation. Les recherches sur le langage menées selon l'approche de la psychologie cognitive ont ainsi des prolongements directs dans le domaine des STIC. Par exemple, les recherches peuvent permettre de connaître et d'expliquer l'impact des systèmes d'information électroniques sur la lecture, la compréhension du sens ou la recherche d'informations. L'approche psychologique et neurologique est également nécessaire pour comprendre la perception et le traitement des informations multimodales. Réciproquement, les STIC produisent des connaissances nouvelles utiles aux spécialistes de la cognition humaine (notamment en psycholinguistique) sous la forme d'outils permettant de stocker et d'analyser des données relatives au comportement, voire de simuler certains aspects de celui-ci.

1.2. Positionnement national et international. – La pluridisciplinarité est un atout unique dans ce domaine, ce qui fait du CNRS un opérateur incontournable en France, dans la mesure où il est le seul acteur institutionnel capable d'impulser et de soutenir cette pluridisciplinarité. Le CNRS est d'autant plus incontournable que, localement, la dispersion des thématiques entre plusieurs établissements universitaires rend souvent difficile le développement d'initiatives interdisciplinaires. Le rassemblement pluridisciplinaire est toujours plus incertain lorsqu'il doit se faire sans le CNRS, dont l'apport est toujours décisif.

Au plan européen et au plan international, ce domaine de recherche est pris en charge dans les grands centres interdisciplinaires (tels que, par exemple, l'Institut Max-Planck de Leipzig en Allemagne, le MIT aux Etats-Unis ou les laboratoires ATR au Japon). Face à ces compétiteurs, le CNRS est bien placé, dans la mesure où il a toutes les cartes disciplinaires en mains, mais il doit mettre ces cartes en synergie en affichant les enjeux impérieux de la pluridisciplinarité.

1.3. Moyens d'action et d'organisation. – Le cadre des appels d'offres (ACI, ANR) ou des Programmes Interdisciplinaires du CNRS est très bien adapté pour mettre en synergie, de manière dynamique, les acteurs autour de ces enjeux, qui doivent mobiliser fortement des chercheurs de plusieurs communautés, sans nécessairement passer aujourd'hui par des structurations lourdes (comme la création de laboratoires ou d'instituts). Ces outils doivent être complétés par des recrutements appropriés aux interfaces, tels que ceux que la CID 45 permet de réaliser.

2. Modélisation des fonctions cognitives

2.1. Enjeux scientifiques et technologiques. – La compréhension de la cognition naturelle et de ses bases cérébrales s'appuie sur des modèles mathématiques qui permettent d'intégrer les propriétés de larges ensembles neuronaux comme bases des fonctions sensori-motrices et cognitives (vision, contrôle moteur, etc.). La simulation de ces modèles sur ordinateur permet d'analyser leur valeur d'explication et de prédiction des résultats expérimentaux, ainsi que leur capacité à reproduire les fonctions étudiées. L'implémentation sur des robots interagissant avec le monde environnant, riche et complexe, est la façon la plus directe de comprendre les capacités adaptatives de ces modèles neuronaux.

Les interactions entre modèles de la cognition naturelle et modèles de la cognition artificielle ont une grande valeur heuristique. Les modèles de la cognition artificielle jouent un rôle important comme outils d'analyse de la cognition naturelle, tandis que les modèles de la cognition naturelle fournissent des pistes nouvelles pour la cognition artificielle. La modélisation informatique peut être mise au service de la compréhension des fonctions cognitives et du fonctionnement cérébral. La valeur de la modélisation est de permettre d'effectuer des tests qui seraient impossibles à réaliser sur un substrat vivant (par exemple, en simulant des lésions et en observant les dégradations qui en résultent). On peut, par simulation, développer un modèle précis de neurone ou de réseau et l'étudier par des observations comparables à celles mises en oeuvre en neurosciences. On peut chercher à reproduire ce que l'on observe en EEG, en SEEG ou en IRMf par des réglages sur le modèle. Les réglages permettent de progresser dans la connaissance et la compréhension des organisations ou des mécanismes sous-jacents. Ils permettent de comprendre comment passer du niveau local au niveau global, ou du niveau unitaire au niveau collectif. Les modèles aident à valider ou à invalider des hypothèses faites sur le fonctionnement cognitif naturel. Ils permettent d'expliquer des résultats observés et d'élaborer de nouvelles hypothèses.

Les exemples de thèmes d'étude sont nombreux. On peut ainsi s'intéresser aux mécanismes sensoriels (mécanismes neuronaux de l'intégration multisensorielle, simulation de mécanismes attentionnels en vision, étude du rôle des oscillations dans la perception, etc.) ou aux mécanismes d'intégration des informations (mémoire associative multimodale, adaptation des dynamiques neuronales par plasticité synaptique, phénomènes de liage, etc.). Pour aller plus loin (en direction des sciences du langage et des sciences sociales), on peut étendre les principes énoncés ci-dessus à la modélisation des systèmes complexes, pour rendre compte de phénomènes linguistiques (dynamique du langage, évolution des langues), sociaux (interactions au sein de micro-sociétés), voire économiques (évolution des marchés). Les outils (d'inspiration cognitive) les plus courants sont les systèmes dynamiques, les réseaux de neurones artificiels, les systèmes multi-agents, la programmation évolutionniste (à base d'algorithmes génétiques) et les modèles logico-catégoriques.

Dans le domaine du vivant, un enjeu important de la modélisation est de comprendre quels sont les mécanismes de la coordination à grande échelle des processus élémentaires réalisés, par exemple, au niveau d'une simple cellule. La modélisation est un instrument privilégié pour faire le pont entre les observations du cerveau réalisées à différents niveaux (de l'électrophysiologie à la neuroimagerie), dont chacune génère des champs d'explication différents sur le fonctionnement cérébral, mais qui sont encore loin d'être unifiés à l'heure actuelle.

2.2. Positionnement national et international. – Les entreprises scientifiques à visée modélisatrice connaissent un développement très rapide dans d'autres pays européens (par exemple, le Centre de Neuroinformatique de Bochum, en Allemagne), aux Etats-Unis (MIT, Caltech, Carnegie-Mellon) et au Japon (Riken Miti), en phase avec une demande industrielle, qui se traduit par de nombreux contrats. La recherche interdisciplinaire en France dans ce domaine repose encore sur un petit nombre d'individus pionniers, auxquels le CNRS a su apporter son soutien pendant la période d'installation des sciences de la cognition en France,

soutien qu'il devra poursuivre et même amplifier afin de maintenir la compétitivité acquise dans un concert international en constante expansion.

2.3. Moyens d'action et d'organisation. – Les pionniers de la modélisation en sciences de la cognition ont joué un rôle majeur dans le positionnement du CNRS. Il y a urgence à transmettre à de plus jeunes chercheurs un savoir-faire unique et à augmenter l'impact de la recherche française dans ce domaine, en s'appuyant notamment sur la nouvelle richesse apportée au pays par les mastères et les doctorats en sciences cognitives. Les recrutements assurés par une commission interdisciplinaire comme la CID 45 constituent un moyen privilégié d'identifier parmi le vivier des jeunes chercheurs, et en particulier de ceux qui ont reçu une formation pluridisciplinaire, les éléments qui aideront le CNRS à conforter son positionnement.

3. Cognition et technologies

3.1. Enjeux scientifiques et technologiques. – Les interfaces entre systèmes naturels et systèmes artificiels constituent un domaine privilégié des relations entre la cognition et l'univers des technologies. La complexité du comportement des utilisateurs face aux systèmes interactifs est un extraordinaire champ d'investigation pour les recherches sur la cognition, le langage et la communication. Les situations d'étude sont très riches car la plupart des composantes cognitives du système humain sont potentiellement sollicitées. D'une part, la compréhension des phénomènes liés à la sélection et au traitement des informations dans les environnements technologiques complexes devrait donner un éclairage nouveau sur des processus qui sont le plus souvent étudiés isolément. D'autre part, les systèmes peuvent eux-mêmes bénéficier de ces avancées. Par exemple, lors de la conception d'interfaces adaptées aux activités d'un utilisateur, le principal problème réside dans la faible correspondance entre deux modes de traitement de l'information: celui du système et celui de l'utilisateur. L'enjeu est alors la modélisation du comportement de l'utilisateur afin de concevoir des systèmes qui s'adaptent aux capacités cognitives des utilisateurs.

Un autre exemple illustratif est celui des techniques de réalité virtuelle, qui connaissent actuellement un développement considérable, à la fois dans les usages professionnels ou ludiques qu'en fait la société, mais aussi dans le monde de la recherche. Ce développement se traduit par la mobilisation accrue de compétences tournées vers la construction de dispositifs de haute performance technologique, mais aussi de spécialistes tournés vers l'étude des utilisateurs de ces dispositifs. Les cognitivistes sont désireux de voir se développer des systèmes qui créent des situations irréalisables par la nature, tandis que les informaticiens souhaitent bénéficier de l'éclairage provenant de scientifiques capables d'analyser l'aspect sensoriel et cognitif des situations nouvelles créées par eux. Ainsi, un besoin ergonomique considérable s'est fait jour. Il ne correspond pas seulement à la nécessité d'effectuer le calibrage des interfaces ou d'évaluer les risques attachés au mal du simulateur. Il porte sur les situations cognitives nouvelles créées par la réalité virtuelle et la réalité augmentée, qui s'ajoutent au répertoire des situations naturelles et engendrent des processus cognitifs nouveaux. Les créateurs des systèmes de réalité virtuelle attendent une information documentée sur ces processus cognitifs et sur les comportements qu'ils sous-tendent.

La recherche ne peut pas ignorer le développement des interfaces avec les objets communicants d'aujourd'hui. Certains travaux se développent du côté des STIC sans apport fondamental des sciences comportementales et des neurosciences cognitives. D'autres relèvent de démarches d'inspiration plus sociologique du côté des SHS. Un domaine de grande actualité est celui des neuroprothèses. Au sens le plus strict, il s'agit de commander un système artificiel à partir de signaux neuronaux. Dans un sens plus large, il s'agit de construire des interactions viables entre systèmes naturels (le cerveau ou des organes sensoriels périphériques) et des systèmes artificiels (robots, artefacts électromécaniques, modèles temps réel). L'articulation

entre neurosciences et STIC est ici évidente. Les interactions avec le cerveau (quel que soit le niveau d'approche, c'est-à-dire depuis le neurone jusqu'à l'activité macroscopique de type EEG) font appel à une très forte technologie, mais elles nécessitent aussi des modèles élaborés du fonctionnement cérébral.

L'interfaçage entre le point de vue des ingénieurs et celui des cognitivistes prend ici tout son sens et rend évident l'intérêt d'une approche (et d'une culture) pluridisciplinaire. Ceci est vrai, plus largement, dans de nombreux domaines d'application, comme la robotique (mobile et autonome), les systèmes embarqués, la réalité virtuelle et augmentée et les interactions multimodales.

3.2. Positionnement national et international. – Dans le domaine de la communication homme-machine, le courant d'investigation des "facteurs humains" est fortement représenté dans les pays anglo-saxons. Le CNRS a quelques laboratoires d'inspiration STIC dans lesquels des équipes de psychologie ont réussi à faire partager une culture prenant en compte les facteurs cognitifs humains dans la mise au point des interfaces. En matière de réalité virtuelle, la France est bien implantée dans les programmes européens, mais elle reste encore loin derrière les pays développés qui ont misé sur de grandes opérations structurantes. Il est important de noter également que les programmes européens accordent une place de plus en plus importante à l'étude des émotions dans le fonctionnement cognitif, notamment dans les travaux menés dans le domaine de la réalité virtuelle.

Dans le domaine des neuroprothèses, les Etats-Unis sont très largement en tête. Des expériences significatives existent en Allemagne et l'EPFL de Lausanne vient de créer une chaire consacrée à ces questions. En France, les recherches dans ce domaine restent très minoritaires. Quelques équipes animent des projets de premier ordre (sur les systèmes hybrides en temps réel, sur les systèmes locomoteurs). Un véritable projet implique cependant des communautés très différentes comme des neuroscientifiques, des mathématiciens, des informaticiens et des roboticiens. Lorsque la recherche est dirigée vers la réhabilitation des handicaps, la collaboration avec les équipes médicales est indispensable. Ces regroupements de compétences existent au sein de quelques grandes institutions nord-américaines (CalTech, Carnegie-Mellon, Duke University, NIH).

3.3. Moyens d'action et d'organisation. – En matière de réalité virtuelle et, plus généralement, d'interfaces entre systèmes naturels et systèmes artificiels, les compétences existent largement au sein du CNRS. Celui-ci devrait promouvoir la formation d'équipes interdisciplinaires en affichant sa volonté de recruter à l'interface des STIC, des sciences comportementales et des neurosciences, en soutenant un Programme Interdisciplinaire sur ces questions et en favorisant les interactions avec les autres partenaires français (INRIA, INSERM).

Contact

Michel Denis
LIMSI-CNRS, BP 133, 91403 Orsay Cedex
Tél.: 01 69 85 80 08
Fax: 01 69 85 80 88
Courriel: denis@limsi.fr