

SCIENCES DE LA COGNITION ET DE LA COMMUNICATION

INTRODUCTION : UNE INTERDISCIPLINARITÉ EN EXPANSION

Les années quatre-vingts ont vu le fort développement et l'émergence institutionnelle en France d'un domaine ouvert à une large interdisciplinarité : celui des *sciences de la cognition*, c'est-à-dire l'étude des processus par lesquels se réalise et s'exprime la *connaissance* sur une variété de supports et de dispositifs, naturels ou artificiels. Dans ce domaine, l'interdisciplinarité et le partage de concepts sont mis en œuvre avec pour perspective d'élaborer une représentation scientifique des structures et processus de connaissance qui ne soit plus tributaire d'une seule approche. Plutôt qu'un objectif en soi, l'interdisciplinarité est vue ici comme un instrument de progrès cognitif pour les différentes disciplines et communautés de chercheurs qui y participent.

De ce mouvement résultent aujourd'hui d'authentiques renouvellements dans les démarches de recherche. Ces renouvellements se manifestent notamment par : (a) un effort pour le *traitement concerté de concepts partagés* (tel le concept de représentation); (b) un travail significatif en direc-

tion de la *modélisation*; (c) des *couplages épistémologiques ou opérationnels* que le précédent rapport de conjoncture qualifiait de "mariages réussis"; (d) à l'intérieur de certaines disciplines cognitives, l'émergence d'*approches spécifiques* sous l'effet de rencontres résolument interdisciplinaires (par exemple, dans les neurosciences, le développement des neurosciences dites computationnelles).

Il faut souligner ici l'évolution même de la pratique de l'interdisciplinarité dans le champ des sciences de la cognition. La philosophie des échanges interdisciplinaires au sein des sciences cognitives s'est exprimée d'abord sous la forme d'emprunts d'*outils* et de *méthodes*, puis d'emprunts de nature *conceptuelle*. Par la suite seulement commencèrent à se produire de réelles *convergences* sur des noyaux conceptuels communs. Ce fut le cas pour le concept de *représentation*, mais d'autres notions prennent aujourd'hui de l'importance, comme celles d'*intelligence* et d'*adaptation*, et de plus en plus, celles d'*organisation*, de *distribution* et de *coopération* (entre agents cognitifs, entre processus, entre modes de représentation).

La période très récente est marquée par l'extension significative des champs d'activité des sciences de la cognition. A titre d'exemple, dans un

découpage thématique encore récent, les *processus affectifs* étaient considérés comme situés en dehors du spectre d'intérêt des sciences cognitives. Or la sphère émotionnelle et le domaine de la psychopathologie font aujourd'hui l'objet d'approches explicitement cognitives. Un autre exemple d'extension est celui de l'étude des *performances collectives* (depuis celles des sociétés d'insectes jusqu'à celles d'agents fonctionnant dans un système économique).

On relève dans le même temps une *évolution des paradigmes*. Une évolution particulièrement significative est celle qui, partant des *modèles symboliques*, se réexprime aujourd'hui en termes *connexionnistes*. Une conception longtemps prééminente a consisté pour les chercheurs à raisonner sur des modules de traitement reliés au sein d'architectures supervisées par des mécanismes de contrôle (ces modèles impliquant généralement une organisation spatialisée de la mémoire). A cette conception tend à se substituer l'idée d'unités de traitement (équivalents de cellules nerveuses) et de connexions (équivalents de synapses), dont les lois de fonctionnement sont fondées sur les lois d'entrée-sortie des unités et sur la transformation des forces de liaison entre les unités. L'apprentissage est considéré comme résultant des modifications de connectivité réalisées à l'intérieur des unités et entre des ensembles d'unités.

On relève surtout la *multiplication des champs disciplinaires* dont les représentants se perçoivent et se déclarent concernés par les thématiques cognitives. Des manifestations d'intérêt s'expriment de la part de disciplines qui, il y a peu, ne figuraient pas classiquement parmi les disciplines faisant partie des sciences cognitives. Tel est le cas, en particulier, de l'*anthropologie*, de l'*économie*, mais aussi de l'*écologie*, de la *biochimie*. Cette extension est telle qu'elle impose à la communauté une certaine vigilance. Un autre signe méritant réflexion est le fait qu'à l'occasion de la préparation du *Rapport de conjoncture*, près d'une section du Comité National sur deux a souhaité participer au groupe de travail qui a produit le présent document.

Un nombre croissant de rapports et de colloques témoignent d'une dynamique bien implantée dans des lieux variés. En outre, des initiatives institutionnelles significatives ont été prises dans les récentes années en France et au niveau européen. Il devient nécessaire aujourd'hui de passer à la réalisation d'un plan de soutien effectif et concerté. Ce plan devrait se dessiner en fonction des percées prospectives que le présent rapport a pour mission de souligner et en tenant compte du fait que le domaine des sciences cognitives est encore loin d'être unifié du point de vue théorique. A cet égard, il paraît salutaire d'explicitier l'existence de tensions épistémologiques plutôt que de laisser croire à un consensus scientifique exempt de présupposés sur la cognition.

Trois grands domaines sont abordés dans le présent rapport (où l'accent va être mis sur les tendances nouvellement apparues).

- Nous avons considéré pour commencer la cognition en tant que *produit et manifestation de systèmes naturels*, tant au niveau *individuel* qu'au niveau *collectif*. On notera à ce propos que l'accent, dans les sciences cognitives, a longtemps été mis sur les approches individualistes. Une réelle extension des problématiques se dessine donc actuellement.

- Nous avons ensuite examiné la cognition telle qu'elle est réalisée et modélisée dans des *systèmes artificiels* et nous avons considéré le problème de l'adaptabilité de la cognition naturelle à ces systèmes (notamment dans les interactions homme-machine). Cognition naturelle et cognition artificielle ne doivent toutefois pas être vues comme relevant de compartiments étanches. Ce que révèlent en fait de plus en plus les recherches, ce sont les *liaisons* et les *analogies* entre les deux formes de cognition.

- Nous avons traité enfin des avancées actuelles de la recherche en matière de *modélisation* (modélisation en logique et en sciences du langage, réseaux de neurones formels, cognition distribuée, modélisation des organisations complexes).

Ces trois niveaux doivent être pensés et décrits sous l'angle de leur continuité plutôt que comme des niveaux d'approche disjointes.

Les travaux menés dans la communauté des sciences cognitives répondent à trois familles d'enjeux : (a) des enjeux "*cognitifs*" (les sciences de la cognition étant vues comme des activités dirigées vers la connaissance de la connaissance); (b) des enjeux *sociaux* et des enjeux *industriels* (lorsque sont considérées les possibilités de mise en interface avec les industries productrices de systèmes avec lesquels doit interagir la cognition d'opérateurs humains); (c) des enjeux au plan de la *remédiation* et de la *réparation* (si l'on considère en particulier les recherches neurofonctionnelles et les recherches neuropharmacologiques).

Le présent rapport concerne les sciences tournées vers l'étude de la *cognition* et de la *communication*. Nous n'avons ni l'ambition ni la possibilité de traiter du thème de la communication dans son entièreté et sa diversité. Nous n'avons pris en charge que les aspects de la communication qui sont en rapport avec les processus cognitifs : partage de représentations, multimodalité dans les interactions homme-machine, sociétés d'agents cognitifs. En ce sens, nous faisons nôtre l'idée que le couplage méthodologique entre les problématiques de la cognition et celles de la communication reste à approfondir.

LA COGNITION NATURELLE

Le sujet humain est sans doute le premier système naturel à avoir été considéré par des chercheurs sous l'angle de ses capacités cognitives. La cognition, cependant, n'est pas le propre de l'homme. Les conduites cognitives tendent aujourd'hui à être replacées par les scientifiques dans le contexte plus général des *comportements adaptatifs*, avec un intérêt marqué pour les espèces non humaines, et singulièrement pour les espèces où une pluralité d'agents concourent, sous des formes comportementales coordonnées, à des objectifs adaptatifs.

1 - ASPECTS INDIVIDUELS

L'homme est considéré ici comme un agent cognitif, c'est-à-dire en tant que système interagissant avec son environnement et construisant sans cesse des représentations issues de ces interactions. Ces représentations résultent du traitement d'informations de diverses natures. L'approche illustrée ici s'inscrit dans la continuité d'un courant largement représenté en *psychologie cognitive*, et qui se donne pour objectif de rendre compte : (a) de la *nature des représentations mentales* et de leur *structure*; (b) de la *mise en place du répertoire des représentations* au cours de l'ontogenèse; (c) de la nature et du fonctionnement des *processus* opérant sur ces représentations (exploitation de leur contenu informationnel, coordination de représentations, raisonnements, transformations).

Une évolution sensible des perspectives en psychologie cognitive s'est manifestée ces dernières années, sous l'effet des contacts établis avec l'*intelligence artificielle* et avec les *neurosciences*. Ainsi observe-t-on une prise en compte de plus en plus marquée des contraintes liées à l'*ancrage biologique* des grandes fonctions cognitives. On assiste également au développement des *hypothèses modulaires*, qui ont notamment pour objectif de rendre compte des traitements en parallèle de l'information (après une époque de la psychologie cognitive fortement marquée par les modèles sériels). L'idée d'une *pluralité de systèmes* est également reconnue (idée à rapprocher de la notion de multimodalité que l'on verra mentionnée plus bas). Cette notion impose au chercheur de faire des hypothèses détaillées sur les propriétés de chacun des systèmes envisagés et sur le répertoire des processus susceptibles d'y opérer. Ainsi se construit une approche analytique et intégrative des différents processus. Une question demeure cependant : celle des facteurs assurant la cohérence et l'unité des expériences perceptives (par exemple, visuelles), qui apparemment ne gardent pas trace des subdivisions fonctionnelles réalisées par le système perceptif.

Le fonctionnement cognitif humain

Rendre compte de la cognition humaine et la modéliser constituent évidemment un objectif spécifique des disciplines classiquement tournées vers l'homme (psychologie et neurosciences cognitives), mais cet objectif est aujourd'hui largement redéfini par les rencontres avec les autres disciplines cognitives. Ainsi la cognition humaine peut-elle, en particulier, être approchée dans les situations où elle interagit avec *d'autres systèmes* produisant des *sorties intelligentes* (d'où l'importance des relations établies entre psychologie, intelligence artificielle et sciences de l'ingénieur), sans oublier bien sûr le champ des interactions avec toutes les autres facettes de l'environnement. Un enjeu non moins important est celui de l'identification des *supports et dispositifs biologiques des fonctions cognitives* (problème partagé par la psychologie et les neurosciences cognitives). Enfin, les *aspects développementaux* doivent être pris en compte : la compréhension des fonctions cognitives implique de plus en plus une élucidation des processus qui construisent les systèmes par lesquels ces fonctions s'expriment.

- Une forte reprise en charge des relations entre *cognition et action* est aujourd'hui perceptible. Cet intérêt se manifeste notamment dans les études sur la perception, la programmation et le contrôle du mouvement. Le rôle des systèmes moteurs dans la connaissance du monde et dans l'adaptation au monde constitue un thème particulièrement saillant. Des hypothèses nouvelles se développent sur la nature et l'organisation de la représentation interne du mouvement (sous forme de "programmes" ou "schémas moteurs"). La production du mouvement et son contrôle par l'utilisation des réafférences sont analysés avec pour objectif de rendre compte des différents niveaux d'intégration sensori-motrice (du niveau automatique au niveau du mouvement intentionnel). Les liens avec la *robotique* sont ici essentiels et connaissent un fort développement.

- La *perception* et la *représentation mentale des objets* continuent de représenter un thème majeur

pour la psychologie cognitive. Il s'agit, en particulier, de rendre compte de la manière dont le système cognitif construit de l'invariance à partir de la variété des situations perceptives. Les problèmes de catégorisation et de prototypie sont de plus en plus traités dans des approches pluridisciplinaires. Un champ problématique semble surtout connaître un développement notable : l'approche *multimodale* de la cognition. Le système cognitif dispose en effet de modes de représentation fortement différenciés - images, langage, geste, etc., - et qui, de fait, coopèrent avec efficacité dans le fonctionnement naturel. Le problème de la traduction réciproque des différents modes de représentation est présent au sein de nombreuses thématiques cognitives (raisonnement symbolique et raisonnement analogique, processus linguistiques mis en œuvre dans la description de scènes visuelles, etc.). Une approche systématique des problèmes créés par ces interfaçages multimodaux s'impose évidemment aux chercheurs.

- La thématique de la *cognition spatiale* connaît pour sa part une actualité renouvelée. L'accent est mis sur la variété des modes d'apprentissage des environnements spatiaux (apprentissage perceptif et ambulateur; apprentissage à partir d'intermédiaires symboliques : cartes, mais aussi descriptions verbales des environnements). On s'intéresse à la capacité de ces différents médias à construire des représentations qui soient ensuite efficacement exploitées dans la planification des déplacements et la gestion des actions. En particulier, la contribution de l'imagerie mentale à l'élaboration des cartes cognitives est activement explorée. Ce secteur de recherche se prête à des interactions intéressantes avec les disciplines tournées vers la *cartographie* et, plus généralement, la *sémiologie* et la *modélisation graphique*.

- Les problématiques de l'*apprentissage* et de la *mémoire* constituent toujours un chapitre majeur de la recherche sur la cognition. L'étude des processus d'activation a été l'occasion de marquer la différenciation, mais aussi la complémentarité, entre les aspects automatiques et les aspects contrôlés du fonctionnement cognitif. La mémoire, comme ins-

trument de connaissance du passé, est également de plus en plus considérée comme outil de traitement de l'information présente et instrument actif de l'anticipation cognitive. Dans cette perspective, les *modèles neuro-mimétiques* développés aujourd'hui s'expriment sous forme de simulations physiques (et non plus seulement mathématiques). La notion de mémoire de travail a connu, pour sa part, un renouvellement, avec le développement de la conception de systèmes fonctionnellement distincts (système verbal, système visuo-spatial), opérant sous le contrôle d'un superviseur central.

- Dans les études sur le *raisonnement*, héritières de deux traditions souvent antagonistes - celle des logiques formelles et celle des logiques naturelles, - plusieurs approches sont développées : (a) la tradition de la "logique mentale", qui impute aux individus la possession d'un ensemble de règles formelles; (b) la théorie des "modèles mentaux", selon laquelle le sujet utilise des processus inférentiels pour construire une représentation du monde et formuler des conclusions à la fois vraies dans le modèle et sémantiquement informatives; (c) l'approche pragmatique, en termes de règles sensibles au contenu et au contexte des inférences; (d) l'approche en termes d'heuristiques. Une caractéristique importante des travaux récents est la mise au point de protocoles expérimentaux sophistiqués, dans lesquels les temps de réponse peuvent être rapportés à la complexité algorithmique des différentes procédures exécutables sur machine.

- Le *langage* continue de jouer, dans les approches cognitives, un rôle pivot, non seulement par son statut de production humaine spécifique, donc central en psychologie cognitive, mais aussi comme lieu privilégié de convergence avec les autres disciplines cognitives. Les étapes du *traitement lexical* sont de plus en plus abordées dans des programmes coordonnés combinant l'approche comportementale, les méthodes électrophysiologiques et la modélisation connexionniste. A un niveau de complexité plus élevé du traitement linguistique, on relève que la *compréhension* et la *production du langage* sont de plus en plus traitées sous l'angle de leur complémentarité et de la com-

munauté des opérations sémantiques et cognitives qu'elles impliquent. Enfin, les *études inter-langues* se multiplient, avec pour objectif de révéler les processus cognitifs généraux sous-tendant l'organisation discursive des langues et les représentations du monde qui leur sont associées.

- Enfin, l'étude des *attitudes propositionnelles* occupe une place toujours importante dans la recherche contemporaine. Cette étude soulève des questions touchant à la "philosophie de l'esprit" et à la philosophie du langage (faut-il interpréter les attitudes comme des relations du sujet à des représentations internes ? Ces représentations mentales sont-elles analogues aux phrases d'un langage ?) et des questions de caractère logico-sémantique, qui touchent à la pertinence des logiques intentionnelles ou bien de formalismes plus appropriés pour le traitement des énoncés d'attribution d'attitudes.

Les mécanismes cérébraux

Dans le domaine des neurosciences, les progrès de la recherche ont été rapides et considérables, surtout au cours des deux dernières décennies. Il faut signaler l'énorme effort consacré à la compréhension des maladies neurologiques et à la mise au point de moyens de traitement efficaces. Cependant, pour un grand nombre de chercheurs, le but principal reste avant tout la compréhension des grandes fonctions cognitives (perception, attention, mémoire, action).

Ces progrès rapides sont dus au développement de techniques de plus en plus sophistiquées. Les années quatre-vingts ont vu la mise au point de la *tomographie par émission de positons*, qui fournit chez le sujet malade de riches informations sur les zones cérébrales impliquées dans certains problèmes psychiatriques tels que la dépression et l'anxiété. Toutefois, les techniques tomographiques ont le grand avantage d'être utilisables chez le sujet normal. Il devient alors possible d'identifier les structures cérébrales activées pendant l'exécution de tâches comportementales ou cognitives (attention visuelle, imagerie mentale, compréhension du

langage, motricité fine). De nouvelles techniques, comme la *magnétoencéphalographie*, également utilisables chez le sujet normal, permettent de dépasser les limitations de précision temporelle de la tomographie par émission de positons.

Par ailleurs, dans des domaines aussi variés que l'attention visuelle, la perception visuelle ou le contrôle du mouvement, les mécanismes cérébraux sont également abordés par l'*enregistrement de l'activité neuronale* chez l'animal éveillé exécutant une tâche comportementale. Enfin, d'autres travaux révèlent que dans certaines zones corticales à haut niveau d'intégration, les réponses cellulaires peuvent présenter une sélectivité telle que seuls certains stimulus complexes, des visages par exemple, sont capables d'activer les neurones.

Les *techniques anatomiques* ont, elles aussi, considérablement progressé. Au cours des récentes années, de nombreuses aires corticales visuelles ont été mises en évidence. Les progrès ont été également rapides dans la mise en évidence des bases cérébrales de la mémoire, tant au niveau structural qu'au niveau cellulaire. Les phénomènes de plasticité cellulaire, fondamentaux dans la compréhension de ces types de processus, ont fait l'objet d'analyses minutieuses. Un exemple en est la meilleure connaissance des mécanismes biochimiques impliqués dans la plasticité synaptique (potentialisation à long terme).

L'un des objectifs majeurs qui se dégage de l'ensemble des recherches effectuées en neurosciences au cours des dix dernières années est la compréhension du fonctionnement cérébral en termes de *systèmes coordonnés de traitement d'informations*. Cette ouverture des "neurosciences computationnelles" s'oriente vers l'analyse du codage et du décodage des informations sensorielles (visuelles, auditives, olfactives, etc.) et motrices dans les circuits cérébraux. En fait, l'efficacité dont font preuve les neurones est si remarquable que de nombreux chercheurs tentent de mettre au point des systèmes de traitement d'information calqués sur les concepts établis par les neurosciences. C'est le cas des *systèmes connexionnistes*. La notion d'or-

dinateur neuronal devient commune, et si les potentialités de ce domaine de recherche doivent être encore évaluées prudemment, ce champ d'application des neurosciences apparaît d'une importance grandissante.

En résumé, trois grands types d'interactions sont identifiables pour les neurosciences. D'une part, la collaboration avec la médecine vise à la compréhension et au traitement des problèmes cliniques en neurologie. D'autre part, la collaboration avec la psychologie tente d'améliorer notre compréhension de l'infrastructure cérébrale des grandes fonctions cognitives. Enfin, les recherches en liaison avec les théoriciens et les chercheurs en informatique et en intelligence artificielle sont appelées à se développer dans les années à venir.

Les comportements adaptatifs et leurs bases biologiques

Une caractéristique majeure des neurosciences est que celles-ci se trouvent de plus en plus impliquées dans l'analyse de conduites cognitives impliquant un haut degré d'*intégration*. Il s'agit là d'une passerelle nouvelle en direction des activités symboliques. Une autre passerelle nouvellement établie est celle qui relie neurosciences et communication animale, à travers l'approche neurobiologique des comportements adaptatifs.

L'*adaptation* est une réalité observable à différents niveaux d'organisation du monde vivant. Au niveau individuel, elle se traduit par l'apparition, parmi plusieurs conduites, de celle qui se révèle la mieux adaptée à la situation. L'adaptation est un processus dynamique mettant en jeu de manière coordonnée des critères physiologiques, métaboliques et comportementaux, en réponse à des variations du milieu environnant. Le système nerveux central joue un rôle essentiel dans cette coordination. Il permet à l'individu de confronter ses perceptions à la représentation interne qu'il a de l'environnement dans lequel il évolue. C'est de ces perceptions que dépendent l'élaboration de plans d'action, l'évaluation de leurs conséquences et, en

définitive, la plasticité des conduites en fonction de l'expérience. Les *approches "cognitivistes"* du comportement animal ont eu ici une influence décisive. Les *approches neurobiologiques* plus récentes nous rappellent que les conduites ont leur origine dans le fonctionnement d'un cerveau lui-même régulé par des facteurs d'origine viscérale, hormonale et même immune.

L'*éthologie* ajoute à la description des comportements l'étude des sources de leurs variations interindividuelles et de leur contribution à l'évolution. Cette étude représente un préalable indispensable à la compréhension de l'*organisation des conduites* et à l'étude des *communications interindividuelles*. Le développement de l'*éco-éthologie* correspond à la nécessité de la gestion rationnelle des populations. Cette orientation privilégie les travaux sur la *dynamique des stratégies d'adaptation* (travaux incluant la modélisation des stratégies et des mécanismes de leur variabilité génétique) et sur les modalités de la *communication* à l'intérieur d'une espèce ou entre espèces.

La neurobiologie des comportements étudie les mécanismes neuronaux impliqués dans la détermination des conduites. Les recherches sur la *plasticité des conduites* et leur mise en place au cours de l'*ontogenèse* sont de ce fait appelées à se développer. Un domaine également en pleine expansion est celui des processus de traitement de l'information, avec les tentatives de *modélisation du fonctionnement des réseaux neuronaux impliqués*. Plus spécifiquement, la neurobiologie des adaptations vise à étudier les conditions neurobiologiques des processus adaptatifs (dans l'exploitation du milieu environnant, dans les résistances aux agressions), mais aussi les facteurs d'ordre génétique ou acquis capables de moduler ces processus.

Ainsi, l'étude des contraintes exercées par les facteurs d'environnement sur les capacités d'adaptation des animaux (le stress) et des états mentaux sous-jacents (les émotions) se trouve profondément renouvelée par la mise en évidence des interactions entre le *comportement* et les *réponses neuroendocrines*. Le développement de l'utilisation des tech-

niques de biologie cellulaire et moléculaire s'impose donc ici pour caractériser les réseaux neuronaux en jeu, les signaux de communication cellulaires et leurs récepteurs, ainsi que les mécanismes d'expression transitoire des gènes placés sous le contrôle de ces signaux. Ces techniques permettent notamment de spécifier le rôle joué par les mécanismes en question dans la re-programmation spécifique des fonctions psychologiques sous-tendant les processus adaptatifs.

Emergences

On assiste aujourd'hui à l'émergence de nouvelles contributions, comme celles émanant de l'écologie, de la chimie biologique et de la neuropharmacologie.

- Une manifestation d'intérêt s'exprime de la part de l'*écologie*, science elle-même placée à l'interface de nombreuses disciplines. L'écologie considère en priorité les relations des organismes avec leur environnement. L'effort reproducteur, la recherche des nutriments et les stratégies d'occupation de l'espace sont étroitement liés à la perception de l'environnement. L'optimisation de ces échanges est rendue possible par des transferts d'informations entre l'individu et son milieu physique, son milieu biotique, ou encore entre individus de la même espèce. La socialisation est vue sous l'angle de l'optimisation de l'occupation du milieu. La régulation des relations interindividuelles fait donc appel à des systèmes de communication (qui traduisent le niveau de complexité des systèmes sociaux propres aux espèces).

- Par ailleurs, l'environnement chimique interne de l'individu conditionne ses états nerveux et ses comportements. L'environnement chimique externe (signaux olfactifs) influence lui aussi nombre de comportements individuels et collectifs. Les enjeux de la *biochimie* (étude chimique des systèmes biologiques) et de la *chimie biologique* (élaboration de molécules de synthèse reproduisant des activités biologiques) sont pour l'instant des enjeux de recherche fondamentale et de recherche médicale,

mais les échanges avec les sciences traitant de la cognition devraient déboucher sur des coopérations pertinentes.

- Enfin, des liens avec la *neuropharmacologie* doivent être signalés, dans la perspective de la mise au point de molécules susceptibles de contribuer à la réparation de fonctions cognitives altérées. Le médicament est utilisé aujourd'hui comme outil d'investigation, en particulier dans l'étude des processus liés à la mémoire.

2 - ASPECTS SOCIAUX

La cognition sociale

La cognition humaine possède une caractéristique spécifique : elle prend toujours place dans un *contexte culturel et social*. Le point de vue de la "cognition sociale" consiste à comprendre comment les individus perçoivent le monde et les relations sociales qui sont censées le fonder. Ce courant en fort développement est issu d'un ensemble d'intérêts de la psychologie sociale pour la formation des impressions, la mémoire des personnes, la perception d'autrui, l'attribution causale, les représentations sociales.

A un niveau fonctionnel, l'objectif est de décrire et de comprendre comment la cognition de l'individu se construit dans l'*interaction avec son environnement* et par quels mécanismes et quelles compétences l'individu construit cet univers cognitif. Il s'agit encore de comprendre comment les produits de cet univers cognitif s'échangent, se partagent, donc se "socialisent", et agissent en retour sur l'appareil cognitif individuel.

Dans ce contexte, le sujet humain est appréhendé comme *individu doté de mémoire*. L'intérêt se porte sur des contenus de la mémoire humaine ne résultant pas du traitement des seules propriétés intrinsèques des objets (que ces objets soient ou non des objets sociaux). La mémoire est aussi le

produit du rapport que le sujet entretient, en fonction de ses insertions sociales, avec ces objets. L'univers cognitif humain traduit donc le résultat du traitement et de l'intégration d'un environnement, qui est toujours socialement déterminé.

Si l'on admet que ce qui est mis en mémoire correspond non seulement à l'information, mais aussi à la façon dont cette information a été traitée, on peut raisonnablement envisager que le sujet encode à la fois l'information et le contexte de survie de cette information. Or ce contexte est largement constitué des conditions sociales et émotionnelles dans lesquelles est placé le sujet au moment où il traite l'information, élabore une attitude ou une stratégie, ou encore gère un mécanisme pour donner une cohérence à son environnement.

Les processus de *catégorisation sociale*, la genèse des *attitudes* et le fonctionnement des *croyances* (qui entretiennent elles-mêmes des liens avec certains problèmes rencontrés par la didactique) sont notamment des thèmes sur lesquelles une psychologie sociale cognitive est en position d'apporter des éclairages spécifiques. Les liens avec l'anthropologie cognitive doivent être ici renforcés.

Les approches anthropologiques

Les sciences sociales, dans leur ensemble, se déclarent de plus en plus concernées par les thématiques et les perspectives cognitives. Ainsi, pour l'*anthropologie cognitive*, un intérêt marqué s'est manifesté depuis longtemps pour l'étude des notions de *classification* et de *catégorisation*, telles qu'elles sont mises en œuvre par les sociétés dites primitives. L'interface avec la linguistique et la psychologie cognitive est ici manifeste. Il existe dans ce domaine des travaux, déjà classiques, sur les fondements des systèmes classificatoires présents dans les sociétés humaines (botanique, zoologie, systèmes de parenté). Une interrogation a largement circulé à ce propos entre l'anthropologie et la psychologie cognitive, à savoir celle des fondements cognitifs des systèmes naturels de la catégorisation.

Une autre perspective de recherche s'attache à l'analyse du statut logique des *croyances* et des *causalités*. L'anthropologie contribue ainsi à préciser la notion de *représentation* (et celle de représentations partagées), qui constitue l'un des pivots des sciences de la cognition.

LA COGNITION ARTIFICIELLE

Nous avons relevé plus haut que, dans les environnements actuels, la cognition humaine révèle une bonne partie de ses capacités dans ses interactions avec des systèmes artificiels produisant des sorties intelligentes. Deux enjeux majeurs s'ensuivent pour les chercheurs : créer des *systèmes artificiels* qui se comportent comme des agents cognitifs dotés de capacités rationnelles (computationnelles); faire porter par ces systèmes des *représentations* et des *modes de traitement* qui soient fonctionnellement compatibles avec ceux des opérateurs humains (ce problème est partagé par l'*intelligence artificielle* et la *psychologie cognitive*, avec d'importantes implications en *linguistique*, en *ergonomie*, en *didactique*).

Il existe à l'heure actuelle un certain nombre de tendances émergentes en intelligence artificielle :

- *Les systèmes multi-agents*. L'intérêt qu'ils suscitent s'ouvre aujourd'hui sur les problèmes dits de "groupware" et l'élaboration de modèles de coopération. Un domaine électif d'application est celui de la coordination des échanges et des conversations en vue de l'élaboration d'un objet commun (par exemple, rédiger un texte).

- *L'auto-organisation*. Par exemple, en reconnaissance de la parole, l'accent est mis actuellement sur la collecte de grands nombres de données et sur la mise en œuvre de modèles auto-organiseurs. Dans ce domaine, la comparaison des performances des modèles statistiques (markoviens) et des modèles neuronaux paraît tourner à l'avantage des premiers.

- *Les mondes virtuels*. L'objectif de ce courant de recherche est de modéliser le monde physique pour pouvoir agir sur lui.

- *L'aide à la décision*. Les systèmes experts et, plus généralement, les systèmes interactifs à base de connaissances constituent des domaines largement ouverts aux transferts de technologie.

- *La multimodalité*. Ici se posent tous les problèmes de traduction, de coopération, d'interaction entre modes de représentation ou modes de traitement.

1 - RAISONNEMENT ET TRAITEMENT AUTOMATIQUE DU LANGAGE

L'esprit humain est capable de différentes formes de *raisonnement* pour faire face au caractère incomplet, incertain, qualitatif ou partiellement contradictoire des informations dont il dispose. L'*intelligence artificielle* cherche à formaliser ces raisonnements de façon rigoureuse et efficace, avec pour but de faire exécuter par l'ordinateur un raisonnement dont les résultats satisfassent des critères rationnels explicites. Dans une perspective de communication avec l'utilisateur, il importe de pouvoir expliquer comment et pourquoi le système est arrivé à telle ou telle conclusion. Complémentairement, la compréhension, à partir de modèles, des raisonnements d'un utilisateur, notamment de ses "fautes" et "contradictions", est particulièrement cruciale dans les développements de la communication homme-machine, de même qu'en enseignement assisté par ordinateur.

Depuis une dizaine d'années, ces questions ont suscité un grand nombre d'approches, qui cherchent à pallier les limitations expressives et déductives de la logique classique pour le traitement d'informations ni certaines, ni précises, ni éventuellement totalement cohérentes. Ces approches ont cependant besoin d'être davantage fondées du point de vue théorique, mais aussi du point de vue empirique (ce qui implique des échanges soutenus

avec la *linguistique* et avec la *psychologie cognitive*. Un certain nombre de perspectives empruntent ici à l'idée commune de préférence entre situations possibles du monde. Cette idée peut être formalisée dans le cadre des *logiques modales*, mais elle se retrouve également dans une vision *non probabiliste* de la théorie des possibilités. Ces approches sont étroitement reliées à la problématique de la révision des bases de connaissances lorsque doivent être traitées de nouvelles informations, en partie contradictoires avec le contenu de ces bases.

Les résultats obtenus en intelligence artificielle en matière de *formalisation des raisonnements* intéressent donc les sciences cognitives à divers titres, tout d'abord pour proposer un cadre théorique satisfaisant pour la diversité des formes de raisonnement (comme le font les nouvelles approches de l'inférence et les théories probabilistes ou non-probabilistes de l'incertain), mais aussi pour donner une base épistémologique plus solide à l'observation des argumentations et des raisonnements naturels.

En matière de *systèmes experts*, l'accent est mis aujourd'hui sur l'acceptabilité, par l'utilisateur, des conclusions fournies par les systèmes et la capacité de ces derniers à expliquer de manière satisfaisante leur raisonnement, leurs conclusions et leurs conseils. La *génération d'explications* dans les systèmes experts mobilise ainsi un grand nombre d'efforts. Le but est de développer des systèmes capables de produire de bonnes explications interactives à la fois sur le raisonnement du système et sur les connaissances mises en jeu.

Conjointement, les enjeux scientifiques et socio-culturels liés au *traitement du langage*, écrit ou oral, sont aujourd'hui plus que jamais essentiels, précisément parce que le langage naturel est de plus en plus utilisé dans le cadre de *traitements automatisés* (télématique, bureautique) comme support de connaissances au travers de vastes bases de données textuelles. La mise en œuvre de traitements évolués nécessite donc de dépasser le simple stade de la manipulation de textes et d'intégrer de véritables fonctions interprétatives du langage, qui

est appelé pour sa part à être le moyen de communication privilégié entre l'homme et la machine. L'exploitation des bases de connaissances et l'interface avec les systèmes automatisés nécessitent des *interfaces langagières* qui soient les plus naturelles possibles pour l'homme.

Après une première étape où le traitement automatique du langage naturel a été considéré comme une simple partie de l'informatique, on sait aujourd'hui qu'il est nécessaire de comprendre comment les humains opèrent en langage naturel pour qu'une machine approche d'un comportement analogue. Pour que des systèmes de traitement du langage soient alors réellement satisfaisants, ils doivent réaliser des *inférences* appropriées à partir de ce qui leur est dit et, inversement, leur comportement doit permettre à l'interlocuteur les inférences qu'il fait habituellement en utilisant la langue. Ainsi apparaît-il clairement qu'au-delà d'une compréhension de surface de la langue, il faut mettre en œuvre une compréhension de ses implications profondes, principalement des *buts*, des *intentions* et des *stratégies* de l'interlocuteur.

Un autre point important a été mis en évidence : la quantité des connaissances nécessaires est telle qu'il faut soit réaliser des logiciels capables d'*apprentissage à partir d'expériences*, soit faire des descriptions du monde et de la langue qui soient *complètes* et qui aient un degré élevé de *finesse*. Un exemple typique est celui des bases de données lexicales ou dictionnaires informatisés.

On sait, à l'heure actuelle, réaliser des logiciels de traitement des langues déjà très utiles, et l'on peut espérer dans un proche avenir disposer de systèmes encore plus efficaces. Il faut aussi souligner que les dernières années ont vu des améliorations importantes du matériel et des logiciels. Il devient ainsi possible d'envisager des ordinateurs dont les architectures soient mieux adaptées au traitement automatique des langues, comme le montrent déjà les travaux réalisés dans le domaine des mémoires associatives, des mémoires distribuées et des processeurs spécialisés.

2 - COMMUNICATION HOMME-MACHINE

L'amélioration de la communication entre l'homme et la machine est assurément un enjeu important. Les chercheurs dont l'ambition est de doter la machine de facultés similaires aux facultés humaines sont amenés à prendre en compte de nombreux aspects : *traitement automatique de la parole* (reconnaissance et synthèse), du *langage écrit* (analyse et génération), de l'*information visuelle* (analyse de scènes et synthèse d'images) et, depuis peu, du *geste* (interface gestuelle et reconnaissance du geste) et même des *odeurs*. Les aspects cognitifs sont tout à fait présents : acquisition et représentation des connaissances, raisonnement, planification, aide à la décision, résolution de problèmes, fusion de senseurs perceptifs, apprentissage.

La tendance nouvelle est que les recherches sur ces différents modes de communication, jusque-là nettement séparées, se rapprochent de plus en plus les unes des autres. Cette tendance résulte du fait que des méthodes très voisines de *reconnaissance des formes* peuvent être appliquées à différents domaines. D'autre part, les chercheurs visent en plus à traiter de la *communication multimodale*. Enfin, il apparaît que les méthodes à base de connaissances tendent à céder le pas au profit des *méthodes organisatrices*, qui utilisent des algorithmes d'apprentissage travaillant sur de grosses bases de données, dans la mesure où l'explicitation et la représentation des connaissances de nature perceptive restent des tâches encore extrêmement complexes.

La communication homme-machine constitue donc non pas une discipline, mais plutôt un ensemble de problèmes. Il s'agit d'un champ scientifique hautement interdisciplinaire qui prend en compte un triplet : l'*opérateur*, la *machine*, l'*objet de l'activité* (sans oublier le *contexte* dans lequel se développent leurs interactions). On y trouve représentées les *sciences de l'ingénieur* (traitement du signal, reconnaissance des formes, intelligence artificielle, biomécanique, acoustique), les *sciences de la*

vie (psychologie, neurosciences) et les *sciences de l'homme et de la société* (linguistique). En outre, par les modèles qu'elle propose, la physique est également concernée.

Le concept même de communication homme-machine évolue encore avec les nouveaux modes de communication (vision, gant numérique), qui permettent au système de construire un modèle de l'utilisateur et de ses actions. L'utilisateur, ainsi, est lui-même une partie de la modélisation de l'univers de la tâche. Il évolue dans cet univers, il agit sur lui, il en perçoit les réactions. La machine transmet alors une représentation réelle du monde physique, une réalité modifiée, ou encore produit un monde physique reconstruit (ou "*réalité virtuelle*").

En communication homme-machine, la tendance consiste aujourd'hui à compléter la structuration thématique traditionnelle (parole, langage, etc.) par une structuration croisée (qui distingue les sciences dirigées vers la connaissance et le domaine des applications). Dans ce domaine, un exemple de mariage réussi est celui résultant de la coopération menée entre *phonéticiens*, *linguistes* et *ingénieurs informaticiens*. Les nouveaux outils donnés aux phonéticiens ont fait apparaître de nouveaux problèmes et de nouvelles approches. Il serait intéressant que cette forme de coopération puisse s'étendre au domaine de la vision, où persistent encore nombre de problèmes liés au traitement de l'image et aux méthodes permettant de la mettre en machine. Ici se retrouve le problème récurrent du passage du signal au niveau symbolique. La nécessité de développer les rapprochements entre spécialistes des différentes modalités (par exemple, entre les chercheurs qui travaillent sur la vision et ceux qui travaillent sur la synthèse d'images) s'affirme très nettement.

3 - ASPECTS ERGONOMIQUES

La réalisation d'interfaces logicielles offre l'opportunité d'identifier de manière plus systématique un certain nombre de problèmes cognitifs. Chacun

convient de la nécessité du point de vue de l'*ergonomie*, situé à l'interface des problèmes de *cognition* et de *communication*. L'enjeu social est d'autant plus important : l'informatisation accrue des contextes professionnels produit des transformations profondes des outils de travail, et ces transformations sont durables. Cette situation crée une occasion de mise en œuvre des connaissances acquises en psychologie cognitive dans des dispositifs créant une amélioration des conditions de travail et une plus grande fiabilité des systèmes homme-machine.

Les recherches en psychologie cognitive ergonomique ont d'abord essentiellement porté sur des *problèmes de formation*, à une époque où les outils étaient peu flexibles et modifiables. Devant le développement de logiciels spécifiques à certaines tâches, c'est vers l'*ergonomie des logiciels* que se sont dirigées les recherches (par exemple, sur les éditeurs de texte). Ces recherches se sont alors orientées vers les aides logicielles à la réalisation de tâches dépassant l'utilisation des logiciels eux-mêmes (par exemple, les *aides à la décision* dans le contrôle de processus). Il est à noter que cette évolution s'est faite en parallèle avec une évolution des perspectives menant d'une ergonomie tournée vers la réparation à une ergonomie de conception.

Parmi les problématiques actuelles, l'ergonomie doit encore traiter de la question importante de la compatibilité (sémantique et syntaxique) entre les *langages d'interaction homme-machine* et les *systèmes de représentation et de traitement* de l'utilisateur (sémantique de l'action, langages opératifs). Une autre perspective importante est celle du contrôle des *environnements dynamiques* (c'est-à-dire évoluant en dehors des actions de l'opérateur). L'approche cognitive des situations de travail coopératives, en vue de définir des aides à la coopération, constitue elle aussi un thème en émergence. Elle débouche notamment sur la spécification et la conception de *systèmes experts coopératifs* laissant à l'utilisateur le contrôle de la réalisation de la tâche.

Au-delà des interactions homme-machine, une partie de l'ergonomie cognitive s'intéresse aux *contenus de connaissance* organisés par des processus scientifiques (les disciplines) ou pragmatiques (les activités de travail). La recherche consiste à étudier la compatibilité cognitive entre les connaissances des concepteurs de systèmes, celles des utilisateurs et les connaissances liées à l'utilisation même des dispositifs. Un autre champ de recherche en développement concerne la *didactique disciplinaire ou professionnelle*, ainsi que l'expertise et l'acquisition des compétences expertes. Dans ce dernier cas, on étudie les processus de formation de connaissances publiques et explicites, mais aussi la manière dont se développent les "connaissances en acte" et les savoirs implicites ou privés.

4 - INDUSTRIES DE LA LANGUE

Les industries de la langue regroupent diverses professions qui se fondent sur l'exploitation du savoir-faire lié à la langue. Il s'agit des métiers traditionnels du langage (traduction, etc.), mais aussi d'un ensemble d'activités nouvelles : gestion en ligne de documentations techniques, interrogation de bases de données, commande de robots ou de processus industriels, assistance à l'utilisation de machines. Dans l'expression "industrie de la langue", le mot "industrie" indique la recherche d'une *automatisation* mise en œuvre dans le but d'accroître la productivité. Le fait que les composants linguistiques soient intégrés dans différents secteurs de l'industrie (génération de textes, synthèse de la parole, correction orthographique, bureautique, etc.) justifie pleinement à leur propos le qualificatif de "techniques diffusantes".

Le développement de la recherche sur la plupart des thèmes évoqués dans cette section est de nature à produire des *transferts de technologie* significatifs, dont l'ensemble du corps social est appelé à bénéficier (industrie, services, éducation). Ceci est vrai des travaux menés en génie linguistique, mais aussi des travaux tournés vers l'acquisition et la transmission des connaissances assistées par ordinateur.

PROBLÈMES DE MODÉLISATION

Les problèmes de *symbolisation* rencontrés par les sciences de la cognition et de la communication conduisent au développement de nouveaux modèles mathématiques, physiques et logiques. Ils sont également à l'origine du développement des recherches en *linguistique cognitive*. Dans cet esprit se réalisent également d'intéressantes confrontations des *modélisations de la communication* menées dans différentes disciplines (psychologie, anthropologie, économie).

1 - LOGIQUE

Traditionnellement, la *logique* est associée à l'idée d'une approche formelle et déductive. L'insistance sur la forme par opposition au contenu reflète une interaction purement externe entre les éléments du discours. Dans la période récente, la crise des fondements des mathématiques a constitué un moment important du développement de la logique formelle. L'*informatique* a également renouvelé la problématique logique en rappelant à la logique qu'elle ne s'appliquait pas uniquement au raisonnement mathématique. Ainsi, au caractère cumulatif et statique d'une bibliothèque de théorèmes s'oppose la nature *dynamique* et *révisable* d'une base de données dont la gestion rigoureuse requiert une approche logique autonome.

Un élargissement du cadre logique est également perceptible dans les travaux actuels sur le traitement des *informations négatives, incomplètes ou incertaines*. Ces problèmes importants et difficiles demandent une réponse qui passe par une remise en cause des cadres syntaxiques et sémantiques traditionnels. Ainsi, la logique classique nous a légué l'idée de valeur de vérité, la dualité démonstration-modèles, une liste de connecteurs intangible. L'élargissement nécessaire de la logique tend à bouleverser ces points de repère.

Ces considérations mènent à envisager de traiter le problème de la *rigueur informelle*. Ainsi rend-on compte aujourd'hui du raisonnement contrefactuel par la sémantique des mondes possibles. Les bases de données, avec leurs problèmes d'informations négatives, de mise à jour et de déduction, constituent un domaine privilégié d'étude et de mise au point des nouvelles idées logiques.

Dans une perspective d'extension, l'approche logique semble prête aujourd'hui à embrasser des problèmes plus ambitieux - mais aussi plus risqués -, comme l'*aspect logique des systèmes experts*. Les interactions de la logique ne se limitent d'ailleurs pas à l'informatique et à l'intelligence artificielle. Elles s'étendent aussi aux sciences humaines et sociales. Même si les protocoles de vérification y sont par nature moins aigus, la logique continue à offrir des possibilités de formalisation, qui n'excluent pas des retombées conceptuelles sur la logique elle-même.

2 - SCIENCES DU LANGAGE

Le langage, composante majeure de la communication chez l'homme, continue de constituer un carrefour privilégié des sciences cognitives. En dépit de l'importance des enjeux, il faut regretter ici la modestie de l'investissement des chercheurs pour les pathologies de la communication.

Deux grandes perspectives peuvent être identifiées :

- Un premier type de recherches porte sur le langage comme *activité symbolique* inscrite dans un environnement impliquant les *systèmes perceptifs* de l'individu et les *contextes d'interaction sociale*. Cette perspective est en particulier celle des courants consacrés à l'élaboration des grammaires cognitives.

- On trouve, d'autre part, des travaux visant à l'identification des *propriétés formalisables des langues naturelles* en vue de l'implémentation en machine (recherches sur la complexité syntaxique

et sémantique des langages, grammaires formelles et automates, logiques non standard, modèles mathématiques des opérations, catégorisations et schématisations linguistiques).

Ces deux approches correspondent à une double perspective d'intégration des sciences du langage aux sciences cognitives :

- la perspective d'une analyse des *représentations cognitives et socio-cognitives* impliquées dans les rapports entre langage, perception et action;

- la perspective de la *modélisation de processus* (construction et représentation des connaissances, architectures, modèles computo-symboliques ou connexionnistes).

Ces deux perspectives se rejoignent dans nombre de développements industriels dont les enjeux économiques sont évidents : systèmes experts, banques de données, dictionnaires, hypertextes, communication homme-machine, synthèse de la parole.

3 - RÉSEAUX DE NEURONES FORMELS

La recherche en neurosciences dans notre pays a atteint un niveau international et la plupart des grands domaines sont représentés, en particulier dans le champ des neurosciences cognitives. Un certain nombre de coopérations pluridisciplinaires sont engagées, en particulier dans le domaine des *réseaux de neurones* (fruit d'une rencontre entre la *biologie*, la *cybernétique* et l'*informatique*). Toutefois, on peut se demander si cette pluridisciplinarité n'est pas parfois plus abstraite que réelle. La nécessité de formalismes nouveaux s'impose aux neurosciences cognitives. En particulier, la notion de modèle doit être plus clairement définie, avec l'obligation de prendre sa source dans les données expérimentales et d'aboutir à la formulation d'hypothèses elles-mêmes vérifiables au plan expérimental.

Les recherches sur les réseaux de neurones offrent des perspectives de développement prometteuses et suggèrent des actions de développement pertinentes dans la conjoncture actuelle. Ces études attestent de la nécessité d'échanges soutenus entre *neurosciences* et *formalismes adaptés*.

L'étude des systèmes naturels est bien sûr primordiale pour comprendre l'effectivité de traitements performants en temps réel. Cette étude doit rester "au plus près" de la complexité de la structure et des fonctions du neurone, de la complexité des types de signaux véhiculés, des différentes variations d'interactions synaptiques. Néanmoins, compte tenu des contraintes expérimentales liées à l'observation du système nerveux et des réseaux neuronaux réels, la modélisation et le développement de réseaux de neurones formels demeurent les moyens les plus appropriés pour tester des hypothèses nouvelles.

Les progrès dans l'élaboration de réseaux de neurones formels sont donc tributaires du développement d'*outils théoriques fondamentaux*. Citons la mécanique statistique, ouverte sur l'étude des systèmes dynamiques non linéaires et complexes; l'optimisation non linéaire, particulièrement bien adaptée à la modélisation des algorithmes d'apprentissage; le filtrage non linéaire et le traitement de signaux évolutifs.

Plusieurs aspects du fonctionnement cognitif font l'objet de convergences significatives :

- *La vision*. Les systèmes de vision naturelle mobilisent de nombreux composants fonctionnant en parallèle. La modélisation en termes de réseaux de neurones formels s'avère ici précieuse pour les différents niveaux d'analyse portant sur le codage initial, la détection du mouvement, la perception des couleurs, la vision stéréoscopique, les phénomènes de segmentation.

- *La proprioception*. Comprendre le fonctionnement des structures motrices implique un effort de modélisation des coordinations sensori-motrices. Ici, une coopération interdisciplinaire s'avère né-

cessaire entre mathématiciens, physiciens et biologistes afin d'assurer une convergence des travaux, comme ce fut le cas, notamment, à propos des modèles du cervelet. Les applications sont d'un intérêt scientifique et économique considérable (par exemple, la mise au point du contrôle des bras manipulateurs de robots).

- *L'audition et la synthèse de la parole*. La mise au point de modèles de la fonction auditive s'avère précieuse en vue de rendre plus efficace la reconnaissance de la parole. Les difficultés principales proviennent de ce que l'on connaît encore mal l'activité des neurones impliqués dans le système de perception auditive. En synthèse de la parole, certaines réalisations constituent des avancées permettant de mieux tester l'application des réseaux de neurones formels.

- *L'action, le contrôle moteur et la planification*. Les problèmes intéressants au premier chef de la recherche actuelle concernent l'organisation de l'activité manipulative au niveau neuronal, la fusion des signaux sensoriels, l'intégration des informations sensorielles dans une structure distribuée. En ce qui concerne la planification du mouvement, les travaux se concentrent sur la nature du codage neuronal, sur l'organisation des séquences temporelles et sur les processus de mémorisation.

4 - LES APPORTS DE LA PHYSIQUE STATISTIQUE

Il faut relever ici les apports de la *physique* aux sciences de la cognition, en particulier dans la *théorie* et la *modélisation des réseaux de neurones*. Par la complexité de ses structures et de ses fonctions, par ses capacités d'apprentissage et de mémoire, le système nerveux (comme d'ailleurs le système immunitaire) offre un vaste champ à la modélisation théorique. La théorie des réseaux de neurones constitue un carrefour d'idées en provenance des mathématiques, de la physique, de l'informatique, de la neurobiologie, de la psychologie.

Au cours de la dernière décennie, la physique statistique des systèmes désordonnés a fait une entrée remarquable dans ce champ interdisciplinaire. En vérité, l'impact est réciproque. Si les approches physiques ont contribué au renouvellement de l'étude des réseaux en couches sans rétroaction, du type perceptron (réseaux servant de modèles pour les aires primaires, impliquées dans le pré-traitement des données sensorielles), elles ont surtout permis l'élaboration de la notion de *calcul par attracteur* (servant de métaphore pour aborder la compréhension des aires associatives).

En retour, l'étude des réseaux de neurones a ouvert un nouvel horizon en physique statistique, en direction des *systèmes à interactions dissymétriques*, sans fonction énergie au sens usuel. Ce double impact est bien le signe de l'émergence d'un nouveau domaine du savoir. A ce jour, il paraît encore trop tôt pour juger si les récents progrès expérimentaux dans l'étude des "assemblées oscillantes" pourront être interprétés comme l'extension de domaines théoriques existants ou s'ils vont nécessiter de nouveaux remaniements conceptuels.

5 - LA COGNITION DISTRIBUÉE

Toujours au chapitre de la modélisation, un thème en émergence est celui de la *cognition distribuée*, c'est-à-dire la cognition attribuable à une *collectivité d'agents individuels*. Cette notion est instanciée dans des registres très divers : systèmes informatiques répartis, collectivités linguistiques, ensembles d'agents économiques.

L'étude des propriétés formelles de la cognition distribuée permet de mettre au jour des *isomorphismes* très suggestifs entre des situations et des problèmes matériellement fort divers : le partage des connaissances dans une collectivité de processeurs informatiques parallèles, l'état d'une population de locuteurs en accord sur les référents de leurs expressions, la convergence des estimations parmi un ensemble d'agents économiques. La description de ces isomorphismes (ou plus exactement

des structures abstraites qui les sous-tendent) est à l'origine de formalismes nouveaux, conçus pour représenter les univers de discours relevant des sciences sociales.

6 - COGNITION ET ORGANISATION

Un autre thème en émergence est celui des rapports entre *cognition* et *organisation*. Cette approche conduit à spécifier trois registres : la cognition naturelle, la cognition artificielle, la cognition organisationnelle. Le domaine circonscrit est nécessairement interdisciplinaire et implique des conceptualisations nouvelles sur les formes collectives du *raisonnement* et de la *prise de décision*.

Considérons les agents d'un système économique. Il s'agit tout d'abord de caractériser les représentations mentales que ceux-ci ont de leur environnement (et notamment des autres acteurs impliqués dans cet environnement). Ici, la *théorie des jeux* et, plus généralement, les *théories normatives de la décision* sont des références pertinentes, dans la mesure où le chercheur s'intéresse aux attentes que certains agents ont à propos des actions d'autres agents. Cet aspect conduit à développer une *théorie de la complexité* et à considérer la manière dont peuvent intervenir à la fois des méthodes de recherche heuristique et des méthodes basées sur les connaissances pour gérer au mieux la complexité des situations. Enfin, dans un système économique, il importe d'apprécier les capacités qu'ont les agents de s'adapter à des situations nouvelles, ce qui conduit à donner une importance particulière aux processus d'*apprentissage* et aux phénomènes de *co-adaptation*.

La modélisation (éventuellement informatisée) des sociétés et des organisations complexes permet alors de simuler le comportement effectif des individus dans leur environnement. La *modélisation multi-agents* s'inspire des travaux effectués dans le cadre de l'intelligence artificielle distribuée et de la "vie artificielle". Elle met également l'accent sur les

interactions existant entre les individus et permet de travailler sur un modèle éthologique en considérant l'ordinateur comme un laboratoire d'expérience dans lequel il est possible de construire des sociétés artificielles qui évoluent sous la pression des actions individuelles. Enfin, cette réflexion générale sur les rapports entre cognition et organisation renouvelle la modélisation des processus d'*auto-organisation*. La synergie bien attestée entre les processus cognitifs et les processus d'autonomisation se généralise clairement au domaine des organisations sociales.

RECOMMANDATIONS

Les thèmes de recherche relevant des sciences de la cognition et de la communication se situent, par définition, à la frontière de plusieurs disciplines. Cette situation est parfois source de difficultés et d'ambiguïtés. La conduite au quotidien de travaux réalisés dans un véritable contexte interdisciplinaire n'est pas toujours aisée et demande de réels efforts de la part des divers partenaires. C'est pourtant de ces travaux qu'il faut attendre des percées significatives, surtout dans un contexte international déjà très productif et bien organisé.

Plutôt que de récapituler ici les nombreuses thématiques émergentes relevées dans ce rapport, nous nous bornerons à synthétiser plusieurs types de "*carrefours interdisciplinaires*" qu'il apparaît important de promouvoir tant au plan des intégrations méthodologiques qu'à celui des enjeux sociaux et économiques impliqués :

- *Etude des grandes fonctions contributives à l'intelligence et aux comportements adaptatifs* : dispositifs neurosensoriels (vision, audition, olfaction, etc.), motricité, planification de l'action, raisonnements et résolution de problèmes, apprentissage et mémoire; cette approche inclut l'*ontogenèse des fonctions* et l'étude de leurs *interactions* dans les activités complexes.

- *Communication homme-machine* : interactions ergonomiques, traitements symboliques, nouveaux dispositifs multimodaux.

- *Modélisation et nouveaux outils théoriques* : logiques, réseaux neuronaux, traitements formels et cognitifs du langage, cognition distribuée, cognition coopérative, organisations complexes, théorisations sémantiques et comparaisons inter-langues et inter-codes.

- *Approches cognitives des pathologies et déficiences* : bases neuronales, lésions et réparations, déficits biochimiques, perturbations dans la communication.

Dans ce paysage multi-thématique, il nous paraît plus que jamais indispensable de continuer de susciter les recherches en sciences cognitives, d'identifier avec soin les projets et les actions en cours, de les encourager et de les soutenir. Il existe une richesse et une variété de compétences dans notre communauté, prêtes à œuvrer pour répondre à des enjeux scientifiques, sociaux et industriels très importants. La mission des organismes susceptibles de soutenir la recherche dans ces domaines consiste, en somme, à activer un potentiel.

En général, il s'agit de mettre en œuvre des moyens destinés à favoriser les interactions en profondeur. Un premier objectif consiste à *protéger l'interdisciplinarité* et à *continuer de la susciter*. Il s'agit également d'apporter des soutiens qui encouragent les chercheurs engagés dans une démarche pluridisciplinaire à mettre en œuvre des entreprises de réelle interdisciplinarité.

Un second impératif est d'encourager des structures qui permettent aux chercheurs de se côtoyer, de découvrir leurs problématiques respectives et d'engager des coopérations. Sans doute est-il indispensable, compte tenu du caractère encore non stabilisé de ce domaine de recherche, de favoriser des structures suffisamment souples pour permettre que se réalisent des évolutions dont la prédictibilité n'est pas totale. C'est le cas des réseaux (de type GDR, PRC, Réseaux du Programme Co-

gnosciences). Le développement de ce type de structures est encore inégal selon les départements du CNRS. Il faudrait encourager l'évolution de tels réseaux, notamment par leur articulation avec des réseaux plus étendus (en particulier, européens). La vie des réseaux doit enfin être complétée par des *actions plus spécifiques* sur des domaines précis (par des appels d'offres thématiquement ciblés), avec un suivi effectif, ce qui pose bien entendu le problème de l'évaluation.

D'autres formes d'actions favorisant le développement des échanges et des rencontres entre chercheurs sont à considérer, en particulier les actions de *formation*. Nous pensons d'abord aux actions de type écoles d'été ou ateliers, avec des degrés divers de focalisation thématique, mais également aux formations doctorales et aux formations post-doctorales dans des laboratoires étrangers. En outre, il est souhaitable que les institutions de soutien à la recherche reconnaissent comme partenaires les groupes, associations et sociétés savantes qui œuvrent au développement des sciences cognitives dans un esprit réellement interdisciplinaire.

Le CNRS devrait encourager et aider à la mise en place de "*centres*" ou "*maisons de la cognition*", lieux institutionnels de rencontre, de documentation et d'accueil de chercheurs étrangers. Il serait également important que la visibilité de l'action du CNRS en faveur des sciences de la cognition soit assurée par la création d'*instituts pluridisciplinaires* hébergeant des équipes sur des durées et des programmes déterminés. La mise en œuvre de tels projets nécessiterait vraisemblablement le concours des régions accueillant ces instituts. Enfin, en liaison ou non avec ces initiatives, il serait important que le CNRS, avec d'autres organismes scientifiques, facilite la mise en place d'*équipements lourds ou mi-lourds* indispensables à la poursuite de projets d'ampleur nationale (tomographie par émission de positons, magnétoencéphalographie).

La poursuite des programmes CNRS et MRT/MRE et la poursuite d'efforts en vue de leur articulation fonctionnelle constituent enfin les

conditions d'une bonne inscription des sciences de la cognition dans le paysage national et européen.

Le CNRS, enfin, devrait être attentif au problème suivant. Pour atteindre l'interdisciplinarité visée par les projets de sciences cognitives, il est impératif que soient créées des *structures d'évaluation* appropriées. L'évaluation des chercheurs et des équipes pluridisciplinaires est difficile et demande de faire appel à des experts "extérieurs" (autres sections du Comité National, hors sections, autres organismes, experts étrangers). Malgré la refonte récente du Comité National, il est clair que la composition actuelle de la majorité des sections ne leur donne pas toujours compétence pour procéder à l'évaluation de tels travaux interdisciplinaires et, par voie de conséquence, rend plus difficile le recrutement de chercheurs sur des profils non classiques.

On notera à ce propos que parmi les sections les plus concernées par les sciences cognitives, deux d'entre elles seulement relèvent de deux départements scientifiques du CNRS : SDV et SHS pour la section 29 (*Fonctions mentales. Neuro-*

sciences intégratives. Comportements); SHS et SPI pour la section 34 (*Représentations. Langages. Communication*). Or il est évident que c'est souvent de plus de deux départements que relèvent certains programmes de recherche en sciences cognitives.

En résumé, notre message est que le CNRS, qui a su enclencher des mécanismes institutionnels nouveaux dans un contexte où les sciences de la cognition attendaient une telle initiative, doit poursuivre sa mission, en mesurant l'importance de l'enjeu et en tenant compte de la forte poussée venant de la recherche d'outre-Atlantique et des autres pays européens.

Michel Denis

Président du groupe 03

avec la collaboration de

Joseph Mariani

Claudine Masson

Georges Vignaux

04

UNIVERS, NOYAUX, PARTICULES

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Rassembler dans un même thème la physique des systèmes dont les dimensions sont aux extrêmes de l'échelle des dimensions peut sembler téméraire ou paradoxal. En effet, entre les particules (10^{-15} m) et les amas de galaxies (10^{23} m), les phénomènes physiques paraissent relever d'un ordre bien différent. Pourtant, en plus de leurs problématiques propres qui représentent le cœur de chaque discipline, les domaines de la physique subatomique et de l'astrophysique ont eu des interactions croissantes qui n'ont pas cessé de nous fasciner.

Cette connexion entre les mondes de l'infiniment petit et de l'infiniment grand est très profonde et relève de la nature même de l'univers en expansion. Les conditions extrêmes de température qui régnaient au début de l'expansion (Big Bang) sont recréées petit à petit grâce aux accélérateurs de particules d'énergie de plus en plus élevée : les expériences de physique des particules et de physique nucléaire, complètement contrôlées par le physicien, permettent donc d'obtenir des résultats qui peuvent être comparés aux observations de l'astronome. L'interaction entre ces deux sciences de l'extrême est un moteur très performant pour faire progresser les connaissances sur l'univers.

Un autre aspect rassemble ces deux domaines : pour être explorés efficacement, ils demandent la mise en œuvre de moyens importants et coûteux. D'une part, la montée en énergie des accélérateurs est inévitable pour accéder aux petites distances caractéristiques des particules les plus fondamentales, et des détecteurs complexes sont nécessaires pour l'expérimentation. D'autre part, l'observation de l'univers dans la diversité de ses différents rayonnements oblige à utiliser des télescopes d'une résolution de plus en plus grande et une expérimentation dans l'espace pour s'affranchir de l'atmosphère terrestre. Dans les deux cas, le maintien d'objectifs compétitifs et potentiellement riches de découvertes a demandé une organisation spécifique au niveau national (instituts IN2P3 et INSU au CNRS, département DAPNIA au CEA) dans une approche dominée par la collaboration internationale, bien développée au niveau européen et dont le CERN est un modèle. Cette structure a fait la preuve de son efficacité qui a permis aux équipes françaises de jouer un rôle important et souvent dominant.

Le présent chapitre passera en revue les thèmes les plus marquants et les évolutions dans les domaines qui s'intéressent à des systèmes de dimension croissante : à l'échelon pour l'instant le plus élémentaire, les quarks et les leptons; puis les hadrons; les noyaux; et enfin, après avoir enjambé la matière atomique, moléculaire et les planètes, l'univers tout entier.