

SOMMAIRE



PROGRAMME SCIENTIFIQUE

RÉSUMÉS DES INTERVENTIONS DES ORATEURS

LISTE DES PARTICIPANTS



Les actes du colloque seront publiés ultérieurement. Outre le contenu du présent volume, ils comprendront les résumés des discutants et le document de synthèse du colloque.



- 8:30 Accueil des participants
- 9:00 Ouverture du colloque par *M. Christian Bècle*, directeur général de la recherche et de la technologie et
M. Bernard Decomps, vice-président du Conseil supérieur de la recherche et de la technologie, secrétaire général du comité de pilotage des grands colloques de prospective
- 9:20 Exposé introductif : Neurogénétique et fonctionnement cognitif *P. Roubertoux* (Université Paris 5)

Théories et modélisation des réseaux de neurones

Présidents : *H. Korn* et *G. Toulouse*

- 9:40 Introduction : Neurones naturels et neurones artificiels
H. Korn (INSERM / Institut Pasteur, Paris)
- 10:00 Nouvelles théories sur le fonctionnement des réseaux neuronaux *E. Bienenstock* (ESPCI, Paris). Discutants :
M. Kerszberg (Institut Pasteur), *P. Peretto* (CEN, Grenoble)

10:45 Pause

- 11:00 Réseaux de neurones et théories de l'apprentissage *W. Singer* (Max-Planck-Institut, Frankfurt). Discutants : *Y. Fregnac* (CNRS, Orsay), *M. Moulins* (CNRS, Arcachon)
- 11:45 Modèles théoriques et réalité neurobiologique *D. Amit* (Université Hébraïque, Jérusalem). Discutants : *M. Mézard* (ENS, Paris), *J. Demongeot* (INP, Grenoble)
- 12:30 Conclusions : Relations entre la Physique et les Sciences de la Cognition *G. Toulouse* (ENS, Paris)

12:50 Fin de session

13:00 Déjeuner

Perception et action I

Présidents : *A. Berthoz* et *K. Hepp*

- 14:15 Introduction : Les relations entre la perception et l'action
A. Berthoz (CNRS, Paris)
- 14:35 Théories de la vision naturelle *M. Imbert* (Université Paris 6, EHESS). Discutants : *N. Franceschini* (CNRS, Marseille),
J. Bullier (INSERM, Lyon)
- 15:20 Perspectives en vision artificielle : percevoir = calculer?
O. Faugeras (INRIA, Valbonne). Discutants : *R. Azencott* (ENS, Paris), *M. Milgram* (Université Paris 6)

16:05 Pause

- 16:20 Cartes spatiales chez l'homme et l'animal *C. Thinus-Blanc* (CNRS, Marseille). Discutants : *R. Campan* (Université

- Paul Sabatier, Toulouse), *M. Denis* (Université Paris 11)
- 17:05 Perception multisensorielle, planification et contrôle du mouvement en robotique *G. Giralt* (CNRS, Toulouse). Discutants : *J.-A. Meyer* (ENS, Paris), *G. Gauthier* (CNRS, Marseille)
- 17:50 Conclusions : Les relations entre la physique, l'informatique et les sciences cognitives dans l'étude des représentations de l'espace et le contrôle du mouvement *K. Hepp* (Ecole Polytechnique, Zürich)

18:10 *Fin de session*

Mardi 29 janvier

Perception et action II

Présidents : *J. Requin* et *M. Le Moal*

- 9:00 Introduction : La planification et le contrôle de l'action
J. Requin (CNRS, Marseille)
- 9:20 Relations entre la motricité et la perception *P. Viviani*
(Université de Genève). Discutants : *S. de Schonen* (CNRS, Marseille), *J.-P. Roll* (Université de Provence, Marseille)
- 10:05 Hiérarchie et parallélisme dans les systèmes sensori-moteurs
M. Jeannerod (INSERM, Lyon). Discutants : *B. Dubois*
(INSERM, Paris), *P.-P. Vidal* (CNRS, Paris)

10:50 *Pause*

- 11:05 Mécanismes et modélisation de la mémoire *E. Rolls*
(University of Oxford). Discutants : *S. Laroche* (CNRS, Gif-sur-Yvette), *A.-M. Thierry* (INSERM, Paris)
- 11:50 Bases neurales des différents modes de connaissance
A. Damasio (University of Iowa, Iowa City). Discutants :
J.-L. Signoret (GH Pitié-Salpêtrière, Paris), *S. Dehaene*
(INSERM)
- 12:35 Conclusions : Neurobiologie du comportement *M. Le Moal*
(INSERM, Bordeaux)

12:55 *Fin de session*

13:00 *Déjeuner*

Langage I

Présidents : *J. Mehler* et *J.-Y. Pollock*

- 14:15 Introduction : Fondements biologiques du langage *J. Mehler*
(CNRS, Paris)
- 14:35 Structure du langage et acquisition du langage *L. Rizzi*
(Université de Genève). Discutants : *V. Deprez* (Rutgers University, New Brunswick), *C. Fuchs* (CNRS, Caen)
- 15:20 Théories de l'acquisition du langage *A. Karmiloff-Smith*

(MRC, Londres). Discutants : *Y. Kodratoff* (Université Paris 11), *M. Bowerman* (Max-Planck-Institut, Nijmegen)

16:05 Pause

- 16:20 Sur le contenu empirique de la théorie linguistique
J.-R. Vergnaud (CNRS, Paris). Discutants : *P. Encrevé* (Université Paris 8), *B. Laks* (CNRS, Orsay)
- 17:05 La sémantique cognitive *G. Fauconnier* (University of California, San Diego). Discutants : *B. de Cornulier* (Université de Nantes), *D. Kayser* (Université Paris 13)
- 17:50 Conclusions : Universaux du langage et diversité des langues
J.-Y. Pollock (Université de Rennes)

18:10 Fin de session

- 18:30 Cocktail - buffet
- 20:00 Conférence : Signification fonctionnelle des propriétés électriques intrinsèques des neurones du système nerveux central
R. Llinas (New York University)
Discutant : *C. Debru* (CNRS, Paris)
Présidents : *P. Buser* et *C. Sotelo*

Mercredi 30 janvier

Langage II

Présidents : *J. Marshall* et *J. Ségui*

- 9:00 Introduction : Les relations entre l'expérimentation et la théorie dans l'étude du langage *J. Marshall* (University of Oxford)
- 9:20 Reconnaissance et synthèse automatique de la parole *C. Sorin* (CCETT, Lannion). Discutants : *J.-S. Liénard* (CNRS, Orsay), *S. McAdams* (CNRS/IRCAM, Paris)
- 10:05 Perspectives dans l'étude de la production de la parole
W. Levelt (Max-Planck-Institut, Nijmegen). Discutants : *J. Pynte* (CNRS, Aix-en-Provence), *J.-L. Schwartz* (INP, Grenoble)

10:50 Pause

- 11:05 Perspectives dans l'étude de la perception de la parole *A. Cutler* (MRC, Cambridge). Discutants : *D. Béroulle* (CNRS, Orsay), *L. Demany* (INSERM, Bordeaux)
- 11:50 Bases biologiques du langage *A. R. Lecours* (CH Côte des Neiges, Montréal). Discutants : *F. Michel* (INSERM, Lyon), *J.-F. Demonet* (INSERM, Toulouse)
- 12:35 Conclusions : Représentations lexicales et conceptuelles
J. Ségui (CNRS, Paris)

12:55 Fin de session

13:00 Déjeuner

Présidents : *M. Borillo* et *F. Récanati*

- 14:15 Introduction : Sémantique de l'espace et raisonnement spatial
M. Borillo (Université Paul Sabatier, Toulouse)
- 14:35 Raisonnement et compréhension *G. Politzer* (Université Paris 8)
Discutant : *P. Greussay* (CNRS, Paris), *A. Nguyen Xuan* (CNRS, Paris)
- 15:20 Théorie du raisonnement scientifique chez l'homme et chez l'ordinateur *D. Osherson* (MIT, Cambridge). Discutants :
J.G. Ganasia (Université Paris 6 / CNRS), *S. Thiria* (Université Paris 11 / CNAM, Paris)

16:05 Pause

- 16:20 Cognition et culture *D. Sperber* (CREA, Paris). Discutants :
S. Moscovici (EHESS, Paris), *C. Severi* (Collège de France)
- 17:05 Conclusions : Communication et cognition *F. Récanati* (CREA, Paris)

17:25 Fin de session

- 17:30 Table ronde : L'épistémologie des sciences cognitives
D. Andler, *A. Cornès*, *J. Pitrat*, *A. Prochiantz*, *J.D. Vincent*
Modérateur : *P. Jacob*

Jeudi 31 janvier

Session de synthèse

- 9:00 Rapport sur les méthodes d'imagerie cérébrale *A. Syrota* (CEA, Université Paris 11)
- 9:30 Table ronde : Les actions nationales et européennes dans le domaine des Sciences de la Cognition
Présidents : *B. Decomps* et *M. Imbert*
- Programme Cognisciences du CNRS *A. Holley* (CNRS)
 - Action concertée du MRT/MENJS : Sciences de la Cognition *Y. Duroux* (MRT), *P. Vigier* (MENJS)
 - Synthèse des travaux du groupe interdisciplinaire de l'OFTA sur les réseaux neuronaux *G. Dreyfus* (ESPCI)
 - Actions et perspectives en ergonomie cognitive *A. Wisner* (CNAM)
 - Action européenne ESPRIT Basic Research *G. Metakides* (CEE, DG XIII)
 - Action européenne SCIENCE *L. Bellemin* (CEE, DG XII)

11:00 Pause

- 11:30 Synthèse du colloque et allocutions autour d'*Hubert Curien*,
Ministre de la Recherche et de la Technologie

L'eau qui stagne immobile et sans vie devient saumâtre et boueuse. Au contraire, l'eau vive et chantante reste pure et limpide. Ainsi l'âme de l'homme sédentaire est un vase où fermentent des griefs indéfiniment remâchés. De celle du voyageur jaillissent en flots purs des idées neuves et des actions imprévues.

Michel Tournier "Gaspard, Roi de Meroe"

EXPOSÉ INTRODUCTIF

Neurogénétique et processus cognitifs

par

Pierre L. ROUBERTOUX, URA 1294 CNRS, Génétique, Neurogénétique et comportement, 45, rue des Saints-Pères - 75006 Paris

L'Analyse génétique appliquée aux processus cognitifs vise à identifier les gènes affectant ces processus et à connaître les mécanismes neuronaux par l'intermédiaire desquels ils les affectent.

Pour identifier les gènes deux approches s'offrent alors au généticien.

1*) Une approche ascendante. Partant de mesures stables de processus, il s'agit de reconnaître le ou les gènes associés à la variation normale ou pathologique du trait mesuré. L'approche descendante met en oeuvre un ensemble de techniques varié qui va de la génétique quantitative à celles qui permettent de localiser les gènes (détection de liaison utilisant des marqueurs chromosomiques). L'établissement d'un mode de transmission monogénique était jusqu'à présent le préalable technique à la localisation d'un gène associé à un trait (Roubertoux et al. 1985, Behavior Genetics 18, p.121-132). Les développements technologiques récents (Neumann et Seyfried, Behavior Genetics, 1990, 20, p.307-325 ; Neumann, Genetics in press) permettent la localisation de plusieurs gènes associés à un seul trait, grâce à un emploi sophistiqué de lignées de recombinants consanguins chez les infra-humains. La combinaison de la méthode des descendants des jumeaux et des RFLPs (Nance et Neale, Behavior Genetics, 1989, 19, p.143-151) constitue un outil puissant mais non exploité pour l'identification de loci associés à des variations dans les mesures de processus cognitifs chez l'espèce humaine.

2*) Une approche ascendante part de substitutions d'allèles identifiés antérieurement pour en rechercher les corrélats comportementaux. Ceci a été réalisé dans un passé récent grâce à l'étude de mutations chez l'infra-humain on illustrera ce point à partir de travaux visant à identifier des gènes impliqués dans les processus mnésiques chez les diptères. L'attention portée à des anomalies génétiques (syndrome de l'X fragile par exemple) dans l'espèce humaine conduit à préciser les variations cognitives qui leur sont associés. L'emploi de lignées congéniques, initié par Snell pour analyser le système d'histocompatibilité, a été étendu depuis 10 ans à l'analyse de performances liées au traitement de l'information olfactive. On connaît maintenant des substitutions d'allèles intervenant dans la région H-2 (chr. 17) induisant des variations de signaux olfactifs susceptibles d'être reconnues par un partenaire (Yamazaki, et al., Science, 1988, p.210, 1331-1332). Plus récemment les techniques de transgénose offrent le moyen d'insérer un gène (par exemple humain) dans un génome hôte d'une espèce plus propice à l'analyse expérimentale. Les possibilités offertes pour l'analyse des processus mnésiques, par ces nouvelles méthodes, seront illustrées à partir de travaux utilisant des souris porteuses de transgène humain SOD1.

Le généticien travaillant sur la mesure de processus cognitifs ne peut faire l'économie d'une neurogénétique qui le conduit à reconnaître certains des mécanismes neuronaux et neuroendocriniens intermédiaires entre gènes et comportements. Il a donc la possibilité :

1*) de procéder à l'analyse génétique de variations de structures nerveuses impliquées dans un processus cognitif donné. C'est ce qui a été réalisé pour la distribution des fibres mossues de l'hippocampe et la mémoire (Schwegler et al., Science, 1981, 214, 817-819) par exemple,

2*) de tester la fonctionnalité de la liaison entre les variations au niveau neuronal et cognitif.

Dans un avenir proche, il convient :

1) de renforcer les travaux naissant visant à associer l'identification de gènes impliqués dans les mesures de processus cognitifs en stimulant l'implantation de techniques de génétique moléculaire dans les laboratoires de neurobiologie des processus cognitifs,

2) de développer les approches cognitives analytiques pour fournir des instruments utilisables en analyse génétique (Roubertoux et Capron, European Bulletin of Cognitive Psychology, 1990, 10, 555-594),

3) de privilégier les analyses susceptibles de mettre en liaison plusieurs niveaux d'organisation biologique, cognitif, neuronal et génétique. Les performances mnésiques, le traitement des informations sensorielles constituent des modèles de choix.

SESSION :

Théories et modélisation des réseaux de neurones

COLLOQUE: SCIENCES DE LA COGNITION

SEANCE: THEORIES ET MODELISATION DES RESEAUX DE NEURONES

SYNAPTIC INHIBITION CONTROLS NEURONAL NETWORKS

Henri Korn (Institut Pasteur, INSERM U261)

In the CNS the excitability of neurons is controlled by a chloride dependent, chemically mediated inhibition, which tends to pull their membrane potential away from their threshold for firing action potentials. Cells involved in mediating this inhibition, via glycine or GABA, are more flexible than commonly admitted. This notion should be considered in formal models of neuron networks. It is substantiated by recent experimental and theoretical studies in various central structures such as the teleost Mauthner (M-) cell, a neuron critically involved in a vital escape reflex, and mammalian hippocampus, where long term potentiation (LTP) has been taken as a substrate for learning. In both structures inhibitory interneurons exhibit a wide range of synaptic efficacies accounted for, at least in part, by differences in their quantal release parameters (these include the number of release sites and the probability of release by them). On the postsynaptic side, the amplitude of the basic unit, or quantum, the building block of synaptic responses is determined by several factors such as homo- and heterosynaptic interactions between adjacent synapses due to lateral diffusion of transmitter, and the location of receptor clusters, which differs according to cellular distribution.

Since excitatory synaptic connections are known to change, it would be surprising if there was no plasticity of inhibition. A short term form of plasticity exists in circuits of the CA₃ hippocampal region: tetanic stimuli excite inhibitory cells in the presence of glutamate receptor antagonists. This excitation has the effect of strengthening recurrent inhibitory circuits for several minutes after stimulation. In the M-cell short trains applied to fibers

which excite glycinergic interneurons produce a maintained enhancement of inhibition, comparable in magnitude and duration to hippocampal LTP. Changes in excitation of presynaptic cells, and inhibitory synapses, could contribute to this phenomenon. Indeed, 5-HT has already been shown to initiate a persistent enhancement of glycine release by increasing the probability of exocytosis at terminal release sites. Taken together, these forms of plasticity modify, at all times the structure of synaptic noise which results from constant stochastic activity in populations of presynaptic inhibitory cells. Synaptic noise governs the input-output function of central neurons. Analogies are apparent between this process and the role of "computational" noise in thermodynamic models.

NOUVELLES THEORIES SUR LE FONCTIONNEMENT DES RESEAUX NEURONAUX

Elie Bienenstock, ESPCI, PARIS

L'un des problèmes centraux de la neurobiologie de la cognition est celui du *code neuronal*. Ce problème peut être abordé de façon simple en remarquant que l'activité électrique dans un réseau de N neurones est un processus stochastique N -dimensionnel. Comment construire dans cette activité fluctuante et en apparence désordonnée des *représentations* reproductibles, et comment les faire interagir entre elles de manière fiable ? Je distinguerai, pour les besoins de mon exposé, trois solutions possibles, que j'appellerai des schémas de codage : (A) le codage par niveaux d'activité ; (B) le codage par corrélations ; (C) le codage par événements.

Dans le schéma A), l'information est portée par la fréquence de décharge des neurones, évaluée sur un intervalle de temps $[t, t']$, de quelques centaines de millisecondes. Une augmentation de cette fréquence de décharge pendant la période $[t, t']$, suffisamment importante par rapport à la fréquence de décharge à l'extérieur de $[t, t']$, peut servir de substrat à une représentation reproductible et fiable d'un stimulus, d'un percept, d'un mouvement, d'une action, etc.

Pour illustrer le principe de fonctionnement du schéma B), prenons deux neurones n_1 et n_2 dans notre réseau. Les fréquences de décharge de n_1 et n_2 seront à présent les mêmes à l'intérieur de la période $[t, t']$ qu'à l'extérieur de cette période. Par contre, le niveau de corrélation entre les processus de décharge de n_1 et de n_2 sera significativement plus élevé pendant la période $[t, t']$. On définit également des corrélations avec délai temporel entre la décharge de n_1 et la décharge de n_2 .

Le schéma C) est, du point de vue de la théorie des probabilités, une généralisation du schéma B) : au lieu de considérer des corrélations entre processus de décharge de neurones pris deux à deux, c'est-à-dire des moments statistiques d'ordre 2, nous nous intéressons maintenant à des *moments statistiques d'ordre p* sensiblement plus élevé. Ici aussi, on introduit des délais entre les neurones concernés.

Il existe un spectre continu de possibilités entre les codes par fréquence de décharge, ou codes d'ordre 1, et les codes d'ordre élevé. Cependant, une propriété intéressante des codes d'ordre supérieur est que l'information y est portée par l'apparition unique d'un *événement* donné à un moment quelconque d'une période $[t, t']$: un événement d'ordre p est défini par le choix de p neurones et de délais entre ces p neurones. La probabilité pour qu'un tel événement se produise "par hasard", est négligeable. (Le terme "hasard" correspond à l'hypothèse que les N processus sont statistiquement indépendants.) Par exemple, pour une fréquence moyenne de décharge de 5 potentiels d'action par seconde et pour une *résolution temporelle* de 4 ms, tout événement d'ordre au moins égal à 4 est "remarquable", et peut donc, en principe, servir de code.

Qu'en est-il, dans la réalité, de ces différents codes *possibles* ?

A. Le code par niveaux d'activité est utilisé très largement dans notre cerveau, en particulier dans les parties périphériques sensorielles et motrices, mais aussi, probablement, dans des aires d'association. Jusqu'à une date assez récente, ce schéma de codage a inspiré la quasi-totalité des modèles théoriques du fonctionnement du cerveau, appelés aujourd'hui modèles connexionnistes. La suite de mon exposé concernera les codes d'ordre 2 et supérieurs.

B. Citons Terrence Sejnowski [1] :

"L'hypothèse selon laquelle des événements synaptiques pourraient être corrélés et synchronisés est encore hors de portée de la vérification expérimentale, mais les conséquences théoriques d'une telle hypothèse méritent d'être explorées."

L'auteur qui a surtout contribué à l'étude théorique des codes d'ordre 2 est Christoph von der Malsburg. Sa "théorie des corrélations" [2, 3] propose une solution neurobiologique plausible pour différents problèmes dans le domaine de la perception. Les idées directrices de cette théorie sont les suivantes. Un objet, ou forme, peut être représenté par un ensemble de relations entre les parties constitutives de l'objet, c'est-à-dire, formellement, un graphe étiqueté. La reconnaissance d'un objet est essentiellement une opération d'appariement entre graphes. Pour réaliser cet appariement, le cerveau dispose de *liens dynamiques* : des niveaux de corrélation entre neurones, et des poids synaptiques variables obéissant à une dynamique hebbienne rapide ("synapses de von der Malsburg"). Ces liens dynamiques interviennent dans la reconnaissance invariante des formes, mais aussi dans la segmentation visuelle, dans la séparation d'un signal acoustique en composantes issues de sources différentes et, de façon générale, dans l'organisation perceptive [4, 5, 6]. Cette théorie des corrélations a conduit à la prédiction suivante [7, p. 270] :

"Si l'on enregistrait, chez un animal entraîné, plusieurs cellules sensorielles, activées soit par un stimulus unique perçu comme une entité (condition a), soit par plusieurs stimuli présentés simultanément mais clairement séparés et indépendants (condition b), alors on devrait trouver, dans la structure temporelle fine de cet enregistrement multiple, plus de coïncidences dans le cas a) que dans le cas b)".

Des expériences récentes dans le cortex visuel du chat *anesthésié* [8,9] ont apporté des éléments de confirmation à cette prédiction, et ont révélé une activité oscillatoire dépendant de la stimulation, et qui servirait d'"onde porteuse" aux corrélations.

Ces expériences ont suscité en retour un intérêt considérable chez les théoriciens, qui ont proposé des modèles d'assemblées de cellules oscillantes, la synchronisation des oscillateurs individuels pouvant être commandée par une stimulation extérieure. Cependant, la réalité et la signification des oscillations dans le cortex visuel est encore débattue. Remarquons que les oscillations ne sont pas indispensables au code par corrélations, qui s'accommode par exemple d'une structure poissonnienne pour les décharges individuelles.

C. Le codage par événements soulève au moins cinq questions : (C.1) Quelle peut être, pour notre cerveau, l'utilité d'un tel code ? (C.2) Comment un événement *distribué avec précision à la fois dans le temps et dans l'espace* peut-il être détecté, ou "lu", par la machine neuronale ? (C.3) Quelle peut être l'origine de la reproductibilité de tels événements distribués et précis ? (C.4) Quels peuvent être les mécanismes permettant à ces événements de très brève durée de vie d'interagir entre eux de façon fiable ? (C.5) Si ce code neural existe, comment le révéler expérimentalement ?

C.1. La nécessité d'un code d'ordre élevé se fait sentir à travers diverses analyses critiques récentes des propositions connexionnistes.

Tout d'abord, un certain nombre de psychologues de l'école chomskienne soulignent l'inaptitude des modèles connexionnistes à expliquer les fonctions cognitives supérieures, et tout particulièrement le langage [10]. Ces auteurs font remarquer que les niveaux d'activation neuronaux (codes d'ordre 1) sont dépourvus de structure combinatoire interne, et ne peuvent donc être *composés* entre eux de façon non-triviale. Or la compositionnalité est une propriété fondamentale du langage, qui, à tous ses niveaux et sous tous ses aspects, pho-

nétique, phonologique, syntaxique, sémantique et pragmatique, est un jeu de construction combinatoire. La compositionnalité est aussi, pour de nombreux auteurs, un trait essentiel de la cognition non-verbale, humaine ou animale.

Une critique similaire est formulée par un neurobiologiste de la vision [11] :

"Il nous faudra bien un jour dépasser le cadre conceptuel trop simple du 'stimulus-réponse' qui caractérise aujourd'hui la majorité des réseaux de neurones formels mais aussi l'expérimentation neurophysiologique. Nous devons aborder l'étude des mécanismes qui nous permettent d'intégrer des images se succédant dans le temps au cours de la perception visuelle, ou des mots successifs au cours de la compréhension du langage. Il nous faudra aussi expliquer comment les représentations intégrées d'une scène visuelle ou d'un énoncé interagissent avec d'autres représentations de même nature élaborées antérieurement et stockées dans notre cerveau."

Dans une perspective différente mais rejoignant les mêmes conclusions, un neuropsychologue comme Antonio Damasio [12] souhaite :

"remettre en question la métaphore du traitement de l'information, métaphore implicite dans la solution classique, qui veut que des représentations de plus en plus fines émergent le long d'un trajet unidirectionnel caudo-rostral par extraction progressive de caractéristiques".

On ne peut manquer de reconnaître ici, sous la plume du biologiste, le *perceptron multi-couches*, réhabilité depuis quelques années par l'algorithme d'apprentissage dit de "rétropropagation de l'erreur". Pour Damasio :

"La représentation d'entités ou d'événements dans le cerveau nécessite des mécanismes assurant l'intégration de composants fragmentaires d'activité neuronale en motifs cohérents, reproduisant, d'une certaine façon, la structure interne de ces entités et événements, ainsi que leurs relations mutuelles."

C.2. Le décodage de ces événements neuronaux ou "fragments", nous fait aborder le problème important de l'intégration spatio-temporelle des messages présynaptiques sur la membrane d'un neurone postsynaptique aux propriétés morfo-physiologiques complexes. La recherche dans ce domaine utilise un très large éventail de techniques, expérimentales et théoriques, et sera sans aucun doute amenée à se développer rapidement dans les prochaines années. Notons simplement que les fortes *non-linéarités* dans le comportement dynamique de la membrane du neurone répondent bien aux exigences de la lecture d'un code *précis dans le temps*.

C.3. Le problème de l'origine du code doit être abordé au niveau du réseau : des événements distribués de façon précise à la fois dans le temps et dans l'espace ne peuvent apparaître de façon reproductible dans un réseau aléatoire. Ils requièrent des graphes synaptiques particuliers. Il est intéressant, pour le théoricien, de décrire ces graphes [13], et surtout de proposer une théorie de leur ontogenèse. Une telle théorie [14] peut faire appel à des mécanismes de *focalisation* de la connectivité synaptique, mécanismes bien documentés en neurobiologie du développement.

C.4. Pour pouvoir interagir et en particulier *se composer* entre eux, des événements aussi brefs doivent laisser une *trace* immédiate, ou mémoire à très court-terme, dans le réseau. Une trace synaptique possible serait fournie par les "synapses de von der Malsburg", déjà mentionnées.

C.5. Le codage par événements nous fait entrevoir une richesse combinatoire nouvelle, indispensable pour construire une neurobiologie des fonctions

cognitives supérieures. Les outils expérimentaux qui nous permettraient de saisir ces événements cérébraux dans leur structure fine, font encore défaut. Cependant, l'un des rôles du théoricien est bien de contribuer à l'élaboration de ces outils, un travail peut-être autant conceptuel que technologique.

Concluons avec une métaphore que nous propose Martin Sereno [11]. Le développement ontogénétique précoce, ou "câblage", de motifs spatio-temporels précis serait analogue à la synthèse linéaire des protéines par établissement de liaisons covalentes fortes entre acides aminés. Une fois "repliés" sur eux-mêmes de façon stable, en structures qui peuvent être extraordinairement variées, ces motifs spatio-temporels formeraient les briques élémentaires du jeu de construction de la cognition. Dans cette perspective, les liens synaptiques dynamiques (synapses de von der Malsburg), qui fournissent le mécanisme de la composition entre les pièces du jeu - c'est-à-dire entre symboles, élémentaires ou composites - seraient analogues aux liaisons faibles entre chaînes polypeptidiques repliées.

NOTE : Les citations ont été traduites par l'auteur.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Terrence J. SEJNOWSKI (1981) Skeleton Filters in the Brain. In: *Parallel Models of Associative Memory*. G.E. Hinton and J.A. Anderson eds., Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey.
- [2] Christoph von der MALSBERG (1981) The Correlation Theory of Brain Function. Internal Report 81-2. Max-Planck Institute for Biophysical Chemistry, Dept. of Neurobiology, Göttingen, W.-Germany.
- [3] Christoph von der MALSBERG (1986) Am I thinking assemblies? In: *Brain theory*. G. Palm and A. Aertsen eds. Springer-Verlag, Heidelberg.
- [4] Christoph von der MALSBERG et W. SCHNEIDER (1986) A Neural Cocktail-Party Processor. *Biological Cybern.*, 54, pp. 29-40.
- [5] Joachim BUHMANN, Jörg LANGE, Christoph von der MALSBERG, Jan C. VORBRUEGGEN, et Rolf P. WUERTZ (1989) Object recognition in the dynamic link architecture - Parallel implementation on a transputer network. In: *Neural Networks: A dynamic systems approach to machine intelligence*. B. Kosko ed., Prentice Hall, New York.
- [6] Elie BIENENSTOCK et René DOURSAT (1991) Issues of Representation in Neural Networks. In: *Representations of Vision*. A. Gorea ed., Cambridge University Press.
- [7] Christoph von der MALSBERG et Elie BIENENSTOCK (1986) Statistical Coding and Short-Term Synaptic Plasticity: A Scheme for Knowledge Representation in the Brain. In: *Disordered Systems and Biological Organization*. E. Bienenstock, F. Fogelman and G. Weisbuch eds., pp. 247-272, Springer-Verlag, Berlin.
- [8] Charles M. GRAY, P. KOENIG, A.K. ENGEL, et Wolf SINGER (1989) Oscillatory responses in cat visual cortex exhibit inter-columnar synchronization which reflects global stimulus properties. *Nature*, 338, pp. 334-337.
- [9] R. ECKHORN, R. BAUER, W. JORDAN, M. BROSCHE, W. KRUSE, M. MUNK, et H.J. REITBOECK (1988) Coherent oscillations: A mechanism of feature linking in the visual cortex? *Biological Cybern.* 60, pp. 121-130.
- [10] Jerry A. FODOR et Zenon PYLYSHYN (1988) Connectionism and Cognitive Architecture: A Critical Analysis. *Cognition*, 28, pp. 3-71.
- [11] Martin I. SERENO (1988) The Visual System (Review). In: *Organization of Neural Networks: Structures and Models*. W. von Seelen, G. Shaw and U.M. Leinhos eds., pp. 167-184, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, FRG.
- [12] Antonio R. DAMASIO (1989) Time-locked multiregional retroactivation: A systems-level proposal for the neural substrates of recall and recognition. *Cognition*, 33: pp. 25-62.
- [13] Moshe ABELES (1982) *Local Cortical Circuits: An Electrophysiological Study*. V. Braitenberg ed., Springer-Verlag, Berlin.
- [14] Elie BIENENSTOCK et René DOURSAT (1990) Spatio-temporal coding and the compositionality of cognition. In: *Extended Abstracts Book, Workshop on: Temporal correlations and temporal coding in the brain*. R. Lestienne ed., Paris, April 1990, pp. 42-47.

NEURONAL NETWORKS AND LEARNING THEORIES

Wolf Singer, Max Planck Institute for Brain Research,
Deutschordenstr. 46, W-6000 Frankfurt/Main 71

The main goal of our research is the analysis of neuronal processes underlying visual perception. We concentrate our efforts on the investigation of the neocortical areas involved in the processing of visual signals. Our approach is guided by the hypothesis that the neuronal representation of percepts consists of assemblies of spatially distributed but cooperatively interacting neurons. From this concept several distinct predictions can be derived: First, neurons constituting an assembly must be coupled among each other through selective connections. Second, these connections must be adaptive and susceptible to use-dependent modification of their respective efficacy. Third, neurons must be able to participate in different assemblies at different times. Fourth, neurons constituting an assembly must be identifiable as such by virtue of specific activation patterns. For theoretical reasons the responses of cells participating in an assembly should have a distinct temporal structure and be coherent. The experiments presently performed in our laboratory are designed as tests of these various predictions. Anatomical investigations using a variety of tracing techniques have been initiated to study the organization of tangential intracortical connections, which we consider as the likely substrate for a reciprocal coupling of spatially distributed neurons. This approach comprises developmental studies because it has been discovered that these connections develop to a large extent only after birth and under the influence of visual experience. Thus, it is explored to which extent manipulations of sensory experience modify the expression of this connectivity pattern. To investigate the prediction on use-dependent plasticity of synaptic transmission, *in-vitro* studies are performed on slices of the visual cortex. It has been proven possible to induce both increases and decreases of synaptic efficacy in these *in-vitro* preparations and to relate the underlying mechanisms to those which are active *in-vivo* and are particularly effective during development. Such *in-vitro* investigations are required in order to study the molecular mechanisms of synaptic plasticity and the rules which govern use-dependent modifications. Finally, *in-vivo* experiments are performed in anesthetized but also awake behaving animals. The goal of these

experiments is to study with multielectrode recordings the responses of neurons distributed in various parts of the visual cortex and to search for coherence in the neuronal responses.

The evidence available to date appears to be compatible with the notion of assembly coding. The reciprocal excitatory connections which link spatially distributed neurons in the visual cortex show a surprising degree of selectivity. They occur preferentially between cell groups which encode similar features. This is expected from evidence provided by *Gestalt psychology*. The principles according to which intracortical connections are arranged reflect in great details the criteria according to which our visual system groups features contained in a visual scene. Moreover, there is evidence that the cortical connections are pruned in an experience-dependent way - thus allowing for the formation of internal representations of particularly frequent feature constellations. The rules for synaptic modifications which have been identified in the *in-vitro* studies are compatible with the notion that the selection criterion for synaptic modifications is the temporal correlation between pre- and postsynaptic activity. In addition to confirming the classical Hebbian rule these experiments have allowed to identify a mechanism for the selective weakening of synaptic transmission. The specific properties of this mechanism let it appear ideally suited for error correction. Thus, there is now a neurophysiological basis for two important aspects of learning: The reinforcement of appropriate and the weakening of inappropriate connections.

Evidence is further available that these local synaptic modifications are influenced by neurotransmitters provided by globally organized modulatory systems. This agrees with the postulate that local synaptic changes ought to depend upon a global evaluation of the behavioral adequacy of processed activity.

Finally, the *in-vivo* recordings provided evidence that neuronal responses to visual stimuli can have a distinct temporal structure. It has been found that neurons in the cat visual cortex, and recently also in the visual cortex of awake monkeys engage in rhythmic activity in the range of 40 Hz when presented with their preferred stimulus. In that case a large number of neurons within the respective functional column of the visual cortex

synchronize their rhythmic activities. Moreover, and this is crucial for the assembly hypothesis, spatially distributed cell clusters can also synchronize their respective oscillatory responses if presented with particular stimulus combinations. Such long-range correlations have been found between cells distributed within the primary visual cortex but also between cells in different areas. Interestingly, the occurrence of these correlations does depend critically on the configuration of the stimuli used to elicit the respective responses. Again, in agreement with *Gestaltcriteria* for the grouping of features, correlations are particularly pronounced when the stimuli have properties which make it likely that they derive from a single object. This is the case when stimuli are either continuous or in close proximity, or if the orientation of the stimuli is colinear, or if they move coherently with the same speed in the same direction. In conclusion then, it appears as if the concept of ensemble coding is fruitful, at least as far as it allows to formulate testable predictions.

Since the brain, more than any other organ, can be approached on many different levels of analysis, it is important to identify those levels which are most likely to yield results relevant for the understanding of brain function. This, however, requires definition of what is meant by function. There is no doubt that there are a number of functions or rather, malfunctions, which can be related directly to disturbances at the molecular level. This is the case for many metabolic disorders and genetic diseases. However, higher brain functions, cognitive and mental processes, emerge from the specific functional architecture of the brain. While they are ultimately based on molecular and submolecular processes as well they can only be related to the underlying neuronal substrate if the organizational principles are understood which produce these phenomena. It is thus imperative to pursue research simultaneously at many different levels. The tremendous impact of molecular biology should not prevent us from realizing that most of the organizational principles underlying higher brain functions are still unresolved. However, in order to cope with problems at the systems level an interdisciplinary approach is imperative. The classical disciplines of neuroanatomy and neurophysiology which have already fused in most laboratories will continue to be of utmost importance. Intensive use has to be made of the newly available methods for network analysis. These comprise techniques to monitor simultaneously the activity of large numbers of cells

and to trace polysynaptic circuits with combinations of tracers. This approach leads to an explosion of data that need to be tied together, and this requires an intensification of the use of computers for the analysis of physiological data and for anatomical reconstructions. These efforts, in particular in physiology, have to be accompanied by the development of new techniques for data reduction and representation. Because issues are foreseeably going to be very complicated, theoretical models and testing of hypotheses by computer simulation will become increasingly important. In order to establish closer links with behavior, studies should be performed whenever technically feasible in awake animals trained to perform specific tasks. Neuropsychological investigations of patients with defined brain lesions need to be intensified in order to establish links between brain functions in animals and men. Because of the availability of non-invasive imaging techniques which allow for a detailed assessment of the functional state of the human brain and the location of lesions it is predictable that this approach is going to be very successful. Finally, it will be important to strengthen collaboration between psychology and neurobiology because after all these two disciplines look at the same phenomena from different angles.

Relation between theoretical models and neurobiological reality

Daniel J. Amit, Racah Institute of Physics, Hebrew University, Jerusalem

The Attractor Program

One trajectory in brain function modeling goes from the Hodgkins-Huxley dynamics of membrane conductances in a single neuron, leading to action potentials; via the McCulloch-Pitts[1] description of the neuron as a linear threshold spiking element, providing simple effective coupling between the activities of different neurons in a network by means of synaptic efficacies; to attractor dynamics as visualized in the Amari-Hopfield picture[2,3], due to essential feedback in the interaction of neurons in a network.

What this theoretical program achieves is a detailed realization of the Lashley-Hebb[4] construct of reverberation in a neural assembly. Reverberations are just the persistent pronounced activity of a select subgroup of neurons in a given network, relative all other neurons in the same network. This selective high activity is sustained by internal feedback; it is selected by the stimulus, which can activate one of a store of different patterns of activity inscribed in the synaptic matrix; it is extremely robust to a variety of types of noise.

The concept of reverberation (or attractor) provides several attractive features, closely related to some of our requisites from brain function:

- The activation of one of a variety of memories stored passively in the synaptic arrangement and its persistence for long times;
- Each specific reverberation is activated 'associatively' by the afferent stimulus, i.e. performing robust, content addressable retrieval.
- The storage of the prototype attractors in the synapses is consistent with Hebbian development of the synaptic structure, under external, persistent imposition of the same patterns.
- The interaction of a specific activated reverberation in one region with those activated in others, for future computation or activation of a specific muscle.

Biological evidence and its implications

Attractors have been analyzed in great detail, for a variety of fixed synaptic matrices in the presence of structural and dynamical noise[5]. The special features of such attractor dynamics originate in the *collective behavior* of a large number of neurons interacting with strong *feedback*. That such features exist in systems of many neurons is beyond doubt. Whether mammal brain makes use of this option is an empirical question. The test is in the observation of *selective, high activity* in well defined regions of cortex, correlated with some *cognitive performance* of the investigated animal, usually a monkey, after the *removal of the stimulus* which provoked the reverberation.

It should be pointed out that as soon as the stimulus is removed, one can expect special activity to persist in the network for a time of the order of the single neuron memory time, which is of the order of 10ms. The experiments of Fuster-Niki-Miyashita-Abeles[6], see e.g. Figure 1, demonstrate clearly and reproducibly that single neurons, in small regions of pre-frontal cortex, become active upon the presentation of certain cognitively articulated stimuli and not upon others. These neurons continue to be differentially active for *tens of seconds*. In these experiments the persistent activity is not allowed to decay by itself, but is stopped in order to allow the continuation of a different experimental paradigm.

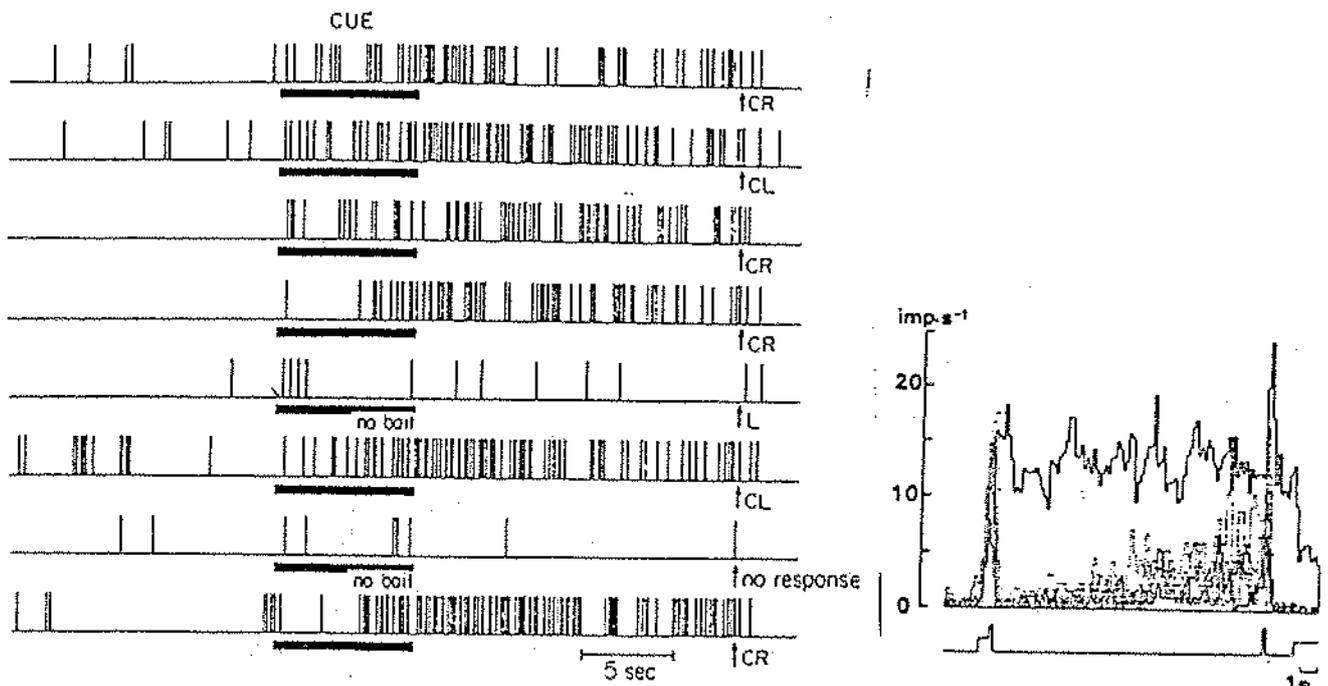


Figure 1: Two examples of persistent, selective elevated activity correlated with a stimulus, in absence of stimulus: Left[6a], spike rasters of seven experiments on one cell in a delayed response experiment. Stimulus is present during the period marked by the heavy bar. Response time marked by arrow. In the presence of bait the elevated activity is sustained for 18sec; Right[6c] activity histograms of a neuron upon presentation of 7 visual stimuli. One pattern provokes the high level and the other 6 do not. Stimulus duration 200ms. Schedule marked under the graph. The elevated rate persists for 16sec.

The lessons to be drawn from these beautiful experiments are:

- Selective, self-sustained reverberations, correlated with an afferent stimulus can persist for an indefinite time.
- Elevated rates of the neurons active in the attractor (10–20spikes/sec) are much lower than the maximal rates allowed in cortical neurons, i.e. 500spikes/sec.
- The level of noise is relatively high, as witnessed either by the relatively high spike rates of the inactive neurons.
- There is an impressive reproducibility of the level of activity induced by a given stimulus in single neurons.

Moreover, and this is particularly impressive in the Miyashita-Chang experiment, the cortical region concerned is engaged in a rather highly abstract computation: e.g. the recognition of an invariance class of visual patterns.

It may be that the computation involved is performed in other regions and the region observed is used merely to preserve the outcome for future comparison with test stimuli. Still, the area observed must have learnt during training, since the responses are stimulus specific. Moreover, the code at this station is an essential ingredient on the way to decoding the process of learning and computing.

Getting closer to experiment

The first step has been the closing of the gap between the intrinsic fast nature of the underlying neural components (500 hz) and the sluggish performance of the neurons in computing areas (10–20 hz). It has introduced rather significant modifications in the models

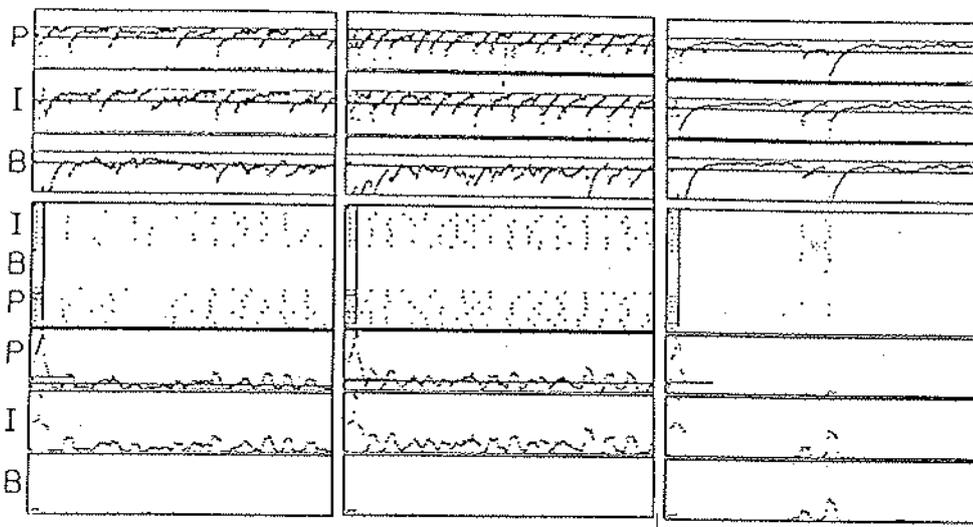


Figure 2: Three runs with different noise levels. From top: intra-cellular membrane potential of three selected neurons. in pattern (P), inhibitory (I), background (B). Horizontal lines are the resting potential (lower) and threshold depolarization. Middle window: spike raster. Bottom rows, small dots, spike times of 7 neurons in pattern (marked P); middle rows, large dots (B), 7 background neurons; top rows, small dots (I), 7 inhibitory neurons. The intra-cellular potential is always that of the bottom line of the spike raster in the corresponding group. Bottom windows: time course of average activity rates. From top: neurons in pattern (P), inhibitory (I), background (B). Parameters of runs: 1000 excitatory, 200 inhibitory neurons, 3 stored patterns, each with 200 active neurons. Spike transmission delays: excitatory $\approx 1.5ms$ inhibitory $\approx 1ms$. Willshaw synaptic matrix among excitatory neurons. All synaptic efficacies (ex-ex, ex-in, in-ex, in-in) equal in magnitude. Thresholds: $\Theta = 0.25 \approx 50$ synaptic inputs. Post-spike hyper-polarization: 0.8Θ . Membrane leak time constants: $8ms$. Stimulus: foreground 40% activated, background errors 5% activated, inhibition 10%, amplitude $0.4\Theta/ms$, duration $10ms$. Duration of run $400ms$. Mean level of noisy afferents (excitatory, inhibitory, respectively. The scale is given by Θ). Left: $T_e = 0.045$, $T_i = 0.042$, rate: 25spikes/sec. Center: $T_e = 0.05$, $T_i = 0.045$, rate: 45spikes/sec. Right: $T_e = 0.035$, $T_i = 0.030$, activity dies down.

of attractors, yet preserved the underlying paradigm of attractors as associative retrieval from synaptic memory.

The main changes have been the introduction by Buhmann[7] of the idea that coherent neural afferents from within the network leave all neurons below threshold. Spikes are emitted due to noise. Foreground neurons, in a given pattern, are less below threshold and hence spike more frequently. But the dependence on noise slows the spiking rates considerably, since the approach to threshold is a random walk. This brings the output of model networks into rather close correspondence with neuro-physiological recordings. The reintroduction of a finite decay time for the neural depolarization as well as random spike transmission delays contribute to the robustness of such basically chaotic attractors.

In Figure 2 one sees three sample recordings from simulations[8] of retrieval processes at three different noise levels. The records show the "intra-cellular" membrane potentials of one out of each of three groups of neurons - in the pattern; in the background and inhibitory. In the middle of each display one sees spike rasters of 7 neurons from each group and at the bottom, the average spike rate in each group. From left to right, one observes strong variation of the rate with the noise level. On the right the noise is significantly lowered and the activity almost disappears, despite the presentation of the same stimulus, as an afferent

current of short duration into a subset of the pattern neurons. In the two left displays the persistent activity of successful retrieval fluctuates in a rather realistic manner.

Perspective: combined effort in physiology and model analysis in search of a code

Our conclusion is that there exists a real possibility of bringing the approach of attractor neural networks into direct contact with experiment. What is required is an intense experimental effort to investigate the details of neural activity statistics in areas in which attractor dynamics is manifest. Theory should determine the type of model parameters which can reproduce the empirical data, in detail. This is a heavy task, but it is very well defined and is achievable in a few years. Its promise is quite significant: it will allow the decoding of representations in a central area of cortex and from there the way is open to functional investigation of learning. In the process one will certainly encounter some new principles of operation which go still unperceived.

What we mean by code is inter alia:

- The fraction of the neurons aroused by a given stimulus;
- The distribution of activity among the aroused neurons;
- The degree of overlap between groups of neurons aroused by different stimuli;
- Post-stimulus spike-time auto- and cross-correlations.

All this information is directly relevant to the determination of the structure and the parameters of potential models. Once a model has been fixed, one can proceed to ask about deeper and more subtle features of the code: such as special temporal correlation among individual spike times, population vector interpretations etc.

On the theoretical side the project is three-pronged: first, the spike records of the simulations must be statistically analyzed to compare more closely with empirical data. Second, the simulated model should be brought under analytic control, by dissecting its operation into separate levels, exposing the roles of the noise; the interaction between rates via synaptic structures; and the connection between the description in terms of spikes and in terms of rates. Third, some of the remaining over-simplifications still present in the simulations must be removed, to check the robustness of the performance of the network to the introduction of more realistic single neuron dynamics.

References

1. W.S. McCulloch and W.A. Pitts, *Bull. Math. Biophys.*, **5**, 115 (1943)
2. S.I. Amari, *IEEE Trans.* C21 1197 (1972).
3. J.J. Hopfield, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **79**, (2554).
4. D.O. Hebb and D.C. Donderi *Textbook of Psychology*, (Lawrence Erlbaum Ass., Hillsdale, NJ, 1987).
5. D.J. Amit, *Modeling Brain Function* (Cambridge University Press, NY, 1989).
6. (a) J.M. Fuster, *J. Neurophysiol.*, **36** 61 (1973); (b) H. Niki, *Brain Res.* **68** 185 (1974); (c) Y. Miyashita and H.S. Chang, *Nature*, **331** 68 (1988); (d) M. Abeles, E. Vaadia and H. Bergman, *NETWORK*, **1** 13 (1990).
7. J. Buhmann, *Phys. Rev.*, **A40** 4145 (1989).
8. D.J. Amit, M.R. Evans and M. Abeles, *NETWORK* in press, (1990).

COLLOQUE : SCIENCES de la COGNITION

SEANCE : THEORIES et MODELISATION des RESEAUX de NEURONES

Conclusions : Relations entre la Physique et les Sciences de la Cognition
Gérard Toulouse (ENS, Paris)

Si on souhaite prendre bonne perspective des divers apports de la Physique aux Sciences de la Cognition, il convient de distinguer trois grands courants d'influences: par le bas, le côté, le haut. En termes quelque peu plus gracieux, on peut s'en faire l'image suivante:

"Dans la maison des sciences cognitives, si la physique remue dans les caves, si elle peut être appelée à tous les étages par l'escalier de service, elle gratte aussi au grenier."

Les deux premiers types d'apports bénéficient à l'ensemble de la biologie, justifiant les actions passées du Ministère à l'interface Physique-Biologie. De fait, les êtres vivants sont des édifices moléculaires et les molécules sont des objets physiques. On sait quel rôle les physiciens ont joué, lors des années quarante et cinquante, dans l'av nement de la biologie moléculaire.

En second lieu, l'instrumentation physique n'a cessé d'élargir la trousse à outils des biologistes, par des perfectionnements progressifs ou des découvertes spectaculaires. Dans le domaine des neurosciences, on songe tout particulièrement aux techniques d'imagerie, tant *in vitro* qu'*in vivo*, depuis l'échelle de la molécule (microscopies électronique, à effet tunnel, à effet de force atomique, etc.) jusqu'à l'échelle de la cellule (visualisation et manipulation optiques) ou celle des tissus (imagerie par résonance nucléaire, caméra à positrons, magnétoencéphalographie, etc.). L'intérêt d'étendre la panoplie des outils se double d'un souci éthique, lorsqu'il s'agit de mettre au point des méthodes d'investigation non invasives pour les cerveaux des animaux supérieurs. Ces méthodes non invasives sont bien sûr les seules acceptables à fin d'étudier le support neuronal de certaines fonctions supérieures propres aux humains, comme le langage. A ce point, on doit rappeler l'existence de la psychologie expérimentale, avec sa longue tradition psychophysique, portant sur l'étude des facultés perceptives: audition, vision (stéréoscopique, colorée, ...), ou motrices: représentations de l'espace et contrôle du mouvement. Sans oublier l'étude des capteurs sensoriels (rétine, cochlée) et l'évaluation quantitative de leurs propriétés de détection et de transduction.

Par la complexité de ses structures et de ses fonctions, par ses capacités d'apprentissage et de mémoire, le système nerveux (comme d'ailleurs aussi le système immunitaire) offre un vaste champ à la modélisation théorique. La théorie des réseaux de neurones, depuis une cinquantaine d'années, a été 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 remarqu e dans ce champ interdisciplinaire. En vérité l'impact a été réciproque. Si les approches physiques ont contribué au renouvellement de l'étude des réseaux en couches, sans rétroaction, du type perceptron (qui servent 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 supérieures). En retour, l'étude des réseaux de neurones a ouvert un nouvel horizon de la physique statistique, vers les 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 par extension de domaines théoriques existants, ou s'ils vont susciter de nouveaux bouleversements conceptuels.

Après le rappel des objets, instrumentations et modélisations physiques, il convient de signaler encore un aspect par où la physique peut contribuer aux sciences de la cognition: son éclairage sur la théorie de la connaissance, évoqué ci-dessous par quelques brèves remarques disjointes.

Sans en être conscient toujours, le physicien dispose d'une sagesse incomparable sur le sujet de la réduction scientifique, car il a acquis l'expérience de nombreux niveaux d'étude superposés, voire parfois même enchevêtrés. Assez souvent dans l'histoire, les physiciens ont réussi à dépasser ce stade infantile du savoir, marqué par l'abus des mots en -isme (leur fréquence d'usage sera un indice pertinent au cours des diverses sessions de ces journées). Les lois physiques parviennent à une compression de l'information (une formule est une courte forme, n'est-ce pas) et à une profondeur logique, qui fournissent des critères d'intelligence, utiles tant pour l'étude des cerveaux que pour la conception de machines. Enfin, d'une part la physique est parvenue à comprendre des phénomènes semblant a priori inaccessibles, en raison de leurs échelles (particules élémentaires, cosmologie) sans commune mesure avec celle où s'est inscrite l'évolution de notre cerveau -- ce qui tend à exalter la puissance cognitive de l'esprit --, d'autre part certaines théories physiques (mécanique quantique au premier chef, mais aussi théorie de la renormalisation, méthode des répliques,...) conservent, en dépit de leur efficacité, un fond énigmatique -- ce qui suggère que l'on touche peut-être là aux bords des capacités cognitives du cerveau d'*homo sapiens*.

SESSION :

Perception et action I

LES RELATIONS ENTRE PERCEPTION ET ACTION

Alain Berthoz.

Laboratoire de Physiologie Neurosensorielle du CNRS.
Paris. France.

Les relations entre perception et action constituent, avec le langage, la pensée, et le raisonnement, un modèle privilégié des fonctions cognitives.

Un des grands atouts de l'étude de la perception et du mouvement est de se prêter non seulement à l'observation du comportement chez l'homme et chez l'animal, mais de plus, de permettre l'exploration des mécanismes neuronaux qui les sous-tendent.

Dans ce contexte, la vision a été depuis 20 ans le modèle pour une approche multidisciplinaire des fonctions perceptives. Les bases neurales des autres mécanismes de la perception et de l'action étaient mal connues, malgré les remarquables découvertes et théories de la Psychologie et de la Physiologie des sensations et du mouvement qui en France furent faites par les écoles de Marey, Wallon, Piéron, Fessard, etc.... Les conséquences de ces découvertes ont été limitées par l'hésitation (motivée parfois par la crainte des effets possibles d'un "réductionnisme" neuronal) à relier l'extraordinaire richesse conceptuelle et expérimentale accumulée au niveau du comportement, avec la moisson de découvertes faites à partir des années 60 par la neurobiologie des systèmes sensori-moteurs.

Cette hésitation fut en partie justifiée car la neurophysiologie du système nerveux central, a été, entre 1950 et 1970 principalement une neurophysiologie de la connectivité sans paradigmes qui permette de relier structure et fonction. De même, sur le plan des modèles théoriques, à quelques exceptions près comme par exemple Lashley, l'ensemble de la pensée dans ce domaine a été dominée par un paradigme "stimulus-réponse" qui empruntait ses concepts d'une part à la cybernétique et d'autre part au béhaviorisme. Les seules théories alternatives proposées ont été celles des neurones "pontificaux" c'est-à-dire l'idée de l'existence d'une hiérarchie bien définie de cellules de commande et de neurones d'exécution. Enfin il s'est installé, contrairement aux enseignements des pionniers eux mêmes, une confusion entre sensation et perception et l'on a vu se développer une Psychophysique et une Neurophysiologie des organes sensoriels considérés séparément (Vision, proprioception, audition, gustation, olfaction). D'où une prolifération de Laboratoires spécialisés chacun dans un organe des sens, ou dans un effecteur musculaire, ou encore dans un sous-système neuronal périphérique sans qu'aucune synthèse puisse être entreprise.

Il est intéressant de noter qu'à la même époque, quelques groupes remarquables en URSS situés dans le sillage de Bernstein et avec la contribution de Mathématiciens de premier plan comme Gelfand, développaient une conception beaucoup plus intégrée et "projective" des relations entre perception et action. A part quelques exceptions notables et des concepts comme celui de la décharge corollaire de Von Holst et Mittelstaedt, la physiologie des réflexes a donc dominé et seulement récemment sont réapparues des travaux sur la flexibilité des réactions en fonction de la tâche et du contexte, sur la présélection des entrées sensorielles, etc... De même une neurophysiologie stimulus-réponse utilisant des stimuli physiques analytiquement définis a prévalu sur une recherche des effets de stimuli naturellement pertinents, idée centrale dans la pensée de Gibson, par exemple. Le concept de "schéma corporel" qui supposait un contrôle de la posture et du mouvement à partir d'une représentation centrale globale, était abandonné au profit de l'idée de chaînes de réflexes emboîtées. La pensée cybernétique a ainsi conduit à considérer des chaînes sensorimotrices en oubliant que le MOUVEMENT ET LA TACHE ETAIENT EUX MEMES DES PRINCIPES ACTIFS DE LA PERCEPTION. Or des découvertes récentes démontrent une influence majeure du mouvement sur l'activité des neurones dans les premiers relais sensoriels suggérant une manipulation interne des informations sensorielles en fonction du mouvement en cours ou du mouvement planifié. La distinction entre sensoriel et moteur s'efface et exige un renouvellement complet de nos conceptions des relations entre perception et mouvement.

Cette limitation conceptuelle de la pensée cybernétique explique aussi que, dans les années 60, des expériences comme celles de Held et Hein, qui ont montré le rôle de l'activité dans le développement des fonctions visuelles chez le chaton, ont paru des découvertes extraordinaires. Elles l'étaient en effet dans le contexte des théories "réactives" de l'époque. Au plan international ce n'est pas un hasard si c'est dans un des premiers grands centres de Sciences Cognitives, créé dans les années 50 à M.I.T. par H. L. Teuber, à qui nous devons rendre hommage, et où se cotoyaient et se cotoient encore, linguistes, psychologues, neurophysiologistes, philosophes, spécialistes d'intelligence artificielle, que cette découverte a été faite.

Il n'est pas étonnant non plus que cela soit dans la clinique Neurologique de R. Jung à Freiburg, où ce maître a rassemblé Psychologues, Neurologues, Neurophysiologistes, Ingénieurs, qu'ait été en quelque sorte redécouvert le rôle de la vision dans la mesure des déplacements propres du corps (la Vection) et ses relations avec le système vestibulaire, qui furent étudiés en premier par le grand Physicien Mach au début de ce siècle, et qu'en soit issu un champ nouveau d'étude de l'orientation spatiale et de la perception du multimodale du mouvement.

Où en sommes nous aujourd'hui et quelles sont les perspectives les plus prometteuses ?

1) Une approche multimodale

Les opérations mentales concernant les fonctions perceptives et motrices font intervenir des coopérations entre plusieurs systèmes sensoriels : pour assurer une reconstruction cohérente et rigoureuse du mouvement du corps dans l'espace, le cerveau utilise des configurations d'information des différents capteurs en utilisant leur complémentarité dynamique et géométrique. Ces configurations sont planifiées en même temps que le mouvement et évoluent donc en fonction du contexte comportemental. La physiologie sensorielle, encore cloisonnée en chapitres correspondant aux "cinq sens" doit être repensée en ajoutant le "sixième sens" qui est celui de l'espace et du mouvement et qui n'est pas le fait d'un seul capteur mais le résultats de la coopération des systèmes visuel, vestibulaire, avec la proprioception musculaire, articulaire, et le sens tactile. Il faut donc fonder une nouvelle approche par l'étude des INTERACTIONS MULTISENSORIELLES menée simultanément avec des concepts et des méthodes empruntés à de nombreuses disciplines.

Il faut comparer cet aspect essentiellement multimodal de la perception avec le concept de "modularité" des systèmes "sensori-moteurs".

Cette question de la fusion des informations sensorielles est un problème difficile. Elle est commune à l'étude du cerveau et à la communauté des roboticiens qui cherchent à réaliser le guidage des robots mobiles. Pour eux comme pour nous se posent le problème de la mise en correspondance des différents espaces sensoriels et moteurs (changements de coordonnées), la question de la planification de l'action, celui de l'adaptation de la prise d'information à la tâche, celui des référentiels ego- ou exocentriques, etc... Pour eux aussi se pose la question, de savoir si le robot doit disposer d'une bibliothèque de représentations prédéfinies, analogues aux formes que les animaux figent pendant la période appelée "critique" par les éthologistes.

Un autre exemple de proposition récente intéressante est celle qui concerne la nature endogène des représentations perceptives et le rôle des oscillations dans les mécanismes sensori-moteurs. Les oscillations, dont parlera Llinas dans sa conférence, sont elles la base de l'activité de représentations endogènes en permanence comparées à la réalité extérieure ? Autrement dit existe-t-il un générateur interne de représentations et ce mot lui-même a-t-il un sens ?

2) Relations entre biomécanique et mécanismes neuronaux.

Il faut aussi considérer que la planification et le contrôle du mouvement, comme l'extraction des informations sensorielles qui permettent d'élaborer des percepts, exige une réduction du nombre considérable de degrés de liberté constitué par les segments corporels. Il est remarquable que cette réduction du nombre de degrés de liberté est pris en compte en partie par les contraintes qu'impose la biomécanique. Il peut paraître étonnant de parler de biomécanique dans un Colloque sur les sciences cognitives mais après tout le cerveau s'est développé pour échapper vite à des prédateurs ou capturer des proies et donc gagner du

temps sur le mouvement de ces lourdes masses que constitue le corps, en particulier dans l'environnement aquatique. C'est en raison des lenteurs qu'impose la mécanique que se sont sans doute développées ces fonctions d'anticipation du futur et de prédiction qui forment une partie des bases neurales des fonctions cognitives.

Les techniques modernes d'analyse du mouvement nous révèlent d'extraordinaires manifestations de la simplification du nombre de degrés de liberté pendant les mouvements : segmentation temporelle et spatiales, stabilisation intermittente, décomposition du mouvement en synergies, etc... qui guideront à l'avenir nos recherches sur les algorithmes centraux de commande.

3) Interaction entre niveau cellulaire et niveau cognitif.

Un exemple : les mécanismes du regard.

L'étude des mécanismes du regard constitue actuellement un exceptionnel modèle de système qui permet de relier l'étude des mécanismes cellulaires et des mécanismes intégrés mettant en jeu des processus cognitifs. La saccade oculaire, par exemple, est le premier mouvement de capture qui apparaît chez l'enfant bien avant qu'il puisse atteindre avec la main ou parler. On connaît en effet maintenant les réseaux locaux de neurones qui contrôlent les saccades oculaires mais on est aussi sur le point d'élucider les mécanismes par lesquelles sont produites des saccades faites vers des cibles mémorisées, on connaît maintenant le rôle du cortex frontal et préfrontal dans la planification des mouvements successifs vers plusieurs cibles et son rôle dans la réalisation de tâches dites d'anti-saccades. Ceci permet d'envisager des tests de déficits fonctionnels dans le domaine de la mémoire spatiale de la planification du mouvement.

Un deuxième exemple : la rotation mentale et la question des cartes spatiales.

Le fait que l'on mette d'autant plus de temps à reconnaître si deux formes sont identiques qu'elles sont inclinées l'une par rapport à l'autre a suggéré que le cerveau effectuait une véritable rotation mentale. Cette question qui était restée dans le domaine de la psychologie expérimentale a maintenant une dimension neurophysiologique grâce à la découverte de Georgopoulos qui a montré que le vecteur moyen qui représente la direction d'un mouvement dans le cortex moteur chez le singe tourne pendant une telle opération. Même si il ne s'agit pas vraiment là des bases de cette rotation, et si le débat reste entier sur le caractère discontinu, symbolique, ou le caractère continu et sub-symbolique de cette opération, cette expérience montre que ces mécanismes neuronaux qui appartenaient à la Psychologie Cognitive il y a encore dix ans, sont maintenant accessibles à condition que coopèrent des spécialistes de différentes approches.

C'est aussi le cas des mécanismes qui permettent de représenter le déplacement du corps dans l'espace et leur mémorisation comme le démontrent les résultats obtenus sur l'hippocampe.

4) Mécanismes adaptatifs.

L'étude de l'acquisition et du développement de la perception et du mouvement, doivent être approfondies car elles peuvent nous montrer, comme c'est le cas pour le langage, ce qui est spécifique dans le cerveau humain, c'est-à-dire, par exemple, la capacité de supprimer ou moduler les " coordinations héréditaires " par des mécanismes corticaux inhibiteurs, et de compléter le répertoire génétique par des mouvements appris.

Cette étude de l'apprentissage est aussi importante en relation avec l'étude des mécanismes de la plasticité neuronale. En effet les recherches modernes montrent, sur deux modèles, celui de l'adaptation prismatique et celui de la compensation des déficits vestibulaires une intervention de stratégies de substitution qui appartiennent au domaine des processus cognitifs. Par exemple, dans la compensation de lésions vestibulaires, le système de représentation cortical des mouvements dans l'espace (cortex pariétal, frontal, insulaire, etc...) peut jouer un rôle décisif complémentaire des mécanismes neuropharmacologiques locaux. Dans les multiples constantes de temps de l'adaptation sensori-motrice à des modifications de l'environnement ou à la suite de lésions ? Une part importante de la compensation ou de l'adaptation est produite par des mécanismes que l'on peut appeler cognitifs car ils font intervenir des combinaisons de mouvements complexes utilisant des représentations de l'espace et du corps.

Il faut donc s'attendre à ce que le cerveau humain puisse faire intervenir, plus que l'animal, des stratégies de substitution dans le cas de lésions et qu'il y ait là un champ nouveau d'étude de la plasticité en relation avec les fonctions cognitives.

Il faut donc construire ce que j'appellerais une **théorie projective** de la perception et de l'action. A une théorie du traitement continu dans des "boucles sensori-motrices" il faut substituer des théories sur la comparaison entre des représentations endogènes et la réalité dynamique produite par le mouvement. Il faut étudier les processus de **décision** qui permettent au cerveau de choisir parmi les multiples significations que lui propose l'environnement. Il faut aussi considérer les relations possibles entre **émotion** et mécanismes perceptivo-moteurs. Les enjeux sont importants tant pour la compréhension du cerveau que pour les domaines d'application.

THEORIES DE LA VISION NATURELLE

Michel Imbert

Université Paris 6/EHESS

Qu'est-ce que voir?

Tout organisme est équipé de capteurs sensoriels qui lui permettent d'acquérir, à partir d'indices physiques présents dans l'environnement, des informations utiles sur le monde dans lequel il habite et se déplace; il est capable "d'emmagasiner" des connaissances sur les objets et les événements qui peuplent son monde, de se former une idée des relations entre ces objets et lui-même. La vision est la modalité sensorielle principale qui permet d'acquérir cette connaissance. On "voit" avec son cerveau tout entier, et l'étude de la vision constitue un chapitre important des *sciences cognitives*.

La vision pose un problème particulièrement difficile. L'intensité en un point particulier de l'image rétinienne, l'illuminance, est déterminée par de nombreux facteurs, notamment la disposition et l'intensité des sources, les propriétés caractéristiques des surfaces réfléchissantes, leur distance et leur orientation par rapport aux sources et à l'observateur, ainsi que l'illumination mutuelle des diverses surfaces. Si l'on connaissait tous ces détails alors pourrait-on calculer à partir de l'illuminance en un point particulier de l'image que forme l'optique oculaire d'une surface, sa distance, sa direction, et son orientation. En vision naturelle cela est impossible, le problème posé ne peut être ramené à un "problème inverse": l'illuminance en elle-même ne permet pas de distinguer les divers facteurs qui la déterminent. En principe, n'importe quelle image rétinienne peut venir d'une infinité de scènes, y compris d'une surface plane, uniforme, illuminée par une source structurée, comme c'est par exemple le cas dans les images projetées sous forme de diapositives. Pour ces raisons là, et pour bien d'autres, les signaux visuels sont terriblement ambigus.

Cependant, en pratique, nous ne sommes pas confrontés à de telles ambiguïtés opérationnelles. Le système visuel s'arrange en effet le plus souvent pour faire le bon choix concernant une scène.

Deux approches théoriques s'opposent sur ce qui constitue les éléments pertinents qui déterminent ce choix. Dans l'approche *écologique* le monde extérieur possède une riche structure composée d'invariants visuels. Ce monde est directement perceptible par une recherche active de l'information, soit par un déplacement relatif de l'observateur par rapport à son environnement, soit en faisant varier les niveaux de résolution où sont reconnus les traits, plus ou moins fins, qui composent une image fixe. A l'opposé, dans l'approche *cognitive*, la perception visuelle suppose une construction mentale, faisant appel à la mémoire et à des "hypothèses" concernant les types les plus vraisemblables d'objets et d'événements que l'on peut rencontrer dans le monde que nous habitons. S'il est vrai que le codage sensoriel primaire préserve certains indices pertinents de la structure, en particulier spatiale, de la scène visuelle, il faut cependant l'aide d'une connaissance *a priori* sur le monde (solidité, permanence, occlusion etc...) pour pouvoir interagir de façon cohérente et consistante avec lui. Elle est l'ensemble des processus qui permettent de récupérer ces propriétés intrinsèques de la scène qui ne sont pas directement données dans l'image rétinienne, elle dépendrait donc de paramètres internes propres au système cognitif. *Sans aide la vision est aveugle.*

David Marr, et la voie de recherches qu'il a ouverte au début des années 80s avec la publication de son livre posthume *Vision*, propose un programme qui nous semble concilier les deux parties. En s'interrogeant explicitement sur la nature du problème que la vision est appelée à résoudre, il s'interroge implicitement sur la nature des structures objectives de l'environnement, nombreuses et diverses, qui devront être représentées, à l'issue de calculs réalisés au moyen de procédures spécifiées, si l'on veut comprendre effectivement ce qui se passe dans la perception visuelle.

Voir est-il une forme d'intelligence?

La vision est "intelligente" dans le sens où "voir" s'apparente à un "raisonnement"; voir reviendrait ainsi à générer des hypothèses, pour ensuite les "tester" en les confrontant à la réalité. La vision est "intelligente" également dans la mesure où elle permet une interaction "appropriée"

avec l'environnement (naviguer dans un espace étendu, identifier des objets innocents ou menaçants, utiles ou dangereux, les localiser pour mieux les identifier, les attraper ou les éviter, ...), la vision existe pour qu'on puisse voir ce que l'on peut faire. Ainsi la façon *biologiquement adaptée* de voir correctement, c'est savoir, par exemple, qu'un prédateur est là, et lui échapper le plus rapidement possible.

Est-il si facile de voir?

Comment une connaissance assurée de ce monde peut-elle être acquise à partir de messages sensoriels bruités et incertains? La difficulté principale vient de ce que l'image oculaire est liée aux objets de façon variable alors même que la perception que nous en avons demeure invariante. Quels sont les facteurs qui limitent ou imposent des contraintes à notre perception du monde visuel? En outre, comment nos attentes peuvent-elles influencer ce qui est perçu? Pourquoi voyons-nous le monde comme nous le voyons?

Les difficultés soulevées par ces questions sont apparentes dès que l'on essaye de bâtir des systèmes artificiels susceptibles d'analyser des images simples, elle est criante, et leur résolution désespérément hors d'atteinte, lorsqu'ils'agit d'en reconnaître de complexes.

Les théories neurobiologiques de la vision naturelle.

Entre les années 60s et aujourd'hui, il y a eu un changement dans ce qui doit être considéré comme important: c'est moins ce qui est traité par une cellule unique et qui implique un traitement sériel, que ce qui distribué et parallèle.

La première tâche du système visuel est de transmettre une copie neurale codée de l'image oculaire dans certaines régions du cerveau où elle est analysée puis transmise à d'autres. En effet, il a été mis en évidence un nombre important d'étapes anatomiques dans le système visuel (rétine, corps genouillé latéral, V1, V2, V3, V4, MT, IT, pour ne citer que la voie visuelle principale qui va sans détour de la rétine au cortex. Ces régions ont des caractéristiques physiologiques différentes et leur lésion entraîne des conséquences diverses, souvent spectaculaires, sur le comportement: on est donc en droit de penser qu'elles jouent des rôles particuliers dans la perception visuelle, la coordination visuo-motrice et

perceptivo-cognitive, chaque région du cerveau, ainsi mise en évidence, "encodant" un aspect différent de l'image oculaire.

Le grand problème:

Si on insiste aujourd'hui, à juste titre, sur l'existence de trajets multiples et parallèles qui transportent différents aspects de l'information visuelle, et de modules corticaux qui les traitent, ce n'est pas sans reconnaître l'existence d'une difficulté majeure. La cohérence immédiate et sans effort de ce que l'on perçoit visuellement ne garde que peu de traces des subdivisions fonctionnelles que réalise le système visuel, déjà dans la rétine, et qui sont conservées, voire accentuées, par les structures visuelles centrales, notamment au niveau du cortex cérébral. Comment se fait cette unification perceptive?

Dans cet exposé, nous nous proposons de montrer comment la coopération de diverses disciplines permet une meilleure compréhension de la façon dont nous entrons en contact visuel avec le monde extérieur. Nous nous efforcerons de mettre en relation ce que l'on sait de la *perception visuelle* avec les mécanismes neurobiologiques qui la sous-tendent, en insistant sur le fait que toute tentative d'explication en termes neurobiologiques de processus psychologiques demande l'élaboration de théories intermédiaires *explicités*.

Perspectives en vision artificielle :

Percevoir = Calculer ?

Olivier Faugeras
INRIA Sophia Antipolis
2004 Route des Lucioles
06565 Valbonne Cedex
FRANCE

Le titre provocateur de cet exposé est un résumé succinct du paradigme poursuivi par les chercheurs en vision artificielle depuis maintenant une vingtaine d'années. Je vais essayer de préciser un peu ce que recouvrent les deux membres de l'équation. J'attends beaucoup des discussions avec mes collègues psychophysiciens et neurophysiologistes qu'ils me disent s'ils sont ou non d'accord avec cette acceptation du mot perception.

L'un des buts de la vision artificielle est de réaliser des systèmes informatiques utilisant des *capteurs* capables de construire et de manipuler des *représentations* de l'environnement. Ces représentations peuvent être *implicites* ou *explicites* et doivent permettre au système informatique ou quelquefois aussi à un humain de faire effectuer par un système robotique des actions sur l'environnement. Elles peuvent être effectuées immédiatement comme dans le cas où le système de vision est utilisé pour piloter un véhicule sur une route ou un système de bras pour effectuer une opération d'assemblage, on dit alors que la vision intervient en boucle fermée. C'est le cas le plus proche de la vision animale envisagée comme moyen d'interaction direct avec l'environnement pour la locomotion ou l'action telle que saisir et manipuler un outil.

Ces actions peuvent aussi être exécutées beaucoup plus tard comme dans le cas d'un satellite d'observation où les images sont utilisées pour construire une carte topographique de la région observée, carte qui servira par exemple à planifier une mission d'exploration pour parler du domaine spatial.

L'idée de lier la perception visuelle à la tâche à accomplir, bien qu'apparemment triviale, a eu des conséquences très importantes puisqu'elle a conduit les chercheurs en vision artificielle à analyser la notion de *contrainte*. L'une des idées assez répandue dans la communauté des scientifiques faisant de la vision artificielle dans les années 60 était qu'il s'agissait d'un problème facile (Marvin Minsky avait même proposé à quelques uns de ses étudiants d'en faire le thème de leur projet de fin d'année scolaire !) et que si l'on pouvait disposer des moyens de calcul suffisants (par exemple des machines très rapides et à très haut niveau de parallélisme) et bien le problème se résoudrait de lui-même: voir, c'était calculer.

Or des analyses récentes [Tso90] montrent qu'il n'en est rien et que le parallélisme, même massif, ne répond pas à toutes les questions qui se posent. Il est nécessaire pour

espérer arriver à poser les problèmes de vision comme des problèmes *possibles* au sens de la théorie mathématique et informatique de la complexité d'étudier de manière assez fine les contraintes provenant de la tâche à accomplir, nous l'avons déjà dit, mais aussi des capteurs utilisés (caméras, télémètres, radars, etc...), et de manière indissociable, de la physique de formation des images qui sont mesurées à l'aide de ces capteurs. Ces contraintes sont utilisées pour réduire la complexité de la tâche de perception en limitant les domaines de variation des variables entrant en jeu et donc la combinatoire.

Pour prendre des exemples concrets de ce type de problématique, je citerai les travaux récents qui ont été faits dans le domaine de la modélisation de la réflectance des objets avec des applications à l'identification des surbrillances, à la modélisation géométrique locale des objets, leur identification. Il y a là tout un domaine de recherche passionnant et en évolution très rapide. Notons cependant que cette approche semble a priori assez éloignée des systèmes biologiques dont il est difficile d'imaginer qu'ils utilisent des modèles sophistiqués de réflectance pour percevoir leur environnement.

Cette approche tournée vers une modélisation quantitative très précise des phénomènes est une caractéristique essentielle de la vision artificielle aujourd'hui où l'on assiste à une formalisation, une mathématisation de la discipline traduisant son arrivée à maturité.

Malgré le risque de simplifier de manière abusive, je crois qu'on peut dire que le consensus actuel en vision artificielle est que pour pouvoir traiter de larges classes d'applications et tendre ainsi vers une certaine généralité, il est nécessaire de savoir extraire de manière dynamique les frontières des régions des images. Ces frontières ou contours, correspondent à une discontinuité d'une des grandeurs mesurées, intensité, couleur, texture, flux optique, disparité. C'est dire que d'une part la notion essentielle en vision artificielle n'est pas la notion de régularité mais celle de *singularité*, celle-ci étant le lindication d'un évènement perceptuel significatif. C'est dire d'autre part que ces singularités ne sont pas recherchées uniquement dans les images elles-mêmes mais aussi sur des images *transformées* par le calcul par des méthodes qui permettent de combiner plusieurs d'entre elles spatialement (stéréoscopie) ou temporellement (flux optique).

Deux idées importantes sont liées à celle de détection de frontière. La première est celle de l'identification de l'origine physique d'un contour de l'image. En effet, un contour image peut avoir des causes très différentes : ombre portée, changement de réflectance, de texture, discontinuité de la distance, etc... l'identification de la nature de celui-ci, si elle est possible est une source inestimable d'information concernant l'environnement mais il s'agit malheureusement d'un domaine ouvert à la recherche.

La deuxième idée est liée une fois de plus à la notion de configuration singulière de contours où la singularité est prise ici au sens où au moins deux contours se rencontrent en un point pour former une jonction. Ces jonctions permettent d'une part de faire des hypothèses sur la nature des contours correspondants sur la position relative locale des surfaces ; dans certaines conditions elles permettent même, d'autre part, d'obtenir une description topologique complète de la scène [Mal87].

La base mathématique de tout cela est la théorie des singularités initialisée par Whitney [Whi55, Dem87].

Afin de nuancer ma position sur l'approche dite "contours" j'aimerais mentionner ici l'existence d'une classe de techniques basées sur l'exploitation directe de l'intensité lumineuse mesurée et de sa relation, à travers le fonction de réflectance des objets (supposée connue ou approximée par une fonction connue), avec la géométrie de ceux-ci [Hor90]. Cette approche permet de poser le problème de l'estimation de la forme des objets comme un problème de calcul des variations qu'on peut ensuite résoudre par des méthodes standards. L'un des gros problèmes de ce genre de technique est sa tendance à produire des résultats plus "lisses" qu'ils ne le sont réellement c'est-à-dire à gommer les discontinuités au voisinage de certains contours.

Il apparait donc une certaine complémentarité entre les techniques "régions" et les techniques "contours" mais la fusion des deux reste à faire.

Cette situation est un excellent exemple d'un problème qui reste à ce jour très ouvert en vision artificielle qui est celui de faire coopérer entre elles plusieurs modalités sensorielles dont chacune produit des interprétations partielles de l'environnement qui peuvent se contredire entre elles.

Tout ceci existe et fonctionne plus ou moins bien sous forme de programmes, quelquefois de circuits ou d'architectures spécialisées, essentiellement pour des petits nombres d'images. Si l'on rajoute la dimension temporelle, deux phénomènes se produisent. Le premier est évidemment l'augmentation considérable de la quantité des données (penser à une séquence vidéo à 25 images par seconde) et le second est l'augmentation de leur redondance. Le premier est un désavantage, l'autre un avantage puisqu'il permet de ne pas les considérer toutes et d'exploiter des contraintes de continuité, spatiales et temporelles, des mesures.

Les idées sont cependant assez similaires à celles que j'ai décrites dans le cas statique à savoir que l'on retrouve dans les méthodes proposées la dualité région-contour. Mais il apparait aussi un phénomène nouveau et tout à fait significatif qui est lié à la caractérisation du mouvement des objets de l'environnement. Cette caractérisation nécessite entre autre l'identification du type de mouvement de ou des objets et en particulier de répondre à la question de savoir si l'objet en mouvement est rigide ou non [Fau90,Fau91], puis éventuellement, de calculer des estimations de sa trajectoire, sa vitesse, son accélération ou de paramètres importants liés à ceux-ci, comme le temps avant impact !

Pour conclure cet exposé, il me semble que concevoir la vision artificielle comme *un problème* est une conception fautive. Il est à mon avis utopique d'imaginer que *le problème* de la vision sera résolu dans x années car il n'y a pas *un* problème mais *des* problèmes qui, comme nous l'avons vu au début de l'exposé, dépendent des tâches que l'on cherche à résoudre. De même qu'il n'existe pas un problème de la vision, pour chacun des problèmes posés par une tâche ou une classe de tâches il est fort probable qu'il existe plusieurs solutions possibles chacune étant optimale dans un certain domaine de coûts. Cette situation se retrouve, je crois, dans le domaine animal où la diversité des systèmes de perception visuelle défie l'imagination.

Si cependant on est très ambitieux et se fixe pour but de développer un système de vision dont les performances sont "en gros" similaires à celles du système visuel humain, il

devient alors impossible d'isoler la perception visuelle extéroceptive d'autres systèmes de perception proprioceptifs qui nous fournissent des modèles de l'état de notre corps tels que celui formé par les canaux semi-circulaires qui forment une centrale inertielle rudimentaire, le système de perception tactile, et de manière générale tout ce qui nous permet de construire une image mentale de notre corps [Mer45]. Il devient aussi très difficile de séparer la perception visuelle des activités cognitives de plus haut niveau auxquelles elle sert partiellement de support, mais ceci est une autre histoire ...

Références

- [Dem87] Michel Demazure. *Géométrie, Catastrophes et Bifurcations*. Ecole polytechnique, 1987.
- [Fau90] Olivier D. Faugeras. On the motion of 3-D curves and its relationship to optical flow. In *Proceedings of the 1st ECCV*, pages 107–117, Springer Verlag, April 1990.
- [Fau91] Olivier D. Faugeras. Sur le mouvement des courbes tridimensionnelles et sa relation avec le flot optique. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1991. à paraître.
- [Hor90] Berthold K.P. Horn. Height and Gradient from Shading. *ijcv*, 5(1):37–75, August 1990.
- [Mal87] Jitendra Malik. Interpreting Line Drawings of Curved Objects. *ijcv*, 1(1):73–103, 1987.
- [Mer45] Maurice Merleau-Ponty. *Phénoménologie de la Perception*. Gallimard, 1945.
- [Tso90] John K. Tsotsos. Analyzing vision at the complexity level. *Behavioral and Brain Sciences*, 13(3):423–469, September 1990.
- [Whi55] H. Whitney. Singularities of mappings of Euclidean spaces. I: Mappings of the plane into the plane. *Ann. Math.*, 62:374–41, 1955.

Les cartes spatiales chez l'animal et chez l'homme

Catherine Thinus-Blanc, CNRS, Laboratoire de Neurosciences Fonctionnelles, UI bis. 31, chemin J. Aiguier, 13402, Marseille cedex 09

Pour le neurobiologiste, la notion de carte est souvent liée à l'arrangement spatial ("mapping") selon lequel se projettent les informations nerveuses, d'origine périphérique notamment, à différentes aires du cerveau. On parle par exemple de cartes rétinotopiques dans les aires corticales visuelles primaires, ou dans des structures sous-corticales comme le colliculus supérieur. En dépit de certaines distorsions ou hypertrophies, on retrouve au niveau de ces cartes un maintien des relations spatiales qui caractérisent les entités physiques qu'elles représentent.

Pour le psychologue, le terme de "cartes cognitives" a véhiculé pendant des lustres l'idée trompeuse selon laquelle l'environnement physique situé hors du champ perceptif du sujet, animal ou humain, serait représenté sous une forme quasiment cartographique. De là à penser qu'une organisation semblable à celle observée au niveau des cartes visuelles devait se retrouver au niveau des structures nerveuses impliquées dans le traitement et la mémorisation des informations spatiales, il n'y avait qu'un pas. Il a été franchi plus ou moins explicitement par certains auteurs.

Cette conception cartographique des représentations spatiales est actuellement totalement dépassée, comme le montrent aussi bien des arguments logiques et psychologiques liés à la fonction de ces "cartes" que des données neurophysiologiques récentes. A la notion d'isomorphisme structural s'est substituée celle d'isomorphisme fonctionnel entre certains aspects de l'environnement et certains des processus nerveux et psychologiques qui **adaptent** le comportement du sujet à ces aspects de l'environnement. C'est la raison pour laquelle le terme de "représentations spatiales" me semble beaucoup plus exact que celui de "cartes".

Que savons-nous des représentations spatiales aujourd'hui ? A la fois peu et beaucoup. On connaît de mieux en mieux de quelles performances elles sont responsables mais on ignore encore beaucoup quant à leurs modes de constitution, de stockage et d'utilisation.

J'illustrerai cet état des connaissances en évoquant tout d'abord quelques travaux réalisés sur l'animal dans le domaine de la **Psychologie** et de l'**Ethologie**. Contrairement au sujet humain qui dispose, du moins dans nos sociétés occidentales, d'un grand nombre d'informations symboliques pour s'orienter dans

l'espace, l'animal ne peut compter que sur sa propre connaissance. Il n'est donc pas surprenant qu'il manifeste parfois des capacités d'orientation très développées car celles-ci conditionnent sa survie. A cet égard, l'animal représente aussi un modèle de fonctionnement cognitif **sans langage**. Dans cette première partie, certains travaux sur l'homme, issus de l'approche psychologique, seront également évoqués.

Dans une seconde partie, je présenterai quelques données parmi les plus marquantes obtenues récemment dans le domaine des **Neurosciences**. C'est au niveau de l'étude de l'hippocampe que des progrès majeurs ont été réalisés, grâce, notamment, à la mise en évidence de "cellules de lieu" qui codent la position du sujet par rapport à l'environnement extérieur. L'aire pariétale est également impliquée dans les mécanismes d'orientation, surtout chez l'homme, mais sa fonction reste encore obscure, car elle est loin d'être aussi spécifique que celle de l'hippocampe.

Parmi les multiples questions soulevées par ces résultats, il en est deux qui me semblent essentielles :

1) Existe-t-il une différence fondamentale entre les systèmes d'orientation chez l'animal et chez l'homme ? Répondre par l'affirmative reviendrait à nier la validité du modèle animal. En revanche, si l'on admet la notion d'une homologie de structures nerveuses, il est alors logique de postuler l'existence d'une homologie de fonctions et d'admettre une **continuité phylogénétique**.

2) Comment s'opère la transition entre l'activité de prise de connaissance, **égocentrée** car dépendante du sujet et des différentes perspectives sous lesquelles il perçoit une situation, et les représentations spatiales de haut niveau, dont la nature même est d'être **exocentrées**, c'est-à-dire indépendantes de tel ou tel point d'observation ? Cette question, posée en termes psychologiques, a son équivalent en termes neurophysiologiques : quelles sont les règles d'organisation, au niveau des projections neuronales, qui font que l'on ne retrouve plus, dans les structures assurant le traitement spatial de haut niveau, les relations spatiales conventionnelles du monde physique telles qu'on les observe dans les aires sensorielles ?

En relation avec ces deux questions, je développerai brièvement une conception qui, dans un souci de **prospective**, peut permettre de mieux cibler les problèmes actuels. Cette conception repose sur la distinction entre des "vues locales", mémorisées sous forme d'**images mentales**, précises et concrètes qui correspondent à l'expérience du sujet animal ou humain se déplaçant dans un espace à deux dimensions et des représentations beaucoup plus abstraites ou **prototypes**. La multiplicité de ces vues locales, générées par l'activité locomotrice pendant l'exploration notamment, serait à l'origine de la constitution

de prototypes, servant à l'orientation mais aussi à l'organisation du recueil ultérieur d'informations. Cette hypothèse admet une continuité dans les différents niveaux de systèmes d'orientation, depuis l'utilisation des seules vues locales (comme cela a été démontré chez les Abeilles, par exemple) jusqu'aux plus hauts niveaux de conceptualisation de l'espace. Un rôle particulier est attribué à la vision considérée comme un véritable sens spatial car elle permet, plus que toute autre modalité sensorielle, l'extraction d'invariants spatiaux au travers de la variation des percepts, corrélative du déplacement.

L'un des problèmes majeurs qui reste posé est celui de la transformation des informations égocentrées en représentations exocentrées. C'est là, me semble-t-il, une des questions parmi d'autres qui, grâce à une démarche qui couple depuis longtemps déjà dans ce domaine d'étude Psychologie et Neurosciences, a suffisamment mûri pour pouvoir être posée aux spécialistes de l'Intelligence Artificielle.

PERCEPTION MULTISENSORIELLE, PLANIFICATION ET CONTROLE DU MOUVEMENT EN ROBOTIQUE

Georges Giralt
Directeur de Recherche au CNRS

LAAS-CNRS
7, Avenue du Colonel Roche - 31077 Toulouse Cédex

Les robots de troisième génération sont définis de manière informelle comme des machines ayant la capacité de raisonner sur la tâche à accomplir et mettant en oeuvre pour son exécution des relations intelligentes entre perception et action.

Ce sont des machines physiques dont une fonctionnalité essentielle est liée au mouvement. Mouvement d'un organe de manipulation, mouvement d'un organe de locomotion, actions qui sont accomplies et contrôlées dans l'environnement physique qui doit être perçu.

Dans l'optique d'actions qui ne se réduisent pas à des tâches triviales, nous développerons les concepts de machine programmable, de fusion multisensorielle et de systèmes de contrôle comportant des niveaux de planification, de raisonnement temps réel et de boucles réflexes.

L'exposé s'appuiera sur les travaux conduits plus particulièrement au LAAS dans le cadre du Projet HILARE depuis 1977. Par opposition d'autres approches qui privilégient soit les aspects intégralement "comportementalistes" soit une extrême centralisation, seront présentées et discutées.

Les relations entre la physique, l'informatique et les sciences cognitives dans l'étude des représentations de l'espace et le contrôle du mouvement. K. Hepp, Ecole Polytechnique, Zürich, Suisse.

The purpose of my survey is the rôle of physics in the understanding of sensori-motor control in human-type brains, both on the biophysical and the distributed control level. On the cellular level, realistic neurons are described by their complex morphology and by electro-chemical (spatially discretized Hodgkin-Huxley-) equations, which in elaborate simulations can have hundreds of state variables (Traub). Synaptic interactions and second messenger reactions introduce even more complexity. Several groups have successfully modeled the interaction of thousands of neurons in "slices" of the cerebral cortex, the cerebellum and the hippocampus. The same structures are also studied in alert behaving monkeys, cats and rats, where the recorded neurons show enigmatic firing patterns in relation to behaviour. There is an enormous gap between the biophysical and the computational level (Marr). Can physics help to bridge this gap as in astrophysics, where one descriptive level relates particle physics to cosmology?

I am moderately optimistic that within the next decades the intermediate level sensori-motor control of eye, head and arm can be linked to a realistic description of cortical and subcortical neural networks. Such a program will give non-trivial answers to a number of important questions in the cognitive neurosciences and in neurology, e.g. to

- the elucidation of the computational power of evolutionary stable structures like the cerebellum;
- the development of regenerative or prosthetic devices to repair lesions in the human brain.

In the gaze-motor system, driven by visual and vestibular input, important neural populations have been characterized morphologically, electrophysiologically and in their behaviour in alert performing animals (Berthoz et al., Highstein et al.). Within the next decade we will be able to construct in terms of realistic neurons the circuits of the vestibular and gaze-motor system including the superior colliculus and cerebellar modules.

Powerful geometric ideas have been developed to analyze multidimensional sensori-motor transformations in the brain, following the observation

(Bernstein) that, in order to become controllable, a high-dimensional dynamical system should reduce its configuration space to low dimensions and should use a task-dependent neural representation of external space as control space. Seminal were the ideas of tensor analysis (Pellionisz and Llinàs) and control theory (Robinson). Recently the importance of Listing's law has been recognized for the eye, head and arm kinematics (Hepp, Straumann et al., Tweed and Vilis) and for the central implementation of motor programs in the superior colliculus (van Opstal et al.) and in cortical arm motor areas (Georgopoulos et al., Caminiti et al., Kalaska et al.). This discloses algorithms, how in the sense of Bernstein the configuration space

$$([0, \infty) \times SO(3))_{eye} \times SO(3)_{head} \times ([0, \infty) \times SO(3))_{arm}$$

could be reduced using transformations in identified neural populations. For these algorithms the behaviour of the system under internal perturbations and reversible microlesions can be predicted and experimentally tested, and will in the future be compared to microscopic simulations.

There is hope to induce regrowth of severed spinal cord connections (Schwab), but it is unclear how in adult man functional circuits can be restored. For repair we need the blue-print of the spinal circuitry, which is unfortunately almost inaccessible in the alert monkey. Therefore the realistic modeling of the gaze-head-arm motor system is very important. If we cannot biochemically induce functional regrowth — which would be the most human solution — then we have to consider to replace lost brain structures by silicon chips (Mead). Cochlear prostheses are the first generation of intelligent devices interfaced to neural structures, and others will follow (Loeb).

As a recommendation for the future let me quote (Feynman) "Scientific knowledge is a body of statements of varying degrees of certainty — some most unsure, some nearly sure, but none *absolutely* certain." and "For a successful technology, reality must take precedence over public relations, for Nature cannot be fooled." Cognitive neurosciences will best develop on the hard ground of reproducible experimental data and reliable and well-documented theoretical interpolations.

SESSION :

Perception et action II

LA PLANIFICATION ET LE CONTROLE DE L'ACTION

Jean Requin

CNRS-LNF, Marseille

Résumé

Depuis une quinzaine d'années, l'étude des mécanismes nerveux qui sous-tendent les processus cognitifs mis en oeuvre dans la planification et le contrôle de l'action est basée sur une stratégie de recherche consistant à combiner les méthodes et les concepts de la psychologie cognitive et des neurosciences. Cette perspective des neurosciences cognitives est justifiée en particulier par l'étroite similarité paradigmatique des deux approches, c'est-à-dire l'isomorphisme entre les modèles du traitement de l'information, basés sur la notion d'étapes de traitement sériellement organisées, et la conception en "patchwork" de l'organisation nerveuse, basée sur la notion de structures macro-anatomiquement dissociables et fonctionnellement spécialisées. Dans ce cadre théorique, l'objectif est d'identifier, avec l'hypothèse d'une correspondance terme à terme, les structures nerveuses qui prennent en charge les étapes de traitement responsables de la planification motrice. Selon les conceptions les plus classiquement admises, la sortie motrice est le résultat de l'activation sérielle d'un ensemble de représentations, hiérarchiquement organisées, du but de l'action, du programme moteur et des commandes du mouvement, qui est assurée par un ensemble de structures nerveuses hiérarchiquement organisées, comprenant en particulier les aires néocorticales associatives, prémotrices et motrices. Les résultats acquis au cours des recherches reposant sur l'utilisation des techniques d'enregistrement de l'activité neuronale, permettant d'analyser les changements fonctionnels de différentes régions corticales chez le singe au cours d'épreuves comportementales inspirées de la psychologie cognitive, apparaissent de plus en plus incompatibles avec cette conception classique. Ils fournissent des arguments croissants pour reconsidérer les relations entre

structures nerveuses et fonctions comportementales, en particulier celles qui impliquent l'utilisation de représentations internes, sur la base de trois notions originales: l'hétérogénéité fonctionnelle des aires néocorticales, la spécialisation fonctionnelle continue des éléments neuronaux et la coopération fonctionnelle de larges populations neuronales dans les opérations de codage. La prise en compte de ces trois notions conduit à une conception dans laquelle les processus représentationnels mis en jeu dans la planification et le contrôle de l'action seraient assurés par des réseaux neuronaux largement distribués, interconnectant de manière souple des unités de traitement modulaires identiquement organisées. Coïncidant avec la remise en cause actuelle des propriétés fonctionnelles (caractère discret ou continu de la transmission de l'information), temporelles (sérialité vs parallélisme) et structurales (la notion d'étape isolable) des modèles du traitement de l'information, cette conception en "network" de l'organisation néocorticale laisse présager une crise paradigmatique dans le domaine des neurosciences cognitives consacré au contrôle central de la motricité; la complexité croissante et le déclin de la puissance explicative du paradigme établi, ainsi que l'apparition de nouveaux cadres théoriques, sont les symptômes détectables d'une telle crise. Si l'incertitude demeure sur les contours précis du nouveau paradigme et sa fécondité dans la production d'hypothèses testables avec les moyens d'analyse dont nous disposons, l'élargissement multidisciplinaire des Sciences Cognitives ouvre dans ce domaine des perspectives optimistes.

Relations entre motricité et perception

Paolo Viviani

Secteur de Psychobiologie, Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education. Université de Genève
24 rue du Général Dufour, CH-1211 Genève 4, Suisse.

L'étude des relations qui existent entre l'organisation de nos actions motrices et celle de nos perceptions s'inscrit dans la problématique plus vaste des rapports que les processus cognitifs entretiennent avec le substrat biologique. On sait que la nature - voire la réalité même - de ces rapports fait aujourd'hui l'objet d'un débat très vif au sein des sciences cognitives (cf. Churchland, 1988). En effet, l'enjeu est de taille. Depuis plus de vingt ans des secteurs importants des sciences cognitives adoptent de façon plus ou moins explicite la conception fonctionnaliste (Putnam, 1971; Fodor, 1975) selon laquelle les seuls aspects des processus mentaux dont on puisse discuter scientifiquement sont d'ordre relationnel et symbolique. De cette prémisse on déduit la conclusion que toute activité mentale peut être conçue comme le résultat de modules algorithmiques autonomes (Fodor, 1983) et, à la limite, que la cognition elle-même n'est qu'une propriété émergente d'un réseau complexe de tels modules. Enfin, la voie est ouverte pour affirmer non seulement la possibilité de principe d'un support non biologique de la cognition, mais aussi l'identité ontologique entre celle-ci et les algorithmes qui la décrivent. En somme, bien que cette position ne soit pas toujours explicitée, la démarche fonctionnaliste semble admettre la possibilité, voire même la nécessité logique, de viser une description des processus cognitifs qui soit indépendante des processus physiologiques sous-jacents. Il n'est pas interdit de penser qu'une telle position épistémologique ait contribué significativement à l'essor de ce courant de recherche connu sous le terme de "connectionisme". Dès lors toute preuve de l'existence dans les processus cognitifs de caractères qui évoquent directement certaines propriétés du substrat biologique apporte un argument de poids contre l'épistémologie fonctionnaliste, et par là même contre les approches scientifiques qui s'y rattachent. En effet, l'existence de tels caractères est suggérée par l'analyse de plusieurs faits expérimentaux et cliniques. Parmi ceux-ci les effets perceptifs induits par les contraintes et principes propres à l'organisation motrice occupent une position privilégiée. Un tel privilège tient d'une part au fait que la perception représente certainement un des accomplissements cognitifs les plus remarquables et, d'autre part, au fait que c'est justement au sujet des processus perceptifs que les plus grands efforts sont consentis actuellement pour prouver leur nature algorithmique et modulaire. En particulier, la plupart des modèles formels des fonctions visuelles et la plupart des simulations électroniques ne tiennent compte que très marginalement du fait que ces fonctions interagissent de façon complexe et multiforme avec le système moteur dont les principes dépendent

argement de ses déterminants biologiques. La mise en évidence d'interactions entre motricité et perception visuelle ne date pas d'aujourd'hui. Les théories motrices de la perception ont même une tradition ancienne qui, pour avoir connu des hauts et des bas, n'en est pas moins restée vivante pendant au moins deux siècles (cf Scheerer, 1984). En effet, depuis les premières tentatives de l'école empirique pour comprendre comment un système visuel basé sur une rétine plate puisse fournir néanmoins une représentation véridique du monde tridimensionnel, l'idée fait surface que les phénomènes perceptifs resteraient essentiellement incompréhensibles aussi longtemps que serait négligé le rôle important que joue notre système moteur. On peut distinguer trois niveaux d'interaction entre composants sensoriels et moteurs, chaque niveau correspondant à une modalité différente selon laquelle le système moteur exprime ces propriétés. La modalité d'interaction la plus familière est celle entre les productions réels du système moteur (mouvements volontaires ou reflexes) et les changements correspondants dans le flux sensoriel afférent. Que ces mouvements soient produits dans un but explicitement exploratoire, ou pour tout autre raison, les composants du flux sensoriel covarient nécessairement en accord avec les lois de l'optique écologique, et ces covariations régulières représentent elles-mêmes une source d'information perceptive (Gibson, 1979). Un deuxième niveau d'interaction entre en jeu en relation avec l'hypothèse - évoquée déjà par Helmholtz et Mach, et largement confirmée par la suite - que la planification d'un mouvement volontaire donne lieu non seulement à l'ensemble de commandes motrices correspondantes, mais aussi à un ensemble d'attentes concernant les effets que le mouvement, au cours de son exécution, induit sur le flux sensoriel afférent. Selon la théorie de la "Copie d'Efférence", ces attentes sont essentielles pour assurer la constance et la stabilité perceptuelle. Nous avons enfin un troisième niveau d'interaction dont l'existence a été elle aussi suggérée pour la première fois vers la fin du siècle dernier, notamment par Mach et Poincaré (Poincaré, 1905). Cependant, ce n'est que récemment que des données expérimentales rigoureuses ont pu étayer cette suggestion. L'hypothèse en question est que le processus de sélection perceptive est à la fois contraint et guidé par les schémas moteurs, c'est-à-dire par la connaissance procédurale implicite que le système moteur possède concernant les mouvements qu'il est capable de produire. L'interaction à ce niveau peut donc avoir lieu, même en l'absence de toute intention de la part de l'individu de produire un mouvement; elle résulte du fait même que, philogénétiquement, les systèmes visuel et moteur se sont développés de manière coordonnée et interdépendante. Dans le but d'illustrer la nature de ces trois niveaux d'interaction, je passerai en revue quelques faits expérimentaux qui s'y réfèrent. Cependant, l'accent sera mis sur le troisième de ces niveaux et sur la perception visuelle des mouvements biologiques. En particulier, j'appuierai ma démonstration sur des données récentes (Beardworth et Bukner, 1981; Viviani et Stucchi, 1989, 1991; Shiffrar et Freyd, 1990) sur la perception de la marche et des gestes de la main.

Bibliographie

- Beardworth, T., et Bukner, T. (1981) The ability to recognize one self from a video recording of one's movement without seeing one's body. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 18, 19-22.
- Churchland, P.M. (1988) Matter and Consciousness: A contemporary introduction to the Philosophy of Mind. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Fodor, J.A. (1975) The Language of Thought. New York: T.Z. Crowell Company.
- Fodor, J.A. (1983) The Modularity of Mind. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Gibson, J.J. (1979) The Ecological Approach to Visual Perception. Boston: Houghton Mifflin.
- Mach, E. (1885) Beiträge zur Analyse der Empfindungen. (traduction anglaise: Contributions to the Analysis of the Sensations. La Salle, Ill.: Open Court Publishing Co.
- Poincaré, H. (1905) La Science et l'Hypothèse. Paris: Flammarion.
- Putnam, H. (1971) The nature of mental states. Dans: D. Rosenthal (Ed.) Materialism and the Mind-Body Problem. Englewood: University of Oklahoma Press.
- Scheerer, E. (1984) Motor theories of cognitive structure: A historical review. In: W. Prinz et A.F. Sanders (Eds.) Cognition and Motor Processes. Berlin: Springer Verlag.
- Shiffrar, M. et Freyd, J.J. (1990) Apparent motion of the human body. *Psychological Science*, 1, 257,264.
- Viviani, P. et Stucchi, N. (1989) The effect of movement velocity on movement perception: Geometric illusions in dynamic displays. *Perception & Psychophysics*, 46, 266-274.
- Viviani, P. et Stucchi, N. (1991) Biological movements look uniform: evidence of motor perceptual interactions. *Journal of Experimental Psychology*: HPP, sous presse

Hiérarchie et parallélisme dans les systèmes sensori-moteurs

M. JEANNEROD
INSERM, Lyon

Résumé non parvenu

MECHANISMS AND NEURAL NETWORK MODELS OF MEMORY

Edmund T. Rolls. University of Oxford, Department of Experimental Psychology, South Parks Road, Oxford, England.

Approach.

By combining anatomical and neurophysiological information about structures in the brain involved in memory, it is now becoming possible to build realistic models of how computations could be performed in the neuronal networks in these structures. These computational models can then be combined with systems level information from neurology, neuropsychology and neurophysiology about the functions being performed by that part of the brain, and the representation of information in the neuronal networks, to produce very rapid advances in understanding how the brain stores memories, and in how other cognitive functions are performed.

Some recent advances.

One part of the brain necessary for the formation of many types of new memory is the hippocampus. If the hippocampus is damaged, amnesia results. In order to clarify how the hippocampus is involved in memory, a neuronal network model of the hippocampus and its return projections to the neocortex based on its connections and synaptic modifiability has been described (Rolls, 1989). The recurrent collateral system of the CA3 pyramidal cells enables any one CA3 cell to connect to any other CA3 cell with a contact probability of approximately 4%, using Hebb-modifiable synapses. It was therefore proposed that the CA3 cells form an autoassociation matrix memory, which provides a basis for episodic memory, and has the properties of completion of partial input stimuli, generalization, and graceful degradation. The dentate granule cell stage which precedes the CA3 pyramidal stage is thought to operate as a competitive neuronal network which with the low contact probability of the mossy fibres from the dentate to the CA3 cells operates to produce a sparse and non-redundant representation of information required for the CA3 autoassociation stage to operate correctly. It is suggested that the CA1 stage which follows the CA3 stage acts by competitive learning to produce an efficiently encoded signal that is returned by the backprojections to the neocortex to guide information storage there according to the (often multimodal) associations detected by the hippocampus (Rolls, 1989).

Proposals.

The theory of hippocampal function presented is at the level of neuronal networks, and is based partly on evidence on the fine architecture of the networks, on the rules of synaptic modifiability incorporated, and on the systems level connections and neuronal activity recorded in this structure during its normal function. It is suggested that an interdisciplinary approach will continue to be extremely important in future in linking anatomical evidence on structure to physiological evidence on modifiability, understanding the global properties of the networks, and thus understanding the role of neural networks in brain function and cognition (Rolls, 1991).

Rolls, E.T. (1989) The representation and storage of information in neuronal networks in the primate cerebral cortex and hippocampus. Ch. 8, pp. 125-159 in The Computing Neuron, eds. R. Durbin, C. Miall and G. Mitchison. Addison-Wesley: Wokingham, England.

Rolls, E.T. (1991) Research directions in the neural basis of memory. In Research Directions in Cognitive Science: European Perspective: Cognitive Neuroscience, eds. W. Singer and G. Orban.

Neural Systems Underlying Different Types of Knowledge

Antonio R. Damasio, MD, PhD
Department of Neurology
University of Iowa College of Medicine
Iowa City, Iowa, USA 42242

The modern practice of the lesion method depends on the availability of: (1) fine structural imaging of the living human brain (based on magnetic resonance scanning) coupled with a reliable methodology for the anatomical study of lesion probes; (2) a large registry of subjects with lesions in different brain sites so that hypotheses regarding the operation of different systems can be experimentally tested in comparable subjects and in appropriate controls; (3) reliable techniques for cognitive measurements; and (4) testable theories regarding the neural basis of specific cognitive processes.

The "new" lesion method is not concerned with "localizing functions" nor is it a context for "localizing lesions." It is quite simply a means to test, at systems level, hypotheses regarding both neural structure and cognitive processes.

Results from memory research will be used as an example of advances made with the lesion method. I will review evidence from the study of global and partial memory disturbances in patients with focal damage in varied cortical and subcortical structures. The emphasis will be on damage to association cortices in the temporal region and hippocampus. I will present evidence from research on retrieval of previously acquired factual knowledge belonging to different conceptual categories and of different taxonomic levels. The findings indicate that the access to such knowledge is regionalized, i.e., depends on different neural systems. The findings also suggest that the neural basis for knowledge access is keyed to (1) the hierarchy of knowledge complexity, and (2) to neuroanatomical hierarchies. For instance, (a) access to knowledge at feature level (e.g., color, shape) depends on local association cortices placed early in the hierarchy of cortico-cortical connections; (b) generic knowledge about objects or events as members of a conceptual category, depends on cortices with an intermediate neuroanatomical placement; and (c) episodic knowledge describing unique objects or events, depend on the higher levels of the hierarchy (those cortices located farthest away from the primary reception areas).

The findings will be interpreted in the perspective of a neural architecture in which the binding of representations is based on neural convergence into consecutive hierarchical neuroanatomical levels, and in which reactivation of bound representations is achieved by synchronous feedback firing. Specifically, this framework systems level proposes an architecture constituted by: (1)

neuron ensembles located in multiple and separate regions of primary and first-order sensory association cortices ("early cortices") and motor cortices; they contain representations of feature fragments inscribed as patterns of activity originally engaged by perceptuomotor interactions; (2) neuron ensembles located downstream from the former throughout single modality cortices (local convergence zones); they inscribe amodal records of the combinatorial arrangement of feature fragments that occurred synchronously during the experience of entities or events in sector (1); (3) neuron ensembles located downstream from the former throughout higher-order association cortices (non-local convergence zones), which inscribe amodal records of the synchronous combinatorial arrangements of local convergence zones during the experience of entities and events in sector (1); (4) feed-forward and feedback projections interlocking reciprocally the neuron ensembles in (1) with those in (2) according to a many-to-one (feed-forward) and one-to-many (feedback) principle. The framework proposes that (a) recall of entities and events occurs when the neuron ensembles in (1) are activated synchronously; (b) the synchronous activations are directed from convergence zones in (2) and (3); and (c) the process of reactivation is triggered from firing in convergence zones and mediated by feedback projections. This proposal rejects a single anatomical site for the integration of memory and motor processes and a single store for the meaning of entities or events. Meaning is reached by time-locked multiregional retroactivation of widespread fragment records. Only the latter records become contents of consciousness.

References:

- Damasio, H. & Damasio, A. R.: Lesion Analysis in Neuropsychology, Oxford University Press, New York, 1989.
- Damasio, A. R.: The brain binds entities and events by multiregional activation from convergence zones. Neural Computation, 1:123-132, 1989.
- Damasio, A. R.: Time-locked multiregional retroactivation: A systems level proposal for the neural substrates of recall and recognition. Cognition, 33:25-62, 1989.
- Damasio, A. R.: Category-related recognition defects as a clue to the neural substrates of cognition. Trends in Neurosciences, 13:95-98, 1990.
- Damasio, A. R., Damasio, H., Tranel, D., Brandt, J. P.: The neural regionalization of knowledge access devices: Preliminary evidence. The Brain Symposium, Cold Spring Harbor Laboratory, (in press).
- Damasio, A. R. (Guest Editor): Seminars in the Neurosciences, "The Neurobiology of Mind" issue, 2(4), 1990.

CONFÉRENCE

Functional Significance of the Intrinsic Electrical Properties of Neurons in the Central Nervous System. Rodolfo R. Llinás, Dept. of Physiology and Biophysics, New York University Medical Center, New York, NY 10016.

The neuron doctrine is one of the most fundamental tenets in modern neuroscience (Ramon y Cajal, 1904). This doctrine assumes that the nervous system, without exception, is composed of cellular elements which maintain their individuality while also providing the foundation for neuronal networks.

I would like to extend the concept of the neuron to include not only its anatomical properties, but also its inherent electroresponsiveness. Thus a thalamic cell cannot be replaced by an inferior olive cell, or vice versa, even if each one of the synaptic connections of the original cell could be duplicated. This implies that the neuron doctrine must be expanded to incorporate the view that the nervous system is comprised of cells with unique morphological and electrical characteristics (Llinás, 1988).

We can summarize these characteristics in four points which are listed below:

1. A certain percentage of vertebrate and invertebrate neurons are capable of intrinsic oscillation in the absence of synaptic activity.
2. These cells oscillate via voltage-dependent ionic conductances modulated by transmembrane voltages or via intracellular chemical oscillators and may be considered pacemaker cells.

3. Most, if not all, cells in the nervous system are capable of resonating constructively at frequencies generated by pacemaker cells.

4. Intrinsic neuronal activity is essential in the generation of global functional states as sleep, dreaming and vigilance. For example, cells in the thalamus and cortex resonate at 10 or 40 Hz, depending partly on the intrinsic properties of some of the neurons in the network (Steriade and Deschenes, 1984).

Of interest here is the fact that, in most cases, intrinsic neuronal activity is related to ionic conductances that are different from those that generate action potential in the axon. Intrinsic activities for the most part are regulated by voltage-dependent calcium or sodium inward current and by voltage- or calcium-dependent outward potassium currents.

References:

Ramon y Cajal, (1904) *Histologie du System Nerveux de L'Homme et des Vertebrates*. Madrid: Instituto Roman y Cajal.

Llinás, R (1988) The intrinsic electrophysiological properties of mammalian neurons: A new insight into CNS function. *Science* 242:1654-1664.

Steriade, M. and Deschenes, M (1984) The thalamus as a neuronal oscillator. *Brain Res. Rev.* 8: 1-63, 1984.

SESSION :

Langage I

FONDEMENTS BIOLOGIQUES DU LANGAGE

Jacques Mehler
Laboratoire de Sciences Cognitives et Psycholinguistiques
CNRS/EHESS
54, Boulevard Raspail
75006 - PARIS

Le langage, faculté biologique, converge sur la langue, faculté psychologique spécifique et caractéristique de l'espèce humaine. La psycholinguistique, discipline qui étudie les procédures de compréhension et de production de la parole, est concernée par le traitement en temps réel du signal de parole tandis que la linguistique s'intéresse plus particulièrement aux connaissances que l'on possède sur le langage. La psycholinguistique utilise les données obtenues par la méthode expérimentale pour élaborer des modèles de la performance adulte. Une telle modélisation peut être d'avantage contrainte grâce aux données provenant des études sur l'acquisition des compétences. Comment l'enfant peut-il converger sur les facultés adultes à partir de son patrimoine et du milieu dans lequel il est élevé?

La psycholinguistique s'est considérablement enrichie par l'étude de conduites autres que celles des seuls adultes. Les nouveaux nés nous fournissent des informations précieuses sur le patrimoine génétique qui permet l'émergence du langage. Les adultes cérébrolésés nous fournissent des données précieuses qui nous permettent d'évaluer les modèles qui ont été bâtis avec des données obtenues avec des sujets normaux. Des adultes appartenant à des communautés linguistiques bien distinctes nous fournissent des données qui sont, elles aussi, d'une grande valeur. Il est intéressant d'évaluer, à travers des langues différentes, le rôle de diverses contraintes phonotactiques et lexicales. Les résultats obtenus suggèrent que même les premières étapes du traitement perceptif sont affectées par la structure de notre langue maternelle.

01
02

01
02

STRUCTURE DU LANGAGE ET ACQUISITION DU LANGAGE

Universaux linguistiques et limites sur la variation

Le cadre conceptuel de référence est celui de la grammaire générative: il s'agit de construire des modèles explicites de la compétence linguistique du locuteur, l'ensemble des connaissances linguistiques tacites qui sont à la base de notre capacité de parler; il s'agit également d'étudier la nature de la faculté du langage, la capacité cognitive propre de l'espèce qui nous permet d'apprendre une langue naturelle dès la jeune enfance.

Considérons, d'abord, la question de l'apprentissage. L'acquisition de la langue maternelle par le jeune enfant est rapide et indépendante de tout enseignement explicite. Le système des connaissances linguistiques acquises est très riche et fondamentalement uniforme à travers une communauté linguistique, en dépit d'une expérience fragmentaire et individuellement variable. Tout cela suggère une forte prédisposition génétiquement déterminée, comme dans l'acquisition d'autres capacités propres de l'espèce: l'apprenant est équipé a priori à chercher certaines généralisations et à en écarter d'autres.

En revanche, les langues humaines diffèrent les unes des autres, les systèmes de connaissance auxquels l'apprenant aboutit peuvent, à première vue, varier considérablement, et l'acquisition d'un système plutôt qu'un autre dépend crucialement de l'expérience dans la jeune enfance. Il y a donc une sorte de paradoxe qui se pose: comment concilier une forte prédétermination avec la diversité des systèmes acquis et le rôle apparemment décisif de l'expérience?

Le paradoxe tend à disparaître dès que l'on étudie précisément la variation effective des langues. La linguistique comparative récente montre que les langues ne diffèrent pas arbitrairement, bien au contraire, elles ont une structure fort uniforme.

A. Il y a, d'abord, des universaux linguistiques, des propriétés invariantes très structurées. Par exemple, l'organisation des mots en syntagmes se fait fondamentalement de la même manière à travers les langues, quel que soit le degré de liberté dans l'ordre des mots que la langue admet: un syntagme est la projection d'un mot, la tête, qui sélectionne des compléments et des spécificateurs. Aucun autre principe organisateur n'est envisagé par les systèmes linguistiques humains, parmi l'infinité des possibilités concevables.

B. deuxièmement, même dans les domaines variables, il y a des fortes limites sur la variation possible. Considérons l'ordre entre le verbe et ses compléments, le cas fondamental de rapport tête-complément. Il y a deux types fondamentaux: ou bien le verbe précède les compléments dans l'ordre basique (comme en français), ou bien il suit les compléments (comme en japonais). Il n'y a pas de types intermédiaires où le verbe serait entouré par ses compléments, précédé par certains et suivi par d'autres (cf. Koopman 1984).

Bref, la linguistique comparative confirme un très fort taux d'invariance interlinguistique. L'étude de la structure des langues et l'étude de l'acquisition convergent ici, en ce qu'ils exigent, de façon complémentaire, une théorie restrictive de

l'invariance et de la variation linguistique possible.

Principes et paramètres de la grammaire universelle. Nous appelons grammaire universelle un modèle abstrait de l'état cognitif initial de l'apprenant, avant toute expérience linguistique (abstraction faite des processus de maturation éventuellement en jeu). Nous pouvons conceptualiser la grammaire universelle comme une structure modulaire, dont les composantes sont définies par deux objets: les principes et les paramètres. Les principes définissent l'invariance. Les paramètres caractérisent l'espace limité de la variation possible. Apprendre une langue veut dire, dans ce cadre conceptuel, fixer les paramètres sur la base de l'expérience, et dériver ainsi une instantiation spécifique de la grammaire universelle, la grammaire d'une langue particulière (Chomsky 1981). L'acquisition d'une langue est donc conçue comme un processus de sélection, sur la base de l'expérience, à partir d'une classe de possibilités définie et restreinte par la nature même de notre capacité cognitive.

Un simple exemple, tiré du module concernant la forme et l'interprétation des pronoms, permettra d'illustrer le jeu respectif des principes et des paramètres. Tout locuteur du français saisit que l'interprétation du pronom il diffère dans les deux phrases suivantes: (1) Jean espère qu' [il gagnera] (2) * [Il espère que Jean gagnera] en ce que seulement dans la première le pronom peut se référer à Jean; en général, le locuteur peut indiquer clairement si un pronom et une expression nominale peuvent être coréférentiels (se référer au même individu) ou non, également dans des phrases qu'il n'a jamais entendu auparavant; en fait, en principe, cette capacité s'étend à une infinité de structures; évidemment, le locuteur possède la connaissance tacite d'une loi générale régissant l'interprétation des pronoms, et il l'applique automatiquement et inconsciemment quand il est confronté à une phrase nouvelle contenant un pronom. Cette connaissance implicite de tout locuteur peut être explicitée et exprimée en termes de configurations syntaxiques: c'est le principe de non-coréférence, qui interdit la coréférence entre un pronom et un nominal qui se trouve dans le domaine syntaxique du pronom, le constituant qui contient immédiatement le pronom, indiqué par les parenthèses en (1)-(2), (cf. Lasnik 1976). Or, le principe de non-coréférence est universel: il semble qu'en aucune langue la structure analogue à (2) n'admette la coréférence; en outre, les données de l'acquisition suggèrent que ce principe n'est pas appris inductivement, par preuve, erreur, correction, généralisation, etc.: les enfants semblent le connaître inconsciemment à priori, puisque il est systématiquement respecté dès que l'apprenant est capable d'utiliser des structures de la complexité requise (Crain & McKee 1986). L'universalité de la restriction sur la coréférence et la modalité de son acquisition, ainsi que des considérations de pauvreté du stimulus, supportent fortement l'hypothèse que le principe de non-coréférence soit un principe de la grammaire universelle.

Mais s'il est vrai que notre capacité d'interprétation des pronoms est en partie prédéterminée, d'autres aspects de notre connaissance du système pronominal sont certainement déterminés par l'expérience. Un cas pertinent est le fait qu'en français (comme en anglais et dans d'autres langues) le pronom sujet ne peut pas être omis (*___gagnera, *___will win ne sont pas des

phrases bien formées), tandis qu'en italien et dans les autres langues romanes on a cette possibilité (___vincerà, etc.). Nous avons affaire ici à un paramètre de la grammaire universelle, le paramètre du sujet nul (Rizzi 1982, ch. 4, 1990), une option grammaticale que certaines langues adoptent, une propriété que l'enfant apprendra sur la base de son expérience linguistique. Il est à remarquer que le pronom nul de l'italien se comporte comme le pronom prononcé du français par rapport au principe de non-coréférence: Gianni dice che ___ vincerà * ___ dice che Gianni vincerà.

Implications. La théorie des paramètres a créé un cadre de référence unifiant où peuvent être intégrés plusieurs secteurs traditionnels de la recherche linguistique et psycholinguistique.

Le premier cas concerne les études typologiques. La typologie linguistique montre que les propriétés variables à travers les langues ne varient pas arbitrairement les unes par rapport aux autres; elles tendent à s'organiser en corrélations systématiques. Par exemple, les langues qui n'admettent pas des sujets phonétiquement nuls (*___viendra) n'admettent pas non plus l'inversion libre du sujet (*___viendra Jean), ni l'extraction du sujet d'une phrase subordonnée à travers le complémentateur (*Qui crois-tu que ___ viendra?), tandis que les langues à sujet nul admettent ces trois possibilités (par ex. en italien: ___ verrà, ___ verrà Gianni, Chi credi che ___ verrà?). L'approche paramétrique permet, dans certains cas, d'expliquer de telles corrélations. Les paramètres de la grammaire universelle peuvent être conceptualisés comme les différences irréductibles entre les systèmes grammaticaux particuliers. Ces différences irréductibles interagissent avec la structure deductive constante de la grammaire universelle; le résultat d'une telle interaction est de multiplier les effets observables d'une seule bifurcation primitive. On peut suivre ce chemin à l'envers, et ramener plusieurs différences observables à une seule différence primitive, la fixation d'un paramètre (Kayne 1984 ch. 5, Pollock 1989).

Dans le cas du paramètre du sujet nul, il paraît possible de relier ultérieurement, d'une façon complexe, la différence entre les deux types de langue à la pauvreté relative du paradigme flexionnel du français par rapport à l'italien. La pertinence de la richesse flexionnelle est confirmée par des données diachroniques, par exemple par le développement des langues scandinaves. Platzack(1987) a montré que les langues scandinaves continentales ont perdu l'option du sujet nul (et les autres propriétés "italiennes") dans le courant du XVII siècle, en concomitance avec la perte de la morphologie d'accord verbe-sujet. En général, l'approche paramétrique prend des risques prédictifs important (et a donc une réelle potentialité explicative) par rapport au changement linguistique. Quand la propriété directement liée à une valeur d'un paramètre change dans l'histoire d'une langue, on prédit que, au bout d'une période d'instabilité, la langue en question devra perdre toutes les propriétés gouvernées par ce même paramètre abstrait (ou bien que ces propriétés devront perdre un statut entièrement productif, et se cristalliseront sur certains niveaux stylistiques spéciaux, etc.). On peut ainsi rendre compte de certaines restructurations rapides et radicales des systèmes linguistiques, parfois après des longues périodes de

stabilité (Roberts 1985).

Un troisième secteur, qui nous ramène aux implications cognitives, est constitué par la psycholinguistique du développement. On sait que l'acquisition du langage chez l'enfant ne procède pas par une progression constante, mais par "sauts": des périodes où le système acquis est relativement stable se terminent par des restructurations abruptes, suivies par d'autres périodes de stabilité, etc. Or, il a été proposé que certaines de ces restructurations pourraient être ramenées à la refixation de certains paramètres. Le paramètre du sujet nul est encore pertinent ici. L'enfant qui apprend le français, l'anglais, etc. passe à travers une phase, vers l'âge de deux ans, où il omet librement les sujets (*want more milk, est pas couteau, etc.*). Hyams(1987) a proposé que cette phase représente la même option grammaticale en jeu en italien, espagnol, etc. L'apprenant passerait donc toujours par une phase initiale "italienne", qui représenterait la valeur non-marquée du paramètre du sujet nul, et qui serait ensuite abandonnée si elle entre en contradiction avec l'expérience.

Cette approche a déclenché un débat important et déterminé une nouvelle phase de collaboration étroite entre linguistique théorique et psycholinguistique du développement. Il faut retenir de l'hypothèse originale de Hyams l'idée que l'omission des sujets chez l'apprenant manifeste une véritable option grammaticale; il paraît par contre peu probable qu'il s'agisse de la même option en jeu en italien et espagnol "adultes" pour les raisons suivantes:

1. on trouve la phase du sujet nul dans l'apprentissage de toutes les langues, quelle que soit la richesse morphologique du système (et à un moment du développement où l'enfant est déjà capable d'analyser certaines propriétés morphologiques raffinées; cf. Deprez et Pierce 1990).
2. Les sujets nuls tendent à ne pas se manifester dans les questions où l'élément interrogatif a été anteposé (p. ex., dans l'apprentissage de l'anglais on trouve fréquemment ___ eat(ing) pizza, mais très rarement What ___ eat(ing)?; Valian(1990).
3. Les sujets nuls n'apparaissent jamais dans les premières subordonnées (p.ex.:, ___ know where I go, Roeper et Weissenborn (in press)).

Ces propriétés rendent ce cas très différent du sujet nul des langues romanes, et très semblable au sujet nul familier des langues germaniques (par exemple en allemand, suédois, etc.: (Ich) habe es gestern gekauft), qui est aussi limité à la position initiale absolue, et indépendant de la richesse morphologique. Admettons que ce "Sujet Nul de la Racine" (SNR) ne soit légitimé que dans le spécificateur de la racine, la catégorie qui domine la structure phrasale complète. On peut alors faire la conjecture que le SNR est possible dans une phase de l'apprentissage où l'apprenant n'a pas encore maîtrisé le complémentateur et sa projection, et où la projection de la flexion, IP, est donc la racine. Cette option reste disponible dans la phase adulte des seules langues où le spécificateur de la racine (généralement la projection du complémentateur, CP) peut être une position argumentale, et donc un hôte adéquat pour le SNR. C'est le cas, par exemple, dans les langues "à V2", les langues germaniques contemporaines sauf l'anglais.

L'analyse du sujet nul enfantin est importante pour la conceptualisation de la fixation des paramètres. Doit-on

concevoir cette opération comme un processus quasi-instantané, que très peu de données suffisent à déclencher? Où bien doit-on penser à la fixation des paramètres comme à une opération inférentielle complexe, qui exige un temps relativement long et l'accès à des données relativement denses et structurés? S'il n'y a pas de refixation des paramètres, la première approche est confortée, et l'idéalisation classique de l'acquisition instantanée (Chomsky 1965) reçoit une légitimation surprenante de l'étude du développement.

Bibliographie

- Chomsky, N. (1965) Aspects of the Theory of Syntax, MIT Press.
- Chomsky, N. (1981) Lectures on Government and Binding, Foris Publications, Dordrecht.
- Chomsky, N. (1986) Knowledge of Language, Praeger, New York.
- Crain, S. & C. McKee "Acquisition of Structural Restrictions on Anaphora", NELS 16, University of Massachusetts, Amherst.
- Deprez, V. & A. Pierce (1990) "A Crosslinguistic Study of Negation in Early Syntactic Development", Boston University Conference on Language Development.
- Hyams, N. (1986) Language Acquisition and the Theory of Parameters, Reidel, Dordrecht.
- Kayne, R. (1984) Connectedness and Binary Branching, Foris Publications, Dordrecht.
- Koopman, H. (1984) The Syntax of Verbs, Foris Publications.
- Lasnik, H. (1976) "Remarks on Coreference", Linguistic Analysis, 2.1.
- Platzack, K. (1987) "The Scandinavian Languages and the Null Subject Parameter", Natural Language and Linguistic Theory.
- Pollock, J.-Y. (1989) "Verb Movement, Universal Grammar, and the Structure of IP", Linguistic Inquiry, 20.
- Rizzi, L. (1982) Issues in Italian Syntax, Foris Publications, Dordrecht.
- Rizzi, L. (1990) Relativized Minimality, MIT Press.
- Roberts, I. (1985) "Agreement Parameters and the Development of English Modal Auxiliaries", Natural and Language Linguistic Theory.
- Roeper, T. & J. Weissenborn (in press) "How to Make Parameters Work", in L. Frazier & J. de Villiers (Eds.) Language Processing and Language Acquisition, Kluwer, Dordrecht.
- Valian, V. (1990) "Syntactic Subjects in the Early Speech of American and Italian Children", Hunter College, New York.

24
25

24
25

Theories of Language Acquisition

Annette Karmiloff-Smith
Medical Research Council
Cognitive Development Unit, London

Theories of language acquisition can be divided into two categories: those which presuppose domain-neutral structures and processes, and those which posit domain specificity, i.e. the operation of a specifically linguistic module.

The domain-neutral approach to language acquisition holds that language is dependent on non-linguistic cognitive structures or on the socio-cultural paradigm of human interactional patterns. More recently, the connectionist paradigm (massively parallel sub-symbolic processing yielding rule-like performance without representational of rules) is growing in popularity with a number of developmental psycholinguists who deny domain specificity. Although the cognitive, social and connectionist views differ substantially at one level, they are similar at another in that all see language as a special case of domain-neutral structures and processes.

At least four general facts can be called upon to challenge the domain-neutral stance:

1. Whereas general problem-solving abilities increase with age, there is a sensitive period for language acquisition. The capacity to acquire one or several languages as a native speaker is at its peak early in development (between infancy and puberty) after which it dramatically declines.
2. There are no formal non-linguistic correlates of universal linguistic principles. No amount of Piagetian-inspired appeals to precursors of linguistic recursivity existing in infants' reiterated sucking schemes, or to natural order of events in the world reflecting word order, can account for linguistic principles such as subadjacency which children never violate. Research has clearly demonstrated that the language-learning child is sensitive to linguistic structure-

dependent order of noun phrases and verb phrases, not merely to domain-neutral serial order of sounds mapped onto objects and events.

3. The linguistic input is open to an infinite number of inductions. Were domain-neutral generalizations operative in language acquisition, then numerous inappropriate inductions would be made by the child. But they are not. Domain-specific linguistic constraints operate on the inductions that children do and do not make.

4. The Piagetian and most other domain-neutral cognitive accounts of language acquisition would predict that cognitive retardation must necessarily result in linguistic retardation. Such predictions turn out to be wrong, since studies of certain children with internal hydrocephaly and spina bifida, as well as those with William's Syndrome (le syndrome de Beuren) show that complex syntax and lexico-morphology (correct grammar, eloquent vocabulary, appropriate pragmatics, etc.) can coexist with very severe general cognitive retardation. Moreover, neuropsychological data on adult brain damage shows that aspects of language can be selectively impaired or selectively spared, again suggesting that language is not part of domain-neutral cognition.

Thus, the evidence seems to support domain-specific over domain-neutral structures and processes underlying language acquisition. In other words, linguistic universals do not reduce to cognitive universals.

Theories that fall under the domain-specific view are in the main nativist accounts that posit that the neonate possesses a number of linguistically-relevant structures and processes from the outset. It is still an open question as to whether the innate linguistic specification is completely detailed at birth and a process of selection merely fixes brain circuits according to the particularities of the child's native tongue (selection of pathways being lost after puberty), or whether a skeletal outline of linguistically-relevant structures guides the child's attention to linguistic input and a more active process of subsequent learning is involved. Whichever turns out to be correct, there is no doubt that the human infant is attentive to specific features of linguistic input from early on. Jacques Mehler's paper, which precedes mine, will deal with this early stage in detail.

Those who accept the nativist stance opt in the main for the

Chomskyan view of universal grammar, although the arguments in this paper would remain substantially unchanged should one prefer lexical-functional grammars or one involving universal implicatures. Whichever innately specified linguistic structures one opts for, a language acquisition theory still has to explain how the infant segments the speech stream of her native tongue into meaningful linguistic units, how she analyzes the world into objects and events relevant to linguistic encoding, and how she cracks the problem of the syntactic and semantic mappings between these two levels. The domain-specific account claims that this could not be done without specifically linguistic constraints guiding the child's processing of proprietary inputs.

This paper will not focus on the segmentation problem since Jacques Meler's paper will cover this important aspect of how the infant stores linguistically-relevant representations on which the subsequent mapping can operate. Here, I will concentrate on the types of semantic and syntactic constraints which guide the child's hypotheses during early language acquisition, as well as touch on some important aspects of subsequent language development as children start to build theories about language, i.e. become little grammarians in their own right.

Language acquisition theorists have proposed two important processes by which children build up their knowledge of their native tongue: *semantic bootstrapping* (the use of semantics to work out the syntax) and *syntactic bootstrapping* (the use of syntax to work out semantics). Semantic bootstrapping involves word-to-world mappings, i.e. observational learning during which the child looks for evidence in the world of the use of particular meanings encoded in words. By contrast, syntactic bootstrapping involves sentence-to-world mappings in which the child focuses on the design of the intralinguistic system itself, e.g. the subcategorization structures such as number of arguments in near synonymous verbs such as look/see, drop/fall. New methodologies using cross-modal mapping have demonstrated how early these capacities are in place. It will be argued that neither learning process alone would enable the child to acquire its native tongue, but that a contribution from both syntactic and semantic bootstrapping, together with the specifically linguistic innate constraints, enables the infant to become a fluent-speaking child.

The acquisition of a complex language takes place spontaneously, effortlessly and rapidly in all normal children and even in some otherwise very retarded children. By the time the child is 3 or 4 years, she speaks and understands relatively fluently. But children go beyond fluent output and efficient communicative strategies. As Gleitman, Gleitman and Shipley eloquently stated:

"Young children know something about language that the spider does not know about web-weaving".

So language acquisition theories focusing solely on the early period do not account for the following type of data from a 4 year old:

Child: "What's that?"

Adult: "A typewriter"

Child: "No, you're the typerwriter, that a typewrite"

(equivalent, using a different French word: "non, c'est toi la ironçonneuse, ça c'est une ironçonne")

Why does the young child not simply accept the word supplied by the adult? Why does she bother to work out that the formal function of the suffix "-er" is agentive? This simple example is typical of much of subsequent language acquisition. Children build theories about language as a system and our theories of their acquisition must include an explanation of this also.

Whilst supporting the domain-specific view of initial language acquisition, I shall conclude the paper by claiming that a domain-neutral process of representational redescription (highly constrained by the domain-specific structures of the representations over which it operates in any particular domain), allows the child to extract knowledge embedded in linguistic procedures for the production and perception of language and rerepresent that knowledge in a data structure. It is on the basis of the new representations that the child's theory about the linguistic system is built. A domain specific approach offers the best account of the early stages of language acquisition but ultimately some, but not all, of the child's knowledge about language can be brought into representational relationships with other aspects of cognition. If connectionist models are to capture any aspect of language acquisition, they will need to incorporate prespecified linguistic constraints and will have to be supplemented by second order connectionist systems or by classical symbolic systems to account for subsequent development.

Universaux du langage et diversité des langues.

J-Y Pollock. Université Rennes II. GDR 120 CNRS.

Les quatre questions suivantes définissent un programme de recherches pour les études sur le langage:

- (1) Comment caractériser de façon totalement explicite le savoir linguistique des locuteurs adultes, leur "langue interne" (LI).
- (2) Comment LI se développe-t-elle chez les locuteurs?
- (3) Comment LI est-elle mise en œuvre dans la pratique langagière effective des locuteurs?
- (4) Quels sont les mécanismes physiques et neurologiques sur lesquels reposent LI et sa mise en œuvre?

Résolument mentaliste, ce programme est poursuivi depuis trente cinq ans par une branche importante de la linguistique dans un grand nombre de pays¹. Si on tente de répondre à ces questions, on s'interroge sur un *savoir*, donc une réalité psychologique et, donc, si on refuse le dualisme, biologique. Répondre à (1) c'est tenter de caractériser abstraitement un état de notre cerveau : la linguistique, conçue comme une réponse à (1), est une branche de la psychologie cognitive. Cela ne veut pas dire qu'en matière de langage il faille ignorer d'autres domaines ou qu'il soit impossible de traiter rationnellement de ses aspects sociologiques, par exemple. Il suffit qu'il soit concédé que (1), (2), (3) et (4) définissent conjointement un objet d'étude licite

Parmi elles on pourrait a priori souhaiter privilégier (4). Des problèmes éthiques, techniques et théoriques rendent ce choix difficile. L'éthique interdit les expérimentations dangereuses sur l'homme. Malgré cela il est possible d'étudier l'audition et la vision humaines de façon directe parce qu'on expérimente sur les animaux en ces matières et qu'ils partagent ces facultés avec l'homme. Mais il n'existe pas d'autre espèce capable de langage --s'il y en avait on les tiendrait probablement pour "humaines" éthiquement-- donc nous ne pouvons procéder ainsi pour répondre à (4). Dans l'état actuel de la technologie il faut donc se satisfaire de l'expérimentation "naturelle" que constituent pathologies et traumatismes, ce qui ralentit la progression des connaissances. De plus, à moins de disposer d'une théorie capable de répondre à (1), il est difficile de savoir ce qu'il faut tenter d'isoler en (4). Fournir des réponses à (1) semble donc constituer aujourd'hui un domaine d'étude central: cela ne veut pas dire, bien entendu, que la linguistique puisse se passer des neurosciences.

Répondre à (1) est la tâche spécifique (d'une des branches) de la linguistique. Cette discipline traite donc à un niveau fonctionnel abstrait de réalités biologiques auxquelles elle n'a pas accès de première main. C'était là le lot de certaines sciences expérimentales au siècle dernier: de nombreuses entités isolées alors en biologie ou en chimie, comme les molécules ou les gènes, n'avaient pas de corrélats physiques identifiés. Elles étaient néanmoins développées avec succès pour des raisons internes. Il n'y a pas de raisons de penser que l'entreprise sera moins fructueuse en linguistique. Par ailleurs (1) est premier par rapport à (3): puisque la production et la reconnaissance de la parole dépendent d'un savoir linguistique il semble judicieux de s'interroger sur la caractérisation de ce savoir pour pouvoir apporter des réponses à (3). Cela ne veut pas dire qu'il soit impossible de construire des "parsers" dès maintenant, par exemple, mais seulement que nous aurons d'autant plus de chances de parvenir à un modèle psychologiquement réaliste de la production/reconnaissance de la parole que nous disposerons de réponses assurées à (1).

Un examen rapide suffit à montrer que toute caractérisation de (1) est complexe et subtile. Chaque locuteur comprend et produit des phrases qu'il n'a jamais entendues auparavant; les locuteurs ne traitent pas les phrases de leur langue comme de simples suites juxtaposées: ils leur assignent des catégories et des structures complexes, responsables parfois d'ambiguïtés (cf. Marie a frappé l'homme avec un parapluie)

¹ Voir par exemple Chomsky (1986), (1990), Pollock et Obenauer (1990).

Chaque locuteur effectue des computations mentales sur les suites qui dépendent des structures qu'il leur assigne (cf. par exemple la non ambiguïté de C'est l'homme que Marie a frappé avec un parapluie, de C'est l'homme avec un parapluie que Marie a frappé, et de C'est avec un parapluie que Marie a frappé l'homme), leur attribue des statuts différents allant du bien formé à l'inacceptable (noté "*") en passant par le douteux ("?"). Comparez quelle voiture dit-il avoir réparée?, comment dit-il avoir réparé la voiture?, ?quelle voiture ne sait-il comment réparer, *Comment ne sait-il quelle voiture réparer: chaque locuteur discerne les relations de coreférence possibles entre expressions référentielles: tout francophone sait par exemple que il et Pierre dans Il croit que Pierre est parti ne peuvent pas désigner la même personne mais que cela est possible dans Le fait que Marie croit qu'il est parti trouble Pierre. Toute réponse à (1) est donc une entreprise non triviale mettant en jeu des "modules" distincts, en partie spécifiques, notamment la syntaxe, la sémantique, la morphologie, la phonologie etc. C'est la tâche du linguiste que de formuler les règles et les principes capables d'expliquer les différents aspects du savoir linguistique, manifestes par exemple par les intuitions des locuteurs francophones rapportées plus haut. Les descriptions précises (= grammaires "génératives") qui y parviennent fournissent une caractérisation vraie mais abstraite de l'esprit/cerveau des locuteurs.

La tâche du linguiste acquiert une portée plus grande lorsqu'il tente, avec les psychologues de l'apprentissage, de répondre à (2). En effet, le savoir linguistique partagé par les locuteurs, la LI que le linguiste décrit, ne fait souvent l'objet d'aucun apprentissage; cela est vrai par exemple des faits français notés plus haut que les grammaires scolaires ignorent et qui ne font l'objet d'aucune correction des familles ou de l'école; ce savoir semble "croître" en chacun de nous sans efforts, parfois même sans que nous n'ayons à être exposés aux faits qui le manifestent. En fait on peut soutenir que seuls des aspects secondaires du français (du japonais ou du swahili) font l'objet d'un véritable apprentissage, impliquant répétitions et corrections. Cela semble caractériser toutes les langues: sauf traumatismes et pathologies, l'acquisition de sa langue maternelle se fait chez tout homme rapidement, sans efforts et inconsciemment. C'est pourquoi la terminologie souvent utilisée dans les réponses spontanées à (2) est trompeuse: l'"apprentissage" de leur langue maternelle n'est pas quelque chose que font les enfants mais qui leur arrive. En bref, pour bon nombre de linguistes et de psychologues travaillant dans le programme de recherches défini plus haut, la LI des hommes se développe chez eux à la façon dont croissent les organes physiques caractéristiques de notre espèce: l'environnement leur fournit les facteurs nutritionnels, affectifs etc. indispensables au déclenchement de la croissance mais ils ne sont pas responsables de l'état final qui en résulte.

S'il en va ainsi c'est que les hommes sont définis par une "faculté de langage" ou "Grammaire Universelle" (GU) raffinée qui est propre à leur (seule) espèce et qu'ils partagent donc tous pour des raisons biologiques. Si GU fait partie de notre patrimoine génétique on comprend pourquoi le savoir linguistique est sous-déterminé par les faits sur lesquels il repose: "apprendre" une langue c'est donner l'occasion à la faculté de langage de déployer sa richesse et sa complexité. C'est pourquoi LI "croît" chez tout homme, quelle que soit sa communauté linguistique, sans véritable apprentissage: parce qu'elle laisse peu de choix aux locuteurs, la faculté de langage prédétermine largement les propriétés de LI.

Dans cette conception, la linguistique est au centre d'interrogations séculaires sur la nature humaine puisqu'elle tente de caractériser un trait distinctif de notre espèce, la faculté de langage et les LI qu'elle rend possible chez chacun de ses membres.

De la diversité des langues.

Puisqu'ils ne font l'objet d'aucun apprentissage réel, on soutiendra que les faits français notés plus haut reflètent des propriétés universelles de la faculté de langage. Mais s'il en va ainsi il faut résoudre le paradoxe suivant: si le lien entre la faculté de langage et le français est si direct, comment peut-elle autoriser *aussi* des langues aussi dissemblables que le chinois, le finlandais ou le gallois? Pourquoi à l'intérieur même de la famille des langues indo-européennes, par exemple, apparaissent tant de

variations dans des domaines syntaxiques semblables? Pourquoi par exemple l'ordre des pronoms clitiques (le, me, se etc. en français) dans les différentes langues romanes change-t-il si notablement?² Pourquoi l'anglais a-t-il développé un auxiliaire de l'interrogation, de la négation et de l'emphase, do, dont il se passait fort bien jusqu'à l'époque élisabéthaine et dont les autres langues germaniques continuent de se passer? En bref, si les propriétés principales de l'"apprentissage" de LI imposent que GU soit à l'œuvre dans le détail du fonctionnement individuel de chaque langue, la très grande variabilité des langues semble s'y opposer.

Les recherches en syntaxe comparée menées depuis quinze ans sur un nombre important de langues tentent de résoudre ce paradoxe. Elles ont toutes pour perspective la mise à jour de *paramètres abstraits de variations* capables d'expliquer à la fois la très grande spécificité de la faculté de langage et sa labilité. La tension que nous venons de noter entre l'extrême variabilité des langues et l'existence de propriétés universelles dans chacune d'entre elles disparaît largement si on cesse d'accepter l'équation courante entre l'universel et le général : il est possible que peu de propriétés de surface des langues soient effectivement générales. Cela n'entraîne pas l'inexistence de riches universaux linguistiques si ceux-ci manifestent leurs effets dans des constructions spécifiques à une langue ou à une famille de langues.

Pour s'en convaincre considérons les exemples (5):

- (5) a Qui as-tu abordé?
- b Comment as-tu abordé Jean?
- c Qui penses-tu aborder?
- d Qui penses-tu que tu aborderas?
- e Comment penses-tu aborder Jean?
- f Comment penses-tu que tu aborderas Jean?
- g Qui ne sais-tu pas comment aborder?
- h ? Qui ne sais-tu pas comment tu aborderas?
- i *Comment ne sais-tu pas qui aborder?
- j *Comment ne sais-tu pas qui tu aborderas?

Le français est une des nombreuses langues du monde qui permettent la formation de questions par le déplacement de syntagmes interrogatifs en tête de phrase. D'autres, comme le chinois ou le japonais, ne peuvent effectuer un tel déplacement. D'autres encore, comme l'anglais, non seulement peuvent, mais encore *doivent* déplacer les syntagmes interrogatifs, ce qui n'est pas le cas en français. Les interrogatives du type (5) ne sont donc nullement "générales" à travers les langues, ni même les seules possibles en français. Pourtant elles ont des propriétés remarquables. (5c, d, e, f) illustrent le fait que le déplacement d'un interrogatif a un domaine étendu : il est licite de l'extraire de sa proposition. En fait on peut les déplacer, qu'ils soient arguments --qui-- ou circonstants --comment--, par dessus un nombre quelconque de subordonnées intermédiaires : des phrases comme Qui crois-tu que Jean pense que Marie suppose que tu aborderas? et Comment crois-tu que Pierre pense que Marie suppose que tu as abordé Jean? sont bien formées, malgré leur complexité. Ce déplacement est même licite, avec quelques variations dans l'acceptabilité relative du résultat, à partir d'une subordonnée interrogative, ainsi que l'illustrent (5g) et (5h).

On s'attendrait donc à ce que les locuteurs généralisent ce schéma et acceptent les énoncés (5i) et (5j). Il n'en est rien : si (5g) est parfait (5i) est exclu; (5h) est marginalement acceptable mais (5j) est totalement exclu. Or ces faits négatifs ne font l'objet d'aucun apprentissage: ils ne sont même jamais décrits dans les grammaires scolaires et ne sont donc soumis ni à correction ni à enseignement. Pourtant l'accord est ici général chez les francophones. On en conclut, conjecturalement mais rationnellement, que des faits de ce type sont le reflet des propriétés même de GU, con-

²Cf. Rouveret (1989), Kayne (1989).

nues et formalisées dans la littérature technique de la linguistique générative sous le nom de "principe de la sous-jacence" et "principe des catégories vides"³.

On constate donc que les questions en français, dont la syntaxe n'est pas générale, mettent en œuvre des propriétés universelles. Cela est vrai parce que *les universaux de la linguistique sont des hypothèses explicatives destinées à rendre compte des sauts inductifs que ne font jamais les locuteurs et des aspects de leur savoir linguistique qui ne font l'objet d'aucun apprentissage*

Contrairement à ce qu'on croit parfois, on peut donc soutenir qu'il est indispensable de postuler l'existence d'universaux sur la base de l'étude d'une seule langue (ici le français). Ils sont donc nécessairement conjecturaux --mais réels-- et une des tâches du linguiste est de vérifier, par l'étude détaillée d'autres langues, que leur description ne nécessite pas qu'on les amende ou qu'on les abandonne.

C'est dans le cadre de cette investigation comparative qu'une découverte importante a été faite. On a mis à jour l'étendue considérable de la *covariation* d'un grand nombre de différences apparemment sans liens entre les langues. L'exemple du paramètre du sujet nul, développé ici-même par L. Rizzi, est parlant⁴. Comme il le montre, on peut faire découler de la richesse morphologique de la flexion verbale et des propriétés de GU l'existence de phrases sans sujet, de phrases affirmatives à rejet du sujet, et de constructions interrogatives où un pronom interrogatif sujet est déplacé par delà un subordonnant lexical. La covariation fondamentale de ces propriétés n'est pas une propriété typologique des seules langues romanes (sauf le français): les langues scandinaves ont perdu leur richesse flexionnelle au cours des six derniers siècles.⁵ Etant donné le paramètre du sujet nul, on s'attend donc, toutes choses égales par ailleurs, à ce que (a) les vieilles langues et les langues scandinaves qui n'ont pas subi cette évolution, comme l'islandais, exhibent les fonctionnements syntaxiques qui y sont typiquement associés et (b) que les comportements corrélés disparaissent en même temps que se perdent les distinctions flexionnelles. Christer Platzack a montré qu'il en allait bien ainsi. Selon ses relevés statistiques (cf. Platzack (1987)), le suédois a perdu en même temps (au courant du XVII^e siècle) ses explétifs nuls, ses constructions à rejet du sujet, ses constructions interrogatives où un sujet interrogatif est extrait d'une position adjacente au subordonnant at (= que).⁶

Les langues semblent donc avoir un choix abstrait fondamental à faire: si les propriétés morphologiques de leur flexion verbale sont "riches", GU a pour effet de rendre licite tout un ensemble de constructions qui restent inaccessibles à celles qui n'ont pas ce type de flexion. Un grand nombre de comportements syntaxiques différents entre des langues pourtant proches résulte donc de l'interaction des propriétés de GU et du choix d'une des deux valeurs possibles d'un paramètre de variation qu'on peut décrire informellement comme [\pm Flexion verbale riche]. La littérature contient de nombreux autres cas de covariations inattendues régissant la syntaxe de la négation, de l'adverbe, de l'interrogation dans les langues romanes, germaniques et scandinaves⁷.

L'intérêt de cette découverte est patent: on parvient à éclairer des faits en montrant qu'en dépit de leur apparente singularité ils sont corrélés à d'autres. En un

³Cf. Chomsky (1986), Kayne (1984), Rizzi (1990) et références citées.

⁴Cf. aussi Rizzi (1982, chapitre 4), parmi de nombreux autres textes.

⁵Les distinctions de personne disparaissent en suédois au quatorzième siècle, à partir de 1350 en Danois. Les distinctions singulier pluriel, qui sont déterminantes pour le paradigme du sujet nul, sont morphologiquement perdues au cours du 17^e siècle, bien que l'orthographe suédoise ait conservé artificiellement les distinctions singulier vs pluriel jusqu'au 20^e siècle (cf. Platzack (1987) et les références citées).

⁶Il existe selon Platzack (1987) d'autres faits corrélés à la richesse flexionnelle dans les langues scandinaves, par exemple les phrases avec un sujet au cas oblique (datif) ou des verbes auxiliaires suivis par des infinitives munies de la marque équivalant au to anglais (ad, att etc.). Son travail montre que ces constructions disparaissent également au 17^e siècle, comme on s'y attendrait.

⁷Cf. Platzack et Holmberg (1989), Belfetti (1990), Pollock (1989), Chomsky (1989), parmi d'autres.

sens plus intéressant on les explique véritablement en les faisant découler comme une conséquence obligée des propriétés de GU et des paramètres de variation qu'elle autorise. Il est alors tentant de faire des cas de covariation de ce type l'archétype même de la variabilité linguistique : on peut la tenir, conjecturalement, pour épiphénoménale et supposer que, modulo une petite frange de résidus historiques et d'emprunts, elle résulte toujours du choix d'une valeur d'un nombre restreint de paramètres dont des effets sont toujours présents dans les faits primaires auquel tout enfant est exposé lorsqu'il "apprend" sa langue.

Si cette approche va dans la bonne direction nous tenons une solution à la tension qui existe entre la nécessité de postuler une riche grammaire universelle et celle de rendre compte de la variabilité linguistique. Nous l'énoncerons sous forme paradoxale comme suit: *c'est précisément parce que la faculté de langage est riche que le choix d'une valeur d'un paramètre plutôt que l'autre a de très nombreuses conséquences corrélées: l'extrême variabilité des langues naturelles, Babel, loin de s'opposer à la richesse des universaux linguistiques est la preuve de cette richesse.*

Cette façon de concevoir la relation entre diversité des langues et universaux a des implications non triviales pour l'étude expérimentale de l'apprentissage. S'il est vrai qu'acquérir sa langue maternelle c'est fixer la valeur des paramètres de variation de GU on s'attend à ce qu'apparaissent ensemble les constructions qui dépendent d'un même paramètre. Des confirmations intéressantes à cette idée ont été apportées récemment: ainsi par exemple Clahsen (1985), Lundin & Platzack (1988) ont montré qu'il existe une corrélation entre l'acquisition de la flexion finie, des subordonnées, de l'ordre de la négation, des adverbes et du verbe dans les principales et les subordonnées en allemand et en suédois. Cette corrélation est prédite par le paramètre responsable du fait que le verbe apparaît toujours en seconde position des principales dans les langues germaniques.

D'autres implications plus surprenantes commencent à être explorées. La syntaxe de questions comme (6) est régie par des modules de GU qui ont pour conséquence qu'il existe toujours, malgré les apparences, une dépendance "locale" entre l'interrogatif et sa position source (= la place occupée par Pierre dans (7))

- (6) Qui penses-tu que tu aborderas ?
(7) Penses-tu que tu aborderas Pierre?

Cette localité semble ne pas exister en (6) puisque qui et la place occupée par Pierre ne sont pas contenus dans la même proposition. Pourtant on a de bons arguments pour supposer qu'elle existe en dépit des apparences: qui transite dans son déplacement par la position du subordonnant que, ce qui contribue à assurer la dépendance locale requise par GU. Or Crain & Thornton, dans une étude encore non publiée⁸, ont relevé dans la production d'enfants anglophones des interrogatives comme (8), qui manifestent ouvertement le processus invisible postulé en (6) :

- (8) a What do you think what Cookie Monster eats?
b How do you think how you put this wheel back together?
c Who do you think who is hiding in the box?

(8) sont mal formées en anglais "adulte" et ne font donc pas partie des discours que les enfants entendent. Sous une analyse plausible, (8c) est l'équivalent mot-à-mot de (9) en français et l'accord entre interrogatifs et subordonnants de (8a, b) est caractéristique de nombreuses langues dont l'irlandais⁹.

- (9) Qui crois-tu qui est caché dans la boîte

⁸Cf. Crain & Thornton (1990)

⁹Sur (9) cf. Rizzi (1990) et les références citées. Sur l'irlandais cf. McCloskey (1978).

Ainsi (8) rendent manifestes des propriétés abstraites de GU que les linguistes postulent pour des raisons internes. Elles montrent que l'enfant a à sa disposition un grand nombre des mécanismes syntaxiques et morphologiques qui caractérisent les questions dans les langues. Elles apportent un soutien intéressant à l'idée qu'en syntaxe, comme en phonologie,¹⁰ apprendre une langue c'est "oublier" toutes les autres. Elles éclairent d'un jour nouveau la question de la typologie linguistique.

Ces résultats sur la relation entre universaux linguistiques, diversité des langues et apprentissage, même encore conjecturaux, semblent d'une portée intellectuelle non triviale. Il faut les mettre à l'épreuve d'un nombre toujours plus grand de langues (internes), fournir une théorie générale des variations paramétriques que la faculté de langage autorise, mettre ces paramètres à l'épreuve de l'apprentissage et tenter de les utiliser pour mener l'investigation des questions (3) et (4) avec les biologistes et les informaticiens. Il serait souhaitable que, sans exclure d'autres approches, ces recherches puissent aussi se mener en France dans de bonnes conditions

Références

- Belletti A.** "Generalized Verb Movement", article non publié, université de Genève
- Chomsky N.** (1986) *Knowledge of Language*, Praeger, New York.
- Chomsky N.** (1989) "Some notes on Economy of Derivation and Representation", MIT working papers in Linguistics 10, 43-74.
- Chomsky N.** (1990) "Sur la nature, l'utilisation et l'acquisition du langage". Recherches linguistiques de Vincennes 19, 21-44.
- Clahsen H.** (1985) "Parameterized Grammatical Theory and Language acquisition" in *Linguistic Theory and Second Language Acquisition*, Reidel, Dordrecht, Hollande.
- Crain S. & R. Thornton** (1990) "Levels of representation in Child Grammar", article non publié, Haskins laboratories, USA.
- Holmberg A. & C. Platzack** (1988) "On the Role of Inflection in Scandinavian Syntax", Working Papers in Scandinavian Syntax 42, 25-43, Université de Lund.
- Kayne R.-S.** (1984) *Connectedness and Binary Branching*, Foris, Dordrecht, Hollande.
- Kayne R.-S.** (1990) "Romance clitics and PRO", proceedings of NELS 20.
- Lundin B. & C. Platzack** (1988) "The Acquisition of Verb Inflection, Verb Second and Subordinate Clauses in Swedish" in Working Papers in Scandinavian Syntax" 42, 43-57, université de Lund.
- McCloskey J.** (1978) *Questions and Relative Clauses in Modern Irish*, thèse de Ph-D, University of Texas.
- Mehler J. & E. Dupoux** (1990), *Naitre humain*, Odile Jacob, Paris.
- Platzack C.** (1987) "The Scandinavian Languages and the Null Subject Parameter". *Natural Language and Linguistic theory* 5, 377-401.
- Pollock J.-Y.** (1989) "Verb Movement, Universal Grammar and the Structure of IP" *Linguistic Inquiry* 20,3, 365-425.
- Pollock J.-Y & H.-G Obenauer** (1990) "Le programme de recherches de la grammaire générative: mise en œuvre et enjeux", Recherches linguistiques de Vincennes 19, 7-20
- Rizzi L.** (1982) *Issues in Italian Syntax*, Foris, Dordrecht, Hollande.
- Rizzi L.** (1990) *Relativized Minimality*, MIT Press, Cambridge Mass USA.
- Rouveret A.** (1989) "Cliticisation et temps en portugais européen", *Revue des langues romanes*, tome XCIII n° 2, 337-371.

SESSION :

Langage II

Les relations entre l'expérimentation et la théorie dans l'étude du langage

John C. Marshall (University of Oxford)

The construction of an adequate (and truly explanatory) theory of language will of necessity involve multidisciplinary co-operation. In the first place, constraints upon modelling arise from four sources: a) the structure of language itself, as explicated in grammatical theory (Chomsky, 1981); b) the compatibility of linguistic theory with the empirical parameters of language acquisition (Roeper and Williams, 1987); c) the compatibility of both of the above with formal models of the perception (Liberman, 1982), comprehension and production (Garrett, 1990) of linguistic form; and finally, d) all of the above must be consistent with what is known of the biological foundations of language (Caplan, 1988), including the data of acquired (Marshall, 1986) and developmental pathology (Yamada, 1990).

In the second place, the distinction between universal and specific grammar points to the necessity of a) comparing and contrasting acquisition processes across a wide variety of languages with (superficially) distinct structures (Slobin, 1982); b) comparing and contrasting general and language-specific processing mechanisms and strategies (MacWhinney and Bates, 1989); and c) comparing and contrasting the interactions between brain-damage and universal versus specific features of language (Menn and Obler, 1990).

The challenge for the next decade (or century) is to ensure that all these areas do indeed inter-relate; the danger is that experimentation will fragment into domains dictated by technique and methodology rather than explanatory theory. 'Modularity' means articulating nature at its joints; it does not mean the insularity of any particular discipline, technique, or language.

References

- Caplan, D. (1988). The biological basis for language. In F.J. Newmeyer (ed.), Linguistics: The Cambridge Survey (Vol. 3). Cambridge: Cambridge University Press.
- Chomsky, N. (1981). Lectures on Government and Binding. Dordrecht: Foris.
- Garrett, M. (1990). Sentence processing. In D.N. Osherson and H. Lasnik (eds.), An Invitation to Cognitive Science. Vol. 1. Language. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Liberman, A.M. (1982). On finding that speech is special. American Psychologist, 37, 14.
- MacWhinney, B. and Bates, E., eds. (1989). The Cross-linguistic Study of Sentence Processing. Cambridge: Cambridge University Press.
- Marshall, J.C. (1986). The description and interpretation of aphasic language disorder. Neuropsychologia, 24, 5-24.
- Menn, L. and Obler, L.K., eds. (1990). Agrammatic Aphasia: A cross-language narrative sourcebook (3 vols.). Amsterdam: Benjamins.
- Roeper, T. and Williams, E., eds. (1987). Parameter Setting. Dordrecht: Reidel.
- Slobin, D. (1982). Universal and particular in the acquisition of language. In E. Wanner and L. Gleitman (eds.), Language Acquisition: The State of the Art. Cambridge: Cambridge University Press.
- Yamada, J. (1990). Laura: A case for the modularity of language. Cambridge, Mass.: MIT Press.

RECONNAISSANCE et SYNTHESE AUTOMATIQUE DE LA PAROLE

Christel SORIN

*Responsable du Département Recherches en Communication par la Parole
Centre National d'Etudes des Télécommunications
22301 LANNION*

Construire des systèmes capables de "décoder" et de produire des messages parlés visant à faciliter la communication homme-machine et/ou à en étendre les champs d'usage, tel est a priori le but des études en reconnaissance et synthèse automatique de la parole. Jusqu'à récemment, l'essentiel des travaux réalisés dans ce domaine, au sein des laboratoires d'électronique et d'informatique (presque toujours avec la participation de phonéticiens), reposait sur l'hypothèse implicite que, parmi les facultés dont il faut doter une machine pour pouvoir communiquer avec elle par la parole, les facultés de "parler" et de "reconnaître" la parole pouvaient être considérées comme des facultés autonomes, indépendantes de la tâche. La prise en compte insuffisante de la dimension téléologique de l'activité "parole" nous semble être aujourd'hui un des points d'achoppement majeurs du développement de ces techniques. La reconnaissance et la synthèse de la parole **ne peuvent plus** être considérées comme des **processus élémentaires** destinés à modifier les représentations existantes (texte parole, parole texte) mais doivent être vues comme des **maillons** de systèmes complets de **communication homme-machine par la parole**. Les tentatives récentes d'utilisation de ces technologies vocales dans des services réels en fournissent la preuve évidente : les contraintes actuellement imposées aux utilisateurs sont énormes. Même si, dans leur état actuel, ces technologies permettent l'expérimentation de nouveaux services présentant un intérêt socio-économique manifeste, c'est justement la difficulté de leur mise en oeuvre dans des applications réelles qui montre le mieux les défauts intrinsèques de leur conception. L'utilisation de "technologies vocales" en communication homme-machine réclame, pour se développer, de pouvoir s'appuyer sur une véritable **Science de la Communication Parlée**.

Bien que tous les systèmes actuels de reconnaissance et de synthèse de la parole incorporent certaines **connaissances explicites** (essentiellement phonétiques et/ou acoustiques) sur la parole, force est de constater que, depuis plus de 15 ans, les **améliorations** notables en reconnaissance et synthèse automatique de la parole sont dues essentiellement à des **progrès techniques** (utilisation de méthodes récentes ou traditionnelles de la physique, des mathématiques ou de l'informatique) et non pas à l'utilisation de connaissances plus approfondies sur les mécanismes de production/perception ou de génération/compréhension de la parole.

En **reconnaissance automatique** de la parole, l'application (inspirée de la Théorie de l'Information) de modélisations **statistiques** (Modèles de Markov) tant au niveau acoustique (probabilité d'identification d'un son ou d'un mot à partir de sa réalisation acoustique) qu'au niveau syntaxique (modèles de langage probabilistes) permet, au prix de l'utilisation de larges bases de données de parole et/ou de texte, de disposer aujourd'hui de systèmes capables de reconnaître :

- soit une centaine de mots isolés en mode indépendant du locuteur (systèmes de commande),
- soit des phrases à syntaxe contrainte et vocabulaire d'un millier de mots en mode plurilocuteur (systèmes visant la réalisation de systèmes de dialogue oral rudimentaires, très contraints),
- soit des phrases (naturelles mais respectant une syntaxe de l'écrit) prononcées par mots isolés (20 000 mots) ou syllabes isolées (200 000 mots) en mode monolocuteur (systèmes de "dictée vocale").

Les seules **connaissances** sur le traitement de la parole par l'homme incorporées explicitement dans ces systèmes sont des modélisations très sommaires du fonctionnement du système auditif périphérique (analyse fréquentielle en mels, adaptation d'intensité à court-terme) et des connaissances phonétiques (transcription graphème-phonème, phonème-allophones) particulièrement indispensables pour le choix, crucial, des unités/modèles (acoustico-phonétiques) de base. Bien que le choix de la topologie des unités/modèles de base reste encore presque toujours empirique, le point fort des modèles de Markov réside d'une part, dans l'existence d'algorithmes efficaces pour déterminer la valeur **optimale** des paramètres des unités/modèles de base (appris automatiquement à partir des bases de données de parole) et d'autre part, dans une intégration **cohérente** des différents niveaux de modélisation (acoustique, lexical et syntaxique) permettant une optimisation **globale** du processus de "reconnaissance".

Ces systèmes, construits pour **apprendre**, avec un certain critère d'**optimalité**, les structures cachées de la parole en explorant les propriétés stochastiques de (volumineuses) données d'apprentissage, fournissent aujourd'hui des performances supérieures aux systèmes utilisant, à tous les niveaux, des **règles** fournies par des experts. Toutefois, c'est l'incorporation d'informations de plus en plus précises (empruntées à la phonétique et à la linguistique, descriptives et théoriques) sur les **unités** et les **structures** au sein desquelles le système doit représenter la "connaissance" qu'il acquiert à partir des exemples d'apprentissage qui permet aujourd'hui l'amélioration (effective ou prévue) de leurs performances (utilisation de modèles allophoniques, de grammaires hors contexte probabilistes, par exemple).

Aucun système actuel de "reconnaissance" n'est capable de traiter de la **parole** réellement **spontanée**, du type de celle utilisée dans un dialogue : les stratégies d'interprétation (essentiellement syntaxique) implantées aujourd'hui dans ces systèmes dérivent d'observations sur le langage écrit et supposent, implicitement ou explicitement, l'existence d'une transcription exhaustive des énoncés préalable à tout accès au sens. La modélisation des performances et stratégies langagières (linguistiques et cognitives) en contexte de **dialogue** n'en est qu'à ses balbutiements (Note 1).

D'autre part, tous les systèmes de "reconnaissance" actuels sont extrêmement sensibles au bruit et aucun d'entre eux n'est capable, contrairement à ce que fait facilement l'être humain, d'identifier la parole d'un locuteur donné parlant parmi d'autres ou de s'adapter quasi-instantanément à l'élocution particulière d'un locuteur. Là aussi, l'utilisation de connaissances explicites sur les **mécanismes auditifs** (ségrégation de flux), **attentionnels** et **d'apprentissage** (généralisation/spécification) devrait permettre de guider le système dans le choix des informations à extraire et à estimer.

(Note 1) : A cet égard, le GRECO Communication Parlée du CNRS a eu un rôle pionnier, au niveau international, en lançant, dès 1983, plusieurs actions coordonnées sur le Dialogue Oral, dont la constitution de corpus de Dialogues Oraux (réels ou simulés). Des actions de ce type se développent aujourd'hui, tant en Europe (en particulier dans le cadre de projets ESPRIT) qu'aux États-Unis (dans le cadre du programme DARPA) et au Japon (travaux d'ATR en particulier).

En **synthèse de la parole** à partir du texte, l'utilisation de nouvelles techniques de traitement numérique du signal (PSOLA), permet aujourd'hui aux systèmes à base d'**informations** acoustico-phonétiques **préstockées** (synthèse par "diphones" ou "polyphones") de fournir un timbre de voix de qualité identique voire **supérieure** à celui fourni par les systèmes basés sur une modélisation de l'appareil vocal et règles associées (synthèse par formants).

Tous ces systèmes utilisent des connaissances phonétiques **explicites** (transcription orthographique-phonétique, règles prosodiques). Les principales améliorations récentes obtenues au niveau du naturel de l'élocution viennent de l'incorporation dans les synthétiseurs d'**analyseurs de texte** (statistiques ou à base de règles heuristiques) permettant la mise en oeuvre d'une plus grande quantité de connaissances linguistico-phonétiques descriptives (souvent déjà existantes : règles phonologiques et prosodiques).

Les meilleurs systèmes de synthèse actuels fournissent une parole très **intelligible**, au timbre quasi-naturel. Certains défauts résiduels d'articulation pourront sans-doute être corrigés par un meilleur choix d'unités de base.

Par contre, aucun de ces systèmes ne fournit aujourd'hui une parole qui puisse être confondue avec de la parole naturelle : la parole de synthèse est toujours perçue comme **monotone** et manquant de **fluidité**. Les deux raisons essentielles en sont l'absence, dans les synthétiseurs, d'interpréteurs sémantico-pragmatiques (et de règles phonologiques associées suffisamment formalisées), sans lesquels la parole de synthèse ne peut transmettre "de sens" et, surtout, l'absence de modélisation de la **variabilité** acoustique (segmentale et prosodique) intrinsèque à la parole naturelle. Une meilleure connaissance des mécanismes de **gestion** de cette variabilité dans la **production** de parole par l'homme devrait être à l'origine de nouveaux développements en synthèse automatique.

Globalement, on peut donc dire que les systèmes actuels de reconnaissance et de synthèse de parole se contentent de **copier** les phénomènes de parole observés "**en surface**". Cette imitation va d'une simple "recopie" (utilisation de patrons prosodiques préstockés, par exemple) à une modélisation plus ou moins complexe, utilisant toujours explicitement ou implicitement des **connaissances** sur le langage parlé (règles et/ou bases de données de parole) de plus en plus associées à des **techniques d'apprentissage**, aujourd'hui essentiellement paramétrique. D'autre part, cette imitation s'est essentiellement limitée aux performances langagières observées dans deux types de tâches : la lecture à voix haute de textes écrits et la transcription écrite de textes lus, tâches qui, parmi les activités "de parole", ne sont ni les plus **naturelles** à l'homme, ni **complètes** du point de vue "mécanismes de communication".

Il est clair aujourd'hui que, même si certains processus de parole semblent pouvoir être imités sans modéliser les mécanismes humains qui les génèrent, **communiquer** par la parole, de façon naturelle, avec une machine nécessitera d'**intégrer** étroitement les **fonctionnalités de production et de "reconnaissance"** de parole à l'organe de **commande et de contrôle** qui, dans la perspective de l'accomplissement d'une tâche donnée, conduira un **raisonnement** permettant de comprendre ou de générer un message, en utilisant diverses sources de connaissances, structurées et gérées de façon **optimale**.

Perception/interprétation, apprentissage raisonnement et planification, génération/production : imiter ces fonctionnalités langagières et cognitives **interdépendantes** et si possible les développer au-delà des capacités humaines (faire, par exemple, qu'un système soit capable de parler avec plusieurs timbres de voix, comprenne et parle en plusieurs langues), nécessite l'association de **connaissances plus approfondies** et de **modélisations plus efficaces** des performances et comportements langagières dans différents contextes et pour différentes tâches, y compris des mécanismes de leur apprentissage.

Continuer à favoriser le regroupement, autour du thème de la **Communication Parlée** (Note 2), d'efforts de recherche en physiologie, psychophysique, phonétique et linguistique, psychologie et sciences cognitives (Note 3), informatique (méthodes d'apprentissage, modélisation et gestion des connaissances, architectures) est plus jamais indispensable si l'on veut pouvoir, un jour, communiquer, de façon naturelle, par la parole, avec une machine.

(Note 2) : Dès 1970, la création d'un groupe "Communication Parlée" au sein du Groupement des Acousticiens de Langue Française (aujourd'hui Société Française d'Acoustique), réunissant chaque année, à l'occasion des Journées d'Études sur la Parole, plus d'une centaine d'ingénieurs et chercheurs d'origines très diverses, a témoigné du besoin d'identifier ce champ de recherche comme spécifique, au carrefour d'un grand nombre de disciplines. Le bon niveau, internationalement reconnu, des travaux français en Synthèse et Reconnaissance de la Parole doit beaucoup au creuset fertile que constitue ce groupe depuis vingt ans.

(Note 3) : Les systèmes de synthèse et de reconnaissance actuels (et les systèmes de dialogue expérimentaux qui en sont dérivés) peuvent aussi être des outils offrant à ces disciplines des possibilités nouvelles d'expérimentation. Ce point ne doit pas être négligé.

THE PROCESS OF SPEAKING: SOME RESEARCH PERSPECTIVES

Willem J.M. Levelt
Max Planck Institute for Psycholinguistics
Nijmegen, The Netherlands

(Abstract)

DEFINITION AND THEORETICAL PARTITIONING OF THE FIELD

Psycholinguistics is the science of human language production, comprehension and acquisition. The primary (though by no means only) mode of human language production is to speak. Over the last three decades, i.e., since what's called the "cognitive revolution", the study of speaking has not kept pace with the study of language comprehension and language acquisition. Both in terms of research effort and in terms of theoretical depth, the process of speaking has been the stepchild of psycholinguistics. However, the tide seems to be turning now, due to promising theoretical and methodological perspectives.

The process of speaking is whatever mediates between a speaker's conception of some communicative intention and the articulation of an utterance that is material in conveying that intention. Although the direction of this process is largely from intention to articulation, one shouldn't exclude the possibility that formulating processes can affect a speaker's intentions. For the purpose of the present summary sketch, however, I will follow the main direction, and mention the major component processes that turn intentions into articulations:

(i) Conceptual preparation. In order to make some communicative intention recognizable by an addressee, the speaker must prepare a speech act (such as a request or a statement) and select information whose expression can realize that goal. For instance, in giving a road direction, the speaker has to retrieve spatial information from memory, cast it in propositional form, order it for expression in the form of a series of statements, etc. All this takes the presupposed knowledge and intentions of the addressee into account, as well as the level of formality and politeness of the situation. Technically, the output of this process is called a message, or series of messages.

(ii) Grammatical encoding. There are two aspects to this process. The first one is lexical selection. For each (lexical) concept at the message level, the speaker has to retrieve the appropriate lexical item from memory. This lexical memory is called the mental lexicon. Each retrieved lexical item is specified for its syntactic properties (e.g., "house" is a noun, "kiss" is a transitive verb) and its thematic properties (e.g. the grammatical subject of "kiss" must be the conceptual agent). The second process, syntactic composition, creates sentence frames that satisfy the syntactic and thematic requirements of the lexical items retrieved. The output of grammatical encoding is called a surface structure, a specification of the target sentence's phrase structure.

(iii) Phonological encoding. This is the construction of a phonetic or articulatory plan, given the surface structure. A first step here is to retrieve the phonological code of each lexical item in the surface structure from the mental lexicon. These codes are not ready-made phonetic templates. The ultimate phonetic plan for a word is quite essentially dependent on its context in the utterance. In phonological encoding the speaker generates so-called phonological words, which, in turn, are the domain of syllabification (e.g. the three-item surface structure "gave it him" may become one phonological word with three syllables: /ga-vi-tim/). More generally, the

speaker generates segmental, metrical and intonational structure at this level of processing, with the phonetic plan as eventual output.

(iv) Articulation. This is the motor execution of the phonetic plan by the articulatory apparatus, the respiratory system, the larynx, and the vocal tract. This is probably the most complex motor process man can indulge in. Until recently, its study has been the almost exclusive hunting ground of phoneticians.

(v) Self-monitoring. Speakers can monitor their own production, as is evident from spontaneous self-repairs. They can monitor their conceptual preparation, as well as their internal (not yet articulated) and overt speech. The latter forms of monitoring probably involve the speaker's own language comprehension system.

SOME RECENT RESULTS

There have been important research developments at each of the five levels of processing mentioned above. At the level of conceptual preparation one would mention Clark's work on referring, requesting, and more generally his integration of conceptual preparation in a general theory of action. One would also mention Sperber and Wilson's theory of relevance which concerns the way in which the speaker claims the addressee's attention. Time will not allow me to address these issues.

At the level of grammatical encoding there has been promising AI-type modelling of so-called "incremental" (word-by-word "left-to-right") generation of surface structure. I will probably present some recent results in lexical selection from my own lab, which are in support of a non-connectionist spreading activation model of lexical selection.

The most impressive results since the seventies concern phonological encoding, in particular the idea that a speaker sets up abstract form frames that are subsequently filled with phonemic segments. This slots-and-fillers theory was developed by Shattuck-Hufnagel, Garrett, and others in order to account for (rather massive) collections of speech errors (such as "heft lemisphere" for "left hemisphere"). More recently, Dell complemented this theory with a powerful connectionist account of the activation of the phonemic fillers. I will at least present a glimpse of this research.

The main issue in the theory of articulation has been the system's ability to behave in a context-dependent way. Speaking with a pipe in one's mouth drastically changes the physical contingencies of articulation, but hardly affects the output. Ever more sophisticated theories of "model-referenced control" (Saltzman, Browman, Goldstein at Haskins Labs, and Jordan at MIT) are developed to account for the vocal tract's "intelligence". But there will be no time to discuss these issues.

There has also been major progress in the the theory of self-monitoring. I may mention some of my own work on how people detect trouble, interrupt themselves, and restart, taking into account the linguistic structure of the original utterance as well as the processing needs of the listener. An essential discovery was that self-repair is linguistically akin to coordination.

A major insight proceeding from the last decade of research is that the process of speaking is incremental. The above processes are both sequential and simultaneous. There is a "roof-tile" organization so that each unit generated at one level of processing is immediately picked up by the next level of processing. As a result, all processes are simultaneously active, but working on successive elements of the utterance.

SOME PROMISING DIRECTIONS FOR FURTHER RESEARCH

The main traditional methods of production research were observational: the analysis of spontaneous speech errors and of hesitation pauses. This methodology was later enriched by eliciting errors (and pauses) in the laboratory. It seems to me that we are now reaching the limits of these methods. The ultimate test for any process model is to measure the time course of the process. If time allows, I will give one example from our own lab. Our time course measurements show that lexical selection strictly precedes the word's phonological encoding. This undermines the error-based connectionist theory that presupposes feedback from phonological encoding to lexical selection.

The recent development of reaction time paradigms for the study of speech production is thoroughly affecting the research perspective. For instance, we are now able to trace the time course of within-word phonological encoding, which makes it possible for the first time to study between- and within-syllable encoding procedures.

We can also become far more precise on the notion of incrementality. It is in principle possible now to study how the lexical selection and phonological encoding of one word overlaps in time with those of the next word in the utterance.

What is still to be done, but not far away, is the development of reaction time approaches to syntactic composition. It should develop into the equivalent of parsing research in language comprehension, and as I hope to a new integration of linguistic theories of grammar and psychological process models. Initial results are promising.

Another important "on-line" method is the measurement of event-related potentials (ERPs). Since a few years this method is proving its value in comprehension research. Its obvious advantages over reaction time methods are the continuity of the measurement, the possibility to measure without giving the subject a reaction task, and the multidimensionality of the signal (amplitude, latency, directionality of charge, and locus). I expect before long applications of ERP measurement in speech production, in spite of the fact that articulation will upset the signal.

Major theoretical developments are to be expected in grammatical and phonological encoding, in particular in models of lexical access (selection and phonological encoding) and of syntactic encoding. There are, as yet, no real process models of metrical and intonational encoding. This is virgin area both theoretically and empirically. A new impetus is needed here.

Finally, our views of the interaction between the various modules involved in the production of speech are still primitive. There are the connectionist claims of interactivity, but they are by and large without empirical support. That doesn't prove modularity, however. We can expect the connectionist fad soon to spill over to production research as well. It may have a healthy effect as long as it doesn't replace serious empirical research by endless computer modelling.

Recent Trends in the Empirical Study of Speech Recognition

Anne Cutler (MRC Applied Psychology Unit, Cambridge, UK)

The process of understanding has been one of the central concerns of psycholinguistic research since psycholinguistics first began to flourish as a discipline; but it is only fairly recently that the understanding of *spoken* language has attracted separate attention. Models specific to spoken language understanding, i.e. models which explicitly encoded the fact that speech recognition crucially depends on the temporal dimension, were first developed in the 1970s (e.g. Cole and Jakimik, 1978; Marslen-Wilson and Welsh, 1978).

It was important for the psycholinguistic study of speech recognition that simultaneously, in the field of engineering, techniques of computer speech recognition were attracting ever greater interest. It became apparent to researchers in this field that recognition of continuous speech posed problems over and above the recognition of isolated spoken words. Continuous speech must be segmented into individual words, but this process is difficult because word boundaries are rarely accompanied by explicit demarcation cues.

Segmentation is in principle also a problem for the human listener. Understanding speech requires matching the auditory input against pre-stored representations in memory. The human brain cannot, however, store every complete utterance that might occur, because there is an infinite number of these. Therefore stored representations must be discrete; in most cases they will be individual words. In order for speech to be recognised, therefore, the continuous signal must be partitioned into its individual component words.

In practice, though, segmentation does not seem to pose any problem at all for human listeners - certainly nothing like the problems it causes computers. The early models of spoken language recognition therefore saw no need to incorporate explicit segmentation procedures. These models assumed that speech input is processed in temporal order as it is presented to the perceptual system; successful recognition of any word automatically ensures that whatever follows that word will be recognised as the point at which the next word begins. Thus segmentation of continuous speech into words was seen as posing no problem for listeners because it was "automatic", following directly from the temporal nature of the speech input.

There are two important points to be made about this approach to (or avoidance of!) the segmentation problem. The first is that most engineering systems for continuous speech recognition adopted a similar approach. The second is that such an approach is *language-universal*; it can be applied to the recognition of any natural spoken language. Universality is an attractive attribute to psycholinguists because it is the *human* language processing system which is the proper object of psycholinguistic enquiry, and the human system is not predisposed towards any one language more than any other; a newborn infant can acquire any human language to which it is exposed. Thus it would seem appropriate to develop psycholinguistic processing models which can be similarly applied to any language.

Nevertheless, recent models of spoken language recognition have moved away from this approach, for two reasons. Firstly, allowing segmentation to depend on successful recognition of the preceding word means that it is vital that successful recognition should always occur. That is, the acoustic front end to the recognition system must perform extremely accurately; any front end error causes segmentation, and consequently recognition, to break down rapidly. This condition is of course not always met in speech recognition: natural speech, even in quiet environments, is not always fully clear.

Secondly, recent studies of speech segmentation by human listeners have suggested that the universality assumption may be inappropriate. For French listeners, the syllable is an effective unit of speech segmentation (Cutler, Mehler, Norris and Segui, 1986); but for English listeners it is not. For English listeners, in contrast, segmentation is driven by the contrast between strong and weak syllables; the occurrence of a strong syllable (i.e. a syllable containing a fully realised vowel) is treated by the listener as a signal of a likely lexical word onset (Cutler and Norris, 1988; Cutler and Butterfield, 1990).

An alternative approach to modelling speech segmentation by human listeners therefore incorporates explicit segmentation procedures, either via an intermediate classification of the input into units such as phonemes (Foss and Gernsbacher, 1983) or syllables (Mehler, 1981), or via the application of heuristics based on language experience (Cutler and Norris, 1988). In the first case the units of intermediate representation serve as the code by which lexical access takes place, and limit possible word boundary positions to the boundaries between these intermediate units; in the second case the heuristics posit likely word boundary locations based on the structure of the relevant vocabulary.

Experience with a particular language will obviously produce heuristics which are adapted to that language, and hence will not necessarily be language-universal. Certainly the heuristic which Cutler and Norris (1988) proposed for English is not language-universal; it is based on the opposition of strong versus weak syllables, and very many languages do not have this contrast at all. Similarly, intermediate units such as the syllable have already been shown to be effective for some languages but not for others. Thus the modelling of explicit segmentation procedures has led psycholinguists to abandon the universality assumption.

Incorporating explicit segmentation procedures into speech recognition models has succeeded in improving the models' resistance to intermittent front end error. Recent computational studies have simulated front end imperfections by using phonetic transcriptions in which only general classes of phoneme are provided. Briscoe (1989) implemented several lexical segmentation algorithms and tested their performance on such partially transcribed continuous English input. With partially specified phonetic input the "automatic" algorithm produced huge numbers of possible parses. Far better performance was produced by the algorithms which constrained possible word onset positions in some way, and the more specific the constraints, the better the performance: thus with the partial input the strong syllable algorithm performed best of all. A similar finding arose from a study by Harrington, Watson and Cooper (1989) comparing the strong syllable segmentation algorithm with segmentation based on permissible phoneme sequences. With partially specified input, phoneme sequence constraints proved virtually useless, but the strong syllable algorithm still performed effectively.

In conclusion: the recent history of models of spoken language understanding has seen an increase in interdisciplinary influence. The interdisciplinary contact has indirectly also led to elaboration of the processing model, as explicit procedures to accomplish segmentation have been proven advantageous. Finally, a somewhat surprising result of this development has been the abandonment of the long-held assumption that all parts of the human language processing system are necessarily language-universal.

References

- Briscoe, E.J. (1989) Lexical access in connected speech recognition. *Proceedings of the 27th Congress, Association for Computational Linguistics*, Vancouver; 84-90.
- Cole, R.A. & Jakimik, J. (1978) Understanding speech: How words are heard. In G. Underwood (Ed.) *Strategies of Information Processing*. London: Academic Press.
- Cutler, A. & Butterfield, S. (1990) Rhythmic cues to speech segmentation: Evidence from juncture misperception. Submitted for publication.
- Cutler, A., Mehler, J., Norris, D.G. and Segui, J. (1986) The syllable's differing role in the segmentation of French and English. *Journal of Memory and Language*, **25**, 385-400.
- Cutler, A. & Norris, D.G. (1988) The role of strong syllables in segmentation for lexical access. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **14**, 113-121.
- Foss, D.J. & Gernsbacher, M.A. (1983) Cracking the dual code: Toward a unitary model of phoneme identification. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, **22**, 609-632.
- Harrington, J.M., Watson, G. & Cooper, M. (1989) Word boundary detection in broad class and phoneme strings. *Computer Speech & Language*, **3**, 367-382.
- Marslen-Wilson, W.D. & Welsh, A. (1978) Processing interactions and lexical access during word recognition in continuous speech. *Cognitive Psychology*, **10**, 29-63.
- Mehler, J. (1981) The role of syllables in speech processing. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, **B295**, 333-352.

BASES BIOLOGIQUES DU LANGAGE

André Roch Lecours

Centre Hospitalier Côté des Neiges, Montréal

La présente communication comporte deux parties. La première a trait à la portée des divers types de question qu'on peut se poser à propos des fondements biologiques du langage et la seconde à d'éventuelles interactions entre le potentiel langagier du cerveau humain et l'environnement dont il reçoit l'information linguistique.

La première partie se limite à des considérations concernant le cerveau des individus droitiers ne présentant pas de perturbation auditive. Elle s'attache spécifiquement à la portée de quelques questions -- de type "Quand?", "Où?" et "Comment?" -- portant sur la biologie du langage.

La section liée à des questions de type "Quand?" résume à grands traits [A] quelques aspects de ce que l'on sait ou croit savoir à propos de l'ontogénèse des asymétries anatomo-fonctionnelles qui caractérisent la biologie cérébrale humaine, [B] certaines étapes de la maturation de quelques-unes des structures cérébrales jouant un rôle dans l'acquisition et l'usage du langage, et [C] quelques opinions à propos de l'incidence de l'âge sur les effets des lésions cérébrales gauches responsables d'aphasie. La notion de "reprogrammation" est évoquée.

La section liée à des questions de type "Où?" retrace l'évolution des enseignements d'origine anatomoclinique à propos des soubassements neuroanatomiques de la parole et du langage. Elle résume, en d'autres termes, les pérégrinations de la "zone du langage" dans l'enceinte télencéphalique. La notion d'"exception" est évoquée.

La section liée à des questions de type "Comment?" retrace brièvement l'évolution du vocabulaire neuropsychologique depuis la notion de "langage interne" jusqu'à celle de "lexique mental" et souligne trois points de vue qui ont eu dès le tournant du siècle et ont encore leurs protagonistes respectifs : le premier de ces points de vue confond le "Comment?" de la

physiologie et celui de la psychologie; le second reconnaît explicitement, d'une part, la subordination des faits psychiques aux faits biologiques et affirme, d'autre part, que l'étude des faits psychiques doit être effectuée indépendamment, c'est-à-dire qu'elle ne dépend en rien d'un savoir biologique; le troisième reconnaît aussi les notions de subordination et d'indépendance ci-dessus, et veut qu'une recherche ne dépendant en rien d'un savoir biologique ne saurait en aucune manière accroître notre connaissance de la biologie du langage. La notion de "dualisme" n'est pas évoquée.

Sans remettre en cause la réalité du programme génétique qui mène chez quasi tous les droitiers et chez bon nombre de gauchers à la "dominance" du cerveau gauche pour le langage¹, la seconde partie -- celle axée sur d'éventuelles interactions entre le potentiel langagier du cerveau humain et le milieu dont il reçoit l'information linguistique -- soulève la possibilité que ce programme ne s'actualise pas entièrement de la même manière selon la nature des environnements socioculturels propres aux différents sous-ensembles de l'espèce. La discussion porte à cet égard, d'une part, sur quelques caractéristiques inhérentes à certains des codes oraux et écrits pratiqués parmi l'espèce humaine et, d'autre part, sur la possibilité d'une interaction entre le degré d'accomplissement du programme génétique sous-jacent à la biologie du langage et le phénomène de scolarisation.

1. Le terme "dominance" du cerveau gauche pour le langage réfère ici au fait que, chez les adultes droitiers, les lésions sylviennes gauches entraînent souvent des perturbations langagières qu'il est convenu de regrouper sous le nom d'"aphasie" alors qu'il est tout à fait exceptionnel, chez les adultes droitiers, que des lésions sylviennes droites soient la cause de perturbations du même ordre.

Représentations lexicales et conceptuelles

Juan Segui

Laboratoire de Psychologie Expérimentale
Université René Descartes et CNRS (URA 316)

La nature généralement rapide, automatique, et irrépessible des processus impliqués dans la reconnaissance des mots parlés ou écrits dissimule leur véritable complexité.

Pour être en mesure de saisir un aspect de cette complexité il suffit de tenir compte du fait que reconnaître un mot suppose isoler une unité lexicale particulière parmi un ensemble d'au moins 40.000 autres unités qui entretiennent avec la première des relations multiples sur le plan orthographique, phonologique, morphologique, syntaxique et sémantique.

Cette remarque conduit à proposer que la reconnaissance d'un mot prend place nécessairement dans le contexte "virtuel" constitué par l'ensemble des autres mots connus du sujet.

L'étude du processus d'identification ne peut se faire sans tenir compte de ce point.

Après avoir envisagé la problématique de l'accès et de l'organisation lexicale presque'exclusivement au niveau des relations sémantiques et/ou conceptuelles entretenues par les mots, les psycholinguistes s'intéressent davantage actuellement aux relations formelles de nature orthographique, phonologique ou morphologique.

Ce changement d'orientation s'explique, d'une part, par les difficultés rencontrées pour caractériser et aborder d'une manière précise les relations de nature sémantique et, d'autre part, par le développement récent des études descriptives des propriétés formelles du lexique aussi bien sur le plan statistique que linguistique. Dans notre discussion nous ferons référence principalement aux travaux consacrés à cette nouvelle problématique dont nous chercherons à mettre en évidence son intérêt pour l'élaboration des modèles théoriques d'accès au lexique.

Une hypothèse partagée par la plupart des modèles actuels de reconnaissance est que lors des premières étapes de traitement d'un mot-stimulus celui-ci "active" ou rend accessible non seulement sa propre représentation lexicale mais encore celle de tous les autres mots qui partagent avec lui des propriétés formelles.

Suite à cette étape d'activation multiple, une procédure de sélection prend place afin de dégager la représentation correspondant au mot effectivement présenté et permettre ainsi

son identification.

Dans le but de mettre à l'épreuve la pertinence de cette approche, de nombreuses recherches ont été conduites sur le rôle des voisins formels d'un mot sur sa reconnaissance.

Ces travaux ont montré que la reconnaissance d'un mot dépend non seulement de sa propre fréquence mais également de la fréquence de ses voisins formels orthographiques et/ou phonémiques. Quand un mot-stimulus (ex, FOIN) possède dans la langue des voisins plus fréquents (ex, LOIN, FOIE, COIN...) sa reconnaissance exige plus de temps que celle d'un mot analogue n'ayant pas des voisins plus fréquents. Ce résultat suggère que le processus de reconnaissance comporte une "compétition" entre des candidats lexicaux formellement proches.

Dans ce nouveau cadre théorique la reconnaissance d'un mot exige le rejet ou l'inhibition de ses voisins plus fréquents lesquels restent en état d'inhibition pendant un bref intervalle temporel.

L'emploi de certaines procédures d'amorçage avec masquage de l'amorce permet d'intervenir dans le déroulement de ce processus de compétition en modifiant d'une manière contrôlée l'état d'activation des candidats à la reconnaissance.

Les résultats de ces études indiquent qu'il est possible de "préactiver" la représentation lexicale d'un mot-contexte non identifié. Cette préactivation d'un mot-contexte affecte de manière déterminante le processus de sélection du mot-cible.

La prise en considération de la nature de la relation amorce-cible (orthographique, phonémique, morphologique) permet d'effectuer des inférences précises sur la locus des effets observés.

L'hypothèse de départ d'après laquelle la reconnaissance d'un mot peut être envisagée comme le résultat d'un double processus de compétition et de sélection entre des candidats lexicaux a permis d'attirer l'attention sur un aspect fondamental mais souvent négligé du phénomène, à savoir, que toute reconnaissance a lieu nécessairement dans un contexte, celui constitué par l'ensemble des autres mots de la langue.

Les données empiriques issues de ces recherches ainsi que des travaux de simulation computationnelle qui leur sont associés ont donné lieu à une reformulation importante des modèles théoriques du traitement du langage.

SESSION :

La pensée et le raisonnement

SEMANTIQUE DE L'ESPACE ET RAISONNEMENT SPATIAL

Mario BORILLO

Institut de Recherche en Informatique de Toulouse
(UA 1399 du CNRS, UPS et INPT
et ARAMIIHS (Unité Mixte 115 du CNRS - Matra Espace)

1. Espace, Langage et Cognition

La perception sous ses différentes modalités (vue, ouïe, toucher, odorat, ...) nous informe sur le monde. Le raisonnement peut se concevoir comme un ensemble de processus de formation et de transformation des structures de la connaissance. Parce qu'il est associable à ces deux constituants de la performance cognitive, le langage établit un lien entre la classe des constituants "pénétrables", en particulier par introspection (Pylyshin, 1984), dont on peut soutenir, comme pour le raisonnement, qu'ils relèvent plutôt de modèles et de traitements symboliques et la classe des constituants "impénétrables", non accessibles au sujet, et dont la modélisation ferait plutôt appel, comme pour la perception, aux réseaux de neurones formels. Si cette dichotomie, quelque peu brutale, a été tempérée de part et d'autre à partir de considérations plus fines sur le langage et la computation (Schnelle, 1986 ; Fodor & Pylyshin, 1988), elle n'en dénote pas moins l'un des challenges majeurs dans la recherche d'une conception unifiée des processus cognitifs. Pour tenter de la réduire – ou de mieux la comprendre – des investissements théoriques considérables (par exemple, en théorie des automates ou sur la calculabilité dans les machines à très haut degré de parallélisme) sont d'autant plus nécessaires que la fécondité de la recherche expérimentale révèle chaque jour davantage la complexité des interactions entre le substrat matériel de la cognition et ses manifestations comportementales. Les relations entre perception visuelle de l'espace et raisonnement spatial offrent à cet égard un exemple paradigmatique de la difficulté des problèmes à résoudre (Teller, 1984) et de la multiplicité des approches possibles.

Le langage constitue un moyen d'accès partiel, mais intéressant, à ces problèmes puisque, même s'il n'est associé qu'à une partie de la chaîne de traitement et si le cadre formel auquel il renvoie est essentiellement symbolique, l'analyse de l'expression de l'espace dans la langue et des différents moyens qui y sont employés pour produire des significations et des inférences spatiales montre la nécessité d'enraciner la description linguistique ainsi que sa formalisation logique et informatique dans des données de nature perceptive mais aussi psychologique et souvent culturelle (même pour une seule langue).

2. Sémantique de l'espace et raisonnement spatial

a. Description linguistique

La langue met en jeu deux grandes catégories de concepts spatiaux, des *référents spatiaux* et des *relations spatiales*. Les marqueurs de la référence spatiale sont principalement des noms d'entités spatiales et des adjectifs de localisation (*le haut de la tour, l'anneau intérieur de Saturne, ...*). Les relations sont exprimées par des prépositions (*x sur y, x dans y, x à y, ...*) et par des verbes (*A va de B à C, ...*). Ce dernier exemple souligne l'importance des liens entre l'expression du temps et celle de l'espace puisque si l'on peut situer statiquement une entité localisée (*x* dans les exemples ci-dessus) par rapport à une entité localisatrice (*y*), on peut aussi indiquer les localisations successives d'une même entité *A*. D'une manière générale, l'analyse linguistique précise la diversité et la complexité des concepts spatiaux que nous sommes mentalement capables de traiter (Talmy 1983). L'inventaire exhaustif des formes linguistiques constitue le point de départ de toute étude approfondie. Pour le français, des bases de données

lexico-syntaxiques ont été constituées pour des verbes de mouvement et de déplacement (J.P. Boons, 1986 ; D. Laur, 1989) ainsi que pour les noms et les adjectifs de localisation interne (M. Aurnague, 1989 ; A. Borillo, 1988). Elles permettent de montrer en vraie grandeur que la structuration conceptuelle de ces différentes classes met en jeu des critères géométriques, topologiques et d'orientation de l'espace, mais aussi des catégorisations fonctionnelles des entités spatiales (par exemple, certains objets sont intrinsèquement orientés, d'autres reçoivent leur orientation du contexte) et des facteurs pragmatico-psychologiques à la Grice liés à l'intentionnalité communicationnelle : par exemple, si Max est dans la cuisine et a la clé dans sa poche, on ne dira pas (normalement) pour informer sur cette situation : "la clé est dans la cuisine". D'un point de vue plus immédiatement sémantique, au confluent de la linguistique, de la philosophie et de la psychologie, se développe une "linguistique cognitive" de l'espace, en particulier pour les relations spatiales (Vandeloise, 1986), les prépositions et verbes de mouvement (Jackendoff, 1983), les adjectifs dimensionnels (Lang, 1989), dont les analyses tendent à constituer un inventaire détaillé des facteurs psychologiques et culturels qui interfèrent avec les ressources du langage pour constituer les significations spatiales. C'est d'ailleurs au nom de cette profonde non-autonomie du langage que certains de ces auteurs contestent la possibilité de définir une sémantique de l'espace de type logique.

b. Sémantique formelle

Il semble en fait que la construction de modèles formels interprétant dans un langage du 1er ordre les expressions spatiales ne soit pas impossible, pour autant que : i) l'extension de ces modèles soit soigneusement circonscrite (il s'agira donc plutôt de modèles locaux) ; ii) leur ontologie inclue les notions primitives pertinentes, en particulier fonctionnelles et psychologiques, révélées par l'analyse linguistique et cognitive ; iii) leur structure formelle reflète correctement la catégorisation des notions primitives. Les premières formalisations (par exemple, Leech, 1969) étaient trop exclusivement focalisées sur les composantes géométriques et topologiques pour traduire l'apparente irrégularité des significations naturelles. Des travaux plus récents, intégrant des notions fonctionnelles (par exemple Herskovits, 1986, par la définition d'un ensemble de situations type) proposent des formalisations partielles ayant une meilleure adéquation expressive. E. Lang a expérimenté un ensemble de procédures Prolog (Oskar) qui simulent l'affectation par un locuteur d'adjectifs dimensionnels (définis par leur forme logique) à un nom désignant un objet déterminé, défini par un schéma conceptuel d'objet obtenu à partir de données perceptuelles.

Dans une perspective plus théorique, et en s'attachant aux capacités computationnelles des modèles, l'étude détaillée des relations spatiales (*dans, sur*) (M. Aurnague, M. Borillo, L. Vieu, 1990) montre que chacune des composantes pose des problèmes délicats : du point de vue géométrico-topologique, pour rendre par exemple la notion de contact ou les différents types d'inclusion, nécessité d'une théorie intégrant des composantes méréologiques (Lesniewski, 1989) ; du point de vue fonctionnel, la possibilité de pouvoir appliquer des règles de déduction repose sur une structuration complexe des relations partie/tout appliquées aux entités spatiales. Enfin, la prise en compte de la composante pragmatique se traduit par des catégorisations des entités spatiales, par des règles particulières qui bloquent ou autorisent la déduction. Mais sur ce point, des recherches psychologiques et psycholinguistiques systématiques s'avèrent indispensables. La formalisation de la sémantique des noms de localisation interne (*le haut de x, l'arrière de x,...*) (M. Aurnague, M. Borillo, 1990) rencontre des problèmes du même ordre. Une difficulté particulière tient à la nécessité de définir un système de représentation particulièrement sophistiqué comprenant des traits dimensionnels, des traits de situation (disposition, axes, centre, frontières, ...), des traits de morphologie, etc... ainsi que des règles permettant d'une part de définir les NLI dans les termes de ce système et d'autre part de décrire les objets, afin de pouvoir calculer la référence spatiale de chaque expression du type *NLI de l'objet*.

c. Raisonnement spatial

Associé aux langages de la géométrie et de la topologie, le langage naturel peut, dans

certaines limites, exprimer des raisonnements circonscrits aux concepts géométriques et topologiques, raisonnements qui seront éventuellement formalisables dans ces langages mathématiques (cf. en particulier la géométrie computationnelle souvent associée à la robotique). Mais on s'intéresse ici au raisonnement de "sens commun", qui désigne et décrit par les moyens du langage ordinaire des entités spatiales et les relations qu'elles entretiennent, permettant à partir de ces informations d'effectuer mentalement un certain nombre d'inférences qui complètent la connaissance spatiale du monde. Ainsi, l'énoncé : "Dans le compartiment de chemin de fer, Luc est à côté de Eve et Max est face à elle" permet d'inférer (et de dire) : "Max est face à Luc". Mais que pourrait-on inférer (et dire) si nos personnages étaient "sur la plage" ? On voit comment la catégorisation fonctionnelle et culturelle des référents spatiaux, les conditions d'énonciation (non évoquées ici), ainsi qu'une vaste "connaissance du monde", interviennent dans l'interprétation des expressions linguistiques et par conséquent dans les traitements inférentiels qu'on peut mentalement leur appliquer. Ces difficultés ne sont pas propres à la sémantique de l'espace, mais elles prennent ici un relief particulier du fait de la complexité des interactions entre perception, langage et représentations mentales (Miller & Johnson-Laird, 1976). Si la construction d'une sémantique de l'espace se heurte donc aux limites (pragmatiques et autres) que rencontre toute sémantique formelle du langage naturel, il semble difficile d'éviter en outre dans notre cas de circonscrire la validité des modèles par des restrictions conceptuelles sur les entités spatiales (la classe des solides, des solides indéformables si l'on considère des univers évolutifs, etc...). De telles restrictions apparaissent d'autant plus nécessaires que l'on cherche à étendre la sémantique lexicale aux structures phrastiques (M. Aurnague, M. Borillo, 1990, op. cit.), ou a fortiori discursives (Mayer, 1989), dans lesquelles la maîtrise des règles compositionnelles pour le calcul des significations s'avère particulièrement difficile.

En intelligence artificielle comme en sémantique formelle des langues naturelles, les travaux sur l'espace de "sens commun" sont nettement moins nombreux que ceux sur les structures temporelles. Encore faut-il remarquer qu'en intelligence artificielle la plupart d'entre eux portent sur la représentation des connaissances et le raisonnement spatio-temporels. En outre, la référence au langage est moins systématiquement développée : on peut tenter d'exprimer dans un fragment du langage naturel l'information spatiale contenue dans un enregistrement visuel du déplacement d'objets (Novak, 1987), ou interpréter des expressions linguistiques spatiales pour sélectionner des images dans une base de données visuelles, ou les deux (André, Herzog, Rist, 1988). Dans d'autres cas, la référence au langage est assez indirecte puisqu'on s'intéresse essentiellement à un ensemble de concepts spatiaux et temporels dénotés par des expressions linguistiques et auxquels on associe une "physique naïve" décrivant le comportement manifeste de solides ou de liquides (Hayes, 1985). Enfin, en généralisant certaines conceptions "géométriques" du temps, on peut développer des modèles de raisonnements temporels fondés en grande partie sur des informations spatiales de sens commun à partir desquelles se complètent les déductions temporelles (M. Borillo, B. Gaume, 1990).

3. Sémantique formelle et psychologie cognitive de la perception et du raisonnement spatial.

Dans un domaine aussi vaste et aussi étudié, on se limitera à indiquer quelques orientations de recherche associables de manière spécifique au cadre théorique et à la méthodologie dont procèdent sur le versant linguistique la sémantique formelle et les modèles logiques de l'expression linguistique de l'espace. Pour le versant psychologique tel qu'il sera évoqué ici, la conception de la performance cognitive est fondée sur le présupposé fondamental d'un certain type d'homomorphisme entre les structures de représentation et de traitement au niveau mental et celles d'un automate abstrait, qu'il soit d'abord défini par ses propriétés formelles (Johnson-Laird, 1983) ou que sa description soit spécifiée dans des termes proches de ceux d'un système informatique (Marr, 1982). Il va de soi que ces deux options sont le résultat de choix parmi des théories concurrentes sur le plan linguistique comme psychologique. Mais elles présentent l'avantage à nos yeux d'une grande cohérence théorique et en même temps d'ouvrir une des voies les plus fécondes pour la production des connaissances. Cette fécondité se manifeste au moins sur trois grandes problématiques : la première porte d'une façon générale sur la comparaison entre les processus qui sous-tendent la perception visuelle des entités et des relations spatiales et ceux qui sont associés à la compréhension des mots qui les désignent (par

exemple, Nelson, Reed, Mc Evoy, 1977). Dans la mesure où les modèles proposés reposent sur la différenciation des relations qui articulent les "représentations verbales" et les "représentations imaginales" avec les "représentations conceptuelles" (sémantiques), le fait de disposer d'une théorie analytique de ces dernières, en explicitant la part des différents constituants dans la formation de la signification, permet de concevoir de nouveaux protocoles expérimentaux à partir d'une description plus précise de l'articulation des hypothèses qui les sous-tendent : "... models (on the processing of words and pictures) can be conceived in such a way that they are refutable. One of the problems concerning the models of the imagery debate is that they are very general and vague and need to be more specified" (Engelkamp, 1987).

Cette exigence se précise si on passe du segment "interface" de l'architecture computationnelle de référence à son segment "inférentiel" et que l'on cherche à définir une théorie psychologiquement fondée de certains types de raisonnements spatiaux. Le travail de (Byrne & Johnson-Laird, 1989) semble assez exemplaire à cet égard puisqu'il permet, par des considérations techniques fines sur la déduction dans le cadre de la logique du premier ordre, de concevoir et de tester expérimentalement des hypothèses importantes sur la nature syntaxique ou sémantique des processus de raisonnement que les sujets mettent en jeu pour résoudre un problème spatial. Il est certain que le fait de pouvoir disposer de théories formelles et computationnelles pour un assez grand nombre d'expressions linguistiques de l'espace, chacune de ces théories articulant des catégories géométrico-topologiques, fonctionnelles et (en partie) pragmatiques, ouvre la possibilité de concevoir des expériences plus sophistiquées, où il est possible de contrôler simultanément un plus grand nombre de paramètres dans les situations proposées au sujet. En outre, le temps de réponse, qui est une donnée importante pour l'interprétation des résultats expérimentaux, peut être rapporté à la complexité algorithmique des différentes procédures conjecturées et exécutées sur machine. Des recherches de cette nature, associant linguistes, informaticiens et psychologues sont en cours au sein du Groupe de Recherches Cognitives de Toulouse.

On a évoqué jusqu'ici certaines contributions des études formelles de l'espace à la psychologie. Pour autant, l'échange fonctionne aussi en sens inverse et cela définit la troisième grande problématique évoquée plus haut. En effet, comme cela a été souligné (§2), le linguiste, le logicien et l'informaticien ne peuvent analyser et formaliser les significations spatiales sans isoler un nombre élevé de concepts primitifs de nature extrêmement différente, liés entre eux, le cas échéant, par des relations complexes issues en particulier des interactions entre structures de la perception et du langage (Levelt, 1984). Il est évident que ce travail risque d'être frappé d'arbitraire s'il n'est pas étayé empiriquement par une investigation psychologique qui explore de manière systématique les manifestations éventuelles, directes ou indirectes, des concepts primitifs qui entrent dans l'ontologie du modèle (Garnham, 1989). Cette orientation de recherche complète et régule les deux précédentes.

Dans une perspective différente, la maîtrise des interactions entre l'homme et les systèmes informatiques, la conjonction d'approches psychologiques et linguistiques dans le cadre formel et opératoire de la logique et de l'informatique semble tout aussi indispensable. Que la modalité communicationnelle soit le langage - il s'agira d'interpréter ou d'engendrer des énoncés linguistiques relatifs à l'espace - ou que ce soit la mise en correspondance d'images et d'énoncés entre l'opérateur et le système, on voit mal comment la conception du dispositif formé par l'homme et la machine pourrait faire l'économie d'une sémantique psycholinguistique de l'espace telle qu'elle a été évoquée ci-dessus.

La précision de l'analyse linguistique, reposant sur la prise en compte exhaustive des classes lexicales associées à l'espace, l'explicitation psychologique du rôle joué par chacun des concepts dans la formation de la signification, la description logique et informatique des propriétés structurelles des théories, les multiples mises à l'épreuve empiriques ouvertes par la confrontation des données linguistiques et psychologiques avec les résultats du calcul, font de l'étude cognitive des significations spatiales un domaine pour lequel se constitue une méthodologie cohérente intégrant effectivement les contributions de quatre disciplines. Reste à se demander comment une description plus fine des processus psycholinguistiques mis en jeu par

l'espace pourrait contribuer à préciser certaines questions psychophysiologiques. Et au prix de quels changements éventuels du cadre théorique ? Des interrogations du même ordre pourraient d'ailleurs être adressées à l'anthropologie culturelle.

Références

- André, E., Herzog, G., Rist, T., 1988. On the simultaneous interpretation of real world image sequences and their natural language description: the system SOCCER. *ECAI 88*, Pitman, London.
- Aurnague, M., Borillo, M., 1990. A formal semantics for internal localization: an essay on spatial commonsense knowledge, *AIMSA 90*, North Holland, Amsterdam.
- Aurnague, M., Borillo, M., Vieu, L., 1990. A cognitive approach to the semantics of space. *Cognitiva 90*, AFCET, Paris.
- Aurnague, M., 1989. Catégorisation des objets dans le langage : les noms de localisation interne. *Cahiers de Grammaire*, 14, 1-21, Université de Toulouse-Le Mirail.
- Boons, J.P., 1987. La notion sémantique de déplacement dans une classification syntaxique des verbes locatifs. *Langue Française*, 76, Paris.
- Borillo, A., 1988. Le lexique de l'espace : les noms et les adjectifs de localisation interne. *Cahiers de Grammaire*, 13, 1-22.
- Borillo, M., Gaume, B. 1990. An extension to Kowalski & Sergot's event calculus. *ECAI 90*, 99-104, Stockholm.
- Borillo, M., Vieu, L. 1989. Eléments pour la formalisation du raisonnement spatio-temporel naturel. *RFIA 89*, AFCET, Paris.
- Byrne, R.M.J., Johnson-Laird, P.N. 1989. Spatial reasoning, *Journal of Memory and Language*, 28, 564-575.
- Engelkamp, J. 1987. Arguments for a visual Memory System, in Engelkamp J., Lorenz K., Landig B. eds. *Wissensrepräsentation und Wissensaustausch*, W.J Röhrig Verlag, St Ingbert.
- Fodor, J.A. & Pylyshin, Z.W., 1988. Connectionism and cognitive architecture: A critical analysis. *Cognition*, 28, 3-71.
- Hayes, P.J., 1985. The second naive physics manifesto in *Formal theories of the Commonsense world*, Hobbs, J.R., Moore, R.C., eds. Ablex Publ. Co, Norwood, N.J.
- Herskovits, A., 1986. *Language and Spatial Cognition: an interdisciplinary study of the preposition in English*, Cambridge University Press, New York.
- Jackendoff, R., 1983. *Semantics and Cognition*, The MIT Press, Cambridge, Mass.
- Johnson-Laird, P.N. 1983. *Mental Models. Towards a Cognitive Science of Language, Inference and Consciousness*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Garnham, A. 1989. A unified theory of the meaning of some spatial relational terms, *Cognition*, 31, 45-60.
- Lang, E., 1989. The Semantics of Dimensional Designation of Spatial Objects, in M. Bierwisch & E. Lang, eds., *Dimensional Adjectives. Grammatical Structure and Conceptual Interpretation*. Springer-Verlag, Berlin.

- Laur, D., 1989. Sémantique du déplacement à travers une étude de verbes et de prépositions du français. *Cahiers de Grammaire*, 14, 65-84, Université de Toulouse-Le Mirail.
- Leech, G., 1969. Place, in *Towards a semantic description of English*, 159-201, Longman Linguistic Library, London.
- Lesniewski, S., 1989. *Sur les fondements de la mathématique*, traduction G. Kalinowski, avec une Préface de D. Mieuville. Hermès, Paris.
- Levelt, W.J.M. 1984. Some perceptual limitations on talking about space, in van Doorn A.J. van der Grind W.A., Koenderink J.J. eds. *Limits in perception*, VNU Science Press, Utrecht.
- Marr, D. 1982. *Vision. A Computational Investigation in the Human Representation of Visual Information*. Freeman, San Francisco.
- Mayer, R., 1989. Coherence and motion, *Linguistics*, 27, 437-485.
- Miller, G.A., Johnson-Laird, P.N., 1976. *Language and Perception*. Harvard University Press, Cambridge, Mass.
- Nelson, D.L., Reed, V.S., Mc Evoy C.L. 1977. Learning to order pictures and words : A model of Sensory and Semantic Encoding. *Journal of Experimental Psychology : Human Learning and Memory*, 3, 485-497.
- Novak, H.J., 1987. Text generation based on visual data: description of traffic scenes. *AIMSA 87*, Jorrand, Ph. Sguraev, V., eds., North-Holland, Amsterdam.
- Pylyshin, Z.W., 1984. *Computation and Cognition. Towards a Foundation for Cognitive Science*. Bradford Books, MIT Press, Cambridge Mass.
- Schnelle, H., 1986. Array logic for syntactic production processors, in Mey, J.L., ed., *Language and discourse*, 477-511, Benjamins, Amsterdam.
- Talmy, L. 1983. How language structures space, in *Spatial Orientation. Theory, Research and Application*. Pick H.L, Acredolo L. P. eds. 225-320, Plenum Press. New-York.
- Teller, D.Y., 1984. Linking propositions. *Vision Research*, 24, 1233-1246.
- Vandeloise, C. 1986. *L'espace en français. Sémantique des prépositions spatiales*, Le Seuil. Paris.

Raisonnement et Compréhension

Guy Politzer, CNRS

On peut distinguer deux grands champs de recherche dans l'étude psychologique du raisonnement. Le premier est au niveau de la macrostructure du discours: c'est celui des *raisonnements longs* mis en jeu dans les situations d'acquisition de connaissances et de certains apprentissages, de démonstration, de résolution de problème et d'argumentation. Les concepts pertinents pour l'analyse de ces situations sont ceux de *but* et de *stratégie de résolution*. Le second est au niveau de la microstructure: c'est celui des raisonnements courts, qui forment le pas-à-pas des premiers. Ce sont surtout ceux-ci qui seront considérés.

La donnée empirique la plus nette est la *médiocrité de la performance* des individus dans toute une variété de tâches déductives et inductives, estimée par rapport à une norme logique. Cela ne veut pas dire qu'il n'existe pas de compétence inférentielle, mais seulement que celle-ci est limitée. La fréquence des fautes de raisonnement est sans commune mesure avec celle des fautes de langage par exemple. Un autre résultat empirique général est *l'influence considérable du contexte et du contenu* des énoncés sur la performance, la structure logique étant maintenue constante. Une dernière donnée empirique est *l'influence des croyances*, l'individu ayant tendance à accepter ou à rejeter une conclusion selon qu'elle est ou non congruente avec ses croyances.

Les avancées théoriques les plus marquantes sont:

- l'interprétation des biais et erreurs dans le raisonnement déductif et probabiliste en termes *d'heuristiques* ou principes généraux qui ne

prennent en compte que certains aspects superficiels des situations ou des énoncés (Kahneman & Tversky, J. Evans).

- la théorie des *modèles mentaux* de Johnson-Laird selon laquelle les individus construisent une représentation de la situation ou de l'énoncé fondée sur ses conditions de vérité puis appliquent le principe selon lequel une inférence est valide quand la conclusion reste vraie dans tous les modèles envisagés.

- le concept de *schéma pragmatique de raisonnement* (Cheng & Holyoak) pour expliquer le raisonnement conditionnel sur la base de structures d'un niveau d'abstraction intermédiaire entre mémorisation de l'expérience et règles d'inférence syntaxiques.

- la démonstration, dans le domaine du raisonnement propositionnel, de l'existence d'une compétence déductive de base (M. Braine, L.Rips).

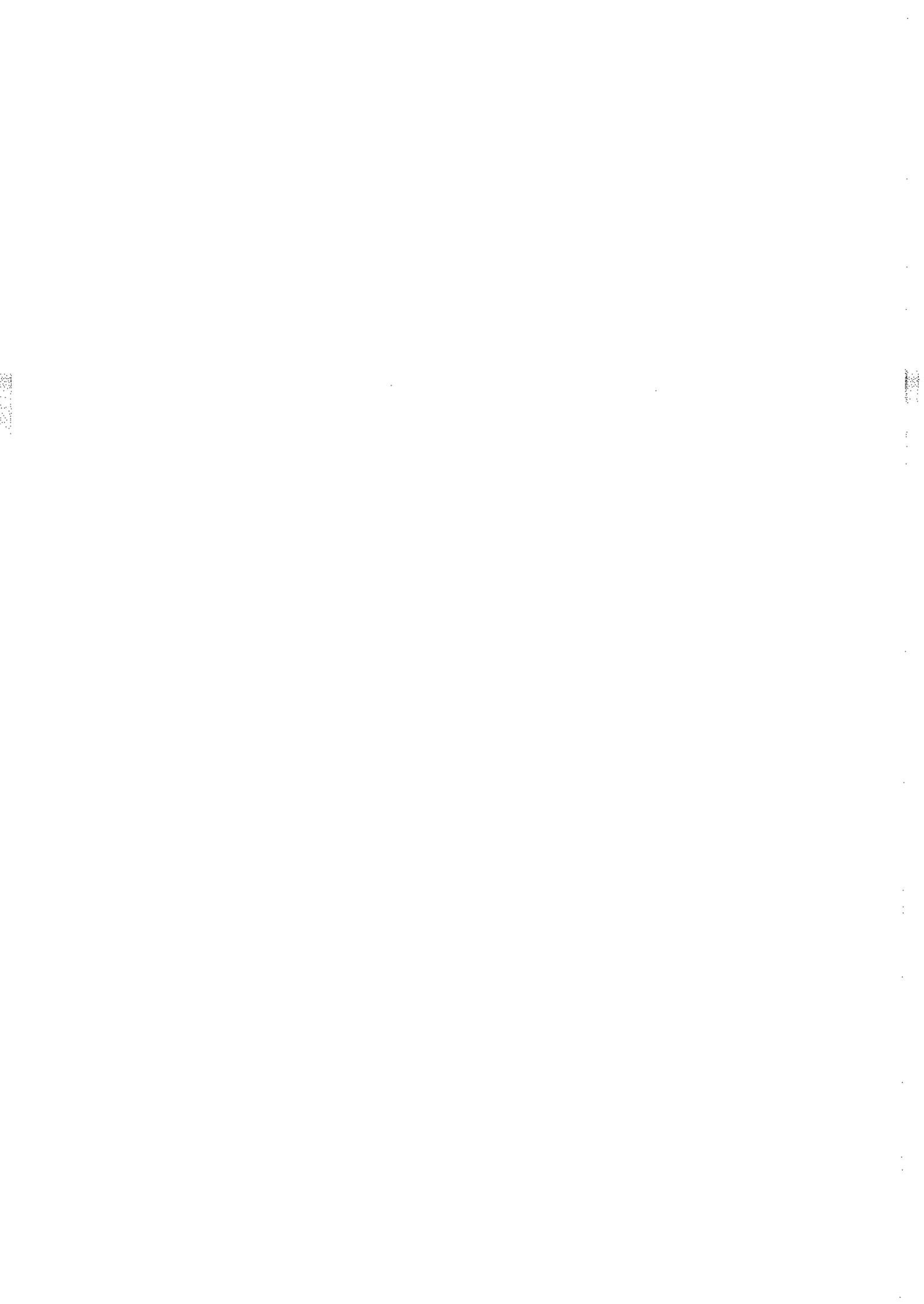
- la théorie du test d'hypothèse de Klayman & Ha.

Malgré l'importance de ces propositions théoriques, aucune avancée décisive n'a été faite pour expliquer avec un degré de généralité suffisant les caractéristiques mentionnées du raisonnement humain. On peut s'interroger sur les causes et les remèdes à cet état de fait. J'en suggère deux.

Premièrement, l'un des points faibles des expérimentations et des théories est le défaut d'analyse linguistique. Les observations sur la performance ne sont même plus fondées si l'expérimentateur et le sujet n'ont pas la même interprétation des prémisses. Or, à cause de phénomènes bien connus en pragmatique linguistique, cette mésentente se produit dans beaucoup de situations expérimentales qui ont eu de l'influence sur l'élaboration des théories du raisonnement (ainsi d'ailleurs

que sur les prises de position philosophiques concernant la rationalité humaine). La prise en compte de la composante sémantique et pragmatique me semble être une priorité afin de rendre aux expérimentations la validité qui leur fait souvent défaut. Une autre raison en faveur d'une collaboration interdisciplinaire pour l'étude de la psychologie du raisonnement et de la compréhension du langage est symétrique de la précédente. Il est clair qu'on ne peut faire une théorie de la communication linguistique sans postuler l'existence d'un système de règles d'inférence spontanées permettant le passage du sens littéral à ce qui est communiqué par le locuteur (Sperber & Wilson). Il s'ouvre donc à la collaboration entre psychologues et linguistes un vaste domaine de recherche portant sur l'organisation de cette composante inférentielle.

Une autre collaboration souhaitable est celle entre psychologues et informaticiens. On doit reconnaître que les seconds ont été plus créatifs que les premiers sur le propre terrain de ceux-ci en introduisant des concepts fortement motivés précisément sur le plan psychologique: Ainsi en est-il par exemple du principe de circonscription de McCarthy, de l'élaboration des logiques non monotones ou encore de l'accent mis sur une activité inférentielle déjà connue mais tout à fait négligée, à savoir l'abduction. Vu le pouvoir explicatif potentiel que ces concepts peuvent fournir, ils devraient être pris en compte par les études psychologiques.



Théorie du raisonnement scientifique chez l'homme et chez l'ordinateur

Daniel N. Osherson

M.I.T.

Le raisonnement scientifique soulève deux questions principales en Science Cognitive contemporaine. On peut qualifier l'une de ces questions de "normative," l'autre de "descriptive." Du point de vue normatif, on aimerait concevoir un système artificiel faisant preuve du meilleur jugement possible. Par contre, sur le plan descriptif, on aimerait connaître le caractère du jugement humain, quelque soit sa validé normative. L'opposition entre ces deux questions se dégage avec clarté dans le domaine de la probabilité, qui sera traité dans cet exposé.

Les axiomes de Kolmogorov servent de base théorique à l'analyse normative de la probabilité, du moins sous les aspects élémentaires. Sur le plan descriptif, le travail de Tversky & Kahneman a démontré que le jugement humain se démarque de ces axiomes.

Les questions normatives et descriptives sont logiquement indépendantes. Aussi peut-on se demander s'il vaut la peine de jeter le même manteau de "Science Cognitive" sur toutes les deux. Peut-on, effectivement, espérer une interaction véritable entre l'étude de la psychologie humaine et l'étude de la computation utile? Dans l'exposé deux illustrations seront proposées pour donner une idée du genre d'interaction à souhaiter.

Pour la première illustration on pose la question suivante. Pourquoi le système humain est-il bâti de façon à commettre tant d'erreurs sur la probabilité? Est-ce un oubli de la part de l'évolution, qui a du pourtant favoriser le bon raisonnement par ailleurs? On éclaire cette question en soulevant une question computationnelle, à savoir: quel est le meilleur système possible pour manipuler les probabilités? On constate que cette manipulation est intractable pour *tout* système de calcul, donc forcément pour le système humain. En effet, il y a déjà plusieurs théorèmes qui mettent en évidence cette intractabilité. Je propose un exemple original.

L'exemple se rapporte à un certain langage formel. Nous supposons que ce langage concerne une nouvelle sorte de cristal récemment découverte. Pour en parler, on a recours à un certain langage formel qui comprend les symboles familiers de la logique. En plus, il y a des chiffres 0 à 9, et des symboles pour une fonction et une relation. La relation, par exemple, relie deux cristaux si une matière composée du premier peut rayer une matière composée du second.

Nous aimerions établir une distribution de probabilité pour notre langage. Cette distribution représentera l'incertitude que nous ressentons au sujet de la valeur de vérité des formules différentes. Supposons qu'après avoir fixé une distribution, on souhaiterait construire une machine qui compare les probabilités attribuées aux formules différentes. Cette machine acceptera deux formules. Elle dira "un" si la probabilité de la première est plus grande que celle de la deuxième. Sinon, elle dira "zéro." Il n'est pas nécessaire que la machine fonctionne sur des formules de toutes longueurs. Il sera suffisant, mettons, qu'elle marche sur toute formule ayant une longueur qui ne dépasse pas les huit cent symboles; c'est une longueur qui n'est pas excessive, tout en nous permettant d'exprimer bien de propositions.

Notre machine sera un "circuit booléen," c'est-à-dire, un réseau d'opérations binaires travaillant sur zéro et un. Chaque symbole de notre langage sera codé par une suite de chiffres. Puisque nous avons cinquante-huit symboles, les suites de six chiffres suffisent pour ce codage. Le circuit est donc censé examiner le code correspondant à n'importe quelles paires de formules de longueur huit cent symboles. Elle doit sortir "un" si la probabilité attribuée à la première est plus grande que celle de la deuxième, et "zéro" sinon. Nous nous posons la question suivante. Quel est le nombre minimum de circuits nécessaires pour construire une telle machine? Ce nombre reflète la complexité du raisonnement probabiliste. En effet, le nombre minimum de circuits est excessivement vaste. Il s'ensuit qu'aucun système qui effectue les manipulations de probabilité les plus élémentaires rentrerait dans le crâne humain. Voici donc l'illustration d'une considération normative qui fait avancer quelque peu la connaissance descriptive.

La deuxième illustration est l'inverse, c'est-à-dire, l'application d'une découverte descriptive à la conception d'un système artificiel. L'illustration porte sur la question suivante. Comment appliquer les axiomes de la probabilité à une situation dépourvue de probabilité au départ — en particulier, dépourvue de probabilités de base, celles qui permettent la déduction des autres?

Une nouvelle idée ressort des études récentes en psychologie. Elle est applicable

le plus directement aux bases de données qui prennent la forme d'une matrice où les rangées représentent des objets et les colonnes représentent des dimensions. Dans les cases de la matrice sont les niveaux d'association des dimensions aux objets en forme de nombres réels.

Une base de données de ce genre donne lieu à un certain nombre de propositions exprimant le rapport entre objets et propriétés. La question est de savoir comment synthétiser — de manière raisonnable — une distribution de probabilité pour cet espace de propositions. Notre approche repose sur le calcul de similarité, suivant un modèle psychologique qui part du principe que bien des objets et des propriétés sont représentés mentalement sous forme de vecteurs réels.

COGNITION ET CULTURE

Dan Sperber
CNRS et CREA, Ecole Polytechnique

La "révolution cognitive" en psychologie expérimentale se caractérise par deux traits principaux: l'exigence méthodologique de décrire toute fonction mentale comme un mécanisme explicitement modélisable; l'élargissement du champ d'étude à toutes les fonctions mentales, y compris les fonctions "supérieures" (par opposition à l'anti-mentalisme de la période behavioriste). L'élargissement thématique est évidemment favorable au rapprochement entre les Sciences Cognitives et les Sciences Sociales. En revanche, l'exigence méthodologique de modélisation explicite est mal comprise - et encore plus mal satisfaite - dans les Sciences Sociales. En conséquence, on y assiste alors au développement d'une mode cognitive peut-être utile mais plutôt superficielle et, plus rarement, à la mise en train de nouveaux programmes de recherche véritablement interdisciplinaires. Cinq domaines de recherches brièvement évoqués et portant sur les rapports entre cognition et culture serviront d'illustrations:

1) La culture comme cadre de la cognition.

Les anthropologues ont depuis longtemps reproché aux psychologues de l'intelligence et du développement d'universaliser sans précaution des résultats relevant d'un contexte culturel particulier. Un courant de recherche psychologique (M. Cole., S. Scribner, J. Wertsch), revendiquant l'héritage de Lev Vygotsky, a pris au sérieux cette objection et considéré le cadre culturel comme la condition même du développement cognitif humain, et étudié la façon dont les différences culturelles entraînent des différences cognitives. La plupart des recherches dans ce domaine (cf., par exemple le *Handbook of Cross-Cultural Psychology*) ont cependant porté plus sur la performance que sur les mécanismes sous-jacents et sont restées, à cet égard, pré-cognitives. Ce n'est déjà plus tout à fait le cas dans le domaine de la perception visuelle (J.B. Deregowski) ou dans celui de la catégorisation (S. Carey, F. Keil).

2) La culture comme objet de cognition.

Les psychologues sociaux et les anthropologues étudiant la socialisation ont depuis longtemps prêté attention au fait que l'essentiel des connaissances que l'enfant doit acquérir sont des connaissances culturelles: en un sens général, parce qu'elles sont culturellement transmises et, plus particulièrement pour certaines d'entre elles, parce qu'elles portent sur la culture elle-même ou sur les rapports sociaux. Ces recherches ont adopté un style cognitif sous l'étiquette de "cognition sociale" (voir les recueils de J. Forgas, J. Flavell & L. Ross, G. Butterworth & P. Light, A. Gellatly, D. Rogers & J. Sloboda). L'étude des "représentations sociales" (S. Moscovici), et les recherches sur l'acquisition de la moralité et des conventions (E.

Turiel, R. Shweder) participent de ce renouveau. Cependant, ici aussi, la modélisation des mécanismes cognitifs sous-jacents reste à développer.

3) La cognition comme condition de la culture.

Ce qui fait de l'espèce humaine une espèce culturelle, ce sont d'abord les capacités cognitives dont elle est dotée. Tant qu'on pouvait penser qu'il ne s'agissait que d'une intelligence ou d'une aptitude à apprendre tout à fait générale, les conséquences de ce truisme pour la recherche étaient négligeables. Cependant, C. Lévi-Strauss soutenait déjà que l'organisation de l'esprit humain, qu'il concevait pourtant comme très générale, structurait de façon pertinente les contenus culturels. Aujourd'hui, la modélisation des aptitudes d'apprentissage amène à penser que l'acquisition des connaissances dans différents domaines est sous-tendue par des mécanismes distincts et spécialisés. On étend ainsi à plusieurs domaines conceptuels tels la physique naïve (E. Spelke), les nombres (R. Gelman & C. Gallistel), la biologie (F. Keil, S. Atran), l'idée de facultés d'apprentissage spécialisées défendue par N. Chomsky pour le langage.

Les travaux sur la psychologie naïve ou "théorie de l'esprit" inspirés par D. Premack et développés par A. Leslie, H. Wellman, H. Wimmer & J. Perner, sont ici doublement pertinents: d'une part parce que l'aptitude à prêter à autrui des états mentaux est la précondition de la communication humaine; d'autre part parce que toute compétence sociale se fonde sur une telle aptitude.

Si les facultés d'apprentissage sont ainsi spécialisées, alors il est naturel d'envisager qu'elles exercent une contrainte sur les contenus culturels et sur leur évolution. Cette façon de voir est illustrée par les travaux de P. Boyer, M. Bloch, L. Hirschfeld et, tout particulièrement, ceux de S. Atran sur les fondements cognitifs et culturels de l'histoire des sciences naturelles.

4) L'évolution de la cognition et de la culture.

Si des aptitudes spécialisées innées jouent un rôle déterminant dans l'apparition et l'évolution de la culture, on peut se demander comment ces aptitudes elles-mêmes ont évolué? Un courant de recherches inspiré en particulier par J. Tooby et L. Cosmides (et auquel se sont ralliés des chercheurs comme R. Sheppard et R. Nisbett) cherche à répondre à cette question en tentant d'articuler des hypothèses de paléontologie, des modèles d'optimisation et des données expérimentales et culturelles. On peut se demander en outre s'il y a une interaction importante entre l'évolution biologique des aptitudes cognitives et celle des cultures que ces aptitudes rendent possibles? R. Dawkins, C. Lumsden & E.O. Wilson, R. Boyd & P. Richerson ont contribué à ce débat où les dimensions cognitives et culturelles sont souvent traitées de façon assez superficielle. La question posée, elle, n'a rien de superficiel et doit donc être explorée plus avant.

5) Redéfinitions cognitives de la culture.

Dès les années soixante, un courant de l'anthropologie connu sous le nom d'"ethnoscience" ou d'"anthropologie cognitive" (et illustré entre autre par R. d'Andrade, B. Berlin, C. O. Frake, W. Goodenough, D. Hymes, P. Kay, F. Lounsbury) proposait de redéfinir la culture comme l'ensemble des connaissances nécessaires pour participer de façon compétente à la vie sociale d'un groupe social donné. Cette "compétence culturelle", modelée sur la compétence linguistique de Chomsky, faisait de la culture un phénomène purement et simplement cognitif (avec, d'ailleurs, une vision assez élémentaire de la cognition, presque réduite à la catégorisation). Or il est beaucoup plus difficile de faire abstraction des différences de compétence entre membres d'une même culture que de celles entre locuteurs d'une même langue car, dans le cas culturel, certaines de ces différences (celles liées par exemple à la division du travail) sont constitutives de la culture.

Une autre redéfinition de la culture, inspirée elle-aussi par les Sciences Cognitives, consiste à traiter la culture comme une distribution de phénomènes cognitifs dans une population et à étudier la culture ainsi conçue au moyen d'une démarche épidémiologique. Dans cette perspective, L. Cavalli-Sforza et M. Feldman ont développé des modèles mathématiques de la transmission culturelle. J'ai pour ma part tenté de montrer comment différents types de mécanismes cognitifs étaient susceptibles d'affecter différemment la distribution culturelle des phénomènes cognitifs qu'ils sous-tendent.

COMMUNICATION ET COGNITION

François Récanati

Groupe de recherche sur la cognition
CREA, CNRS/Ecole polytechnique
1 rue Descartes, 75005 Paris

Introduction: de la philosophie du langage à la philosophie de l'esprit

La contribution des philosophes aux sciences cognitives ne se limite pas, comme on le croit parfois, à une réflexion de type épistémologique sur les sciences cognitives. Dans certains domaines plus spécifiquement de leur compétence, les philosophes ont participé directement à l'élaboration des théories cognitives. C'est le cas en ce qui concerne le langage: en collaboration avec les linguistes et les logiciens mathématiciens, les philosophes ont posé les fondements de la recherche linguistique dans certains domaines comme la sémantique et la pragmatique. C'est le cas aussi en ce qui concerne la pensée: la "philosophie de l'esprit" et la psychologie théorique sont étroitement mêlées (et en fait indistinguables, comme sont à peu près indistinguables la "philosophie du langage" et la linguistique) dans l'étude commune des états mentaux et de leur relation avec les états cérébraux.

Depuis une dizaine d'années, on observe un déplacement massif d'un domaine vers l'autre - de la philosophie du langage vers la philosophie de l'esprit. Ce déplacement est facilité par le fait qu'il y a beaucoup de points communs entre le langage et la pensée, de sorte qu'un certain nombre de résultats obtenus dans l'étude du langage restent utilisables dans une perspective non plus linguistique mais psychologique. L'idée que la pensée ressemble beaucoup à un langage constitue elle-même un thème central en philosophie de l'esprit, et elle s'est révélée féconde même pour ceux qui sont tentés de la rejeter.

Dans cette communication je présente un exemple particulièrement intéressant de transfert de résultat d'un domaine à l'autre. Il s'agit d'un phénomène qui semble propre au langage en tant que moyen d'expression et de communication, et que, néanmoins, on retrouve du côté de la pensée.

La communication linguistique

La recherche pragmatique de ces dix dernières années a montré que, dans la communication linguistique, le message communiqué ne peut être compris que sur la base d'une inférence contextuelle. Le message communiqué par un énoncé est *sous-déterminé* par le matériel linguistique utilisé - il n'est pas intégralement codé dans la phrase - et sa reconstitution par l'auditeur fait appel à l'intelligence générale et suppose un accès illimité à la mémoire encyclopédique en même temps que la connaissance du contexte d'énonciation. La compétence proprement linguistique de l'interprète lui permet seulement de déterminer la *signification linguistique* de la phrase, mais celle-ci n'est qu'un schéma abstrait fort différent du message communiqué.

On penserait à première vue que cette distinction entre la signification linguistique de la phrase et le message contextuellement véhiculé n'est pas transposable à la pensée. Le langage est utilisé en contexte pour communiquer la pensée, et donc il est compréhensible que la pensée ne soit que partiellement codée dans le matériel linguistique, si des inférences contextuelles appropriées permettent de compléter l'interprétation. C'est l'expression linguistique de la pensée qui dépend du contexte, et impose une distinction entre deux niveaux de contenu, la signification linguistique (indépendante du contexte) et l'information ou la pensée communiquée (qui dépend du contexte). Dès qu'on cesse de s'occuper de la communication linguistique des pensées, pour s'intéresser aux pensées elles-mêmes, une telle distinction sémantique semble perdre sa raison d'être. Pourtant on retrouve la distinction en question *au niveau de la pensée elle-même*.

Subjectivité et cognition

Les informations sur l'environnement parviennent à l'organisme *via* la perception, et guident l'organisme dans l'action. Les pensées qui sont directement en rapport avec la perception ou l'action sont dans un certain format, le format égo-centrique; elles mettent en jeu des concepts "subjectifs" ou "indexicaux" comme *moi-même, ici, devant, derrière*, etc. Cette égo-centricité des pensées liées à la perception et à l'action s'explique fort bien: Je ne puis agir que suivant un plan d'action orienté par rapport à moi-même, et ce que je perçois est semblablement orienté par rapport à moi-même.

Mais une information ne peut rester bien longtemps dans le format égo-centrique. Une information qui m'est délivrée, sur la base de mes perceptions, comme information concernant ce qui se passe *ici, dans cette salle* cesse de m'être accessible, au moins sous ce format, à partir du moment où je quitte la salle en question. Le format égo-centrique étant réservé aux informations qui parviennent à l'organisme en vertu de certaines relations qu'il entretient avec l'environnement, il faut, pour conserver durablement ces informations, les recoder dans un autre format, de façon à les rendre indépendantes de ces relations. Dans l'exemple que j'ai donné, il faut, pour conserver l'information au sujet de ce qui se passe dans cette salle, la reformuler en information concernant ce qui se passe (par exemple) dans l'amphithéâtre Poincaré. Une information sur un lieu ne peut en effet être codée égo-centriquement comme information concernant "ici" que si on se trouve dans le lieu en question; la même information, si on ne se trouve pas dans ce lieu, doit se présenter différemment.

Ce que je viens de dire suppose qu'une même information peut être "formulée" de différentes façons dans la pensée. D'où une distinction de principe entre une pensée (individualisée par ce que j'ai appelé le "format" ou la "formulation" - par les "concepts" qu'elle met en jeu) et le contenu informationnel de celle-ci, lequel peut être exprimé ou véhiculé par des pensées fort différentes. Or cette distinction correspond étroitement à celle entre la signification linguistique d'une phrase et le message ou l'information qu'elle véhicule contextuellement. Une pensée subjective comme "Il y a du monde ici" véhicule une information concernant l'amphithéâtre Poincaré seulement si l'acte mental consistant à la penser se produit dans l'amphithéâtre en question. Le contenu informationnel d'une pensée, comme celui d'un énoncé, dépend donc du contexte. Il n'en reste pas moins que la pensée elle-même possède une sorte de contenu subjectif intrinsèque, indépendant du contexte dans lequel se produit l'acte mental. Quel que soit le lieu où je pense "Il y a du monde ici", il y a un sens où je pense la même chose à chaque fois que je pense cela. (Ce contenu subjectif de la pensée, contextuellement invariant, peut être caractérisé fonctionnellement; il s'agit, en gros, du *rôle cognitif* de la pensée en question, constitué par les perceptions et les pensées qui sont susceptibles de l'entraîner, et par le type de comportement et les pensées qu'elle même est susceptible d'entraîner.) On retrouve ici encore l'analogie avec le langage; car la phrase "Il y a du monde ici" garde la même signification linguistique quel que soit le contexte où je l'énonce, même si l'information véhiculée, elle, dépend systématiquement du contexte. Il est ainsi apparu, à la suite

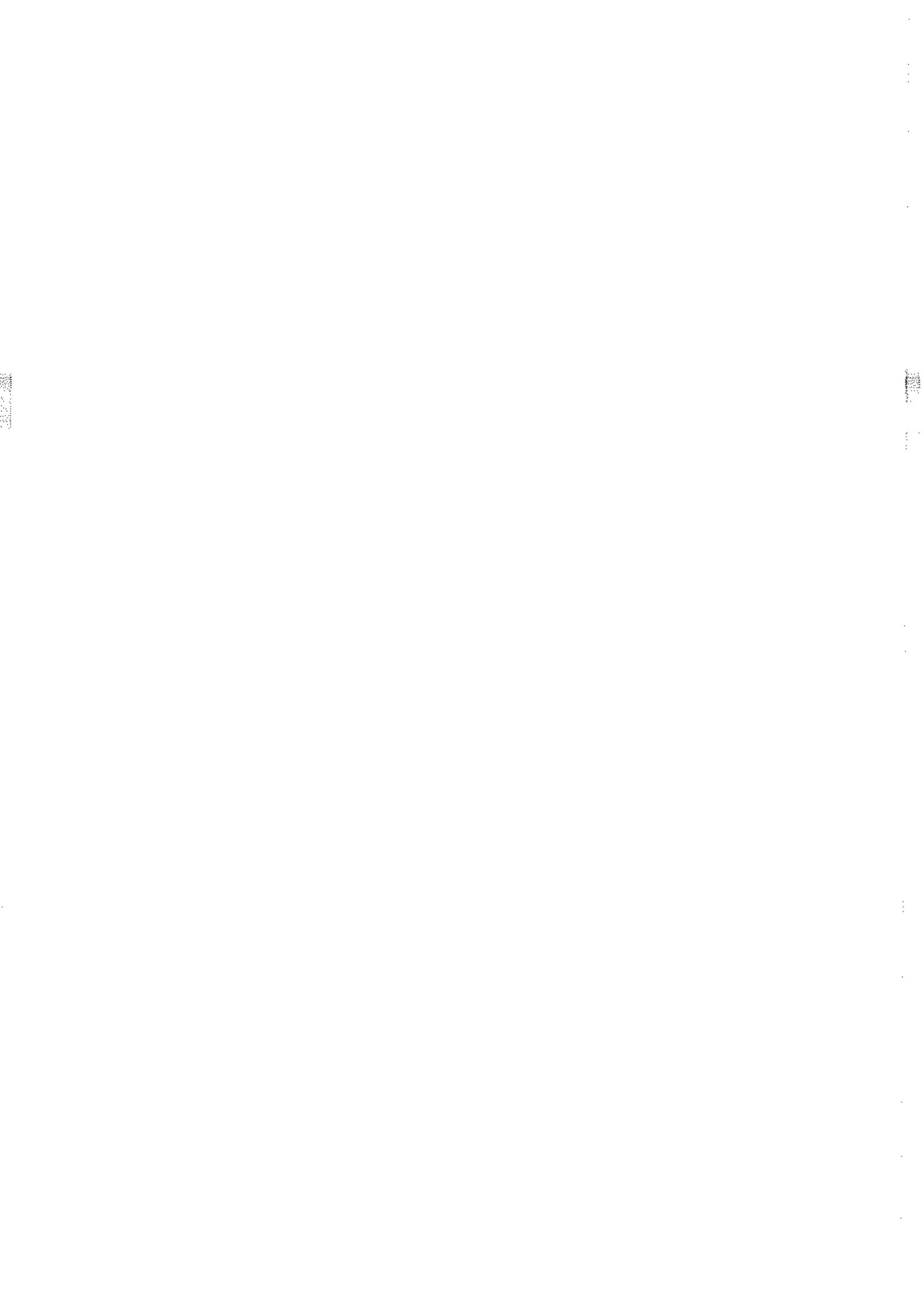
notamment des travaux de John Perry, que la sémantique bidimensionnelle conçue par le logicien David Kaplan pour formaliser la distinction entre la signification de la phrase et l'information contextuellement véhiculée pouvait être utilisée dans l'étude de la pensée pour formaliser la distinction entre le contenu subjectif des pensées et leur contenu informationnel objectif. Cette direction de recherche est, à mon avis, très prometteuse.

Conclusion

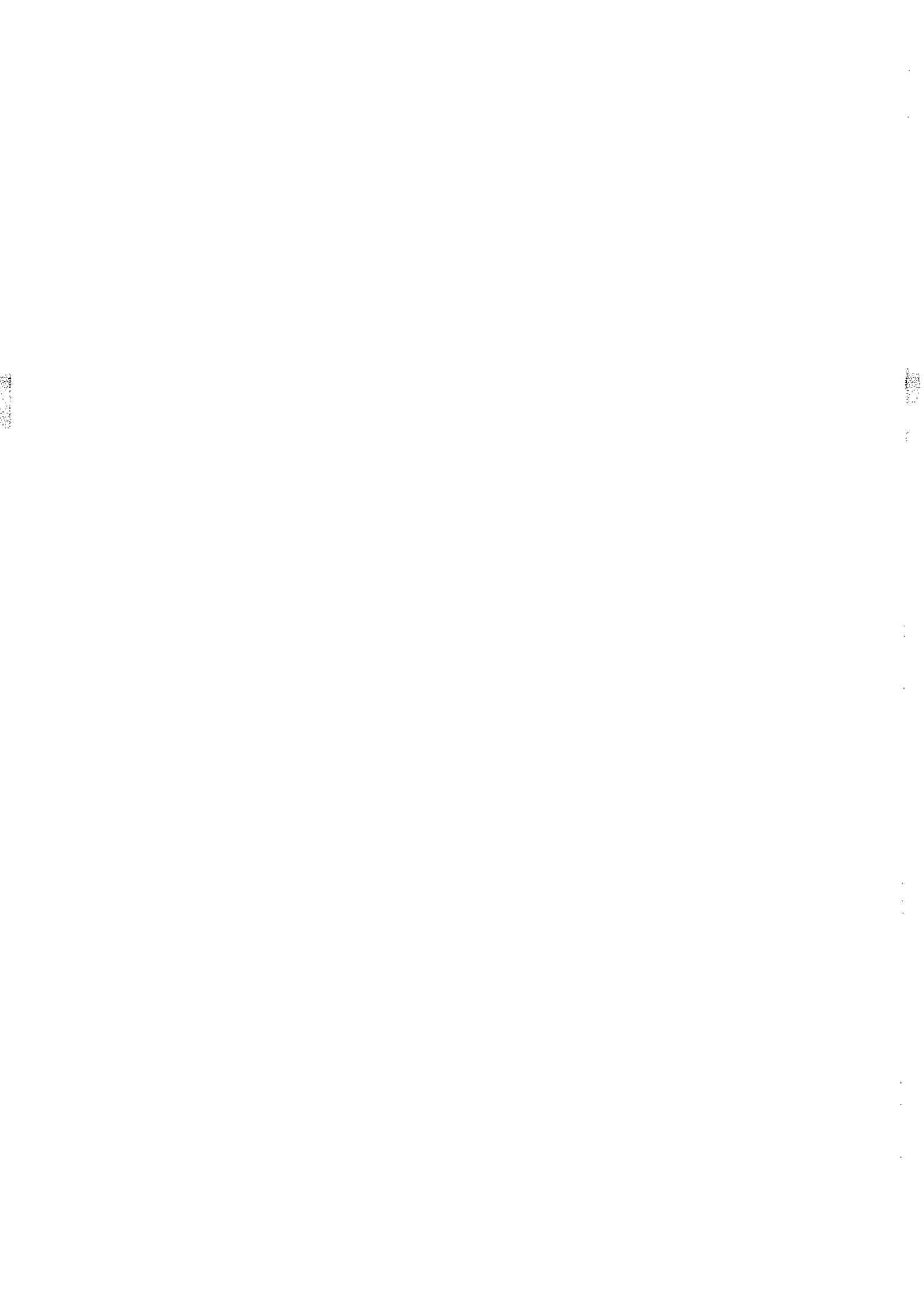
Beaucoup de gens pensent que les philosophes de la cognition ont eu tendance à pousser trop loin l'analogie entre pensée et langage. Il me semble, au contraire, que la fécondité de cette analogie est loin d'être épuisée. L'exemple que j'ai donné est particulièrement frappant, car on ne se serait pas attendu *a priori* que la pensée possède la bidimensionalité sémantique qui caractérise les énoncés linguistiques, dans la mesure où celle-ci semble liée à la fonction *communicative* du langage.

J'ai choisi cet exemple non seulement pour illustrer cette idée générale concernant la fécondité de l'analogie linguistique pour l'étude de la pensée, mais aussi pour attirer l'attention sur deux types de recherches qui méritaient, je crois, d'être mentionnées dans ce colloque de prospective. Il s'agit, premièrement, des recherches sur les mécanismes inférentiels qui, dans la communication linguistique, permettent de déterminer le message communiqué sur la base de la signification linguistique de la phrase et du contexte; comme je l'ai dit, ces mécanismes ne sont pas spécifiquement linguistiques mais font appel à l'intelligence générale. De nombreux chercheurs français - parmi lesquels plusieurs participent à ce colloque - ont contribué de façon notable à ces recherches en "pragmatique", qui ont renouvelé notre façon de concevoir la communication linguistique. Le second type de recherches sur lequel je souhaitais attirer l'attention a trait aux pensées "subjectives" et à leur rôle dans le traitement de l'information humaine. Il y a là, me semble-t-il, un mode d'approche possible (assurément très partiel) de ce phénomène complexe et central que les sciences cognitives ont eu dans un premier temps tendance à contourner mais qui, aujourd'hui, revient au premier plan des préoccupations: la conscience.

L'initiative des recherches revenant, dans les deux domaines dont je viens de parler, aux philosophes, l'exemple que j'ai choisi de vous présenter m'aura permis aussi d'illustrer ce que je disais au début, à savoir le fait que la contribution des philosophes aux sciences cognitives ne se limite pas à une réflexion de type épistémologique sur les sciences cognitives. Je suis certain que le prochain orateur, le philosophe Daniel Dennett, ne me contredira pas sur ce point, bien que sa conférence ait pour titre "L'épistémologie des sciences cognitives".



CONFÉRENCE



Escape from the Cartesian Theater

Daniel C. Dennett
Center for Cognitive Studies
Tufts University

Everyone working in cognitive science who is not a philosopher is a philosopher *malgré lui*. There is no way to avoid having philosophical preconceptions; the only choice is whether to examine them explicitly and carefully at some point in one's endeavors. It is of course possible that some of today's philosophically unschooled and unheeding theorists are lucky enough to harbor only the soundest philosophical preconceptions, but this would be great luck indeed, since most scientists, relying on the general philosophical ambience of their scientific educations, coupled with "common sense", arrive at a set of philosophical positions that seriously mislead them in their own researches.

I will demonstrate this claim with several examples of widespread confusions in cognitive science that may be diagnosed as due to uncritical use of the legacy of Descartes. Descartes's dualism *seems* to solve many problems, because it does not at first seem possible that the physical, mechanical brain can all by itself accomplish all the wonders of conscious thought. Descartes proposed that the non-physical mind could be the seat of consciousness, and suggested that all the traffic between the mind and brain passed through the pineal gland in the center of the brain. The unsoundness of this idea of miraculous interaction between mind and matter is today almost universally recognized. Today we are almost all materialists in cognitive science. But although we have discarded the image of the pineal gland projecting its contents onto an immaterial screen in the immaterial mind, many theorists have unheedingly preserved part of Descartes' picture: what I call the Cartesian Theater. This is the imagined place *in the brain* (for we are materialists) "where it all comes together." There is no such place, and even though this is widely known and recognized by cognitive scientists in all fields, they have a way of forgetting it, and lapsing into ways of thinking that make no sense *unless* there were such a place.

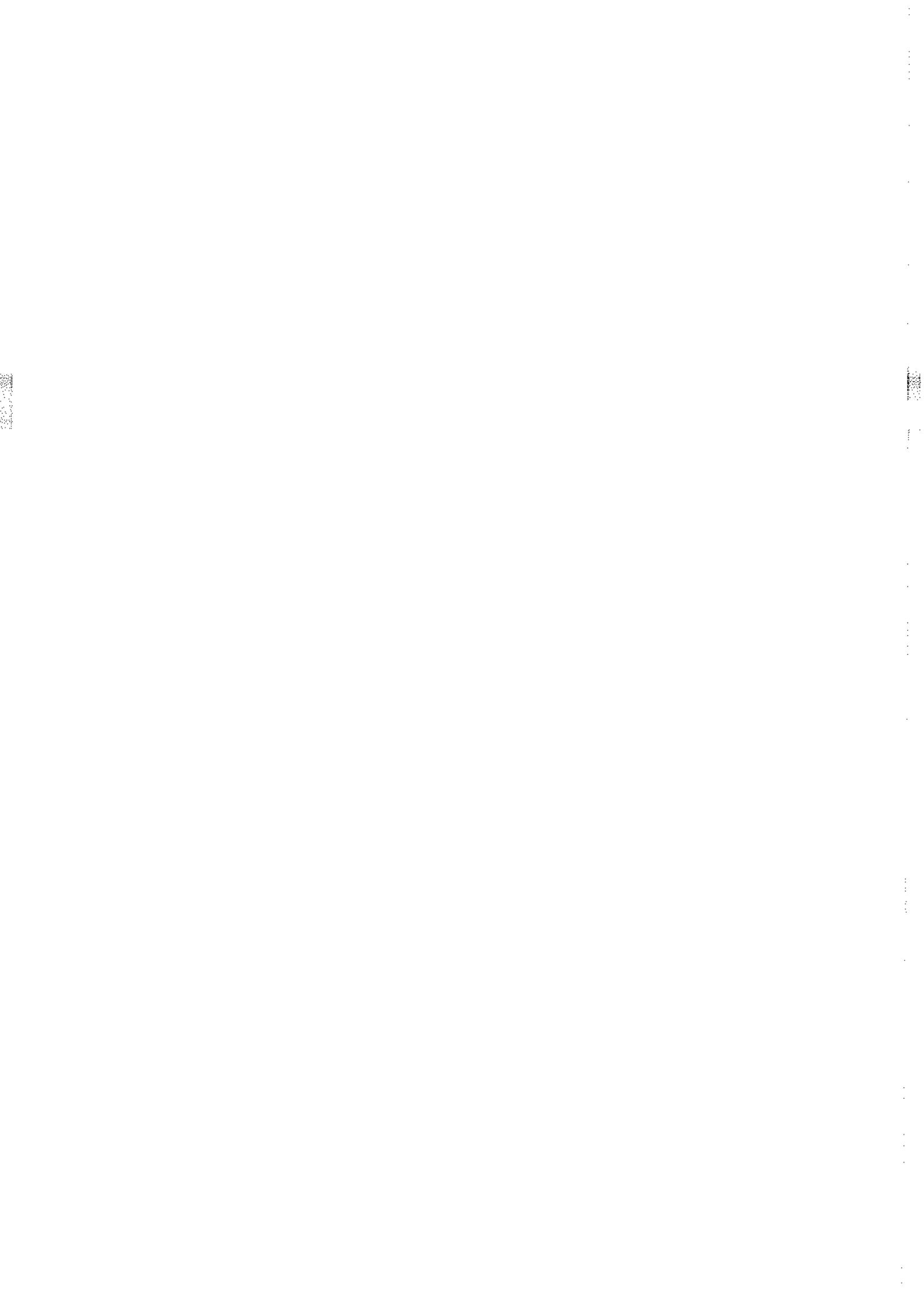
For example, in each of our eyes there is a rather large gap in the retina, the blind spot or optic disk, and the fact that we normally do not notice this gap is almost universally explained by saying that the brain "fills in" the missing part. Similarly, in audition, there is the phenomenon of "phoneme restoration," in which subjects hear tape recordings in which a phoneme has been excised, replaced by a brief burst of noise, like a cough. Subjects do not notice the absence of the phoneme, and claim that the noise was *superimposed* somewhere on an intact word. How does this happen? The standard answer is that the brain "fills in" the missing phoneme. I will show that this widely used idea of filling in is simply a bad mistake (even when it is used cautiously). It is engendered by the unexamined assumption that after

subsystems in the brain have done their job and arrived at a discrimination or identification, they must then *present* their findings somewhere else--the place where "it all comes together."

The "binding problem" that currently occupies the attention of many neuroscientists is often misconceived as the question: Where in the brain do the many different retinotopic maps and other specialized representations get put into registration, in a single, unified multi-model representation. This is as close to the surface as the bad idea of the Cartesian Theater ever gets, and it is instantly recognizable as a conceptual error by most people thinking about these issues. But expunging this bad idea from our thinking is not so easy as one might think.

Perhaps the hardest to eradicate are the implications of the Cartesian Theater for our experience of temporal succession. Even the most subtle theorists have been misled into supposing that the onset of consciousness of various stimuli can be precisely and univocally timed, so that subjective order of events in the "stream of consciousness" can be mapped directly onto the objective order of events in the brain. It has even seemed a requirement of materialism that this be true, but it is not true. Philosophy (Descartes' grand vision) created the illusion, and philosophy can dissolve it. This is one example of the role of philosophy in cognitive science.

SESSION DE SYNTHÈSE



METHODES D'IMAGERIE CEREBRALE

André SYROTA

Service Hospitalier Frédéric Joliot (SHFJ)

URA CNRS 1285

Commissariat à l'Energie Atomique

91401 ORSAY Cedex

Les années 75 ont vu grâce aux travaux de G.N. Hounsfield et A.M. Cormack, le développement de nouvelles techniques d'imagerie cérébrale chez l'homme. Elles reposent sur l'utilisation combinée d'un rayonnement électromagnétique et d'un algorithme mathématique qui permet de reconstruire des images de coupes de cerveau. Le scanographe d'abord, l'imagerie par résonance magnétique nucléaire ensuite, ont permis d'obtenir des images anatomiques du cerveau d'une finesse extraordinaire (des structures de quelques millimètres sont visibles), acquises dans des temps de plus en plus courts et dans les trois dimensions de l'espace. Ces méthodes sont cependant essentiellement morphologiques ; elles renseignent sur l'anatomie du cerveau, non sur son fonctionnement.

L'électroencéphalographie très utilisée en clinique, l'étude des potentiels évoqués et plus récemment la cartographie électroencéphalographique et la magnétoencéphalographie permettent de recueillir les signaux électriques ou magnétiques issus du cerveau. Ces méthodes enregistrent, grâce à des électrodes ou des détecteurs supraconducteurs répartis autour de la tête, les variations en fonction du temps des champs électrique ou magnétique produits par l'activité de plusieurs centaines de millions de neurones. La localisation de la source de ces signaux est cependant assez imprécise. De plus ces techniques ne donnent aucune indication sur le métabolisme, les enzymes, les neuromédiateurs mis en jeu lors de cette activité.

La seule méthode qui permette actuellement une étude fonctionnelle et atraumatique du cerveau humain vivant est la tomographie par émission de positons (TEP). On injecte en effet au sujet une molécule connue, par exemple, un substrat d'une voie métabolique comme le glucose ou une substance qui se lie sur une protéine particulière comme beaucoup de médicaments du système nerveux. On introduit dans chacune de ces molécules un isotope radioactif à la place de l'élément naturel, par exemple le carbone 11 qui prend la place du carbone naturel, le carbone 12. La désintégration radioactive de cet isotope, émetteur de positons, aboutit à l'émission de rayons gamma qui sont détectables et quantifiables à l'extérieur de l'organisme. Un algorithme mathématique permet de reconstruire des images tomographiques du cerveau.

Il devient ainsi possible de repérer les zones du cerveau qui sont activées lors d'un mouvement de la main, de la lecture d'un mot, de l'audition d'une phrase ou de la résolution d'un problème d'arithmétique tout aussi bien que les zones du cerveau dans lesquels se trouvent des neurones qui libèrent de l'acétylcholine ou de la dopamine. La TEP est aussi utilisée de plus en plus en clinique, non seulement en neurologie mais aussi en psychiatrie.

M.E. Phelps et J.C. Mazziotta à UCLA ont montré en 1981, pour la première fois chez l'homme, que des stimulations visuelles entraînent une augmentation de la consommation de glucose dans le cortex occipital. M.J. Kushner et M. Reivich à l'Université de Pennsylvanie à Philadelphie en 1988 ont aussi essayé de mettre en évidence chez l'homme l'organisation du système visuel primaire et le rôle éventuel d'autres aires occipitales et non occipitales.

L'existence d'un centre de la vision des couleurs a été localisée au niveau d'une petite région du cortex occipital par le groupe de TEP de l'hôpital Hammersmith et celui de Zeki à University College à Londres. Ces auteurs ont mesuré le débit sanguin cérébral à plusieurs reprises chez le même sujet volontaire. Dans certains cas, le sujet regardait un écran formé de rectangles de différentes couleurs, un "Mondrian", dans d'autres cas, ces mêmes rectangles étaient présentés en différentes nuances de gris. La soustraction point par point d'une image "couleur" et d'une image "gris" a permis de mettre en évidence une augmentation de débit, discrète mais significative, dans deux petites zones du cortex occipital, avec une prépondérance inattendue et inexplicée au niveau de l'hémisphère gauche.

L'organisation du cortex sensitivo-moteur chez l'homme est bien connue depuis plusieurs dizaines d'années, notamment grâce à Pennfield, neurochirurgien à l'Institut de Neurologie de Montréal, qui stimulait électriquement le cortex lors d'interventions. La TEP a retrouvé cette organisation en n'utilisant qu'une simple injection intraveineuse, et donc dans des conditions plus physiologiques. Le groupe de P.T. Fox et M.E. Raichle à l'Université Washington de Saint Louis et le groupe de B. Mazoyer au SHFJ à Orsay ont étudié des sujets dont les doigts d'une main soumis à des vibrations. La mesure du débit sanguin cérébral régional qui ne nécessite

qu'une minute est effectuée grâce à une injection intraveineuse rapide d'eau marquée à l'aide d'oxygène 15. Ces injections sont répétées plusieurs fois, en présence et en absence de vibrations.

Ces premières études d'activation du cortex sensori-moteur, ont montré que la TEP permet, pour la première fois, de voir fonctionner pratiquement en temps réel le cerveau humain. Il a donc semblé possible d'appliquer cette méthodologie à l'étude de la topologie des ensembles neuronaux mis en jeu lors des processus cognitifs.

Le problème de la localisation des niveaux fonctionnels les plus cognitifs de la perception et de l'action, tels que ceux mis en jeu dans la lecture ou l'écoute d'un mot est un problème ancien et difficile. La TEP fournit des arguments aux théories cognitives de localisation des opérations mentales.

Le groupe de M.I. Posner et M.E. Raichle à Saint Louis a cherché si l'on peut voir des zones du cerveau qui seraient spécifiquement activées lors de la lecture d'un mot. Dans l'une de leurs études, les sujets volontaires sont positionnés dans la caméra à positons et regardent un écran de télévision où se succèdent individuellement des noms d'animaux, à raison d'un mot toutes les secondes pendant quarante secondes. Pendant ce temps une injection d'eau marquée à l'aide d'oxygène 15 permet de mesurer le débit sanguin cérébral régional.

Dans une première expérience, le débit est mesuré lorsque les sujets regardent passivement des noms d'animaux qui se succèdent à l'écran. Cette épreuve entraîne une augmentation de débit dans cinq zones distinctes, toutes localisées, comme on pouvait s'y attendre, dans le cortex occipital dont le rôle est de traiter les informations visuelles. Les régions activées par la présentation de noms d'animaux sont d'ailleurs les mêmes que celles activées

par d'autres types de stimulations visuelles.

Les noms d'animaux sont ensuite présentés au sujet sous forme sonore et non plus visuelle. L'augmentation de débit apparaît alors, cette fois, dans le cortex auditif primaire de façon bilatérale et dans une région du cortex temporo-pariétal gauche proche du gyrus angulaire et du gyrus supramarginal. Cette région latéralisée pourrait être le siège du codage phonologique des mots car des lésions de cette zone entraînent des déficits phonologiques.

La troisième série de tests, la plus intéressante, consiste à demander cette fois au sujet d'observer si l'animal vu sur l'écran est dangereux ou non. Le test contrôle est la présentation simple de la liste des animaux. Une zone corticale, jusque là non visible, apparaît alors activée, elle est située dans la partie inférieure du lobe frontal gauche chez les droitiers. Les auteurs ont conclu de ces résultats que cette région du lobe frontal gauche est liée au réseau sémantique mis en oeuvre dans les associations verbales.

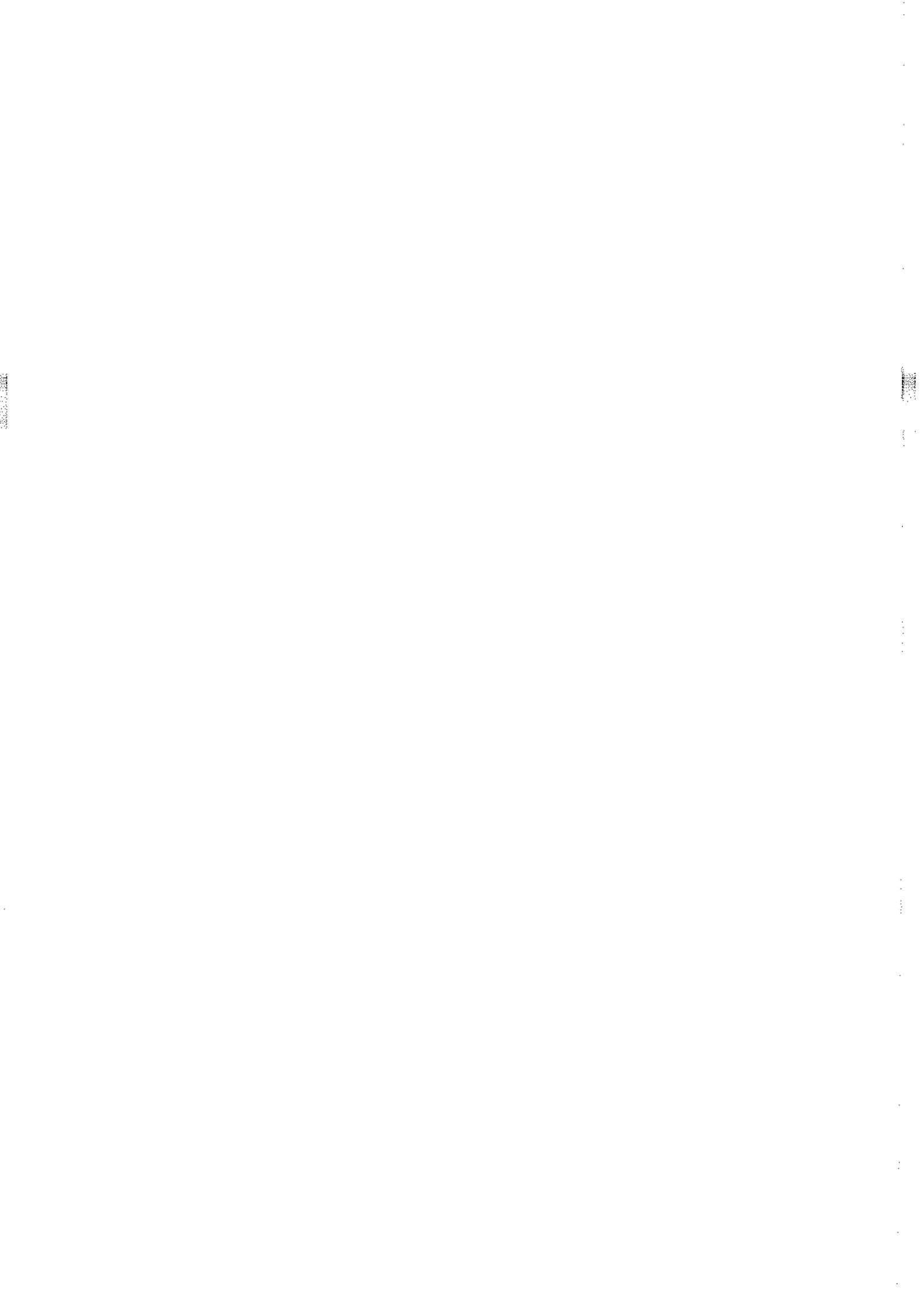
Le protocole utilisé par le groupe de Saint Louis était en fait plus complexe et la TEP a permis d'étayer expérimentalement certaines théories psychologiques actuelles de la cognition, en montrant l'existence d'une localisation des opérations élémentaires effectuées par le cerveau lors d'analyses cognitives. Cette analyse n'est d'ailleurs pas effectuée dans une seule zone du cerveau mais dans un ensemble de zones anatomiquement distinctes et situées dans l'un des hémisphères ou dans les deux hémisphères à la fois. Ces résultats vont aussi dans le sens des modèles cognitifs pour lesquels les informations accédant au cerveau sont traitées en parallèle et non pas en série. Les informations arrivent soit par une modalité visuelle, soit par une modalité auditive et aboutissent à un traitement sémantique puis articulatoire

commun.

P.E.. Roland à l'Institut Karolinska de Stockholm s'est intéressé à la représentation de l'image mentale. On demande au sujet, allongé sur le lit de la caméra à positons pendant la durée des mesures, d'imaginer qu'il sort de chez lui et se promène dehors en empruntant alternativement à chaque croisement la rue de droite puis celle de gauche. L'étude menée sur dix sujets a montré une augmentation très importante de la consommation d'oxygène dans plusieurs régions corticales, notamment dans le cortex pariétal et dans le cortex préfrontal. La TEP a révélé aussi l'existence d'une augmentation de la consommation d'oxygène dans des régions sous-corticales (thalamus et striatum).

La TEP permet donc une approche conjointe, anatomique et fonctionnelle de processus tels que le langage, la résolution de problèmes, l'attention, la mémoire, l'imagerie mentale pour lesquels le support neuroanatomique n'est pas encore parfaitement déterminé. Son innocuité autorise son utilisation chez l'enfant : elle permet par exemple de voir la maturation du cerveau chez l'enfant. Elle a des applications de plus en plus nombreuses aussi bien en neurologie qu'en psychiatrie.

LISTE DES PARTICIPANTS



AIRENTI Gabriella	Madame	UNIVERSITE DELLA CALABRIA	20, rue des Ecoiffes	75004	PARIS
AMAR Denis	Monsieur	DUL CINEMA	7, square Charles Laurent	75015	PARIS
AMBLARD Bernard	Monsieur	CNRS - LNF 2	31, Chemin J. Alguier	13402	MARSEILLE Cedex 2
AMIT Daniel	Monsieur	RACAH INSTITUTE OF PHYSICS	Hebrew University		JERUSALEM
ANDLER Daniel	Monsieur	ECOLE POLYTECHNIQUE & UNIVERSITE CL. DE GAUL	1, rue Descartes	75005	PARIS
ANDRE-DIEZAYS Claude	Madame	CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES	2, place Maurice Quentin	75001	PARIS
ANDREWIKY Evelyne	Madame	HOPITAL DE LA SALPETRIERE	47, boulevard de l'Hopital	75013	PARIS
ANGUE	Monsieur	UNITE DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE	Université de Valenciennes	59326	VALENCIENNES
ASCHER Philippe	Monsieur	LABORATOIRE DE NEUROLOGIE	ENS 46, rue d'Ulm	75005	PARIS
ATLAN Henri	Monsieur	CHU BROUSSAIS HOTEL DIEU	156, boulevard montparnasse	75014	PARIS
AUBIN Jean-Pierre	Monsieur	CEREMADP	Université de paris - Dauphine	75775	PARIS Cedex 16
AZENCOTT Robert	Monsieur	ENS	46, rue d'Ulm	75005	PARIS
BACRI Nicole	Madame	LAB. PSYCHOLOGIE EXPERIMENTALE	54, boulevard Raspail	75006	PARIS
BADAN Maryse	Madame	UNIVERSITE DE GENEVE	24, rue du Général Dufour	1211	GENEVE 4
BAKER Michael	Monsieur	LABORATOIRE CNRS - IRPEACS	93, chemin des Mouilles B.P. 167	69131	LYON - ECULLY
BAUDONNIERE Pierre-Marie	Monsieur	Laboratoire de Psychobiologie de l'Enfant	EPHE / CNRS 41, rue Gay-Lussac	75005	PARIS
BAVELIER Duph�n�	Mademoiselle	MIT	Dept of Brain and Cognitive Sci	MA 02139	CAMBRIDGE
BEHZUNG Catherine	Madame	UNIVERSITE FRANCOIS RABELAIS	Parc de Grandmont	37200	TOURS
BERNSEN Niels Ole	Monsieur	ROSKILDE UNIVERSITY	P.O. Box 260	4000	ROSKILDE
BEROULE Dominique	Monsieur	CNRS	LIMSI	91403	ORSAY Cedex
BIERTELSON Paul	Monsieur	LAB. DE PSYCHOLOGIE EXPERIMENTALE	117, avenue Ad Bygl	B 1050	BRUXELLES
BIERTHOZ Alain	Monsieur	Laboratoire Physiologie Neurosensorielle	CNRS 15, rue de l'Ecole de Médecine	75270	PARIS Cedex 06

BRESSON Mireille	Médecine	CNRS LNF 1	31, chemin Aiguier	13402	MARSEILLE
BEST Françoise	Médecine	COMITE DE SUIVI DES GRANDS COLLOQUES	39, rue de Faubourg du Temple	75010	PARIS
BIENENSTOCK Elie	Monsieur	ESPCI	10, rue Vauquelin	75005	PARIS
BLOCH Vincent	Monsieur	UNIVERSITE PARIS SUD & CNRS - PN2	Bât 33 Avenue de la Terrasse	91198	GIF SUR YVETTE
BLOCH Henriette	Médecine	EPHE & CNRS	Labo. de Psycho-biologie de l'enfant 41, rue Gay Lussac	75005	PARIS
BLUET Jean-Claude	Monsieur	INRETS	2, avenue Gu. Malitza Joinville	94114	ARCEUIL
BOISVIEUX Jean-François	Monsieur	INSERM	91, boulevard de l'Hôpital	75634	PARIS
BONNEL Anne-Marie	Médecine	CNRS - LNF 1	31, Chierain J. Aiguier	13402	MARSEILLE Cedex 9
BONNET Claude	Monsieur	LABO. DE PSYCHOLOGIE EXPERIMENTALE	Université Paris 5 28, rue Serpente	75006	PARIS
BORBLO Mario	Monsieur	I.R.I.T.	Université Paul Sabatier 118, route de Narbonne	31062	TOULOUSE Cedex
BORBLO Amélie	Médecine	UNIVERSITE TOULOUSE - LE MIRAB.	5, allée Anjoine Machado	31068	TOULOUSE
BORREIXON Paul	Monsieur	DRET	26, boulevard Victor	00460 Amérez	PARIS
BOSSI Laura	Médecine	REDIA FRANCE	63, rue Pierre Chartron	75008	PARIS
BOST René	Monsieur	MEDES	Hôtel Dieu St Jacques Pont Neuf	31000	TOULOUSE
BOUCHER Paul	Monsieur	UNIVERSITE RENNES 2	126, rue du Dr. Guichard	49000	ANGERS
BOUCHERON Stéphanie	Monsieur	I.R.I.	Université Paris-Sud Bât. 490	91405	ORSAY Cedex
BOWERMAN Melissa	Médecine	MAX PLANCK INSTITUT	Max Planck Institut for Psycholinguistics 6325 XD	6325 XD	NUMEROEN
BRESSON François	Monsieur	EHESP	54, boulevard Raspail	75006	PARIS
BRIZILLON Patrick	Monsieur	CNRS	Bât 490 Université de Paris Sud	91405	ORSAY Cedex
BRIL Blandine	Médecine	LABO. PHYSIOLOGIE DU MOUVEMENT	Bât 470 Université Paris-Sud	91405	ORSAY
HUSSGRET Pierre	Monsieur	LABORATOIRE DE NEUROPHYSIOLOGIE	Collège de France Place M. Berthelot	75231	PARIS Cedex 05

BULLIER Jean	Monsieur	INSERM 94	16, avenue du Doyen Lépine	69500	BRON
BURNOD Yves	Monsieur	UNIV. PARIS 6	Département Neurosciences Vision 9, quai St Bernard	75005	PARIS
BUSER Pierre	Monsieur	INSTITUT DES NEUROSCIENCES	UNIV. PARIS 6 9, quai Saint Bernard	75005	PARIS
CALVINO Bernard	Monsieur	UNIVERSITE PARIS-NORD	InsERM - U 161 2, rue d'Alsie	75014	PARIS
CAMPAN Raymond	Monsieur	CRBS	Univ. Paul Sabatier 18, route de Narbonne	31062	TOULOUSE
CARBONELL Noëlle	Mme	CRIN - CNRS / INRIA LORRAINE	B.P. 239	54506	VANDEUVRE LES NANCY
CARO Paul	Monsieur	CCSI	30, avenue Corentin Carion	75930	PARIS 19
CARRE René	Monsieur	Ecole de TELECOM PARIS	46, rue Barrault	75634	PARIS Cedex 13
CASTAGNE René	Monsieur	DRED MENIS	Ministère de l'Education Nationale 61, rue Dagot	75010	PARIS
CAUZINILLE Evelyne	Mme	LAB. PSYCH. DEV. & L'EDUCATION DE L'ENFANT	46, rue St Jacques	75005	PARIS
CAVERNI Jean-Paul	Monsieur	CREPCO-URA CNRS	29, avenue Robert Schuman	13770	AIX-EN-PROVENCE
CAZALS Yves	Monsieur	INSERM UNITE 229	Hôpital Pellegrin Place A. Raba Léon	33076	BORDEAUX
CHALEYAT-MAUREL Mireille	Mme	UNIVERSITE PARIS 11	90, rue de Tolbiac	75634	PARIS
CHANEL Jacques	Monsieur	CNRS UNIVERSITE CLAUDE BERNARD	Université Claude Bernard / Lyon	69622	VILLEURBANNE
CHANGÈUX Jean-Pierre	Monsieur	INSTITUT PASTEUR	25, rue du Docteur Roux	75015	PARIS
CHAPON André	Monsieur	INRETS / LESCO	109, avenue Salvador Allendé	69675	BRON
CHAUVEL Patrick	Monsieur	INSERM CIP 90-12 Clinique Neurologique	Hôpital Pontchaillou Rue Henri le Guilloux	35033	RENNES Cedex
CHAUVET Gilbert	Monsieur	FACULTE DE MEDECINE D'ANGERS	10, rue André Boquel	49100	ANGERS
CHRISTEN Yves	Monsieur	FONDATION IPSEN	30, rue Camborne	75116	PARIS
CLAVERIE Bernard	Monsieur	FAC MEDECINE HYACINTHE VINCENT	Domaine de Caestre Université de Bordeaux II	33076	BORDEAUX
COGET Jacques	Monsieur	CUEEP	11, rue Auguste Angellier	59046	LILLE Cedex
COLLET Pierre	Monsieur	ECOLE POLYTECHNIQUE		91128	PALaiseau Cedex

COMBAIN Bernard	Monsieur	UNIVERSITE PARIS VIII	51, rue Greneta	75002	PARIS
CONNES Alain	Monsieur	COLLEGE DE FRANCE	11, place Marceolin Berthelot	75005	PARIS
CORDIER Marie-Odile	Madame	IRISA	Campus de Beaulieu	35042	RENNES
COTTRELL Marie	Madame	UNIVERSITE PARIS 1	125, rue de Clarentes	75012	PARIS
COULON Daniel	Monsieur	CRIN	Ecole des Mines Parc de Saurget	54042	NANCY Cedex
CREPEL Francis	Monsieur	LABO. NEUROBIOLOGIE & NEUROPHARMACOLOGIE	Bat 440 Université Paris-Sud	91405	ORSAY Cedex
CREUZET Gérard	Monsieur	THOMSON SA - DTR	Codex 67	92045	PARIS LA DEFENSE
CUTLER Anne	Madame	MRC	Applied Psychology Unit 15 Clarendon Rd	CB22EF	CAMBRIDGE
DAMASIO Antonio	Monsieur	UNIVERSITY OF IOWA	University of Iowa Hospital & Clinics Department of Neurology	52242	IOWA City IA
DEBRU Claude	Monsieur	INSTITUT D'HISTOIRE DES SCIENCES	10, avenue de Villars	75007	PARIS
DEJARENNE Stanislas	Monsieur	LABO. SCIENCES COGNITIVES & PSYCHOLOGI	54, boulevard Raspail	75270	PARIS Cedex 06
DELAFOITE Grédy	Monsieur	CNRS	15, quai Anatole France	75700	PARIS
DELL François	Monsieur	CNRS	62, rue Claude Bernard	75005	PARIS
DEMANY Laurent	Monsieur	LABO. D'AUDIOLOGIE EXPERIMENTALE	Hôpital Pellegrin Place Amélie Raba Léon	33076	BORDEAUX
DEMAZURE Michel	Monsieur	ECOLE POLYTECHNIQUE		91128	PALAISEAU Cedex
DEMMOU Haraid	Monsieur	LAAS	7, avenue du Colonel Roche	31077	TOULOUSE
DEMONET Jean-François	Monsieur	INSERM UNITE 230	Hôpital Purpan Service de Neurologie	31059	TOULOUSE
DEMONGEOFF Jacques	Monsieur	FACULTE DE MEDECINE DE GRENOBLE	Domaine de la Merle	38700	LA TRONCHIE
DEMAVIT-SAUBIE Monique	Madame	CNRS	Laboratoire de Physiologie Nerveuse	91198	GIF SUR YVETTE
DENIER Jean-Paul	Monsieur	ARABIS (UMR 115)	31, rue des Cosmonautes 21 du Palais	31077	TOULOUSE Cedex
DENIS Michel	Monsieur	UNIVERSITE PARIS SUD	Centre d'Etudes de Psychologie Cognitive Bat. 305	91405	ORSAY Cedex
DENNETT Daniel C.	Monsieur	TUFTS UNIVERSITY	Center of Cognitive Studies	MA 02155	MEDFORD

DEPREZ Viviane	Madame	RUTGERS UNIVERSITY	167, Nassau Street	NT 0854 D	PRINCETON
DEPUTTE Bertrand	Monsieur	CNRS	Station Biologique de Paimpont	35380	PLELAN LE GRAND
DERRIDA Bernard	Monsieur	CEN SERVICE DE PHYSIQUE THEORIQUE	Saclay	91191	GIF SUR YVETTE
DESCLÈS Jean-Pierre	Monsieur	UNIVERSITE PARIS- SORBONNE	96, boulevard Raspail	75006	PARIS
DESTRADE Claude	Monsieur	URA CNRS 339 LAB. PSYCHOPHYSIOLOGIE	Université Bordeaux 3	33405	TALENCE CEDEX
DOBROWIE-SORIN Carmen	Madame	CNRS UA 1028	Tour Centrale 1er étage 1, place Jussieu	75005	PARIS
DOLMAZON Jean-Marc	Monsieur	I.N.P.	46, avenue Félix Viallet	38031	GRENOBLE Cedex
DOUZAL Vincent	Monsieur	ENGREIFF	19, avenue du Miane	75732	PARIS Cedex 15
DOYON Bernard	Monsieur	UNITE INSERM 210	Service de Neurologie CHU PURPAN	31059	TOULOUSE Cedex
DREYFUS Gérard	Monsieur	ESPCI	10, rue Vauquelin	75005	PARIS
DUBOIS Danièle	Madame	CNRS	41, rue Gay Lussac	75005	PARIS
DUBOIS Bruno	Monsieur	HOPITAL-SALPETRIERE - INSERM	Bât. Nouvelle Pharmacie 47, boulevard de l'Hôpital	75013	PARIS
DUBUSS Jacques	Monsieur	CNRS - I.H.P.S.T.	13, rue du Four	75006	PARIS
DUFOSSE Michel	Monsieur	INSITUT MEDITERRANEEEN DE TECHNOLOGIE	Technopôle Châtea-Gombert	13451	MARSEILLE Cedex 13
DUIHAMEL Jean-René	Monsieur	LAB. OF SENSORIMOTOR RESEARCH	National Eye Inst. Bldg. 10, rm 10C101	MD 20892	BETHESDA
DUPOUX Emmanuel	Monsieur	UNIV. OF ARIZONA	Dept. of Cognitive Science	AZ 85721	TUCSON
DUPUIS Marc	Monsieur	OFTA	5, rue Descartes	75005	PARIS
ENCREVE PIERRE	Monsieur	UNIVERSITE PARIS 8	106et Midignon 57, rue de Valenciennes	75007	PARIS
ESCUHER Pierre	Monsieur	I.N.P.	46, avenue Félix Viallet	38031	GRENOBLE Cedex
FABRE Jean-Marc	Monsieur	UNIVERSITE DE PROVENCE	UFR Psychologie 29, avenue Robert Schuman	13621	AIX Cedex 01
FAUCONNIER Gilles	Monsieur	UNIVERSITY OF CALIFORNIA	Dept. of Cognitive Sciences D - 015 UCSD	CA 92093	LA JOLLA
FAUGERAS Olivier	Monsieur	INRIA	2004, route des Lucioles	06560	VALFRONNE

FAURE Claudie	Madame	ENST - CNRS	Département SIG 46, rue Barraudt	75634	PARIS Cedex 13
FRANCESCINI Nicolas	Monsieur	CNRS	Labo. de Neurobiologie 32, chemin J. Aiguier	13009	MARSEILLE
FREGNAC Yves	Monsieur	CNRS - UNIVERSITE PARIS XI	Lab. Neurobiologie & Neuropharmacologie du Développement	91405	ORSAY
FUCHS Catherine	Madame	LABORATOIRE DE LINGUISTIQUE	Université de Caen	14032	CAEN Cedex
GANASCIA Jean-Gabriel	Monsieur	UNIVERSITE PARIS VI	LAFORIA - Tour 46 - 0 4, place Jussieu	75232	PARIS
GARDIN Jean-Claude	Monsieur	CNRS	23, rue de Marne	75019	PARIS
GARGR Geneviève	Madame	CNRS	18, avenue Edouard Belin	31055	TOULOUSE
GARREAU Bernard	Monsieur	INSERM U 316	Service de Pédiopsychiatrie CHU Bretonneau	37044	TOURS
GAUTHIER Gabriel	Monsieur	CNRS	Université de Provence Avenue Escapillite Normandie Niemen	13392	MARSEILLE Cedex 13
GELENBE Erol	Monsieur	EHEC	45, rue des Saints-Pères	75006	PARIS
GHALLAB Malik	Monsieur	LAAS - CNRS	7, avenue du Colonel Roche	31077	TOULOUSE
GIRALT Georges	Monsieur	LAAS - CNRS	7, avenue du Colonel Roche	31077	TOULOUSE
GOODALL Glyn	Monsieur	UNIVERSITE BORDEAUX II	Domaine de Carrière Rue Camille St. Sulpice	33077	BORDEAUX Cedex
GOREA André	Monsieur	LABO. PSYCHIO EXPERIMENTALE	28, rue Serpente	75006	PARIS
GRANTYN Alexis	Monsieur	LABORATOIRE PHYSIOL. NEUROSENSOR. CNRS	15, rue de l'école de Médecine	75270	PARIS Cedex 06
GREUSSAY Patrick	Monsieur	CNRS	5, rue Euryales Debayne	75019	PARIS
GRUMBACH Alain	Monsieur	ENST	46, rue Barraudt	75634	PARIS
GRUNIG Blanche-Noëlle	Madame	UNIVERSITE DE PARIS 8	6, avenue de Bel Air	75012	PARIS
GUENOCHIE Alain	Monsieur	G.R.T.C. - C.N.R.S.	31, chemin J. Aiguier	13009	MARSEILLE
GUERON Jacqueline	Madame	UNIVERSITE PARIS X	15, rue Lakanal	75015	PARIS
GUYON Etienne	Monsieur	ECOLE NORMALE SUPERIEURE	45, rue d'Ulm	75230	PARIS
HANSEL David	Monsieur	CNRS - CIFT	ECOLE POLYTECHNIQUE	91128	PALaiseau

HAUSBERGER Martine	Madame	UNIVERSITE RENNES	Laboratoire Ethologie Campus Beaulieu	35042	RENNES
HAUTIN Félix	Monsieur	CNET - LAA	Rue de Tregastel	22301	LANNION
HAYAMI Karina	Madame	LABO. D'AUTOMATIQUE INDUSTRIELLE & HUMAIN	Université de Valenciennes Le Mont Houy	59326	VALENCIENNES
HEFFI Klaus	Monsieur	ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE	Hönggessbez	8093	ZURICH
HOC Jean-Michel	Monsieur	CNRS - UNIVERSITE DE PARIS 8	2, rue de la Liberté	93526	SAINT DENIS Cedex 2
HOLLEY André	Monsieur	CNRS	Université Claude Bernard 6	69622	VILLEURBANNE
IMBERT Claude	Madame	ECOLE NORMALE SUPERIEURE	45, rue d'Ulm	75005	PARIS
IMBERT Michel	Monsieur	UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE	IDN Neurosciences de la Vision 9, quai Saint Bernard	75005	PARIS
JACOB Odile	Madame	EDITIONS ODILE JACOB	15, rue Soufflot	75005	PARIS
JACOB Pierre	Monsieur	CREA	1, rue Descartes	75005	PARIS
JAILLON Jean-Marc	Monsieur	UNIVERSITE PARIS XI	BGE - CNRS	91198	GIF SUR YVETTE
JAMI Léna	Madame	LABORATOIRE DE NEUROPHYSIOLOGIE	Collège de France 11, place Marcelin-Berthelot	75231	PARIS Cedex 05
JEANNEROD M.	Monsieur	INSERM	16, avenue du Doyen Lépine	69500	BRON
JOURDAN François	Monsieur	UNIVERSITE CLAUDE BERNARD	Bât. 404	69622	VILLEURBANNE Cedex
JOUVET Michel	Monsieur	UNIVERSITE CLAUDE BERNARD	Médecine Expérimentale	69008	LYON
KAIL Michèle	Madame	LABORATOIRE DE PSYCHOLOGIE EXPER.	Univ. Paris 5 28, rue Serpente	75006	PARIS
KARMILOFF-SMITH Annette	Madame	MEDICAL RESEARCH COUNCIL	17, Gordon street	WC1H 0AH	LONDRES
KAYSER Daniel	Monsieur	UNIVERSITE PARIS NORD	Avenue J.B. Clément	93430	VILLETANGEUSE
KERSZBERG Michel	Monsieur	CNRS INSTITUT PASTEUR	25, rue du Dr Roux	75724	PARIS Cedex 15
KOCHER Isabelle	Madame	ENS LABO. DE PHYSIQUE THEORIQUE	24, rue Lhomond	75231	PARIS
KODRATOFF Yves	Monsieur	CNRS	LRI Bât. 490 Université Paris Sud	91405	ORSAY
KORN Henri	Monsieur	INSERM - INSTITUT PASTEUR	25, rue du Dr Roux	75724	PARIS Cedex 15

KREMER-MARIETTI Angèle	Médecine	UPR PHILOSOPHIE DE L'UNIVERSITE D'AMIENS	14, rue François Cooperin	93110	ROSNY SOUS BOIS
L'HOSTE Jean	Monsieur	INRETS	2, avenue Mallard-Joinville	94114	ARCUEIL
LAKS Bernard	Monsieur	CNRS	63 ter, boulevard du Midi	95540	LE RAJANCY
LALLEMAND Pierre	Monsieur	ENS	24, rue Lhomond	75231	PARIS Cedex 05
LAMBERT Janny	Monsieur	CHRU COTE DE NACRE	Niveau 13/10	14000	CAEN
LAPORTE Yves	Monsieur	COLLEGE DE FRANCE	Place Marcelin Berthelot	75231	PARIS Cedex 05
LAROCHE Serge	Monsieur	CNRS	Département de Psychophysologie Physiologie Nerveuse II	91198	GIF SUR YVETTE
LASSALLE Jean-Michel	Monsieur	UNIVERSITE FRANCOIS RABELAIS	Parc de Grandmont	37200	TOURS
LE MOAL Michel	Monsieur	INSERM U 259	Domaine de Cureire Rue Canille Saint Saëns	33077	BORDEAUX Cedex
LE MOIGNE Jean-Louis	Monsieur	UNIVERSITE D'AIX MARSEILLE III - GRASCE	Centre Fochin 23, cours Gambetta	13627	AIX-EN-PROVENCE Cedex 01
LE NY Jean-François	Monsieur	INSTITUT DES SCIENCES DE LA COMMUNICATION	Centre Scientifique d'Orsay Bât. 335	91405	ORSAY
LEBRAVE Jean-Louis	Monsieur	CNRS	15, quai Anatole France	75700	PARIS
LECHEVALIER Bernard	Monsieur	CHRU COTE DE NACRE	Niveau 13/10	14000	CAEN
LECOMTE Alain	Monsieur	UNIVERSITE GRENOBLE II	Domaine Universitaire B.P. 47 X	38040	GRENOBLE Cedex
LEJOURS André-Roch	Monsieur	FACULTE DE MEDECINE UNIV. DE MONTREAL	4565, Chemin Queen Mary	MONTREAL	QUEBEC
LECOURT Dominique	Monsieur	UNIVERSITE PARIS 7	20, bis boulevard de la Basilie	75012	PARIS
LEPINE Dominique	Monsieur	INSTITUT DE PSYCHOLOGIE EXPERIM.	Univ. Paris 5 28, rue Serpente	75005	PARIS
LEVELT Willem	Monsieur	MAX-PLANCK-INST.	Wundtlaan 1		NIMEGEN
LIEGOIS-CHAUVEL Catherine	Madame	INSERM CPJ 90 - 12 CLINIQUE NEUROLOGIQUE	Hôpital Pontchaillou Rue Henri le Gaultoux	35000	RENNES Cedex
LIENARD Jean-Sylvain	Monsieur	CNRS	LIMSI	91403	ORSAY Cedex
LIMA Ricardo	Monsieur	CENTRE DE PHYSIQUE THEORIQUE	CNRS, Laminé Case 907	13288	MARSEILLE Cedex 9
LILINAS Rodolfo	Monsieur	NEW-YORK UNIVERSITY	Medical Center 550 First Avenue, Dept. of Psychology/Physiology	NY 10016	NEW-YORK

MARLIAC Alain	Monsieur	ORSTOM	2, rue Noëlle	75017	PARIS
MARSHALL John Charles	Monsieur	THE RADCLIFFE INFIRMARY	Neuropsychology Unit Woodstock Road	OX2 6HE	OXFORD
MASSON Claudine	Madame	CNRS	L.N.C.I. URA 1190	91440	BURES SUR YVETTE
MAZOVER Bernard	Monsieur	SERVICE HOSPITALIER FREDERIC JOLIOT	CEA	91406	ORSAY
MEHLER Jacques	Monsieur	CNRS	54, boulevard Raspail	75006	PARIS
MESTRE Daniel	Monsieur	URA CNRS 1166	IBIOP Traverse Charles Sudal	13388	MARSEILLE
METZ-LUITZ Marie-Noëlle	Madame	INSERM	Neurologique Centre Hospitalier Univ. B.P.	67091	STRASBOURG
MIEYER Jean-Alexy	Monsieur	ECOLE NORMALE SUPERIEURE	Groupe de Bioinformatique 46, rue d'Ulm	75230	PARIS
MIEZARD Marc	Monsieur	ENS LABO. DE PHYSIQUE THEORIQUE	24, rue Lhomond	75231	PARIS
MICHEL François	Monsieur	INSERM	150, cours A. Thomas	69003	LYON
MICHON Jean-François	Monsieur	UNIVERSITE DE NEUROCYBERNETIQUE	280, boulevard Sainte Marguerite	13009	MARSEILLE
MILGRAM Maurice	Monsieur	UNIV. PIERRE & MARIE CURIE	LRP 4, place Jussieu	75252	PARIS Cedex
MOSCOVICI Serge	Monsieur	LABORATOIRE PSYCHOLOGIE SOCIALE	54, boulevard Raspail	75006	PARIS
MOULINS Maurice	Monsieur	CNRS	15, Quai Anatole France	75007	PARIS
MULLON Christian	Monsieur	ORSTOM	70-74, route d'Aulnay	93140	BONDY
McADAMS Stéphane	Monsieur	LABORATOIRE DE PSYCHOLOGIE EXPER.	Univ. Paris 5 29, rue Serpente	75006	PARIS
NADAL Jean-Pierre	Monsieur	ENS-LABO. PHYSIQUE STATISTIQUE	24, rue Lhomond	75231	PARIS Cedex 05
NAVET Marcel	Monsieur	PMMS/CNRS	3A, avenue de la Recherche Scientifique	45071	ORLEANS Cedex 2
NEF Frédéric	Monsieur	UNIVERSITE RENVAS 1	3, rue Pierre le Grand	75008	PARIS
NGUYEN XUAN Anh	Madame	CNRS	Univ. Paris 8 2, rue de la Liberté	93526	SAINT DENIS Cedex 02
NECAUD Jean-François	Monsieur	ENS DE CACIHAN & LRI ORSAY	61, avenue du Président Wilson	94235	CACHAN
RIKAOUA Bernard	Monsieur	NEUROPSYCHOLOGIE EXPERIMENTALE	146, rue Léo Saignat	33076	BORDEAUX Cedex

NIRIO Jacques	Monsieur	INSTITUT JACQUES MONOD	Univ. Paris 6 2, place Jussieu	75251	PARIS Cedex 05
OHENAUER Hans	Monsieur	CNRS	70, rue du Javelot	75645	PARIS Cedex 13
OREGAN Kevin	Monsieur	LABO. DE PSYCHOLOGIE EXPERIMENTALE	Univ. Paris 5 28, rue Serpente	75005	PARIS
OSHERSON Daniel	Monsieur	M.I.T.	77, Massachusetts Avenue E10 - 044	02139	CAMBRIDGE MA
OTTAVY Noel	Monsieur	ENSIA	Rue Guillaume VII	86000	POITIERS
PAILLARD Jacques	Monsieur	CNRS - LNF 2	31, chemin Joseph Aiguier	13402	MARSEILLE Cedex 9
PAUZIE Annie	Madame	INRETS / LESCO	109, avenue Salvador Allende	69675	BRON
PAVARD Bernard	Monsieur	UNIVERSITE PARIS 8	Laboratoire d'Etrogénisme 41, rue Gay Lussac	75005	PARIS
PERENIN Marie-Thérèse	Madame	INSERM	16, avenue Doyen Lépine	69500	BRON
PERETTO Pierre	Monsieur	COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE	Cas Grenoble DRF/SP4/PSC B.P. 85 X	38041	GRENOBLE
PERROT Jean-François	Monsieur	LAFORIA	Univ. Paris 6 4, place Jussieu	75252	PARIS Cedex 5
PIERAT Jacques	Monsieur	CNRS - LAFORIA	72, quai de la Loire	75019	PARIS
POLTZER Guy	Monsieur	CNRS	Université de Paris 8 2, rue de la Liberté	93526	SAINT DENIS
POLLOCK Jean-Yves	Monsieur	UNIV. RENNIS H Haute Bretagne	19, rue Michel Ange	75016	PARIS
POTTER Dominique	Monsieur	THOMSON CSF LCR	Domaine de Corbeville	91404	ORSAY
POTTER Bernard	Monsieur	UNIVERSITE DE PARIS IV	12, rue Abbé de l'Épée	75005	PARIS
POUGET Alexandre	Monsieur	COMPUTER NEUROBIOL LAB.	Salk Inst. PO Box 85800	CA 92138	SAN DIEGO
PRABLANC Claude	Monsieur	INSERM U 94	16, avenue Doyen Lépine	69500	BRON
PROCHIANTZ A.	Monsieur	INSERM	ENS 46, rue d'Ulm	75230	PARIS cedex 05
PROUST Josée	Madame	C.R.E.A.	16, rue des Comouilles	60170	TRACY-LE-MONT
PRUM Bernard	Monsieur	UNIVERSITE PARIS V	45, rue des Saints Pères	75006	PARIS
PUECH Gilbert	Monsieur	UNIVERSITE LYON 2 - CRLS		69676	BRON Cedex

PUJOL Rémy	Monsieur	UNIVERSITE MONTPELLIER	Hôpital Saint Charles	34059	MONTPELLIER Cedex
PYNTÉ Joël	Monsieur	CREPCO	Université de Provence 29, avenue R. Schuman	13000	AIX-EN-PROVENCE
QUEINNEC Yvon	Monsieur	UNIVERSITE PAUL SABATIER	118, route de Narbonne	31062	TOULOUSE
QUINQUETON Joël	Monsieur	INRIA - CRIM	860, rue de St Priest	34090	MONTPELLIER
RACCAH Pierre-Yves	Monsieur	CHRS	4, rue du Roi de Sicile	75004	PARIS
RAGOT Richard	Monsieur	CNRS - URA 654 LENA	Hôpital de la Salpêtrière 47, boulevard de l'Hôpital	75013	PARIS
RASTIER François	Monsieur	CNRS	57, rue de Paris	94340	JOINVILLE LE PONT
REBUSCHII Georges	Monsieur	UNIVERSITE PARIS III	19, rue des Bernardins	75003	PARIS
RECANATI François	Monsieur	CREA	1, rue Descartes	75003	PARIS
RIENVAULT Bernard	Monsieur	CNRS	Hôpital de la Salpêtrière 47, boulevard de l'Hôpital	75651	PARIS Cedex 13
REQUIN Jean	Monsieur	CNRS - LNF	31, chemin J Aguiet	13402	MARSEILLE Cedex 09
RICARD Pierre	Monsieur	C.N.E.S.	2, place Maurice Quentin	75009	PARIS
RICHARD Jean-François	Monsieur	UNIVERSITE PARIS 8	2, rue de la Liberté	93526	SAINT DENIS Cedex 02
REZZI Luigi	Monsieur	UNIVERSITE DE GENEVE	10, rue des Peupliers	CH 1205	GENEVE
ROLL Jean-Pierre	Monsieur	UNIVERSITE AIX MARSEILLE 1	Avenue Escadrille Normandie - Niemen	13392	MARSEILLE
ROLLS Edmond	Monsieur	UNIVERSITY OF OXFORD	Department of Experimental Psychology South Parks Road	OX1 3UD	OXFORD
ROSPARS Jean-Pierre	Monsieur	INRA	Route de Saint Cyr	79210	VERSAILLES
ROSSI Mario	Monsieur	CNRS	Institut de Linguistique 29, avenue R. Schuman	13621	AIX EN PROVENCE
ROUBERTOUX P.	Monsieur	UNIV. PARIS 5 LABO. GENETIQUE	45, rue des Saints Pères	75006	PARIS
ROUGEUL-BUSIER Adette	Madame	UNIV. PARIS 6 INSITUT DE NEUROSCIENCES	9, quai Saint Bernard	75005	PARIS
ROUVERET Alain	Monsieur	UNIVERSITE PARIS 8	2, rue de la Liberté	93526	SAINT DENIS
RUWET Nicolas	Monsieur	UNIVERSITE PARIS 8	2, rue de la Liberté	93526	SAINT DENIS Cedex 02

SABAGH Simon	Monsieur	BULL SA - CEDIAG	68, route de Versailles	78430	LOUYECHENNES
SAMPAIO Eliana	Madame	LABO. DE PSYCHOLOGIE EXPERIMENTALE	54, boulevard Raspail	75006	PARIS
SANCHEZ Elie	Monsieur	NEURINFO	IMT, Technopôle de Châteaue-Gombert	13451	MARSEILLE Cedex 13
SCHWARTZ Jean-Luc	Monsieur	I.N.P.	46, avenue Félix Viallet	38031	GRENOBLE
SEGUI Juan	Monsieur	CNRS	Université René Descartes 28, rue Serpente	75006	PARIS
SEMAL Catherine	Madame	UNIVERSITE DE BORDEAUX 2	146, rue Léo Saignat	33076	BORDEAUX
SERON Xavier	Monsieur	UNIVERSITE CATHOLIQUE DE LOUVAIN	20, voie du Roman	1348	LOUVAIN-LA-NEUVE
SERVAN-SCHREIBER Daniel	Monsieur	SCHOOL OF COMP. SCIENCE	Carnegie Mellon Univ.	PA 15203	PITTSBURGH
SEVERI Carlo	Monsieur	LABO. D'ANTHROPOLOGIE SOCIALE	52, rue du Cardinal Lemoine	75005	PARIS
SICARD Yves	Monsieur	UNIVERSITE JOSEPH FOURNIER	74, rue des Martyrs	38000	GRENOBLE
SIEGEL Pierre	Monsieur	GIA - CNRS	3, place Victor Hugo Case II	13331	MARSEILLE
SIGNORET J.L.	Monsieur	SERVICE DE NEUROLOGIE	GH Piné Sajeptière 83, boulevard de l'Hôpital	75013	PARIS
SINGER Wolf	Monsieur	MAX PLANCK INSTITUT FOR B. RESEARCH	Deutscherstrasse 46	6000	FRANKFURT
SORIN Christel	Madame	CNET - LANNION	B.P. 40 Route de Tregastel	22301	LANNION
SOTILO C.	Monsieur	INSERM	Hôpital Sajeptière - Bât. Pédiatrie 47, boulevard de l'Hôpital	75651	PARIS Cedex 13
SOUMIRED-MOURAT Bernard	Monsieur	UNIVERSITE AIX - MARSEILLE I	IBIOP Traverse Charles Susini	13388	MARSEILLE Cedex 13
SPERBER Dan	Monsieur	CREA	1, rue Descartes	75005	PARIS
STUCCHI Natale	Monsieur	UNIVERSITE DE GENEVE	24, rue du Général Dufour	1211	GENEVE
SYROTA Amélie	Monsieur	C.E.A.	Service Hôpitalier Joliot	91406	ORSAY
TARROUX Philippe	Monsieur	ECOLE NORMALE SUPERIEURE Dept. de Biologie	46, rue d'Ulm	75005	PARIS
TASSIN Jean-Pol	Monsieur	COLLEGE DE FRANCE	11, place Marcelin-Berthelot	75005	PARIS
THIBERRY Anne-Marie	Madame	INSERM	Collège de France 11, place Marcelin-Berthelot	75231	PARIS

THOMAS-BLANC Catherine	Madame	CNRS	INF 31, chemin J. Alquier	13402	MARSEILLE
THIRIA Sylvie	Madame	UNIVERSITE DE PARIS SUD	LRI BIL. 493	91405	ORSAY Cedex
TITON Bernard	Monsieur	CNRS	Biologie du Comportement Université Paul Sabatier	31062	TOULOUSE
THORPE Simon	Monsieur	CNRS	INST. des Neurosciences 9, quai St Bernard	75005	PARIS
TOULOUSE Gérard	Monsieur	LABORATOIRE DE PHYSIQUE DE LIENS	24, rue Lhomond	75231	PARIS
UNGERER Arielle	Madame	UNIVERSITE LOUIS PASTEUR	Laboratoire Psychophysologie 7, rue de l'Université	67000	STRASBOURG
VARELA Francisco	Monsieur	INSTITUT DES NEUROSCIENCES	9, quai St Bernard	75005	PARIS
VAUDRY Hubert	Monsieur	UNIVERSITE DE ROUEN	Laboratoire d'Endocrinologie Moléculaire B.P. 118	76134	MONT SAINT AIGNAN
VERGNAUD Gérard	Monsieur	CNRS	46, rue Saint Jacques	75005	PARIS
VERGNAUD Jean-Roger	Monsieur	CNRS	2, avenue du Stade Coberlin	92100	BOULOGNE
VIBERT Jean-François	Monsieur	CITU SAINT ANTOINE	27, rue Chaligny	75571	PARIS Cedex 12
VICTORRI Bernard	Monsieur	ELSAF - CNRS	Université de Caen	14032	CAEN
VIDAL Pierre-Paul	Monsieur	LABORATOIRE PHYSIOLOGIE NEUROSENS	15, rue de l'École de Médecine	75270	PARIS Cedex 06
VINCENT Jean-Didier	Monsieur	INSERM	1, rue Camille Saint Sabina	33077	BORDEAUX Cedex
VINTER Annie	Madame	UNIVERSITE DE FRANCIE- COMITE	30, rue Mègevard	25000	BESANCON
VIRBEL Jacques	Monsieur	IRIT	Université Paul Sabatier 118, route de Narbonne	31062	TOULOUSE Cedex
VIVIANI P.	Monsieur	UNIVERSITE DE GENEVE	24, rue Général Dufour	1211	GENEVE
WHEELFIELD Michel	Monsieur	LABORATOIRE D'INFORMATIQUE	Ecole Polytechnique	91128	PALAISEAU
WEST OBORNE Michael	Monsieur	O.C.D.E.	2, rue André Pascal	75016	PARIS
WISNER Alain	Monsieur	CNAM	41, rue Gay-Lussac	75005	PARIS
ZEMB Jean-Marc	Monsieur	COLLEGE DE FRANCE	11, place Marcelin Berthelot	75231	PARIS Cedex 05
ZWIERSKI Didier	Monsieur	LABORATOIRE D'ELECTRONIQUE PHILIPS	22, avenue Descartes	94453	LIMEIL-BREVAUNES

de BOYSSON-BARDIES Bénédicte	Madame	CNRS	Laboratoire de Psychologie Expérimentale 54, boulevard Raspail	75006	PARIS
de CORNULIER Benoit	Monsieur	UNIVERSITE DE NANTES	1, place du Maréchal Louis Seize	44000	NANTES
de SCHONEN Scania	Madame	CNRS	Unité de Neurosciences Cognitive CNRS, 31 Chemin J. Aiguier	13009	MARSEILLE

TOTAL D'ENREGISTREMENTS : 289