

L'approche neurobiologique des faits de conscience: vers une science de l'esprit

Jacques Paillard

Professeur émérite à l'université
d'Aix-Marseille 2

Thèmes de recherche :
Niveaux sensori-moteur et cognitif du
contrôle de l'action ;
schéma corporel et image de soi.

CNRS
Laboratoire de neurobiologie des mouvements
31 chemin Joseph Aiguier
F - 13402 Marseille Cedex 20
jacques.paillard@wanadoo.fr

ABSTRACT

The come back of consciousness as a primary concern of contemporary psychology will probably be considered as a landmark in the history of this discipline. By challenging the relevance of neural analysis in providing useful models for the interpretation of human cognitive activities, functionalist cognitive psychology together with Artificial Intelligence have perpetuated the exclusion of conscious processes from their field of inquiries. The emergence of a cognitive neuropsychology issued from the most recent technological and theoretical advances in neurosciences

opens promising perspectives for the entire renewal of empirical approaches to the thinking brain. The amazing performances of connectionist neural networks and the new systemic models of brain functioning provide a reappraisal of the computational approach to cognitive activities. The fascinating and rapidly expanding development of neuroimaging technology offers new potent tools for an experimental study of mental states. These new advances are expected to promote a promising interdisciplinary cross-fertilization within cognition sciences and to provide the foundation of a future mind science.

Le retour en force des faits de conscience dans les préoccupations de la psychologie contemporaine sera sans aucun doute considéré comme un fait marquant de cette fin de siècle. En témoigne le nombre impressionnant d'articles, colloques, débats, ouvrages qui sont consacrés à ce thème au cours de la dernière décennie. Les tribunes de la revue *Behavioral Brain Sciences*, largement ouvertes, comme on le sait, aux échanges interdisciplinaires ont, depuis leur création en 1978, déjà consacré une dizaine d'articles cible au thème de la conscience. Si l'on veut bien considérer en outre que l'ensemble de ces contributions a suscité dans les colonnes de ce périodique plus de trois cents commentaires issus des divers horizons de la philosophie, de la psychologie, de l'éthologie, des neurosciences et des

spécialistes de l'intelligence artificielle, on prend la mesure de l'ampleur du mouvement qui s'est amorcé. Mouvement qui, loin de s'essouffler, donne au contraire tous les signes d'une amplification spectaculaire au cours de ces dernières années, si l'on en croit une compilation américaine consacrée aux travaux sur la philosophie de l'esprit et récemment disponible sur le Net (Chalmers, 1999). Nous nous proposons de revenir ultérieurement sur son contenu.

Nous n'envisageons pas de reprendre ici le bilan des débats qui ont jalonné l'histoire de ce champ conflictuel du savoir où les idées ont toujours été tellement plus riches que les faits. On se reportera pour le rappel des faits et pour la bibliographie au chapitre que nous avons récemment consacré au problème de la conscience dans le nouveau traité de *Psychologie expérimentale* (Paillard, 1992). On pourra également consulter sur le plan historique un récent ouvrage de Pierre Buser (1998). Nous nous attacherons principalement dans cette présentation à préciser le rôle qu'ont pu jouer la biologie et plus spécifiquement la percée contemporaine des neurosciences dans la promotion des états de conscience comme objets accessibles à la démarche scientifique.

Mais rappelons tout d'abord brièvement l'origine des bouleversements que viennent de connaître les disciplines psychologiques dans la période contemporaine et la place que les disciplines biologiques ont tenue dans cette évolution.

La conscience dans l'évolution contemporaine des disciplines psychologiques

En quelques décennies à peine, et sous l'impulsion de la révolution informatique, l'intelligence artificielle (IA) allait proposer l'un des programmes les plus novateurs que l'on ait connus dans l'histoire de la psychologie pour l'étude des fonctions mentales. Sur un terrain déjà bien préparé par les acquis de la linguistique et par les conceptualisations des théories de l'information, les approches cognitives devaient clairement affirmer leurs ambitions devant ces nouveaux questionnements et contribuer à libérer définitivement la psychologie expérimentale traditionnelle de son passé behavioriste.

Ce rapprochement des problématiques entre une psychologie néo-mentaliste et l'IA devait tout d'abord consacrer un divorce profond entre les

neurosciences et ces deux disciplines. L'idée dominante étant, en effet, que la clé d'une compréhension des opérations constitutives des activités cognitives résidait davantage dans le décryptage de leur logique algorithmique et de la symbolique associée que dans l'analyse des supports physiques variés susceptibles d'en permettre l'expression.

De ce point de vue, les tenants de l'IA considéraient les modèles de microfonctionnement du système nerveux offert par les neurosciences comme non pertinents au niveau d'analyse des règles de fonctionnement à introduire dans les programmes d'instruction des ordinateurs. Les *neurones formels* de Pitts et McCullough, aptes à engendrer les opérations de base de la logique booléenne, constituent de leur point de vue une vision simplifiée du cerveau parfaitement suffisante pour satisfaire aux critères de plausibilité biologique des modèles qu'ils proposent. Dans la même ligne, la psychologie cognitive pour sa part, en réintroduisant les état mentaux comme objets scientifiquement saisissables, veut croire aux pouvoirs d'une approche purement fonctionnaliste d'un « langage de l'esprit » et elle aspire à « conférer aux explications psychologiques un niveau de description opératoire qui lui donnerait une certaine indépendance vis-à-vis de la biologie » (Mehler et Dupoux, 1987).

Or, c'est précisément le moment où les neurosciences connaissent, de leur côté, une vigoureuse percée sous l'impulsion des succès de la biologie moléculaire. Grâce au développement de nouvelles technologies performantes, elles voient le champ de leurs conquêtes arriver aux frontières de problèmes jusqu'alors considérés comme du domaine exclusif de la psychologie. Aussi affirment-elles, elles aussi, leurs nouvelles prétentions. Elles proclament leur foi dans une explication purement moléculaire du comportement et du psychisme : « l'homme n'a, dès lors, plus rien à faire de l'esprit. Il lui suffit d'être un homme neuronal » (Changeux, 1983). La formule est célèbre. Elle a sonné à ce moment là comme une provocation et a souvent été citée depuis comme le symbole d'un triomphalisme réductionniste.

Devant l'opposition apparemment irréductible entre ce qui a pu apparaître, à l'époque, comme un réductionnisme biologique opposé à un réductionnisme computationnel vont progressivement se dessiner les contours de nouvelles branches des sciences de la cognition par le ralliement des secteurs traditionnels de l'ancienne psychologie expérimentale avec ses inévitables divergences méthodologiques et conceptuelles, mais aussi avec ses convergences prometteuses, facilitées par une

adoption quasi générale des concepts des théories de l'information (voir l'article de J.-F. Richard dans ce numéro). Mais ce sont les approches empiriques des *neurosciences cognitives* qui, les premières, vont adopter ou réintroduire des concepts comme ceux de *volonté*, *d'intention*, *d'attention*, de *conscience*, depuis longtemps exclus du champ des objets de la science, après le triomphe des approches physico-chimiques en biologie et réflexologiques en physiologie, comme ils l'avaient été, en leur temps, du champ de la psychologie expérimentale. Désormais soutenue par le renouveau de la neuro-anatomie fonctionnelle et le développement des nouvelles techniques idéographiques d'exploration non invasive des activités du « cerveau vivant » chez l'homme, les neurosciences cognitives vont se trouver en position d'ouvrir de nouvelles voies d'approche inédites dans les domaines encore largement inexplorés des faits de conscience.

Cette évolution toutefois n'est que très récente. Le problème de la conscience continue encore à être largement présenté au sein de la psychologie, soit comme un faux problème sans existence ou comme un vrai problème insoluble, soit encore comme un problème résolu mais à l'aide de solutions aussi variées que contradictoires. Les sciences du calcul, elles-mêmes apparemment soucieuses d'offrir à la biologie des modèles de fonctionnement plausible, ne manquent pas de s'interroger sur cette fonction énigmatique. Elles ne voient pas très bien en quoi l'introduction d'un dispositif de contrôle de ce genre (à supposer que cette fonction existe vraiment ou soit, en tous cas, mieux définie) pourrait apporter un quelconque bénéfice de performance à la machine (Johnson-Laird, 1988). En conséquence, si la machine peut raisonner, résoudre des problèmes, simuler et surpasser les capacités intellectuelles du cerveau humain sans disposer d'un équivalent de contrôle conscient, c'est que probablement cette fonction n'est pas indispensable ni même utile au fonctionnement cérébral et pourrait simplement relever d'une illusion de notre expérience subjective (voir à ce sujet Buser, 1998). L'argument de non-pertinence des modèles issus des approches élémentaires du fonctionnement nerveux sera accueilli avec enthousiasme par les ultracognitivistes. Cette position leur permet non seulement de sauvegarder leur autonomie à l'égard des prétentions impérialistes d'une neuroscience conquérante mais leur permet en outre d'évacuer, une nouvelle fois, l'épineux problème de la prise de conscience qui n'a

jamais cessé d'encombrer leur discipline. En effet, contrairement aux autres disciplines scientifiques qui ont aisément pu assurer leur progression en ignorant un concept subjectif comme celui d'« *expérience consciente* », la psychologie objective a, par contre, et pour des raisons évidentes, rencontré beaucoup plus de difficultés à l'exclure du champ de ses préoccupations. Lorsqu'à la fin du XIX^e siècle la psychologie revendique son statut de discipline indépendante vis-à-vis de la philosophie en se réclamant de la Science, c'est en ayant les faits de conscience comme objet central de son approche. Elle fonde alors son étude sur la *méthode introspective*. Une méthode qui fut d'abord radicalisée par l'Ecole de Würzburg en Allemagne et par le courant structuraliste aux Etats-Unis, avant d'être disqualifiée par le behaviorisme watsonnien, et évacuée du champ de la psychologie objective. C'est l'objectivation des manifestations observables du *comportement* qui devient alors la cible privilégiée de ses investigations. Les approches comparatives sur le comportement animal s'imposent alors avec l'essor des approches éthologiques et, en parallèle, le développement d'une physiologie du comportement.

Les manifestations de l'expérience consciente resteront longtemps encore du domaine quasi exclusif de la philosophie et, dans ses aspects pathologiques, d'une psychiatrie largement détachée de ses fondements biologiques. Cette exclusion se prolongera pratiquement jusqu'à l'époque moderne, jusqu'à la mutation des sciences de la cognition et l'inclusion des neurosciences. C'est au sein de ces dernières que va se dessiner un retour en force de la conscience dans les préoccupations des spécialistes du fonctionnement cérébral.

Les deux citations suivantes, quasi contemporaines, illustrent bien l'acuité d'un débat resté largement ouvert jusqu'à une période très récente au sein de la psychologie. La première est tranchante. Elle est issue du *Macmillan Dictionary of Psychology*, où Stuart Sutherland écrivait, il y a dix ans à peine (1989) : « La conscience est un phénomène fascinant mais insaisissable : il est impossible de spécifier ce qu'elle est, ce qu'elle fait et pourquoi elle a évolué. Rien qui ne vaille la peine d'être lu n'a été écrit sur ce sujet. »

A la même époque, Thym Shallice, dans son article cible du BBS de 1991, « *From Neuropsychology to mental structures* » affirmait avec force : « Il n'est rien dans le concept de conscience qui le rende logiquement incompatible avec les termes et concepts d'une science de l'esprit [...] de ce fait, promouvoir la recherche des

arrangements ou des correspondances entre les approches du niveau des phénomènes, du traitement de l'information ou du système nerveux est totalement justifiable ».

Le problème de la conscience et de ses supports neurologiques éventuels ne vient cependant pas de surgir dans les préoccupations des neurosciences comme la soudaine découverte d'un territoire inconnu. De fait, le problème s'inscrit dans une longue tradition neurologique dont il importe de rappeler succinctement les filiations.

La conscience dans l'évolution des neurosciences

En traçant une ligne de partage entre deux mondes incommensurables, spirituel et matériel, le schisme cartésien devait ouvrir à la médecine expérimentale et à la biologie le vaste champ d'étude de la « *matière vivante* » à l'abri des interdits dogmatiques des théologiens. Elles ont largement profité de cette protection jusqu'à ce que les théories darwiniennes de l'évolution ne viennent jeter le trouble et risquer de rompre ce bel équilibre. En réintroduisant l'idée d'une origine biologique de l'homme, ces théories reposaient, du même coup, le problème du « quand » et du « comment » de l'apparition de « l'esprit » dans l'ordre naturel, au risque d'avoir à en contester l'origine divine et la spécificité humaine. Bien qu'ayant progressivement perdu de sa virulence blasphématoire, le problème n'en continue pas moins de constituer une source permanente de controverses et de débats philosophiques dont la psychologie scientifique ne pourra provisoirement se délivrer qu'en les occultant. Il faut se souvenir que la biologie, de son côté, se trouvait confrontée aux problèmes du vitalisme et de la finalité qu'elle aussi réussira à contourner (sans toutefois les avoir totalement résolus), apparemment plus aisément que les psychologues n'ont surmonté celui de la conscience.

On trouvera dans Fearing (1970, pp. 232-253) une intéressante analyse de l'évolution historique des idées qui ont conduit la neurologie du 19^e siècle (après la célèbre controverse entre Pflüger et Lotze sur le problème de l'existence d'une « âme spinale ») de la conception du réflexe machinal stéréotypé à la description d'automatismes qui échappent au contrôle de « l'intelligence consciente », tout en gardant le caractère adaptatif et finalisé des activités volontairement contrôlées. C'est de ce mouvement d'idées (voir à ce sujet le récent ouvrage de Marcel Gauchet, « *L'inconscient cérébral* », 1992) qu'est issue la conception jacksonienne d'une stratification hiérarchique

des niveaux de contrôle dans l'organisation du système nerveux (en accordant une large place à la dissociation du volontaire et de l'automatique), doctrine dont on connaît l'influence dominante sur toute la neurologie moderne. L'engouement de la neurologie de cette époque pour l'étude des manifestations de l'automatisme, du somnambulisme, de l'hypnose, de l'épilepsie et de l'hystérie en témoigne (Janet, 1889). Les concepts d'inconscience, d'intentionnalité, d'idéomotricité, de volonté et d'automatisme n'ont depuis jamais cessé d'être présents dans le vocabulaire descriptif de la sémiologie neurologique et de la psychiatrie. La notion de *perte de conscience* constitue une réalité empirique incontournable, observable, contrôlable... Les états de coma, les effets de l'anesthésie générale, l'inconscience du sommeil, les absences épileptiques, pour ne citer que quelques exemples, ont toujours fait partie des problèmes quotidiens de la clinique neurologique et de la chirurgie. L'approche expérimentale du problème de la conscience n'attendait pour être reprise que la formulation de nouveaux modèles d'interprétation et la disponibilité d'instruments d'analyse adéquate.

On retiendra de ce point de vue deux avancées majeures qui, autour des années cinquante, ont certainement contribué à ouvrir la voie au retour de la conscience dans les préoccupations de la science moderne : ce sont, d'une part les innovations neurochirurgicales de Penfield à Montréal dans le traitement de l'épilepsie, et, d'autre part les expériences de bissection du cerveau de Sperry en Californie par lésion des fibres commissurales du corps calleux.

La neurochirurgie sur le sujet conscient

L'introduction par Penfield à l'Institut neurologique de Montréal des techniques d'excision chirurgicale des foyers épileptogènes temporaux, chez des sujets éveillés et conscients, a historiquement constitué une percée majeure dans l'étude des mécanismes cérébraux de la prise de conscience. Rappelons que ces techniques furent initialement développées afin de permettre un repérage préopératoire (à l'aide d'enregistrements et de stimulations électro-corticographiques) des régions du lobe temporal impliquées dans les fonctions du langage, afin de les préserver lors de l'excision du foyer épileptogène. L'émission verbale du sujet, auquel on donne à lire un texte, est en effet soudainement interrompue lorsqu'on stimule électriquement les régions de son cerveau impliquées dans le langage (on parle alors

d'aphasie électriquement provoquée). Le scalpel du chirurgien (en l'occurrence, il s'agit ici d'une succion mécanique du tissu cérébral qui préserve les vaisseaux sanguins) peut ainsi être guidé avec précision pour sauvegarder ces régions critiques.

On sait le retentissement qu'a eu la publication des commentaires verbaux des sujets enregistrés au cours de telles interventions, notamment ceux qui concernent, suite à la stimulation électrique des aires temporales, l'évocation consciente d'imagerie visuelle ou auditive correspondant à des scènes de la vie personnelle du sujet (mémoire épisodique) et revécues par lui de manière vivante et réaliste dans un déroulement temporel similaire à celui d'un flux normal d'expériences conscientes normalement vécues (Penfield, 1957).

Sans entrer ici dans le détail des problèmes soulevés par les tentatives ultérieures de réplication et de généralisation de ces observations (Beaumont, 1981 ; Ledoux, 1985), on en retiendra certaines des conclusions de Penfield, dont la portée semble avoir été quelque peu négligée dans les travaux modernes. Elles furent pourtant au centre des débats du célèbre symposium qui se tint en août 1953 dans les Laurentides au Canada, et qui a probablement marqué le premier retour officiel de la *conscience* dans les préoccupations des neurophysiologistes (Delafresnay, 1954). Brièvement résumées, ces conclusions soulignaient trois points essentiels :

a) on peut chirurgicalement exciser des lobes entiers de matière cérébrale chez un sujet conscient, éveillé, et dialoguant normalement avec le neurochirurgien, sans perturbation apparente de ses fonctions de prise de conscience et, sous réserve de l'intégrité des structures impliquées dans les fonctions du langage, sans signe de confusion de la pensée verbalisable. Il faut rappeler ici que les structures cérébrales sont indolores et que ces interventions (qui ne nécessitent qu'une simple anesthésie locale des méninges) préservent le fonctionnement normal du cerveau vigile et, par suite, la possibilité d'un dialogue direct entre le sujet conscient et le chirurgien ;

b) à l'inverse, tout atteinte des régions sous-corticales, dans la partie supérieure du tronc cérébral, entraîne immédiatement l'inconscience du sujet comme elle provoque chez l'animal une rupture transitoire et durable de ses interactions avec l'environnement ;

c) l'expérimentation animale révèle, par ailleurs, que la constitution d'îlots cérébraux par incisions verticales, interrompant les relations cortico-corticales entre régions voisines, ne

perturbe pas gravement l'exercice de la fonction locale, alors que les incisions horizontales, qui interrompent les boucles de connections entre le néocortex et les régions thalamiques, ont des conséquences dramatiques.

C'est sur cette base que Penfield (1957) développera sa théorie centrocéphalique selon laquelle le siège des fonctions les plus élevées de la hiérarchie jacksonienne ne se trouverait pas dans le néocortex mais dans cette structure centrale que constitue la partie supérieure du tronc cérébral. Cette dernière constitue, en effet, un centre de convergence, de distribution et de régulation du transit des informations soumises aux traitements corticaux. Cette conception tend à reprendre une actualité nouvelle à la lumière des travaux contemporains (Watson et al., 1981 ; Paillard, 1986 ; Stériade et al., 1986 ; Edelman, 1989 ; Crick et Koch, 1990) mais elle a aussi, bien entendu, ses détracteurs.

La seconde impulsion allait venir des études de bissection du cerveau chez l'animal qui allaient ouvrir un champ entièrement original pour l'étude du substrat cérébral de l'expérience consciente de l'homme.

Le cerveau bissectionné

Dans une voie préalablement ouverte par l'expérimentation animale (Myers et Sperry, 1953), la *section des commissures cérébrales* fut introduite chez l'homme pour le traitement des épilepsies généralisées à une époque où l'on ne disposait pas encore de chimiothérapies adaptées. On évitait ainsi une propagation interhémisphérique de la crise en préservant les capacités d'autocontrôle du sujet. C'est à Sperry (1952, 1968, 1984) que l'on doit la première affirmation que la bissection des hémisphères cérébraux conduisait chez l'homme à une possibilité de division de ses activités mentales avec « coexistence de deux flux indépendants de son expérience consciente » (Sperry, 1968, p. 724), sans toutefois compromettre l'unité et la cohésion de son comportement. Cette ouverture méthodologique et conceptuelle allait susciter un nombre considérable de travaux de synthèses (voir par exemple Gazzaniga, 1970 ; Jaynes, 1977 ; Gazzaniga et Ledoux, 1978), de symposia, mais bien entendu, aussi, de controverses (MacKay, 1979 ; Beaumont, 1981).

L'idée d'une *asymétrie hémisphérique* du cerveau humain et d'une distribution des rôles fonctionnels entre un cerveau gauche verbal, analytique et séquentiel, et un cerveau droit non verbal, holistique et spatial, ouvrait déjà un chapitre

prometteur de l'étude des fonctions mentales. Elle devait conduire à une littérature pléthorique consacrée à l'étude des dichotomies fonctionnelles supposées existantes entre l'hémisphère droit et l'hémisphère gauche. Ces descriptions bipolaires se sont, à l'usage, révélées trop imprécises mais surtout peu généralisables, compte tenu de la diversité des arrangements observables d'un individu à l'autre ou d'un sexe à l'autre. En dépit des réserves justifiées qu'elle a suscitées (Beaumont, 1981 ; Ledoux, 1985), l'étude des patients callosotomisés devait cependant fournir des observations très intéressantes sur la séparation des fonctions associées à la prise de conscience et aux contrôles qu'elle peut exercer sur le décours des activités mentales. On peut les résumer ainsi : chaque hémisphère serait indépendamment capable de gérer de manière consciente des opérations perceptives et d'exercer des fonctions cognitives et de mémorisation qui semblent ignorées de l'autre. Cette expérience ne serait toutefois verbalisable que par l'hémisphère gauche (tout au moins chez les sujets bien latéralisés), mais l'hémisphère droit, muet, ne serait pas pour autant dépourvu des ressources du codage symbolique. Sperry, qui a défendu l'existence de deux processus indépendants dans les hémisphères d'un cerveau bissectionné, a également insisté sur la permanence d'une fonction unificatrice et intégrative qu'il attribue à des structures méta-organisantes sous-corticales et dont résulte la conduite unifiée et cohérente, observable chez les sujets opérés; une conception qui s'accorderait avec le *modèle centrencéphalique* de Penfield. (On se reportera pour plus de détails, y compris sur les conceptions concurrentes, à Paillard, 1994, et Buser, 1998).

Le mouvement d'idées déclenché par les travaux précédents devait marquer le point de départ des nombreux débats, colloques et travaux qui se poursuivent dans la période actuelle à un rythme grandissant.

Les débats philosophiques au sein des neurosciences

Le vieux problème du dualisme et du monisme devait inévitablement resurgir au sein de la communauté des neuroscientistes. Neurologues, neurophysiologistes, neuro-anatomistes et psychobiologistes confrontés aux développements récents de leur discipline ont pris position (Thorpe, 1978 ; Sperry, 1980 ; Hebb, 1981 ; MacKay, 1982 ; Szentagothai, 1984 ; Paillard, 1986 ; Edelman, 1989).

La conception d'un « monisme émergentiste », tel qu'initialement formulée par Sperry, semble réunir un consensus assez large dans son principe. Comme l'avait d'ailleurs suggéré William James, l'esprit ne serait pas une substance spécifique mais un processus d'un type particulier engendré par certaines formes d'organisation de la matière et qui disparaîtrait avec sa désorganisation. On rappellera pourtant les prises de positions divergentes d'un neurophysiologiste bien connu, de surcroît auréolé du prix Nobel et qui, s'appuyant sur de nouvelles théories de la physique quantique, ont vigoureusement défendu l'idée d'un nouveau dualisme (Eccles, 1986, 1989). Soyons clairs cependant: la véritable question se formule bien, aujourd'hui, en termes de corrélations entre activités mentales identifiables et activités cérébrales objectivables et non plus en termes d'interactions entre un cerveau matériel et un esprit immatériel survivant à sa disparition physique ou encore, comme dans les options de la psychologie fonctionnaliste, entre un logiciel opérant indépendant de son support matériel d'expression. Le monisme émergentiste de Sperry continue cependant d'opposer ceux qui, à la suite de Penfield, veulent croire à l'existence d'un site privilégié ou de « com-partiments conscients », dont l'activité locale naturelle (ou électriquement provoquée) engendrerait des expériences conscientes alors que d'autres structures resteraient toujours silencieuses, et ceux qui, à la suite de Lashley, considéreraient cette expérience singulière comme non localisable dans le cerveau et émergeant de son fonctionnement global intégré. Ces hypothèses, comme nous allons le voir, ne paraissent plus aujourd'hui hors de portée d'une possibilité de validation empirique par les méthodes modernes d'exploration du cerveau vivant...

Un autre aspect, sur lequel nous nous proposons de revenir plus loin, mérite considération. On assiste actuellement dans les neurosciences à un retour aux positions fonctionnalistes de la psychologie de William James (1890/1977). Ce dernier considérait, en effet, la conscience comme une activité fonctionnelle de l'organisme, traduisant une forme supérieure d'adaptation de l'organisme à son environnement. Il s'agit, en effet, de s'interroger sur l'origine et la signification de cette fonction, son rôle dans l'économie des organismes et les raisons de sa sélection par les mécanismes de l'évolution. Parallèlement, on voit se développer un puissant courant théorique neodarwinien appliqué au développement neuronal (Changeux, 1983) et au

fonctionnement cérébral en général (Edelman, 1987 ; Calvin, 1987, 1989) dont la portée explicative va s'amplifiant.

Vu leur ampleur, ces débats, d'abord internes aux neurosciences, n'ont pas tardé à s'étendre aux disciplines voisines et, bien entendu, en venant directement interpeller les philosophes sur leur propre terrain. En témoigne l'animation des échanges auxquels donnent lieu les articles cibles de *Behavioral Brain Science* que nous mentionnons plus haut et les nombreux ouvrages qui ont été publiés et se publient actuellement sur les thèmes de l'intentionnalité, de la conscience et de l'individuation (voir bibliographie dans Paillard, 1994, et Chambers, 1998, mais voir aussi parmi les symposiums les plus récents : Grossenbacher, 1996 ; Hameroff *et al.*, 1998 ; Jasper *et al.*, 1998).

En même temps, on se plaît à croire que la vigueur des oppositions disciplinaires traditionnelles, l'âcreté des échanges, les soupçons hégémoniques pourraient être en voie de s'estomper. Les philosophes anglo-saxons ont ouvert le chemin (Dennett, 1987 ; Churchland, 1988, parmi d'autres). Et ne commence-t-on pas à lire sous la plume des philosophes français (voir Feltz et Lambert, 1994 ; Petit, 1997) que « les philosophes de l'esprit ne sont plus désormais dans la situation où il cherchent à défendre des valeurs compromises par les avancées réductionnistes de la science mais à reformuler à leur suite une problématique qui peut désormais s'appuyer sur des connaissances objectives » ? N'entend-t-on pas parler d'une « révolution sans précédent dans le champ d'une épistémologie qui peut désormais envisager de se promouvoir au niveau d'une discipline expérimentale » ? Les scientifiques ne sont pas en reste lorsqu'ils reconnaissent (Changeux, 1994) « ... l'humilité du savant devant ses incertitudes, ses doutes et les vérités transitoires auxquelles il accède... » et annoncent une rupture radicale « ... avec une conception de la science sûre d'elle-même dans sa marche triomphante et dominatrice... » Le climat est certainement plus au dialogue qu'aux oppositions tribales, encore de règle il y a peu.

Mais c'est surtout l'accumulation croissante des nouveaux savoirs positifs qui crée l'attractivité grandissante de cette tentative de « naturalisation de l'esprit ». Les activités cognitives présumées calculatoires, pour importantes qu'elles aient pu apparaître, n'y sont plus désormais considérées isolément mais dans le contexte d'une dynamique cérébrale dont les modèles de description annoncent une rupture radicale avec la conception de l'ordinateur cérébral introduite par

l'intelligence artificielle.

L'orientation des travaux contemporains

Cette courte présentation se prête assurément mal à l'inventaire et nous renverrons le lecteur pour l'essentiel au chapitre du nouveau *Traité de psychologie expérimentale* (Paillard, 1994), Il peut par contre être instructif de parcourir la statistique issue du recensement récemment publié sur le net par David Chalmers (1998). (Voir à ce sujet figure 1).

Bien que non exhaustive et limitée aux publications en langue anglaise (il serait certainement intéressant de disposer des titres parus en français), l'effectif des travaux ici recensés et consacrés à l'étude scientifique des faits de conscience dans ces dernières décennies serait de 1370, la plupart étant postérieurs à 1970. Le graphique du bas indique la progression des seuls travaux consacrés par les neurosciences au thème de la conscience au cours des trente dernières années (par tranche de cinq ans). Comme on peut le voir, la croissance est quasi exponentielle et traduit l'attraction grandissante de ce domaine de la recherche. Ce domaine bénéficie de plus en plus de la disponibilité accrue des nouvelles techniques de neuro-imagerie (PET et RMI) dans les services hospitaliers. Maintenant ouvertes aux possibilités d'investigation sur des sujets sains susceptibles d'être soumis à des protocoles expérimentaux de plus en plus sophistiqués, les résultats s'accumulent. Comme on peut le voir, le tiers de ces travaux est consacré à l'identification des supports nerveux des états de conscience (61 publications) et à ses approches neuropsychologiques (60 publications). Parmi les autres thèmes les plus privilégiés, citons ceux de la vision résiduelle, des différences hémisphériques et des effets de l'anesthésie qui restent en bonne place. On reste toutefois frappé à la fois par la vitalité des approches psychologiques actuelles (679 publications) et surtout par la communauté thématique des sujets abordés par les psychologues expérimentalistes et par les neuro- sciences. Cette convergence d'intérêts laisse présager une interpénétration de plus en plus étroite de ces deux secteurs. La psychologie cognitive est appelée, à mon sens, à prendre un rôle grandissant dans la formulation des bonnes questions à poser à ces nouvelles technologies qui, pour accroître leur efficacité dans la progression de nos connaissances de base, deviendront de plus en plus tributaires de nouveaux paradigmes expérimentaux et de méthodologies éprouvées qui relèvent précisément de la compétence des psychologues.

1370 titres publiés pour la plupart après 1970 et se répartissant ainsi par disciplines et par thèmes:

679 Consciousness and Psychology

75- Consciousness and Memory
62- Unconscious Perception
60- Cognitive Models of Consciousness
55- Consciousness and Psychoanalysis
49- Miscellaneous
44- Self-Consciousness
38- Consciousness and Control
36- Unconscious Processes
34- Consciousness and Time

396 Consciousness and Neuroscience

61- Neural correlates of Consciousness
60- Neuropsychological Disorders
52- Miscellaneous
45- Blind Sight
41- Cerebral Hemispheres and Consciousness
38- Consciousness and Anesthesia
36- Oscillation and binding
26- Foundational Issues
21- Neural correlates of visual Consciousness
18- Neural Timing and Consciousness

75 Consciousness and Physic

30- Quantum Mechanics of Consciousness
25- Interpretation of Quantum Mechanics
20- Consciousness and Physics
31- Consciousness and Attention
28- Development of Consciousness
28- Consciousness and Learning
28- Consciousness, Sleep and Dreaming
26- The Stream of Consciousness
25- Consciousness and Imagery
22- Visual Consciousness
20- Consciousness and Metacognition
18- Foundational Issues

220 Miscellaneous

51- Parapsychology and Consciousness
33- Phenomenology
32- Animal Consciousness
29- Evolution and Consciousness
22- Animal Self-Consciousness
21- Consciousness and Language
17- Foundations

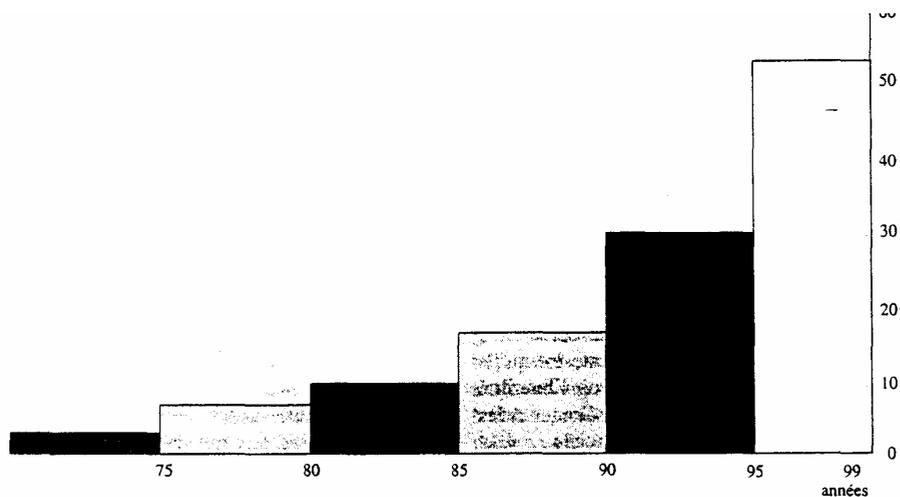


Figure 1 - Consciousness in Science.

Part of Contemporary Philosophy of Mind. An annotated bibliography.

Compiled by David J. Chalmers. Dept of philosophy. University of California Santa Cruz CA 95064.

E-mail : chalmers@paradox.ucsc.edu - <http://ling.ucsc.edu/~chalmers/biblio6.html>

Cette compilation bibliographique de David Chalmers situe le nombre de titres publiés en langue anglaise, pour la plupart au cours de ces trente dernières années et consacrés à l'étude scientifique des faits de conscience.

Bien que partielle et n'incluant pas les travaux non anglophones, l'importance relative des thématiques abordées évaluée par le nombre des travaux publiés sous les différentes rubriques fournit une indication intéressante des orientations de recherches actuellement dominantes.

On remarquera la vitalité du secteur d'application des théories quantiques à l'étude des faits conscients.

En outre, le graphique du bas, qui indique par tranches de cinq années la répartition des 396 travaux répertoriés dans le seul secteur des neurosciences, montre l'amplification croissante de l'intérêt porté à ce thème, notamment depuis les années 1980, avec pratiquement un doublement du nombre des publications tous les cinq ans. On peut aussi noter que la tranche 1995-1999 ne porte que sur quatre années.

On retiendra aussi particulièrement dans ce tableau les 36 publications consacrées à la rubrique « *oscillation and binding* ». Elle se rapporte à l'intérêt croissant porté par les neurosciences au problème des modulations contextuelles des activités corticales et au rôle que pourraient jouer dans ces modulations les synchronisations temporaires d'activité d'aires diversement réparties dans les structures centrales et assurant des opérations de « liage » (*binding*) rendant possible l'intégration temporelle d'information d'origines diverses (Singer, 1990).

On sera aussi intrigué par la vitalité du courant de la physique quantique qui établit un rapprochement entre la problématique de la mesure faisant intervenir l'observateur devant la chose mesurée et celle des relations de l'esprit devant le corps qu'il habite. Approches qui alimentent un courant de travaux actuels non négligeables et dont on pourra trouver un aperçu synthétique dans Forzy et Gallois (1994).

Quelle évolution prévisible? Vers une « science de l'esprit » ?

Parmi les avancées technologiques et théoriques qui devraient permettre aux approches biologiques de jouer un rôle dans les orientations futures de la psychologie, nous retiendrons les deux domaines d'intervention suivants :

1) celui qui devrait conduire à une remise en cause radicale du paradigme algorithmique-symbolique des modèles calculatoires du fonctionnement cérébral suggérés par l'IA et le courant cognitiviste associé ;

2) celui qui, à travers une neurobiologie de la conscience et des phénomènes associés, va réintroduire le sujet acteur de ses activités cognitives avec son histoire individuelle et ses mémoires culturelles et conduire à une recherche des fondements biologiques de l'autonomie et de l'individualité.

Ces deux domaines verront leur progression soutenue par les progrès attendus des technologies de neuro-imagerie cérébrale, progrès qui sont susceptibles d'offrir à la psychologie de nouveaux instruments d'évaluation et de validation de ses options théoriques fondamentales et de ses modèles opératoires.

Le cerveau-machine n'est pas un ordinateur

S'agissant du premier point, il nous suffira de mentionner succinctement qu'à la lumière des données récentes, on peut aujourd'hui affirmer que le cerveau ne travaille pas comme

un calculateur numérique, séquentiel, binaire et manipulateur de symboles selon le modèle proposé les tenants de l'IA et adoptés par les cognitivistes fonctionnalistes. Le modèle biologique du cerveau apparaît aujourd'hui comme celui d'une machine fonctionnant sur un mode analogique, distribué et probabiliste et suivant une dynamique asymbolique dont la description relève davantage des subtilités et sophistications du langage mathématique appliquées aux systèmes non linéaires que de la logique binaire booléenne (voir Churchland, 1986). Hâtons-nous toutefois de préciser qu'un tel constat ne remet nullement en cause les performances de l'IA ni l'efficacité des modèles opératoires conçus par les psychologues sur la base du modèle calculatoire. Ces performances continueront de s'améliorer avec le perfectionnement des ordinateurs et de rendre les immenses services qu'ils ont déjà rendus à l'informatique. Nul d'ailleurs ne songerait aujourd'hui à contester l'efficacité de la technologie aéronautique et de ses réalisations, mais nul, non plus, ne saurait prétendre qu'elle est susceptible de nous aider à comprendre comment volent les oiseaux.

On peut aussi évoquer à ce propos la véritable révolution provoquée dans l'IA, comme au sein des neurosciences, par les très surprenantes performances des réseaux connexionnistes qui, sans instructeur, sans symboles, sans algorithmes ni règles s'auto-organisent, s'adaptent spontanément aux contraintes qu'on leur impose, classent, catégorisent, infèrent, s'auto-programment, et s'auto-réparent en cas de destruction partielle... La surprise est de taille, et dès lors on s'interroge : le cerveau pourrait-il travailler de cette manière ? Et, si tel était le cas, pourrait-on imaginer la possibilité d'émergence d'un processus équivalent à celui de la conscience au sein de telles unités autonomes d'organisation ? (Voir à ce sujet Bechtel et Abrahamsen, 1993). La question s'est en effet rapidement posée : les machines dites « pensantes » que sont les ordinateurs modernes et davantage encore, parmi ces derniers, ceux qui utilisent des réseaux connexionnistes, sont-elles capable de générer une fonction analogue à la prise de conscience ? Formellement, la réponse est « oui » pour certains (Johnson-Laird, 1988), qui n'hésitent pas à reposer d'ailleurs la question de savoir si, en réalité, une telle fonction est bien nécessaire à l'activité mentale. « Non » avaient déjà répondu les autres (Searle, 1980, 1985), car les machines, comme résultat d'une fabrication, seront toujours dépourvues de la dimension *ontogénétique* qui, au sens

étymologique du terme, signifie la construction d'un individu comme personne singulière avec son histoire personnelle et ses expériences affectives privées.

Nous touchons là, certainement, un point essentiel pour notre propos, car il nous conduit à considérer la *conscience de soi* comme évolutivement héritière en filiation directe des propriétés d'individuation intrinsèques aux organisations biologiques autonomes, bien avant d'émerger comme individuation sociale d'une élaboration des capacités de traitement du niveau symbolique, comme l'admettent certaines théories psychologiques.

Le cerveau comme organisation biologique singulière génératrice de l'expérience subjective

On peut, sans doute, rapprocher les difficultés que rencontrent les psychologues à définir la conscience et ses fonctions éventuelles dans l'organisation de nos activités mentales à celles que rencontrent les biologistes (quand ils ne les éludent pas, ce qui est encore le cas le plus fréquent...) pour définir ce qui fait la spécificité d'une organisation vivante par rapport aux structures ordonnées du monde physique (Atlan, 1972). De ce point de vue, il est intéressant de rappeler l'identification de cette propriété que certains ont parfois désigné du terme de *bioconscience* (derrière lequel se cache le vieux démon du vitalisme), avec ses caractéristiques de solidarité systémique et d'autonomie individualisante, communes à toute unité vivante organisée, quel que soit son niveau de complexité. Cette propriété reste tout à fait spécifique aux organisations vivantes et ne saurait être retrouvée dans une machine, si perfectionnée soit-elle, à moins de pouvoir prétendre que l'on a réussi à fabriquer un être vivant. Le défi est actuellement relevé par un courant très actif qui se développe actuellement aux USA en relation avec les perspectives d'utilisation de robots humanoïdes pour les futures explorations planétaires. Ce courant, dit de l'« *Artificial Life* » (A.L.), se donne pour objectif d'imiter la vie et non plus seulement l'intelligence humaine. Ce faisant, il entend se démarquer vigoureusement des démarches jugées trop désincarnées de l'IA. Le concept d'*intelligence prérationnelle* (dont on peut aisément doter les robots...) y est introduit. Il est, à notre sens, très voisin de celui de l'intelligence sensori-motrice piagétienne (que l' A.L. ignore totalement et redécouvre...). Il conduirait comme elle à l'intériorisation des

logiques du raisonnement et à la pensée opératoire. Il est tout à fait intéressant, au travers de cet exemple, de voir les convergences implicites qui se dessinent entre disciplines voisines investissant des champs d'exploration communs (Bridgeman *et al.*, sous presse). Et il serait justifié à ce propos d'évoquer un autre exemple de ces convergences implicites. Il concerne l'impact grandissant qu'exerce actuellement sur ces nouveaux courants les *théories de l'énaction* de Varela (voir Crommelink, 1994). On y retrouve à la fois la primauté de l'action de l'épistémologie piagétienne et la redécouverte des anciennes théories matrices de la psychologie, mais aussi le rôle de l'action autogénérée par le sujet comme agent constructeur de l'autonomie organique et garant de son maintien et de sa cohérence fonctionnelle. C'est de ce produit proprement intégratif du fonctionnement de l'organisation biologique qu'émerge son identité comme totalité autonome et singulière (Varela, 1989 ; 1993). Le problème de la *production d'identité* dans les machines biologiques nous paraît, en effet, au coeur des problèmes que nous avons à résoudre pour comprendre l'émergence de cette expérience de l'unité organique et de son individualité que nous qualifions de *conscience de soi* comme produit du fonctionnement intégratif du système nerveux (Paillard, 1986). Ainsi l'expérience conscience traduirait-elle le vécu que nous éprouvons de la dynamique de ce processus d'intégration supérieur. Fessard (1954) proposait de la désigner du terme d' *experienced integration*, autrement dit, *d'intégration vécue*.

On peut, de ce point de vue, considérer que la création, dans les systèmes de représentation cérébraux, d'un modèle interne de la réalité physique stabilisé par les fonctions de cohérence répond à la même logique de conquête d'autonomie de l'appareil cognitif à l'égard des contraintes d'un environnement incertain que celle qu'attribuait Claude Bernard à la présence, au sein de la machinerie métabolique, d'un milieu intérieur stabilisé par les mécanismes homéostatiques, lui assurant ainsi les conditions d'une « vie libre et indépendante ». On conçoit, ainsi, que cette liberté, cette autonomie, cette indépendance puissent s'incarner dans la représentation cognitive que nous avons de nous-même sous forme de cette expérience particulière qui s'exprime dans le sentiment d'individualité et d'appropriation du corps que nous habitons. Une telle expérience nous semble en filiation directe de la constitution, au niveau biologique, d'un système de reconnaissance et de préservation d'un « moi immunologique ». Ainsi, l'émergence de la *conscience de soi*, dans son rôle de maintien,

sous une forme implicite ou explicite, de l'unité et de la cohérence de nos activités mentales, apparaît bien, du point de vue évolutif, comme un perfectionnement des facultés adaptatives de l'organisme (Paillard, 1986). Une conception inspirée de la biologie darwinienne qui s'inscrit aussi dans le droit fil du pragmatisme philosophique de William James (1977). Une conception enfin qui trouve dans les modèles émergentistes d'inspiration systémique le cadre d'interprétation le plus cohérent et le plus compatible avec un monisme scientifiquement acceptable et s'ouvrant sur les possibilités d'une étude objective des opérations de contrôle exercées sous la supervision de la conscience (Bunge, 1980; Sperry, 1980 ; Paillard, 1986; Edelman, 1989).

Que l'apparition du langage, lui-même issu du point de vue évolutif des impératifs de la solidarité systémique et de l'intégration des groupes sociaux, ait pu apporter ensuite à l'homme une formidable amplification de ses systèmes représentationnels du niveau cognitif ne fait guère de doute. Que les capacités nouvelles de ce dernier niveau aient pu constituer une condition nécessaire à l'affirmation de la personnalité individuelle et au développement des attributs du niveau social (conscience morale et conscience collective) semble, en effet, aller de soi. Mais les fondements biologiques spécifiques à l'émergence d'une individualité autonome (*self-awareness*) nous apparaissent, de plus en plus clairement, comme centraux dans l'émergence de cette expérience « autocérébroscopique » singulière que nous qualifions de consciente. Cette expérience peut rester purement passive et constituer l'épiphénomène souvent décrit comme non fonctionnel, purement privé et impropre à une investigation scientifique, mais elle peut aussi devenir l'instrument actif d'évaluation et de contrôle, le superviseur de nos conduites comme de nos activités mentales et, à ce titre, devenir accessible à une étude expérimentale à travers les effets objectivables des opérations qu'elle contrôle. C'est précisément la voie dans laquelle s'engage la psychologie cognitive contemporaine, voie par laquelle elle rejoint aujourd'hui très directement sur leur terrain les neurosciences cognitives et le formidable arsenal de moyens dont disposent ces dernières pour assurer désormais leur progression commune.

On a souvent souligné qu'il ne saurait y avoir de véritable science de l'homme sans l'existence d'un modèle constitué du sujet pensant et conscient. Mais peut-on aller, aujourd'hui, jusqu'à prétendre qu'un tel modèle

devra nécessairement être biologique ou ne sera pas (Edelman, 1992) ? Nous sommes indiscutablement sur la voie d'une exploration psychobiologique de l'expérience consciente qui offre des perspectives entièrement originales d'un stimulant intérêt pour une approche scientifique de ce domaine et pour les fondations d'une future « science de l'esprit », autrement dit, d'une « psychologie » qui justifierait pleinement son nom.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Note: Afin de ne pas trop charger la bibliographie de cet article, on se reportera pour les articles référencés dans cette présentation à la bibliographie générale d'un chapitre publié sur ce thème dans le nouveau *Traité de Psychologie expérimentale*.

Paillard, J. (1994). La Conscience. In M. Richelle, J. Requin & M. Robert (Eds.), *Traité de psychologie expérimentale, Chap. VI. 6* (pp. 639-684). Paris: PUF

Seules quelques publications récentes ne figurant pas dans cette bibliographie sont mentionnées ci-dessous.

- Bechtel, W. & Abrahamsen, A. (1993). *Le connexionnisme et l'esprit*. Paris : La Découverte,
- Buser, P. (1998). *Cerveau de soi, cerveau de l'autre*. Paris : Odile Jacob.
- Bridgeman, B., Celerier, B., Paillard, J. & Velichkovski, B. Prerational Intelligence from the perspective of Psychology. In J. Dean, H. Cruse & H. Ritter (Eds.), *Prerational intelligence*, Vol 3. Klüver Academic Press.
- Changeux, J.-P. (1994). *Raison et plaisir*. Paris : Odile Jacob.
- Crommelink, M. (1994). Neurones, architectures cognitives et intentionnalité. In B. Feltz & D. Lambert (Eds.), *Entre le corps et l'esprit* (pp. 117-153) Liège : Pierre Mardaga.
- Eccles, J.-C. (1989). *Évolution du cerveau et création de la conscience*. Paris : Fayard.
- Edelman, G.-M. (1992). *Biologie de la conscience*. Paris : Odile Jacob.
- Feltz, B. & Lambert, D. (Eds.) (1994). *Entre le corps et l'esprit*. Liège : Pierre Mardaga.
- Forzy, G. & Gallois, Ph. (1994). Le *mind-body* problem en neurobiologie : de l'âge « classique » à l'âge « quantique » In B. Feltz & D. Lambert (Eds.), *Entre le corps et l'esprit*. Liège : Pierre Mardaga.

- Gauchet, M. (1992). *L'inconscient cérébral*. Paris : Le Seuil.
- Grossenbacher, P.G. (Ed.) (1996). *Consciousness and brain circuitry; neurocognitive systems which mediate subjective experience. Advances in consciousness research*. Philadelphia, PA : J. Benjamin Publ.
- Hameroff, S., Kaszniak, A. & Scott, A. (Eds.) (1998). *Toward a science of consciousness II*. Cambridge, MA : MIT Press.
- Jasper, H., Descarries, L., Casteloluci, V. & Rossignol, S. (Eds.) (1998). *Consciousness : At the frontiers of neuroscience*. Philadelphia, PA : Lippincott-Raven.
- Petit, J.-L. (1997) *Les neurosciences et la philosophie de l'action*. Paris : Vrin.
- Searle, J. (1985). *L'intentionnalité*. Paris : Editions de Minuit.
- Singer, W. (1990). Search for coherence: a basic principle of cortical self-organization. *Concept in Neuroscience*, 1, 1-26.
- Varela, F. (1989). *Connaître*. Paris : Seuil.
- Varela, F., Thomson, E. & Rosch, E. (1993). *L'inscription corporelle de l'esprit*. Paris : Seuil.

En outre, une copie des publications suivantes peut être demandées à :
jacques.paillard@wanadoo.fr

- Paillard, J. (1987). Système nerveux et fonction d'organisation. In J. Piaget, P. Mounoud & J.-P. Bronckart (Eds.), *Psychologie, Encyclopédie de la Pléiade* (pp. 1378-1441). Paris : Gallimard.
- Paillard, J. (1987). Vers une psychobiologie de l'intentionnalité. In M. Laurent & P. Therme (Eds.), *Recherches en APS*. 2 (pp. 163-194). Université d'Aix-Marseille, Centre de Recherche UEREPS.
- Paillard, J. (1990). Dialogues sensori-moteurs et représentation mentale: un problème d'interface. In X. Seron (Ed.), *Psychologie et cerveau*. (pp. 19-51). Paris : PUF

- Paillard, J. (1994). L'intégration sensori-motrice et idéo-motrice. In M. Richelle, J. Requin & M. Robert (Eds.), *Traité de psychologie expérimentale*, Chap. III. 6 (pp. 925-961). Paris : PUF
- Paillard, J. (1994). La conscience. In M. Richelle, J. Requin & M. Robert (Eds.), *Traité de psychologie expérimentale*, Chap. VI. 6 (pp. 639-684). Paris : PUF

RESUME

Le retour de la conscience parmi les préoccupations dominantes de la psychologie contemporaine sera probablement considéré comme un fait marquant de cette fin de siècle. En contestant la pertinence des analyses des fonctionnements nerveux pour fournir des modèles utiles à la compréhension des activités cognitives humaines, la psychologie cognitive fonctionnaliste et l'intelligence artificielle ont contribué à maintenir les faits de conscience hors du champ de leur prospection. Le développement d'une neuropsychologie cognitive, porté par les progrès technologique et théorique des neurosciences, ouvre des perspectives prometteuses pour un complet renouvellement des approches empiriques du cerveau pensant. Les surprenantes performances des réseaux nerveux connectionnistes et les nouveaux modèles systémiques du fonctionnement cérébral conduisent à une remise en cause des modèles calculatoires de production des activités cognitives. L'étonnant développement des techniques de neuro-imagerie offre de nouvelles possibilités pour une étude expérimentale des états mentaux. Les sciences de la cognition peuvent attendre de ces avancées nouvelles un rapprochement interdisciplinaire prometteur susceptible de jeter les bases d'une future science de l'esprit.