

LA PSYCHOPHYSIOLOGIE ET L'OEUVRE DE JEAN PIAGET

Jacques Paillard

Université d'Aix-Marseille II

L'ordonnance d'un programme apparemment soucieux de respecter les préséances habituelles de la classification d'Auguste Comte appelle curieusement le psychophysiologiste à clore cette série d'hommages rendus à la pensée piagétienne par les représentants des diverses disciplines scientifiques. De ce fait me suis-je, à tort ou à raison et par respect pour les aspirations circulaires de l'épistémologie du maître, senti investi de l'obligation de boucler le cercle des sciences en articulant la biologie aux mathématiques.

L'hypothèse d'une filiation naturelle entre l'évolution des structures biologiques et la création des structures logico-mathématiques par l'organe cérébral de connaissance a certainement constitué l'une des idées directrices de l'œuvre de Jean Piaget. Faisant écho à la célèbre interrogation d'Einstein sur l'origine de la surprenante adéquation des mathématiques à la description du monde matériel qui nous entoure, l'épistémologie piagétienne allait se fonder sur cet audacieux postulat en provoquant directement les sciences biologiques à travers le défi que Jean Piaget leur adressait en ces termes : "Car il faudra bien que, tôt ou tard, la biologie nous aide à comprendre comment les structures logico-mathématiques sont possibles et pourquoi elles s'adaptent de façon efficace à la description du milieu extérieur".

Ainsi formulé, le questionnement apparaissait en fait doublement scandaleux pour la biologie. Tout d'abord, en affichant la complémentarité du comment et du pourquoi, il évoquait irrésistiblement le vieux spectre du finalisme. D'autre part, en désignant à l'outil analytique de l'expérimentation l'un des produits le plus élaboré du fonctionnement cérébral, il heurtait la démarche scientifique traditionnelle procédant du simple au complexe et semblait lui fixer un objectif inaccessible.

La réponse au "pourquoi" relevait assurément de la simple conviction née d'une argumentation réflexive sur la logique des processus évolutifs des systèmes vivants. On sait comment cette réflexion devait conduire Jean Piaget à envisager les productions du cerveau humain comme directement issues des processus adaptatifs qui ont mené les êtres vivants dans leur complexification évolutive vers la construction de mécanismes de mieux en mieux adaptés à la maîtrise de leur environnement (Piaget, 1967). L'intelligence et les activités cognitives apparaissaient ainsi comme produits des instruments adaptatifs

directement issus de l'évolution, et par suite explicables en termes de mécanismes biologiques et par leur logique d'organisation.

La réponse au "comment" et l'identification des mécanismes responsables se heurtaient, par contre, aux contraintes de la démarche expérimentale rigoureuse et posaient des problèmes redoutables.

Dans une récente étude consacrée à la genèse de la pensée piagétienne, Gréco (1966), s'étonnait que ce biologiste de formation ait choisi la psychologie comme champ d'exploration et n'ait pas cru devoir ou pouvoir demander à la biologie l'explication de l'activité mentale. La formation de zoologiste de Piaget et son inclination vers les modèles évolutionnistes ont, bien entendu, largement nourri sa réflexion épistémologique sur l'émergence des fonctions cognitives et des opérations logiques à partir de la logique de la coordination des actions. Mais le passage du comportement des limnées des étangs de Neuchâtel au fonctionnement du cerveau de Bourbaki offrait, il faut bien le dire, peu de prise à une approche expérimentale directe. Piaget lui-même devait, de surcroît, reconnaître ultérieurement une certaine difficulté à faire correspondre une conception constructiviste des capacités opératoires de l'intelligence dans le développement individuel avec un modèle évolutionniste intéressant un processus de différenciation des espèces certainement non isomorphe de celui qui préside à la genèse des organisations nerveuses dans l'individu en développement. Quant à la biologie du système nerveux, elle était encore à cette époque au stade des balbutiements et nos connaissances sur le fonctionnement cérébral restaient largement engluées dans les modèles d'interprétation réflexologiques et associationnistes difficilement conciliables avec les conceptions structuralistes de Jean Piaget.

On peut ajouter que la communauté scientifique des biologistes n'était pas particulièrement perméable aux idées piagésiennes. Littéralement traumatisée par les démons du vitalisme et du finalisme, elle se repliait sur le rituel d'un réductionnisme agressif dont elle a, aujourd'hui encore, quelque peine à s'évader et qui a contribué à prolonger l'état de "torpeur épistémologique" dans lequel s'est longtemps trouvée la biologie (Meyer, 1967). On comprend, de ce fait, que Piaget se soit tourné vers l'autre champ d'investigation expérimentale largement ouvert que constituait la genèse des structures intellectuelles au cours du développement de l'enfant et qu'il ait choisi de devenir psychologue.

Le paysage s'est heureusement, aujourd'hui, considérablement transformé grâce notamment au spectaculaire essor donné aux neurosciences par les progrès de la biologie et de la génétique moléculaire et par les retombées de la révolution cybernétique. Les premiers en donnant le coup de grâce au démon vitaliste, les secondes en exorcisant

celui du finalisme devaient contribuer à libérer la biologie de ses complexes paralysants et de l'emprise dogmatique des explications thermodynamiques et énergétiques, pour l'engager dans les nouveaux cadres paradigmatiques offerts par les théories de l'information et de traitement du signal.

On peut mesurer le chemin parcouru à la lecture de l'ouvrage consacré par François Jacob (1970) à *La Logique du vivant*, au titre déjà révélateur. Les notions qu'il y développe d'emboîtement d'intégrons, de logique des régulations, de paliers d'organisation, de finalité fonctionnelle révèlent l'étonnante convergence de la pensée biologique contemporaine avec la vision globale qu'en avait formulée Jean Piaget beaucoup plus tôt, sans d'ailleurs que la moindre référence aux idées de Piaget figure dans la bibliographie de cet ouvrage. Ceci témoigne encore de l'étanchéité persistante de la biologie aux courants épistémologiques extérieurs à cette discipline. La convergence constatée n'en est que plus significative. Elle consacre la profondeur et la lucidité visionnaire de la pensée piagétienne qui désignait avant l'heure, et avec quelle clarté, les voies susceptibles de s'ouvrir pour la promotion épistémologique d'une pensée biologique trop longtemps réprimée dans ses énergies spéculatives par son rituel propre.

Les problèmes frontaliers ont, par nature, constitué le point d'application privilégié de la pensée dialectique de Jean Piaget. On ne doit donc pas s'étonner de l'attention particulière avec laquelle il suivit le développement d'une psychophysioogie naissante appelée à réaliser entre la biologie et la psychologie le pont interdisciplinaire qu'il appelait de ses vœux.

Cette jeune discipline, il va sans dire, devait éprouver au départ quelques difficultés à se dégager des dogmatismes de la science-mère, mais elle eut le mérite d'engager le dialogue scientifique avec les psychologues empiristes et expérimentaux. Les psychophysiologistes, cependant, dans la bonne tradition physiologique, continuent généralement de considérer l'organisation comme une donnée première qu'ils se hâtent d'évacuer des préoccupations de l'analyse du fonctionnement local. De leur côté, les psychologues expérimentaux travaillent sur le sujet conscient mais évacuent cette notion gênante considérée comme inaccessible à l'investigation objective.

Il n'y avait certes pas là de quoi enthousiasmer, mais encore moins d'inquiéter Piaget qui présentait cette voie comme peu prometteuse. Sa démarche propre qui affirme le primat de l'organisation globale sur le fonctionnement local et vise à la compréhension des phénomènes psychologiques par la filiation des structures d'organisation qui président à leur genèse va rencontrer autant de réticence de la part

de la psychologie anglo-saxonne qu'elle suscitera d'indifférence de la part des biologistes européens.

Et voici que les biologistes butent aujourd'hui sur les obstacles où précisément les attendait Piaget. Ainsi, celui de la compréhension des processus organisants qui déterminent la filiation des structures dans la différenciation cellulaire et au cours de l'embryogenèse. Voici, aussi, que les neurophysiologistes rencontrent dans le développement du système nerveux les processus d'épigenèse postulés par les conceptions piagésiennes. Et on assiste parallèlement au développement d'une psychologie cognitive qui s'enhardit à venir interpeller les neurosciences sur leur terrain dans le langage commun que leur ont fourni les théories de l'information.

Donc s'amorce enfin, timide encore mais combien prometteur, le dialogue interdisciplinaire sur le terrain où Piaget souhaitait le voir s'engager.

La question que nous souhaitons dès lors poser est celle-ci : les problèmes formulés par la démarche piagésienne à propos du développement de l'intelligence sont-ils devenus saisissables par la démarche expérimentale des niveaux psychophysiologiques et sous quelles formes ?

Nous pouvons, au moins dans un premier temps, accepter l'hypothèse plausible que les opérations mentales dont parle Piaget sont des opérations qui s'effectuent dans ce que le vocabulaire de l'informatique appelle aujourd'hui un certain "logiciel" et que ce logiciel peut être relativement indépendant du "matériel" que constitue la structure de connectivité solide à travers laquelle il s'exprime. Dans cette hypothèse et si, comme le suppose Piaget, la logique des opérations du niveau de l'intelligence trouve ses origines dans une logique de la coordination des actions et que l'on peut admettre l'existence d'un certain isomorphisme entre la logique d'organisation structurale des niveaux sensori-moteurs et celle du logiciel qui préside à l'organisation des activités supérieures, il n'est pas indifférent pour le biologiste de se pencher sur les principes de fonctionnement des schèmes sensori-moteurs supposés intervenir dans l'élaboration des algorithmes des niveaux supérieurs.

Nous envisagerons, tout d'abord, sur quelques exemples, ce que nous révèlent les approches neurophysiologiques et psychophysiologiques sur l'organisation de la logique câblée du système nerveux, pour ensuite nous interroger sur nos possibilités d'accès aux fonctions nerveuses supérieures qui sous-tendent les activités cognitives et qui pourraient relever d'une logique non câblée.

La logique câblée des niveaux sensori-moteurs

Le domaine des activités sensori-motrices constitue avec celui des fonctions sensorielles l'un des champs d'investigation où se sont spécialement concentrés les efforts des neurophysiologistes et des psychophysiologistes au cours des quinze dernières années. D'importants progrès ont été enregistrés (voir Paillard, 1977). Aux schémas classiques de la réflexologie sherringtonienne est venue s'ajouter la conception de l'existence de "programmes" moteurs inscrits dans la structure rigide du câblage du système et constituant de véritables modules de commande d'un ensemble coordonné de muscles, préadaptés à l'exécution d'actes ou de composantes d'actes biologiquement significatifs. La logique du câblage interne de tels modules est, au moins pour certains d'entre eux, aujourd'hui connue dans le détail de la microcircuiterie qui relie les neurones composants. Privé de ses informations réflexogènes (par section des racines médullaires dorsales), le programme peut être néanmoins déclenché mais de manière stéréotypée. Lorsqu'il bénéficie de ses feedbacks régulateurs, il manifeste alors une certaine souplesse d'exécution qui se traduit par une adaptation flexible aux circonstances de son exécution. La marge de flexibilité permise par les circuits de régulation en "feedback" peut ici être identifiée aux capacités assimilatrices du "schème sensori-moteur" piagétien. Il existe, complémentaiement, un mécanisme "d'accommodation" du programme moteur qui repose sur une modification de la structure interne de son câblage. De tels changements résultent de la mise en œuvre de processus adaptatifs automatiques dont les mécanismes commencent à être connus. Ils traduisent l'existence d'une régulation à mémoire et réalisent une véritable accommodation anticipatrice du "schème sensori-moteur". On parle alors de "feedforward".

La coordination des actions résulte, à ce niveau, d'un couplage de modules qui contrôlent les divers sous-systèmes de commande. L'organisation hiérarchique de ces contrôles se traduit dans la logique des interconnexions solidarissant les modules entre eux. On est frappé, à ce niveau d'organisation des fonctionnements nerveux, par la primauté de la logique du câblage qui préside à la distribution précise des informations circulantes. A cette logique du câblage se superpose celle du codage temporel des activités nerveuses. Elle apparaît également dépendante, pour son expression, des structures de connectivité sur lesquelles elle s'exprime. Une organisation modulaire similaire, en colonne de neurones, a été retrouvée au niveau des structures néocorticales, notamment dans les aires motrices et dans les aires primaires de projection sensorielle où ces colonnes qui comprennent une centaine de neurones se distribuent selon des architectures définies. Le décryptage de la

microcircuiterie fine de ces colonnes constitue actuellement un objectif accessible de la neuroanatomie et de la microélectrophysiologie moderne.

Les travaux de Hubel et Wiesel (1970) sur le cortex visuel, couronnés par un récent prix Nobel, ont apporté une remarquable confirmation des conceptions épigénétiques du développement avancées par Piaget. Ces études ont révélé l'existence chez le chaton nouveau-né d'une relative prédétermination génétique de la spécificité de fonctionnement de ces colonnes. Elles ont aussi apporté la surprenante révélation de l'existence d'un nombre de connections synaptiques beaucoup plus élevé que celui qui subsistera à l'âge adulte. Cette exubérance synaptique initiale traduit l'existence d'un potentiel de développement que l'expérience individuelle va progressivement moduler et restreindre par stabilisation sélective des synapses sollicités par la fonction visuelle et par régression puis disparition de celles qui se révéleront inutiles. Ainsi, la logique câblée de ces colonnes n'est pas définitivement déterminée par le programme génétique mais se trouve modulable, dans certaines limites, au cours du développement en fonction de l'expérience individuelle. Les caractéristiques de cette modulation épigénétique de la logique du câblage ont été élucidées en partie, dans leurs déterminants neuro-hormonaux, avec l'importante découverte de l'existence de périodes critiques de durée limitée en dehors desquelles l'expérience individuelle demeure inefficace. Le modèle d'épigénèse aujourd'hui maîtrisé par les neurobiologistes ouvre l'espoir d'un approfondissement décisif des mécanismes mis en jeu. Il est maintenant très probable que les résultats obtenus dans la logique câblée des colonnes du système visuel seront généralisables à l'ensemble du système nerveux ; les secteurs pouvant toutefois se différencier par la durée de leur période sensible, par leur degré de dépendance vis-à-vis des déterminations génétiques initiales et par leur plus ou moins grande capacité de remaniement de leur câblage après stabilisation sélective.

Les processus adaptatifs du niveau sensori-moteur et les processus d'acquisition intervenant dans le système nerveux mature relèvent de mécanismes différents.

On notera dans la perspective des conceptions piagésiennes l'importante observation d'une équipe française (Buisseret & Gary-Bobo, 1979) qui a démontré que la stabilisation sélective de la logique câblée des colonnes du système visuel était directement dépendante des afférences proprioceptives engendrées par les mouvements oculaires. L'immobilisation des yeux ou la simple suppression des informations proprioceptives en provenance de la musculature oculaire suffit, chez le chaton au cours

de la période critique, à supprimer le processus de différenciation sélective des colonnes du système visuel, en conformité avec les hypothèses piagésiennes : c'est l'exercice du schème sensori-moteur de l'exploration oculaire qui conditionne la structuration des connectivités centrales responsables de l'élaboration de l'expérience perceptive visuelle.

On rappellera, à ce sujet, les observations psychophysiologiques plus anciennes de Held (1965) sur le rôle de l'expérience motrice dans l'acquisition des comportements visuellement guidés du chaton. Le carrousel de chatons est maintenant trop classique pour qu'il soit nécessaire d'y revenir ici. Le rôle organisant et structurant de la motricité active a également pu faire l'objet d'investigation systématique sur l'homme grâce au modèle de la réorganisation des coordinations visuo-manuelles après déviation prismatique du champ visuel (Paillard, 1971). Ces champs d'investigation de la psychophysiologie avaient, bien entendu, passionné Piaget comme l'avait spécialement fasciné l'étonnante prothèse tactile pour aveugle de Bach y Rita (1972). Ce dernier, en effet, installant dans le dos d'aveugles-nés une matrice de vibreurs mécaniques convertissant en stimulations tactiles ponctuelles les différences d'intensité lumineuse d'une image recueillie par une caméra de télévision, avait pu faire ce constat surprenant que le sujet n'ayant jamais eu d'expérience visuelle antérieure s'avérait capable, dès lors qu'il lui était donné de pouvoir activement manipuler la caméra et explorer l'image recueillie par simple fermeture d'une boucle sensorimotrice exploratoire, de structurer son expérience perceptive tactile de telle manière qu'il devenait capable de la décrire en termes d'expérience visuelle, la manipulation d'un zoom lui apportant même l'expérience de la troisième dimension.

Ces quelques exemples suffisent, je pense, à illustrer la portée des modèles expérimentaux désormais accessibles aux investigations des niveaux psychophysiologiques et neurophysiologiques pour une approche des mécanismes qui sous-tendent les effets organisant et structurant des activités motrices sur les activités perceptives et cognitives qui s'élaborent aux niveaux supérieurs du fonctionnement nerveux.

La logique des opérations cognitives

Nous sommes ici sur le terrain où la biologie s'est toujours sentie la plus démunie et peu préparée à relever le défi piagésien. Nous voudrions, sur trois aspects particuliers du problème, illustrer ce que peuvent être les ouvertures nouvelles dans ce domaine.

Le premier de ces aspects concerne le dynamisme d'un courant contemporain tendant à définir certains champs nouveaux d'intervention de la psychologie cognitive dans un domaine qui tend à se définir comme celui des "neurosciences cognitives". On trouvera dans deux publications récentes (Posner, 1980, Sutherland, sous presse) l'illustration des voies d'approches et des méthodologies nouvelles susceptibles de renouveler la recherche des corrélats nerveux des activités cognitives. En tirant parti du perfectionnement des méthodes de recueil et d'analyse des potentiels cérébraux évoqués chez l'Homme et du progrès de la détection microphysiologique des activités neuronales unitaires chez l'animal chronique, il est désormais possible de combiner dans une même expérience les méthodologies comportementales et celles de la neurophysiologie. En ouvrant un accès direct au fonctionnement des grands secteurs associatifs du cortex cérébral ces nouvelles voies d'approche autorisent l'espoir d'une progression rapide de nos connaissances dans le domaine de la neuropsychologie des fonctions cognitives et, par suite, d'un enrichissement majeur des approches neuropathologiques traditionnelles.

Le second point que je voudrais souligner concerne l'extension rapide de nos connaissances de la microcircuiterie des secteurs associatifs du cortex, grâce notamment à la mise au point de nouvelles technologies performantes permettant le marquage différentiel des circuits de connexions neuroniques et l'identification locale des médiateurs chimiques concernés. D'ores et déjà, nous sommes conduits à considérer l'organisation des structures corticales comme consistant en la juxtaposition d'une multitude de colonnes verticales de cellules assemblées pour la réalisation d'opérations fonctionnelles précises. L'organisation modulaire, maintenant identifiée aux niveaux des programmes câblés du tronc cérébral, serait donc également la règle au niveau cortical. L'hypothèse qui oriente actuellement la recherche est que l'on doit s'attendre à retrouver à ces niveaux supérieurs les mêmes principes d'organisation hiérarchique de configurations d'activités modulaires déjà démontrés aux niveaux inférieurs, avec bien entendu des distributions topographiques moins précises et avec des chevauchements dont on s'efforce de comprendre la signification. On trouvera dans Edelman et Mountcastle (1979) un exposé de ces nouvelles conceptions. Elles conduiront sans doute à une meilleure compréhension des rapports du logiciel et du structurel dans le fonctionnement cérébral et devraient contribuer à revaloriser le rôle des logiques câblées dans l'organisation des activités cognitives.

J'évoquerai, enfin, les perspectives ouvertes par le développement de nouveaux types de formalisme nés de l'accélération contemporaine du progrès des technologies de l'automatisme et de l'informatique. Ils se

trouvent catalysés par l'enjeu économique des études d'intelligence artificielle et de robotique et connaissent de ce fait une impulsion extraordinaire. Qu'il suffise de dire qu'il devient désormais possible de décrire dans un langage qualifié de "computationnel" des modèles dynamiques compatibles avec une morphologie empiriquement connue et de rendre ces modèles réfutables au sens popperien du mot, en terme de simulation informatique. Ainsi, l'obstacle quasi infranchissable que redoutait Piaget pour une étude scientifique d'une logique des activités opératoires détachée du réalisme des structures pourrait devenir surmontable. En effet, des activités non substantielles telles que celles qui contribuent à l'élaboration de notions abstraites (de catégorie, de forme, de nom, d'objet transcendantal ...), généralement reconnues comme inaccessibles aux explications mécanistes et causales, pourraient désormais être traduisibles dans le formalisme explicite des langages computationnels et prendre le statut d'objet scientifique accessible à l'expérimentation.

La puissance d'un tel outil pour l'analyse des processus cognitifs donne à ce nouveau courant de la science contemporaine une ampleur considérable. Elle vient encore accroître le champ d'intervention des "neurosciences cognitives" actuellement en plein essor et dont les ambitions s'affirment (Posner, 1980). Nous ne saurions mieux illustrer la portée de ces nouveaux instruments d'investigation qu'en évoquant un concept central des théories piagésiennes qui concerne la notion d'"équilibration majorante" qui traduit le passage d'une structure opératoire d'un certain niveau à un palier de généralisation supérieur. Aucune conjecture scientifiquement acceptable quant au mécanisme et au support d'un tel processus ne pouvait jusqu'ici être imaginable. Piaget, lui-même, ne confessait-il pas dans un de ses derniers écrits : "Certes il est facile de parler en de tels cas de synthèses ou de combinaisons nouvelles à partir de composants déjà connus mais une notion telle que l'abstraction réfléchissante ne saurait avoir de valeur qu'à la condition de substituer un modèle détaillé à des formules aussi vagues. Nous n'en sommes pas là..." (Piaget, 1977, p. 113). Or, nous avons la semaine dernière à Marseille un collègue de l'Université d'Ottawa représentant de ces nouveaux courants d'idées et qui nous exposait la teneur d'un projet de son équipe, actuellement en cours de réalisation et portant précisément sur la simulation informatique du "saut qualitatif" que réalise l'équilibration majorante des conceptions piagésiennes (Lamontagne, 1980). Il s'agit, essentiellement, d'exprimer le discours piagésien relatif à ce concept dans un formalisme computationnel rendu compatible avec les données d'ordre physiologique connues (l'informon d'Uttley (1970) sert ici d'opérateur de base). Une application du formalisme élaboré de la théorie des automates permet d'envisager une

concrétisation "computationnelle" du "saut qualitatif". L'opération de simulation sanctionnée par les résultats du calcul permet alors de procéder à l'ajustement progressif des paramètres et des composants du modèle pour parvenir au résultat souhaité. Quelle que soit l'issue de cette expérience passionnante et en dépit des échecs antérieurs de réalisation du génétron de Papert (1963) qui pourraient inciter à la prudence si l'on ne tenait pas compte des énormes progrès réalisés depuis quelques années dans ce domaine, le fait même qu'une théorie formelle de l'abstraction réfléchissante puisse être élaborée et être réfutable revêt, en soi, une importance théorique capitale compte tenu de l'enjeu épistémologique qu'elle représente.

Les conséquences pratiques du succès éventuel de l'entreprise ne seraient pas moins importantes car, comme le soulignent les auteurs de ce projet, "l'identification d'un paradigme informatique du développement autonome ouvrirait alors une multitude de voies nouvelles et même révolutionnaires dans le domaine de l'automatisation, de la conception des programmes de gestion administrative et dans la mise au point de prothèses psychologiques pour handicapés mentaux". On comprend l'effervescence de ces nouveaux secteurs de la recherche et l'enthousiasme de leurs acteurs.

Mais, bien d'autres champs d'investigation se profilent à l'horizon et d'autres interrogations fondamentales que ne manquera pas de poser le développement des nouvelles procédures algorithmiques. Ainsi la dialectique du logiciel et du matériel dans le fonctionnement nerveux et la complémentarité de leurs rôles dans la fabrication du sens me paraissent constituer un objectif majeur des recherches à venir. On peut entrevoir le dessin d'une nouvelle frontière épistémologique lorsque le système nerveux cessera d'être conçu comme une simple machine à traiter de l'information pour être considéré dans son rôle fonctionnel de machine fondamentalement productrice de sens et d'identité dans l'incessant dialogue qu'entretient l'organisme avec son environnement. Il nous faudra bien alors introduire dans le domaine des objets scientifiques les systèmes de valeurs qui guident et orientent l'activité des organismes et poser le problème de leur genèse à travers leur filiation probable à partir des structures-mères des valeurs biologiques fondamentales (Paillard, sous presse). On se plaît à imaginer l'application du modèle piagétien à l'étude de ces nouveaux champs de la connaissance dont l'investissement est d'ores et déjà commencé et où les acquis de la psycholinguistique seront particulièrement précieux.

Je conclurai ce trop rapide exposé en soulignant la modernité des vues piagésiennes sur l'organisation des systèmes vivants, la pertinence et l'originalité des questions qu'il a formulées en direction des sciences

du système nerveux et des sciences du comportement, la cohérence du projet qu'il a désigné à la psychophysiole dans sa mission de discipline charnière entre l'approche biologique et l'approche psychologique des manifestations supérieures de l'activité du cerveau. En outre, et comme Hannibal qui savait motiver l'ardeur de ses soldats par la perspective de butins fabuleux, Piaget a su nous rendre conscients de l'extraordinaire enjeu épistémologique que comporte l'entreprise de connaissance de l'instrument même de la connaissance qu'est le cerveau du sujet pensant. Et, même si le théorème de Gödel en fixe d'ores et déjà la limite théorique, l'entreprise aura, en tout cas, le mérite de permettre au sujet observateur et acteur, "opérateur", disait ce matin le Professeur Prigogine, de retrouver sa place, sinon sa dignité, dans la conception scientifique du dialogue qu'il entretient avec le monde et qui fonde l'intelligibilité de ses constats.

BIBLIOGRAPHIE

- BACH y RITA, P. *Brain mechanisms in sensory substitution*. New York: Academic Press, 1972.
- BUISSERET, & GARY-BOBO, E. Development of visual cortical orientation specificity after dark rearing: Role of extra-ocular proprioception. *Neurosciences Letters*, 1979, 13, 259-263.
- EDELMAN, G.M., & MOUNTCASTLE, V.B. *The mindful brain*. Cambridge, Mass.: M.I.T. Press, 1979.
- GRECO, P. Piaget ou l'épistémologie nécessaire. In *Psychologie et épistémologie génétiques: Thèmes piagétiens* (ouvrage collectif). Paris: Dunod, 1966, pp. 51-65.
- HELD, R. Plasticity in sensory-motor Systems. *Scientific American*, 1965, 213 (5), 84-94.
- HUBEL, D.H., & WIESEL, T.N. The period of susceptibility to the physiological effects of unilateral eye closure in kittens. *Journal of Physiology*, 1970, 206, 419-436.
- JACOB, F. *La logique du vivant*. Paris: Gallimard, 1970.
- MEYER, F. Situation épistémologique de la biologie. In J. Piaget (Ed.) *Logique et connaissance scientifique*, Paris: Gallimard, 1967, pp. 781-821.
- LAMONTAGNE, C. Vers une théorie computationnelle du saut qualitatif en psychologie cognitive. Projet CRSNG, Rapport de recherche multigraphié, Université d'Ottawa, 1980.
- PAILLARD, J. Les déterminants moteurs de l'organisation de l'espace. *Cahiers de Psychologie*, 1971, 14, 261-316.
- PAILLARD, J. La machine organisée et la machine organisante. *Revue de l'Education Physique* (Bruxelles), 1977, 17, 155-162.
- PAILLARD, J. Système nerveux et fonctions d'organisation. In J. Piaget, J.P. Bronckart & P. Mounoud (Eds.), *La psychologie*. Paris: Gallimard, sous presse.

PAPERT, S. Etude comparée de l'intelligence chez l'enfant et le robot. In L. Apostel *et al.*, *La filiation des structures*. Etudes d'épistémologie génétique, vol. 15. Paris: Presses Universitaires de France, 1963, pp. 131-194.

PIAGET, J. *Biologie et connaissance*. Paris: Gallimard, 1967.

PIAGET, J. et coll. *Recherches sur l'abstraction réfléchissante*. Etudes d'épistémologie génétique, vols. 34 et 35. Paris: Presses Universitaires de France, 1977.

POSNER, M.I. *Cognitive neurosciences: Toward a science of synthesis* (Proceedings of a symposium on cognitive psychology, Royaumont). Cambridge, Mass.: MIT Press, 1980.

SUTHERLAND, N.S. Levels of explanation and computational models in psychology. In *Les niveaux d'explication en psychologie*. Paris: Editions au CNRS. (Sous presse)

UTTLEY, A.M. The informon: a network for adaptative pattern recognition. *Journal of Theoretical Biology*, 1970, 27, 31-67.

*Adresse de l'auteur:
Institut de Neurophysiologie
et Psychophysiologie du CNRS
31, chemin Joseph-Aiguier
13277 Marseille Cedex 9*