

COGNITIVE DEVELOPMENT: ENRICHMENT OR IMPOVERISHMENT?
HOW TO CONCILIATE PSYCHOLOGICAL AND NEUROBIOLOGICAL MODELS.

(Paru dans HAUERT, C.A. (Ed.). *Developmental Psychology: Cognitive, perceptuo-motor and neuropsychological perspectives*. Amsterdam: North Holland, 1990, 389-414).

LE DEVELOPPEMENT COGNITIF : ENRICHISSEMENT OU APPAUVRISSEMENT?
ou
COMMENT CONCILIER LES MODELES PSYCHOLOGIQUES ET NEUROBIOLOGIQUES.

Pierre MOUNOUD

Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education
Université de Genève

Résumé

Ce chapitre oppose deux conceptions du développement cognitif. Une conception psychologique appelée "enrichissement" qui considère le développement comme le passage de conduites élémentaires à des conduites complexes par des mécanismes de coordination. Une conception neurobiologique appelée "appauvrissement" qui décrit le passage inverse par des mécanismes sélectifs d'adaptation. Une interprétation faisant intervenir de façon complémentaire ces deux conceptions est suggérée. Le développement des capacités de catégorisation est présenté comme le "fondement de la cognition" à partir des théories neurobiologiques d'Edelman et psychologiques de Harnad. Pour terminer il est montré comment la genèse de catégories s'accompagne de changements qualitatifs généralement ignorés dans les recherches contemporaines.

L'objet d'étude du présent ouvrage semble être le développement cognitif et les différents chapitres qui le composent se réfèrent moins à des "domaines" qu'à des approches ou des méthodes différentes. Il est évident que l'affirmation d'un tel point de vue ne recueillera pas l'unanimité des auteurs de cet ouvrage ou plus généralement de ses lecteurs.

Plutôt que du développement cognitif, il serait peut-être plus judicieux de parler du développement des fonctions cognitives. Les fonctions cognitives sont actuellement souvent décrites en terme de "composants", de "modules", de "sous-systèmes", de "sous-processeurs", etc. Ces différents termes laissent supposer qu'il existe un système cognitif, comme il existe un système nerveux. Quelles que soient les subdivisions introduites, il s'agit fondamentalement d'un système complexe souvent décrit comme ayant une organisation fonctionnelle hiérarchique (c.f. O'Leary, ce volume) et ceci, même si les théories récentes insistent sur le fonctionnement disjoint de nombreux composants du système.

REFLEXIONS RELATIVES AU DEVELOPPEMENT COGNITIF ET A SON ETUDE

A propos des cadres de référence

D'un point de vue général il faut regretter l'isolement conceptuel et théorique dans lequel se situe la majorité des auteurs des six chapitres de cette partie de l'ouvrage. Mises à part quelques timides allusions à Atkinson et Shiffrin (1968) et Anderson (1983), comment comprendre l'absence de toute référence aux travaux de Tulving (1972) sur la mémoire épisodique et sémantique ou à ceux de Baddeley (1976) sur la mémoire de travail ou aux travaux de Craik et Lockhart (1972) ou de Snodgrass (1980) sur les niveaux de traitement de l'information, à ceux de Fodor (1983) sur la modularité ou à ceux de McClelland et Rumelhart (1986) sur le traitement parallèle/distribué, pour ne citer que ces auteurs. Ces différentes théories permettent de distinguer des types d'analyse et d'intégration (aspects physiques et aspects sémantiques par exemple), des niveaux élémentaires ou élevés de représentation (comme, par exemple, d'attributs sémantiques ou de groupement ordonnés d'information ou "chunk"), différents systèmes de codage (unique, double, triple), des niveaux de traitement (stock d'images prototypiques et stock propositionnel ou sémantique). Ces notions ou d'autres me semblent nécessaires pour comprendre les problèmes complexes et souvent paradoxaux posés par le développement.

De même, en ce qui concerne la théorie de Piaget, il est surprenant de constater comment elle est malheureusement souvent présentée de manière extrêmement simplifiée. Aucune référence n'est faite à la distinction entre systèmes figuratifs et opératifs ni aux rôles que Piaget leur attribue. Aucune référence n'est faite aux "fonctions" logiques qui définissent selon Piaget les raisonnements préopératoires (Piaget, 1968a). Comment peut-on parler des premières classifications sans mentionner les difficultés manifestées par les enfants de 4 et 5 ans à dissocier les aspects infralogiques et logico-mathématiques, ou sans parler des différentes hypothèses sur l'élaboration des représentations ?

Toujours à propos des classifications ou des catégorisations, comment comprendre l'absence de référence aux travaux de Kemler (1983) sur les difficultés des jeunes enfants à isoler les dimensions pertinentes d'une situation, ou aux travaux de Rosch sur la structure des prototypes (Rosch & Mervis, 1975), à ceux de Smith, Shoben et Rips (1974) sur la mémoire sémantique dans les activités de catégorisation, ou à l'ouvrage de Smith and Medin (1981) sur les catégories et les concepts ?

A propos des "domaines" et des processus cognitifs

Revenons pour quelques instants au problème des "domaines". L'existence de domaines de connaissance ne peut pas être mise en cause. Toute l'oeuvre de Piaget, fondée sur la tradition kantienne, a analysé les conduites de l'enfant en fonction des "catégories" de la connaissance. C'est un découpage possible parmi beaucoup d'autres. Il est également indéniable que les connaissances de l'enfant ne progressent pas à la même vitesse dans les différents domaines. Tout ceci ne me

semble pas comporter d'enjeux théoriques majeurs contrairement à ce que certains débats ont pu laisser penser (cf., par exemple, Brainerd, 1978 et comparer à Levin, 1986). Mais le problème fondamental est de savoir si ce sont des mécanismes ou des fonctions générales qui déterminent les processus de genèse dans les différents domaines ou si, au contraire, il faut postuler des mécanismes et des fonctions spécifiques pour chaque domaine, quels que soient leurs décours temporels respectifs. Par exemple, quel que soit le domaine, toute situation exige de la part du sujet une identification ou catégorisation des objets qui la composent ou la définissent. Faut-il imaginer des processus de catégorisation spécifiques à chaque domaine, hypothèse longtemps soutenue à propos des sons du langage ("the speech-is-special hypothesis"), ou peut-on considérer qu'il existe des processus généraux de catégorisation (perceptive, conceptuelle) qui interviennent dans tous les domaines ? C'est très clairement en faveur de processus généraux que se situent mes préférences (ou hypothèses). Envisageons un cas particulier. Dans son chapitre sur le développement perceptivo-moteur de l'enfant, Laszlo dit avoir cherché à définir des tâches expérimentales spécifiques qui évitent autant que possible de mettre en jeu d'autres "domaines", comme celui des capacités cognitives. Or, ces tâches sont décrites comme faisant intervenir des activités de planification motrice et de programmation motrice spatiale et temporelle. Il est difficile d'envisager ces activités autrement que comme cognitives, la planification étant même considérée comme un mécanisme cognitif de haut niveau. Examinons de plus près une des tâches destinées à l'étude de la perception et de la mémoire kinesthétique. Il s'agit pour les sujets, privés de vision, de suivre au moyen d'un stylo une figure curviligne, sans signification, gravée dans un support. Les sujets doivent ensuite soit reconnaître la figure parmi des dessins, soit la reproduire. Les sujets sont alors décrits par Laszlo comme ayant : "à structurer l'information reçue séquentiellement en une figure", "à extraire l'information pour coder la figure", "à construire un percept", "à former une image basée sur les entrées reçues séquentiellement", "à mémoriser l'information kinesthétique". Or, quel que soit le point de vue que l'on a sur les descriptions proposées par l'auteur pour rendre compte des activités des sujets, ces activités semblent de toute façon qualifiables de cognitives. En quoi une telle situation qui consiste à identifier ou catégoriser une figure diffère-t-elle de l'ensemble des situations expérimentales de discrimination ou de catégorisation évoquées dans cet ouvrage du point de vue des mécanismes cognitifs sous-jacents ? La tâche fait certes intervenir des récepteurs et des effecteurs spécifiques, mais je pense que la psychologie est davantage concernée par les fonctions qu'accomplissent les sujets que par les particularités des modalités sensorielles. C'est donc pourquoi je considère que les différents chapitres de cet ouvrage se distinguent davantage par des méthodes d'approche que par des domaines.

A propos de l'identification et de la catégorisation

Revenons au problème de la nécessité dans toute situation d'une catégorisation initiale des objets ou éléments qui la composent. Le problème fondamental, dans l'approche du développement cognitif de l'enfant, est précisément de comprendre comment et au moyen de quels instruments (composants) les sujets parviennent à identifier, catégoriser ou conceptualiser les objets et les situations auxquelles ils

sont confrontés. Ce qui suppose, comme on le sait, la capacité de détecter des invariants. Or, la plupart des auteurs étudient le développement cognitif comme s'il n'y avait pas pour les sujets de problèmes d'identification et de catégorisation des objets et des situations auxquels ils les confrontent. Tout se passe comme s'il existait pour le sujet un environnement composé d'objets définis et caractérisables par un certain nombre de variables. Il est vrai qu'une partie du travail est généralement faite par le psychologue qui organise lui-même pour le sujet les éléments de la situation en "sélectionnant" les "objets", les "dimensions", les "variables" qu'il considère pertinentes. Toutefois le point de vue du sujet ne correspond pas toujours au point de vue de l'expérimentateur ! D'autre part, s'il est actuellement établi et reconnu que le bébé vient au monde avec des capacités d'identification et de catégorisation (résultat de la phylogenèse et de l'embryogenèse), il est également admis que l'enfant construit au cours de son développement de nouvelles capacités ou de nouvelles procédures pour identifier et catégoriser les situations auxquelles il est confronté. Il en est d'ailleurs de même pour l'adulte.

A propos de la perspective du traitement de l'information

Si les catégories au moyen desquelles nous appréhendons le monde se modifient continuellement au cours de la genèse, il devrait être par conséquent impossible de se situer dans une perspective du traitement de l'information pour étudier le développement. Il ne devrait pas être davantage possible d'utiliser une méthode expérimentale stricte. Or, c'est précisément ce qu'a fait la majorité des psychologues du développement durant ces vingt dernières années et, en particulier, plusieurs des auteurs de ce livre.

Encore faut-il préciser ce qu'on entend par se situer dans une telle perspective. Dans leur chapitre, Crépault et Nguyen-Xuan écrivent qu'ils considèrent le sujet humain sous l'angle du traitement de l'information, c'est-à-dire "comme un système qui manipule des symboles". Or, d'une part ils ne précisent pas de quels symboles il s'agit et, d'autre part, il n'est plus jamais question de symbole dans le reste de leur texte, mais de "critères", de "modalités", de "règles d'inférence" logiques et empiriques et d'"objets". Ou encore plus loin, de "variables", de "relations" et de "schèmes inférentiels". Case et Griffin parlent d'"éléments" et de "variables", de "concepts" et de "relations entre concepts". Laszlo, comme on l'a déjà vu, parle d'"informations sensorielles", de "percepts", d'"images" et de "codage". Koenig, centré sur les fonctions cérébrales qu'il appelle "composants", parle de "propriétés", de "relations spatiales catégorielles ou métriques", de "propriétés invariantes" et de "stratégies cognitives". Enfin, Zanone parle d'"informations", de "codages" de nature et de niveaux différents, de "règles" et des "processus d'"abstraction" de ces règles. Sans chercher à être exhaustif ou systématique, il est intéressant de faire cette énumération pour poser la question suivante: Est-il possible de parler d'information, d'objets, d'éléments, de variables ou de propriétés comme de réalités qui auraient un statut équivalent pour tous les enfants aux différents âges, sans distinguer des niveaux de représentation ou d'abstraction, et surtout sans spécifier comment les enfants parviennent à identifier ces "réalités" ?

Examinons de plus près ce problème au moyen d'un exemple, et prenons la célèbre expérience de la balance (version "informationnelle" de la situation piagétienne) appelée "balance beam task" et étudiée en particulier par Case et de nombreux autres chercheurs. Case et Griffin analysent la situation en termes de variables (poids, longueur, numérosité), ces variables étant qualifiées soit de "polaires" pour les enfants de 5 ans (stade relationnel), soit de "quantifiables" pour ceux de 7 ans (stade dimensionnel). Pour ces auteurs, quel que soit l'âge des enfants auxquels la tâche est présentée (de 4 à 10 ans), il s'agit toujours de la même réalité, des mêmes dimensions, du même découpage ou segmentation. Il est vrai que dans d'autres recherches poursuivies avec Hayward, Case (1987) a montré comment, au cours du stade sensorimoteur, le bébé parvenait progressivement à identifier les différentes dimensions de la situation de la balance. Mais tout se passe comme si ce problème d'identification des objets était spécifique au stade sensorimoteur et que des problèmes similaires ne se posaient plus ultérieurement. A la manière dont, pour Spelke (1988), l'existence de ce qu'elle appelle le "concept d'objet" chez le bébé de 2 à 3 mois, dispense de toute explication ultérieure de la (re)construction d'autres concepts d'objet à d'autres niveaux de représentation.

Or, ces "variables" ou les "objets" qu'elles permettent d'appréhender n'ont pas du tout le même statut pour un enfant de 5 ans ou de 7 ans par exemple et si ces enfants énoncent des jugements apparemment équivalents (concernant le poids ou la longueur), ces jugements n'ont pas le même statut, la même signification, ne correspondent pas au même "concept" d'objet (cf. en particulier Carey, 1978; Keil & Carroll, 1980; Mounoud, 1986b). D'autre part, l'opposition introduite par Case et Griffin entre variables "polaires" et variables "quantifiables" soulève elle aussi des problèmes. En effet, il est possible de montrer que bien avant 7 ans l'enfant est capable d'analyser les objets au moyen de dimensions ou variables quantifiées. A la naissance, par exemple, le bébé manifeste des conduites qui montrent sa capacité de traiter certaines variables de façon quantifiée grâce à une organisation que j'ai qualifiée de "sensorielle". C'est ainsi que les activités de succion du nouveau-né sont modulées en fréquence par rapport aux différentes variables caractérisant le liquide à ingérer (goût, viscosité, etc.) (Kobre & Lipsitt, 1972). De même l'enfant de 3 1/2-4 ans, grâce à une organisation qualifiée de "perceptive" (Mounoud, 1986b), est capable d'organiser ses actions d'emboîtement d'objets en tenant compte de leur taille en tant que variable quantifiée (Greenfield, Nelson & Saltzman, 1972). Peut-être serait-il prudent de qualifier cette quantification d'intensive et non pas d'extensive, pour reprendre une distinction introduite par Inhelder et Piaget (1959). Entre 7 et 9 ans l'enfant parviendra, grâce à une organisation appelée "conceptuelle", à quantifier à nouveau certaines variables.

En conclusion de cette discussion, la nécessité d'étudier comment l'enfant parvient, aux différentes étapes de son développement, à isoler les "objets" qui définissent une situation donnée, à abstraire les variables (caractéristiques, dimensions, propriétés) pertinentes, apparaît clairement. L'enfant, pas plus que l'adulte, n'opère directement sur des objets ou des variables, mais sur des représentations. Ces dernières remarques nous amènent au problème que j'appellerai des niveaux de "maturité".

A propos du concept de maturité

Il ressort clairement de l'état actuel des connaissances sur le développement, et en particulier des chapitres de cet ouvrage, que la psychologie est encore peu apte à traiter de façon satisfaisante le problème de la "maturité", tant sur le plan des structures nerveuses que sur celui des comportements. Le lecteur aura trouvé dans les chapitres qui précèdent de nombreux exemples de ce problème, qu'il s'agisse de la maturité des structures nerveuses callosales ou frontales, par rapport auxquelles il existe des variations de plusieurs années dans l'indication des âges auxquels ces structures sont supposées devenir matures (cf. O'Leary; et Young, ce volume; Jeeves, Silver & Milne, 1988), ou qu'il s'agisse de la maturité d'un comportement donné, tel que l'apparition de la capacité de quantifier des variables que nous venons d'entrevoir.

Une façon de résoudre ce problème consiste à dire que cette difficulté est due à l'insuffisante définition des structures concernées ou des situations ou tâches auxquelles sont confrontés les sujets. Ceci est indéniable. A ce propos, on trouvera dans presque tous les chapitres une attention importante accordée à la définition des situations expérimentales. Il s'agit d'un résultat positif lié à la prise en considération des théories du traitement de l'information. Toutefois, la raison principale de ces confusions me semble résider ailleurs. La principale préoccupation des chercheurs qui se sont intéressés au développement a été de déterminer des âges d'apparition de comportements donnés ou de mise en fonction de structures données. Cette attitude a conduit à des raisonnements polaires ou globaux (comme les qualifie Case chez l'enfant du stade relationnel) du type "une structure ou un comportement sont ou ne sont pas matures". Il semble préférable de considérer des étapes ou des niveaux de maturité, c'est-à-dire d'envisager le concept de maturité comme un concept relatif. Il n'existe que des états relatifs de maturité. Comme nous écrivions antérieurement (Mounoud, 1971), un système en évolution n'atteint jamais que des équilibres relatifs et se trouve toujours confronté à des perturbations nouvelles ou des problèmes nouveaux. Ces problèmes nouveaux peuvent être dus soit à des possibilités nouvelles de l'organisme soit à des transformations du milieu. C'est ainsi que l'organisme (ou l'espèce) est confronté à des perturbations non entièrement compensables par ses instruments actuels et se trouve dans la nécessité d'en élaborer de nouveaux. Il n'existe pas de solution ou de compréhension définitives d'un phénomène donné et par conséquent, toute théorie ou tout instrument est relatif au problème posé ou à la perturbation enregistrée. Ceci rejoint la formulation de Harnad (1987): "toutes catégories et les dimensions sur lesquelles elles sont basées demeureront toujours provisoires et approximatives" (notre traduction).

Un des plus beaux exemples des confusions auxquelles ont conduit les raisonnements polaires dont il vient d'être question est probablement relatif au problème dit de la "latéralisation manuelle". A ce propos, on trouvera à peu près toute la gamme des âges de 0 à 10 ans pour situer son établissement. C'est ainsi que Gottfried et Bathurst (1983) concluent qu'une préférence manuelle claire est présente à partir de 18 mois, si ce n'est plus tôt; Bates, O'Connell, Vaid, Sledge et Oakes (1986) rapportent qu'une préférence manuelle droite est clairement présente à partir de 13 mois. Par contre, McManus, Sik, Cole, Mellon, Wong et Kloss (1988) considèrent que la préférence manuelle est pau-

vement définie avant 2 ans, et Archer, Campbell et Segalowitz (1988) qu'à 24 mois presque la moitié des garçons de leur recherche étaient "mixtes", c'est-à-dire sans préférence manuelle nette. Or, il semble évident qu'il est nécessaire de distinguer au moins des directions et des degrés de latéralisation (cf. McManus et al., 1982), si ce n'est différentes formes ou types de latéralisation manuelle qui apparaissent et disparaissent au cours du développement en fonction de niveaux relatifs de maturité de certaines structures nerveuses et aussi en fonction des types de situations auxquelles sont confrontés les enfants. D'une façon plus générale, il serait préférable de traiter ce problème de latéralisation manuelle dans le cadre des différentes formes de coopération bimanuelle dont la latéralisation n'est qu'un cas particulier (cf. Corbetta, 1989; Corbetta & Mounoud, sous presse; Fagard, sous presse).

En ce qui concerne la spécialisation hémisphérique, il en est de même et on trouve des positions aussi divergentes que, d'une part, celle défendue par Koenig dans ce volume et selon laquelle les fonctions cognitives seraient localisées et latéralisées dès la naissance et de façon invariante --tout le développement s'expliquant alors par des changements de stratégies cognitives (qu'il serait peut-être préférable de qualifier d'attentionnelles) responsables de l'organisation hiérarchique et temporelle de ces fonctions-- et, d'autre part, la position adoptée par exemple par les Molfese et Betz (V. Molfese & Betz, 1987; D. Molfese & Betz, sous presse), qui considèrent que la spécialisation hémisphérique est progressive.

A propos des conceptions du développement

Le problème de la "maturité" n'est pas sans relation avec les conceptions que l'on a du développement. A ce sujet, il semble coexister actuellement deux modèles ou conceptions à première vue antagonistes du développement, que nous appellerons respectivement développement-enrichissement et développement-appauvrissement.

La conception "appauvrissement" est prédominante en neurobiologie du développement. Plusieurs auteurs dans ce volume y font référence (cf. O'Leary et Young en particulier) et parlent à propos du développement du système nerveux d'élimination, de diminution, de suppression de cellules, de connexions, plus généralement de sélection. En d'autres termes il est question de déclin, de régression, pour ne pas dire de décroissance.

La conception "enrichissement", largement prédominante chez les psychologues, décrit le développement en termes d'augmentation, d'adjonction, d'addition, d'apparition de capacités ou de structures nouvelles, en d'autres termes de progression, de croissance.

Il existe chez les psychologues une résistance énorme à considérer le développement sous l'angle d'un appauvrissement, tout au moins momentanément ou relatif. Toutefois certains chercheurs n'ont pas été insensibles à toute une série de données sur le développement qui faisaient apparaître des régressions au cours des processus de genèse. On trouvera dans le chapitre de Zanone de nombreux faits de ce type pour lesquels il est possible de parler de déclin momentanément des performances. Deux ouvrages bien connus résument cette perspective (Bever, 1982; Strauss, 1982).

Du point de vue de l'épistémologie des sciences, il est intéressant de remarquer que la découverte des phénomènes "régressifs" dans le développement s'est faite indépendamment par les psychologues et les biologistes dès le début des années soixante-dix. Toutefois, chez les psychologues, la coexistence de ces deux conceptions tellement divergentes du développement est surprenante. Les modèles proposés par les biologistes devraient permettre aux psychologues une prise en considération plus généralisée des phénomènes d'appauvrissement. C'est la raison pour laquelle une partie importante de ce chapitre sera consacrée à la présentation d'un modèle biologique du développement visant plus particulièrement à expliquer la genèse des procédures de catégorisation.

Considérons brièvement une fois encore le développement cognitif du point de vue de cette fonction centrale de catégorisation. La constitution d'une catégorie perceptive ou conceptuelle revient précisément à éliminer les variations irrelevantes des structures ou configurations d'indices, c'est-à-dire de leurs représentations. On pourrait imaginer de même que la constitution d'une catégorie de mouvements pourrait consister à éliminer ou à découpler les éléments ou les variations irrelevantes d'une structure de coordination. Il s'agit de retenir ce qui est invariant ou relevant relativement à un problème donné, d'effectuer un tri, un filtrage, une réduction de la structure des entrées ou des sorties. Cette démarche de la pensée a aussi été appelée "idéalisation" ou "abstraction", mécanismes qui suppose bien la négligence de certaines caractéristiques au profit d'autres (Keil, 1987). Cette analyse du processus de catégorisation devrait nous aider à envisager le développement comme faisant intervenir des mécanismes sélectifs.

Or, il semble possible de concilier, tout au moins partiellement, ces deux conceptions. Il faut tout d'abord relativiser les termes d'enrichissement et d'appauvrissement. Il est évident que l'appauvrissement sélectif dont parlent les biologistes n'est qu'un appauvrissement relatif dans la mesure où il se réalise au profit d'une adaptation accrue (enrichie) au milieu. Il en est de même des "régressions" mises en évidence par les psychologues et qui ne sont que des régressions apparentes.

Il est également possible d'envisager le développement dans un contexte que j'ai suggéré d'appeler de "perte et de profit" (Mounoud, 1988). Les gains obtenus au niveau des capacités accrues de catégorisation, de planification et de contrôle dans le temps et dans l'espace, mais relatifs à des aspects délimités du réel, compensent les pertes enregistrées sur d'autres aspects, tels que l'élimination, la négligence, la sélection, le tri effectués sur certaines dimensions de l'environnement ou sur certaines formes de comportement. Rappelons à ce sujet qu'au moment de l'apparition des mots, les capacités discriminatives du bébé subissent une régression ou diminution ou perte ou déclin relativement à leur sensibilité aux contrastes qui n'appartiennent pas à leur langue respective (Wecker & Tees, 1983).

Mais il semble exister une autre façon de concilier ces deux conceptions antagonistes. Ne pourrait-on pas envisager le développement comme une alternance d'étapes ou de périodes (pouvant d'ailleurs se chevaucher) :

- les unes caractérisées principalement par la sélection, au sein d'une grande variété de conduites, de celles qui sont les plus favorables pour réaliser des adaptations optimales par rapport aux situations et aux problèmes auxquels sont confrontés les sujets. Cette proposition correspond à ce que Paillard (1988) appelle "l'idée d'une simple sélection" et considère comme relative "aux débats qui agitent actuellement encore la psychologie du développement". (Je me permettrai d'ajouter que ce sont encore les théories de la création de l'ordre à partir du désordre qui préoccupent Paillard);

- et d'autres étapes caractérisées prioritairement par l'apparition de sources importantes de variations comportementales générées soit par des transformations internes, soit en confrontation à des situations-problèmes nouvelles, soit par la conjonction des deux avec "prolifération" de conduites nouvelles.

Puisqu'il nous a été demandé de prendre position par rapport à l'héritage piagétien, il est intéressant de préciser que les conceptions et les interprétations du développement cognitif proposées par Piaget ont été entièrement centrées sur l'explication de l'apparition de la nouveauté (nouveaux schèmes, nouvelles structures). Sa conception du développement est sans hésitation du type enrichissement bien qu'inspirée des théories de l'évolution.

A propos de quelques interprétations

Un des schémas explicatifs dominants de la psychologie du développement, et qui appartient plutôt à la conception "enrichissement", est basé sur les mécanismes de coordination et de mises en correspondance, coordinations motrices ou sensorimotrices, mises en correspondance sensorielles ou perceptives ou, plus généralement, coordination ou composition de structures dites élémentaires. C'est ainsi que la construction de conduites nouvelles a été (et est encore souvent) expliquée exclusivement par la coordination ou composition d'actions élémentaires ou de perceptions intramodales ou unimodales. En particulier Case et Griffin (ce volume), font largement appel à ce concept de coordination pour rendre compte du développement. Ce schéma explicatif est censé permettre de comprendre comment l'enfant parvient à coordonner ou ordonner deux ou plusieurs actions ou structures dites élémentaires, comment il parvient à établir ou construire des correspondances intermodales (ou crossmodales). C'est à ce modèle explicatif dominant, à ce principe unique de base, que je me suis fortement opposé depuis vingt ans, en particulier dans le contexte de la théorie piagétienne. Pas tant pour dire qu'il était insatisfaisant, mais surtout incomplet et qu'il écartait ou négligeait un autre mécanisme fondamental et primordial: la dissociation ou décomposition. L'idée générale que j'ai défendue était la suivante. Le développement ne procède pas du simple au complexe, de l'élément(aire) au composé. Au contraire, s'il n'existait pas dès l'origine du développement ontogé-

nétique des coordinations d'ensemble non seulement motrices ou perceptives, mais inter-sensori-motrices (cf. en particulier Mounoud et Vinter, 1982), l'organisme ne parviendrait jamais à constituer de telles coordinations (d'ensemble), compte tenu de l'extrême complexité du système (Mounoud, 1971; 1976; 1979). A partir de quelques données expérimentales fragmentaires, j'ai fait l'hypothèse qu'il devait exister des coordinations d'ensemble ou des conduites complexes initiales et que le premier mécanisme fondamental des (re)constructions successives (qui caractérisent le développement) était la dissociation ou décomposition de ces structures coordonnées (motrices, perceptives ou perceptivo-motrices) et non la coordination de structures isolées et disjointes (Mounoud, 1971, p.265). La dissociation ou décomposition des structures coordonnées initiales en éléments ou composants est une condition à leur réélaboration à un autre niveau de représentation (par un processus d'abstraction ou de transposition, cf. Mounoud, 1988). Cette conception s'est trouvée confortée ultérieurement par de nombreux résultats expérimentaux, parmi lesquels les phénomènes relatifs à l'imitation précoce mis en évidence par Maratos (1973), résultats qui ont été confirmés ultérieurement après une phase de controverse (cf. en particulier Meltzoff, 1976; Fontaine, 1982; Vinter, 1983) (pour une revue, cf. Vinter, 1989).

Un changement comparable d'interprétation a eu lieu dans les théories du contrôle moteur. Sous l'emprise des théories du traitement de l'information et des conceptions neurophysiologistes classiques, il a été considéré pendant longtemps que l'élaboration d'un mouvement consistait fondamentalement à composer ou coordonner ou ordonner séquentiellement des unités élémentaires définies au niveau de groupes musculaires ou d'articulations et contrôlées à partir d'un système ou de sous-systèmes sensoriels. Or, il a fallu une quinzaine d'années pour que les conceptions de Bernstein (1967) produisent un changement radical d'interprétation en faisant apparaître que les unités de base des mouvements étaient des unités fort complexes et non élémentaires: Les synergies ou structures coordinatives, comme les ont appelées Kugler, Kelso et Turvey (1980). Toutefois, l'existence de structures coordinatives ne résoud pas ipso facto le problème de l'apprentissage d'une conduite nouvelle ni celui de sa constitution au cours du développement. A ce propos également, on peut considérer que les principaux mécanismes qui interviennent sont ceux de dissociation, de décomposition, d'élimination, de découplage ou encore de sélection. Ces dissociations sont certainement partielles et peut-être momentanées, mais elles permettent d'expliquer le passage à des structures coordinatives plus spécifiques ou plus complexes.

Ces affirmations en faveur de l'existence de coordinations d'ensemble initiales complexes ont été souvent interprétées comme une option en faveur d'un préformisme. Et il a été difficile de faire admettre que l'existence d'une organisation initiale riche et complexe ne dispensait pas de fournir des explications des transformations importantes qui caractérisent le développement. C'est ainsi que chez les psychologues du développement, le débat s'est limité pendant une certaine période à l'opposition stérile entre partisans d'un préformisme et partisans d'un constructivisme. J'ai toujours affirmé avec la même vigueur que l'existence initiale de coordinations inter-sensori-motrices

d'ensemble ne signifiait pas l'absence de reconstructions ultérieures. De plus, l'existence de ces coordinations initiales permet de rendre compte de la richesse des échanges possibles avec l'environnement.

Une des origines possibles de ce schéma explicatif (que constitue le mécanisme de coordination de structures élémentaires) a peut-être été l'idée dominante d'un fonctionnement en série du système nerveux, avec comme unité fondamentale le neurone considéré comme transmetteur d'information et détecteur de caractéristiques. Or, il s'est produit durant ces dix dernières années une découverte importante dans la neurobiologie: Celle du fonctionnement en parallèle de nombreuses voies, systèmes et sous-systèmes (Montcastle, 1978) dont l'unité n'était plus le neurone mais les populations de neurones. C'est ainsi que selon l'expression de Feldman et Ballard (1982, p.208 cité par Reeke et al., 1988): "Les neurones ne transmettent pas de grandes quantités d'information symbolique. Ils opèrent plutôt dans la mesure où ils sont connectés de façon appropriée" (notre traduction). Ce bouleversement a entraîné chez certains auteurs un rejet plus ou moins absolu des théories du traitement de l'information, comme nous allons le voir (Edelman, 1987). Convaincu de l'importance de ces théories pour la psychologie du développement, je vais tenter d'en présenter une en détail, celle d'Edelman (1987). Son intérêt majeur réside dans le fait qu'elle vise à expliquer la genèse des procédures de catégorisation et de généralisation perceptives. Il s'agit du problème que je considère comme crucial (et aussi souvent ignoré) dans l'étude du développement cognitif. Il m'a semblé également intéressant de présenter une théorie psychologique du développement des catégories et le modèle publié récemment par Harnad (1987) convient à ce projet, étant donné les parentés qu'il entretient avec celui d'Edelman.

LA GENESE DES CATEGORIES

La genèse des catégories d'un point de vue neurobiologique

La tentative d'Edelman et de ses collègues (Edelman, 1978; 1981; 1987; Reeke, Sporns & Edelman, 1988; Edelman & Finkel, 1984; Edelman & Reeke, 1982; Reeke & Edelman, 1984) de rejeter radicalement les théories du traitement de l'information pour expliquer l'ontogenèse des capacités fondamentales de catégorisation et de généralisation d'un point de vue neurobiologique est remarquable. Ils s'opposent à toute théorie qui présuppose que les objets du monde physique sont divisés dans des catégories ou classes définies de façon non ambiguë préalablement au développement et à l'apprentissage. Le rejet des théories du traitement de l'information s'est imposé à eux par la nature même de l'organisation du système nerveux qui ne peut plus être considéré actuellement comme un organe assimilable à un ordinateur, tout au moins conventionnel. En particulier, les neurones ne sont plus considérés comme des unités binaires (as binary threshold units) dont les interconnexions réaliseraient des opérations de logique symbolique (symbolic logical operations). "Il n'y a actuellement aucune évidence que des traitements de niveau symbolique ou subsymbolique apparaissent dans le cerveau" ("Conclusive evidence that computation on a symbolic or subsymbolic level actually occurs inside the brain is lacking" (Reeke, Sporns & Edelman, 1988, p.21).

Reeke et al. (op.cit. p.17-22) se démarquent aussi clairement des modèles actuels du connexionnisme et du traitement parallèle/distribué ("Parallel Distributed Processing", PDP), modèles pour lesquels les neurones sont encore habituellement assimilés à des éléments binaires sans dynamique interne, le câblage entre les neurones est supposé exact, les connexions sont le plus souvent complètes et les algorithmes d'apprentissage ne réussissent que si le vecteur précis de sortie du système est connu d'avance et que si des changements synaptiques microscopiques délibérés sont effectués. Aucun de ces aspects ne corrèle bien selon eux avec les données neurobiologiques connues. Précisons que Reeke et al. (op.cit.) reconnaissent que les auteurs du modèle PDP "ne sont pas centrés sur une modélisation du cerveau, mais davantage sur celle des processus cognitifs du système nerveux".

Pour ces auteurs, le cerveau a des unités et des connexions fortement variables "non seulement les connexions nerveuses sont géométriquement imprécises, mais leur force peut varier avec l'expérience" (op.cit, p.15). Il n'y a pas de câblage précis point par point, mais des recouvrements importants des arborescences dendritiques et axonales. Bien que des frontières précises des cartes neuronales puissent être définies, il y a néanmoins des variations immenses dans les frontières de ces cartes. Les aires cérébrales consacrées à une seule modalité sensorielle sont multiples, parallèles et largement dispersées (Edelman, 1987, p.39). Les unités sont définies comme des collections de neurones fortement interconnectés, appelées groupes de neurones (ou populations). Ces groupes de neurones sont à leur tour regroupés dans des répertoires (population d'ordre supérieur) anatomiques dits primaires et des répertoires fonctionnels dits secondaires. Les stimuli que reçoit l'organisme de son environnement ou de son écosphère sont considérés par la théorie comme des ensembles polymorphes. Ils sont échantillonnés par des canaux parallèles indépendants. Enfin, les stimuli et les collections de groupes de neurones constituent initialement des domaines indépendants de variation.

La théorie de la sélection des groupes de neurones (Edelman, 1987) définit principalement deux périodes de sélection. (1) Une première période de sélection liée au développement aboutit à la constitution des répertoires primaires et (2) une deuxième période de sélection liée à l'expérience aboutit à la constitution des répertoires secondaires. Examinons un peu plus en détail ces deux périodes.

(1) Les répertoires primaires sont des groupes anatomiquement différents de neurones d'une région nerveuse donnée remplissant une fonction spécifique. Les connexions anatomiques constituant les répertoires primaires résultent d'une variété d'événements sélectifs mécano-chimiques régulés par les "molécules d'adhésion de cellules et de substrats" (CAMs et SAMs). Ce processus sélectif est appelé par Edelman l'hypothèse du régulateur (the regulator hypothesis). Ce processus régulateur produit un nombre important de groupes différents de cellules à l'intérieur d'un répertoire primaire, chacun de ces groupes de cellules pouvant répondre plus ou moins bien à un input donné. La présence dans chaque répertoire (aire cérébrale) de différentes structures nerveuses (groupes) fonctionnellement équivalentes mais non isomorphes est le résultat d'un processus appelé dégénérescence. Ainsi l'existence de plusieurs réseaux dégénérés de groupes de neurones est

le résultat nécessaire des événements épigénétiques qui apparaissent au cours du développement (principalement embryonnaire) et qui s'accompagnent de mécanismes sélectifs. Bien que des structures d'une aire cérébrale particulière soient globalement semblables parmi les membres d'une même espèce, il existe un très large degré de variations individuelles des ramifications et des connexions axiales et dendritiques fines. On trouve là une très belle justification d'une des origines des différences interindividuelles.

(2) A partir des répertoires primaires (groupes anatomiques différents de cellules ou organisation structurale des connexions) s'établissent des répertoires secondaires (groupes fonctionnels de cellules ou organisations fonctionnelles) durant la période de sélection liée à l'expérience. Cette sélection fait intervenir des règles indépendantes pré- et post-synaptiques (règles duales) qui changent les efficacités synaptiques (variation de la force des connexions synaptiques) à court et à long terme et produit également une source continue de variations nouvelles dans le système. Ainsi, l'échantillonnage des stimuli par des canaux sensorimoteurs indépendants va progressivement sélectionner certains ensembles dégénérés de groupes de cellules, ensembles qui constitueront les répertoires secondaires. Ces répertoires secondaires corréleront ou mettent en correspondance dans le temps des stimuli (en fonction de leur fréquence et localisation) avec un espace de champs récepteurs de manière à favoriser les réponses (spécifiques) de certains groupes de neurones. C'est ainsi que se constituent des cartes locales. Ces cartes locales desservent des modalités différentes, chacune d'elles étant capable d'échantillonnages disjoints indépendants d'un domaine de stimulation. Lorsque différents stimuli corrélés (qui covarient) affectent simultanément différentes cartes locales en interaction (réciproquement connectées) suite à l'activité d'ensembles moteurs, il se constitue par corrélations temporelles des cartes globales. Ces corrélations temporelles sont rendues possibles en partie grâce à l'intervention de signaux phasiques réentrants (phasic reentrant signaling) qui sont véhiculés par les connexions réciproques (réentrantes) entre différentes cartes locales. Ces connexions réciproques sont réalisées en particulier par les radiations thalamo-corticales et cortico-thalamiques, par les connexions callosales et par diverses connexions entre les aires cérébrales motrices, sensorielles primaires et secondaires. Ces liaisons dynamiques de différents systèmes de groupes de neurones appartenant à différents répertoires constituent donc des cartes globales, instruments des catégorisations et généralisations perceptives.

Edelman précise que les réentrées à l'intérieur des systèmes sensoriels ne sont pas suffisantes en elles-mêmes pour un fonctionnement adéquat d'un système sélectif de groupes de neurones, c'est-à-dire pour assurer la continuité spatio-temporelle requise pour la catégorisation perceptive. Le cerveau fonctionne pour agir, précise-t-il, et les sorties des systèmes moteurs sont nécessaires pour deux tâches. La première tâche consiste à faciliter la sélection des entrées appropriées en modifiant la relation des systèmes sensoriels aux environnements par des mouvements spontanés ou appris. La seconde tâche des systèmes moteurs est de vérifier et de confirmer par l'action les réponses instantanées et dynamiques ainsi que les connexions privilégiées qui résultent de l'action des groupes de neurones dans les répertoires primaires et secondaires.

Un exemple illustratif de ce processus complexe est décrit par Edelman (1987, p.62-63 et p.261-264) sous le nom de "couple pour classifier". Un "couple pour classifier" consiste en:

- 1) un ensemble de détecteurs de caractéristiques (ou traits). Il s'agit par exemple des neurones du système visuel qui fonctionnent comme des détecteurs de caractéristiques (capacité héritée de l'évolution). Ces caractéristiques sont représentées sous forme de cartes locales dans des couches d'ordre supérieur du cerveau contenant les répertoires (cf. sous 3);
- 2) un autre ensemble de corrélateurs de caractéristiques (ou traits) travaillant simultanément à l'ensemble de détecteurs, soit sur une autre modalité, soit sur un système sensorimoteur qui met en liaison les caractéristiques d'une catégorie de stimuli ou d'objets au moyen d'un mouvement. C'est ainsi que d'autres neurones, par exemple ceux sollicités par l'exploration tactilo-kinesthésique d'un objet, agissent comme corrélateurs de caractéristiques. Ces caractéristiques sont représentées sous forme de cartes dans d'autres couches du cerveau (cf. sous 3);
- 3) des répertoires indépendants de groupes dégénérés de cellules auxquels les deux ensembles précédents (de détecteurs et de corrélateurs) sont séparément connectés (réseaux de neurones et structures du CNS connectés aux structures réceptrices) et qui réalisent des représentations sous forme de cartes locales;
- 4) des connexions réciproques (préexistantes au niveau anatomique) entre ces répertoires et un moyen synaptique de contrôler ou corrélérer la direction et le flux des signaux réentrants entre eux. Ces connexions réentrantes assurent que les patterns de groupes de neurones répondant à des caractéristiques uniques dans une carte locale puissent être associés simultanément aux groupes de neurones répondant aux corrélations de caractéristiques associées dans une autre carte locale pour aboutir à des patterns invariants.

Si certains groupes de neurones d'un répertoire constituant une carte locale présentent des activités simultanées avec certains groupes de neurones d'un autre répertoire constituant une autre carte locale, alors une possibilité de liaison des groupes activés indépendamment dans chaque répertoire séparé apparaît (par exemple par le renforcement de leur connectivité mutuelle par des altérations synaptiques des fibres réentrantes qui entraîne la connection de ces groupes). Si de telles altérations synaptiques sont maintenues, cette liaison constituera une carte globale d'ordre supérieur qui permettrait de corrélérer ou catégoriser certaines caractéristiques de l'objet apparaissant simultanément. La généralisation peut apparaître sur la base de n'importe quelle combinaison de caractéristiques locales ou de corrélations de caractéristiques résultant de l'échantillonnage disjoint des signaux émis par des objets non rencontrés préalablement.

On voudra bien m'excuser pour cette longue présentation laborieuse de la théorie d'Edelman. Mais cette théorie est suffisamment en rupture avec nos représentations habituelles pour qu'il paraisse nécessaire de l'approfondir un peu. Le modèle d'Edelman de la sélection de groupes neuronaux et celui de Changeux dit de la "stabilité sélective" (Changeux, 1983; Changeux & Dauchin, 1976; Changeux, Heidmann & Patte, 1984) que j'ai présenté et discuté ailleurs (Mounoud, 1987b) sont de

proches parents. Toutefois, comme le souligne Edelman (1987, p.321), le modèle de Changeux ainsi que celui de Young sur la mémoire (J.Z. Young, 1973, 1978) ne proposent pas des "considérations détaillées sur les relations nécessaires et suffisantes qui conduisent à la catégorisation".

Ces modèles élégants et subtils ont comme première qualité, pour la psychologie du développement, de rompre radicalement avec ce qu'Edelman appelle le paradigme instructionniste pour (ré)introduire le paradigme sélectionniste. Ces théories situent l'organisme dans une perspective d'adaptation. Rappelons à ce propos que les psychologues du développement ont presque complètement ignoré cet aspect essentiel de la théorie de Piaget qui a toujours considéré la pensée comme l'organe ou l'instrument le plus spécialisé pour réaliser une adaptation au monde environnant. Pour comprendre l'originalité de la psychologie génétique de Piaget il faut "se reporter aux grands problèmes de l'évolution et aux théories du transformisme renouvelés au début du siècle par les données nouvelles sur l'hérédité. Or, depuis cette époque l'intérêt pour ces problèmes n'a cessé de croître en particulier par les vues contemporaines sur la génétique des populations, par les données de la biologie cellulaire, etc. Quel que soit le niveau auquel on se situe, le problème de l'évolution consiste toujours à définir l'origine des variations, qu'il s'agisse de variations au niveau de l'individu (ontogénétiques) ou au niveau de l'espèce (phylogénétiques). Il s'agit de préciser quels sont les rôles de l'organisme et du milieu, respectivement du sujet et de l'objet dans des phénomènes tels que la sélection et l'adaptation" (Mounoud, 1971) .

L'image du développement qui résulte des travaux de la neurobiologie est en rupture avec les représentations en vigueur dans la plupart des travaux de psychologie du développement. Les théories d'Edelman et Changeux mettent en effet tout l'accent sur l'extraordinaire richesse et diversification du SN et sur les mécanismes de sélection qui interviennent relativement à ces variations multiples. Nous retrouvons ici la conception du développement dite "appauvrissement" (au profit d'une adaptation accrue).

Critique de la théorie d'Edelman

Il est toutefois difficile de comprendre la détermination d'Edelman à vouloir construire une théorie ontogénétique sans inclure dans le système des capacités initiales de catégorisation et de généralisation ou alors, s'il en admet l'existence, à ne pas en tenir compte dans son modèle. Cette attitude rappelle les réserves de Piaget à vouloir admettre l'existence de coordinations d'ensemble initiales dans les conduites du nouveau-né (Piaget n'envisageait au début de l'ontogenèse que l'existence d'espaces hétérogènes disjoints correspondant à des schèmes élémentaires isolés), ou son refus d'admettre des formes primitives de représentation au début de la vie du bébé, comme si l'existence de telles compétences initiales, dont il faut de toute manière expliquer l'origine, aurait trop simplifié l'explication de l'ontogenèse des comportements. Pourquoi donc un organisme complexe comme

l'être humain ne serait pas équipé à sa naissance de capacités de catégorisation et de généralisation, résultant de constructions comparables ou non à celles que propose Edelman, mais réalisées au cours de l'évolution ? Un tel raisonnement va certes complètement à l'encontre des exigences d'Edelman qui écrit en particulier que "ce serait une erreur de permettre des analogies faciles entre la théorie de la sélection des groupes de neurones et l'évolution" (Edelman, 1987, p.321). Cependant il semble tout de même admettre à partir, entre autres, des expériences d'Eimas (1982), de Jusczyk (1981), et de Kellman et Spelke (1983), l'existence de perceptions catégorielles chez le nouveau-né. Le monde, conclut-il, ne serait pas amorphe, mais il n'existerait pas sous forme de catégories fixes et prédésignées. Ce qui ne signifie pas néanmoins, continue-t-il en référence à Marler (1982), que certaines "catégories naturelles" ne puissent être fixées durant l'évolution d'une espèce dans une éconiche relativement stable" (Edelman, 1987, p.258). Et encore plus loin: "la possibilité n'est pas exclue que des différenciations morphogénétiques apparaissant au cours de l'ontogenèse aient pu être sélectionnées durant l'évolution pour produire certains patterns préformés et des catégories spécifiques à l'espèce" (op. cit. p.320).

Ces formulations prudentes nous paraissent toutefois ambiguës. Pourquoi seuls les détecteurs et corrélateurs de traits seraient des structures héritées de l'évolution ? Pourquoi des cartes globales ne seraient pas également héritées ? Soit le modèle de la sélection de groupes neuronaux explique la constitution de catégories à partir d'un état initial dépourvu de capacités de catégorisation, soit l'organisme possède de telles capacités initiales et le problème est différent; il s'agit alors d'expliquer, ce qui est considérablement moins coûteux, la constitution de nouvelles catégorisations à partir, ou en tenant compte, des catégorisations existantes. Edelman s'est imposé des conditions extrêmes qui ne semblent pas correspondre à la réalité de l'ontogenèse, tout au moins celle des conduites humaines. Sa théorie peut constituer une hypothèse intéressante du point de vue de la phylogenèse. Du point de vue ontogénétique, la prise en compte de l'existence de catégories initiales permettrait peut-être de simplifier (et non supprimer) le rôle parfois un peu réaliste attribué aux gestes et aux mouvements dans son modèle.

A partir du moment où l'organisme est équipé de capacités catégorielles, on est obligé d'admettre, comme le reconnaît d'ailleurs Edelman (op.cit. p.317), qu'il devient possible de parler d'information et de dire que des ensembles de stimuli constituent de l'"information". Et si l'on étudie d'un point de vue synchronique l'état ou le fonctionnement adapté d'un organisme relativement à un environnement donné (adaptation résultant d'une genèse qu'on peut ignorer), les modèles du traitement de l'information paraissent adéquats. De nombreux travaux sont faits dans une telle perspective aussi bien chez l'enfant que chez l'adulte. C'est ainsi qu'il existe par exemple une littérature abondante sur le bébé de 2 à 3 mois qui ne se préoccupe pas des problèmes de genèse. Par contre, je suis actuellement convaincu que les modèles de traitement de l'information ne sont pas adéquats pour rendre compte des processus de genèse et d'apprentissage, pour les raisons que nous avons vues dans la première partie de ce chapitre.

Le développement ne peut donc être envisagé en terme de présence ou absence de capacités de catégorisation, le problème est davantage celui du passage d'un niveau de catégorisation à un autre. Par conséquent rien n'empêche de considérer que le modèle de construction de catégorie proposé par Edelman soit récursif et qu'il se répète à plusieurs reprises au cours du développement en ce qui concerne la constitution de répertoires primaires et secondaires et au cours des apprentissages en ce qui concerne la constitution de répertoires secondaires. Sa théorie explique en effet l'apparition continuellement renouvelée de variabilité à l'intérieur du système.

De même qu'Edelman refuse d'introduire dans sa théorie des compétences initiales de catégorisation (ou alors l'accepte comme un phénomène marginal), il considère les stimuli du milieu comme des ensembles polymorphes. De mon point de vue et de façon consistante avec ce qui précède, les stimuli du milieu ne sont des ensembles polymorphes que par rapport aux procédures de catégorisation en élaboration. Par rapport aux capacités de catégorisation existantes, certains stimuli constituent des patterns organisés d'information. Ces catégories initiales ne sont pas nécessairement fixes et elles ne sont prédésignées que du point de vue du temps somatique et non du temps de l'évolution.

Enfin, et ce point découle des précédents, Edelman considère qu'il existe initialement deux domaines indépendants de variations: le monde des stimuli potentiels et les collections de groupes neuronaux. A nouveau je suis en désaccord partiel avec cette affirmation. Il y a une indépendance relative par rapport aux procédures de catégorisation en élaboration, mais il n'y a bien entendu pas d'indépendance relativement aux procédures de catégorisation constituées, ce qui, répétons-le encore une fois, change considérablement l'explication de la genèse.

Pour conclure, tentons d'exprimer dans la terminologie d'Edelman (op. cit., p.9) les caractéristiques de tout processus de développement et d'apprentissage. Il devrait exister :

- (1) des répertoires stables de groupes de neurones causalement reliés à des événements et, simultanément, des répertoires variables de groupes de neurones non reliés causalement aux événements qui seront ultérieurement à l'origine du processus de sélection, et
- (2) des opportunités de rencontre avec un environnement dont certaines propriétés covarient avec des variations internes et d'autres dimensions qui changent indépendamment des variations internes, de façon à permettre la sélection d'une ou plusieurs variantes favorables.

J'avais antérieurement formulé ces deux points en déclarant que dans les processus de développement et d'apprentissage, les échanges de l'organisme avec le milieu doivent être considérés simultanément comme strictement déterminés relativement à certains sous-systèmes (répertoires) et donc par rapport à certains événements et comme partiellement déterminés (ou indéterminés) relativement à d'autres sous-systèmes (répertoires) en cours d'organisation ou insuffisamment organisés, ce qui correspondrait aux phases de labilité du système (Mounoud, 1984, p.333; 1987b, p.1374-1375). Edelman ajoute une troisième catégorie essentielle que devrait comporter toute théorie

sélectionniste (op. cit., p.9 et 17): "un moyen de reproduction différentielle et d'amplification avec hérédité des variantes sélectionnées au niveau d'une population". Ce dernier point me semble correspondre à une des thèses principales défendues par Piaget (1967) dans la partie biologique de son oeuvre et caractérise une option néo-lamarckienne de l'hérédité des caractères acquis, thèse pour laquelle il a été fort critiqué.

Comme on a déjà pu le constater, je ne partage pas le puritanisme d'Edelman qui refuse toute forme de raisonnement par analogie. De mon point de vue, les raisonnements par analogie sont une forme, certes faible mais nécessaire, des raisonnements scientifiques, à l'origine de toutes nos théories, à des étapes où elles n'ont pas atteint une certaine maturité.

Pour conclure, ce qui m'intéresse le plus dans la théorie d'Edelman (en tant que psychologue du développement), et malgré des désaccords importants, ce sont les points suivants:

1. tout d'abord la tentative de fournir une explication non instructionniste du processus de genèse des catégories perceptives;
2. la construction progressive par des processus de sélection de cartes locales (liées aux modalités sensorielles) puis de cartes globales (plurimodales ou supramodales et motrices) pour rendre compte de l'apparition des capacités de catégorisation et de généralisation perceptives;
3. le fait que les catégories construites (ou les procédures de catégorisation construites) sont toujours relatives ou approximatives et non absolues;
4. la capacité de son modèle d'expliquer non seulement les caractéristiques propres à l'espèce mais également les caractéristiques individuelles;
5. le fait qu'il s'agit d'une théorie motrice de l'origine des catégories dans laquelle les cartes globales ne pourraient se constituer sans l'activité du sujet.

La genèse des catégories d'un point de vue psychologique

Cette théorie neurobiologique peut être rapprochée de celle élaborée au niveau psychologique par Harnad (1987) et qui concerne également la genèse des capacités de catégorisation perceptive. Ces deux auteurs ont poursuivi des démarches très semblables dans leur domaine respectif, démarches d'une rigueur exemplaire. Tous deux tentent de montrer à leur manière que les modèles de simple détection de traits ou ceux basés sur l'existence de prototypes échouent à donner une explication générale de la genèse des catégorisations, de même que les modèles basés sur les approches dites "pan-propositionnelles" ou "dévoreur de symboles" ("symbol-crunching"). Tous deux adoptent une approche purement inductive ("bottom up").

Pour expliquer l'apprentissage de la catégorisation perceptive par expérience sensorielle ou par induction ("by acquaintance") et non par description verbale (option qui est partiellement comparable au refus des explications instructionnistes chez Edelman), Harnad fait intervenir deux sortes de représentations internes:

(1) des représentations iconiques qui sont des traductions analogiques des entrées sensorielles (plus précisément des projections proximales des stimuli distaux sur les dispositifs des surfaces réceptives). La transformation physique est dite analogique dans la mesure où elle est réversible. Ces représentations iconiques rendent possible la discrimination des stimuli (jugements semblable-différent, couplage de stimuli, copie), discriminations qui sont dépendantes des modalités sensorielles. Ces représentations iconiques (à la manière des cartes locales d'Edelman) préservent la structure spatio-temporelle (i.e. la "forme" physique) des stimuli. Ces représentations iconiques sont continuellement mélangées les unes avec les autres. Elles comportent des chevauchements entre elles dans la mesure où elles représentent des stimuli qui partagent des ressemblances physiques (à la manière dont les cartes corticales possèdent des recouvrements importants comme le décrit Edelman). Elles sont renforcées par l'exposition répétée à une classe de stimuli. Leur caractéristique principale est d'être "non liées" ou "sans bornes" ("unbounded") dans le sens que rien ne les lie ou ne les limite valablement à une catégorie commune;

(2) des représentations catégorielles (CR) qui résultent d'un filtrage analogique/digital des configurations de traits non liés (IR). La transformation est appelée digitale dans la mesure où elle n'est pas une transformation physiquement réversible, mais une transformation formelle qui dépend de règles conventionnelles. Le filtrage est supposé prélever les informations invariantes en éliminant une grande partie de la structure configurationnelle grossière des IR pour ne retenir que ce qui est invariant dans toutes les variations des exemples rencontrés. La liaison des CR avec les IR préserve la structure spatio-temporelle des stimuli (comme les connexions réentrantes maintiennent la continuité spatio-temporelle dans le modèle d'Edelman). Il s'agit bien là aussi d'un processus sélectif à la manière dont les cartes globales se constituent à partir des cartes locales (qui résultent d'abstractions et de filtrages) dans le modèle d'Edelman. Toutefois le modèle beaucoup plus complexe et détaillé d'Edelman explicite mieux cette détection d'invariants, principalement par les corrélations temporelles réalisées entre les cartes locales par les circuits réentrants. A la manière des cartes globales d'Edelman, les représentations catégorielles sont plurimodales ou supramodales, elles rendent possible l'identification et la catégorisation des objets. Par opposition aux IR, les CR sont qualifiées de représentations "liées" ou "bornées" ("bounded"). Elles ont précisément les limites ou les bornes des catégories.

A ces deux sortes de représentations, qui expliquent selon Harnad la catégorisation perceptive, il ajoute une troisième sorte de représentations, qu'il appelle les représentations symboliques. Selon lui les représentations catégorielles sont associées avec les noms des catégories qui servent de symboles atomiques (en français il serait plus correct de dire de "signes") aux représentations symboliques. Les représentations symboliques sous-tendent le langage et rendent alors possible l'apprentissage par description. De même Edelman considère que sa théorie fournit les bases initiales pour la prise en considération des fonctions cérébrales supérieures relatives à la formation des concepts et du langage et à l'apparition de l'apprentissage par transmission sociale (Edelman, 1987, p.68 et 322).

Pour Harnad (comme pour Edelman) les catégories ne sont que provisoires et approximatives, dans le sens où elles sont relatives à la diversité des situations expérimentées. Il n'y a pas de caractéristiques absolues, mais seulement certaines caractéristiques invariantes dans un contexte particulier d'alternatives confondables.

Quant à l'action, Harnad ne lui accorde pas une place aussi importante qu'Edelman. Il considère même que la théorie motrice de la perception catégorielle pose plus de questions qu'elle n'en résoud. Toutefois, il considère que "par leur nature les processus de traitement semblent requérir des intégrations et des filtrages actifs en temps réel" (Harnad, 1987, p.553). C'est précisément une des raisons pour laquelle Edelman accorde une telle importance à l'action.

Enfin, il n'est pas surprenant qu'Edelman et Harnad ne soient pas favorables à la théorie gibsonienne. Tout en reconnaissant l'importance que cette théorie a donnée au concept d'invariant dans les phénomènes perceptifs, Harnad considère que "la perception directe ne s'est pas avérée utile jusqu'ici pour modéliser l'extraction d'invariants dans la formation de catégories, en particulier pour les cas importants dans lesquels l'apprentissage est impliqué" (souligné par moi). Il admet toutefois que les invariants externes doivent certainement contribuer à toute catégorisation réussie (Harnad, 1987, p.550 et 561, note 14). De même, Edelman affirme que bien que les lois de la physique fournissent des contraintes importantes, elles sont insuffisantes pour expliquer dans le temps somatique (ontogenèse) la formation des procédures de catégorisation (Edelman, 1987, p.33). Pour Edelman, "l'approche écologique de Gibson a rempli une fonction importante en dirigeant l'attention sur les combinaisons adéquates de stimuli qui excitent simultanément différents champs récepteurs. Mais cette approche a sous-estimé le problème de la catégorisation et ignoré la question de la nature du système nerveux et de l'échantillonnage moteur continu..." (Edelman, 1987, p.234-5).

Ces critiques me semblent fondées si l'on se situe, comme le font ces auteurs, dans le contexte du développement et de l'apprentissage. Par contre, si l'on étudie le fonctionnement adapté d'un organisme dans son environnement écologique, comme l'a fait Gibson (1966), il devient possible, me semble-t-il, de parler sans préjudice de perception directe étant donné qu'il existe dans ces cas un couplage optimal entre l'organisme et le milieu. On retrouve d'ailleurs ainsi le point de vue gestaltiste dont s'est beaucoup inspiré Gibson. On se souvient que la Gestalt a été jusqu'à postuler l'existence d'un isomorphisme entre la structure du milieu et celle du système nerveux.

Par contre, l'analyse des processus de développement n'est pas possible dans une perspective gibsonienne et ce n'est pas le concept d'"affordance" qui permet de résoudre les difficultés posées par le concept de perception directe. Une "affordance" caractérise le résultat d'un processus adaptatif qui reste à expliquer, de même que se pose le problème de sa transformation au cours du développement.

Critique de la théorie de Harnad

La même remarque générale formulée par rapport à la théorie d'Edelman peut également être adressée à celle de Harnad. Pourquoi vouloir expliquer la formation de catégories perceptives sans tenir compte des capacités initiales du nouveau-né ? L'existence de compétences initi-

ales de catégorisation modifie considérablement la façon de poser le problème. Dans ses échanges avec le milieu le nouveau-né ne se trouve pas uniquement confronté à un univers confus, totalement ambigu, sans aucun invariant, sans aucune signification fonctionnelle. Seuls certains aspects et certains événements du milieu sont initialement confus et inintelligibles. Le milieu est "intelligible" pour le bébé dans le sens où il suscite des comportements adaptés qui sont déterminés à la fois par les capacités déjà en place et par certaines particularités de la "niche" ! Il est aussi probable que cette organisation initiale remplisse des fonctions adaptatives importantes comme celle d'assurer l'unité du sujet et celle de son environnement et de constituer une sorte d'ancrage pour les constructions ultérieures.

Par conséquent, et malgré mon admiration pour la tentative d'Harnad, je ne suis pas favorable à une explication purement inductive ("bottom up"). L'explication du développement des catégories devrait ainsi être simultanément inductive et déductive, n'en déplaise aux anglosaxons et à leurs racines empiristes tenaces ! Il reste de toute façon suffisamment de choses à construire et à expliquer pour ne pas refuser au sujet toute forme initiale de capacités déductives.

CHANGEMENTS QUALITATIFS DANS LA GENESE DES CATEGORIES

Le principal reproche que j'ai formulé à plusieurs auteurs dans la première partie de ce chapitre est relatif au fait qu'ils considèrent l'environnement comme composé d'objets définis et caractérisables de façon stable par un certain nombre de variables, perspective engendrée par l'adoption des théories du traitement de l'information. Cette perspective rend d'autre part possible l'utilisation de méthodes expérimentales strictes. J'espère avoir montré la difficulté de considérer le monde physique comme composé de catégories ou de classes d'objets définies de façon stable et non ambiguë. C'est la raison pour laquelle je désire consacrer cette dernière partie de mon chapitre aux changements qualitatifs dans la façon dont l'enfant parvient à catégoriser le monde au cours de son développement. A cette fin je me centrerai sur une classe importante de changements au risque de donner une image un peu caricaturale et trop simplificatrice du développement. Il serait nécessaire de prendre en considération d'autres types de changements, en particulier entre différents types de segmentations. Pour la démonstration je me limiterai néanmoins à l'analyse d'une classe de changements majeurs.

L'existence de changements qualitatifs généraux dans le développement cognitif de l'enfant avait été reconnue depuis longtemps par les psychologues, en particulier en ce qui concerne la genèse des capacités de catégorisation et de classification (Inhelder & Piaget, 1959; Piaget & Inhelder, 1941; Piaget & Szeminska, 1941; Vygotsky, 1962; Wallon, 1945; Werner, 1948). Un regain d'attention a été porté durant ces dernières années à ces changements qualitatifs et plusieurs auteurs ont récemment mis l'accent sur leur importance et leur généralité, parfois aussi sur leur récursivité (e.g., Carey, 1978; Karmiloff, 1979, 1986; Keil, 1986; Mounoud, 1976, 1986b). Les changements de stratégie dont il est question dans les chapitres de Koenig et de Zanone me semblent correspondre en partie à ces changements qualitatifs, en particulier le passage des jugements métriques aux jugements catégoriels décrits par Koenig. Par contre, les chapitres de Case et Griffin, de Crépault et Nguyen-Xuan, et de Laszlo ne prennent

pas en considération (ou pas suffisamment) ces changements dans la manière dont l'enfant conçoit et découpe (ou segmente) la réalité aux différentes étapes de son développement.

Dans mon travail sur la construction d'instruments chez l'enfant (Mounoud, 1970), j'avais mis en évidence un changement qualitatif important autour de l'âge de 6 ans, tant en ce qui concerne la façon de construire les instruments que de les catégoriser ou classifier. En 1983, au Symposium de Tel Aviv sur "Stades et structures", j'ai repris ces données pour définir un changement général dans la manière dont l'enfant parvient à définir et comprendre les objets. Ce changement fait passer l'enfant de conceptions basées sur des propriétés élémentaires juxtaposées (ou amalgamées) à des conceptions basées sur une (ou des) propriété(s) d'ensemble définie(s) par les rapports qu'entretiennent les parties de l'objet (ou sur les rapports entre objets relativement à une ou plusieurs propriétés ou caractéristiques) (Mounoud, 1986b). Ce changement était comparé au passage de la segmentation pragmatique ou sémantique à la segmentation morphologique ou formelle des phrases (Bronckart, 1977), au passage de la segmentation syllabique à la segmentation phonémique (abstraite) des mots (Lieberman, Shankweiler, Fischer & Carter, 1974), de même qu'au passage des marqueurs de surface aux marqueurs relatifs aux structures profondes dans l'acquisition des déterminants du langage (Karmiloff, 1979). Des rapprochements avec d'autres domaines étaient également suggérés. De façon plus générale ce changement était défini par le passage d'une organisation principalement pragmatique ou sémantique à une organisation principalement morphologique ou abstraite. Finalement, le passage était expliqué par le processus de construction de représentations allant de représentations de type analogique à des représentations de type abstrait (aujourd'hui je préférerais dire allant de représentations analogiques et abstraites disjointes à des représentations analogiques et abstraites conjointes). Une des particularités du modèle présenté était son caractère récursif. Cette séquence développementale générale est supposée se répéter à plusieurs reprises au cours du développement. Ces changements qualitatifs généraux auraient lieu autour de l'âge de 6 ans (ou entre 5 et 7 ans) pour l'organisation que j'appelle "conceptuelle", autour de 9 mois (ou entre 6 et 12 mois) pour l'organisation que j'appelle "perceptive" (il serait certes préférable de dire à partir de 6 mois pour la première et à partir de 5 ou 6 ans pour la seconde). Il s'agit selon moi de changements généraux du fonctionnement des structures cognitives qui pourraient éventuellement avoir pour fondement des changements dans les modes de coopérations inter- et intrahémisphériques déterminées par des processus maturatifs (Mounoud, 1988). Les changements qualitatifs de représentation ne peuvent donc intervenir qu'à partir du moment où les structures concernées parviennent à certains niveaux de maturation, que je situe donc à environ 6 mois et à environ 6 ans (condition nécessaire mais non suffisante). Par conséquent, la maturation de ces structures ne signifie pas que les changements vont se manifester simultanément dans les différents domaines. Ils dépendent bien entendu des expériences du sujet. La capacité de segmentation phonémique des mots en est un bon exemple. Elle n'apparaît en effet que si l'on apprend à lire et à écrire dans un système alphabétique. Elle ne se trouve par conséquent pas chez les illettrés. Les décalages temporels entre domaines ne permettent pas de rejeter l'hypothèse d'un changement général dans le fonctionnement des structures cognitives comme responsable des changements qualitatifs en question.

CHANGEMENTS QUALITATIFS DANS LES REPRESENTATIONS CONCEPTUELLES

MOUNOUD (1986b)

- Conceptions de l'objetpropriétés élémentaires
juxtaposéespropriété(s) d'ensemble
définie(s) par les
rapports entre parties- Développement moteur(Mounoud & al., 1985)
contrôle et planification
localescontrôle et planification
globales- Acquisition du langage(déterminants)
(Karmiloff, 1979)
marqueurs de surface

structures profondes

- Segmentation des mots(Liberman & al., 1974)
segmentation syllabique

segmentation phonémique

- Segmentation des phrases(Bronckart, 1977)
indices pragmatiques ou
sémantiquesindices formels ou
morphosyntaxiques- Représentationsanalogiques (et abstraites
disjointes)abstraites (et analogiques
conjointes)

KEIL & KELLY (1987)

- Développement perceptif
et conceptueltoutes les dimensions
salientesquelques dimensions
significativement
reliées- Catégorisation perceptive(Garner, 1974)
dimensions intégralesdimensions séparables
(changement "intégral-à-
séparable")- Signification des mots(Smith & al., 1974)
traits caractéristiquestraits définissants (qui
permettent la définition)
(changement "caractéristique
à définissant")- Ressemblance entre syllabes(Trieman & al., 1981)
ressemblance globale

constituants phonémiques

- Catégories lexicales(Maratsos, 1983)
hétérogénéité sémantique
(prototype)homogénéité structurale
(règles structurales)- Représentations

basées sur des prototypes



basées sur des théories

J'ai été heureusement surpris en découvrant que Keil définit à son tour un changement qualitatif général assez comparable à celui que j'ai exposé (Keil & Kelly, 1987). Pour faciliter le rapprochement entre son point de vue et le mien, on consultera le tableau comparatif intitulé "Changements qualitatifs dans les représentations conceptuelles". Pour Keil et Kelly ce changement est commun aux développements conceptuel et perceptif. Ce changement fait passer l'enfant d'un niveau où il utilise toutes les dimensions remarquables dans un domaine donné pour définir ou catégoriser les objets sur la base de leur ressemblance maximale à un niveau où il n'utilise que quelques dimensions significativement reliées. Ce changement est comparé au passage de l'utilisation de "traits caractéristiques" à l'utilisation de "traits définissants (qui permettent la définition)" ("defining features") dans le développement de la compréhension de la signification des mots ("characteristic-to-defining" shift) (Smith, Shoben & Rips, 1974) et au passage de l'utilisation de "dimensions intégrales" (integral dimensions) à l'utilisation de "dimensions séparables" (separable dimensions) dans le développement des catégories perceptives ("integral-to-separable" shift) (Garner, 1974). Keil & Kelly font également des rapprochements avec d'autres données expérimentales, en particulier avec le développement de la perception de ressemblances entre les syllabes (Trieman & Baron, 1981) et avec le développement des catégories lexicales (Maratsos, 1983).

D'une façon plus générale, ces changements qualitatifs sont définis par le passage de représentations basées sur des prototypes (prototype based) à des représentations basées sur des théories (theory based). Pour expliquer ces changements qualitatifs, Keil & Kelly (1987) suggèrent différents mécanismes. En premier lieu, ils évoquent bien sûr l'importance de l'expérience et du degré d'expertise. Ensuite, ils font intervenir "une tendance interne vers une organisation théorique (définie à partir de principes) des domaines conceptuels" ("an internal tendency toward principled organization of conceptual domains") (p.505). Ainsi, étant donné selon eux que les domaines conceptuels organisés à partir de prototypes sont par nature "athéoriques", la tendance interne à construire des représentations à base théorique produit la principale motivation pour le changement. Ils mentionnent également un mécanisme explicatif de type adaptatif emprunté à la psychologie sociale: les changements qualitatifs seraient liés à des exigences relatives à l'efficacité de la communication. Enfin, ces auteurs font intervenir un mécanisme lié aux mots eux-mêmes considérés à la suite de Vygotsky (1979) comme des instruments plutôt que comme des signes. Si les jeunes enfants trient souvent les objets en termes de thématique plutôt que de relations taxonomiques, ce serait le pouvoir des mots qui dirigerait leur attention sur les relations taxonomiques (Markman & Hutchinson, 1984). J'avoue ne pas être très convaincu par ces mécanismes liés à une "tendance interne", à l'efficacité de la communication et au pouvoir des mots.

Toutefois, dans leur conclusion, Keil et Kelly affirment également que ces changements qualitatifs "sont déterminés par des contraintes et des prédispositions a priori, spécifiques ou communes aux différents domaines" (p.508). De plus, ils considèrent que "des contraintes structurales générales sur la structure conceptuelle pourraient être à l'oeuvre au cours de la période durant laquelle la connaissance se différencie et se transforme (shifts away)...".

Je n'expliciterai pas ici la façon dont je conçois la construction de nouvelles capacités de conceptualiser ou de catégoriser le monde chez l'enfant, l'ayant fait récemment à diverses reprises (cf. en particulier Mounoud, 1985, 1986_a et _b, 1987_a, 1988; voir aussi Vinter, 1989). Comme nous venons de le voir, il y a de nombreux exemples qui montrent le passage de représentations des objets ou des événements d'un type "iconique" ou "analogique" ou "présymbolique" basées sur les prototypes, où les objets sont représentés sous forme d'ensembles ou d'amalgames non délimités, non bornés, de caractéristiques (cf. cartes locales d'Edelman) à des représentations d'un type "catégoriel" ou "abstrait" ou "symbolique", basées sur des "théories", sous forme d'ensembles délimités ou bornés de propriétés stables ou invariantes (cf. cartes globales d'Edelman). Il s'agit là de niveaux bien distincts de représentations qui correspondent à deux des cinq étapes que je distingue dans ce processus récursif de construction de représentations (ou de thématisation des échanges, continuellement renouvelés, qu'entretient le sujet avec ses différents environnements).

Comme l'écrivent Keil et Kelly, ces changements ou transformations qualitatives réduisent un domaine complexe de connaissance à quelques dimensions-critères et à quelques valeurs de ces dimensions. Comme nous l'avons vu, le processus de catégorisation peut être défini comme un processus de tri, de filtrage, d'élimination, de réduction, de négligence, ce qui correspond à la conception du développement appauvrissement. On retrouve bien ainsi l'importance des phénomènes sélectifs ou d'appauvrissement qui jouent un rôle fondamental dans les processus du développement cognitif. J'espère toutefois avoir fait comprendre que les phénomènes sélectifs ne peuvent exister que dans la mesure où des phénomènes préalables d'enrichissement existent. Le développement cognitif résulte donc simultanément d'enrichissements et d'appauvrissements. Les environnements (internes et externes à l'organisme) seraient ainsi sources d'enrichissement et de sélections.

L'opposition que j'ai essayé de cerner au cours de la dernière partie de ce chapitre entre deux étapes du processus complexe de représentation correspond en partie à l'opposition introduite par Piaget (1968_b) entre ce qu'il appelle identités qualitatives et conservations quantitatives. Les premières résultent selon lui de dissociations et de synthèses des propriétés des objets et expliquent les raisonnements préopératoires de l'enfant, alors que les secondes résultent de compositions quantitatives rendues possibles par les opérations logico-mathématiques, elles-mêmes issues des coordinations générales de l'action et qui rendent compte des raisonnements opératoires. Sans souscrire à l'interprétation de Piaget, cette référence finale est faite en hommage aux catégorisations que Piaget a su brillamment introduire dans le domaine du développement cognitif de l'enfant.

Castagnola (TI)
Février 1989

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to thank Nelly Braure and Karen Olson for translating the text, Françoise Schmitt for her valuable secretariat assistance, and P. Bovet, C.A. Hauert, A. de Ribaupierre, L. Rieben and D. Stern for their very helpful comments.

REFERENCES

- Anderson, J.A. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, Ma: Harvard University Press.
- Archer, L.A., Campbell, D., & Segalowitz, S.J. (1988). A prospective study of hand preference and language development in 18- to 30-months-olds: I. Hand preference. *Developmental Neuropsychology*, 4(2), 85-92.
- Atkinson, R.C., & Shiffrin, R.M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In: K.W. Spence & J.T. Spence (Eds.), *The psychology of learning and motivation, Vol. 2*. New York: Academic Press.
- Baddeley, A. (1976). *The psychology of memory*. New York: Harper and Row Publishers.
- Bates, E., O'Connell, B., Vaid, J., Sledge, P., & Oakes, L. (1986). Language and hand preference in early development. *Developmental Neuropsychology*, 2(1), 1-15.
- Bever, T.G. (Ed.). (1982). *Regressions in mental development: Basic phenomena and theories*. New York: Erlbaum.
- Bernstein, N. (1867). *The coordination and regulation of movements*. Oxford: Pergamon.
- Brainerd, C.J. (1978). The stage question in cognitive-developmental theory. *The Behavioral and Brain Sciences*, 2, 173-213.
- Bronckart, J.P. (1977). *Théories du langage, une introduction critique*. Bruxelles: Mardaga.
- Carey, S. (1978). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, Ma: MIT/Bradford Press.
- Case, R. (1987). The structure and process of intellectual development. *International Journal of Psychology*, 22(5/6), 571-607.
- Case, R., & Griffin, S. (1989). Child cognitive development: The role of central conceptual structures in the development of scientific and social thought. In: C.A. Hauert (Ed.), *Developmental psychology: Cognitive, perceptuo-motor and neuropsychological perspectives*. Amsterdam: North Holland.
- Changeux, J.P. (1983). *L'homme neuronal*. Paris: Fayard.
- Changeux, J.P., & Danchin, A. (1976). Selective stabilization of developing synapses as a mechanism for the specification of neuronal networks. *Nature*, 264, 705-711.
- Changeux, J.P., Heidmann, T., & Patte, P. (1984). Learning selection. In: P. Marler & H.S. Terrace (Eds.), *The biology of learning*. New York: Springer-Verlag, pp.115-137.
- Corbetta, D. (1989). La bimanualité chez l'enfant de 5 à 9 ans. Ph.D. Thesis, University of Geneva.
- Corbetta, D., & Mounoud, P. (in press). Early development of grasping and manipulation. In: C. Bard, M. Fleury & L. Hay (Eds.), *Development of eye-hand coordination across lifespan*. University of South Carolina Press.
- Craik, F.I.M., & Lockhart, R.S. (1972). Levels of processing: A

- framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11, 671-684.
- Crépault, J., & Nguyen-Xuan, A. (1989). Child cognitive development: Objects, space, time, logico-mathematical concepts. In: C.A. Hauert (Ed.), *Developmental psychology: Cognitive, perceptuo-motor and neuropsychological perspectives*. Amsterdam: North Holland.
- Edelman, G.M. (1978). Group selection and phasic reentrant signaling: A theory of higher brain function. In: G.M. Edelman & V.B. Mountcastle (Eds.), *The mindful brain: Cortical organization and the group-selective theory of higher brain function*. Cambridge, MA: MIT Press, pp.51-100
- Edelman, G.M. (1981). Group selection as the basis for higher brain function. In: F.O. Schmitt, F.G. Worden, A. Adelman & S.G. Dennis (Eds.), *Organization of the cerebral cortex*. Cambridge, Ma: MIT Press, pp.535-563.
- Edelman, G.M. (1987). *Neural Darwinism. The theory of neural group selection*. New York: Basic Books.
- Edelman, G.M., & Finkel, L.H. (1984). Neuronal group selection in the cerebral cortex. In: G.M. Edelman, W.E. Gall & W.M. Cowan (Eds.), *Dynamic aspects of neocortical function*. New York: Wiley.
- Edelman, G.M., & Reeke, G.N. Jr. (1982). Selective networks capable of representative transformation, limited generalization, and associative memory. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 79, 2091-2095.
- Eimas, P.D. (1982). Speech perception: A view of the initial state and perceptual mechanisms. In: J. Metzler, E.C.T. Walker & M. Garrett (Eds.), *Perspectives on mental representation*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, pp.339-360.
- Fagard, J. (in press). The development of bimanual coordination. In: C. Bard, M. Fleury & L. Hay (Eds.), *Development of eye-hand coordination across lifespan*. University of South Carolina Press.
- Feldman, J.A., & Ballard, D.H. (1982). Connectionist models and their properties. *Cognitive Science*, 6, 205-254.
- Fodor, I.E. (1983). *The modularity of mind*. Cambridge, Ma: MIT Press.
- Fontaine, R. (1987). Conditions d'évocation des conduites imitatives chez l'enfant de 0 à 6 mois. Ph.D. Thesis, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris.
- Garner, W.R. (1974). *The processing of information and structure*. Potomac, MD: Erlbaum.
- Gibson, J.J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Boston: Houghton Mifflin.
- Gottfried, A., & Bathurst, K. (1983). Hand preference across time is related to intelligence in young girls, not boys. *Science*, 222, 1974-1976.
- Greenfield, P.M., Nelson, K., & Saltzman, E. (1972). The development of rulebound strategies for manipulating seriated cups: A parallel between action and grammar. *Cognitive Psychology*, 3, 291-310.
- Harnad, S. (1987). Category induction and representation. In: S. Harnad (Ed.), *Categorial perception. The groundwork of cognition*. Cambridge: Cambridge University Press. 535-565.
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1959). *La genèse des structures logiques élémentaires*. Neuchâtel et Paris: Delachaux et Niestlé. (English translation, *The early growth of logic in the child*. London: Routledge & Kagan, 1964).
- Jeeves, M.A., Silver, P.H., & Milne, A.B. (1988). Role of the corpus callosum in the development of a bimanual motor skill.

- Developmental Neuropsychology*, 4(4), 305-323.
- Jusczyk, P.W. (1981). The processing of speech and non-speech sounds by infants: Some implications. In: R.N. Aslin, J.R. Albers & M.R. Petersen (Eds.), *Development of perception, vol I*. New York: Academic Press. pp.192-215.
- Karmiloff-Smith, A. (1979). *A functional approach to child language. Linguistic theories*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Karmiloff-Smith, A. (1986). Stage/structure versus phase/process in modelling linguistic and cognitive development. In: I. Levin (Ed.), *Stage and structure*. New York: Ablex, 164-190.
- Keil, F.C. (1986). On the structure dependent nature of stages of cognitive development. In: I. Levin (Ed.), *Stage and structure: Reopening the debate*. Norwood, NJ: Ablex.
- Keil, F.C., & Carroll, J.J. (1980). The child's conception of "tall": Implications for an alternative view of semantic development. *Papers and Reports on Child Language Development*, 19, 21-28.
- Keil, F.C., & Kelly, M.H. (1987). Developmental changes in category structure. In: S. Harnad (Ed.), *Categorical perception. The groundwork of cognition*. Cambridge: Cambridge University Press, 491-510.
- Kellman, P.J., & Spelke, E.S. (1983). Perception of partly occluded objects in infancy. *Cognitive Psychology*, 15, 483-524.
- Kemler, D.G. (1983). Exploring and reexploring issues of integrality perceptual sensitivity, and dimensional salience. *Journal of Experimental Child Psychology*, 36, 365-379.
- Kobre, K.R., & Lipsitt, L.P. (1972). A negative contrast effect in newborn. *Journal of Experimental Child Psychology*, 14(1), 81-91.
- Koenig, O. (1989). Child neuropsychological development: Lateralization of function - hemispheric specialization. In: C.A. Hauert (Ed.), *Developmental psychology: Cognitive, perceptuo-motor and neuropsychological perspectives*. Amsterdam: North Holland.
- Kugler, P.N., Kelso, J.A.S., & Turvey, M.T. (1982). On the control and coordination of naturally developing systems. In: J.A.S. Kelso & J.E. Clarke (Eds.), *The development of movement control and coordination*. Chichester: Wiley.
- Laszlo, J.I. (1989). Child perceptuo-motor development: Normal and abnormal development of skilled behaviour. In: C.A. Hauert (Ed.), *Developmental psychology: Cognitive, perceptuo-motor and neuropsychological perspectives*. Amsterdam: North Holland.
- Levin, I. (Ed.). (1985). *Stage and structure*. Norwood: Ablex.
- Lieberman, I.Y., Shankweiler, D., Fisher, F.W., & Carter, B. (1974). Reading and the awareness of linguistic segments. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 201-212.
- Maratos, O. (1973). The origin and the development of imitation during the first six months of life. Ph.D. Thesis, University of Geneva.
- Maratsos, M. (1983). Some current issues in the study of the acquisition of grammar. In: P. Mussen (Ed.), *Handbook of child psychology (vol. 3)*. New York: Wiley.
- Markman, E.M., & Hutchinson, J.E. (1984). Children's sensitivity to constraints on word meaning: Taxonomic versus thematic relations. *Cognitive Psychology*, 16, 1-27.
- Marler, P. (1982). Avian and primate communication: The problem of natural categories. *Neurosciences Biobehav. Rev.*, 6, 87-94.
- McClelland, J., Rumelhart, D., & the PDP Research Group. (1986). *Parallel distributed processing, vol. 2: Psychological and biological models*. Cambridge, Ma: MIT Press, Bradford Books.

- McManus, I.C., Sik, G., Cole, D.R., Mellon, A.F., Wong, J., & Kloss, J. (1988). The development of handedness in children. *British Journal of Developmental Psychology*, 6(3), 257-273.
- Meltzoff, A. (1976). Imitation in early infancy. Ph.D. Thesis, University of Oxford.
- Molfese, V., & Betz, J. (1987). Language and motor development in infancy: Three views with neuropsychological implications. *Developmental Neuropsychology*, 3, 255-274.
- Molfese, D., & Betz, J. (in press). Electrophysiological indices of the early development of lateralization for language and cognition and their implications for predicting later development. In: D. Molfese & S. Segalowitz (Eds.), *Developmental implications of brain lateralization*. New York: Guilford.
- Mounoud, P. (1970). *Structuration de l'instrument chez l'enfant*. Neuchâtel et Paris: Delachaux et Niestlé.
- Mounoud, P. (1971). Développement des systèmes de représentation et de traitement chez l'enfant. *Bulletin de Psychologie*, 296, 5-7, 261-272. Translation in B. Inhelder & H. Chipman (Eds.), *Piaget Reader*. New York: Springer Verlag, 1976, 166-185.
- Mounoud, P. (1976). Les révolutions psychologiques de l'enfant. *Archives de Psychologie*, 44, 171, 103-114. Translation in T.G. Bever (Ed.), *Regressions in development: Basic phenomena and theoretical alternatives*. New York: Lawrence Erlbaum, 1982.
- Mounoud, P. (1979). Développement cognitif: Construction de structures nouvelles ou construction d'organisations internes. *Bulletin de Psychologie*, 33, 343, 107-118. Translation in I.E. Sigel, D.M. Brodzinsky & R.M. Golinkoff (Eds.), *New directions in piagetian theory and practice*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum, 1981, 99-114.
- Mounoud, P. (1984). A point of view on ontogeny. *Human Development*, 27, 329-334.
- Mounoud, P. (1986a). Action and cognition. Cognitive and motor skills in a developmental perspective. In: M.G. Wade & H.T.A. Whiting (Eds.), *Motor development in children*. Dordrecht: Nijhoff, 373-390.
- Mounoud, P. (1986b). Similarities between developmental sequences at different age periods. In: I. Levin (Ed.), *Stage and structure*. Norwood: Ablex, 40-58.
- Mounoud, P. (1987a). L'utilisation du milieu et du corps propre par le bébé. In: J. Piaget, P. Mounoud & J.P. Bronckart (Eds.), *La psychologie*. Encyclopédie de la Pléiade. Paris: Gallimard, 563-601.
- Mounoud, P. (1987b). Les bases neurophysiologiques des conduites. In: J. Piaget, P. Mounoud & J.P. Bronckart (Eds.), *La psychologie*. Encyclopédie de la Pléiade. Paris: Gallimard, 1359-1377.
- Mounoud, P. (1988). The ontogenesis of different types of thought. In: L. Weiskrantz (Ed.), *Thought without language*. Oxford: Oxford University Press, 25-45.
- Mounoud, P., & Vinter, A. (1981). Representation and sensorimotor development. In: G. Butterworth (Ed.), *Infancy and epistemology: An evaluation of Piaget's Theory*. Brighton, Sussex: Harvester Press.
- Mounoud, P., Viviani, P., Hauert, C.A., & Guyon, J. (1985). Development of visuo-manual tracking in 5 to 9 years-old boys. *Journal of Experimental Child Psychology*, 40, 115-132.
- O'Leary, D.S. (1989). Neuropsychological development in the child and the adolescent: Functional maturation of the central nervous system. In: C.A. Hauert (Ed.), *Developmental psychology*:

- Cognitive, perceptuo-motor and neuropsychological perspectives.*
Amsterdam: North Holland.
- Paillard, J. (1988). Dialogues sensori-moteurs et représentation mentale: Un problème d'interface. In: X. Seron (Ed.), *Psychologie et cerveau*. Paris: Les Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. (1967). *Biologie et connaissance*. Paris: Gallimard.
- Piaget, J. (1968a). *Epistémologie et psychologie de la fonction*. Etudes d'Epistémologie Génétique (vol. 23). Paris: Les Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. (1968b). *Epistémologie et psychologie de l'identité*. Etudes d'Epistémologie Génétique (vol. 24). Paris: Les Presses Universitaires de France.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1941). *Le développement des quantités physiques chez l'enfant*. Neuchâtel et Paris: Delachaux et Niestlé.
- Piaget, J., & Szeminska, A. (1941). *La genèse du nombre chez l'enfant*. Neuchâtel et Paris: Delachaux et Niestlé.
- Reeke, G.N. Jr., & Edelman, G.M. (1984). Selective networks and recognition automata. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 486, 181-201.
- Reeke, G.N., Sporns, O., & Edelman, G.M. (1988). Synthetic neural modeling: A darwinian approach to brain theory. Paper presented at the International Conference "Connectivism in Perspective," SGAIICO Science Project 88, University of Zurich, Switzerland, 10-13 October 1988.
- Rosch, E., & Mervis, C. (1975). Family resemblances: Studies in the internal structure of categories. *Cognitive Psychology*, 7, 573-605.
- Smith, E.E., & Medlin, D.L. (1981). *Categories and concepts*. Cambridge, Ma: Harvard University Press.
- Smith, E.E., Shoben, E.J., & Rips, L.J. (1974). Structure and process in semantic memory: A featural model for semantic dimensions. *Psychological Review*, 81, 214-241.
- Snodgrass, J.G. (1980). Towards a model for picture and word processing. In: P.A. Kolers, M.E. Wrolstad & H. Bouwa (Eds.), *Processing of visible language 2*. New York: Plenum Press.
- Spelke, E.S. (1988). The origins of physical knowledge. In: L. Weiskrantz (Ed.), *Thought without language*. Oxford: Oxford University Press, 168-184.
- Strauss, S. (Ed.). (1982). *U-shaped behavioral growth*. New York: Academic Press.
- Trieman, R., & Baron, J. (1981). Segmental analysis ability: Development and relation to reading ability. In: T.G. Waller & G.E. MacKinnon (Eds.), *Reading research: Advances in theory and practice (vol. 3)*. New York: Academic Press.
- Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. In: E. Tulving & W. Donaldson (Eds.), *The organization of memory*. New York: Academic Press.
- Vinter, A. (1983). Imitation et représentation durant les premiers mois de la vie. Ph.D. Thesis, University of Geneva (published by Delachaux et Niestlé, 1985).
- Vinter, A. (1989). Sensory and perceptual control of action in early human development. In: O. Neuman & W. Prinz (Eds.), *Relationships between perception and action: Current approaches*. Berlin: Springer.
- Vygotsky, L.S. (1962). *Thought and language*. Cambridge, Ma: MIT Press.
- Vygotsky, L.S. (1979). The development of higher forms of attention in children. *Soviet Psychology*, 18, 67-115.

- Wallon, H.B. (1945). *Les origines de la pensée chez l'enfant*. Paris: Les Presses Universitaires de France.
- Werker, J.F., & Tees, R.C. (1983). Developmental changes across childhood in the perception of non-native speech sounds. *Canadian Journal of Psychology*, 37, 278-286.
- Werner, H., & Kaplan, B. (1968). *Symbol formation*. New York: International Universities Press.
- Young, J.Z. (1973). Memory as a selective process. In: Australian Symposium on Biological Memory, pp.22-45. Canberra: Australian Academy of Science.
- Young, J.Z. (1978). *Programs of the brain*. Oxford: Oxford University Press.
- Young, G. (1989). Early neuropsychological development: Lateralization of functions - hemispheric specialization. In: C.A. Hauert (Ed.), *Developmental psychology: Cognitive, perceptuo-motor and neuropsychological perspectives*. Amsterdam: North Holland.
- Zanone, P.G. (1989). Perceptuo-motor development of the child and the adolescent: Perceptuo-motor coordination. In: C.A. Hauert (Ed.), *Developmental psychology: Cognitive, perceptuo-motor and neuropsychological perspectives*. Amsterdam: North Holland.

Castagnola (II)
February 1989