

ACTION ET CONNAISSANCE

Le développement des habiletés cognitives et motrices

Pierre MOUNOUD

Mounoud, P. (1986). Action and cognition. Cognitive and motor skills in a developmental perspective. In M.G. Wade & H.T.A. Whiting (Eds.), *Motor Development in children* (pp. 373-390). Dordrecht: M. Nijhoff.

Dans notre présentation, nous aimerions discuter les relations entre les habiletés motrices et les habiletés cognitives qui sont généralement considérées comme deux catégories distinctes de conduites. Bien qu'on ne soit guère habitué à parler en terme "d'habiletés cognitives", l'idée n'est pas nouvelle. Bartlett (1958), par exemple, avait suggéré d'appeler la pensée une habileté de forme avancée, distinguant toutefois nettement les habiletés corporelles et les habiletés mentales. Paraphasant Bartlett, Weimer (1977) considère les processus sous-jacents à la connaissance comme des actions habiles. Dans le même esprit, Gelman et Gallistel (1978) parlent d'habileté à compter ou à classifier. C'est également le terme d'habileté qu'a adopté Fischer (1980) pour présenter son modèle du développement. Beilin (1983) voit dans l'utilisation de ce terme une caractéristique du fonctionnalisme contemporain. Si, pour notre part, nous utilisons ce terme, c'est avant tout pour forcer la comparaison entre le cognitif et le moteur et laisser ainsi entendre le point de vue que nous allons défendre. Nous tenterons de montrer, si ce n'est l'équivalence des habiletés motrices et des habiletés cognitives, tout au moins l'existence de processus sous-jacents communs à ces deux types de conduites. Les travaux que nous avons poursuivis depuis de nombreuses années sont basés sur l'hypothèse que le développement des habiletés motrices n'est pas distinct de celui des habiletés cognitives et, de plus, que l'étude des habiletés motrices est une méthode d'approche originale du développement cognitif (Hauert 1980; Mounoud, 1970; Mounoud et Hauert, 1982). Par boutade, nous suggérons d'appeler cette approche "un behaviorisme cognitiviste" !

Le thème des relations entre action et connaissance est devenu très actuel (Arbib, 1980; Prinz et Sanders, 1984; Shaw et Bransford, 1977). Toutefois peu de choses ont été écrites sur ce thème concernant le développement, à l'exception des chapitres de Hay, Pick et Trevarthen dans l'ouvrage édité par Prinz et Sanders. Nous commencerons notre exposé en paraphasant la formule de Herb Pick (ce volume) selon laquelle "nous percevons pour agir et nous agissons pour percevoir" de la manière suivante: "nos actions sont déterminées par ce que nous connaissons et nos connaissances sont déterminées par nos actions, par ce que nous expérimentons au travers de nos actions".

Il est peut-être utile de préciser d'emblée que les connaissances dont il sera question ici ne sont pas nécessairement conscientes. Nos habiletés cognitives sont basées principalement sur des processus inconscients; en d'autres termes, cognition et conscience n'entretiennent aucun lien de nécessité entre elles. En effet, nous ne sommes généralement pas conscients des règles, des opérations (qualifiées souvent de mentales), des représentations ou des schèmes qui déterminent nos conduites.

Pour la clarté de l'exposé, nous envisagerons successivement les habiletés cognitives et les habiletés motrices pour tenter ensuite un rapprochement. Compte tenu des recherches que nous avons réalisées, nous centrerons notre réflexion plus particulièrement, mais non exclusivement, sur les habiletés de "sériation" envisagées aussi bien d'un point de vue moteur

que d'un point de vue cognitif. Du point de vue "cognitif", de nombreuses recherches ont été faites pour découvrir comment l'enfant parvient à sérier des objets ou des événements en fonction de la variation de certaines dimensions (taille, poids, etc), l'intérêt des auteurs se portant soit sur le résultat ou produit final de l'opération de sériation, à savoir l'ordre introduit dans les objets, soit sur les stratégies mêmes de sériation. Du point de vue "moteur", nous avons réalisé avec Hauert, Gachoud, Viviani et Corbetta des recherches pour étudier comment l'enfant parvient à sérier certains paramètres de ses actions (intensités de force, amplitude, etc.) en fonction des variations de certaines dimensions des objets sur lesquels l'action s'applique (soulèvements d'objet de poids et de taille variables, par exemple), ou en fonction des variations de certaines dimensions des objets engendrés par l'action (dessin de cercles de tailles différentes).

Dans ces situations "cognitives et motrices", il est habituel d'expliquer les performances des sujets par l'existence de plans, de projets, de programmes, de stratégies, qui peuvent être plus ou moins globalement ou localement définis, plus ou moins "intégrés" ou "juxtaposés" ou "fragmentés". Nous allons donc examiner les performances des enfants dans ces différentes situations qualifiées tantôt de "motrice", tantôt de "cognitive", pour tenter de progresser dans notre compréhension générale du développement des conduites considérées comme instruments d'adaptation à l'environnement.

Le problème que nous aurons à discuter est de savoir si ces plans ("étiquette" plutôt cognitive) ou ces programmes ("étiquette" plutôt motrice) sont de même nature, ont une même origine, un même soubassement dans ces différentes situations, ou bien si le cognitif et le moteur constituent des domaines distincts et cloisonnés.

1. LES HABILITES COGNITIVES

Commençons par examiner ce que nous avons décidé d'appeler les habiletés cognitives. Nous les définirons comme la capacité à organiser des relations (spatiales, causales, logiques, etc ...) entre les objets relativement à leurs différentes dimensions ou comme la capacité à organiser des relations entre les différentes parties d'un objet, ou bien encore comme la capacité à organiser les relations que le sujet entretient avec les situations auxquelles il est confronté. Cette manière de définir les habiletés cognitives inclut nécessairement les habiletés dites perceptives. Les habiletés cognitives peuvent se manifester par des actions pratiques, telles que classer ou sérier des objets, mais peuvent aussi s'effectuer mentalement.

Nous considérerons tout d'abord les *habiletés de classification* ou de tri spontané d'objets comme prototypiques des habiletés cognitives à organiser des relations parmi les objets. De telles habiletés ne peuvent pas être considérées séparément du problème de l'inclusion de classes. La description des conduites en trois étapes donnée par Inhelder et Piaget (1964 or. ed. 1959) débute par les collections figurales, typiques des enfants de 3 à 5 ans, dans lesquelles les objets sont organisés en configurations spatiales comme parties d'un tout. Dans une deuxième phase (de 5 1/2 à 7 ans), les enfants construisent des collections non figurales, dans lesquelles les objets sont assemblés en petits groupes, sur la base de critères plus ou moins flous et plus ou moins exclusifs entre eux. Dans une troisième phase (de 8 à 9 ans), les enfants sont capables de former des classes bien articulées, qui ne sont plus juxtaposées mais organisées hiérarchiquement. Selon Inhelder et Piaget, les enfants, à ce niveau, maîtrisent totalement les relations d'inclusion, c'est-à-dire maîtrisent les relations du "tous" et du "quelque".

A la suite de ces travaux, on peut considérer schématiquement que les recherches ont été orientées dans deux directions opposées: celle des *compétences précoces* d'une part et des

incompétences tardives d'autre part, pour reprendre l'expression de Case (1985). Il existe d'excellentes revues de questions sur ces travaux (en particulier Gelman et Baillargeon, 1983; Scholnick, 1983; Sugarman, 1983; Winer, 1980).

Les travaux qui portent sur les "compétences précoces" (Denney, 1972 a et b; Fischer et Robert, 1980; Rosch et al., 1976; C.L. Smith, 1979; L.B. Smith, 1984; Sugarman, 1979, 1981, 1983) s'accordent tous pour décrire l'évolution des performances des enfants par une série d'étapes entre 1 et 3-4 ans. D'après ces travaux, l'enfant de 3 ans a la capacité de trier des objets en fonction d'un critère constant, sans reste et recouvrement. L'enfant de 4 ans a la capacité de construire des classes consistantes et exhaustives, emboîtées les unes dans les autres, ainsi que de raisonner sur des relations d'inclusion. Comme l'écrit J.M. Mandler (1983, p. 469), "il est difficile d'imaginer un système arrangé hiérarchiquement qui ne suppose pas une certaine compréhension de l'inclusion des classes".

Quant aux travaux sur les "incompétences tardives" (Bideaud, 1979; Carbonnel, 1978; Lautrey et al., 1981; Markman, 1978; Markman et al., 1980; Ribaupierre et al., 1985; Rieben et al., 1983; Thornton, 1982), ils mettent en évidence les limites des capacités des enfants de 8 et 9 ans, en particulier dans les études sur la classification, ainsi que le caractère plus "empirique" que "logique" des jugements d'inclusion produits par les enfants jusqu'à l'âge de 10 et 11 ans.

Si on laisse de côté les classifications en action (forme sensorimotrice ou pratique de classification liée à l'assimilation d'objets nouveaux par les schèmes antérieurs du sujet), on peut considérer qu'il existe deux périodes auxquelles l'enfant semble présenter des capacités complexes de classification: une première située autour de 3 1/2-4 ans et une seconde située entre 9 et 11 ans. En ce qui concerne l'étude de la période de transition entre ces deux niveaux, nous mentionnerons tout particulièrement les recherches systématiques entreprises par Markman (Markman, 1973; Markman et Seibert, 1976; Markman, Horton & McLanahan, 1980) qui mettent en évidence la tendance générale des enfants durant cette période à organiser les données en terme de collection (noms collectifs comme famille, forêt, etc.) et de relation partie à tout, plutôt qu'en terme de classe et de relations d'inclusion (réglage du "tous" et du "quelque"). Que signifie en fait cette préférence des enfants pour les collections par rapport aux classes ? A ce propos, Markman considère que les collections ont une *cohérence psychologique* plus grande que les classes. En effet, les noms collectifs servent à particulariser une classe, à la singulariser, à augmenter sa compréhension. Ils permettent donc de conférer à un ensemble d'objets constituant une classe superordinaire une cohérence, une existence en tant que totalité lorsqu'on se centre simultanément sur ses sous-classes constituantes.

Thornton (1982) a étudié les enfants de 5 à 10 ans dans une tâche de classification. Elle considère l'âge de 7 ans comme une phase de transition au cours de laquelle les enfants élaboreraient précisément les relations entre classes. De notre point de vue il faudrait dire "réélaboreraient", ce type de relations ayant déjà été élaboré antérieurement par l'enfant plus jeune (entre 2 et 3 ans) au moyen d'autres types de codage (Mounoud, 1976, 1981, 1985).

Nous allons considérer maintenant une autre catégorie d'habileté cognitive à savoir les *habiletés de sériation*. Il s'agit de la capacité à ordonner des objets ou des événements relativement à une ou plusieurs de leurs dimensions, telles que la taille, le poids, voire des durées d'écoulement d'eau (Inhelder et Piaget, 1964; Piaget, 1946; Piaget et Szeminska, 1952; Piaget et Inhelder, 1974). Cette catégorie de conduites a été étudiée non seulement du point de vue du résultat de l'activité du sujet (ou produit final) mais aussi du point de vue des stratégies ou des procédures utilisées ou manifestées par l'enfant pour réaliser la sériation. Signalons que certaines études récentes des habiletés de classification ou de tri prennent également en

considération les stratégies de tri (Langer,1980; Sugarman, 1983). Avec les habiletés de sériation, on se rapproche un peu de l'étude des habiletés motrices étant donné que l'étude des stratégies est souvent aussi incluse dans les habiletés motrices (cf. Reid, ce volume). La situation expérimentale la plus souvent évoquée est l'une de celles étudiées par Piaget. Il s'agit de la sériation des longueurs dans laquelle on demande à l'enfant de sérier dix baguettes de bois de tailles différentes, de la plus petite à la plus grande (Piaget et Szeminska, 1941). Bien qu'à 5 ans déjà, certains enfants parviennent à sérier correctement ces objets, en utilisant une stratégie dite d'essais et d'erreurs, ce n'est qu'autour de 8 ans qu'ils sont capables, selon Piaget et Szeminska, de sérier les 10 baguettes de façon systématique, de la plus petite à la plus grande. Ces enfants réussissent également des tâches complémentaires, telles que l'insertion d'un élément intercalaire et la rectification de la position d'un objet mal inséré. Pour Piaget, l'utilisation d'une stratégie systématique signifie que l'enfant *anticipe à l'avance la série complète*. Comme l'inclusion est, pour Piaget, inséparable d'une maîtrise des habiletés de classification, de même la transitivité des relations asymétriques est inséparable pour lui d'une maîtrise des habiletés de sériation.

D'autres recherches, dont certaines contemporaines de celles de Piaget, ont montré que des enfants beaucoup plus jeunes sont capables de sérier correctement des objets du point de vue de leur taille et de façon systématique. Comme pour les classifications, on retrouve dans la sériation des recherches mettant en évidence des *compétences précoces* chez l'enfant de 3 à 4 ans (Greenfield et al., 1972; Koslowski, 1980; Meyer, 1940; Sugarman, 1983). Il en va de même en ce qui concerne les inférences transitives (de Boysson-Bardies et O'Regan, 1973; Bryant et Trabasso, 1971; Harris et Basset,1975).

En 1940 déjà, Edith Meyer, dans son travail sur la compréhension des relations spatiales entre objets chez les enfants d'âge préscolaire, avait étudié l'emboîtement de forme. Elle donnait aux enfants un ensemble de cinq boîtes de section triangulaire déjà encastrées. L'enfant devait tout d'abord séparer les boîtes les unes des autres, pour les réemboîter ultérieurement. Les conduites manifestées par les enfants ont été classifiées par Meyer en trois stades.

Dans un premier stade (typique des enfants de 1 1/2 à 2 1/2 ans), les enfants ne manifestent *aucune appréciation de la forme et de la taille des objets* qu'ils cherchent à mettre ensemble.

Dans un deuxième stade (typique des enfants de 3-3 1/2 ans), les enfants parviennent à tenir deux boîtes en prolongement l'une de l'autre et à les presser l'une contre l'autre en leur faisant subir un mouvement de rotation jusqu'à ce qu'elles s'emboîtent. Durant ce stade, l'enfant apprend à ajuster les formes les unes aux autres; il "*n'est pas conscient à l'avance de toutes les relations*", *mais il s'adapte à elles au cours de ses expérimentations*. Il ne parvient pas à venir à bout de la série sans faire d'erreurs. Sa capacité de planification est limitée.

Dans un troisième stade (typique des enfants de 4-4 1/2 ans), les enfants parviennent à choisir les boîtes de tailles correctes avant de les emboîter; ils *planifient à l'avance* leurs actions et ne s'ajustent plus seulement empiriquement.

Nous avons pris la peine de restituer la description donnée par Edith Meyer en 1940 parce qu'elle nous paraît très actuelle; seul le vocabulaire a changé: on parlerait aujourd'hui en termes de feedback et de feedforward.

Trente ans plus tard, Greenfield, Nelson et Saltzman (1972) étudient à leur tour la sériation de tasses de tailles différentes chez les enfants de 11 à 36 mois, en faisant un parallèle entre le développement des stratégies de sériation et le développement de certaines constructions

grammaticales. Ces auteurs établissent aussi un parallèle entre les stades qu'ils ont décrits entre 1 et 3 ans et ceux décrits par Piaget et Szeminska entre 4 et 8 ans.

Dans cette expérience, cinq tasses de section circulaire ont été utilisées. Au lieu de donner à l'enfant les tasses déjà encastrées comme le faisait Meyer, l'expérimentateur montre à l'enfant comment les emboîter en insérant la plus petite dans la seconde, puis ces deux-ci dans la troisième et ainsi de suite (stratégie généralement considérée comme la plus évoluée). Après la démonstration, les cinq tasses sont placées séparément en face de l'enfant. Trois stratégies différentes ont été identifiées.

Dans la première stratégie (typique des enfants de 1 an), une tasse unique est placée dans ou sur une autre tasse et le plus souvent immédiatement retirée. L'enfant construit ainsi une paire ou des paires successives de tasses. Cette stratégie est comparée à celle décrite par Piaget et Szeminska (1952) dans laquelle l'enfant fait une division des bâtons entre "petit" et "grand".

Dans une deuxième stratégie appelée la méthode de la marmite ou méthode de la mise en pot (typique des enfants de 2 ans), deux tasses ou plus sont placées dans ou sur une autre tasse. L'enfant prend donc successivement un certain nombre de tasses qu'il place dans ou sur une tasse dont l'emplacement n'est pas modifié. Cette stratégie est comparée à celle décrite par Piaget chez les enfants de 5-6 ans qui ne réussissent pas l'épreuve de la baguette intercalaire, et qui construisent leurs séries avec une méthode dite d'essais et d'erreurs.

Dans une troisième stratégie (typique des enfants de 3 ans) appelée méthode des sous-ensembles ou sous-assemblages, l'encastrement ou l'empilement de deux ou trois tasses est déplacé à son tour comme une unité dans ou sur une autre tasse. La caractéristique distinctive de cette stratégie est que chaque tasse ou groupe de tasses peut remplir successivement la double fonction d'être celle sur laquelle on place une autre tasse ou celle qu'on place sur une autre. Cette stratégie a été mise en parallèle avec la réussite à l'épreuve dite de l'élément intercalaire, constitutive du troisième et dernier stade identifié par Piaget.

Entre les stades décrits par Meyer (1940) et ceux décrits par Greenfield et al., (1972), un décalage d'environ une année existe. Nous pensons que ce décalage est dû en partie tout au moins au matériel, d'une part, et à la méthode, d'autre part. Relativement au matériel, il est assurément plus difficile d'encastrer des boîtes à section triangulaire que circulaire; relativement à la méthode, il est certain que la démonstration réalisée par Greenfield et al., sans déterminer les stratégies utilisées par l'enfant, a certainement maximisé les performances de l'enfant. C'est ce que souhaitaient d'ailleurs explicitement les auteurs. Si nous attirons l'attention sur ce décalage d'une année dans l'âge moyen de réussite à deux versions différentes d'une même situation, c'est pour relativiser un peu les âges que nous mentionnons, de façon à ce qu'ils ne soient pas considérés comme trop rigides. Quoi qu'il en soit, il apparaît possible de conclure qu'entre 3 et 4 ans, les enfants parviennent à réaliser des emboîtements d'éléments avec des stratégies évoluées, dans lesquelles ils planifient à l'avance ou anticipent la succession des actions à effectuer. Une telle performance est proche si ce n'est équivalente à celle des enfants de 8 à 9 ans dans la sériation des baguettes, telle que décrite par Piaget.

En ce qui concerne les inférences transitives, plusieurs auteurs considèrent aussi les enfants de 3 à 4 ans capables de tels jugements (Bryant et Trabasso, 1971; de Boyssens-Bardies et O'Reggan, 1973; Harris et Basset, 1975; Riley et Trabasso, 1974). Pour d'autres auteurs, la réussite se situerait plutôt vers 4 1/2-5 ans (Halford et Kelly, 1984). Des différences d'interprétation importantes opposent ces divers auteurs. Pour une revue de question détaillée, on consultera Breslow (1981; Breslow et al., sous presse).

Comme pour les classifications, on retrouve pour les habiletés de sériation, ainsi que pour les inférences transitives, des recherches qui ont montré les limites des "réussites" ou de la compréhension manifestées par les enfants de 8 et 9 ans, en étudiant ce que l'on a appelé les incompétences tardives (Bullinger, 1973; Gilliéron, 1976; Retchitzki, 1978). Grâce à des techniques astucieuses de masquage qui suppriment les indices perceptifs que pourrait utiliser l'enfant, certains décalages horizontaux comme ceux entre la sériation des longueurs et des poids disparaissent (à propos des décalages, cf. aussi Montangero, 1980). D'autre part, en fonction des conditions expérimentales, il faut parfois attendre l'âge de 10 ou 11 ans, voire de 12 ans, pour obtenir la réussite de certains items par la stratégie dite du plus grand, considérée comme la plus évoluée. Signalons toutefois, pour terminer, un article de Retchitzki (1982) qui met en évidence une variabilité importante dans les stratégies utilisées pour la résolution des tâches de sériation, y compris à un même niveau de développement.

Pour les habiletés de classification et de sériation ainsi que pour l'inclusion et la transitivité, deux niveaux de réussite nettement distincts se dégagent de l'ensemble des recherches. Un premier niveau situé autour de 3-4 ans et un second niveau autour de 9-11 ans, compte tenu d'une certaine variabilité liée aux conditions expérimentales. Du point de vue des explications, la plupart des auteurs invoquent l'existence de structures mentales. Mais alors que pour certains il y a *transformation structurale* entre ces deux niveaux, hypothèse à la Piaget soutenue en particulier par Breslow (1981), pour d'autres il y a *invariance structurale*, l'explication des changements devant être recherchée ailleurs. Pour les auteurs favorables à la thèse de l'invariance structurale, l'enfant aurait donc très tôt les compétences logiques ou structurales pour résoudre les tâches de classification et de sériation.

Plusieurs hypothèses ont été avancées pour expliquer les changements qui surviennent entre ces deux niveaux, à savoir:

- la capacité d'appliquer ces compétences logiques déjà présentes à des domaines de plus en plus complexes augmenterait avec l'âge (Gelman et Baillargeon, 1983)
- les capacités de mémoire ou de langage se modifieraient avec l'âge (Trabasso, 1975, 1977)
- la capacité de prise de conscience relativement aux relations catégorielles, exigée dans certaines tâches, augmenterait (Mandler 1983)
- les capacités de codage de l'enfant se transformeraient (Mounoud, 1981).

Dans la solution que nous proposons, le premier niveau de réussite, celui de 3-4 ans, pourrait être considéré comme l'achèvement de l'élaboration réalisée au moyen du système de codage que nous avons appelé "perceptif"; le deuxième niveau, celui de 9-10 ans, comme l'achèvement de l'élaboration réalisée au moyen d'un système de codage que nous avons appelé "conceptuel". Antérieurement, nous avons situé l'achèvement de l'organisation "perceptive" autour de l'âge de deux ans. Nous serions actuellement plus enclin à considérer les réussites des enfants de 3-4 ans comme l'achèvement tardif de l'élaboration perceptive et non pas comme un premier niveau relatif au codage dit conceptuel.

2. LES HABILITES MOTRICES

Envisageons maintenant le développement des habiletés motrices. Une habileté motrice peut être considérée comme la capacité à organiser les aspects spatio-temporels et physiques d'un mouvement et de ses différentes composantes (parties, unités, strokes) en relation (ou en correspondance) avec les aspects spatio-temporels et physiques d'une situation donnée. Une des façons de mettre en évidence de telles organisations est basée sur la recherche d'invariants ou de variations systématiques des paramètres du mouvement impliqué dans l'habileté motrice considérée. C'est fondamentalement la méthode qu'avait adoptée Piaget pour l'étude des capacités cognitives de l'enfant. Dans le domaine de la motricité, de nombreux invariants ont été mis en évidence par les psychologues dès la fin du siècle dernier, mais ils ont été le plus

souvent présentés sous forme de lois, de principes, de tendances, telles que la loi de Fitts ou le Principe d'isochronie par exemple, et rarement comme résultant de mécanismes compensatoires produits par un organisme actif et engagé dans une relation d'adaptation à son environnement, incluant le versant perceptif comme le versant moteur.

Comme nous l'avons déjà mentionné, les habiletés motrices que nous allons envisager sont une autre variété d'habileté de sériation. Nous envisagerons tout d'abord la sériation du poids. Ce sont des situations expérimentales dans lesquelles on demande au sujet de soulever des objets de poids et de tailles variables. Les variations de poids peuvent être inférées, en partie tout au moins, à partir des variations de taille. Pour accomplir une telle tâche de façon optimale, il faut que le sujet soit capable de sérier ou de varier la quantité de force développée en fonction des variations de poids des objets, de façon à produire des mouvements plus ou moins équivalents, quel que soit le poids de l'objet. En d'autres termes, la durée totale de soulèvement devrait être plus ou moins constante, plus ou moins invariante. Nous avons donc entrepris plusieurs expériences de façon à voir à quels âges les enfants sont capables de telles performances et aussi quelles autres solutions ils présentent pour soulever les objets en relation avec leurs variations de poids de manière à maintenir plus ou moins constant certains paramètres cinématiques de leurs mouvements. Nous ne présenterons pas les premières recherches effectuées chez des bébés de 6 à 16 mois dans des activités de saisie d'objets de poids variables (Mounoud, 1973, 1974; Mounoud et Bower, 1974; Mounoud et Hauert, 1982).

Nous avons étudié ensuite avec Hauert (Hauert, 1980; Hauert et al., 1980, 1981) comment des enfants de 2 à 5 ans soulèvent des objets de poids différents dans la situation dite de sériation. Les enfants devaient soulever trois fois de suite les 5 objets d'une série dans deux conditions différentes avec ou sans butée. Nous mentionnerons seulement que ce sont les enfants de 3 1/2-4 ans qui se sont montrés les plus capables de compenser les variations de poids par des variations correspondantes de certains paramètres de leur mouvement. Toutefois ces compensations sont relatives et partielles. Dans la condition sans butée, ils ne parvenaient à maintenir constant que l'amplitude de leurs mouvements, les autres paramètres variant proportionnellement aux variations de poids. Dans la condition avec butée, c'est-à-dire lorsque l'amplitude était imposée, ils parvenaient à maintenir constante la durée de leur mouvement. C'est à cet âge que la proportion des mouvements continus (selon les critères de Brooks, Cooke et Thomas, 1973) est la plus élevée, de l'ordre de 80%. La production de mouvements continus est généralement interprétée comme un signe de programmation, de planification de l'action en tant que totalité.

On retrouve donc dans la version habileté motrice du problème de la sériation cet âge de 3 à 4 ans caractéristique d'une étape où les performances de l'enfant atteignent une apogée, un optimum comme c'était le cas pour les sériations envisagées comme habiletés cognitives.

Nous présenterons de façon un peu plus détaillée certains résultats obtenus dans une recherche réalisée avec les enfants de 6 à 9 ans et des adultes en collaboration avec Gachoud (Gachoud, 1984; Gachoud et al., 1983).

Les sujets étaient 40 garçons âgés de 6 à 9 ans et 10 adultes de sexe masculin. Ils étaient assis en face de l'objet à saisir avec leur avant-bras posé horizontalement sur la table et la main semi-prone tenait l'objet. Les objets à soulever étaient des parallélépipèdes de section carrée constante (4 x 4 cm) et de hauteur variant entre 3 et 19 cm (augmentation régulière de 2 cm). Le mouvement demandé était une simple flexion de l'avant-bras pour amener le poignet en contact avec une butée fixe, le coude restant en contact avec la table. Les sujets étaient libres de choisir le moment d'initiation de leur soulèvement ainsi que la vitesse de leur mouvement. On leur demandait de produire des mouvements de la façon la plus naturelle. Les objets à

soulever étaient attachés à une tige connectée à un potentiomètre rotatif. Les activités électromyographiques de surface des principaux muscles agonistes et antagonistes ont été enregistrées.

Les adultes soulevaient six fois de suite la série entière des neuf objets, du plus léger au plus lourd. Les enfants ne soulevaient que les sept objets plus légers de la série de la même manière que les adultes.

Pour résumer les résultats, signalons tout d'abord que la performance des adultes est caractérisée par une tendance nette à l'*invariance* par rapport aux changements considérables dans les conditions extérieures. La partie inférieure de la figure 1 illustre cette tendance. On voit que le temps d'apparition du premier maximum d'accélération ($Ta1$), du premier maximum de vitesse (Tv) et la durée totale du mouvement (Td) ne varient pas avec le poids des objets. Seul le temps d'apparition du deuxième maximum d'accélération ($Ta2$) varie avec le poids des objets.

La figure 1 présente également les mêmes données temporelles des paramètres cinématiques pour les 4 groupes d'âge étudiés. Pour les enfants de 6 ans, 8 ans et 9 ans, les temps d'apparition de tous les paramètres sont constants. Bien que les tendances ne soient pas statistiquement significatives, les paramètres de durée totale du mouvement (Td) augmentent plus, en fonction du poids des objets, pour les enfants de 6 ans et de 8 ans que pour les enfants de 9 ans. Pour les enfants de 7 ans, les dates d'apparition de $Tv1$ et $Ta2$ sont constantes. Les dates d'apparition du premier maximum d'accélération ($Ta1$) décroissent linéairement avec le poids des objets alors que le paramètre de durée totale du mouvement (Td) croît linéairement avec le poids. Les différentes phases du mouvement (accélération et décélération) ne sont pas complètement coordonnées. Si l'on prend en considération d'autres paramètres tels que les amplitudes des maximums de vitesse et d'accélération et les activités électromyographiques, il apparaît clairement que c'est le groupe des enfants de 9 ans qui maîtrise la tâche de façon optimale; les variations de poids sont compensées dans la totalité du mouvement, c'est-à-dire aussi bien dans la phase d'accélération que dans la phase de décélération.

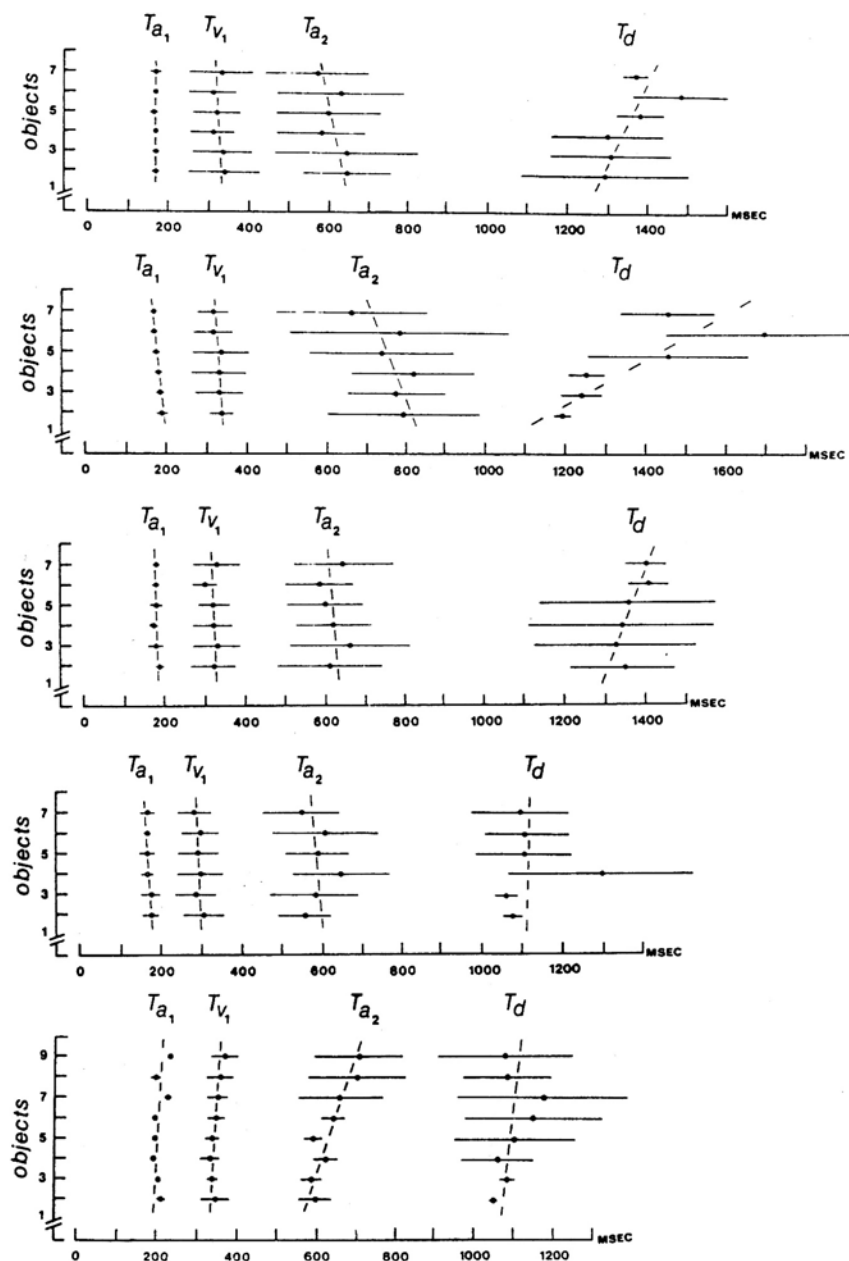


Figure 1: Dates d'apparition des maximums de vitesse et d'accélération (voir texte) dans une tâche de sériation de soulèvement d'objets. A partir du haut de la figure: 6, 7, 8, 9 ans et sujets adultes. Les traits horizontaux représentent les écarts-types.

Nous ne discuterons pas les différences entre les enfants et les adultes, ce qui a fait l'objet d'un récent article (Gachoud et al., 1983). Il est suffisant ici de souligner les performances du groupe des 7 ans qui présentent simultanément une *surcompensation* par rapport à l'augmentation du poids dans la phase initiale d'accélération du mouvement, suivie d'une *compensation très partielle* pour la phase de décélération. De telles données montrent la nature des réglages ou des mises en relation qui s'effectuent à cette étape du développement entre les caractéristiques spatio-temporelles des mouvements de soulèvement et les propriétés des objets sur lesquels ils s'appliquent. Ces réglages sont de nature comparable à ceux qui s'effectuent dans le domaine des habiletés de classification (l'établissement des relations entre classes hiérarchiques).

Comme pour les habiletés cognitives, nous pensons que pour les habiletés motrices l'âge de 9 ans caractérise un optimum. Cet optimum est certainement relatif en partie à la nature de la tâche. Il est évident que si l'on faisait par exemple soulever les objets dans un ordre aléatoire, il faudrait probablement étudier des enfants plus âgés pour trouver des compensations comparables à celles manifestées par les enfants de 9 ans.

Pour terminer, nous allons encore brièvement restituer les principaux résultats obtenus dans une recherche en cours sur le développement des activités graphomotrices (en collaboration avec Viviani, Corbetta et Hauert). Il s'agit encore d'une épreuve de sériation "motrice", dans laquelle on demande aux sujets de dessiner des cercles de périmètres variables, allant du plus petit au plus grand.

A la fin du siècle dernier, Binet et Courtier (1893) avaient mis en évidence plusieurs invariants dans l'organisation des mouvements graphiques de l'adulte. Ils avaient montré en particulier l'existence d'une relation directe entre la grandeur d'une figure et la vitesse avec laquelle elle était tracée, ce qui, d'après ces auteurs, implique une invariance relative du temps total d'exécution de cette figure, quelle que soit sa taille. L'étude de cet invariant a été reprise récemment par Viviani et Terzuolo (1982) qui lui ont donné le nom de "principe d'isochronie". Ils ont montré que le paramètre pertinent de la figure qui est directement lié à la vitesse tangentielle correspond à l'extension linéaire totale de la trajectoire, quelles que soient la taille et la forme de la figure. Un trait frappant de cette régulation compensatoire en vitesse chez les adultes, noté par Binet et Courtier, est son indépendance relativement aux feedback visuels ainsi que sa nature apparemment involontaire. On pourrait penser qu'il s'agit là d'une propriété inhérente au système neuromusculaire et indépendante de toute expérience adaptative, de tout traitement actif de la part du sujet, de tout développement.

Pour élucider ce problème, nous avons demandé à des enfants de 5 à 9 ans de dessiner des cercles de périmètre variable. Ils utilisaient un stylo de type plume d'Edison qui brûle le papier à une fréquence constante, de façon à pouvoir définir les paramètres spatio-temporels de leurs productions. On montrait tout d'abord aux enfants une feuille modèle sur laquelle quatre cercles avaient été dessinés en ordre de grandeur décroissant (périmètres respectifs de 24 cm, 18 cm, 12 cm, 6 cm). On demandait alors à l'enfant de dessiner quatre cercles équivalents aux modèles sur une feuille vierge, soit avec contrôle visuel, soit sans contrôle visuel (ordre contrebalancé). Dix garçons par groupe d'âge ont été étudiés. Examinons tout d'abord les données relatives à l'amplitude du mouvement, c'est-à-dire relatives à la sériation des périmètres.

La figure 2 montre les valeurs moyennes des périmètres des quatre cercles produits dans les conditions avec et sans contrôle visuel. Dans tous les cas, les amplitudes du mouvement sont clairement corrélées avec les tailles des modèles. Mais, en terme d'erreur (erreur quadratique entre modèle et mouvement produit), ce sont les enfants de 8 ans, dans la condition avec contrôle visuel, qui ont la meilleure performance, suivis par les enfants de 5 ans dans la même condition. Enfin, ce sont les enfants de 7 ans qui ont la plus grande erreur absolue. Toutefois si l'on considère les résultats du point de vue de la *régularité* des rapports entre les cercles de la série produite (ce qu'on pourrait appeler l'erreur relative), ce sont les enfants de 7 ans qui présentent les meilleures performances dans la condition sans contrôle visuel. Ils cherchent à maintenir presque invariante la différence entre les cercles successifs, telle qu'elle l'est dans la série modèle. C'est également à cet âge que les cercles produits sont les plus réguliers du point de vue de leur courbure.

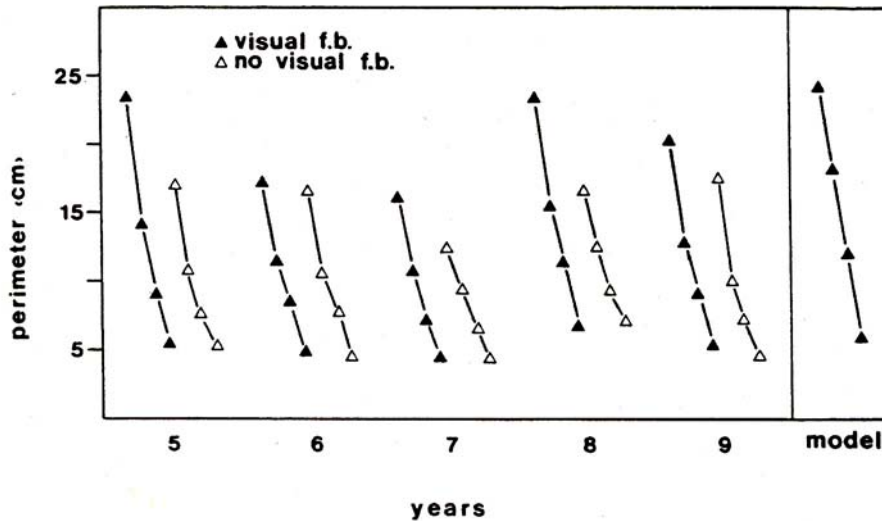


Figure 2: Relation entre les valeurs moyennes théoriques (modèle) et expérimentales du périmètre dans chaque condition.

Si l'on examine maintenant la tâche du point de vue du principe d'isochronie, on peut observer, dans la Figure 3, qu'à tout âge et dans toutes les conditions expérimentales, il existe une corrélation linéaire entre le périmètre de la figure et la vitesse d'exécution du tracé.

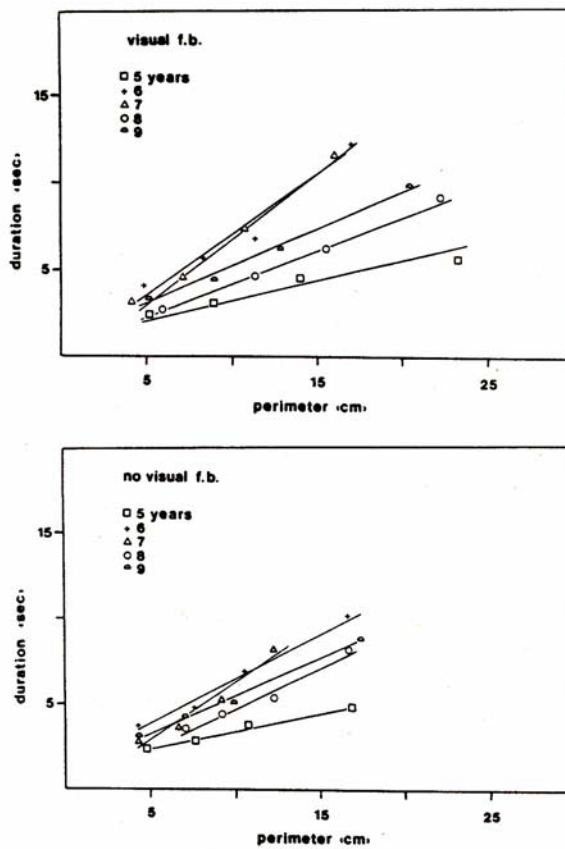


Figure 3: Relation (régression) entre le périmètre et la durée.

Néanmoins la pente de la régression varie avec l'âge. Chez les enfants de 5 ans, la compensation en vitesse, c'est-à-dire l'isochronie, est plutôt bonne. Par contre chez les enfants de 6 et 7 ans, la durée augmente proportionnellement à la taille des cercles produits. A ces âges, l'isochronie est pratiquement absente: les sujets déplacent leurs mains à une vitesse relativement constante et lente. Enfin, à 8 et 9 ans, l'isochronie tend à réapparaître. Dans une autre recherche que nous poursuivons avec Corbetta (Corbetta et Mounoud, 1985) sur le découpage de cercles, nous trouvons des résultats qui vont tout à fait dans le même sens. La facilité avec laquelle on peut produire une figure telle que le cercle sous des conditions biomécaniques différentes est bien connue. Ce fait a souvent été utilisé comme argument en faveur de l'existence de programme ou d'engramme moteur et en faveur surtout de la nature abstraite de ces programmes. Dans cette perspective, il est intéressant de noter que les performances des enfants de 5 ans dans l'exécution de la sériation de cercles révèlent clairement l'existence d'une représentation abstraite du mouvement, permettant au sujet de contrôler en particulier les aspects temporels des mouvements. La représentation des enfants de 6 et 7 ans diffère de celle des 5 ans dans le sens où elle permet un contrôle des aspects spatiaux des mouvements de sériation au travers d'une stratégie de vitesse constante.

L'évolution des conduites dans cette épreuve de sériation est très comparable à celle obtenue par Hay (1978, 1979, 1984) dans plusieurs de ses expériences, en particulier dans la tâche de pointage en boucle ouverte. Alors que les enfants de 5 ans réalisent des pointages sans erreurs et avec des mouvements rapides et directs, les enfants de 6 et surtout de 7 ans font des erreurs importantes de pointage (sous-estimation) avec des mouvements plus lents et discontinus. Elle observe ensuite une amélioration progressive des pointages entre 8 et 11 ans.

Les changements qui surviennent dans le développement des habiletés motrices autour de l'âge de 7 ans semblent être dus à des exigences accrues de contrôle des différents éléments ou des différentes phases des mouvements. Ces modifications accroissent le degré d'adaptation des actions aux différentes caractéristiques et contraintes des situations dans lesquelles se déroulent ces mouvements. Dans la situation de soulèvement, nous avons vu que l'enfant parvient progressivement à régler plus précisément les phases d'accélération et de décélération de son mouvement. Dans les résultats que Hay présente dans ce volume, elle insiste sur le fait que les enfants de 7 ans tentent de maîtriser l'interruption de leurs actions, en d'autres termes le freinage, phase particulière du mouvement.

Jeannerod (1984, ce volume) soutient que les adultes sont capables de planifier à l'avance, d'organiser de façon complètement intégrée les phases de transport et de saisie de leurs mouvements de préhension. La préhension est organisée comme une totalité au moyen de représentations ou de schémas abstraits construits, appelés par Jeannerod "cartes visuelles" et "cartes proprioceptives". Le mouvement peut de la sorte être produit de manière réussie avec ou sans contrôle visuel. Une des propriétés de cette organisation, c'est précisément l'invariance de la durée des mouvements (isochronie). Jeannerod a montré comment les variations d'amplitude étaient compensées par des variations de vitesse. Une telle compensation pourrait résulter d'activités antérieurement effectuées dans l'ontogenèse de traitement des propriétés des situations et des caractéristiques des mouvements. De ce point de vue, on pourrait comprendre pourquoi, à certaines périodes du développement, ces deux phases du mouvement de préhension, le transport et la saisie, ne sont pas intégrées dans une totalité. Durant ces périodes, l'enfant traite activement les informations relatives à l'amplitude, à la durée, à la vitesse, etc.. des différentes phases de son mouvement et des différentes dimensions de la situation (Mounoud, 1983, in press; Mounoud & Vinter, 1981; Mounoud, Vinter & Hauert, 1985).

3. RELATIONS ENTRE HABILITES COGNITIVES ET MOTRICES

Notre démarche a donc consisté à montrer par l'analyse de certaines habiletés cognitives et motrices une certaine synchronie dans les différentes étapes propres à chacune de ces évolutions et une certaine analogie dans les problèmes rencontrés par l'enfant. Dans notre perspective théorique, cette synchronie et cette parenté démontrent l'existence d'un processus sous-jacent commun à la réalisation de ces différentes tâches. Il s'agit de la *capacité à établir des relations entre les différentes dimensions des objets (ou des situations) et des actions*. Ces mises en relations peuvent être établies en partie ou en totalité, avant le déroulement de l'action, et on parlera alors de *planification à l'avance* de l'action (anticipation), au moyen de représentations centrales abstraites (feedforward). Mais ces relations peuvent aussi être en partie établies et découvertes au cours du déroulement de l'action et l'on parlera alors d'*ajustement empirique* au moyen de boucles de rétroaction ou feedback, toujours combiné à une planification partielle. Ces deux modes de fonctionnement nous semblent confirmer les propositions énoncées en début de l'exposé: "c'est par ce que nous expérimentons au travers de nos actions (ajustement empiriques) que nous élaborons de nouvelles connaissances, de même que c'est par ce que nous connaissons (représentations abstraites) que nos actions sont déterminées (planifiées à l'avance)". Il est toutefois important de considérer que ces activités de planification dépendent de façon critique de processus de développement et d'apprentissage. Dans cette perspective, il n'est plus possible de distinguer différents types d'habiletés. Il y aurait une *Habilité Cognitive* générale à la base de l'acquisition de toutes les habiletés. Elle peut être considérée comme équivalente aux "actions habiles" de Weiner en tant que processus sous-jacents aux connaissances particulières. Précisons bien néanmoins que les connaissances nouvelles ne proviennent pas simplement d'informations prélevées sur le milieu. Elles impliquent l'*ajustement* de ces informations aux schémas antérieurement constitués. Il y a donc toujours une connaissance initiale qui permet la planification de l'action, planification suivie ou non d'ajustement. Nous avons vu que les activités de mise en relation interviennent aussi bien dans les habiletés motrices que cognitives et dans leur développement.

La question à soulever maintenant est la suivante: est-ce que les habiletés motrices nécessitent moins d'actions habiles, de "skilled actions", moins de capacités générales de traitement que les habiletés cognitives ? Notre réponse est clairement négative. On nous objectera peut-être d'avoir choisi pour notre démonstration des habiletés "motrices" qui nécessitent particulièrement des activités de mise en relation pour être résolues. Mais quelles sont les activités motrices qui ne feraient pas intervenir de telles activités cognitives ? La pratique de quel instrument de musique ou de quel sport échapperait-elle à l'intervention d'activités de ce type ? Prenons comme exemple la course d'élan dans le saut en longueur (Laurent, 1981; Lee, Lishman & Thomson, 1982). Il a été montré comment les foulées peuvent être considérées comme *sérialées* ou *ordonnées* à partir de la dernière. Comme dans une tâche cognitive telle que la sériation, il s'agit toujours de parvenir à sérier certains paramètres des actions (des intensités, des durées, etc) en fonction de ou en relation avec certaines dimensions des objets et de la situation sur lesquels s'applique l'action.

À ce propos, on soulignera à nouveau le caractère inconscient de ces activités. Nous avons pris soin, en commençant notre exposé, de rejeter l'équation "activités cognitives=activités conscientes". L'être humain est inconscient de la plupart des opérations, des traitements effectués dans n'importe quelle tâche, qu'elle soit cognitive, motrice ou affective.

Une autre objection consistera à dire que lorsqu'un comportement est précisément devenu une habileté, il n'intervient plus d'activités cognitives. En d'autres termes, les activités cognitives joueraient un rôle seulement dans l'acquisition d'une habileté. Lorsque celle-ci est constituée,

le comportement serait "irréfléchi". Il s'agit là d'un des grands problèmes de la psychologie contemporaine, celui de l'automatisation des conduites. On remarquera d'ailleurs que s'il est usuel de parler de comportement "irréfléchi" pour une habileté constituée, il est rare de parler de comportement réfléchi lors des phases d'acquisition d'une habileté. On dira plutôt qu'il est activement contrôlé ou corrigé. Il demeure néanmoins évident qu'une conduite en cours d'élaboration est plutôt lente et maladroite, alors qu'une conduite maîtrisée est rapide et élégante.

Or les psychologues ont associé pendant des années - et certains associent toujours - le temps de réponse avec la complexité des traitements effectués. Il est évident qu'avec un tel point de vue on ne peut qualifier le champion sportif et le virtuose que d'irréfléchis ! Il semble impératif que les psychologues révisent quelques-uns de leurs points de vue, de façon à ne pas être qualifiés à leur tour d'incompétents !

Le développement moteur comme le développement cognitif ont été considérés au cours de ce siècle comme basés principalement sur une capacité fondamentale à regrouper ou à coordonner des conduites ou segments de conduite, appelés sous-routines ou représentations élémentaires et partielles, dans des organisations plus larges ou des conduites plus complexes qui les coordonnent (voir Bernstein, Piaget et Bruner). Ces opérations de coordination (ou chunk) entraînent fondamentalement un gain de temps et un gain de "place" mémoire, et peuvent être considérées comme la base du processus d'automatisation. Il n'est bien entendu pas possible d'imaginer qu'un tel processus intégratif diminue ou restreigne l'importance des traitements. Il les simplifie et les raccourcit. Dans ce sens, il y aurait plutôt augmentation de la réflexion que diminution. Sans sous-estimer l'importance de ce mécanisme fondamental, nous avons personnellement mis davantage l'accent dans nos travaux et nos réflexions sur un processus complémentaire, celui de la dissociation, décomposition ou segmentation d'une conduite initiale complexe en conduites élémentaires. Ce processus est de fait souvent négligé ou ignoré par les théories du développement.

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie chaleureusement Daniella Corbetta, Claude-Alain Hauert, Marie-Paule Michiels, Annie Vinter, Paolo Viviani, Angela Wells-Cornu et Pier-Giorgio Zanone pour leur aide, ainsi que Mary Smith et Michael Wade pour leurs commentaires et réactions durant la Conférence de Maastricht.

BIBLIOGRAPHIE

- Arbib, M.A. (1980). Perceptual structures and distributed motor control. In V.B. Brooks (Ed.), *Handbook of Physiology (vol. III): Motor Control*. Bethesda, Maryland: The American Physiological Society.
- Bartlett, F.C. (1958). *Thinking*. New York: Basic Books.
- Beilin, H. (1983). The new functionalism and Piaget's program. In E. Scholnick (Ed.), *New trends in conceptual representation: challenges to Piaget's theory?* (pp. 3-40). Hillsdale: Erlbaum.
- Bideaud, S. (1979). Etude génétique de la quantification en situation d'emboîtements concrets. *Enfance*, 2, 133-148.
- Binet, A., & Courtier, J. (1893). Sur la vitesse des mouvements graphiques. *Revue Philosophique*, 35, 664-671.
- Boysson-Bardies, B. de, & O'Regan, K. (1973). What children do in spite of adults' hypotheses. *Nature*, 246, 531-534.

- Breslow, L. (1981). Reevaluation of the literature on the development of transitive inferences. *Psychological Bulletin*, 89, 325-351.
- Breslow, L., Pastuszek, M., Nosbush, L., & Oakes, L. Structure and process in logical development: transitive inferences. Monograph. In press.
- Brooks, W.B., Cooke, J.D., & Thomas, J.S. (1973). The continuity of movements. In R.B. Stein, K.G. Pearson, R.S. Smith, & J.B. Redford (Eds.), *Control of posture and locomotion (Vol. 7)*. New York: Plenum Press.
- Bryant, P.E., & Trabasso, T.R. (1971). Transitive inferences and memory in young children. *Nature*, 232, 456-458.
- Bullinger, A. (1973). *Comparaison, mesure et transitivité*. Genève: Editions Médecine et Hygiène.
- Case, R. (1985). *Intellectual development: birth to adulthood*. New York: Academic Press.
- Corbetta, D., & Mounoud, P. (1985). Circles cutting out in 6 to 10 year-old children: motor planification and bimanual coordination. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 5, 297. (Abstract Poster Presentation, Eighth Biennial Meeting of the ISSBD).
- Denney, N.W., (1972). A developmental study of free classification in children. *Child development*, 43, 221-232.
- Denney, N.W. (1972). Free classification in preschool children. *Child development*, 43, 1161-1170.
- Fischer, K.W. (1980). A theory of cognitive development: the control and construction of hierarchies of skills. *Psychological Review*, 87, 477-531.
- Fischer, K.W., Roberts, R.J. (1980). A developmental sequence of classification skills in preschool children. Unpublished manuscript. University of Denver.
- Gachoud, J.P. (1983). *Acquisition d'une habileté motrice chez l'enfant de 6 à 9 ans: étude cinématique et électromyographique*. Genève: Imprimerie Nationale.
- Gachoud, J.P., Mounoud, P., Hauert, C.A., & Viviani, P. (1983). Motor strategies in lifting movements: a comparison of adult and children performances. *Journal of Motor Behavior*, 15(3), 202-216.
- Gelman, R., & Baillargeon, R. (1983). A review of some piagetian concepts. In J.H. Flavell & E. Markman (Eds.), *Cognitive development*. Vol. 3 of P. Mussen (Ed.), *Carmichael's manual of child Psychology* (pp. 167-230). New York: Wiley.
- Gelman, R., & Gallistel, C.R. (1978). *The child's understanding of number*. Cambridge: Harvard University Press.
- Gilliéron, C. (1976). Le rôle de la situation et de l'objet expérimental dans l'interprétation des conduites logiques. Les décalages et la sériation. *Archives de Psychologie*, 44, 1-152, (Monogr. 3).
- 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.
- Halford, G.S. & Kelly, M.E. (1984). On the basis of early transitivity judgments. *Journal of experimental child psychology*, 38, 42-63.
- Harris, P.L., & Bassett, E. (1975). Transitive inferences by 4-year-old-children? *Developmental Psychology*, 11, 875-876.
- Hauert, C.A. (1980). Propriétés des objets et propriétés des actions chez l'enfant de 2 à 50 ans. *Archives de Psychologie*, 185(48), 95-169.
- Hauert, C.A., Mounoud, P., Mayer, E., & Erkohen, M. (1980). Programmation des activités de soulèvement d'objets chez l'enfant de 2 à 5 ans. In J. Requin (Ed.), *Anticipation et comportement* (pp. 335-343). Paris: Editions du C.N.R.S.
- Hauert, C.A., Mounoud, P., & Mayer, E. (1981). Approche du développement cognitif de l'enfant de 2 à 5 ans à travers l'étude des caractéristiques physiques de son action. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 1, 33-54.

- Hay, L. (1978). Accuracy of children on an open-loop pointing task. *Perceptual and Motor Skills*, 47, 1079-1082.
- Hay, L. (1979). Spatio-temporal analysis of movements in children: motor programs versus feedback in the development of reaching. *Journal of Motor Behavior*, 11(3), 189-200.
- Hay, L. (1984). Discontinuity in the development of motor control in children. In W. Prinz & A.F. Sanders (Eds.), *Cognition and motor processes* (pp. 351-360). Berlin: Springer-Verlag.
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1964). *The early growth of logic in the child*. New York: Norton. (Original french version: 1959)
- Jeannerod, M. (1984). The timing of natural prehension movements. *Journal of Motor Behavior*, 16(3), 235-254.
- Langer, J. (1980). *The origins of logic: six to twelve months*. New York: Academic Press.
- Laurent, M. (1981). Problèmes posés par l'étude du pointage locomoteur d'une cible visuelle. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 2, 173-197.
- Lautrey, J., Ribaupierre, A. de, & Rieben, L. (1981). Le développement opératoire peut-il prendre des formes différentes chez des enfants différents ? *Journal de Psychologie*, 4, 421-443.
- Lee, D.N., Lishman, J.R., & Thomson, J.A. (1982). Regulation of gait in long jumping. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8(3), 448-459.
- Mandler, J.M. (1983). Representation. In J.H. Flavell & E. Markman (Eds.), *Cognitive development*. Vol. 3 of P. Mussen (Ed.), *Carmichael's manual of child psychology* (pp. 420-494). New York: Wiley.
- Markman, E.M. (1973). Facilitation of part-whole comparisons by use of the collective noun "family". *Child development*, 44, 837-840.
- Markman, E.M. (1978). Empirical versus logical solutions to part-whole comparison problems concerning classes and collections. *Child development*, 49, 168-177.
- Markman, E.M., & Siebert, J. (1976). Classes and collections. Internal organization and resulting holistic properties. *Cognitive Psychology*, 8, 561-577.
- Markman, E.M., Horton, M.S., & Mc Lanahan, A.G. (1980). Classes and collections: principles of organization in the learning of hierarchical relations. *Cognition*, 8, 227-241.
- Meyer, E. (1940). Comprehension of spatial relations in preschool children. *The Journal of Genetic Psychology*, 57, 119-151.
- Montangero, J. (1980). The various aspects of horizontal decalage. *Archives de Psychologie*, 48, 259-282.
- Mounoud, P. (1970). *Structuration de l'instrument chez l'enfant*. Neuchâtel & Paris: Delachaux & Niestlé.
- Mounoud, P. (1973-74). Les conservations physiques chez le bébé. *Bulletin de Psychologie*, 312(13-14), 722-728.
- Mounoud, P. (1974). La construction de l'objet par le bébé. *Bulletin d'Audiophonologie*, 4, 419-438.
- Mounoud, P. (1976). Les révolutions psychologiques de l'enfant. *Archives de Psychologie*, 171, 103-114.
- Mounoud, P. (1981). Cognitive development: Construction of new structures or construction of internal organizations. In I.E. Sigel, D.M. Brodzinsky, & R.M. Golinkoff (Eds.), *New directions in Piagetian theory and practice* (pp. 99-114). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum.
- Mounoud, P. (1983). L'évolution des conduites de préhension comme illustration d'un modèle du développement. In S. de Schoenen (Ed.), *Les débuts du développement* (pp. 75-106). Paris: P.U.F.

- Mounoud, P. (1985). Similarities between developmental sequences at different age periods. In I. Levin (Ed.), *Stage and structure* (pp. 40-58). Norwood: Ablex.
- Mounoud, P. L'utilisation du milieu et du corps propre par le bébé. In J. Piaget, P. Mounoud, & J.P. Bronckart (Eds.), *La Psychologie* (pp. 563-601). Encyclopédie de la Pléiade, Paris: Gallimard. (in press)
- Mounoud, P., & Bower, T.G.R. (1974). Conservation of weight in infants. *Cognition*, 3(1), 29-40.
- Mounoud, P., & Hauert, C.A. (1982). Development of sensori-motor organization in young children: grasping and lifting objects. In G. Forman (Ed.), *Action and thought: from sensori-motor schemes to symbolic operations* (pp. 3-35). New York: Academic Press.
- Mounoud, P., & Vinter, A. (1981). Representation and sensori-motor development. In G. Butterworth (Ed.), *Infancy and Epistemology: an evaluation of Piaget's theory* (pp.200-235). Brighton: The Harvester Press.
- Mounoud, P., Vinter, A., & Hauert, C.A. Activités manuelles et développement cognitif. In P.M. Baudonnière (Ed.), *Etudier l'enfant de 0 à 3 ans*. Paris: Editions du C.N.R.S. (in press).
- Piaget, J. (1946). *Le développement de la notion de temps chez l'enfant*. Paris: P.U.F.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1974). *The child's construction of quantities*. London: Routledge & Kegan Paul. (Original french version: 1941).
- Piaget, J., & Szeminska, A. (1952). *The child's conception of number*. London: Routledge & Kegan Paul. (Original french version: 1941).
- Pick, H.L. (1984). Cognition and action in development: a tutorial discussion. In W. Prinz & A.F. Sanders (Eds.), *Cognition and motor processes* (pp. 309-325). Berlin: Springer-Verlag.
- Prinz, W., & Sanders, A.F. (1984). *Cognition and motor processes*. Berlin: Springer-Verlag.
- Retschitzki, J. (1978). L'évolution des procédures de sériations. *Archives de Psychologie*, 46, Monographie 5.
- Retschitzki, J. (1982). Vers l'explication de la variabilité des stratégies de sériation. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 2(1), 3-17.
- Ribaupierre, A. de, Rieben, L., & Lautrey, J. (1985). Horizontal decalages and individual differences in the development of concrete operations. In V.L. Shulman, L.C. Restaino-Baumann & L. Butler (Eds.), *The future of piagetian theory. The Neo-Piagetians* (pp. 175-200). New York: Plenum Press.
- Rieben, L., Ribaupierre, A. de, & Lautrey, J. (1983). *Le développement opératoire de l'enfant entre 6 et 12 ans*. Paris: Editions du C.N.R.S.
- Riley, C.A., & Trabasso, T.R. (1974). Comparatives, logical structures and encoding in a transitive inference task. *Journal of Experimental Child Psychology*, 17, 187-203.
- Rosch, E., Mervis, C.B., Gray, W.D., Johnson, D.M., & Boyes-Braem, P. (1976). Basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology*, 8, 382-439.
- Scholnick, E.K. (1983). *New trends in conceptual representation: Challenges to Piaget's theory?* Hillsdale: Erlbaum.
- Shaw, R., & Bransford, J. (1977). *Perceiving, acting and knowing. Toward an ecological Psychology*. Hillsdale: Erlbaum.
- Smith, C.L. (1979). Children's understanding of natural language hierarchies. *Journal of Experimental Child Psychology*, 27, 437-458.
- Smith, L.B. (1984). Young children's understanding of attributes and dimensions: a comparison of conceptual and linguistic measures. *Child Development*, 55, 363-380.
- Sugarman, S. (1979). Product and process in the evaluation of early preschool intelligence. *The Quarterly Newsletter of the Laboratory of Comparative Human Cognition*, 1, 17-22.
- Sugarman, S. (1981). The cognitive basis of classification in very young children: an analysis of object-ordering trends. *Child Development*, 52, 1172-1178.

- Sugarman, S. (1983). *Children's early thought. Developments in classification*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Thornton, S. (1982). Challenging "early competence": a process oriented analysis of children's classifying. *Cognitive Science*, 6, 77-100.
- Trabasso, T.R. (1975). Representation, memory and reasoning: how do we make transitive inferences? In A.D. Pick (Ed.), *Minnesota Symposia on child psychology* (Vol.9). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Trabasso, T.R. (1977). The role of memory as a system in making transitive inferences. In V. Kail & J.W. Hagen (Eds.), *Perspectives on the development of memory and cognition* (pp. 333-366). New York: Halsted.
- Trevarthen, C. (1984). Biodynamic structures, cognitive correlates of motive sets and the development of motive in infants. In W. Prinz & A.F. Sanders (Eds.), *Cognition and motor processes* (pp. 327-350). Berlin: Springer-Verlag.
- Viviani, P., & Terzuolo, C. (1982). The organization of movement in handwriting and typing. In B. Butterworth (Ed.), *Language production (Vol. 2): Production of language in non-speech modalities*. London: Academic Press.
- Weimer, W.B. (1977). A conceptual framework for cognitive psychology: motor theories of the mind. In R. Shaw & J. Bransford (Eds.), *Perceiving, acting and knowing* (pp.267-311). Hillsdale: Erlbaum.
- Winer, G.A. (1980). Class-inclusion reasoning in children: a review of the empirical literature. *Child Development*, 51, 309-328.