

3. Les théories néo-piagésiennes

Jacques Lautrey

Les années soixante-dix ont vu la multiplication des critiques adressées à la théorie de Piaget. Une des critiques majeures portait sur l'idée que toute situation nouvelle puisse être assimilée par un système universel d'opérations logiques formant, à chaque stade du développement, une structure de portée générale. L'ampleur des décalages « horizontaux » observés entre des acquisitions faisant en principe appel à une même structure opératoire, mais portant sur des contenus différents, mettait sérieusement en question la généralité de ces structures (Tuddenham, 1971). Les cas de décalages dont le sens était différent selon les individus (par exemple, stade de développement dans le domaine de l'espace plus avancé que le stade de développement dans le domaine de la logique chez certains, alors que le décalage était de sens inverse chez d'autres), mettaient en question le caractère universel du cheminement développemental (Lautrey, Rieben & de Ribaupierre, 1986). Une autre critique fondamentale adressée à la théorie était de décrire une succession de structures cognitives de plus en plus puissantes, mais d'échouer à expliquer comment une structure plus puissante pouvait être construite en s'appuyant sur une structure moins puissante (Fodor, 1979).

La recherche de solutions aux problèmes auxquels la théorie de Piaget était confrontée a donné naissance à de nombreux modèles alternatifs du développement qui se sont inspirés d'autres courants théoriques, notamment celui du traitement de l'information qui émergeait précisément dans les années soixante-dix. Parmi ces modèles alternatifs, la particularité de ceux qui sont dits « néo-piagésiens » est d'avoir conservé certains concepts qui jouent un rôle central dans la théorie de Piaget, notamment l'option constructiviste et la notion de stade, tout en proposant d'autres interprétations des faits. Leur point commun est de rendre compte des stades du développement par la contrainte qu'une capacité limitée de traitement de l'information exerce sur l'ensemble du fonctionnement cognitif.

La cristallisation de ces modèles en un courant dit « néo-piagésien » date d'un symposium¹ dont les conférences ont été publiées dans un numéro spécial de l'*International Journal of Psychology* en 1987 et reprises dans un ouvrage collectif (Demetriou, 1988). Il n'est pas possible de présenter l'ensemble des modèles néo-piagésiens du développement dans un texte

¹ Ce symposium avait été organisé dans le cadre du congrès de l'association américaine pour la recherche en éducation (AERA) qui s'est tenu à Washington en 1987.

aussi court. Deux d'entre eux, assez représentatifs de cet ensemble, seront détaillés ici, celui de Robbie Case et celui de Juan Pascual-Leone.

3.1. La théorie de Pascual-Leone

Juan Pascual-Leone est le pionnier du courant néo-piagetien. Après une formation en neuropsychiatrie, il est arrivé à Genève en 1960 avec l'objectif de compléter sa formation en suivant les enseignements de psychologie et en préparant une thèse de doctorat sous la direction de Piaget.

Pour comprendre la position critique que Pascual-Leone a assez rapidement adoptée vis à vis de la théorie piagétienne, il faut s'arrêter un instant sur une des caractéristiques des situations imaginées par Piaget pour étudier le développement cognitif. Il s'agit le plus souvent de situations-pièges qui activent chez l'enfant un schème trompeur (misleading). L'épreuve de conservation où le liquide contenu dans un verre A est versé dans un verre B plus étroit en est un exemple classique. La montée du liquide à un niveau plus élevé en B qu'en A active un schème figuratif prégnant qui pousse les enfants les plus jeunes à conclure qu'après le transvasement il y a plus de liquide en B qu'en A. Ce schème trompeur est le produit de l'expérience acquise dans les situations où l'enfant a pu observer – avec des verres qui ont généralement la même largeur – que la quantité est fonction de la hauteur du liquide. Généralement pertinent pour évaluer la quantité dans la vie courante, ce schème est trompeur dans l'épreuve de conservation car ici les verres sont de diamètres différents. Il s'agit d'une situation-piège dans la mesure où ce schème trompeur y est plus fortement activé que les schèmes pertinents (centration sur la largeur des verres, représentation de l'action inverse, etc.). Ce type de conflit, dans lequel un schème trompeur est davantage activé que le(s) schème(s) pertinent(s) se retrouve dans la plupart des épreuves piagésiennes car Piaget pensait, à juste titre, que les situations les plus propices à l'observation de l'évolution des structures cognitives sont celles où l'enfant se trompe et doit donc inventer des solutions nouvelles.

La critique que Pascual-Leone adressait à la théorie de Piaget au début des années soixante était de décrire les stades du développement cognitif mais de ne pas expliquer par quels mécanismes l'enfant passe d'un stade à l'autre et, notamment, de ne pas expliquer pourquoi les schèmes trompeurs cessent d'être dominants à un certain moment. Si comme le disait Piaget, « tout schème d'assimilation tend à s'alimenter, c'est à dire à s'incorporer les éléments

extérieurs à lui et compatibles avec sa nature » (1975, p. 13), alors, raisonnait Pascual-Leone (1969, 1987), les schèmes trompeurs aussi bien que les schèmes pertinents sont automatiquement déclenchés par les aspects de la situation qu'ils peuvent assimiler. Lorsque les schèmes trompeurs sont dominants, les schèmes pertinents ne peuvent l'emporter que si le sujet dispose d'une ressource cognitive lui permettant d'activer ces derniers plus fortement que les schèmes trompeurs. Ce raisonnement l'a conduit à faire l'hypothèse que l'activation délibérée de schèmes qui ne sont pas automatiquement déclenchés par la situation requiert une sorte de puissance mentale (« mental power », cf. Pascual-Leone, 1970). Le passage d'un stade de développement au suivant s'expliquerait alors par l'augmentation de cette puissance mentale avec la maturation du système nerveux central : en permettant l'activation simultanée d'un nombre croissant de schèmes, l'accroissement de la puissance mentale permettrait la maîtrise de situations de plus en plus complexes². Il faut souligner qu'au début des années soixante, les modèles du traitement de l'information n'étaient pas encore nés. Parmi les concepts qui lui ont à l'époque inspiré cette notion de puissance mentale, Pascual-Leone (1987) cite entre autres la notion d'énergie mentale chez Spearman, celle de niveau d'énergie chez Luria, celle d'énergie psychique chez Freud et aussi les travaux de l'époque en neurologie sur le rôle de la formation réticulée dans le maintien de la vigilance. Cette notion d'énergie mentale M (pour mental power), antérieure aux modèles du traitement de l'information, peut néanmoins être interprétée dans les termes de ces modèles comme une ressource attentionnelle (voir le chapitre sur l'attention dans le volume de psychologie cognitive).

3.1.1. L'architecture du système cognitif

Selon cette théorie, le système cognitif comporte deux grands niveaux, celui des schèmes et celui des opérateurs (Pascual-Leone, 1987 ; Pascual-Leone et Johnson, 2005).

Comme chez Piaget, l'unité cognitive élémentaire est le schème. Les schèmes sont stockés en mémoire à long terme et tendent à s'appliquer aux aspects de la situation qu'ils peuvent assimiler. Plusieurs types de schèmes sont distingués : comme dans la théorie de Piaget, des schèmes opératifs (impliqués dans la représentation des transformations) et des schèmes

² Pascual-Leone (Cardellini et Pascual-Leone, 2004) raconte qu'en 1963 il soumit à Piaget un mémoire dans lequel il exposait ces vues. Face au désintérêt de Piaget vis à vis de cette proposition d'aménagement de sa théorie, Pascual-Leone envoya son projet de recherche à Witkin en lui demandant s'il accepterait de l'accueillir à dans son laboratoire à New-York. Witkin accepta la proposition et la thèse de Pascual-Leone, dont le directeur restait néanmoins Piaget, fut préparée chez Witkin et néanmoins soutenue à Genève en 1969. Le désaccord persistant de Piaget avec les aménagements de sa théorie proposés par Pascual-Leone conduisit ce dernier à forger le terme « neo-piagétien » dans la première publication présentant son modèle (Pascual-Leone, 1970).

figuratifs (impliqués dans la représentation des états), mais aussi de nouveaux types de schèmes, les schèmes affectifs (qui orientent les conduites) et des schèmes exécutifs (qui assurent la planification et le contrôle de l'activité cognitive).

Le second niveau est celui des opérateurs. Ceux-ci correspondent à des ressources cognitives de portée générale, indépendantes des contenus. Il s'agit de mécanismes fonctionnels qui ne sont pas directement observables (c'est la raison pour laquelle Pascual-Leone qualifie parfois ces opérateurs de « cachés » ou de « silencieux ») mais dont l'effet sur les schèmes détermine les possibilités du système cognitif, un peu comme les caractéristiques du hardware d'un ordinateur, par exemple la capacité de la mémoire vive ou la cadence du processeur, en déterminent les possibilités. Quatre de ces opérateurs sont impliqués dans la gestion de l'attention : M (comme Mental power) dont il a déjà été question, I (comme Interruption ou Inhibition centrale), F (comme Field qui en anglais signifie champ) et les schèmes E (comme Exécutifs). L'opérateur M correspond à la capacité attentionnelle. Sa fonction est d'activer des schèmes pertinents que la situation ne déclenche pas ou de maintenir l'activation de schèmes pertinents lorsque celle-ci tend à décliner. La capacité attentionnelle est supposée dépendre essentiellement de la maturation du système nerveux central et elle détermine le nombre de schèmes distincts qui peuvent être activés simultanément. L'opérateur I correspond aux mécanismes d'inhibition qui permettent d'interrompre l'activation des schèmes trompeurs ou simplement non pertinents pour la tâche en cours. L'opérateur F renvoie aux mécanismes par lesquels certains schèmes sont automatiquement co-activés, ce qui se traduit par des effets de champ comme ceux mis en évidence par la Gestalt dans le domaine de la perception (voir le passage sur la Gestalt. dans le volume de psychologie cognitive, chapitre sur la perception). Enfin, l'opérateur E est constitué par l'ensemble des schèmes exécutifs assurant la planification et le contrôle de la tâche en cours.³

L'ensemble formé par l'interaction de ces quatre opérateurs constitue le système de gestion de l'attention mentale. Dans une situation nouvelle, ce sont d'abord les schèmes affectifs qui définissent l'objectif vers lequel orienter la conduite et qui activent les schèmes exécutifs en charge de la planification des opérations mentales à mettre en œuvre pour atteindre cet

³ Dans la distinction que fait cette théorie entre deux niveaux de l'architecture cognitive, celui des schèmes et celui des opérateurs, les schèmes exécutifs ont un double statut. Ils font bien partie des schèmes stockés en mémoire à long terme, mais à un niveau plus abstrait de la description du fonctionnement cognitif, l'ensemble des schèmes exécutifs en charge du contrôle de la tâche en cours fonctionne comme un opérateur et c'est cet ensemble de schèmes qui constitue l'opérateur E (Pascual-Leone, communication personnelle du 10/04/2006).

objectif. L'opérateur E (c'est à dire l'ensemble des schèmes exécutifs activés par la tâche en cours) détecte les schèmes pertinents ou trompeurs eu égard aux objectifs et mobilise les ressources attentionnelles (opérateur M) pour activer les schèmes pertinents, ainsi que les ressources fournies par l'opérateur I pour inhiber les schèmes non pertinents et les schèmes trompeurs. Les schèmes automatiquement co-activés par l'opérateur F peuvent, selon les cas, faciliter la tâche et donc alléger la charge de l'opérateur M, ou la rendre plus difficile en activant des schèmes non pertinents ou trompeurs, ce qui alors accroît la charge des opérateurs M et I. Une des sources d'inspiration du concept d'opérateur F est le style cognitif de dépendance-indépendance à l'égard du champ mis en évidence par Witkin⁴ (cf. Huteau, 1980). La partie du système de gestion de l'attention mentale constituée par les opérateurs M, I, et E correspond à ce qui, dans d'autres théories, est appelé système superviseur (Shallice, 1995, chap. 14) ou système exécutif central (Baddeley et Hitch, 1974) et elle est supposée être localisée dans les lobes préfrontaux du cerveau. L'opérateur F contribue aussi à l'activation des schèmes mais ne fait pas partie du système exécutif ; il est supposé correspondre aux mécanismes d'inhibition latérale* que l'on trouve dans l'ensemble des régions du cerveau.

A côté des quatre opérateurs (E, M, I, et F) formant le système de l'attention mentale, la théorie en prévoit d'autres qui ne seront pas détaillés ici (voir Pascual-Leone et Johnson, 2005). Mentionnons seulement les deux opérateurs qui sont en charge de l'apprentissage, l'opérateur C (Contenu) et l'opérateur L (Logico-structural). Le premier correspond aux mécanismes en jeu dans l'apprentissage graduel de contenus par association, tandis que le second correspond à l'apprentissage délibéré par la co-activation attentionnelle de schèmes initialement non liés.

3.1.2. Capacité attentionnelle et développement cognitif

⁴En utilisant certaines situations expérimentales inspirées des travaux de la Gestalt, par exemple des tâches dans lesquelles le sujet doit trouver une figure simple qui est intriquée dans une figure complexe, Witkin a montré qu'il existe des différences individuelles importantes dans la dépendance à l'égard du champ perceptif que constitue ici la figure complexe (Witkin, H., Dyk, R.B., Faterson, H.F., Goodenough, D.R., Karp, S.A. (1962). Dans ce type de tâche, la perception de la bonne forme que constitue la figure globale (schème trompeur dans cette tâche) est si prégnante que la perception de la figure simple (schème pertinent) devient difficile. Les sujets dépendants du champ sont ceux qui ne parviennent pas à activer la représentation de la figure simple plus fortement que celle de la figure complexe. Le concept d'opérateur F correspond aux effets de champ qui sont à l'origine de ce style cognitif et les généralise. Il introduit donc dans la théorie développementale de Pascual-Leone des aspects différentiels qui étaient inexistantes dans celle de Piaget. Les travaux Witkin sur la dépendance à l'égard du champ sont une des sources d'inspiration de la théorie de Pascual-Leone (voir note 2).

L'opérateur M a un rôle central dans l'explication du développement cognitif. C'est également celui qui a donné lieu au plus grand nombre d'études expérimentales visant à vérifier les prédictions de la théorie. C'est donc sur cet opérateur que se concentrera la suite de l'exposé. La théorie postule que la capacité attentionnelle augmente avec la maturation du système nerveux central au cours de l'enfance. Plus précisément, le nombre de schèmes pouvant être activés simultanément par l'opérateur M est supposé passer de 1 vers trois ans, à un maximum de 7 vers 16 ans, par l'accroissement d'un schème tous les deux ans environ. Le tableau 2.1 donne la correspondance entre les âges et la puissance d'activation maximale de l'opérateur M, ainsi que la correspondance entre ces différents niveaux de M et les stades piagétiens. Dans la formule $e + k$, e désigne la partie de la capacité attentionnelle qui est utilisée pour activer les schèmes exécutifs. Celle-ci est supposée constante au cours du développement après 3 ans. La lettre k correspond au nombre de schèmes pouvant être activés avec la capacité attentionnelle restante, celle-ci est par contre supposée augmenter avec l'âge.

 Insérer ici le tableau 2.1

Les stades ne correspondent pas ici, comme c'était le cas dans la théorie de Piaget, à des structures qualitativement différentes, mais à un accroissement quantitatif du nombre maximal de schèmes pouvant être activés par l'enfant, quelle que soit la nature des relations entre ces schèmes. La chronologie est par contre conservée : les stades du tableau 2.1 correspondent aux étapes qui étaient des sous-stades dans la théorie de Piaget et sont atteints aux mêmes âges.

La théorie fait une distinction nette entre le développement et l'apprentissage. La source du développement est un processus endogène de maturation qui ouvre de nouvelles possibilités en accroissant la capacité attentionnelle et donc le nombre de schèmes distincts pouvant être activés simultanément. La source de l'apprentissage est l'expérience qui, par l'intermédiaire des opérateurs C et L, exploite ces nouvelles possibilités pour former de nouveaux assemblages de schèmes. Une des conséquences de ce partage des tâches est qu'il n'existe pas dans cette théorie de stade comportemental dont le contenu soit universel. La nature des schèmes assemblés lorsqu'une nouvelle possibilité est ouverte dépend de l'expérience et de l'environnement dans lequel a lieu cette expérience.

3.1.3. Exemples d'expériences visant à valider la théorie

Deux des hypothèses relatives à l'opérateur M ont été plus particulièrement ciblées. La première est celle qui postule qu'au cours de l'enfance et de l'adolescence, l'accroissement de la capacité attentionnelle avec l'âge permet d'activer un schème de plus tous les deux ans (cf. tableau 2.1). La seconde est celle qui postule que, dans un contexte trompeur, une tâche ne peut être résolue par un enfant que si sa capacité M est égale ou supérieure à la demande M de cette tâche (c'est à dire au nombre de schèmes pertinents distincts qui doivent être activés simultanément pour résoudre cette tâche). Un préalable à la vérification de ces hypothèses est évidemment la mesure de la capacité M (voir encadré 2.5)

Encadré 2.5

Un exemple d'épreuve conçue pour mesurer la capacité M

Une épreuve destinée à mesurer la capacité M doit activer des schèmes trompeurs car, selon Pascual-Leone, c'est seulement dans ce contexte que le sujet est contraint de mobiliser sa capacité attentionnelle pour activer les schèmes pertinents. L'épreuve doit par ailleurs faire appel à des schèmes très simples, de telle sorte que la difficulté ne se situe pas dans l'activation de tel ou tel des schèmes requis par la tâche, mais bien dans le maintien de l'activation *simultanée* de ces schèmes.

La plus étudiée de ces épreuves est la Figural Intersection Task (FIT), dont un item est représenté dans la figure 2.4.

 Insérer ici la figure 2.4

La tâche du sujet est d'abord de placer un point à l'intérieur de chacune des figures simples situées du côté droit de la page (ceci vise seulement à s'assurer que toutes les figures simples ont bien été considérées), puis de placer à l'intérieur de la figure composée située à la gauche de la page un unique point à l'intersection totale de toutes les figures simples. Les schèmes trompeurs sont ceux qui correspondent aux intersections partielles, dont le nombre augmente avec la complexité de la tâche. Les schèmes pertinents - qui doivent être activés délibérément pour l'emporter sur les schèmes trompeurs - sont ceux qui correspondent à la représentation des figures simples dont il faut vérifier, pour chacune, qu'elle englobe bien le point situé à l'intersection totale. La demande en M de la tâche est fonction du nombre de figures simples composant la figure complexe. L'item de la figure 2.4 est ainsi un item dont la demande en M

est estimée à $e + 5$, qui devrait donc être réussi en moyenne vers 11-12 ans (cf. tableau 2.1)^o. Le lecteur intéressé par l'analyse détaillée de la demande en M de cette tâche – en réalité plus complexe que ce qui peut en être dit ici - pourra la trouver ailleurs (Pascual-Leone et Baillargeon, 1994).

La figure 2.5 présente les résultats d'une expérience dans laquelle trois épreuves différentes destinées à mesurer la capacité M ont été passées par trois groupes d'enfants d'âge moyen 7-8 ans, 9-10 ans et 11-12 ans. L'une de ces épreuves est la FIT (cf. encadré 2.5), les deux autres sont la Compound Stimuli Visual Information Task (CSVI) et l'épreuve du Clown, dont la description peut être trouvée dans l'article d'où est tirée cette figure (Pascual-Leone et Johnson, 2005).

Insérer ici la figure 2.5

Les histogrammes de la figure 2.5 indiquent le score moyen évaluant la capacité M dans chacune de ces trois épreuves pour chacun des trois groupes d'âge. Les valeurs moyennes de la capacité M à ces trois niveaux d'âge, environ 3, 5 à 7-8 ans, 4,5 à 9-10 ans et 5,5 à 11-12 ans augmentent bien d'environ une unité tous les deux ans (ceci est moins marqué pour l'épreuve clown que pour les deux autres). En outre, la comparaison de ces valeurs aux valeurs attendues figurant dans le tableau 2.1 (respectivement 3, 4 et 5) montre qu'elles sont un peu supérieures, mais néanmoins pas très éloignées. Enfin, les trois épreuves, qui portent cependant sur des contenus différents, donnent des évaluations moyennes de M assez proches. Pour Pascual-Leone et Johnson (2005) ceci valide l'hypothèse selon laquelle la capacité M est une ressource cognitive générale, indépendante des contenus. Toutefois, la comparaison des moyennes ne suffit pas pour tirer cette conclusion, il faut aussi vérifier que chaque sujet est bien situé au même niveau dans les trois épreuves. Cette information est donnée par les corrélations, or celles-ci ne sont pas très élevées (.54 entre FIT et CSVI, .36 entre FIT et Clown, et .49 entre CSVI et Clown). Il est donc possible qu'une partie de la variance des épreuves de capacité M soit en fait spécifique au domaine auquel chacune appartient⁵, mais cette étude ne permet pas de le vérifier (Lautrey, 2002).

⁵ Ceci est tout à fait compatible avec la théorie, qui postule que la performance est toujours déterminée par un ensemble de facteurs, y compris de facteurs de contenus, mais montre que ceci s'applique aussi aux épreuves destinées à la mesure de la capacité M.

Le second exemple d'expérience de validation porte sur l'hypothèse selon laquelle une tâche ne peut être résolue par un sujet que si celui-ci dispose d'une capacité M supérieure ou au moins égale à la demande M de cette tâche. La vérification de cette hypothèse suppose une méthode d'analyse de la tâche qui permette d'évaluer le nombre maximum de schèmes qui doivent être activés simultanément pour la réussir. Le problème qui a été soumis aux enfants dans cette expérience est celui de l'équilibre de la balance (voir encadré 2.6). Les stades de la résolution de ce problème ont déjà été décrits à propos du stade des opérations formelles dans la partie de ce chapitre consacrée à la théorie de Piaget. Les processus de résolution correspondant à ces différents stades ont par ailleurs été formalisés sous formes de règles de production par Siegler (1976).

Encadré 2.6

Le problème de l'équilibre de la balance

Le matériel est analogue à celui qui est représenté dans la partie de ce chapitre consacrée à la théorie de Piaget: une balance qui comporte, sur chacun de ses deux bras, des tiges verticales équidistantes sur lesquelles peuvent être enfilées des rondelles toutes identiques. Ce dispositif permet de présenter des configurations-problèmes variées en jouant sur le nombre de rondelles placées de chaque côté du pivot (les poids) et sur l'éloignement des tiges sur lesquelles les rondelles sont placées par rapport au pivot (les distances). En outre, dans la partie de l'épreuve qui nous intéresse ici, des cales bloquent le dispositif en position horizontale et la tâche du sujet est, pour chaque configuration, de prédire de quel côté pencherait la balance si on enlevait les cales. Les configurations-problèmes varient selon quatre dimensions pertinentes : les poids P et P' placés de part et d'autre de l'axe et les distances D et D' auxquelles ils sont situés.

La théorie de Pascual-Leone a été appliquée à l'analyse de la demande M de cette tâche à ses différents niveaux de résolution (de Ribaupierre et Pascual-Leone, 1979). Thomas, Pons et de Ribaupierre (1996) ont adopté une approche un peu différente de cette analyse, dans laquelle ils ont distingué six niveaux correspondant à des conduites de résolution de complexité croissante. Chacun de ces six niveaux est illustré ci-dessous par un exemple de réponse à un même item dans lequel il y avait, pour le bras de gauche 5 poids sur la deuxième tige en partant du pivot ($P5D2$) et pour le bras de droite 3 poids sur la cinquième tige ($P'3D'5$) :

1. Les enfants prennent en compte une seule variable (le poids), mais dissocient les deux bras de la balance : « Ici ($P5D2$), ce n'est pas le même nombre que là ($P'3D'5$). Ce côté ($P5D2$) va descendre et ce côté ($P'3D'5$) va rester horizontal »

2. Les enfants prennent en compte une seule variable (le poids) correctement : « ça va descendre ici (P5 D2) parce qu'il y a plus de poids »
 3. Les enfants prennent en compte les deux variables (poids et distance), mais ne parviennent pas à les coordonner : « ça va normalement descendre ici (P'3 D'5) mais il y a plus de poids ici (P5 D2), ça va descendre ici (P5 D2).
 4. Les enfants coordonnent poids et distances, mais seulement qualitativement : « ça va rester horizontal parce que ici (P5 D2), c'est lourd et près (du pivot) et ici (P'3 D'5), c'est plus léger et plus loin (du pivot).
 5. Les enfants coordonnent la différence entre les poids avec la différence entre les distances : « ça va descendre ici (P'3 D'5) parce qu'il y a seulement deux poids de moins que là (P'3 au lieu de P5) mais il y a trois tiges de plus (D'5 au lieu de D2).
 6. Les enfants coordonnent les produits des poids et des distances : « ça va descendre ici (P'3 D'5) parce que 3 fois 5 font 15 et 5 fois 2 (P5 D2) font 10.
- (adapté de Thomas, Pons, et de Ribaupierre, 1996, appendice 1)

Dans une étude longitudinale, Thomas, Pons, et de Ribaupierre (1996) ont fait passer une épreuve de capacité M (CSVI) et l'épreuve de la balance à des enfants qui avaient 6, 7, 8, et 9 ans lors de la première passation (à raison de 30 enfants dans chacun de ces quatre groupes d'âge) et un an de plus lors de la seconde passation. Le niveau de résolution du problème de la balance a été évalué comme indiqué dans l'encadré 2.6. Le tableau 2.2 met en relation le niveau de la capacité M évaluée avec le CSVI (en ligne) et le niveau de la conduite observée dans l'épreuve de la balance (en colonne) lors du premier et du second examen (tableaux 2.2a et 2.2b respectivement).

 Insérer ici le tableau 2.2

Si l'hypothèse énoncée plus haut est correcte, on ne doit pas trouver de sujets mettant en œuvre, dans la résolution du problème de la balance, un niveau de conduite plus élevé que le nombre maximal de schèmes qu'il est capable d'activer simultanément (capacité M). Dans le tableau 2.2, cela doit se traduire par l'absence de sujets dans les cases qui se situent au-dessus de la diagonale⁶, ce qui correspond à une relation d'implication entre les deux variables. On peut voir que les résultats sont globalement compatibles avec cette relation d'implication,

⁶ A l'exception de la case située à l'intersection de la ligne 3 et de la colonne 4 car ces deux niveaux de conduite n'ont pas pu être clairement distingués dans cette expérience.

mais plus nettement lors du premier examen, où seulement 4 enfants sur 105 sont dans les cases au-dessus de la diagonale, que lors de la seconde passation où ils sont 15 sur 104. Les auteurs font l'hypothèse que quelques enfants ont peut-être fait un apprentissage de la tâche d'une passation à l'autre et pu mettre ainsi en œuvre des stratégies de résolution réduisant la complexité du problème à résoudre.

Les résultats de cette expérience illustrent bien une idée centrale que l'on retrouve dans toutes les théories neo-piagésiennes du développement cognitif, à savoir que la capacité de traitement (ici la capacité attentionnelle) est une condition nécessaire mais non suffisante pour la maîtrise d'une tâche de complexité donnée. Les nombreux sujets qui se situent plus bas que la diagonale dans les tableaux 2.2a et 2.2b attestent que cette condition n'est en effet pas suffisante : le nombre de schèmes qu'ils ont été capables d'activer dans la résolution du problème de la balance se situe en-dessous –et même parfois très en-dessous– du nombre de schèmes que leur capacité attentionnelle leur permettrait d'activer. Le développement de la capacité attentionnelle ne fait qu'ouvrir des possibilités mais celles-ci ne donnent lieu à des changements comportementaux que dans les domaines où l'expérience et l'apprentissage permettent au sujet d'identifier les variables en jeu et de former, par le jeu des opérateurs C et L, des schèmes plus élaborés que ceux dont ils disposaient jusqu'alors.

Les cas de violation de la relation d'implication entre le niveau de conduite et la capacité M (sujets au-dessus de la diagonale), plus nombreux lors de la seconde passation (cf. tableau 2.2b) appellent aussi quelques commentaires. Dans la théorie de Pascual-Leone comme dans toutes les théories neo-piagésiennes, l'analyse du niveau de complexité d'une tâche suppose que celle-ci soit nouvelle pour la personne examinée. Dès lors que cette personne a pu acquérir une expérience de la tâche, elle a pu élaborer de nouvelles stratégies pour en alléger la complexité, par exemple en constituant des « chunks »* ou en segmentant le traitement. C'est ce qui rend l'analyse de la complexité de la tâche si problématique et fait qu'il n'y a pas de sens à vouloir en définir la complexité « objective ». La complexité d'une tâche ne peut être évaluée que relativement aux processus, stratégies, mis en œuvre par un sujet donné pour la résoudre. Pour la même raison, il serait erroné de conclure qu'un enfant dont la capacité de traitement permet d'activer n schèmes ne peut pas maîtriser une tâche dont la demande en M est de $n+1$. Ceci ne vaut que si la tâche est nouvelle pour lui. Avec l'apprentissage et les différentes formes de réorganisation auxquelles celui-ci peut donner lieu, un enfant peut maîtriser des tâches dont le niveau de complexité théorique excède ses capacités brutes de traitement. L'idée, assez répandue, selon laquelle les apprentissages devraient se limiter aux

tâches dont le niveau théorique de complexité est inférieur ou égal à celui de l'enfant est un contresens car la capacité de traitement (ici la capacité attentionnelle) n'est pas le seul facteur en jeu dans les apprentissages.

3.2. La théorie de Case.

La théorie du développement cognitif que Robbie Case a élaborée à partir des années quatre-vingts se situe au confluent de plusieurs courants de recherche. La théorie piagétienne bien sûr, la théorie de Pascual-Leone, dont Case a été un temps le disciple, les modèles du traitement de l'information et, plus tard, les approches modularistes de l'esprit. De la théorie de Piaget, Case a conservé l'option constructiviste et la notion de structure, de la théorie de Pascual-Leone, il a conservé la notion de capacité limitée de traitement. Des modèles de traitement de l'information il a tiré son modèle de la résolution de problème, le concept de mémoire de travail et la notion de structure de contrôle. Enfin, les approches modularistes de l'esprit, lui ont inspiré, plus tardivement, l'adjonction de la notion de structure de contrôle à celle de structure conceptuelle centrale. Cette évolution plus récente de sa théorie a été interrompue brutalement par son décès en 2000, à l'âge de 55 ans. Nous présentons ci-dessous les grandes lignes de sa théorie, notamment les concepts de structure de contrôle et de structure conceptuelle centrale.

3.2.1. La notion de structure de contrôle.

Case assimile le fonctionnement cognitif à une activité de résolution de problème. Il considère que, dans toute situation, le sujet a un but et donc une représentation de l'objectif à atteindre, une représentation de la situation actuelle et une représentation des stratégies qui peuvent éventuellement lui permettre de passer de la situation actuelle à la situation souhaitée. Comme dans la théorie de Piaget et dans celle de Pascual-Leone, les unités élémentaires du système cognitif sont les schèmes stockés en mémoire à long terme, les schèmes figuratifs qui permettent la représentation des états et les schèmes opératifs qui permettent la représentation des transformations. La représentation de l'état initial et celle de l'état final (le but) relèvent donc des schèmes figuratifs, tandis que la représentation de la stratégie à mettre en œuvre pour passer d'un état à l'autre relève des schèmes opératifs.

Ce modèle général de fonctionnement est illustré concrètement dans la figure 2.6 pour deux niveaux de résolution du problème de la balance (voir encadré 2.6). Les deux niveaux de

conduite pris ici comme exemple sont celui dans lequel l'enfant ne prend en considération qu'une des dimension des variations des configurations-problèmes, le poids, et celui où il commence à prendre en considération la seconde dimension, la distance, mais seulement lorsque les poids sont égaux⁷. Le format de la figure 2.6 est celui adopté par Case (1985, 1987) pour analyser le niveau de complexité cognitive des conduites de résolution de problème aux différents stades du développement.

 Insérer ici la figure 2.6

Dans le système de stades de la théorie de Case, qui sera décrit un peu plus loin, le modèle de résolution représenté en figure 2.6a correspond au sous-stade 1 du stade dimensionnel (correspondant à la période 5-7 ans). La démarche intellectuelle du sujet est symbolisée par un parcours indiqué par les flèches. Elle commence par l'analyse des caractéristiques de la situation problème (il s'agit d'une balance sur laquelle on a placé, de chaque côté du pivot, une pile d'objets). Cette analyse conduit à un objectif, qui est d'ailleurs spécifié explicitement par l'expérimentateur dans cette situation (prédire de quel côté la balance va pencher si on retire les cales). La représentation de cet objectif guide à son tour une analyse plus précise de la situation pour y chercher des caractéristiques sur lesquelles s'appuyer pour l'atteindre (chaque pile de rondelles placées sur les tiges est faite de rondelles identiques). Cette caractéristique donne prise au schème opératif de dénombrement et détermine donc un sous-but qui peut être atteint en activant de schème. Cette analyse de la tâche, en termes de buts et sous-buts, détermine la stratégie qui va pouvoir être employée pour atteindre d'abord le premier sous-but (étape 1 : compter chaque ensemble d'unités et noter le côté qui a le plus grand nombre), puis le but (indiquer que le côté qui a le plus grand nombre d'unités est le plus lourd et est donc celui qui va descendre lorsque les cales seront retirées). On remarquera que dans le schéma de la figure 2.6a, l'ordre des étapes de la stratégie est l'ordre inverse de celui des buts et sous-buts, puisque la stratégie enchaîne les schèmes opératifs qui permettent de remonter des sous-buts au but. On remarquera aussi l'indentation du sous-but par rapport au but : chaque sous-but est indiqué en retrait du but qu'il permet d'atteindre.

La même forme d'analyse peut maintenant être appliquée au processus de résolution qui caractérise le sous-stade suivant et est schématisé par la figure 2.6b. Du côté de la

⁷ Ces deux niveaux de résolution du problème de la balance correspondent respectivement aux règles I et II dans le modèle de Siegler (1976)

représentation de la situation, une caractéristique supplémentaire de la situation est maintenant prise en compte (chaque objet est à une certaine distance du pivot), ce qui donne lieu à un nouveau sous-but (déterminer le côté où la tige est à la plus grande distance) et donc à une étape supplémentaire dans la stratégie (répéter l'étape 1 pour compter à quelle distance se trouvent les tiges sur lesquelles sont les poids). A ce sous-stade, qui correspond à la période 7-9 ans, l'enfant n'est pas encore capable de coordonner de façon élaborée les variations qu'il est capable d'observer sur les deux dimensions prises en compte et ne peut utiliser ses observations sur la distance que lorsque les poids sont égaux.

La comparaison de la liste des buts et sous-buts à gérer selon que la résolution se situe au sous-stade 1 (figure 2.6a) ou au ou au sous-stade 2 (figure 2.6b) du stade dimensionnel montre que l'enfant doit gérer un sous-but supplémentaire au sous-stade 2. Selon Case, cela n'est possible que si l'enfant peut stocker un élément de plus en mémoire de travail pendant la résolution du problème. Cet exemple va permettre de préciser maintenant la relation que fait la théorie de Case entre l'empan de la mémoire de travail et le niveau de complexité qui peut être atteint dans la résolution de problème.

3.2.2. Mémoire de travail et développement

La mémoire de travail est une forme de mémoire à capacité limitée, dont la fonction est de gérer simultanément le traitement en cours et le stockage temporaire des informations nécessaires à ce traitement (pour une présentation plus détaillée, voir la section consacrée à la mémoire de travail dans le chapitre « mémoire » du volume de psychologie cognitive).

Encadré 2.7

Un exemple d'épreuve de mémoire de travail : l'empan de comptage

L'épreuve d'empan de comptage (counting span) est une des épreuves mises au point par Case pour étudier le développement de la mémoire de travail chez l'enfant. Elle est adaptée à la période d'âge correspondant à l'école élémentaire. Le matériel est un jeu de cartes sur lesquelles sont collées des gommettes. Le nombre de ces gommettes varie selon les cartes et peut aller de 1 à 9. Les cartes sont présentées une par une à l'enfant dont la tâche est de compter le nombre de gommettes collées sur chacune, de mémoriser ce nombre pendant qu'il compte les gommettes de la carte suivante, etc., jusqu'à la dernière carte, après laquelle il doit rappeler, dans l'ordre, la série de nombres correspondant aux différentes cartes. Les items

comportent un nombre croissant de cartes et l'empan de la mémoire de travail est évalué par le nombre de cartes dont le nombre de gommettes peut être rappelé correctement dans ces conditions. Il s'agit bien d'une épreuve de mémoire de travail puisque, pour chaque nouvelle carte rencontrée, il faut simultanément compter le nombre de gommettes qu'elle comporte (opération de traitement) et maintenir activés en mémoire les nombres obtenus en comptant les gommettes des cartes précédentes (stockage).

L'utilisation de cette tâche dans une étude transversale réalisée avec des enfants de 5 à 11 ans a permis de montrer que la capacité de la mémoire travail de travail augmente régulièrement avec l'âge : elle était de 2,5 dans le groupe de 5 à 7ans (une opération et 1,5 nombres rappelés), de 3,3 dans le groupe de 7à 9 ans et de 3,8 dans le groupe de 9 à 11 ans (Case, 1985, table 14.3).

Comment la capacité de la mémoire de travail contraint-elle le niveau de complexité qui peut être maîtrisé dans la résolution de problème ? Au sous-stade 1 (cf. fig. 3a), lorsque l'enfant effectue l'opération de traitement qui correspond à la première étape de sa stratégie (compter les poids de chaque côté), il doit garder en mémoire le but en vue duquel il effectue cette opération (prédire de quel côté la balance va pencher). Lorsqu'il s'engage dans l'opération de traitement qui correspond à la deuxième étape (prédire de quel côté la balance va descendre), il doit garder en mémoire le résultat de l'opération précédente, c'est à dire le nombre d'unités qui ont été comptées. La stratégie qui correspond au sous-stade 1 requiert donc, à chacune de ses deux étapes, une capacité de la mémoire de travail dont la taille permette de gérer simultanément une opération de traitement et le stockage d'une unité d'information (à la première étape, le but, et à la seconde étape, un résultat intermédiaire).

Exercice : appliquez la même analyse à la stratégie qui caractérise les enfants du sous-stade 2 pour trouver la capacité de la mémoire de travail nécessaire pour appliquer cette stratégie⁸.

La métaphore utilisée pour décrire la place en mémoire de travail est celle d'un espace limité, partagé entre l'espace dévolu à l'opération de traitement en cours, appelé « operating space » (OS), et l'espace dévolu au stockage temporaire des informations, appelé Short Term Storage Space (STSS). La capacité totale de la mémoire de travail, « Total Processing Space » (TPS), est égale à la somme de l'espace de traitement et de l'espace de stockage : $TPS = OS + STSS$.

⁸ La réponse est : une opération de traitement et le stockage de deux unités d'information

Dans notre exemple, la capacité de la mémoire de travail (TPS) est de 2 au sous-stade 1 et de 3 au sous-stade 2. Le traitement et le stockage sont en compétition pour les mêmes ressources, donc tout gain dans l'espace occupé par l'opération traitement libère des ressources pour le stockage. Selon Case (1985) la capacité totale de la mémoire de travail n'augmente pas avec l'âge mais l'espace de stockage (STSS) augmente au fur et à mesure que diminue la place prise par l'opération de traitement (OS). On trouvera dans l'encadré 2.8 un exemple d'expérience testant cette hypothèse.

Encadré 2.8

Un exemple d'expérience réalisée pour tester l'hypothèse de la relation entre la vitesse de traitement et l'empan de la mémoire de travail.

Case et Kurland ont fait passer l'épreuve d'empan de comptage à des groupes d'enfants d'âge croissant allant du degré 1 au degré 6 de l'école élémentaire (âges moyens de 6 à 11 ans) et ils ont aussi chronométré le temps mis par ces enfants pour effectuer l'opération de traitement qui, dans cette épreuve, consiste à compter les gommettes sur les cartes. Les résultats de cette étude (Case, 1985, p. 361) ont montré qu'il existe une relation linéaire entre l'augmentation de l'empan moyen de la mémoire de travail, tel qu'il est évalué par l'épreuve d'empan de comptage, et la diminution du temps de traitement, évalué par le temps moyen de comptage par gommette. Le temps moyen de comptage passait de 400 à 200 millisecondes de 6 à 11 ans pendant que, de façon concomitante, l'empan moyen passait de 2,3 à 3,5.

Cette liaison entre les deux variables ne suffit cependant pas pour démontrer qu'il s'agit d'une relation causale. Les deux évolutions observées peuvent toutes deux dépendre d'une cause commune, l'accroissement de l'âge, sans pour autant dépendre l'une de l'autre. Pour vérifier l'hypothèse d'une relation causale entre la diminution du temps de traitement et l'augmentation de l'empan de stockage en mémoire de travail indépendamment de l'âge, Case et Kurland ont par ailleurs fait passer à des adultes une épreuve d'empan de comptage dans laquelle ceux-ci devaient utiliser, pour le dénombrement, des noms de nombres dont ils n'avaient aucune expérience et dont ils n'avaient donc pas pu automatiser l'usage. Cela avait pour but de placer ces adultes dans une situation en principe comparable à celle des enfants du degré 1 qui commencent seulement à maîtriser les nombres avec lesquels ils effectuent le dénombrement des gommettes. Le nouveau langage de comptage de 1 à 10 était rab, sliff, dak, leet, raok, taid, fap, flim, moof, zeer. Les adultes apprenaient d'abord ce nouveau

langage numérique jusqu'à être capables d'en réciter la suite sans se tromper. Ils passaient ensuite l'épreuve d'empan de nombre dans cette nouvelle langue et, comme dans l'expérience avec les enfants, leur temps moyen de comptage par gommette était chronométré. Leur temps moyen de traitement par gommette était en effet comparable à celui des enfants de 6 ans, ainsi que leur empan moyen (2,5).

Le résultat de l'expérience résumée dans l'encadré 2.8 met l'accent sur le rôle de l'expérience et de l'automatisation des procédures dans l'augmentation de l'empan de la mémoire de travail avec l'âge. D'autres expériences ont néanmoins montré les limites de l'exercice dans le gain de vitesse de l'opération de traitement. En faisant acquérir à des enfants une pratique massive de l'opération de comptage (20 minutes par jour pendant 3 mois), leur temps moyen de comptage n'a que peu diminué par rapport à celui d'enfants du même âge n'ayant pas cet entraînement et est resté supérieur à celui d'enfants sans entraînement mais ayant un an de plus (Case, 1985, p. 372). Ce second résultat met l'accent sur le rôle de la maturation dans l'augmentation de la vitesse de traitement. De cet ensemble d'expériences, Case a conclu que l'augmentation de la vitesse de traitement avec l'âge – et donc l'augmentation de la capacité de stockage en mémoire de travail qui, selon lui, en résulte – devait faire appel aux deux facteurs à la fois : d'une part l'automatisation des opérations de traitement avec l'expérience et, d'autre part, la maturation du système nerveux central (une des hypothèses étant que la myélinisation, qui se prolonge pendant toute l'enfance, accroît la vitesse de transmission de l'influx nerveux et donc la vitesse de traitement de l'information).

3.2.3. Les stades du développement cognitif

Comme la théorie de Piaget, celle de Case décrit quatre grands stades de développement qui correspondent à des structures qualitativement différentes et, à l'intérieur de chacun de ces grands stades, trois sous-stades qui correspondent à des étapes intermédiaires dans la construction de ces structures. Les quatre grands stades diffèrent ici par la nature des schèmes sur lesquels porte la structuration et non par les lois de composition entre ces unités mentales comme c'était le cas chez Piaget.

Au stade sensori-moteur, il s'agit d'opérations coordonnant des schèmes sensori-moteurs pour atteindre un but, par exemple écarter un obstacle (sous-but) pour atteindre un objet (but).

Au stade interrelationnel, les enfants peuvent manipuler des relations qualitatives entre les objets : « ici il y a beaucoup, là, il y a peu », ou bien « celui-ci est lourd, celui-ci est léger », mais pas encore les grandeurs relatives du type « plus grand que » ou « plus lourd que ». Ils apprennent aussi à maîtriser le schème du comptage, sans toutefois comprendre que la quantité (beaucoup ou peu) peut être précisément déterminée par le nombre qui correspond au dernier objet compté (le cardinal de la collection). La coordination de ces deux opérations interrelationnelles, celle par laquelle sont comparées les quantités (beaucoup, peu) et celle de comptage (un, deux, trois, ..), aboutit à la compréhension du dénombrement qui va permettre de quantifier les relations et donc de comparer les objets sur des dimensions quantifiables.

C'est alors le début du stade dimensionnel, où la coordination porte précisément sur des dimensions quantifiables. Les opérations de ce stade ont été illustrées plus haut avec le problème de la balance, dans lequel les deux dimensions quantifiables à coordonner sont le poids et la distance.

Le stade vectoriel correspond à la capacité d'établir des rapports entre les variations sur les dimensions considérées et à comparer ces rapports, c'est à dire à comprendre les rapports de proportions. Cette capacité correspond au stade formel de la théorie de Piaget et plus particulièrement à la structure INRC.

Plus généralement, les quatre grands stades de construction des structures de contrôle, sensori-moteur, interrelationnel, dimensionnel et vectoriel correspondent, aussi bien du point de vue des âges (cf. figure 2.7) que du point de vue des comportements, aux quatre grandes périodes distinguées par Piaget, respectivement sensori-motrice, pré-opératoire, opératoire concrète et opératoire formelle. Le changement des dénominations souligne toutefois que l'interprétation des comportements et des structures sous-jacentes est différente.

 Insérer ici la figure 2.7

L'examen de la figure 2.7, qui résume ce système de stades, montre que les trois sous-stades de chaque stade ont toujours la même forme. A la fin de chaque stade, la structure de contrôle complexe qui a été construite au cours de ce stade et qui, dans le sous-stade le plus élevé, a demandé une capacité en mémoire de travail de 4 unités (gestion simultanée d'une opération et du stockage à court terme de trois unités d'information), est compactée, et ré-étiquetée A

ou B. Elle devient ainsi l'unité de base du stade suivant qui, en tant qu'opération d'une nouvelle nature, occupe encore à ce moment là toute la place en mémoire de travail. A la fin de ce stade – qui est en même temps le début du suivant - il n'y a donc place en mémoire de travail que pour une opération de cette nouvelle nature (dans la figure 2.7, la place requise en mémoire de travail pour chaque sous-stade est indiquée à la droite de chaque case, dans la colonne MT). Au fur et à mesure de l'automatisation de cette nouvelle opération et de son compactage, celle-ci va libérer de la place en mémoire de travail pour le stockage d'une unité d'information, puis de 2, puis de 3 (ce qui correspond à des capacités de la MT qui sont respectivement de 2, 3, et 4). Au sous-stade 1 du nouveau stade (appelé coordination unifocale), cela permet de former une nouvelle structure de contrôle en connectant sous la forme A-B deux des schèmes A et B issus du stade précédent, puis au sous-stade 2 (coordination bifocale), de commencer à coordonner deux des nouvelles structures ainsi formées, par exemple A_1-B_1 avec A_2-B_2 , et enfin au sous-stade 3, de compléter cette coordination (coordination élaborée). A la fin de ce cycle, une nouvelle structure de contrôle est constituée qui, après compactage, ré-étiquetage et automatisation, devient à son tour l'unité de base sur laquelle sera construite la structure de contrôle du stade suivant. La construction des structures de contrôle est donc un processus cyclique et récursif dans lequel la structure complexe obtenue à la fin d'un stade devient l'unité élémentaire dans la construction de la structure du stade suivant.

Encadré 2.9

Illustration du modèle des stades avec l'exemple de la balance

Dans l'exemple de la construction de la structure de contrôle mise en œuvre pour résoudre le problème de la balance au stade dimensionnel, dont deux étapes ont été détaillées dans la figure 2.6, les deux schèmes A et B construits au stade précédent – donc au stade interrelationnel – sont, d'une part, celui qui permet de comprendre le fonctionnement de la balance (si on met un objet lourd d'un côté de la balance et un objet léger de l'autre côté, elle penche du côté de l'objet lourd) et, d'autre part, celui de dénombrement (le nombre correspondant au dernier objet compté indique la quantité). La coordination de ces deux schèmes sous la forme d'une nouvelle structure A-B donne naissance à une nouvelle opération qui permet de quantifier le poids sur une dimension continue et de résoudre le problème de la balance au sous-stade 1 (compter le nombre de poids de chaque côté pour trouver de quel côté la balance va pencher). Ainsi est constituée l'unité mentale de base qui donne son nom à ce stade, la dimension. Au sous-stade 2, une place de plus en mémoire de

travail permet de commencer à coordonner les variations sur deux dimensions, le poids (A_1-B_1) et la distance (A_2-B_2). Il s'agit d'une coordination encore partielle qui n'est efficace que lorsqu'une des deux dimensions est tenue constante (si les distances sont égales, alors la balance penchera du côté du poids le plus important). Au sous-stade 3, une place de plus en mémoire de travail ouvre la possibilité de construire une structure de contrôle plus élaborée permettant de coordonner des variations sur les deux dimensions (par exemple faire à la fois la différence entre les poids et entre les distances et comparer ces différences). Cette nouvelle opération de mise en relation des variations sur deux dimensions, qui ne permet pas encore de traiter les rapports de proportionnalité, sera l'unité de base de la structure de contrôle du stade suivant, le stade vectoriel, où le problème de la balance sera résolu au niveau le plus élevé en comparant le rapport entre les poids au rapport entre les distances.

3.2.4 La notion de structure conceptuelle centrale

L'introduction de la notion de structure conceptuelle centrale (SCC), dans les années quatre-vingts dix, marque un tournant dans la théorie de Case. Jusque là, celle-ci visait essentiellement à montrer comment la contrainte exercée par la capacité de la mémoire de travail détermine des stades généraux de développement sans pour autant entraîner le synchronisme des acquisitions, mais elle ne cherchait pas à rendre compte de la spécificité du développement dans des domaines différents. Dans la même période, un autre courant de recherche apportait, cependant, de nombreux arguments en faveur du caractère modulaire du développement. Sans forcément partager l'hypothèse que de tels modules soient véritablement pré-spécifiés dès la naissance pour le traitement de tel ou tel type d'information - comme l'a soutenu Chomsky (1957) à propos du développement du langage- beaucoup d'auteurs ont contribué à montrer le caractère précoce de structures cognitives spécifiques à un domaine. La raison de cette spécificité tiendrait à la forme particulière de causalité qui contribue à structurer les concepts d'un domaine et à leur donner leur sens. Pour ne prendre qu'un exemple, les enfants considèrent très tôt comme normal que les personnes se déplacent de façon autonome, et comme anormal qu'un objet se déplace de manière autonome. Très tôt aussi, ils comprennent que les actions des personnes s'expliquent par des états mentaux comme les intentions, les désirs, les croyances, alors que les mouvements des objets s'expliquent par les chocs et les poussées d'autres objets. Les systèmes de dépendance entre les événements sont donc assez différents dans le domaine de la matière et dans celui de

l'esprit. La spécificité du développement en fonction des domaines a été montrée notamment à propos de la formation des concepts relatifs à la matière, aux organismes vivants, à l'esprit, et au nombre. Pour une synthèse de ces recherches, voir Wellman et Gelman (1998) et, pour un exemple précis, voir dans ce volume la présentation de la notion de « Core knowledge » dans la section consacrée au développement de la représentation des objets.

Ce qui importe pour notre propos, c'est que les contraintes qui structurent un domaine de connaissance sont de nature sémantique et donc tout à fait différentes de celles qui tiennent aux limites dans la capacité de la mémoire de travail. Est-il possible d'intégrer ces deux sources de structuration cognitive dans la même théorie ? C'est ce qu'a voulu faire Case en complétant la notion de structure de contrôle par celle de structure conceptuelle centrale (SCC). Ses recherches et celles de ses collaborateurs se sont donc concentrées, à partir des années quatre-vingt dix, sur l'analyse du développement conceptuel dans des domaines différents, notamment ceux du nombre, de la théorie de l'esprit et de l'espace (Case, 1992, 1998). Dans chacun de ces domaines, les structures conceptuelles peuvent être décrites sous la forme de réseaux sémantiques, dont les nœuds et les relations sont spécifiés.

Dans le domaine numérique, par exemple, Case observe que, vers quatre ans, les enfants disposent d'une part d'un schéma global d'évaluation de la quantité, qui permet de comprendre qu'on passe de *beaucoup* à *peu* en enlevant des objets à la collection initiale et de *peu* à *beaucoup* en ajoutant des objets. Ils disposent aussi d'un schéma de comptage consistant à pointer un objet du doigt en disant « un », puis à pointer l'objet suivant en disant « deux », etc. Toutefois, ces deux schémas sont encore des « fichiers » séparés en ce sens que le nombre n'est pas encore représenté, en lui-même, comme une quantité (les enfants ne savent pas encore répondre si on leur demande lequel de deux nombres, 4 et 5 par exemple, est le plus grand). L'intégration de ces deux schémas, vers 6, ans donne naissance à la ligne mentale du nombre, qui est la structure conceptuelle centrale autour de laquelle va s'organiser le domaine du quantitatif. A une des bornes de cette ligne mentale, il y a la notion *peu* (ou léger, ou petit, selon la nature de la quantité à évaluer) et à l'autre borne, il y a la notion *beaucoup* (ou lourd, ou grand). Entre ces deux bornes, un réseau de relations connecte différentes représentations relatives à la quantité (le mot désignant le nombre, le pointage de l'objet désigné par ce nombre, la configuration des doigts correspondant à ce nombre, l'écriture de celui-ci). Chacune de ces représentations est structurée par une relation de transformation qui fait passer d'un élément au suivant en ajoutant 1 ou au précédent en

retirant 1. Cette organisation horizontale de la séquence, propre à chacune des représentations, est mise en correspondance terme à terme, verticalement, avec celle de chacune des autres représentations : l'enfant comprend que le passage du mot 1 au mot 2 dans la représentation verbale coïncide avec le passage du pointage du premier objet au suivant, et coïncide aussi avec le passage, à l'écrit, du chiffre 1 au chiffre 2, etc. Cette structure conceptuelle va se complexifier par la suite mais dès ce niveau, elle va permettre d'évaluer les quantités sur un nombre varié de dimensions (distance, temps, poids, monnaie, etc.) comme nous l'avons vu dans l'exemple de la balance.

Dans le domaine social les enfants de 4 ans comprennent que les autres ont des représentations mentales et que celles-ci peuvent être modifiées par les événements. Ils comprennent aussi la façon dont s'enchaînent les événements dans des scènes familiales et peuvent faire une description verbale de ces « scripts ». Toutefois, ces deux « fichiers » ne sont pas encore intégrés. Leur coordination vers 5 à 6 ans donne naissance, selon Case, à la structure conceptuelle de la narration, qui joue un rôle central dans le domaine social. Dans cette structure conceptuelle, le script fournit la ligne organisatrice de la représentation des comportements : il comporte un début, qui est un certain état de la situation, appelons le état 1, suivi d'une action 1 qui cause la transformation de l'état 1 en état 2, lui-même suivi de l'action 2, etc., et il comporte aussi une fin. La possibilité de faire se correspondre terme à terme les deux séquences, d'une part celle des événements et actions décrits par le script, d'autre part celle des états mentaux du personnage qui participe à ces événements et effectue ces actions, les intègre dans un même réseau de relations qui fonde la ligne mentale de la narration. D'abord uni-intentionnelle cette structure se complique ensuite en devenant bi-intentionnelle, c'est à dire en coordonnant les intentions de deux personnages, puis en intégrant de façon plus élaborée les interactions entre deux ou plusieurs personnages animés par des intentions différentes.

La comparaison des étapes de développement de ces deux SCC fait ressortir leurs ressemblances et leurs différences. Du point de vue de la ressemblance, on trouve dans les deux cas l'intégration de deux schémas jusque là séparés (schéma d'évaluation globale de la quantité et schéma de comptage pour le domaine quantitatif, script et théorie de l'esprit pour le domaine social). Dans les deux cas, cette intégration donne lieu à une structure dimensionnelle (la ligne mentale du nombre dans le domaine quantitatif, la ligne mentale de la narration dans le domaine social). Cette structure d'abord unidimensionnelle se complexifie

ensuite en permettant dans un premier temps de prendre en compte deux dimensions et, au cours de l'étape suivante, d'intégrer ces deux dimensions. La correspondance entre ces étapes dans la formation des SCC et celles du modèle des stades (cf. les sous-stades correspondant à la coordination unifocale, bifocale puis élaborée du stade dimensionnel dans la figure 2.7) permet à Case à conclure que dans tous les domaines, le niveau de complexité des SCC qui peuvent être construites est contraint par le niveau de développement de la capacité de la MT.

Du point de vue des différences par contre, les réseaux sémantiques constituant chacune de ces SCC se construisent à partir de relations de nature différente et ont, de ce fait, leur propre dynamique. La compréhension des états mentaux, qui joue un rôle essentiel dans la structure conceptuelle relative au domaine social, n'en a aucun dans la structure conceptuelle relative au domaine quantitatif. Il n'y a donc pas de raison qu'un apprentissage améliorant la compréhension des états mentaux se transfère au domaine quantitatif. Par contre, on peut s'attendre à ce que cet apprentissage se transfère aux situations du domaine social, où cette compréhension joue un rôle central. En conséquence, le synchronisme du développement devrait être plus important au sein de chacun des domaines qu'entre domaines.

Ces prédictions ont été mises à l'épreuve dans deux études (Case et Okamoto, 1996). L'une a porté sur la prédiction relative au synchronisme du développement. Douze épreuves ont été administrées à des enfants de grande section d'école maternelle et du premier degré de l'école élémentaire, six de ces épreuves relevaient du domaine quantitatif et six du domaine social. Dans chacune, les scores pouvaient aller de 1 à 4, correspondant à des conduites allant du sous-stade pré dimensionnel au sous-stade bidimensionnel élaboré. Les corrélations entre les épreuves d'un même domaine se sont effectivement avérées plus fortes que les corrélations entre les deux domaines. Une analyse factorielle de ces corrélations a permis d'extraire deux facteurs corrélés mais nettement distincts, l'un correspondant aux six épreuves relevant du domaine quantitatif et l'autre aux six épreuves relevant du domaine social (Case et Okamoto, 1996, chap. III). La seconde étude a porté sur la comparaison du transfert d'apprentissage à l'intérieur d'un domaine versus entre deux domaines. Elle a montré qu'un apprentissage portant sur l'une ou l'autre de ces deux SCC, ligne mentale du nombre ou ligne mentale de la narration, se transfère à des épreuves relevant du même domaine (quantitatif pour le premier et social pour le second) mais pas entre domaines (Case et Okamoto, 1996, chap. IV).

Les SCC ne sont donc pas des structures générales qui s'appliqueraient aux différents domaines de la connaissance, comme c'était le cas des structures opératoires de Piaget. Ce sont des structures locales, élaborées de façon relativement indépendante dans chacun des domaines, et auxquelles s'appliquent les contraintes générales qu'impose la capacité de la mémoire de travail. Selon Case (1998), la dynamique de leur développement repose sur une boucle d'interaction entre les deux formes d'apprentissage distinguées dans la théorie de Pascual-Leone, l'apprentissage C (apprentissage associatif de contenus) et l'apprentissage L (apprentissage contrôlé dirigé par les concepts). Comme cela a été mis en évidence par le courant historico-culturel (voir la section précédente de ce chapitre), cet apprentissage est tributaire des transmissions culturelles qui se font par les différentes formes d'interactions sociales, notamment celles qui sont à l'oeuvre dans l'instruction (la structure conceptuelle du nombre ne pouvait évidemment pas connaître le même développement à l'époque de l'homme de Cro-Magnon).

Ces dernières évolutions de la théorie montrent que le projet qui animait Robbie Case était de concilier et d'intégrer dans un même modèle les principaux acquis d'approches jusque là séparées du développement cognitif, celle de la théorie de Piaget, celle du traitement de l'information, celle de l'approche modulaire de l'esprit et celle du courant historico-culturel.

3.3. Discussion

Pour une présentation en langue française de l'ensemble des théories néo-piagésiennes, le lecteur est renvoyé à la revue critique publiée par de Ribaupierre (1997). Une présentation plus complète des théories qui n'ont pu être abordées dans ce chapitre peut être trouvée dans les publications les plus synthétiques de leurs auteurs, par exemple, Demetriou et al. (1993), Halford (1993), Fischer et Bidell (2006). Les deux théories présentées ci-dessus sont cependant suffisamment représentatives du courant néo-piagésien pour que l'on puisse généraliser les conclusions tirées de leur comparaison à l'ensemble des théories néo-piagésiennes.

3.3.1. Les principaux points communs

Comme la théorie de Piaget, ces théories visent à dégager des principes et une séquence de stades qui soient généraux, en ce sens qu'ils s'appliquent à l'ensemble des domaines de la connaissance. Toutefois, l'isomorphisme du développement dans les différents domaines n'est plus attribué à la construction, à chaque stade, d'une structure logique de portée générale, comme le pensait Piaget. Il est attribué à la contrainte qu'exerce, sur l'ensemble du

fonctionnement cognitif, une capacité centrale de traitement. La limite de cette capacité, qui évolue avec l'âge chez l'enfant, détermine le niveau maximal de complexité cognitive qu'un individu est capable d'appréhender dans la résolution d'une tâche nouvelle. L'accroissement de cette capacité au cours de l'enfance ouvre de nouvelles possibilités de mise en relation des informations disponibles mais ne détermine ni la nature ni les lois de composition de ces relations qui restent spécifiques à chacun des domaines de la connaissance.

Tous les auteurs néo-piagétiens s'accordent à reconnaître un rôle important, mais non exclusif, à la maturation du système nerveux central dans l'accroissement de la capacité de traitement au cours de l'enfance. Néanmoins, tous s'inscrivent dans l'approche constructiviste ouverte par Piaget en considérant que si la maturation ouvre de nouvelles possibilités de mises en relation, elle n'actualise pas pour autant des structures cognitives préformées qui seraient restées latentes jusque là. Ces nouvelles structures, de nature sémantique, sont à construire par l'enfant dans chacun des domaines dans lesquels il peut acquérir de l'expérience.

3.3.2. Les principales divergences

Comme on a pu le voir à propos des conceptions de Case et de Pascual-Leone, il y a des désaccords importants sur la nature exacte de cette capacité centrale. Pour Case, il s'agit de la mémoire de travail, conçue comme une structure particulière de la mémoire, dans laquelle le traitement et le stockage temporaire des informations nécessaires à ce traitement sont en compétition. Pour Pascual-Leone, par contre, il s'agit du système de gestion de l'attention mentale, responsable de l'activation ou de l'interruption des schèmes - pertinents ou trompeurs - stockés en mémoire à long terme. Il y a désaccord aussi sur le développement de cette capacité. Pour Case, ce n'est pas la capacité totale de la mémoire de travail qui augmente, mais seulement l'espace de stockage, au fur et à mesure que l'espace occupé par le traitement diminue (du fait de l'augmentation de sa vitesse) en fonction de la maturation et de l'exercice. Il y a, enfin, désaccord sur le système de stades lui-même puisqu'il s'agit chez Case d'un système cyclique et récursif avec des changements dans le format des représentations d'un stade à l'autre, alors que chez Pascual-Leone il s'agit d'un simple accroissement quantitatif du nombre de schèmes pouvant être activés simultanément. Cela n'empêche pas pour autant d'établir des correspondances entre les deux systèmes de stades, comme on peut le voir dans la figure 2.7, ni d'établir des correspondances entre ces deux systèmes de stades et celui de Piaget. Le désaccord ne porte donc pas sur les faits ni sur leur chronologie, mais sur le découpage des unités mentales utilisées pour mesurer la complexité

cognitive des tâches, désaccord qui lui-même résulte du désaccord sur les mécanismes sous-jacents à la capacité centrale de traitement et sur le type d'analyse de tâche utilisé. De nouveau, ces divergences ne sont pas propres aux deux théories qui ont été présentées, elles peuvent être généralisées à l'ensemble des théories néo-piagésiennes

3.3.3. Les perspectives

L'origine de ces divergences tient probablement pour une bonne part aux conditions dans lesquelles ces théories ont émergé. Elles sont nées dans une période où les connaissances sur le système exécutif étaient encore très lacunaires. Les néo-piagésiens ont joué un rôle pionnier dans l'étude du rôle du système exécutif dans le fonctionnement cognitif et – en l'absence de cadre théorique consensuel – chacun a privilégié un des aspects de ce système (limitation dans la capacité de traitement, de stockage, d'attention, d'inhibition, de vitesse, etc.), dont on commence à comprendre à quel point il est complexe. Il est symptomatique, à cet égard, que dans « *Intellectual development - Birth to adulthood* », ouvrage publié en 1985 dans lequel Case exposait sa théorie sur le rôle des limites de la mémoire de travail sur le développement intellectuel, il n'y ait pas une seule référence au modèle de la mémoire de travail de Baddeley et Hitch, dont la première publication remonte pourtant à 1974. Cette omission n'a pourtant rien de très surprenant car, à cette époque, les recherches de psychologie expérimentale sur la mémoire de travail portaient essentiellement sur les systèmes « esclaves » de cette structure, d'abord la boucle phonologique et, plus tard, le calepin visuo-spatial. Baddeley et Hitch considéraient alors le système exécutif central comme *terra incognita*. Or c'est précisément sur le développement du système exécutif central que portaient les travaux de Case.

Cette situation a changé et la recherche sur le fonctionnement du système exécutif central est devenue très active en psychologie expérimentale, en neuropsychologie, aussi bien qu'en psychologie développementale et en psychologie différentielle. La mémoire de travail est de plus en plus conçue comme la partie activée de la mémoire long terme, ce qui intègre les mécanismes attentionnels dans son fonctionnement (voir par exemple Engle et al., 1999). Il existe maintenant, de ce fait, davantage de convergences entre les modèles de la mémoire de travail en psychologie cognitive et les modèles néo-piagésiens du développement; la ressemblance entre le concept de limite du focus attentionnel chez Cowan (1999) et le concept de limite de la capacité M chez Pascual-Leone en est un exemple

Cette nouvelle interaction entre psychologie cognitive, neuropsychologie et psychologie développementale dans les recherches sur le système exécutif et en particulier sur la mémoire de travail, ouvre de nouvelles perspectives aux théories néo-piagésiennes et devrait faciliter leur intégration en leur offrant des modèles plus précis des différents processus sous-jacents au fonctionnement de ce système. Les contraintes induites par les limites dans la capacité de l'exécutif central ne touchent cependant qu'à un des aspects du développement cognitif. Une autre perspective théorique intéressante réside dans l'intégration par le courant néo-piagésien d'autres approches du développement, comme Case l'a commencée avec la notion de structure conceptuelle centrale. Ce faisant, la spécificité des théories néo-piagésiennes devrait disparaître au fur et à mesure qu'elles s'intègreront dans l'effort de reconstruction d'une théorie générale du développement. La pierre la plus importante que ces théories auront apportée à cet effort de reconstruction sera sans doute d'avoir été les premières à mettre le doigt sur le rôle central que joue le développement du système exécutif dans l'ordonnement du développement cognitif.

Lectures conseillées

Case, R. (1998). The development of conceptual structures. In W. Damon, D. Kuhn, & R. S. Siegler (Eds.), *Handbook of child psychology (5th edition). Volume 2: Cognition, perception, and language* (pp. 745-800). New York: John Wiley & Sons, Inc.

Demetriou, A. (Ed.) (1988). *The neo-piagetian theories of cognitive development: Toward an integration*. Amsterdam: North: Holland.

Fischer, K.W., & Bidell, T.R. (2006). Dynamic development of action, thought and emotion. In W. Damon & R. M. Lerner (Eds.), *Theoretical models of Human development. Handbook of Child Psychology* (6th edition, Vol. 1, pp. 313-399). New-York: Wiley.

Pascual-Leone, J., & Johnson, J. (2005). A dialectical constructivist view of developmental intelligence. In O. Wilhelm & R. Engle (Eds.), *Handbook of understanding and measuring intelligence*. Londres: Sage Publications.

de Ribaupierre, A. (1997). Les modèles néo-piagétiens: Quoi de nouveau? *Psychologie Française*, 42, 9-21.

de Ribaupierre, A. (à paraître). Modèles néo-piagétiens du développement cognitif et perspective psychométrique de l'intelligence : y a-t-il convergence ? *L'Année Psychologique*.

Tableaux et figures

Tableau 2.1. Valeurs prédites de la puissance M en fonction de l'âge et correspondance entre ces valeurs et la séquence des sous-stades piagétien (d'après Pascual-Leone et Baillargeon, 1994, p. 167).

Puissance M (e + k)	Sous-stade piagétien	Age chronologique (années)
e + 1	Préparation du stade préopératoire	3 - 4
e + 2	Achèvement du stade préopératoire	5 - 6
e + 3	Préparation du stade concret	7 - 8
e + 4	Achèvement du stade concret	9 - 10
e + 5	Stade préformel	11 - 12
e + 6	Stade formel A	13 - 14
e + 7	Stade formel B	15 - 16

Tableau 2.2. Niveau de conduite observé dans la résolution du problème de la balance en fonction du score au CSVI lors de la première (2a) et de la seconde (2b) administration des épreuves (adapté de Thomas, Pons, et de Ribaupierre, 1996, appendice 2).

Tableau 2.2a

1ère administration (N=105)

CSVI	Balance					
	1	2	3	4	5	6
1		1				
2	2	24	2			
3		23	4	4	1	
4	1	8	8	4	2	
5			4	3	1	
>5		1	5	6	1	

Tableau 2.2b

2ème administration (N=104)

CSVI	Balance					
	1	2	3	4	5	6
1			1			
2		12	9	1	1	
3		8	16	1	4	
4		2	15	2	2	
5			3	1	3	
>5		2	5	2	10	4

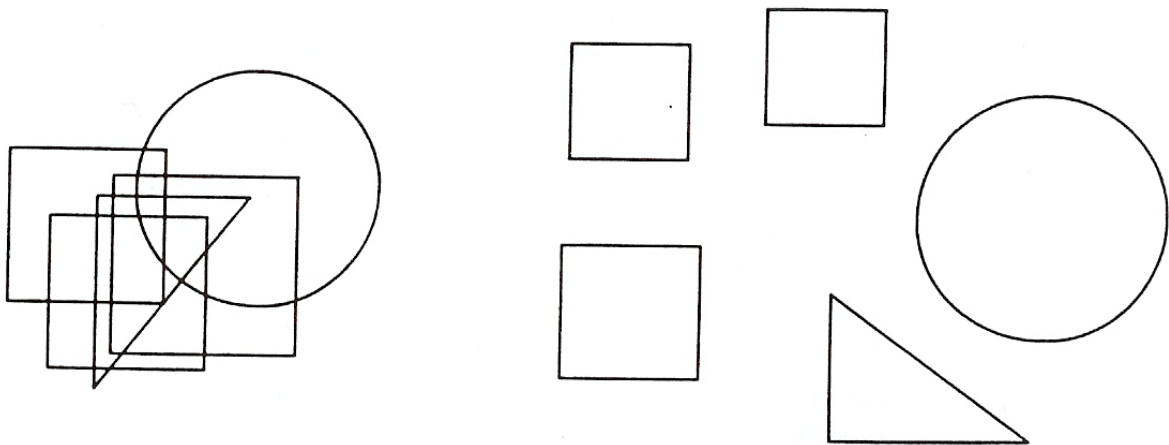


Figure 2.4. Exemple d'item du test FIT qui inclut cinq figures simples (à droite) dont il faut trouver l'intersection totale (à gauche). D'après Pascual-Leone et Baillargeon, (1994, p. 171).

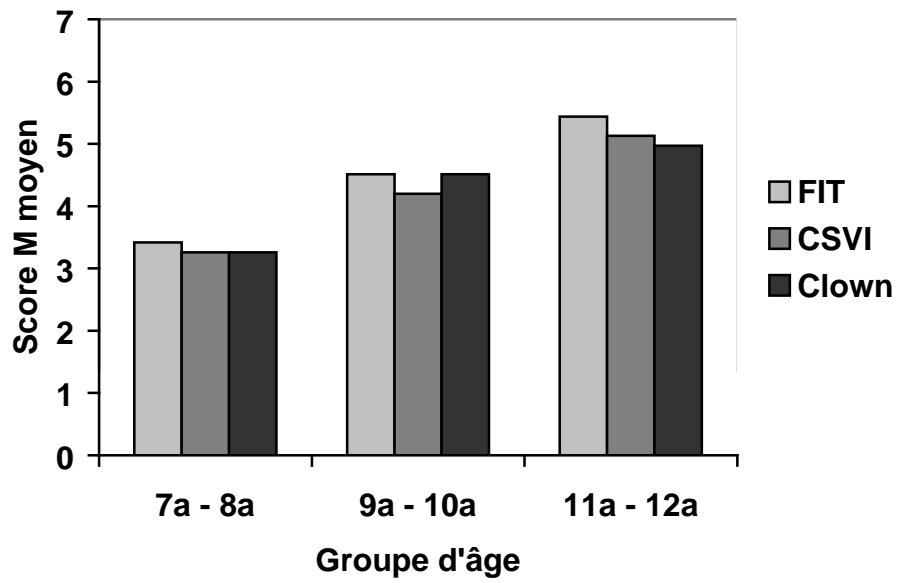


Figure 2.5. Scores M moyens en fonction du groupe d'âge pour les trois mesures de la capacité M : Figural Intersection Task (FIT), Compound Stimuli Visual Information (CSVI) Task, et Clown Task (Clown). Figure adaptée de Pascual-Leone et Johnson (2005, p. 195)

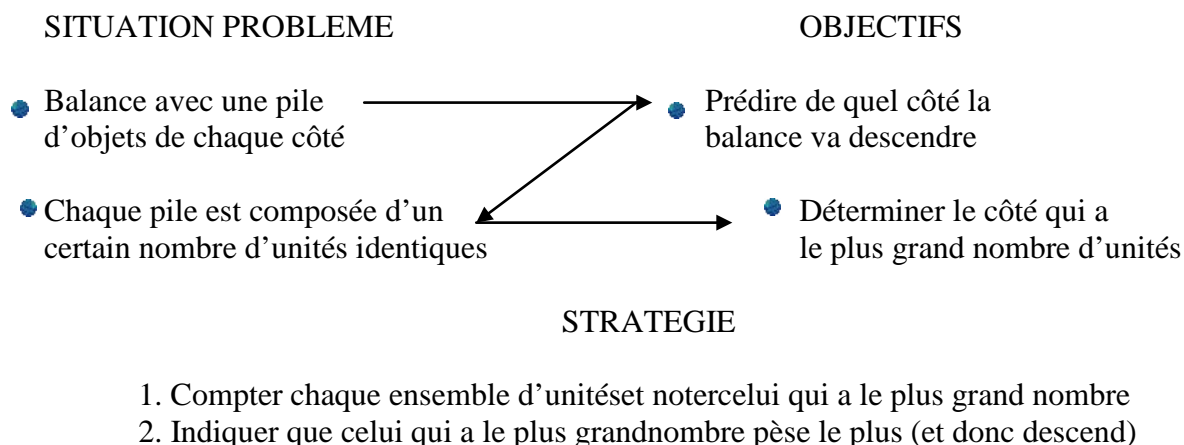


Figure 2.6 a. Stade dimensionnel, sous-stade 1 : coordination opératoire (5-7 ans)

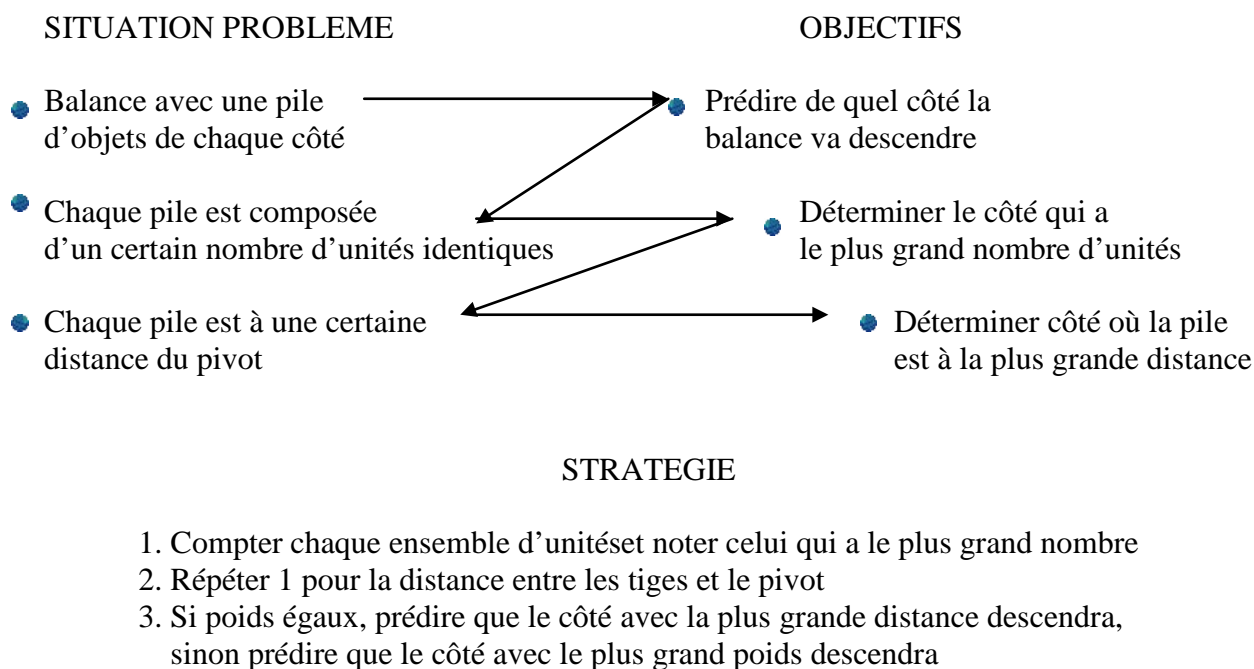


Figure 2.6 b. Stade dimensionnel, sous-stade 2 : coordination bifocale (7-9 ans)

Figure 2.6. Diagramme représentant les étapes du déroulement du processus de traitement de l'information dans la résolution du problème de la balance aux sous-stades 1 (figure 3a) et 2 (figure 3b) du stade dimensionnel (adaptée de Case, 1985, p. 103).

0

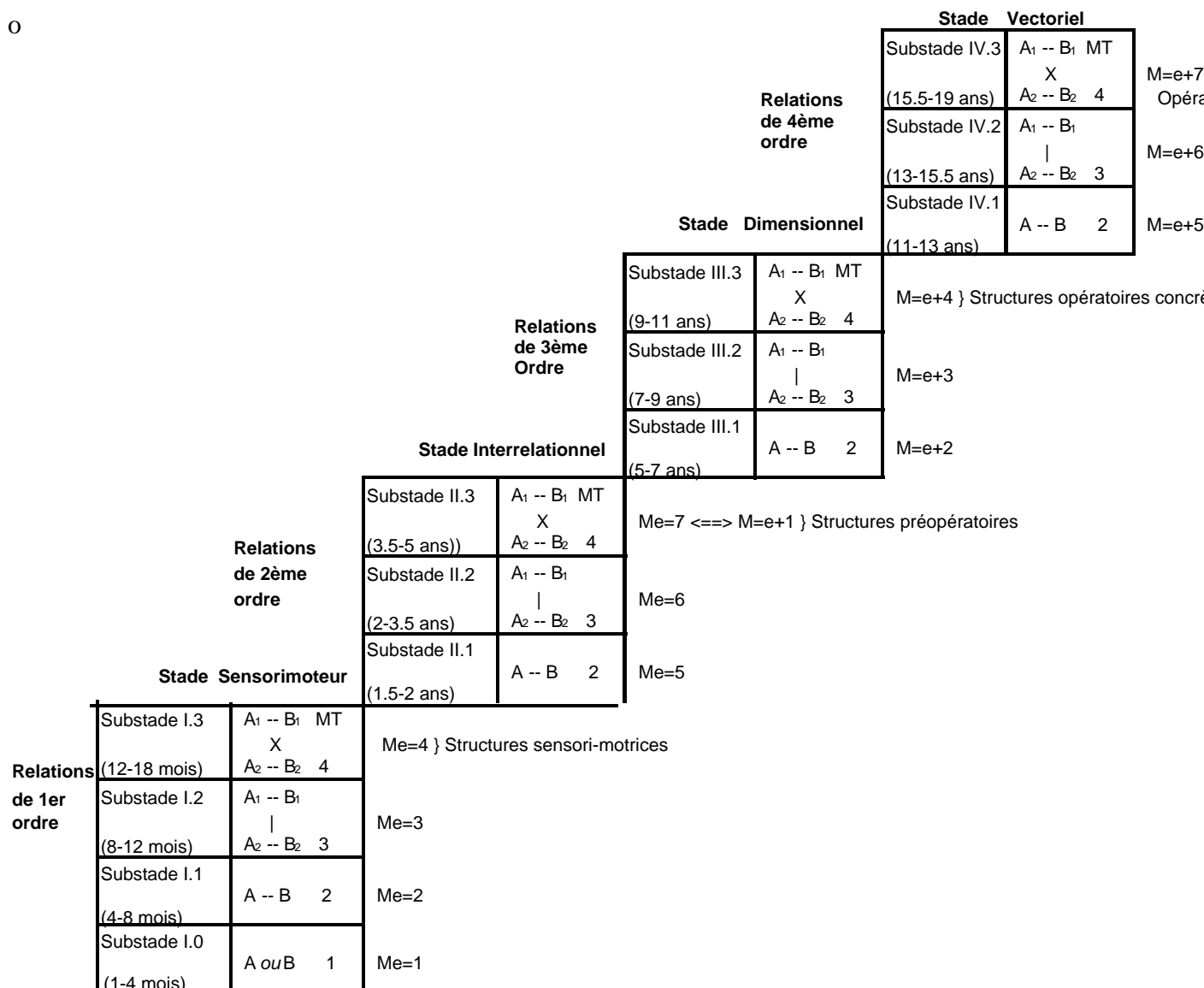


Figure 2.7. Les stades et sous-stades du développement cognitif dans la théorie de Case (le terme « substade », moins employé, a été retenu dans cette figure car il n’y avait pas une place suffisante pour écrire « sous-stade »). A la droite des cases correspondant aux différents sous-stades du modèle de Case est aussi mentionnée la capacité M qui leur correspond dans la théorie de Pascual-Leone, selon Pascual-Leone et Johnson (2005). La partie qui va du sous-stade II.3 (M = e + 1) au sous-stade IV.3 (M = e + 7) correspond aux étapes du développement de la capacité M telles qu’elles ont été spécifiées dans le tableau 1. La partie qui va du sous-stade I.0 (Me = 1) au sous-stade II.3 (Me = 7) correspond au développement de la capacité M au stade sensori-moteur, un point qui n’a pas été traité dans ce chapitre (voir Pascual-Leone et Johnson, 1991).

La figure 2.7 est une adaptation de la figure 11.1 p. 184 de Pascual-Leone et Johnson (2005), elle-même adaptée de la figure 6, p. 98 de Case (1987).