
LA REDESCRIPTION DES REPR...SENTATIONS DE KARMILOFF-SMITH ET RÈSEAUX CONNEXIONISTES

CÈline Demers

UniversitÈ de MontrÈal, dÈpartement de psychologie

Email: demersce@ere.umontreal.ca

RÈsumÈ

Le modÈle du dÈveloppement cognitif proposÈ par Karmiloff-Smith est fort intÈressant. Il dÈfinit un mÈcanisme, celui de la redescription des reprÈsentations, qui permet d'expliquer la nouveautÈ dont est capable le systÈme cognitif humain. Karmiloff-Smith suggÈre que la technique des rÈseaux connexionnistes peut Être fort utile pour mieux cerner les mÈcanismes du dÈveloppement dont la redescription des reprÈsentations. Les deux expÈriences de type "rÈsolution de problÈmes" rÈalisÈes en vue d'Èprouver la valeur explicative du modÈle, nous ont amenÈ ± suggÈrer certaines modifications. Ces modifications n'altÈrent en rien l'esprit constructiviste du modÈle et conservent l'idÈe d'une implantation sur des rÈseaux connexionnistes. La rÈorganisation des connaissances qui est suggÈrÈe pour expliquer l'amÈlioration observÈe entre les sujets des diffÈrents groupes de nos expÈriences nous amÈne ± considÈrer des systÈmes de rÈseaux connexionnistes hiÈrarchisÈs entre eux et donc une architecture plus complexe que des simples liens entre rÈseaux.

Les possibilitÈs du systÈme cognitif humain fascinent un nombre grandissant de chercheurs en sciences cognitives et en neurosciences. Comment, en effet, ce systÈme en arrive-t-il ± concevoir la vÈritable nouveautÈ? Cette question fort importante a traditionnellement divisÈ les chercheurs en trois camps: celui des innÈistes, celui des empiristes et celui plus rÈcent des constructivistes. La conception innÈiste consiste ± considÈrer tout changement d'importance survenant au cours du dÈveloppement comme Ètant prÈ-inscrit dans les gÈnes de l'organisme. Cette conception a ÈtÈ fortement critiquÈe par plusieurs dÈveloppementalistes qui la considÈrent comme une abdication ± trouver une explication vÈritable du dÈveloppement (Gopnik, 1994; Johnston, 1994). Les empiristes, quant ± eux, voient dans l'environnement de l'enfant tous les ÈlÈments pouvant expliquer le changement qui se produit dans son systÈme cognitif. Il s'agit d'une autre forme de prÈformisme mais qui se situe dans l'adulte compÈtent plutÔt que dans les gÈnes (Bates et Elman, 1993). Dans la conception constructiviste, la nouveautÈ ne vient ni de l'intÈrieur (structures prÈ-Ètablies) ni de l'extÈrieur (adultes compÈtents) mais bien de l'intÈraction entre le sujet et son environnement. Ce camp, essentiellement marquÈ par les travaux de Jean Piaget, est loin d'Être un compromis entre les deux premiers; au contraire, il nous amÈne ± concevoir l'intelligence humaine sous un nouvel Èclairage (Bates et Elman, 1993). Le constructivisme apparaÔt encore la seule voie qui permet d'expliquer les changements dÈveloppementaux impliquant l'apparition de nouvelles structures qui ne sont pas dÈj± prÈsentes dans l'environnement ou prÈ-inscrites dans les gÈnes de l'enfant (Bates et Elman, 1993). De plus, au point de vue neurologique, plusieurs ÈlÈments appuient les principes constructivistes du dÈveloppement plutÔt que les principes innÈistes (Quartz et Sejnowski, 1994). Mais, le constructivisme

pose des dÈfis aux chercheurs; comme le soulignent plusieurs d'entre eux (Bates et Elman, 1993; Chapman, 1992; Mandler, 1992), les mÈcanismes qui expliquent les changements qui se produisent au cours du dÈveloppement sont abstraits, peu dÈfinis et difficiles ± opÈrationnaliser.

Malheureusement, les modÈles du dÈveloppement cognitif d'esprit constructiviste sont rares (Gopnik, 1994). Les modÈles nÈo-structuralistes qui mettent beaucoup d'emphase sur l'augmentation de l'espace de mÈmoire ± court terme avec le temps sont plus des modÈles maturationnistes (et donc innÈistes) que constructivistes (Karmiloff-Smith, 1993b). Le modÈle que propose Karmiloff-Smith (1992a, 1994) est, selon Estes (1994), la plus plausible explication concernant le dÈveloppement de la caractÈristique la plus essentielle ± l'Être humain soit la capacitÈ qu'il a de rendre de plus en plus explicite et conscient ce qu'il connaÔt; ce qui lui permet de rendre ses connaissances plus significatives, plus flexibles et plus utiles.

Un nouvel outil, celui des rÈseaux connexionnistes devrait permettre de mieux dÈfinir les concepts et mÈcanismes permettant l'Èmergence de nouvelles structures et donc le constructivisme. C'est le pari pris par Karmiloff-Smith (1992b, Clark et Karmiloff-Smith, 1993) qui en est venue ± considÈrer les rÈseaux connexionnistes comme une voie d'avenir pouvant lui permettre de mieux opÈrationnaliser son modÈle.

Dans les pages qui suivent, nous dÈcrivons le modÈle de Karmiloff-Smith, en y dÈfinissant ses principales caractÈristiques, ses forces et ses faiblesses ainsi que les modÈlisations connexionnistes pouvant s'y rapporter. Nous prÈsentons ensuite briÈvement les rÈsultats des deux expÈriences que nous avons rÈalisÈes et qui ont conduit ± suggÈrer certaines

modifications † ce modÉle; modifications qui font l'objet de la troisiÉme partie de ce texte.

1. Le modÉle de Karmiloff-Smith

Le modÉle initial proposÉ par Karmiloff-Smith (1979) dÉfinissait trois phases de dÉveloppement. Il a fait place † un modÉle prÉsentant plusieurs niveaux de reprÉsentation et intÉgrant un mÉcanisme explicatif du dÉveloppement, soit la redescription des reprÉsentations (1986). La redescription consiste † retranscrire † un niveau plus ÉlevÉ les informations situÉes † un niveau infÉrieur. Cette retranscription amÉne une perte de prÉcision dans les dÉtails, et un gain dans l'accessibilitÉ de l'information qui peut alors Étre utilisÉe dans diverses situations (Karmiloff-Smith, 1994). Les reprÉsentations passent donc par plusieurs niveaux de conceptualisation, ce qui amÉne † chaque fois de nouvelles possibilitÉs et un plus grand contrÔle sur les reprÉsentations.

1.1. les niveaux de reprÉsentation

Au premier niveau (I), les procÉdures sont inscrites de faÇon implicite. Ces procÉdures sont acquises au contact de l'environnement mais souvent des biais gÉnÉtiqument inscrit en favorisent l'Émergence. Le sujet n'a pas du tout conscience d'avoir des procÉdures qui ne peuvent ainsi Étre prises comme objets de rÉflexion. Il ne peut que les utiliser en entier lorsqu'elles sont dÉclenchÉes; si le dÉroulement d'une procÉdure est interrompu, le sujet ne peut poursuivre l'application de sa procÉdure, mais doit en reprendre l'exÉcution depuis le dÉbut. On peut comparer ces procÉdures † une Écriture sous forme de liste dans un programme informatique; le programme doit toujours parcourir la liste † partir du dÉbut, n'ayant pas la possibilitÉ d'accÉder † une donnÉe autrement.

Au deuxiÉme niveau (E-1), les procÉdures deviennent explicites, mais non encore disponibles † la conscience. Le sujet peut les utiliser en partie seulement, les coordonner avec d'autres procÉdures, ou encore les inverser, mais il n'en est pas conscient et il ne peut pas les verbaliser. L'explicitation des procÉdures se traduit sous la forme apparente d'une rÉgle qui demeure non consciente mais que l'enfant semble utiliser dans divers contextes pour savoir comment rÉagir. C'est en observant les actions de l'enfant que l'expÉrimentateur infÉre une rÉgle, mais ce n'est pas une rÉgle stricte du type de celles prÉsentes dans des systÉmes de productions. PossÉdant ce qui ressemble † une rÉgle, l'enfant peut l'appliquer dans des situations qu'il n'a jamais rencontrÉes auparavant; ce comportement nouveau pour le sujet tÉmoigne de la possibilitÉ crÉatrice du systÉme cognitif humain (Boden, 1990).

Ce n'est qu'au troisiÉme niveau (E-2) que les procÉdures deviennent conscientes et au quatriÉme (E-3) qu'elles deviennent verbalisables parce qu'elles ont ÉtÉ transformÉes dans un code mental universel, alors, qu'auparavant, elles Étaient emmagasinÉes dans le format qu'elles avaient au moment de leur acquisition (spatial, verbal, proprioceptif etc.). Dans le texte de Clark et Karmiloff-Smith (1993), les auteurs utilisent le symbole E+ pour dÉsigner les niveaux E-2 et E-3 car il est trÈs difficile de distinguer ces deux niveaux. De fait,

aucun exemple prÉcis n'est apportÉ pour appuyer le niveau E-2. C'est pourquoi, dans ce texte, nous utiliserons le symbole E+ pour dÉsigner un niveau oÙ les reprÉsentations sont conscientes et verbalisables. Au niveau E+, les procÉdures sont encore plus mobiles; elles permettent des gÉnÉralisations plus lointaines ainsi que des analogies (Karmiloff-Smith, 1992a). ...tant devenu verbalisables, elles deviennent par le fait mÉme plus facilement communicables.

1.2. le changement de format de reprÉsentation

Sous quelle forme sont inscrites les reprÉsentations † chaque niveau? Y-a-t-il un changement de format au moment d'une redescription? Il est difficile de rÉpondre † ces questions, car Karmiloff-Smith donne des informations divergentes. TantÔt elle mentionne qu'il y a un seul changement de format entre les niveaux E-2 et E-3 afin de rendre les procÉdures verbalisables (1986), alors que parfois elle semble pencher vers un changement de format † chaque niveau mais dont seul le dernier format permet la verbalisation (1993a). D'autres auteurs suggÉrent des changements de format. Pour Mandler (1992), les reprÉsentations peuvent Étre inscrites sous trois formats. Le premier format, les primitives perceptuelles, est dÉcrit trÈs briÉvement par Mandler; il semble que les inscriptions † ce niveau n'ont pas encore le statut de reprÉsentation et de toute faÇon ne permettent pas † l'enfant de donner une signification aux objets et ÉvÈnements qu'il rencontre. On peut voir ce format comme Étant constituÉ de simples liens entre des unitÉs dans des rÉseaux neuronaux qui n'ont pas achevÉ leur apprentissage. Ces inscriptions ne peuvent Étre ÉvoquÉes et n'ont pas encore de signification, car seuls les États stables peuvent Étre interprÉtÉs (Schyns, 1994), mais elles peuvent permettre une reconnaissance de l'objet lorsque l'enfant est en sa prÉsence. Le second format consiste en des "images-schÉma". Il s'agit de reprÉsentations qui demeurent analogiques mais qui sont en mÉme temps conceptualisÉes; l'image-schÉma permet de donner une signification aux tableaux sensoriels dynamiques que l'enfant perÁoit. Karmiloff-Smith (1993a) suggÉrent que les reprÉsentations du niveau E-1 pourraient Étre des images-schÉmas. Le troisiÉme niveau est un langage mental sous forme propositionnelle qui permet le dÉveloppement d'un langage structurÉ. Olson (1994) abonde dans le mÉme sens que Mandler et voit les trois mÉmes formats. Halford (1993), quant † lui, se limite † deux formats. Il propose le mÉcanisme de l'abduction qui permet d'explicitier des connaissances. Ce mÉcanisme rejoint dans l'ensemble le processus de redescription de Karmiloff-Smith; ces deux chercheurs s'appuient d'ailleurs sur des modÉles connexionnistes pour expliquer leur mÉcanisme (Halford, 1993; Karmiloff-Smith, 1992a, b; Clark et Karmiloff-smith, 1993). Cependant, pour Halford, l'abduction implique la crÉation d'une nouvelle reprÉsentation dans un nouveau format qui serait probablement sous forme propositionnelle.

1.3. les mÉrites du modÉle de la redescription

Le premier mÉrite de ce modÉle est qu'il peut expliquer la capacitÉ, dÉmontrÉe par l'Étre humain, de crÉer et de manipuler de vÉritables concepts. En effet, au moyen de la redescription des reprÉsentations, les connaissances que l'enfant acquiert deviennent

disponibles et peuvent être objets de réflexion, ce qui lui permet d'abstraire des régularités, de généraliser ses connaissances et de s'interroger sur le statut de ses connaissances, sur ce qu'il sait de et sur ses connaissances. Karmiloff-Smith (1992a, 1993a, 1994) mentionne à cet égard que chez l'être humain, contrairement à ce qu'on observe chez les autres espèces, il y a deux façons d'apprendre. La première vient du fait que le système cognitif cherche à intégrer les éléments de l'environnement et à s'y ajuster. La seconde concerne la capacité de réfléchir sur les représentations emmagasinées et de les organiser pour développer de nouvelles connaissances. Ainsi, la connaissance vient non seulement de l'environnement mais également de l'organisation interne de l'individu. Chez Piaget également, on rencontre ces deux modalités d'apprentissage. En effet, l'abstraction réfléchissante consiste en une espèce de réflexion des connaissances utilisées à un niveau vers un stade supérieur, ce qui a pour effet qu'elles deviennent objet de réflexion. Ainsi l'enfant raisonne sur ses stratégies et ses modèles explicatifs.

La redescription peut selon Karmiloff-Smith (1986, 1992a) être déclenchée par un processus endogène. Lorsque le sujet a atteint un certain seuil de maîtrise à un niveau donné, le processus de redescription se met en marche et le sujet passe ainsi au niveau suivant. Il devra ensuite consolider ses connaissances à ce second niveau pour qu'une deuxième redescription puisse avoir lieu. Il s'agit donc d'un phénomène qui prend un certain temps car il exige une période de consolidation à chaque niveau.

Karmiloff-Smith soutient à l'instar de Piaget (1974a, b) que le sujet cherche à aller au-delà de la réussite. Cette dernière n'est qu'une étape vers la compréhension véritable qui passe nécessairement par une redescription. Cependant, Karmiloff-Smith affirme que la réussite est l'élément déclencheur du développement alors que Piaget (1974a, b) confie ce rôle au conflit cognitif. Pour d'autres auteurs (VanLehn, 1991, 1988; Richard, 1990), le développement est favorisé par la présence d'impasses. L'impasse qui se produit quand le sujet, face à un problème, se retrouve dans un cul-de-sac ou encore, lorsqu'il tourne en rond, sans plus savoir quoi faire, amène l'enfant à se poser des questions et, ainsi, à modifier ses représentations, ce qui résulte en un développement de ses connaissances. Notons cependant que le changement dans les représentations dont parlent ces derniers auteurs n'est pas du même type que celui postulé par Karmiloff-Smith et n'implique pas de changement de format dans lequel seraient inscrites les représentations. De fait, pour Richard et VanLehn, les représentations sont inscrites sous forme symbolique et peuvent donc être adéquatement représentées dans des systèmes de production, alors que pour Karmiloff-Smith (1992a, 1994; Clark et Karmiloff-Smith, 1993) ses systèmes ne sont d'aucune utilité pour bien simuler les niveaux inférieurs de représentation, en particulier le niveau implicite pour lequel, les réseaux connexionnistes sont de bien meilleurs outils pour nous aider à comprendre les possibilités de ce niveau.

1.4. L'implantation sur réseaux connexionnistes

L'implantation de la redescription des représentations sur des réseaux connexionnistes pourrait donner une légitimité plus grande au modèle, car elle permettrait une meilleure opérationnalisation de ce mécanisme. Cependant, aucun modèle, à l'heure actuelle, ne peut prétendre modéliser adéquatement la redescription. Clark et Karmiloff-Smith (1993) proposent plusieurs pistes à explorer dans ce but, mais aucune n'est véritablement concluante. Plunkett (1993) ainsi que Scutt et O'hara (1993) mentionnent, à juste titre, plusieurs difficultés quant à la méthode que Clark et Karmiloff-Smith semblent trouver la plus prometteuse, soit la décontextualisation (skeletonization). Cette méthode, proposée par Mozer et Smolensky (1989), consiste à éliminer les unités les moins contributives d'un réseau, ce qui donne lieu à un réseau épuré qui pourrait constituer une règle implicite. Cette méthode est, de plus, basée sur des réseaux qui fonctionnent en parallèle mais dans lesquels l'information est localisée dans les unités plutôt que distribuée dans les liens entre les unités comme c'est le cas dans les réseaux distribués (PDP: parallel distributed processing). Or, du point de vue biologique, il est plus plausible de postuler que l'information est largement distribuée et les avantages des réseaux PDP sont nombreux (Hinton, McClelland et Rumelhart, 1986; Bégin et Proulx, 1996). De plus, seules les représentations distribuées peuvent correctement simuler les représentations qui ne sont pas encore sous forme symbolique ou propositionnelle. Or, la plupart des théories développementales (Mounoud et Vinter, 1985; Mandler, 1992; Piaget, 1945) supposent une période pré-symbolique constituée ou non de représentations.

Shultz (1994) soutient que l'algorithme cascade-correlation proposé par Fahlman et Labiere (1990) pourrait s'avérer intéressant pour simuler la redescription. Cet algorithme, qui a été appliqué à une grande variété de tâches développementales comme la balance, la sériation et l'intégration des pronoms personnels, fonctionne en deux phases. Dans la première phase, le réseau s'ajuste aux données qu'il reçoit en essayant de réduire de plus en plus les erreurs dans ses réponses. Quand cette diminution de l'erreur stagne, le réseau entre dans la seconde phase. Le réseau recrute alors une nouvelle unité cachée qui crée des liens avec l'ensemble des unités d'entrée du réseau et les autres unités cachées. Lors de cette phase le réseau ajuste les liens créés avec la nouvelle unité cachée de façon à maximiser la corrélation entre l'erreur du réseau et l'activation de l'unité cachée. Quand la corrélation a atteint son maximum, la nouvelle unité est installée au-delà de la dernière unité cachée. Alors le réseau revient à la première phase et peut de nouveau s'ajuster aux données qu'il reçoit. Bien que la première phase semble simuler les représentations au niveau implicite et les phases subséquentes les représentations au niveau E-1, il n'y a pas dans ce type de réseau de prise de conscience en tant que telle et Shultz ne voit pas comment on pourrait implanter une forme de prise de conscience dans des réseaux connexionnistes. Or, une des caractéristiques les plus intéressantes de la redescription est justement de permettre une certaine prise de conscience. La difficulté d'implanter la redescription des représentations dans des réseaux connexionnistes n'est pas mince, mais l'idée est lancée; cette proposition devrait certainement trouver des échos chez de nombreux tenants des

modÉles connexionnistes. Cependant pour que cette implantation soit rÉussie, il est primordial de bien comprendre et analyser les caractÉristiques du modÉle. É ce titre, deux caractÉristiques du modÉle de Karmiloff-Smith semblent moins bien appuyÉes empiriquement, soit la microgÉnÉse et la prise de conscience.

1.5. ConsÉquences pour la microgÉnÉse et la prise de conscience

Karmiloff-Smith soutient en effet que la redescription peut nous aider É comprendre la macrogÉnÉse et la microgÉnÉse car les deux se produisent au moyen de la redescription et en passant par les mÉmes niveaux de reprÉsentation. Karmiloff-Smith (1984) considÉre que la rÉsolution de problÉme est une faÁon privilÉgiÉE pour Étudier la microgÉnÉse. Elle mentionne d'ailleurs que la solution d'un problÉme doit Étre trouvÉE par le sujet durant la pÉriode d'expÉrimentation. Elle ajoute que le problÉme doit Étre suffisamment nouveau pour intÉresser le sujet et lui poser un dÉfi. Pour ce faire, il faut Évidemment que le sujet possÉde d'ÉjÉ les connaissances nÉcessaires É la rÉsolution du problÉme, sans toutefois savoir quelles connaissances sont utiles et comment les coordonner.

Les donnÉes fournies par Karmiloff-Smith (1984, 1986, 1990, 1992a, Karmiloff-Smith et Inhelder, 1974) sont fort nombreuses et diversifiÉes; elles sont convaincantes pour expliquer le passage du niveau implicite au niveau E-1 de reprÉsentation. Cependant, les expÉriences concernant la microgÉnÉse sont rares et peu d'observations sont donnÉes concernant la prise de conscience. Afin de tester le modÉle dans ces deux situations, nous avons rÉalisÉ deux expÉriences qui sont prÉsentÉes in extenso ailleurs (Demers, Dagenais et Lemoyne, 1996). Ici nous nous contentons de les prÉsenter succinctement afin de voir l'impact de ces rÉsultats sur le modÉle de la redescription des reprÉsentations et sur l'implantation Éventuelle de ce mÉcanisme sur des rÉseaux connexionnistes.

2. PremiÈre expÉrience

La tÉche de rÉsolution de problÉme que nous avons construite fait appel aux notions de sÉriation et de correspondance. Pour rÉussir la tÉche, il s'agissait de comprendre la nÉcessitÉ de rÉaliser une sÉriation; en aucun moment, la consigne pour cette tÉche ne faisait mention d'ordre.

2.1. Sujets

Cette tÉche a ÉtÉ soumise É 128 ÉlÉves. Ces ÉlÉves proviennent de trois niveaux scolaires dont la moyenne d'ge est respectivement de sept ans 1 mois (premiÈre annÉE), neuf ans 2 mois (troisiÈme annÉE) et 11 ans 2 mois (cinquiÈme annÉE). Tous les sujets, sauf deux, ont rÉussi É des Épreuves de sÉriation de longueur; ils disposaient donc des connaissances nÉcessaires É la construction de la solution de la tÉche.

2.2. Dispositif expÉrimental

Le matÉriel utilisÉ dans cette tÉche consiste en une rampe descendante, puis ascendante reprÉsentÉE en figure 1. La tÉche de l'enfant consiste É faire rouler une

bille projectile qui entre en collision avec une bille cible (choisie parmi cinq billes) qui peut Étre avalÉE par un Mickey mouse placÉ sur un mobile. Le but de la tÉche est de faire avaler les cinq billes en faisant le minimum d'essais (cinq). Cette tÉche permet d'amÉnager deux situations, l'une sans impasse et l'autre avec impasse. Dans la situation sans impasse une seule bille, la plus petite, peut Étre avalÉE lorsque le mobile est en position ÉloignÉE. Lorsque l'enfant fait avaler la petite bille, le mobile avance et seule la deuxiÈme bille plus petite peut Étre avalÉE et ainsi de suite. L'enfant doit donc d'Écouvrir qu'il lui faut prendre les billes en ordre, de la plus petite É la plus grande. Pour cela, il peut se fier aux rÉsultats visibles de ses actions car une seule bille peut Étre avalÉE É chaque fois. Dans la situation avec impasse, le mÉcanisme est inversÉ; le mobile recule É chaque fois qu'une bille est avalÉE. L'enfant doit donc utiliser l'ordre inverse. Cependant, en position rapprochÉE, toutes les billes peuvent Étre avalÉes; il s'ensuit que pour rÉussir, l'enfant doit prÉvoir que, lorsque le mobile sera en position ÉloignÉE, les plus grosses billes ne pourront pas Étre avalÉes. É d'Éfaut de cette prÉvision, l'enfant se retrouvera en situation d'impasse, car il ne pourra pas faire avaler toutes les billes.

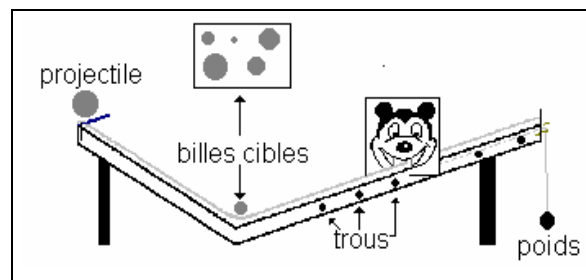


Figure 1— Illustration du dispositif expÉrimental

Tous les sujets rÉalisent chacune des situations de la tÉche principale et doivent expliquer comment ils ont procÉdÉ suite É chaque situation. L'ordre de prÉsentation de ces situations est contrÉuÉ afin d'analyser l'impact de la prÉsence ou l'absence d'impasse sur la rÉussite de la tÉche, sur la conceptualisation de cette rÉussite et sur la capacitÉ de gÉnÉralisation de cette procÉdure É une autre situation. C'est pourquoi tous les sujets sont soumis aux deux situations, la deuxiÈme servant É mesurer la gÉnÉralisation. La rÉpartition des sujets selon l'ordre de passation des situations est la suivante: premiÈre annÉE: 20 sujets ont commencÉ par la situation sans impasse et 21 par la situation avec impasse; troisiÈme annÉE: 20 sujets ont commencÉ par la situation sans impasse et 24 par la situation avec impasse et cinquiÈme annÉE: 21 sujets ont commencÉ par la situation sans impasse et 22 par la situation avec impasse.

2.3. RÉsultats

Rappelons tout d'abord, que selon le modÉle de Karmiloff-Smith, nous devrions obtenir des diffÉrences d'Éveloppementales en ce qui concerne le degrÉ de conceptualisation de la tÉche et le taux de gÉnÉralisation parmi les sujets qui ont rÉussi la tÉche puisque les enfants les plus jeunes devraient avoir des reprÉsentations se situant É des niveaux moins ÉlevÉs

(I ou E-1) que les enfants plus âgés. Ceci étant dû au fait que les redescriptions et répétitions demandent du temps et ont donc eu plus de chance de se produire parmi les enfants plus âgés. Cependant, comme dans le modèle de Karmiloff-Smith, c'est la réussite et non l'impasse qui favorise la redescription, il ne devrait pas y avoir de différences quant au degré de compréhension et au taux de généralisation en fonction de la situation.

Les résultats que nous avons obtenus ne montrent aucune différence en ce qui concerne les deux situations (avec ou sans impasse) ce qui est en accord avec le modèle de Karmiloff-Smith. Au point de vue développementale, plusieurs différences sont apparues. Ces différences concernent le taux de réussite, le degré de conceptualisation atteint suite à la réussite de la tâche et le taux de généralisation à la deuxième situation. Toutes les différences obtenues sont dues aux sujets les plus jeunes (groupe de 7 ans) qui ont obtenu des résultats significativement inférieurs pour chacune de ces mesures. Ces résultats sont ceux attendus dans une application du modèle de Karmiloff-Smith.

Tableau 1 — Nombre de sujets en fonction des cotes de compréhension et du niveau scolaire

groupes	cote 0	cote 1	cote 2	cote 3
première	7	4	6	8
troisième	1	4	9	21
cinquième	2	2	6	28

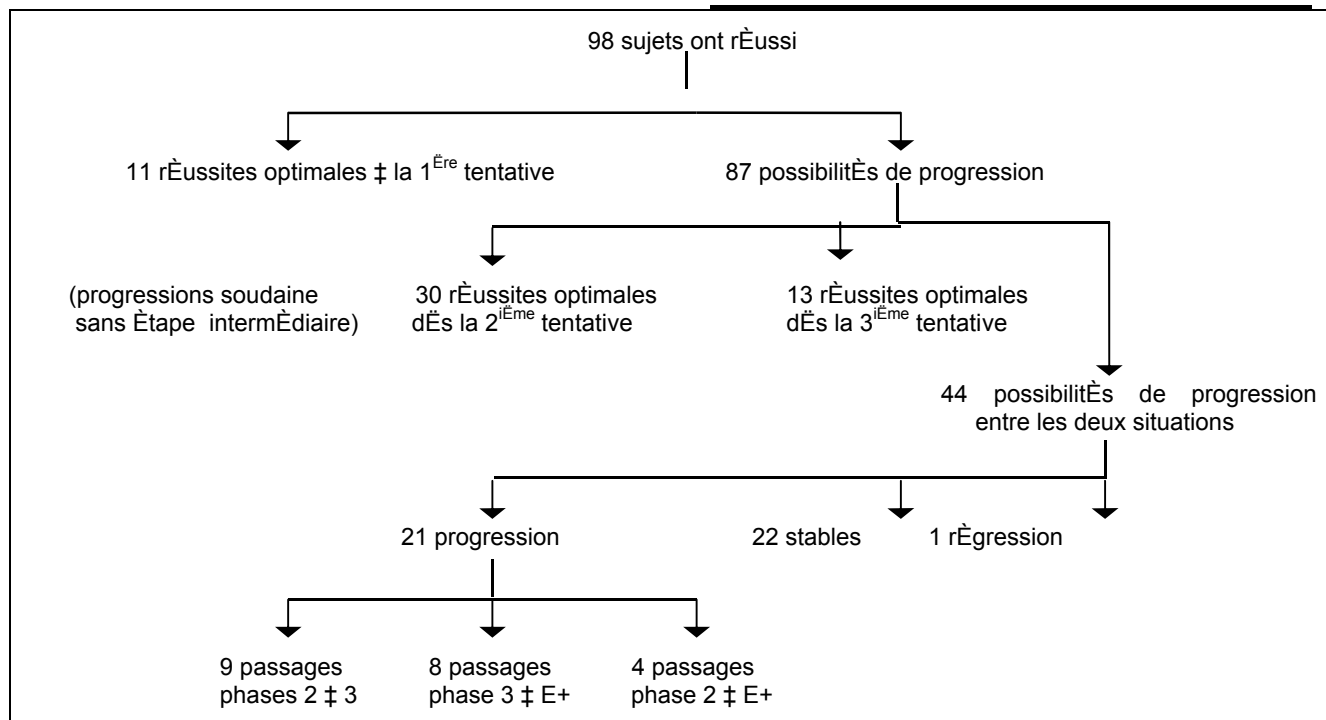


Figure 2 — Schéma représentant les différents cheminements suivis par les sujets de l'expérience

En ce qui concerne le degré de conceptualisation, une échelle a pu être établie selon que les sujets mentionnaient ni la sériation ni la correspondance (cote 0), seulement la sériation (cote 1), seulement la correspondance (cote 2) ou la sériation et la correspondance (cote 3). Or les résultats obtenus montrent qu'uniquement 10 sujets sur 98 ont obtenu la cote 0, ce qui indique que la plupart des sujets ont une certaine compréhension de la tâche. Ce qu'on remarque plus particulièrement, c'est une amélioration de cette compréhension avec l'âge, les sujets les plus jeunes obtenant surtout les cotes 0, 1 et 2, alors que les sujets des deux groupes plus âgés obtenaient surtout la cote 3. Le tableau 1 présente la répartition des sujets en fonction de leur niveau scolaire. Ces résultats ne vont pas dans le sens du modèle qui postule que la verbalisation vient d'une redescription. Ils indiquent plutôt une amélioration des verbalisations avec l'âge ce qui suggère une amélioration des modèles que se forment les sujets. Cette amélioration peut être due à une meilleure organisation des représentations.

D'autres résultats nous semblent encore plus intéressants à analyser. Ils concernent la microgénése des connaissances. Cette analyse porte uniquement sur les sujets qui ont réussi lors de leur première situation, soit 98 sujets sur 128. Le schéma présenté en figure 2 permettra au lecteur de bien suivre les cheminements des sujets.

Notons tout d'abord que les sujets ont pu être répartis selon les niveaux suivants: implicite, E-1 phase 2, E-1 phase 3 et E+. Les phases 2 et 3 se situent tous deux au niveau E-1. La phase 2 implique une règle inconsciente et inadéquate alors que la phase 3 implique une règle inconsciente mais adéquate. C'est suite à cette phase 3 que la redescription pourra avoir lieu et mènera au niveau E+.

On observe que, dès leur première tentative, 11 sujets ont réussi la tâche, tout en fournissant une explication adéquate et en réussissant la généralisation. Ces sujets n'ont donc pas pu s'engager dans un processus de microgénése se retrouvant au niveau optimal dès le départ.

Parmi les 87 autres sujets, on remarque que 30 d'entre eux ont obtenu une réussite dès leur seconde tentative, tout en démontrant une réussite optimale de niveau E+. Puisqu'à leur première tentative, ils ont procédé de façon aléatoire, du moins pour la grande majorité d'entre eux, ils sont donc passés du niveau implicite au niveau E+ et cela dans un très court laps de temps. Ce fut en réalité une découverte rapide souvent marquée par des expressions comme: ije viens de trouver le truc! ou encore iah! J'ai trouvé, il faut commencer par la plus grosse! Treize sujets ont montré une progression semblable aux trente précédents, présentant une découverte soudaine de la solution, mais en prenant trois tentatives plutôt que deux. Tous ces sujets ne semblent pas avoir suivi un cheminement par étapes avec une période de consolidation à chacune de ces étapes.

Parmi les 44 autres sujets, 22 n'ont montré aucune progression, un sujet a régressé et 21 ont connu une progression de la première à la seconde situation. Parmi ces 21 sujets, 9 sont passés de la phase 2 à la phase 3, 8 de la phase 3 au niveau E+ et 4 de la phase

2 au niveau E+. En ce qui concerne les quatre sujets qui sont passés de la phase 2 au niveau E+, leur progression fut plus rapide que celle postulée par le modèle puisque nous n'avons observé aucune manifestation d'un passage à la phase 3. Il y a donc seulement 17 sujets qui ont semble-t-il suivi une progression conforme au modèle, alors qu'au moins 43 d'entre eux ont connu une progression beaucoup plus rapide.

En ce qui concerne la tâche du Mickey mouse, le modèle de Karmiloff-Smith ne s'est donc pas révélé le plus adéquat pour analyser les microgénéses observées car elles se sont produites trop rapidement pour accréditer la thèse d'un développement se produisant par plusieurs niveaux et demandant un temps de consolidation à chacun de ces niveaux. De plus l'augmentation dans la cote de compréhension avec l'âge montre que au-delà de la capacité de verbaliser sa procédure, la prise de conscience de tous les éléments en jeu peut venir d'une meilleure organisation des connaissances. En effet, on remarque une nette amélioration dans les explications des sujets avec l'âge et non un passage d'une incapacité à verbaliser à une verbalisation adéquate; ce que nous devrions obtenir si les représentations étaient conscientes avant d'être retranscrites à un niveau permettant la verbalisation.

3. Seconde expérience

Nous désirons savoir si suite à une première redescription, les verbalisations étaient déjà possibles ce qui aurait pour conséquence d'éliminer le niveau E-1 tel que décrit par Karmiloff-Smith puisqu'une seconde redescription transcrivant les représentations dans un langage mental rendant possible la prise de conscience et les verbalisations deviendrait par le fait même caduque. Pour examiner cette hypothèse, nous avons procédé à une seconde expérience.

3.1. Dispositif expérimental

Afin d'examiner comment se produit la prise de conscience, nous avons simplifié notre tâche et proposer trois séries de billes à avaler avant que l'enfant ait à expliquer sa démarche. Ceci afin de pouvoir observer des réussites procédurales sans compréhension et voir ensuite comment cette compréhension émerge. La série de cinq billes fut donc remplacée par trois séries de trois billes et seule la situation sans impasse fut soumise aux enfants. Ensuite, pour vérifier la généralisation, une sériation de cinq billes était demandée. 57 sujets de 4 à 8 ans ont pris part à l'expérience.

3.2. Résultats

Les conduites des élèves ont montré des différences développementales; ce résultat attendu n'est toutefois pas celui qu'il nous importait d'examiner. Nous avons donc procédé à une analyse des conduites des sujets. Six cheminements distincts ont pu être mis en évidence.

Tableau 2 — Distribution des sujets dans les différentes catégories neutre, favorable et défavorable au modèle de Karmiloff-Smith en fonction du niveau scolaire.

	NEUTRE			FAVORABLE		D...FAVORABLE	
	Échec	implicite	E+	rÈgle	rÈgle et gÈnÈralisation	verbalisation sans rÈussite	verbalisation sans gÈnÈralisation
garderie	1	6	1	4	0	2	0
maternelle	1	4	4	4	2	4	3
deuxiÈme	0	1	16	1	1	1	1

Le tableau 2 présente les résultats de l'ensemble des sujets. Dans ce tableau, les conduites des sujets sont réparties dans trois catégories. La catégorie neutre inclut les sujets se situant aux niveaux extrêmes, ces sujets ne font pas partie de l'analyse. La catégorie favorable inclut les sujets dont les conduites vont dans le sens des prédictions du modèle de Karmiloff-Smith. Enfin, la dernière catégorie renferme les sujets dont les conduites nous apparaissent aller à l'encontre des conduites attendues par le modèle de Karmiloff-Smith.

Douze sujets montrent par leurs actions qu'ils possèdent une règle et qu'ils appliquent cette règle avec régularité mais sans pouvoir la verbaliser; ces sujets se situent au niveau E-1. Ils se distinguent selon leur réussite à l'épreuve de généralisation (Tableau 2: réussite: colonne "rÈgle et gÈnÈralisation", Échec colonne "rÈgle"). Les conduites de ces sujets militent en faveur du fait qu'il existe un niveau intermédiaire où les représentations peuvent être examinées par le système cognitif tout en demeurant non verbalisables. Cependant, comme la généralisation exigée au cours de la dernière étape est vraiment minime, puisqu'il s'agissait de faire une série de cinq billes plutôt que de trois, il semble que nous devrions obtenir des conduites de sujets capables de généraliser pour pouvoir affirmer qu'il y a un niveau où les représentations sont mobiles tout en demeurant inconscientes. Ce sont donc les trois sujets du niveau E-1 réussissant à l'épreuve de généralisation qui militent le plus en faveur du niveau intermédiaire stipulé par Karmiloff-Smith.

Nous avons aussi recensé deux comportements qui ne s'expliquent pas par le modèle de Karmiloff-Smith. Il s'agit des conduites des sujets qui peuvent expliquer verbalement la solution sans avoir montré de réussites systématiques auparavant (sixième colonne du tableau), ainsi que celles des sujets qui peuvent expliquer leur procédure à la première situation comportant trois billes sans pouvoir ensuite la généraliser à la situation comportant cinq billes (dernière colonne).

En conclusion, les conduites de 12 sujets (dont trois seulement ont pu généraliser) militent en faveur d'un niveau E-1 où les représentations sont explicites mais non verbalisables. Par ailleurs, les conduites de 11 sujets vont à l'encontre de l'existence d'un tel niveau. La réussite procédurale impliquant une règle sous-jacente ne tend pas ainsi à devancer la conceptualisation. Au contraire, nous assistons à un développement concerté des réussites et de la conceptualisation. Ces résultats vont dans le sens d'une possibilité de verbalisation dès le deuxième niveau de représentation, ce qui laisse à

penser que la prise de conscience ne vient pas d'une nouvelle redescription qui modifie le format dans lequel sont inscrites les représentations mais plutôt d'une réorganisation des connaissances qui permet à l'enfant de prendre conscience que la distance parcourue par les billes dépend de leur grosseur.

Plusieurs indices illustrent ce développement concerté des connaissances conceptuelles et procédurales; en voici quelques uns. Une fillette de 5 ans 7 mois a mentionné plusieurs fois au cours de ses tentatives lors des trois premières étapes que : "les plus faciles, c'est les petites", "la grosse est plus difficile", "c'est loin àa, la plus petite en premier" etc.. Malgré cela, elle n'a jamais réussi à développer une règle procédurale lui permettant de réussir sans erreur. En revanche, au moment d'expliquer sa procédure, elle mentionne qu'il "faut prendre la petite, après la moyenne et après la grosse". Or, le fait de devoir s'expliquer semble avoir eu un effet bénéfique car elle a ensuite enfilé les cinq billes en ordre lors de l'étape 4. Il semble bien ici que c'est la conceptualisation qui a permis la réussite procédurale et non l'inverse. Voici un autre exemple recueilli chez un enfant de 5 ans 5 mois. Cet enfant mentionne spontanément lors de sa troisième tentative à l'étape trois: "je pense que j'ai une bonne idée, je prends la petite et après la moyenne"; par la suite, lors du questionnement, ses explications sont adéquates et mentionnent les trois billes dans l'ordre. Lors de la généralisation à cinq billes (étape 4), il prend d'abord la bille moyenne puis se ravise en disant: "non la plus petite c'est elle (en montrant effectivement la plus petite bille)". Il prend donc la plus petite, ensuite la deuxième plus petite et finalement la plus grosse. Sa règle était donc incomplète et non généralisable à cinq billes mais assurément consciente. Ces exemples pourraient être multipliés; ils illustrent tous le fait que la prise de conscience se fait concurremment avec la découverte de la procédure et si l'une devance l'autre, c'est en général de peu et cela peut aller dans les deux sens.

Les résultats de nos deux expériences indiquent que la prise de conscience ne peut s'expliquer par une redescription qui modifie le format dans lequel sont inscrites les représentations pour les rendre verbalisables. Au contraire, la prise de conscience se fait graduellement. En effet, même les sujets les plus jeunes ont une certaine prise de conscience de la solution et peuvent verbaliser en partie leur procédure. Ce qui augmente avec le développement, c'est la qualité de leur explication, ce qui s'explique bien par une meilleure organisation de leurs connaissances.

4. Interprétation des résultats et transformations envisagées du modèle de Karmiloff-Smith

L'hypothèse de la réorganisation des connaissances, que nous formulons pour rendre compte des résultats de notre recherche et plus spécifiquement pour expliquer la prise de conscience, est lourde de conséquence. En effet, il n'est plus nécessaire de postuler plus de deux niveaux de représentation. Les résultats fournis par Karmiloff-Smith concernent d'ailleurs davantage les deux premiers niveaux; très peu de données appuient, de fait, un troisième niveau. Il n'y a donc pas de raison empirique pour postuler un troisième niveau. Qu'est-ce qui a amené Karmiloff-Smith à postuler ce troisième niveau?

4.1. Premier point

Karmiloff-Smith (1979, 1984, 1985, 1986) cite de nombreux exemples de situations dans lesquelles les conduites des enfants témoignent de l'application de règles; ces enfants demeurant toutefois incapables de verbaliser ces règles. Cependant, Karmiloff-Smith n'a jamais montré comment les enfants en arrivent à prendre conscience de ces règles, d'autres explications que la redescription peuvent être envisagées. Un manque d'organisation des connaissances peut expliquer cette incapacité à énoncer une règle que l'enfant sait par ailleurs appliquer; il n'est pas alors nécessaire de faire intervenir une redescription. Les résultats de la première expérience montrent aussi clairement une amélioration dans la conceptualisation de la tâche avec l'âge. Cette amélioration graduelle va plutôt dans le sens d'une meilleure organisation des représentations que dans celui d'une prise de conscience survenant suite à une redescription.

4.2. Deuxième point

Au point de vue théorique, de nombreuses raisons militent en faveur de la redescription des représentations et donc, d'au moins deux niveaux de représentation. Ces raisons sont exposées ici afin de voir si elles appuient un modèle en trois niveaux de représentation.

Pour Karmiloff-Smith (1994) il est essentiel de se situer dans une perspective développementale pour comprendre la cognition humaine. Or, pour qu'une théorie soit réellement développementale, elle doit s'inscrire dans une approche constructiviste (Bates et Elman, 1993; Scholnick, 1994) et pour cela, spécifier des mécanismes qui peuvent expliquer les changements fondamentaux qualitatifs qui se produisent tout au long du développement. La redescription est précisément un de ces mécanismes. Bien sûr, d'autres mécanismes peuvent être évoqués tels l'assimilation, l'accommodation et l'équilibration, mécanismes définis dans la théorie de Piaget. On a souvent reproché à ces mécanismes d'être trop vagues et également de fort mal expliquer le passage de la pensée sensori-motrice à la pensée représentative (Mandler, 1992). De plus, ces mécanismes ont amené Piaget à postuler des changements structuraux généraux qui impliquent des changements dans tous les domaines. Or, de plus en plus de recherches tendent à montrer que le

développement se produit, dans un premier temps du moins, à l'intérieur des domaines. Les principaux avantages du mécanisme de Karmiloff-Smith sont qu'il agit effectivement au niveau des domaines spécifiques et qu'il intègre donc naturellement les données abondantes montrant que le nourrisson possède dès la naissance des connaissances reliées à des domaines spécifiques. La théorie de Karmiloff-Smith (1992a, 1994) tient compte de ces données sans tomber dans l'innéisme à outrance et c'est là un avantage considérable. Enfin, le fait que notre esprit soit capable de véritables nouveautés ne peut s'expliquer que par le fait que nous possédons la capacité de prendre nos propres représentations comme objet de pensée. Encore une fois, cette possibilité peut s'expliquer par la redescription. Mais, ces raisons suffisent-elles à postuler plus de deux niveaux de représentation?

Dès que l'on envisage la redescription des représentations, on se situe dans une perspective constructiviste. Les représentations au niveau E-1 sont disponibles pour les autres parties du système cognitif; la connaissance ne vient donc pas uniquement de l'extérieur, mais également de l'intérieur. De plus, cet examen peut déboucher sur des concepts qui se construiront grâce à l'organisation des réseaux entre eux. L'ensemble des considérations théoriques et des résultats empiriques montrent l'importance d'explorer l'organisation des connaissances qui a certainement un rôle très considérable à jouer et qu'on se doit de mettre en lumière.

4.3. Troisième point

L'implantation sur des réseaux connexionnistes du modèle pourrait-elle nous renseigner sur la pertinence de postuler plusieurs niveaux de représentation ou deux seulement?

Dans un réseau connexionniste dans lequel les représentations sont distribuées (PDP), l'information n'est pas localisée à un endroit précis, par exemple un noeud, comme c'est le cas dans un système conçu selon une approche symbolique de la cognition. Tout au contraire, elle est largement distribuée dans les liens entre les unités (McClelland, Rumelhart et Hinton, 1986). Or, selon Minsky et Papert (1988), une représentation largement distribuée est inaccessible comme objet de réflexion. Pour qu'une représentation devienne objet de réflexion, elle doit être suffisamment localisée afin qu'elle puisse être analysée et organisée. En conséquence, il est clair qu'un système qui utilise des représentations hautement distribuées ne peut expliquer la pensée réflexive. Il est donc nécessaire de postuler un moyen qui permettrait de rendre ces connaissances, distribuées dans des réseaux, disponibles aux autres réseaux afin qu'ils puissent se communiquer de l'information.

De plus, les réseaux connexionnistes ont prouvé qu'ils étaient fort efficaces pour simuler les capacités de base du cerveau humain, telles la reconnaissance de formes et la reconnaissance de la parole. En revanche, on a souvent reproché à ces réseaux d'être de piètre utilité pour simuler des capacités plus élevées (Schyns, 1994). Des représentations à un niveau implicite peuvent très bien nous permettre de reconnaître des objets ou des mots; c'est pourquoi le connexionnisme réussit si bien dans ces activités. En revanche, pour

résoudre un problème, il faut que nos représentations aient été explicitées afin d'avoir une certaine mobilité et de pouvoir être utilisées dans une nouvelle situation, ce dont sont incapables les réseaux connexionnistes conventionnels.

Hampson (1994) et Shultz (1994) appuient fortement Karmiloff-Smith (1994) lorsqu'elle mentionne que la plupart des modèles connexionnistes actuels ne vont pas au-delà du niveau implicite de représentation, quoique Shultz voit dans l'algorithme cascade-corrélation de Fahlman et Labiere (1990) une possibilité de simuler ce qui ressemble à une redescription. Cet algorithme pourrait en effet être une piste intéressante à explorer. Quoi qu'il en soit, il est clair qu'il faut postuler un mécanisme qui rendrait les réseaux connexionnistes aptes à résoudre des problèmes de haut niveau ce qui nécessite que les informations se situent à un autre niveau de représentation. C'est ce qui explique d'ailleurs que de plus en plus de chercheurs se tournent vers des modèles hybrides incorporant des réseaux connexionnistes et d'autres outils de représentations symboliques. Mais, alors, il est primordial d'expliquer les liaisons entre ces deux modèles. À cet égard, le lien entre ces deux systèmes pourrait être réalisé par un mécanisme de redescription des représentations.

On voit bien qu'il est indispensable encore une fois de postuler au moins deux niveaux de représentations. Il est important de souligner que certains chercheurs, dont Thornton (1991), envisagent un modèle en plusieurs niveaux. Thornton propose un modèle constitué de plusieurs machines virtuelles s'englobant l'une dans l'autre. La première de ces machines serait connexionniste alors que la dernière ressemblerait plus à une machine manipulant des symboles. Les machines intermédiaires ressembleraient de plus en plus à des machines manipulatrices de symboles à mesure qu'elles s'élèvent dans la hiérarchie. Cette façon de voir est intéressante et appuie un modèle hiérarchique à plusieurs niveaux. Cependant, nous croyons qu'il est trop tôt pour se prononcer; il faut d'abord réussir à simuler la redescription, ce qui n'est pas une entreprise facile. Ensuite, nous pourrions voir les possibilités de ces nouveaux réseaux de second ordre et nous serons ainsi plus à même de décider de la nécessité ou non de postuler un troisième niveau de représentation.

Finalement, Clark et Karmiloff-Smith (1993) mentionnent que l'implantation de la redescription permettrait de rendre les connaissances incluses dans un réseau disponibles pour les autres réseaux. Pour que ces connaissances soient disponibles aux autres réseaux, il faut bien que des liens se créent entre ces réseaux. Ces liens doivent être relativement complexes car Clark et Karmiloff-Smith précisent que ce ne doit pas être uniquement la sortie du réseau qui doit être disponible mais également les connaissances cachées. Pour ce faire, il semble bien qu'il faille aller vers des systèmes de réseaux connexionnistes avec probablement des liens hiérarchiques entre ces réseaux. Or, la création de ces liens ne doit pas se faire de façon anarchique; il est indispensable de postuler certains mécanismes permettant de la contrôler. Il semble que le mécanisme de l'équilibration de Piaget peut être fort utile dans cette optique même s'il apparaît difficile à implanter sur ordinateur.

Dans son livre sur l'équilibration, Piaget (1975) mentionne trois niveaux d'équilibration qui font intervenir les mécanismes d'assimilation et d'accommodation. Le premier consiste en l'équilibration entre l'assimilation et l'accommodation dans une situation dans laquelle l'enfant est confronté à un élément extérieur qu'il doit incorporer à un schéma. Le second renvoie à un équilibre qui se crée entre différents sous-systèmes du système cognitif. Le troisième concerne l'équilibration entre un sous-système et un système d'ensemble. Cette forme d'équilibration est distincte de la seconde forme et doit être ajoutée puisque le tout n'est pas réductible à l'ensemble de ses parties, mais comporte des lois de composition qui lui sont propres (Piaget, 1975). La seconde forme d'équilibration mentionnée par Piaget pourrait, nous semble-t-il, correspondre à ce que nous avons proposé auparavant concernant les liens entre les réseaux. Ainsi, à partir de réseaux de second ordre, il faudrait trouver une façon d'optimiser les échanges entre ces réseaux; ceci permettrait à chacun des réseaux de s'accommoder à l'autre et d'en assimiler des connaissances. Il semble cependant important de pouvoir également simuler la première forme d'équilibration; pour ce faire, il faudrait que les réseaux de premier ordre soient actifs dans leur quête d'information et donc qu'ils puissent effectuer une sélection et un contrôle sur les informations traitées. Ainsi l'implantation sur des réseaux connexionnistes telle qu'envisagée par Clark et Karmiloff-Smith (1993) implique une organisation complexe entre les réseaux. Cette organisation ne peut se faire que sur une longue période et explique, par le fait même, la lente organisation des connaissances. Les résultats de nos expériences indiquent que cette organisation s'élabore sur des représentations qui sont déjà accessibles à la verbalisation.

Les analyses que nous avons menées vont dans le sens d'un modèle à deux niveaux de représentation; dans un tel modèle, l'organisation des représentations explicites fait appel à une forme d'équilibration et joue un rôle de premier plan. Nous croyons toutefois qu'il est prématuré de condamner un modèle en plusieurs niveaux; les connaissances actuelles sur le domaine sont encore insuffisantes pour poser un diagnostic éclairé. De plus, plusieurs auteurs (Goldin-Meadow et Alibali, 1994; Graham, 1994; Kuhn, 1994) soulignent l'importance d'un modèle non dichotomique où les représentations sont soit totalement implicites soit totalement explicites conscientes et verbalisables, ils insistent sur l'importance de postuler des changements graduels. Goldin-Meadow et Alibali suggèrent, entre autres, que les enfants montrent dans leurs gestes une certaine compréhension d'une tâche bien avant d'être capable d'expliquer cette tâche. La compréhension pourrait alors s'exprimer sous forme de gestes, mais il n'est pas clair si cette capacité gestuelle est consciente ou non. Il est à noter que, même dans un modèle à deux niveaux, les changements peuvent se faire de façon graduelle une fois que les représentations ont été explicitées puisque l'organisation des connaissances entre alors en jeu et permet la construction de théories de plus en plus précises et de plus en plus englobantes. Notons également que le modèle piagétien fait intervenir uniquement deux formats fondamentalement différents soit la pensée sensori-motrice pré-représentative et la pensée représentative. Ensuite les

changements structuraux sont liés à l'organisation des connaissances.

Qu'on opte pour un modèle à deux niveaux ou à plus de deux niveaux, il demeure de première importance d'explorer l'organisation des réseaux entre eux, afin de pousser plus loin notre compréhension de la cognition humaine. Dans un commentaire paru suite à l'article de Clark et Karmiloff-Smith (1993), Abrahamsen (1993) mentionne l'importance de la collaboration entre les chercheurs des différents domaines des sciences cognitives. De même, Bates et Elman (1993) mentionnent que l'approche connexionniste semble plus prometteuse que l'approche symbolique pour simuler le développement cognitif. Nous souscrivons pleinement à cette idée et souhaitons grandement que cette collaboration s'accroisse. Les réseaux connexionnistes sont des outils puissants dont plusieurs possibilités demeurent inexploitées. Si les théories du développement cognitif peuvent y gagner en clarté et en précision, l'approche connexionniste peut y gagner en légitimité. En effet, les reproches les plus importants faits à l'approche connexionniste évoquent le fait que cette approche se situe au niveau de l'implantation dans la machine et donc à un niveau non cognitif (Fodor et Pylyshyn, 1988). C'est dans sa capacité à simuler des tâches de haut-niveau que le connexionnisme sera jugé. Or, ceci ne pourra se faire que si on réussit à implanter un mécanisme, comme celui de la redescription, qui permettra de situer les connaissances acquises par un réseau à un autre niveau, ce qui les rendra disponibles à d'autres réseaux se situant également à un niveau élevé. Des liens devront ensuite se former entre ces nouveaux réseaux. La création de ces liens doit être soumise à un certain contrôle permettant une bonne adaptation à l'environnement; ce contrôle peut être assuré par la seconde forme d'équilibration proposée par Piaget (1975).

RÉfÉrence bibliographiques

- [Abrahamsen 1993] Abrahamsen, A. (1993). Cognizers' innards and connectionist nets: A holy alliance? *Mind and Language*, 8, 520-530.
- [Bates & Elman 1993] Bates, E.A. et Elman, J.L. (1993). Connectionism and the study of change. In M.H. Johnson (Ed.) *Brain Development and Cognition*. Oxford England: Blackwell.
- [BÉgin & Proulx 1996] BÉgin, J et Proulx, R. (1996). Categorization in unsupervised neural networks: The EIDOS model. *IEEE Transactions on Neural Networks*.
- [Boden 1990] Boden, M.A. (1990). *The Creative Mind: Myths and mechanisms*. London: Weidenfeld and Nicholson.
- [Chapman 1992] Chapman, M. (1992). Equilibration and the dialectics of organisation. In H. Beilin et P.B. Pufall (Éds), *Piaget's Theory Prospects and possibilities*. Hillsdale: Erlbaum.
- [Clark & Karmiloff-Smith 1993] Clark, A. et Karmiloff-Smith, A. (1993). The cognizer's innards: A psychological and philosophical perspective on the development of thought. *Mind and Language*, 8, 487-519.
- [Demers et al. 1996] Demers, C., Dagenais, Y. et Lemoyne, G. (1996). Le modèle de la redescription des représentations de Karmiloff-Smith, la résolution de problème et la prise de conscience. *Archives de psychologie*, 65, 211-240.
- [Estes 1994] Estes, D. (1994). Developmental psychology for the twenty-first century. Réponse au précis of beyond modularity de Karmiloff-Smith. *Behavioral and Brain Sciences*, 17, 715-716.
- [Fahlman & Labiere 1990] Fahlman, S.E. et Labiere, C. (1990). The cascade-correlation learning architecture. In D. Touretzky (Éd) *Advances in neural information processing systems 2*. Morgan Kaufmann.
- [Fodor & Pylyshyn 1998] Fodor, J.A. et Pylyshyn, Z. (1988). Connectionism and cognitive architecture: A critical analysis. *cognition*, 28, 3-72.
- [Goldin-Meadow & Alibali 1994] Goldin-Meadow, S. et Alibali, M.W. (1994). Do you have to be right to redescribe? Réponse au précis of beyond modularity de Karmiloff-Smith. *Behavioral and Brain Sciences*, 17, 718-719.
- [Gopnik 1994] Gopnik, A. (1994). Après le patron. *Cognitive Development*, 9, 131-138.
- [Graham 1994] Graham, G. (1994). Dissociation, self-attribution, and redescription. Réponse au précis of beyond modularity de Karmiloff-Smith. *Behavioral and Brain Sciences*, 17, 719.
- [Halford 1993] Halford, G.S. (1993). *Children's understanding the development of mental models*. Hillsdale N.J. Erlbaum.
- [Hampson 1994] Hampson, P.J. (1994). Representational redescription, memory, and connectionism. Réponse au précis of beyond modularity de Karmiloff-Smith. *Behavioral and Brain Sciences*, 17, 721.

- [Hinton et al 1986] Hinton, G.E., McClelland, J.L. et Rumelhart, D.E. (1986). Distributed representations. In D.E. Rumelhart et J.L. McClelland (Éds) *Parallel Distributed Processing: Exploration in the microstructure of cognition vol. 1: foundations*. Cambridge: MIT Press.
- [Johnson 1994] Johnson, T.D. (1994). Genes, development, and the "innate" structure of the mind. Réponse au prÉcis of beyond modularity de Karmiloff-Smith. *Behavioral and Brain Sciences*, 17, 721-722.
- [Karmiloff-Smith 1979] Karmiloff-Smith, A. (1979). Problem-solving procedure in children's construction and representation of closed railway circuits. *Archives de Psychologie*, 47, 37-59.
- [Karmiloff-Smith 1984] Karmiloff-Smith, A. (1984). Children's problem solving. In M. Lamb, A. Brown and B. Rogoff (Eds) *Advances in Developmental Psychology* (vol 3), Hillsdale NJ: Erlbaum.
- [Karmiloff-Smith 1985] Karmiloff-Smith, A. (1985). A constructivist approach to modeling linguistic and cognitive development. *Archives de Psychologie*, 53, 113-126.
- [Karmiloff-Smith 1986] Karmiloff-Smith, A. (1986). From metaprocess to conscious access: Evidence from children's metalinguistic and repair data. *Cognition*, 23, 95-147.
- [Karmiloff-Smith 1990] Karmiloff-Smith, A. (1990). Constraints on representational change: Evidence from children's drawing. *Cognition*, 34, 57-83.
- [Karmiloff-Smith 1992] Karmiloff-Smith, A. (1992). *Beyond Modularity: A developmental perspective on cognitive science*. Cambridge: MIT Press.
- [Karmiloff-Smith 1992] Karmiloff-Smith, A. (1992). Nature, nurture and PDP: Preposterous developmental postulates? *Connection Science*, 4, 253-269.
- [Karmiloff-Smith 1993a] Karmiloff-Smith, A. (1993). Self-organisation and cognitive change. In M.H. Johnson (Ed.) *Brain Development and Cognition*. Oxford England: Blackwell.
- [Karmiloff-Smith 1993b] Karmiloff-Smith, A. (1993). NeoPiagetians: A theoretical misnomer? *SRCD Newsletter*, p. 3 et 10-11.
- [Karmiloff-Smith 1994] Karmiloff-Smith, A. (1994). PrÉcis of beyond Modularity: A developmental perspective on cognitive science. *Behavioral and Brain Sciences*, 17, 693-745.
- [Karmiloff-Smith & Inhelder 1974] Karmiloff-Smith, A. et Inhelder, B. (1974). If you want to get ahead, get a theory. *Cognition*, 3, 195-212.
- [Kuhn 1994] Kuhn, D. (1994). The power of explicit knowing. Réponse au prÉcis of beyond modularity de Karmiloff-Smith. *Behavioral and Brain Sciences*, 17, 722-723.
- [Mandler 1992] Mandler, J.M. (1992). How to build a baby: II. Conceptual primitives. *Psychological Review*, 99, 587-604.
- [McClelland et al., 1986] McClelland, J.L., Rumelhart, D.E. et Hinton, G.E. (1986). The appeal of parallel distributed processing. In D.E. Rumelhart et J.L. McClelland (Éds) *Parallel Distributed Processing: Exploration in the Microstructure of Cognition vol. 1: foundations*. Cambridge: MIT Press.
- [Minsky & Pappert, 1988] Minsky, M.L. et Papert, S.A. (1988). *Perceptrons*. Cambridge MIT press.
- [Moser & Smolensky 1989] Moser, M.C. et Smolensky, P. (1989). Using relevance to reduce network size Automatically. *Connection Science*, 1, 3-15.
- [Mounoud & Vinter 1985] Mounoud, J. et Vinter, A. (1985). La notion de reprÉsentation en psychologie gÉnÉtique. *Psychologie FranÁaise*, 30, 253-259.
- [Olson 1994] Olson, D.R. (1994). Where redescription come from. Réponse au prÉcis of beyond modularity de Karmiloff-Smith. *Behavioral and Brain Sciences*, 17, 725.
- [Piaget 1945] Piaget, J. (1945). *La formation du symbole chez l'enfant*. Paris: Delachaux et Niestlé.
- [Piaget 1974a] Piaget, J. (1974). *La prise de conscience*. Paris, Presses Universitaires de France.
- [Piaget 1974b] Piaget, J. (1974). *RÉussir et comprendre*. Paris, Presses Universitaires de France.
- [Piaget 1975] Piaget, J. (1975). *L'Équilibration des structures cognitives*. Paris: Presses Universitaires de France.
- [Plunkett 1993] Plunkett, K. (1993). Making Nets Work Hard. *Mind and Language*, 8, 549- 558.
- [Quartz & Sejnowski 1994] Quartz, S.R. et Sejnowski, T.J. (1994). Beyond modularity: Neural evidence for constructivist principles in development. Réponse au prÉcis of beyond modularity de Karmiloff-Smith. *Behavioral and Brain Sciences*, 17, 725-726.
- [Richard 1990] Richard, J.F. (1990). *Les activités mentales comprendre, raisonner, trouver des solutions*. Paris: Armand Colin.
- [Scholnick 1994] Scholnick, E.K. (1994). Redescriving development. Réponse au prÉcis of beyond modularity de Karmiloff-Smith. *Behavioral and Brain Sciences*, 17, 727-728.
- [Schyns 1994] Schyns, P. (1994). Psychologie de synthÉse, intelligence naturelle, intelligence artificielle. In M. Richelle, J. Requin et M. Robert (Éds) *TraitÉ de psychologie expÉrimentale*, vol. 2. Paris, Presses Universitaires de France.
- [Scutt & O'Hara 1993] Scutt, T. et O'Hara, K. (1993). 3,2,1... *We have cognition*. *Mind and Language*, 8, 559-568.
- [Schultz 1994] Shultz, T.R. (1994). The challenge of representational redescription. Réponse au prÉcis of beyond modularity de Karmiloff-Smith. *Behavioral and Brain Sciences*, 17, 728-729.
- [Thornton 1991] Thornton, C. (1991). Stirring Shakes: Introduction to Special Issue on Hybrid Models. *AISB Quaterly*, 78, 7.
- [VanLehn 1988] VanLehn, K. (1988). Toward a theory of impasse-driven learning. In H. Mandl and A. Lesgold (Eds) *Learning issues for Intelligent Tutoring Systems*. New York: Springer-Verlag.

[VanLehn 1991] VanLehn, K. (1991). Rule acquisition events in the discovery of problem solving strategies. *Cognitive Science*, 15, 1-47.