



HAL
open science

Effets d'exercices de rotation mentale sur le traitement des relations topologiques élémentaires chez des enfants handicapés moteurs.

Marc Zabalía, Daniel Mellier

► To cite this version:

Marc Zabalía, Daniel Mellier. Effets d'exercices de rotation mentale sur le traitement des relations topologiques élémentaires chez des enfants handicapés moteurs.. Archives de Psychologie, 1996, 64, pp.67-82. hal-03272395

HAL Id: hal-03272395

<https://hal.science/hal-03272395v1>

Submitted on 28 Sep 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**EFFETS D'EXERCICE DE ROTATION MENTALE
SUR LE TRAITEMENT DES RELATIONS
TOPOLOGIQUES ELEMENTAIRES
CHEZ DES ENFANTS HANDICAPES MOTEURS**

Marc Zabalia et Daniel Mellier

Université de Rouen

Les études du développement psychologique en cas d'infirmité motrice d'origine cérébrale se sont accordées pour conclure que les enfants Infirmes Moteurs Cérébraux (IMC) se différencient des enfants sans handicap par la fréquence et l'importance des troubles de l'organisation spatiale, notamment dans le domaine des relations topologiques élémentaires (Bideaud Colin et Lataillade, 1980, De Barbot, 1988, De Barbot Meljac, Truscelli et Henri-Amar, 1989). Elles démontrent aussi que l'infirmité motrice d'origine cérébrale perturbe l'activité logico-mathématique de la pensée, ce qui retentit sur les acquisitions scolaires. Toutes ces investigations insistent sur l'hétérogénéité des profils. Elles concluent que les troubles du développement cognitif infralogique et logico-mathématique ne peuvent s'expliquer uniquement par le déficit moteur puisque, si les degrés de dysfonctionnement varient en fonction des atteintes motrices, ils ne sont pas proportionnels au degré d'incapacité.

Ce constat a remis en question les attendus théoriques classiques, comme ceux de Piaget, qui donnaient à l'imitation un rôle d'intermédiaire entre le sensori-moteur et le représenté. Bideaud *et al.* (1980) font l'hypothèse que, soit l'imitation motrice joue un rôle moins important dans la construction des espaces que ne le laisse penser le point de vue théorique piagétien, soit son insuffisance peut être palliée par l'exercice d'autres activités, telles que les conduites d'observation ou les conduites verbales. C'est en ce sens que De Barbot (1988) considère que les enfants IMC construisent des procédures originales et particulières, en comparaison de leurs pairs d'âge valides. Dans la résolution d'un problème mathématique, les verbalisations viennent suppléer la perception spatiale défaillante. Ce phénomène avait déjà été décrit chez l'aveugle de naissance par Hatwell (1966).

Malgré leur nombre relativement restreint, ces recherches concernent un objet d'étude particulièrement pertinent pour la compréhension du développement cognitif. L'infirmité motrice d'origine cérébrale constitue une sorte de "laboratoire naturel" pour étudier à la fois les relations motricité-cognition et pour interroger les rapports entre le développement de la forme (ou la structure) des connaissances et leurs contenus. Si, dans la lignée piagétienne, on conçoit que c'est moins l'action motrice que le traitement qui en résulte ou l'accompagne qui importe, alors il est opportun de questionner l'activité cognitive de l'enfant non seulement dans ses productions (les résultats) mais aussi dans son organisation vive (les schèmes). Il s'agit par ailleurs, pour éclairer les représentations en action, de confronter les enfants à des mesures répétées relatives à différentes "espèces d'espaces" (Gréco, 1978). Enfin, les caractéristiques fonctionnelles sont évaluables par leur modifiabilité à l'issue d'entraînements (Paour, 1985). Ces trois orientations convergent dans notre étude qui est ciblée sur les effets d'exercice des capacités de rotation mentale chez l'enfant IMC.

Conception opératoire de l'origine de l'image mentale

La conception piagétienne situe l'origine de la représentation imagée comme un produit de l'accommodation des schèmes sensori-moteurs. Les caractéristiques propres à l'image mentale limitent sa fonction à la représentation de configurations statiques. La représentation de mouvement ou de transformations n'est possible que lorsque l'image mentale est encadrée par les structures opératoires issues de la coordination des actions (Piaget et Inhelder, 1966), c'est à dire pas avant 7-8 ans. En effet, les anticipations imagées de mouvements ou de transformations supposent un cadre de succession des images en leur déroulement. Un tel ordre relève d'une sériation opératoire, de même que les images anticipatrices supposent un cadre de conservation qui ne peut être constitué que par l'opération. Toutefois, Piaget et Inhelder (1966) soulignent que l'anticipation des résultats précède assez régulièrement celle des processus. Dès 5 ans, on observe des anticipations correctes du résultat d'une transformation. En attribuant la représentation du produit de la modification à l'image statique, les auteurs justifient le caractère tardif des représentations cinétiques et des représentations de transformations.

Les apports de la psychologie cognitive

Les deux modèles : Selon le paradigme du traitement de l'information, il existe deux principaux modèles de représentation imagée : le modèle propositionnel et le modèle analogique.

Le modèle propositionnel, fait appel à un seul mode de représentation des connaissances en mémoire, abstrait et amodal, dont l'unité de base est la proposition. L'image, qui est considérée indépendamment de ses qualités figurales, est mise en correspondance avec une liste finie de propositions (Pylyshyn, 1973).

Shepard et Cooper (1982) défendent un modèle de représentation imagée analogique, dont la structure interne est analogue à la structure du stimulus visuel externe. La représentation analogique conserve un certain isomorphisme entre les objets et leur représentation.

Propriétés de l'image : De nombreuses données expérimentales étayent l'hypothèse de processus communs à l'image mentale et à la perception (Podgorny et Shepard, 1978, Shepard et Cooper, 1982, Corballis et McLaren, 1982, Finke, 1985). La représentation imagée apparaît comme un processus optionnel "instanciant" des informations dans des structures également utilisées par la perception. Les propriétés de ces structures deviendraient intrinsèques à l'image mentale et donneraient à ce mode de représentation un fonctionnement et un développement particuliers (Lautrey, 1990).

Pour Denis (1979), le caractère constructif de l'image mentale est incontestable, étant donné le degré d'abstraction et de schématisation de l'image par rapport aux expériences perceptives. La construction des images semble résulter de l'abstraction d'éléments privilégiés au sein de la réalité perçue. Kosslyn, (1980, 1981, 1983), a appliqué au domaine de l'imagerie l'idée de "modules de traitement" fonctionnellement indépendants. La génération d'une image ferait appel à plusieurs modules distincts. Le premier module va chercher une représentation en mémoire à long terme et l'active dans le "buffer" visuel. Plusieurs représentations sont ensuite intégrées dans une image composite. Kosslyn a utilisé différents paradigmes expérimentaux dont les principaux concernent la génération, le maintien et l'inspection des images mentales.

Paradigmes d'études : Dans le cadre du paradigme expérimental imaginé par Shepard (Shepard et Cooper, 1982), l'étude du processus de représentation de la rotation d'une figure consiste tout d'abord à apprendre aux sujets à différencier la figure de sa transposée en miroir. Dans un deuxième temps les stimuli tests correspondant à l'une des deux formes sont présentés à des écarts angulaires variés par rapport à la figure standard. Le sujet doit indiquer si le stimulus test est le même que le stimulus standard. Le résultat important de cette recherche est que les temps de décision sont en relation linéaire avec les écarts angulaires entre stimulus test et stimulus standard. Cette relation est interprétée comme la manifestation d'un processus de rotation mentale par lequel le sujet fait coïncider une représentation du stimulus test avec le stimulus standard. Le processus prend d'autant plus de temps que l'écart entre les deux stimuli est grand.

Marmor (1977) a adapté ce paradigme expérimental pour mettre en évidence l'existence d'une imagerie mentale cinétique chez des enfants de moins de 7 ans. Elle trouve la fonction linéaire entre temps de réaction et écarts angulaires dès 4 ans. Elle suggère, contrairement à Piaget que les jeunes enfants, tout comme les adultes, sont capables de représentations imagées de mouvements. Lautrey (1990) explique cette contradiction en postulant qu'il existe plusieurs modes de représentation et de traitement qui rendraient compte des décalages de plusieurs années. Le paradigme expérimental de Shepard nécessite uniquement un processus de rotation mentale analogique et implicite, tandis que les épreuves piagésiennes exigent aussi l'explicitation par la verbalisation et le dessin, entraînant un mode de traitement différent.

Problématique

Dans le champ ouvert par ces travaux, la question est de savoir si l'on peut améliorer les capacités de traitement spatial et logico-mathématique des enfants IMC par l'apport d'exercices mobilisant le traitement perceptif des rotations de configurations spatiales ? Quels sont les effets différentiels de ces aides sur le développement ?

On fait l'hypothèse que l'entraînement à la rotation mentale facilite le traitement des relations topologiques élémentaires et que les enfants IMC utilisent des procédures particulières dans le domaine des relations spatiales.

Méthode

L'étude fait appel au paradigme de comparaison prétest vs post-test encadrant une période d'exercice dont les modalités (épreuves d'entraînement) varient d'un groupe de sujets au suivant. Les épreuves choisies sont destinées soit à l'évaluation des capacités de traitement spatial dans plusieurs domaines d'application, en pré et post-test, soit à l'apport d'entraînements.

Présentation des épreuves de pré et post test

L'épreuve de sériation de longueurs (Piaget et Szeminska, 1941) consiste à ranger des baguettes de longueur différente. On utilise des crayons de couleur pour que l'enfant IMC puisse les nommer quand il ne peut pas les saisir. L'expérimentateur les place alors à l'endroit indiqué par l'enfant.

L'épreuve de localisation de sites topographiques, (Piaget et Inhelder, 1948) consiste pour l'enfant à placer une figurine sur un paysage, au même endroit que celle de l'expérimentateur. Le matériel se compose de deux plateaux de 35 x 47 cm sur lesquels sont disposées cinq maisons. Une route et une voie ferrée se croisent vers le centre, divisant le paysage en quatre secteurs.

Dans la première partie, les deux paysages sont côte à côte, orientés à l'identique. La consigne est "place l'autre bonhomme dans ton paysage, exactement au même endroit". Dans la deuxième partie, le paysage de l'expérimentateur subit une rotation de 180°. Avant de donner à nouveau la consigne, on fait remarquer la rotation à l'enfant et le fait que tous les éléments du site ont conservé leur place.

L'épreuve de rotation mentale est une adaptation du paradigme de Marmor (1975). Elle consiste pour l'enfant à désigner quelle poupée parmi quatre (photographiées chacune de face ou de dos, sur les pieds ou tête en bas, le bras gauche ou droit levé) est identique à la poupée modèle photographiée de face et un bras levé. Les photos des cinq poupées sont reproduites sur une feuille de format standard, le modèle est au centre et les quatre autres réparties aux quatre coins. L'épreuve comporte huit essais qui, pour une moitié présentent la poupée modèle avec le bras gauche levé, pour l'autre avec le bras droit levé. L'enfant est prévenu avant le cinquième essai que la poupée modèle lève maintenant l'autre bras.

Epreuve d'emboîtement de formes en déplacement (épreuve E)

L'épreuve est inspirée du jeu vidéo Tétris consistant à emboîter des formes géométriques pour constituer un mur. Chaque pièce qui apparaît en haut de l'écran selon une orientation standard, descend à vitesse constante vers les

pièces déjà posées. Le joueur peut modifier le trajet de la pièce en la déplaçant vers la droite ou la gauche à l'aide de commandes clavier ou d'un joystick. Il peut aussi modifier l'orientation de la pièce en la faisant tourner dans le plan sagittal de 45°. Dans sa forme d'origine l'enjeu est motivé par l'accélération du défilement des pièces au fil du jeu. Dans la version adaptée pour cette étude, les commandes de déplacement en translation horizontale ou en rotation sagittale sont groupées sur un panneau de trois boutons poussoirs facilement manipulés par les enfants malgré leur déficit moteur. Le logiciel pilote la présentation de 40 scénarios successifs qui présentent un état d'emboîtement en bas d'écran ou à mi-écran et un espace vide à combler en dirigeant la pièce qui apparaît en haut de l'écran. Le positionnement de la pièce demande soit de la laisser descendre sans intervenir, soit d'opérer une rotation et/ou une translation en cours de descente. Chaque scénario est indépendant des autres. Son apparition est initiée par appui sur une commande, ce qui autorise à respecter le rythme de travail de chaque enfant. Le logiciel enregistre les manoeuvres d'appui indépendamment du niveau de réussite et calcule la distribution temporelle des appuis.

Les exercices d'entraînement

Deux groupes d'épreuves ont été imaginés. Les enfants "exercés" réalisent l'entraînement sur un des deux groupes de tâches.

Le premier groupe d'épreuves (R) prévoit trois type de tâches :

- une tâche de rotation mentale adapté du paradigme de Marmor (1975) comportant des jugements de similarité entre les positions d'une figurine,
- une tâche d'appariement de photos représentant des poupées dans différentes positions (levant le bras droit ou gauche, de face ou de dos, assise ou debout),
- un exercice de mise en correspondance, où il s'agit d'abord de reconstruire, d'après une photo modèle, une configuration géométrique constituée d'un assemblage de légos du type des stimuli utilisé par Shepard et Metzler (1971). L'enfant doit ensuite positionner cet assemblage en correspondance avec des photos le présentant dans huit positions différentes obtenues par rotation dans un plan sagittal ou vertical.

Le second groupe d'épreuves (I) propose des exercices informatisés de rotation de figures à emboîter :

- l'épreuve d'emboîtement de formes en déplacement (E)
- le jeu Tétris en lui-même, c'est dire la manipulation des pièces afin de construire des lignes, par emboîtement répété de pièces donc avec modification conséquente du plan d'arrivée des pièces selon leur position.

Procédure expérimentale

Elle est organisée pour recueillir des mesures répétées sur la tâche informatisée d'emboîtement pendant une période de cinq semaines.

Le pré et post-test sont réalisés à la première et cinquième semaine. On présente à chaque enfant en passation individuelle les épreuves de sériation de longueurs, de localisation de sites topographiques et de rotation mentale, et également l'épreuve d'emboîtement de figures.

Tous les enfants ont été à nouveau soumis à l'épreuve informatisée d'emboîtement à la deuxième et quatrième semaine.

C'est le type d'activité proposé à la troisième semaine, à raison de cinq séances de quinze minutes, qui différencie trois groupes d'enfants pour évaluer les effets d'entraînements. Trois conditions ont été prévues :

- une condition sans exercice ni entraînement,
- une condition où les enfants sont entraînés au premier groupe d'épreuves (R), rotation mentale, appariement de photos et mise en correspondance,
- une condition où l'on propose aux enfants les épreuves du second groupe (I), emboîtement de figure et jeu Tétris.

Tableau I : tableau récapitulatif de la passation, (E : épreuve d'emboîtement de formes, R : groupe d'épreuves d'entraînement à la rotation, I : groupe d'épreuves et exercices informatisés).

	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Semaine 5
témoins g1	prétest + E	E		E	post-test+E
g2	prétest + E	E	R	E	post-test+E
IMC g3	prétest + E	E	I	E	post-test+E
g4	prétest + E	E		E	post-test+E

Population

Elle rassemble 37 enfants dont 24 enfants IMC scolarisés¹. Le critère de scolarisation de l'enfant handicapé moteur constitue une garantie minimale de l'homogénéité du groupe.

Le groupe d'enfants témoins : Il est constitué de 13 enfants scolarisés :

Groupe 1 : 13 enfants (9 filles, 4 garçons) d'âge moyen 7;8 ans (6;6 - 9;6).

Le groupe d'enfants IMC : L'étude concerne 24 enfants IMC scolarisés répartis en trois sous groupes (appariement sur l'âge).

Groupe 2 : 8 enfants (4 filles, 4 garçons) d'âge moyen 11;3 ans (7;5 - 16;5), qui bénéficient des exercices d'aide à la rotation mentale proposés sur une semaine.

Groupe 3 : 8 enfants (4 filles, 4 garçons) d'âge moyen 11;4 ans (7;6 - 15;4), qui bénéficient pour leur part de l'entraînement informatisé.

Groupe 4 : 8 enfants (2 filles, 6 garçons) d'âge moyen 11;4 ans (6;10 - 17;5) qui ne sont soumis à aucun entraînement.

Résultats

Effets des exercices sur le post-test

Les comparaisons intra-groupe pré vs post-test ne révèlent pas de différence significative. Quelque soit le groupe considéré, notamment le groupe d'enfants IMC (g3) entraînés aux exercices informatisés (I) et le groupe d'enfant IMC (g2) ayant bénéficié des exercices de rotation (R), on ne peut pas conclure que les résultats sont meilleurs au post-test. De même en ce qui concerne les groupes non entraînés d'enfants IMC (g4) et témoins (g1), les performances en pré et post-test ne diffèrent pas significativement.

Ni la manipulation mentale des objets impliquée dans les tâches de rotation et d'emboîtement, ni la manipulation physique de l'objet dans les exercices n'ont permis aux enfants d'améliorer sensiblement leurs performances au post-test. La pratique de l'épreuve d'emboîtement de figures n'a pas non plus permis aux enfants témoins (g1) d'augmenter leurs scores aux tâches présentées en post-test.

La comparaison entre le groupe g2 (les enfants IMC ayant bénéficié des exercices de rotation) et le groupe g4 (les enfants IMC non entraînés) ne laisse apparaître aucune différence significative entre les performances de ces deux groupes. On ne peut pas conclure que les exercices proposés aux enfants améliorent les scores au post-test. De même, on ne constate aucune différence statistiquement significative entre le groupe g3 entraînés aux exercices informatisés (I) et le groupe g4.

La comparaison entre le groupe g2, entraîné à la rotation (R), et le groupe g3, entraîné à l'épreuve d'emboîtement (I), nous indique que ces deux groupes sont homogènes en ce qui concerne leurs résultats, en post-test, à l'épreuve de localisation et à celle de rotation mentale. Les deux groupes ont des résultats qui diffèrent significativement à la tâche de sériation de longueurs ($F = 7.20$ $p = .01$), en faveur du groupe g3. Il paraît difficile d'attribuer ce résultat aux effets de l'entraînement informatisé (I) puisque, comme nous l'avons vu précédemment, au post-test le groupe g3 ne se discrimine pas du groupe g4 qui pour sa part n'a reçu aucun entraînement.

La comparaison des résultats entre le groupe g1 (enfants témoins) et les groupes g2, g3, g4 (l'ensemble des enfants IMC) indique que les enfants témoins obtiennent des scores supérieurs à l'épreuve de localisation de sites topographiques ($F = 10.55$ $p = .001$), et un nombre de réussites significativement supérieur à l'épreuve de sériation de longueurs ($F = 6.64$ $p = .05$) aussi bien en prétest qu'en post-test (respectivement $F = 8.35$ $p = .01$; $F = 14.42$ $p = .01$). Les scores des enfants IMC à l'épreuve de localisation de sites topographiques confirment que ces enfants manifestent des troubles de l'organisation spatiale, notamment dans le domaine des relations topologiques élémentaires. Par contre, les enfants témoins et les enfants IMC, contre toute attente, ont des résultats homogènes dans les tâches de rotation mentale, en prétest et en post-test.

Effet d'exercice sur la tâche d'emboîtement

En ce qui concerne la tâche d'emboîtement, trois indices ont été retenus:

- Le temps de latence moyen entre l'apparition de la pièce à l'écran et le premier appui de l'enfant : il correspond au temps nécessaire à l'enfant pour juger de l'adéquation entre la position de la pièce et la forme dans laquelle elle doit être emboîtée, c'est à dire pour effectuer une rotation mentale.

Nous nous sommes ensuite intéressés plus particulièrement aux scénarios comportant à la fois des rotations et des translations. Nous avons retenu comme indice :

- Le temps moyen entre la rotation et la translation de la pièce. Plus le délai est court, plus il semble que l'enfant emploie "une stratégie d'anticipation" du résultat de son action. Dans ce cas, il manoeuvre la pièce pour la placer directement en position d'emboîtement.

- Le nombre de rotations effectuées dans les scénarios où elles ne sont pas nécessaires. Plus ce nombre est important, plus il apparaît que le sujet emploie "une stratégie de manipulation", c'est à dire qu'il a besoin de faire tourner la pièce pour en saisir les caractéristiques spatiales.

Lorsque l'on compare les groupes g2 et g3 (les groupes d'enfants IMC "exercés"), on remarque que les performances du groupe g3 sont supérieures à l'épreuve d'emboîtement à partir de la deuxième passation. Le temps de latence moyen entre l'apparition de la pièce et le premier appui est inférieur à celui du groupe g2 ($F = 8.09$ $p = .01$), le temps entre une rotation et une translation est également inférieur ($F = 7.01$ $p = .05$). Cet avantage se retrouve lors de la troisième passation, après l'entraînement (temps de latence moyen : $F = 12.68$ $p = .01$, temps entre rotation et translation : $F = 6.13$ $p = .05$), mais tend à disparaître à la dernière passation. Les temps de latence sont homogènes, le temps entre rotation et translation reste légèrement inférieur pour g3 ($F = 7.43$ $p = .01$).

Le groupe g3 (les enfants IMC ayant bénéficié de l'entraînement informatisé) et le groupe g4 (les enfants IMC non entraînés) ne sont pas homogènes quant à leurs scores à l'épreuve d'emboîtement. Il s'avère que lors de la deuxième passation, les enfants du groupe g3 agissent plus rapidement sur la pièce après son apparition à l'écran que les enfants du groupe g4 ($F = 8.64$, $p = .01$). Ces mêmes enfants manifestent un temps de latence plus court entre une rotation et une translation ($F = 11.05$ $p = .01$). Après la période d'entraînement, les performances du groupe g3 s'améliorent. Le temps de latence entre l'apparition de la pièce et le premier appui diminue encore comparé à celui du groupe g4 ($F = 13.02$ $p = .01$) de même que le temps entre une rotation et une translation ($F = 17.37$ $p = .001$). Les deux groupes ne se différencient pas en ce qui concerne le nombre de rotations dans les scénarios où elles ne sont pas nécessaires. Lors de la quatrième passation de l'épreuve, le groupe g3 montre encore un temps de latence légèrement supérieur à celui du groupe g4 ($F = 5.12$ $p = .05$), mais les temps entre une rotation et une translation des deux groupes ne diffèrent plus significativement.

Il ne semble pas que se soit l'entraînement informatisé qui ait permis aux enfants du groupe g3 d'avoir de meilleures performances car celles-ci sont observables dès la deuxième passation de la tâche d'emboîtement. Si l'entraînement n'a pas permis aux enfants de g3 d'obtenir de meilleurs scores au post-test, il semble cependant qu'une légère supériorité du groupe g3 ait été accentuée par les cinq séances d'exercices informatisés mais cet effet disparaît pratiquement à la quatrième passation, c'est à dire une semaine après la période d'exercice.

La comparaison entre le groupe g1 (enfants témoins) et l'ensemble des groupes g2, g3, g4 (les enfants IMC) indique que leurs performances à l'épreuve d'emboîtement ne diffèrent pas significativement en ce qui concerne le temps de latence moyen entre l'apparition de la pièce et le premier appui et le temps entre une rotation et une translation. Toutefois les enfants témoins effectuent un nombre de rotations significativement inférieur à celui des enfants IMC dans les scénarios où elles ne sont pas nécessaires aux quatre passations ($F = 12.28$ $p = .001$, $F = 12.45$ $p = .001$, $F = 4.87$ $p = .05$, $F = 6.99$ $p = .01$, graphique 1). De toute évidence, cet effet est dû aux stratégies utilisées par les enfants. Dans le groupe des enfants témoins on remarque que cinq enfants sur treize utilisent la stratégie de manipulation. Ce nombre diminue au cours des passations. Seul un enfant du groupe témoin utilise encore cette stratégie à la fin des passations. Douze enfants, la moitié de l'effectif, utilisent cette stratégie dans le groupe des enfants IMC, et ce nombre reste stable au cours des passations.

μ §

Graphique 1: nombre de rotations dans les scénarios où elles ne sont pas nécessaires

La comparaison entre la stratégie de manipulation et la stratégie d'anticipation chez les enfants IMC confirme que les sujets utilisant la stratégie d'anticipation ont de meilleurs résultats. En prétest, la différence entre les scores est significative ($F = 14.65$ $p = .001$ à l'épreuve de localisation, $F = 5.18$ $p = .05$ à l'épreuve de sériation, et $F = 4.51$ $p = .05$ à l'épreuve de rotation mentale). En post-test, la différence entre les scores des enfants est toujours significative ($F = 11.39$ $p = .01$ à l'épreuve de localisation, $F = 12.82$ $p = .01$ à l'épreuve de sériation et $F = 7.03$ $p = .01$ à l'épreuve de rotation mentale).

=.01 à l'épreuve de rotation mentale). A l'épreuve d'emboîtement les groupes sont statistiquement homogènes excepté pour le nombre de rotations dans les scénarios où elles ne sont pas nécessaires (graphique 2), puisque l'importance ou non de cet indice caractérise les stratégies. Par contre, le temps entre une rotation et une translation ne diffère pas significativement. Les enfants "manipulateurs" semblent aussi rapides que les enfants "anticipateurs" mais leurs manoeuvres sont aléatoires, c'est ce qui explique également le nombre de rotations très élevé dans les scénarios où elles sont inutiles. On constate qu'aucun des enfants IMC, quel que soit l'entraînement qu'il a reçu, n'a modifié sa stratégie au cours de l'étude.

μ §

Graphique 2 : nombre de rotations chez les enfants IMC selon la stratégie

Discussion

La discussion s'organise autour de deux axes : l'effet de l'entraînement sur les propriétés topologiques et les stratégies mises en évidence par la tâche d'emboîtement.

Effet de l'entraînement

Nos résultats ne permettent pas de conclure que les exercices de rotation mentale, tels qu'ils ont été proposés aux enfants IMC, améliorent leurs capacités de traitement des relations topologiques. Les résultats des deux groupes ayant bénéficié de ces aides ne se discriminent pas de ceux du groupe d'enfants sans entraînement. Il semble que l'aide à la rotation mentale ne permette pas de modification des unités cognitives spécifiques engagées dans le traitement des relations topologiques, donc pas de modification permanente de la structure de l'intelligence spatiale sur une durée relativement courte.

Le processus de modification de la représentation passe par une activité du sujet, Piaget a insisté sur son rôle fondamental, mais l'activité nécessaire au développement ne repose pas obligatoirement sur le déplacement et la manipulation. En suivant l'hypothèse de Lejeune (1992), l'entraînement proposé ici aurait pour fonction de faire évoluer l'espace de rotation mais on n'observe pas d'effets sur l'espace de position. Lejeune pose la question de savoir si les deux espaces se développent de façon indépendante jusqu'à ce que les structures logiques développées au stade opératoire s'intègrent à un espace de rotation tridimensionnel qui, selon Shepard, serait inné.

Les résultats à l'épreuve de localisation de sites topographiques confirment globalement que les enfants IMC manifestent des troubles des relations topologiques élémentaires. Ils confirment les conclusions de Bideaud et al. (1980) sur la construction de l'espace chez les enfants handicapés moteurs qui avaient montré que les épreuves les plus simples étaient souvent moins bien réussies que certaines autres qui faisaient appel à des relations spatiales plus complexes. On aboutit au même constat, puisque les performances à l'épreuve de rotation mentale et à la tâche d'emboîtement de figures des enfants IMC ne diffèrent pas de celles des enfants témoins. Tout laisse penser que les enfants IMC se comportent comme les enfants instanciant des schèmes de type préopératoire en ce qui concerne l'organisation spatiale. Leurs scores aux tâches de rotation mentale remettent en question le fait que l'image est subordonnée aux opérations. Dans la perspective piagétienne, les enfants qui ne conservent pas opératoirement les propriétés topologiques échouent dans l'analyse des entités spatiales simples, mais Piaget a suggéré qu'un processus perceptif de mise en correspondance pourrait expliquer les meilleures performances des enfants aux épreuves de comparaisons d'états, ce qui est le cas du paradigme de Marmor.

Ce phénomène observé chez les enfants IMC est en accord avec l'idée de Lautrey (1990) quand il considère qu'il existe plusieurs modes de représentation et de traitement qui rendent compte de ces décalages. Tout se passe comme si les capacités de rotation mentale et le traitement topologique faisaient appel à deux niveaux de développement distincts. Un niveau analogique précéderait un niveau propositionnel et suffirait aux épreuves de rotation mentale. D'après Lejeune (1992), la représentation du mouvement pourrait être basée sur la génération de représentations globales du déplacement de l'objet dans l'espace sans pour autant maintenir la forme de l'objet ou

coordonner les déplacements des différentes caractéristiques du stimulus car ce dernier est inséré dans un espace partiellement élaboré. Il considère également que les capacités de rotation mentale dépendent d'une surface à six dimensions composée d'un espace de rotation et d'un espace de position. Le manque d'élaboration de l'espace de position chez les enfants IMC rendrait compte de leurs scores inférieurs à ceux des enfants témoins dans l'épreuve piagétienne de localisation.

Ce constat pose la question de savoir si la trajectoire de développement des relations spatiales des enfants IMC pour construire des procédures est identique à celle d'un sujet plus "épistémique". Cela rejoint les conclusions de De Barbot (1988), quand elle souligne que les enfants IMC construisent des procédures originales et particulières, pour suppléer la perception spatiale défaillante.

Les stratégies d'anticipation et de manipulation

Les résultats mettent en évidence deux stratégies qui apparaissent lors des passations de la tâche d'emboîtement. Apparemment, cette tâche favorise une "réalisation" spatiale des procédures qui les rend observables. Il semble que les enfants "anticipateurs" aient une représentation de l'état final de la situation, ils imaginent le résultat et en extraient les caractéristiques spatiales de l'objet. Les enfants "manipulateurs" saisissent les caractéristiques spatiales de l'objet par l'action. Tout ce passe comme s'ils étaient centrés sur l'état actuel, ou bien, leur centration sur l'état final est constamment modifiée par l'état actuel de ce qu'ils perçoivent de la situation. Dans une perspective piagétienne, cela s'expliquerait en considérant que ces enfants n'imaginent pas le résultat du mouvement par l'effet d'un égocentrisme spatial. Pourtant, sachant qu'aujourd'hui le traitement égocentré est une forme relative d'analyse instanciée par le sujet quel que soit son âge, et qu'une localisation spatiale exocentrée peut être observée de façon très précoce (Acredolo et Evans, 1980), on préférera l'idée que la stratégie de manipulation rend compte d'un recours privilégié, mais non exclusif, de références égocentrées.

Les enfants "manipulateurs" du groupe témoins ont tous modifié leur stratégie au fur et à mesure des passations, excepté l'un d'entre eux. Inversement, on note une stabilité de la stratégie utilisée par les enfants IMC. Plusieurs études ont mis en évidence l'utilisation de stratégies de rotation mentale en fonction des caractéristiques ou de la complexité du stimulus (Cooper et Podgorny, 1976, Cooper, 1982, Esquivie et al., 1993). Les stratégies qui apparaissent dans l'épreuve d'emboîtement semblent plutôt liées à des facteurs individuels, c'est à dire que l'on pourrait attribuer l'utilisation préférentielle de l'une des stratégies à un style cognitif tout du moins chez les enfants IMC. La stabilité des stratégies témoignerait du fait que les enfants sont contraints à utiliser des procédures particulières. Les enfants qui utilisent la stratégie d'anticipation ont de meilleurs scores aux pré et post-tests. Ce n'est donc pas la pratique de la tâche qui améliore leurs performances, elle agit comme un révélateur de leurs compétences. Ces enfants sont-ils parvenus à structurer les propriétés topologiques, ou bien, ont-ils construit des procédures par le biais d'autres activités que l'imitation motrice ? Des auteurs ont fait l'hypothèse de mécanismes communs à la perception visuelle et à la représentation imagée (Podgorny et Shepard, 1978, Kosslyn, 1983, Finke, 1985, Lautrey, 1990). Nos données ne permettent pas de trancher en faveur de l'une ou l'autre de ces hypothèses.

Conclusion

L'étude ne permet pas de conclure que les exercices proposés améliorent les capacités de traitement topologique. Cependant, nos résultats confirment que la pensée des enfants IMC manifeste des troubles des relations topologiques élémentaires, mais ces enfants ne se différencient pas des enfants témoins en ce qui concerne les tâches de rotation mentale. Enfin, il est apparu que les enfants utilisent deux types de stratégie lors de l'épreuve d'emboîtement : une stratégie d'anticipation et une stratégie de manipulation. L'emploi de l'une ou l'autre des stratégies semble stable chez les enfants IMC. La question se pose de savoir si l'utilisation de ces stratégies rend compte d'un mode de traitement particulier.

Plus globalement, les résultats de cette étude ne confirment pas que la représentation imagée est subordonnée à l'action. Nous avons vu que les enfants IMC ont des performances similaires à celles des enfants témoins dans des tâches de rotation mentale, qu'en est-il pour des épreuves mettant en jeu un traitement plus propositionnel ? Comme Lautrey (1990), on peut se demander s'il y a "guidage" des représentations analogiques de rotation mentale pour la construction des opérations spatiales. Si tel est le cas, est-il possible de mettre en place des aides cognitives afin d'agir sur le traitement propositionnel ?

Adresse des auteurs

Laboratoire PSY.CO, UFR de Psychologie

Université de Rouen, 76134 Mont-Saint-Aignan Cedex

RESUME

L'étude concerne les capacités de traitement spatial et logico-mathématique des enfants infirmes moteurs d'origine cérébrale (IMC) et leur amélioration possible par l'apport d'entraînements orientés sur le traitement perceptif de situations spatiales.

On présente en pré et post-test, à chaque enfant examiné individuellement, une série d'épreuves destinées à évaluer plusieurs domaines d'application des capacités de traitement spatial. Le niveau de traitement perceptif est évalué par la performance à une tâche d'emboîtement inspirée du jeu vidéo Tétris. Des exercices d'aide à la rotation mentale sont proposés aux enfants IMC. Ils consistent pour l'un des groupes en un entraînement au Tétris et pour l'autre groupe en exercices d'appariement de photos, de jugement de similarité et de mise en correspondance.

On ne peut pas conclure que les exercices d'aides cognitives ici proposés améliorent les capacités de traitement spatial et logico-mathématique. Les résultats confirment que les enfants IMC manifestent des troubles des relations topologiques élémentaires, mais ils ne se différencient pas des enfants du groupe témoin pour les tâches de rotation mentale. Enfin, il est apparu que les enfants utilisent deux types de stratégie au Tétris : une stratégie d'anticipation et une stratégie de manipulation. L'emploi de l'une ou l'autre de ces stratégies semble stable chez les enfants IMC.

SUMMARY

This study deals with the abilities of children with cerebral palsy to process spatial and logico-mathematical information, and with the possibility of improving these abilities by presenting training tasks that encourage perceptual processing of spatial situations.

In pre- and posttests children were given a set of tasks to evaluate their spatial processing abilities in various fields. The perceptual processing level was evaluated by their performance in an interlocking task, inspired by the video game Tetris. Children with cerebral palsy were given mental rotation exercises: one group was trained to use Tetris, a second group was trained in pairing photos, in making similarity judgements and in matching pictures to forms.

These cognitive support exercises did not improve children's spatial and logico-mathematical processing abilities. The results confirmed that children with cerebral palsy had difficulties with elementary topological relations, although they did not differ from the control group in the mental rotation tasks. It appears that children used two types of strategies with Tetris : anticipation and exploration. The use of one or the other strategy seemed to be stable in children with cerebral palsy.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Studie beschäftigt sich mit logisch-mathematischen Verarbeitungsprozessen und räumlicher Wahrnehmungskapazität zerebralparetisch behinderter Kinder sowie deren mögliche Verbesserung durch kognitive Hilfsangebote (Übungen zur Erfassung räumlicher Konstellationen).

Vor- und Nachtest bestehen aus einer Reihe von Aufgaben, die dazu dienen, mehrere Bereiche der räumlichen Wahrnehmungsfähigkeit zu erfassen und deren Anwendung zu überprüfen. (Alle Testverfahren werden in Einzeluntersuchungen vorgenommen).

Das Niveau der Wahrnehmungsprozesse wird anhand eines Video-Spiels "Tetris" ermittelt. (Bei diesem Spiel geht es darum, Formen zu erkennen und zum Zusammenstecken räumlich orientieren zu können). Übungen zur Förderung der mentalen Relationskapazität werden dem zerebralparetisch behinderten Kind angeboten. Diese Übungen bestehen für eine Gruppe aus einer Art Training mit dem obengenannten Computer-Spiel "Tetris" während die andere Gruppe Bildvergleiche anhand von Fotos vornimmt und die Ähnlichkeiten und Vergleichsmerkmale in Zusammenhang zu bringen versucht.

Die angestrebte Verbesserung der logisch-mathematischen Verarbeitungsprozesse sowie der räumlichen Wahrnehmungskapazität ist durch die oben beschriebenen Hilfsangebote nicht erreicht worden. Die Ergebnisse der Untersuchungen bestätigen tatsächlich vorandene Schwierigkeiten zerebralparetisch geschädigter Kinder beim Erstellen elementarer topologischer Relationen. Die behinderten Kinder unterscheiden sich jedoch nicht von der Kontrollgruppe hinsichtlich ihrer Fähigkeiten, mentale Rotationsübungen zu bewältigen. Bemerkenswert ist die Anwendung von zwei Strategie-Typen beim Tetris-Spiel. Es handelt sich hierbei um eine Antizipations- und Manipulationsstrategie. Der jeweilige Gebrauch der einen oder anderen Strategie scheint beim zerebralparetisch behinderten Kind ausgewogen zu sein.

REFERENCES

- ACREDOLO, L.P. & EVANS, D. (1980). Developmental changes in the effect of landmarks on infant spatial behaviour. *Developmental Psychology*, 16, 312-318.
- BIDEAUD, J., COLIN, C., & LATAILLADE, C. (1980). La représentation du schéma topographique, étude comparée d'enfants handicapés moteurs et valides. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 28, 1-2, 3-11.
- COOPER, L. A. (1982). Strategies for visual representation and processing: Individual differences. In R. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence* (pp 77-124). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- COOPER, L. A., & PODGORNÝ P. (1976). Mental transformations and visual comparison processes. *Journal of Experimental Psychology: human perception and performance*, 2, 503-514.
- CORBALLIS, M.C. & MCLAREN, R. (1982). Interaction between perceived and imagined rotation. *Journal of Experimental Psychology: human perception and performance*, 8, 215-224.
- DE BARBOT, F. (1988). Etude des difficultés logico-mathématiques d'un groupe d'enfants IMC. *Motricité Cérébrale*, 9, 1-8.
- DE BARBOT, F., MELJAC, C., TRUSCELLI, D., & HENRI-AMAR, M. (1989). *Pour une meilleure intégration scolaire des enfants IMC: l'importance des premiers apprentissages mathématiques*. Paris: Presses Universitaires de France.
- DENIS, M. (1979). *Les images mentales*. Paris: Presses Universitaires de France.
- ESQUIVIE, D., CIAN, C., BARRAUD, P. A. & RAPHEL, C. (1993). Rotation mentale: études des stratégies de traitement spatial des variations d'orientation d'un mannequin dans un espace tridimensionnel. *Communication au XXIV^{èmes} journées de Psychologie Différentielle*, Sept. 93, Aix en Provence.

- FINKE, R.A. (1985). Theories relating mental imagery : a componential analysis. *Psychological Bulletin*, 98, 236-259.
- GRECO, P. (1978). Toutes sortes d'espaces ou: les positions, les figures et le calcul. In *Pierre GRECO, Structures et significations, Approches du développement cognitif* (pp 285-293), 1990. Genève: Editions de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales.
- HATWELL, Y. (1966). *Privation sensorielle et intelligence*. Paris: Presses Universitaires de France.
- KOSSLYN, S. M. (1980). *Image and mind*. Cambridge: Harvard University Press.
- KOSSLYN, S. M. (1981). The medium and the message in mental imagery: A theory. *Psychological Review*, 88, 46-66.
- KOSSLYN, S. M. (1983), *Ghosts in the mind's machine*. New York: Norton & Company.
- LAUTREY, J. (1990). Unicité ou pluralité dans le développement cognitif : les relations entre images mentales, action et perception. In G. Netchine-Grymberg (Ed.), *Développement et fonctionnement cognitifs chez l'enfant*, (pp 71-89), Paris: Presses Universitaires de France.
- LEJEUNE, M. (1992). J. Piaget et R.N. Shepard : vers une compréhension de la genèse du processus de rotation mentale. *Archives de Psychologie*, 60, 71-87.
- MARMOR, G.S. (1975). Development of kinetic images : when does the child first represent movement in mental images? *Cognitive Psychology*, 7, 548-549.
- MARMOR, G.S. (1977). Mental rotation and number conservation: are they related? *Developmental Psychology*, 13, 4, 320-325.
- PAOUR, J.-L. (1985). De l'induction des structures logiques à la modification du fonctionnement cognitif chez les retardés intellectuels, *Revue Suisse de Psychologie Pure et Appliquée*, 44, 135-147.
- PIAGET, J. & SZEMINSKA, A. (1941). *La genèse du nombre*. Neuchâtel, Paris: Delachaux et Niestlé.
- PIAGET, J. & INHELDER, B. (1948). *La représentation de l'espace chez l'enfant*. Paris: Presses Universitaires de France.
- PIAGET, J. & INHELDER, B. (1966). *L'image mentale chez l'enfant*. Paris: Presses Universitaires de France.
- PODGORNY, P. & SHEPARD, R.N. (1978). Fonctionnal representations common to visual perception and imagination. *Journal of Experimental Psychology: human perception and performance*, 5, 1-12.
- PYLYSHYN, Z.W. (1973). What's the mind's eye tells the mind's brain: a critique of mental imagery. *Psychological Bulletin*, 80, 1-24.
- SHEPARD, R.N. & METZLER, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.
- SHEPARD, R.N. & COOPER, C.A. (1982). *Mental images and their transformations*. Cambridge: MIT press.

