



HAL
open science

Traitement analogique et traitement propositionnel des rotations mentales chez les enfants IMC

Marc Zabalía

► **To cite this version:**

Marc Zabalía. Traitement analogique et traitement propositionnel des rotations mentales chez les enfants IMC. *L'Année psychologique*, 1999, 99 (1), pp.75-97. 10.3406/psy.1999.28547 . hal-03272376

HAL Id: hal-03272376

<https://hal.science/hal-03272376>

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.

LPCP, Modesco, Université de Caen¹

**TRAITEMENT ANALOGIQUE
ET TRAITEMENT PROPOSITIONNEL
DES ROTATIONS MENTALES
CHEZ LES ENFANTS IMC**

Par Marc Zabalía

SUMMARY : Analogical and propositional processing of mental rotations by cerebral children with cerebral palsy.

Postulating two processing systems in mental imagery, analogical and propositional, the research examines the possibility to evocate the processing modes and the conditions of their appearance according to specific contexts by cerebral palsied children. Children performed mental rotation tasks which need one or the other processing mode. The investigations of mental rotation processes show that cerebral palsied children used the two representation modes in spite difficulties to bring about propositional processing in sequential tasks. Findings could account for originalities observed in spatial processing by cerebral palsied children.

Key words : mental rotation, mental imagery, analogical processing, propositional processing, cerebral palsy.

INTRODUCTION

L'Infirmité Motrice d'origine Cérébrale (IMC) est définie par des atteintes centrales précoces, néonatales ou périnatales, qui affectent à des degrés divers l'organisation tonico-posturale, motrice et locomotrice de l'enfant puis de l'adulte. Elle joue donc sur l'expérience sensori-motrice à tous les niveaux du développement et, à ce titre, le recours à l'analyse comparative entre enfants IMC et enfants valides permet de questionner la validité des

¹MRSB, Université de CAEN, 14032 CAEN cedex.

modèles du développement qui défendent que l'image mentale a pour origine l'imitation motrice.

Malgré son intérêt heuristique, l'analyse comparative des activités psychologiques des enfants atteints d'infirmité motrice d'origine cérébrale et des enfants valides est restée relativement marginale faute d'envisager le déficit moteur sans nécessairement des désordres cognitifs globaux mais plutôt comme favorisant, l'apparition de troubles de l'organisation spatiale dont la sévérité n'est pas proportionnelle au degré d'incapacité fonctionnelle consécutive à l'atteinte motrice, comme l'ont montré Bideaud, Colin et Lataillade (1980), Kardos (1985), De Barbot (1988), De Barbot, Meljac, Truscelli et Henri-Amar (1989).

Cette recherche s'inscrit dans l'étude des relations motricité-cognition et des rapports entre le développement de la structure des connaissances et de leurs contenus. Elle étudie les processus de rotation mentale qui ouvrent une voie pertinente pour explorer l'activité cognitive non seulement dans ses productions mais aussi dans son organisation vive dans la mesure où, dans la lignée de Lautrey (1990 a), on envisage que la pensée a à disposition un double système de représentation des rotations, l'un analogique, l'autre propositionnel. La comparaison des performances et des stratégies des enfants IMC à celles des enfants sans handicap constitue un terrain privilégié pour savoir si la restriction de l'expérience motrice depuis le début de la vie favorise le développement d'un mode de traitement des rotations mentales au détriment ou en concurrence à l'autre.

Dans le domaine de l'imagerie et de la rotation mentale, l'étude des données expérimentales et théoriques conduit depuis plusieurs années à relever une divergence de conception entre la théorie opératoire de Piaget et les théories cognitivistes issues des approches en termes de traitement de l'information. La divergence porte en premier lieu sur la définition de l'image mentale. En effet, alors que Piaget et Inhelder (1966) considèrent l'image comme un symbole dont l'origine est l'intériorisation de l'imitation, les tenants du cognitivisme y voient un format de connaissances (Kosslyn, 1980; Shepard et Cooper, 1982). Un autre point de désaccord porte sur les processus de rotation mentale, en particulier sur le rôle assigné aux relations entre les opérations spatiales tirées de l'action et les capacités de représentation imagée de transformations. Ainsi, tandis que la conception piagétienne conclut

qu'une représentation imagée de mouvement ou de transformation n'est possible que lorsque l'image est encadrée par les structures opératoires de la pensée, Marmor (1975, 1977) montre que le processus de rotation mentale est performant dès les niveaux pré-opératoires de la pensée.

Ces désaccords, qui ont contribué à la mise en question des thèses piagésiennes, ou au moins suscité l'intérêt d'en "revisiter" la pertinence (Bideaud, 1988), sont d'une certaine façon dépassés ou intégrés par les études qui analysent les contextes d'activation des formes de traitement. C'est ainsi que Lautrey et Chartier (1987), Lautrey (1990 b) ont avancé que, dans le domaine de la rotation mentale, les situations expérimentales utilisées sollicitent à des degrés divers deux modes de traitement distincts dans la représentation imagée des transformations. L'un correspondrait au mode de traitement analogique de la représentation imagée (Kosslyn, 1980; Shepard et Cooper, 1982). Il serait indépendant des opérations et permettrait d'anticiper le résultat d'une transformation sans que la personne puisse en expliciter les étapes. L'autre mode de traitement serait compatible avec les modèles propositionnalistes de la représentation (Pylyshyn, 1973; Fodor, 1975) et la théorie opératoire. Il consisterait à décomposer les structures symboliques et les étapes de la transformation pour les recomposer en appliquant des règles, ou des opérations sur leurs éléments. Marmor (1975), Dean, Scherzer et Chabaud (1986) inscrivent leurs travaux dans le cadre de cette hypothèse. Leurs travaux concluent à une dissociation telle que l'utilisation d'un processus analogique de rotation mentale est possible dès 5 ans dans l'épreuve chronométrique classique issue du paradigme de Shepard, tandis que c'est seulement à 8 ans que les enfants parviennent à sérier opératoirement une séquence de positions successives d'un objet en rotation présentée sous forme de photographies à ranger pour composer la suite du mouvement de rotation autour de l'axe sagittal.

D'une manière générale, les données expérimentales plaident en faveur d'une émergence précoce des capacités d'imagerie mentale (Marmor, 1975, 1977; Dean et *al.*, 1986; Kosslyn et *al.*, 1990; Lejeune et Decker, 1994), et la genèse de l'imagerie mentale est plutôt envisagée comme une évolution quantitative que Kail et Park (1992) interprètent comme la conséquence d'une augmentation générale de la vitesse de traitement de l'information. Dans la

même perspective, plusieurs études développementales indiquent une augmentation de la vitesse de rotation mentale avec l'âge (Kail et *al.*, 1980; Young et *al.*, 1980; Kail, 1985). En revanche, Lautrey et Chartier (1987) postulent qu'une représentation imagée analogique peut servir de "guide" pour la construction d'une représentation abstraite et amodale. Ils privilégient de ce fait l'idée que le développement se manifeste par un changement qualitatif de la représentation imagée (voir aussi Dean et *al.*, 1986; Bideaud et Pierre-Puységur, 1990).

Une première recherche (Zabalia et Mellier, 1996) a testé les capacités de représentation spatiale et de rotation mentale d'enfants IMC scolarisés dans une situation inspirée du logiciel de jeu "Tétris". Elle a mis en évidence que les enfants IMC recourent plus volontiers à une stratégie de manipulation physique ou mentale de l'objet que les enfants témoins du même âge qui adoptent préférentiellement des stratégies d'anticipation sans doute étayées par des schèmes propositionnels. Il est apparu que les scores de réussite des enfants IMC ne se différencient pas de ceux des enfants témoins, ce qui peut être interprété comme le témoignage de l'utilisation privilégiée d'un traitement analogique. Dans cette recherche, l'ambition est d'examiner l'évocabilité de deux modes de traitement, analogique et propositionnel et les conditions de leur apparition en fonction de contextes différents. Cette étude expérimentale propose deux tâches aux enfants. Une tâche chronométrique classique qui est réputée favoriser l'utilisation d'une représentation imagée analogique, et une tâche de sériation d'une séquence des positions successives d'un objet en rotation d'après Dean, Scherzer et Chabaud (1986), qui nécessite un traitement propositionnel. Chaque épreuve correspond à une méthodologie particulière attachée à une conception de la représentation imagée. La question se pose de savoir si la restriction de l'expérience motrice et plus particulièrement les troubles de l'organisation spatiale retentissent sur l'un ou l'autre mode de représentations des rotations mentales.

METHODE

Les deux épreuves sont présentées dans un ordre constant et identique pour tous les enfants. L'épreuve chronométrique est d'abord proposée aux enfants puis ils effectuent la tâche de sériation des positions successives d'un objet en rotation.

1. Population

60 enfants ont participé à cette étude. 30 enfants IMC et 30 enfants valides. Les enfants IMC sont âgés de 6 ; 3 à 16 ; 5 ans. Ils fréquentent des établissements scolaires spécialisés de Rouen et Le Havre. Étant donné la grande diversité des tableaux cliniques présentés par la population IMC, seul le critère de scolarisation offre le minimum de garantie de l'homogénéité du groupe. Les enfants valides sont âgés de 6 ; 10 à 12 ; 7 ans.

La conjonction des critères de recrutement et de disponibilité des enfants n'a pas permis que tous les enfants passent les deux épreuves. Ainsi, l'épreuve de rotation mentale chronométrique a concerné 57 enfants dont 27 enfants IMC et 30 enfants valides. C'est en final 19 enfants IMC de 11 ; 3 ans d'âge moyen (6 ; 8 à 16 ; 6) et 29 enfants du groupe témoin d'âge moyen 8 ; 1 ans (6 ; 10 à 12 ; 7) qui ont réalisé l'ensemble des épreuves de rotation mentale. Les autres (11 enfants IMC et 1 enfant témoin) n'ont pas atteint le score minimum de 75% de réussite au prétest (test critère) pour que l'on prenne en compte les résultats aux épreuves suivantes.

La tâche de sériation d'une séquence de mouvement de rotation a été présentée aux 60 enfants : 30 enfants IMC de 10 ; 6 d'âge moyen (6 ; 3 à 16 ; 5), et 30 enfants sans handicap constituant un groupe témoin d'âge moyen 8 ; 3 (6 ; 10 à 12 ; 7). Les enfants IMC sont répartis en deux sous-groupes, un groupe (N= 20) qui manipule les cartes et un groupe (N= 10) qui désigne les cartes par une couleur pour que l'expérimentateur les dispose.

2. Procédure

1.1. Epreuve chronométrique :

L'épreuve de rotation mentale chronométrique est directement inspirée de celle mise au point par Marmor (1975) et reprise par Lejeune et Decker (1994). La tâche est informatisée, elle présente sur un écran d'ordinateur deux figurines identiques tenant chacune un ballon dans une main. Dans la moitié des cas les deux personnages tiennent le ballon dans

la même main, pour l'autre moitié l'un tient le ballon dans la main droite, l'autre dans la main gauche. La figurine présentée à gauche sur l'écran (le stimulus standard) est toujours dans une position canonique, debout et de face. La figurine placée à droite de l'écran (le stimulus test) est proposée à différentes inclinaisons comprises entre 0 et 300° mesurées dans le sens horaire. Deux conditions de rotations sont prévues. Dans la condition dite bidimensionnelle, la figurine test reste de face c'est-à-dire que la rotation s'effectue dans le plan fronto-parallèle (axe x et y). Dans la condition dite tridimensionnelle, la figurine test apparaît de dos : la rotation en profondeur (axe z) s'ajoute à la rotation dans le plan fronto-parallèle. Dans tous les cas les sujets doivent conclure si les personnages tiennent le ballon dans la même main ou non. Selon les procédures classiques, les temps de réponse et les erreurs des enfants sont enregistrées par appuis sur des clés qui sont ergonomiquement adaptées aux restrictions motrices des enfants IMC.

La passation respecte le paradigme classique d'examen de la rotation mentale. Elle se décompose en trois périodes : une phase de familiarisation, un test critère d'exclusion ou de recrutement des enfants dans l'étude, et les tâches expérimentales.

a. La phase de familiarisation : Il s'agit, au cours de cette période, de montrer aux enfants ce que l'on entend par des personnages "pareils" tenant tous les deux le ballon dans la main droite et des personnages "différents" quand l'un tient le ballon à droite et l'autre à gauche. Dans un premier temps les figurines sont présentées de face et debout à l'enfant et l'expérimentateur commande lui-même l'apparition à l'écran de 10 items. Ensuite l'enfant se familiarise à l'utilisation des clés pour donner sa réponse pendant 10 nouveaux items.

b. Le test critère : Il comprend 20 items, 10 pareils et 10 différents, répartis de manière aléatoire. Les personnages sont toujours présentés de face et debout. Les stimuli restent à l'écran jusqu'à la réponse de l'enfant. L'intervalle entre les stimuli est de 4 secondes. Seuls les enfants qui obtiennent un score d'au moins 75 % de réponses correctes sont soumis aux tâches expérimentales.

c. Les tâches expérimentales : Les figurines sont exposées sur écran de la même manière que précédemment mais le stimulus test (le personnage à droite sur l'écran) est présenté à des écarts angulaires variés par rapport au modèle (à gauche). On propose neuf

orientations (0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°, 240°, 300°) dans un ordre aléatoire qui apparaissent quatre fois chacune, deux fois où les personnages sont "pareils" deux fois où ils sont "différents", soit 36 items pour chaque conditions. Dans la condition bidimensionnelle, le stimulus test est présenté de face, dans la condition tridimensionnelle, il apparaît de dos. Les enfants réalisent toujours la condition bidimensionnelle avant la condition tridimensionnelle. Ils sont invités à répondre le plus vite possible sans se tromper, mais aucune consigne d'imagerie n'est donnée.

1.2. L'épreuve de sériation d'une séquence des positions successives d'un objet en rotation :

L'épreuve de sériation d'une séquence de mouvement de rotation est identique à celle proposée par Dean, Scherzer et Chabaud (1986). L'épreuve est proposée dans deux conditions comportant deux essais chacune présentée dans un ordre constant. Il s'agit à chaque fois pour l'enfant de sérier sept cartes de Mickey qui fait une roue et qui est montré dans des orientations allant de 0° à 180° (par pas de 30°). L'expérimentateur présente l'état initial dans deux des essais, dans les deux autres, il présente l'état final du mouvement. Un essai "état initial" et un essai "état final" entraînent une sériation de 0° à 180° (condition "en avant") tandis que l'autre essai "état initial" et l'autre essai "état final" demandent une sériation de 180° à 0° (condition "en arrière").

En indiquant le sens de rotation, on invite l'enfant à *ranger les images pour montrer comment Mickey fait une pirouette*. Après ces instructions, l'expérimentateur présente une carte (l'état initial ou l'état final) et donne pour consigne "Voici une image de Mickey avant (après) qu'il tourne (qu'il ait tourné), range les cartes pour montrer comment Mickey va faire (a fait) pour tourner". Pour chaque essai les six cartes restantes sont disposées de manière aléatoire dans tout ordre autre que l'ordre logique devant le sujet. Nous utilisons comme indice la réussite ou l'échec à la tâche et également la différence entre le rang d'une carte donnée dans la séquence correcte et le rang de cette carte dans la séquence de l'enfant. La somme de ces différences donne un score d'erreurs compris entre 24 (ce qui correspond à une sériation inverse) et 0 par notes paires.

Afin, de contrôler que la manipulation manuelle des cartes n'entraîne pas une difficulté supplémentaire chez les enfants IMC, un groupe d'enfants fait placer les cartes par l'expérimentateur. Il nomme les cartes qui ont été coloriées en partie pour être identifiables autrement que par l'inclinaison du personnage. On prend soin au préalable de faire nommer les couleurs par l'enfant pour ne pas introduire d'artefact.

RESULTATS

1. Résultats à l'épreuve chronométrique

1.1. Analyse des erreurs :

Avant tout, il convient de noter que 11 enfants IMC et 1 enfant du groupe témoin n'ont pas atteint les 75 % de réussite au test critère. Cette particularité des enfants IMC s'explique ou bien par un problème de compréhension de la consigne, ou bien, ce qui est plus probable, par une difficulté à établir un jugement d'équivalence "pareil-différent". On ne peut évoquer une difficulté à réaliser des transformations imagées puisque les personnages du test critère sont présentés de face et toujours dans la même orientation à 0°, la comparaison n'implique donc pas un recours à l'imagerie mentale.

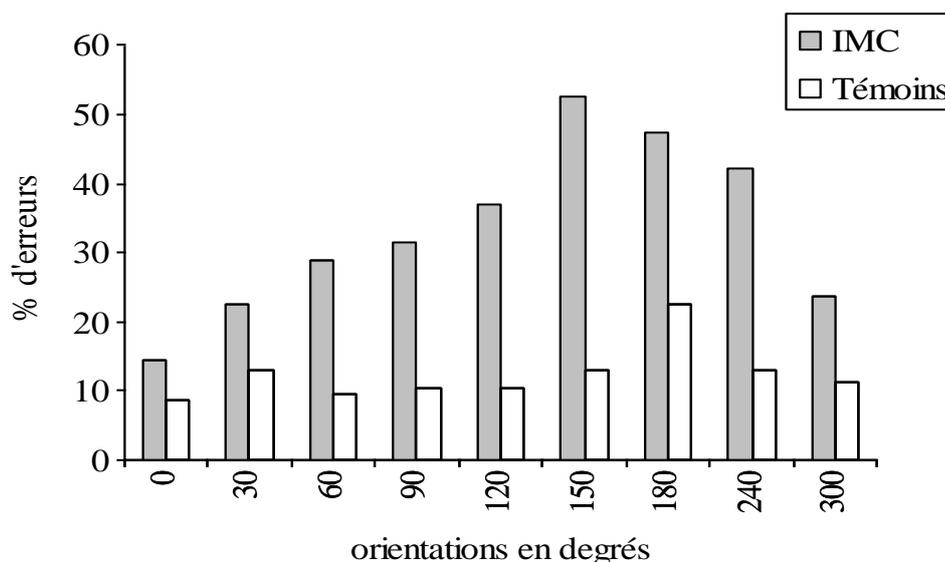
Les données ont été soumises à des tests de tendance linéaire et quadratique. Il existe un effet de l'amplitude de l'angle de rotation sur le nombre moyen d'erreurs chez les enfants IMC en condition bidimensionnelle. Le nombre moyen d'erreurs augmente significativement de façon linéaire de 0° à 150° ($t(18) = 4.1, p = .0006$), et diminue de manière significative de 180° à 300° ($t(18) = 2.8, p = .01$). Cette fonction linéaire entre le nombre moyen d'erreurs et l'angle de rotation n'est pas observée chez les enfants du groupe témoin. Les tests de tendance quadratique sont non significatifs. La comparaison du groupe d'enfants valides au groupe d'enfants IMC révèle un nombre d'erreurs significativement plus élevé chez les enfants handicapés moteurs pour l'ensemble de l'épreuve ($F(1, 92) = 50.10, p = .0001$), aussi bien en condition bidimensionnelle ($F(1, 46) = 16.11, p = .0002$) qu'en condition tridimensionnelle ($F(1, 46) = 37, p = .0001$). Le graphique 1 résume le pourcentage d'erreurs par orientation dans les deux groupes d'enfants dans la condition de présentation de face du stimulus test.

Graphique 1. Epreuve de rotation mentale :

Pourcentages d'erreurs en fonction des orientations chez les deux groupes d'enfants, condition 2D

Mental rotation task :

Percentages of errors as a function of orientations in the two children groups, 2D condition



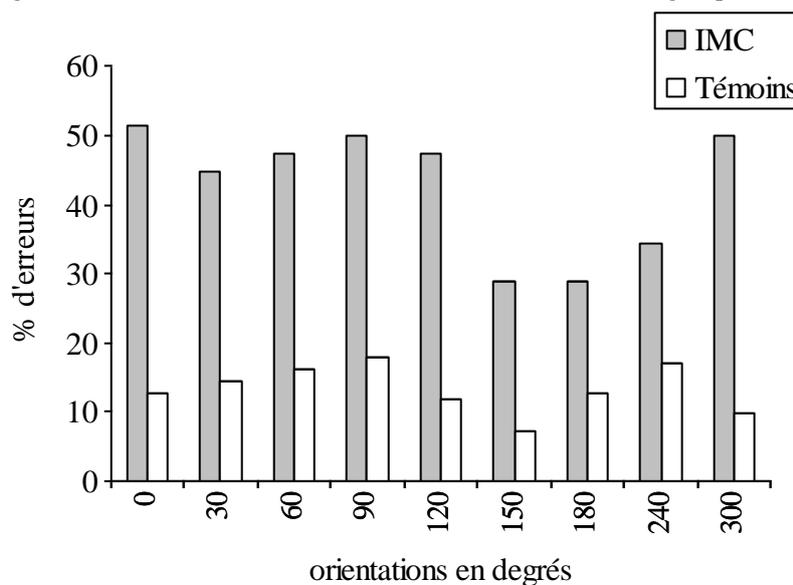
L'effet de l'angle de rotation se retrouve en condition tridimensionnelle chez les enfants IMC, mais les erreurs augmentent de façon linéaire en fonction des orientations entre 180° et 300° ($t(18) = 2.6, p = .01$). Le nombre d'erreurs est stable jusqu'à 120° et diminue fortement à partir de cette inclinaison. Pour les orientations de 0° à 120°, le nombre d'erreurs approche les 50 %, c'est ce que l'on observerait si les enfants répondaient au hasard dans cette partie de l'épreuve (graphique 2).

Graphique 2. Epreuve de rotation mentale :

Pourcentages d'erreurs en fonction des orientations chez les deux groupes d'enfants, condition 3D

Mental rotation task :

Percentages of errors as a function of orientations in the two children groups, 3D condition



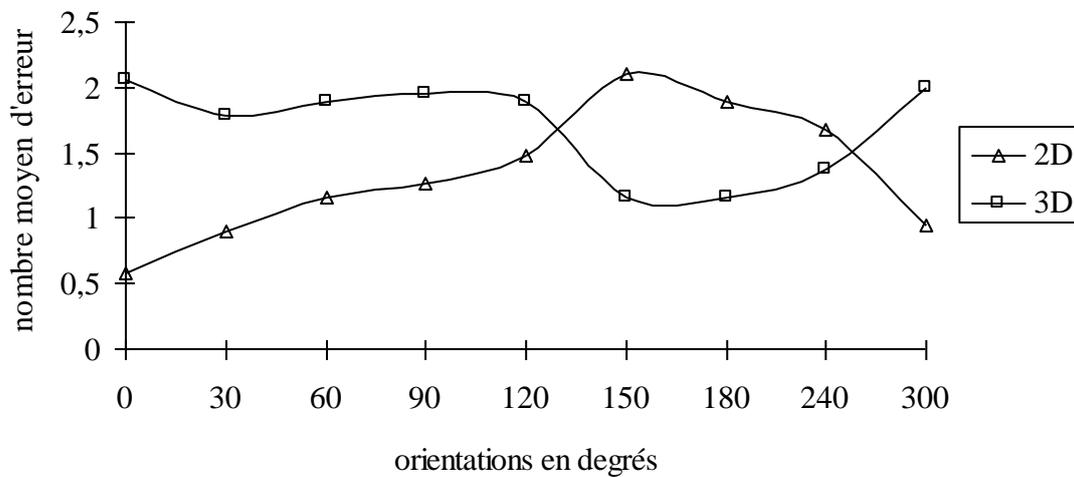
Cependant, si l'on regarde de près les deux courbes d'erreurs des enfants IMC (2D et 3D, graphique 3), on y trouve des variations systématiques qui laissent penser que la distribution des erreurs ne relève pas seulement du hasard. En effet, le taux d'erreur présente une rupture significative pour les angles de 150° à 240° ($F(1, 18) = 4.21, p = .05$ dans la condition 2D ; $F(1, 18) = 4.93, p = .03$ dans la condition 3D). Le taux d'erreur dans cette région augmente dans la condition 2D et diminue dans la condition 3D. On peut faire l'hypothèse que le mode de résolution adopté ici par les enfants IMC se fonde sur un raisonnement propositionnel. Lorsque le stimulus se trouve dans des orientations comprises entre 120° et 240°, si l'on divise le plan en deux parties séparées par l'axe sagittal, la réponse "pareil" donnée quand le bras de la figurine se situe dans le même hémichamp que celui du personnage modèle est une réponse fautive dans la condition 2D et correcte en condition 3D. Dans l'hémichamp supérieur, c'est l'inverse. L'axe sagittal sert de référence, il suffit de vérifier que le bras de la figurine se situe dans la partie droite ou gauche du plan.

Graphique 3. Epreuve de rotation mentale :

Nombre moyen d'erreurs en fonction des orientations chez les enfants IMC

Mental rotation task :

Mean number of errors as a function of orientations by cerebral palsied children



1.2. Analyse des temps de réponse :

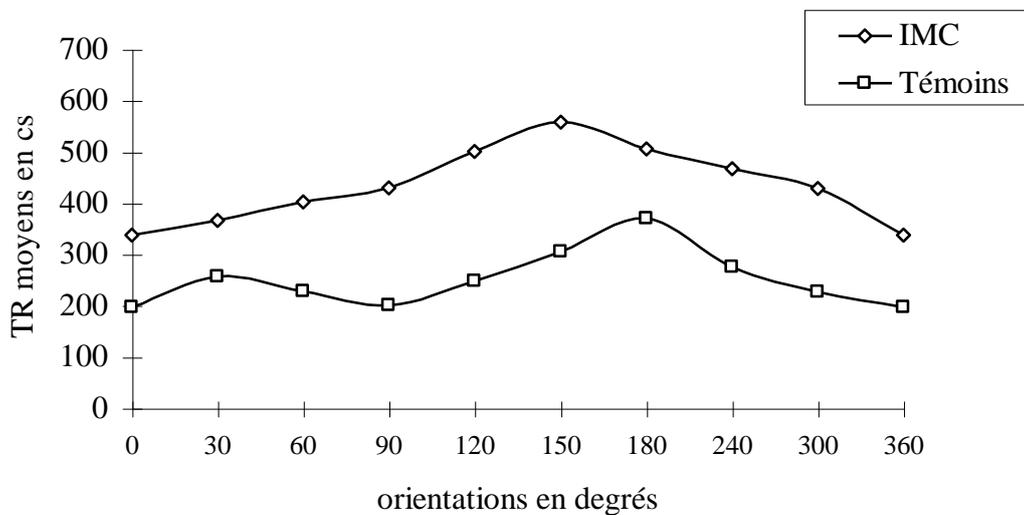
Les temps de réponse (TR) moyens des enfants, ont été calculés sur la base des réponses correctes, à savoir au mieux quatre mesures par angle de rotation sauf dans les cas où les enfants avaient commis des erreurs. Les réponses incorrectes ne sont pas prises en compte dans le calcul du TR moyen. Les TR ont été analysés à l'aide de tests de tendance linéaire et quadratique.

a. Condition bidimensionnelle :

Dans la condition où le stimulus test est présenté de face de 0° à 180°, on observe une tendance linéaire significative des TR en fonction de l'orientation des stimuli aussi bien chez les enfants handicapés ($t(18) = 3.6, p = .002$) que chez les enfants du groupe témoin ($t(28) = 3.97, p = .0004$). Cependant, le test de tendance quadratique est également significatif chez les

enfants témoins ($t(28)=3.08$, $p= .004$), ce qui s'explique par la tendance quadratique de la courbe de réponse des enfants témoins entre 90° et 180° , graphique 4.

Graphique 4. Epreuve de rotation mentale :
 Temps de réponse moyens en fonction des orientations chez les enfants IMC et les enfants témoins, condition 2-D
Mental rotation task :
 Mean Response Times as a function of orientations by cerebral palsied and control children, 2-D condition



Les données laissent penser que les enfants du groupe témoin ne mettent en jeu un mode de traitement analogique qu'à partir du moment où les orientations du personnage mobile dépassent 90° d'angle. En effet, si on compare l'évolution des temps de réponse de 0° à 90° à celle de 120° à 180° , la différence est significative ($F(1, 28)= 22.94$, $p= .0001$). On peut comprendre ce résultat en considérant que, pour les orientations allant de 0° à 90° , la figurine test est présentée dans des orientations qui autorisent un mode de comparaison ne mettant pas en jeu la rotation mentale. Comme on l'a évoqué en ce qui concerne les erreurs des enfants IMC, on peut faire l'hypothèse qu'une stratégie consistant à comparer la position du bras de la figurine par rapport à l'axe sagittal est utilisée lorsque le personnage se trouve dans l'hémichamp supérieur.

De 180° à 300° , chez les enfants IMC, on ne peut conclure à une linéarité des TR en fonction des angles de rotation. Par contre, les TR des enfants du groupe témoin diminuent

significativement de façon linéaire en fonction des orientations de 180° à 300° ($t(28)= 3.22$, $p= .003$).

b. Condition tridimensionnelle :

Dans la condition où le personnage test est présenté de dos dans des orientations de 0° à 180°, on retrouve une augmentation linéaire significative des TR par rapport à l'angle de rotation du stimulus test, aussi bien en ce qui concerne le groupe d'enfants IMC ($t(18)= 6.41$, $p < .0001$) que chez les enfants du groupe témoin ($t(28)= 2.58$, $p= .01$).

Il faut noter cependant que les TR moyens du groupe d'enfants IMC se stabilisent à partir de 90° jusqu'à 240° ($F(1, 18)= 11.52$, $p= .003$ si l'on compare l'augmentation des TR de 0° à 90° à la stabilité des temps de 120° à 240°), suggérant une modification de traitement ou de stratégie dans la réalisation de la tâche (graphique 5).

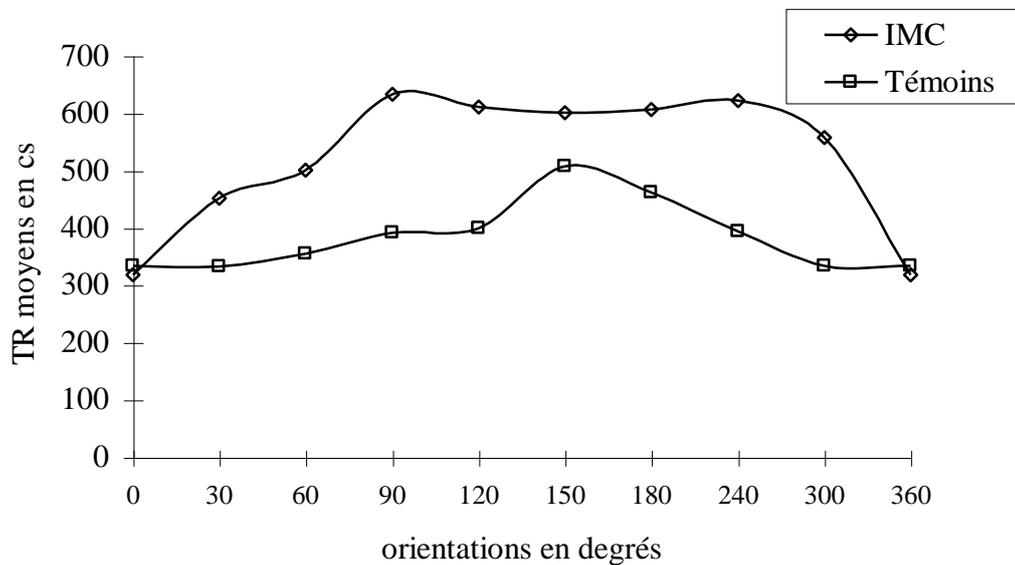
On remarque un effet du facteur condition qui se traduit par l'allongement des TR dans la condition tridimensionnelle chez les enfants IMC ($F(1, 36)= 4$, $p= .05$) et chez les enfants du groupe témoin ($F(1, 56)= 6.58$, $p= .01$) en comparaison des TR en condition bidimensionnelle. Toutefois, on ne peut pas conclure à un effet du facteur condition sur chaque orientation considérée indépendamment chez les enfants IMC. La différence observée entre les deux conditions provient donc de la modification de la stratégie employée par les sujets de ce groupe. Les enfants du groupe témoin produisent des TR qui augmentent de manière significative en condition tridimensionnelle à 0° ($F(1, 56)= 5.48$, $p= .02$), à 150° ($F(1, 56)= 11.36$, $p = .001$) et à 300° ($F(1, 56)= 5.50$, $p= .02$). La différence observée entre les temps de réponse à 90° entre les deux conditions provient de la baisse des temps en condition bidimensionnelle ($F(1, 56)= 8.10$, $p= .006$).

Graphique 5. Epreuve de rotation mentale :

Temps de réponse moyens en fonction des orientations chez les enfants IMC et les enfants témoins, condition 3-D

Mental rotation task :

mean Response Times as a function of orientations by cerebral palsied and control children, 3-D condition



2. Résultats à l'épreuve de sériation d'une séquence des positions successives d'un objet en rotation

Globalement le nombre de réussites à cette tâche est faible pour le groupe d'enfants IMC. Seulement 2 enfants IMC et 14 enfants du groupe témoin (N = 30 dans les deux groupes) parviennent à sérier les cartes de Mickey dans la condition "en avant" (AV) de 0° à 180°, 3 enfants IMC et 20 enfants du groupe témoin y parviennent en condition "en arrière" (AR) de 180° à 0°. Le tableau 1 résume les scores moyens d'erreurs des deux groupes d'enfants pour chaque essai et le tableau 2 indique le nombre d'enfants ayant ordonné de 0 à 4 essais correctement.

Tableau 1 : Scores moyens d'erreurs

Table 1. Mean errors scores

	AV(I)	AV(F)	AR(I)	AR(F)
IMC	8,4	9,3	10,1	10,3
Témoins	3	2,4	1,2	1,6

AV = condition "en avant", AR = condition "en arrière", I = à partir de l'état initial, F = de l'état final.

Tableau 2 : Nombre d'enfants ayant de 0 à 4 essais corrects**Table 2.** Number of children with 0 to 4 correct trials

	0	1	2	3	4
IMC	24	2	0	3	1
Témoins	7	1	2	7	13

Les enfants du groupe témoin font beaucoup moins d'erreurs que les enfants IMC en condition AV ($F(1, 28) = 95.17, p < .0001$) aux deux essais ($F(1, 57) = 16.98, p = .0001$; $F(1, 57) = 31.89, p < .0001$) et en condition AR également ($F(1, 28) = 138.78, p < .0001$) et pour les deux essais ($F(1, 57) = 60.25, p < .0001$ et $F(1, 57) = 49.65, p < .0001$). On ne peut pas conclure à un effet de la présentation de l'état initial ou l'état final sur le score d'erreurs. De même, on n'observe aucun effet significatif de la variable groupe chez les enfants IMC. Les enfants qui n'ont pas eu à manipuler manuellement les cartes ne se discriminent pas statistiquement des autres enfants infirmes moteurs, on ne peut donc pas conclure à un effet parasite de la manipulation motrice. Enfin, on remarque un effet du sens de rotation chez les enfants valides ($F(1, 29) = 7.51, p = .01$), le traitement de la condition AR (de 180° à 0°) provoque moins d'erreurs que celui de la condition AV (de 0° à 180°). On peut certainement attribuer cette différence à un effet de familiarisation.

Dean, Scherzer et Chabaud (1986) à partir de la tâche de sériation d'une séquence des positions successives d'un objet en rotation ont mis en évidence ce qu'elles ont appelé la relation "*Come After*" chez les enfants de 5 ans ayant échoué à l'épreuve. Cela signifie que les enfants construisent des séquences de deux segments, des sériations partielles constituées

d'une partie où les cartes sont correctement ordonnées du point de vue des degrés d'orientation se terminant par l'état final de l'essai, et d'une partie incluant toutes les cartes omises dans le premier segment. Par exemple : les cartes 1, 2, 4, 5 et 7 - puis 6 et 3 dans la condition AV et les cartes 7, 5, 3 et 1 - puis 6, 4 et 2 dans la condition AR. Ces patrons de réponses sont caractéristiques des schèmes de sériation préopératoires où la pensée de l'enfant ne prend en compte qu'une seule relation "ce qui vient après" ou "plus penché que" sans coordonner les relations du type "plus penché que X, et moins que Y".

Après analyse qualitative des protocoles des enfants ayant échoué, on observe 60 % d'enfants IMC qui présentent des patrons de réponse caractéristiques de la relation "plus penché que", ce qui sous-entend que la pensée des enfants IMC privilégie des schèmes de type préopératoire dans ce genre de tâche. 35 % des enfants ayant échoué dans le groupe des enfants valides donnent également ce type de réponse.

DISCUSSION

1. Quelle rotation mentale ?

Les résultats de cette expérience posent de nombreuses questions. Le taux d'erreur de la population IMC à l'épreuve chronométrique rend difficile l'interprétation classique de l'augmentation linéaire des TR en fonction des écarts angulaires entre stimulus test et stimulus standard. Les enfants IMC ont connu de grandes difficultés lorsque le personnage est présenté à 150° et 180° en condition bidimensionnelle et plus généralement dans la condition tridimensionnelle. Rappelons aussi que 11 enfants IMC ont donné moins de 75 % de réponses correctes au test critère, suggérant une difficulté à poser un jugement d'égalité-différence entre les deux personnages. Le nombre de réponses incorrectes des enfants IMC est significativement supérieur à celui de leurs pairs valides et approche les 50 % dans certaines orientations. Lejeune et Decker (1994) ont montré que des enfants de sept et dix ans mettent en oeuvre des stratégies de rotation mentale où l'information serait traitée de manière propositionnelle dans la condition où la figurine est présentée de dos. Lejeune (1992) a proposé que la tendance linéaire des temps de réponse est associée non pas à un processus de

rotation mentale, mais à une difficulté croissante à poser un jugement basé sur le code visuel et non sur l'image mentale. Pour lui, dans une tâche de comparaison d'états, les jeunes enfants considèrent la position spatiale des objets. Si les objets tenus par les personnages se trouvent dans un même hémichamp spatial (c'est-à-dire tous les deux à droite ou à gauche quelles que soient la main tenant l'objet et l'orientation globale du personnage), la réponse sera du type "pareil". Par contre, dès qu'un objet se trouve à droite et l'autre à gauche, l'enfant aura tendance à donner une réponse négative, jugeant ainsi que les personnages ne tiennent pas l'objet dans la même main. Lejeune (1992) pense donc que plus la différence angulaire de présentation des figurines est grande, plus l'enfant a des difficultés à poser un jugement d'appartenance ou non des objets à un même hémichamp spatial, surtout, précise-t-il, dans les conditions 120° et 240° où les objets sont souvent à la frontière entre l'hémichamp droit et l'hémichamp gauche. Cette difficulté expliquerait l'augmentation de la latence de réponse quand l'angle de rotation s'accroît. De ce point de vue, il semble que l'on puisse expliquer le taux d'erreur important des enfants IMC aux orientations 150° et 180° en 2D, et de la même façon, la diminution des erreurs en 3D de 120° à 240° puisque ce raisonnement s'inverse dès que le personnage est présenté de dos. C'est-à-dire qu'en 2D, entre 120° et 240°, lorsque le bras des figurines est dans le même hémichamp, les personnages sont en fait "différents", quand les bras sont dans un hémichamp différent les personnages sont dits "pareils". En 3D, ce raisonnement se simplifie dans la mesure où il y a correspondance entre la réponse correcte et la position du bras.

Néanmoins, si l'explication de Lejeune (1992) rend compte des erreurs entre 120° et 240°, elle est moins convaincante en ce qui concerne l'augmentation des TR en fonction de l'écart angulaire. En regard d'un nombre de faits expérimentaux importants², nous restons convaincus que la tendance linéaire entre TR et écarts angulaires témoigne de l'utilisation d'une représentation imagée analogique chez les enfants IMC en 2D jusqu'à 150°, et chez les enfants valides en 2D et 3D.

² Shepard et Metzler, 1971 ; Cooper et Shepard, 1973 ; Marmor, 1975, 1977 ; Kail et *al.*, 1980 ; Koriat et Norman, 1984 ; Dean, Scherzer et Chabaud, 1986 ; Kosslyn et *al.*, 1990 ; Lejeune et Decker, 1994 ; Schwartz et Black, 1996, Bauer et Jolicoeur, 1996 ; Larson, 1996.

De ce fait, il semble que les enfants aient une représentation de la transformation et pas seulement une représentation statique de l'état final. Malgré un grand nombre d'erreurs, les données chronométriques suggèrent, que les enfants génèrent une représentation imagée qu'ils manipulent afin de la mettre en congruence avec le stimulus standard avant la comparaison. L'originalité des enfants IMC dans le traitement de tâches de rotation mentale peut être trouvée dans une utilisation successive, au moins en 2D, des deux modes de traitement, analogique et propositionnel.

Les résultats à la tâche de sériation d'une séquence de mouvement de rotation confirment qu'il est nécessaire de comprendre les relations d'une séquence pour évaluer les représentations externes d'états successifs dans un mouvement de rotation. Cette connaissance n'est pas indispensable lorsqu'il s'agit d'exécuter une rotation mentale dans une tâche de comparaison d'états (Dean *et al.*, 1986; Lautrey et Chartier, 1987).

Exécuter une stratégie est moins complexe que de décider quand elle doit être utilisée et si elle est adaptée à un contexte particulier. Cette démarche demande une procédure explicite, ou des métaconnaissances du processus lui-même, à propos de ses composantes et de leurs interactions. Le jugement porté sur un processus pour savoir s'il est ou non adapté au contexte est, en quelque sorte, comparable à celui qui détermine si le processus en question est précisément décrit par une représentation externe. Les cartes de Mickey sont une représentation externe du processus de rotation, mais aussi une représentation complexe puisque toutes les positions possibles ne sont pas représentées. Elles n'existent qu'implicitement dans le matériel. Dans les deux cas, cela demande une connaissance du processus aussi bien que la possibilité d'avoir consciemment accès à cette connaissance.

Les performances des enfants IMC traduisent un recours privilégié à des schèmes de type préopératoire pour résoudre la tâche de sériation. Les patrons de réponses des enfants qui ont échoué à la tâche sont identiques à ceux observés par Dean, Scherzer, et Chabaud (1986) chez des enfants de 5 ans. Les enfants IMC ne prennent en compte qu'une relation, reproduisant les procédures de niveau préopératoire dans des tâches de sériation. Il est possible, en ce cas, que les enfants infirmes moteurs parviennent à employer une

représentation imagée de la transformation. Mais, ils échoueraient au moment de décomposer et de recomposer les étapes de cette transformation.

2. Pour une dualité de la représentation imagée :

Cette étude semble en accord avec la conception de Lautrey (1990 a). On peut penser que les enfants, y compris le groupe d'enfants IMC, disposent d'au moins deux modes de traitement des tâches de rotation mentale :

- un traitement analogique qui met en jeu une représentation imagée isomorphe à son référent externe et dont la rotation respecte les contraintes spatiales et les caractéristiques d'une rotation physique.
- un traitement propositionnel, opératif ou tout du moins impliquant une forme de raisonnement proche de celui de la logique propositionnelle.

Néanmoins les difficultés des enfants IMC lors de l'épreuve de sériation d'une séquence des positions successives d'un objet en rotation mettent en question la nature du processus propositionnel utilisé par les enfants handicapés. En effet, si les enfants IMC se comportent comme des enfants qui mettent en oeuvre des schèmes de type préopératoire, sur quelles règles s'appuie la stratégie qui apparaît dans la condition bidimensionnelle entre 150° et 240° et dans la condition tridimensionnelle de la tâche chronométrique ? Comme cela a déjà été montré par Hatwell (1966) chez l'aveugle de naissance, et comme le suggèrent Bideaud et ses collaborateurs (1980), on peut penser que l'insuffisance de la pensée opératoire, au moins dans le domaine spatial, puisse être palliée par les conduites verbales.

Cet état de fait renforce la conception intégratrice de Lautrey des modèles cognitivistes et de la théorie piagétienne. Le modèle pluraliste du développement que propose Lautrey (1990 a) repose sur le postulat que tout individu dispose, pour une tâche donnée, de plusieurs processus distincts, disponibles de façon différenciée selon la tâche, les préférences individuelles et le moment du développement. Les processus remplissent la même fonction,

mais ne traitent pas la même information. Ils ne sont pas substituables les uns aux autres, il ne s'agit donc pas d'une relation de vicariance mais de complémentarité. Ces processus sont dans une relation d'interaction et c'est cette interaction, médiatisée par les représentations sur lesquelles ils agissent qui constitue l'un des moteurs du développement.

Dans cette optique, les résultats des enfants IMC à la tâche de rotation mentale peuvent être compris comme l'indice de l'utilisation complémentaire des deux modes de traitement. L'utilisation d'une représentation analogique permet une résolution de la tâche jusqu'à 120°. Puis, il est possible que pour les orientations de 120° à 240° en 2D et en 3D, le mode de traitement propositionnel semble plus efficace. Mais les enfants IMC ont des difficultés à l'utiliser comme le révèle la tâche de sériation. La question reste de savoir si l'utilisation complémentaire des deux modes de traitement est une originalité des enfants IMC, à comprendre comme un mode d'opération distribué permettant de pallier à un dysfonctionnement. Ou bien, l'utilisation complémentaire des deux modes de traitement est une donnée générale révélée par la situation d'infirmité motrice.

La mise en évidence de capacités de représentation imagée chez des enfants dont les possibilités d'action ont été sévèrement restreintes remet en cause l'idée d'une représentation imagée tirée de l'action. Depuis les travaux de Piaget et Inhelder (1966) sur l'image mentale, la motricité est supposée constituer la source de la représentation imagée et de ses transformations. Cette conception s'oppose aux travaux développés par Podgorny et Shepard (1978), Kosslyn (1980) et Finke (1985) pour lesquels l'image mentale procède de l'activation de structures neuronales en jeu dans la perception. Nos données expérimentales vont dans le sens de la conception de Lautrey (1990b), pour qui le fonctionnement et le développement de l'image mentale sont distincts de ceux qui caractérisent les structures tirées de l'action.

3. Le traitement de situations spatiales chez les enfants IMC :

Un des paradoxes observés dans le développement des enfants IMC tient au fait qu'ils parviennent à réaliser des tâches spatiales complexes et qu'ils échouent à des tâches spatiales simples. Bideaud, Colin et Lataillade (1980) ont montré que les déficits moteurs perturbent davantage le niveau des relations topologiques élémentaires que celui des relations plus

complexes. Nous avons également mis en évidence (Zabalía et Mellier, 1996) que les enfants IMC rencontrent des difficultés à une tâche de sériation et une tâche de localisations de sites topologiques alors qu'ils ne se différencient pas de leurs pairs sans handicap dans des tâches de rotation mentale ou d'emboîtement de formes.

On peut avancer l'idée que la complexité de la tâche en terme de relations spatiales en jeu n'est pas le facteur déterminant. Ce qui semble important concerne le mode de traitement privilégié impliqué dans la tâche. Il semble qu'une tâche qui nécessite la mise en oeuvre d'un traitement propositionnel, analytique, c'est-à-dire l'utilisation de procédures séquentielles soit difficile à réaliser par des enfants IMC. C'est manifestement le cas rencontré à l'épreuve de sériation d'une séquence de mouvement de rotation. En revanche, des tâches qui reposent sur un traitement analogique, global, telles que les épreuves de rotation mentale, semble révéler l'existence d'une flexibilité cognitive dans le mode de traitement engagé par la tâche. Cela dit, l'utilisation d'un mode de traitement propositionnel reste attachée à un taux d'erreur important. Il reste à savoir si l'utilisation complémentaire de deux modes de traitement est une originalité des enfants en situation de handicap moteur.

CONCLUSION

Les résultats de cette expérience révèlent que les enfants IMC manifestent des difficultés dans des tâches de rotation mentale. Il semble néanmoins qu'une représentation analogique indépendante de la construction de structures opératoires de la pensée soit possible dans une tâche chronométrique en 2D. Elle semble être utilisée de façon complémentaire à une représentation propositionnelle qui visiblement entraîne un taux d'erreurs important. L'étude révèle également que dans une tâche de sériation des positions successives d'un objet en rotation, les enfants infirmes moteurs ne mettent pas en oeuvre une représentation propositionnelle ou opérative. On admet donc que les deux modes de traitement sont disponibles aux enfants IMC, mais que les restrictions motrices limitent l'efficacité d'un raisonnement propositionnel des rotations. Ces résultats permettent une compréhension des originalités observées dans le traitement de tâches spatiales par les enfants IMC mais n'explique pas certaines des erreurs produites. Ils engagent à prolonger le recours à l'analyse

comparative pour comprendre les conditions contextuelles de mises en œuvre des stratégies de traitement des rotations mentales.

RESUME

Considérant qu'il existe deux systèmes de traitement dans l'imagerie mentale, l'un analogique, l'autre propositionnel, la recherche examine l'évocabilité de ces deux modes de traitement, et les conditions de leur apparition en fonction de contextes différents chez des enfants Infirmes Moteurs d'origine Cérébrale (IMC). A cette fin, nous présentons aux enfants des tâches de rotation mentale dont l'exécution nécessite l'un ou l'autre mode de traitement.

Les investigations font apparaître chez les enfants IMC l'utilisation des deux modes de traitement malgré un recours privilégié à un mode de traitement analogique et des difficultés à mettre en oeuvre un traitement propositionnel dans des tâches séquentielles. Les résultats expérimentaux rendent compte des originalités observées dans le traitement de tâches spatiales par les enfants infirmes moteurs.

Mots clés : rotation mentale, imagerie mentale, traitement analogique, traitement propositionnel, infirmité motrice d'origine cérébrale.

BIBLIOGRAPHIE

- Bauer, B., Jolicoeur, P. — (1996) Stimulus dimensionality effects in mental rotation, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22, 1, 82-94.
- Bideaud J. — (1988) *Logique et bricolage chez l'enfant*, Lille, Presses Universitaires de Lille.
- 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.

- Bideaud J., Pierre-Puységur M.-A. — (1990) L'étude génétique des "structurations logiques":
Quoi de neuf ? in G. Netchine-Grynberg (Edit.), *Développement et fonctionnement
cognitifs chez l'enfant*, Paris, PUF, 33-52.
- Cooper L. A, Shepard R. N. — (1973) The time required to prepare for a rotated stimulus,
Memory and Cognition, 1, 3, 246-250.
- Dean A.L. Scherzer E., Chabaud S. — (1986) Sequential ordering in children's
representations of rotation movements, *Journal of Experimental Child Psychology*, 42, 99-
114.
- 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, PUF, CTNERHI.
- Finke R.A — (1985) Theories relating mental imagery: a componential analysis,
Psychological Bulletin, 98, 236-259.
- Fodor J.A. — (1975) *The language of thought*, New York, Crowell.
- Hatwell Y. — (1966) *Privation sensorielle et intelligence*, Paris, PUF.
- Kail R. — (1985) Development of mental rotation: A speed accuracy study? *Journal of
Experimental Child Development*, 40, 181-192.
- Kail R., Pellegrino J., Carter P. — (1980) Developmental changes in mental rotation, *Journal
of Experimental Child Psychology*, 29, 102-116.
- Kail R., Park Y. — (1992) Global developmental changes in processing time, *Merill-Palmer
Quarterly*, 38, 525-541.
- Kardos M.-Th. — (1985) Retards d'organisation du raisonnement chez les enfants IMC à
polyhandicaps et tentative de prise en charge, *Neuropsychiatrie de l'Enfance*, 33(1), 13-20.
- Kosslyn S.M. — (1980) *Image and mind*, Cambridge, Mass, Harvard University Press.
- Kosslyn S.M., Margolis J.A., Barrett A.M., Goldknopf E.J. — (1990) Age differences in
imagery abilities, *Child Development*, 61, 995-101.

- Koriat A., Norman J. — (1984) What is rotated in mental rotation ? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 10(3), 421-434.
- Larson G.E. — (1996) Mental rotation of static and dynamic figures, *Perception and Psychophysics*, 58(1), 153-159.
- Lautrey J. — (1990 a) Esquisse d'un modèle pluraliste du développement cognitif. in M. Reuchlin (Edit), *Cognition: l'individuel et l'universel*, Paris, PUF, 185-216.
- Lautrey J. — (1990 b) Unicité ou pluralité dans le développement cognitif : les relations entre images mentales, action et perception, in G. Netchine-Grymberg (Edit), *Développement et fonctionnement cognitifs chez l'enfant*), Paris, PUF, 71-89.
- Lautrey J., Chartier D. — (1987) Images mentales de transformations et opérations cognitives une revue critique des études développementales, *L'Année Psychologique*, 87, 581-602.
- Lejeune M., Decker C. — (1994) Capacités de rotation mentale dans un espace bi- et tridimensionnel chez des enfant de six à dix ans, *L'Année Psychologique*, 94, 45-62.
- Marmor G.S. — (1975) Development of kinetic images : when does the child first represent movement in mental images ? *Cognitive Psychology*, 7, 548-559.
- Marmor G.S. — (1977) Mental rotation and number conservation: are they related ? *Developmental Psychology*, 13, 4, 320-325.
- Piaget J., Inhelder B. (1966) *L'image mentale chez l'enfant*, Paris, PUF.
- Podgorny P. Shepard R.N. — (1978) Functional representations common to visual perception and imagination, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 4, 21-35.
- 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.
- Schwartz D.L., Black J.B. — (1996) analog imagery in mental model reasoning : Depictive models, *Cognitive Psychology*, 30, 154-219.
- Shepard R.N., Metzler J. — (1971) Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.

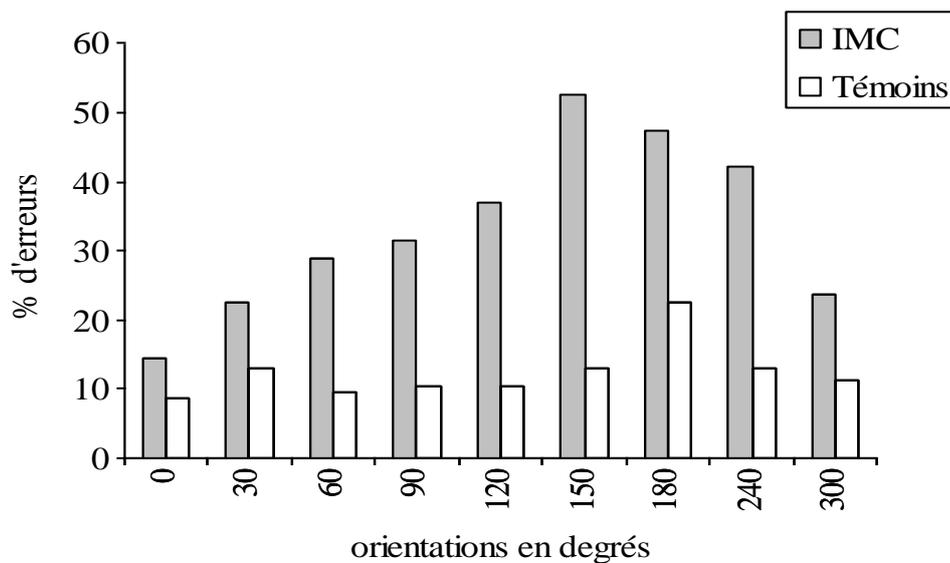
Shepard R.N., Cooper C.A. — (1982) *Mental images and their transformations*, Cambridge, MIT press.

Tabary J.C. — (1969) Diversité des aptitudes mentales et leur valeur pronostique, *La psychométrie des IMC, supplément au Bulletin des IMC*, 55, 5-16.

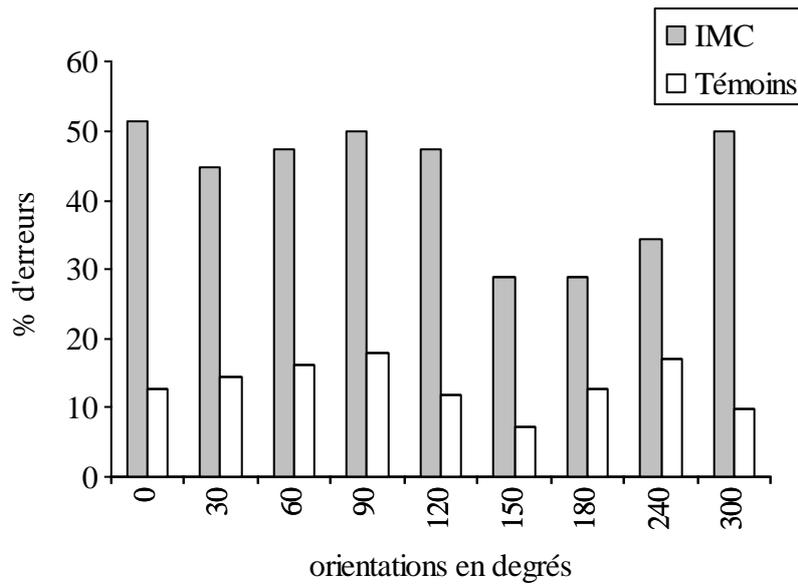
Young J.F., Palef S.R., Logan G.D. — (1980) The role of mental rotation in letter processing by children and adults, *Canadian Journal of Psychology*, 34, 265-269.

Zabalia M., Mellier D. — (1996) Effets d'exercice de rotation mentale sur le traitement des relations topologiques élémentaires chez des enfants handicapés moteurs, *Les Archives de Psychologie*, 64, 67-82.1

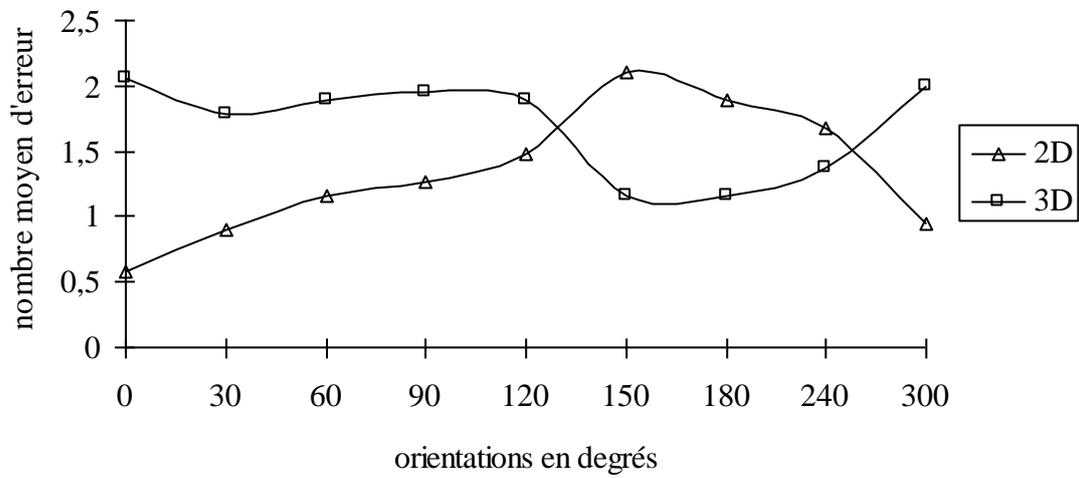
Graphique 1.



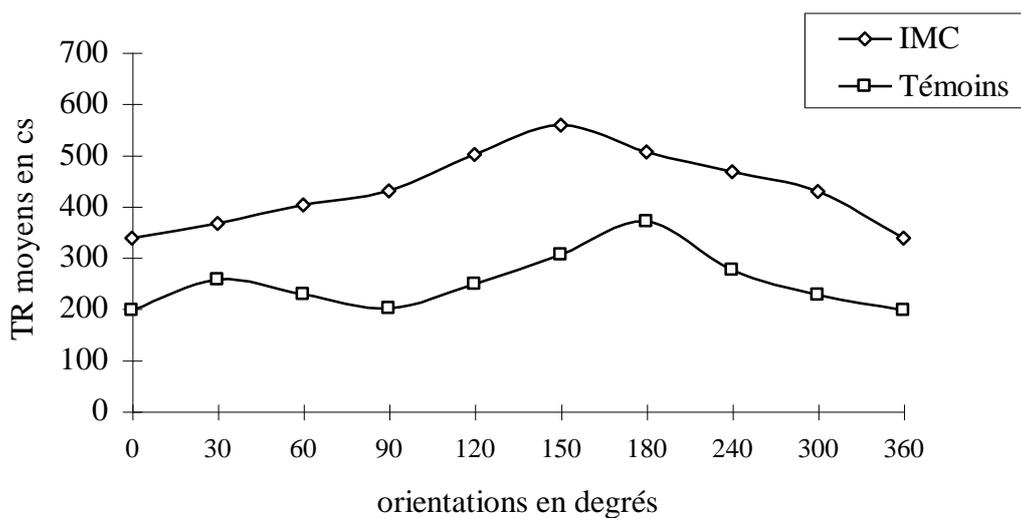
Graphique 2.



Graphique 3.



Graphique 4.



Graphique 5.

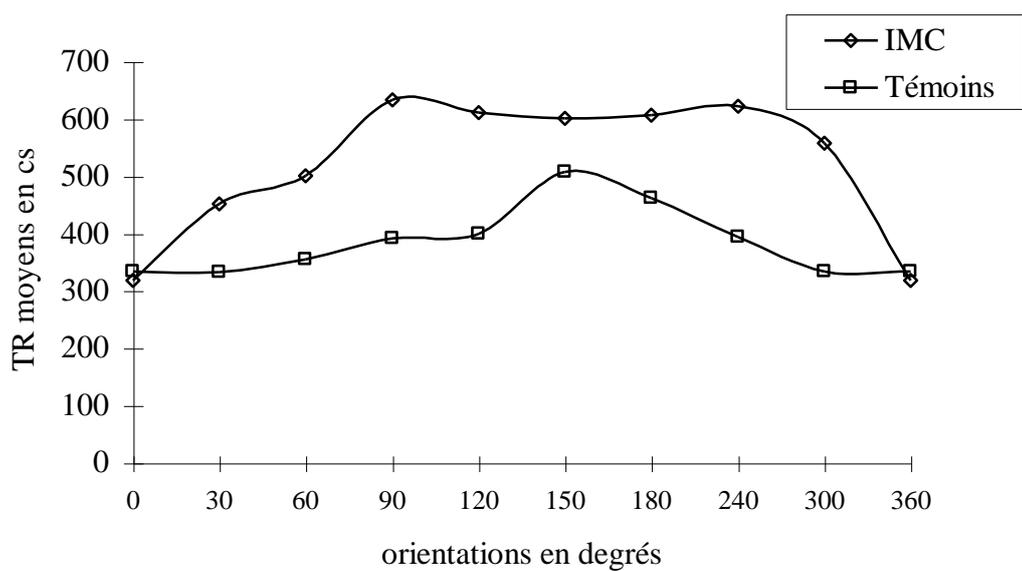


Tableau 1 :

	AV(I)	AV(F)	AR(I)	AR(F)
IMC	8,4	9,3	10,1	10,3
Témoins	3	2,4	1,2	1,6

AV = condition "en avant", AR = condition "en arrière", I = à partir de l'état initial, F = de l'état final.

Tableau 2 :

	0	1	2	3	4
IMC	24	2	0	3	1
Témoins	7	1	2	7	13

Graphique 1. Epreuve de rotation mentale :

Pourcentages d'erreurs en fonction des orientations chez les deux groupes d'enfants, condition 2D

Mental rotation task :

Percentages of errors as a function of orientations in the two children groups, 2D condition

Graphique 2. Epreuve de rotation mentale :

Pourcentages d'erreurs en fonction des orientations chez les deux groupes d'enfants, condition 3D

Mental rotation task :

Percentages of errors as a function of orientations in the two children groups, 3D condition

Graphique 3. Epreuve de rotation mentale :

Nombre moyen d'erreurs en fonction des orientations chez les enfants IMC

Mental rotation task :

Mean number of errors as a function of orientations by cerebral palsied children

Graphique 4. Epreuve de rotation mentale :

Temps de réponse moyens en fonction des orientations chez les enfants IMC et les enfants témoins, condition 2-D

Mental rotation task :

Mean Response Times as a function of orientations by cerebral palsied and control children, 2-D condition

Graphique 5. Epreuve de rotation mentale :

Temps de réponse moyens en fonction des orientations chez les enfants IMC et les enfants témoins,
condition 3-D

Mental rotation task :

mean Response Times as a function of orientations by cerebral palsied and control children,
3-D condition

Tableau 1 : Scores moyens d'erreurs

Table 1. Mean errors scores

Tableau 2 : Nombre d'enfants ayant de 0 à 4 essais corrects

Table 2. Number of children with 0 to 4 correct trials

Marc Zabalia

Laboratoire PSY.CO

UFR de Psychologie, Université de Rouen

76821 MONT-SAINT-AIGNAN

Rouen le 3 juillet 1997

Monsieur,

Veillez trouver ci-joint en trois exemplaires une version corrigée du manuscrit "traitement analogique et traitement propositionnel des rotations mentales chez les enfants IMC" et comme convenu une lettre adressée aux experts signalant les modifications introduites par référence à leurs remarques.

Je vous prie d'agréer, monsieur, l'expression de mes sentiments distingués.

Marc Zabalía

Messieurs les experts,

Je vous remercie de votre lecture attentive de la première version du manuscrit "traitement analogique et traitement propositionnel des rotations mentales chez les enfants IMC" de vos critiques et encouragements.

Suites à vos remarques et suggestions, les modifications suivantes ont été apportées :

Méthodes et population :

L'hypothèse est reformulée, les précisions quand à l'ordre constant des épreuves et les conditions de présentation de la tâche de sériations sont apportées. Les enfants IMC ne sont pas appariés systématiquement aux enfants valides, qui constituent un groupe témoin. La grande hétérogénéité de la population IMC oblige à prendre des critères généraux de scolarisation pour la comparaison.

Résultats et Discussion :

L'analyse des erreurs, présentée comme demandé en pourcentages, précède désormais celles des TR pour l'épreuve chronométrique. Des tests de tendance linéaire et quadratique ont été effectués comme suggéré. La discussion prend en compte le taux d'erreur important chez les enfants IMC, ce qui modifie les interprétations des résultats et les conclusions de l'étude.

Les corrections stylistiques et bibliographiques ont également été apportées.

Je vous prie d'agréer, messieurs, l'expression des mes sentiments distingués.

Marc Zabalía