

REVUE CRITIQUE

*Laboratoire de Psychologie différentielle
Université René-Descartes¹*

IMAGES MENTALES DE TRANSFORMATIONS ET OPÉRATIONS COGNITIVES : UNE REVUE CRITIQUE DES ÉTUDES DÉVELOPPEMENTALES²

par Jacques LAUTREY et Daniel CHARTIER

SUMMARY : Mental imagery of transformations and cognitive operations : a critical review of developmental studies.

Developmental features of imaginal representations of kinetics and transformations are examined within the framework of piagetian theory and Information Processing. A critical overview of the basic assumptions, methodology and results of studies deriving from these two approaches suggests that their experimental paradigms may in fact elicit two distinct processing modes for transformational representation : an analogical mode, and a mode compatible with both propositional and piagetian models of representation. Discussion centers around the possible implications of this hypothesis for future research, in particular studies testing for interactions between these two processing modes over the course of development.

Key words : mental imagery, cognitive development, analogical representation.

La représentation imagée des transformations a été étudiée dans deux courants de recherche assez différents : dans le cadre du courant piagétien d'une part, avec une optique essentiellement développementale, et dans le cadre du paradigme du traitement de l'information (π_1) d'autre part, le plus souvent avec des sujets adultes. Notre objectif est de confronter les problématiques et les résultats de ces deux ensembles de travaux. Nous rappellerons d'abord les grandes lignes des

1. 41, rue Gay-Lussac, 75005 Paris.

2. Cette recherche a utilisé les ressources du laboratoire de Psychologie différentielle (CNRS UA n° 656, Université de Paris V, CNAM-INOP, EPHE 3^e section).

recherches piagésiennes, puis des recherches π_1 , avant de comparer leurs conceptions théoriques, leurs méthodes, et d'examiner les résultats des expériences ayant cherché à les rapprocher. La confrontation de ces deux courants nous conduira à avancer l'hypothèse qu'ils ont mis en évidence deux modes de traitement différents de la représentation imagée. Cette hypothèse ouvre de nouvelles perspectives de recherche, dont l'objectif serait d'éclaircir la nature des rapports entre ces deux modes de traitement dans le fonctionnement et le développement de la représentation imagée des transformations.

1. LES RECHERCHES PIAGÉTIENNES SUR L'IMAGE MENTALE

Les recherches piagésiennes sur la représentation imagée s'inscrivent dans le cadre de la controverse entre empirisme et constructivisme. Aux débuts de la psychologie scientifique, l'image mentale était en effet conçue comme un prolongement de la perception, une sorte de trace résiduelle de celle-ci. Elle était censée fournir ainsi, par l'association de sensations élémentaires, une copie de la réalité. Après avoir contribué à montrer que la perception elle-même n'est pas un enregistrement passif mais un processus actif de composition de centrations, l'objectif de Piaget était de montrer que l'image mentale ne prolongeait pas la perception, mais prenait sa source dans l'action, et qu'elle ne pouvait fournir de connaissances adéquates qu'en étant subordonnée aux structures opératoires.

Sur le premier de ces deux points, la théorie piagésienne situe l'origine de la représentation imagée dans le pôle accommodateur de l'action. L'accommodation des schèmes d'action élaborés au cours de la période sensorimotrice serait la racine de l'imitation, d'abord effectuée en présence du modèle, puis différée. L'image mentale naîtrait de l'intériorisation de l'imitation et apparaîtrait donc, comme le reste de la fonction symbolique, vers dix-huit mois. Cette thèse — quoiqu'elle fasse également problème — ne sera pas discutée dans cet article, mais une autre publication a été consacrée à sa critique (Lautrey, à paraître).

Nous nous limiterons au second point, à savoir que selon la théorie opératoire, l'image mentale serait en elle-même impropre à représenter les mouvements ou les transformations. Sa fonction propre se limiterait à une représentation plus ou moins déformante des configurations statiques. Seules les opérations issues des coordinations d'actions pourraient saisir le dynamisme sous-jacent à la continuité du changement. La représentation imagée d'un mouvement ou d'une transformation ne serait donc possible que lorsque l'image mentale est prise en charge par les opérations. L'essentiel de l'ouvrage de Piaget et Inhelder sur l'image mentale chez l'enfant (1966) est consacré à la démonstration de cette thèse et c'est sur celle-ci que nous concentrerons également notre propos.

Les différents types d'images mentales

Dans l'ouvrage cité, Piaget et Inhelder classent d'abord les images mentales en trois grandes catégories :

- les images *statiques* mises en œuvre dans la représentation d'états ou de configurations ;
- les images *cinétiques*, en jeu dans la représentation de mouvements d'objets qui conservent leur forme ;
- les images de *transformations* mises en œuvre lors de la représentation d'un processus de déformation d'un objet, par exemple le dépliement d'un cube.

Les images cinétiques et de transformations sont dites *reproductrices* lorsqu'il s'agit de se représenter un changement dont le sujet a déjà eu une expérience perceptive, et *anticipatrices* lorsque le mouvement ou la transformation doivent être imaginés sans avoir jamais été observés. Enfin, dans chacun de ces cas, la représentation peut porter sur le *produit* du changement ou sur les étapes de la *modification* elle-même (ces différentes distinctions ne sont pas pertinentes pour les images statiques, qui ne peuvent être que reproductrices).

Exemples d'expériences

Deux exemples d'expériences seront brièvement résumés pour illustrer les distinctions qui viennent d'être faites et donner un aperçu des situations expérimentales à travers lesquelles l'image mentale est étudiée.

La translation d'un carré par rapport à un autre

Cette épreuve est classée dans la catégorie des images *reproductrices cinétiques*. Deux carrés sont posés l'un au-dessus de l'autre, dans le plan horizontal, face au sujet. On demande à celui-ci d'imaginer un léger glissement du carré supérieur de gauche à droite. Les enfants, qui ont de 4 à 7 ans dans cette expérience, doivent d'une part dessiner les positions des carrés, après la translation, et d'autre part choisir la solution correcte dans une planche présentant plusieurs possibilités. Dans l'un et l'autre cas, ils sont donc interrogés sur le produit du mouvement. Ceci étant fait, l'état final (c'est-à-dire la configuration obtenue lorsque le carré supérieur a subi une légère translation par rapport au carré inférieur) est présenté aux enfants en leur demandant de le copier. Cette seconde partie de l'épreuve fait donc appel à l'image *statique*.

La culbute d'un tube

Cet exemple permettra d'illustrer la distinction entre l'anticipation du *produit* et celle de la *modification* dans l'image *anticipatrice cinétique*. Un tube de carton avec une extrémité rouge et l'autre bleue est posé sur une boîte, de telle sorte qu'une des extrémités dépasse. Par

un coup sec sur celle-ci, l'expérimentateur fait culbuter le tube et le cache aussitôt à la vue du sujet. On demande ensuite à ce dernier de dessiner la position du tube au point de départ et à l'arrivée en indiquant dans les deux cas la position de l'extrémité rouge et celle de l'extrémité bleue (il s'agit ici de l'anticipation du produit du mouvement). Puis on lui demande de dessiner les étapes intermédiaires de la culbute du tube et les trajets des extrémités, de reproduire le mouvement en tenant le tube dans la main, et enfin d'en faire une description verbale (dans les trois cas, l'anticipation porte alors sur la modification elle-même).

Les principaux résultats

L'ouvrage de Piaget et Inhelder (1966) rapporte un grand nombre d'expériences de ce genre, portant sur les différentes catégories d'images mentales distinguées plus haut. Les deux principaux résultats, eu égard au problème discuté ici, sont les suivants :

1 / Du point de vue de l'évolution génétique, la seule différence massive passe entre les images statiques et les autres. La représentation imagée de configurations statiques est possible chez les enfants les plus jeunes des échantillons étudiés, soit dès 4-5 ans, tandis que la maîtrise des situations exigeant la mise en œuvre d'images mentales cinétiques ou de transformations n'est pas observée avant 7-8 ans et est donc contemporaine des opérations concrètes. On ne trouve par ailleurs pas de différences sensibles, à l'intérieur des images cinétiques ou de transformations, entre les images reproductrices et anticipatrices. Les auteurs en concluent que, « pour imaginer un mouvement ou une transformation (connus), il faut les reconstituer par un processus identique à l'anticipation permettant de se représenter un mouvement ou une transformation non encore connus » (*op. cit.*, p. 416).

2 / « L'anticipation des résultats (produits) précède assez régulièrement celle des processus (modifications) » (*op. cit.*, p. 415). C'est par exemple le cas dans la situation décrite plus haut, où le sujet doit anticiper la rotation effectuée par le tube au cours de sa culbute. La représentation des étapes intermédiaires du mouvement n'est pas acquise avant 7-8 ans, tandis que la connaissance du produit de ce mouvement, évaluée par le dessin et l'énoncé verbal de la position finale (avec les extrémités bleue et rouge correctement permutées), est acquise dès 5 ans.

L'interprétation piagétienne

Le premier point des résultats est considéré comme une confirmation de la subordination du développement de l'image mentale à celui des opérations dès qu'il s'agit de la représentation de mouvements ou de

transformations. Cette subordination tiendrait pour l'essentiel aux deux raisons suivantes :

1 / « Toute anticipation imagée de mouvements ou de transformations suppose un ordre de succession des images en leur déroulement : or un tel ordre relève d'une sériation opératoire » (*op. cit.*, p. 423).

2 / « Les images anticipatrices supposent fréquemment un cadre de conservation et seule l'opération peut constituer un tel cadre » (*op. cit.*, p. 424).

Les erreurs observées dans l'épreuve de translation du carré peuvent servir à illustrer cette interprétation. Soit G le côté gauche du carré inférieur, D son côté droit, D' et G' les côtés correspondants du carré supérieur. Une des erreurs les plus fréquentes chez les sujets préopératoires consiste à représenter le produit de la translation en plaçant D' à la droite de D et G' à la gauche de G. La largeur du « carré » supérieur se trouve ainsi dilatée par rapport à celle du carré inférieur. Selon Piaget, cette erreur s'explique par l'incapacité où se trouvent ces sujets de coordonner les ordres des côtés droits et gauches des deux carrés après le déplacement. Faute de disposer de la structure leur permettant d'effectuer cette opération, les sujets les plus jeunes anticiperaient le dépassement de D' par rapport à D et imagineraient une configuration avec un dépassement symétrique de G' par rapport à G (c'est-à-dire G' à la gauche de G). La dilatation qui en résulte pour le « carré » supérieur n'est inacceptable que pour les sujets ayant compris que la translation conserve les longueurs, mais cette connaissance est elle aussi subordonnée à la construction des structures opératoires concrètes.

Sur le second point des résultats, l'explication est plus embarrassée. Le fait que l'anticipation du produit de la modification précède assez souvent la représentation de la modification elle-même montrerait que « avant d'atteindre le mouvement ou la transformation comme tels, l'image anticipatrice ne porte d'abord que sur les états finaux auxquels ils aboutissent, c'est-à-dire sur des configurations qui, indépendamment de ces mouvements ou transformations non encore représentés en anticipation imagée, peuvent paraître statiques et le sont sans doute du point de vue du sujet lui-même » (*op. cit.*, p. 415).

Discussion

Ce second aspect des résultats est troublant. Dans l'épreuve de la culbute du tube, par exemple, les enfants de 5 ans sont incapables de représenter les états intermédiaires par lesquels passe le mouvement, alors qu'ils sont déjà capables d'anticiper la permutation des extrémités bleue et rouge après la culbute. L'interprétation citée plus haut s'appuie sur le caractère statique du produit du mouvement pour qualifier de statique la représentation correspondante. Elle n'est cependant guère convaincante dans la mesure où l'état dont il s'agit est l'état final du

mouvement. Comment pourrait-il être anticipé sans une certaine forme de représentation du mouvement ? Si on admet cette objection, ce résultat est contradictoire avec la thèse subordonnant toute image cinétique ou de transformation aux opérations concrètes. Il suggère l'existence d'une forme de représentation imagée dont le développement ne serait pas subordonné à celui des opérations. On verra que les résultats des recherches effectuées dans le cadre du paradigme T1 sont de nature à étayer cette hypothèse.

2. LES RECHERCHES SUR L'IMAGE MENTALE DANS LE CADRE DU PARADIGME DU TRAITEMENT DE L'INFORMATION

Après la désaffection qu'elle a connue pendant toute la période où le behaviorisme a dominé, la recherche sur l'imagerie mentale a connu un nouvel essor à partir des années 60, dans la mouvance du cognitivisme. Elle a joué un rôle particulièrement important dans le débat sur la nature des représentations. Les caractéristiques de la représentation imagée, notamment ses relations d'isomorphisme avec les événements représentés, entraient en effet difficilement dans le cadre des modèles de la représentation des connaissances inspirés de la logique et de l'informatique. La controverse qui s'est alors développée entre les partisans du caractère « analogue » de la représentation imagée et les tenants de modèles « propositionnels » a constitué la toile de fond théorique des recherches sur l'image mentale.

On pourra trouver ailleurs une analyse détaillée de cette controverse (Denis, 1987 ; Kosslyn, 1980). Nous nous limiterons ici à mettre l'accent sur trois points de divergence essentiels pour notre propos :

1 / Les partisans de modèles propositionnels (Pylyshyn, 1973 ; Anderson et Bower, 1973 ; Fodor, 1975) ont soutenu qu'il n'existe qu'un mode de représentation des connaissances en mémoire, abstrait et amodal, dont l'unité de base est la proposition (une relation liant deux arguments). Les défenseurs du caractère « analogue » de la représentation imagée (Kosslyn, 1980 ; Paivio, 1977 ; Shepard et Cooper, 1982) ont au contraire insisté sur le caractère spécifique du mode de représentation imagé, sans nier pour autant l'existence d'un mode de représentation propositionnel.

2 / Dans les modèles propositionnels, la relation entre signifié et signifiant est arbitraire, tandis que la représentation analogique conserve un certain isomorphisme entre les objets et leur représentation.

3 / La représentation propositionnelle spécifie des relations abstraites, indépendantes du contexte, alors que la représentation analogue n'isole pas une relation ou propriété particulière. C'est ici un point de vue cohérent qui est abstrait, point de vue dans lequel certaines propriétés sont indissociables (celles de taille et de distance par exemple).

Une bonne part des expériences sur l'image mentale a été inspirée par la volonté de départager ces deux points de vue notamment sur la question de l'isomorphisme de la représentation. Deux exemples de ces expériences seront résumés ci-dessous pour donner un aperçu des situations expérimentales utilisées et des résultats obtenus.

Exemples d'expériences et résultats

La rotation mentale

Dans les expériences de Shepard et de ses collaborateurs sur la rotation mentale, les sujets apprennent d'abord à distinguer une figure standard (figure tridimensionnelle, lettre, chiffre, etc.) de sa symétrique en miroir. Ensuite, des stimuli tests correspondant à l'une des deux formes (standard ou symétrique) sont présentés à des angles de rotation variés par rapport à la position de la figure standard. La tâche du sujet consiste à indiquer, en appuyant sur l'un des deux boutons, si le stimulus test est ou non le même que le stimulus standard. Les temps de réaction sont enregistrés et constituent la variable dépendante. Les résultats montrent qu'ils sont liés par une fonction linéaire aux écarts angulaires entre l'orientation du stimulus test et celle du stimulus standard.

L'inspection d'une image mentale

Kosslyn, Ball et Reiser (1978) ont fait apprendre la carte d'une île fictive sur laquelle sont spécifiées différentes localisations (hutte, bosquet, puits, place, etc.). Après avoir été mémorisée, cette carte est retirée de la vue du sujet et on lui indique des localisations dont il doit dire si elles figurent ou non dans sa représentation de l'île. Ces questions sont posées dans deux conditions expérimentales. Dans la première, on demande au sujet d'imaginer la carte complète et de répondre aussi vite que possible si les éléments que l'on énonce oralement se trouvent sur l'île. Dans la seconde, le sujet doit d'abord imaginer l'île entière et on lui indique une des localisations. La consigne lui demande ensuite d'agrandir sa représentation imagée de cette localisation de telle sorte qu'elle occupe tout le champ (faire un « zoom »), puis d'aller « voir » si les éléments énoncés se trouvent sur l'île. Les résultats montrent l'existence d'une relation linéaire entre les temps de réponse et les distances entre les localisations, mais uniquement dans la condition où est donnée la consigne de balayage.

Les interprétations

L'isomorphisme spatio-temporel entre la représentation imagée d'une rotation ou d'une translation et les déplacements réels correspondants reçoit des interprétations différentes chez les partisans de l'image mentale et chez ses adversaires.

Pour les partisans de l'image mentale

Shepard et Metzler (1971) ont interprété la relation de proportionnalité entre les temps de réaction et les angles de rotation du stimulus comme une manifestation du caractère « analogue » de la rotation mentale. Cette relation témoignerait de ce que la représentation passe par des états intermédiaires dont chacun est en correspondance terme à terme avec un état intermédiaire de ce que serait la rotation de l'objet physique correspondant. Cet « isomorphisme de second ordre » est situé au niveau fonctionnel et est opérationnalisé par le fait que « le sujet est spécialement disposé à répondre à cet objet particulier, dans cette orientation particulière, à ce moment particulier, s'il était réellement présenté » (Shepard et Cooper, 1982, p. 102).

Pour expliquer l'isomorphisme spatio-temporel entre l'inspection d'une image et l'inspection perceptive de la scène correspondante, Kosslyn (1980) met plutôt l'accent sur les caractéristiques structurales du médium dans lequel la représentation est élaborée. La formation des images mentales utiliserait certaines structures communes à la perception et à la représentation. Les informations stockées dans la mémoire à long terme sous une forme abstraite seraient « instanciées », lorsqu'elles sont rappelées, dans un « *buffer* visuel » commun à la perception et à l'imagerie. Cette structure a une étendue, qui peut être divisée en un certain nombre de « cellules ». La formation d'une image correspondrait à l'activation de ces « cellules », un peu comme à partir d'informations codées sous forme abstraite, un faisceau d'électrons active les points de la surface d'un tube cathodique. Inspecter une image consisterait donc à centrer l'attention sur les régions activées du *buffer* visuel. L'isomorphisme spatio-temporel de cette activité avec l'exploration perceptive viendrait de ce que les propriétés spatiales de la représentation sont inscrites dans la structure du *buffer* visuel.

Pour les adversaires de l'image mentale

La controverse sur l'image mentale a évolué. Les critiques sur la réalité des caractéristiques spécifiques à ce mode de représentation (Pylyshyn, 1973) ont fait long feu. L'isomorphisme entre certaines propriétés des événements représentés et certaines propriétés de leur représentation imagée est maintenant un fait largement accepté mais le débat porte sur son interprétation. Dans le monde physique, le temps d'un déplacement est fonction de la distance et de la vitesse. S'il en va de même lors de l'inspection d'une image mentale, comme le montre l'expérience de Kosslyn citée plus haut, cela tient-il à des contraintes inscrites dans la structure du médium dans lequel la représentation est « instanciée », ou au fait que le sujet tient compte, dans sa réponse, de connaissances tacites sur cette relation ? Pylyshyn (1981) attribue la première interprétation aux partisans du caractère analogue de la représentation imagée, tandis que lui-même penche pour la seconde.

Selon lui, l'expérience devrait pouvoir départager ces deux interprétations, car si les propriétés de l'image mentale reposent sur des connaissances tacites, elles devraient être cognitivement pénétrables. C'est-à-dire qu'il devrait être possible de les modifier en intervenant sur les croyances ou connaissances tacites du sujet, alors que ces manipulations devraient rester sans effet si l'isomorphisme est inscrit dans la structure du médium. On voit en quoi l'argument ramène aux modèles propositionnels : si les propriétés spécifiques à la représentation imagée reposent sur des connaissances tacites, celles-ci peuvent — comme toute connaissance — être représentées sous forme propositionnelle et il n'y a pas lieu d'envisager un mode de représentation spécifique à l'image mentale. Nous n'entrerons pas ici dans la comparaison des faits favorables ou défavorables à chacune des thèses (Denis, 1987). Notons seulement que dans l'état actuel des choses, ni l'une ni l'autre ne suffit à expliquer l'ensemble des faits. Toutefois, même dans les cas où le caractère analogue de la représentation repose sur des connaissances tacites, rien n'indique que celles-ci relèvent — comme le postule Pylyshyn — d'un traitement de l'information identique à celui qui est en jeu dans l'élaboration et l'utilisation de connaissances explicites. On peut faire l'hypothèse qu'elles procèdent d'un mode de représentation analogique, capable de conserver certaines correspondances entre les propriétés du monde perçu et celles de la représentation sans que celles-ci soient inscrites pour autant dans la structure physique du médium de représentation (Lautrey, 1987).

3. LA CONFRONTATION DES DEUX COURANTS DE RECHERCHE

Que ce soit dans le courant piagétien ou dans le courant π , les recherches sur l'image mentale cinétique ou de transformation ont porté sur les mêmes objets d'étude : la représentation de rotations, de translations, de dépliements, etc. Toutefois, la disparité des cadres théoriques et des méthodes de ces deux courants de recherche amène à se demander s'ils cernent bien les mêmes processus. Nous confronterons donc d'abord les conceptions théoriques, les méthodes, avant de passer en revue les faits qui permettent de se faire une opinion sur cette question.

Les cadres théoriques

L'hypothèse d'une forme de représentation spécifique à l'image mentale s'oppose à la théorie de Piaget comme aux modèles propositionnalistes. Ces deux dernières conceptions de la représentation ont en effet en commun de postuler un mode unique de structuration des connaissances, auquel les différentes formes de représentation sont subordonnées. Elles ont aussi en commun de postuler que la représentation imagée des transformations est élaborée en spécifiant certaines

relations entre des caractéristiques élémentaires préalablement isolées. Dans l'expérience piagétienne de translation des carrés par exemple, le sujet est supposé décomposer les carrés en ses côtés, et ordonner les côtés G et G' d'une part, D et D' d'autre part, en coordonnant leurs déplacements.

L'hypothèse d'un mode de représentation analogique, propre à l'image mentale, met au contraire l'accent sur la pluralité des modes de structuration des représentations. Une autre divergence importante entre cette conception et les précédentes porte sur la décomposabilité de la représentation imagée : elle souligne que certaines de ses propriétés ne sont pas dissociables. Par ailleurs, l'isomorphisme entre une transformation perçue et la représentation imagée de celle-ci est aussi difficile à expliquer dans le cadre de la théorie de Piaget que dans celui des modèles propositionnalistes. On peut même considérer que cette difficulté est accrue par la nature des structures opératoires. La réversibilité qui caractérise ces structures fait que chaque transformation représentée est coordonnée aux autres transformations virtuelles, de telle sorte que chacune implique simultanément son inverse. Il en résulte que les connaissances élaborées dans le cadre de telles structures ont un statut atemporel, comme c'est le cas des connaissances logiques. Mais comment la subordination de l'image mentale à ce type de structure cognitive peut-elle rendre compte de l'isomorphisme temporel entre la transformation perçue et sa représentation ? Le caractère analogique de la représentation imagée, tel qu'il a été mis en évidence dans le cadre du paradigme T1, suppose donc que celle-ci intègre des propriétés issues d'autres formes de structuration de la pensée.

Les méthodes

Les représentations n'étant pas directement observables, leurs propriétés doivent être inférées à partir d'indices comportementaux qui en sont des manifestations indirectes. Or il est clair que ces indices comportementaux sont de nature très différente dans les deux courants de recherche. Dans les recherches piagésiennes, on demande à l'enfant d'explicitar sa représentation en la traduisant par le langage ou par le dessin. Dans les recherches T1, la tâche du sujet consiste en général à appuyer sur l'un des deux boutons pour indiquer si le stimulus test est ou non le même que le stimulus standard, ou pour signifier que telle caractéristique nommée par l'expérimentateur fait ou non partie de sa représentation.

Dans les recherches piagésiennes, l'utilisation de médiations comportementales complexes ne va pas sans inconvénients. On peut en effet se demander si la verbalisation n'affecte pas les propriétés de la représentation imagée. Par ailleurs, comment savoir si l'incapacité des jeunes enfants à dessiner les étapes d'une transformation tient aux insuffisances de leur image mentale ou à celles des capacités graphiques à

travers lesquelles elle est extériorisée ? Le paradigme expérimental des recherches π limite ce risque en réduisant la réponse à un simple geste : presser un bouton. Toutefois, on a ici affaire à une tâche de reconnaissance au lieu d'une tâche de production, ce qui appauvrit considérablement l'information recueillie sur les propriétés des représentations³.

Mais surtout, en demandant aux sujets de traduire leur représentation verbalement ou par le dessin, l'approche piagétienne postule que celle-ci est explicitable, alors que le paradigme π s'accommode d'une représentation implicite du mouvement ou de la transformation. Dans ce dernier cas, les propriétés de l'image mentale sont inférées de la structure des temps de réaction et n'ont donc pas à être explicitées par le sujet. Par ailleurs, dans les expériences piagétiennes, les questions posées sur les états intermédiaires et leur ordre de succession postulent que la représentation du mouvement peut être décomposée en une suite d'étapes statiques. De même, les objets sont supposés être décomposés en éléments et recomposés par des opérations au cours du processus de représentation du changement (par exemple, les opérations de sériation sont supposées porter sur les côtés droits et gauches dans l'épreuve de translation du carré). Le paradigme π , en revanche, n'exige pas que la représentation ait ce caractère analytique. Il permet l'expression d'anticipations globales, non décomposables, du résultat des mouvements ou des transformations.

Chacune des deux méthodologies privilégie donc des propriétés de la représentation qui sont cohérentes avec le cadre théorique dont elle est issue (dans le courant π , la quasi-totalité des expériences a été faite par les partisans du caractère analogue de l'image mentale). Les expériences piagétiennes sont particulièrement propices à cerner une forme de représentation décomposable, analytique, explicite, tandis que les expériences π sont mieux à même de cerner une forme de représentation holistique et implicite. Peut-on alors admettre que ces deux paradigmes expérimentaux s'adressent aux mêmes processus ?

Les travaux empiriques

On trouve dans la littérature un certain nombre d'expériences dont l'objectif était de vérifier la thèse piagétienne selon laquelle les enfants ne seraient capables de représentation imagée de mouvements ou de transformations que lorsqu'ils ont élaboré les opérations concrètes (sériation et conservation notamment). Certaines d'entre elles ont

3. Piaget et Inhelder ont parfois demandé aux sujets d'indiquer la bonne réponse sur une planche à choix et dans ce cas il s'agit aussi de reconnaissance. Mais ces planches présentaient de nombreuses solutions possibles, ce qui demandait une activité de choix plus élaborée que lorsqu'il s'agit seulement de reconnaître si un stimulus test est pareil ou différent du stimulus standard.

évalué les capacités de représentation imagée en adaptant le paradigme expérimental *11* aux enfants, ce qui permet de confronter les résultats obtenus avec l'une et l'autre approche méthodologique. Il est intéressant d'observer que ces résultats sont contradictoires : certains infirment la thèse piagétienne tandis que d'autres la confirment. Nous passerons donc ces différentes expériences en revue, en entrant suffisamment dans le détail pour cerner les raisons de ces discordances, puis nous essaierons de montrer que cette contradiction apparente entre les résultats peut être levée si l'on admet que deux processus distincts peuvent être mis en œuvre dans la représentation imagée des mouvements et des transformations.

Les expériences réfutant la thèse piagétienne

A notre connaissance, la première adaptation du paradigme expérimental de Shepard à l'examen d'enfants est due à Marmor (1975). Dans la présentation de son expérience, l'auteur critique le recours de Piaget et Inhelder au dessin et aux gestes, qui laissent une trop grande part de subjectivité à l'interprétation, elle leur reproche également de ne pas s'être assurés que les enfants comprennent correctement la consigne. Il lui semble que le paradigme de Shepard pour l'étude de la rotation mentale échappe à ces critiques. Elle l'adapte donc aux enfants de 5 et 8 ans qu'elle examine en remplaçant les figures abstraites ou les lettres-stimulus par des dessins de pandas qui lèvent une des pattes antérieures. L'enfant doit juger si un panda test, présenté à un certain angle de rotation par rapport à la verticale, est « pareil » (même patte antérieure levée) ou « différent » (autre patte antérieure levée), comparé au dessin standard en position verticale. L'expérience, étendue sur quatre jours pour chaque sujet, comporte 4 phases :

- on apprend à l'enfant au cours d'un préentraînement ce qu'il faut entendre par deux ours « pareils » ou « différents » (5 essais) ;
- le critère d'apprentissage est atteint si, au cours de la phase suivante de jugement de différence ou similitude de pandas en position verticale, l'enfant réalise 10 essais consécutifs sans erreur ou 20 essais sur 24 ;
- les enfants sont ensuite entraînés à la rotation mentale : le terme de comparaison est ramené, au premier essai, par l'expérimentateur en position verticale en guise de feedback à la question « pareil ou différent ? », puis par l'enfant lui-même au cours des 3 essais suivants. Dans les trois derniers essais, l'enfant ne doit plus faire tourner réellement le terme de comparaison, mais simplement imaginer la rotation ;
- le test proprement dit comporte 60 essais présentant le stimulus de comparaison où sont combinées dans un ordre contrebalancé 5 orientations (0, 30, 60, 120 et 150°) et 2 possibilités (pandas pareils et différents).

L'auteur observe dès 5 ans une linéarité des temps de réaction en fonction de l'angle de rotation ; les différences relevées portent sur la vitesse de rotation (supérieure à 8 ans), sur le temps de réponse à 0° qui évalue la latence des processus autres que la rotation mentale, et sur les taux d'erreur (augmentant avec l'angle de rotation et supérieurs à 5 ans). Selon elle, ce résultat contredit la thèse piagétienne : la présence de la relation linéaire dès 5 ans indique qu'il y a bien représentation de la transformation elle-même et pas seulement de l'état final, à un âge où les opérations concrètes ne sont pas encore en place.

Le même auteur a répliqué cette expérience un peu plus tard en la modifiant de façon à éclaircir deux points sur lesquels subsistait un doute. D'une part, l'entraînement à la rotation qui précède l'expérience proprement dite pouvait avoir aidé les enfants à évoquer une stratégie qu'ils n'auraient pas utilisée spontanément, et ceci pourrait expliquer la différence entre ses résultats et ceux de Piaget. D'autre part, le niveau opératoire des enfants n'est pas évalué directement, mais seulement inféré à partir de l'âge. La seconde expérience (Marmor, 1977) compare donc deux groupes d'enfants, l'un bénéficiant d'un entraînement à la rotation mentale et l'autre pas. Cette fois-ci l'échantillon comporte des enfants de 4 et 5 ans. Tous les sujets passent en outre un test de conservation du nombre pour évaluer leur niveau opératoire. Les principaux résultats sont les suivants :

- aussi bien les sujets entraînés que ceux qui ne le sont pas ont des temps de réponse (rr) proportionnels à l'angle de rotation, ce qui semble indiquer que même à 4 ans (sujets les plus jeunes de cette étude) la rotation mentale est une stratégie que l'enfant peut à la fois utiliser et évoquer lorsque c'est nécessaire ;
- on ne trouve pas de liaison entre la conservation du nombre et l'imagerie ; en effet, parmi les individus dont la courbe des rr indique qu'ils utilisent une stratégie de rotation, on trouve autant de sujets conservants que de sujets non conservants.

Ces premières recherches ont ouvert une brèche dans la thèse piagétienne subordonnant l'image mentale cinétique aux opérations. Une autre étude, un peu antérieure à celles menées par Marmor (Anooshian et Carlson, 1973), ne montre pas, chez des enfants de 7-8 ans, de relation entre des épreuves de conservation de la substance ou des longueurs et des tâches impliquant l'image cinétique ; mais en revanche, la capacité d'imagerie tant statique que cinétique est en liaison significative avec l'âge chronologique. Les auteurs concluent que l'opération de conservation et l'image anticipatrice relèvent de processus mentaux ayant des développements relativement autonomes.

Ces travaux en ont suscité d'autres dont les résultats vont dans le sens de la théorie piagétienne.

Les expériences dont les résultats sont compatibles avec la thèse piagétienne.

Dean (1979) a effectué une étude longitudinale portant sur 41 filles. Trois épreuves opératoires ont été administrées (conservation de la longueur, mesures à 1 ou 2 dimensions) ainsi que deux épreuves de dessin (dessin des états intermédiaires du pivotement d'une baguette à 90° et rotation à 180° d'un tube contenant des billes de couleur). Ces épreuves, directement inspirées de celles de Piaget et Inhelder, ont été passées trois fois par les mêmes enfants ayant entre 5 et 11 ans lors de la première passation ; l'intervalle entre les passations est de un puis deux ans. Les patterns de changement d'environ deux tiers des sujets sont compatibles avec la thèse piagétienne : ils indiquent une précedence des opérations par rapport au développement de l'image. Ce résultat contredit donc la conclusion de Marmor. Il faut toutefois noter que : 1) les capacités de représentation imagée sont ici évaluées par le dessin ; 2) chez un tiers des sujets de l'expérience on observe des patterns où c'est le développement de l'image qui précède celui des opérations ; 3) les épreuves opératoires utilisées relèvent du domaine infralogique et font donc sans doute assez largement appel aux aspects figuratifs de la pensée.

A l'occasion de deux études ultérieures, Dean *et al.* intègrent, comme Marmor, le paradigme de Shepard à leur expérimentation et prennent la linéarité des temps de réaction en fonction des écarts angulaires comme indice de la rotation mentale. Cependant elles n'utilisent pas des pandas, comme Marmor, mais adaptent à ce dispositif expérimental l'épreuve de rotation des carrés de Piaget et Inhelder (1966) : on présente au sujet deux carrés, l'un fixe, l'autre pivotant autour d'un axe solidaire du sommet supérieur gauche du carré fixe.

Dans une première expérience (Dean et Harvey 1979), les auteurs administrent, parallèlement à cette tâche, une épreuve dans laquelle les sujets doivent choisir parmi des séquences de diapositives décomposant la rotation du carré en une succession d'états. Parmi les sept séquences, l'une est conforme à la réalité ; dans les autres figurent des erreurs tenant à l'absence de conservation soit de l'axe de rotation, soit de la forme du carré, soit des deux à la fois. Dans trois des séquences erronées, les erreurs concernent à la fois les états intermédiaires et l'état final, pour les trois autres elles ne concernent que les états intermédiaires.

Trois groupes de filles sont examinés, 19 de 4 à 6 ans (âge moyen 5,5 ans), 18 de 7 à 9 ans (âge moyen 8 ans) et 23 de 10 à 14 ans (âge moyen 11,9 ans). La linéarité des temps de réaction n'est pas observée pour le groupe le plus jeune (sauf pour deux sujets) ; ce groupe échoue également dans la tâche de jugement des séquences. Pour les deux autres groupes, on constate une liaison entre le taux de réponse correcte à l'épreuve de rotation mentale et la performance dans l'épreuve de

reconnaissance. Cependant, la réussite conjointe aux deux tâches est observée aussi bien chez des sujets dont les τ_R sont proportionnels aux angles de rotation des carrés (10 sujets) que chez des enfants dont les réponses ne présentent pas cette fonction linéaire (8 sujets). Cette dernière constatation suggère que le matériel utilisé autorise une autre stratégie que le processus analogique de rotation mentale, et il est possible que la relation entre le taux de réponse correcte dans l'épreuve de rotation mentale et la performance dans l'épreuve de reconnaissance soit due aux sujets utilisant cette stratégie. Il reste que l'échec des enfants de cinq ans dans l'épreuve de rotation montre que la capacité mise en évidence par Marmor à cet âge n'est pas retrouvée avec n'importe quel stimulus. Elle est observée avec des stimuli concrets comme des pandas ou des cornets de glace, mais pas avec une figure géométrique comme le carré.

Une autre expérience, de Dean et Scherzer (1982), vise à déterminer si l'échec des sujets qui ne parviennent pas à représenter le résultat du mouvement par le dessin est imputable à des difficultés limitées aux capacités graphiques, ou aux limitations de la représentation imagée elle-même. Les performances des mêmes sujets sont comparées dans deux tâches semblables d'image cinétique, l'une construite selon le paradigme τ_1 , l'autre demandant au sujet de dessiner l'état final de la transformation. Les deux tâches sont administrées, dans un ordre aléatoire, à 44 filles entre 5 et 13 ans (âge moyen 9,2 ans).

1 / La rotation du carré dans le cadre du paradigme τ_1 . — Dans cette épreuve, le carré standard est muni d'une flèche et un point extérieur, marqué par un rond de feutrine, indique l'endroit où la flèche devra pointer après rotation. Le sujet doit appuyer sur un bouton dès qu'il a formé l'image du carré dans l'orientation indiquée par la flèche (on enregistre ainsi le temps de la rotation mentale). Dès qu'il appuie sur le bouton, on lui présente un carré test dont il doit dire, en appuyant sur l'un des deux boutons, s'il est ou non dans la même orientation (et on enregistre alors le temps de comparaison). Après une phase d'entraînement à la reconnaissance d'orientations identiques ou non et d'entraînement à la rotation mentale, le test proprement dit est passé. Il consiste en 60 essais contrebalançant 5 orientations différentes (0°, 45°, 90°, 135° et 180°), 2 réponses possibles (pareil ou différent). L'utilisation par le sujet d'une stratégie de rotation mentale est attestée par la présence de trois critères : croissance linéaire des temps de réaction avec l'angle dans la phase de rotation, constance des temps de réaction dans la phase de comparaison et faible taux d'erreur.

2 / La rotation du carré dans le cadre du paradigme piagétien. — On demande à l'enfant de dessiner la configuration finale des deux carrés après une rotation de 45, 90, 135 ou 180°. Trois critères sont utilisés

pour décider si un dessin est correct : proximité immédiate des sommets reliés par l'axe de rotation, forme approximativement carrée des deux dessins et orientations approximativement correcte du carré mobile. Quatre juges évaluent les dessins avec un degré d'accord supérieur à 90 %.

Les résultats de l'épreuve de rotation π_1 permettent de distinguer 3 groupes parmi les sujets. Un premier groupe (A) de 9 sujets qui satisfont aux trois critères attestant d'une stratégie de rotation mentale (cf. plus haut). Un groupe B de 9 sujets chez qui les temps de réaction dans la phase de rotation sont plus longs pour les orientations obliques (rotation de 45 et 135°) que pour les orientations verticales et horizontales (0 et 180°). Enfin un groupe C de 26 sujets où les temps de préparation sont indépendants de l'orientation.

Il existe une relation entre le classement dans un des trois groupes à l'épreuve de rotation mentale et le pourcentage de dessins corrects. Celui-ci est plus élevé dans le groupe A que dans le groupe B, et plus élevé dans le groupe B que dans le groupe C. Les auteurs en concluent que les erreurs dans les dessins des positions finales sont bien imputables aux limites des capacités de représentation imagée et non à celles des capacités graphiques. On peut cependant avancer une interprétation différente de celle des auteurs en remarquant qu'en dépit d'une dispersion des âges qui va de 5 à 13 ans, on ne trouve pas de différence significative entre les âges moyens des trois groupes A, B et C. Les facteurs qui distinguent les trois groupes sont donc différentiels plutôt que génétiques. La difficulté particulière de certains sujets avec la position oblique du carré par rapport à un stimulus de référence qui reste vertical laisse penser que les aspects différentiels relèvent du style cognitif de dépendance-indépendance à l'égard du champ (DRC, cf. Witkin, Dyk, Fatterson et Goodenough et Karp, 1962). La DRC pourrait être ici l'origine commune de la difficulté de la tâche de rotation π_1 (9 sujets sur 44 seulement la réussissent) et de la tâche de dessin, ce qui pourrait suffire à expliquer la relation qui existe entre elles.

On trouve enfin quelques exemples d'expériences qui ne répliquent pas le résultat de Marmor, alors que la rotation mentale y est étudiée dans le cadre du paradigme π_1 et que le stimulus n'est pas une figure géométrique mais un dessin d'objet concret. C'est le cas de l'expérience de Platt et Cohen (1981) qui font une réplification de l'expérience de Marmor dans laquelle elles ne trouvent pas de rotation mentale chez les sujets de 5 ans non entraînés. Il faut cependant remarquer que dans cette expérience, les enfants non entraînés ont simplement appris à reconnaître les ours « pareils » ou « différents » dans la position verticale et qu'aucune précision particulière n'est donnée lorsque les sujets sont confrontés à des figures présentées dans une autre orientation, aussi les échecs peuvent-ils être attribués pour les plus jeunes enfants à une ambiguïté entachant le jugement de similitude.

D'autres auteurs (Kerr, Corbitt et Jurkovic, 1980) ont critiqué la fragilité des conclusions de Marmor en raison des faibles effectifs étudiés et du classement dichotomique des sujets dans l'épreuve de conservation, qui risque de masquer le fait que certains enfants étiquetés non conservants peuvent être dans une étape intermédiaire entre les stades préopératoire et concret.

Leur expérience porte sur 47 enfants de 5;8 ans d'âge moyen. Elle comporte deux tâches de conservation (nombre et longueurs) et une épreuve de rotation mentale analogue à celle de Marmor, avec entraînement à la rotation et à la distinction pareil-différent. Le score de conservation est un score mixte calculé en prenant les deux tâches en compte ; les sujets sont dits opératoires s'ils réussissent les deux, intermédiaires s'ils n'en réussissent qu'une et préopératoires s'ils échouent aux deux.

Les résultats de l'expérience sont cohérents avec ceux de Marmor lorsque les enfants sont partagés en trois groupes d'âge chronologique (âges moyens : 4;11-5;10-6;8) : on trouve une tendance linéaire significative des T_R , y compris chez les plus jeunes. En revanche, si on regroupe les sujets par niveau opératoire, on ne trouve pas de tendance linéaire chez les sujets préopératoires.

Il faut néanmoins remarquer qu'à l'épreuve de rotation mentale, les enfants classés non conservants, chez lesquels on ne trouve pas de relation linéaire entre le T_R et les écarts angulaires, ont des pourcentages de réponses correctes élevés (83 % pour les intermédiaires et 76 % pour les préopératoires), ce qui laisse penser qu'ils peuvent utiliser une autre stratégie que la rotation mentale. En outre, on peut craindre que la caractérisation du niveau opératoire à l'aide d'un score composite prenant en compte une épreuve du domaine infralogique (conservation des longueurs) fasse intervenir assez fortement les capacités d'imagerie dans ce classement. La conjonction de ces deux facteurs pourrait expliquer que les sujets classés « préopératoires » aient eu plus volontiers recours à une autre stratégie que la rotation mentale.

Les résultats des expériences portant sur les relations entre le développement de l'image cinétique et celui des opérations sont donc contradictoires, mais pas incohérents. Ils sont compatibles avec la thèse subordonnant le développement de l'image à celui des opérations lorsque la représentation du mouvement est évaluée par le dessin (Dean, 1979) ou lorsque, tout en adoptant le paradigme T_1 , les chercheurs reprennent les stimuli géométriques qu'utilisait Piaget (Dean et Harvey, 1979 ; Dean et Scherzer, 1982). En revanche, ils contredisent cette thèse lorsque l'image mentale est étudiée dans le cadre du paradigme T_1 avec des stimuli qui ont une signification pour l'enfant et lui sont familiers (Marmor, 1975, 1977). Lorsque tel n'est pas le cas (Kerr *et al.*, 1980 ; Platt et Cohen, 1981), les raisons peuvent en être trouvées.

Une hypothèse susceptible d'expliquer la contradiction

Il paraît possible d'expliquer la contradiction apparente entre ces études en faisant l'hypothèse que les situations expérimentales utilisées (paradigme et nature du stimulus) sollicitent à des degrés divers deux modes de traitement distincts dans la représentation imagée des transformations.

Si les différentes études passées en revue suggèrent cette hypothèse, elles ne permettent toutefois pas de la contrôler de façon satisfaisante. Tout d'abord parce que les épreuves opératoires administrées ne sont pas toujours pertinentes au problème discuté. On ne voit pas très bien, par exemple, pourquoi le développement de l'image cinétique est mis en relation avec la conservation du nombre. Cette pratique postule, semble-t-il, qu'il suffit d'administrer une quelconque épreuve opératoire pour pouvoir en inférer les caractéristiques du raisonnement du sujet dans l'ensemble des situations. Ce postulat sur l'existence de structures d'ensemble n'est plus de mise lorsqu'on connaît l'ampleur de la variabilité intra-individuelle du niveau opératoire en fonction des domaines et des situations (cf. par ex. Lautrey, de Ribaupierre et Rieben, 1986 b). Le point central de l'argumentation piagétienne sur les relations entre l'image mentale cinétique et les opérations est que le sujet ne peut se représenter le mouvement que s'il est capable de sériation temporelle. C'est donc la capacité d'ordonner les étapes de la transformation ou du mouvement qui doit être mise en relation avec la capacité de rotation mentale dans le paradigme *rr*. De plus, compte tenu de ce que l'on sait de l'influence du contenu des situations sur le niveau opératoire, les deux épreuves comparées doivent porter sur le même stimulus.

Il se trouve qu'une étude récente de Dean, Scherzer et Chabaud (1986) répond à ces exigences. Ces auteurs, dont les résultats confortaient jusqu'ici la thèse piagétienne (cf. plus haut), ont cette fois-ci remplacé le stimulus abstrait qu'ils utilisaient jusqu'alors (carré) par un dessin de Mickey, à la fois dans l'épreuve de rotation mentale et dans celle de sériation temporelle. L'épreuve de rotation est identique à celle de Marmor, à ceci près qu'il s'agit de mickeys au lieu de pandas. L'épreuve de sériation consiste à ordonner 7 cartes représentant les diverses positions de Mickey passant de la position debout à la position verticale tête en bas (rotation d'amplitude 180°). Il s'avère que les enfants de 5 ans présentent la relation linéaire entre l'écart angulaire et le temps de réponse dans l'épreuve de rotation, tandis que seuls ceux de 8 ans sont capables d'effectuer la sériation temporelle correspondante avec les dessins des positions intermédiaires. Ce résultat confirme ceux de Marmor et les renforce, dans la mesure où la comparaison entre les deux épreuves est ici plus cruciale eu égard au problème discuté. Il étaye plus solidement l'hypothèse que les deux paradigmes expérimen-

taux sollicitent deux modes de représentation distincts des mouvements ou des transformations.

L'un correspondrait aux processus décrits par ceux qui ont mis l'accent sur le caractère analogique de la représentation imagée. Il serait relativement indépendant du développement des opérations et permettrait d'anticiper le résultat d'une transformation, sans que le sujet soit pour autant capable d'explicitier les étapes par lesquelles elle passe. Il expliquerait que les enfants réputés préopérateurs soient néanmoins capables, dans certaines situations, d'anticiper le produit de la transformation. Ce fait ne peut être intégré à la théorie opératoire, comme le proposaient Piaget et Inhelder, en l'attribuant à une forme de représentation statique : la conjonction de l'anticipation correcte du résultat et de la relation linéaire entre le temps de traitement et l'ampleur de la transformation atteste qu'une évocation implicite de celle-ci a bien eu lieu.

L'autre mode de traitement serait compatible, dans ses aspects les plus généraux, avec les modèles propositionnalistes de la représentation 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 opérations à leurs éléments. Contrairement au précédent, il dépendrait de la construction préalable de ces règles ou opérations, et se prêterait à l'explicitation.

PERSPECTIVES

Cette hypothèse ouvre certaines perspectives nouvelles à la recherche sur la représentation imagée des transformations et ses relations avec le développement des opérations cognitives.

S'il existe un mode de représentation analogique des transformations qui n'est pas subordonné au développement des opérations, on est d'abord conduit à se demander s'il a un développement propre, et si oui, en quoi il consiste. La comparaison des quelques études dans lesquelles le paradigme T1 a été utilisé pour étudier la rotation mentale chez les enfants et où la vitesse moyenne de celle-ci a été calculée pour des groupes d'âges différents (Kail, 1985 ; Kail, Pellegrino et Carter, 1980 ; Marmor, 1975, 1977 ; Young, Paley et Logan, 1980) montre une augmentation de la vitesse de rotation avec l'âge. Il ne semble pas que cette augmentation soit due à une évolution dans la façon de régler le conflit entre vitesse et précision de la réponse (Kail, 1985). Un autre aspect du traitement qui semble évoluer avec l'âge est la durée pendant laquelle le résultat d'une rotation mentale peut être conservé en mémoire (Childs et Polich, 1979). Les études qui ont été passées en revue plus haut montrent aussi que si les enfants sont capables de rotation mentale dès 4-5 ans, ceci ne vaut cependant pas pour tous stimulus, et en tout cas pas lorsque celui-ci est un carré. Quelles sont alors les caractéris-

de recherche ouvertes par cette hypothèse sont ensuite discutées, notamment celles qui consisteraient à analyser les interactions entre ces deux modes de traitement au cours du développement.

Mots clés : image mentale, développement cognitif, représentation analogique.

BIBLIOGRAPHIE

- Anderson (J. R.), Bower (G. H.) — *Human associative memory*, Washington (DC), Winston, 1973.
- Anooshian (L.), Carlson (J. S.) — A study of mental imagery and conservation within the Piagetian framework, *Human Development*, 1973, 16, 382-394.
- Bideaud (J.), Lautrey (J.) — De la résolution empirique à la résolution logique du problème d'inclusion : évolution des réponses en fonction de l'âge et des situations expérimentales, *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 1983, 3, 295-326.
- Childs (M. K.), Polich (J. M.) — Developmental differences in mental rotation, *Journal of Experimental Child Psychology*, 1979, 27, 339-351.
- Dean (A. L.) — Patterns of change in relations between children's anticipatory imagery and operator thought, *Developmental Psychology*, 1979, 15, 153-163.
- Dean (A. L.), Harvey (W. O.) — An information-processing analysis of a Piagetian imagery task, *Developmental Psychology*, 1979, 15, 474-476.
- Dean (A. L.), Scherzer (E.) — A comparison of reaction time and drawing measures of mental rotation, *Journal of Experimental Child Psychology*, 1982, 34, 20-37.
- Dean (A. L.), Scherzer (E.), Chabaud (S.) — Sequential ordering in children's representations of rotation movements, *Journal of Experimental Child Psychology*, 1986, 42, 99-114.
- Denis (M.) — *Formes imagées de la représentation cognitive*, thèse de doctorat ès lettres et sciences humaines, Université de Paris VIII, 1987.
- Fodor (J. A.) — *The language of thought*, New York, Thomas Y. Crowell, 1975.
- Kail (R.) — Development of mental rotation : a speed-accuracy study, *Journal of Experimental Child Psychology*, 1985, 40, 181-192.
- Kail (R.), Pellegrino (J.), Carter (P.) — Developmental changes in mental rotation, *Journal of Experimental Child Psychology*, 1980, 29, 102-116.
- Kerr (N. H.), Corbitt (R.), Jurkovic (G. J.) — Mental rotation : is it stage related ?, *Journal of Mental Imagery*, 1980, 4, 49-56.
- Kosslyn (S. M.) — *Image and mind*, Cambridge (MA), Harvard University Press, 1980.
- Kosslyn (S. M.), Ball (T. M.), Reiser (B. J.) — Visual images preserve metric spatial information : evidence from studies of image scanning, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 1978, 4, 47-60.
- Lautrey (J.) — *Structures et fonctionnements dans le développement cognitif*, thèse de doctorat ès lettres et sciences humaines, Université de Paris V, 1987.
- Lautrey (J.) — *Unicité ou pluralité dans le développement cognitif : les relations entre image mentale, action et perception*, in G. Netchine Grynberg (Edit.), *Nouvelles approches du développement dans l'étude du développement cognitif de l'enfant*, Paris, PUF (à paraître).

- Lautrey (J.), Bideaud (J.), Pierre-Puységur (M.-A.) — Aspects génétiques et différentiels du fonctionnement cognitif lors des tâches de sériation, *L'Année Psychologique*, 1986 a, 86 (4), 489-526.
- Lautrey (J.), de Ribaupierre (A.), Rieben (L.) — Les différences dans la forme du développement cognitif évalué avec des épreuves piagétienne : une application de l'analyse des correspondances, *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 1986 b, 6, 575-613.
- Marmor (G. S.) — Development of kinetic images : when does the child first represent movement in mental images ?, *Cognitive Psychology*, 1975, 7, 548-559.
- Marmor (G. S.) — Mental rotation and number conservation : are they related ?, *Developmental Psychology*, 1977, 13, 320-325.
- Paivio (A.) — Images, propositions and knowledge, in J. M. Nicholas (Edit.), *Images, perception and knowledge*, Dordrecht-Boston, Reidel, 1977.
- Piaget (J.), Inhelder (B.) — *L'image mentale chez l'enfant*, Paris, PUF, 1966.
- Platt (J. E.), Cohen (S.) — Mental rotation task performance as a function of age and training, *Journal of Psychology*, 1981, 108, 173-178.
- Pylyshyn (Z. W.) — What the mind's eye tells the mind brain : a critique of mental imagery, *Psychological Bulletin*, 1973, 80, 1-24.
- Pylyshyn (Z. W.) — The imagery debate : analogue media versus tacit knowledge, *Psychological Review*, 1981, 88, 16-45.
- Rosser (R. A.), Ensing (S. S.), Glider (P. J.), Lane (S.) — An information-processing analysis of children's accuracy in predicting the appearance of rotated stimuli, *Child Development*, 1984, 55, 2204-2211.
- Shepard (R. N.), Cooper (L. A.) — *Mental images and their transformations*, Cambridge (MA), MIT Press, 1982.
- Shepard (R. N.), Metzler (J.) — Mental rotation of three-dimensional objects, *Science*, 1971, 171, 701-703.
- Witkin (H. A.), Dyk (R. B.), Faterson (H. F.), Goodenough (D. R.), Karp (S. A.) — *Psychological differentiation*, New York, Wiley, 1962.
- Young (J. F.), Palef (S. R.), Logan (G. D.) — The role of mental rotation in letter processing by children and adults, *Canadian Journal of Psychology*, 1980, 34, 265-269.

(Accepté le 10 septembre 1987.)