

Comment aider les enfants à reconnaître des figures géométriques élémentaires ?

E. Gentaz, laboratoire Psychologie et neurocognition, UMR 5105 université Pierre-Mendès-France, Grenoble Edouard.Gentaz@upmf-grenoble.fr

SCIENCES COGNITIVES

L'acquisition de connaissances géométriques est essentielle à l'être humain pour comprendre et transformer son environnement. La reconnaissance de figures géométriques élémentaires planes, comme les cercles, carrés, rectangles et triangles, fait partie de ces acquisitions. Chacune de ces figures peut être considérée comme une catégorie comprenant une infinité d'exemplaires qui partagent les mêmes propriétés géométriques. Une première question consiste à examiner comment les enfants au cours de leur développement ontogénétique arrivent à traiter de la même manière des exemplaires d'une catégorie et donc à dépasser les spécificités de ces exemplaires au profit de leur généralité. Cette activité de catégorisation permet ensuite à l'enfant d'organiser ses connaissances géométriques afin de pouvoir les généraliser à des exemplaires nouveaux. Les évaluations réalisées dans différents pays et à différents niveaux d'étude révèlent que cette activité est loin d'être évidente à tous les niveaux scolaires, aussi bien en France qu'aux Etats-Unis. Une seconde question consiste à étudier comment aider les enfants à acquérir ces connaissances géométriques. Des recherches récentes montrent que l'ajout de l'exploration visuo-tactile de figures en relief dans des entraînements classiques destinés à des enfants de cinq-six ans améliore l'efficacité de ces entraînements. Ces effets bénéfiques pourraient s'expliquer par les caractéristiques fonctionnelles du sens haptique (tactilo-kinesthésique) manuel.

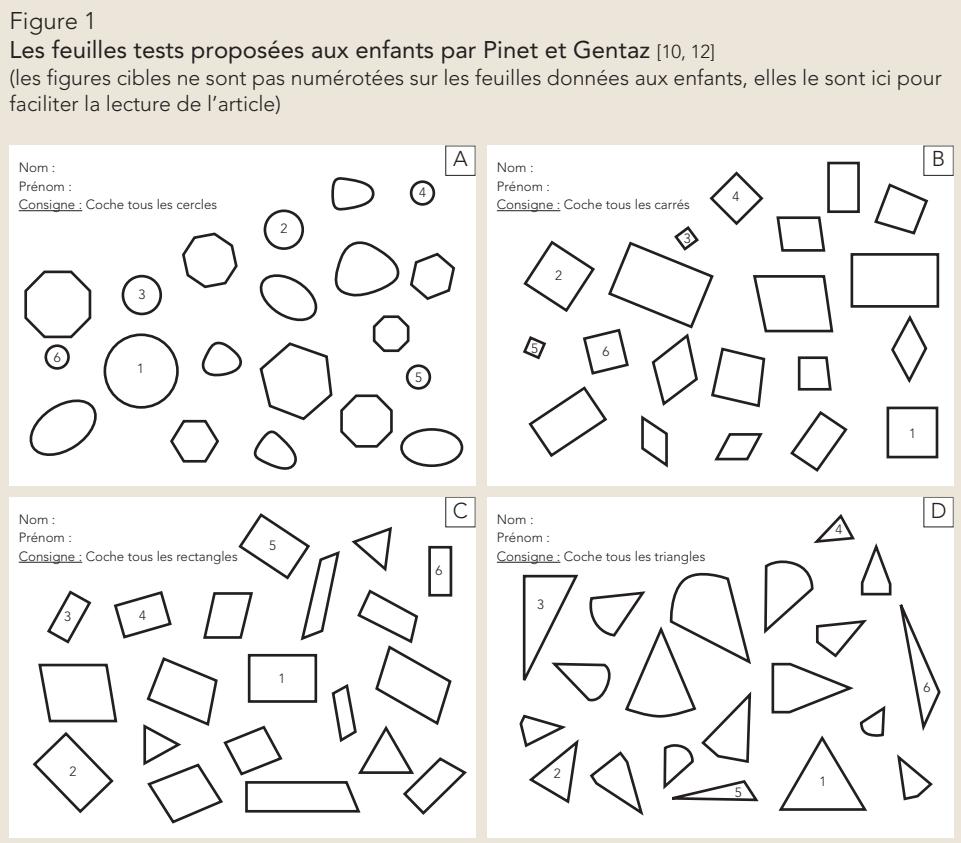
DÉVELOPPEMENT DES CONNAISSANCES GÉOMÉTRIQUES CHEZ LES ENFANTS ÂGÉS DE DEUX À HUIT ANS

Deux théories peuvent servir de référence pour mieux comprendre le développement ontogénétique de la pensée spatiale et ses conséquences cognitives. La première, développée par Piaget et Inhelder, propose schématiquement que la représentation de l'espace se construit au cours du développement avec le passage par trois stades : d'abord serait construit l'espace topolo-

gique, puis presque simultanément les espaces projectif et euclidien [1]. Dans le stade topologique, ni les formes, ni les distances, ni les droites et les angles ne sont conservés, et l'enfant n'est sensible qu'à certaines relations internes à la figure (distinction entre figure ouverte et figure fermée, entre intérieur et extérieur, et généralement sensibilité aux relations de voisinage). Piaget et Inhelder se fondent sur deux arguments expérimentaux pour justifier l'existence de ce stade [1]. Le premier se fonde sur les expériences de reconnaissance visuo-tactile de différents objets, l'autre sur l'analyse de la production de dessins de figures géométriques. Les résultats des observations montrent que seules

les relations topologiques sont d'abord prises en considération par l'enfant. Ainsi, vers trois-quatre ans, l'utilisation de ces seuls rapports topologiques entraîne, par exemple, des confusions entre carré, triangle et cercle. Il faut attendre six-sept ans et une plus grande «activité perceptive» pour que les enfants reproduisent correctement et aisément ces figures. Mais les résultats des recherches récentes ne sont pas toujours en accord avec les descriptions des stades de Piaget et Inhelder et suggèrent un développement plus précoce de l'espace euclidien (cf. [2]). Par exemple, plusieurs recherches ont montré que les enfants, dès deux-trois ans, pouvaient distinguer les figures curvilignes des figures rectilignes sous certaines conditions [3]. Par ailleurs, une étude de Martin rapporte aussi que les dessins produits par des enfants de quatre ans ne reflètent pas majoritairement les caractéristiques topologiques [4].

En rupture avec cette théorie constructiviste, les travaux récents de Dehaene et Spelke soutiennent une approche naturaliste, selon laquelle nous disposons de différentes connaissances géométriques intuitives («core knowledge») qui pourraient se combiner au cours du développement et former des représentations spatiales (cf. [5]). Cette conception s'appuie sur une étude de Dehaene et al. qui a porté sur la capacité spontanée d'Indiens brésiliens (les Mundurukus) à manipuler certains concepts géométriques [6]. Cette population, dont le taux de scolarisation est faible, voire inexistant, dispose d'un langage géométrique restreint. Une série d'épreuves a été conçue pour explorer la compréhension intuitive des concepts géométriques, incluant points, lignes, parallélisme, figures, congruence et symétrie. Pour chacun des quarante-cinq concepts étudiés (regroupés en sept sous-ensembles : topologie, géométrie euclidienne, figures géométriques, figures symétriques, figures chirales, propriétés métriques et transformations géométriques), les auteurs ont conçu une diapositive (chacune correspondant à un item) contenant six



images, dont cinq représentent le concept étudié. Les participants ont pour consigne de désigner l'intrus. Les résultats indiquent que tous les participants, même les plus jeunes, âgés seulement de six ans, ne répondent pas au hasard. Les performances sont au-dessus du hasard pour trente-neuf des quarante-cinq items. Enfin, les performances ne sont pas différentes entre les sujets scolarisés ou bilingues et ceux qui ne le sont pas. En moyenne, les Mundurukus réussissent bien les items liés aux notions topologiques (76 %) et euclidiennes (84 %) et aux figures géométriques (79 %). Les performances sont moindres, mais restent supérieures au hasard, pour détecter les symétries (67 %) et les propriétés métriques (62 %). En revanche, deux domaines sont bien moins réussis : celui des transformations géométriques (35 % de réussite en moyenne, avec des items à 18 %) et celui des figures chirales (56 % de réussite en moyenne, avec des items

à 23 %). Afin de tester la difficulté générale des items, les auteurs ont également testé des enfants et des adultes américains. Leur analyse des résultats avec les facteurs âge (adultes et enfants) et culture (Mundurukus et Américains) montre que les performances des Mundurukus (enfants comme adultes) et des enfants américains sont similaires, mais qu'elles sont inférieures aux performances des adultes américains.

Ces résultats montrent que des adultes non scolarisés et vivant de manière isolée, tout comme leurs enfants et les enfants issus de culture occidentale, partagent des compétences similaires sur les concepts géométriques élémentaires. Pour les auteurs, les connaissances géométriques émergeraient chez l'homme indépendamment d'une instruction formelle ou de termes lexicaux précis. Les recherches actuelles essaient de comprendre si et comment ces connaissances géométriques intuitives évoluent

et interagissent avec les nouvelles connaissances apportées par l'instruction formelle [7]. Avant de présenter les recherches qui favorisent la reconnaissance des figures géométriques planes chez les jeunes enfants en utilisant le toucher [8], il est d'abord nécessaire d'identifier leurs connaissances préalables.

LA RECONNAISSANCE DES FIGURES GÉOMÉTRIQUES PLANES CHEZ LES JEUNES ENFANTS : LE POIDS DES FIGURES PROTOTYPIQUES

Pour étudier comment les enfants de quatre, cinq et six ans différencient les exemplaires d'une catégorie de figure (cercle, carré, rectangle, triangle) parmi d'autres figures, les chercheurs ont demandé à 97 enfants de marquer chaque figure cible parmi des figures distractrices [9]. Les résultats montrent en particulier une augmentation du nombre de figures cibles correctement reconnues avec l'âge.

En reprenant cette tâche de reconnaissance avec des améliorations méthodologiques (par exemple, en choisissant le même nombre de figures cibles et de figures total pour tester chaque catégorie et en contrôlant le poids des figures prototypiques, etc.), Pinet et Gentaz ont montré que certains exemplaires d'une catégorie sont plus «exemplaires» que d'autres [10]. Ils ont proposé à 44 enfants scolarisés en grande section de maternelle quatre tests de reconnaissance d'une figure cible (cercle, carré, rectangle et triangle) parmi un ensemble de figures distractrices (figure 1). L'analyse des résultats montre que, pour le carré, le rectangle et le triangle, la reconnaissance d'un certain exemplaire appelé prototypique est meilleure que celle des exemplaires non prototypiques. Les exemplaires prototypiques seraient ainsi un carré posé sur sa base (figure 1B, cible 1), un rectangle ayant des longueurs une fois et demie à deux fois plus longues que les largeurs et un

Figure 2
Jeu de pioche au cours d'une séance sur le triangle et d'une séance sur le carré
Utilisation de formes en relief pour une exploration visuo-haptique (en haut) et de formes en papier pour une exploration visuelle (en bas).



grand côté posé à l'horizontal (figure 1C, cible 1), un triangle équilatéral posé horizontalement (figure 1D, cible 1).

Ces caractéristiques permettent de définir un degré de typicalité de chaque exemplaire d'une figure. Cette définition est très proche de celle utilisée dans le domaine des catégories et des concepts d'objets [11]. Chaque catégorie inclurait des exemplaires très représentatifs (c'est-à-dire possédant beaucoup d'attributs caractéristiques de la catégorie) et des exemplaires moins représentatifs. Le triangle équilatéral peut, par exemple, être considéré comme très représentatif de la catégorie triangle, le triangle quelconque comme très peu représentatif. En d'autres termes, le prototype correspond à l'exemplaire le plus représentatif de la catégorie, partageant un maximum de propriétés avec les autres membres de la catégorie et un minimum avec ceux des catégories

contrastées. Pour retenir une catégorie, il suffirait de conserver en mémoire un représentant type (le prototype) possédant de nombreux attributs caractéristiques de la catégorie. Nos connaissances géométriques sur les figures planes s'organiseraient donc autour de «noyaux de sens», ou «points de référence», représentés par des exemplaires prototypiques [10, 12].

COMMENT FAVORISER L'APPRENTISSAGE DES FIGURES GÉOMÉTRIQUES ÉLÉMENTAIRES ? L'APPORT DE L'EXPLORATION VISUO-TACTILE

Peu de recherches ont évalué les effets de différents types d'entraînements destinés à favoriser l'apprentissage de la géométrie. Comme pour les expériences sur la lecture et l'écriture (pour une revue, voir [8]), les caractéristiques du sens haptique (tactilo-kinesthésique) pourraient également aider les jeunes enfants à traiter de manière plus efficace les caractéristiques des figures géométriques. La perception haptique résulte de la stimulation de la peau provenant des mouvements actifs d'exploration de la main entrant en contact avec des objets. C'est ce qui se produit quand, par exemple, la main et les doigts suivent le contour d'un objet pour en apprécier la forme. Dans ce cas s'ajoute nécessairement à la déformation mécanique de la peau celle des muscles, des articulations et des tendons qui résulte des mouvements d'exploration. Des processus très complexes sont impliqués ; ils doivent intégrer simultanément les informations cutanées et les informations proprioceptives et motrices liées aux mouvements d'exploration pour former un ensemble indissociable appelé perceptions haptiques [8, 13, 14]. Une des spécificités de la perception haptique est une appréhension très séquentielle du stimulus qui charge lourdement la mémoire de travail et qui

nécessite, en fin d'exploration, un travail mental d'intégration et de synthèse pour aboutir à une représentation unifiée de l'objet. En raison de ce caractère séquentiel de l'appréhension tactile, la perception haptique est beaucoup plus analytique que la perception visuelle. Compte tenu de ces spécificités, l'objectif des expériences est d'évaluer chez les enfants de grande section de maternelle les effets de l'ajout de l'exploration visuo-haptique des figures dans un entraînement classique destiné à préparer l'apprentissage de la géométrie [12]. Les auteurs ont formulé l'hypothèse selon laquelle cet ajout multisensoriel dans les exercices de reconnaissance des figures et d'utilisation du vocabulaire approprié aiderait les enfants à mieux se représenter les figures planes élémentaires, grâce à son traitement analytique et/ou à son codage multiple (visuel, haptique et moteur). Pour tester cette hypothèse, dans une première expérience, Pinet et Gentaz ont proposé deux types d'entraînements (17 enfants par groupe), respectivement dénommés «classique» et «multisensoriel», qui se différencient uniquement par les sens sollicités [12]. Les enfants devaient travailler en petits groupes, à raison d'une catégorie de figures par séance (une séance de trente minutes par semaine). Les deux entraînements ont en commun de proposer des exercices sur la connaissance des figures géométriques planes élémentaires (cercle, carré, rectangle, triangle) et de leurs propriétés. Cependant, ce travail repose sur une exploration uniquement visuelle dans l'entraînement classique (figures imprimées sur papier couleur), alors qu'il repose sur une exploration visuo-haptique dans l'entraînement multisensoriel (figures en relief découpées dans de la mousse). Les connaissances des enfants ont été évaluées au moyen de feuilles tests présentées avant (novembre-décembre) et après (avril-mai) les entraînements. Si l'hypothèse est valide, une amélioration des performances après ces deux entraînements devrait être observée, mais avec une amplitude plus importante après l'entraînement multisensoriel. Les deux entraînements

sont animés par un expérimentateur et se déroulent donc de la même manière. Voici pour exemple une description détaillée d'une séance qui porte sur le triangle. Dans l'exercice 1, chaque enfant découvre et explore un grand triangle orienté aléatoirement, l'objectif étant de valider son nom (catégorie) et ses caractéristiques (propriétés). Dans le groupe d'entraînement classique, les enfants sont invités à regarder attentivement la figure, alors que dans le groupe d'entraînement multisensoriel ils doivent regarder et toucher globalement la figure, puis suivre plusieurs fois son contour avec leur index. Ensuite, dans l'exercice 2, l'expérimentateur propose un jeu avec de grandes figures collées sur un carton, imprimées pour le groupe d'entraînement classique, en relief pour le groupe d'entraînement multisensoriel. Ces figures, au nombre de vingt-deux, comportent six triangles et seize figures distractrices. Les cartons sont posés face cachée sur une table, un grand triangle référent restant au centre de la table. Chaque enfant sélectionne un carton et le garde face cachée près de lui, puis, quand vient son tour, le retourne, découvre sa figure et l'explore, soit visuellement pour le groupe classique, soit visuo-manuellement pour le groupe multisensoriel. Après réflexion, il décide s'il s'agit d'un triangle ou non. L'enfant essaye aussi de justifier son choix, puis valide sa réponse en demandant l'avis du reste du groupe. Une fois que les mouvements d'exploration des grandes figures sont bien maîtrisés par les enfants, l'expérimentateur propose à chaque enfant de découvrir et d'explorer un petit triangle. Puis, pour valider au sein du groupe le concept de triangle, l'expérimentateur pose au centre de la table un grand et un petit triangle en rappelant les propriétés de cette figure, qui demeurent malgré les changements de taille, de couleur ou d'orientation (exercice 3). Puis, l'expérimentateur propose un grand jeu de pioche (figure 2) avec toutes les petites et grandes figures (exercice 4), faces visibles au centre de la table. L'un après l'autre, chaque enfant doit trouver un

exemplaire de triangle parmi d'autres figures distractrices. L'enfant fait son choix, le justifie, le valide ou le corrige éventuellement avec le reste du groupe. Si sa réponse est acceptée, il conserve le triangle ; sinon il remet la figure sur la table. Le jeu se termine lorsque tous les exemplaires de triangle ont été trouvés et que tous les enfants sont d'accord. Dans cet exercice, la difficulté est plus importante : les figures sont plus nombreuses, et la taille et la couleur varient, ce qui demande une discrimination plus fine. Enfin, l'expérimentateur propose une tâche de classification des figures distractrices restantes (exercice 5) : un enfant choisit une figure distractrice et la décrit aux autres élèves pour qu'ils lui en donnent tous les exemplaires afin de les ranger.

L'analyse des bonnes reconnaissances des figures cibles montre que seul l'entraînement multisensoriel permet aux enfants de mieux reconnaître les figures cibles après les séances d'entraînement. Ces résultats sont compatibles avec notre troisième hypothèse, selon laquelle l'ajout de la modalité haptique dans un entraînement destiné à préparer l'apprentissage de la géométrie serait bénéfique en améliorant le nombre de reconnaissances correctes et en diminuant le nombre d'erreurs. Ces résultats sont cohérents avec les études qui montrent que l'utilisation de la manipulation facilite la construction de représentations efficientes des concepts géométriques, que ce soit avec de jeunes enfants [15] ou des plus âgés.

Dans une seconde étude, Kalénine, Pinet et Gentaz ont proposé ces deux types d'entraînements à 72 enfants [16]. Trois principales modifications par rapport à la première expérience ont été effectuées : deux séances par figure sont proposées ; la moitié des entraînements sont effectués par les enseignants (que nous avons préalablement formés) et les feuilles tests par figure sont modifiées. Les résultats montrent que les progrès sont plus importants après l'entraînement multisensoriel que l'entraînement classique, spécialement pour les rectangles et les triangles (les carrés

posant peu de difficultés dès le départ). De plus, ces résultats sont observés aussi bien avec les expérimentateurs qu'avec les enseignants, montrant que ces entraînements multisensoriels peuvent être appliqués dans les écoles assez aisément.

CONCLUSION

Le principal résultat de la première étude [10] montre que tous les exemplaires d'une même catégorie ne sont pas reconnus aisément et que chaque catégorie aurait un exemplaire prototypique, c'est-à-dire celui le plus représentatif de

la catégorie. Cet exemplaire prototypique semble être caractérisé spatialement (axe de symétrie vertical) et géométriquement (rapport entre les longueurs des côtés). Les résultats des études suivantes montrent que les enfants ayant suivi l'entraînement multisensoriel ont davantage amélioré leur reconnaissance des figures géométriques que ceux ayant suivi un entraînement classique visuel. Ces effets bénéfiques s'expliquent probablement par les caractéristiques fonctionnelles du sens haptique. En effet, la perception manuelle d'une figure implique un traitement plus analytique de l'information

que sa perception visuelle, qui implique au contraire un traitement plus global. Au-delà d'une simple image mentale prototypique visuelle, l'exploration haptique permettrait à l'enfant de porter plus particulièrement son attention sur la structure même de ces figures et ses propriétés.

L'ensemble des résultats permet de montrer que, même si des connaissances géométriques existent chez les jeunes enfants, un apprentissage explicite incluant l'exploration visuo-haptique est bénéfique pour les aider à reconnaître les figures géométriques élémentaires. □

Références

- [1] PIAGET J., INHELDER B. : *La représentation de l'espace chez l'enfant*, PUF, Paris, 1947.
- [2] CLEMENTS D.H., BATTISTA M.T. : « Geometry and spatial reasoning », in GROUWS D.A. : *Handbook of research in mathematics teaching and learning*, Macmillan, NY, 1992.
- [3] LOVELL K. : « A follow-up study of some aspects of the work of Piaget and Inhelder on the child's conception of space », *British Journal of Educational Psychology*, 1959 ; 29 : 104-17.
- [4] MARTIN J. L. : « A test with selected topological properties of Piaget's hypothesis concerning the spatial representation of the young child », *Journal for Research in Mathematics Education*, 1976 ; 7 : 26-38.
- [5] SPELKE E., LEE A., IZARD V. : « Beyond core knowledge : natural geometry », *Cognitive Science*, 2010 ; 34 : 863-84.
- [6] DEHAENE S., IZARD V., PICA P., SPELKE E. : « Core knowledge of geometry in an Amazonian indigene group », *Science*, 2006 ; 311 : 381-4.
- [7] IZARD V., SPELKE E. : « Development of the sensitivity to geometry in visual forms », *Human Evolution*, 2009 ; 23 : 213-48.
- [8] GENTAZ E. : *La main, le cerveau et le toucher*, Dunod, Paris, 2009.
- [9] CLEMENTS D. H., SWAMINATHAN S., HANNIBAL M. A., SARAMA J. : « Young children's concepts of shape », *Journal for Research in Mathematics Education*, 1999 ; 30 : 192-212.
- [10] PINET L., GENTAZ E. : « La reconnaissance de figures géométriques planes (cercle, carré, rectangle et triangle) chez des enfants de cinq ans », *Grand N*, 2007 ; 80 : 17-24.
- [11] ROSCH E. : « Natural categories », *Cognitive Psychology*, 1973 ; 4 : 328-50.
- [12] PINET L., GENTAZ E. : « Evaluation d'entraînements multisensoriels de préparation à la reconnaissance de figures géométriques planes chez les enfants de cinq ans : étude de la contribution du système haptique manuel », *Revue Française de Pédagogie*, 2008 ; 162 : 29-44.
- [13] HATWELL Y., STRERI A., GENTAZ E. : *Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle*, PUF, Paris, 2000.
- [14] HATWELL Y., STRERI A., GENTAZ E. : *Touching for knowing*, John Benjamins Publishing Compagny, Amsterdam/Philadelphia, 2003.
- [15] PRIGGE G.R. : « The differential effects of the use of manipulative aids on the learning of geometric concepts by elementary school children », *Journal for Research in Mathematics Education*, 1978 ; 9 : 361-7.
- [16] KALÉNINE S., PINET L., GENTAZ E. : « The visuo-haptic and haptic exploration of geometrical shapes increases their recognition in preschoolers », *International Journal of Behavioral Development*, 2011 ; 35 : 18-26.