

CONFÉRENCE N°3

COMMENT AIDER LES ENFANTS DE 5-6 ANS À CONNAÎTRE LES FIGURES GÉOMÉTRIQUES PLANES ? UN POINT DE VUE DES SCIENCES COGNITIVES DE L'ÉDUCATION

Édouard GENTAZ

Professeur de Psychologie du Développement à l'Université de Genève

Directeur de Recherche au CNRS

Edouard.Gentaz@unige.ch

Résumé

Les sciences cognitives peuvent nous aider à comprendre comment 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 jeunes enfants 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. Une seconde question consiste à étudier comment aider les jeunes 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.

I. SCIENCES COGNITIVES ET EDUCATION

1 Définition et bref historique

Pour l'un des premiers historiens de cette discipline, les sciences cognitives sont « [...] une tentative contemporaine, faisant appel à des méthodes empiriques pour répondre à des questions épistémologiques fort anciennes, et plus particulièrement à celles concernant la nature du savoir, ses composantes, ses sources, son développement et son essor. » (GARDNER 1993, p. 18) Il est donc légitime que les sciences cognitives s'intéressent à l'école, milieu dans lequel le savoir et sa construction ont une place centrale. Les sciences cognitives sont un ensemble de disciplines : la psychologie (générale, sociale et du développement), la philosophie, la linguistique, l'anthropologie, l'informatique (et plus particulièrement l'intelligence artificielle), et enfin les neurosciences. Ces disciplines ne nous intéressent pas ici en tant que telles, mais en ce qu'elles produisent des explications, prédictions inscrits dans un milieu particulier, l'école.

Les sciences cognitives en tant que discipline vont naître et se développer à partir des années 1950, concurremment en trois lieux. Aux États-Unis, au *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) où est

organisé, en 1956, le célèbre *Symposium on Information Theory* (Symposium sur la théorie de l'information) ; et à l'université Harvard, avec la création par Jérôme Bruner et George Miller du Centre d'études cognitives. Enfin, en Europe, à l'université de Genève, avec la création par Jean Piaget en 1955 du Centre international d'épistémologie génétique. En France, cette discipline nouvelle est reconnue au niveau institutionnel plus tardivement avec le colloque *Approches de la Cognition*, organisé en 1987 par Daniel Andler ; et avec l'ouverture à Lyon, dans les années 1990, de l'Institut des sciences cognitives. C'est en 2000, que le Ministère de la Recherche a lancé le programme de recherches « École et sciences cognitives » et en 2013 enfin que l'Agence National de la Recherche a lancé un programme « Apprentissages ».

Toutefois, la psychologie scientifique s'est depuis longtemps intéressée à l'éducation avec, par exemple, les travaux pionniers de Binet (1905) sur les tests d'intelligence, ou ceux de Piaget sur le développement intellectuel et ses conséquences pédagogiques. On peut même remonter à la fin du XIX^e siècle pour remarquer que l'éducation, et plus particulièrement l'administration scolaire, a été l'un des premiers terrains d'application des recherches en psychologie, non d'ailleurs grâce à une curiosité particulière, mais plutôt parce que l'étude psychologique de situations éducatives rendait *utile* la psychologie. Cet intérêt pour une application de la psychologie à l'éducation s'est traduit par des recherches plus ou moins liées au contexte scolaire (GENTAZ & DESSUS 2004 ; DESSUS & GENTAZ 2006).

2 Quelques méthodes des sciences cognitives

Il est bien entendu difficile et forcément incomplet de définir une discipline par ses méthodes : observation *in vivo*, expérimentation plus ou moins contrôlée. Toutes ces méthodes sont en réalité au service d'un même but, qui est de mieux comprendre les processus de l'apprentissage. POPPER (1985), par exemple, a pu dire que la seule véritable méthode scientifique était faite d'une boucle comprenant l'énoncé d'une *conjecture* (théorie expliquant les phénomènes problématiques d'un domaine d'étude) et, ensuite, une tentative de *réfutation* de cette dernière (son test et, éventuellement, son abandon au profit d'une nouvelle conjecture, etc.). Ainsi, étudier des phénomènes d'apprentissage, c'est moins utiliser une méthode privilégiée qu'utiliser la méthode la plus adéquate pour les fins que l'on s'est donné, présenter les résultats de la manière la plus précise afin qu'ils puissent être approfondis, discutés, amendés, ce qui amène la confirmation ou la réfutation de la théorie qui a permis de les organiser. Détaillons maintenant rapidement deux méthodes utilisées dans les sciences cognitives. Nous n'aborderons pas ici ni les méthodes d'imagerie cérébrale anatomique et fonctionnelle permettent d'examiner « *in vivo* » l'activité cérébrale de volontaires en train d'effectuer certaine tâche dans des conditions très spécifiques, ni les simulations informatiques qui sont des modèles (i.e., des réductions de la réalité) qui reproduisent le mieux possible des performances cognitives ou des processus.

2.1 Observation

Une première manière de mieux comprendre une activité d'apprentissage est de l'observer, à l'aide de grilles (i.e., moyens de catégoriser et décompter différents indices comportementaux, choisis au préalable, et observés) élaborées à cette intention. Comme il n'existe pas de grille universelle permettant d'observer toute la réalité (qu'elle soit d'ailleurs dans ou en dehors de l'école), chaque grille remplit une fonction particulière (e.g., verbalisations d'élèves argumentant en résolvant des problèmes, etc.). Ensuite, après l'observation, une analyse permet de mettre au jour des régularités, des liens ou des particularités entre les différents objets ou événements observés. De récents développements des grilles d'observation, utilisant intensivement la vidéo, permettent d'accéder à des verbalisations croisées des protagonistes d'un même événement, et enrichir les données récupérées.

2.2 Méthode expérimentale

La méthode expérimentale permet de choisir, face à une question de recherche et à partir de faits observés et mesurés, la réponse la plus valable. Elle permet en particulier d'apporter des réponses qui sont parfois contraires au sens commun, aux intuitions ou expériences du praticien. La méthode expérimentale a comme souci principal « d'administrer la preuve », c'est-à-dire de montrer qu'un facteur (e.g., une méthode d'enseignement, une technique d'apprentissage) est bien la principale cause de

l'apparition d'un comportement observé (e.g., un meilleur taux de reconnaissance de mots, de meilleures performances d'apprentissage). Pour être certain que cette relation causale est univoque, il faut souvent planifier et organiser des « expériences » sur le terrain ou en « laboratoire », afin de contrôler au maximum tous les autres facteurs qui sont susceptibles d'influencer les performances observées. Cela implique de procéder à des comparaisons avec un « groupe-contrôle ». Par exemple, pour conclure à l'effet positif d'une nouvelle méthode d'apprentissage de la géométrie, il n'est pas suffisant de montrer que l'utilisation seule de cette méthode dans une classe (groupe expérimental) produit de meilleures performances. Il est nécessaire de montrer aussi que, dans une classe où cette méthode n'est pas utilisée (groupe-contrôle), *toutes choses étant égales par ailleurs* (niveau scolaire, CSP, etc.), les performances des élèves sont plus faibles. Il est à remarquer que la réalisation de la condition indispensable « toutes choses étant égales par ailleurs » reste très difficile, en particulier en milieu scolaire (GENTAZ 2013).

Les sciences cognitives peuvent nous aider à comprendre comment l'acquisition de connaissances géométriques est essentielle à l'être humain pour comprendre et transformer son environnement. La reconnaissance de figures géométriques élémentaires planes fait partie de ces acquisitions.

II. LA RECONNAISSANCE DES FIGURES GEOMETRIQUES PLANES CHEZ LES JEUNES ENFANTS

Chacune des figures géométriques élémentaires planes, comme les cercles, carrés, rectangles et triangles, 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. 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, CLEMENTS et ses collègues (1999) ont demandé à 97 enfants de marquer chaque figure cible parmi des figures distractrices. 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 (2007) ont montré que certains exemplaires d'une catégorie sont plus « exemplaires » que d'autres. 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. 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, un rectangle ayant des longueurs une fois et demie à deux fois plus longues que les largeurs et un grand côté posé à l'horizontal, un triangle équilatéral posé horizontalement. 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 (ROSCH 1973). 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 « points de référence », représentés par des exemplaires prototypiques (KALENINE, CHEAM, PINET et GENTAZ 2013).

III. APPORT BENEFIQUE DE L'EXPLORATION MULTISENSORIELLE DANS L'APPRENTISSAGE DES FIGURES GEOMETRIQUES

1 Apport du toucher et du sens haptique

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 (GENTAZ 2009), 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. Une des spécificités de la perception haptique est une appréhension très séquentielle du stimulus qui charge 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.

2 Évaluations des effets d'un entraînement multisensoriel

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. PINET et GENTAZ (2008) 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, les auteurs ont proposé deux types d'entraînements (17 enfants par groupe), respectivement dénommés « classique » et « multisensoriel », qui se différencient uniquement par les sens sollicités. 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. 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 efficaces des concepts géométriques, que ce soit avec de jeunes enfants ou des plus âgés.

Dans une seconde étude, KALENINE, PINET et GENTAZ (2001) 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.

3 Description d'une séance

Voici pour exemple une description détaillée d'une séance qui porte sur le triangle proposée par PINET et GENTAZ (2008). 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 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.

4 Discussion

Le premier résultat est 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 suivants 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.

IV. CONCLUSIONS

Comme annoncé en introduction, nous nous intéressons ici aux sciences cognitives *appliquées* à l'éducation. Cela induit un rapport délicat entre deux entités, la première étant en quelque sorte au service de la seconde. Essayons maintenant d'expliquer la nature de ce rapport. En schématisant quelque peu le vaste champ de la recherche en éducation, nous pouvons dégager deux manières différentes, et toutes deux valables, de répondre aux questions ci-dessus. La première est de faire appel à des *techniques* élaborées par la pédagogie, majoritairement issues de la pratique ; la seconde est de faire appel à des résultats issus de *recherches scientifiques*, plus précisément d'expérimentations, observations, ou encore de simulations informatiques. Il est important d'affirmer que les techniques élaborées par la pédagogie ne sont pas de moindre importance : la meilleure preuve en est que de nombreuses recherches scientifiques reprennent des techniques issues de la pédagogie. Par exemple, Montessori avait conçu une méthode multisensorielle (incluant le corps et le toucher) des apprentissages fondamentaux. En d'autres termes, il vaut mieux donc penser que les buts des techniques pédagogiques et ceux des recherches scientifiques en éducation diffèrent et s'alimentent l'une l'autre : le but de la pédagogie est d'élaborer des techniques *qui fonctionnent*, alors le but des recherches scientifiques est non seulement d'évaluer scientifiquement les effets de ces techniques mais aussi de *comprendre, expliquer, éventuellement prédire* ou *simuler* comment ces techniques peuvent fonctionner. En résumé, nous pensons qu'il existe une interaction vertueuse entre ces approches (GENTAZ 2013 ; GENTAZ et DESSUS 2004 ; DESSUS et GENTAZ 2006).

V. BIBLIOGRAPHIE

- CLEMENTS D., SWAMINATHAN S., HANNIBAL M., SARAMA J. (1999). Young children's concepts of shape. *Journal for Research in Mathematics Education*, **30**, 192-212.
- DESSUS P. & GENTAZ, E. (Eds) (2006). *Apprentissages et enseignement*. Paris : Dunod.
- GATDNER, H. (1993). *Histoire de la révolution cognitive, la nouvelle science de l'esprit*. Paris : Payot.
- GENTAZ E. (2009). *La main, le cerveau et le toucher*. Paris : Dunod.
- GENTAZ E. (Ed) (2013). Apprendre ...oui mais comment. Des laboratoires à la salle de classe. *ANAE*.
- GENTAZ, E. & DESSUS, P. (Eds) (2004). *Comprendre les apprentissages*. Paris : Dunod.
- KALÉNINE S, PINET L., & GENTAZ E. (2011). The visuo-haptic and haptic exploration of geometrical shapes increases their recognition in preschoolers. *International Journal of Behavioral Development*, **35**, 18-26.
- KALÉNINE S, CHEAM, C, PINET L., & GENTAZ E. (2013). Adults and five-year-old children draw rectangles and triangles around a prototype but not in the golden ratio. *British Journal of Psychology*, **101**, 400-412.
- POPPER, K. (1985). *Conjectures et réfutations*. Paris : Payot.
- PINET L., & GENTAZ E. (2007). La reconnaissance de figures géométriques planes (cercle, carré, rectangle et triangle) chez des enfants de cinq ans. *Grand N*, **80**, 17-24.
- PINET L. & GENTAZ E. (2008). Évaluation 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*, **162**, 29-44.
- ROSCH E. (1973). Natural categories. *Cognitive Psychology*, **4**, 328-50.