HAL
open science

Développement du raisonnement analogique : rôle de la composante éxécutive d'inhibition

Milena Vezneva

To cite this version:

Milena Vezneva. Développement du raisonnement analogique : rôle de la composante éxécutive d'inhibition. Psychologie. Université de Bourgogne, 2011. Français. NNT : 2011DIJOL021 . tel-00679976

HAL Id: tel-00679976

https://theses.hal.science/tel-00679976v1

Submitted on 16 Mar 2012

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

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

UNIVERSITE DE BOURGOGNE

U.F.R. Sciences Humaines – Département de Psychologie – Ecole Doctorale Environnement-Santé-STIC

Laboratoire d'Etude de l'Apprentissage et du Développement-CNRS UMR 5022

Thèse

Pour obtenir le grade de

Docteur de l'Université de Bourgogne

Mention Psychologie

par

Milena VEZNEVA

Octobre 2011

Développement du raisonnement analogique : rôle de la composante exécutive d'inhibition

Directeurs de thèse

Robert FRENCH

et

Jean-Pierre THIBAUT

Jury :

BLAYE Agnès	Professeur des Universités, Université de Provence	Rapporteur
CORDIER Françoise	Professeur des Universités, Université de Poitiers	Rapporteur
FRENCH Robert	Directeur de Recherches CNRS, Université de Bourgogne	Directeur de thèse
THIBAUT Jean-Pierre	Professeur des Universités, Université de Bourgogne	Directeur de thèse

A mes parents

Remerciements

Je tiens d'abord à remercier mes directeurs de thèse **Bob French** et **Jean-Pierre Thibaut** pour leur encadrement, interactions et disponibilité durant ces quatre années de travail. Merci pour la confiance que vous m'avez accordée, pour votre patience, pour tous vos conseils et vos critiques constructives ! Merci pour toutes les opportunités que cette thèse m'a offertes !

Je tiens à remercier **Françoise Cordier** de l'Université de Poitiers et **Agnès Blaye** de l'Université de Provence qui me font l'honneur de participer à mon jury de soutenance de thèse en tant que rapporteurs. Merci d'avoir accepté d'évaluer ce travail !

J'exprime ma gratitude à **Jean-François Rouet** et à **Françoise Cordier** qui ont fait partie de mon comité de suivi de thèse pendant toutes ces années. Merci pour votre soutien et vos conseils !

Merci à tous les membres du projet Analogy (Humans – The Analogy Making Species, European Commission Grant) dans le cadre duquel cette thèse a été réalisée. En particulier, je tiens à remercier **Boicho Kokinov** pour son soutien, sa confiance et sa disponibilité.

Je remercie tous les membres du **LEAD** (Laboratoire d'Etude de l'Apprentissage et du Développement), UMR 5022 CNRS de l'Université de Bourgogne, Dijon. Je tiens à remercier son directeur, le Professeur **Emmanuel BIGAND** de m'avoir accueillie pendant une partie de ma thèse.

Je remercie également tous les membres du laboratoire **CeRCA** (Centre de Recherches sur la Cognition et l'Apprentissage), UMR 6234 de l'Université de Poitiers et son directeur **Jean-François Rouet** de m'avoir accueillie au début de ma thèse, ainsi que pendant une année d'ATER. Merci à l'équipe pédagogique en psychologie du développement – **Virginie Laval, Sandrine Gil, Monik Favart, Elsa Eme et Josie Bernicot.**

Merci également aux membres du Laboratoire de Psychologie EA3188 de l'Université de Franche-Comté, Besançon, où j'ai été accueillie en qualité d'ATER pendant une année. Merci à **Sandrine Vieillard, Myriam Morer et André Didierjean.**

La réalisation de cette thèse n'aurait pas été possible sans le soutien inconditionnel de **Mes Parents**. Merci pour vos encouragements dans mes nombreux moments de doute, merci d'y avoir cru quand j'y croyais plus, merci de m'avoir donné les forces de continuer jusqu'au bout ! Merci pour tout ce que vous m'avez appris, les valeurs que vous m'avez inculquées pendant mon enfance ! Sachez que vos efforts et vos sacrifices n'ont pas été vains ! **Благодаря !**

Merci à mon frère **Guéorgui** et à tous mes amis qui étaient présents à chaque fois lorsque j'en avais besoin. Merci de votre patience et votre soutien ! Merci **Christine, Linka, Hrissi, Mariela…** !

Je tiens à remercier tous mes collègues doctorants, en particulier : **Lana, Elodie B., Gérôme, Dian, Ira, Viviane et Arnaud** du LEAD ; **Aurore D., Emmanuelle et Fabienne** de Besançon ; **Laëtitia et Margot** du CeRCA et ma collègue ATER de Poitiers – **Elodie V**. Merci pour tous les moments partagés, nos sorties, nos conversations. Merci pour votre amitié !

Je remercie également tous les ingénieurs qui ont contribué à ce travail, en particulier **Stéphane et Yannick,** mais aussi **Laurent et Marie-Françoise.**

Merci aux étudiantes de Master 1 qui ont contribué au recueil des données d'une partie des expériences : **Amandine, Audrey et Flora** de l'Université de Poitiers et **Angélique, Rizlaine et Oriana** de l'Université de Bourgogne!

A la fin, je tiens à remercier du fond du cœur tous les **enfants** qui ont participé à mes expériences, ainsi que leurs parents! Un énorme MERCI à tous les **directeurs des écoles** qui m'ont acueillie au sein de leurs établissements ! Merci à toutes les **institutrices** pour leur collaboration, leur disponibilité et leur gentillesse ! *Sans vous, ce travail n'aurait pas été possible !*

Résumé

Nous avons étudié le développement du raisonnement par analogie. La conception traditionnelle de ce développement est qu'il dépend de l'accroissement des connaissances des enfants (Gentner, 1983, 1988 ; Goswami & Brown, 1989, 1990). Nous l'avons abordé sous l'angle du développement des fonctions exécutives, en particulier - de la composante d'inhibition. La capacité d'inhibition permet la suppression des informations saillantes mais non pertinentes pour faire l'analogie. Elle est requise lors de la recherche de la solution analogique.

Neuf études ont été réalisées dans le cadre de cette thèse. Nous avons utilisé une tâche classique d'analogie du type A : B :: C : ?. Le rôle de la capacité d'inhibition a été testé par la présence de distracteurs perceptifs ou sémantiques qui entrent en compétition avec la solution analogique. Ils doivent être inhibés lors de sa recherche. Les résultats montrent que les informations saillantes mais non pertinentes pour trouver la solution analogique interfèrent avec sa découverte ou sa construction. Par conséquent, les performances des enfants à la tâche d'analogie dépendraient du degré de développement de leurs fonctions exécutives. Ces résultats sont compatibles avec les résultats de Richland, Morrison & Holyoak (2006) qui expliquent les performances des enfants à une tâche d'analogie par les limitations dans leur fonctionnement exécutif.

Mots clés : analogie, fonctions exécutives, inhibition, connaissances, développement

Abstract

We explored the development of the analogical reasoning. The traditional conception of this development is that it is dependent of knowledge accretion in children (Gentner, 1983, 1988; Goswami & Brown, 1989, 1990). We used a different approach which explains it as dependent of the development of the executive functions, particularly of the component of inhibition. The capacity of inhibition allows the suppression of the salient but irrelevant information for analogy-making in children. It is required while searching for the analogical solution.

Nine studies involving a classical analogy-making task A : B :: C : ? were performed in this dissertation. The role of the capacity of inhibition was tested using perceptual or semantic distractors conflicting with the analogical solution. The distractors must be inhibited while searching for the analogical solution. Results show that all salient but irrelevant information for analogy-making interferes with the discovery or the construction of the analogical solution. Therefore, children's performances of the analogy-making task depend on the degree of development of their executive functions. These results are consistent with the results of Richland, Morrison & Holyoak (2006) explaining children's performances on an analogy-making task by the limitations of their executive functioning.

Key words: analogy-making, executive functions, inhibition, knowledge, development

TABLE DES MATIERES

Introduction générale 1

Chapitre I Analogie 6

1. Le concept d'analogie 7

- *Types d'analogie* 7
- *Tâche d'analogie classique* 8
- *Tâche de résolution de problème* 8
- *Utilisation de l'analogie à visée pédagogique* 8
- *Utilisation de l'analogie dans les tests d'évaluation de l'intelligence* 9

2. Théories du développement du raisonnement par analogie 11

2.1. Théorie componentielle de Sternberg (1977) 11

- *Les composantes du raisonnement analogique selon Sternberg* 11
- *Sternberg et l'hypothèse associative du raisonnement par analogie* 13

2.2. Théorie structuraliste et cognitiviste de Piaget 15

- *Les trois stades du raisonnement analogique selon Piaget (1977)* 17

2.3. Théorie de la mise en correspondance entre structures de Gentner (1983) 21

- *Hypothèse de déplacement relationnel (relational shift) (1989)* 23

2.4. Théorie de Goswami 26

- *Hypothèse de primauté des relations (relational primacy view) (1992)* 31
- *Etudes d'Ann Brown* 32

2.5. Théorie de Holyoak (1985) : rôle des contraintes pragmatiques dans l'analogie 32

- *Similarité de surface et indices sur la structure relationnelle* 35

2.6. Le raisonnement analogique en tant qu'amorçage relationnel : Leech, Mareschal et Cooper (2008) 37

2.7. Théorie de la complexité relationnelle (TCR) de Halford (1998) 38

- *Rang de représentation* 40

2.8. Autre point de vue sur le raisonnement par analogie : le rôle du contrôle inhibiteur (Richland, Morrison et Holyoak, 2006) 43

3. Développement des fonctions exécutives 46

- *Le concept de fonction exécutive* 46

3.1. Principales théories sur les fonctions exécutives 47

3.2. Composantes exécutives 50

- *Inhibition* 50
- *Mise à jour en mémoire de travail* 52
- *Flexibilité cognitive (mentale, attentionnelle)* 53
- *Planification* 53

Chapitre II Problématique 55

- ***Hypothèses* 57**

Chapitre III Analogies non sémantiques 63

Etude 1 64

- Objectif de l'étude 64
- Méthodologie 64
- Résultats 67
- Discussion 70

Etude 2 73

- Objectif de l'étude 73
- Méthodologie 73
- Résultats 78
- Discussion 81

Etude 3 83

- Objectif de l'étude 83
- Méthodologie 83
- Résultats 87
- Discussion 90

Etude 4 92

- Objectif de l'étude 92

- Méthodologie 93
- Résultats 97
- Discussion 100

Discussion générale 103

Chapitre IV Analogies sémantiques 108

Etude 5 109
- Objectif de l'étude 109
- Méthodologie 110
- Résultats 113
- Discussion 115

Etude 6 117
- Objectif de l'étude 117
- Méthodologie 118
- Résultats 121
- Discussion 122

Etude 7 125
- Objectif de l'étude 125
- Méthodologie 126
- Résultats 128
- Discussion 130

Etude 8 131
- Objectif de l'étude 131
- Méthodologie 131
- Résultats 135
- Discussion 137

Etude 9 139
- Objectif de l'étude 139
- Méthodologie 140
- Résultats 144

- Discussion 148

Discussion générale 153

Chapitres V Discussion 158

Bibliographie 161

Annexes 172

Introduction générale

L'analogie est au cœur de la pensée humaine (Hofstadter, 2001). Nous la retrouvons dans la vie de tous les jours lorsque nous devons faire face à des situations nouvelles. Elle permet d'aborder l'inconnu à partir de ce que l'on connaît déjà (Sander, 2000). En pédagogie, c'est le mode de raisonnement le plus naturel et par conséquent le plus facile utilisé par les enfants. Nombreux sont les tests psychologiques d'évaluation de l'intelligence qui comprennent des épreuves de raisonnement par analogie. Voici quelques-unes des raisons expliquant le fait que l'analogie est l'objet d'étude de plusieurs chercheurs dans des domaines différents. Nous allons nous intéresser en particulier au domaine de la psychologie cognitive.

Nos travaux se situent dans le cadre d'un projet de la Commission Européenne : Humans - The Analogy-Making Species, European Commission Grant FP6-NEST 029088. Une équipe internationale, interdisciplinaire et surtout possédant une longue expérience dans ce domaine a étudié les performances à des tâches d'analogies chez les singes, les bébés, les enfants, les adolescents et les adultes normaux, ainsi que chez les enfants et adultes déficients mentaux.

L'objectif principal de ma thèse est d'étudier le développement de la compréhension des analogies chez l'enfant. Plus précisément, je m'intéresse aux performances des enfants âgés de 4 à 14 ans dans une tâche classique d'analogie du type A : B :: C : D *(le nid est à l'oiseau ce que la niche est au chien)*. La contribution de ce travail se trouve dans l'explication du développement de la compréhension des analogies par le développement des fonctions exécutives, telles que l'inhibition des solutions saillantes mais non pertinentes pour faire l'analogie ou encore la flexibilité cognitive nécessaire lors de la recherche de la solution analogique. Alors que la conception traditionnelle du développement du raisonnement analogique (voir les travaux de Gentner, 1983, 1988 et de Goswami & Brown, 1990) place l'accroissement des connaissances au centre de ce développement, nous avons choisi de l'aborder sous l'angle du développement des fonctions exécutives. Nous défendons l'idée selon laquelle la compréhension d'une analogie repose sur l'exploration d'un espace multidimensionnel où la solution analogique serait plus ou moins saillante. Par conséquent, trouver la solution analogique nécessite l'inhibition des solutions saillantes mais incorrectes comme les appariements perceptifs. Faire l'analogie nécessite également de la flexibilité cognitive pour passer d'une solution potentielle à une autre. Dans le cadre de cette thèse, nous avons montré l'influence des distracteurs – l'importance de leur nature (sémantique ou perceptive), de leur nombre (un, deux, trois ou quatre), ainsi que des effets de force d'association sémantique – sur la recherche de la solution analogique.

Neuf études ont été conduites pour explorer le développement du raisonnement analogique. Elles sont réparties en deux axes selon le type d'analogie que nous avons testé. Dans le premier axe, nous avons utilisé des analogies non sémantiques composées de figures géométriques simples dans le but de minimiser la nécessité d'un recours aux connaissances sémantiques pour faire l'analogie. Ces travaux portent sur la compétition entre les caractéristiques perceptives des items et la solution analogique. Plus précisément, les distracteurs portent sur des dimensions perceptives telles que la forme ou la couleur de la figure géométrique ou encore la présence d'une petite figure à l'intérieur de certains items. Dans le second axe, nous avons testé des analogies sémantiques. Elles sont représentées par des images d'objets, d'entités vivantes, de paysages, etc. Dans ce cas de figure, trouver la solution analogique exige le recours aux connaissances sur les relations entre les objets faisant partie de l'analogie. Ces travaux portent sur la compétition entre les caractéristiques sémantiques ou perceptives des objets présentés et la réponse analogique. Par exemple, dans l'analogie *oiseau : nid :: chien : ?,* la solution analogique est *niche,* le distracteur sémantique du terme *chien* était *os*. Dans l'analogie *toile : araignée :: ruche : ?,* la solution analogique est *abeille*, alors que le distracteur perceptif du terme *ruche* était *igloo*. Dans cet axe d'expériences sur des analogies sémantiques nous avons également manipulé la force d'association entre les paires de l'analogie (A : B et C : D) – forte ou faible. De plus, dans notre dernière étude, la performance des enfants à la tâche d'analogie a été corrélée avec leur performance à une épreuve de Stroop pour enfants (Day-Night Task) qui mesure leur capacité d'inhibition, ainsi qu'avec leur performance à l'Echelle de Vocabulaire en Images de Peabody qui a pour objectif de déterminer le niveau d'acquisition du vocabulaire.

Les résultats de nos études montrent que les informations saillantes mais non pertinentes pour trouver la solution analogique interfèrent avec sa découverte ou sa construction. Les performances des enfants à la tâche d'analogie dépendraient du degré de développement de leurs fonctions exécutives.

Dans la première partie de ce travail, nous allons décrire le contexte théorique de nos études. Pour ceci, nous allons passer en revue la littérature sur le raisonnement par analogie aussi bien chez l'enfant que chez l'adulte, afin de voir quelles sont les principales questions qui ont préoccupé les chercheurs durant les dernières décennies. Pour commencer, nous allons présenter les différentes définitions du concept d'analogie, nous allons décrire les

théories du développement du raisonnement analogique en commençant par la théorie du développement de l'intelligence de Jean Piaget (Piaget et Inhelder, 1966) qui défend l'idée que la compétence à raisonner par analogie n'est acquise que vers l'âge de 11-12 ans, lorsque l'enfant atteint le stade des opérations formelles. Ensuite, nous allons parler des recherches effectuées par Dedre Gentner. Sa théorie de mise en correspondance entre structures ou Structure Mapping Theory (Gentner, 1983) et ce qu'elle appelle le Relational Shift (Gentner, 1988) a marqué le domaine du raisonnement par analogie. Le concept de relational shift peut être expliqué par un passage progressif chez l'enfant d'une mise en correspondance basée sur des traits perceptifs vers une mise en correspondance basée sur des relations ou encore des structures. Nous allons discuter également du point de vue d'Usha Goswami qui défend l'idée que la capacité à raisonner par analogie est disponible dès le très jeune âge à condition d'avoir les connaissances nécessaires pour faire cette analogie. Elle montre (Goswami & Brown, 1990) que même à 3 ans les enfants sont capables de raisonner par analogie si les relations présentées leur sont familières. Ses propos vont à l'encontre de la théorie de Piaget. A la fin de cette partie, nous allons décrire les composantes du fonctionnement exécutif, en nous arrêtant en particulier sur le concept d'inhibition qui occupe une place prépondérante dans nos travaux. Nous allons également nous intéresser aux moyens employés pour tester le développement de ces fonctions. Le chapitre 2 décrit les questions auxquelles nous avons tenté de répondre dans le cadre de cette thèse.

La seconde partie présente les études réalisées dans le cadre de cette thèse. Neuf études sont présentées. Elles sont réparties en deux axes : analogies non sémantiques (chapitre 3) et analogies sémantiques (chapitre 4). Le point commun entre ces deux types d'analogies est qu'elles ont toutes la même structure, de type A : B :: C : ?. Aussi, la tâche présentée est une tâche de choix forcé. L'enfant a le choix parmi un nombre de possibilités qui varie de 2 à 5 pour trouver la solution analogique. Le statut des non solutions est manipulé pour montrer le rôle important du contexte dans ce type de tâche. Les performances des enfants concernant le type de réponse donnée, ainsi que leurs temps de réaction nous permettent d'expliquer les résultats à la tâche d'analogie classique en termes de développement des fonctions exécutives.

Une troisième partie, correspondant à la discussion générale (chapitre 5), va clore cette thèse. Dans cette partie, nous allons revenir sur les résultats de nos études, tout en envisageant des perspectives de recherche futures.

L'objectif principal du premier chapitre est de présenter les différentes théories sur le développement du raisonnement par analogie tout en s'appuyant sur des études empiriques. Ensuite, une brève description des fonctions exécutives et les différentes manières de les tester seront présentées. Dans le second chapitre, la problématique autour de laquelle cette thèse a été construite sera exposée.

I. Introduction théorique

1. Le concept d'analogie

L'idée que l'analogie est au centre de la cognition humaine (Hofstadter, 2001) est aujourd'hui largement acceptée. L'étude de l'analogie au cours de ces dernières années a montré que ce phénomène jouait un rôle primordial dans le raisonnement et l'apprentissage (Gentner, 2003 ; Hofstadter, 2001 ; Kokinov & French, 2002). Des chercheurs de plusieurs disciplines, parmi lesquelles la psychologie cognitive, s'intéressent à ce mécanisme. Ce concept grec « ἀναλογία » qui signifie « proportion » s'avère bien plus difficile à définir qu'à comprendre. Le terme « analogie » apparaît dans la littérature pour la première fois chez Aristote. Il voit l'analogie comme une égalité de proportions entre deux rapports (Aristote, *Métaphysique*, cité par Goswami, 1992). Pour lui, l'analogie implique au moins quatre termes (A, B, C, D), dont le second est relié au premier comme le quatrième au troisième (B est à A ce que D est à C). Dejong (1989) parle d'« un concept flou qui signifie des choses différentes pour des personnes différentes ». Aujourd'hui, le terme analogie a une acception beaucoup plus large que celle proposée par Aristote. Quoiqu'il en soit, tous les auteurs s'accordent sur le fait que l'analogie occupe une place importante dans le développement de l'intelligence.

Nombreux sont les chercheurs qui s'intéressent au domaine du raisonnement analogique, l'analogie étant définie comme un appariement d'informations entre deux situations – une situation de référence, familière ou encore connue que l'on appelle la *source* et une situation nouvelle que l'on appelle la *cible*. Si nous nous basons sur cette définition, il en découle que la catégorisation, la comparaison ou encore l'abstraction seraient des aspects différents de l'analogie. Dans la littérature sur le raisonnement par analogie, nous pouvons rencontrer plusieurs définitions de ce concept. Celle de Holyoak & Thagard (1995) est intéressante car elle est plus générale. Pour ces auteurs, l'analogie est « ce qui rend possible de comprendre une situation dans les termes d'une autre ». En d'autres mots, l'analogie est un type particulier de raisonnement inductif – elle permet la généralisation d'une situation pour pouvoir l'assimiler à une nouvelle situation, proche de la précédente.

Types d'analogie

Il existe des types différents d'analogie qui sont classés selon deux critères. Le premier critère est la distance entre le domaine de la source et le domaine de la cible. Si la source et la cible font partie du même domaine, l'analogie est appelée intra-domaine. Si au contraire, les deux paires de l'analogie n'appartiennent pas au même domaine, elle est appelée inter-domaine. Le second critère est la manière dont l'analogie est initiée. Selon ce critère, nous

avons les types d'analogie suivants : analogie forcée – lorsque l'on donne au sujet un indice explicite pour utiliser une source ; analogie spontanée – lorsque le sujet retrouve la source parmi ses connaissances en mémoire ; analogie constructive – lorsque le sujet décide de trouver la solution analogique d'un problème, en se référant à plusieurs sources, par des transformations systématiques.

Tâche d'analogie classique

Lorsque l'on travaille avec des enfants, comme c'est le cas dans cette thèse, la manière traditionnelle d'explorer le développement du raisonnement analogique est de présenter à l'enfant des analogies classiques du type ***A : B :: C : ?.*** *(par exemple : le nid est à l'oiseau ce que la niche est au ?).* Autrement dit, dans ce cas de figure, la capacité à faire des analogies dépendrait de la capacité de l'enfant à identifier la relation entre les deux items de la première paire et à l'appliquer à l'item C pour trouver D *(chien)*.

Tâche de résolution de problème

Une autre manière d'étudier le raisonnement analogique chez l'enfant est de lui demander de résoudre un problème cible à la suite de la présentation d'un problème source et sa solution *(problème : solution :: problème : solution).*

Utilisation de l'analogie à visée pédagogique

Selon Richard (1990) : « comprendre, c'est raisonner par analogie avec une situation connue ». Ce processus, mis en jeu dans la compréhension, est souvent utilisé à visée pédagogique. Un des exemples d'analogie, souvent utilisé dans l'enseignement, est le suivant : « L'atome d'hydrogène est comme le système solaire.» (Gentner & Gentner, 1982). La critique principale de l'utilisation pédagogique de l'analogie est que la correspondance entre les deux situations n'est jamais parfaite, ce qui pourrait être un obstacle pour les novices dans un domaine.

Utilisation de l'analogie dans les tests d'évaluation de l'intelligence

L'analogie est un des éléments fondateurs de la pensée, elle est présente dans plusieurs tests d'évaluation de l'intelligence. Nous allons citer les Matrices Progressives de Raven (voir figure 1) qui présentent une tâche d'analogie classique à choix multiple. Créées en 1936, par le docteur John C. Raven, ce sont des matrices mathématiques 3 x 3 ou 2 x 2, dans lesquelles sont insérées des figures abstraites. La troisième case de la troisième ligne étant vide, la tâche du sujet est de sélectionner la figure qui correspond à la suite de la troisième ligne en transférant la relation existant entre les figures des deux premières lignes. La succession des problèmes suit un ordre croissant de difficulté. L'avantage de ce type de test est qu'il peut être administré à des sujets qui ne maîtrisent pas le langage écrit ou oral – le sujet peut répondre en pointant du doigt l'item. Il mesure la capacité de raisonnement non verbal, par analogie. Les matrices progressives de Raven sont utilisées dans un autre test de mesure de l'intelligence – le K-ABC (Kaufman & Kaufman, 1983) qui s'adresse aux enfants de 2 ans ½ à 12 ans ½.

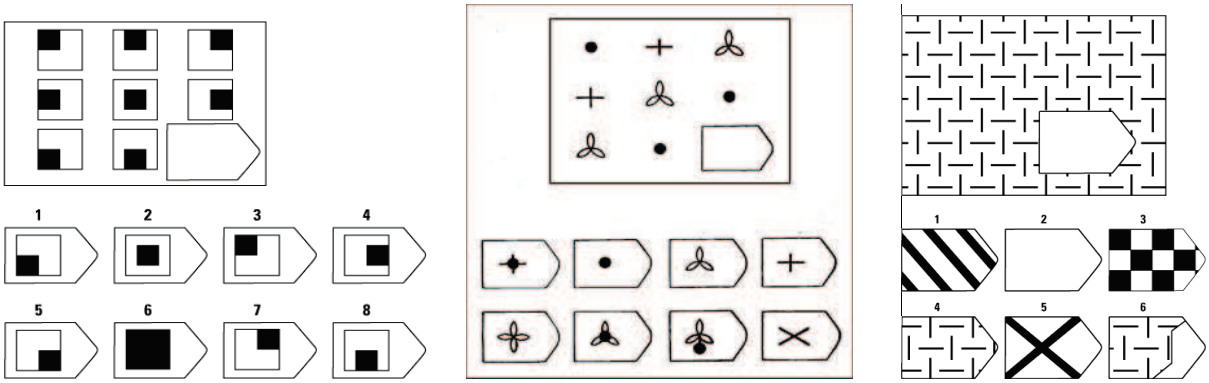


Figure 1. Exemples d'items des Matrices Progressives de Raven

Le dernier test que nous allons mentionner est le Test des Dominos D48 – un test non verbal d'intelligence, composé de dessins de dominos par série. La tâche du sujet est de compléter les suites de dominos. Ce test fait appel au raisonnement inductif, en particulier à la capacité à raisonner par analogie.

Il existe également des preuves que les singes, tels que les chimpanzés, peuvent faire des analogies si le matériel utilisé dans la tâche est constitué de formes géométriques (Oden & Thompson, 2000). Gillan, Premack & Woodruff (1981) sont les premiers à s'être intéressés à

l'étude du raisonnement par analogie chez Sarah - un chimpanzé femelle adulte. Ils ont utilisé des figures géométriques complexes qui subissaient une transformation ou encore des objets familiers qui partageaient des relations fonctionnelles. Ils ont montré que le chimpanzé pouvait faire des analogies. Les éléments de l'analogie étaient présentés dans une matrice en format 2 x 2 (voir figure 2).

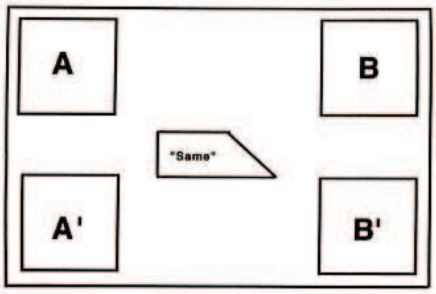


Figure 2. Matrice de complément et de construction d'analogies par les chimpanzés (Thompson & Oden, 2000)

Dans l'exemple ci-dessus, les items A et A' partagent la même relation que les items B et B' mais les stimuli B et B' sont différents de A et A'. « Same » est le mot en plastique du concept signifiant la même chose («pareil ») du langage artificiel utilisé par Sarah. Les stimuli étaient des figures géométriques et la relation entre les items de chaque paire consistait en une transformation d'une propriété physique de ces figures, telle que la taille (large/étroit). La tâche de Sarah était de choisir la solution analogique (B') parmi deux items qui lui étaient proposés. Dans une autre série d'études (Oden, Thompson & Premack, 1998), Sarah devait également construire des analogies avec des formes géométriques. Cette tâche est plus difficile que la tâche de complément parce qu'elle requiert la recherche de relations communes entre les stimuli, des relations qui ne sont pas préétablies, à la différence de la tâche de complément dans laquelle on présente la relation A – A' qui doit être appliquée à B pour trouver la solution analogique B'. Sarah a réussi les deux types de tâches, ce qui montre que les chimpanzés sont capables de raisonner par analogie.

2. Théories sur le développement du raisonnement par analogie

Pendant plusieurs décennies de nombreux chercheurs se sont intéressés au raisonnement par analogie. Nous allons présenter ici les théories dominantes de l'analogie en psychologie du développement cognitif. Goswami (1991) fait une revue de la littérature sur les théories du raisonnement par analogie dans laquelle elle les classe en trois groupes : les théories structurales, les théories componentielles et la théorie de mise en correspondance et déplacement relationnel de Gentner. Dans ce qui suit, nous allons commencer par les théories componentielles pour ensuite basculer sur les théories structurales de développement du raisonnement par analogie, et nous terminerons en présentant les autres points de vue, notamment la théorie de Gentner (1983, 1989), celle de Holyoak (1985, 1989), les hypothèses de Goswami & Brown (1989, 1990, 1992), Halford (1998) et le point de vue de Richland, Morrison & Holyoak (2006).

2.1. Théorie componentielle de Sternberg (1977)

Les composantes du raisonnement analogique selon Sternberg

Si nous remontons dans le temps, nous allons commencer par la théorie de l'intelligence de Spearman (1923). Dans cette théorie, l'analogie est représentée par trois principes :

- l'appréhension de l'expérience – les connaissances que le sujet a des caractéristiques des situations en question
- l'éduction des relations – trouver les relations entre les deux situations
- l'éduction des corrélats – trouver les caractéristiques d'une situation à partir d'une autre

Par la suite, Sternberg (1977) reprend la théorie générale de l'intelligence de Spearman (1923) dans une perspective qui porte sur les théories du traitement de l'information. C'est une théorie componentielle qui a une influence indéniable en psychologie cognitive. Sternberg s'intéresse aux processus mis en œuvre dans le raisonnement. Il utilise des épreuves d'analogie du type A est à B ce que C est à D – des figures géométriques, des

dessins ou bien des mots. Il distingue cinq étapes majeures dans le raisonnement par analogie chez les adultes (voir figure 3):

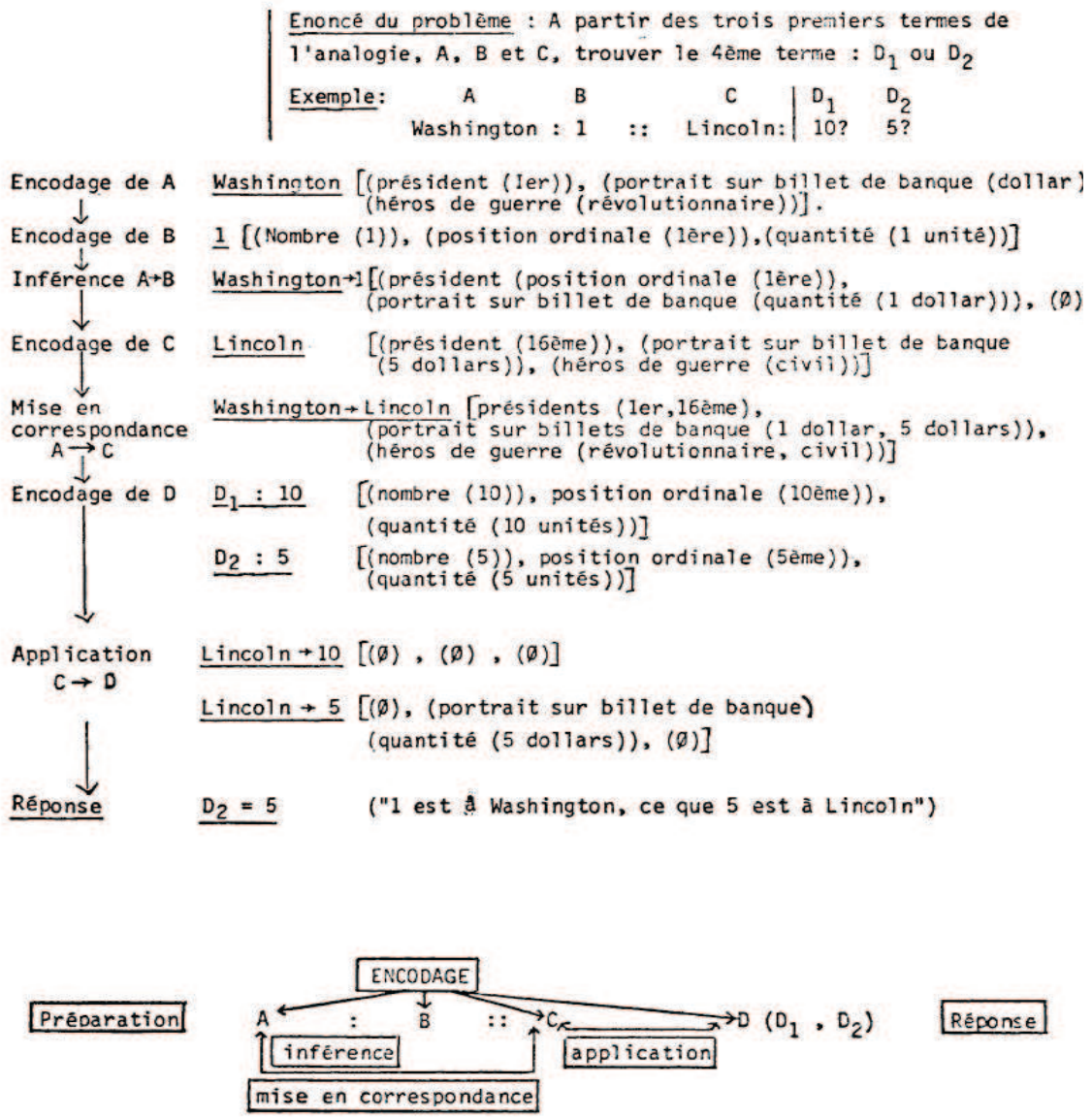


Figure 3. Modèle de résolution d'une analogie d'après Sternberg (1977), dans Cauzinille-Marmèche, Mathieu & Weil-Barais (1985).

1) Encodage – consiste à identifier A, B et C. Pour cela, le sujet doit construire une représentation. Dans l'exemple donné ci-dessus, cette étape correspond à se rappeler que Washington est un des présidents des Etats-Unis ; son portrait figure sur un billet de banque ; il est un des héros de la révolution américaine).

2) Inférence – consiste à trouver la relation entre A et B en comparant leurs représentations. Dans l'exemple, on peut dire que Washington était le 1er président des Etats-Unis et que son portrait figure sur le billet d'un dollar.
3) Mise en correspondance (mapping) – consiste à comparer A et C pour découvrir la relation entre ces deux termes. Filant l'exemple, nous allons dire qu'il s'agit de deux présidents des Etats-Unis, qui ont leurs portraits sur des billets de banque et qui sont, tous les deux, des héros de la révolution américaine.
4) Application – dans cette dernière étape on projette la relation existante entre A et B sur le terme C pour arriver à la solution D. Dans cet exemple, nous pouvons garder la relation *président : portrait sur un billet de banque*. En effet, le portrait de Lincoln figure sur le billet de cinq dollars. Par contre, il n'est pas le cinquième président du pays.
5) Justification – cette étape est optionnelle. Elle apparaît lorsqu'aucune des réponses proposées n'est appropriée. Le sujet choisit la réponse la plus proche de la solution recherchée.

C'est le modèle de base de résolution d'une analogie de Sternberg. Les trois premières étapes correspondent à celles décrites précédemment dans la théorie de Spearman. Sternberg a conduit plusieurs études pour tester si ces opérations se déroulaient en parallèle ou en série, ainsi que leur caractère plus ou moins exhaustif. La critique principale de ce modèle est que Sternberg présente l'encodage comme une activité exhaustive et indépendante du contexte. Ces travaux ont décrit les opérations élémentaires mises en œuvre lors du raisonnement par analogie mais ils ne prennent pas en compte les différentes conditions d'utilisation du raisonnement analogique.

Sternberg et l'hypothèse associative du développement du raisonnement par analogie

Par la suite, Sternberg & Rifkin (1979) ont testé ce modèle de raisonnement par analogie chez les enfants. Les auteurs ont conduit deux études sur le développement du raisonnement analogique auprès d'enfants âgés de 8, 10 et 12 ans. Dans la première étude, les attributs des stimuli étaient perceptivement séparables (le chapeau, les patterns du vêtement, les chaussures et ce que les bonhommes tenaient à la main pouvaient varier), dans la seconde – les attributs des stimuli étaient intégrables (la taille, le sexe, le poids ou la couleur des bonhommes pouvaient varier) (voir figure 4). Les résultats ont montré que les enfants

devenaient plus rapides avec l'âge. Les enfants de tous les âges utilisaient les mêmes stratégies pour faire l'analogie lorsque les stimuli avaient des attributs perceptivement séparables, alors que lorsque les stimuli avaient des attributs intégrables, et donc – non séparables, les enfants de 8 ans n'étaient pas capables de faire la mise en correspondance entre les deux paires de l'analogie.

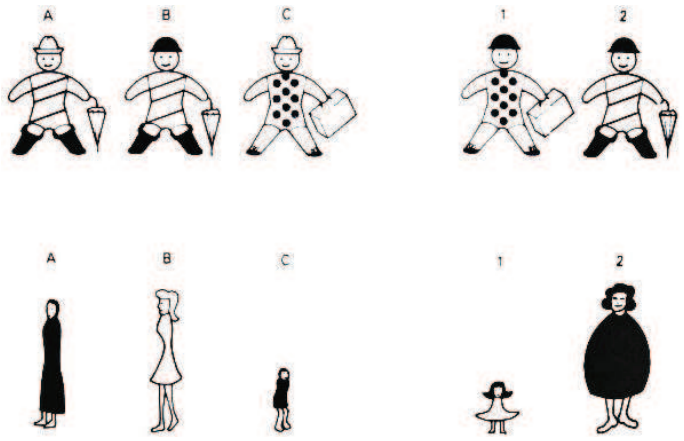


Figure 4. Exemples d'analogies utilisées par Sternberg & Rifkin (1979)

Dans une autre étude, Sternberg & Nigro (1980) ont présenté des analogies verbales du type *étroit : large :: question : (essai/déclaration/réponse/demander)*. Ils ont testé des enfants âgés de 9, 12, 15 et 18 ans. Ils ont utilisé cinq types de relations : synonymes, antonymes, fonctions, ordre linéaire et appartenance à la même catégorie. Leur hypothèse était que les jeunes enfants se baseraient essentiellement sur des relations d'association pour faire l'analogie. Ce point de vue est partagé par Goldman, Pellegrino, Parseghian & Sallis (1982) qui ont également testé des analogies verbales, ou encore Gallagher & Wright (1979). Ils ont trouvé que les relations « antonymes » et « fonctions » étaient significativement plus faciles pour les enfants que les relations « synonymes », « ordre » et « catégorie ». Les résultats ont montré que les enfants plus jeunes – âgés de 9 et de 12 ans se basaient sur des associations lorsqu'ils essayaient de faire l'analogie. Les auteurs en ont conclu que le raisonnement des jeunes enfants était affecté fortement, mais pas complètement, par des relations associatives lors de la recherche de la solution analogique. Une des critiques adressées à cette étude par Goswami (1991) est que les auteurs n'ont pas testé la compréhension des relations impliquées dans les analogies utilisées.

L'hypothèse associative du développement du raisonnement par analogie a été critiquée – l'utilisation d'analogies verbales pourrait inciter les jeunes enfants à choisir des réponses par association.

2.2. Théorie structuraliste et constructiviste de Piaget

Piaget et sa théorie du développement de l'intelligence

Selon Piaget, la capacité à faire des analogies n'apparaît qu'assez tardivement, notamment pendant le stade des opérations formelles, atteint vers l'âge de 11-12 ans (Piaget, Montangero & Billeter, 1977). C'est le dernier stade du développement logique. Goswami & Brown (1989, 1990) ont montré que cette hypothèse n'était pas vérifiée – de très jeunes enfants, âgés de trois ans sont capables de faire des analogies dès lors qu'ils possèdent les connaissances nécessaires sur les relations impliquées dans l'analogie. Gelman & Markman (1987) ont également montré que les enfants de 3 ans et de 4 ans pouvaient raisonner par analogie.

La théorie de Piaget est une théorie universelle : elle postule que tous les enfants construisent les mêmes structures selon un ordre bien déterminé qui est le même pour tous.

Nous allons présenter brièvement cette théorie afin d'introduire les trois stades du développement du raisonnement analogique selon Piaget et la manière dont il a testé ce raisonnement.

L'objectif général de Piaget est de décrire la genèse des connaissances scientifiques de l'enfant. Cette genèse est sous-tendue par la construction de nouvelles structures. Une structure se traduit par un ensemble d'acquisitions organisées et détermine toutes les applications qu'elle recouvre. Le terme « théorie constructiviste » signifie que cette théorie explique le développement cognitif à la fois en termes d'empirisme et de maturationnisme. L'idée défendue par Piaget est qu'il existe une base biologique au développement de l'intelligence – les mécanismes fonctionnels qui sont innés. Cependant, c'est surtout au cours de l'action du sujet sur son environnement que vont se construire progressivement les structures de l'intelligence. C'est une approche qualitative de l'intelligence parce que la construction des connaissances s'effectue de manière graduelle et séquentielle. Pour Piaget, le développement intellectuel serait déterminé par quatre facteurs développementaux : la maturation du système nerveux, l'expérience physique et logico-mathématique, les facteurs sociaux et l'équilibration. Ce dernier facteur joue un rôle crucial dans la théorie car il régit le développement de l'intelligence.

Selon Piaget, le point de départ du développement de l'intelligence est biologique – il s'agit des réflexes qui sont innés. Ils rendent compte de l'organisation automatique des

actions et des perceptions. Dans sa théorie, Piaget décrit trois stades du développement de l'intelligence (Piaget & Inhelder, 1966) :

1) Stade de l'intelligence sensori-motrice – qui correspond à la période dès la naissance jusqu'à l'âge de 2 ans environ. Il réfère aux connaissances pratiques du bébé qui utilise son corps pour découvrir le monde qui l'entoure. Il acquièrt également la notion de causalité.

2) Stade des opérations concrètes – qui correspond à l'âge de 7 à 11-12 ans approximativement. Ce stade est précédé par une période préopératoire (2 ans – 7 ans) caractérisée par l'apparition de l'image mentale, du langage, ou encore du dessin. Cette capacité de représentation est cruciale – selon Piaget, la pensée symbolique est « la capacité d'évoquer des objets ou des situations non perçues actuellement, en se servant de signes ou de symboles » (Piaget et Inhelder, 1969, p.69, cités par Laval, 2007). Dans le stade des opérations concrètes, l'enfant a accès à des formes de raisonnement plus complexes – des opérations mentales de classification, sériation, combinaison d'objets, et autres, mais elles nécessitent un support concret – la présence des objets en question. L'enfant accède d'abord à la pensée intuitive qui reste rigide et irréversible, puis à la pensée opératoire qui est marquée par la réversibilité de toute opération.

3) Stade des opérations formelles – qui commence à partir de 11-12 ans jusqu'à 16 ans approximativement. Les notions de conservation du nombre, de la substance, du poids et du volume sont déjà acquises. Ce dernier stade aboutit à la pensée scientifique via la construction de la pensée formelle qui permet l'établissement de relations entre la réalité et la probabilité, la possibilité. L'adolescent est capable de raisonner de façon abstraite, hypothético-déductive – il émet des hypothèses et les vérifie.

La théorie de Piaget a été indéniablement un cadre de référence prépondérant en psychologie du développement. Sa principale limitation consiste dans le fait de réduire le développement cognitif aux seuls contenus de la pensée logico-mathématique. Aujourd'hui, elle est considérée comme trop conservatrice.

Les trois stades du raisonnement analogique selon Piaget

Parmi les nombreuses tâches utilisées par Piaget pour étudier le développement cognitif de l'enfant, nous retrouvons une tâche d'analogie classique du type *A :B :: C :D* avec des dessins, ce qui permettait de tester de très jeunes enfants. L'enfant devait d'abord identifier le dessin, ensuite l'expérimentateur lui demandait de « mettre ensemble les dessins qui semblent aller bien ensemble ». Cette première étape est appelée « relations d'ordre faible » pour la différencier de l'étape suivante – « relations d'ordre élevé » ou analogie. Dans cette dernière étape, l'enfant avait pour consigne de faire des ensembles de quatre dessins : « les quatre doivent aller bien ensemble ». A la fin, on demandait à l'enfant pourquoi il avait mis ensemble ces dessins. Voici un exemple d'analogie : *bateau : gouvernail :: vélo : guidon.* Quant à la nature des relations – celles d'ordre faible ou de bas niveau, seraient plutôt associatives, alors que les celles d'ordre élevé ou de haut niveau seraient plutôt causales. Si l'enfant échouait à faire l'analogie, l'expérimentateur lui posait des questions pour l'aider. Si, au contraire, l'enfant faisait l'analogie, l'expérimentateur utilisait des contre-suggestions pour tester la compréhension des analogies. Pour Piaget (Piaget & al, (1977), cité par Goswami, 1991), l'enfant était capable de raisonner par analogie s'il pouvait résister aux contre-suggestions.

Il est important de noter que la compréhension des relations entre les items de chaque paire de l'analogie n'est pas testée dans cette tâche ! De plus, la consigne donnée aux enfants, notamment chercher des paires de dessins qui « vont bien ensemble » ne spécifie pas la nature de la relation entre les objets qu'ils sont en train de chercher. Enfin, l'acceptation des contre-suggestions de l'expérimentateur par l'enfant est également à discuter. En effet, plusieurs études ont montré que les enfants ne voulaient pas, ou plutôt n'osaient pas contredire un adulte (Donaldson, Grieve & Pratt, 1983, cité dans Goswami, 1991). Par conséquent, le fait d'accepter la contre-suggestion de l'expérimentateur ne signifierait pas forcément que l'enfant n'a pas compris les relations impliquées dans l'analogie.

En se référant aux performances des enfants à cette tâche, Piaget a défini trois stades du développement du raisonnement par analogie :

1) Stade I (préopérationnel) : l'enfant n'est pas capable de raisonner par analogie. Selon Piaget, les réponses des enfants dans ce stade sont égocentriques et idiosyncrasiques.

Il existe une variété des relations utilisées par les enfants pour expliquer l'appariement entre les deux termes de chaque paire de l'analogie. Ils ne sont pas capables d'établir des relations d'ordre faible.

- Niveau IA : ce stade est caractérisé par l'incapacité à construire des relations d'ordre faible.

Voici un cas de niveau IA donné comme exemple par Piaget & al (1977) :

« Cou (5;3) construit parfois des paires selon des appartenances objectives : guidon-vélo ; gouvernal-bateau ; mais aussi selon des ressemblances figurales : aspirateur-bateau « parce qu'il ressemble à un bateau » ; des contiguïtés : bateau-oiseau « parce que l'oiseau quelquefois il est sur le lac » ; des relations causales occasionnelles : aspirateur-plume « parce que l'aspirateur il aspire la plume et parce que l'oiseau des fois il est caché derrière », etc. Lorsqu'on essaie de lui faire comprendre le principe d'une matrice à deux paires on obtient des rapprochements du même type. Par exemple, pour 1-2 gouvernail-guidon au-dessus de 3-4 bateau-vélo, Cou relie par la diagonale gouvernail à vélo : « Il y a des choses qui roulent et (autre diagonale) d'autres qui ne roulent pas. » On sépare alors les deux colonnes verticales 1-3 et 2-4 : elle rapproche vélo de bateau, « parce que c'est au bord de l'eau ». Une semaine après, Cou raconte ses souvenirs : « Il y avait des plumes avec l'oiseau et la prise qui allait avec l'aspirateur » et « Il y avait la casserole qui allait avec le couvercle et un four avec la casserole ». Quant à l'épreuve connue consistant à remplir la quatrième case d'une matrice on obtient pour (1) oiseau et (2) plume et (3) chien la réponse suivante pour la case (4) : « Une ficelle pour tenir le chien » et lorsqu'on offre à choix une auto, les poils ou l'aspirateur, Cou choisit l'auto « parce que quelquefois le chien il va dans l'auto ». Il va de soi que l'échec aux tentatives de corrélats est à peu près systématique, mais à l'exception de deux ébauches momentanées qui sont à relever soigneusement : c'est la relation du guidon à la bicyclette comparée au gouvernail du bateau « parce que ça c'est le volant de la bicyclette et ça le volant du bateau »… « ça sert à conduire… le volant c'est ce qu'on conduit, le guidon c'est la même chose » ; l'autre est la relation bouchon-bouteille et couvercle-casserole « parce qu'il y a quelque chose qui saute de la casserole » et qu'il faut donc la fermer. Mais il ne s'agit que de relations momentanément rapprochées sans corrélat stable : un fourneau pourrait remplacer le couvercle de la casserole « parce que quelquefois on la chauffe avec le fourneau », etc.

- Niveau IB : l'enfant peut construire des relations d'ordre faible (entre les deux items de chaque paire de l'analogie) mais ne peut pas faire l'analogie (relations d'ordre élevé).

Voici un exemple de cas de niveau IB, décrit par Piaget & al (1977) :

Can (5;8) construit ses paires de façon régulière : aspirateur-prise « autrement on ne peut pas aspirer », guidon-vélo « pour tourner », gouvernail-bateau « pour conduire le bateau », auto-essence « pour rouler », oiseau-plume « autrement il ne peut pas voler » et chien-poils « autrement il a froid ». A part cette dernière justification toutes font donc appel à une mise en marche ou à une direction. Néanmoins, aucune des matrices ou des relations de relations n'est réussie : Can aligne auto-essence à côté de vélo-guidon : « ça c'est un vélo et ça une voiture : c'est pour aller sur la route. » Pour oiseau-plume, il n'accepte que chien-poils, mais « parce que le chien mange l'oiseau : c'est les plumes (il montre plumes et poils comme résidu de ce festin) ». « Trouve quelque chose pour la casserole comme le bouchon est pour la bouteille. – (Il renverse la bouteille sur la casserole.) On met du vin dans la casserole. »

Paradoxalement, dans ce stade, Piaget rapporte également certains cas où l'enfant comprend les relations causales nécessaires pour faire l'analogie. Ces signes de compréhension des analogies à ce stade ne sont pas compatibles avec sa théorie.

2) Stade II (opérationnel concret) : l'enfant réussit occasionnellement la tâche d'analogie.

- Niveau IIA : l'enfant comprend les relations entre les items de chaque paire de l'analogie et peut faire l'analogie par la méthode essais-erreurs. Cependant, il n'est pas capable de résister aux contre-suggestions.

Voici un cas de niveau IIA, décrit par Piaget & al (1977) :

Mag (6;9) construit les couples sans difficultés. « Peux-tu mettre après ces deux-là (chien-poils) deux autres pour que les quatre aillent bien ensemble ? – (Il met oiseau-plumes) ? – C'est ce qu'il y a sur les animaux. Réussite aussi à casserole-couvercle, etc. : « Parce que c'est les deux pour mettre de l'eau (casserole et bouteille). Et ça. – C'est pour fermer en haut. » De même avec bateau-gouvernail et vélo-guidon, mais il est d'accord de remplacer celui-ci par une pompe-vélo « pour gonfler les pneus. –Lequel va le mieux ? – ça va les deux. – La pompe et le gouvernail, ça va ? – Non, le guidon pour les deux. »

- Niveau IIB : à la différence du sous-stade précédent, l'enfant est capable de rejeter les contre-suggestions mais pas encore de manière systématique.

Voici un exemple de cas de niveau IIB décrit par Piaget & al (1977) :

Dav (8;2) construit ses couples, qu'on lui demande ensuite de relier en quatre : il rapproche auto-pompe de vélo mais ne sait pas que faire du guidon. Puis il fait le quaterne oiseau-plumes et chien-poils « parce que c'est des animaux et ça des choses d'animaux qui tiennent chaud. – Et si on remplaçait les plumes par le nid : on ne peut pas dire que le nid est pour l'oiseau comme la fourrure au chien ? – ça irait, non le nid n'a pas de poils : le chien a des poils et l'oiseau on ne sait plus ce qu'il a (si on remplace plumes par nid) ».

3) Stade III (opérationnel formel) : ce stade est marqué par la capacité à raisonner par analogie. En d'autres termes, l'enfant est capable d'extraire et d'utiliser des relations d'ordre élevé, ainsi que de résister aux contre-suggestions.

Voici un exemple de cas de Stade III décrit par Piaget & al (1977) :

Eri (10;9) après réussites rapides invente comme corrélat : une lampe de poche-une pile et un fourneau-le gaz. On lui propose de comparer la proportion 2/4 = 3/6 prise/aspirateur = pompe à essence/auto. « Que veut dire le signe = ? – ça fait la même chose : les 2/4 c'est la moitié, les 3/6 aussi. – Et ça ressemble à ça (corrélats). – Oui, la prise et la pompe ça sert à la même chose. – Le signe = vaut seulement pour la prise et la pompe ? – Je ne vois pas pourquoi. Ah ! oui la prise c'est pour l'aspirateur et la pompe pour l'auto. »

En conclusion, la description de la théorie du développement du raisonnement analogique de Piaget reflète sa théorie générale du développement de l'intelligence. Les trois stades par lesquels passe le développement de l'enfant des deux théories sont similaires. La capacité à raisonner par analogie n'est acquise qu'au dernier stade – celui des opérations formelles.

2.3. Théorie de la mise en correspondance entre structures de Gentner (1983, 1989)

A la différence des théories de Sternberg et de Piaget qui reposent sur une tâche d'analogie classique, la théorie de Gentner est basée plutôt sur une tâche de résolution de problèmes. Le point crucial de cette théorie se trouve dans l'opposition entre des *similitudes de surface ou attributs*, qui portent sur les caractéristiques physiques et donc perceptives des objets, et *des similitudes relationnelles ou structures.* En d'autres termes, cette théorie est basée sur la reconnaissance de similitudes entre une représentation d'une situation source et une représentation d'une situation cible. Selon cette théorie, l'analogie est caractérisée par la mise en correspondance (mapping) des relations entre les objets, plutôt que la mise en correspondance entre leurs attributs. De plus, les relations qui sont mises en correspondance seraient des relations d'ordre élevé – l'analogie serait un processus qui reposerait sur les similitudes relationnelles ou structurales. Cependant, plusieurs recherches comme celle de Gentner & Toupin (1986), ont montré que la similitude de surface entre la source et la cible jouait un rôle primordial dans l'analogie.

La plupart des chercheurs dans le domaine du raisonnement analogique (Sternberg, 1977 ; Gentner & Markman, 1997 ou encore Holyoak & Thagard, 1997) attribuent la place centrale dans le raisonnement par analogie à l'étape de mise en correspondance (mapping) entre les deux situations ou domaines. Gentner différencie trois types de similitudes entre une source et une cible : similitudes entre attributs, similitudes entre relations d'ordre faible et similitudes entre relations d'ordre élevé. Pour faire l'analogie, la personne doit mettre en correspondance les connaissances d'un domaine (la base) et les connaissances d'un autre domaine (la cible) en se basant sur les similitudes d'ordre élevé. Dans de nombeurses études, Gentner s'est également interéssée au rôle du langage dans le raisonnement par analogie et a montré que son utilisation, surtout l'utilisation de concepts familiers aux enfants pour nommer les objets qui leur étaient présentés, améliorait leur performance à la tâche d'analogie (Kotovsky & Gentner, 1996 ; Rattermann & Gentner, 1998 ; Christie & Gentner, 2007).

Le modèle SME (Structure-Mapping Engine) de Falkenhainer, Forbus & Gentner (1989) présente quatres étapes du raisonnement par analogie :

1) phase d'appariement local – le SME trouve tous les appariements possibles entre la source et la cible. Ces appariements sont appelés des hypothèses d'appariement.

2) phase d'appariement d'ensemble – lors de cette phase, une série d'appariements cohérents permettant de faire l'analogie est construite. Ces appariements seront par la suite testés. Parallèlement, toutes les hypothèses qui ne respectent pas la cohérence de la structure sont éliminées.

3) phase de production de candidats à l'inférence – ces candidats potentiels doivent faire partie d'un système relationnel commun entre la source et la cible.

4) phase d'évaluation structurale – cette phase est nécessaire uniquement si le système a créé plusieurs interprétations de l'analogie. Dans ce cas, un score d'évaluation structurelle est calculé pour chaque interprétation dans le but d'en choisir une.

Gentner (1989) distingue deux types de similarité qui diffèrent de l'analogie. Selon elle, lorsque la similarité est littérale on apparie les relations, aussi bien que les attributs, entre la source et la cible. Lorsque la similarité est basée sur la simple apparence (mere-appearance) on apparie uniquement les attributs entre la source et la cible. Par contre, dans une analogie on apparie uniquement les relations entre la source et la cible.

Gentner décrit également deux principes qui sont centraux dans sa théorie, ils interviennent notamment lors de la mise en correspondance entre les structures de la source et de la cible:

Principe de systématicité – selon Gentner, un ensemble cohérent de relations est transféré de la source à la cible. « Les gens préféreraient mettre en correspondance des systèmes de relations gouvernés par des relations d'ordre élevé avec un apport inférentiel, plutôt que des prédicats isolés. » (Gentner, 1989, citée par Sander, 2000). Clement & Gentner (1991) ont montré cette préférence chez les adultes. De plus, cette attention portée sur un système commun de relations contraint la sélection d'informations à inclure dans l'analogie. Une analogie se réaliserait de manière globale. Selon Gentner (1988), le principe de systématicité reflète la préférence pour la cohérence et la déduction lors du transfert analogique.

Principe de transparence – il a été introduit par Gentner & Toupin (1986). Le degré de ressemblance perceptive entre les objets de la situation source et de la situation cible influencerait le raisonnement par analogie. La transparence est élevée lorsque la similarité de surface entre la source et la cible est forte.

L'hypothèse de déplacement relationnel (Relational Shift), Gentner (1989)

Pour Gentner, le développement du raisonnement analogique se caractérise par un déplacement relationnel (« relational shift ») – les jeunes enfants se baseraient initialement sur les caractéristiques perceptives communes entre la situation source et la situation cible pour faire l'analogie. Ce n'est que plus tard au cours du développement que leur attention se déplacerait vers les aspects relationnels ou les structures de la source et de la cible. Par exemple, si un enfant doit interpréter une métaphore comme « *Un magnétophone est comme une caméra.* », un jeune enfant va se baser sur les traits perceptifs des deux objets (« *Les deux sont faits de métal et sont noirs.* », alors qu'un enfant plus âgé va se baser sur la structure relationnelle entre les deux objets (« *On peut enregistrer avec les deux.* »), Gentner (1988).

Dans la littérature sur le développement cognitif de l'enfant, il existe au moins trois explications possibles de ce déplacement relationnel. La première explication, donnée par Inhelder & Piaget (1958) se trouve dans l'accroissement des compétences cognitives, qui renvoie à la notion de stade du développement intellectuel. La deuxième possibilité serait que les enfants possèdent les compétences nécessaires pour faire l'analogie mais ils n'ont pas encore appris les conventions pragmatiques des adultes quant aux parties qu'ils doivent mettre en correspondance. En effet, pour faire l'analogie, la personne doit transférer la relation entre les termes *a : b* aux termes *c : d*. La troisième explication, qui a été adoptée par Gentner, est que le déplacement relationnel résulterait de l'accroissement des connaissances que les enfants ont du domaine de l'analogie. En d'autres termes, les enfants échoueraient à faire une analogie parce qu'ils ne possèdent pas les connaissances sur les relations impliquées dans l'analogie.

La preuve de l'existence d'un déplacement relationnel (« relational shift ») dans le développement de la compréhension des analogies a été rapportée dans deux études de Gentner que nous allons voir en détail.

Dans l'étude de Gentner & Toupin (1986), les auteures se sont intéressées à la capacité des enfants à faire l'analogie entre de petites histoires en utilisant des personnages-jouets qui variaient d'une histoire à l'autre. Elles ont testé le principe de systématicité ou le degré de structure causale explicite de l'histoire source, ainsi que le principe de transparence qui concernait les appariements entre les objets de la source et de la cible. Des enfants âgés de 4, 6, 8 et 10 ans ont pris part à cette étude. Ils devaient écouter une histoire et la raconter par la suite en utilisant les jouets qu'ils avaient à leur disposition. Lorsqu'ils avaient raconté

l'histoire avec les jouets, l'expérimentateur leur demandait de la raconter encore une fois mais cette fois-ci en utilisant de nouveaux personnages. La systématicité a été manipulée par la présence ou l'absence de morale à la fin de l'histoire (condition systématique et condition non systématique respectivement). Quant au principe de transparence, pour chaque histoire-cible, trois histoires sources avec des personnages différents avaient été mises en place. Ces trois histoires sources correspondaient à trois niveaux de transparence (Transparence faible vs Transparence moyenne vs Transparence forte) – voir figure 5. L'hypothèse des chercheurs concernant le principe de systématicité était que lorsque l'histoire se terminait par une morale, la mise en correspondance entre les deux histoires serait facilitée par rapport à l'absence de morale à la fin de l'histoire. Quant au principe de transparence, leur hypothèse était que le transfert de l'histoire-source sur de nouveaux personnages devrait être plus facile si ces personnages avaient une apparence similaire à celle des personnages de l'histoire-source que si leur apparence était différente de celle des personnages de l'histoire source.

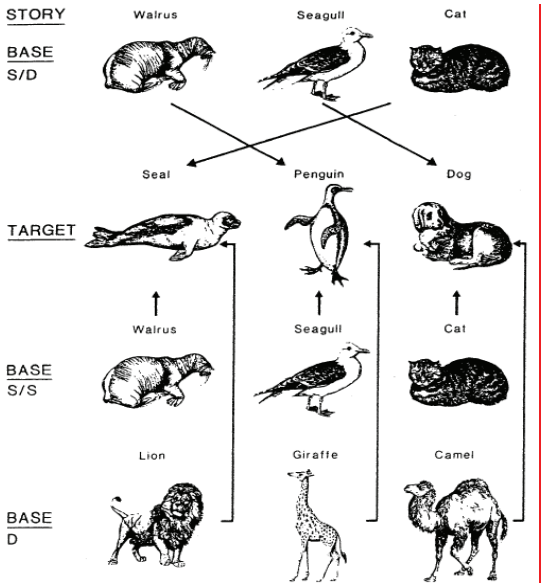


Figure 5. Exemple des stimuli utilisés dans l'étude de Gentner & Toupin (1986)

S/D - (Personnages *similaires*/Rôles *différents*) **Transparence faible**
S/S - (Personnages *similaires*/Rôles *similaires*) **Transparence forte**
D/S - (Personnages *différents*/Rôles *similaires*) **Transparence moyenne**

Les résultats ont révélé que les enfants plus âgés seuls – les groupes de 8 ans et de 10 ans – avaient bénéficié de la systématicité et cet avantage a été le plus important dans la condition la plus difficile – Transparence faible. La transparence influençait fortement le tranfert des relations à tous les âges. La conclusion des auteurs était que la systématicité

apparaîtrait plus tardivement dans le développement cognitif de l'enfant que la similarité de surface et ainsi déterminerait la performance des enfants dans une tâche d'analogie. Par conséquent, il y a bien un déplacement relationnel qui se produit au cours du développement intellectuel de l'enfant.

La critique majeure de cette étude est faite par Goswami (1991). Selon elle, les enfants peuvent échouer à bénéficier de la systématicité dans cette tâche parce qu'ils n'ont pas les connaissances nécessaires sur les relations impliquées dans ces histoires. En effet, la tâche portait sur des émotions et des motivations sophistiquées telles que la jalousie et l'avidité. Or, si les enfants ne possèdent pas les connaissances nécessaires à ce sujet, ils ne seraient pas capables de prédire les effets de ces émotions sur le comportement des personnages.

La deuxième étude qui démontre l'existence d'un déplacement relationnel d'une attention portée sur les caractéristiques perceptives de la situation à une attention portée sur les caractéristiques structurelles de la situation au cours du développement cognitif de l'enfant est celle de Gentner (1988). Elle a testé la capacité des enfants à interpréter trois types de métaphores. Elle proposait aux enfants des métaphores dont l'information utilisée pour pouvoir les interpréter était basée sur des attributs (*Le soleil est comme une orange.*), sur des relations (*Un toit est comme un chapeau.*) ou bien sur les deux (*Un lac est comme un miroir.*). L'hypothèse de Gentner était que les enfants seraient capables de comprendre les métaphores basées sur les attributs bien avant de pouvoir comprendre les métaphores basées sur les relations. Dans la première expérience, des enfants de 5-6 et 9-10 ans, ainsi qu'un groupe d'adultes ont été testés. Dans la deuxième expérience, des enfants âgés de 4-5 et 7-8 ans, ainsi que des adultes devaient choisir entre deux interprétations – relationnelle ou bien attributionnelle des métaphores. Les résultats des deux expériences ont montré que la compréhension des métaphores relationnelles augmentait avec l'âge, et que ce n'était pas le cas de la compréhension des métaphores attributionnelles. De plus, pour la première étude qui impliquait des métaphores doubles, les enfants plus jeunes donnaient une interprétation en se basant sur les attributs de ces métaphores, alors que les enfants plus âgés les interprétaient en se basant sur les relations entre les objets de la métaphore. Ces résultats sont compatibles avec l'hypothèse de déplacement relationnel.

Goswami critique cette étude parce que la compréhension des relations impliquées dans les métaphores n'avait pas été testée. Gentner, elle-même, cite en défendant l'explication du déplacement relationnel en termes d'acrroissement des connaissances des enfants, une de

ses études (Gentner, 1977) dans laquelle même les enfants de 4 ans étaient capables d'interpréter des métaphores. L'expérimentateur montrait des images d'objets familiers tels qu'un arbre à l'enfant et lui demandait de pointer du doigt l'endroit qui correspondrait à une partie du corps humain : « Si l'arbre avait un genou, il serait où ? ». De la même manière, Crisafi & Brown (1986) cités par Gentner (1988), ont montré que de très jeunes enfants pouvaient faire l'analogie entre un problème difficile et un autre plus simple uniquement lorsque le problème de base était composé d'objets et d'activités familiers.

2.4. Théorie de Goswami

Selon Goswami (1991, 1992, 2001), le développement du raisonnement par analogie est le résultat de l'accroissement des connaissances de l'enfant. Nous allons présenter deux études qui testent cette hypothèse et dans lesquelles Goswami montre que même à l'âge de 3 ans les enfants sont capables de raisonner par analogie s'ils possèdent des connaissances sur les relations qui y sont impliquées.

Dans une première expérience, Goswami & Brown (1989) ont utilisé une tâche d'analogie classique *a : b :: c : d*. Un feed-back a été donné à chaque fois. Les analogies proposées aux enfants étaient basées sur des relations simples de causalité physique – fondre, couper, casser, etc… La compréhension de ces relations se développe à l'âge de 3-4 ans (Bullock, Gelman & Baillargeon, 1982). Les dessins présentaient des objets familiers aux enfants, objets qui par la suite subissaient une transformation causale. L'enfant avait le choix entre cinq possibilités : la solution analogique, un distracteur perceptif sur le terme C, un objet différent du terme C qui avait subi la transformation correcte, un associé sémantique au terme C et le même objet que C mais qui avait subi une transformation incorrecte (non analogique). De point de vue théorique, la présence de ces distracteurs avait pour objectif de tester deux hypothèses : l'hypothèse de Gentner, selon laquelle les enfants plus jeunes se baseraient sur les caractéristiques perceptives de l'objet et l'hypothèse associative de Sternberg ou de Piaget, selon laquelle l'enfant plus jeune se baserait sur une relation d'association. La tâche de l'enfant était de « choisir l'image qui finit la rangée ». Il devait d'abord nommer les images pour être sûr qu'il reconnaissait les objets. Il y avait des analogies comme – *œuf : œuf cassé :: lampe : lampe cassée* et les distracteurs suivants : *assiette cassée ; lampe allumée ; bouteille ; torche*. Trois groupes d'enfants ont été testés : des enfants de 3 ans, 4 ans et 6 ans. Les enfants étaient testés deux fois : une fois pour la tâche d'analogie et une autre pour une tâche contrôle dans laquelle les items A, B et C se trouvaient à une distance égale l'un de l'autre, alors que la

distance entre B et C était plus grande dans la tâche d'analogie pour démarquer l'existence de deux paires d'items – la source et la cible. Les résultats ont montré que 90% des analogies étaient réussies par les enfants de 4 et de 6 ans et 52% par les enfants de 3 ans s'ils connaissaient les relations impliquées dans les analogies. Goswami conclut que le raisonnement par analogie n'est pas une compétence acquise tardivement au cours du développement. L'analyse des erreurs a révélé que l'erreur la plus répandue était le choix du distracteur « objet correct, transformation incorrecte », un choix qui pourrait refléter de fausse connaissance de causalité ou bien être le résultat d'un appariement perceptif. Ce résultat va à l'encontre du déplacement relationnel de Gentner qui prédit un choix basé sur les traits perceptifs. Dans une deuxième expérience et dans le but de modifier encore plus l'apparence de l'objet transformé, Goswami & Brown proposent deux conditions : même apparence vs apparence différente. L'idée est que si le choix de la solution analogique des enfants dans la première étude a été basé sur la similarité de surface entre les deux objets, on devrait observer une meilleure performance dans la condition « même apparence ». Elles n'obtiennent pas de différence entre les deux conditions.

Rattermann & Gentner (1998) répondent à Goswami & Brown, en affirmant que les distracteurs perceptifs utilisés dans leur étude n'étaient pas suffisamment ressemblants au terme C. En effet, les jugements de similarité entre le distracteur perceptif et le terme C de l'analogie d'un groupe de 30 étudiants rapportés par Gentner ne diffèrent pas significativement des jugements de similarité entre la solution analogique et le terme C. Par la suite, Rattermann & Gentner modifient les stimuli et font l'étude avec le nouveau matériel. Les résultats vont dans le sens de l'hypothèse de déplacement relationnel (voir figure 6). Dans cet article, Gentner reconsidère le rôle de la similarité perceptive dans la compréhension des analogies chez les enfants. En effet, longtemps considérée comme un facteur entrant en compétition avec la structure relationnelle des analogies et donc empêchant de faire l'analogie, elle s'avère être un facteur contribuant à la compréhension des analogies (Gentner, 1989 ; Gentner, Rattermann & Forbus, 1993, Gentner & Medina, 1998).

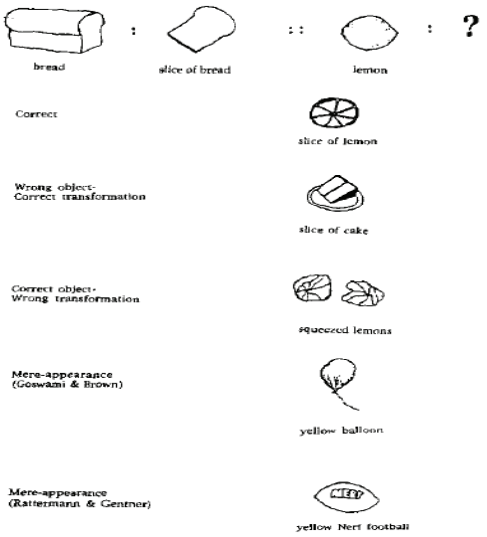


Figure 6. Exemple des stimuli utilisés par Goswami & Brown (1989) avec la condition de similarité perceptive simple revue par Rattermann & Gentner (1998)

Dans une autre étude, Goswami & Brown (1990) ont testé l'hypothèse associative soutenue par Piaget ou par Sternberg. Pour cela, elles ont mis en compétition la solution analogique avec un distracteur thématique. La tâche utilisée était une tâche d'analogie classique *a : b :: c : d*. La procédure était similiare à celle de l'étude de Goswami & Brown (1989). Les relations utilisées étaient familières aux enfants des trois groupes d'âge testés – 4 ans, 5 ans et 9 ans. L'enfant devait choisir un dessin parmi quatre – la solution analogique, un distracteur thématique, un autre distracteur appartenant à la même catégorie que le terme C et un distracteur perceptif (voir figure 7 et tableau 1). Avant de proposer les quatre solutions possibles à l'enfant, l'expérimentateur lui demandait de prédire la réponse. Les enfants devaient justifier leurs réponses systématiquement. Il y avait deux conditions – la tâche d'analogie et la tâche de contrôle thématique dans laquelle on présentait uniquement le terme C de l'analogie et les quatre choix possibles. La prédiction des auteurs était que la solution analogique serait choisie significativement plus souvent dans la tâche d'analogie que dans la tâche de contrôle thématique. Cette hypothèse a été confirmée pour tous les groupes d'âge. Par contre, aucune préférence entre les réponses analogiques et thématiques n'a pas été observée dans la condition thématique. Dans la condition Analogie, 100% des enfants de 9 ans avaient réussi au minimum six des dix analogies proposées, ce pourcentage était de 65 % pour le groupe de 5 ans et de 60 % pour les enfants de 4 ans. De plus, pour chaque essai l'expérimentateur demandait à l'enfant s'il pourrait y avoir une autre réponse dans le but de tester la proposition de Goldman & Pellegrino (1984) selon laquelle les jeunes enfants

auraient des difficultés à comprendre les contraintes de l'analogie. Dans 60 % des cas les enfants de 4 ans n'ont pas choisi une autre solution dans la condition Analogie, contre 18 % dans la condition Thématique. Goswami & Brown concluent que même en présence de relation associative en compétition avec la relation analogique, de très jeunes enfants peuvent raisonner par analogie. Ce résultat va à l'encontre des points de vue de Sternberg & Nigro (1980) et de Goldman, Pellegrino, Parseghian & Sallis (1982) et qui soutiennent l'hypothèse associative. Il va également à l'encontre de l'hypothèse de déplacement relationnel de Gentner – les solutions analogiques dans cette étude n'étant pas perceptivement proches aux termes C. Goswami écarte cette hypothèse en se basant également sur une étude de Brown & Kane (1988) grâce à laquelle il a été mis en évidence que des enfants de 3 ans pouvaient faire l'analogie dans une tâche de résolution de problème en absence de similarité de surface entre les stimuli.

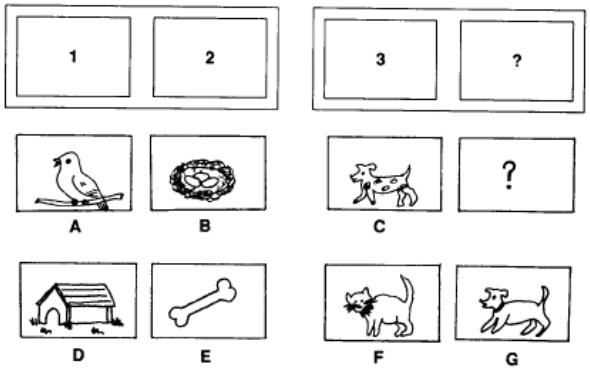


Figure 7. Exemple des stimuli utilisés dans l'étude de Goswami & Brown (1990)

Analogie (a : b :: c :d)	**Distracteur thématique (e)**	**Distracteur appartenant à la même catégorie (f)**	**Distracteur perceptif (g)**
araignée : toile :: abeille : ruche	miel	fourmi	mouche
crayon : gomme :: craie : éponge	tableau noir	peinture	crayons
chien : panier :: bébé : berceau	biberon	chaton	poupée
train : rails :: bateau : eau	marin	voiture	canoë
robe : cintre :: manteau : patère	chapeau	pull	manteau
oiseau : nid :: chien : niche	os	chat	chien
gants : mains :: chaussures : pied	chaussettes	bottes	chaussures

vache : lait :: poule : œuf	plume	canard	coq
roi : couronne :: policier : chapeau policier	voiture de police	pompier	femme policier
oiseau : avion :: poisson : bateau	filet	crabe	poisson

Tableau 1. Analogies utilisées dans Goswami & Brown (1990)

Cette étude montre que même de très jeunes enfants sont capables de raisonner par analogie. Ces résultats sont soutenus par les résultats d'Alexander, Willson, White & Fuqua (1987) qui ont testé la compréhension d'analogies non verbales chez de très jeunes enfants. Ils ont utilisé des figures géométriques et des relations telles que la couleur, la forme ou bien la taille des objets. Dans une autre éxpérience, Goswami (1989) a utilisé des analogies non verbales basées sur des relations de proportions. Elle a montré que la complexité relationnelle affectait le raisonnement analogique des enfants de 4 à 8 ans, mais que même certains enfants de 4 ans arrivaient à faire des analogies en se basant sur des relations d'ordre élevé.

Notre point de vue est que l'étude de Goswami & Brown (1990) présente un point faible qui aurait biaisé leurs résultats. Notamment, la majorité des relations analogiques sont aussi des relations d'association sémantique forte. En effet, les termes *a : b*, ainsi que les termes *c : d*, utilisés dans les analogies étaient souvent fortement associés (voir tableau 1). Par conséquent, choisir la solution analogique (d) ne nécessiterait pas vraiment la présence de la paire *a : b* dans la plupart des cas. Cela a été confirmé par le nombre de fois que chaque réponse avait été sélectionnée dans la condition contrôle de l'étude. Les réponses analogiques ont été souvent sélectionnées, tout comme les distracteurs thématiques (voir tableau 2 – pour les groupes de 4 et de 5 ans). C'est pour cette raison que dans nos études sur des analogies sémantiques, nous avons manipulé la force d'association sémantique entre les deux termes de chaque paire (a : b / c : d) de l'analogie.

*Number of times each response selected out of 10**

Order	Condition	Response: Analogy (D)	Thematic (E)	Both (D/E)	Category (F)	Mere Ap (G)
5-year-olds:						
A/Con.	Analogy	6.55 (1.61)	2.78 (1.31)	0.00 (0.00)	0.33 (0.75)	0.33 (0.54)
	Control	8.22 (1.20)	1.55 (0.94)	0.11 (0.35)	0.00 (0.00)	0.11 (0.35)
Con./A.	Analogy	6.55 (1.61)	2.22 (1.81)	0.00 (0.00)	0.67 (0.78)	0.56 (1.20)
	Control	3.22 (2.25)	3.00 (2.22)	2.89 (3.06)	0.33 (0.54)	0.56 (0.94)
4-year-olds:						
A/Con.	Analogy	5.90 (1.60)	2.90 (1.52)	0.00 (0.00)	0.40 (0.52)	0.80 (0.63)
	Control	5.10 (1.52)	2.70 (1.77)	0.80 (1.23)	0.80 (0.79)	0.50 (0.71)
Con./A.	Analogy	4.10 (2.28)	2.70 (1.25)	0.10 (0.32)	1.20 (1.03)	1.90 (1.60)
	Control	3.20 (1.62)	2.30 (1.25)	0.40 (0.97)	0.70 (0.95)	3.30 (2.21)

Tableau 2. Nombre de fois (sur 10) que chaque réponse parmi les 4 proposées a été sélectionnée (dans Goswami & Brown, 1990)

Hypothèse de primauté des relations (relation primacy view)

En 1992, Goswami propose une alternative à l'hypothèse de déplacement relationnel – l'hypothèse de primauté des relations. Selon elle, la capacité à raisonner par analogie serait présente chez l'enfant dès très jeune âge. La condition nécessaire pour faire l'analogie serait de connaître les relations impliquées dans cette dernière. A la différence de l'hypothèse de déplacement relationnel de Gentner, qui prédit une majorité d'erreurs perceptives lorsque les connaissances sur ces relations sont absentes, l'hypothèse de primauté des relations ne prédit pas de type d'erreurs plus fréquent que les autres. Gentner et Goswami s'accordent sur l'explication de la capacité des enfants à faire l'analogie en termes d'accroissement de leurs connaissances, plutôt qu'en termes de maturation de leur système nerveux. Cette idée est soutenue également par d'autres auteurs, tels que Brown (1989, 1990), Brown & Kane (1988), Chen & Daehler (1989), Crisafi & Brown (1986), Gentner (1988) ou Vosniadou (1987, 1989).

Etudes d'Ann Brown

Brown s'est intéressée au développement de la compréhension des analogies chez les jeunes enfants en utilisant le paradigme de résolution de problème. En tenant compte de l'âge des enfants, elle leur proposait des relations familières telles que la relation de causalité physique – se servir d'un outil dans le but d'atteindre un objet par exemple (Brown, 1989). Dans cette étude, elle a testé des enfants âgés de 20 mois. Les résultats ont révélé que les bébés apprenaient très vite quel était l'outil qui pouvait leur servir pour atteindre l'objet. Ils étaient capables de transférer cette connaissance à d'autres problèmes analogues impliquant des outils qui n'étaient pas perceptivement similaires à ceux qu'ils avaient déjà appris à utiliser. Dans une autre étude, Brown & Kane (1988) ont utilisé la tâche de résolution de problèmes auprès de très jeunes enfants. Elles ont trouvé que les enfants de 4 et de 5 ans étaient capables de mettre en correspondance les relations entre deux histoires pour trouver la solution analogique. De plus, le transfert des relations se produisait en l'absence de similarité de surface entre les deux histoires. Elles ont appelé ce phénomène effet « apprendre à apprendre » (« learning to learn » effect). Crisafi & Brown (1986) ont étudié le raisonnement par analogie chez des enfants de 2 et de 3 ans – les enfants devaient récupérer des bonbons en insérant un jeton dans trois types de machines. Les enfants auxquels l'expérimentateur avait dit que les solutions aux problèmes étaient similaires, ainsi que ceux auxquels il avait demandé de raconter entre les essais à une marionnette Kermit quelle était la règle pour résoudre les problèmes avaient de meilleures performances à la tâche d'analogie que le groupe contrôle auquel aucun indice n'avait été donné. Les auteurs ont conclu que le transfert des relations dans l'analogie était facilité si la similarité entre les tâches était accentuée (Goswami, 1991). En d'autres termes, l'échec d'un enfant à faire une analogie serait dû à ses difficultés à repérer la similarité des problèmes présentés.

Les études de Brown ont démontré la capacité de très jeunes enfants à raisonner par analogie. En même temps, elle a également prouvé que plusieurs facteurs pouvaient gêner la découverte de l'analogie chez l'enfant. Dans la majorité de ses recherches, elle a exploré l'utilisation de l'analogie dans l'éducation et l'apprentissage.

2.5. Théorie de Holyoak (1985): rôle des contraintes pragmatiques dans l'analogie

Tout comme la théorie de Gentner (1983, 1989), celle de Holyoak (1985) est basée sur la reconnaissance de similitudes entre la source et la cible. Les deux théories sont centrées sur l'analogie en résolution de problèmes. Ce qui différencie les points de vue des deux auteurs

est que dans la théorie de Holyoak le rôle principal dans l'analogie est accordé à la réalisation des buts et au contexte de la situation. C'est pour cette raison que cette approche est appelée pragmatique. Selon Holyoak (1985), l'approche syntaxique de Gentner est vouée à l'échec parce qu'elle ne prend pas en compte l'impact des buts ou bien du contexte sur le tranfert analogique. Cette conception repose en partie sur les travaux de Hesse (1966) qui était la première à souligner l'importance des effets de causalité dans l'analogie. Gentner (1989), de son côté, critique l'approche pragmatique de Holyoak en soutenant que cette dernière ne permet pas de différencier une analogie non réussie parce qu'elle n'est pas pertinente, d'une analogie non réussie parce qu'elle n'est pas juste. Toutefois, au fil des années, la théorie de Holyoak (1985), Holyoak & Thagard (1989) et celle de Gentner (1983, 1989) se rapprochent : Holyoak intègre l'approche syntaxique de Gentner dans son approche pragmatique. Les deux chercheurs s'accordent sur le fait que l'étape de mise en correspondance est l'étape principale dans le processus d'analogie, ainsi que sur le fait que la similarité de surface joue un rôle primordial dans l'analogie. En 1989, Holyoak & Thagard ont développé un modèle - ACME (Analogical Constraint Mapping Engine) dans lequel les aspects pragmatiques, en d'autres termes les aspects impliquant la prise en compte des buts, sont essentiels. Ce modèle explique la mise en correspondance entre la représentation d'une source et la représentation d'une cible en prenant en compte trois types de similitudes : les similitudes de structure, les similitudes pragmatiques et les similitudes sémantiques définies par un « chevauchement du sens » (Thagard, Holyoak, Nelson & Gochfeld, 1990). Cependant, ACME présente quelques points faibles qui le rendent psychologiquement implausible (French, 1995). Ce modèle n'est pas sensible au contexte, les connaissances déclaratives ne peuvent pas être converties en connaissances procédurales et il prend en considération tous les appariements logiques qui peuvent exister entre la source et la cible. En 1997, Hummel & Holyoak proposent un autre modèle : LISA (Learning and Inference with Schemas and Analogies) qui est un modèle psychologiquement plausible parce qu'il prend en compte les limites de nos capacités de traitement de l'information. A la différence de SME et ACME, c'est un modèle général du raisonnement analogique.

Selon Holyoak (1984, 1985), la résolution de problèmes par analogie implique quatre étapes principales:

1) La construction de représentations mentales du problème source et du problème cible.
2) Le constat d'une analogie potentielle entre la source et la cible.

3) La mise en correspondance entre les différents éléments de la source et de la cible.
4) La mise en correspondance doit être étendue afin de générer une solution du problème.

Il distingue également quatre types de mise en correspondance. Le premier type, selon lui, est *l'identité*, qui concerne les éléments identiques entre la source et la cible. Ils constituent le schèma implicite que le sujet va élaborer dans le but de trouver la solution analogique. Le deuxième type de mise en correspondance est constitué *des correspondances indéterminées*, qui sont représentées par les éléments qui ne sont pas encore appariés entre la source et la cible. Un autre type de mise en correspondance est représenté par *les différences qui préservent la structure,* celles qui n'influencent pas la réalisation du but. Le dernier type de mise en correspondance implique *les différences qui violent la structure*.

Dans ses recherches sur l'analogie, Holyoak s'est intéressé principalement à la résolution de problèmes inter-domaines parce que dans ce cas précis, les similarités entre la source et la cible sont essentiellement relationnelles. En d'autres termes, le sujet va essayer de détecter les points communs entre les deux problèmes en se focalisant sur les buts ou la description des objets par exemple, afin de construire un schéma commun implicite entre les deux situations.

Un des problèmes très populaires utilisés par Gick & Holyoak (1980, 1983) en tant que problème cible est celui de la radiation, mis au point par Duncker (1945). L'énoncé du problème de radiation est le suivant :

« Supposez que vous soyez un médecin face à un patient qui a une tumeur maligne de l'estomac. Il est impossible de l'opérer, mais le patient mourra à moins que la tumeur ne soit détruite. Il y a une sorte de rayon qui peut détruire la tumeur s'il est d'une intensité suffisante. Malheureusement, à cette intensité, le tissu sain au travers duquel passent les rayons pour atteindre la tumeur est également détruit. A des intensités plus faibles, les rayons sont sans danger pour le tissu sain, mais n'affectent pas non plus la tumeur. Comment les rayons peuvent-ils être utilisés pour détruire la tumeur sans endommager les tissus sains ? »
(Sander, 2000)

La tâche des sujets dans les expériences menées par Gick & Holyoak (1980) était de trouver un moyen de détruire une tumeur à l'estomac chez un patient, à l'aide de rayons X suffisamment puissants, et ceci sans détériorer les tissus environnants. La solution la plus efficace dans ce cas serait de concentrer des rayons de faible intensité venant de directions

différentes sur la tumeur. La faible intensité de ces rayons va protéger les tissus autour de la tumeur. En même temps, l'action de tous ces rayons convergeant sur la tumeur, permettra de la détruire. Or, la majorité des sujets ont tendance à utiliser leurs connaissances concernant les manières d'enlever une tumeur via une intervention chirurgicale, sans forcément tenir compte de la condition posée dans l'énoncé du problème, notamment ne pas détruire les tissus sains autour de la tumeur. Les gens ne semblent pas penser spontanément à la propriété de divisibilité des rayons.

Le problème source proposé par Gick & Holyoak (1980, 1983) appartient à un autre domaine. Il s'agit d'un problème analogique faisant partie du domaine militaire : l'histoire Attaque-Dispersion. Un général essaie de capturer une forteresse située au milieu d'un pays. Il y a plusieurs routes qui mènent à la forteresse mais elles sont toutes minées. Pourtant, des petites troupes peuvent passer sans faire exploser les mines. La solution est analogique à celle du problème de radiation : diviser l'armée en petits groupes qui vont passer par des routes différentes et ainsi prendre d'assaut la forteresse.

Dans cette étude, il y avait quatre conditions expérimentales : un groupe de sujets lisait l'histoire Attaque-Dispersion avant le problème de radiation ; un autre groupe de sujets lisait une autre histoire source dans laquelle le général trouve une route qui n'est pas minée et envoie toute son armée prendre d'assaut la forteresse par cette route ; un troisième groupe expérimental lisait l'histoire source suivante : le général et son armée creusent un tunnel et le général envoie son armée entière prendre possession de la forteresse ; aucune histoire source n'était proposée au groupe contrôle. Il était annoncé aux sujets des trois conditions expérimentales dans lesquelles il y avait un probléme source que la solution au premier problème pourrait les aider à résoudre le problème suivant. Gick & Holyoak ont par la suite conduit plusieurs études comparables à celle-ci et à chaque fois ils ont trouvé des résultats similaires : 75 % des sujets qui avaient lu l'histoire Attaque-Dispersion ont trouvé la solution du problème de Duncker, contre moins de 10 % de sujets dans la condition contrôle. Lorsqu'aucun indice sur l'existence d'un lien entre les deux histoires n'était donné, 30 % des sujets ont trouvé la solution du problème cible.

Similarité de surface et indices sur la structure relationnelle

Pour tester la capacité des enfants à résoudre des problèmes par analogie Holyoak, Junn & Billman (1984) ont demandé à des enfants de 5 et 11 ans de trouver un moyen pour transférer de petites boules de gomme d'un bol à un autre, ce dernier étant placé hors de la

portée de l'enfant. Ce problème est une adaptation du Problème des Pois de Raaheim (1974), dans lequel les sujets devaient transférer des pois d'un récipient à un autre. Dans l'étude de Holyoak & al (1984), plusieurs objets étaient posés sur une table devant l'enfant assis : une feuille de papier épais rectangulaire, une canne, des ciseaux, etc… La tâche de l'enfant était de transférer les boules de gomme du bol plein au bol vide sans se lever de sa chaise. Cette tâche pourrait s'avérer difficile pour les sujets à cause de la fixité fonctionnelle des objets. Plus précisément, la résolution du problème proposé impliquait l'utilisation d'un objet de manière inhabituelle. Une histoire avec deux solutions différentes était proposée aux enfants en fonction de la condition expérimentale : un génie essayait de transférer ses pierres précieuses d'une bouteille à une autre. Dans une des histoires, le génie utilisait sa « baguette magique » pour transférer son trésor : il s'en servait pour approcher le bol vide du bol plein et ainsi déplacer ses pierres précieuses. Dans l'autre histoire, il utilisait son « tapis volant » qu'il enroulait de manière à faire un tube par lequel les pierres précieuses pouvaient passer d'une bouteille à l'autre. Par conséquent, la solution analogique à celle du génie dans l'histoire des boules de gomme dans la condition « baguette magique » serait de se servir de la canne pour rapprocher le bol vide qui se trouvait hors de la portée de l'enfant et ensuite mettre les boules de gomme dans ce bol. Dans la condition « tapis volant », la solution analogique serait d'enrouler la feuille de papier en formant un tube qui relierait les deux bols et ainsi permettrait le transfert des boules de gomme. Il y avait trois groupes de sujets – un groupe contrôle auquel le problème source n'était pas présenté, un groupe auquel on présentait l'histoire de la « baguette magique » et un autre groupe auquel on présentait l'histoire du « tapis volant ». Dans les deux conditions avec histoire-source, l'expérimentateur disait à l'enfant que cette histoire pouvait l'aider à trouver la solution du problème avec les boules de gomme. Dans la condition « baguette magique », tous les enfants d'âge préscolaire étaient capables de résoudre le problème cible en se référant au problème source. La moitié d'entre eux ont résolu le problème sans avoir besoin d'indices de la part de l'expérimentateur, alors qu'uniquement un enfant sur dix de la condition contrôle a trouvé la solution spontanément. Dans la condition « tapis volant », trois enfants de 5 ans ont trouvé la solution sans avoir recours à des indices. Les enfants plus âgés ont tous résolu le problème. Les auteurs ont conclu qu'une des raisons expliquant pourquoi la condition « baguette magique » était plus facile que la condition « tapis volant » était que la similarité de surface entre la baguette magique et la canne était plus forte que la ressemblance entre le tapis magique et la feuille de

papier. En d'autres termes, la baguette et la canne étaient perceptivement et fonctionnellement plus proches que le tapis et la feuille de papier.

Par la suite, Brown, Kane & Echols (1986) ont testé cette hypothèse auprès d'enfants de 4 et 5 ans en utilisant la condition « tapis magique » dans un paradigme similaire à celui d'Holyoak. Il y avait l'histoire du génie et une histoire d'un lapin de Pâques qui devait transporter des œufs. L'histoire du génie était le problème source, présenté sous la forme d'une pièce jouée avec des poupées : un génie devait déménager dans une nouvelle bouteille. Pour transporter ses trésors, il a enroulé son tapis volant et les a fait passer d'une bouteille à l'autre. Le problème cible était celui du « lapin de Pâques » qui devait transporter des œufs de l'autre côté d'une rivière sans les mouiller. Il y avait deux conditions – avec ou sans indices. Dans la première condition, l'expérimentateur posait des questions qui avaient pour but d'aider l'enfant à cerner la structure causale de l'histoire. Dans la condition contrôle, aucune question sur l'histoire n'était posée à l'enfant. Les résultats ont révélé que 70% des enfants du groupe expérimental ont trouvé la solution du problème, alors qu'ils n'étaient que 20% dans le groupe contrôle. Selon Brown & al, lorsque les enfants ont construit une représentation de la structure du problème, ils ont plus de facilités à reconnaître les similarités relationnelles entre les deux problèmes. Lorsque la similarité perceptive entre les deux problèmes est faible, l'analogie est réussie uniquement lorsque l'on souligne explicitement la similarité relationnelle entre les deux histoires. D'autres études ont montré que les adultes bénéficient également d'indices sur la structure causale des problèmes ou bien de leur similarité perceptive (Holyoak & Koh, 1987).

2.6. Le raisonnement analogique en tant qu'amorçage relationnel : Leech, Mareschal & Cooper (2008)

Leech & al (2008) présentent un modèle connexionniste du développement du raisonnement par analogie dans lequel ce dernier est abordé comme dépendant d'un mécanisme plus simple – celui de l'amorçage relationnel. Selon ces auteurs la relation entre les deux items de la paire source A/B amorcerait la relation à appliquer lors de la recherche de l'item D de la paire cible (C/D). Ils ont utilisé une tâche d'analogie classique de type A : B :: C : ? avec des relations de transformation (couper, fondre…) comme celles testées par Goswami & al (1989).

La notion de raisonnement analogique sous-tendu par le mécanisme d'amorçage relationnel a été critiquée par plusieurs auteurs. Dans l'exemple d'analogie cité par Leech &

al, 2006 : *chiot : chien :: chaton : ?*, la solution analogique *chiot*) pourrait être trouvée grâce à l'amorçage de la relation « progéniture ». Mais selon Akman (2008), la présentation de cette paire source pourrait amorcer différentes relations en fonction de la direction de la relation existante entre les deux items de la paire : « plus jeune que », ou encore « la maman de ». Doumas & Richland (2008) insistent sur le fait que tous les changements développementaux dans le modèle connexionniste de Leech & al (2008) sont décrits comme étant le fruit de l'accroissement des connaissances, mais ce facteur ne peut pas expliquer à lui seul le développement du raisonnement par analogie (voir point 2.8. de ce chapitre : Richland, Morrison & Holyoak, 2006). French (2008) souligne l'importance du contexte dans le raisonnement par analogie. En effet, le terme C pourrait contribuer à l'identification de la relation entre A et B. Si l'item C dans l'exemple *chiot : chien :: chaton : ?* se trouve remplacé par l'item *montre*, il va déterminer le choix de la relation analogique *montre : horloge* pour obtenir l'analogie *chiot : chien :: montre* : *horloge* où la relation analogique est « plus grand que ».

2.7. Théorie de la complexité relationnelle (TCR) de Halford (1989, 1993, 1998)

Selon Halford (1989, 1993, 1998), le développement cognitif de l'enfant reposerait essentiellement sur la capacité de traitement de l'information en mémoire de travail (MdT). La Théorie de la Complexité Relationnelle (TCR) – Halford, Wilson & Phillips (1998), Halford & Andrews (2004) - propose une explication de la capacité de traitement de l'information en termes de *complexité relationnelle*, définie comme « le nombre de dimensions reliées ou des sources de variation » qui peuvent être traitées en parallèle. La quantité d'information que l'on peut traiter en parallèle est une question primordiale dans le domaine de la psychologie cognitive. La tentative la plus célèbre de déterminer cette quantité est celle de Miller (1957). Il défend l'idée que cette capacité serait limitée à 7 chunks approximativement. Un chunk est une unité d'information dont la taille est arbitraire. Selon Halford, notre MdT, et par conséquent notre raisonnement, ont des capacités limitées. Plus précisément, il définit les limites de notre capacité à raisonner en termes de nombre de relations entre les éléments qui peuvent être maintenues actives pendant le raisonnement (Halford, Cowan & Andrews, 2007). Le développement de la capacité de traitement de l'information permettrait à l'enfant de faire des analogies de plus en plus élaborées. Cependant, Halford ne nie pas l'importance d'autres facteurs : le niveau d'expertise dans le domaine concerné, les aptitudes heuristiques lors de la résolution de problèmes, la

disponibilité de la mémoire, ou encore les facteurs perceptivo-moteurs. Halford (1993) parle de « mémoire primaire » qui a été définie par William James (1980) comme la mémoire qui maintient l'information en cours de traitement. La capacité de la mémoire primaire, et par conséquent l'information en cours de traitement, serait limitée à 4-5 items. D'autres travaux, révisés par Schneider & Detweiler (1987) ont aussi montré qu'approximativement quatre chunks pourraient être traités en parallèle.

Un exemple de la complexité relationnelle qui engendre une charge cognitive importante donné par Halford & al est celui de Sweller (1993) : *« Supposons que cinq jours après le jour avant hier serait un vendredi. Quel jour serions-nous demain ? ».* Malgré notre parfaite connaissance des jours de la semaine, ce problème s'avère difficile. L'explication de cette difficulté se trouve dans les relations qu'entretiennent entre eux les nombreux éléments de la première phrase.

En 1987, Halford s'est intéressé à la notion de *mise en correspondance* entre structures, notion utilisée dans plusieurs domaines comme les théories sur le raisonnement analogique (Gentner, 1983 ; Sternberg 1977), les théories sur les représentations (Holland, Holyoak, Nisbett & Thagard, 1986) ou bien le transfert d'apprentissage (Reed, 1987). Pour lui, la mise en correspondance fait partie des processus par lesquels les enfants représentent et comprennent les différents concepts. Il définit quatre niveaux de mise en correspondance entre structures utilisée en tant que représentation (voir figure 8). Ces niveaux correspondraient aux quatre stades principaux du développement cognitif de l'enfant.

1) mise en correspondance entre éléments : à ce niveau, la mise en correspondance s'effectuerait sur la base d'une similarité élémentaire (perceptive) entre les éléments, sans tenir compte des relations qui pourraient exister entre ces éléments.

2) mise en correspondance entre relations : deux éléments d'une structure et la relation binaire entre eux sont mis en correspondance avec deux éléments et la relation correspondante de l'autre structure. A ce niveau, la similarité relationnelle définirait la mise en correspondance, indépendamment des caractéristiques perceptives des éléments.

3) mise en correspondance entre systèmes : trois éléments et deux relations binaires entre les éléments d'une structure sont mis en correspondance avec trois éléments et deux relations binaires d'une autre structure. Ici, la mise en correspondance est indépendante de la similarité perceptive ou relationnelle – elle dépendrait de la consistance interne.

4) mise en correspondance multi-systèmes : quatre éléments et deux opérations binaires de l'une des structures sont mis en correspondance avec quatre éléments et deux opérations binaires de l'autre structure. Ce dernier niveau ressemble au niveau précédent, à la différence que des relations ternaires et/ou des opérations binaires sont mises en correspondance.

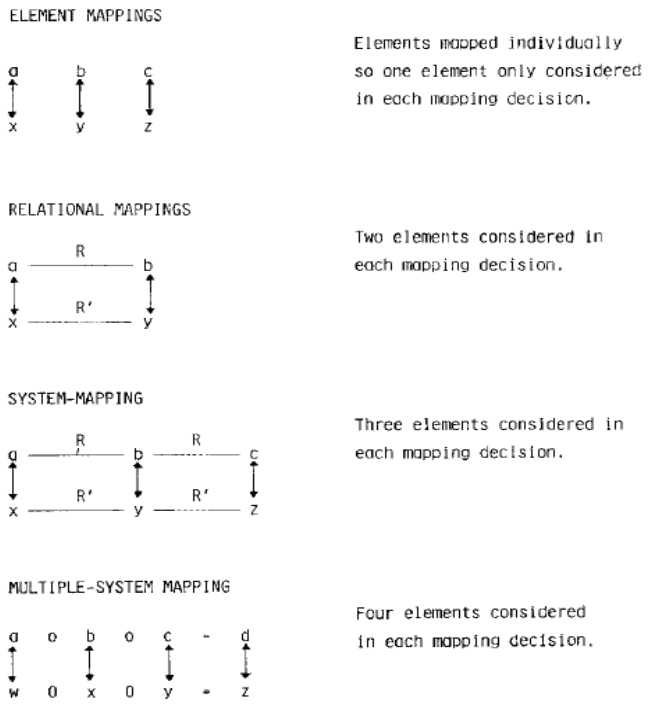


Figure 8. Exemples schématiques des 4 niveaux de mise en correspondance (Halford, 1987)

Rangs de représentation

Halford propose également sept rangs de représentation. Chaque rang correspond à un nombre différent d'éléments impliqués dans une représentation. D'un point de vue développemental, l'accès aux rangs est déterminé par l'âge. La théorie de Halford prédit que les enfants seraient capables de faire des analogies classiques du type *a : b :: c : d* vers l'âge de 2 ans (Halford 1993 ; Halford & al, 1998). Ils seraient d'abord capables de traiter des relations unaires qui portent sur les attributs des objets, ensuite des relations binaires - qui sont des relations entre deux éléments. Les relations ternaires ou entre trois variables seraient accessibles vers 5 ans. Les trois derniers rangs seraient exclusivement réservés à l'espèce

humaine (voir thèse de Mutafchieva, 2007). Les autres espèces de primates pourraient arriver jusqu'au rang 3 de représentation.

- Rang 0 : associations élémentaires.
- Rang 1 : associations configurales.
- Rang 2 : *relations unaires*. Ce rang inclut les représentations symboliques des catégories et la compréhension des mots. Il est acquis vers 1 an.
- Rang 3 : *relations binaires*. Ces relations concernent des états ou des actions communs (par exemple, la relation « plus grand que »), ainsi que des analogies simples. Ce rang serait accessible vers 2 ans.
- Rang 4 : *relations ternaires*. Ce sont des relations entre trois objets. La transitivité ou encore l'inclusion de classes font partie de ce rang. La compréhension de ces relations apparaît vers 5 ans.
- Rang 5 : *relations quaternaires*. La notion de proportion en fait partie. Ces relations sont acquises vers l'âge de 11 ans.
- Rang 6 : *relations quinaires*. Ce sont des relations très complexes. Très peu d'adultes y auraient accès.

Halford conclut que les enfants pourraient faire des mises en correspondances entre relations à l'âge de 2 ans. Cette idée est soutenue par l'étude de Bullock & Gelman (1977) qui ont montré que les enfants de 2 ans étaient capables de se représenter une relation binaire, notamment la relation entre une série de grands objets et une autre série de petits objets.

Pour tester les prédictions de Halford, Goswami & Pauen (2005) ont étudié le rôle du raisonnement par analogie dans la tâche d'inclusion de classes de Piaget. Plus précisément, la proposition de Halford (1993) était que le concept « famille » (papa, maman, bébé) utilisé dans le cadre d'une situation analogique améliorerait la performance des enfants de 4 et de 5 ans à la tâche d'inclusion. Dans une des variantes de cette tâche testée dans cette étude, on montrait à l'enfant un bouquet de fleurs : 5 rouges et 2 blanches et on lui demandait s'il y avait plus de fleurs rouges ou plus de fleurs. Selon la théorie de Piaget, avant 7-8 ans, l'enfant a tendance à répondre qu'il y a plus de fleurs rouges. Il n'est pas capable de retenir simultanément l'information sur les différents éléments de la classe et la classe dans son ensemble. Cette particularité du stade pré-opératoire serait due à l'incapacité de l'enfant de comprendre la réversibilité qui permet de concevoir toute action comme ayant son inverse.

Goswami & Pauen (2005) se sont basées sur une étude de Markman (1971) dans laquelle le terme « famille » était utilisé pour signifier l'ensemble de la classe, ceci ayant amélioré de manière significative la performance des enfants à la tâche d'inclusion. Une autre étude de Markman & Seibert (1976) a montré que l'utilisation des concepts « classe », « tas » ou bien « bouquet » facilitait également le raisonnement de l'enfant. Les résultats de Goswami & al ont révélé un effet facilitateur de l'analogie sur la tâche d'inclusion de classes. Cet effet était renforcé lorsque l'expérimentateur fournissait des indices sur l'utilisation de l'analogie, ainsi que lorsque sa structure relationnelle était traitée de manière plus approfondie. L'effet bénéfique des indices sur le transfert analogique est compatible avec les résultats des travaux de Holyoak (Gick & Holyoak, 1980, 1983) que nous avons décrits précédemment. Goswami & al ont conclu que leurs résultats allaient dans le sens de la proposition de Halford : le raisonnement analogique serait un mécanisme important dans le développement de la logique (Halford, 1993).

Selon la TCR, les enfants auraient du mal à traiter des relations ternaires avant l'âge de 5 ans. Les résultats d'une étude de Goswami (1995) vont à l'encontre de cette proposition. Elle a présenté à des enfants de 3 et de 4 ans deux séries de trois tasses. L'expérimentateur pointait une des tasses (la plus petite, la moyenne ou la plus grande) devant lui et la tâche de l'enfant était d'identifier la tasse correspondante de l'autre série en face de lui. Le taux de réussite des enfants de 3 ans était de 70 %, alors que chez les enfants de 4 ans il était de 86 %. Halford a critiqué cette étude parce que dans la condition la plus difficile dans laquelle les tasses des deux séries étaient de taille différente et elles étaient placées dans un ordre différent, 66,67 % des réponses analogiques pourraient être données en fonction de la taille absolue des tasses.

La TCR postule que la complexité relationnelle dépendrait essentiellement de l'âge. Ce point de vue est différent de celui de Goswami et l'hypothèse de primauté des relations. Selon elle, la complexité relationnelle dépendrait plutôt de l'accroissement des connaissances que de l'âge. Gentner critique la TCR pour la même raison, notamment parce qu'elle ne prend pas en compte l'accroissement des connaissances. En effet, Halford explique le développement cognitif de l'enfant par le développement de sa capacité à traiter l'information. Cependant, il ne nie pas le rôle des connaissances. Selon lui, les deux interagiraient (Halford, 1993).

2.8. Autre point de vue sur le développement du raisonnement par analogie : le rôle du contrôle inhibiteur (Richland, Morrison & Holyoak, 2006)

En 2006, Richland, Morrison & Holyoak proposent une nouvelle explication du développement de la compréhension des analogies. Ils avancent l'idée que l'évolution du raisonnement analogique serait due à l'interaction entre l'accroissement des connaissances, la capacité à intégrer simultanément plusieurs relations et le contrôle inhibiteur sur les caractéristiques des distracteurs. Ils soulignent l'importance des contraintes cognitives lors de la résolution d'une tâche analogique.

Comme décrit précédemment dans ce chapitre, il existe *trois explications majeures* du développement du raisonnement analogique :

1) Explication de Goswami (1991, 2001 ; Goswami & Brown, 1989, 1990) : elle propose l'hypothèse de primauté des relations selon laquelle la capacité à raisonner par analogie est présente dès très jeune âge et son évolution serait le fruit de l'accroissement des connaissances de l'enfant sur les relations impliquées dans l'analogie. En d'autres termes, l'utilisation de l'analogie dépend de nos connaissances.

2) Explication de Gentner (1989 ; Gentner & Rattermann, 1991 ; Rattermann & Gentner, 1998) en termes de déplacement relationnel selon lequel les jeunes enfants seraient plus attirés par la similarité perceptive des objets de l'analogie et par conséquent, ils échoueraient à trouver la solution analogique, alors que les enfants plus âgés et les adultes se baseraient sur la similarité relationnelle pour faire l'analogie. Selon Gentner, l'acquisition des connaissances joue un rôle prépondérant dans l'analogie.

3) Explication de Halford (1993 ; Halford, Wilson & Phillips, 1998 ; Andrews & Halford, 2002) selon laquelle les changements développementaux dans le raisonnement par analogie seraient dus aux limites de la capacité de la MdT des enfants qui affecteraient leur capacité à traiter plusieurs relations en parallèle. Selon cette théorie, à 2 ans les enfants pourraient traiter des relations entre deux objets (binaires) et des relations entre trois objets (ternaires) à 5 ans.

Contrairement à ces explications, Zelazo & Muller (2002) ont proposé une autre alternative du développement du raisonnement logique chez l'enfant : il dépendrait du développement

des fonctions exécutives. Zelazo & Frye (1998) et Frye & Zelazo (1998) définissent la complexité dans leur théorie de la Complexité et du Contrôle Cognitif (CCC), en tant que nombre de règles hiérarchiques qui devraient être prises en considération pour accomplir la tâche. L'analogie implique la construction d'une représentation des éléments de la source et de la cible, une mise en correspondance entre les relations qui lient ces éléments. Ces processus dépendent de la MdT (Waltz, Lau, Grewal & Holyoak, 2000) qui dépend de la maturation du cortex pré-frontal (CPF) – Diamond (2002). Faire l'analogie nécessite également l'appariement de plusieurs relations. Cette capacité à traiter des relations entre différents éléments est sous-tendue par le CPF (Robin & Holyoak, 1995 ; Waltz, Knowlton, Holyoak, Boone, Mishkin, Santos, Thomas & Miller, 1999 ; Christoff, Prabhakaran, Dorfman, Zhao, Kroger, Holyoak & Gabrieli, 2001). Par conséquent, la maturation du lobe frontal pourrait expliquer l'amélioration avec l'âge des capacités de traitement de l'information et le développement du raisonnement analogique.

Richland & al (2006) soulignent l'importance du contrôle inhibiteur sur les caractéristiques perceptives des distracteurs lors de la recherche de la solution analogique. Le contrôle inhibiteur serait indispensable lorsque des solutions relationnelles se trouvent en compétition avec des « solutions » perceptives saillantes mais non pertinents pour faire l'analogie. Par conséquent, le déplacement relationnel proposé par Gentner pourrait être expliqué non seulement par l'accroissement des connaissances mais également par le développement du contrôle inhibiteur.

Dans leur étude, Richland & al. ont utilisé des paires de scènes illustrant des relations entre des objets (voir fig. 9). Ils ont manipulé la similarité perceptive entre un des objets qui devait être mis en correspondance entre la scène source et la scène cible (similaire vs dissimilaire). Dans les deux cas, le distracteur présenté dans la scène cible ne faisait pas partie des termes de l'analogie. Si dans la scène source un chat chassait une souris, dans la scène cible avec distracteur dissimilaire, il y avait un bac à sable, alors que dans la scène cible avec distracteur similaire il y avait un chat qui observait les acteurs. La complexité relationnelle a été également manipulée : la même relation était mise en correspondance entre deux (relation unique) ou bien trois objets (deux relations). L'exemple d'un chat qui chassait une souris est un exemple de relation unique, utilisé dans la tâche analogique. Dans la condition plus complexe de mise en correspondance de deux relations, un chien chassait un chat qui chassait une souris.

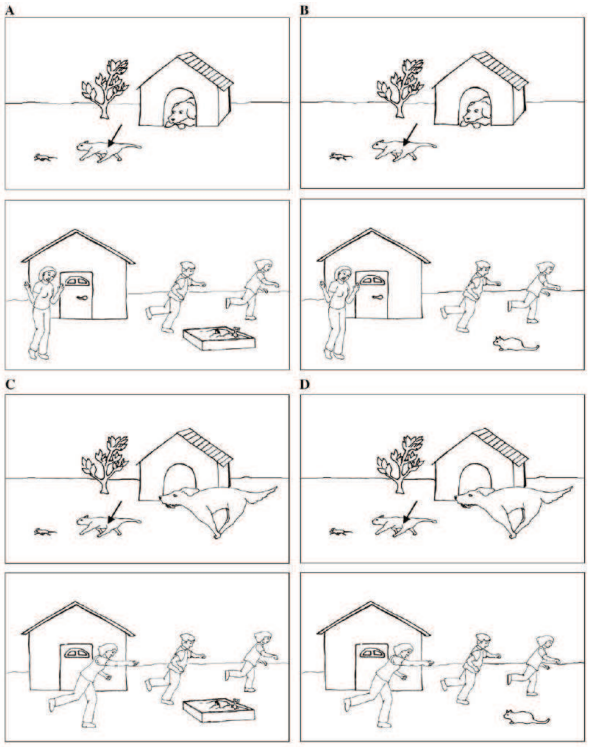


Figure 9. Exemple des stimuli utilisés dans l'étude de Richland & al (2006)

A – relation unique, distracteur dissimilaire; B – relation unique, distracteur similaire

C – deux relations, distracteur dissimilaire; D – deux relations, distracteur similaire

Les connaissances des enfants sur les relations utilisées dans la tâche d'analogie étaient contrôlées. Les objets, ainsi que les actions (embrasser, nourrir, chasser…) étaient familiers aux enfants de 3 ans (Gentner, 1978; Golinkoff, Hirsh-Pasek, Mervis, Frawley & Parillo, 1995; Golinkoff, Jacquet, Hirsh-Pasek & Nandakumar, 1996). Les auteurs ont testé des enfants appartenant aux groupes d'âges suivants : 3-4 ans ; 6-8 ans et 13-14 ans.

La contribution de cette étude vient du fait que la complexité relationnelle et les caractéristiques perceptives des distracteurs ont été manipulées simultanément. Cette combinaison permettrait de tester les différentes théories sur le développement du raisonnement analogique. Les auteurs ne nient pas le rôle des connaissances dans l'augmentation de la capacité à comprendre les analogies, ils soulignent l'importance d'autres facteurs, tels que la capacité d'inhibition, qui y contribuent et qui ont été jusqu'à maintenant négligés.

Les résultats de Richland & al. (2006) ont révélé que la présence d'objets similaires, qui jouaient le rôle de distracteurs perceptifs entre les deux scènes conduisait à un taux d'erreurs plus important que la présence d'objets dissimilaires chez les enfants de 3-4 ans et 6-8 ans. Cet effet n'a pas été observé chez les adolescents. L'analyse des erreurs a confirmé l'existence de déplacement relationnel : la tendance des enfants à choisir le distracteur perceptif à la place de la solution analogique diminuait avec l'âge. Un effet de la complexité relationnelle a été montré chez les trois groupes d'âge, le traitement d'une seule relation étant plus facile que le traitement de deux relations. Ce résultat était prédit par la TCR de Halford.

Pour résumer, les résultats de cette étude montrent que les enfants ont des difficultés à inhiber les distracteurs perceptifs ou encore à maintenir la structure relationnelle lorsque le niveau de complexité relationnelle augmente. La conclusion des auteurs est que l'évolution du raisonnement analogique dépendrait de l'interaction entre l'acquisition de connaissances relationnelles, la capacité à intégrer des relations multiples et le contrôle inhibiteur sur les distracteurs perceptifs. La performance des enfants dans une tâche analogique dépendrait de la maturation du cerveau.

3. Développement des fonctions exécutives (FE)

Le concept de fonction exécutive

Le contrôle inhibiteur fait partie de ce que l'on appelle les fonctions exécutives (FE). Les FE recouvrent un ensemble de processus cognitifs impliqués dans le contrôle conscient de la pensée et de l'action (Zelazo in Goswami, 2002). Elles consistent en un « ensemble de processus dont la fonction principale est de faciliter l'adaptation du sujet à des situations nouvelles, notamment lorsque les routines d'actions, c'est-à-dire des habiletés cognitives surapprises, ne peuvent suffire» (Seron, Van der Linden & Andres, 1999, cités par Monette & Bigras, 2008). Elles interviennent dans la catégorisation (Blaye & Jacques, 2009), la résolution de problèmes (Chevalier & Chevalier, 2009), ou encore dans la théorie de l'esprit (Carlson & Moses, 2001).

Les recherches sur le développement des FE ont révélé qu'elles apparaissaient très tôt dans le développement de l'enfant – vers la fin de la première année de vie. Ceci a été montré dans des tâches mesurant la permanence de l'objet, définie comme la connaissance du fait

qu'un objet conserve son identité indépendamment de sa présence ou de son absence de notre champ perceptif et des changements survenant dans sa position dans l'espace. Les études ont révélé que le bébé était capable d'orienter son comportement vers un but et d'inhiber la localisation antérieure d'un objet pour le rechercher à un nouvel endroit. Une progression importante du développement des FE est observée entre 2 et 5 ans. Le niveau « adulte » pour la majorité des composantes exécutives est atteint vers 12 ans. Des déficits exécutifs sont à la base de plusieurs troubles du développement comme l'autisme ou le trouble déficitaire de l'attention avec hyperactivité.

Au niveau cérébral, nous savons aujourd'hui que les FE sont sous-tendues par le cortex préfrontal (CPF), Diamond (2002). La maturation de cette partie du cerveau est plus longue que pour les autres régions cérébrales et s'étend au-delà de l'adolescence. Les lobes frontaux, en particulier le CPF, font partie des dernières régions du cerveau à arriver à maturité. Des lésions préfrontales peuvent entraîner de nombreuses perturbations parmi lesquelles des perturbations des capacités de jugement, de la métacognition, du raisonnement abstrait, de l'empathie ou du développement moral. Selon la TCR de Halford, les FE seraient requises lors de la résolution de problèmes complexes parce qu'elle implique des niveaux élévés de complexité relationnelle.

Plusieurs facteurs influencent le développement des FE. Le langage permet la verbalisation des informations pertinentes lors d'une tâche mesurant les FE. Cette verbalisation a un effet bénéfique sur les performances des enfants d'âge préscolaire ou scolaire. Selon Luria (1961), le langage facilite l'organisation d'une activité séquentielle complexe. D'autres facteurs jouant un rôle dans le développement des FE sont la complexité cognitive, la régulation émotionnelle ou encore la théorie de l'esprit qui représente la capacité à former des représentations des états mentaux ou émotionnels des autres personnes et à les utiliser pour comprendre, prédire et juger les comportements d'autrui.

3.1. Principales théories sur les FE

Parmi les précurseurs de la notion de FE, nous pouvons citer Luria (1973) qui envisage la résolution de problèmes comme une activité composée de quatre étapes : analyse de la situation, élaboration d'un plan de résolution, résolution organisée et séquentielle de ce plan et vérification en comparant l'objectif de départ et le résultat obtenu. Le modèle de Système Attentionnel de Supervision (SAS) développé par Norman et Shallice (1986) est à l'origine des théories les plus pertinentes dans le domaine des fonctions exécutives. Selon ce

modèle, l'être humain est capable de réaliser un grand nombre d'activités de manière automatique, sans réellement y prêter attention. Toutefois, certaines situations, telles que les situations nouvelles, requièrent un contrôle attentionnel volontaire. Selon ce modèle, les FE sont nécessaires uniquement pour une réorientation endogène de l'attention, dans une situation qui implique un effort de la part de l'individu. Les auteurs proposent deux systèmes : le premier permet la mise en œuvre de traitements routiniers et automatisés qui sont appelés des schémas. Ce système ne serait pas suffisant lorsqu'on est face à des situations nouvelles. Dans ce cas, on a recours au second sytème – le Système Attentionnel de Supervision (SAS) qui permettrait une recombinaison des schémas, afin de réagir de manière pertinente à la situation inhabituelle. Ce modèle se rapproche du modèle de la MdT de Baddeley & Hitch, dont la version originale date de 1974, parce que tous les deux considèrent les FE comme une entité. Les recherches actuelles sur les FE montrent, au contraire, qu'elles sont diverses (Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter & Wager, 2000 ; Lehto, Juujärvi, Kooisrta & Pulkkinen, 2003).

Une théorie plus récente, celle de la Complexité et du Contrôle Cognitifs (CCC), Frye, Zelazo & Burrack (1998), Zelazo & Frye (1998), Zelazo, Müller, Frye & Marcovitch, 2003, définit la complexité en termes de structure hiérarchique des systèmes de règles que les enfants possèdent. En d'autres termes, la complexité cognitive est mesurée par le nombre de degrés d'*enchâssement (embedding)* des règles maintenu en MdT lorsqu'on résoud un problème. Un rapprochement pourrait être fait avec la TCR de Halford décrite précédemment dans ce chapitre, qui définit la complexité par le nombre de relations qui peuvent être traitées en parallèle. Selon la théorie de la CCC, le développement des FE est envisagé en termes d'augmentation avec l'âge du niveau de complexité des règles que les enfants peuvent formuler et utiliser pour résoudre un problème. Les auteurs ont utilisé une tâche mesurant la composante exécutive de flexibilité : Tri de cartes à changement de dimension – Dimensional Change Card Sort (DCCS) de Frye, Zelazo & Palfai (1995), dans laquelle l'enfant doit placer deux types de cartes selon deux dimensions différentes (la forme et la couleur). La tâche est composée de deux phases (voir figure 10). Dans la première phase, l'enfant doit classer les cartes selon l'une des dimensions et dans la seconde phase, il doit classer les mêmes cartes selon l'autre dimension. L'expérimentateur répète la consigne à l'enfant à chaque carte, sans lui donner de feedback sur sa performance. Des enfants de 3 et 4 ans sont testés. Leurs erreurs de persévération (observées dans les cas où les enfants continuaient à classer les cartes dans la seconde phase selon la dimension qui était pertinente pour la première phase du test) sont attribuées à leur difficulté à organiser et à se représenter les règles de la tâche.

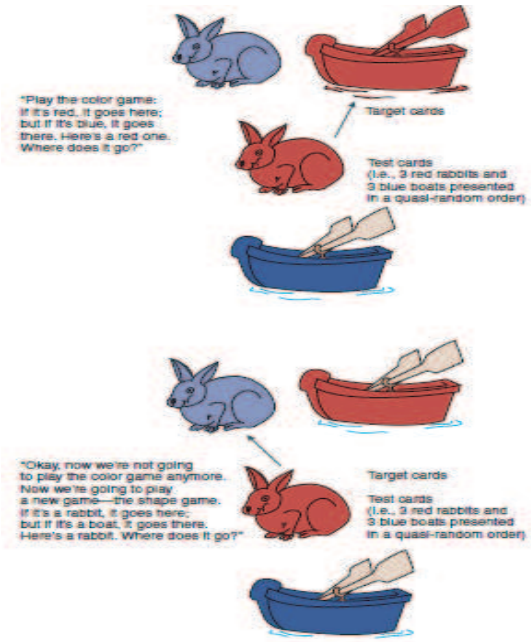


Figure 10. Exemple des items utilisés dans la version standard du DCCS – 1ère et 2nde phase (Zelazo, 2006)

Halford, Andrews, Dalton, Boag & Zielinski (2002) soulignent que l'augmentation avec l'âge du nombre de dimensions traitées simultanément (TCR) diffère de la création de relations hiérarchiques du type « si-si-alors » entre les dimensions (CCC). La théorie de la CCC distingue l'alternance entre deux dimensions (comme le changement de règles dans les deux phases de la DCCS), du jugement simultané selon deux dimensions qui est plus difficile. L'alternance entre deux dimensions requièrerait une relation hiérarchique mais ne nécessiterait pas la prise en compte simultanée des deux dimensions. La TCR, par contre, ne fait pas la différence entre ces deux situations parce que toutes les deux impliquent le traitement de deux relations. Le point commun entre ces deux théories est qu'elles n'attribuent pas un rôle central mais plutôt secondaire à la capacité d'inhibition.

Kirkham, Cruess & Diamond (2003) ont interprété les erreurs de persévération des enfants dans la tâche de DCCS en termes d'inflexibilité des représentations due à l'immaturité des mécanismes d'inhibition. Ces auteurs donnent une explication différente de celle fournie

par la théorie de la CCC (un défaut de représentation d'une série de règles incompatibles), notamment celle d'un déplacement attentionnel d'une dimension à une autre, ce qui nécessiterait l'inhibition de l'influence de la dimension qui était précédemment pertinente.

3.2. Composantes exécutives

Les FE sont divisées en FE *chaudes* et *froides* (Zelazo & Müller, 2002). Les premières sont impliquées dans la résolution de problèmes dans lesquels il faut composer avec les affects et la motivation de l'individu, elles sont associées à un fort investissement émotionnel. Elles interviennent lorsque l'on s'attend à recevoir une récompense. Les FE chaudes sont sous-tendues par le cortex orbito-frontal (COF) qui est connecté au système limbique. Les FE froides, sont quant à elles, requises lors la résolution de problèmes abstraits, de logique et sont sous-tendues par le CPF.

Dans la littérature sur les FE, le nombre de processus ou de composantes exécutifs diffère selon les théories. Toutefois, les composantes exécutives le plus souvent citées (Miyake & al, 2000) sont au nombre de trois : *l'inhibition, la mise à jour en MdT et la flexibilité cognitive (mentale, attentionnelle)*.

Il est important de noter que l'examen de chacune de ces trois FE est difficile car il est « impur ». En effet, les performances des sujets aux tâches proposées pour mesurer les différentes FE reflètent à la fois des processus exécutifs mais également des processus contrôlés (langagiers ou visuo-spatiaux). De plus, ces tâches font appel à plus d'une composante exécutive. Une étude de Davidson, Amso, Anderson & Diamond (2006), effectuée auprès d'enfants de 4 à 13 ans et de jeunes adultes, a montré que les trois composantes exécutives interagissaient.

Nous allons voir plus en détails ces composantes. Dans le cadre de cette thèse sur le développement du raisonnement analogique, nous nous sommes interéssés en particulier à l'inhibition.

Inhibition

Cette composante exécutive permet la suppression temporaire d'une réponse automatique, habituelle et dominante. Elle empêche l'entrée d'informations inappropriées en

MdT. Dans la littérature, il existe deux sortes d'inhibition : *motrice* – qui concerne les aspects moteurs et *conceptuelle* – qui a pour fonction de bloquer les informations non pertinentes pour atteindre un but (Harnishfeger, 1995). La capacité d'inhibition commence à se développer très tôt, dès les premiers mois de la vie. Elle est considérée comme un facteur déterminant du développement cognitif pendant l'enfance ou encore du déclin des capacités mnésiques dans le vieillissement normal (Dempster, 1992).

Les tâches utilisées pour évaluer cette composante exécutive peuvent être divisées en tâches de suppression d'un comportement dominant, spontané, impulsif ; tâches de délai visant à obtenir un objet attrayant ; tâches avec conflit qui consistent à initier une réponse non dominante en conflit avec une réponse spontanée ; tâches go/no go – répondre à un stimulus « go » et supprimer sa réponse face à stimulus « no-go » et tâches de stop-signal – interrompre sa réponse au signal « stop » exprimé sous la forme d'un son ou signe particulier. Pour les besoins de nos recherches, nous avons choisi une tâche avec conflit (en gras dans le tableau 3).

Voici une liste des épreuves utilisées pour mesurer la capacité d'inhibition dans des tâches avec conflit chez les enfants d'âge préscolaire.

Tableau 3. Tâches avec conflit à forte composante d'inhibition (tiré de *Développement du contrôle exécutif,* Gaux & Boujon, 2007).

Tâches avec conflit	***Référence***	***Age***	***Description de la tâche***	**Réponse dominante** **Réponse correcte**
Catégorisation inversée	Carlson 2005	24 mois 39 mois	Placer des petits blocs dans un petit récipient et des gros blocs dans un grand récipient. Puis placer les petits blocs dans le grand récipient et les gros blocs dans le petit récipient Idem avec des *Mamans* animaux et des *Bébés* animaux à placer dans paniers *Maman ou bébé*	Continuer à classer en respectant les tailles : petit objet dans petit récipient et gros objet dans grand récipient Classer en respectant l'inversion des tailles
Stroop forme	Carlson 2005	24 mois	Pointer les gros fruits dessinés sur une planche. Puis pointer les petits fruits insérés dans de gros fruits (petite pomme dans grosse banane)	Continuer à pointer les gros fruits Pointer les petits fruits

Jour/Nuit	**Perner et al., 1999** **Carlson 2005** **Livesey et al. 2006**	**3à4 ans** **5-6ans**	**- Dire 'jour' pour la carte d'un soleil et 'nuit' pour la carte d'une lune avec des étoiles. Puis dire 'jour' pour la lune et les étoiles et 'nuit' pour le soleil** **- Dans cette version, 4 paires de stimuli : jour/nuit, garçon/fille, gros/petit, haut/bas**	**- Continuer à associer le mot sémantiquement approprié à l'image** **Inverser l'association** **- Dire le mot approprié à l'image** **Dire le mot opposé**
Herbe/neige	Carlson 2005	3à4 ans	Pointer une carte verte au mot 'Herbe', pointer une carte blanche pour 'Neige', puis, inverser l'association mot-image	Pointer la carte blanche au mot 'Herbe', et la carte verte au mot 'Neige' Inverser l'association
Mondes contraires	Tea-ch	6-12ans	Nommer les chiffres « 1 » ou « 2 » qui apparaissent dans les cases d'un parcours donné composé de 1 et de 2, puis inverser la dénomination (dire '1' pour '2' et '2' pour '1')	Continuer à dénommer les chiffres Inverser la dénomination
Jeu de mains	Hughes 1998 Carlson 2005	39 mois	Imiter les gestes des mains produits par E (doigt pointé ou poing serré). Puis, faire geste opposé	Continuer à imiter le geste de E Faire le geste opposé à celui de E
Cogner et Frapper	NEPSY	5-12 ans	Imiter les gestes des mains de E, puis produire les gestes opposés	Imiter les gestes des mains de E Faire le geste opposé

Note : E : expérimentateur ; S : enfant. Nepsy : Bilan neuropsychologique de l'enfant (Korkman, Kirk, & Kemp, 2003). Tea-ch : Test d'Evaluation de l'Attention chez l'enfant (Manly, Robertson, Anderson, & Nimmo-Smith, 2006).

Nous avons choisi le test Jour/Nuit (Day-Night task) pour notre dernière étude décrite dans le chapitre 4 (étude 9) pour plusieurs raisons. D'abord, il correspondait aux tranches d'âges des enfants que nous souhaitions tester, notamment des enfants de 4 ans et de 5 ans. Ensuite, à la différence des tâches comme Jeu de mains ou Cogner/Frapper, qui évaluent l'inhibition motrice des enfants, le Day-Night évalue l'inhibition conceptuelle (association mot/image). Finalement, c'est un test qui concerne l'inhibition froide dans la mesure où il ne fait pas appel à des émotions et ne propose pas de récompense particulière. Par contre, comme toute tâche visant à mesurer une seule fonction exécutive, ce test est « impur ». En effet, Gerstadt, Hong & Diamond (1994) soulignent que même si le Day-Night évalue la capacité d'inhibition chez les enfants d'âge préscolaire, il sollicite également une autre composante exécutive: la mise à jour en MdT, nécessaire pour retenir les règles des deux phases.

Mise à jour en MdT

Cette composante exécutive permet la gestion de l'information maintenue en MdT-actualisation, suppression de l'information non pertinente. Elle est souvent évaluée lors des

tâches d'empan de chiffres ou de mots à rebours. Dans le test d'empan de chiffres à rebours, l'enfant doit répéter à l'envers des séquences de chiffres variant de deux à cinq items. Dans le test d'empan de mots à rebours, il doit répéter des séquences de mots monosyllabiques variant de deux à cinq items.

Flexibilité cognitive (mentale, attentionnelle)

La flexibilité cognitive permet de se désengager d'un ensemble de réponses à une tâche donnée afin de s'engager dans une autre catégorie de réponses (alternance). Certains auteurs comme Diamond (2006) considèrent que cette FE repose sur les deux composantes décrites précédemment : l'inhibition qui serait requise pour bloquer les réponses devenues non pertinentes et la MdT qui serait requise pour maintenir les nouvelles consignes à suivre. Dans la littérature sur les FE, on peut distinguer deux formes de flexibilité cognitive : *réactive* – qui permet l'alternance (exemple du DCCS), et *spontanée* – qui permet le flux d'idées ou de réponses. Une des épreuves les plus connues pour son évaluation est le Dimensional Change Card Sort (DCCS) de Frye & al (1995), décrit précédemment. Certains auteurs, comme Diamond, Carlson & Beck (2005) expliquent les performances des enfants d'âge préscolaire à la DCCS en termes de défaut d'inhibition. Le Wisconsin Card Sort Test (WCST, Grant & Berg, 1948) est un autre test de flexibilité cognitive, dans lequel l'enfant doit classer des cartes en fonction de trois dimensions (couleur, forme ou nombre). Il doit inférer la dimension pertinente et les changements de dimension en se basant sur les réponses de l'expérimentateur.

Planification

Cette FE est ajoutée aux trois autres par certains auteurs comme Gaux & al (2007), Monette & al (2008). Elle permet de prévoir une séquence d'actions différentes avant de l'effectuer. La Tour de Londres et La Tour de Hanoï font partie des tests utilisés pour son évaluation. La tâche de l'enfant est de reproduire une structure d'objets en effectuant le moins de déplacements possible selon des règles bien définies.

L'étude du développement des composantes exécutives a montré que l'inhibition et la mise à jour en Mdt évoluent plus rapidement que la flexibilité cognitive. Davidson & al

(2006) ont montré que même à l'âge de 13 ans, les enfants font des erreurs de persévération dans des tâches évaluant la flexibilité cognitive et n'ont pas encore atteint la performance moyenne des adultes. Quant à la planification, elle se développerait encore plus lentement que les trois autres composantes exécutives.

II. Problématique

Dans ce chapitre, nous allons commencer par résumer les théories du développement du raisonnement analogique de Gentner (1983, 1988, 1989), de Goswami (1989, 1990, 1992), ainsi que le point de vue de Leech & al (2008) que nous avons décrits dans le chapitre précédent. Chacune de ces conceptions propose une explication du développement de la compréhension des analogies. Ensuite, nous allons exposer notre point de vue qui rejoint celui de Richland & al, décrit précédemment. Enfin, nous allons présenter les hypothèses qui sont le point de départ de cette thèse.

Explication de Gentner

Gentner (1988 ; Gentner & al, 1991, 1998) propose le concept de déplacement relationnel qui rendrait compte du développement de la compréhension des analogies chez les enfants. Selon elle, les jeunes enfants ont des difficultés à raisonner par analogie parce qu'ils seraient attirés plutôt par les caractéristiques de surface des objets que par les caractéristiques structurelles. Cette tendance diminuerait avec l'âge pour laisser la place à une mise en correspondance des structures relationnelles entre les objets – la base de toute analogie. Le déplacement relationnel dépendrait de l'accroissement des connaissances des enfants sur le monde qui les entoure et sur les relations entre les objets.

Explication de Goswami

Selon Goswami (1991, 2001 ; Goswami & al, 1989, 1990) et son hypothèse de primauté des relations, la capacité à raisonner par analogie est présente dès très jeune âge et son évolution serait le fruit de l'accroissement des connaissances de l'enfant sur les relations impliquées dans l'analogie. En d'autres termes, pour faire l'analogie il suffit de connaître les relations qui y sont impliquées.

La différence entre l'explication de Gentner et celle de Goswami est que la première prédit une majorité d'erreurs perceptives lorsque les connaissances sur ces relations sont absentes, alors que la deuxième ne prédit pas de type d'erreurs plus fréquent que l'autre.

Explication de Leech & al (2008)

Ces auteurs proposent une autre perspective du développement du raisonnement analogique selon laquelle il dépendrait d'un mécanisme plus simple – celui de l'amorçage relationnel. Plus précisément, leur modèle connexionniste prédit qu'une fois extraite, la

relation entre les deux items de la paire source (A et B) amorcerait celle entre les items de la paire cible (C et D) lors de la recherche de la solution analogique (D) dans une tâche classique d'analogie.

Notre Explication

L'explication que nous proposons diffère des conceptions traditionnelles du développement du raisonnement analogique. L'acroissement des connaissances qui joue un rôle primordial dans ce développement n'est pas le seul facteur qui pourrait expliquer l'évolution de la compréhension des analogies. Il est nécessaire de prendre en compte également **le développement des fonctions exécutives**, en particulier de **la capacité d'inhibition** qui permet la suppression des distracteurs aussi bien perceptifs que sémantiques lors de la recherche de la solution analogique.

Notre point de vue rejoint celui de Richland & al. (2006), selon lesquels, trouver la solution analogique nécessite l'inhibition des solutions saillantes mais incorrectes. Nous insistons sur l'importance des contraintes cognitives dans une tâche d'analogie, notamment du contrôle inhibiteur sur les caractéristiques des distracteurs qui entrent en compétition avec la solution relationnelle. Ce point de vue se rapproche de la théorie de la complexité relationnelle de Halford qui explique le développement cognitif de l'enfant par le développement de sa capacité à traiter l'information.

Hypothèses

Aborder le développement du raisonnement analogique sous l'angle du développement de la composante exécutive d'inhibition nécesite la présence de distracteurs qui entrent en compétition avec la solution analogique. **Nous faisons l'hypothèse que les enfants sont capables de percevoir la solution analogique mais de ne pas la choisir. La nature et la saillance des choix proposés pourrraient les empêcher de faire l'analogie.** En d'autres termes, ce n'est pas parce que l'enfant choisit un stimulus qui partage une certaine relation avec le terme C, qu'il n'a pas compris quelle est la relation entre A et B, ou bien qu'il n'a pas vu que d'autres stimuli parmi ceux qui lui sont proposés peuvent être appariés au terme C. Nous nous sommes intéressés à deux types de distracteurs - perceptifs et sémantiques, dans une tâche d'analogie A : B :: C : D. Nous avons étudié deux types d'analogies : non sémantiques et sémantiques.

Axe Analogies non sémantiques

Dans le premier axe, nous avons utilisé des analogies non sémantiques, composées de figures géométriques simples. Ce choix a été fait dans le but de limiter le recours aux connaissances sémantiques lors de la recherche de la solution relationnelle. Dans ces études, la relation analogique entre les items était basée sur les caractéristiques perceptives des objets, telles que la transformation de la forme (plus large ou plus étroite) ou bien de la couleur (plus claire ou plus foncée) de l'objet. Pour tester la capacité d'inhibition des enfants, nous avons introduit des distracteurs perceptifs qui pouvaient partager des traits de surface (la forme ou la couleur) avec un des termes de l'analogie (A, B ou C). En d'autres termes, nous nous sommes intéressés à la compétition entre les caractéristiques perceptives et relationnelles des objets proposés. **Notre hypothèse était que pour faire l'analogie l'enfant devrait être capable d'inhiber les informations saillantes mais non pertinentes, notamment le distracteur perceptif.** C'est également le point de vue de Richland & al (2006). Nous avons aussi manipulé le nombre de ces distracteurs (0 vs 1 vs 3). **Nous avons fait la prédiction que l'augmentation du nombre d'items à inhiber devrait augmenter le coût cognitif de la tâche d'analogie parce que l'enfant devrait inhiber plusieurs non solutions saillantes.** Cette prédiction est différente de celle de Goswami selon laquelle si l'enfant a compris la relation entre les termes A et B de l'analogie, il devrait être capable de l'appliquer au terme C et ainsi trouver le terme D. Par conséquent, l'augmentation du nombre de distracteurs perceptifs ne devrait pas influencer les performances des enfants à la tâche d'analogie. Cette conclusion est également valable si on se réfère à l'hypothèse de déplacement relationnel de Gentner - les enfants plus jeunes devraient être davantage perturbés par les caractéristiques perceptives des stimuli, ce qui s'exprimerait par le choix du distracteur perceptif plutôt que le choix de la solution analogique. Pour Gentner, l'augmentation du nombre des distracteurs perceptifs ne devrait pas influencer les performances des enfants à la tâche d'analogie. Enfin, si nous envisageons l'explication de Leech & al (2008) qui voient le raisonnement analogique comme sous-tendu par un mécanisme d'amorçage de la relation entre les deux items de la paire source de l'analogie, l'effet qui en découle reste le même. Une fois que l'enfant a compris la relation qui lie A et B, il devrait l'appliquer à la paire C et D (solution relationnelle) sans se laisser distraire par les caractéristiques perceptives des objets qui ne sont pas pertinentes pour faire l'analogie.

Dans ces études, décrites dans le chapitre suivant, les distracteurs perceptifs peuvent porter sur chacun des termes de l'analogie (A, B et C). Ainsi, dans la condition à 3

distracteurs perceptifs, l'enfant se voit proposer un distracteur perceptif sur A, un autre sur B, un troisième sur C. Par contre, **si on émet la supposition que l'espace de recherche de la solution analogique de l'enfant est limité autour du terme C parce qu'il a compris qu'il devait chercher un item à apparier avec ce terme, la présence de plusieurs distracteurs, tous partageant des caractéristiques perceptives avec C, devrait augmenter la difficulté de la tâche - la quantité d'information saillante mais non pertinente étant plus importante.** Nous avons testé cette hypothèse en introduisant trois distracteurs perceptifs du terme C, à la place d'un distracteur perceptif de chaque terme de l'analogie.

Nous avons également étudié l'influence de la variabilité perceptive entre les stimuli en ajoutant des caractéristiques perceptives non pertinentes pour faire l'analogie, que nous avons appelées « bruit de fond ». Ce bruit de fond était représenté par des motifs noirs aléatoires à l'intérieur des formes géométriques. **Nous avons émis l'hypothèse que la variabilité perceptive devrait perturber la recherche de la solution analogique.**

La mesure des temps de réaction (TR) des enfants nous a permis de mieux cerner la composante exécutive d'inhibition – **la présence de distracteur perceptif devrait ralentir les TR et ceci d'autant plus lorsque le nombre de distracteurs perceptifs augmente.** Cet effet n'est pas prédit par Goswami, Gentner ou Leech & al (2008). Selon ces auteurs, nous ne devrions pas observer des différences dans les TR en fonction du nombre de distracteurs perceptifs. Tout de même, selon la théorie de Gentner, la présence d'un distracteur perceptif devrait ralentir les réponses des enfants plus jeunes comparées à leurs réponses en absence de distracteur perceptif.

Axe Analogies sémantiques

Dans un second axe d'études, nous nous sommes intéressés aux analogies sémantiques. Cet axe est inspiré par l'étude de Goswami & al (1990) que nous avons critiquée parce que la majorité des relations analogiques utilisées étaient des relations d'association sémantique forte. Dans ce cas-là, le choix de la solution relationnelle ne nécessite pas la présence de la paire source A/B. Nous avons décidé de manipuler la force d'association sémantique entre les items de chacun des deux paires de l'analogie (A/B et C/D) pour tester son rôle dans la compréhension des analogies. A notre connaissance, elle n'a jamais été explorée de manière explicite dans la littérature sur le développement du raisonnement analogique. **Notre hypothèse était que le recours aux fonctions exécutives serait différent en fonction de la force d'association entre les items des deux paires de l'analogie (faible**

vs forte). Nous parlons de force d'association sémantique dans le sens où lorsque le sujet se trouve en présence d'un mot (ou d'un dessin) il va activer dans sa mémoire à long terme plusieurs mots sémantiquement reliés au mot (ou dessin) qu'il voit. Un exemple d'association sémantique forte serait *vache – lait*, alors qu'un exemple d'association sémantique faible, qui ne vient pas immédiatement à l'esprit mais qui est possible serait *enfant – lit* (l'enfant dort dans un lit). Il est important de noter la différence entre connaître la relation entre deux concepts et faire cette relation. Par exemple, tout le monde sait que les enfants dorment dans des lits même si ces deux concepts ne sont pas fortement associés en mémoire. Lorsque la relation entre les items de chaque paire de l'analogie est forte, la solution analogique se trouve en quelque sorte amorcée, activée et par conséquent, facilitée. Par contre, dans le cas d'analogies pour lesquelles la force d'association entre les items de chaque paire est faible, la recherche dans l'espace sémantique deviendrait plus longue et fastidieuse à cause de la présence de plusieurs solutions analogiques qui devraient être testées parce qu'elles pourraient être pertinentes pour l'analogie. Nous croyons que la compréhension d'une analogie repose sur l'exploration d'un espace multidimensionnel où la solution analogique serait plus ou moins saillante. Les possibilités de relation entre C et D pourraient être très nombreuses parce que selon le contexte, le sujet peut trouver une certaine relation entre deux concepts à laquelle il n'aurait pas pensé spontanément (Chalmers, French & Hofstadter, 1992 ; French, 1995 ; Hofstadter & al, 1995 ; Mitchell, 1993 ; Thibaut & Schyns, 1995 ; Schyns, Goldstone & Thibaut, 1998). C'est ce que nous avons appelé « **hypothèse de profondeur de recherche** ». Le recours à la capacité d'inhibition serait plus important lorsque la force d'association entre les items est faible que lorsqu'elle est forte. Les conceptions du développement de la compréhension des analogies de Goswami, de Gentner et celle de Leech & al (2008) ne prédisent pas de différence de performance en fonction de la force d'association des items de chaque paire de l'analogie, à condition que l'enfant ait compris ces relations.

Nous avons aussi manipulé le nombre de distracteurs sémantiques (1 vs 3). Tout comme pour les analogies non sémantiques, **notre hypothèse était qu'il serait plus facile d'inhiber un seul distracteur que trois.** Encore une fois, Gentner, Goswami, ainsi que Leech & al (2008) ne prédisent pas de différence entre ces deux conditions.

Nous nous sommes également intéressés à la nature du distracteur – perceptif ou sémantique. Dans la littérature sur le développement du raisonnement analogique, les deux types de distracteurs sont présents dans un seul et même essai (Goswami & Brown, 1990 ;

Rattermann & Gentner, 1998). Ceci rend la distinction de leur influence difficile parce que chaque type de distracteur se trouve en compétition avec la solution analogique mais également avec l'autre distracteur. La manipulation du type de distracteur nous renseignerait sur le type d'information qui aurait une influence plus importante sur le raisonnement analogique chez l'enfant, influence qui pourrait varier en fonction de l'âge comme le prédit **l'hypothèse de déplacement relationnel de Gentner – les enfants plus jeunes seraient plus perturbés par les distracteurs perceptifs, alors que les enfants plus âges auraient plus de difficultés à inhiber les distracteurs sémantiques**. Selon Goswami, il n'y aurait pas d'effet du type de distracteur (perceptif vs sémantique) parce que son hypothèse ne prédit pas de type d'erreurs particulier. La même observation est valable pour le modèle de Leech & al (2008).

Dans la dernière étude de cet axe, nous sommes allés encore plus loin dans l'exploration du développement de la compréhension des analogies. Nous l'avons toujours expliqué par le développement de la capacité d'inhibition qui permet de bloquer toutes les solutions saillantes mais non pertinentes pour faire l'analogie. Cette fois-ci, nous avons utilisé le test Day-Night (Jour/Nuit) pour tester la capacité d'inhibition des enfants**. Nous avons prédit que les enfants qui avaient des difficultés d'inhibition devraient également avoir de moins bonnes performances à la tâche d'analogie que les enfants qui possédaient de bonnes capacités d'inhibition, ceci uniquement lorsque la force d'association sémantique entre les items de chaque paire de l'analogie était faible.** Cette différence s'expliquerait par le recours à l'inhibition plus important dans le cas d'association faible (voir l'hypothèse de profondeur de la recherche).

Un test d'évaluation du niveau d'acquisition du vocabulaire a également été utilisé – l'Echelle de Vocabulaire en Images de Peabody (EVIP) – dans le but de tester les théories de Gentner et de Goswami qui prédisent que **les enfants avec un niveau de vocabulaire plus développé auraient de meilleures performances à la tâche d'analogie**. Cette hypothèse est différente de l'hypothèse d'inhibition qui ne prédit pas d'effet de l'accroissement des connaissances sur la capacité des enfants à raisonner par analogie.

Enfin, nous avons enregistré les TR lors de la recherche de la solution analogique. Nous avons émis les hypothèses suivantes : **les TR devraient être plus courts pour les analogies dans lesquelles les associations sémantiques sont fortes que pour les analogies dans lesquelles les associations sémantiques sont faibles parce que ces dernières sollicitent la capacité d'inhibition de manière plus importante.** De nouveau, les points de

vue de Gentner, de Goswami et de Leech & al (2008) ne prédisent pas de différence dans la vitesse de réponse entre ces deux conditions.

III. Analogies non sémantiques

Etude 1 : Formes géométriques identiques

Objectif de l'étude

Notre hypothèse de départ est que l'augmentation du nombre de distracteurs perceptifs dans une tâche de choix forcé rendrait l'analogie difficile parce que l'enfant doit faire face à plusieurs solutions saillantes mais non pertinentes. Pour arriver à la réponse analogique, il doit être capable de les inhiber toutes. L'augmentation du nombre de distracteurs perceptifs à inhiber va augmenter la charge cognitive de la tâche.

Dans le but de tester cette hypothèse, nous avons créé trois conditions expérimentales dans lesquelles nous avons fait varier le nombre de distracteurs perceptifs. En d'autres termes, plus il y a de distracteurs perceptifs, plus la charge cognitive de la tâche sera importante parce que l'enfant doit inhiber toutes les solutions saillantes non pertinentes pour trouver la réponse analogique, plus il aura des difficultés à trouver la solution analogique.

Méthodologie

Participants

Des enfants de trois groupes d'âges ont pris part à cette étude : 6, 8 et 14 ans. Plus précisément, nous avons testé 19 enfants de 6 ans (8 filles et 11 garçons, M = 77 mois; étendue d'âge: 73-84 mois), 20 enfants de 8 ans (8 filles et 12 garçons, M = 102 mois; étendue d'âge: 97-108 mois) et 19 adolescents de 14 ans (9 filles et 11 garçons, M = 172 mois ; étendue d'âge: 168-177 mois). Les enfants de 6 ans et la moitié de ceux de 8 ans provenaient d'une école urbaine de Sofia (Bulgarie). L'autre moitié des enfants de 8 ans testés provenait d'une école rurale de Latillé, et ceux de 14 ans – d'un collège de Vivonne, toutes deux situées dans la Vienne. Nous avons comparé les résultats des enfants des deux pays du groupe de 8 ans pour nous assurer qu'il n'y avait pas de différence significative entre leurs performances à cette tâche d'analogie, une différence qui serait due à des différences interculturelles. Nous n'avons testé que des enfants non redoublants. Un groupe contrôle de 10 sujets adultes de l'Université de Poitiers a aussi participé à cette étude. Ce groupe a été testé dans le but de vérifier la non ambiguïté du matériel expérimental.

Matériel

Nous avons mis en place trois conditions expérimentales dans lesquelles nous avons manipulé le nombre de distracteurs perceptifs. Il s'agit d'une tâche de choix forcé : dans chacune de ces trois conditions l'enfant devait chercher la solution de l'analogie parmi quatre stimuli. L'expérience contient 20 essais au total (4 essais d'entraînement + 16 essais expérimentaux). Parmi les essais expérimentaux nous avons aussi introduit quatre fillers. Ils proposaient que deux choix possibles – la solution analogique et un distracteur perceptif sur le terme C (voir figure 1). L'intérêt de ces fillers était de varier la structure du problème pour éviter des réponses systématiques et stéréotypées liées au même type de structure. Chaque condition d'appariement est composée de 4 essais. L'analogie porte sur la relation d'identité – même forme ou même couleur (voir figure 11 et l'Annexe 1 pour plus d'information). Il y a 8 listes expérimentales dans lesquelles nous avons contrebalancé les stimuli. De cette manière nous avons essayé d'éviter des choix systématiques liés à des préférences pour une forme ou une couleur particulière. D'une liste à une autre il y a deux types de transformations :

- une forme (ou bien couleur) de la base d'une liste se retrouve comme une forme (couleur) d'un distracteur dans une autre liste afin d'éviter les préférences de certaines formes ou couleurs face aux autres choix possibles
- une forme (couleur) qui fait partie de l'analogie dans une liste est un distracteur dans une autre

Chaque liste constitue un fichier powerpoint. Un essai est présenté sur une diapositive. Chaque stimulus est encadré pour bien départager les formes géométriques (voir figure 1.). Un essai est présenté sur deux diapositives: dans la première, le sujet doit prédire la bonne réponse, alors que dans la deuxième il doit choisir cette réponse parmi un ensemble de formes proposées.

Conditions d'appariement:

2) Sans Conflit – dans cette condition, l'enfant doit trouver la solution analogique parmi quatre propositions. Les trois distracteurs ne partagent pas de traits perceptifs avec aucun des termes de l'analogie. C'est la condition la plus facile.
3) 1 Conflit – parmi les quatre choix proposés à l'enfant il y a la solution analogique, un distracteur perceptif qui a la même couleur que C pour les analogies basées sur la forme ou bien la même forme que C pour les analogies basées sur la couleur (voir

figure 11) et deux autres stimuli qui ne partagent pas de traits perceptifs avec les termes de l'analogie.

4) 3 Conflits – la solution analogique et trois distracteurs perceptifs qui partagent des caractéristiques communes avec le terme A, le terme B et le terme C respectivement sont présentés. C'est la condition la plus difficile parce que toutes les réponses non attendues sont des distracteurs perceptifs.

Dimensions d'appariement :

1) Forme – dans cette condition les termes A et B de la paire source de l'analogie partagent la même forme, mais elles sont de couleur différente. Idem pour les termes C et D de la paire cible de l'analogie.
2) Couleur – les termes A et B de l'analogie partagent la même couleur mais elles sont de forme différente. Idem pour les termes C et D de la paire cible de l'analogie.

Par conséquent, pour faire l'analogie l'enfant doit se rendre compte que puisque le point commun entre A et B est même forme ou la même couleur, il doit chercher la même forme ou couleur que C parmi les solutions proposées. Nous n'avions pas d'hypothèse a priori sur ces deux dimensions d'appariement. Nous avons introduit la couleur comme une dimension supplémentaire parce que le prétest du matériel a montré qu'au fur et à mesure de l'avancement de la tâche les enfants se rendaient compte que l'analogie portait sur la forme. De cette manière, trouver la réponse relationnelle devenait une tâche très simple lors des derniers essais de l'étude.

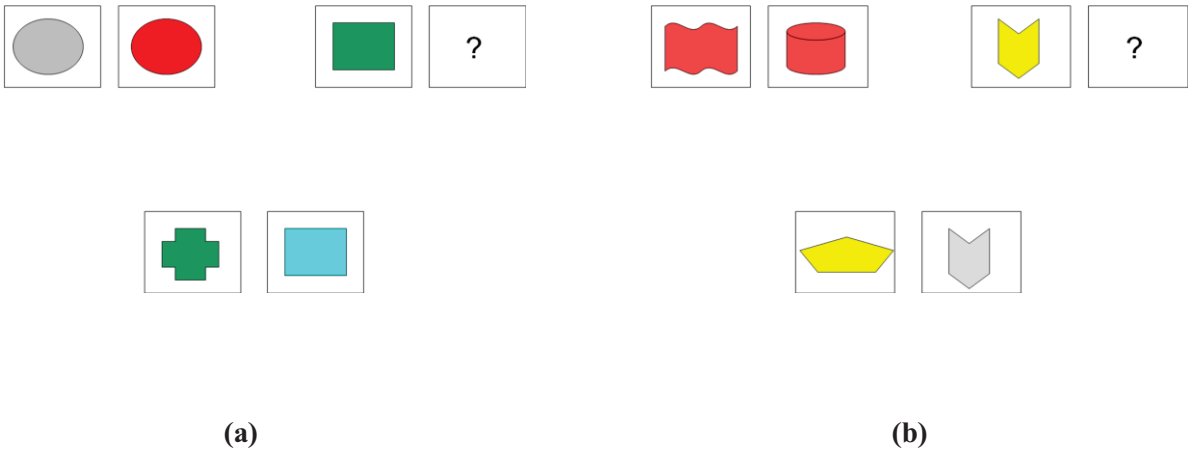


Figure 11. Exemple d'analogie selon la dimension d'appariement (a – analogie sur la forme ; b – analogie sur la couleur)

Procédure

Les sujets voient les stimuli sur l'écran d'un ordinateur portable ACER de 15 pouces. La consigne donnée aux enfants était de « finir la rangée » tout comme dans l'étude de Goswami & Brown, 1990. A chaque réponse, on demande une justification pour nous assurer que l'enfant a choisi cet item parce qu'il a bien compris l'analogie et pas sur la base d'un autre critère qu'il aurait trouvé.

Voici la consigne exacte de la tâche: *« On va jouer à un jeu dans lequel je vais te montrer des images de formes colorées… Voici une rangée de formes colorées. Regarde, ici il en manque une. Tu dois chercher dans ces images celle qui finit la rangée. »* (en pointant du doigt).

Aucun feedback n'est donné aux enfants sauf des encouragements tout au long de l'expérience.

Résultats

Une ANOVA a été effectuée sur les données avec l'Age (6, 8 et 14 ans) en variable inter-sujet, la Dimension d'Appariement (forme vs couleur) et la Condition d'Appariement (Sans Conflit, 1 Conflit et 3 Conflits) en variable intra-sujet. La variable dépendante était le nombre de réponses analogiques. Les dix adultes que nous avons testés n'ont pas été intégrés dans cette analyse parce qu'ils n'ont commis aucune erreur. Ceci montre que les analogies construites étaient non ambiguës.

Les résultats montrent un effet principal significatif pour chacun de ces facteurs. Il n'y a pas d'interaction.

<u>Effet de l'Age</u> $F(2, 55) = 21{,}36$ $p < .001$; $\eta^2 = .44$. Les performances augmentent avec l'âge.

Le test post-hoc de Tukey a montré que le groupe de 14 ans (M = 1,86 sur 2) avait de meilleures performances que le groupe de 6 ans (M = 1,2 sur 2), $p<.001$, et le groupe de 8 ans (M = 1,45 sur 2), $p<.02$. Les enfants de 8 ans étaient meilleurs que ceux de 6 ans, $p<.01$.

<u>Effet de la Dimension d'Appariement</u> $F(1,55) = 22{,}89$ $p < .001$; $\eta^2 = .29$. Les analogies sur la forme (M = 1,71) sont significativement mieux réussies que les analogies sur la couleur (M = 1,29).

Effet de la Condition d'Appariement $F(2, 110) = 13{,}15$, $p < .001$; $\eta^2 = 0{,}19$. Le test post-hoc de Tukey a révélé que la condition Sans Conflit (M = 1,67) était la plus facile, $p<.001$. Les deux autres conditions 1 Conflit (M = 1,39) et 3 Conflits (M = 1,44) ne diffèrent pas significativement entre elles.

Analyse des erreurs

Nous nous sommes aussi intéressés au type d'erreurs commises par les enfants. Lorsqu'il y a un seul distracteur perceptif, il partage des traits perceptifs avec le terme C. Nous avons analysé les erreurs dans la condition 3 Conflits, dans laquelle il y a trois distracteurs, chacun partageant des traits perceptifs avec un des items de l'analogie - A, B ou C.

Dans la condition Sans Conflit, il n'y a pas de distracteur perceptif. Nous avons appelé les erreurs commises dans cette condition « autre » parce qu'elles portaient sur des réponses non attendues. Dans la condition 1 Conflit, le type d'erreur peut être « perceptif » si elle porte sur le distracteur perceptif ou bien « autre » si le choix de l'enfant tombe sur un distracteur qui ne partage pas de caractéristiques perceptives avec le terme C. Dans la condition 3 Conflits où les distracteurs sont tous perceptifs, nous avons comparé la distribution d'erreurs perceptives en fonction du terme de l'analogie sur lequel ils portaient (A, B ou C). (voir figure 12)

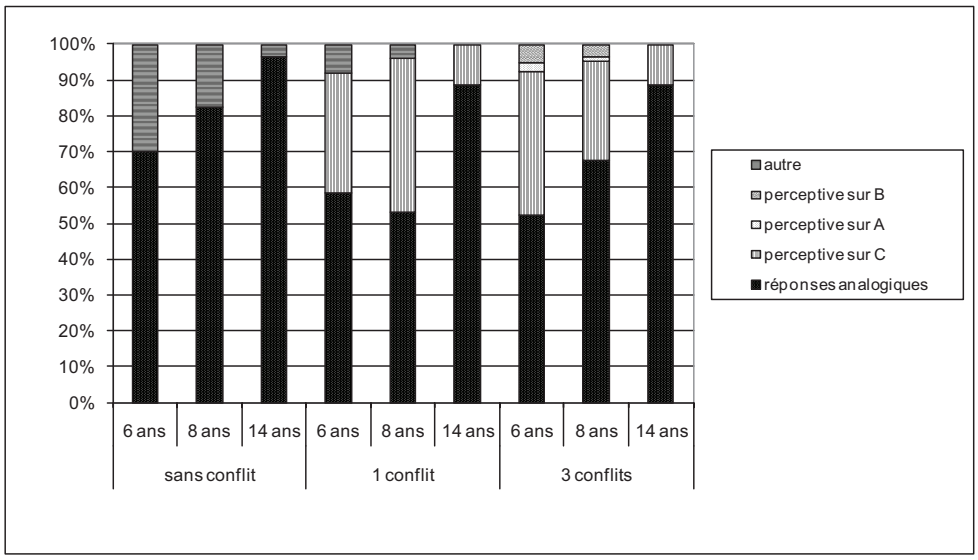


Figure 12. Type d'erreurs par âge et condition d'appariement

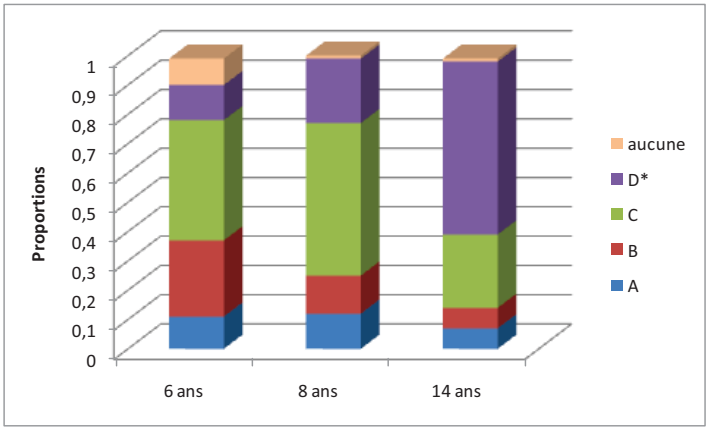
Dans la condition Sans Conflit, les enfants âgés de 6 et de 8 ans font beaucoup d'erreurs malgré le fait que les solutions proposées ne sont pas des distracteurs perceptifs. Cependant, leurs justifications ne laissent pas penser qu'ils auraient pu trouver une sorte d'analogie à laquelle on n'aurait pas songé en construisant le matériel.

Dans la condition 1 Conflit, la majorité des erreurs pour les trois groupes d'âge est perceptive. Le test de Khi² (1) = 9, $p<.01$ pour les enfants de 6 ans a montré que le nombre d'erreurs perceptives commises (80 %) diffère significativement du nombre d'erreurs « autre » (20 %). La même différence est observée pour les enfants de 8 ans (Khi² (1) = 7,08, $p<.01$) et les enfants de 14 ans, Khi² (1) = 6,11, $p<.02$ (92 % d'erreurs perceptives pour les enfants de 8 ans, 100 % d'erreurs perceptives pour les adolescents).

Dans la condition 3 Conflits, la majorité des erreurs porte sur le distracteur du terme C, Khi² (1) = 19,08, $p<.001$ pour les 6 ans (85 % des erreurs), Khi² (1) = 27,28, $p<.001$ pour les 8 ans (87 % des erreurs), Khi² = 15, $p<.001$ pour les 14 ans (toutes les erreurs de ce groupe sont perceptives).

Analyse des prédictions

Lorsque les enfants faisaient des prédictions sur la forme géométrique qui devait « finir la rangée », ils pointaient une des figures qu'ils voyaient à l'écran (A, B ou C). Dans la vaste majorité des cas ils pointaient le terme C (voir figure 13). Ce n'est qu'à 14 ans que la plupart d'entre eux étaient capables de donner la bonne réponse ou du moins de la verbaliser de manière non ambiguë. Une interprétation possible du fait qu'ils choisissent majoritairement le C pourrait être qu'ils ont compris que le D doit partager certaines caractéristiques avec C.



D* correspond aux cas où l'enfant était capable d'expliquer spontanément quel objet devrait finir la rangée

Figure 13. Proportion de prédictions basées sur chacun des termes de l'analogie en fonction de l'Age

Discussion

L'augmentation du nombre de distracteurs perceptifs a conduit à la baisse des performances des enfants à la tâche d'analogie. C'est le cas lorsque l'on compare la condition Sans Conflit aux deux autres. Ce résultat est compatible avec l'idée que lorsque l'enfant doit faire un choix parmi plusieurs solutions il aura des difficultés à inhiber le ou les distracteurs qui partagent des traits perceptifs communs avec un des termes de l'analogie. Plus précisément, les résultats des enfants âgés de 6 ans montrent qu'ils n'arrivent pas à bloquer le distracteur perceptif qui entre en compétition avec la solution analogique. Par contre, ce qui est étonnant est que nous n'avons pas observé de différence entre la condition à 1 Conflit et celle à 3 Conflits, alors que le nombre de distracteurs augmente de l'une condition à l'autre. Ceci va à l'encontre de notre hypothèse : nous avions prédit que l'augmentation du nombre de distracteurs allait augmenter le coût cognitif de la tâche et par conséquent, l'inhibition des choix saillants non pertinents serait encore plus difficile. L'absence de différence entre ces deux conditions pourrait quand même être expliquée par l'analyse du type d'erreurs. Lorsque les enfants doivent choisir la solution analogique parmi les quatre stimuli qui leur sont proposés, ils les comparent surtout avec le terme C parce qu'ils ont compris qu'il faut chercher une figure qui va avec C, de la même manière que A et B vont ensemble. En d'autres termes, ils comprennent qu'ils doivent rechercher un item qui partage des traits avec le terme C. De plus, le nombre d'erreurs plus important sur C que sur les termes A et B dans la condition à 3 Conflits pourrait expliquer l'absence de différence significative entre les deux

conditions. Si les enfants se basent sur les caractéristiques de C mais pas des deux autres termes pour effectuer le mapping et trouver le terme D, alors ils ne devraient pas être attirés par les distracteurs perceptifs sur A et B.

Enfin, le résultat obtenu dans la condition Sans Conflit est très intéressant. L'absence de conflit dans cette condition devrait faciliter la sélection de la réponse analogique, d'autant plus que dans ce cas-là la réponse analogique représente aussi un appariement perceptif. Il s'agit de la relation d'identité même forme ou même couleur. Or, les enfants de 6 et 8 ans étaient loin d'avoir des performances parfaites, surtout pour les analogies dont la dimension d'appariement était la couleur. Une explication de ce résultat est qu'ils pourraient chercher des solutions parmi les autres stimuli aussi et seraient incapables de considérer toutes les possibilités proposées simultanément. Ce résultat ne peut pas être attribué à une ambiguïté sur les solutions parce que les adultes testés ont obtenu des performances parfaites.

Les résultats de cette étude peuvent être expliqués par des contraintes de traitement de l'information. Pour résoudre une analogie nous recherchons des solutions potentielles. Le coût cognitif augmente lors de la comparaison entre les items de la base avec les choix proposés. Pour arriver à la réponse analogique nous devons inhiber des items qui sont saillants mais qui ne sont pas pertinents pour l'analogie. En conclusion, les performances des enfants dans cette tâche d'analogie sont attribuées au coût cognitif engendré par les caractéristiques perceptives qui entrent en compétition avec les caractéristiques relationnelles.

Biais en faveur de la forme ?

Comme nous l'avons déjà précisé dans la partie résultats, nous avons observé une différence entre les deux dimensions d'appariement Forme vs Couleur, la condition Forme étant mieux réussie que la condition Couleur. Nous n'avions pas d'hypothèse au préalable concernant ces dimensions. Cette différence entre les deux conditions ne peut pas être due à un manque de connaissances ou à l'hypothèse de Gentner de relational shift – d'un côté, les formes géométriques de l'expérience n'impliquent pas la nécessité d'avoir des connaissances pour faire l'analogie ; la relation d'identité lorsqu'il s'agit d'une forme ou d'une couleur est toujours basée sur une caractéristique perceptive. Une hypothèse largement répandue est que pour les enfants la forme est beaucoup plus saillante que la couleur (Landau, Smith & Jones, 1998; Diesendruck & Bloom, 2003). La forme est la caractéristique la plus importante d'un

objet, celle sur laquelle les enfants s'appuient lorsqu'ils doivent catégoriser ou généraliser des objets. Une explication de notre résultat en faveur de la forme serait qu'une fois qu'ils ont pris la forme comme dimension d'appariement avec C ils l'utiliseraient régulièrement de manière stéréotypée. Une autre hypothèse est que lorsque la forme et la couleur sont en compétition, les enfants ont des difficultés à inhiber l'appariement sur la forme qui dans ce cas-là est un distracteur. Dans la condition 3 Conflits, les enfants ont choisi plus de distracteurs qui portaient sur la forme que sur la couleur. Ce résultat montre que la condition Couleur dans laquelle le distracteur perceptif est la même forme génère plus de bruit que la condition Forme. Donc, la forme serait une dimension plus saillante de l'objet uniquement lorsqu'elle se trouve en compétition avec la couleur.

Etude 2 : Formes géométriques transformées

Objectif de l'étude

Dans la première étude l'analogie était basée sur la relation d'identité entre les formes géométriques (même forme ou même couleur). L'inconvénient de cette relation est que la réponse analogique est aussi une réponse perceptive. En d'autres termes, pour faire l'analogie il faudrait mettre en correspondance des objets qui partagent le trait perceptif même forme ou même couleur (voir figure 14). Pour éviter cette confusion entre réponse relationnelle et perceptive, nous avons mis en place une nouvelle expérience. Elle représente une variation de la première étude afin de mieux contrôler la structure de l'analogie.

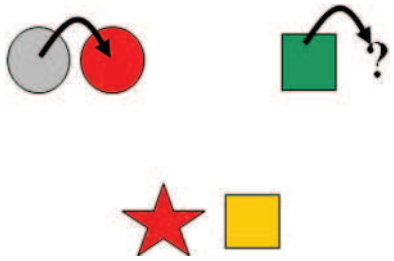


Figure 14. Relation d'identité : la carré jaune qui correspond à la réponse analogique dans cet exemple (deux cercles d'un côté, donc deux carrés de l'autre) peut aussi être choisi par l'enfant uniquement parce qu'il partage le même trait perceptif (même forme) avec le carré vert.

C'est pour cette raison que dans cette étude, l'analogie est basée sur une transformation de la forme ou bien de la couleur des figures (voir figure 15). Par exemple, si C est un cercle, D sera un ovale. Dans le cas d'analogie sur la forme, elle était rétrécie ou bien allongée. Dans le cas d'analogie sur la couleur, nous avons modifié sa luminosité, la rendant plus foncée.

Tout comme dans l'étude précédente, la tâche utilisée était du type A : B :: C : ?. Quatre choix possibles ont été proposés à l'enfant pour compléter l'analogie. Nous nous sommes posés la question de la compétition entre les attributs perceptifs des stimuli proposés et les relations entre eux. La nécessité de posséder des connaissances sémantiques pour pouvoir faire l'analogie a été réduite au minimum grâce à la manipulation de figures géométriques. Nous avons varié le nombre de distracteurs perceptifs pour vérifier notre

hypothèse d'augmentation du coût cognitif de la tâche avec l'augmentation du nombre de distracteurs. En d'autres mots, plusieurs distracteurs perceptifs rendraient la tâche plus difficile parce que le sujet est obligé de les inhiber tous avant d'arriver à la solution analogique. Pour tester cette hypothèse nous avons mis en place trois conditions expérimentales dans lesquelles le nombre de distracteurs perceptifs augmentait progressivement (0 vs 1 vs 3). Nous nous sommes aussi intéressés au type d'erreurs commises par les enfants pour mieux comprendre quel type d'information les perturbait le plus. Enfin, nous avons testé les mêmes groupes d'âges que dans l'étude 1 : des enfants de 6, 8 et 14 ans. Des changements développementaux importants liés aux fonctions exécutives se produisent à ces âges-là (Davidson & al, 2006). C'est pour cette raison qu'ils ont fait l'objet de nos études. Dans une étude antérieure qui n'est pas développée dans cette thèse, nous avons aussi testé des enfants de 4 ans avec du matériel non sémantique mais ce type d'analogies s'est avéré trop compliqué pour de si jeunes enfants.

Méthodologie

Participants

Des enfants de trois groupes d'âges ont pris part à cette étude : 6, 8 et 14 ans. Nous avons testé 20 enfants de 6 ans (14 garçons et 6 filles, M = 78 mois, étendue d'âge = 75-84 mois), 20 enfants de 8 ans (11 garçons et 9 filles, M = 100 mois, étendue d'âge = 96-108 mois) et 18 adolescents de 14 ans (10 garçons et 8 filles, M = 174 mois, étendue d'âge = 169-178 mois). Les enfants sont non redoublants, tous issus d'un milieu socio-économique moyen. Les enfants de 6 ans et ceux de 8 ans étaient scolarisés dans des écoles rurales des communes de Vivonne et Chauvigny. Les enfants de 14 ans provenaient d'une école urbaine de Sofia, Bulgarie. Dans notre étude précédente nous avions comparé les résultats des enfants de France et de Bulgarie du groupe de 8 ans pour nous assurer qu'il n'y avait pas de différence significative entre leurs performances à la tâche d'analogie. Enfin, un groupe contrôle composé de 10 adultes de l'Université de Poitiers a participé dans cette expérience pour vérifier que les solutions des analogies proposées étaient non ambiguës.

Matériel

Tout comme dans l'étude précédente chaque essai contenait la présentation classique A : B :: C : ?. Il y avait toujours trois conditions expérimentales dans le but de faire varier le

nombre de distracteurs perceptifs. Nous avons utilisé une tâche de choix forcé : dans chacune de ces trois conditions l'enfant devait chercher la solution analogique parmi quatre stimuli. Chaque sujet voyait 18 essais expérimentaux précédés de 3 essais d'entraînement. L'analogie portait sur la transformation de la forme ou de la couleur (voir figure 15 et Annexe 2) : même forme mais élargie ou aplatie ou bien même couleur mais plus foncée. Nous avons aussi gardé la dimension d'appariement dans laquelle la relation d'identité jouait le rôle de relation analogique : même forme. De cette manière, chaque condition d'appariement était composée de 2 essais.

Conditions d'appariement:

Les conditions d'appariement sont les mêmes que celles de l'étude 1.

1) Sans Conflit – dans cette condition, l'enfant doit trouver la solution analogique parmi quatre propositions. Les trois réponses non attendues ne partagent aucune caractéristique perceptive avec les termes de l'analogie. C'est la condition la plus facile.
2) 1 Conflit – parmi les quatre choix proposés à l'enfant il y a la solution analogique et un distracteur perceptif qui a la même couleur que C pour les analogies basées sur la forme ou bien la même forme que C pour les analogies basées sur la couleur (voir figure 15). Les deux autres stimuli ne partagent pas de traits perceptifs avec les termes de l'analogie.
3) 3 Conflits – la solution analogique et trois distracteurs perceptifs qui partagent des caractéristiques communes avec le terme A, le terme B et le terme C respectivement sont présentés. C'est la condition la plus difficile parce que toutes les non solutions sont des distracteurs perceptifs.

Dimensions d'appariement:

1) Forme identique – cette condition est la même que celle de l'étude 1 : A et B ont la même forme, idem pour C et D. C'est la relation d'identité qui constitue l'analogie. Nous l'avons gardée pour pouvoir comparer les performances dans cette condition aux performances dans la condition forme transformée.

2) Forme transformée – dans cette condition B a la même forme que A mais élargie ou aplatie, de couleur différente, idem pour C et D.
3) Couleur transformée – pour la condition Couleur transformée, B a une couleur plus foncée que A. Ce sont deux formes différentes. La même transformation de la couleur est valable pour C et D.

Pour réussir l'analogie, l'enfant doit comprendre la relation entre les deux items de la paire source (A et B) et l'appliquer à la paire cible (C et D).

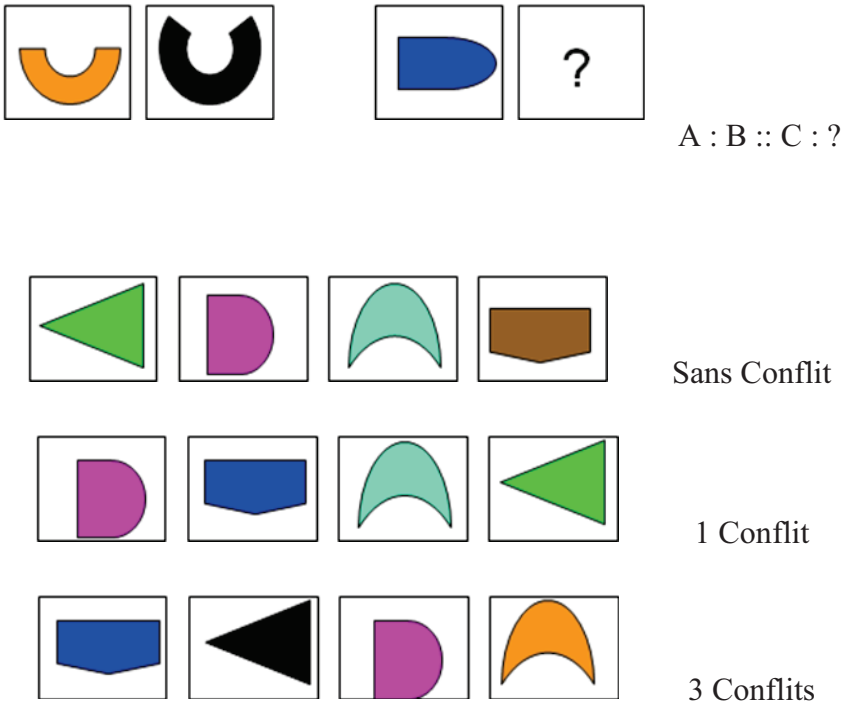


Figure 15. Exemple d'analogie sur la dimension d'appariement forme transformée avec un exemple pour chaque condition d'appariement (Sans Conflit, 1 Conflit, 3 Conflits)

Nous avons construit 9 listes expérimentales. Une liste correspond à un fichier powerpoint. Un essai est présenté sur une diapositive. Chaque stimulus est encadré pour bien délimiter les formes géométriques (voir figure 15 et Annexe 2). Les items ont été contrebalancés à travers les listes de façon à ce que chaque forme ou couleur fasse partie des items de l'analogie ou bien des distracteurs. Ceci a été fait dans le but d'éviter tout biais lié à la préférence systématique d'une forme ou d'une couleur. Chaque essai passait par toutes les conditions d'appariement (Sans Conflit, 1 Conflit, 3 Conflits) et par toutes les dimensions d'appariement (forme identique, forme transformée, couleur transformée).

Contrairement à l'étude 1, dans cette étude il n'y avait pas de diapositive de prédiction pour chaque essai, diapositive pour laquelle on ne proposait pas de solutions possibles parmi lesquelles l'enfant devait choisir l'item D. Dans l'étude 1, avant chaque essai une diapositive avec les termes A : B : C : ? en l'absence des quatre réponses apparaissait à l'écran de l'ordinateur. Nous les avions utilisées pour tester si l'enfant était capable de prédire la réponse analogique sans l'avoir sous les yeux. En effet, l'analyse des prédictions avait montré que ce n'est qu'à 14 ans que la majorité des enfants testés était capables de prédire correctement la solution analogique.

Procédure

La consigne donnée aux enfants avant de commencer la tâche était la même que dans l'étude 1 : *« On va jouer à un jeu dans lequel je vais te montrer des images de formes colorées… Voici une rangée de formes colorées. Regarde, ici il en manque une. Tu dois chercher dans ces images celle qui finit la rangée. »* (en pointant du doigt)

Les stimuli sont présentés sur l'écran d'un ordinateur portable de 15 pouces. A chaque essai, on demande à l'enfant de justifier sa réponse pour nous assurer que l'item choisi est pris parce que le sujet a compris l'analogie et pas parce qu'il a trouvé un autre critère pour faire le lien entre les deux items.

Phase 2

Nous avons ajouté une deuxième phase qui venait juste après la tâche d'analogie pour contrôler si les enfants étaient capables de percevoir que dans la condition de forme transformée il était question de la même forme qui a été modifiée et que dans la condition couleur transformée il s'agissait de la même couleur qui a été retouchée. Il y avait deux diapositives pour chaque essai expérimental : une pour la paire A : B et une autre pour C : D. La question posée à l'enfant était : « qu'est-ce qui a à peu près la même forme (couleur) ? » (voir figure 16).

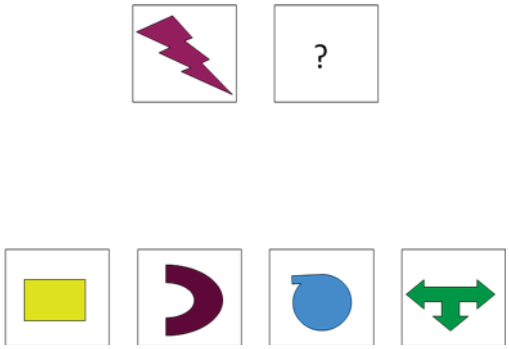


Figure 16. Exemple de la phase de contrôle (condition couleur transformée)

Aucun feedback n'est donné aux enfants, uniquement des encouragements tout au long de l'expérience.

Résultats

Nous avons pris en compte dans l'analyse uniquement les essais pour lesquels les enfants avaient répondu correctement lors de la deuxième phase, phase dans laquelle on contrôlait la perception de la transformation de la forme ou de la couleur. Si l'enfant n'a pas donné la bonne réponse dans cette phase nous ne pouvons pas être sûrs qu'il a vu que les items A et B ou C et D avaient la même forme ou la même couleur. Il y avait une seule erreur de ce type, commise par un enfant du groupe de 8 ans. Nous n'avons pas inclus dans cette analyse le groupe d'adultes parce qu'ils n'ont pas commis d'erreurs et par conséquent, il n'y avait aucune variabilité dans les données de ce groupe.

Une ANOVA avec l'Age (6 ans vs 8 ans vs 14 ans) en variable inter-sujet, la Dimension d'Appariement (Forme pareille vs Forme transformée vs Couleur transformée) et la Condition d'Appariement (Sans Conflit vs 1 Conflit vs 3 Conflits) en variables intra-sujet a été réalisée. La variable dépendante est le nombre de réponses analogiques.

Les résultats montrent un effet principal significatif pour chacun de ces facteurs.

<u>Effet de l'Age</u> $F(2, 55) = 19{,}79$, $p < .001$, $\eta^2 = .42$. Les performances des enfants à la tâche d'analogie augmentent avec l'âge. Le test post-hoc de Tukey a révélé que le groupe de 14 ans (M = 1,74 sur 2) avait de meilleures performances que le groupe de 6 ans (M = 1,28 sur 2), $p<.001$. Le groupe de 8 ans (M = 1,70 sur 2), quant à lui, avait de meilleures performances que le groupe de 6 ans, $p<.001$.

Effet de la Dimension d'Appariement F(2, 110) = 22,18, $p < .001$, $\eta^2 = .29$. Le test de Tukey a montré que la condition Forme pareille (M = 1,80 sur 2) ne diffère pas significativement de la condition Forme transformée (M = 1,68 sur 2), $p<.001$. Les deux conditions sont mieux réussies que la condition Couleur transformée (M = 1,28 sur 2), $p<.001$.

Effet de la Condition d'Appariement F(2, 110) = 31,53, $p < .001$, $\eta^2 = .36$. Les analyses post-hoc (HSD de Tukey) ont révélé que les meilleures performances étaient observées dans la condition Sans Conflit (M = 1,80 sur 2) qui est significativement différente des deux autres conditions, $p<.001$. Par contre, il n'y a pas de différence significative entre la condition 1 Conflit (M = 1,55 sur 2) et la condition 3 Conflits (M = 1,40 sur 2).

Interaction entre la Dimension d'Appariement et la Condition d'Appariement F(4, 220) = 6,82, $p < .001$, $\eta^2 = .11$ (voir figure 17). Nous avons observé de meilleures performances dans la condition Sans Conflit que dans la condition 3 Conflits pour les dimensions d'appariement Forme pareille et Forme transformée. Pour la condition Couleur transformée, la condition Sans Conflit est mieux réussie que la condition 1 Conflit et la condition 3 Conflits. Il n'existe pas de différence statistique significative entre ces deux conditions.

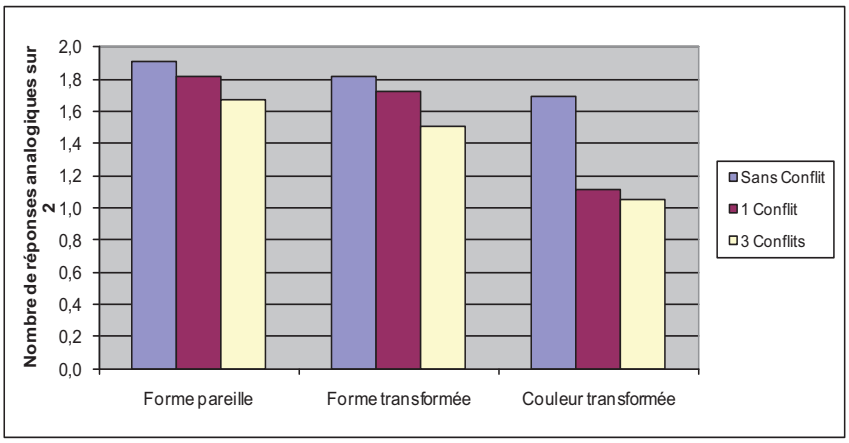


Figure 17. Interaction entre la Dimension d'Appariement et la Condition d'Appariement

Nous nous sommes également intéressés à la comparaison entre les dimensions d'appariement, notamment entre les conditions Forme pareille et Forme transformée ou entre Forme transformée et Couleur transformée qui ont le même niveau de difficulté. Le test post-hoc de Tukey a montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre les trois types de dimensions d'appariement dans la condition Sans Conflit. Au contraire, il y a une différence significative entre la Forme transformée et la Couleur transformée pour les conditions 1

Conflit et 3 Conflits, les performances dans la condition Forme transformée étant meilleures que celles de la condition Couleur transformée, $p<.001$.

Analyse des erreurs

Tout comme dans la première étude, nous avons analysé le type d'erreurs que les enfants des trois groupes d'âges avaient commises. Le groupe de 6 ans a commis une quantité importante d'erreurs (voir la figure 18) même dans la condition Sans Conflit, alors que les solutions proposées ne partageaient pas des caractéristiques perceptives communes avec aucun des termes de l'analogie. Les justifications fournies par les enfants immédiatement après leurs réponses montrent qu'ils ne se sont pas basés sur une relation analogique autre que celle de l'expérimentateur. Dans la condition 1 Conflit la comparaison était faite entre les erreurs perceptives et autres erreurs (lorsque l'enfant a choisi les solutions qui ne partageaient pas de traits perceptifs communs avec les termes de l'analogie). Pour les trois groupes d'âge, la proportion d'erreurs perceptives est plus importante que celle des autres erreurs : 6 ans, $\chi^2(1) = 7{,}99$, $p <.01$ (79 % des erreurs étaient perceptives) ; 8 ans, $\chi^2(1) = 7{,}62$, $p <.01$ (88 % des erreurs étaient perceptives); 14 ans, $\chi^2(1) = 5{,}79$, $p <.02$ (92 % des erreurs étaient perceptives). Dans la condition 3 Conflits, tous les distracteurs étaient perceptifs. Nous avons comparé la distribution des erreurs en fonction du terme de l'analogie (A, B ou C) sur lequel portait le distracteur. Ce que nous avons observé est analogue au résultat de l'étude 1 : la majorité des erreurs dans cette condition d'appariement étaient des erreurs sur C (6 ans, $\chi^2(2) = 72{,}10$, $p <.001$ – 87,5 %; 8 ans, $\chi^2(2) = 32{,}33$, $p <.001$ – 83 % ; 14 ans, $\chi^2(2) = 25{,}33$, $p <.001$ – 88 %.

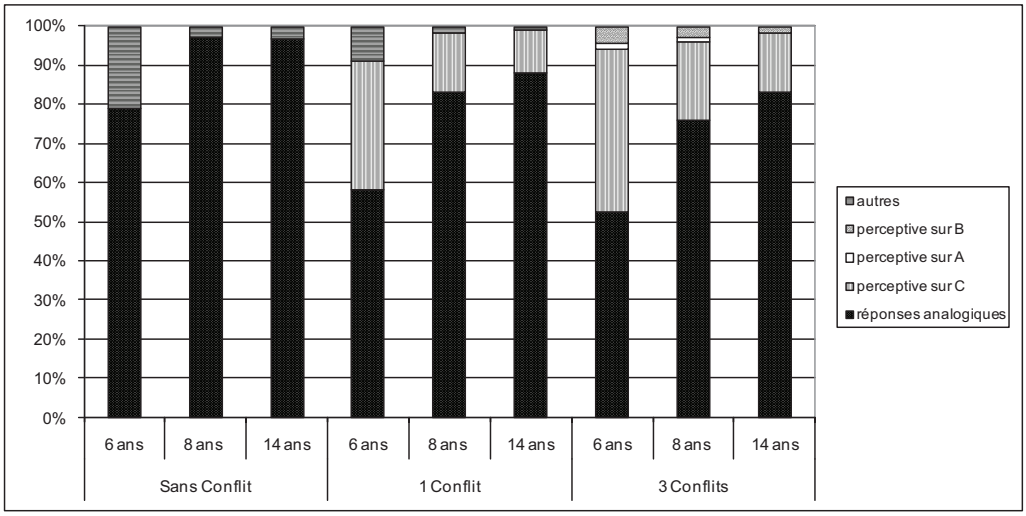


Figure 18. Type d'erreurs par âge et condition d'appariement

Discussion

Dans cette étude nous avons manipulé le nombre de distracteurs perceptifs, ainsi que la dimension de l'objet sur laquelle l'analogie était basée. L'augmentation du nombre de distracteurs perceptifs a provoqué une baisse significative des performances des enfants à la tâche d'analogie. Ce résultat est compatible avec notre hypothèse d'augmentation du coût cognitif : lorsque l'enfant analyse les solutions qui lui sont proposées il aurait des difficultés à inhiber les solutions perceptives saillantes mais non pertinentes pour réussir l'analogie parce qu'elles rentrent en compétition avec la réponse analogique. L'analyse des résultats a montré que les performances des enfants dans la condition Sans Conflit étaient meilleures par rapport à leurs performances dans les deux autres conditions avec des distracteurs perceptifs (un ou trois). Toutefois, il n'y avait pas de différence significative entre 1 Conflit et 3 Conflits. L'analyse des erreurs dans la condition 3 Conflits a fourni une explication possible de ce résultat. En fait, lorsque les enfants ont choisi un distracteur perceptif dans cette condition dans la majorité des cas c'était un distracteur sur le terme C, pas sur A ou B. Par conséquent, ils ne considèrent pas les caractéristiques des termes A et B comme des candidats potentiels pour faire l'analogie.

Le profil des enfants de 6 ans dans la condition Sans Conflit est intéressant. Ils ont commis des erreurs (environ 20%) même en absence de distracteurs perceptifs. Ce résultat montre qu'ils n'ont pas été capables de gérer toutes les comparaisons entre les stimuli proposés et ceux qui faisaient partie de l'analogie.

Nous avons observé une différence significative entre les analogies sur la forme et celles sur la couleur. Vu les caractéristiques de notre matériel, ce résultat pourrait être attribué au fait que 2/3 des essais expérimentaux étaient basées sur la forme (forme pareille vs forme transformée vs couleur transformée). Cependant, nous avions obtenu la même différence des performances en faveur des analogies sur la forme dans la première étude aussi, alors que le nombre d'analogies sur la forme et la couleur était égal. Nous avons déjà discuté du biais en faveur de la forme à la fin de notre première étude. La forme est la caractéristique la plus importante d'un objet, celle sur laquelle les enfants s'appuient lorsqu'ils doivent catégoriser ou généraliser des objets. La différence significative entre les dimensions d'appariement Forme transformée et Couleur transformée pour les conditions 1 Conflit et 3 Conflits qui contiennent des distracteurs perceptifs, différence en faveur de la dimension Forme transformée, laisse penser que la forme serait plus saillante uniquement lorsqu'elle se trouve en compétition avec la couleur. En d'autres mots, dans la condition Couleur transformée, les

enfants serait plus attirés par le distracteur perceptif qui est la même forme que C (pour la condition 1 Conflit) et la même forme que C, B ou A (pour la condition 3 Conflits). Cette différence n'est pas observée dans la condition Sans Conflit.

En conclusion, les résultats de cette étude peuvent être interprétés en termes de développement des fonctions exécutives, en particulier de la composante d'inhibition. Pour faire l'analogie, l'enfant doit inhiber les solutions saillantes non pertinentes. L'augmentation des distracteurs perceptifs augmenterait le coût cognitif parce que le sujet doit être capable de traiter plusieurs items avant d'arriver à la solution analogique. L'absence de différence significative entre les conditions 1 Conflit et 3 Conflits pourrait être expliquée par le pattern d'erreurs observé dans la condition 3 Conflits - la majorité des erreurs était sur le distracteur perceptif du terme C. Dans la condition 1 Conflit, le distracteur perceptif était toujours sur le terme C.

Etude 3 : Formes géométriques – des distracteurs uniquement sur le terme C

Objectif de l'étude

L'expérience 2 a montré que contrairement à nos prédictions la condition 3 conflits n'était pas plus difficile que la condition 1 conflit. L'interprétation de cette absence de différence a trouvé son explication dans l'analyse du type d'erreurs de ces conditions. Dans la condition à 3 Conflits (sur le terme A, B et C respectivement), l'erreur perceptive la plus répandue était le choix du distracteur perceptif du terme C. C'est pour cette raison que dans cette étude tous les distracteurs perceptifs dans la condition d'appariement 3 Conflits portent sur une des dimensions du terme C. En effet, si la difficulté des enfants à faire l'analogie vient de comparaisons centrées sur le terme C, alors on devrait observer plus d'erreurs dans la condition à 3 Conflits que dans la Condition à 1 Conflit.

Dans cette étude l'analogie est basée sur une transformation de la forme (élargie ou rétrécie) ou de la couleur (plus claire ou plus foncée). A la différence des autres expériences décrites dans ce chapitre, les enfants ont le choix parmi cinq au lieu de quatre solutions possibles (voir figure 19). La tâche proposée est la même que celle des études précédentes (A : B :: C : ?). Notre hypothèse sur l'augmentation du coût cognitif reste la même : l'augmentation du nombre de distracteurs perceptifs rendrait la tâche plus difficile parce que le coût cognitif est plus important. Les conditions expérimentales sont identiques à celles de l'étude précédente : Sans Conflit, 1 Conflits et 3 Conflits. Nous avons aussi mesuré les temps de réaction (TR) des enfants pour mieux comprendre quels sont les processus impliqués lors de la recherche de la solution analogique. En effet, la présence de distracteur perceptif devrait ralentir les TR, et ceci d'autant plus lorsque le nombre distracteurs perceptifs augmentse. Ainsi, la condition Sans Conflit devrait être la plus rapide et la condition 3 Conflits – la plus lente.

Méthodologie

Participants

Des enfants des mêmes trois groupes d'âge que nous avons testés dans les études précédentes ont pris part à cette étude : 6, 8 et 14 ans. Nous avons vu 19 enfants de 6 ans (10 garçons et 9 filles, M = 81 mois, étendue d'âge = 76-84 mois), 22 enfants de 8 ans (12

garçons et 10 filles, M = 101 mois, étendue d'âge = 96-107 mois) et 21 adolescents de 14 ans (8 garçons et 11 filles, M = 179 mois, étendue d'âge = 172-180 mois). Les enfants étaient des non redoublants, tous issus d'un milieu socio-économique moyen. Tous les enfants étaient scolarisés dans des écoles de la ville de Dijon. Un groupe contrôle de 10 adultes de l'Université de Dijon a également participé dans cette expérience.

Matériel

Tout comme dans les autres études, nous avons utilisé le type de présentation de l'analogie A : B :: C : ?. Il y avait toujours trois conditions expérimentales dans le but de faire varier le nombre de distracteurs perceptifs. Nous avons utilisé une tâche de choix forcé mais cette fois-ci l'enfant devait chercher la solution analogique parmi cinq au lieu de quatre stimuli. Chaque sujet voyait 18 essais expérimentaux précédés de 3 essais d'entraînement. L'analogie portait sur la transformation de la forme ou de la couleur : même forme mais élargie ou rétrécie ou bien même couleur mais en plus clair ou plus foncé. Chaque condition était composée de 3 essais.

Pour avoir le choix entre trois distracteurs sur le terme C nous avons ajouté une dimension perceptive supplémentaire – une petite figure à l'intérieur du terme C. Par conséquent, dans la condition à 3 Conflits, les distracteurs perceptifs étaient représentés par la même forme que C, la même couleur que C et la même figure à l'intérieur que C (voir figure 19 et l'Annexe 3 pour les différentes conditions), la solution analogique étant la forme transformée de C dans la condition Forme ou la couleur transformée de C dans la condition Couleur.

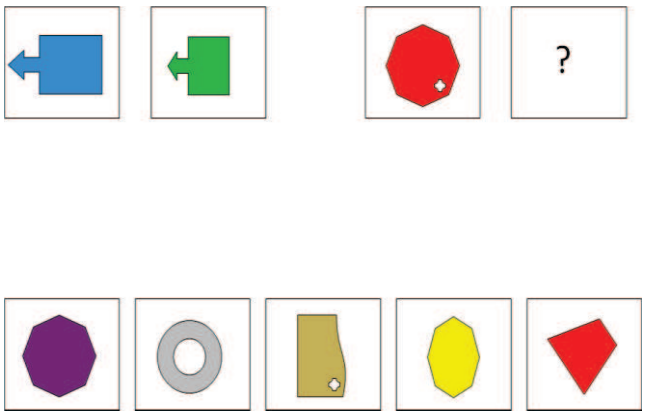


Figure 19. Exemple d'analogie sur la dimension d'appariement Forme et la condition d'appariement 3 Conflits

Conditions d'appariement:

Les conditions d'appariement sont identiques à celles des études précédentes.

1) Sans Conflit – dans cette condition, l'enfant doit trouver la solution analogique parmi cinq stimuli. Les quatre non solutions ne partagent aucune caractéristique perceptive avec les termes de l'analogie. C'est la condition la plus facile.
2) 1 Conflit – parmi les choix proposés il y a la solution analogique et un distracteur perceptif qui a la même forme que C ou bien la même couleur que C ou encore la même petite figure à l'intérieur que C. Les autres stimuli ne partagent pas de traits perceptifs avec aucun des termes de l'analogie.
3) 3 Conflits – le sujet a le choix entre la solution analogique et trois distracteurs perceptifs qui partagent des caractéristiques communes avec le C – la même forme, la même couleur et la même figure à l'intérieur que C (voir figure 19), ainsi qu'un item qui ne partage aucun trait perceptif avec C. C'est la condition la plus difficile parce que trois des quatre réponses non attendues sont des distracteurs perceptifs.

Dimensions d'appariement:

1) Forme – dans cette condition B a la même forme que A mais élargie ou rétrécie, de couleur différente, idem pour C et D.
2) Couleur – B a une couleur plus claire ou plus foncée que A. Ce sont deux formes différentes. La même transformation de la couleur est valable pour C et D.

Pour réussir l'analogie, l'enfant doit trouver quelle est la relation entre les deux items de la paire source (A et B) et l'appliquer à la paire cible (C et ?) pour chercher D.

Nous avons construit 6 listes expérimentales pour contrebalancer les conditions dans lesquelles apparaît un essai dans le but d'éviter des biais liés à la préférence systématique d'une forme ou d'une couleur. Chaque essai passe par toutes les conditions d'appariement (Sans Conflit, 1 Conflit, 3 Conflits). Tous les stimuli d'un essai sont présentés simultanément sur un écran tactile. Chaque stimulus est encadré pour bien départager les formes géométriques (voir figure 19).

Procédure

La consigne donnée aux enfants au début de la tâche était similaire à celle des deux études précédentes avec quelques informations supplémentaires :

« On va jouer à un jeu dans lequel je vais te montrer des images de formes colorées… Voici une rangée de formes colorées. Regarde, ici il en manque une. Tu dois chercher dans ces images celle qui finit la rangée (en pointant du doigt). Quand tu as trouvé la réponse, il faut appuyer sur la figure le plus vite possible. Attention, tu peux toucher l'écran qu'une seule fois pour cet exemple-là. »

Cette précision sur la vitesse de la réponse et sur le fait de ne pouvoir toucher l'écran qu'une seule fois a été ajoutée parce que nous avons enregistré les temps de réaction des enfants grâce à un écran tactile de 19 pouces.

Les passations étaient individuelles. L'enfant était assis face à l'écran tactile de 19 pouces. Il devait garder sa main dominante toujours au même endroit sur la table à environ 30 cm de l'écran. Aucun feedback n'était pas donné au cours de l'expérience sauf des encouragements. A chaque essai, on demandait à l'enfant de justifier sa réponse.

L'expérience a été programmée avec le logiciel E-Prime.

Phase 2

La phase 2 venait juste après la tâche d'analogie pour contrôler si les enfants étaient capables de percevoir que dans la condition Forme il était question de la même forme qui a été modifiée et que dans la condition Couleur il s'agissait de la même couleur mais dont la luminosité a été modifiée. Il y avait deux diapositives par essai – une avec le terme A et un point d'interrogation dans le cadre à côté de lui et une autre avec le terme C et le point d'interrogation à sa droite. En bas de l'écran le sujet voyait les cinq solutions disponibles pour cet essai. La question que l'expérimentateur posait à l'enfant était : « qu'est-ce qui a à peu près la même forme (couleur) ? »

Résultats

Nous avons réalisé une ANOVA avec l'Age (6 ans vs 8 ans vs 14 ans) en variable intrer-sujets, la Dimension d'appariement (Forme vs Couleur) et la Condition d'appariement (Sans Conflit vs 1 Conflit vs 3 Conflits) en variables intra-sujets. Uniquement les essais réussis dans la deuxième phase de contrôle ont été pris en compte dans l'analyse. Le groupe d'adultes n'a pas été intégré dans l'analyse parce que les adultes n'ont commis aucune erreur dans la tâche d'analogie. Nous n'avons pas enregistré leurs temps de réaction.

Les analyses montrent un effet significatif pour chacun des facteurs principaux.

Effet de l'Age $F(2, 57) = 18{,}82$, $p < .001$, $\eta^2 = .40$. Les performances des enfants augmentent avec l'âge. Le test post hoc de Tukey a révélé que le groupe de 14 ans (M = 0,69 sur 1) avait de meilleures performances à la tâche d'analogie que le groupe de 6 ans (M = 0,41sur 1) et le groupe de 8 ans (M = 0,48 sur 1). Par contre, aucune différence significative n'était observée entre le groupe de 6 ans et celui de 8 ans.

Effet de la Dimension d'Appariement $F(1, 57) = 68{,}56$, $p < .001$, $\eta^2 = .55$. La dimension Forme (M = 0,66 sur 1) est mieux réussie que la dimension Couleur (M = 0,39 sur 1). Ceci va dans le sens des résultats obtenus dans nos études antérieures – un biais en faveur de la forme.

Effet de la Condition d'Appariement $F(2, 114) = 89{,}72$, $p < .001$, $\eta^2 = .61$. Les analyses post hoc (HSD de Tukey) ont montré que la condition Sans Conflit (M = 0,77 sur 1) est celle qui était la plus facile. Elle diffère significativement des deux autres conditions 1 Conflit (M = 0,52 sur 1) et 3 Conflits (M = 0,29 sur 1). La condition la plus difficile comme nous l'avons prévu était la condition 3 Conflits (voir figure 20).

Interaction Condition d'Appariement x Age $F(4, 114) = 2{,}64$, $p < .05$, $\eta^2 = .08$. La différence entre les trois conditions d'appariement est moins importante pour les enfants de 14 ans que pour les deux autres groupes.

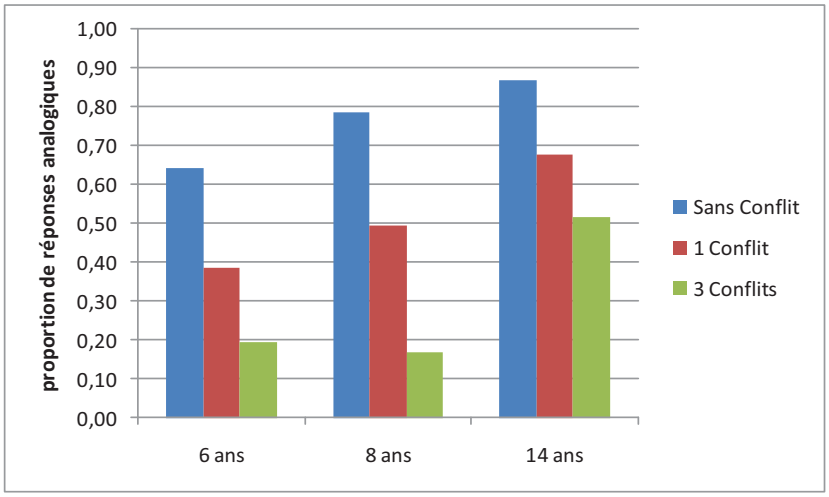


Figure 20. Interaction entre la Condition d'Appariement et l'Age

Analyse des TR

Nous avons réalisé une ANOVA pour les TR. Uniquement les TR sur les bonnes réponses ont été pris en compte dans cette analyse. Le nombre de données manquantes étant trop important pour nous permettre de faire cette analyse, nous avons remplacé les cases vides dans chacune des conditions par la moyenne générale des TR.

<u>Effet de l'âge</u> F<1. Nous n'avons pas observé d'effet de l'âge.

<u>Effet de la Dimension d'Appariement</u> F(1, 57) = 28,72, p< .001, η^2 = .33. L'analogie sur la Forme (M = 7257 ms) a donné lieu à des meilleures performances que l'analogie sur la Couleur (M = 10349 ms).

<u>Effet de la Condition d'Appariement</u> F(2, 114) = 3, p= .05. L'analyse post hoc de Tukey a montré que la seule différence significative était entre la condition Sans Conflit (M = 9282 ms) et la condition 1 Conflit (M = 8291 ms), la condition 3 Conflits (M = 8835 ms) ne diffère pas significativement des deux autres, p<.001. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que nous avons remplacé les données manquantes par la moyenne générale des TR, ce qui a augmenté de manière artificielle la moyenne dans cette condition.

<u>Interaction Dimension d'Appariement x Age</u> F(2, 57) = 5,38, p< .01, η^2 = .16. Une différence entre les dimensions d'appariement pour le groupe de 14 ans a été observée: Couleur (M = 12368 ms) et Forme (M = 6564 ms), p< .001.

Interaction Condition d'Appariement x Dimension d'Appariement F(2, 114) = 8,84, $p < .001$, $\eta^2 = .13$. Le test de Tukey a montré une différence significative entre les deux dimensions d'appariement – Forme (M = 6860 ms) et Couleur (M = 11704 ms) pour la condition Sans Conflit, $p < .001$. Dans la dimension Couleur, les trois conditions d'appariement diffèrent entre elles : Sans Conflit (M = 11704 ms), 1 Conflit (M = 9836 ms) et 3 Conflits (M = 9505 ms), $p<.05$, $p<.01$ et $p<.001$ respectivement.

Analyse des erreurs

Nous nous sommes aussi intéressés au type d'erreurs commises par les enfants. Dans la condition Sans Conflit, les erreurs commises pouvaient être uniquement des erreurs « autres » parce qu'il n'y avait pas de distracteur perceptif. Dans la condition 1 Conflit lorsque l'enfant a choisi une autre réponse que l'analogique, elle pouvait être aussi bien perceptive si elle concernait le distracteur perceptif sur C ou autre si elle concernait les non solutions. Enfin, dans la condition à 3 Conflits l'erreur pouvait être perceptive si elle portait sur un des trois distracteurs perceptifs sur C ou encore « autre » si elle portait sur la seule non solution parmi les choix proposés (voir figure 21).

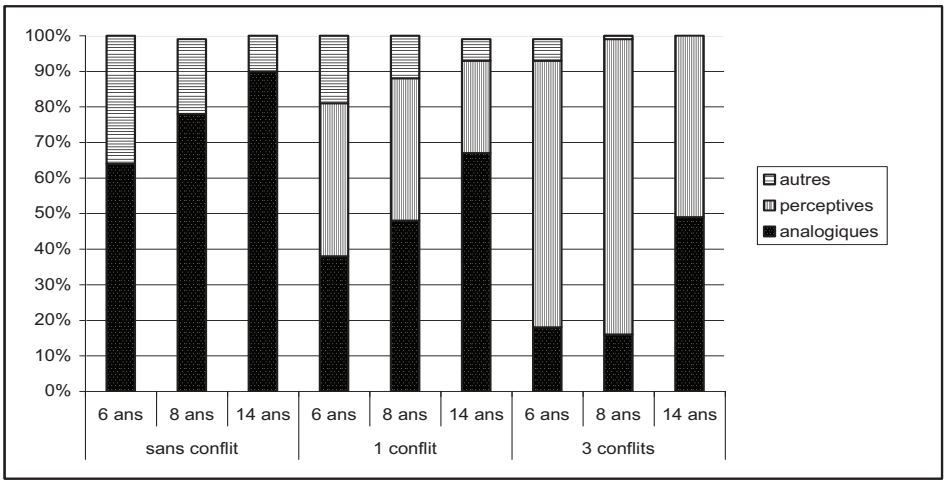


Figure 21. Type d'erreurs par âge et condition d'appariement

Discussion

En accord avec les autres études présentées dans ce chapitre, nous pouvons constater que l'augmentation du nombre de distracteurs perceptifs a un effet négatif sur les performances des enfants à la tâche d'analogie. La difficulté à trouver la réponse analogique augmente progressivement avec l'introduction de nouveaux distracteurs perceptifs sur le terme C. Le taux de réussite est très faible dans la condition à 3 Conflits (18% pour les enfants de 6 ans, 16% pour les enfants de 8 ans et à peine 49% pour les enfants de 14 ans) (voir figure 21). Ces performances suggèrent un niveau de difficulté due à la présence de trois distracteurs sur C beaucoup plus important par rapport à l'étude précédente où dans la condition à 3 Conflits les distracteurs perceptifs partageaient des traits de surface avec les termes A, B et C de l'analogie. Ceci est compatible avec l'idée d'un espace de recherche dans lequel les enfants essaient de trouver la solution analogique est centré sur le terme C. L'absence de différence significative entre les performances des deux groupes d'âge 6 et 8 ans pourrait elle aussi être expliquée par le niveau de difficulté de la tâche – les performances de ces deux groupes sont assez faibles. De plus, il ne faut pas oublier le fait que dans cette étude les enfants devaient chercher la solution analogique parmi cinq et non plus quatre distracteurs. D'un autre côté, l'effet de la dimension d'appariement, notamment un biais en faveur de la forme est compatible avec les résultats des études précédentes. Nous en avons discuté en début de ce chapitre.

En ce qui concerne l'interaction entre les conditions d'appariement et l'âge la différence entre les trois conditions d'appariement est moins importante pour les enfants de 14 ans que pour les deux autres groupes. L'ajout de conflit perceptif semble perturber plus le groupe de 8 ans que celui de 6 ans.

Quant aux résultats sur les TR, l'absence d'effet de l'âge pourrait être expliquée par le degré élevé de difficulté de la tâche. Les sujets sont plus lents dans la condition Sans Conflit que celle de 1 Conflit. Les deux ne diffèrent pas significativement de la condition 3 Conflits. A première vue ce résultat paraît contre-intuitif : l'absence de conflit dans cette condition devrait diminuer le temps nécessaire pour trouver la réponse analogique. Pourtant, l'analyse des erreurs pourrait apporter une explication possible de cet effet – dans la condition Sans Conflit, le taux de réussite des sujets est le meilleur (64 % pour le groupe de 6 ans, 78% pour le groupe de 8 ans et 90% pour le groupe de 14 ans) par rapport aux autres conditions. En d'autres mots, la recherche de solutions potentielles parmi les autres items proposés pour être

sûr de faire le bon choix aurait augmenté le coût cognitif. Il semble que dans les conditions avec des distracteurs perceptifs les enfants aient des difficultés à gérer la tâche dans le sens où ils ont cinq choix possibles à traiter en plus des caractéristiques perceptives des stimuli qui entrent en compétition avec la réponse analogique – c'est pour cette raison qu'ils vont plus vite en choisissant le premier item sur lequel leur regard se pose et qui a quelque chose de commun avec le terme C.

Etude 4 : Formes géométriques – Introduction de variabilité perceptive supplémentaire

Objectif de l'étude

Dans cette étude, nous avons exploré la capacité des enfants à faire des analogies lorsque des informations de nature perceptive différente entrent en compétition avec la solution analogique. L'originalité de cette étude est que nous avons combiné deux types d'information distractive : le conflit perceptif sur le terme C comme dans les expériences précédentes et le bruit perceptif – un bruit de fond qui n'est en aucun cas pertinent pour la résolution de l'analogie. L'hypothèse principale était que tous les deux augmenteraient le coût cognitif de la tâche parce qu'ils doivent être inhibés lors de la recherche de la solution analogique. Le bruit était présenté sous la forme de motifs aléatoires de couleur noire à l'intérieur des figures. Nous avons donc comparé le rôle des distracteurs perceptifs qui partagent un trait perceptif avec le terme C au rôle d'une source de variabilité entre les stimuli qui est introduite par les motifs à l'intérieur des items.

Dans le cas de présence de bruit de fond, les sujets sont obligés de traiter ce facteur (du moins, au début) parce qu'ils ne savent pas sur quelle dimension est basée l'analogie. Ainsi, pour arriver à la solution analogique ils doivent inhiber toutes les dimensions non pertinentes. Par conséquent, les enfants plus jeunes qui ont des fonctions exécutives moins développées auraient plus de difficultés à faire l'analogie. Cet effet serait exprimé par une différence entre la condition « Bruit de fond » et la condition « Sans Bruit de fond », la première étant plus difficile que la seconde.

Cette étude possède une différence essentielle par rapport aux études antérieures. Pour toutes les autres études sur les formes géométriques présentées dans ce chapitre nous avons utilisé des analogies basées sur la forme ou sur la couleur. Lorsque l'analogie portait sur la forme, le distracteur perceptif portait sur la couleur, l'inverse était observé pour les analogies sur la couleur – le distracteur perceptif portait sur forme. Pour cette étude dans la condition Forme nous avons gardé la couleur constante pour tous les stimuli d'un essai, dans la condition Couleur nous avons gardé la forme constante pour tous les stimuli d'un essai expérimental. Par conséquent, le distracteur perceptif sur le terme C portait sur la même dimension que la solution analogique (voir figure 22).

Notre hypothèse principale était que l'augmentation de la variabilité entre les stimuli en ajoutant de bruit de fond (qui n'est pas pertinent pour faire l'analogie) ainsi que la présence de distracteur perceptif parmi les choix proposés augmenteraient le coût cognitif nécessaire pour le traitement de l'information parce que l'information saillante mais non pertinente pour faire l'analogie qui devra être inhibée est plus importante. Ceci donnerait également lieu à un nombre plus élevé d'erreurs.

Au niveau des TR nous nous attendions à trouver une différence significative entre les conditions Sans Conflit et Avec Conflit - en cas de présence d'un distracteur perceptif le sujet doit l'inhiber pour trouver la solution analogique. Dans ce cas-là le TR sera plus long.

Méthodologie

Notre étude est composée des facteurs suivants: l'Age (6 ans vs 8 ans vs 14 ans) en variable intersujets, le Bruit perceptif (de fond) (Sans Bruit vs Bruit), le Conflit (Sans Conflit vs Avec Conflit) et la Dimension d'appariement (Forme vs Couleur), en variables intra-sujets.

Participants

Au total, 60 enfants ont pris part à cette étude : 20 enfants de 6 ans (10 garçons et 10 filles, M = 78 mois, étendue d'âge= 72-83 mois), 21 enfants de 8 ans (8 garçons et 13 filles, M = 101 mois, étendue d'âge = 96-108 mois) et 19 adolescents de 14 ans (7 garçons et 12 filles, M = 173 mois, étendue d'âge= 168-180 mois). Ils sont tous des non redoublants, issus d'un milieu socio-économique moyen. Ils proviennent tous des écoles urbaines de Dijon. Nous avons aussi testé un groupe contrôle de 8 adultes de l'Université de Bourgogne pour nous assurer du caractère non ambigu des analogies.

Matériel

L'expérience était composée de 16 essais expérimentaux et 4 essais d'entraînement. Nous avions les variables suivantes (voir figure 22 et Annexe 4) :

Bruit perceptif de fond

1) Sans Bruit – cette condition se caractérise par l'absence de motifs à l'intérieur de chaque stimulus. Les propriétés perceptives des items sont la forme et la couleur.

2) Bruit – le bruit de fond est exprimé sous la forme de motifs différents de couleur noire à l'intérieur de chaque stimulus.

Conflit

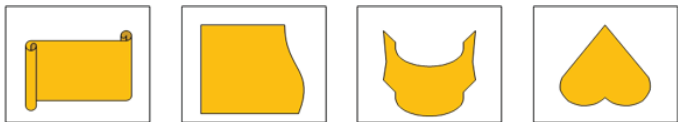
1) Sans Conflit – parmi les quatre choix proposés, il y a la solution analogique et trois réponses non attendues qui ne partagent pas de traits perceptifs avec le terme C.
2) Avec Conflit – parmi les quatre choix proposés, il y a la solution analogique, un distracteur perceptif sur le terme C et deux réponses non attendues.

Dimension d'appariement

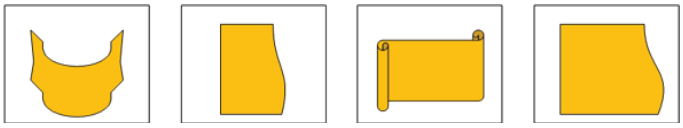
Les dimensions d'appariement sont les mêmes que dans les autres études décrites dans ce chapitre.

1) Forme – dans cette condition, B a la même forme que A mais élargie ou rétrécie, idem pour C et D.
2) Couleur – B a une couleur plus claire ou plus foncée que A. La même transformation de la couleur est valable pour C et D.

A : B :: C : ?



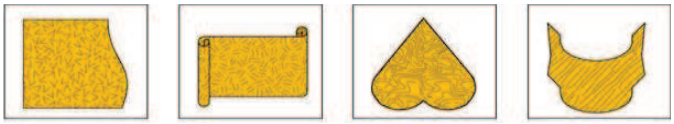
Sans Conflit



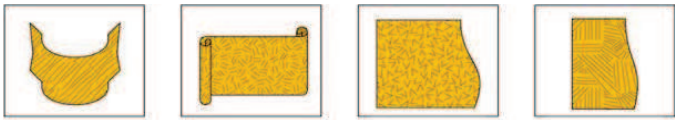
Avec Conflit

a)

A : B :: C : ?



Sans Conflit



Avec Conflit

b)

Figure 22. Exemple d'analogies de la dimension d'appariement Forme : a) condition Sans Bruit ; b) condition Bruit

Lorsque l'analogie est basée sur la Forme (figure 22a), le distracteur perceptif a la même forme que C, alors que la solution analogique est la forme de C transformée (élargie ou rétrécie). Lorsque l'analogie est basée sur la Couleur (figure 22b), le distracteur perceptif est la même couleur, la solution analogique étant la couleur de C transformée (couleur plus claire ou plus foncée).

Pour la condition Bruit chaque forme géométrique avait un motif différent de ceux des autres figures de l'essai de façon à éviter des analogies basées sur des motifs similaires. Par contre, les distracteurs perceptifs étaient toujours des stimuli identiques au terme C de l'analogie (même forme ou même couleur).

Procédure

La tâche proposée aux sujets est la même que celle des études précédentes. Ils doivent chercher la solution analogique parmi quatre stimuli. Nous nous sommes intéressés à la comparaison entre les quatre conditions Sans Bruit/Sans Conflit, Sans Bruit/Avec Conflit,

Bruit/Sans Conflit et Bruit/Avec Conflit, chacune représentée par quatre essais expérimentaux.

Le Bruit perceptif était créé avec le logiciel Adobe illustrator CS3. Les motifs étaient différents pour chaque stimulus à l'intérieur d'un essai. L'expérience a été programmée avec le logiciel E-Prime. Nous avons utilisé un écran tactile de 19 pouces dans le but d'enregistrer les temps de réaction des enfants.

Les passations étaient individuelles comme dans les autres études. L'enfant était assis face à l'écran tactile. Il devait garder sa main dominante toujours au même endroit sur la table à environ 30 cm de l'écran. Aucun feedback n'était pas donné au cours de l'expérience sauf des encouragements. L'expérimentateur demandait à l'enfant de justifier sa réponse à chaque fois.

La consigne donnée aux enfants avant de commencer la tâche était la suivante :

« On va jouer à un jeu dans lequel je vais te montrer des images de formes colorées… Voici une rangée de formes colorées. Regarde, ici il en manque une. Tu dois chercher dans ces images celle qui finit la rangée (en pointant du doigt). Quand tu as trouvé la réponse, il faut appuyer sur la figure le plus vite possible. Attention, tu peux toucher l'écran qu'une seule fois pour cet exemple-là. »

Phase 2

Tout comme dans les études 2 et 3 nous avons ajouté une deuxième phase (phase contrôle), qui venait juste après la tâche d'analogie pour contrôler si les enfants étaient capables de percevoir que dans la condition Forme il était question de la même forme qui a été modifiée, et que dans la condition Couleur il s'agissait de la même couleur qui a été retouchée. Il y avait deux diapositives pour chaque essai expérimental : une pour la paire A : B et une autre pour C : D. La question posée à l'enfant était *: « qu'est-ce qui a à peu près la même forme (couleur) ? »* (voir figure 23 et l'Annexe 4).

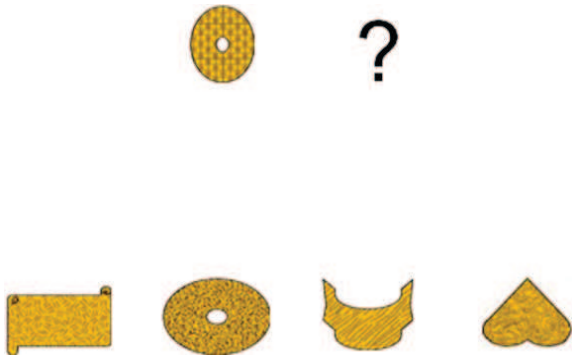


Figure 23. Exemple d'un essai de la phase 2 (Forme/Bruit)

L'expérimentateur marquait le début de chaque essai en appuyant sur la barre espace. Tous les stimuli d'un essai apparaissaient simultanément à l'écran. Le temps de réaction représentait l'intervalle de temps entre l'affichage de l'essai et la réponse donnée par le sujet.

Résultats

Nous avons réalisé une ANOVA avec l'Age (6 ans vs 8 ans vs 14 ans) en facteur intersujets, le Bruit (Sans Bruit vs Bruit), le Conflit (Sans Conflit vs Avec Conflit) et la Dimension d'appariement (Forme vs Couleur) en tant que facteurs intra-sujets. La variable dépendante était le nombre de réponses analogiques parce qu'il n'y avait aucune erreur dans la phase 2 pour cette étude. Le groupe contrôle d'adultes ne fait pas partie des analyses parce qu'ils n'ont pas fait d'erreurs.

Nous n'avons pas trouvé d'effet de la Dimension d'appariement ni d'interaction avec ce facteur. C'est pour cette raison que nous avons exclu cette variable des analyses.

Les résultats montrent un effet principal significatif pour chacun des autres facteurs.

<u>Effet de l'Age</u> $F(2, 57) = 22{,}95$, $p<.001$, $\eta^2 = .45$. Le test post-hoc de Tukey a montré que les enfants de 14 ans (M = 1,69 sur 2) avaient de meilleurs performances que les enfants de 8 ans (M = 1,33 sur 2), $p<.02$ et les enfants de 6 ans (M = 0,98 sur 2), $p<.001$. Le groupe des 8 ans était meilleur que le groupe des 6 ans, $p<.01$.

<u>Effet du Bruit</u> $F(1, 57) = 8{,}08$, $p<.01$, $\eta^2 = .12$. La condition Sans Bruit (M = 1.39 sur 2) est mieux réussie que la condition Bruit (M = 1,26 sur 2).

Effet du Conflit F(1, 57) = 93,67, p<.001, η^2 = .62. La condition Sans Conflit (M = 1,66 sur 2) est mieux réussie que la condition Avec Conflit (M = 1 sur 2).

Interaction Bruit x Age F(2, 57) = 2,55, p<.087. Il y avait une tendance à la significativité pour cette interaction. La différence la plus importante entre la condition Sans Bruit et Bruit est observée pour le groupe de 8 ans.

Interaction Conflit x Age F(2, 57) = 4,72, p<.02, η^2 = .14. Cette interaction montre que la différence entre les conditions Sans Conflit et Avec Conflit est plus petite pour le groupe de 14 ans (M = 1,87 dans la condition Sans Conflit et M = 1, 51 dans la condition Avec Conflit) par rapport au groupe de 8 ans (M = 1,74 dans la condition Sans Conflit et M = 0,93 dans la condition Avec Conflit), et le groupe de 6 ans (M = 1,37 pour la condition Sans Conflit et M = 0,59 pour la condition Avec Conflit).

Analyse des TR

Nous avons réalisé une ANOVA sur les temps de réaction. Nous avons analysé les temps de réaction uniquement sur les bonnes réponses. Encore une fois, nous n'avons pas trouvé d'effet de la Dimension d'appariement (Forme vs Couleur) ni d'interaction avec ce facteur. Nous l'avons exclu des analyses.

Effet de l'Age F(2, 44) = 4,57, p<.02, η^2 = .17. Le test post-hoc de Tukey a révélé que les enfants de 8 ans (M = 10,7 sec) étaient plus lents que les enfants de 14 ans (M = 6 sec), p<.001 et les enfants de 6 ans (M = 7,7 sec), p<.001. En revanche, les TR du groupe de 14 ans n'étaient pas statistiquement différents de ceux du groupe de 6 ans.

Effet du Bruit F(1, 44) = 5,45, p<.05, η^2 = .11. Nous avons observé des TR plus rapides dans la condition Sans Bruit (M = 7,4 sec) comparés à ceux de la condition Bruit (M = 8,6 sec).

Effet du Conflit F(1, 44) = 5,20, p<.05, η^2 = .11. Les TR étaient plus rapides dans la condition Sans Conflit (M = 6,9 sec) que dans la condition Avec Conflit (M = 9,1 sec).

Interaction Age x Bruit x Conflit F(2,44) = 3,35, p<.05, η^2 = .13. C'est le résultat le plus important sur les TR (voir figure 24). Pour étudier cette triple interaction de manière plus approfondie, nous avons réalisé des ANOVA séparés pour chaque groupe d'âge. Nous avons comparé les quatre conditions pour chaque groupe d'âge – nous les avons prises comme un

facteur unique dans les analyses. Pour les enfants de 6 ans, il n'y avait pas de différence significative entre les TR des quatre conditions, $F(3, 45) < 1$. Pour le groupe de 8 ans l'effet des conditions était significatif, $F(3, 45) = 3{,}69$, $p<.02$, $\eta^2 = .20$. La différence était située entre la condition Sans Bruit/ Sans Conflit (M = 6,8 sec), la condition Sans Bruit/ Avec Conflit (M = 12,8 sec) et la condition Bruit/ Avec Conflit (M = 13,3 sec). Pour le groupe de 14 ans, l'effet des conditions était significatif aussi, $F(3, 45) = 3{,}62$, $p<.02$, $\eta^2 = .17$. Le test post-hoc de Tukey a montré que la condition Sans Bruit/ Sans Conflit (M = 5 sec) était plus rapide que la condition Bruit/ Avec Conflit (7,3 sec), $p<.001$.

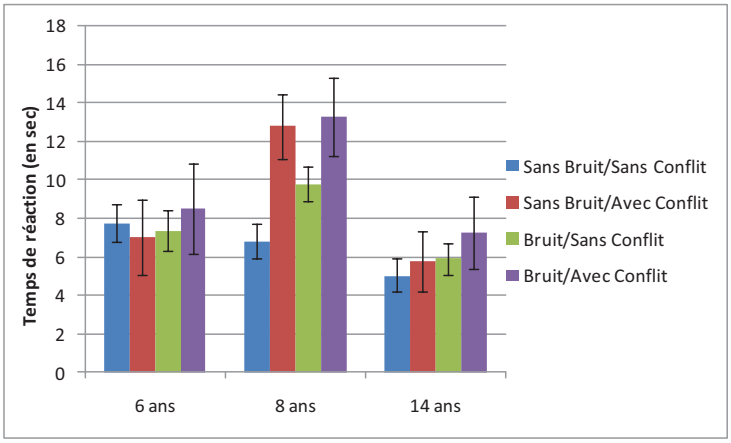


Figure 24. Interaction Age x Bruit x Conflit

Analyse des erreurs

Nous avons analysé le type d'erreurs commises par les enfants des trois groupes d'âge. Ce que nous avons observé est que le nombre d'erreurs diminue avec l'âge. Nous avons comparé la distribution d'erreurs perceptives dans les deux conditions de Conflit parce que dans les deux autres conditions il n'y avait pas de distracteurs perceptifs. Pour le groupe de 6 ans, le χ^2 de McNemar $\chi^2 = 7{,}99$, $p<.001$ a révélé une proportion plus importante d'erreurs perceptives (45) comparée aux erreurs « autres » (10) dans la condition Sans Bruit/Avec Conflit que dans la condition Bruit/Avec Conflit (38 erreurs perceptives et 20 erreurs « autres ») (voir figure 25).

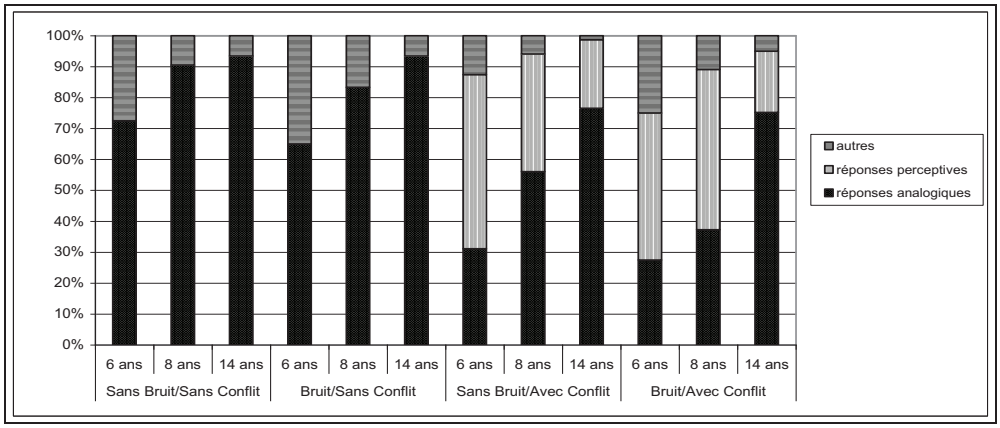


Figure 25. Type d'erreurs par âge et condition

Discussion

L'originalité de cette étude consiste dans l'introduction d'un nouveau facteur - le bruit perceptif qui fait baisser les performances des enfants à la tâche d'analogie malgré le fait qu'il n'est pas un facteur pertinent pour faire l'analogie. Les enfants plus jeunes ont du mal à éliminer ce bruit parce qu'il interfère avec les autres caractéristiques des figures géométriques qui leur sont proposées. Tout comme dans les autres études, la présence de distracteur perceptif a un rôle négatif sur les performances. Comme nous l'avons prédit, la condition Sans Conflit était plus facile que la condition Avec Conflit. Ce que nous avons appris grâce à l'interaction entre l'Age et le Conflit est que cette différence était moins prononcée chez les enfants de 14 ans. Ce résultat est compatible avec l'idée du développement des fonctions exécutives qui permettraient aux enfants plus âgés d'inhiber l'information non pertinente pour la résolution de l'analogie. La source de variation des stimuli représentée par le bruit perceptif a également pour effet de baisser la performance des enfants à la tâche d'analogie mais pas de manière si importante que l'introduction d'un distracteur perceptif sur le terme C.

L'enregistrement des TR qui avait pour but de nous permettre de mieux comprendre quels sont les processus mis en jeu lors de cette tâche d'analogie, nous a révélé le résultat le plus important : les enfants des différents groupes d'âge n'utilisent pas les informations dont ils disposent de la même manière.

Nous avons vu que le profil de TR des conditions pour les 6 ans était plat. En d'autres termes, il n'y avait pas de différence significative entre les TR des quatre conditions expérimentales. Ceci suggère que les enfants de 6 ans n'ont pas été influencés par la présence de bruit ou de conflit perceptif. Ce n'est pas ce que nous avions prédit – notamment, une plus grande difficulté pour les enfants plus jeunes à traiter le bruit et le conflit à cause de leur

fonctionnement exécutif pas encore développé. Une explication tout à fait pertinente de cet effet est que les enfants de 6 ans s'arrêteraient sur le premier item qui partage un trait commun avec C sans chercher ou comparer les autres solutions possibles. Cette idée est confortée par le fait que la majorité des erreurs dans les conditions où il y a un distracteur perceptif était des erreurs perceptives. Les disctracteurs perceptifs étaient faciles à détecter étant donné qu'ils étaient identiques au terme C. Nous pouvons dire qu'à cet âge-là les enfants présenteraient des difficultés à gérer la tâche parce qu'ils ont commis un grand nombre d'erreurs même dans les conditions sans bruit ni conflit et ceci sans vraiment réussir à justifier leur choix. La proportion d'erreurs « autres » était significativement plus importante dans la condition Bruit/Avec Conflit que dans la condition Sans Bruit/ Avec Conflit. En d'autres mots, lorsque la variabilité entre les stimuli est trop grande les jeunes enfants ne sont pas capables d'analyser toutes leurs propriétés.

Le profil des TR du groupe de 8 ans est totalement différent. La présence de conflit perceptif ralentit leur décision. La condition la plus facile (Sans Bruit/Sans Conflit) était la plus rapide, alors que la condition la plus difficile (Bruit/Avec Conflit) était la plus lente. Par conséquent la présence de conflit perceptif, aussi bien que de bruit perturbe le choix des enfants de 8 ans. Ce résultat montre qu'ils ont analysé le distracteur perceptif et la solution analogique avant d'arrêter leur choix sur la solution analogique - uniquement les TR sur les bonnes réponses ont été prises en compte dans l'analyse statistique. Pour ce groupe d'âge, le distracteur perceptif était le choix qui dominait pour la condition Bruit/Avec Conflit (M = 0,74 réponses analogiques sur 2 avec une majorité d'erreurs perceptives). Par contre, pour la condition Sans Bruit/Avec Conflit ce n'était pas le cas (M = 1,12 réponses analogiques sur 2).

Pour les enfants de 14 ans, la seule différence au niveau des TR était entre la condition la plus facile (Sans Bruit/Sans Conflit) et la condition la plus difficile (Bruit/Avec Conflit). Sans doute, les sujets de ce groupe ont rapidement trouvé le type de relation entre A et B au cours de la tâche et ont cherché uniquement la solution qui présenterait une transformation de C. Ils ont mis plus de temps pour trouver la réponse analogique lorsqu'il y avait plus de variabilité perceptive entre les stimuli (bruit et conflit perceptif).

Ce qui est intéressant également est le fait que dans cette étude nous n'avons pas trouvé de différence en faveur de la forme entre les deux dimensions d'appariement aussi bien pour le type de réponses que pour les TR, alors que cette différence était bien présente et très fortement marquée dans toutes les autres études de ce chapitre. Notre interprétation de cette absence d'effet est que la forme et la couleur d'un objet sont des propriétés saillantes, mais

lorsque les deux se trouvent en compétition, comme c'était le cas dans les études précédentes, la forme est plus difficile à inhiber que la couleur. Dans cette expérience, il n'y a pas de compétition entre la forme et la couleur puisque le distracteur perceptif dans la condition Forme est la même forme et le distracteur perceptif dans la condition Couleur est la même couleur.

Pour conclure, les résultats de cette étude montrent que les caractéristiques perceptives des objets interfèrent avec la construction ou bien la découverte de la réponse analogique. Les performances des enfants à cette tâche s'expliquent par l'augmentation du coût cognitif engendré par la présence de distracteur perceptivement identique au terme C, ainsi que par la présence de bruit de fond qui constitue une source de variabilité supplémentaire des caractéristiques des stimuli.

Discussion générale

L'objectif principal des études présentées dans ce chapitre était de mieux cerner les processus impliqués dans le développement du raisonnement par analogie. Nous y sommes arrivés en manipulant le nombre et la nature des distracteurs perceptifs, en mesurant les TR et en rajoutant du bruit perceptif de fond non pertinent pour trouver la solution analogique. L'avantage du matériel expérimental, composé de formes géométriques simples, est qu'il limite la nécessité d'un recours aux connaissances sémantiques, ce qui nous a permis d'éviter les biais liés à l'acquisition des connaissances dans une tâche d'analogie.

Les résultats principaux du travail décrit dans ce chapitre expérimental sont les suivants :

1) **une diminution des performances des enfants à la tâche d'analogie lorsque le nombre de distracteurs perceptifs augmente.**

Cet effet est la preuve que les caractéristiques perceptives saillantes mais non pertinentes des stimuli perturbent le raisonnement analogique. Ce résultat confirme notre hypothèse d'inhibition. Il va à l'encontre des théories de Goswami, de Gentner ou de Leech, parce que ces auteurs ne prédisent pas de différences de performance en fonction du nombre de distracteurs.

2) **la recherche de la solution analogique est organisée autour du terme C.**

L'analyse du type d'erreurs dans la condition à 3 Conflits perceptifs a révélé que les enfants choisissaient plus souvent le distracteur perceptif du terme C que les distracteurs du terme A ou B. De plus, la présence de trois distracteurs perceptifs sur C parmi les choix proposés à l'enfant, a rendu la tâche plus difficile que la présence de trois distracteurs - un sur A, un autre sur B et un troisième sur C. L'organisation de la recherche de la réponse autour des stimuli qui partagent des traits perceptifs communs avec le terme C de l'analogie, ainsi que les justifications des enfants de leurs choix nous apprend que les enfants des groupes d'âge que nous avons étudiés (du moins, c'est le cas du groupe de 6 et de 8 ans) ne traitent pas l'analogie comme un transfert de la relation entre A et B pour l'appliquer à C et D, mais plutôt recherchent des réponses perceptivement proches au terme C.

3) **l'introduction de bruit perceptif de fond qui n'est pas pertinent pour faire l'analogie fait baisser la performance des enfants.**

Le bruit de fond représenté par des motifs noirs à l'intérieur des figures géométriques interfère avec les autres caractéristiques perceptives des figures géométriques. En d'autres

mots, la source de variation des stimuli représentée par ce facteur a pour effet de faire baisser la performance des enfants à la tâche d'analogie, mais pas de manière si importante que la présence de distracteur perceptif sur le terme C. Ce résultat était prédit par l'hypothèse d'inhibition mais pas par Goswami, Gentner ou Leech.

4) un biais en faveur de la forme par rapport à la couleur.

Un biais en faveur de la forme (Landau, Smith & Jones, 1998; Diesendruck & Bloom, 2003) par rapport à la couleur a été observé dans trois des quatre études présentées dans ce chapitre. La différence observée entre les deux dimensions d'appariement Forme vs Couleur ne peut pas être expliquée par le manque de connaissances appropriées pour faire l'analogie parce que nos analogies étaient basées sur les caractéristiques perceptives des objets. Cet effet pourrait être expliqué par une utilisation stéréotypée de la forme comme dimension d'appariement avec le terme C, une fois que l'enfant a compris qu'il y avait des stimuli partageant la même forme que C. Une autre explication plausible est que la forme serait une dimension plus saillante de l'objet uniquement lorsqu'elle se trouve en compétition avec la couleur. Cette hypothèse est appuyée par le fait que les enfants ont choisi plus de distracteurs qui portaient sur la forme que sur la couleur dans la condition à 3 Conflits. Dans ce cas-là, l'absence de différence entre les deux dimensions d'appariement observée dans l'Etude 4 Bruit pourrait venir du fait qu'elles ne sont jamais en compétition parce que le distracteur perceptif dans la condition Forme est la même forme et le distracteur perceptif dans la condition Couleur est la même couleur.

Notre première étude portait sur des analogies basées sur la relation d'identité entre les termes de la paire source et de la paire cible. Le résultat le plus intéressant est que l'augmentation de leur nombre d'un à trois n'influence pas la performance des enfants. Ce résultat va à l'encontre, du moins à première vue, de notre hypothèse d'inhibition qui prédit une augmentation du coût cognitif avec l'augmentation du nombre de distracteurs perceptifs parce que le nombre d'items à inhiber lors de la recherche de la solution analogique augmente. Cette absence d'effet a trouvé son explication dans l'analyse du type d'erreurs qui a révélé une majorité d'erreurs perceptives sur le terme C dans la condition à 3 Conflits. Cependant, même lorsqu'il n'y avait pas de distracteurs perceptifs, les groupes de 6 et de 8 ans étaient loin d'avoir des performances parfaites. Les enfants chercheraient des solutions parmi les tous les stimuli qui leur sont proposés et seraient incapables de gérer simultanément tous les choix.

Ces résultats ont été répliqués par notre deuxième étude dont la différence avec la première consistait dans le fait que l'analogie était basée sur une transformation de la dimension d'appariement (forme transformée ou couleur transformée, alors que les distracteurs avaient exactement la même forme ou couleur que le terme C, A ou B), afin d'éviter la confusion entre réponse relationnelle et perceptive (même forme ou même couleur). Nous avons prédit que la condition 3 Conflits (sur le terme A, B et C respectivement) serait la plus difficile parce que le nombre de distracteurs perceptifs est le plus important. Contrairement à cette prédiction, les résultats des deux expériences ont montré que la condition 3 Conflits n'était pas plus difficile que la condition 1 Conflit. L'interprétation de cette absence de différence a été trouvée dans l'analyse du type d'erreurs. Cette analyse a révélé que dans la condition 3 Conflits l'erreur la plus répandue était le choix du distracteur perceptif sur le terme C.

Ceci nous a conduits à la troisième étude dans laquelle nous avons introduit trois distracteurs sur C dans la condition à 3 Conflits. Si la difficulté à trouver la solution analogique venait de la compétition entre les caractéristiques perceptives sur le terme C et la solution analogique, alors nous devrions observer une diminution des performances dans la condition à 3 Conflits par rapport à la condition 1 Conflit. Le taux de réussite dans la condition 3 Conflits était très faible : 18% pour les enfants de 6 ans, 16% pour les enfants de 8 ans et à peine 49% pour les enfants de 14 ans. Ce résultat est compatible avec l'idée d'un espace de recherche centré autour du terme C. Mais surtout, ce résultat confirme notre hypothèse d'inhibition selon laquelle l'augmentation du nombre d'items à inhiber lors de la recherche de la solution analogique augmente le coût cognitif de la tâche.

Notre dernière étude sur les formes géométriques a montré que le bruit perceptif de fond qui n'est pas pertinent pour trouver la solution analogique perturbait le choix des enfants, mais de manière moins importante que la présence de conflit perceptif. Cet effet a confirmé notre hypothèse que la variabilité perceptive devrait perturber la recherche de la solution analogique. L'enregistrement des TR nous a révélé que les enfants des différents groupes d'âge que nous avons testés (6, 8 et 14 ans) n'utilisent pas les informations dont ils disposent de la même manière. Le profil plat des TR de toutes les conditions expérimentales des enfants de 6 ans qui va à l'encontre de notre hypothèse prédisant un coût cognitif plus important en présence de bruit et de conflit, suggère qu'ils n'ont été perturbés ni par le bruit ni par le conflit perceptif. Tout se passe comme si les 6 ans arrêteraient leur choix sur le premier item partageant un trait commun avec C. Quant aux enfants de 8 ans, la présence de conflit ou

de bruit ralentit leur décision. Pour le groupe de 14 ans, qui est le plus rapide, le profil est plutôt plat aussi avec une différence entre les TR de la condition la plus facile (Sans Bruit/Sans Conflit) et ceux de la condition la plus difficile (Bruit/Avec Conflit). Ceci suggère qu'ils ont compris très rapidement ce qu'ils devaient chercher. Malgré cela, la présence de conflit perceptif accompagné de bruit de fond a influencé la vitesse de leur choix. Au niveau de l'exploration de l'espace de recherche, on pourrait envisager une explication en faveur de l'hypothèse de "relational priming" de Leech & al. (2008) uniquement pour le groupe de 14 ans. Ces auteurs expliquent le raisonnement analogique comme dépendant du processus d'amorçage de la relation entre C/D une fois que le sujet a compris la relation entre A/B. Les résultats d'une étude de Gordon & Moser (2007) qui ont enregistré les mouvements oculaires lors d'une tâche de raisonnement analogique dans laquelle ils ont repris des scènes d'analogies utilisées par Richland & al. (2006), ont montré que les sujets portaient leur regard d'abord sur celui qui exerce l'action (acteur) et celui qui la subit (receveur) dans la scène source (qui correspondrait aux termes A et B dans nos études) et ensuite sur les acteurs - receveurs de la scène cible (qui correspondrait aux termes C et D dans nos études), avant de porter leur regard sur les distracteurs. Même si les stimuli sont très différents des nôtres, ces observations pourraient être appliquées à notre groupe de 14 ans : les enfants de ce groupe auraient passé plus de temps à observer A et B et par la suite, C et D pour comprendre le lien entre eux sans vraiment porter leur attention sur les distracteurs perceptifs sur le terme C.

Nos résultats sont aussi compatibles avec les résultats de Krawczyk & al, (2008). Ces auteurs ont montré que des patients avec des lésions du cortex préfrontal avaient des difficultés à faire des analogies lorsqu'il y avait des distracteurs perceptifs ou sémantiques parmi les choix proposés. Ils ont interprété ces résultats en termes de défaillance du contrôle inhibiteur qui est sous-tendu par cette région cérébrale. Leur interprétation rejoint notre explication des effets que nous avons observés auprès des enfants – le raisonnement analogique dépendrait du développement des fonctions exécutives. Kroger, Sabb, Fales, Bookheimer, Cohen & Holyoak (2002) ont manipulé le nombre de relations à traiter ainsi que le nombre de dimensions non pertinentes pour trouver la solution analogique dans une tâche qui ressemblait aux matrices progressives de Raven. L'augmentation du niveau de complexité relationnelle et l'augmentation du nombre de distracteurs ralentissait les TR et augmentait le taux d'erreurs. L'IRMf a montré une activation plus importante de la partie pariétale et dorso-latérale du cortex préfrontal dans ces cas-là. Halford (1992), Halford & al. (1998) expliquent l'analogie en termes de complexité relationnelle définie comme le nombre des dimensions

reliées ou des sources de variation qui doivent être traités en parallèle. Chaque dimension ou source de variation a un coût cognitif qui influence le choix de la solution ainsi que le temps nécessaire pour faire ce choix. Notre point de vue rejoint celui de Halford (1992 ; 1998) : lorsqu'on raisonne par analogie on est obligé de tenir compte des contraintes du fonctionnement exécutif, telles que les limitations de la mémoire de travail et de la capacité d'inhibition. Ceci expliquerait les résultats des enfants de 8 ans qui sont plus lents dans les conditions à Conflit perceptif. Si dans leur espace de recherche ils prennent en considération la solution analogique aussi bien que les distracteurs perceptifs, alors peut-être qu'ils font plus d'erreurs parce qu'ils ne peuvent pas jongler avec toutes les solutions possibles en mémoire de travail.

En conclusion, les études présentées dans ce chapitre apportent la preuve que les caractéristiques perceptives des objets interfèrent avec la découverte de la réponse analogique. Les performances des enfants s'expliquent par l'augmentation du coût cognitif engendré par la présence de distracteur(s) perceptivement identique(s) au terme C, ou par la présence de bruit de fond qui constitue une source de variabilité supplémentaire des caractéristiques des stimuli. Ces résultats prouvent que le raisonnement par analogie ne peut pas être expliqué uniquement par l'acquisition des connaissances (Goswami & Brown, 1990), par le « relational shift » (Gentner, 1988) ou par l'amorçage relationnel de Leech & al (2008). L'interprétation de nos résultats rejoint celle de Richland & al (2006) – le développement du raisonnement par analogie chez les enfants dépendrait également du développement de la capacité d'inhibition qui dépend de la maturation de la région préfrontale du cerveau. Cette capacité d'inhibition joue un rôle primordial lors de la recherche de la solution analogique parce qu'elle permet de bloquer toutes les solutions saillantes mais non pertinentes pour faire l'analogie.

IV. Analogies sémantiques

Etude 5 (exploratoire) : Distracteur perceptif et distracteur sémantique vs Trois distracteurs sémantiques

Objectif de l'étude

C'est notre toute première étude avec des analogies sémantiques et c'est dans ce sens-là que nous l'avons appelée exploratoire. L'objectif était de tester deux hypothèses principales en reprenant le paradigme A : B :: C : D et la consigne donnés par Goswami & Brown (1990). Notre première hypothèse est que la force d'association sémantique (que nous avons manipulée dans trois des quatre expériences présentées dans ce chapitre) joue un rôle primordial dans l'analogie. Lorsque la relation entre les items de chaque paire de l'analogie est forte, la solution analogique se trouve en quelque sorte amorcée, activée et par conséquent, facilitée. Par contre, dans le cas d'analogies pour lesquelles la force d'association entre les items de chaque paire est faible, la recherche dans l'espace sémantique deviendrait plus longue à cause de la présence de plusieurs solutions analogiques qui devraient être testées. En d'autres termes, la recherche de la solution analogique se situerait à des niveaux de profondeur différents dans l'espace de recherche selon la force sémantique de la relation entre les items de chaque paire de l'analogie. C'est pour cette raison que nous avons testé deux types d'association sémantique entre les items de chaque paire de l'analogie – faible et forte. Notre seconde hypothèse prédit que l'augmentation du nombre de distracteurs présents parmi les choix proposés à l'enfant va augmenter la charge cognitive de la tâche et par conséquent rendre la sélection de la solution analogique plus difficile. Nous avons construit deux conditions : l'une dans laquelle parmi les choix proposés à l'enfant il y avait un distracteur sémantique et l'autre, dans laquelle tous les choix possibles (quatre) étaient sémantiquement reliés au terme C de l'analogie. Par contre, nous avons aussi introduit dans la condition « facile » un distracteur perceptif pour tester si les enfants des âges auquels nous nous sommes intéressés, notamment 4 et 5 ans, seraient perturbés par les caractéristiques physiques des objets. Pour ceci, nous nous sommes référés à l'étude de Goswami & al, 1990. Nous avons analysé le type d'erreurs commises par les enfants dans cette condition pour départager l'influence des deux types de distracteurs.

Méthodologie

Participants

Au total, 42 enfants, âgés de 4 et de 5 ans ont pris part à cette étude : 23 enfants de 4 ans (12 garçons et 11 filles, M = 55 mois ; étendue : 49-59 mois) et 19 enfants de 5 ans (12 garçons et 7 filles, M = 69 mois ; étendue : 63-72 mois). Il y avait 15 enfants de 4 ans et 10 enfants de 5 ans scolarisés dans une école maternelle rurale du département des Deux Sèvres. Neuf des enfants de 5 ans scolarisés dans une école maternelle rurale de Chauvigny et 8 enfants de 4 ans dans une école rurale de Vivonne, toutes les deux situées dans le département de la Vienne.

Matériel

Notre matériel était composé de dessins en noir et blanc représentant des entités vivantes, des objets ou des paysages. Ce matériel était construit de la manière suivante : nous avons sélectionné 230 paires de mots - les deux mots de chaque paire étaient sémantiquement reliés. Nous les avons testés pour sélectionner des relations fortes et des relations faibles. Le type de relation entre eux variait : faire partie de, habiter dans, être le bébé de, manger, etc… Nous avons ensuite testé les paires de mots auprès de 16 étudiants de l'Université de Poitiers. La tâche qui leur était proposée était de juger la force de l'association sémantique entre les mots de chaque paire sur une échelle de type Likert, allant de 1 (pas du tout reliés) à 7 points (très fortement reliés). En fonction des résultats, nous avons défini deux groupes d'items – un groupe composé d'items fortement associés sémantiquement et un autre composé d'items faiblement associés sémantiquement. Un t de student a été réalisé pour nous assurer que les valeurs moyennes des paires de mots des deux groupes étaient statistiquement différentes. Sur la base de ces associations, nous avons cherché des dessins en noir et blanc. Nous avons utilisé des dessins de la banque d'images de Cycowicz, Friedman, Rothstein & Snodgrass (1997) et Snodgrass & Vanderwart (1980). Les mots sélectionnés dans le prétest pour lesquels nous n'avons pas trouvé de dessins correspondant ont été dessinés par un graphiste à l'aide d'une tablette graphique. Nous n'avons pas testé la ressemblance perceptive des images.

L'expérience était composée de 13 essais au total - 12 essais expérimentaux et 1 essai d'entraînement. Chaque condition était représentée par trois essais (voir figure 26 et Annexe 5).

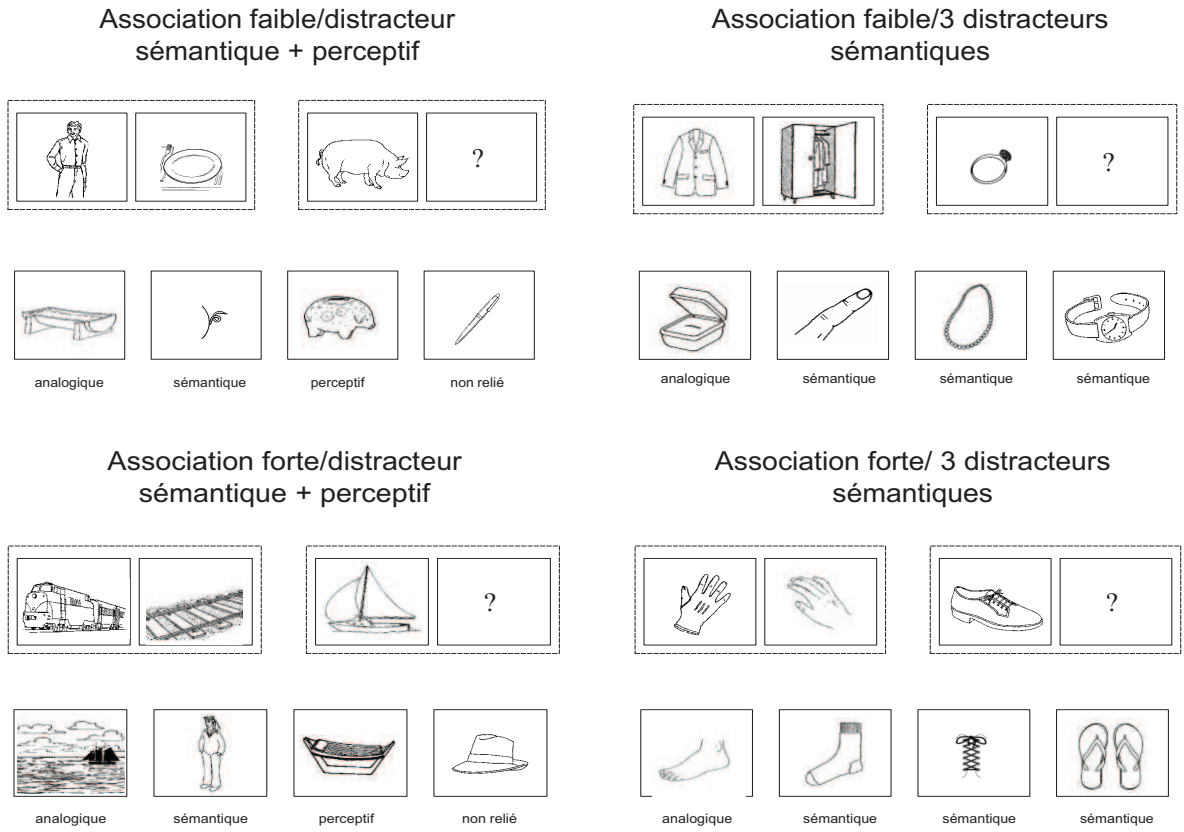


Figure 26. Exemple d'analogie en fonction des conditions expérimentales *(la solution analogique est le premier item de la seconde ligne)*

Nous avons manipulé les variables suivantes (voir figure 26):

Force d'association sémantique :

1) Association faible – les items de la paire A : B étaient faiblement reliés entre eux, idem pour la paire C : D.
2) Association forte – les items de la paire A : B étaient fortement reliés entre eux, idem pour la paire C : D.

Distracteurs :

1) Distracteurs sémantique et perceptif – parmi les quatre choix proposés à l'enfant, il y avait la solution analogique, un distracteur sémantiquement relié au terme C, un autre qui lui était perceptivement proche et un distracteur qui n'était pas relié au terme C (sémantiquement ou perceptivement).

2) Trois distracteurs sémantiques – parmi les quatre choix proposés à l'enfant, il y avait la solution analogique et trois distracteurs sémantiquement reliés au terme C.
La variable dépendante était la proportion de réponses analogiques.

Procédure

La passation de l'expérience était individuelle. L'expérimentateur présentait à l'enfant trois images sur du support papier : les termes A, B et C de l'analogie. A côté du terme C il y avait un cadre avec un point d'interrogation au milieu (voir figure 26). C'était l'emplacement prévu pour la solution analogique (terme D). Ensuite, on demandait à l'enfant de nommer chacun des dessins en lui posant la question *« c'est quoi ? »*. La même chose était valable lorsqu'on lui montrait les quatre stimuli parmi lesquels il devait chercher la solution de l'analogie (D). Si le sujet ne pouvait pas nommer l'objet, l'expérimentateur lui posait la question *« à quoi ça sert ? »*. Si le sujet ne pouvait pas répondre à cette question, l'expérimentateur lui disait le nom de l'objet tout en expliquant comment on l'utilisait. L'ordre de présentation des essais était aléatoire, ainsi que l'ordre de présentation des quatre propositions possibles pour chaque essai.

La consigne donnée aux enfants était la suivante :

« On va jouer à un jeu dans lequel tu choisis des images qui vont ensemble. Il y aura chaque fois deux images de ce côté-là (montrer la paire A : B) et une troisième ici (montrer le terme C). Regarde, ici il en manque une (montrer l'encadré avec un point d'interrogation à la place de D). »

Prédictions

Avant de présenter les quatre choix possibles, on demandait à l'enfant de prédire quelle serait l'image qu'il fallait mettre à côté de C pour faire l'analogie : *« Quelle image mettrais-tu ici pour finir la rangée ? »*

Analogie

Une fois les quatre solutions présentées l'expérimentateur disait à l'enfant : *« Tu dois choisir dans ces images celle qui finit la rangée »* tout en montrant du doigt A, B, C et l'emplacement

prévu pour D. A chaque fois le sujet devait justifier son choix en répondant à la question *« Pourquoi tu as choisi celle-là ? ».*

Phase 2

Dans une seconde partie de cette étude, nous avons testé la compréhension des relations entre A : B et C : D de chaque essai, indépendamment des analogies. Pour ceci, nous avons présenté séparément chaque paire de dessins à l'enfant. L'expérimentateur disait alors : *« Pourquoi ils vont bien ensemble ? »*. Toutes les réponses données par l'enfant étaient notées sur une feuille de passation créée pour les besoins de cette expérience. Aucun feedback n'était donné à l'enfant, à l'exception d'encouragements tout au long de l'expérience.

Résultats

Nous avons réalisé une ANOVA avec l'Age (4 ans vs 5 ans) en variable inter-sujets, la Force d'Association Sémantique (faible vs forte) et le Nombre de distracteurs sémantiques (1 vs 3) en variables intra-sujets. La variable dépendante était la proportion de réponses analogiques – uniquement les essais pour lesquels les enfants avaient compris la relation entre A et B d'un côté et la relation entre C et D de l'autre étaient pris en compte dans cette analyse. Ceci nous a permis d'exclure tous les cas où l'enfant n'aurait pas été capable de faire l'analogie parce qu'il ne possédait pas les connaissances nécessaires sur les relations la constituant.

Nous avons observé un effet principal significatif pour le facteur Age et pour le facteur Force d'Association, l'effet du Distracteur n'étant pas statistiquement significatif. Une interaction entre la Force d'Association et le Distracteur a aussi été observée.

<u>Effet de l'âge</u> $F(1, 40) = 4{,}44$, $p<.05$, $\eta^2 = .10$. Les enfants de 5 ans (M = 0,58 sur 1) ont de meilleures performances à la tâche d'analogie que les enfants de 4 ans (M = 0,44 sur 1).

<u>Effet de la Force d'Association</u> $F(1, 40) = 16{,}93$, $p<.001$, $\eta^2 = .30$. L'analogie est mieux réussie lorsque la relation entre A et B d'un côté, et celle de C et D de l'autre est forte (M = 0,6 sur 1) que lorsqu'elle est faible (M = 0,41 sur 1).

<u>Effet du Distracteur</u> $F<1$. Nous n'avons pas observé de différence statistiquement significative entre les deux conditions – distracteur sémantique et perceptif et trois distracteurs sémantiques.

Interaction Force d'Association x Distracteur F(1, 40) = 7,01, p<.02, η^2 = .15 (figure 27). L'analyse post-hoc de Tukey a montré une différence significative entre la condition Distracteur sémantique et perceptif en fonction de la Force d'Association. En effet, la condition Association Forte/Distracteur sémantique et perceptif (M = 0,69 sur 1) donnait lieu à des meilleures performances que la condition Association Faible/Distracteur sémantique et perceptif (M = 0,36 sur 1), p < .001 (voir figure 27). Par contre, nous n'avons pas observé de différence entre les performances des enfants dans la condition Association Faible/3 Distracteurs sémantiques (M = 0,46 sur 1) et Association Forte/3 Distracteurs sémantiques (M = 0,51 sur 1). Une autre différence statistiquement significative a été observée entre la condition Association Faible/3 Distracteurs sémantiques (M = 0,46 sur 1) et la condition Association Forte/Disctracteur sémantique et perceptif, (M = 0,69 sur 1), p < .02.

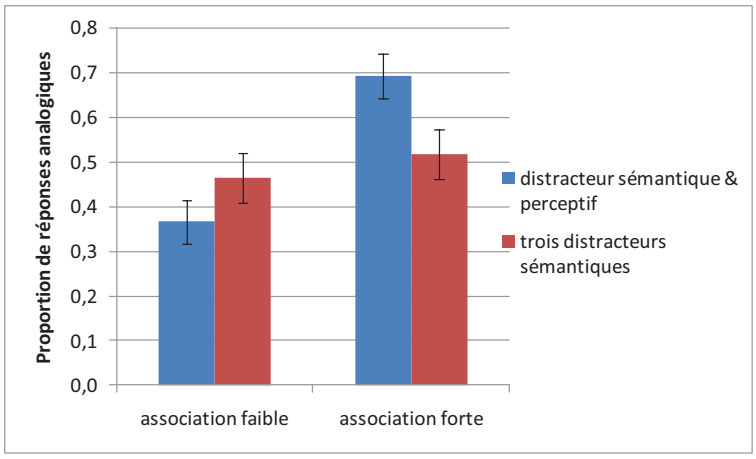


Figure 27. Interaction entre la Force d'Association et le Distracteur

Nous n'avons pas analysé les prédictions des enfants – dans la plupart des cas, ils disaient ne pas savoir comment la rangée pouvait être completée. Ou bien, lorsqu'ils donnaient une réponse, elle n'avait aucun lien pertinent avec les termes de l'analogie qui leur étaient présentés.

Analyse des erreurs

Nous nous sommes intéressés aux erreurs commises par les enfants dans la condition Distracteur sémantique et perceptif. Dans cette condition, l'erreur que le sujet pouvait faire était de choisir le distracteur perceptif, le distracteur sémantique ou un item non relié (qui n'avait pas de lien sémantique avec aucun des termes de l'analogie). Les données ont révélé que dans la condition d'Association Faible/Distracteur sémantique et perceptif 48 % des

erreurs des enfants de 4 ans portaient sur des distracteurs perceptifs et 39 % sur des distracteurs sémantiques, le reste étant des erreurs sur des items non reliés (4 erreurs au total). Parmi les erreurs des enfants de 5 ans il y avait 56 % d'erreurs perceptives et 44 % d'erreurs sémantiques. Ils n'ont pas du tout choisi de distracteur non relié. Dans la condition d'Association Forte/Distracteur sémantique et perceptif, 19 % des erreurs commises par les enfants de 4 ans étaient des erreurs perceptives, contre 67 % d'erreurs sémantiques. Pour les enfants de 5 ans, il y avait 7 % d'erreurs perceptives et 93 % d'erreurs sémantiques. Rappelons que dans la condition à 3 Distracteurs sémantiques, toutes les erreurs étaient sémantiques parce que toutes les possibilités proposées, autres que la solution analogique, étaient des distracteurs sémantiques sur le terme C.

Discussion

Les résultats de cette étude nous ont renseignés sur plusieurs points. D'abord, nous avons observé une amélioration nette des performances avec l'âge. Nous avions raison de tester des enfants de 4 ans et de 5 ans – âges où l'acquisition des connaissances sémantiques associée au développement des fonctions exécutives montre un pattern de résultats différents à la tâche d'analogie. Ensuite, l'augmentation significative du nombre de réponses analogiques dans la condition d'association sémantique forte nous révèle le rôle primordial de la force d'association entre les items de chaque paire (A/B et C/D) lors de la recherche de la solution analogique. Nous n'avons pas observé de différence entre les deux conditions de Distracteurs (sémantique et perceptif vs trois sémantiques), alors que selon notre raisonnement de départ, la condition Trois distracteurs sémantiques devrait être plus difficile que celle de Distracteurs sémantique et perceptif. Cette absence de différence pourrait être expliquée par le fait que les enfants ont été aussi attirés par le distracteur perceptif et l'ont choisi à plusieurs reprises dans cette condition. C'est pour cette raison que nous avons analysé le type d'erreurs. Cette analyse a montré que lorsque l'Association entre les items de chaque paire de l'analogie était faible, la majorité des erreurs des enfants des deux groupes d'âge portait sur des distracteurs perceptifs (48% pour les 4 ans – ils avaient aussi 12% d'erreurs sur des distracteurs non reliés – et 56 % pour les 5 ans), alors que la tendance inverse est observé dans la condition d'Association Forte. Enfin, l'interaction entre la Force d'Association et le Distracteur (voir figure 27) présente un intérêt particulier. La condition Distracteur sémantique et perceptif est mieux réussie lorsque l'Association est faible. Par contre, la condition Trois Distracteurs sémantiques ne diffère pas selon la Force d'Association. Le résultat de l'analyse du type d'erreurs révèle que dans la condition d'Association Forte les

enfants ne sont plus attirés par le distracteur perceptif : 19 % des erreurs commises par les enfants de 4 ans étaient des erreurs perceptives, contre 67 % d'erreurs sémantiques ; pour les enfants de 5 ans, il y avait 7 % d'erreurs perceptives et 93 % d'erreurs sémantiques. Ce résultat est compatible avec notre hypothèse de la profondeur de la recherche. Dans la condition d'Association Faible, le choix de la réponse analogique est moins évident parce que l'espace de recherche est vaste, alors que dans la condition d'Association Forte cet espace de recherche est réduit aux items qui sont fortement associés sémantiquement. Lorsque l'association entre les items de l'analogie est forte, les enfants ne sont que très rarement attirés par les distracteurs perceptifs qui ne seraient plus considérés comme des solutions potentielles à l'analogie.

Pour résumer, les résultats de cette première expérience montrent le rôle primordial joué par la Force d'Association entre les items de chaque paire de l'analogie dans la recherche de la solution analogique. L'association forte restreindrait l'espace de recherche et rendrait le choix de la solution analogique presqu'évident, alors que l'association faible obligerait les sujets de tester plusieurs possibilités. L'analyse du type d'erreurs commises par les enfants dans la condition Distracteur sémantique et perceptif révèle que la nature des distracteurs y joue également un rôle non négligeable. Le type de distracteur qui perturbe de manière plus importante le choix de l'enfant varierait en fonction de la Force d'Association. Les distracteurs sémantiques perturberaient plus la recherche de la solution analogique que les distracteurs perceptifs dans la condition d'Association Forte. L'inverse est observé dans la condition d'Association Faible : la majorité des erreurs commises par les enfants dans cette condition portent sur des distracteurs perceptifs.

Note : Nous avons enlevé des analyses de cette étude tous les sujets bulgares que nous avions testés. Il s'agissait de cinq enfants de 4 ans et 12 enfants de 5 ans. En effet, nous avons essayé de répliquer l'étude 2 auprès de sujets bulgares et nous n'avons pas observé de différence significative entre la force d'association faible et la force d'association forte. Vu que les stimuli pour ces études ont été sélectionnés à la base des jugements d'association d'adultes français, nous avons aussi testé le matériel auprès de sujets adultes bulgares - des étudiants de New Bulgarian University à Sofia. Les résultats des prétests ont montré que la différence observée entre les analogies faibles et les analogies fortes auprès des sujets français avait tendance à s'estomper chez les sujets adultes bulgares. Pour plus de détails, voir la partie Résultats de l'Etude 7.

Etude 6 : Augmentation du nombre de distracteurs sémantiques

Dans cette étude tout comme dans l'étude précédente nous avons manipulé la force d'association sémantique entre les items de chaque paire de l'analogie (A : B et C : D) – elle pouvait être faible (*enfant : lit*) ou forte (*araignée : toile*). Cette fois-ci nous avons aussi manipulé le niveau de la charge cognitive de la tâche en variant le nombre de distracteurs sémantiques présents parmi les choix proposés à l'enfant – un ou trois.

Objectif de l'étude

Notre hypothèse principale porte sur la profondeur de la recherche que le sujet doit effectuer pour trouver la solution analogique. Lorsque les choix dans l'espace sémantique dans lequel nous recherchons l'information ne sont pas dominés par des paires fortement associées- la Base (A:B) et la Cible (C:D), trouver la solution analogique devient une tâche plus difficile que lorsque les items des deux paires de l'analogie sont fortement associés. Dans ce cas-là, une recherche plus approfondie est nécessaire parce que plusieurs solutions potentielles pourraient être pertinentes pour faire l'analogie. En ce qui concerne la variation du nombre de distracteurs sémantiques, il serait plus difficile d'inhiber plusieurs distracteurs qu'un seul. Par conséquent, le coût cognitif augmenterait dans le cas d'association faible entre les items de chacune des paires de l'analogie mais aussi dans le cas de la présence de plusieurs distracteurs sémantiques. Ceci donne lieu à une augmentation du nombre d'erreurs et donc à une diminution de la performance des sujets à la tâche d'analogie.

Il est important de rappeler que cette hypothèse est en désaccord avec le point de vue de Goswami & al (1990) qui soutiennent l'idée que l'enfant est capable de raisonner par analogie s'il possède les connaissances pertinentes sur les relations impliquées dans l'analogie ; ou encore, avec l'hypothèse d'amorçage des relations de Leech & al (2008) qui présentent l'analogie comme sous-tendu par un amorçage relationnel. Dans les deux cas, l'augmentation du nombre de distracteurs sémantiques ne devrait pas avoir une influence sur les performances des enfants, du moins de manière significative. La même observation est valable pour la manipulation de la force d'association sémantique entre les items de chacune des deux paires de l'analogie.

Méthodologie

Participants

Des enfants âgés de 4 et de 5 ans ont pris part à cette étude. Nous avons testé 22 enfants de 4 ans (12 garçons et 10 filles, M = 52 mois, étendue : 48-59 mois) et 19 enfants de 5 ans (11 garçons et 8 filles, M = 67 mois, étendue : 60-72 mois). Neuf des enfants du groupe de 4 ans scolarisés dans une école maternelle urbaine de Dijon, 8 autres dans une école maternelle rurale des Deux-Sèvres et 5 dans une école maternelle rurale du département de la Vienne (Chauvigny). Dix des enfants du groupe de 5 ans étaient scolarisés dans une école maternelle rurale des Deux-Sèvres et 9 autres enfants de ce groupe d'âge étaient scolarisés dans une école maternelle rurale de la Vienne (Vivonne).

Matériel

Tout comme dans l'étude précédente, le matériel était composé de dessins en noir et blanc tirés en partie de la banque d'images de Cycowicz & al (1997) et Snodgrass & al (1980). Certains des dessins utilisés ont été créées pour les besoins de l'étude. Il y avait des images d'objets, d'êtres vivants ou de paysages. L'expérience contenait 13 essais au total dont 12 essais expérimentaux et 1 d'entraînement. Il y avait trois essais par condition. La tâche était la même que dans les autres études présentées dans ce chapitre – l'expérimentateur présentait à l'enfant les termes de l'analogie A : B :: C : ? et ensuite il lui proposait quatre stimuli parmi lesquels l'enfant devait chercher la solution de l'analogie (D).

La force d'association sémantique des items a été déterminée par 80 étudiants de l'Université de Dijon auxquels on a demandé d'évaluer grâce à une échelle de type Likert allant de 1 à 7 dans quelle mesure l'un des items de la paire les faisait penser à l'autre. La force d'association entre le terme C et le ou les distracteurs sémantiques a été évaluée également. La force d'association pour les paires A/B de la condition Association Faible allait de 2 à 3,5 sur 7, M = 2,69, écart-type = 1,47 et de 6 à 6,5, M = 6,11, écart-type = 1,13 pour la condition d'Association Forte. La force d'association pour les paires C/D allait de 3,35 à 4,75, M = 4,1, écart-type = 1,44 pour la condition d'Association Faible et de 5,65 à 6,4 pour la condition d'Association Forte, M = 6,05, écart-type = 0,92. La force d'association entre le terme C et les distracteurs sémantiques n'était pas statistiquement différente de la force d'association entre C et D. Elle avait des valeurs comprises entre 2,9 et 5,5 pour la condition d'Association Faible (M = 4,38, écart-type = 1,31) et entre 4,1 et 6,3 pour la condition d'Association Forte (M = 5,65, écart-type = 1,1). Nous avons contrôlé ces stimuli pour nous

assurer que la condition d'Association Forte ne serait pas plus facile à cause d'une relation C/D plus forte que la relation entre C et les distracteurs sémantiques ou respectivement que la condition d'Association Faible ne serait pas plus difficile à cause d'une relation C/D plus faible que la relation entre C et les distracteurs sémantiques.

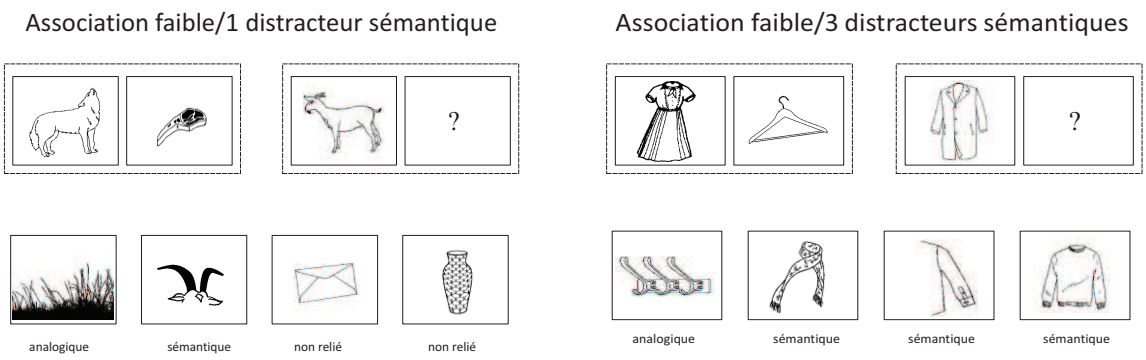
Nous avons manipulé les variables suivantes (voir figure 28 et Annexe 6 pour la liste complète des stimuli):

Force d'Association sémantique :

1) Association Faible – dans cette condition, les items de la paire A/B sont faiblement reliés entre eux, idem pour la paire C/D.
2) Association Forte – dans cette condition, les items de la paire A/B sont fortement reliés entre eux, idem pour la paire C/D.

Nombre de distracteurs sémantiques :

1) 1 distracteur sémantique – parmi les quatre choix proposés à l'enfant, il y avait la solution analogique, un distracteur sémantiquement relié au terme C de l'analogie et deux non solutions.
2) 3 distracteurs sémantiques – parmi les quatre choix proposés à l'enfant, il y avait la solution analogique et trois distracteurs sémantiquement reliés au terme C.



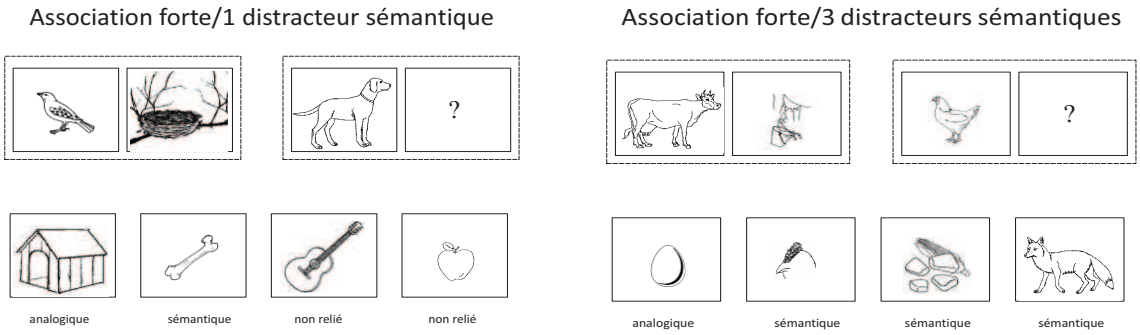


Figure 28. Exemple d'analogie en fonction des conditions expérimentales

Procédure

La passation de l'expérience était individuelle. Les images étaient présentées sur du papier. L'ordre de présentation des essais était contrebalancé d'un sujet à un autre, ainsi que l'ordre de présentation des quatre propositions possibles pour chaque essai.

La consigne donnée aux enfants était la suivante :

« On va jouer à un jeu dans lequel tu choisis des images qui vont ensemble. Il y aura chaque fois deux images de ce côté-là (montrer la paire A : B) et une troisième ici (montrer le terme C). Regarde, ici il en manque une (montrer l'encadré avec un point d'interrogation à la place de D). »

A chaque présentation des items de l'analogie A : B :: C : ? l'expérimentateur demandait à l'enfant d'identifier les dessins en lui posant la question *« c'est quoi ? »*. La même procédure était valable pour la présentation des quatre solutions possibles. Si l'enfant n'était pas capable de donner le nom de l'objet qui lui était présenté, l'expérimentateur lui posait la question *« à quoi ça sert ? »*. Si le sujet ne pouvait pas répondre, alors on lui donnait le nom de l'objet et lui expliquait comment il était utilisé.

Avant de présenter les quatre choix possibles, on demandait à l'enfant de prédire quelle serait le dessin qu'il fallait mettre à côté de C pour faire l'analogie : *« Quelle image mettrais-tu ici pour finir la rangée ? »* Une fois les quatre solutions présentées l'expérimentateur disait à l'enfant : *« Tu dois choisir dans ces images celle qui finit la rangée. »* (voir Goswami & al, 1990). A chaque fois le sujet devait justifier son choix en répondant à la question *« Pourquoi tu as choisi celle-là ? »*.

Dans une seconde phase de l'étude, nous avons testé la compréhension des relations entre A : B et C : D de chaque essai en présentant séparément les deux paires à l'enfant. L'expérimentateur disait alors : « Pourquoi ils vont bien ensemble ? » et notait la réponse de l'enfant.

Résultats

Nous avons réalisé une ANOVA avec l'Age (4 ans vs 5 ans) en variable inter-sujets, la Force d'Association Sémantique (faible vs forte) et le Nombre de distracteurs sémantiques (1 vs 3) en variables intra-sujets. La variable dépendante était la proportion de réponses analogiques.

Nous avons pris en compte dans cette analyse uniquement les essais pour lesquels l'enfant avait compris la relation entre A/B et C/D. Cette compréhension des relations était évaluée dans la deuxième phase de l'expérience. De cette manière nous avons évité d'enregistrer des erreurs dues au manque de connaissances pertinentes pour faire l'analogie. La majorité des enfants avait des difficultés avec la compréhension des relations impliquées dans un essai expérimental de la condition Association Faible - *oiseau : avion :: poisson : bateau*. Par conséquent, nous avons enlevé cet item des analyses.

Les résultats montrent un effet principal significatif pour chacun de ces facteurs et une interaction entre la force d'association et le nombre de distracteurs sémantiques.

<u>Effet de l'âge</u> $F(1, 39) = 8{,}79$, $p=.01$, $\eta^2 = .18$. Les performances des enfants à la tâche d'analogie augmentent avec l'âge. Les enfants de 5 ans (M = 0,6 sur 1) ont obtenu de meilleures performances à la tâche d'analogie que les enfants de 4 ans (M = 0,44).

<u>Effet de la Force d'Association sémantique</u> $F(1, 39) = 17{,}55$, $p<.001$, $\eta^2 = .31$. La condition d'Association Forte (M = 0,62 sur 1) était mieux réussie que la condition d'Association Faible (M = 0,41 sur 1).

<u>Effet du Nombre de distracteurs sémantiques</u> $F(1, 39) = 8{,}20$, $p<.01$, $\eta^2 = .17$. La condition à 1 distracteur sémantique (M = 0,58 sur 1) était mieux réussie que la condition à 3 distracteurs sémantiques (M = 0,45 sur 1).

<u>Interaction Force d'Association x Nombre de distracteurs sémantiques</u> $F(1, 39) = 4{,}86$, $p<.03$, $\eta^2= .11$ (voir figure 29). L'analyse post hoc de Tukey a révélé que la différence était située entre les conditions Association Faible 3 Distracteurs sémantiques (M = 0,29 sur 1) et les trois

autres conditions – Association Faible 1 Distracteur sémantique (M = 0,52 sur 1), Association Forte 1 Distracteur sémantique (M = 0,63 sur 1) et Association Forte 3 Distracteurs sémantiques (M = 0,6 sur 1), $p<.001$.

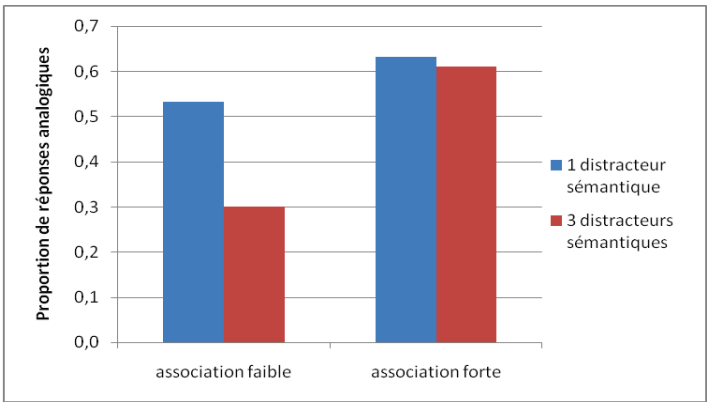


Figure 29. Interaction entre la Force d'Association et le Nombre de Distracteurs sémantiques

Analyse des erreurs

Nous avons également analysé le type d'erreurs dans la condition 1 Distracteur Sémantique – l'enfant pouvait se tromper en prenant le distracteur sémantique du terme C ou bien un des deux items non reliés. Les données ont montré que dans la condition d'Association Faible 81 % des erreurs étaient sémantiques, dans la condition d'Association Forte il y avait 82 % d'erreurs sémantiques. Dans la condition 3 Distracteurs Sémantiques toutes les erreurs étaient sémantiques parce que l'enfant avait le choix entre la solution analogique et trois distracteurs sémantiques sur le terme C.

Nous n'avons pas analysé les prédictions des enfants – dans la plupart des cas, ils disaient ne pas savoir comment la rangée pouvait être completée. Ou bien, lorqu'ils donnaient une réponse, elle n'avait aucun lien pertinent avec les termes de l'analogie qui leur était présentée.

Discussion

L'originalité de cette étude consiste dans la manipulation de la force d'association sémantique entre les items de chaque paire de l'analogie (A/B et C/D) associée à la

manipulation de la charge cognitive de la tâche testée par la variation du nombre de distracteurs sémantiques présents. Le résultat principal est l'interaction entre la Force d'Association et le Nombre de Distracteurs sémantiques. Elle montre clairement que l'augmentation du nombre de distracteurs a un effet important uniquement lorsque les items de la paire A/B et de la paire C/D sont faiblement associés. Dans la condition d'Association Faible 3 Distracteurs sémantiques la performance des enfants est à peine au dessus du hasard (28%). Cette performance ne peut pas être attribuée à un manque de connaissances sur les relations impliquées dans l'analogie parce que nous avons vérifié la compréhension de ces relations dans la deuxième phase de l'expérience et nous avons pris en compte dans l'analyse des résultats uniquement les essais expérimentaux pour lesquels les enfants avaient compris les relations entre les deux paires de l'analogie. Ceci va dans le sens de notre hypothèse sur le coût cognitif et l'espace de recherche qui prédit des difficultés plus importantes dans le cas de plusieurs compétiteurs sémantiques et une association faible entre les items de chaque paire de l'analogie. Lorsque les choix de l'espace sémantique dans lequel nous recherchons l'information ne sont pas dominés par des paires A/B et C/D fortement associées, trouver la solution s'avère être une tâche plus difficile parce qu'une recherche plus approfondie est nécessaire en plus de la nécessité d'inhiber tous les distracteurs sémantiques. Ce résultat ne peut pas être expliqué par l'hypothèse sur les connaissances des relations impliquées dans l'analogie de Goswami & al (1990) ni par l'hypothèse d'amorçage relationnel dans l'analogie de Leech & al (2008) – dans la mesure où elles n'expliquent pas pourquoi la variation du nombre de distracteurs sémantiques ou bien la force d'association sémantique entre les items de chaque paire de l'analogie fait chuter les performances. Nos résultats prouvent que la force d'association joue un rôle majeur dans le raisonnement par analogie. Si deux concepts sont fortement associés la présence de l'un va activer l'autre. Dans ce cas trouver la solution analogique nécessite moins de contrôle exécutif. Par contre, lorsque l'association entre les deux concepts est faible le sujet doit explorer l'espace de solutions possibles avant d'arrêter son choix sur un concept. Ceci expliquerait aussi l'importance du nombre de distracteurs dans cette condition – chaque distracteur étant considéré par l'enfant comme une solution potentielle qu'il doit analyser et inhiber. Ces résultats sont compatibles avec l'idée que la charge cognitive (coût cognitif) joue un rôle primordial dans l'analogie et rejoignent l'interprétation des performances des enfants aux tâches d'analogie par des limitations dans leur fonctionnement exécutif de Richland & al (2006). Dans la condition d'association faible, l'analogie doit être construite – le sujet compare les différents choix dans le but de trouver une relation entre le terme C et chaque item proposé. Tous les choix qui ne correspondent pas

à la relation analogique doivent être inhibés pour que seule la solution analogique soit conservée.

Les performances des enfants à la tâche d'analogie dépendraient crucialement du développement de leurs fonctions exécutives, en particulier de leur capacité à gérer le coût cognitif et à inhiber les solutions saillantes non pertinentes.

Etude 7. Distracteur sémantique vs perceptif – sujets bulgares

Objectif de l'étude

Dans la plupart des études sur la compréhension des analogies chez les enfants, lorsque les auteurs se sont intéressés à la nature du distracteur (perceptif ou bien sémantique), les deux types de distracteurs sont présents dans un seul et même essai (Goswami & al, 1990 ; Rattermann & al, 1998). Tel était aussi le cas d'une des conditions de notre toute première étude décrite dans ce chapitre. Dans ce cas, il est difficile de déterminer l'influence de chaque type de distracteur parce qu'il ne se trouve pas en compétition uniquement avec la solution analogique mais également avec l'autre type de distracteur. Il serait intéressant de tester l'influence de chacun des deux types de distracteurs testés séparément sur le choix de la solution analogique en fonction de l'âge des enfants.

Dans cette étude nous nous sommes intéressés à l'impact du type de distracteur (sémantique vs perceptif) sur la capacité des enfants des mêmes âges testés jusqu'à maintenant (4 ans et 5 ans), à faire des analogies. La manipulation de la nature du distracteur a pour but de nous renseigner sur le type d'information qui perturbe le plus le raisonnement analogique chez l'enfant. On pourrait supposer que les enfants auraient plus de difficultés à inhiber le distracteur sémantique par rapport au distracteur perceptif parce que les analogies dans cette étude sont basées sur des relations sémantiques. Notre raisonnement s'appuie aussi sur les résultats observés dans la première étude de ce chapitre. Selon la théorie de Gentner, les enfants de 4 ans devraient être plus attirés par les distracteurs perceptifs, alors que les enfants de 5 ans le seraient davantage par les distracteurs sémantiques parce que leurs connaissances sémantiques sur le monde qui les entoure ont évolué. Cette expérience a été conduite auprès de sujets bulgares. La force d'association sémantique entre les items de chaque paire de l'analogie n'a pas été manipulée parce que notre matériel a été construit sur la base des associations sémantiques des sujets français. Un post-test des mêmes items, effectué auprès de sujets adultes bulgares a montré des différences entre les jugements de la force d'association selon le pays dans le sens où la différence entre les associations faibles et fortes utilisées dans cette étude s'estompait chez les sujets bulgares. Les résultats du test sont décrits dans la partie méthodologique de cette étude.

Méthodologie

Participants

Des enfants de 4 et de 5 ans ont pris part à cette étude. Nous avons testé 20 enfants de 4 ans (12 garçons et 8 filles ; M = 54 mois; étendue d'âge: 48 – 60 mois) et 20 enfants de 5 ans (9 garçons et 11 filles ; M = 68 mois; étendue d'âge: 60 – 72 mois). Tous les enfants venaient d'une école maternelle urbaine de la ville de Sofia, Bulgarie.

Matériel

Le matériel était composé d'images en noir et blanc tirées en partie de la banque d'images de Cycowicz & al (1997) et Snodgrass & al (1980). Il y avait des dessins d'objets, d'êtres vivants ou de paysages.

Dans le test sur la force d'association sémantique entre les items de chaque paire de l'analogie ainsi qu'entre le terme C et le distracteur sémantique/perceptif, test que nous avons effectué à posteriori, les sujets bulgares avaient pour consigne d'évaluer la force du lien sémantique entre les deux dessins de chaque paire qui leur était présentée. Ils devaient décider dans quelle mesure les deux mots de chaque paire étaient associés, en attribuant une note de 1 à 7 sur une échelle de type Likert (la note 1 correspondant à « pas du tout associé » et la note 7 à « très fortement associé ». Au total, 18 sujets bulgares ont pris part à ce post-test. Ils étaient tous des étudiants de NBU (New Bulgarian University) à Sofia, tous de langue maternelle bulgare. Nous avons ensuite comparé leurs résultats de jugement du lien sémantique entre les deux items de chaque paire de l'analogie aux résultats de nos 16 sujets français. Ce que nous avons observé chez les sujets bulgares est un estompement de la différence entre les deux types d'association (faible vs forte). Pour les sujets français, la moyenne (sur 7) des items de la condition d'association faible était de 3,78, alors que pour les sujets bulgares la moyenne était de 4,81. Quant à la condition d'association forte, les sujets français avaient obtenu une moyenne de 6,36, la moyenne pour les sujets bulgares était de 6,45.

L'expérience contenait 11 essais au total dont 10 essais expérimentaux et 1 essai qui servait d'exemple pour décrire la tâche aux sujets. Chaque condition (type de distracteur : sémantique vs perceptif) était représentée par cinq essais. La tâche était la même que dans les

autres études présentées dans ce chapitre – l'expérimentateur présentait à l'enfant les termes de l'analogie A : B :: C : ?. Ensuite, il lui proposait quatre stimuli parmi lesquels l'enfant devait chercher la solution de l'analogie (D).

Nous avons manipulé *le type de distracteur* présent parmi les quatre choix proposés à l'enfant (voir figure 30 et Annexe 7) :

1) Distracteur sémantique – parmi les quatre choix proposés à l'enfant, il y avait la solution analogique, un distracteur sémantiquement relié au terme C de l'analogie et deux réponses non attendues.
2) Distracteur perceptif – parmi les quatre choix proposés à l'enfant, il y avait la solution analogique, un distracteur perceptivement ressemblant au terme C de l'analogie et deux réponses non attendues.

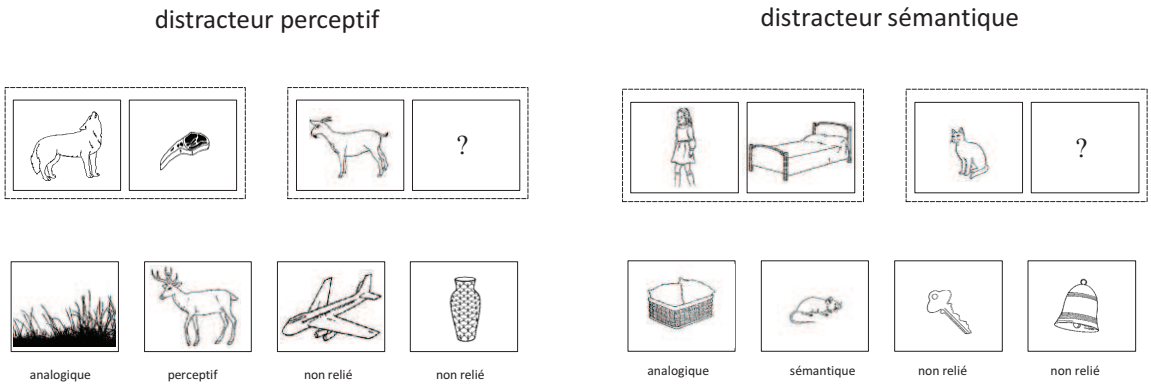


Figure 30. Exemple d'analogie en fonction du type de distracteur

Procédure

La passation de l'expérience était individuelle. Les dessins étaient présentés sur du papier. L'ordre de présentation des essais était contrebalancé d'un sujet à un autre, ainsi que l'ordre de présentation des quatre propositions possibles pour chaque essai.

La consigne donnée aux enfants était la suivante :

« On va jouer à un jeu dans lequel tu choisis des images qui vont ensemble. Il y aura chaque fois deux images de ce côté-là (montrer la paire A : B) et une troisième ici (montrer le terme

C). Regarde, ici il en manque une (montrer l'encadré avec un point d'interrogation à la place de D). »

A chaque présentation des items de l'analogie A : B :: C : ? l'expérimentateur demandait à l'enfant d'identifier les dessins en lui posant la question *« c'est quoi ? »*. La même procédure était valable pour la présentation des quatre choix possibles. Si l'enfant n'était pas capable de donner le nom de l'objet qui lui était présenté, l'expérimentateur lui posait la question *« à quoi ça sert ? »*. Si le sujet ne pouvait pas répondre, alors on lui donnait le nom de l'objet et on lui expliquait comment il était utilisé.

Avant de présenter les quatre choix possibles, on demandait à l'enfant de prédire quelle serait l'image qu'il fallait mettre à côté de C pour faire l'analogie : *« Quelle image mettrais-tu ici pour finir la rangée ? ».* Une fois les quatre solutions présentées l'expérimentateur disait à l'enfant : *« Tu dois choisir dans ces images celle qui finit la rangée. »* (voir Goswami & al, 1990 pour la procédure). A chaque fois le sujet devait justifier son choix en répondant à la question *« Pourquoi tu as choisi celle-là ? »*.

Dans une seconde phase de l'étude, nous avons testé la compréhension des relations entre A : B et C : D de chaque essai en présentant séparément les deux paires à l'enfant. L'expérimentateur disait alors : « Pourquoi ils vont bien ensemble ? » et notait la réponse de l'enfant.

Résultats

Une ANOVA a été réalisée sur les données de cette étude avec l'Age (4 ans vs 5 ans) en variable inter-sujets et le type de distracteur (perceptif vs sémantique) en variable intra-sujets. La variable dépendante était la proportion de réponses analogiques. Nous avons pris en compte dans l'analyse uniquement les essais pour lesquels l'enfant avait compris la relation entre A/B et C/D. Cette compréhension des relations était évaluée dans la deuxième phase de l'expérience. Ceci a été fait dans le but d'éviter des erreurs dues au manque de connaissances pertinentes pour faire l'analogie.

Nous avons contrôlé la similarité perceptive des stimuli à posteriori. A la différence du prétest utilisé pour la création des stimuli expérimentaux dans lequel nous avons présenté des paires de mots pour évaluer la force d'association entre les deux items de chaque paire de

l'analogie, nous avons utilisé les dessins de l'étude. Plus précisément, 10 étudiants de l'Université de Bourgogne ont jugé la ressemblance perceptive des images C – D, ainsi que la ressemblance perceptive entre C et chacun des quatre distracteurs, ressemblance qui aurait pu biaiser le choix de la solution analogique. Suite aux résultats du test perceptif nous avons supprimé de l'analyse statistique un essai de la condition Distracteur perceptif (*araignée : toile :: abeille : ruche* avec *colibri* en tant que distracteur perceptif) car le distracteur perceptif n'était pas jugé comme perceptivement proche du terme C (M = 2,8 sur 7). Deux essais de la condition Distracteur Sémantique ont aussi été enlevés (*gant : main :: chaussure : pied* (M = 4,9) avec *chaussette* (M = 3,4) en tant que distracteur sémantique ; *poule : poussin :: cheval : poulain* (M = 5,8) avec *selle* (M = 4,5) en tant que distracteur sémantique) – les items de la paire C – D et les items de la paire C – distracteur sémantique de ces deux analogies ont été jugés comme perceptivement proches, alors que ce qu'on voulait tester dans ces cas était l'association sémantique.

Les résultats de l'analyse statistique ont montré un effet prinicpal significatif pour chacun des facteurs. L'interaction n'était pas significative.

<u>Effet de l'Age</u> $F(1, 38) = 21{,}31$, $p < .001$, $\eta^2 = .36$. Les performances des enfants à la tâche d'analogie augmentent avec l'âge. Le test post-hoc de Tukey a révélé que les enfants de 5 ans (M = 0,78 sur 1, $p < .001$) avaient de meilleures performances comparées aux enfants de 4 ans (M = 0,46 sur 1, $p < .001$).

<u>Effet du Type de Distracteur</u> $F(1, 38) = 9{,}55$, $p < .01$, $\eta^2 = .20$. La condition Distracteur perceptif était plus facile que la condition Distracteur sémantique. Les performances des enfants étaient meilleures dans la condition Distracteur perceptif (M = 0,70 sur 1 ; $p < .01$) que dans la condition Distracteur sémantique (M = 0,55 sur 1 ; $p < .01$).

Analyse des erreurs

Nous avons aussi analysé le type d'erreurs commises par les enfants en fonction de la condition expérimentale Type de Distracteur et de leur âge. A 5 ans, 70% des erreurs dans la condition Distracteur perceptif étaient perceptives, les autres portaient sur des distracteurs non reliés (3 erreurs sur les 10 au total pour cette condition). A 4 ans, nous avons retrouvé le même pourcentage d'erreurs dans cette condition : 69% d'erreurs perceptives (25 erreurs) et 31% d'erreurs sur des distracteurs non reliés au terme C (11 erreurs). Quant à la condition de Distracteur sémantique - 82% des erreurs étaient sémantiques (14 erreurs) et 17,65% portaient

sur des distracteurs non reliés (3 erreurs) pour les enfants de 5 ans. Pour le groupe de 4 ans 75% des erreurs étaient sémantiques.

Nous n'avons pas analysé les prédictions des enfants parce que dans la majorité des cas ils disaient ne pas savoir comment la rangée pouvait être completée, ou bien, lorsqu'ils donnaient une réponse, celle - ci n'avait aucun lien pertinent avec les termes de l'analogie qui leur étaient présentés.

Discussion

Les résultats de cette étude ont montré que la nature du distracteur joue un rôle important dans la résolution de l'analogie. Les distracteurs sémantiques perturbent plus le choix de la solution analogique chez l'enfant que les distracteurs perceptifs, et ceci est valable pour les deux groupes d'âges auxquels nous nous sommes intéressés – 4 ans et 5 ans. Cet effet est compatible avec nos prédictions que les enfants auraient plus de difficultés à inhiber le distracteur sémantique que le distracteur perceptif parce que la relation qui unit les items de chaque paire de l'analogie de est sémantique. Par contre, ce résultat va à l'encontre de l'hypothèse de « relational shift » émise par Gentner, qui prédit que le développement de la compréhension des analogies chez les jeunes enfants passerait d'abord par une étape pendant laquelle ils seraient attirés par les propriétés perceptives des objets avant de basculer sur une mise en correspondance basée les relations entre les objets. Ces résultats ne sont pas compatibles avec les points de vue de Goswami ou de Leech & al (2008) parce qu'ils ne prédisent pas de type d'erreurs plus fréquent que d'autres une fois que l'enfant a compris la relation entre A et B.

Etude 8. Distracteur sémantique vs perceptif

Objectif de l'étude

Dans cette étude, contrairement à l'étude précédente, nous avons manipulé la force d'association sémantique entre les items de chaque paire de l'analogie (faible vs forte) dans le but de confirmer notre hypothèse sur la profondeur de la recherche de la solution analogique. Pour rappel, notre hypothèse était que lorsque les items de chaque paire de l'analogie sont faiblement associés une recherche plus approfondie dans l'espace sémantique est nécessaire parce que plusieurs solutions potentielles pourraient s'avérer pertinentes, ce qui n'est pas le cas lorsque chaque paire de l'analogie est fortement associée. Nous avons aussi comparé l'effet des distracteurs sémantiques à celui des distracteurs perceptifs. Les expériences décrites dans le chapitre précédent montrent que les enfants sont perturbés par les informations perceptives saillantes dans une tâche d'analogie. De la même manière, les expériences décrites dans ce chapitre montrent qu'ils sont aussi sensibles aux informations sémantiques saillantes lorsqu'ils sont à la recherche de la réponse analogique. La difficulté de raisonner par analogie est donc présente dans les deux cas – dès qu'il y a un distracteur aussi bien perceptif que sémantique – parce que le sujet doit inhiber ce type d'information non pertinente afin de pouvoir raisonner par analogie. Selon l'hypothèse de déplacement relationnel (« relational shift ») de Gentner (1988), le développement du raisonnement par analogie chez les enfants passerait d'abord par une mise en correspondance basée sur des traits perceptifs qui seraient les caractéristiques les plus saillantes d'un objet, pour arriver ensuite à effectuer une mise en correspondance basée les relations entre les objets. Les enfants les plus jeunes devraient donc être plus perturbés de manière plus importante par les disctracteurs perceptifs. Notre point de vue est le suivant – en tenant compte du fait que les analogies dans cette étude sont basées sur des relations sémantiques (habite dans, mange, etc), on pourrait supposer que les enfants auraient plus de difficultés à inhiber le distracteur sémantique, du moins ceux qui sont plus âgés.

Méthodologie

Participants

Des enfants âgés de 4, 5 et 6 ans ont pris part à cette étude. Plus précisément, nous avons testé 64 enfants : 22 enfants de 4 ans (12 garçons et 10 filles ; M = 55 mois,

étendue d'âge: 48 – 59 mois) et 19 enfants âgés de 5 ans (7 garçons et 12 filles ; M = 67 mois, étendue d'âge: 60 – 71 mois) étaient scolarisés dans une école maternelle rurale de la commune de Toulaud, située dans le département de l'Ardèche. Enfin, les 23 enfants restant (7 garçons et 16 filles ; M = 81 mois, étendue d'âge: 76 – 84 mois) étaient âgés de 6 ans et étaient scolarisés en classe de CP à l'école élémentaire rurale de Toulaud.

Matériel

Tout comme dans les autres expériences présentées dans ce chapitre le matériel utilisé dans cette étude a été tiré en partie de la banque d'images de Cycowicz & al (1997) et Snodgrass & al (1980). Certaines des dessins ont été créés pour les besoins de l'étude.

Afin de choisir les paires d'dessins constituant notre matériel expérimental, nous avons effectué deux types de prétests auprès de sujets adultes. Dix étudiants de l'Université de Dijon ont évalué la ressemblance perceptive entre les dessins de chaque paire de l'analogie, ainsi qu'entre le terme C de l'analogie et le distracteur perceptif ou sémantique et dix autres étudiants ont évalué la force d'association sémantique entre les dessins de chaque paire de l'analogie, ainsi qu'entre le terme C et le distracteur perceptif ou sémantique que nous avions trouvé. Pour ceci, nous avons utilisé une échelle de type Likert allant de 1 à 7. Un sujet qui avait rempli le prétest perceptif a été enlevé des analyses parce qu'il avait choisi des valeurs sur l'échelle qui étaient opposées à celles choisies par les autres sujets. Probablement, il était question d'une mauvaise compréhension de la consigne. Pour le prétest sémantique, les sujets ont jugé l'association sémantique entre les items dans la condition Forte (M = 6,42 sur 7) significativement plus importante que la condition Faible (M = 3,64 sur 7) (les items ne sont pas jugés comme perceptivement proches : Association Faible (M = 1,51) et Association Forte (M = 1,38)).

L'expérience contenait 14 essais au total dont 12 essais expérimentaux et 2 d'entraînement. Donc, il y avait trois essais par condition. La tâche était la même que dans les autres études présentées dans ce chapitre – l'expérimentateur présentait à l'enfant les termes de l'analogie A : B :: C : ? et ensuite il lui proposait quatre stimuli parmi lesquels l'enfant devait chercher la solution de l'analogie (D).

Nous avons manipulé les variables suivantes (voir figure 31 et Annexe 8):

Force d'Association sémantique :

1) Association Faible – dans cette condition, les items de la paire A/B sont faiblement reliés entre eux, idem pour la paire C/D.
2) Association Forte – dans cette condition, les items de la paire A/B sont fortement reliés entre eux, idem pour la paire C/D.

Type de distracteur :

1) Distracteur perceptif – parmi les quatre choix proposés à l'enfant, il y avait la solution analogique, un distracteur sémantiquement relié au terme C de l'analogie et deux réponses non attendues.
2) Distracteur sémantique – parmi les quatre choix proposés à l'enfant, il y avait la solution analogique, un distracteur perceptivement proche au terme C de l'analogie et deux réponses non attendues.

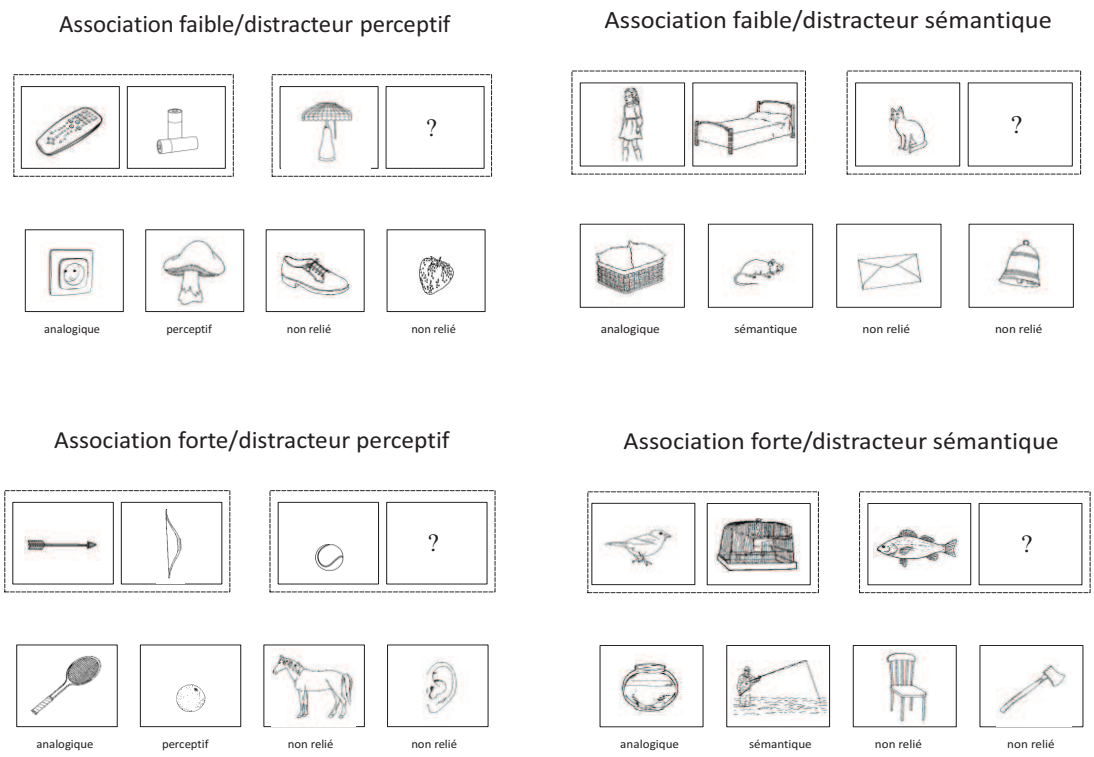


Figure 31. Exemples d'analogie en fonction des conditions expérimentales

Procédure

La procédure est similaire à celle de l'étude 7. La seule différence est qu'on ne demandait plus à l'enfant de prédire quel dessin finirait la rangée. Nous avons supprimé cette partie de la procédure parce que la majorité des prédictions des enfants n'avait pas de rapport avec les stimuli de l'essai proposé ou alors les enfants n'étaient pas capables de donner une réponse. La passation de l'expérience était individuelle. Les dessins étaient présentés sur papier. L'ordre de présentation des essais était aléatoire, ainsi que l'ordre de présentation des quatre propositions possibles pour chaque essai.

La consigne donnée aux enfants était identique à celle de l'étude précédente:

« On va jouer à un jeu dans lequel tu choisis des images qui vont ensemble. Il y aura chaque fois deux images de ce côté-là (montrer la paire A : B) et une troisième ici (montrer le terme C). Regarde, ici il en manque une (montrer l'encadré avec un point d'interrogation à la place de D). »

A chaque présentation des items de l'analogie A : B :: C : ? l'expérimentateur demandait à l'enfant d'identifier les images en lui posant la question *« c'est quoi ? »*. La même procédure était valable pour la présentation des quatre choix possibles. Si l'enfant n'était pas capable de donner le nom de l'objet qui lui était présenté, l'expérimentateur lui posait la question *« à quoi ça sert ? »*. Si le sujet ne pouvait pas répondre, alors on lui donnait le nom de l'objet et lui expliquait comment il était utilisé.

Une fois les quatre solutions présentées l'expérimentateur disait à l'enfant *: « Tu dois choisir dans ces images celle qui finit la rangée. »* (voir Goswami & al, 1990). A chaque fois le sujet devait justifier son choix en répondant à la question *« Pourquoi tu as choisi celle-là ? ».*

Dans une seconde phase de l'étude, nous avons testé la compréhension des relations entre A : B et C : D de chaque essai en présentant séparément les deux paires à l'enfant. L'expérimentateur disait alors : *« Pourquoi ils vont bien ensemble ? »* et notait la réponse de l'enfant.

Résultats

Une ANOVA avec l'Age (4 ans vs 5 ans vs 6 ans) en variable inter-sujets, la Force d'Association Sémantique (faible vs forte) et le Type de distracteur (perceptif vs sémantique) en variables intra-sujets a été réalisée. La variable dépendante était la proportion de réponses analogiques. Nous avons pris en compte dans cette analyse uniquement les essais pour lesquels l'enfant avait compris la relation entre A/B et C/D. Cette compréhension des relations était évaluée dans la deuxième phase de l'expérience. De cette manière nous avons évité les erreurs dues au manque de connaissances pertinentes pour faire l'analogie. Un item de la condition Association faible/distracteur perceptif, a été enlevé de l'analyse parce que la majorité des enfants de 4 et 5 ans ne comprenaient pas la relation entre les items de chaque paire de l'analogie. Il s'agissait d'une relation de transformation : transformation d'un ananas (terme A) en jus (terme B) et transformation d'une prune (terme C) en confiture (terme D) – (voir l'essai en annexe).

Les résultats montrent un effet principal significatif pour chacun de ces facteurs, ainsi qu'une interaction entre la force d'association et le type de distracteur.

<u>Effet de l'Age</u> $F(2, 61) = 20{,}22$, $p < .001$, $\eta^2 = .40$. Les performances à la tâche d'analogie augmentent avec l'âge. Le test post-hoc de Tukey a révélé que les enfants de 6 ans (M = 0,86 sur 1) et les enfants de 5 ans (M = 0,70 sur 1) avaient de meilleures performances comparées aux enfants de 4 ans (M = 0,44 sur 1). En revanche, nous n'avons pas pu mettre en évidence des différences significatives entre le pourcentage de réponses analogiques du groupe de 5 ans et de celui de 6 ans. Les performances augmentent donc plus entre 4 et 5 ans qu'entre 5 et 6 ans.

<u>Effet de la Force d'Association</u> $F(1, 61) = 16{,}7$, $p < .001$, $\eta^2 = .21$. La proportion de réponses analogiques était plus importante dans la condition d'Association Forte (M = 0,74 sur 1) que dans la condition d'Association Faible (M = 0,6 sur 1). Ce résultat va dans le sens de notre hypothèse de profondeur de la recherche de la solution analogique.

<u>Effet du Type de distracteur</u> $F(1,61) = 29{,}10$, $p < .001$, $\eta^2 = .32$. Le taux de bonnes réponses était plus élevé dans la condition à un distracteur perceptif (M = 0,76 sur 1) que dans la condition à un distracteur sémantique (M = 0,58 sur 1). Ainsi, les distracteurs sémantiques perturbent plus le raisonnement analogique des enfants que les distracteurs perceptifs.

Interaction Force d'association x Type de distracteur $F(1, 61) = 5{,}24$, $p < .05$, $\eta^2 = .08$. (voir figure 32). La différence de performance entre la condition à un distracteur sémantique et la condition à un distracteur perceptif est plus importante lorsque l'association sémantique entre les items de chacun des deux paires de l'analogie est faible que lorsqu'elle est forte. L'analyse post-hoc de Tukey a révélé que la condition Association Faible/Distracteur Sémantique (M = 0,48 sur 1) était plus difficile comparée à toutes les autres conditions : Association Faible/Distracteur Perceptif (M = 0,72 sur 1) ; Association Forte/Distracteur Sémantique (M = 0,68 sur 1) et Association Forte/Disracteur Perceptif (M = 0,79 sur 1), $p<.001$. Lorsque l'Association était Forte, la condition Distracteur Perceptif était mieux réussie que la condition Distracteur Sémantique. Par contre, aucune différence n'a été observée entre les conditions Distracteur Perceptif selon la Force d'Association.

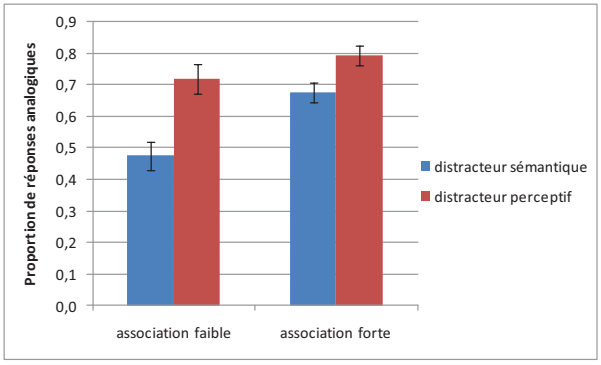


Figure 32. Interaction entre la Force d'Association et le Type de distracteur

Analyse des erreurs

Nous avons analysé le type d'erreurs commises par les enfants en fonction de la condition expérimentale et de leur âge (figure 33). A 6 ans lorsque les enfants se trompent en choisissant une réponse autre que la réponse analogique, les erreurs portent toujours sur les distracteurs : dans la condition Distracteur Sémantique toutes les erreurs sont sémantiques et dans la condition Distracteur Perceptif toutes les erreurs sont perceptives. Aucun item non relié au terme C n'a été choisi. A 5 ans, nous avons observé la même chose pour la condition Association Forte/Distracteur Perceptif. Les plus jeunes (le groupe de 4 ans) choisissent plus d'items non reliés dans la condition Distracteur Perceptif (21% dans le cas d'association faible et 17% dans le cas d'association forte) que dans la condition Distracteur Sémantique (14% dans le cas d'association faible et 12% dans le cas d'association forte).

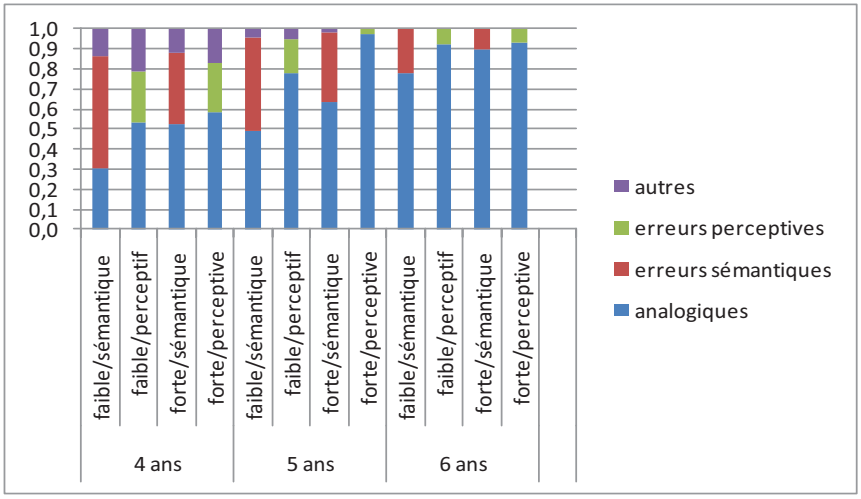


Figure 33. Types d'erreurs par Age et par condition

Discussion

Ces résultats confirment encore une fois le rôle majeur de la force d'association entre les termes de chaque paire de l'analogie. Ils appuient notre hypothèse sur la profondeur de la recherche de la réponse dans l'espace sémantique. Lorsque la relation sur laquelle est basée l'analogie est forte, l'enfant ne doit pas vraiment chercher la solution puisqu'elle est fortement activée, ce qui diminue le risque d'erreur. Par contre, lorsque l'association entre les termes est faible, l'enfant doit explorer l'espace sémantique et toutes les relations possibles parce que la solution analogique a moins de relief. Par conséquent, le risque d'erreurs augmente.

La nouveauté apportée par cette étude est la confrontation entre deux types différents de distracteurs : perceptif versus sémantique. Les distracteurs sémantiques perturbent plus le raisonnement analogique de l'enfant que les distracteurs perceptifs. Par contre, ce qui nous apprend l'interaction entre la Force d'Association et le Type de Distracteur Sémantique est que la sensibilité au type de distracteur dépend de la force d'association – elle rend la recherche de la solution analogique plus difficile uniquement lorsque les distracteurs sont sémantiques. En revanche, elle n'influence pas les performances lorsque les distracteurs sont perceptifs. Cet effet est compatible avec les résultats obtenus dans notre deuxième étude de ce chapitre où on faisait varier le nombre de distracteur sémantiques – l'augmentation du nombre de distracteurs sémantiques faisait diminuer les performances uniquement lorsque

l'association entre les termes de chaque paire de l'analogie était faible. L'interaction entre le Type de Distracteur et l'Age montre que les enfants du groupe de 4 ans sont perturbés par les deux types de distracteurs – sémantiques et perceptifs. Par contre, à 5 ans, les enfants sont plus perturbés par les distracteurs sémantiques qu'ils considèrent comme des solutions possibles pour faire l'analogie. La présence de différences entre le groupe de 4 ans et celui de 5 ans pour la condition Distracteur perceptif montre qu'à cet âge les enfants apprennent à mieux inhiber les propriétés perceptives des objets et deviennent plus sensibles aux relations qui peuvent exister entre eux. A 6 ans, les enfants sont capables de mieux inhiber les deux types de distracteurs. D'ailleurs, ils ont des performances qui sont proches du maximum dans la condition Association Forte/Distracteur perceptif (92% de bonnes réponses). Les résultats révèlent qu'entre l'âge de 5 et de 6 ans c'est la gestion du conflit sémantique qui évolue parce que le groupe de 6 ans réussit mieux cette condition que le groupe de 5 ans. En revanche, les performances des enfants de 6 ans ne sont pas encore parfaites (79% de bonnes réponses). Nos résultats montrent clairement que la nature de l'information présente dans notre espace de recherche influence le choix du sujet ! Les informations saillantes sémantiques sont d'autant plus difficiles à inhiber que la force d'association est faible. Par contre, la force d'association n'a pas d'influence sur les informations perceptives.

Ces effets peuvent être expliqués par le développement progressif des fonctions exécutives avec l'âge, notamment par une meilleure maîtrise du contrôle inhibiteur qui permet de supprimer les informations saillantes mais non pertinentes lors de la recherche de la solution analogique.

Etude 9. Distracteur sémantique vs perceptif, temps de réaction, Day-Night Test et EVIP (Echelle de Vocabulaire en Images de Peabody)

Objectif de l'étude

Dans cette dernière étude du chapitre nous sommes allés encore plus loin dans l'exploration du développement de la compréhension des analogies. Nous l'avons toujours expliqué principalement par le développement des fonctions exécutives chez les enfants, notamment la capacité d'inhibition qui permet de bloquer toutes les solutions saillantes mais non pertinentes pour faire l'analogie, ou encore la flexibilité cognitive, nécessaire pendant la recherche de la solution analogique parce qu'elle permet de changer de stratégie selon les conditions expérimentales. Jusqu'à maintenant, nous n'avons pas testé de manière directe la capacité d'inhibition chez les enfants, ni leur niveau d'acquisition des connaissances et des relations sur le monde qui les entoure. L'apport de cette expérience par rapport aux autres études décrites dans ce chapitre concerne plusieurs points. Tout d'abord, nous avons mesuré les temps de réaction des enfants lors de la tâche d'analogie grâce à l'utilisation d'un écran tactile. Ceci a été fait dans le but de nous renseigner sur le type de processus cognitifs engagés lors de la recherche de la solution analogique selon la force d'association entre les items de chaque paire de l'analogie, ainsi qu'en fonction du type de distracteur présent parmi les choix proposés à l'enfant. De plus, deux autres mesures ont été prises, afin de tester la relation entre l'acquisition des connaissances sémantiques et les performances à la tâche d'analogie, et afin d'évaluer la capacité d'inhibition chez les enfants et voir si elle influence les performances de l'enfant à la tâche d'analogie. Pour atteindre ces objectifs, nous avons utilisé un test – l'EVIP (Echelle de Vocabulaire en Images de Peabody) – qui mesure le niveau d'acquisition du langage, ainsi qu'un Stroop pour enfants (des sujets qui ne maîtrisent pas encore la lecture) : le Day-night Task (Jour/Nuit), qui est une tâche exécutive à forte composante d'inhibition et dont l'objectif est d'évaluer la capacité d'inhibition de l'enfant en bas âge (Perner & Lang, 1999; Carlson, 2005 ou encore Livesey, Keen, Rouse & White, 2006).

Méthodologie

Participants

Au total, 58 enfants ont pris part à cette étude – 30 enfants de 4 ans (19 garçons et 11 filles ; M = 55 mois; étendue d'âge: 49 – 59 mois) et 28 enfants de 5 ans (15 garçons et 13 filles ; M = 66 mois; étendue d'âge: 60 – 71 mois). Tous les enfants étaient scolarisés dans des écoles maternelles urbaines de Dijon.

Matériel

Tâche d'analogie

Le matériel utilisé dans cette étude était identique à celui de l'étude précédente à la différence près que nous avons remplacé la prune par une pomme et le pot de confiture par une carafe dans l'analogie *ananas : jus d'ananas :: prune : pot de confiture* car il s'est avéré que la majorité des enfants testés ne comprenait pas la relation de transformation dont il est question ici. Pour rappel, l'expérience est composée de 14 essais au total dont 12 essais expérimentaux et 2 d'entraînement (un avec distracteur perceptif et un autre avec distracteur sémantique). Il y avait trois essais par condition (voir figures 31, 34 et Annexe 9).

Les variables manipulées étaient identiques à celles de l'étude précédente :

Force d'Association sémantique :

1) Association Faible – dans cette condition, les items de la paire A/B sont faiblement reliés entre eux, idem pour la paire C/D.
2) Association Forte – dans cette condition, les items de la paire A/B sont fortement reliés entre eux, idem pour la paire C/D.

Type de distracteur :

1) Distracteur perceptif – parmi les quatre choix proposés à l'enfant, il y avait la solution analogique, un distracteur sémantiquement relié au terme C de l'analogie et deux réponses non attendues.
2) Distracteur sémantique – parmi les quatre choix proposés à l'enfant, il y avait la solution analogique, un distracteur perceptivement proche au terme C de l'analogie et deux réponses non attendues.

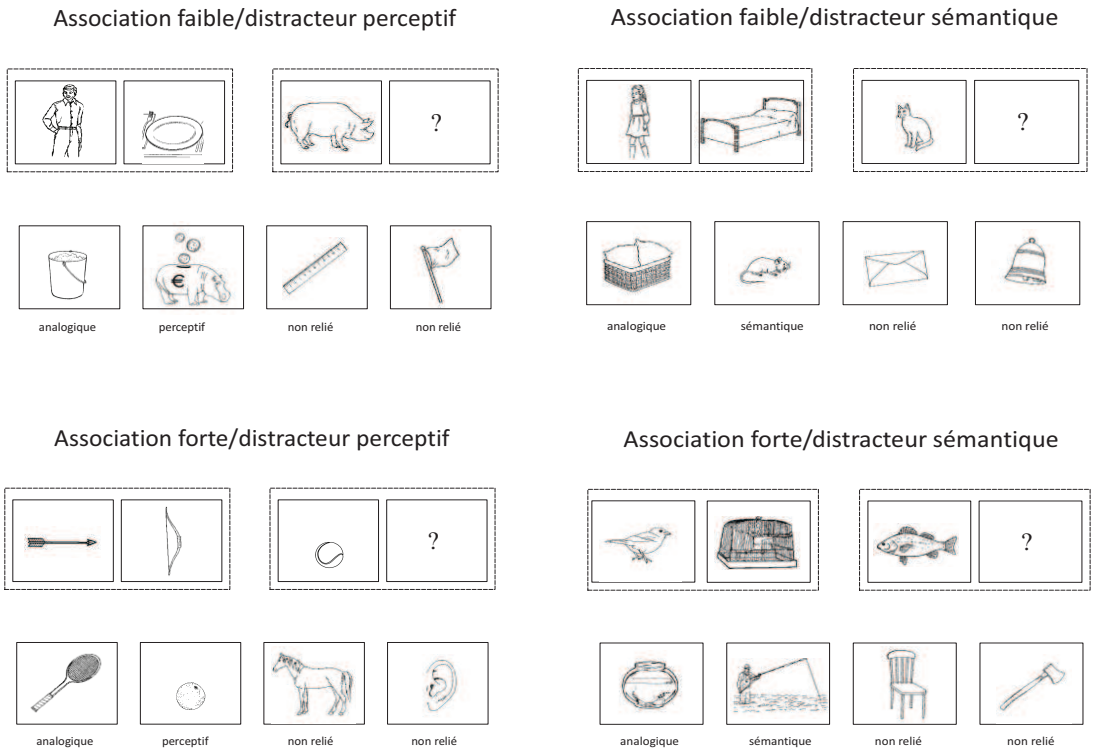


Figure 34. Exemples d'analogie en fonction des conditions expérimentales

Test d'inhibition

Le test Jour/Nuit était composé de deux planches de 32 images chacune – des images du soleil ou de la lune disposées en ligne (voir figure 35). L'épreuve était chronométrée. Il y avait deux phases :

1) Dénomination – phase pendant laquelle la tâche du sujet est de dénommer le plus rapidement possible les dessins en respectant un ordre déterminé.
2) Interférence – phase pendant laquelle la tâche du sujet est de dire « soleil » lorsqu'il voit un dessin de la lune avec des étoiles, et de dire « lune » lorsqu'il voit un dessin du soleil.

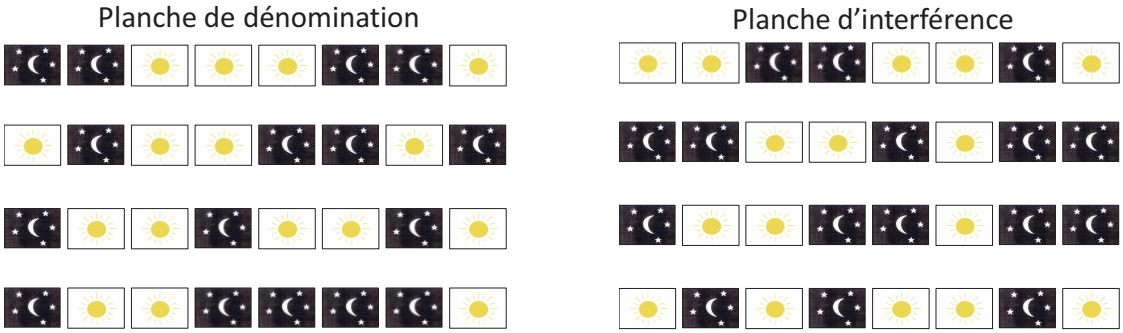


Figure 35. Planches utilisées dans le test Day-night

Test de vocabulaire – EVIP (Echelle de Vocabulaire en Images de Peabody)

Cette échelle est une adaptation française du PPVT (Peabody Picture Vocabulary Test-Revised) (Dunn, Theriault-Whalen & Dunn, 1993). Il s'agit d'une tâche de désignation d'images, étalonnée de 2,6 ans à l'âge adulte. Elle comporte deux versions (A et B), chacune composée de 170 items rangés par ordre croissant de complexité. La tâche du sujet consiste à désigner parmi quatre dessins celui qui correspond à un mot préalablement donné par l'expérimentateur.

Procédure

Les enfants étaient testés à deux reprises – une fois pour la tâche d'analogie et une fois pour les deux tests : Lunes/Soleils et EVIP parce que la durée de chaque session était de plus de 20 minutes par enfant. La passation était individuelle. L'ordre de passation des deux sessions était contrebalancé.

Tâche d'analogie

La tâche d'analogie était similaire à celle des autres études. Alors que les stimuli dans les autres études étaient présentés sur papier, cette fois-ci nous avons utilisé un écran tactile dans le but d'enregistrer les temps de réaction des sujets. L'expérience était programmée avec le logiciel E-prime. L'ordre de présentation des essais était aléatoire, ainsi que l'ordre de présentation des quatre choix possibles pour chaque essai. Une autre différence par rapport

aux études sur les analogies sémantiques présentées jusqu'ici est qu'un feedback était donné lors de l'entraînement.

Dans le but d'enregistrer les temps de réaction de l'enfant, ce dernier était assis face à l'écran tactile, alors que l'expérimentateur était assis à côté de l'enfant, face à son ordinateur portable. Les deux écrans affichaient la même chose. Le sujet devait placer sa main dominante à une distance d'environ 20 cm qui était toujours constante d'un sujet à l'autre. L'instruction donnée à l'enfant était : *« Quand tu as trouvé la réponse, il faut appuyer sur l'image le plus vite possible. Attention, tu peux toucher l'écran qu'une seule fois pour cet exemple-là ».*

La tâche d'analogie était précédée par une phase d'identification pendant laquelle chaque stimulus apparaissait individuellement au milieu de l'écran tactile et l'enfant devait le nommer. Si le sujet n'était pas capable de donner le nom de l'objet qui lui était présenté, l'expérimentateur lui posait la question *« à quoi ça sert ? »*. Si le sujet ne pouvait pas répondre, alors on lui donnait le nom de l'objet et lui expliquait comment il était utilisé. Lors de la tâche d'analogie à proprement parler, les termes de l'analogie (A, B et C), ainsi que les quatre solutions présentées apparaissaient simultanément à l'écran.

La consigne était la suivante : *« On va jouer à un jeu dans lequel tu choisis des images qui vont ensemble. Il y aura chaque fois deux images de ce côté-là (montrer la paire A : B) et une troisième ici (montrer le terme C). Regarde, ici il en manque une (montrer l'encadré avec un point d'interrogation à la place de D). » Alors, l'expérimentateur disait à l'enfant : « Tu dois choisir dans ces images celle qui finit la rangée. A chaque fois le sujet devait justifier son choix en répondant à la question « Pourquoi tu as choisi celle-là ? »*

A la différence des autres études, un feedback en cas de mauvaise réponse était donné lors de la présentation des deux analogies qui servaient d'entraînement. Si le sujet ne choisissait pas la solution analogique, l'expérimentateur le corrigeait en lui donnant la réponse tout en expliquant la relation entre les items (l'enfant a un pied pour marcher et l'éléphant a un sabot pour marcher ; la clé sert à ouvrir le cadenas et le tire-bouchon à ouvrir la bouteille).

Dans une troisième phase, nous avons testé la compréhension des relations entre A : B et C : D de chaque essai en présentant séparément les deux paires à l'enfant.

L'expérimentateur disait alors : *« Pourquoi ils vont bien ensemble ? »* et notait la réponse de l'enfant sur la feuille de réponses.

Test d'inhibition

Pour la planche de dénomination qui était toujours la première planche présentée à l'enfant (voir figure 35), le sujet devait simplement dénommer les dessins le plus rapidement possible. Il devait dire « lune » pour l'image de la lune et « soleil » pour l'image du soleil. C'est la réponse dominante parce qu'elle correspond à l'image que le sujet voit (Gerstadt & al, 1994).

Pour la seconde planche, celle d'interférence - qui nous renseigne sur la capacité d'inhibition du sujet, les enfants avaient pour consigne de dire « soleil » pour les images de la lune et inversement, dire « lune » pour les images du soleil. L'expérimentateur disposait d'un chronomètre pour noter le temps mis par l'enfant pour répondre (temps par ligne – 4 lignes par planche et temps total de la planche). Les erreurs commises pas l'enfant étaient également notées.

Test de vocabulaire

Uniquement la Forme A du test a été administrée aux enfants. L'item à partir duquel l'évaluation devait commencer était sélectionné en fonction de l'âge de l'enfant. La réponse du sujet est notée à chaque fois sur la feuille de réponse. La passation s'arrête lorsque dans une série de huit réponses consécutives le sujet échoue à six reprises. Le temps de la passation est chronométré. Les performances sont ensuite exprimées sous la forme d'un score brut calculé par l'expérimentateur. La tâche du sujet consiste à désigner parmi quatre dessins celui qui correspond à un mot préalablement donné par l'expérimentateur. Voici un exemple : le mot « cerf-volant » est à désigner parmi les dessins d'une flèche, une plume, une montgolfière et un cerf-volant.

Résultats

Tâche d'analogie

Une ANOVA avec l'Age (4 ans vs 5 ans) en variable inter-sujets, la Force d'Association Sémantique (faible vs forte) et le Type de distracteur (perceptif vs sémantique)

en variables intra-sujets a été réalisée. La variable dépendante était la proportion de réponses analogiques. Nous avons pris en compte dans cette analyse uniquement les essais pour lesquels l'enfant avait compris la relation entre A/B et C/D, compréhension qui était évaluée à la fin de l'expérience. De cette manière nous avons évité les erreurs dues au manque de connaissances pertinentes pour faire l'analogie.

Les résultats montrent un effet principal significatif pour chacun de ces facteurs.

Effet de l'Age $F(1, 56) = 9{,}70$, $p < .01$, $\eta^2 = .15$. Les performances à la tâche d'analogie augmentent avec l'âge. L'utilisation du test HSD de Tukey a révélé que les enfants de 5 ans (M = 0,61 sur 1) avaient de meilleures performances que les enfants de 4 ans (M = 0,41 sur 1) $p < .001$.

Effet de la Force d'Association $F(1, 56) = 18{,}76$, $p < .001$, $\eta^2 = .25$. La condition d'Association Forte était mieux réussie (M = 0,58 sur 1) que la condition d'Association Faible (M = 0,44 sur 1), $p < .001$. Ce résultat va dans le sens de notre hypothèse de profondeur de la recherche de la solution analogique.

Effet du Type de distracteur $F(1,56) = 8{,}44$, $p < .01$, $\eta^2 = .13$. Le taux de bonnes réponses était plus élevé dans la condition avec distracteur perceptif (M = 0,57 sur 1) que dans la condition avec distracteur sémantique (M = 0,46 sur 1), $p < .01$. Ainsi, les distracteurs sémantiques perturbent plus le raisonnement analogique des enfants que les distracteurs perceptifs, cet effet étant observé aussi bien chez les enfants de 5 ans que chez les enfants de 4 ans.

Analyse des erreurs

Nous avons analysé le type d'erreurs commises par les enfants en fonction de la condition expérimentale et de leur âge. Pour les deux groupes d'âges, lorsque les enfants se trompent en choisissant une réponse, autre que la réponse analogique dans la condition de Distracteur perceptif, les erreurs portent dans la moitié des cas sur le distracteur perceptif (48% pour les 4 ans et 47% pour les 5 ans), l'autre moitié portant sur des items non reliés au terme C. Dans la condition Distracteur sémantique, 66% des erreurs des 4 ans et 82% des 5 ans sont sur le distracteur sémantique. Ce résultat est différent de celui que nous avons observé dans l'étude précédente lorsque les stimuli étaient présentés sur papier.

Analyse des TR

Une ANOVA sur les temps de réaction des enfants a également été réalisée. Uniquement les TR sur les bonnes réponses ont été pris en compte dans l'analyse. Les résultats montrent un effet principal significatif pour les facteurs Force d'Association et Type de Distracteur.

Effet de l'Age – l'effet de ce facteur n'était pas significatif. Aucune différence dans les TR selon le groupe d'âge n'a été observée.

Effet de la Force d'Association $F(1, 37) = 14{,}46$, $p < .001$, $\eta^2 = .28$. Les enfants choisissent plus rapidement la solution analogique lorsque l'association entre les items de chaque paire de l'analogie est forte (M = 14464 ms) que lorsque l'association est faible (M = 21078 ms), $p < .001$.

Effet du Type de distracteur $F(1,37) = 11{,}55$, $p < .002$, $\eta^2 = .24$. L'analyse post-hoc de Tukey a montré que les TR sont plus longs dans la condition Distracteur perceptif (M = 21003 ms) que dans la condition Distracteur sémantique (M = 14538 ms), $p < .01$.

Tâche d'inhibition (Day-night task)

Cotation

Nous avons calculé deux facteurs pour ce test. D'abord, nous avons déterminé les performances des enfants à partir des temps qu'ils ont mis pour compléter les planches de dénomination et d'inhibition. Voici les détails du calcul de ce score : (Temps de la planche d'inhibition – Temps de la planche de dénomination)/(Temps de la planche d'inhibition + Temps de la planche de dénomination). Le nombre d'erreurs sur la planche d'interférence a été compté aussi pour nous servir d'indice de la performance.

Ensuite, nous avons divisé les sujets en deux groupes en fonction de leurs performances : bons vs mauvais inhibiteurs, chaque groupe contenant à peu près le même nombre de sujets (31 bons inhibiteurs et 26 mauvais inhibiteurs respectivement).

Ceci a abouti à la réalisation d'une ANOVA pour chacun de ces deux facteurs en relation avec la tâche d'analogie.

- Pour le score du Day-night calculé selon la formule ci-dessus, nous n'avons pas observé d'interaction.
- Une interaction a été observée entre la Force d'Association sémantique et les performances au Day-night (nombre d'erreurs commises sur la planche d'interférence), F(1, 47) = 4, 14, $p < .05$, $\eta^2 = .08$ (voir figure 36). Le test post-hoc HSD de Tukey a révélé l'existence d'une différence significative entre les conditions d'association faible et forte uniquement pour les mauvais inhibiteurs (M = 0,30 et M = 0,53 respectivement, $p < .001$).

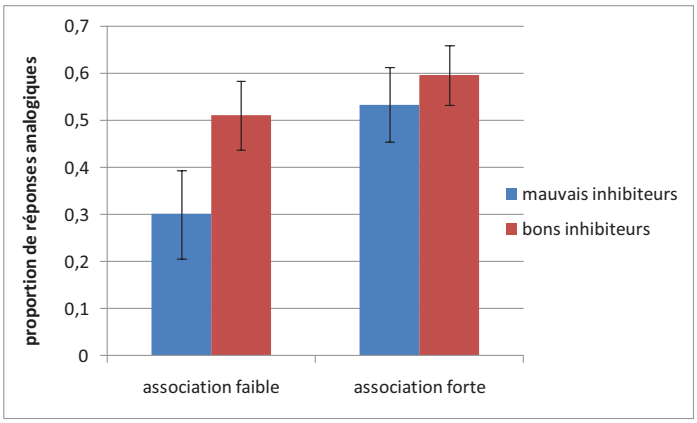


Figure 36. Interaction entre la Force d'Association et le Nombre d'erreurs du Day-night

- L'analyse des temps de réaction dans la tâche d'analogie a montré une interaction triple entre la Force d'Association, le Type de distracteur et le Nombre d'erreurs au Day-night, F(1, 29) = 3,58, $p = .068$, $\eta^2 = .11$ (voir figure 37) qui était proche du seuil de significativité.

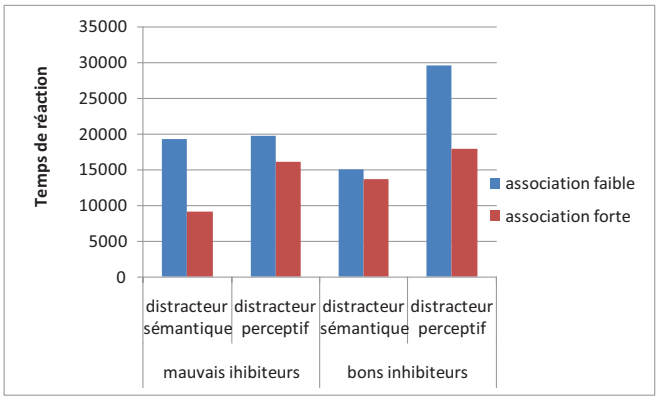


Figure 37. Interaction triple entre la Force d'Association, le Type de distracteur et le Nombre d'erreurs au Day-night

Test de vocabulaire (EVIP)

Après avoir calculé le score brut à l'EVIP pour chaque sujet, nous avons procédé de la même manière que pour le Day-night : nous avons divisé les sujets en deux groupes en fonction de leurs performances au test de vocabulaire (bon niveau de vocabulaire vs mauvais niveau de vocabulaire). Nous avons ensuite réalisé une ANOVA pour voir si les performances des sujets à l'EVIP pourraient influencer leurs performances à la tâche d'analogie (aussi bien le type de réponse que le TR). Nous avons un effet principal significatif pour le facteur test de vocabulaire, $F(1, 50) = 18{,}5$, $p<.001$, $\eta^2 = .27$.

Discussion

Les résultats de cette étude confirment encore une fois le rôle majeur de la force d'association sémantique entre les items de chaque paire de l'analogie, l'analogie étant plus facile à faire dans le cas d'association forte entre les items A/B d'un côté et C/D de l'autre, que dans le cas d'association faible. De cette manière, ils appuient notre hypothèse sur la profondeur de recherche de la solution analogique dans l'espace sémantique. Ils nous renseignent également sur le rôle différent des distracteurs en fonction de leur nature (perceptive ou sémantique) dans l'analogie, l'effet des distracteurs sémantiques étant plus perturbant pour la tâche de recherche d'analogies sémantiques. Finalement, les performances des enfants à cette tâche d'analogie augmentent avec l'âge. Par contre, au niveau des TR l'effet de l'âge n'est pas observé. Ceci n'est pas étonnant vu la différence d'âge (1 an seulement) des deux groupes auxquels nous nous sommes intéressés. Les TR ont montré que les enfants sont plus rapides à choisir la solution analogique dans la condition d'association forte que dans la condition d'association faible, ce qui va dans le sens de notre hypothèse de profondeur de recherche. Un résultat un peu étonnant à premier abord est qu'ils sont plus lents dans la condition Distracteur perceptif, alors qu'ils réussissent mieux cette condition que la condition Distracteur sémantique. Cet effet ressort aussi dans la triple interaction. Une explication serait qu'ils ont pris plus de temps pour réfléchir et par conséquent, pour inhiber le distracteur perceptif, parce que l'inhibition est un processus contrôlé qui nécessite plus de temps du fait de son coût cognitif plus important par rapport à celui d'un processus automatique. Dans la condition Distracteur sémantique, le sujet serait attiré par ce distracteur et ne prendrait pas le temps de mieux regarder les autres choix proposés parmi lesquels se trouve la solution analogique.

Dans cette expérience, nous avons également exploré les capacités d'inhibition des sujets, ainsi que leur niveau d'acquisition du vocabulaire.

L'interaction entre la force d'association et les performances au Day-night montre que les mauvais inhibiteurs ont de meilleures performances dans la condition d'association forte que dans la condition d'association faible. Par contre, la différence entre les deux conditions d'association n'est pas significative chez les bons inhibiteurs. Ce résultat renforce notre hypothèse de profondeur de la recherche qui prédit que lorsque l'association est faible le sujet doit effectuer une recherche plus approfondie dans l'espace sémantique, ce qui nécessiterait plus d'inhibition parce qu'il doit explorer toutes les solutions possibles et inhiber celles qui sont fortement associées mais non pertinentes pour faire l'analogie. Dans ce cas-là, les mauvais inhibiteurs auraient plus de difficultés à gérer toutes les solutions potentielles que les bons inhibiteurs. Cette interaction révèle que le recours aux fonctions exécutives est également nécessaire pour faire des analogies, et ceci d'autant plus si les termes de chaque paire de l'analogie sont faiblement associés. L'effet principal du test de vocabulaire montre que l'accroissement des connaissances sémantiques joue également un rôle primordial sur la capacité à faire des analogies, mais il n'est pas le seul facteur qui pourrait expliquer les performances des enfants à une tâche d'analogie comme nous venons de le montrer.

En ce qui concerne l'analyse des erreurs, ce qu'on remarque est le taux très élevé de réponses non reliées au terme C. Ce résultat est différent de celui que nous avons observé dans l'étude précédente lorsque les stimuli étaient présentés sur papier (quelle que soient les conditions, la majorité des erreurs était sur le distracteur perceptif ou bien sémantique). Une explication possible serait la forme de présentation de l'étude. Elle a été présentée comme un jeu sur l'écran tactile et les enfants trouvaient sans doute le fait de toucher l'écran très amusant, ce qui aurait pu les distraire et les éloigner du but du jeu, notamment la recherche de la solution analogique.

Discussion générale

L'objectif principal des études présentées dans ce chapitre était de mieux cerner l'implication des fonctions exécutives, en particulier de la composante exécutive d'inhibition, dans la compréhension des analogies sémantiques par les enfants. Nous y sommes arrivés en manipulant la force d'association entre les items de chaque paire de l'analogie, le nombre ou encore la nature des distracteurs. Nous avons également évalué la capacité d'inhibition des enfants ainsi que leur niveau d'acquisition de vocabulaire.

Les apports principaux du travail décrit dans ce chapitre sont les suivants :

- **Hypothèse de profondeur de recherche : la force d'association entre les items de chaque paire de l'analogie joue un rôle crucial dans l'analogie.** Dans la littérature sur l'analogie, cette force d'association n'a pas été testée de manière explicite jusqu'à maintenant. Nos résultats montrent que l'association forte restreint l'espace de recherche et facilite le choix de la solution analogique, alors que l'association faible oblige le sujet à effectuer une recherche plus approfondie car plusieurs solutions potentielles devraient être analysées et inhibées.
- L'augmentation du nombre de distracteurs sémantiques fait chuter les performances uniquement lorsque l'association entre les items de chaque paire de l'analogie est faible. Ce résultat confirme notre **hypothèse sur le rôle de la capacité d'inhibition dans le raisonnement par analogie.** Il va également dans le sens de notre hypothèse de profondeur de recherche.
- **La nature du distracteur joue un rôle important dans l'analogie.** Les distracteurs sémantiques perturbent plus le choix de la solution analogique chez l'enfant que les distracteurs perceptifs, ceci étant valable pour les deux groupes d'âges auxquels nous nous sommes principalement intéressés – 4 et 5 ans. Cet effet va à l'encontre de l'hypothèse de « relational shift » de Gentner qui prédit que le développement de la compréhension des analogies chez les jeunes enfants passerait d'abord par une étape pendant laquelle ils seraient plus attirés par les propriétés perceptives des objets avant de passer à une étape de mise en correspondance basée les relations entre les objets.
- Les mauvais inhibiteurs ont de meilleures performances dans la condition d'association forte que dans la condition d'association faible. **Ce résultat renforce l'hypothèse de profondeur de recherche** : lorsque l'association est faible le sujet doit effectuer une recherche plus approfondie dans l'espace sémantique, ce qui

nécessiterait plus d'inhibition car il doit exploiter toutes les solutions possibles et inhiber celles qui sont saillantes mais non pertinentes pour faire l'analogie.

- **L'accroissement des connaissances sémantiques joue également un rôle essentiel dans la capacité à faire des analogies, mais n'explique pas à lui seul le développement de la compréhension des analogies.** Les sujets qui ont un meilleur niveau de vocabulaire, montrent aussi de meilleures performances à la tâche d'analogie.

Au regard de ces résultats, plusieurs points doivent être reconsidérés.

D'abord, l'hypothèse de primauté des relations (« relational primacy ») de Goswami (1992) sur l'accroissement des connaissances ne peut pas expliquer, à elle seule, le développement de la capacité à faire des analogies. Le recours aux fonctions exécutives est également nécessaire pour faire des analogies, ceci est d'autant plus valable si les termes de chaque paire de l'analogie sont faiblement associés.

Ensuite, les résultats que nous avons obtenus vont à l'encontre de l'hypothèse d'amorçage relationnel (« relational priming ») de Leech & al (2008). Leur point de vue ne peut pas expliquer pourquoi la variation du nombre de distracteurs sémantiques ou bien la force d'association sémantique entre les items de chaque paire de l'analogie fait chuter les performances. La réponse de quelques enfants à un essai de la condition Association Faible m'a particulièrement marquée. Il s'agit de *l'essai loup : viande :: chèvre : herbe*. Certains enfants qui avaient choisi l'image de l'herbe justifiaient leur réponse en me disant : « car elle marche sur l'herbe ». Or, la relation qu'ils devaient transférer pour faire l'analogie était « manger ». De plus, ils avaient bien compris la relation entre les items A : B de cet essai, mais ils avaient trouvé une autre relation qui liait les deux items C et D.

Pour conclure ce chapitre, nous pouvons dire que les performances des enfants à la tâche d'analogie dépendraient de plusieurs facteurs, tels que le développement de leurs fonctions exécutives, en particulier de leur capacité à gérer le coût cognitif et à inhiber les solutions saillantes non pertinentes, mais aussi de l'accroissement de leurs connaissances sémantiques.

Ces résultats représentent une sorte de réconciliation entre les deux principales explications du développement du raisonnement analogique, notamment celle de Goswami (1992) ou de Gentner (1988), qui expliquent ce développement par l'acquisition de connaissances sur le monde et les relations entre les objets qui nous entourent, et celle de Richland & al (2006), ou de Halford (1993) qui rejoint notre point de vue en revendiquant l'importance des contraintes liées aux processus cognitifs impliqués dans le développement de la compréhension des analogies.

Faire une analogie implique l'évaluation de plusieurs solutions potentielles qui sont choisies à la base de leur niveau d'activation. Celles qui ne sont pas pertinentes se retrouvent par la suite inhibées (Hofstadter & Mitchell, 1990; Mitchell, 1993; French, 1995), d'où le rôle majeur des fonctions exécutives dans le développement de la compréhension des analogies.

V. Discussion générale

Introduction

Dans le dernier chapitre, nous allons résumer les résultats de ce travail de recherche dans le but de montrer ses contributions. Nous allons clore le chapitre en proposant quelques perspectives de recherches dans ce domaine.

Dans le cadre de cette thèse, nous nous sommes intéressés au développement du raisonnement par analogie. Les différentes approches de la compréhension des analogies chez l'enfant peuvent être divisées en deux catégories, en fonction du critère principal sous-tendant le développement de la capacité à raisonner par analogie.

- les approches qui attribuent le rôle principal dans le développement du raisonnement analogique à l'accroissement des connaissances (Gentner 1989, Gentner & al, 1991; Goswami & al, 1990, Goswami 1992, 2001).
- les approches qui attribuent le rôle principal dans ce développement à la maturation du cerveau de l'enfant, en insistant sur les limitations de certains facteurs comme la MdT (Halford, 1993), le contrôle inhibiteur (Richland & al, 2006) ou la flexibilité cognitive (Jacques & Zelazo, 2005) , limitations qui s'estompent avec l'âge.

Notre point de vue est que le développement du raisonnement par analogie peut être expliqué par les limitations dans le fonctionnement exécutif. En particulier, nous nous sommes intéressés à la composante exécutive d'inhibition. En effet, pour être capable de trouver la solution analogique, l'enfant doit inhiber toutes les informations saillantes mais non pertinentes pour faire l'analogie. Nous rejoignons le point de vue de Richland & al (2006). Selon ces auteurs, l'accroissement des connaissances en lui seul ne serait pas suffisant pour expliquer le raisonnement par analogie chez l'enfant. Il y aurait également d'autres facteurs qui influenceraient son développement, notamment le développement du contrôle inhibiteur.

Dans le but de tester le rôle de la capacité d'inhibition dans le développement de la capacité à raisonner par analogie, nous avons réalisé plusieurs études dans lesquelles nous avons introduit des distracteurs perceptifs ou sémantiques. Pour trouver la solution analogique l'enfant devait être capable d'inhiber ces distracteurs. Nous avons réparti ces études en deux axes selon le type d'analogie impliqué : analogies non sémantiques (chapitre 3 – étude 1, 2, 3

et 4) et analogies sémantiques (chapitre 4 – étude 5, 6, 7, 8 et 9). Dans toutes les études nous avons utilisé une tâche classique d'analogie du type *a : b :: c : d.*

Récapitulatif des résultats en fonction de nos hypothèses

a) Analogies non sémantiques

L'étude des analogies non sémantiques, représentées par des formes géométriques simples (chapitre 3), a mis en évidence le rôle perturbant des distracteurs perceptifs lors de la recherche de la solution analogique chez les enfants de 6 à 14 ans.

Notre hypothèse était que l'augmentation du nombre d'items à inhiber devrait augmenter le coût cognitif de la tâche parce que l'enfant devrait inhiber plusieurs non solutions saillantes lors de la recherche de la solution analogique. Pour tester cette hypothèse, nous avons manipulé le nombre de ces distracteurs (0 vs 1 vs 3). Pour rappel, les approches de Goswami ou de Leech ne prédisent pas un rôle perturbant des distracteurs si l'enfant connaît les relations impliquées dans l'analogie. Par conséquent, l'augmentation du nombre de distracteurs n'aurait pas d'influence sur la performance. Par contre, Gentner prédit une différence dans les performances, les enfants plus jeunes étant plus perturbés par les distracteurs perceptifs que les enfants plus âgés. Mais l'augmentation du nombre de distracteurs ne devrait pas avoir un effet sur les performances des enfants à la tâche d'analogie.

Dans l'étude 1 et l'étude 2, nous n'avons pas observé de différence de difficulté entre la condition à 1 distacteur (qui portait sur le terme C) et la condition à 3 distracteurs (dans laquelle on proposait à l'enfant trois types de distracteurs perceptifs – un sur A, un autre sur B et un troisième sur C). L'analyse des erreurs a révélé que lorsque trois types de disctracteurs perceptifs étaient proposés à l'enfant, l'erreur la plus répandue consistait à choisir le distracteur perceptif sur le terme C. Cet effet est compatible avec les résultats de Thibaut, French, Missault, Gérard & Glady (2011) qui ont montré, grâce à l'enregistrement des mouvements oculaires, que les enfants de 5 et de 8 ans passaient plus de temps à regarder le terme C que les termes A et B dans une tâche classique d'analogie. Ceci nous a conduits à l'étude 3, dans laquelle nous avons introduit des distracteurs uniquement sur le terme C. Cette fois-ci, nous avons observé un effet significatif du nombre de distracteurs (0 vs 1 vs 3), la différence entre les conditions 1 distracteur et 3 distracteurs étant significative également.

Nous avons conclu que l'espace de recherche de la solution analogique se limitait autour des caractéristiques du terme C, les enfants n'étant pas attirés par les distracteurs perceptifs des termes A et B. Un autre effet qui n'était pas prédit, mais qui a été mis en évidence est le biais en faveur de la forme par rapport à la couleur. En effet, la relation analogique entre les deux items de chaque paire de l'analogie était basée sur la forme ou sur la couleur du stimulus. Une explication plausible de cette différence est que la forme serait une dimension plus saillante de l'objet lorsqu'elle se trouve en compétition avec la couleur. Enfin, la dernière étude sur les analogies non sémantiques a confirmé que l'introduction de bruit perceptif de fond en tant que source de variation des simuli perturbait la recherche de la solution analogique, mais de manière moins importante que la présence de conflit (distracteur) perceptif. L'enregistrement des TR a permis de montrer que dans la tâche d'analogie les enfants utilisaient les informations, dont ils disposaient, de manière différente selon leur âge. Il n'y avait pas de différence de rapidité entre les conditions pour les enfants de 6 ans. Une explication de cette observation serait que ces enfants choisiraient le premier item qui partageait quelque chose de commun avec le terme C. Les enfants de 8 ans étaient perturbés par la présence de conflit et de bruit de fond. Pour les adolescents, l'unique différence observée était celle entre la condition sans distracteur perceptif et sans bruit de fond (la plus facile) et celle qui combine la présence de conflit et de bruit de fond (la plus difficile). Dans cette étude, les performances des enfants reflètent l'augmentation du coût cognitif engendré par la présence de distracteurs perceptivement identiques au terme C et par la présence de bruit de fond qui constitue une source de variabilité supplémentaire des caractéristiques des stimuli – des facteurs qui doivent être inhibés pour trouver la solution analogique.

Les résultats de ces travaux sur des analogies non sémantiques sont compatibles avec les résultats de l'étude de Krawczyk, Morrison, Viskontas, Holyoak, Chow, Mendez, Miller, & Knowlton (2008). Ces auteurs ont montré que des patients avec des lésions du cortex préfrontal avaient des difficultés à faire des analogies lorsque des distracteurs perceptifs ou sémantiques étaient présents parmi les choix proposés. Ils ont interprété ces résultats en termes de défaillance du contrôle inhibiteur, sous-tendu par cette région cérébrale. Leur interprétation rejoint notre explication des résultats des enfants que nous avons testés – le raisonnement analogique dépendrait du développement de leurs fonctions exécutives, en particulier de la composante exécutive d'inhibition. Les résultats de ces travaux ne peuvent pas être expliqués uniquement par l'accroissement des connaissances des enfants parce que dans ces études nous avons utilisé des stimuli qui ne nécessitent pas ou peu de recours aux

connaissances sémantiques. Par conséquent, la capacité d'inhibition joue un rôle prépondérant dans de la recherche de la solution analogique parce qu'elle permet de bloquer toutes les solutions saillantes mais non pertinentes pour faire l'analogie.

b) Analogies sémantiques

L'étude des analogies sémantiques (études discutées dans le chapitre 4) nous a permis d'aller encore plus loin dans l'exploration du rôle de la capacité d'inhibition dans le développement du raisonnement analogique. Nous avons testé des enfants de 4, 5 et 6 ans (un groupe d'enfants de 6 ans était testé uniquement dans l'étude 8). La contribution majeure de ces travaux est la manipulation de la force d'association entre les items de chacune des deux paires de l'analogie, un point qui n'était pas étudié dans la littérature sur le raisonnement par analogie jusqu'à maintenant. Dans ces expériences, nous avons proposé et testé l'hypothèse de profondeur de recherche. Cette hypothèse prédit un recours à la capacité d'inhibition différent en fonction de la force d'association (faible vs forte). La recherche de la solution analogique serait plus difficile lorsque l'association est faible que lorsqu'elle est forte. Ceci s'expliquerait par le fait que le sujet doit parcourir l'espace sémantique de recherche et tester et inhiber plusieurs solutions associées au terme C avant de trouver la solution analogique. Cette hypothèse a été confirmée dans toutes nos études sur les analogies sémantiques dans lesquelles la force d'association a été manipulée. L'analyse des TR enregistrés dans l'étude 9 va également dans le sens de l'hypothèse de profondeur de recherche : les TR étaient plus longs dans la condition d'Association Faible que dans la condition d'Association Forte. Ces résultats vont à l'encontre des points de vue de Goswami & al (1990, 1992), de Gentner (1989) ou de Leech & al (2008) qui ne prédisent pas de différences dans les performances des enfants à la tâche d'analogie s'ils ont compris la relation analogique.

Nous avons également fait varier le nombre des distracteurs sémantiques pour tester notre hypothèse d'inhibition (1 vs 3 distracteurs). L'augmentation du nombre de distracteurs devrait faire chuter les performances des enfants à la tâche d'analogie si cette tâche requiert l'utilisation de la capacité d'inhibition. Tel était le cas pour la condition d'association sémantique faible uniquement. Ce résultat va dans le sens de l'hypothèse de profondeur de recherche. L'espace de recherche étant plus grand dans la condition d'association faible par rapport à la condition d'association sémantique forte, le recours à la capacité d'inhibition serait plus important.

Un autre point auquel nous nous sommes intéressés est la nature des distracteurs. Dans la littérature sur le développement du raisonnement par analogie, des distracteurs perceptifs et des distracteurs sémantiques ont souvent été testés ensemble – les deux étaient présents dans un seul même essai. Nous avons décidé de les opposer : la moitié des essais expérimentaux comportait un distracteur perceptif, l'autre moitié – un distracteur sémantique. Ce choix a été fait dans le but de tester l'hypothèse de déplacement relationnel de Gentner, selon laquelle le développement de la compréhension des analogies chez les jeunes enfants passerait d'abord par une étape pendant laquelle ils seraient plus attirés par les propriétés perceptives des objets avant de passer à une étape de mise en correspondance basée les relations entre les objets. Les résultats ont montré que les distracteurs sémantiques avaient une plus grande influence sur le choix de la solution analogique que les distracteurs perceptifs pour les enfants de 4 et de 5 ans. De plus, les informations sémantiques saillantes se sont avérées plus difficiles à inhiber lorsque la force d'association était faible que lorsqu'elle était forte. Par contre, la force d'association n'avait pas d'influence sur les informations perceptives. Cet effet va à l'encontre de l'hypothèse de déplacement relationnel de Gentner, alors que Goswami, ainsi que Leech & al (2008) ne prédisent pas de différences dans les performances des enfants à la tâche d'analogie en fonction de la nature du distracteur.

Dans notre dernière étude sur les analogies sémantiques (étude 9), nous avons également mesuré le niveau d'acquisition du vocabulaire des enfants dans le but de tester l'hypothèse sur l'acroissement des connaissances. Son évaluation a confirmé l'importance des connaissances dans le développement de la compréhension des analogies. Plus le niveau de vocabulaire de l'enfant était élevé, meilleures étaient ses performances à la tâche d'analogie. Par conséquent, l'acquisition de nouvelles connaissances sur le monde qui nous entoure et les relations entre les objets contribue au développement du raisonnement analogique. Mais l'accroissement des connaissances n'explique pas à lui seul ce développement puisque l'évaluation de la capacité d'inhibition au moyen du test Day-Night a révélé que les mauvais inhibiteurs étaient beaucoup plus sensibles à la force d'association entre les items de chaque paire de l'analogie que les bons inhibiteurs. Ce résultat est la preuve que la maturation cérébrale, et en particulier de la région préfrontale du cerveau qui est responsable du développement des fonctions exécutives est un facteur à prendre en considération dans le développement de la compréhension des analogies.

Conclusion

Les résultats de ce travail de recherche ont fourni de nouveaux éléments dans le domaine de l'analogie et impliquent la reconsidération des conceptions classiques du développement du raisonnement analogique. L'objectif principal de ces études – montrer le rôle des fonctions exécutives, en particulier de la capacité d'inhibition, dans le développement du raisonnement par analogie – a été rempli avec succès. L'augmentation du nombre de distracteurs à inhiber lors de la recherche de la solution analogique en est la preuve. L'hypothèse de profondeur de recherche qui a été testée en manipulant la force d'association sémantique de la relation entre les termes de l'analogie a également été confirmée. L'interaction entre les performances au test d'inhibition Day/Night et les performances à la tâche d'analogie renforce cette hypothèse. Les enfants qui inhibent moins bien que les autres enfants du même âge ont plus de difficultés à gérer toutes les solutions potentielles lorsque la force d'association sémantique entre les items de chaque paire de l'analogie est faible que lorsqu'elle est forte. Les fonctions exécutives sont un des facteurs impliqués dans le développement du raisonnement par analogie.

Nous avons également observé un effet de l'accroissement des connaissances sur le raisonnement analogique. Plus le niveau de vocabulaire, évalué par l'EVIP, était élevé, meilleures étaient les performances à la tâche d'analogie. Ce résultat confirme l'hypothèse de primauté des relations de Goswami. L'accroissement des connaissances est un des facteurs impliqués dans le développement de la compréhension des analogies.

Nos résultats sont compatibles avec l'explication de Richland & al. (2006). Selon ces auteurs, l'évolution du raisonnement analogique dépendrait de l'interaction entre l'acquisition de connaissances relationnelles, la capacité à intégrer des relations multiples et le contrôle inhibiteur sur les distracteurs. Par contre, nos observations ne peuvent pas être prédites par le modèle de Leech & al (2008). Leur hypothèse d'amorçage relationnel ne peut pas expliquer l'effet du nombre de distracteurs lors de la recherche de la solution analogique que nous avons observé dans nos études.

Ces travaux constituent un apport dans la littérature sur la comprehension des analogies par l'enfant. L'explication du développement du raisonnement analogique que nous proposons réconcilie les principales conceptions théoriques de la compréhension des

analogies chez les enfants – celle de Gentner, celle de Goswami et celle proposée par Richland. De même, elle rejoint le point de vue de Halford qui revendique l'importance des contraintes liées aux processus cognitifs dans l'analogie. Elle soulève des questions importantes à clarifier et de nouvelles perspectives de recherche. Il serait intéressant d'ajouter une condition sans distracteur dans les études sur les analogies sémantiques pour pouvoir la comparer à la condition 1 distracteur et à la condition à 3 distracteurs, et également pour tester si la performance des enfants atteindra le plafond dans cette condition. Les différences interculturelles dans le raisonnement par analogie devraient également être prises en compte. Dans notre étude auprès de sujets bulgares, nous avons observé des différences dans l'estimation de la force d'association entre les termes A : B et C : D de l'analogie par rapport aux sujets français, la différence entre l'association faible et forte n'existait pas chez les sujets bulgares. Des techniques non invasives, telles que l'enregistrement des TR des enfants ou l'enregistrement des mouvements des yeux s'avèrent être extrêmement utiles lors de la recherche de la solution analogique parce qu'elles contribuent à la mise en évidence des processus impliqués dans le raisonnement par analogie, et permettent de mieux comprendre son évolution.

Bibliographie

Aristote, (1969). *Poétique*. Traduction Hardy, Paris, Les Belles Lettres.

Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. Dans G. H. Bower (Eds.), *The psychology of learning and motivation, vol.* 8 (pp.47–89). New York : Academic Press.

Brown, A. L., Kane, M. J., & Echols, C. H. (1986). Young children's mental models determine analogical transfer across problems with a common goal structure. *Cognitive Development, 1(2)*, 103-121.

Brown, A. L., Kane, M. J., & Long, C. (1989). Analogical Transfer in Young Children: Analogies as Tools for Communication and Exposition. *Applied Cognitive Psychology, 3*, 275-293.

Bassok, M. (2001). Semantic alignments in mathematical word problems. In Gentner, D.,

Holyoak, K. J., & Kokinov, B. N. (Eds.) The analogical mind: Perspectives from cognitive science (Chapter 12, 401-433). Cambridge, MA: MIT Press.

Bideaud, J., Houdé, O., & Pedinielli, J.-L. (2002). *L'homme en développement.* PUF.

Blaye, A., & Jacques, S. (2009). Categorical flexibility in preschoolers: contributions of conceptual knowledge and executive control. *Developmental Science,* 12(6), 863-873.

Carlson, S.M., Moses, L.J., & Hix, H.R., (1998). The role of inhibitory control in young children's difficulties with deception and false belief. *Child Development* 69, 672–691.

Carlson, S.M., & Moses, L.J. (2001). Individual differences in inhibitory control and children's theory of mind. *Child Development, 72,* 1032-1053.

Cauzinille-Marmèche, E., Mathieu, J., & Weil-Barais, (1985). Raisonnement analogique et résolution de problèmes. *L'année psychologique,* 85(1), p. 49-72.

Chalmers, D. J., French, R. M., & Hofstadter, D. R. (1992). High-level Perception, Representation, and Analogy: A Critique of Artificial Intelligence Methodology. *Journal of Experimental and Theoretical and Artificial Intelligence*, *4*(3), 185-211.

Chen, Z., Sanchez, R. P., & Campbell, T. (1997). From beyond to within their grasp: The

rudiments of analogical problem solving in 10- and 13-month-olds. *Developmental Psychology 33*:790–801.

Chevalier, A., & Chevalier, N. (2009). Influence of proficiency level and constraints on viewpoint switching: A study in web design. *Applied Cognitive Psychology*, 23(1), 126-137.

Chevalier, N. (2010). Les fonctions exécutives chez l'enfant : concepts et développement *Canadian Psychology/Psychologie Canadienne*, 51(3), 149-163.

Christie, S., & Gentner, D., (2007). Relational Similarity in Identity Relation: The Role of Language. *In Proceedings of the second European Cognitive Science Conference 2007,* 401-406.

Christoff, K., Prabhakaran, V., Dorfman, J., Zhao, Z., Kroger, J. K., Holyoak, K. J., & Gabrieli, J. D., (2001). Rostrolateral prefrontal cortex involvement in relational integration during reasoning. *Neuroimage 14*, 1136-49.

Clément, E. (2009). *La résolution de problème. A la découverte de la flexibilité cognitive.* Paris :Armand Colin.

Davidson, M.C., Amso, D., Anderson, L.C., & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia, 44(11)*, 2037-2078.

Dejong, G. (1989). The role of explanation in analogy; or, The curse of an alluring name. In S.Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp. 346-365). Cambridge: Cambridge University Press.

Dempster, F. N. (1992). The rise and fall of the inhibitory mechanism: Toward a unified theory of cognitive development and aging. *Developmental Review, 12,* 45-75.

Diamond, A., Carlson, S. M., & Beck, D. M. (2005). Preschool Children's performance in task switching on the Dimensional Change Card Sort Task: Separating dimensions aids the ability to switch. *Developmental Neuropsychology, 28,* 689-729.

Diamond, A. (2006). The early development of executive functions. In E. Bialystok, & F. I. M. Craik (Eds.), *Lifespan cognition mechanisms of change* (pp. 70–95). Oxford, England : Oxford University Press.

Diesendruck, G., & Bloom, P. (2003). How specific is the shape bias? *Child Development*, *74*, 168–178.

Evans, T. G. (1968). A program for the solution of a class of geometric analogy intelligence11 test questions. In *Semantic information processing*. Ed. M. Minsky. Cambridge, MA: MIT Press.

Falkenhainer, B., Forbus, K.D., & Gentner, D. (1989). The structure-mapping engine: Algorithm and examples. *Artificial Intelligence, 41,* 1-63.

French, R. M. (1995). *The Subtlety of Sameness*, Cambridge, MA: The MIT Press.

French, R.M. (2008). Relational Priming is to Analogy-making as One-ball juggling is to Sevenball Juggling. *The Behavior and Brain Sciences*, 386-387.

Frye, D., Zelazo, P. D., & Burack, J. A. (1998). I. Cognitive complexity and control: Implications for theory of mind in typical and atypical development. *Current Directions in Psychological Science, 7*, 116-121.

Gaux, C., & Boujon, C. (2007). Développement du contrôle exécutif. In Blaye, A., & Lemaire, P. (Ed.), *Psychologie du développement cognitif de l'enfant* (pp. 253-281), Bruxelles: De Boeck.

Gentner, D. (1977). Children's performance on a spatial analogies task. *Child Development, 48,* 1034-1039.

Gentner, D. (1978). On relational meaning: The acquisition of verb meaning. Child Development, 49, 988–998

Gentner, D. (1983). Structure-mapping: a theoretical framework for analogy-making. *Cognitive Science, 7(2)*, 155-70.

Gentner, D. (1988). Metaphor as structure mapping : The relational shift. *Child Development*, *59*, 47-59.

Gentner, D. (1989). Mechanisms of analogical learning. In S. Vosniadou & A. Ortony, (Eds.). *Similarity and analogical reasoning,* 199-241. London: Cambridge University Press.

Gentner, D., & Rattermann, M. J. (1991). Language and the Career of Similarity. In *Perspectives on Thought and Language: Inter-relations in Development,* ed. Susan A.

Gelman and James P. Brynes. London: Cambridge University Press.

Gentner, D., & Toupin, C. (1986). Systematicity and surface similarity in the development of analogy. Cognitive Science, 10, 277–300.

Gentner, D., Holyoak, K. J., & Kokinov, B. N., (Eds.), 2001. *The Analogical Mind: Perspectives from Cognitive Science.* Cambridge, MA: MIT Press.

Gerstadt, C. L., Hong, Y. J., & Diamond, A. (1994). The relationship between cognition and action: Performance of children 31⁄2–7 years old on a Stroop-like day-night test. *Cognition, 53,* 129–153.

Gick, M. L., & Holyoak, K. J. (1980). Analogical Problem Solving. *Cognitive Psychology 12*, 306-355.

Gick, M. L. & Holyoak, K. J. (1983). Schema Induction and Analogical Transfer. *Cognitive Psychology 15*, 1-38.

Gineste, M-D., *Analogie et cognition*, PUF, 1997.

Goldman, S.R., Pellegrino, J.W., Parseghian, P.E., & Sallis, R. (1982). Developmental and individual differences in verbal analogical reasoning. *Child development, 53*, 550-559.

Golinkoff, R. M., Hirsh-Pasek, K., Mervis, C. B., Frawley, W., & Parillo, M. (1995). Lexical principles can be extended to the acquisition of verbs. In M. Tomasello &W. Merriman (Eds.), Beyond names for things: Young children's acquisition of verbs (pp. 185–222). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Golinkoff, R. M., Jacquet, R., Hirsh-Pasek, K., & Nandakumar, R. (1996). Lexical principles may underlie the learning of verbs. Child Development, 67, 3101–3119.

Goswami, U. (1992). Analogical reasoning in children, Erlbaum, Mahwah, NJ.

Goswami, U., & Brown, A.L. (1990). Higher-order structure and relational reasoning: Contrasting analogical and thematic relations. *Cognition, 36,* 207-226.

Goswami, U., (2001). Analogical reasoning in children. In:In *The Analogical Mind: Perspectives from Cognitive Science*, D. Gentner, K. J. Holyoak, and B. N. Kokinov (eds.). Cambridge MA: The MIT Press/Bradford Books, 437–470.

Goswami, U. (2002 & 2004). *Blackwell Handbook of Childhood Cognitive Development*. Oxford: Blackwell.

Halford, G. S. (1989). Reflections on 25 years of Piagetian cognitive developmental psychology, 1963-1988. *Human Development, 32,* 325-387.

Halford, G. S. (1992). Analogical reasoning and conceptual complexity in cognitive development. *Human Development 35,* 193–217.

Halford, G. S. (1993). Children's understanding: The development of mental models. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Halford, G. S., Wilson, W. H., & Phillips, S. (1998). Processing capacity defined by relational complexity: Implications for comparative, developmental, and cognitive psychology. *Behavioral and Brain Sciences*, 21, 803–831.

Halford, G.S., Andrews, G., Dalton, C., Boag, C, Zielinski, T. (2002) Young childrens performance on the balance scale: The influence of relational complexity. *Journal of Experimental Child Psychology*, *81*, 417-445.

Harnishfeger, K. K. (1995). The Development of cognitive inhibition: Theories, definitions and research evidence. In F. N. Dempster & C. J. Brainerd (Eds.), *Interference and inhibition in cognition.* San Diego, CA: Academic Press.

Hofstadter, D. R. & the Fluid Analogies Research Group. (1995). *Fluid Concepts and Creative Analogies*, New York, NY: Basic Books.

Hofstadter, D. R. (2001). Epilogue: Analogy as the core of cognition. In Gentner, D., Holyoak, K. J., & Kokinov, B. N., (Eds.), 2001. *The Analogical Mind: Perspectives from Cognitive Science.* Cambridge, MA: MIT Press.

Holyoak, K. J. (1984). Analogical thinking and human intelligence. In R. J. Sternberg (Ed.) *Advances in the psychology of human intelligence, Vol. 2* (pp. 199-230). Hillsdale, N.J.: Erlbaum.

Holyoak, K. J., Junn, E. N., & Billman, D. O. (1984). Development of Analogical Problem-Solving Skill. *Child Development, 55,* 2042-2055.

Holyoak, K. J. (1985). The pragmatics of analogical transfer. In G. H. Bower (Eds.), *The psychology of learning and motivation, vol. 19*, 59-87. New York, Academic Press.

Holyoak, K. J., & Koh, K. (1987). Surface and structural similarity in analogical transfer. *Memory & Cognition, 15(4),* 332-340.

Holyoak, K. J., & Thagard, P. (1989). Analogical mapping by constraint satisfaction. *Cognitive Science, 13*, 295-355. Reprinted in T. A. Polk & C. M. Siefert (Eds.) (2002), Cognitive modeling. Cambridge, MA: MIT Press.

Hummel, J. E., & Holyoak, K. J. (1997). Distributed representations of structure: A theory of analogical access and mapping. *Psychological Review, 104*, 427-466.

Jacques, S., & Zelazo, P. D. (2005). Language and the development of cognitive flexibility: Implications for theory of mind. Dans J. W. Astington, & J. A. Baird (Eds.), *Why language matters for theory of mind.* Oxford, England : Oxford University Press.

Kirkham, N. Z., Cruess, L., & Diamond, A. (2003). Helping children apply their knowledge to their behavior on a dimension-switching task. *Developmental Science, 6,* 449–467.

Kotovsky, L., & Gentner, D. (1996). Comparison and categorization in the development of structural similarity. *Child Development, 67,* 2797-2822.

Krawczyk, D.C. Morrison, R.G. Viskontas, I., Holyoak, K.J. Chow, T.W., Mendez, M., Miller, B.L., & Knowlton, B.J. (2008). Distraction during relational reasoning: The role of prefrontal cortex in interference control. *Neuropsychologia*, *46*, 2020-2032.

Landau, B., Smith, L., & Jones, S. (1998). Object shape, object function, and object name, *Journal of Memory and Language*, *38*, 1-27.

Laval, V., (2007). *La psychologie du développement : modèles et méthodes.* Editions Armand Colin.

Lehto, J. E., Juujärvi, P., Kooistra, L., & Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning: Evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology, 21,* 59-80.

Leech, R., Mareschal, D., & Cooper, R. (2008) Analogy as relational priming: A developmental and computational perspective on the origins of a complex cognitive skill. *Behavioral and Brain Sciences, 31,* 357-414.

Lemaire, P. (2005). *Psychologie cognitive.* Editions De Boeck.

Luria, A. R. (1961). *The role of speech in the regulation of normal and abnormal behavior.* Oxford: Liveright.

Luria, A. R. (1973). *The working brain: An introduction to neuropsychology* (B. Haigh, trans.). New York: Basic Books.

Markman, A. B. (1996). Structural alignment in similarity and difference judgments. *Psychonomic Bulletin & Review, 3(2),* 227-230.

Mitchell, M., & Hofstadter, D. R. (1990). The emergence of understanding in a computer model of concepts and analogy-making. *Physica D* 42:322–34.

Mitchell, M. (1993). *Analogy-Making as Perception: A Computer Model.* Cambridge: The MIT Press.

Mix, K.S. (2008). Children's equivalence judgments: crossmapping effects. *Cognitive development, 23*, 191-203.

Monette, S., & Bigras, M. (2008). La mesure des fonctions executives chez les enfants d'âge préscolaire. *Canadian Psychology,* 49(4), 323-341.

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology, 41,* 49–100.

Mutafchieva, M. (2007). The analogical train: exploring the role of analogy-making and external representations in transitive relational mapping and transitive inferences. *Thèse de psychologie soutenue à New Bulgarian University.*

Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behaviour. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation, vol. 4* (pp. 1–18). New York : Plenum Press.

Piaget, J., & Inhelder, B. (1966). *La psychologie de l'enfant.* Presses Universitaires de France.

Piaget, J., Montangero, J., & Billeter, J. (1977). La formation des corrélats. In J. Piaget (Ed.) *Recherches sur l'abstraction réfléchissante.* Tome 1, pp.115-129. Paris : Presses Universitaires de France.

Rattermann, M-J., & Gentner, D., (1998). More evidence for a relational shift in the development of analogy: Children's performance on a causal-mapping task, *Cognitive Development 13*(4), 453-478.

Richard, J-F. (1990). *Les activités mentales: comprendre, raisonner, trouver des solutions.* Editions Armand Colin.

Richland, L.E., Morrison, R.G., & Holyoak, K.J., (2006). Children's development of analogical reasoning: Insights from scene analogy problems. *Journal of Experimental Child Psychology, 94*, 249–273.

Ripoll, T. & Coulon, D. (2001). Le raisonnement par analogie : une analyse descriptive et critique des modèles du mapping. *L'année psychologique, 101, n°2,* 289-323.

Sander, E. (2000). *L'analogie, du Naïf au Créatif.* Editions l'Harmattan.

Simon, H. A. (1957). *Models of Man: Social and Rational*. New York: Wiley.

Sternberg, R. J. (1977): *Intelligence, information processing ,and analogical reasoning: The componential analysis of human abilities*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Sternberg, R.J., & Rifkin, B. (1979). The development of analogical reasoning processes. *Journal of Experimental Child Psychology,* 27, 195-232.

Sternberg, R.J., & Nigro, G. (1980). Developmental patterns in the solution of verbal analogies. *Child Development,* 51, 27-38.

Thagard, P., Holyoak, K. J., Nelson, G., & Gochfeld, D. (1990). Analog retrieval by constraint satisfaction. *Artificial Intelligence, 46*, 259-310.

Thibaut, J.-P., & Rondal, J.-A. (1996). *Psychologie de l'enfant et de l'adolescent.* Editions Labor.

Thibaut, J.-P., French, R. M., & Vezneva, M. (2008). Analogy-making in Children: The Importance of Processing Constraints. *Proceedings of the Thirtieth Annual Cognitive Science Society Conference,* 475- 480.

Thibaut, J.-P., French, R. M., & Vezneva, M. (2009). Cognitive Load and Analogy-making in Children: Explaining an Unexpected Interaction. *Proceedings of the Thirty-first Annual Cognitive Science Society Conference,* 1048-1053.

Thibaut, J.-P., French, R. M., & Vezneva, M. (2010). The development of Analogy-Making in Children: Cognitive load and executive functions. *Journal of Experimental Child Psychology,* 106, issue 1, 1-19.

Thibaut, J.-P., French, R. M., & Vezneva, M. (2010). Cognitive load and semantic analogies: searching the semantic space. *Psychonomic Bulletin & Review.* 17, issue 4, 569-574.

Thibaut, J.-P., French, R. M., Vezneva, M., Gérard, Y., & Glady, Y. (In press). Semantic Analogies by Young Children: Testing the Role of Inhibition. *Proceedings of EuroCogSci 2011 : The European Cognitive Science Conference 2011, Sofia, Bulgaria.*

Thibaut, J.-P., French, R. M., Missault, A., Gérard, Y., & Glady, Y. (In press). In the Eyes of the Beholder: What Eye-Tracking Reveals About Analogy-Making Strategies in Children and Adults. *Proceedings of the thirty-third Annual Meeting of the Cognitive Science Society*.

Tranel, D., Anderson, S.W. & Benton, A. (1994). Development of the concept of "executive function" and its relationship to the frontal lobes. In F. Boller and H. Spinnler, Editors, *Handbook of neuropsychology (Vol. 9)*, Elsevier Science B, Amsterdam, 125-148.

Vosniadou, S. (1995). Analogical reasoning in cognitive development. *Metaphor and Symbol*, *10*, 297-308.

Waltz, J. A., Knowlton, B. J., Holyoak, K. J., Boone, K. B., Mishkin, F.S., Santos M. M., Thomas, C. R. & Miller, B. L. (1999). A System for Relational Reasoning in Human Prefrontal Cortex. *Psychological Science 10,* 119-125.

Waltz, J.A., Lau, A., Grewal, S.K., & Holyoak, K.J. (2000). The role of working memory in analogical mapping. *Memory & Cognition,* 28(7), 1205-1212.

Frye, D., Zelazo, P. D. & Palfai, T. (1995). Theory of mind and rule-based reasoning. *Cognitive Development, 10*, 483-527.

Zelazo, P.D., & Frye, D. (1997). Cognitive complexity and control: A theory of hthe development of deliberate reasoning and intentional action. In M. Stamenov (Ed.), *Language Structure, Discourse and the Access to Consciousness* (pp. 113-153). Amsterdam & Philadelphia: John Benjamins.

Zelazo, P. D., Carter, A., Reznick, J. S., & Frye, D. (1997). Early development of executive function: A problem-solving framework. *Review of General Psychology*, 1, 198–226.

Zelazo, P. D., & Frye, D. (1998). II. Cognitive complexity and control: the development of executive function. *Current Directions in Psychological Science, 7*, 121-126.

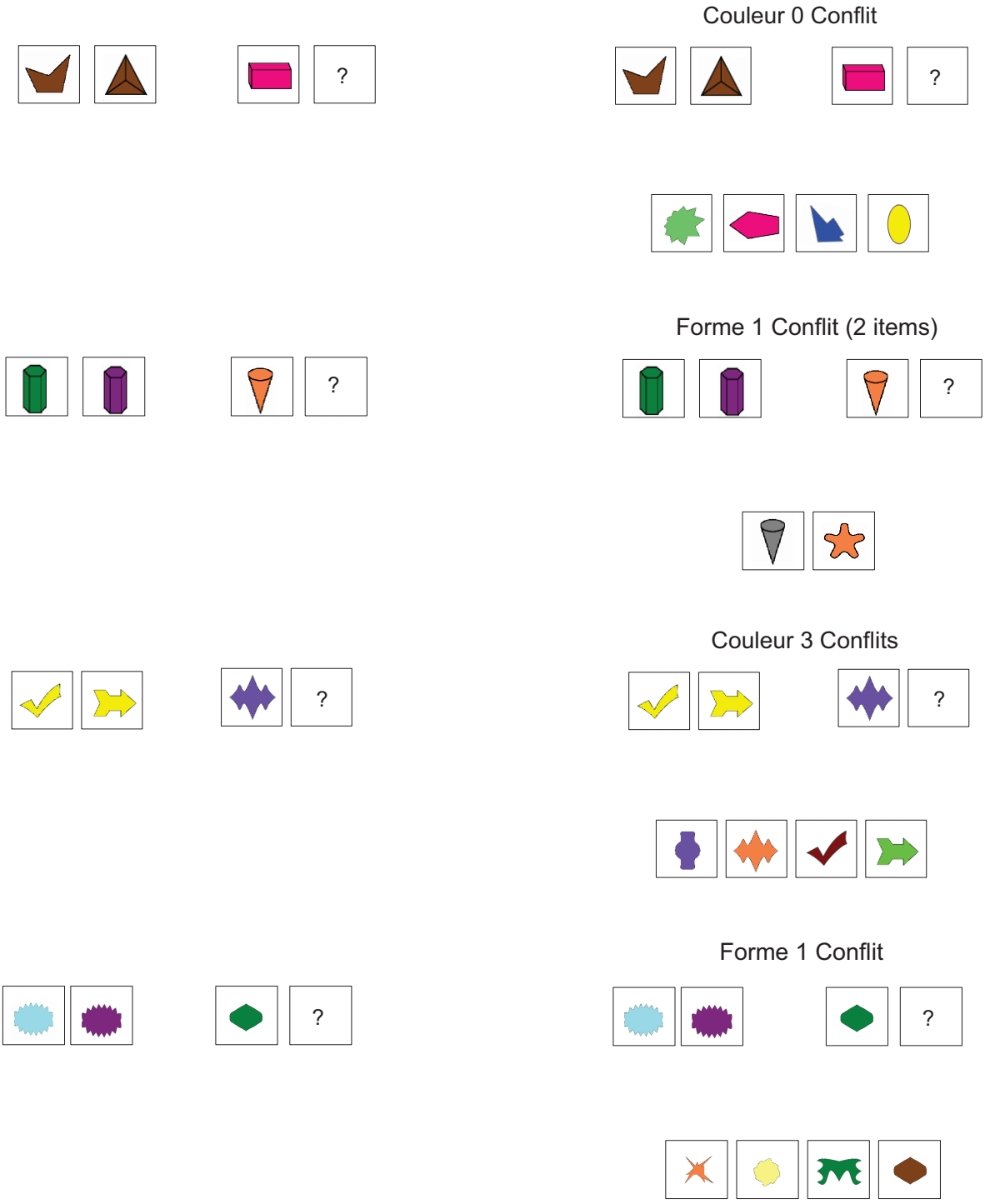
Zelazo, P.D., & Müller, U. (2002). Executive functions in typical and atypical development. In U. Goswami (Ed.), *Handbook of Childhood Cognitive Development* (pp. 445-469). Oxford: Blackwell.

Zelazo, P. D., Muller, U., Frye, D., & Marcovitch, S. (2003). The development of executive function in early childhood. *Monographs of the Society for Research in Child Development, 68(3), Serial No. 274.*

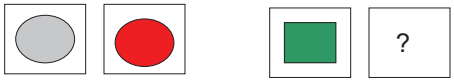
Annexes

Annexe 1. Matériel Etude 1

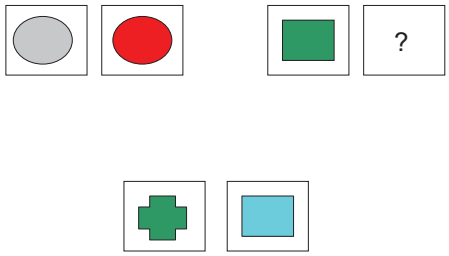
Entraînement



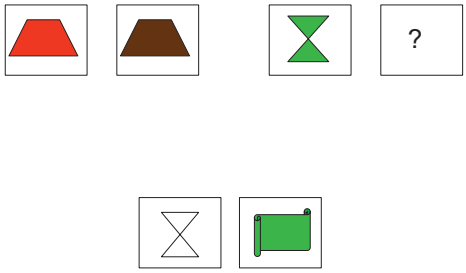
Exemple de Liste



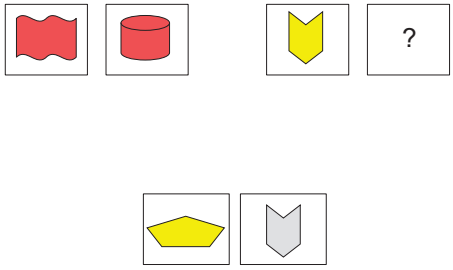
Forme 1 Conflit (2 items)



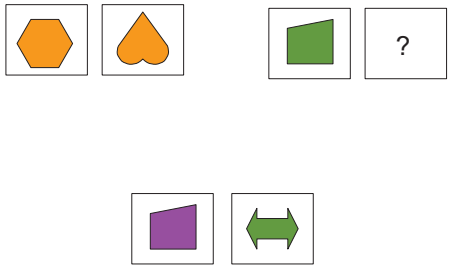
Forme 1 Conflit (2 items)

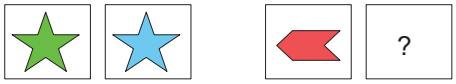


Couleur 1 Conflit (2 items)

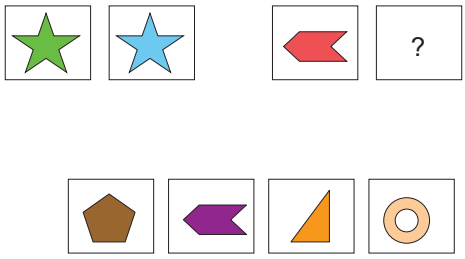


Couleur 1 Conflit (2 items)

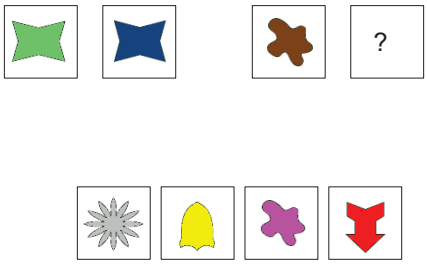




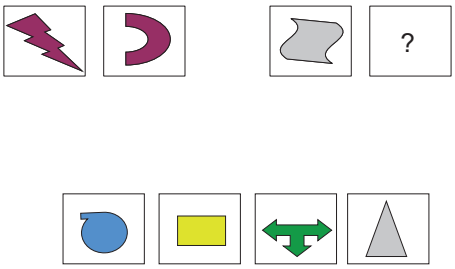
Forme 0 Conflit



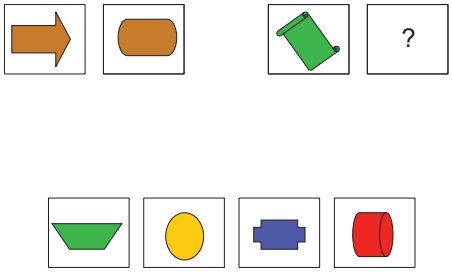
Forme 0 Conflit



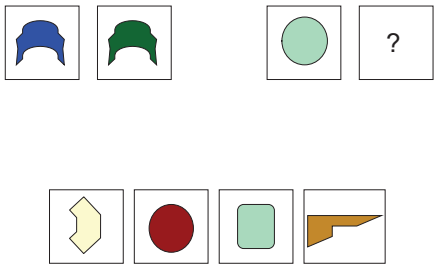
Couleur 0 Conflit



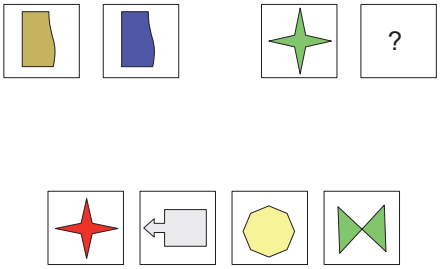
Couleur 0 Conflit



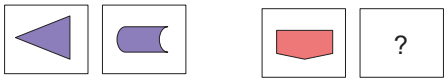
Forme 1 Conflit



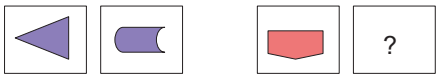
Forme 1 Conflit

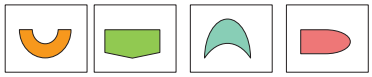


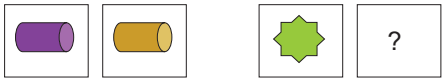
Couleur 1 Conflit



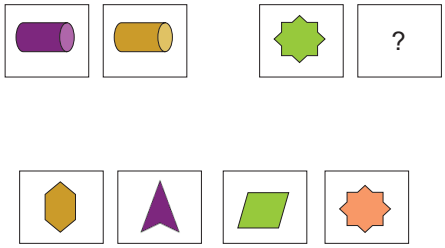
Couleur 1 Conflit



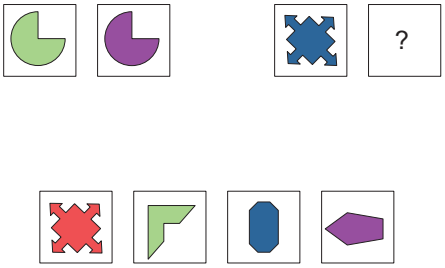




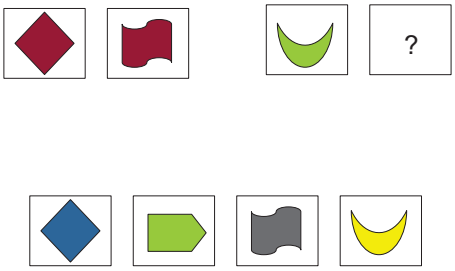
Forme 3 Conflits

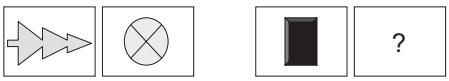


Forme 3 Conflits

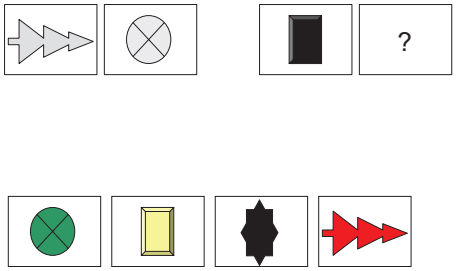


Couleur 3 Conflits





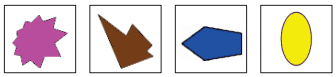
Couleur 3 Conflits



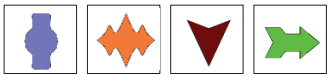
Annexe 2. Matériel Etude 2

Entraînement

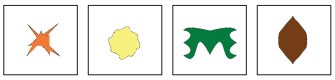
Couleur transformée 0 Conflit



Forme identique 1 Conflit

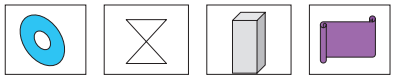


Forme transformée 1 Conflit

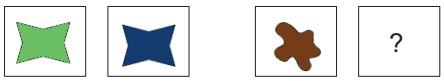


Exemple de Liste

Forme identique 0 Conflit

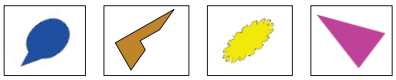


Forme identique 0 Conflit

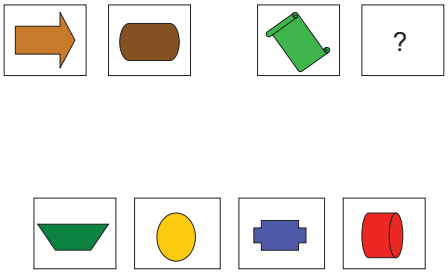


Forme transformée 0 Conflit

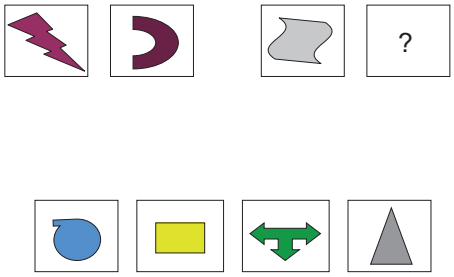
Forme transformée 0 Conflit



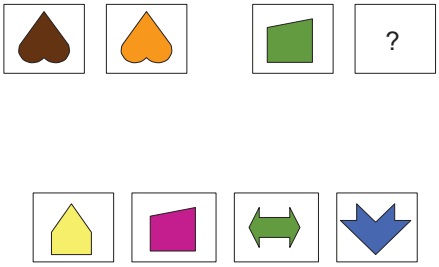
Couleur transformée 0 Conflit



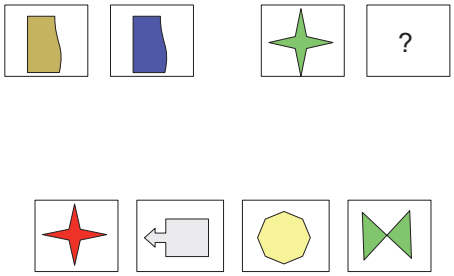
Couleur transformée 0 Conflit



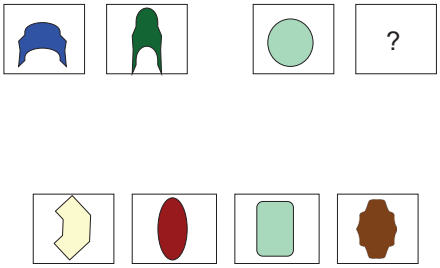
Forme identique 1 Conflit



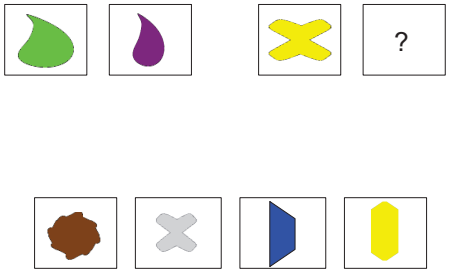
Forme identique 1 Conflit



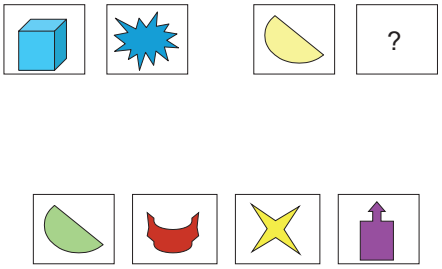
Forme transformée 1 Conflit



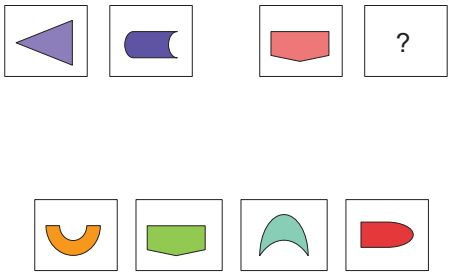
Forme transformée 1 Conflit



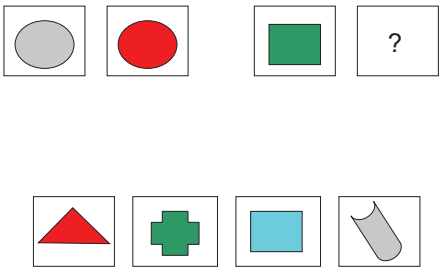
Couleur transformée 1 Conflit



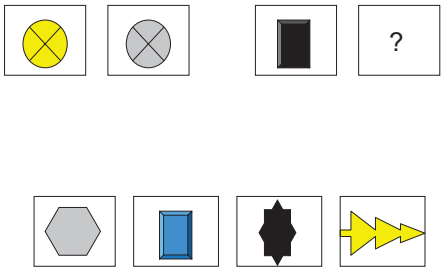
Couleur transformée 1 Conflit



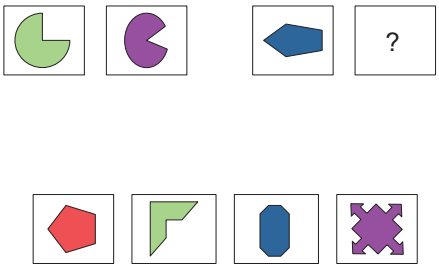
Forme identique 3 Conflits



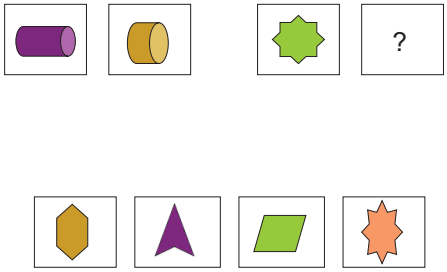
Forme identique 3 Conflits



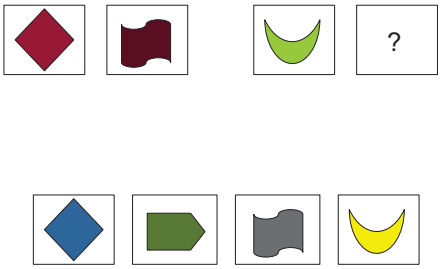
Forme transformée 3 Conflits



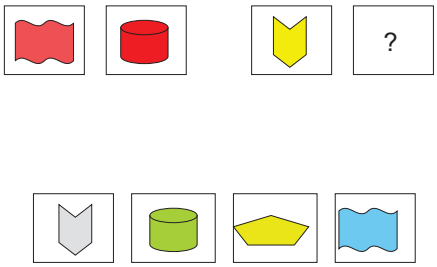
Forme transformée 3 Conflits



Couleur transformée 3 Conflits

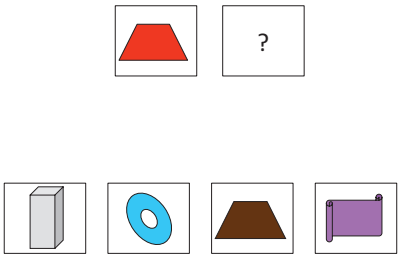


Couleur transformée 3 Conflits

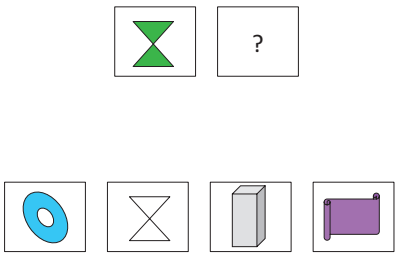


Phase 2

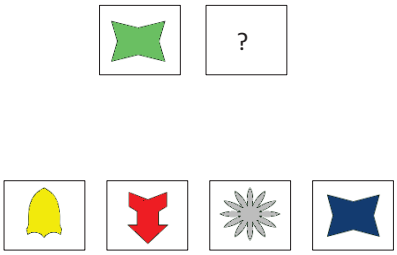
Forme



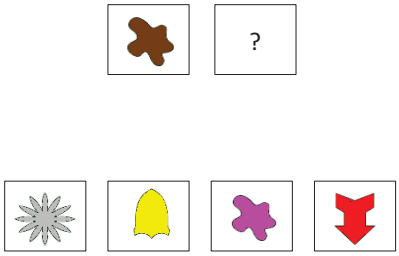
Forme



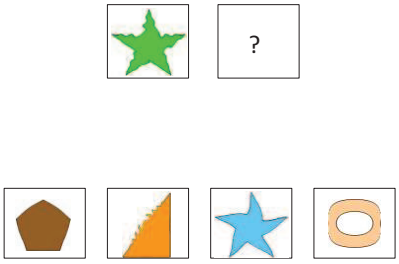
Forme



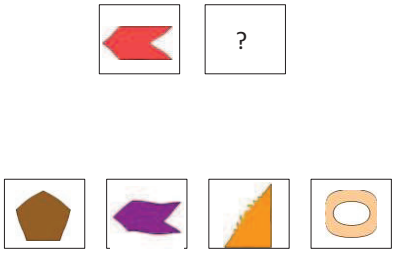
Forme



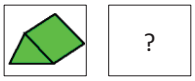
Forme



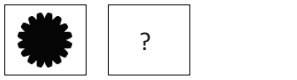
Forme

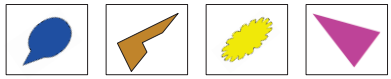


Forme

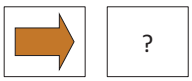


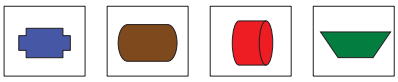
Forme



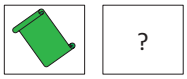


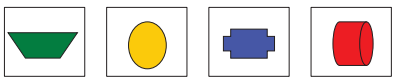
Couleur



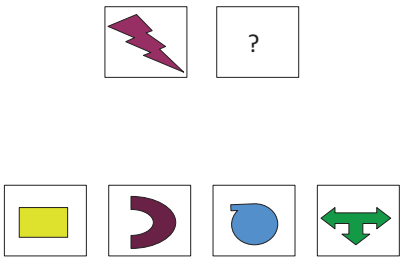


Couleur

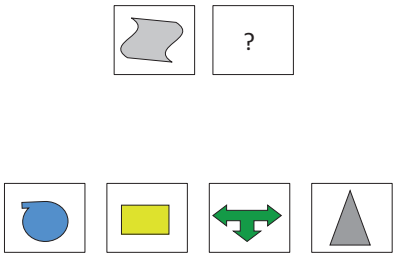




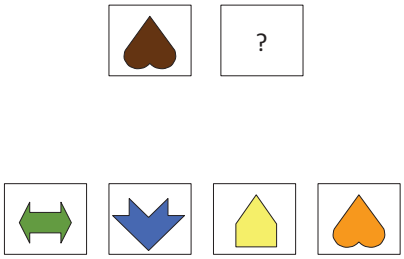
Couleur



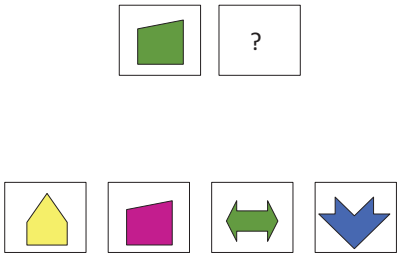
Couleur



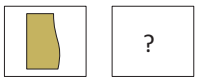
Forme 1

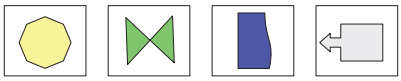


Forme 1

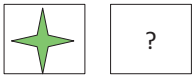


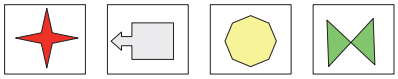
Forme 1



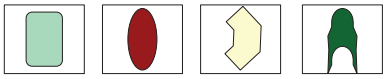


Forme 1

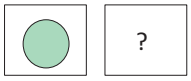


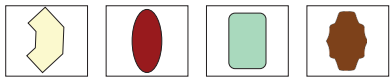


Forme 1

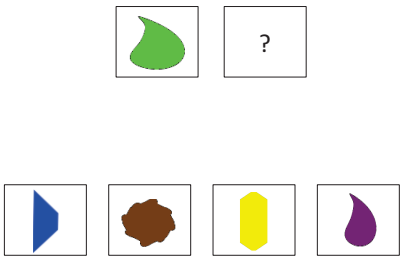


Forme 1

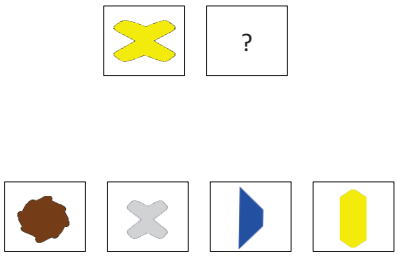




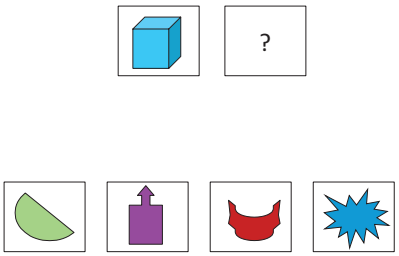
Forme 1



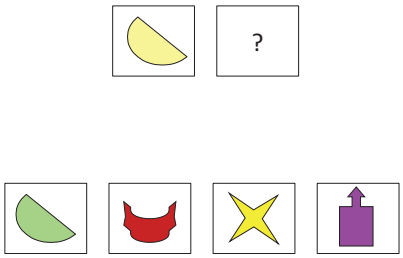
Forme 1



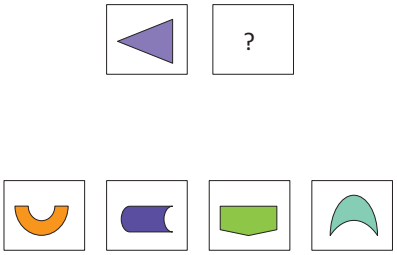
Couleur 1



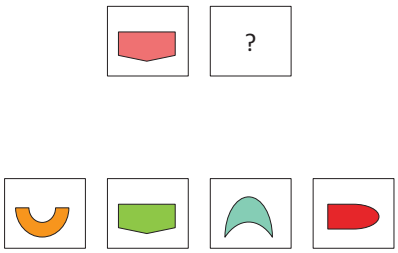
Couleur 1



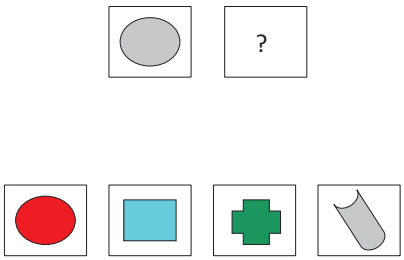
Couleur 1



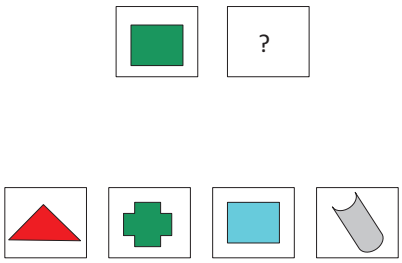
Couleur 1



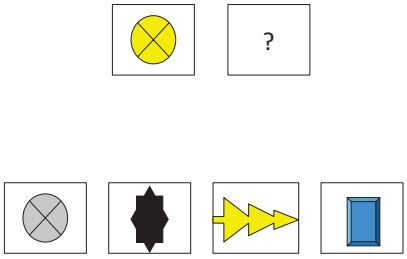
Forme 3



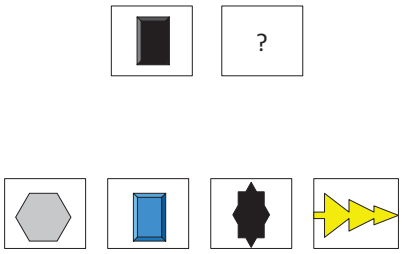
Forme 3



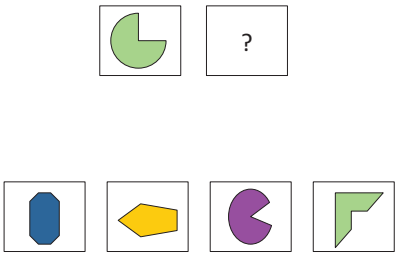
Forme 3



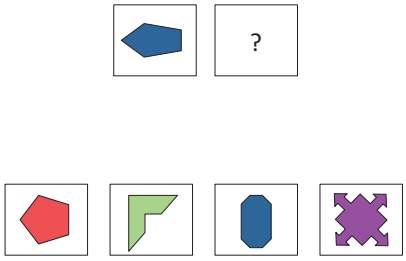
Forme 3



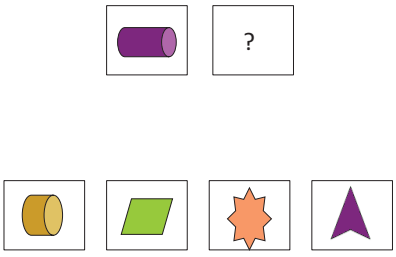
Forme 3



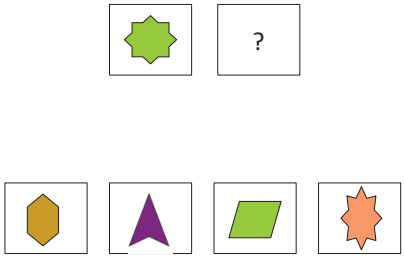
Forme 3



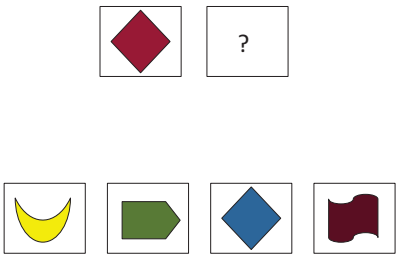
Forme 3



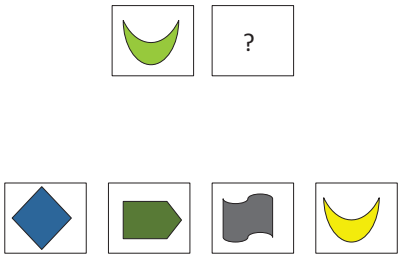
Forme 3



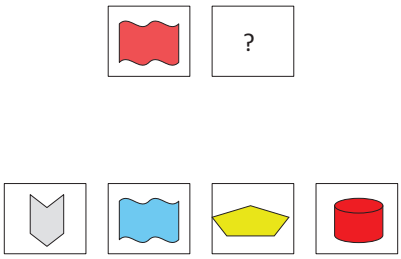
Couleur 3



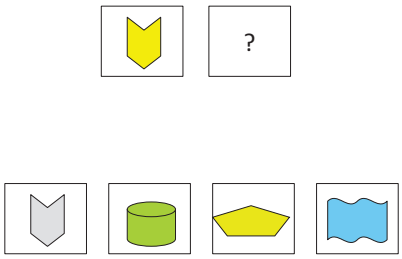
Couleur 3



Couleur 3



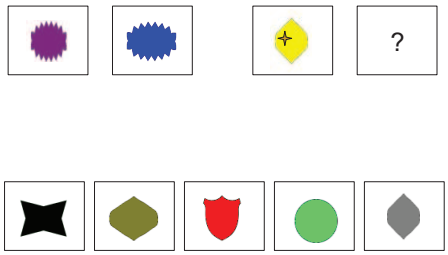
Couleur 3



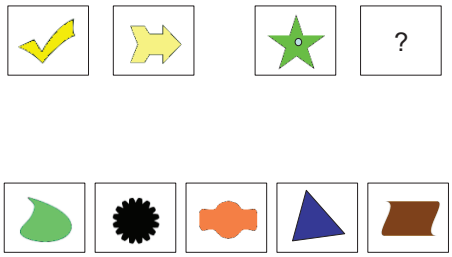
Annexe 3. Matériel Etude 3

Entraînement

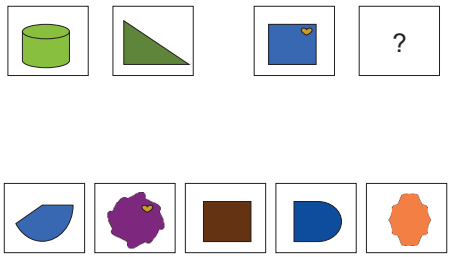
Forme 1 Conflit



Couleur 0 Conflit

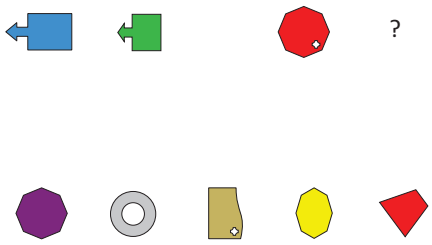


Couleur 3 Conflits

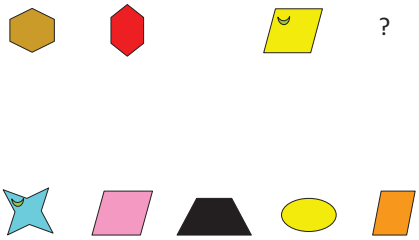


Exemple de Liste

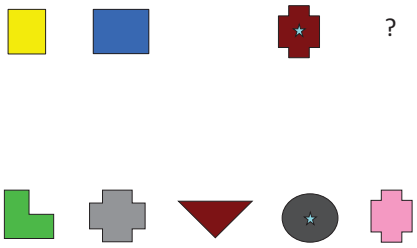
Forme 3 Conflits



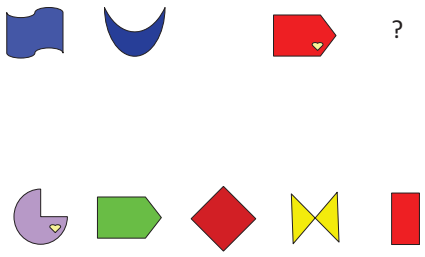
Forme 3 Conflits



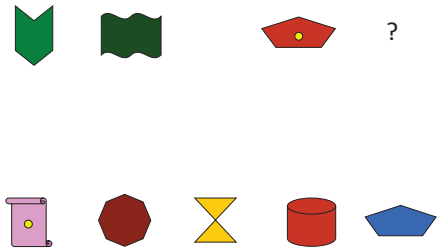
Forme 3 Conflits



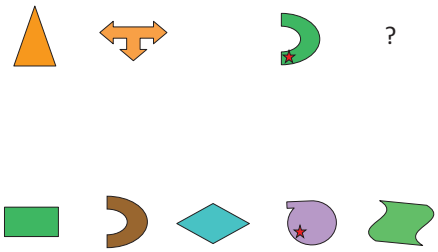
Couleur 3 Conflits



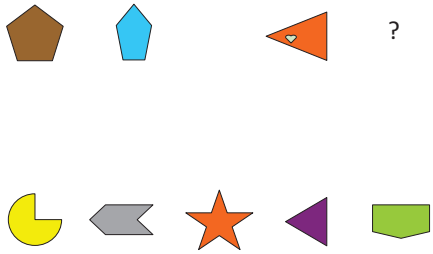
Couleur 3 Conflits



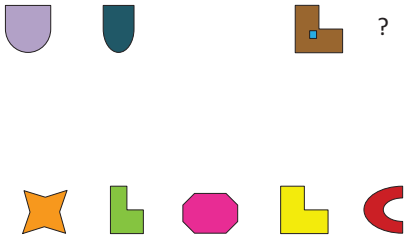
Couleur 3 Conflits



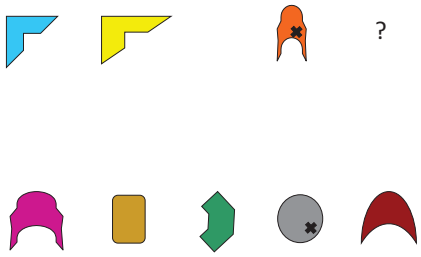
Forme 1 Conflit



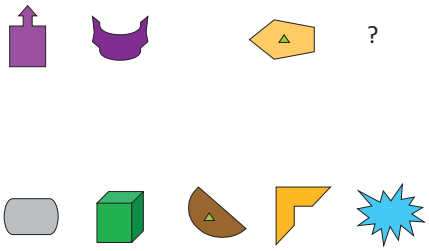
Forme 1 Conflit



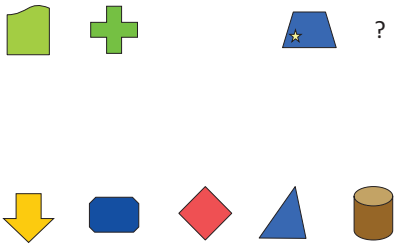
Forme 1 Conflit



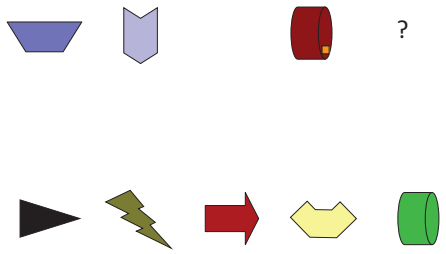
Couleur 1 Conflit



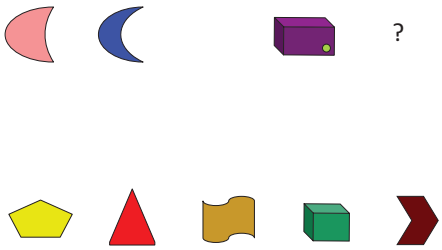
Couleur 1 Conflit



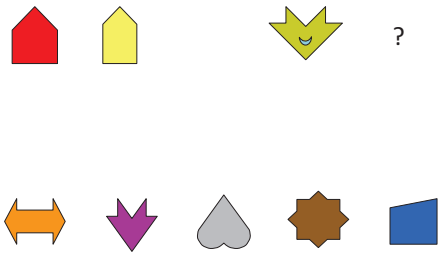
Couleur 1 Conflit



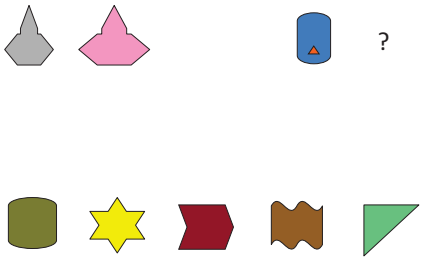
Forme 0 Conflit



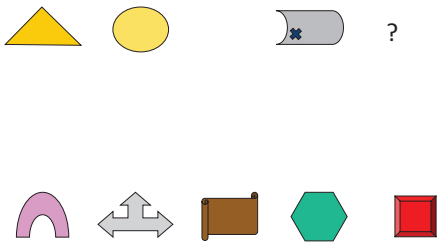
Forme 0 Conflit



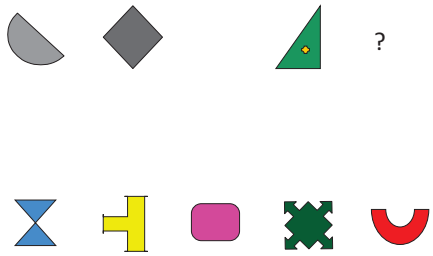
Forme 0 Conflit



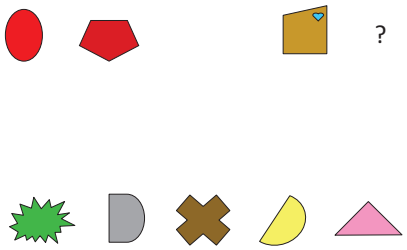
Couleur 0 Conflit



Couleur 0 Conflit

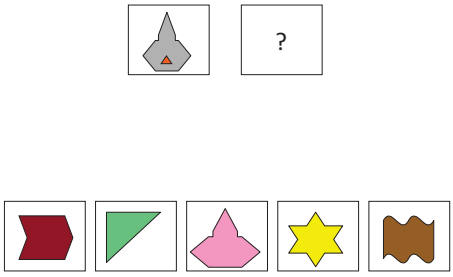


Couleur 0 Conflit

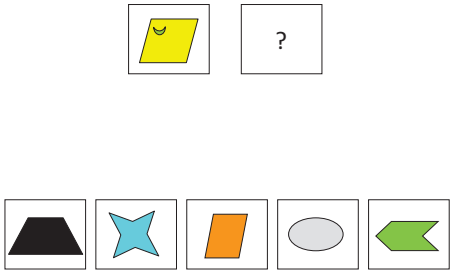


Phase 2

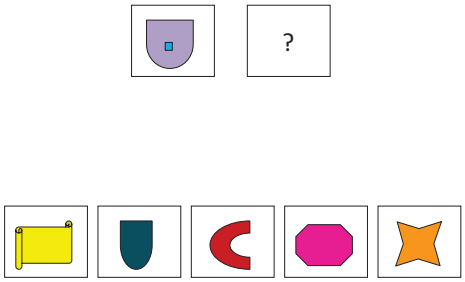
Forme



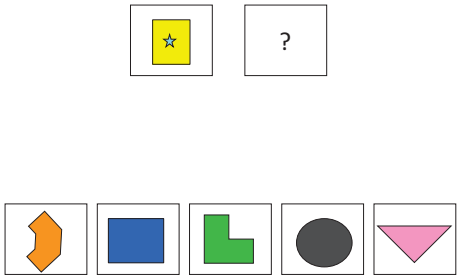
Forme



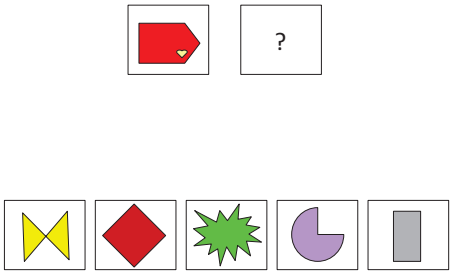
Forme



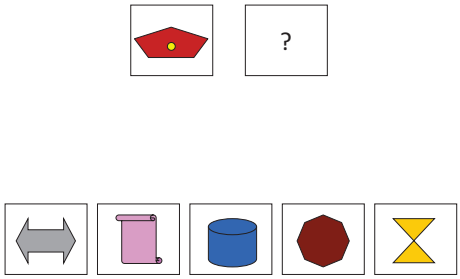
Forme



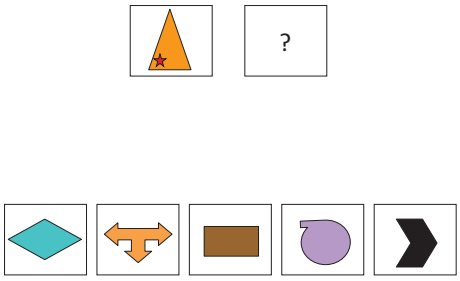
Couleur



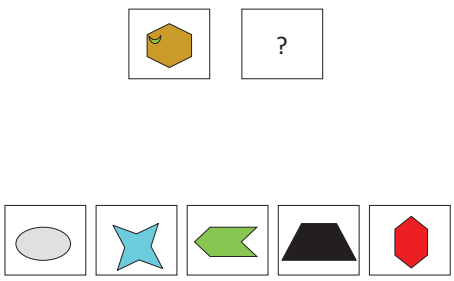
Couleur



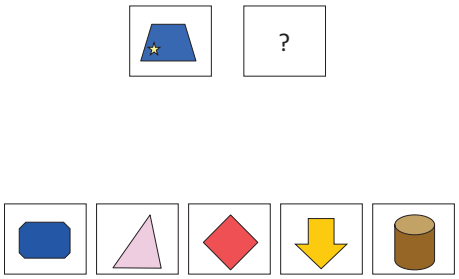
Couleur



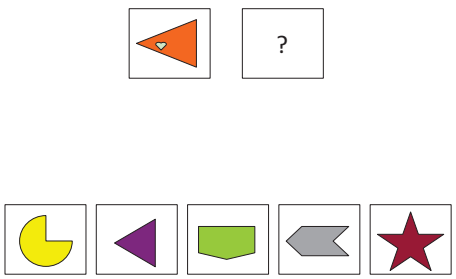
Forme



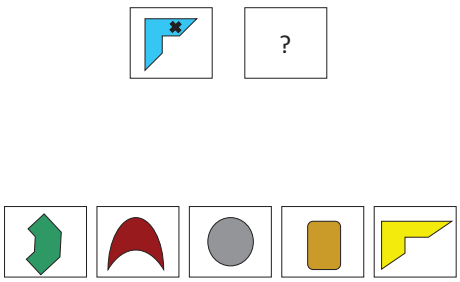
Couleur



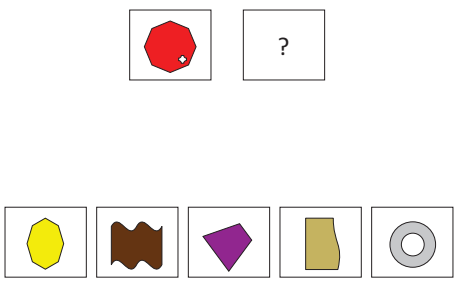
Forme



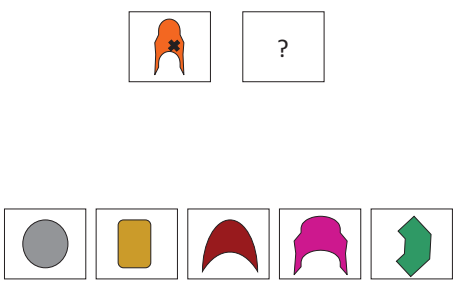
Forme



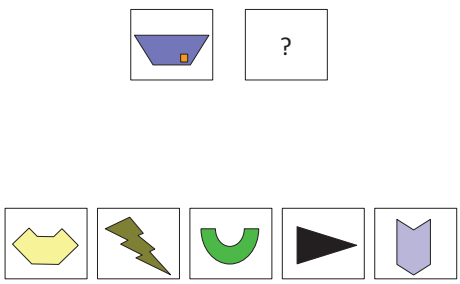
Forme



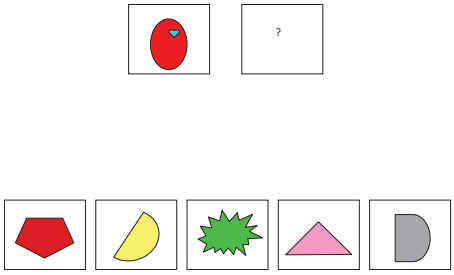
Forme



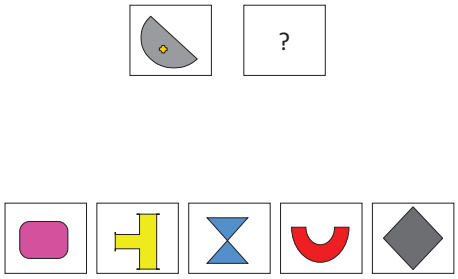
Couleur



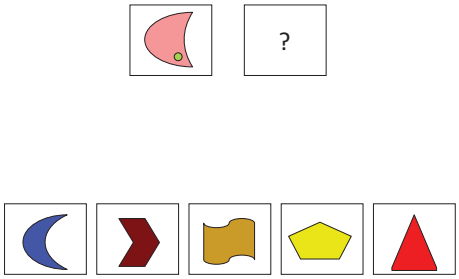
Couleur



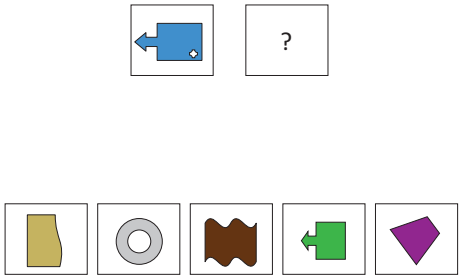
Couleur



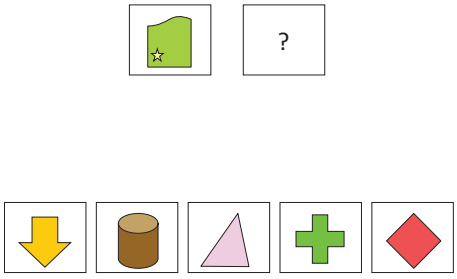
Forme



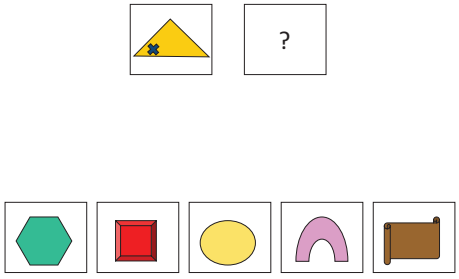
Forme



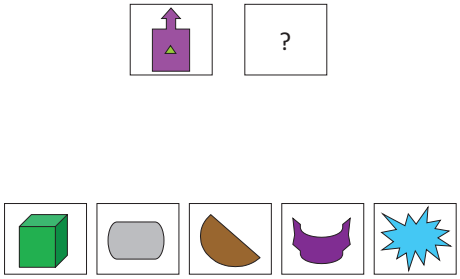
Couleur



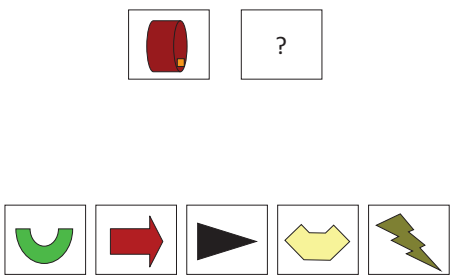
Couleur



Couleur

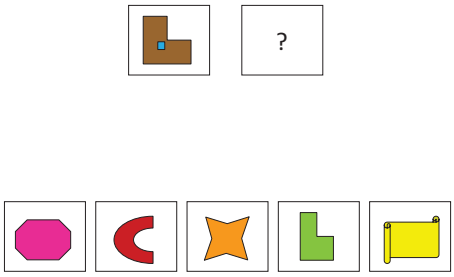


Couleur

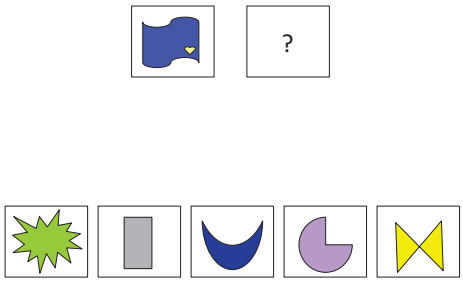


Annexe 3

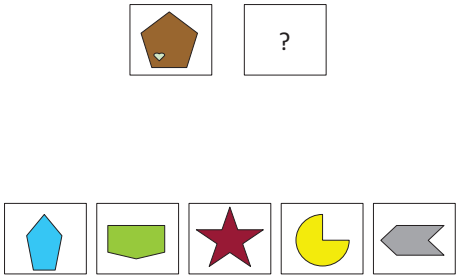
Forme



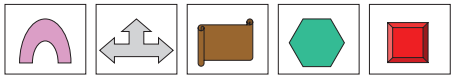
Couleur



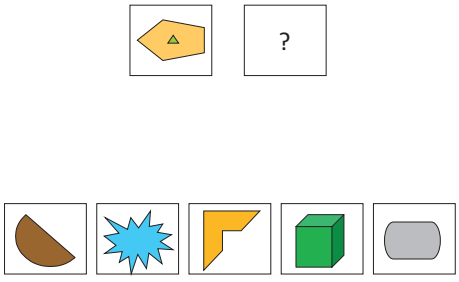
Forme



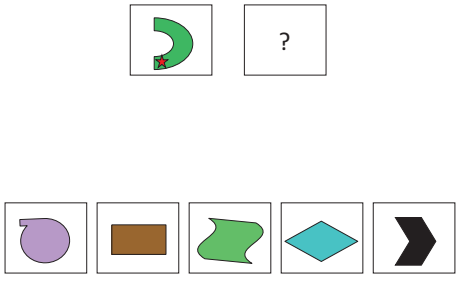
Couleur



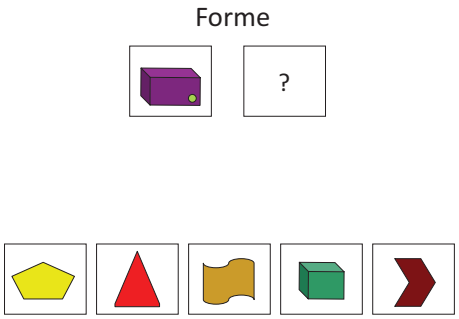
Couleur



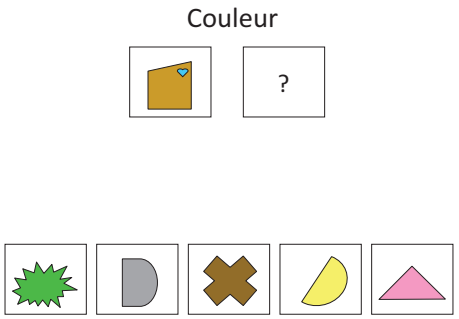
Couleur



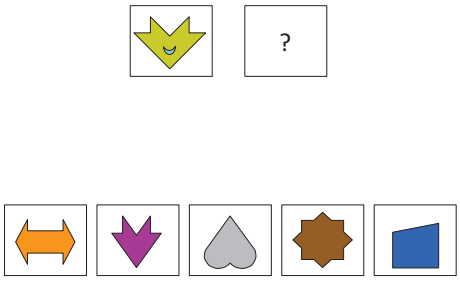
Forme



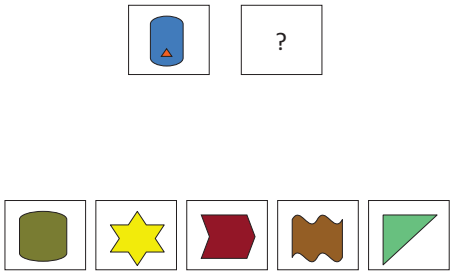
Couleur



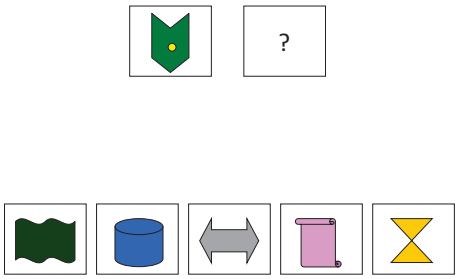
Forme



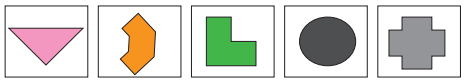
Forme



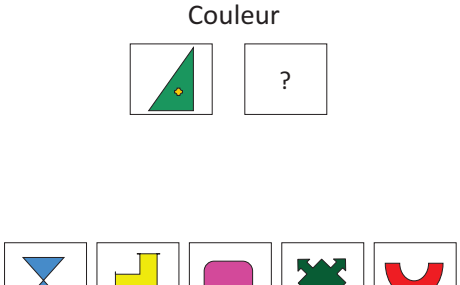
Couleur



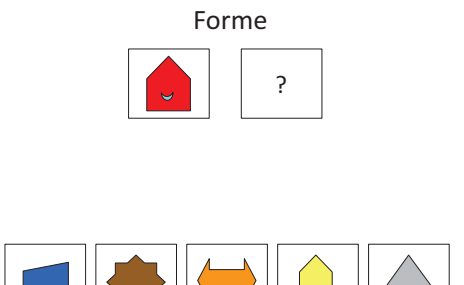
Forme



Couleur



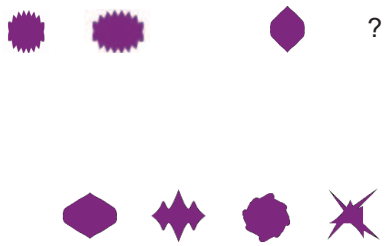
Forme



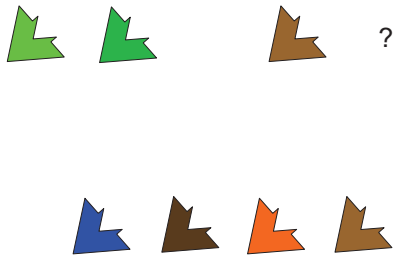
Annexe 4. Matériel Etude 4

Entraînement

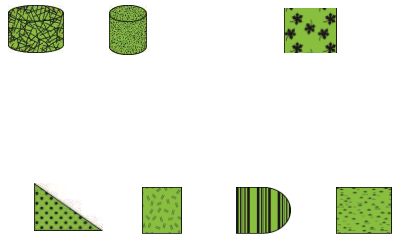
Forme Sans Bruit 0 Conflit



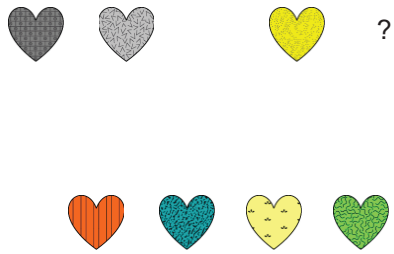
Couleur Sans Bruit Conflit



Forme Avec Bruit Conflit

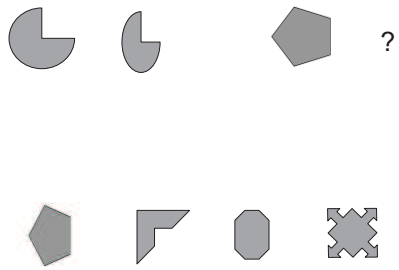


Couleur Avec Bruit 0 Conflit

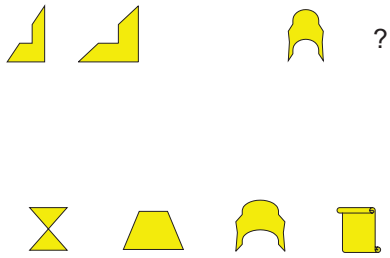


Exemple de Liste

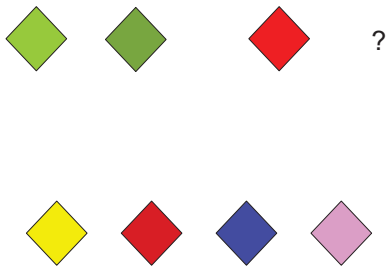
Forme Sans Bruit 0 Conflit



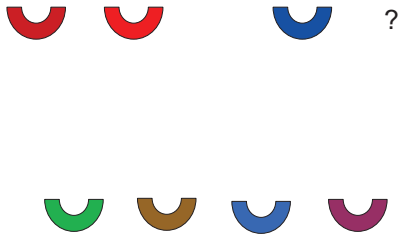
Forme Sans Bruit 0 Conflit



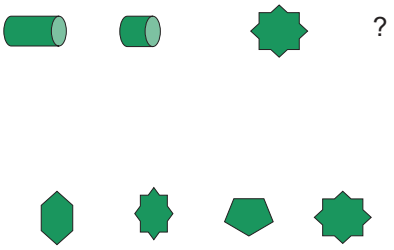
Couleur Sans Bruit 0 Conflit



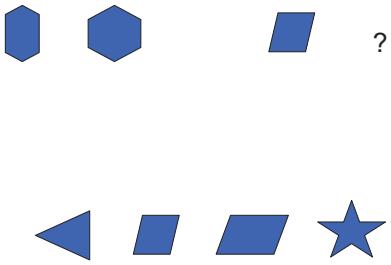
Couleur Sans Bruit 0 Conflit



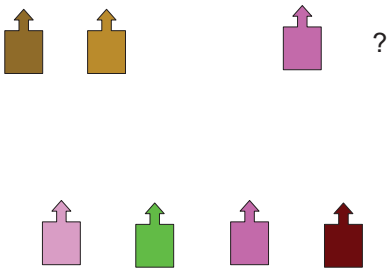
Forme Sans Bruit Conflit



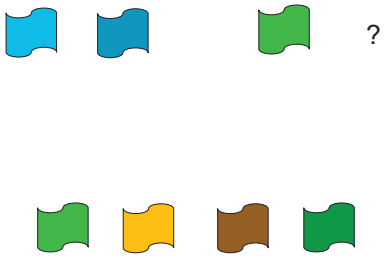
Forme Sans Bruit Conflit



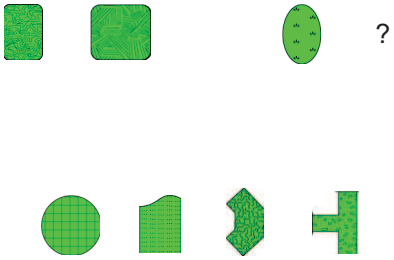
Couleur Sans Bruit Conflit



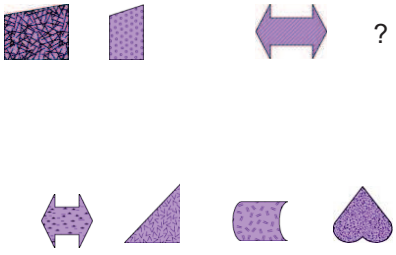
Couleur Sans Bruit Conflit



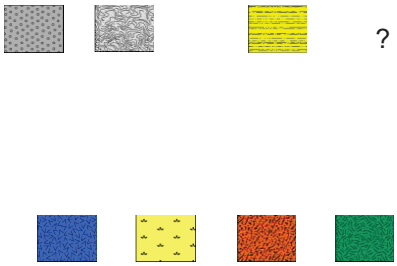
Forme Avec Bruit 0 Conflit



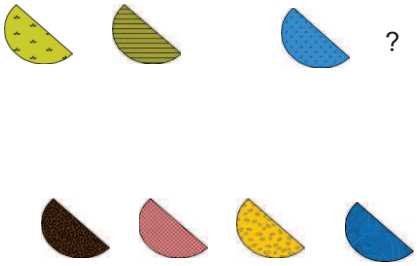
Forme Avec Bruit 0 Conflit



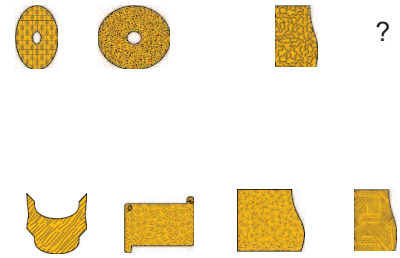
Couleur Avec Bruit 0 Conflit



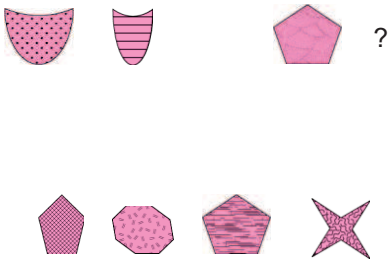
Couleur Avec Bruit 0 Conflit



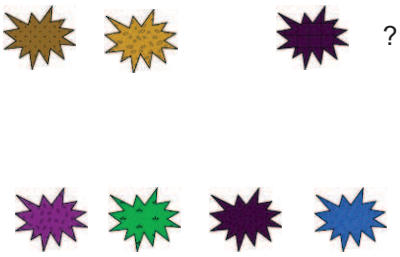
Forme Avec Bruit Conflit



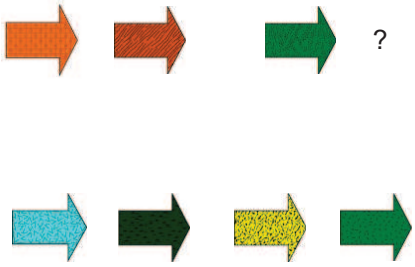
Forme Avec Bruit Conflit



Couleur Avec Bruit Conflit

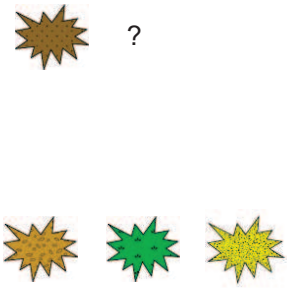


Couleur Avec Bruit Conflit

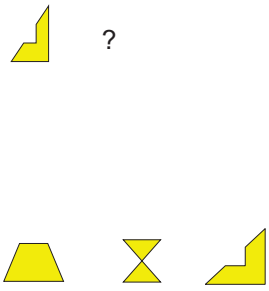


Phase 2

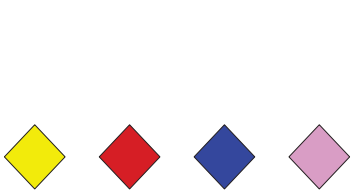
Couleur



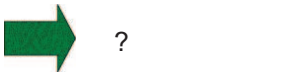
Forme



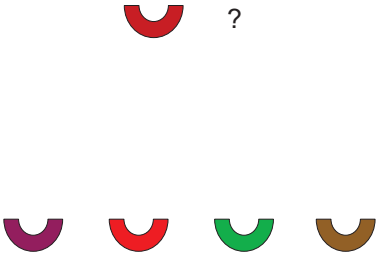
Couleur



Couleur

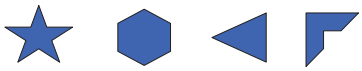


Couleur



Forme

Forme



Couleur

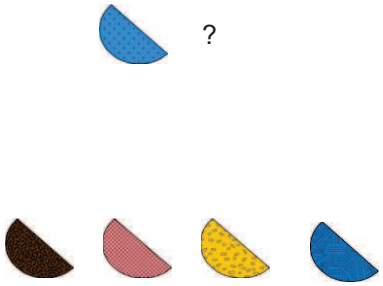
Couleur

Forme

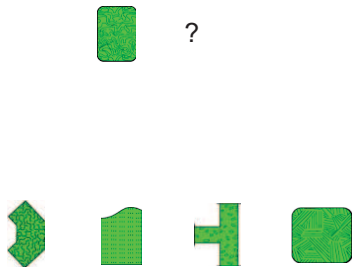
Couleur

Forme

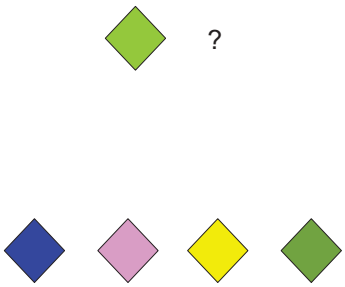
Couleur



Forme



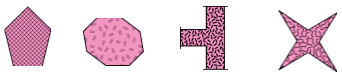
Couleur



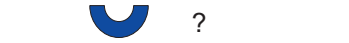
Forme

Forme

Forme



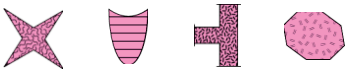
Couleur



Couleur

Forme

?



Couleur

?

Forme

?

Forme

?

Couleur

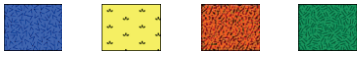
?

Forme

?

Couleur

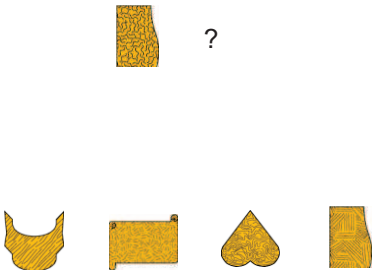
?



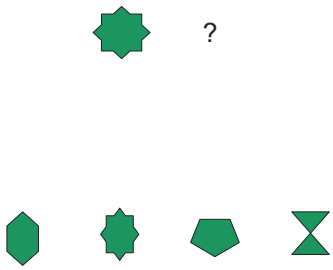
Couleur

?

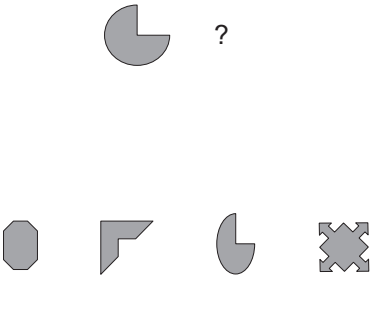
Forme



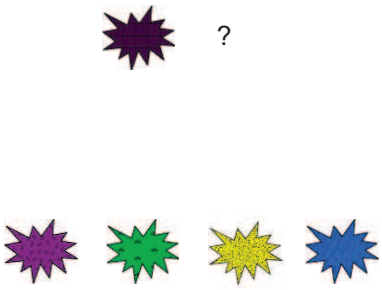
Forme



Forme

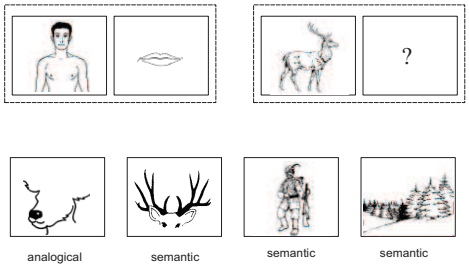


Couleur

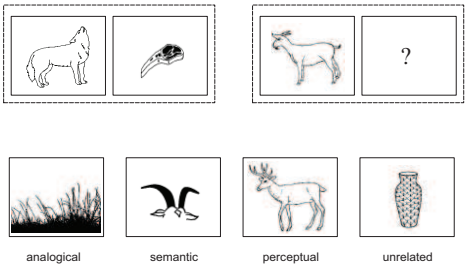


Annexe 5. Matériel Etude 5

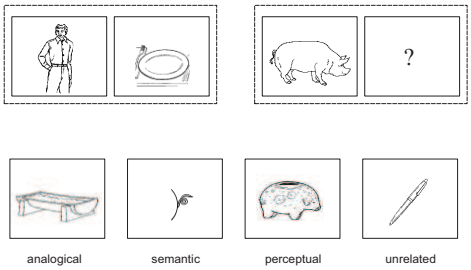
Item d'entraînement



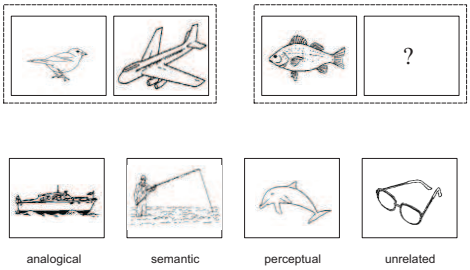
Association faible/distracteur sémantique + perceptif



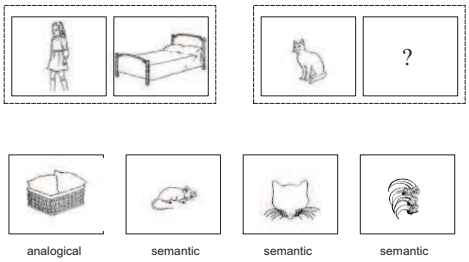
Association faible/distracteur sémantique + perceptif



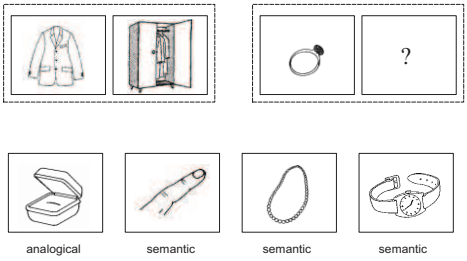
Association faible/distracteur sémantique + perceptif



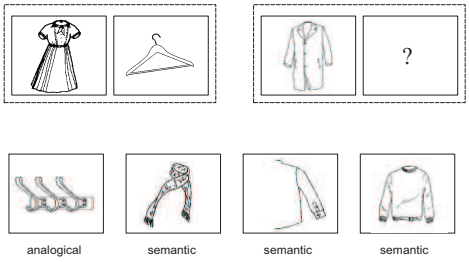
Association faible/3 distracteurs sémantiques



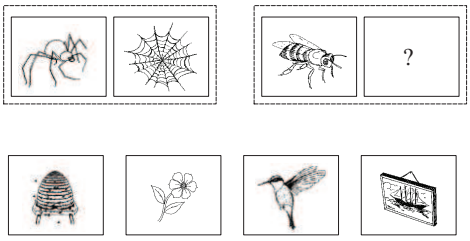
Association faible/3 distracteurs sémantiques



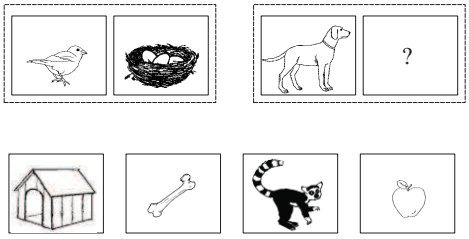
Association faible/3 distracteurs sémantiques



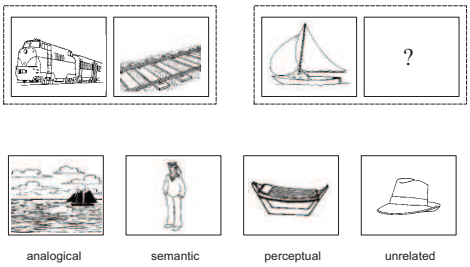
Association forte/distracteur
sémantique + perceptif



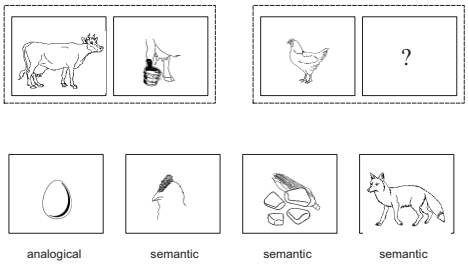
Association forte/distracteur
sémantique + perceptif



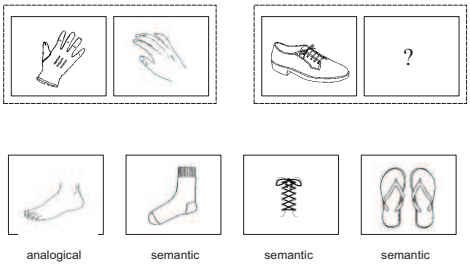
Association forte/distracteur
sémantique + perceptif



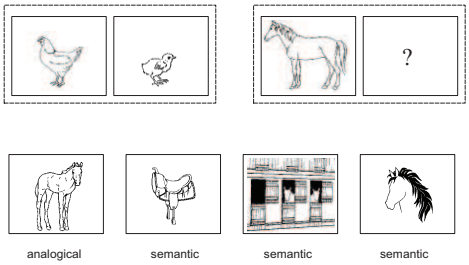
Association forte/3 distracteurs
sémantiques



Association forte/ 3 distracteurs
sémantiques

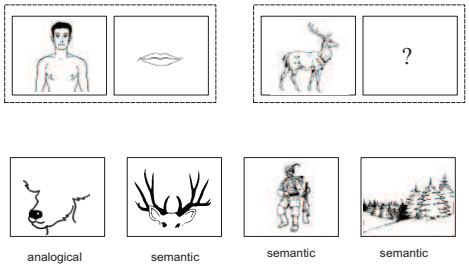


Association forte/3 distracteurs
sémantiques

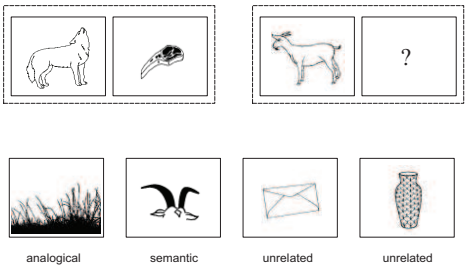


Annexe 6. Matériel Etude 6

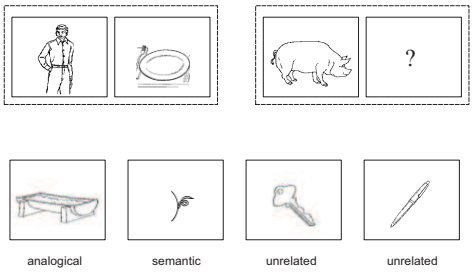
Item d'entraînement



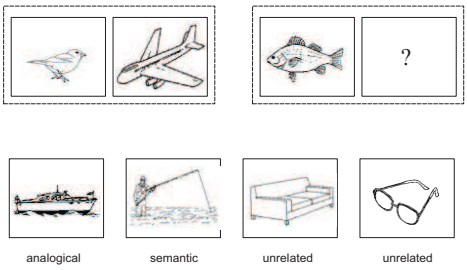
Association faible/1 distracteur sémantique



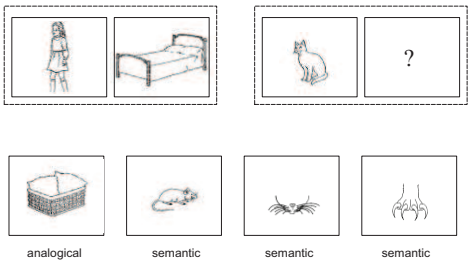
Association faible/1 distracteur sémantique



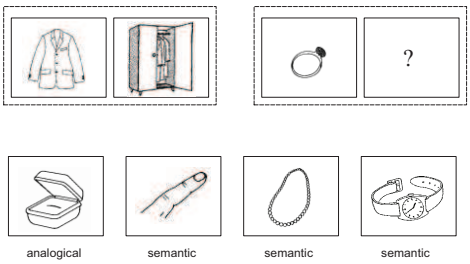
Association faible/1 distracteur sémantique



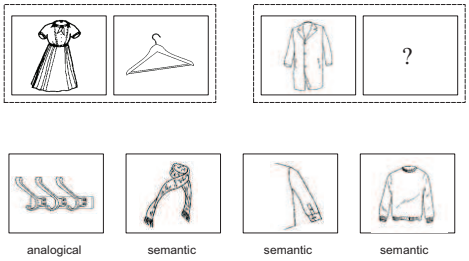
Association faible/3 distracteurs sémantiques



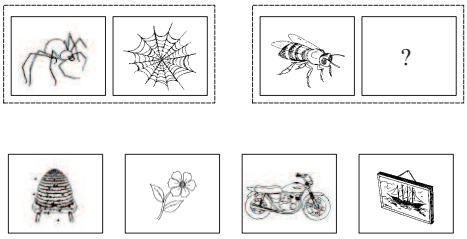
Association faible/3 distracteurs sémantiques



Association faible/3 distracteurs sémantiques

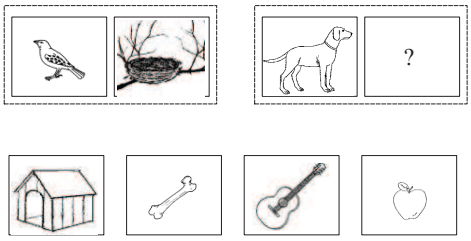


Association forte/1 distracteur sémantique



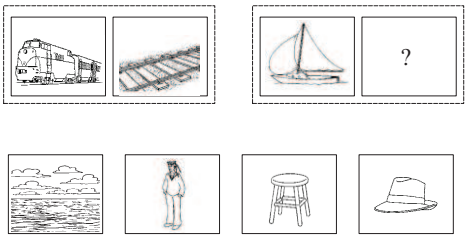
analogical semantic unrelated unrelated

Association forte/1 distracteur sémantique



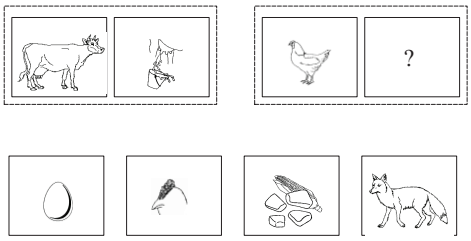
analogical semantic unrelated unrelated

Association forte/1 distracteur sémantique



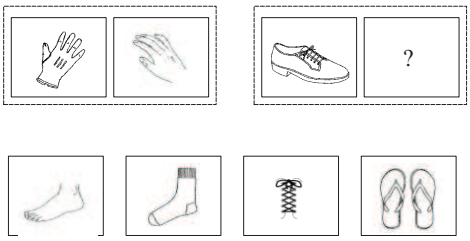
analogical semantic unrelated unrelated

Association forte/3 distracteurs sémantiques



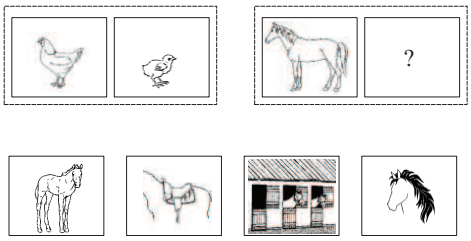
analogical semantic semantic semantic

Association forte/ 3 distracteurs sémantiques



analogical semantic semantic semantic

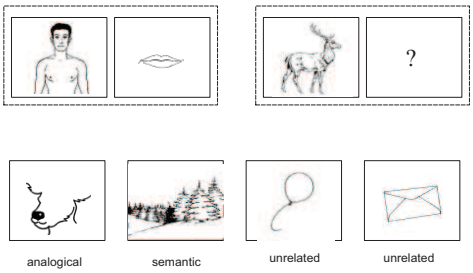
Association forte/3 distracteurs sémantiques



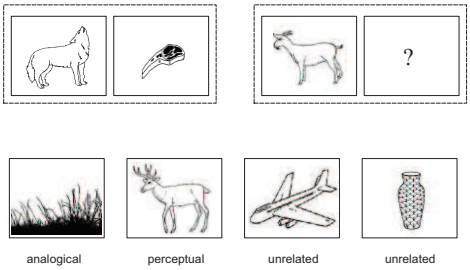
analogical semantic semantic semantic

Annexe 7. Matériel Etude 7

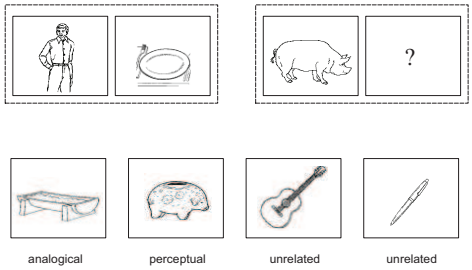
Item d'entraînement



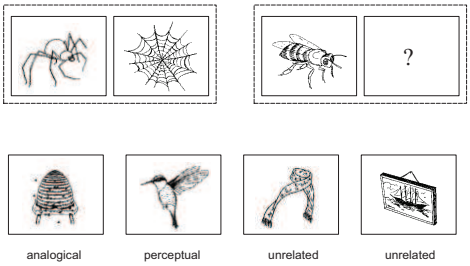
distracteur perceptif



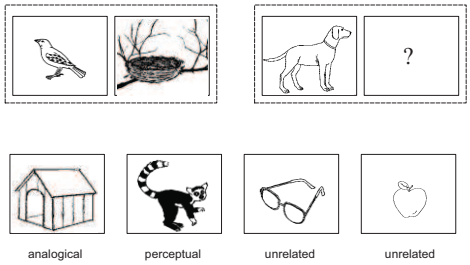
distracteur perceptif



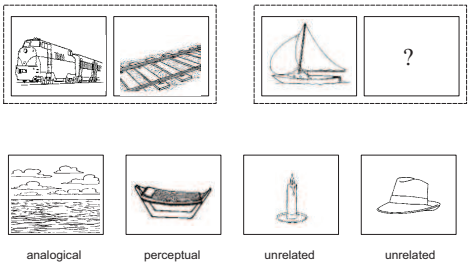
distracteur perceptif



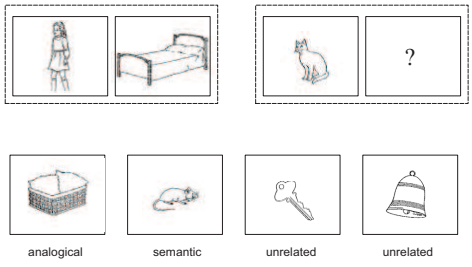
distracteur perceptif



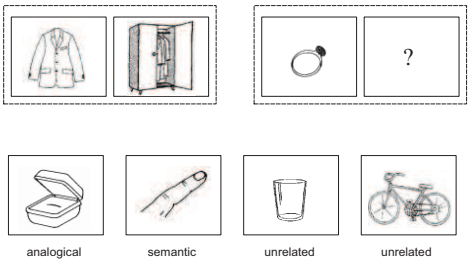
distracteur perceptif



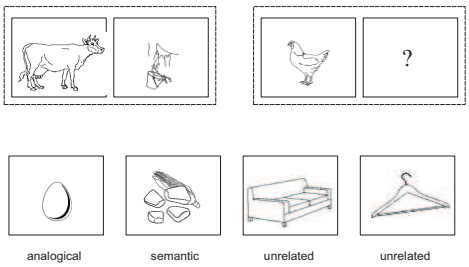
distracteur sémantique



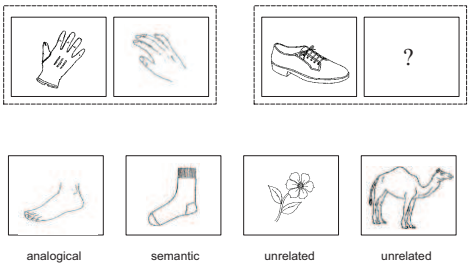
distracteur sémantique



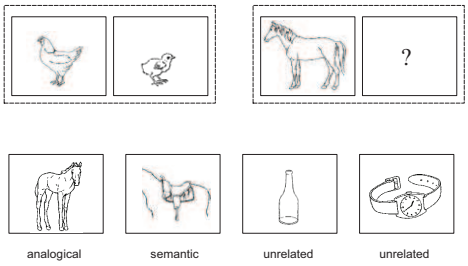
distracteur sémantique



distracteur sémantique

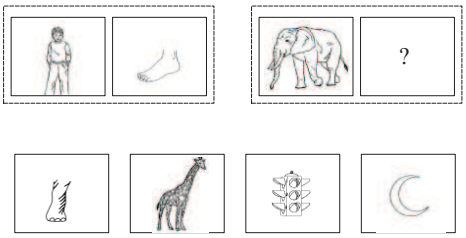


distracteur sémantique

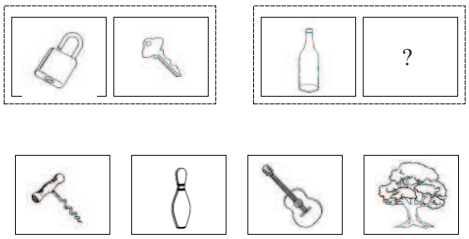


Annexe 8. Matériel Etude 8

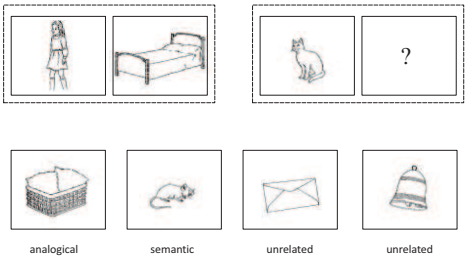
Entraînement/distracteur sémantique



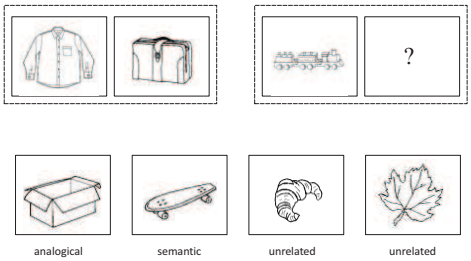
Entraînement/distracteur perceptif



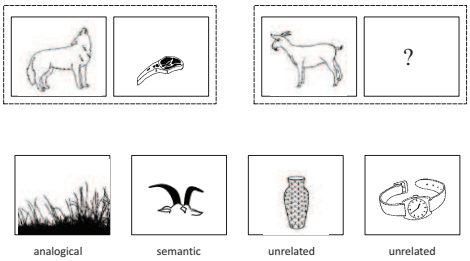
Association faible/distracteur sémantique



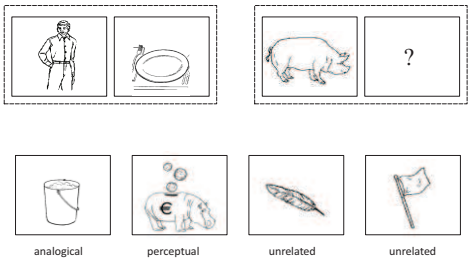
Association faible/distracteur sémantique



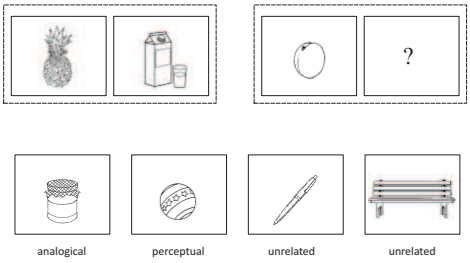
Association faible/distracteur sémantique



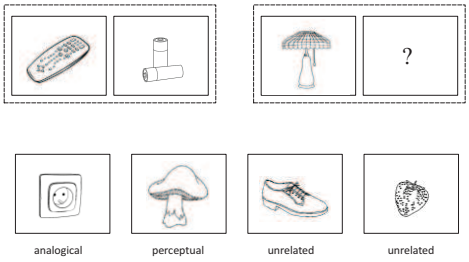
Association faible/distracteur perceptif



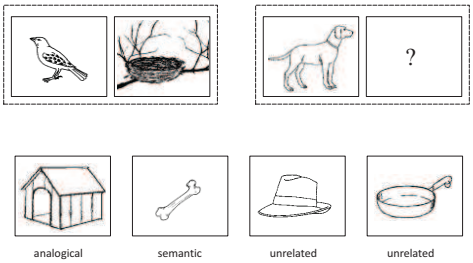
Association faible/distracteur perceptif



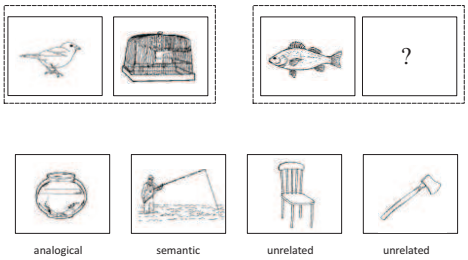
Association faible/distracteur perceptif



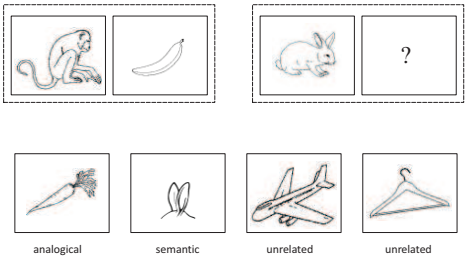
Association forte/distracteur sémantique



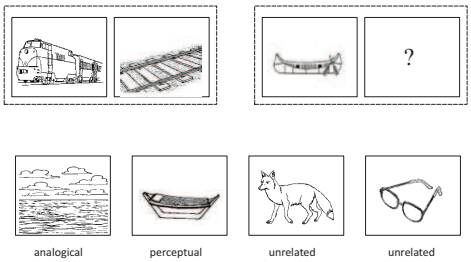
Association forte/distracteur sémantique



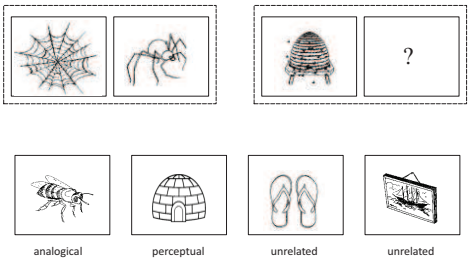
Association forte/distracteur sémantique



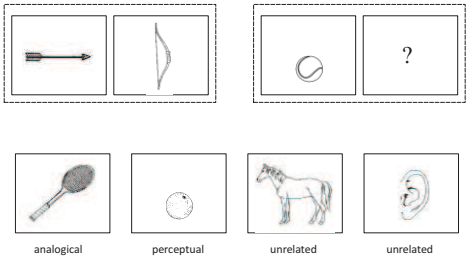
Association forte/distracteur perceptif



Association forte/distracteur perceptif

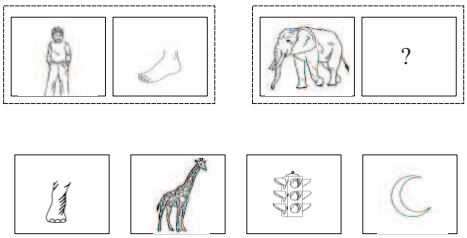


Association forte/distracteur perceptif

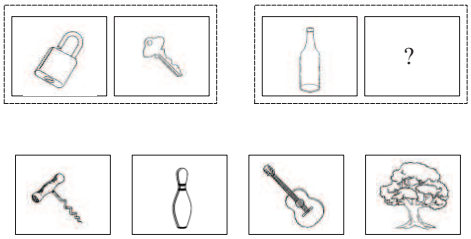


Annexe 9. Matériel Etude 9

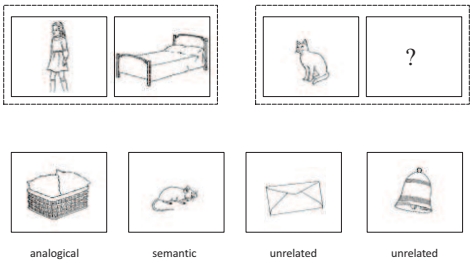
Entraînement/distracteur sémantique



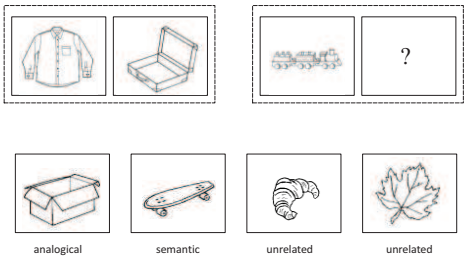
Entraînement/distracteur perceptif



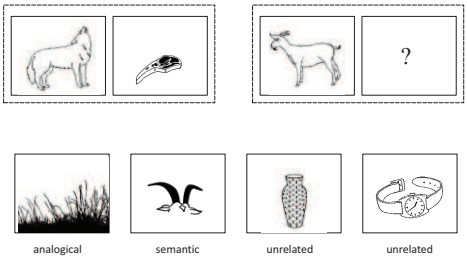
Association faible/distracteur sémantique



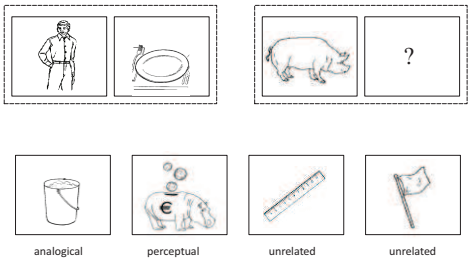
Association faible/distracteur sémantique



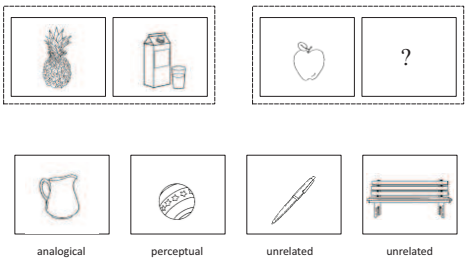
Association faible/distracteur sémantique



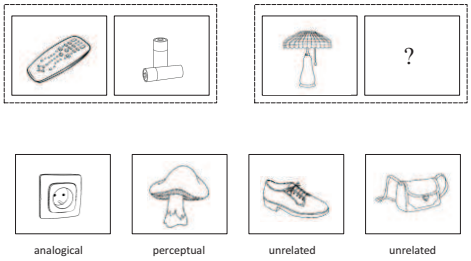
Association faible/distracteur perceptif



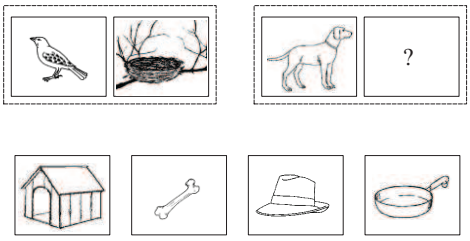
Association faible/distracteur perceptif



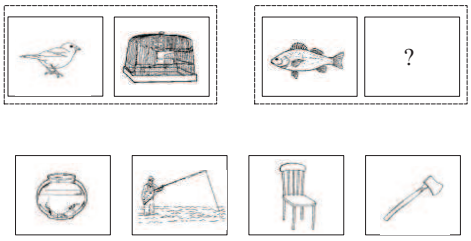
Association faible/distracteur perceptif



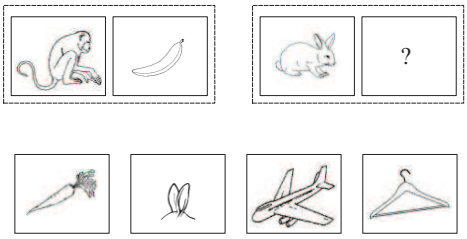
Association forte/distracteur sémantique



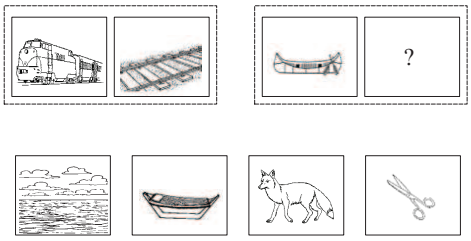
Association forte/distracteur sémantique



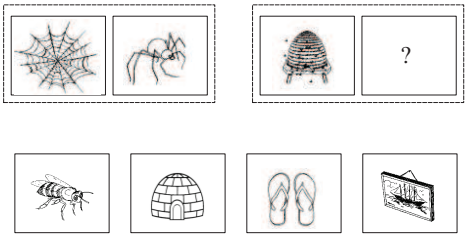
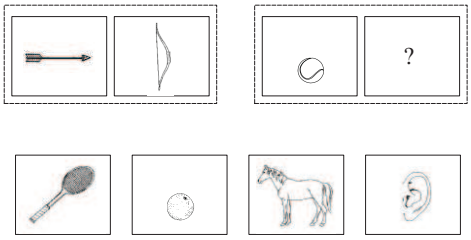
Association forte/distracteur sémantique



Association forte/distracteur perceptif



Association forte/distracteur perceptif



Association forte/distracteur perceptif